

AWS D1.1/D1.1M:2015

美国国家标准

钢结构焊接规范



AWS D1.1/D1.1M:2015

美国国家标准

由美国国家标准协会批准

2015 年 7 月 28 日

钢结构焊接规范

第 23 版

取代 AWS D1.1/D1.1M:2010

由美国焊接协会(AWS)D1 结构焊接委员会编制

由 AWS 技术活动委员会提供指导

由 AWS 理事会批准

摘要

本规范涵盖了采用通用碳钢和低合金结构钢制造的任何类型焊接结构的焊接要求。第 1 章至第 9 章构成了钢结构焊接规范条文的主体。本规范中包含 9 个规范性附录和 11 个资料性附录。文件中还包含了规范的条文说明。



ISBN: 978-0-87171-864-8

© 2015 归美国焊接协会

保留所有权利

印刷于美利坚合众国

复印权。未经版权所有者事先书面许可，不得复印、存储在检索系统或以任何形式(包括机械、复印、记录或其它方式)传播本标准的任何部分。

在向版权结算中心支付相关费用后，即可获得美国焊接协会授予的仅供内部、个人或教育机构使用，或者仅供特定客户的内部、个人或教育机构使用的复印版授权，地址：222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923，电话： (978) 750-8400；网址： <www.copyright.com>。

美国焊接协会标准使用说明

美国焊接协会(AWS)的所有标准(规程、规范、推荐规程、方法、等级和指南)均是按美国国家标准学会(ANSI)规则编制的自愿共识标准。当 AWS 国家标准被纳入联邦政府或州法律法规或其它政府部门规章制度或作为它们的组成部分时,其条款具有全部法定效力。在这种情况下,这些 AWS 标准的任何变更在称为这些法律法规的组成部分之前均必须获得具有法定权限的政府部门的批准。在所有情况下,这些标准具有合同或其他援引 AWS 标准的文件的充分法律效力。如果存在这种合同关系,则 AWS 标准的要求的改动或偏离均必须获得合同双方同意。

AWS 美国国家标准是通过一种共识标准编制程序来编制的,该程序旨在使代表各种观点和利益的志愿者达成共识。虽然 AWS 负责管理程序并建立准则,以便进一步促进达成共识期间的公平性,但 AWS 并不单独检测、评估或验证其标准中包含的任何资料的准确性或任何判断的可靠性。

AWS 拒绝对任何人身损害或财产损害或其他任何性质的损害承担责任,而不管这些损害是否是由直接或间接出版、使用或信赖本标准而导致的特殊的、间接的、结果性的或补偿性的损害。AWS 也不保证或担保这里发表的任何信息的准确性或完整性。

在发行和提供此标准时,AWS 既不负责向任何人或实体或其代表提供任何专业的或其它服务,也不负责履行任何人或实体应向他人履行的任何义务。使用这些文件的任何人均应依靠自己的独立判断,必要时征求有经验的专业人士的意见,以确定在任何给定情况下运用时的合理注意事项。我们认为应由经过适当技能评定且合格的人士来运用本标准及其规定。

本标准可能会被发布的新版标准取代。本标准也可以通过出版修改单或勘误单的方式进行更正,或者通过出版增补单的方式进行增补。AWS 标准最新版本(包括修改单、勘误单和增补单)的相关信息见 AWS 网页(www.aws.org)。用户应确保其拥有最新版的修改单、勘误单和增补单。

本标准的出版不侵害任何专利或商标。本标准的用户负责承担侵犯任何专利或商标所致的任何和全部责任。AWS 不承担因使用本标准所造成的侵犯任何专利或产品商标名称的责任。

AWS 不监视、监督或强制遵守此标准,也没有权利这样做。

文本、表格或图有时会出现印刷错误,这就需要大部勘误单。当发现此类错误时,我们将

在 AWS 网页(www.aws.org)上发布勘误单。

仅可通过向责任技术委员会发出书面申请的方式来获得本标准中任何技术要求的正式解释。此类申请宜呈交给美国焊接协会，收件人是技术服务部门总经理，地址：8669 NW 36 St, # 130, Miami, FL 33166 (见附录 N)。关于 AWS 标准的技术要求可获得 AWS 标准制定方的口头回复。但这些口头意见仅为了给标准用户提供方便，而非正式建议。此类意见仅是给出这些意见的个人的意见。这些个人不代表 AWS，这些口头意见也不构成正式或非正式意见或 AWS 的解释。此外，口头意见是非正式的，并且不应被用于代替正式解释。

AWS D1 结构焊接委员会可在任何时候修订本标准。标准必须每五年审核一次，如果未作修订，则必须进行重新确认或撤销。要求提供意见(包括建议、增补或删除)及有助于改进标准的任何相关数据资料，并且宜将这些资料提供给 AWS 总部。AWS D1 结构焊接委员会将仔细斟酌这些意见，并且会将委员会的答复告知提出意见的人。受邀参加 AWS D1 结构焊接委员会的所有会议的客人均可以口头方式表达他们的意见。技术活动委员会运作规则中提供了与所有此类意见的不利决策相关的申诉程序。可向美国焊接协会索取这些规则的副本，地址：8669 NW 36 St, # 130, Miami, FL 33166。

献辞

D1 结构焊接委员会和 D1Q 钢结构分委员谨将本第 23 版 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》献给 Keith Landweh。在 15 年的服务时间中，Keith 将 30 其多年的工作经验贡献给了 D1.1 《钢结构焊接规范》、D1.4 《钢筋结构焊接规范》、D1.8 《结构焊接规范—抗震补遗》和其他国家标准的制定工作。D1 委员会将永远铭记 Keith 的贡献，更重要的是永远铭记 Keith 的友善和锦囊妙计，并且希望这一辞将激励 D1 结构焊接委员会在工作中的表现都像 Keith 一样出众。

本页被故意留为空白。

人员名单

AWS D1 结构焊接委员会

A. W. Sindel, 主席	Alstom Power Steam, Incorporated
T. L. Niemann, 副主席	Minnesota Department of Transportation
R. D. Medlock, 第二副主席	High Steel Structures, LLC
J. Molin, 秘书	American Welding Society
F. G. Armao	The Lincoln Electric Company
E. L. Bickford	Acute Technological Services
T. M. Burns	AlcoTec Wire Corporation
H. H. Campbell, III	Pazuzu Engineering
R. D. Campbell	Bechtel
R. B. Corbit	CB&I
M. A. Grieco	Massachusetts Department of Transportation
C. W. Holmes	Modjeski and Masters, Incorporated
J. J. Kenney	Shell International E & P
J. H. Kiefer	ConocoPhillips Company (Retired)
S. W. Kopp	High Steel Structures, LLC
V. Kuruvilla	Genesis Quality Systems
J. Lawmon	American Engineering & Manufacturing, Incorporated
N. S. Lindell	Oregon Iron Works, Incorporated
D. R. Luciani	Canadian Welding Bureau
P. W. Marshall	MHP Systems Engineering
M. J. Mayes	Mayes Testing Engineers, Incorporated
D. L. McQuaid	D. L. McQuaid and Associates, Incorporated
J. Merrill	AMEC E&I
D. K. Miller	The Lincoln Electric Company
J. B. Pearson, Jr.	LTK Engineering Services
D. C. Phillips	Hobart Brothers Company
D. D. Rager	Rager Consulting, Incorporated
T. J. Schlafly	美国钢结构协会
D. R. Scott	PSI, Incorporated (Retired)
R. E. Shaw, Jr.	Steel Structures Technology Center, Incorporated

AWS D1 结构焊接委员会(续)

R. W. Stieve	Parsons Corporation
M. M. Tayarani	Massachusetts Department of Transportation (Retired)
P. Torchio, III	Williams Enterprises of Georgia, Incorporated
D. G. Yantz	Canadian Welding Bureau

D1 结构焊接委员会顾问

W. G. Alexander	WGAPE
N. J. Altebrando E. M. Beck	STV, Incorporated AMEC
B. M. Butler R. A. Dennis	Walt Disney World Company Consultant
G. L. Fox	Consultant
H. E. Gilmer	Tampa Tank-Florida Structural Steel
G. J. Hill	G. J. Hill and Associates, Incorporated
M. L. Hoitomt	Hoitomt Consulting Services
J. W. Post	J. W. Post & Associates, Incorporated
K. K. Verma	Consultant
B. D. Wright	Advantage Aviation Technologies

AWS D1Q 钢材分委员会

T. Schlafly, 主席	美国钢结构协会
P. Torchio, III, 副主席	Williams Enterprises of Georgia, Incorporated
J. Molin., 秘书	美国焊接协会
M. Bernasek	C-spec
E. L. Bickford	Acute Technological Services
J. W. Cagle	C P Buckner Steel Erection, Incorporated
H. H. Campbell, III	Pazazu Engineering
W. P. Capers	Walt Disney World Company
R. V. Clarke	TEAM Industrial Services, Incorporated
D. A. Dunn	PSI, Incorporated (Retired)
M. E. Gase	Midwest Steel Incorporated
W. S. Houston	Pro-Weld Stud Welding Associates
M. J. Jordan	Johnson Plate and Tower Fabrication
J. J. Kenney	Shell International E & P
J. H. Kiefer	ConocoPhillips Company (Retired)

AWS D1Q 钢材分委员会(续)

L. A. Kloiber	LeJeune Steel Company
S. W. Kopp	High Steel Structures, LLC
V. Kuruvilla	Genesis Quality Systems
K. Landwehr	Consultant
D. R. Luciani	Canadian Welding Bureau
P. W. Marshall	MHP Systems Engineering
R. P. Marslender	Kiewit Offshore Services, Ltd.
G. S. Martin	GE Oil & Gas
M. J. Mayes	Mayes Testing Engineers, Incorporated
J. Merrill	AMEC E&I
J. I. Miller	Chevron
S. P. Moran	Weir American Hydro
J. C. Nordby	Entergy
D. D. Rager	Rager Consulting, Incorporated
D. R. Scott	PSI, Incorporated (Retired)
R. E. Shaw, Jr.	Steel Structures Technology Center, Incorporated
A. W. Sindel	Alstom Power Steam, Incorporated
R. W. Stieve	Parsons Corporation
S. J. Thomas	Consultant
R. H. R. Tide	Wiss, Janney, Elstner Associates
J. L. Warren	CB&I

D1Q 钢材分委员会顾问

N. J. Altebrando	STV, Incorporated
U. W. Aschemeier	Subsea Global Solutions
B. M. Butler	Walt Disney World Company
H. A. Chambers	SNH Market Consultants
H. E. Gilmer	Tampa Tank-Florida Structural Steel
M. A. Grieco	Massachusetts Department of Transportation
J. Guili	Tru-Weld Equipment Company
C. W. Hayes	The Lincoln Electric Company
R. L. Holdren	Arc Specialties
C. W. Holmes	Modjeski and Masters, Incorporated

D1Q 钢材分委员会顾问(续)

W. Jaxa-Rozen	Bombardier Transportation
J. E. Koski	Stud Welding Products, Incorporated
N. S. Lindell	Oregon Iron Works
D. L. McQuaid	D. L. McQuaid and Associates, Incorporated
R. D. Medlock	High Steel Structures, LLC
D. K. Miller	The Lincoln Electric Company
J. A. Packer	University of Toronto
J. B. Pearson, Jr.	LTK Engineering Services
D. C. Phillips	Hobart Brothers Company
J. W. Post	J. W. Post and Associates, Incorporated
M. M. Tayarani	Massachusetts Department of Transportation (Retired)
J. L. Uebele	Waukesha County Tech College
K. K. Verma	Consultant
P. Workman	Tru-Weld
D. A. Wright	Wright Welding Technologies
D. G. Yantz	Canadian Welding Bureau

D1Q 设计任务类分委员会

W. P. Capers, 主席	Walt Disney World Company
T. Green, 副主席	Wiss, Janney, Elstner Associates
B. M. Butler	Walt Disney World Company
D. B. Ferrell	Ferrell Engineering, Incorporated
W. Jaxa-Rozen	Bombardier Transportation
M. J. Jordan	Johnson Plate and Tower Fabrication
J. J. Kenney	Shell International E & P
L. A. Kloiber	LeJeune Steel Company
P. W. Marshall	MHP Systems Engineering
J. M. Ocel	Federal Highway Administration
J. A. Packer	University of Toronto
J. B. Pearson, Jr.	LTK Engineering Services
T. J. Schlafly	美国钢结构协会
R. E. Shaw, Jr.	Steel Structures Technology Center, Incorporated
R. H. R. Tide	Wiss, Janney, Elstner Associates

D1Q 设计任务类分委员会顾问

O. W. Blodgett	The Lin.coln Electric Company (Retired)
J. Desjardin.s	Bombardier Transportation
J. L. Warren	CB&I

D1Q 资格预审任务类分委员会

D. R. Luciani, 联席主席	Canadian Weldin.g Bureau
P. Torchio, III, 联席主席	Williams Enterprises of Georgia, Incorporated
C. Zanfir, 副主席	Canadian Weldin.g Bureau
W. J. Bell	Atlantic Testin.g Laboratories
H. H. Campbell, III	Pazuzu Engin.eerin.g
K. Landwehr	Consultant
P. W. Marshall	MHP Systems Engin.eerin.g
J. I. Miller	Chevron
S. P. Moran	Weir American Hydro
J. C. Norby	Entergy
R. E. Shaw, Jr.	Steel Structures Technology Center, Incorporated
A.W. Sin.del	Alstom Power Steam, Incorporated

D1Q 资格预审任务类分委员会顾问

J. L. Warren	CB&I

D1Q 技能评定任务类分委员会

T. C. Myers, 主席	Consultant
S. J. Fin.dlan, 副主席	CB&I Power
M. Bernasek	C-spec
E. L. Bickford	Acute Technological Services
M. G. Collin.s	ConocoPhillips Company
M. W. Elsemore	The Boein.g Company
M. J. Harker	Idaho National Laboratory
R. L. Holdren	Arc Specialties
J. J. Kenney	Shell International E & P
J. H. Kiefer	ConocoPhillips Company (Retired)
R. P. Marslender	Kiewit Offshore Services, Ltd.
D. W. Meyer	ESAB Weldin.g & Cuttin.g Products
D. D. Rager	Rager Consultin.g, Incorporated

D1Q 技能评定任务类分委员会(续)

A. W. Sin.dell	Alstom Power Steam, Incorporated
D. A. Stickel	Caterpillar, Incorporated
B. M. Toth	CB&I
J. L. Uebele	Waukesha County Technical College

D1Q 技能评定任务类分委员会顾问

D. R. Lawrence II	Consultant
G. S. Martin.	GE-Oil & Gas
D. C. Phillips	Hobart Brothers Company
K. K. Verma	Consultant
J. L. Warren	CB&I
D. G. Yantz	Canadian Welding Bureau

D1Q 制造任务类分委员会

H. E. Gilmer, 主席	Tampa Tank-Florida Structural Steel
J. I. Miller, 副主席	Chevron
S. E. Anderson	HRV Conformance Verification
W. J. Bell	Atlantic Testing Laboratories
H. H. Campbell, III	Pazuzu Engineering
R. V. Clarke	TEAM Industrial Services, Incorporated
M. E. Gase	Midwest Steel, Incorporated
M. A. Grieco	Massachusetts Department of Transportation
C. Hanson	ADF Group, Incorporated
R. L. Holdren	Arc Specialties
C. W. Holmes	Modjeski & Masters, Incorporated
J. H. Kiefer	ConocoPhillips Company (Retired)
S. W. Kopp	High Steel Structures, LLC
V. Kuruvilla	Genesis Quality Systems
K. Landwehr	Consultant
E. S. LaPann	Consultant
C. A. Mankenberg	Shell International E & P
G. S. Martin.	GE-Oil & Gas
E. S. Mattfield	Stonebridge Steel Erection
R. D. Medlock	High Steel Structures, LLC

D1Q 制造任务类分委员会(续)

J. E. Mellinger	Pennoni Associates, Incorporated
R. L. Mertz	Alta Vista Solutions

D1Q 制造任务类分委员会顾问

W. G. Alexander	WGAPE
B. Anderson	Molex Incorporated
J. W. Cagle	C. P. Buckner Steel Erection, Incorporated
R. A. Dennis	Consultant
G. L. Fox	Consultant
G. J. Hill	G. J. Hill & Associates
D. L. McQuaid	D. L. McQuaid & Associates, Incorporated
J. E. Myers	Consultant
J. W. Post	J. W. Post and Associates, Incorporated
T. J. Schlafly	美国钢结构协会
J. Sokolewicz	Trinity Rail
R. H. R. Tide	Wiss, Janney, Elstner Associates
K. K. Verma	Consultant
J. L. Warren	CB&I

D1Q 检验任务类分委员会

G. S. Martin., 主席	GE-Oil & Gas
P. G. Kinney, 副主席	Acute Technological Services
S. E. Anderson	HRV Conformance Verification
U. W. Aschemeier	Subsea Global Solutions
R. V. Clarke	Team Industrial Services, Incorporated
J. M. Davis	Davis NDE-Olympus NDT
D. A. Dunn	PSI, Incorporated (Retired)
K. R. Fogleman	Valmont Industries
M. E. Gase	Midwest Steel, Incorporated
H. E. Gilmer	Tampa Tank-Florida Structural Steel
C. W. Hayes	The Lincoln Electric Company
P. T. Hayes	GE Inspection Technologies LP
R. K. Holbert	Alstom Power Steam, Incorporated
S. W. Kopp	High Steel Structures, Incorporated

D1Q 检验任务类分委员会(续)

E. S. LaPann	Consultant
N. S. Lin.dell	Oregon Iron Works, Incorporated
C. A. Mankenberg	Shell International E & P
E. S. Mattfield	Stonebridge Steel Erection
J. E. Mellin.ger	Pennoni Associates, Incorporated
J. Merrill	AMEC E&I
R. L. Mertz	Alta Vista Solutions
J. B. Pearson, Jr.	LTK Engin.eerin.g Services
D. R. Scott	PSI, Incorporated (Retired)
D. G. Yantz	Canadian Weldin.g Bureau

D1Q 检验任务类分委员会顾问

E. M. Beck	MACTEC Engin.eerin.g & Consultin.g
S. M. Duke	Florida Department of Transportation
G. J. Hill	G. J. Hill & Associates
J. H. Kiefer	ConocoPhillips Company (Retired)
D. L. McQuaid	D.L. McQuaid & Associates, Incorporated
K. J. Stein.hagen	PSI, Incorporated
R. W. Stieve	Parsons Corporation
T. W. Studebaker	St. Louis Testin.g
K. K. Verma	Consultant
J. L. Warren	CB&I

D1Q 螺柱焊接任务类分委员会

W. S. Houston, 主席	Pro-Weld Stud Weldin.g Associates
U. W. Aschemeier, 副主席	Subsea Global Solutions
H. A. Chambers	Consultant
D. A. Dunn	PSI, Incorporated
J. Guili	Tru-Weld Equipment Company
B. C. Hobson	Image Industries
J. E. Koski	Stud Weldin.g Products, Incorporated
D. R. Luciani	Canadian Weldin.g Bureau
C. W. Makar	Cox Industries
S. P. Moran	PDM Bridge, LLC

D1Q 螺柱焊接任务类分委员会(续)

P. Torchio, III	Williams Enterprises of Georgia, Incorporated
M. M. Tayarani	Massachusetts Department of Transportation (Retired)
J. L. Uebele	Waukesha County Technical College
P. Workman	Tru-Weld Equipment Company

D1Q 螺柱焊接任务类分委员会顾问

C. B. Champney	Nelson Stud Weldin.g
R. D. Campbell	Bechtel
J. Guili	Tru-Weld Equipment Company
S. Schraff	Nelson Stud Weldin.g
J. L. Warren	CB&I

D1Q 管材类常设任务组

J. J. Kenney, 主席	Shell International E & P
M. A. Grieco, 副主席	Massachusetts Department of Transportation
E. L. Bickford	Acute Technological Services
R. V. Clarke	TEAM Industrial Services, Incorporated
D. B. Ferrell	Ferrell Engin.eerin.g, Incorporated
R. B. Fletcher	Atlas Tube
P. A. Huckabee	Gill Engin.eerin.g Associates, Incorporated
L. A. Kloiber	LeJeune Steel Consultant
V. Kuruvilla	Genesis Quality Systems
P. W. Marshall	MHP Systems Engin.eerin.g
J. Mayne	Valmont Industries, Incorporated
J. A. Packer	University of Toronto
R. Sause	ATLSS Center Lehigh University

D1Q 管材类常设任务组顾问

J. J. Edwards	DOT Quality Services
M. J. Mayes	Mayes Testin.g Engin.eers, Incorporated
R. D. Medlock	High Steel Structures, LLC
T. L. Niemann	Min.nesota Department of Transportation
D. D. Rager	Rager Consultin.g, Incorporated
T. J. Schlafly	美国钢结构协会
A. W. Sin.del	Alstom Power Steam, Incorporated
J. L. Warren	CB&I

D1M 新材料类常设任务组

J. L. Warren, 主席	CB&I
T. J. Schlafly, 副主席	美国钢结构协会
W. P. Capers	Walt Disney World Company
D. A. Koch	Bechtel National, Incorporated
V. Kuruvilla	Genesis Quality Systems
R. D. Medlock	High Steel Structures, LLC
D. C. Phillips	Hobart Brothers Company
J. L. Schoen	Nucor-Yamato Steel

D1M 新材料类常设任务组顾问

B. M. Butler	Walt Disney World Company
C. W. Hayes	The Lincoln Electric Company
M. L. Hoitomt	Consultant
J. B. Pearson, Jr.	LTK Engineering Services
J. W. Post	J. W. Post & Associates, Incorporated
D. D. Rager	Rager Consulting, Incorporated
D. Rees-Evans	Steel Dynamics
A. W. Sindel	Alstom Power Steam, Incorporated

本页被故意留为空白。

前言

本前言并非 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，将其包含在其中的目的仅仅是提供资料性信息。

美国焊接学会于 1928 年出版了第 1 版建筑结构熔焊和气割规范，即规范 1 的第 A 部分。规范在 1930 年和 1937 年进行了修订，并且仍采用相同标题。规范在 1941 年再次进行了修订，并且被授予了代号 D1.0。规范 D1.0 在 1946 年、1963 年、1966 年和 1969 年又进行了修订。1965 年出版了 1963 版的修订版，1967 年出版了 1966 版的修订版。1972 年，规范与 D2.0 《公路和铁路桥梁焊接规范》合并，并且被授予了代号 D1.1，还冠以了新标题，即 AWS 结构焊接规范。D1.1 分别在 1975 年、1979 年、1980 年、1981 年、1982 年、1983 年、1984 年、1985 年、1986 年、1988 年、1990 年、1992 年、1994 年、1996 年、1998 年、2000 年、2002 年、2004 年、2006 年、2008 年和 2010 年再次进行了修订。第二次印刷的 D1.1:2010 出版于 2011 年。在 1972 年到 1988 年期间，D1.1 规范将建筑和桥梁焊接两个方面都纳入了其中。1988 年，AWS 出版了第一版 AASHTO/AWS D1.5 《桥梁焊接规范》；为了与这一规范保持一致，D1.1 规范将提到的建筑和桥梁结构分别变更为承受静荷载和动荷载的结构，以使文件在结构应用方面的适用范围变得更广。出版 2010 版之后，委员会决定将 AWS 钢结构焊接规范的修订周期从每 2 年修订一次变更为每 5 年修订一次。这样做的目的是使 AWS 钢结构焊接规范的出版周期与 AISC 钢建筑规范和国际建筑规范的出版周期保持同步。本 2015 版是 D1.1 的第 23 版。

章节、小节、表格或图中含有下划线的内容表示的是对 2010 版进行的变更。表格或图空白处的竖线表示的也是对 2010 版进行的变更。

下面是 D1.1/D1.1M:2015 中包含的作了最明显技术变更部分的摘要：

2015 版规范进行了改编。之前规范中通篇包含的管材的条款、表格和图现在被放在了标题为“管材”的第 9 节中。改编时对大量参考文件进行了变更，并且对小节、表格和图进行了重新编号。第 4 节中的很多表格都包含了与板材和管材有关的条款。如果表格被放在第 4 节，则仅包含与板材相关的信息；如果表格被放在第 9 节，则仅包含与管材相关的信息。对表格所包含的信息进行的这种分离也会导致表格的脚注发生很多变化。

第 1 节、第 7 节和第 8 节基本未受改编的影响。但第 2 节、第 3 节、第 4 节、第 5 节和第 6 节因改编而受到了很大影响。

变更摘要

章节/表格/图/附录	变更内容
第 2 节	与 2010 版相比,第 2 节的最明显变更之处是将标题为“管材连接设计的特殊要求(静荷载或循环荷载)”的 D 部分移到了第 9 节。
2.4.2.7	添加了与 PJP 喇叭形半 V 坡口焊缝和角焊缝组合的焊缝有效厚度的计算相关的附加描述。
2.9.3.5	要求在同一平面的对侧提供包覆焊缝,以便于进行密封焊。
表 2.5	对疲劳曲线示例和图进行了修订,以便与 AISC 360 保持一致。
3.7.4	修订了保护气体要求,以便采用按 AWS A5.36 分类的焊条。
3.13.2.1	增加了新的小节,该小节提供了在何种条件下可以使用除免评定 WPS 中规定的钢衬垫之外的其他衬垫。
表 3.1	重排了表格的格式,将填充金属移到了表 3.2 的相应分组中。 更新了免评定 WPS 中许用母材的清单,并且纠正了一些等级母材的组别。
表 3.2	增加了新表格,该表格包含了之前包含在表 3.1 中的信息,并且增加了按 AWS A5.36 分类的 FCAW 用碳钢焊条和低碳钢焊条及 GMAW 工艺用金属芯焊丝。
表 3.3	(之前的表 3.2)对母材进行了修订,以便与表 3.1 要求保持一致。
表 3.4	(之前的表 3.3)增加了 AWS A5.36。
表 3.7	(之前的表 3.6)阐明了 SAW 参数的变化情况。
图 3.2 和 3.3 注释	增加了注释“O”,以使在各个方向用 CJP 坡口焊接接头、T 形接头和角接头来连接构件。
图 3.5	增加了关于免评定角焊缝接头的新的细节。
图 3.6	增加了关于免评定 CJP 坡口焊接接头、T 形接头和角接接头的新的细节。
4.12.3	重新进行了调整,以更加方便阅读。
4.21	(之前的 4.25、4.26、4.30)改编了“评定范围”。
4.27.7	(之前的 4.36.7)阐明了对小尺寸试样进行试验时的 CVN 试验要求。

变更摘要(续)

章节/表格/图/附录	变更内容
表 4.1、4.2、4.3、 4.4、4.10 和 4.11	表格中包含的与管材相关的信息现在本放到了第 9 节的表格中。
表 4.5、4.6 和 4.9	增加了按 AWS A5.36 分类的焊条的条款。
5.3.2.5	增加了用低氢焊条焊接 ASTM A514 和 A517 钢材时的烘焙要求和说明。
5.3.4	改编了 GMAW 和 FCAW 的 AWS 焊缝金属要求, 并且增加了 AWS A5.36。
5.6	给出了与预热温度和道间温度相关的说明。
5.7	将关于气刨的描述移到了 5.14.6 和 5.25。
5.8.1	进行了修订, 以便阐明要求。
5.8.3	删除了 ASTM A709 100 (690)和 100W (690W), 并且纳入了按 ASTM 要求分类的 ASTM A709 级 HPS 100W [HPS 690W]。
5.9	(删除了之前标题为“衬垫、背面保护气体或插片”的 5.9) (之前的 5.10)重新进行了组织, 以阐明要求。
5.9.1.3	(之前的 5.10.3)修订了“衬垫厚度”, 以给出足以防止熔穿的钢衬垫厚度要求。之前规定的具体厚度被作为推荐厚度移到了条文说明中。
5.14.1~5.14.4	(之前的 5.15)对基底清洁度要求作了大幅修订。
5.14.6	(之前的 5.15.2)进行了修订, 以阐明何时允许进行气刨。
5.17.2	(之前的 5.18.2)进行了修订, 以说明在何时会将梁或大梁受拉翼缘板到腹板的深度视为落在受拉区域之外。
5.19	(之前的 5.20)修订了与构件和元件的拼接位置及顺序相关的要求。
5.25	(之前的 5.26)进行了修订, 以限制对轧制状态钢材进行气刨。
表 5.8	(之前的表 5.9)对注释 c 进行了修订, 以说明焊缝在何时不受余高和凸度的限制。
表 5.9	(之前的表 5.10)删除了序列 D 中外侧角接接头的最大容许凸度, 并且对表格中关于凸度限制脚注 b 进行了修订, 将其替换为关于凹度的注释, 而且该注释现在适用于序列 B 和序列 D。

变更摘要(续)

章节/表格/图/附录	变更内容
6.4.2	进行了修订,以阐明在工作不满足规范要求时,焊工、焊接操作工或定位焊工必须做出哪些证明。
6.4.3	进行了修订,以纳入定位焊工。
6.10	将“适用要求”替换为“验收准则”。
6.11	移除了 ASTM A709 级 100 和 100W,并且纳入了 ASTM A709 级 HPS 100W [HPS 690W]。
6.21.1	(之前的 6.22.1)在新的表 6.8 中增加了参考资料,以给出鉴定和校准要求。
6.24.2	进行了修订,以阐明应在何时对灵敏度和水平扫描距离进行校准。
表 6.1	移除了 ASTM A709 级 100 和 100W,并且纳入了 ASTM A709 级 HPS 100W [HPS 690W]。
表 6.4 和表 6.5	移除了与管材相关的条款(这些条款现在被包含了第 9 节的表格中)。
表 6.8	增加了新表格,以阐明 UT 设备鉴定和校准要求。
第 9 节	被移到第 9 节中的 2010 版规范的管材要求基本没有什么变化。
9.6.1.6	(之前的 2.25.1.6)修订了 l_2 的定义,以删除“弦长”一词。
9.18	(之前的 4.21)进行了修订,以阐明什么类型的焊缝无需进行评定。
表 9.1	利用之前版本的表 2.5 中包含的管材要求建立了新的表格。与非管材构件相关的内容仍被包含在表 2.5 中。
表 9.9、9.10、9.11、9.12、9.13 和 9.14	利用之前版本的第 4 节中包含的管材要求建立了新的表格。与非管材构件相关的内容仍被包含在第 4 节中。
表 9.16、9.17、9.18 和 9.19	利用之前版本的第 6 节中包含的管材要求建立了新的表格。与非管材构件相关的内容仍被包含在第 6 节中。
表 9.5	(之前的表 2.9)增加了脚注“a”,以阐明要求。
图 9.6	(之前的图 2.18)修订了图中的尺寸,以阐明要求。
图 9.29	(之前的图 6.4)、修订了校准,以删除 T 形、Y 形和 K 形连接的描述。
图 9.30	(之前的图 6.5)删除了图中给出中的忽略扫查线之下的不连续的注释,并且标出了指示累积不连续的箭头,以阐明要求。

变更摘要(续)

章节/表格/图/附录	变更内容
附录 A	增加了附图，以阐明各种类型焊缝及焊缝组合的有效厚度。
附录 I	(之前的附录 J)修订了符号 l_2 、 r_m 、 t_w 的定义，并且增加了新符号 r_w 及其定义，以便与图 9.6 所作的变更保持一致。
附录 J	(之前的附录 K)术语和定义附录现在被视为是规范性附录，这意味着它们包含了与本规范结合使用的强制性要素。还增加了新术语“fin.”和“无损检测(NDT)”。
附录 M	(之前的附录 N)对焊接表格范例进行了大幅修订，以阐明要求。
附录 R	本版删除了标题为“安全规程”的附录 R。第 1 节提到的读者可参考其他出版物中的安全条款。
附录 U	增加了与 AWS A5.36 填充金属分类和性能相关的新附录。

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 章节汇总

D1.1:2010 的章节	D1.1:2015 的章节和标题
2.20	9.1 概述
2.21	9.2 许用应力
2.20.1	9.2.1 偏心度
2.21.1	9.2.2 母材应力
2.21.2	9.2.3 管材截面的限制
2.21.3	9.2.4 焊缝应力
2.21.4	9.2.5 纤维应力
2.21.5	9.2.6 荷载与抗力系数设计
2.21.6	9.2.7 圆管接头的疲劳
2.21.6.1	9.2.7.1 应力范围和构件类型
2.21.6.2	9.2.7.2 疲劳应力类别
2.21.6.3	9.2.7.3 基本许用应力限制

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 章节汇总(续)

D1.1:2010 的章节	D1.1:2015 的章节和标题
2.21.6.4	9.2.7.4 累积损伤
2.21.6.5	9.2.7.5 关键构件
2.21.6.6	9.2.7.6 疲劳性能改善
2.21.6.7	9.2.7.7 尺寸和剖面形状的影响
2.22	9.3 标记
2.23	9.4 符号
2.24	9.5 焊缝设计
2.24.1	9.5.1 角焊缝
2.24.1.1	9.5.1.1 有效面积
2.24.1.2	9.5.1.2 免评定细节的 β 限值
2.24.1.3	9.5.1.3 搭接接头
2.24.2	9.5.2 坡口焊缝
2.24.2.1	9.5.2.1 免评定 PJP 坡口焊缝细节
2.24.2.2	9.5.2.2 T 形、Y 形和 K 形连接中不用衬垫从一面施焊的免评定 CJP 坡口焊缝细节
2.24.3	9.5.3 焊缝中的应力
2.24.4	9.5.4 圆管连接长度
2.24.5	9.5.5 箱型管连接长度
2.24.5.1	9.5.5.1 K 形和 N 形连接
2.24.5.2	9.5.5.2 T 形、Y 形和 X 形连接
2.25	9.6 焊接连接的强度限定
2.25.1	9.6.1 圆管的 T 形、Y 形和 K 形连接
2.25.1.1	9.6.1.1 局部破坏
2.25.1.2	9.6.1.2 整体毁坏
2.25.1.3	9.6.1.3 非均布荷载(焊缝尺寸测定)

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 章节汇总(续)

D1.1:2010 的章节	D1.1:2015 的章节和标题
2.25.1.4	9.6.1.4 过渡
2.25.1.5	9.6.1.5 其他结构形式和荷载
2.25.1.6	9.6.1.6 搭接连接
2.25.2	9.6.2 箱型管的 T 形、Y 形和 K 形连接
2.25.2.1	9.6.2.1 局部破坏
2.25.2.2	9.6.2.2 整体毁坏
2.25.2.3	9.6.2.3 非均布荷载(有效宽度)
2.25.2.4	9.6.2.4 搭接连接
2.25.2.5	9.6.2.5 弯曲
2.25.2.6	9.6.2.6 其他结构形式
2.26	9.7 厚度过渡
2.27	9.8 材料限定
2.27.1	9.8.1 限定
2.27.1.1	9.8.1.1 屈服强度
2.27.1.2	9.8.1.2 降低的有效屈服强度
2.27.1.3	9.8.1.3 箱型管的 T 形、Y 形和 K 形连接
2.27.1.4	9.8.1.4 ASTM A500 注意事项
2.27.2	9.8.2 管材连接的母材缺口韧性
2.27.2.1	9.8.2.1 CVN 试验要求
2.27.2.2	9.8.2.2 LAST 要求
2.27.2.3	9.8.2.3 其他缺口韧性
3.9	9.9 角焊缝要求
3.9.2	9.9.1 细节
3.12	9.10 PJP 要求
3.12.4	9.10.1 细节

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 章节汇总(续)

D1.1:2010 的章节	D1.1:2015 的章节和标题
3.12.4.1	9.10.1.1 匹配的箱型管连接
3.13	9.11 CJP 坡口焊缝要求
3.13.4	9.11.1 对接接头
3.13.5	9.11.2 管材 T 形、Y 形和 K 形连接
3.13.5.1	9.11.2.1 接头细节
4.3	9.12 WPS 和焊接人员技能评定的通用要求
4.3.4	9.12.1 焊缝位置
4.4	9.13 评定的产品焊接位置
4.5、4.9、	
4.9.1.1(6)(b)、	9.14 WPS 评定的评定试验类型、试验方法及验收准则
4.9.2.1	
4.13	9.15 管材连接的 CJP 坡口焊缝
4.13.1	9.15.1 加衬垫或背面清根的 CJP 对接接头
4.13.2	9.15.2 不用衬垫仅从一面施焊的 CJP 对接接头
4.13.3	9.15.3 加衬垫或背面清根的 T 形、Y 形或 K 形连接
4.13.4	9.15.4 不用衬垫仅从一面施焊的 T 形、Y 形或 K 形连接
4.13.4.1	9.15.4.1 不符合免评定要求的 WPS
4.13.4.2	9.15.4.2 二面角小于 30°的 T 形、Y 形或 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的 WPS
4.13.4.3	9.15.4.3 采用 GMAW-S 的 T 形、Y 形或 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的 WPS
4.13.4.4	9.15.4.4 要求具备 CVN 韧性的焊件
4.14	9.16 管材 T 形、Y 形或 K 形连接和对接接头的 PJP 及角焊缝
4.19.1	9.17 评定的产品焊接位置、厚度和直径
4.19.1.1, 4.19.2.1	9.17.1 焊工和焊接操作工
4.19.2.2, 4.20.2.1	9.17.2 定位焊工
4.21	9.18 焊工和焊接操作工技能评定用焊缝类型

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 章节汇总(续)

D1.1:2010 的章节	D1.1:2015 的章节和标题
4.27	9.19 管材连接的 CJP 坡口焊缝
4.27.1	9.19.1 其他接头细节或 WPS
4.28	9.20 管材连接中 PJP 的坡口焊缝
4.29	9.21 管材连接的角焊缝
4.31	9.22 焊工和焊接操作工评定的试验方法及验收准则
4.31.2.2	9.22.1 T 形、Y 形和 K 形连接的宏观腐蚀试验
4.31.2.3(3)	9.22.1.1 宏观腐蚀试验的验收准则
4.31.3.1	9.22.2 RT 检测工艺和技术
5.10	9.23 衬垫
5.10.2	9.23.1 全长衬垫
5.22	9.24 接头尺寸公差
5.22.3.1	9.24.1 环形焊缝对齐(管材)
5.22.4	9.24.2 坡口尺寸
5.22.4.2	9.24.2.1 管材横截面的变化
6.9	9.25 目视检验
6.11	9.26 NDT
6.7	9.26.1 范围
6.11.1	9.26.2 管材连接要求
6.13	9.27 UT
6.13.3	9.27.1 管材连接的验收准则
6.13.3.1	9.27.1.1 R 级(适用于用 UT 代替 RT 的情况)
6.13.3.2	9.27.1.2 X 级(以经验为基础且符合目标要求的验收准则,适用于结构中的 T 形、Y 形和 K 形连接及有缺口韧性要求的焊件)
6.17	9.28 RT 工艺
6.17.1	9.28.1 工艺

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 章节汇总(续)

D1.1:2010 的章节	D1.1:2015 的章节和标题
6.17.7	9.28.2 IQI 的选用和放置
6.18	9.29 管材连接的 RT 补充要求
6.18.1	9.29.1 对接接头中的环向坡口焊缝
6.18.1.1	9.29.1.1 单壁透照/单壁成像
6.18.1.2	9.29.1.2 双壁透照/单壁成像
6.18.1.3	9.29.1.3 双壁透照/双壁成像
6.27	9.30 T 形、Y 形和 K 形连接的 UT
6.27.1	9.30.1 工艺规程
6.27.2	9.30.2 人员
6.27.3	9.30.3 校准
6.27.3.1	9.30.3.1 量程
6.27.3.2	9.30.3.2 灵敏度校准
6.27.4	9.30.4 母材检检查
6.27.5	9.30.5 焊缝扫查
6.27.6	9.30.6 最佳角度
6.27.7	9.30.7 不连续评价
6.27.8	9.30.8 报告
6.27.8.1	9.30.8.1 表格
6.27.8.2	9.30.8.2 报告的不连续
6.27.8.3	9.30.8.3 未完成的检测
6.27.8.4	9.30.8.4 参考标记

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 表格汇总

D1.1:2010 的表格	D1.1:2015 的表格和标题
2.5	9.1 疲劳应力设计参数
2.6	9.2 管材连接焊缝中的许用应力

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 表格汇总(续)

D1.1:2010 的表格	D1.1:2015 的表格和标题
2.7	9.3 圆截面材料不同类型和部位的应力类别
2.8	9.4 疲劳类型对焊缝尺寸或厚度及焊缝剖面形状的限制(管材连接)
2.9	9.5 计算管材 T 形、Y 形和 K 形连接中免评定 PJP 最小焊缝尺寸的折减尺寸 Z
2.10	9.6 连接强度用术语(圆形截面)
3.5	9.7 管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CIP 的免评定细节
3.6	9.8 采用 SMAW、GMAW-S 和 FCAW 制作的管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头尺寸及坡口角度
4.1	9.9 WPS 评定—利用板材、管材和箱型管试验评定的产品焊接位置
4.2	9.10 WPS 评定—CJP 坡口焊缝：所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围
4.3	9.11 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；PJP 坡口焊缝
4.4	9.12 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；角焊缝
4.10	9.13 焊工和焊接操作工技能评定—采用管子和箱型管试验评定产品焊接位置
4.11	9.14 焊工和焊接操作工技能评定—所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围
5.5	9.15 不采用衬垫焊接的对接接头的根部间隙公差
6.1	9.16 目视检验的验收准则
6.4	9.17 孔型 IQI 的要求
6.5	9.18 线型 IQI 的要求
6.6	9.19 IQI 的选择和放置

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 附图汇总

D1.1:2010 的附图	D1.1:2015 的附图和标题
2.13	9.1 应力类别的容许疲劳应力和应变范围及在大气中使用的管材
2.14	9.2 管材连接的组成部分
2.15	9.3 角焊缝焊接的搭接接头(管材)
2.16	9.4 管材 T 形、Y 形和 K 形连接的角焊缝投影半径
2.17	9.5 冲切剪应力
2.18	9.6 搭接接头细节
2.19	9.7 箱型截面 T 形、Y 形和 K 形连接的限制
2.20	9.8 搭接的 K 形连接
2.21	9.9 不等壁厚零件中对接接头的厚度过渡(管材)
3.2	9.10 采用 SMAW、GMAW 和 FCAW 制作的角焊缝焊接免评定管材连接
3.5	9.11 管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 PJP 的免评定接头细节
3.6	9.12 管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 的免评定接头细节
3.7	9.13 管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 的定义和详细选择要求
3.8	9.14 管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—有限厚度的标准平面状断面形状
3.9	9.15 管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—中等厚度带趾角焊缝的断面形状
3.10	9.16 管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—存在厚截面或疲劳要求时的改进下凹形断面形状
4.4	9.17 管材坡口焊缝的试验位置
4.6	9.18 管材角焊缝的试验位置
4.7	9.19 焊接试管上的取样位置—WPS 评定
4.8	9.20 焊接箱型管上的取样位置—WPS 评定
4.20	9.21 管材角焊缝的完好性试验—WPS 评定

移到 D1.1:2015 第 9 节的 D1.1:2010 附图汇总(续)

D1.1:2010 的附图	D1.1:2015 的附图和标题
4.24	9.22 管材对接接头—焊工技能评定(用/不用衬垫)
4.25	9.23 管材对接接头—WPS 评定(用/不用衬垫)
4.26	9.24 锐角根部试验(未标出限制条件)
4.27	9.25 圆管或箱型管(外径 ≥ 6 in.[150mm])上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)的试验用接头—焊工技能评定和 WPS 评定
4.28	9.26 圆管或箱型管(外径 < 4 in. [100 mm])上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)的试验用接头—焊工技能评定和 WPS 评定
4.29	9.27 箱型管上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)中 CJP 坡口焊缝宏观腐蚀试验用接头—焊工技能评定和 WPS 评定
4.34	9.28 焊接圆管和箱型管的取样位置—焊工技能评定
6.4	9.29 R 类指示
6.5	9.30 X 类指示
6.13	9.31 单壁透照-单壁成像
6.14	9.32 双壁透照-单壁成像
6.15	9.33 双壁透照-双壁(椭圆形)成像, 最少曝光两次
6.16	9.34 双壁透照-双壁成像, 最少曝光三次
6.22	9.35 扫查技术

AWS B4.0《焊缝力学性能试验的标准方法》规定了试样制备的补充细则和试验夹具结构形式的详细要求。

条文说明。条文说明是非强制性的, 仅用来提供理论基础方面的深刻见解。

规范性附录。这些附录阐述了本规范中的特定主题, 并且其中包含的用于补充规范条款的要求均是必须遵守的要求。

资料性附录。这些附录并非规范的要求, 但通过举例、提供资料及提出其他良好惯例的方式来阐明规范的条款。

索引。与以前的规范一样, 索引中的条目是按照小节编号给出的, 而非页码, 这样可使索

引的用户在最短时间内找到其所关注的特定内容。

勘误。结构焊接委员会的政策是向规范用户提供所有勘误单。因此，任何重要勘误都将被刊登在焊接期刊协会新闻栏内，并且会被放在 AWS 网页上：<http://www.aws.org/technical/d1/>。

建议。欢迎您提出改进 AWS D1.1/D1.1M:2015《钢结构焊接规范》的意见。请将意见呈交美国焊接协会技术服务部门的经理，地址：8669 NW 36 St,# 130, Miami, FL 33166；电话：(305) 443-9353；传真：(305) 443-5951；电子邮件 in.fo@aws.org；或通过 AWS 网址<<http://www.aws.org>>呈交。

本页被故意留为空白。

目录表

	页码
献辞.....	5
人员名单.....	7
前言.....	18
表格清单.....	43
附图清单.....	47
1.0 总则.....	56
1.1 适用范围.....	56
1.2 限制条件.....	56
1.3 定义.....	57
1.4 职责.....	58
1.5 批准.....	58
1.6 焊接符号.....	59
1.7 安全防护措施.....	59
1.8 标准计量单位.....	59
1.9 参考文件.....	59
2. 焊接连接的设计.....	61
2.1 范围.....	61
A 部分 焊接连接设计的通用要求(非管材和管材构件).....	61
2.2 概述.....	61
2.3 合同图纸和技术规范.....	61
2.4 有效面积.....	63
B 部分 非管材连接设计的具体要求(静荷载或循环荷载).....	66
2.5 概述.....	66
2.6 应力.....	66
2.7 接头形状和细节.....	68

2.8 接头形状和细节—坡口焊缝.....	69
2.9 接头形状和细节—角焊缝焊接的接头.....	70
2.10 接头形状和细节—塞焊缝或槽焊缝.....	71
2.11 填板.....	71
2.12 组装构件.....	72
C 部分 非管材连接设计的具体要求(循环荷载).....	72
2.13 概述.....	72
2.14 局限性.....	73
2.15 应力的计算.....	73
2.16 许用应力和应力范围.....	73
2.17 细节设计、制作和安装.....	76
2.18 禁用的接头和焊缝.....	77
2.19 检验.....	78
3. WPS 的免评定.....	107
3.1 范围.....	107
3.2 焊接工艺.....	107
3.3 母材/填充金属组合.....	107
3.4 辅助附件的工程师批准.....	108
3.5 最低预热温度和道间温度要求.....	108
3.6 WPS 参数的限制.....	109
3.7 WPS 的通用要求.....	109
3.8 并列双丝和多丝埋弧焊的通用要求.....	110
3.9 角焊缝要求.....	110
3.10 塞焊缝和槽焊缝要求.....	111
3.11 PJP 和 CJP 坡口焊缝的通用要求.....	111
3.12 PJP 要求.....	111
3.13 CJP 坡口焊缝要求.....	112

3.14 焊后热处理.....	112
4. 评定.....	178
4.1 范围.....	178
A 部分—通用要求.....	178
4.2 概述.....	178
4.3 WPS 评定和焊接人员技能评定的通用要求.....	179
B 部分 焊接工艺规程(WPS)评定.....	180
4.4 评定的产品焊接位置.....	180
4.5 评定试验的类型.....	180
4.6 WPS 评定用焊缝类型.....	180
4.7 WPS 的编制.....	180
4.8 基本参数.....	180
4.9 WPS 评定的试验方法及验收准则.....	181
4.10 CJP 坡口焊缝.....	184
4.11 PJP 坡口焊缝.....	184
4.12 角焊缝.....	185
4.13 塞焊缝和槽焊缝.....	186
4.14 需评定的焊接工艺.....	186
C 部分 技能评定.....	187
4.15 概述.....	187
4.16 所需评定试验的类型.....	187
4.17 焊工和焊接操作工技能评定用的焊缝类型.....	188
4.18 技能评定表格的准备.....	188
4.19 基本参数.....	189
4.20 非管材连接的 CJP 坡口焊缝.....	189
4.21 评定的范围.....	189
4.22 焊工和焊接操作工评定的试验方法和验收准则.....	190

4.23 定位焊工评定的试验方法和验收准则.....	191
4.24 复验.....	191
D 部分 CVN 试验要求.....	192
4.25 概述.....	192
4.26 试验部位.....	192
4.27 CVN 试验.....	193
4.28 试验要求.....	194
4.29 复验.....	194
4.30 报告.....	194
5. 制作.....	243
5.1 范围.....	243
5.2 母材.....	243
5.3 焊接材料和焊条要求.....	243
5.4 ESW 和 EGW 工艺.....	246
5.5 WPS 参数.....	247
5.6 预热温度和道间温度.....	247
5.7 调质钢的热输入控制.....	247
5.8 应力消除热处理.....	247
5.9 衬垫.....	248
5.10 焊接和切割设备.....	249
5.11 焊接环境.....	249
5.12 设计要求的符合性.....	250
5.13 角焊缝最小尺寸.....	250
5.14 母材的准备.....	250
5.15 凹角.....	253
5.16 过焊孔、梁切口和连接材料.....	253
5.17 定位焊缝和结构辅助焊缝.....	254

5.18 组装构件的拱度.....	255
5.19 拼接.....	255
5.20 变形和收缩的控制.....	255
5.21 接头尺寸公差.....	256
5.22 焊接结构构件的尺寸公差.....	257
5.23 焊缝剖面形状.....	262
5.24 塞焊缝和槽焊缝制作技术.....	262
5.25 修补.....	263
5.26 锤击.....	265
5.27 捻缝.....	265
5.28 电弧击伤.....	265
5.29 焊缝清理.....	265
5.30 引弧板.....	266
6. 检验.....	280
A 部分 通用要求.....	280
6.1 范围.....	280
6.2 材料和设备的检验.....	281
6.3 WPS 评定检验.....	281
6.4 焊工、焊接操作工和定位焊工技能评定的检验.....	282
6.5 工作检验和记录.....	282
B 部分 承包商职责.....	282
6.6 承包商的义务.....	282
C 部分 验收准则.....	283
6.7 范围.....	283
6.8 替代验收准则的工程师批准.....	283
6.9 目视检验.....	283
6.10 渗透检测(PT)和磁粉检测(MT).....	284

6.11 无损检测(NDT).....	284
6.12 射线检测(RT).....	284
6.13 超声检测(UT).....	286
D 部分 NDT 工艺.....	288
6.14 工艺.....	288
6.15 检测范围.....	288
E 部分 射线检测(RT).....	289
6.16 对接接头坡口焊缝的 RT.....	289
6.17 RT 工艺.....	289
6.18 射线照相的检查、报告和处理.....	292
F 部分 坡口焊缝的超声检测(UT).....	292
6.19 概述.....	292
6.20 资格评定要求.....	293
6.21 UT 设备.....	293
6.22 参考试块.....	294
6.23 设备鉴定.....	294
6.24 检测时的校准.....	295
6.25 检测程序.....	296
6.26 报告的编制和处理.....	298
6.27 采用 IIW 型或其他批准参考试块校准 UT 设备(附录 G).....	299
6.28 设备鉴定方法.....	300
6.29 不连续尺寸的评估程序.....	303
6.30 扫查方式(见图 6.16).....	304
6.31 dB 精度鉴定示例.....	304
G 部分 其他检查方法.....	304
6.32 一般要求.....	304
6.33 辐射成像系统.....	304

6.34 高级超声系统.....	305
6.35 附加要求.....	306
7. 螺柱焊.....	344
7.1 范围.....	344
7.2 通用要求.....	344
7.3 力学性能要求.....	345
7.4 做工/制作.....	345
7.5 技术.....	346
7.6 螺栓应用评定要求.....	347
7.7 生产控制.....	348
7.8 制作和鉴定检验要求.....	350
7.9 制造商的螺柱焊接端评定要求.....	350
8. 现有结构的加固和修补.....	359
8.1 一般要求.....	359
8.2 母材.....	359
8.3 加固和修补设计.....	359
8.4 延长疲劳寿命.....	360
8.5 做工和技术.....	360
8.6 质量.....	361
9. 管材.....	362
9.1 概述.....	362
A 部分—管材连接的设计.....	362
9.2 许用应力.....	362
9.3 标记.....	364
9.4 符号.....	364
9.5 焊缝设计.....	364
9.6 焊接连接的强度限定.....	367

9.7 厚度过渡.....	376
9.8 材料限定.....	376
B 部分 免评定焊接工艺规程(WPS).....	377
9.9 角焊缝要求.....	377
9.10 PJP 要求.....	377
9.11 CJP 坡口焊缝要求.....	378
C 部分 焊接工艺规程(WPS)的评定.....	378
9.12 WPS 和焊接人员技能评定的通用要求.....	378
9.13 评定的产品焊接位置.....	379
9.14 WPS 评定的评定试验类型、试验方法及验收准则.....	379
9.15 管材连接的 CJP 坡口焊缝.....	379
9.16 T 形、Y 形或 K 形连接和对接接头的 PJP 及角焊缝.....	381
D 部分 技能评定.....	381
9.17 评定的产品焊接位置、厚度和直径.....	381
9.18 焊工和焊接操作工技能评定用焊缝类型.....	382
9.19 管材连接的 CJP 坡口焊缝.....	382
9.20 管材连接的 PJP 坡口焊缝.....	383
9.21 管材连接的角焊缝.....	383
9.22 焊工和焊接操作工评定的试验方法及验收准则.....	383
E 部分 制作.....	384
9.23 衬垫.....	384
9.24 接头尺寸公差.....	384
F 部分 检验.....	385
9.25 目视检验.....	385
9.26 NDT.....	385
9.27 UT.....	385
9.28 RT 工艺.....	386

9.29 管材连接的 RT 补充要求.....	386
9.30 T 形、Y 形和 K 形连接的 UT.....	387

附录

附录 A (规范性附录) 焊缝有效厚度(E).....	444
附录 B (规范性附录)斜 T 形接头中角焊缝的焊缝有效厚度	448
附录 D (规范性附录)大梁腹板的平直度—承受静荷载的结构	452
附录 E (规范性附录)大梁腹板的平直度—承受循环荷载的结构.....	457
附录 F (规范性附录)温度-湿度曲线图.....	464
附录 G (规范性附录)采用其他批准参考试块鉴定和校准 UT 探伤仪.....	468
附录 H (规范性附录)确定预热温度的替代方法指南.....	473
附录 I (规范性附录)管材连接焊缝设计符号.....	487
附录 J (规范性附录)术语和定义.....	489
附录 K (资料性附录)规范编写者指南.....	504
附录 L (资料性附录)UT 设备鉴定和检验表格	506
附录 M (资料性附录)焊接表格示例.....	516
附录 N (资料性附录)向结构焊接委员会进行技术查询的准备工作指南.....	538
附录 O (资料性附录)局部二面角	540
附录 P (资料性附录)免评定 WPS 的内容.....	546
附录 Q (资料性附录)采用替代技术进行的焊缝 UT 检查.....	548
附录 R (资料性附录)椭圆参数 α	567
附录 S (资料性附录)参考文件清单.....	570
附录 T (资料性附录)填充金属强度性能.....	573
附录 U (资料性附录)AWS A5.36 填充金属分类和性能.....	585
条文说明.....	603
前言.....	605
Index.....	756
AWS 结构焊接文件一览表.....	772

表格清单

表格

表 2.1 填平喇叭形坡口焊缝的有效尺寸.....	78
表 2.2 折减尺寸 Z(非管材).....	78
表 2.3 许用应力.....	79
表 2.4 承受倾斜荷载的角焊缝的当量强度系数.....	80
表 2.5 疲劳应力设计参数.....	81
表 3.1 免评定 WPS 的批准母材.....	113
表 3.2 表 3.1 中 I、II、III 和 IV 组别匹配强度的填充金属—SMAW 和 SAW.....	119
表 3.3 免评定最低预热温度和道间温度.....	123
表 3.4 裸露耐候钢所用填充金属的要求.....	127
表 3.5 免评定 PJP 焊缝的最小尺寸(E).....	128
表 3.6 免评定 WPS 的要求.....	129
表 3.7 免评定 WPS 参数.....	130
表 4.1 WPS 评定—利用板材、管材和箱型管试验评定的产品焊接位置.....	195
表 4.2 WPS 评定—CJP 坡口焊缝：所评定试样的数量和类型及厚度和直径范围.....	196
表 4.3 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；PJP 坡口焊缝.....	198
表 4.4 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；角焊缝.....	198
表 4.5 要求重新评定 WPS 的 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 用 PQR 基本参数的变化.....	199
表 4.6 要求重新评定 WPS 的 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 的 CVN 试验用 PQR 补充性基本参数的变化.....	203
表 4.7 要求重新评定 WPS 的 ESW 或 EGW 的 PQR 补充性基本参数的变化.....	204
表 4.8 采用 PQR 评定的表 3.1、表 4.9 所列及未列钢材.....	206
表 4.9 规范批准且需按第 4 节要求进行评定的母材和填充金属.....	207
表 4.10 焊工和焊接操作工评定—利用板材、管材和箱型管试验评定的焊接位置.....	213
表 4.11 焊工和焊接操作工评定—所评定试样的数量和类型及厚度和直径范围.....	214

表 4.12 焊接人员技能评定中需重新评定的基本参数变化.....	216
表 4.13 焊条分类组别.....	216
表 4.14 CVN 试验要求.....	217
表 4.15 CVN 试验温度的降低.....	218
表 5.1 低氢焊条的容许大气暴露时间.....	267
表 5.2 最低保温时间.....	267
表 5.3 其他应力消除热处理.....	268
表 5.4 切割表面上轧制引起的层状缺陷的允许限度和修补.....	268
表 5.5 典型大梁的拱度公差.....	269
表 5.6 无设计混凝土壳板的大梁的拱度公差.....	269
表 5.7 角焊缝最小尺寸.....	270
表 5.8 焊缝剖面形状.....	270
表 5.9 焊缝剖面形状方案.....	271
表 6.1 目视检验的验收准则.....	308
表 6.2 UT 验收准则—拒收准则(承受静荷载的受压非管材连接和承受循环荷载的受压非管材连接).....	309
表 6.3 UT 验收-拒收准则(承受循环荷载的受压非管材连接).....	310
表 6.4 孔型 IQI 要求.....	311
表 6.5 线型 IQI 要求.....	311
表 6.6 IQI 的选择和放置.....	312
表 6.7 检测角度.....	313
表 6.8 UT 设备鉴定和校准要求.....	316
表 7.1 螺柱的力学性能要求.....	353
表 7.2 小直径螺柱的最小角焊缝尺寸.....	353
表 9.1 疲劳应力设计参数.....	390
表 9.2 管材连接焊缝的许用应力.....	391
表 9.3 圆截面材料不同类型和部位的应力类别.....	393

表 9.4 疲劳类型对焊缝尺寸或厚度及焊缝剖面形状的限制(管材连接).....	395
表 9.5 计算管材 T 形、Y 形和 K 形连接中免评定 PJP 最小焊缝尺寸的折减尺寸 Z.....	395
表 9.6 连接强度用术语(圆形连接).....	396
表 9.7 免评定 CJPT 形、Y 形和 K 形管材连接接头细节的应用.....	397
表 9.8 采用 SMAW、GMAW-S 和 FCAW 制作的管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头尺寸及坡口角度.....	398
表 9.9 WPS 评定—利用板材、管材和箱型管试验评定的产品焊接位置.....	399
表 9.10 WPS 评定—CJP 坡口焊缝：所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围.....	400
表 9.11 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；PJP 坡口焊缝.....	402
表 9.12 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；角焊缝.....	402
表 9.13 焊工和焊接操作工技能评定—采用管子和箱型管试验评定产品焊接位置.....	403
表 9.14 焊工和焊接操作工技能评定—所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围.....	404
表 9.15 不采用衬垫焊接的对接接头的根部间隙公差.....	407
表 9.16 目视检验的验收准则.....	408
表 9.17 孔型 IQI 要求.....	409
表 9.18 线型 IQI 要求.....	409
表 9.19 IQI 的选择和放置.....	410
表 B.1 斜 T 形结构的等效角焊缝焊角尺寸系数.....	449
表 D.1 腹板两侧的加劲肋.....	453
表 D.2 无中间加劲肋.....	454
表 D.3 仅腹板一侧有中间加劲肋.....	455
表 E.1 腹板两侧都有中间加劲肋(内部大梁).....	458
表 E.2 仅腹板一侧有中间加劲肋(挑口装饰大梁).....	459
表 E.3 腹板一侧有中间加劲肋(内部大梁).....	460
表 E.4 腹板两侧都有中间加劲肋(挑口装饰大梁).....	461
表 E.5 无中间加劲肋(内部大梁或挑口装饰大梁).....	462
表 H.1 作为氢含量“H”和成分参量 Pcm 函数的敏感度指数分组.....	478

表 H.2 三个拘束度等级的最低预热温度和道间温度.....	479
表 Q.1 验收-拒收准则.....	556
表 U.1 按固定分类要求分类的 AWS A5.36/A5.36M 碳钢焊条分类.....	587
表 U.2 AWS A5.36/A5.36M 拉伸试验要求.....	588
表 U.3 AWS A5.36/A5.36M 夏比冲击试验要求.....	589
表 U.4 焊条可用性特征.....	590
表 U.5 AWS A5.36/A5.36M 的保护气体成分要求.....	592
表 U.6 焊缝金属化学成分要求.....	593
表 U.7 可选补充代号“D”的 AWS A5.20/A5.20M 工艺要求.....	596
表 U.8 可选补充代号“D”的 AWS A5.36/A5.36M 工艺要求.....	596
表 U.9 多焊道 FCAW 及 GMAW 金属芯焊丝的 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 规范分类与 AWS A5.36 固定分类和开放分类的对比.....	597
条文说明	
表 C-3.1 钢材 GMAW-S 的典型电流范围.....	645
表 C-8.1 焊接合适性指南.....	707
表 C-8.2 板材厚度和磨头半径之间的关系.....	707
表 C-9.1 管材直径/厚度和平面宽度/厚度限值的综述.....	738
表 C-9.2 推荐的设计系数.....	739
表 C-9.3 JD 值.....	740
表 C-9.4 结构钢板.....	740
表 C-9.5 结构钢管和管状型材.....	741
表 C-9.6 结构钢型材.....	742
表 C-9.7 应用分类模型.....	743
表 C-9.8 CVN 试验条件.....	743
表 C-9.9 CVN 试验值.....	744
表 C-9.10 HAZ CVN 试验值.....	744

附图清单

附图

图 2.1—搭接接头中沿着边缘的角焊缝的最大尺寸.....	98
图 2.2—厚度不相等的零件中对接接头的过渡(承受循环荷载的非管材).....	99
图 2.3—厚度过渡(承受循环荷载的非管材).....	100
图 2.4—承受横向荷载的角焊缝.....	100
图 2.5—板材或扁钢构件端部纵向角焊缝的最小长度.....	100
图 2.6—受拉棱边附近的焊缝终点.....	101
图 2.7—柔性连接处的端部绕焊.....	101
图 2.8—共同平面相对两侧的角焊缝.....	102
图 2.9—拼接接头中的薄填板.....	102
图 2.10—拼接接头中的厚填板.....	103
图 2.11—非管材连接中循环(疲劳)荷载的许用应力范围(表 2.5 的图示).....	104
图 2.12—宽度的过渡(承受循环荷载的非管材).....	105
图 3.1—深度和宽度超过焊缝面宽度的焊道.....	132
图 3.2—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节.....	135
图 3.3—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节.....	151
图 3.4—免评定斜 T 形接头细节(非管材).....	173
图 3.5—免评定角焊缝焊接接头细节.....	174
图 3.6—免评定 CJP 坡口接头、T 形接头和角接头.....	176
图 4.1—坡口焊缝的位置.....	219
图 4.2—角焊缝的位置.....	220
图 4.3—坡口焊缝试验用试板的位置.....	221
图 4.4—角焊缝用试板的位置.....	222
图 4.5—焊接试板上的试样位置—ESW 和 EGW—WPS 评定.....	223
图 4.6—厚度大于 3/8 in.[10 mm]的焊接试板上的试样位置—WPS 评定.....	224
图 4.7—厚度等于及小于 3/8 in.[10 mm]的焊接试板上的试样位置—WPS 评定.....	225

图 4.8—面弯和根弯试样.....	226
图 4.9—侧弯试样.....	227
图 4.10—收缩断面拉伸试样.....	228
图 4.11—导向弯曲试验装置.....	229
图 4.12—可选用的卷绕式导向弯曲试验装置.....	230
图 4.13—可选用的配备有轧辊的导向弯曲试验装置(试样从底部顶出).....	230
图 4.14—全焊缝金属拉伸试样.....	231
图 4.15—WPS 评定角焊缝完好性试验.....	232
图 4.16—厚度无限定的试板—焊工评定和角焊缝焊材验证试验.....	233
图 4.17—厚度无限定的试板—焊接操作工评定和角焊缝焊材验证试验.....	233
图 4.18—1 in. [25 mm]厚焊接试板上的试样位置—角焊缝 WPS 评定用焊材验证.....	234
图 4.19—可选用的厚度无限定试板—平焊—焊工评定.....	235
图 4.20—厚度有限定的试板—所有位置—焊工评定.....	235
图 4.21—可选用的厚度有限的试板—平焊—焊工评定.....	236
图 4.22—角焊缝根部弯曲试板—焊工或焊接操作工评定—方案 2.....	237
图 4.23—试样断裂方法—定位焊工评定.....	238
图 4.24—焊接操作工评定用对接接头—ESW 和 EGW.....	238
图 4.25—角焊缝断裂和宏观腐蚀试验用试板—焊工或焊接操作工评定—方案 1.....	239
图 4.26—塞焊缝宏观腐蚀用试板—焊工或焊接操作工评定.....	240
图 4.27—角焊缝断裂试样—定位焊工评定.....	241
图 4.28—CVN 试样的位置.....	242
图 5.1—所切割材料的边缘缺陷.....	272
图 5.2—过焊孔的几何形状.....	273
图 5.3—坡口焊接接头组装时的加工公差.....	274
图 5.4—焊缝剖面形状要求.....	275
图 6.1—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接的不连续验收准则.....	318
图 6.2—承受循环荷载的受拉非管材连接的不连续验收准则(气孔和熔合型不连续的限制).....	323

图 6.3—承受循环荷载的受压非管材连接的不验收准则(气孔和熔合型不连续的限制).....	328
图 6.4—孔型 IQI.....	333
图 6.5—线型 IQI.....	334
图 6.6—厚度大致相等且长度等于或大于 10 in.[250 mm]的接头中的 RT 标记及孔型或线型 IQI 的放置位置.....	335
图 6.7—厚度大致相等且长度小于 10 in.[250 mm]的接头中的 RT 标记及孔型或线型 IQI 的放置位置.....	335
图 6.8—长度等于或大于 10 in.[250 mm]的过渡接头上的 RT 标记及孔型或线型 IQI 的放置位置.....	336
图 6.9—长度小于 10 in.[250 mm]的过渡接头上的 RT 标记及孔型或线型 IQI 的放置位置.....	336
图 6.10—RT 边块.....	337
图 6.11—换能器晶片.....	337
图 6.12—采用 IIW 参考试块进行探头校准的方法.....	338
图 6.13—典型的 IIW 型试块.....	339
图 6.14—鉴定试块.....	340
图 6.15—UT 扫查方式平面图.....	342
图 6.16—换能器位置(典型位置).....	343
图 7.1—标准双头螺栓的尺寸和公差.....	354
图 7.2—典型的拉伸试验装置.....	355
图 7.3—扭矩试验装置和试验扭矩表.....	356
图 7.4—弯曲试验装置.....	357
图 7.5—小螺柱评定试验用的推荐试验装置.....	358
图 9.1 应力类别(见表 9.3)的容许疲劳应力和应变范围及在大气中使用的管材.....	410
图 9.2—管材连接的组成部分.....	411
图 9.3—角焊缝焊接的搭接接头(管材).....	413
图 9.4—管材 T 形、Y 形和 K 形连接的角焊缝投影半径.....	414
图 9.5—冲切剪应力.....	414

图 9.6—搭接接头细节.....	415
图 9.7—箱型截面 T 形、Y 形和 K 形连接的限制.....	415
图 9.8—搭接的 K 形连接.....	416
图 9.9—不等厚零件中对接接头的厚度过渡(管材).....	417
图 9.10—采用 SMAW、GMAW 和 FCAW 制作的角焊缝焊接免评定管材连接.....	418
图 9.11—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 PJP 的免评定接头细节.....	419
图 9.12—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 的免评定接头细节.....	422
图 9.13—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 的定义和详细选择要求.....	423
图 9.14—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—有限厚度的标准平面 状断面形状.....	424
图 9.15—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—中等厚度带趾角焊缝 的断面形状.....	425
图 9.16—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—存在厚截面或疲劳要 求时的改进下凹形断面形.....	426
图 9.17—管材坡口焊缝的试验位置.....	427
图 9.18—管材角焊缝的试验位置.....	428
图 9.19—焊接试管上的取样位置—WPS 评定.....	429
图 9.20—焊接箱型管上的取样位置—WPS 评定.....	430
图 9.21—管材角焊缝的完好性试验—WPS 评定.....	431
图 9.22—管材对接接头—焊工技能评定(用/不用衬垫).....	432
图 9.23—管材对接接头—WPS 评定(用/不用衬垫).....	432
图 9.24—锐角根部试验(未标出限制条件).....	433
图 9.25—圆管或箱型管(外径 ≥ 6 in.[150mm])上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)的试验用接头—焊 工技能评定和 WPS 评定.....	433
图 9.26—圆管或箱型管(外径 < 4 in.[100 mm])上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)的试验用接头— 焊工技能评定和 WPS 评定.....	434

图 9.27—箱型管上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)中 CJP 坡口焊缝宏观腐蚀试验用接头—焊工技能评定和 WPS 评定.....	434
图 9.28—焊接圆管和箱型管的取样位置—焊工技能评定.....	435
图 9.29—R 类指示.....	436
图 9.30—X 类指示.....	438
图 9.31—单壁透照-单壁成像.....	439
图 9.32—双壁透照-单壁成像.....	439
图 9.33—双壁透照-双壁(椭圆形)成像, 最少曝光两次.....	440
图 9.34—双壁透照-双壁成像,最少曝光三次.....	440
图 9.35—扫查技术.....	441
图 A.1—角焊缝.....	444
图 A.2—未增强的 V 形坡口焊缝.....	445
图 A.3—增强了角焊缝的 V 形坡口焊缝.....	445
图 A.4—增强了角焊缝的 V 形坡口焊缝.....	446
图 A.5—未增强的喇叭形 V 形坡口焊缝.....	446
图 A.6—增强了角焊缝的喇叭形 V 形坡口焊缝.....	447
图 F.1—与测定低氢 SMAW 焊条在大气中的延长暴露时间的试验程序结合使用的温度-湿度曲线图.....	465
图 F.2—温度-湿度曲线图在测定低氢 SMAW 焊条大气暴露时间中的应用.....	466
图 G.1—其他批准的试块和典型的换能器位置.....	471
图 H.1—钢材的区域分类.....	481
图 H.2—350 HV 和 400 HV 的临界冷却速率.....	482
图 H.3—用于确定单焊道 SAW 角焊缝的冷却速率的曲线图.....	483
图 H.4—角焊缝尺寸和热输入之间的关系.....	486
图 Q.1—标准参考反射体.....	557
图 Q.2—推荐的校准试块.....	557
图 Q.3—典型的标准反射体(位于焊缝模拟件和生产件中).....	558

图 Q.4—传输修正.....	559
图 Q.5—纵波深度(水平扫描校准).....	559
图 Q.6—纵波灵敏度校准.....	560
图 Q.7—横波距离和灵敏度校准.....	560
图 Q.8—扫查方法.....	561
图 Q.9—球状不连续的特征.....	562
图 Q.10—圆柱状不连续的特征.....	562
图 Q.11—平面状不连续的特征.....	563
图 Q.12—不连续的高度.....	563
图 Q.14—显示屏标记.....	564
图 Q.15—UT 报告(替代工艺).....	565
图 R.1—计算出的 α 值的术语定义.....	568
图 U.1—A5.36/A5.36M 开放分类系统.....	602
条文说明	
图 C-2.1—绕着中心轴的角焊缝的平衡.....	629
图 C-2.2—角焊缝和坡口焊缝的剪切平面.....	629
图 C-2.3—偏心荷载.....	630
图 C-2.4—焊缝的荷载-变形关系.....	630
图 C-2.5—承受斜荷载的焊缝组示例.....	631
图 C-2.6—承受斜荷载的焊缝组能力的图解法.....	632
图 C-2.7—单角焊缝焊接的搭接接头.....	633
图 C-3.1—GMAW-S 金属过渡的波形图和示意图.....	645
图 C-3.2—中心线开裂示例.....	646
图 C-3.3—免评定角接接头的替代坡口制备细节.....	646
图 C-4.1—无需进行管材评定的管材的焊接类型.....	652
图 C-5.1—不合格凹角的示例.....	667
图 C-5.2—切割梁切口的良好做法示例.....	667

图 C-5.3—对接构件中的允许偏移.....	667
图 C-5.4—错位零件的矫正.....	668
图 C-5.5—确定大梁腹板平直度偏差的典型方法.....	668
图 C-5.6—拱度测量方法示意图.....	669
图 C-5.7—翼缘板翘曲和倾斜的测量.....	670
图 C-5.8—承载点的公差.....	671
图 C-6.1—带钢衬垫的 90°T 形接头或角接接头.....	688
图 C-6.2—斜 T 形接头或角接接头.....	688
图 C-6.3—衬垫和接头分离的对接接头.....	689
图 C-6.4—根部间隙对采用钢衬垫的对接接头的影响.....	689
图 C-6.5—密封焊接钢衬垫扫查的分辨力.....	690
图 C-6.6—密封焊接钢衬垫的扫查.....	690
图 C-6.7—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接中不连续验收准则的示意图.....	691
图 C-6.8—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接中 1-1/8 in. [30 mm] 及以上不连续(典型随机分布的可接受不连续)验收准则的示意图.....	692
图 C-6.9—承受循环荷载的受拉非管材连接中不连续验收准则的示意图.....	693
图 C-7.1—带头螺柱头部中的允许缺陷.....	698
图 C-8.1—微观侵入.....	708
图 C-8.2—疲劳寿命.....	708
图 C-8.3—用磨头式打磨机进行焊趾修整.....	709
图 C-8.4—垂直于应力的焊趾修整.....	709
图 C-8.5—有效的焊趾打磨.....	710
图 C-8.6—端部打磨.....	710
图 C-8.7—锤击.....	711
图 C-8.8—焊趾重熔.....	712
图 C-9.1—与荷载模式对应的支管应力示意图.....	745

图 C-9.2—已改善焊缝剖面形状的要求.....	746
图 C-9.3—冲击剪切的简化概念.....	746
图 C-9.4—采用计算得出的 α 的冲击剪切评判准则的可靠性.....	747
图 C-9.5—间隙连接和搭接连接之间的过渡.....	748
图 C-9.6—上限定理.....	748
图 C-9.7—屈服线图.....	749

本页被故意留为空白。

钢结构焊接规范

1. 总则

1.1 适用范围

本规范包含了制作和安装焊接钢结构的要求。当合同文件中规定使用本规范时，除了工程师(见 1.4.1)或合同文件中特别修改的或允许免除的那些条款外，还必须遵守本规范的所有条款。

下面为本规范章节的简介：

1. 总则。本节包含了规范适用范围和限制要求、关键定义和钢结构制作中相关各方的主要职责方面的基本信息。

2. 焊接连接的设计。本节包含了由构成构件的管材或非管材组成的焊接连接的设计要求。

3. WPS 的免评定。本节包含了无需按本规范中的 WPS 评定要求评定的焊接工艺规程(WPS)的要求。

4. 评定。本节包含了 WPS 的评定要求以及按照本规范实施焊接的所有焊接人员(焊工、焊接操作工和定位焊工)需要通过的技能评定试验要求。

5. 制作。本节包含了适用于本规范涵盖的焊接钢结构的一般制作和安装要求，其中包含了母材、焊接材料、焊接技术、焊接细节、材料准备和装配、工艺、焊缝修补的要求及其他要求。

6. 检验。本节包含了检验员技能评定的准则和职责、产品焊缝的验收准则以及目视检验和 NDT(无损检测)的标准工艺。

7. 螺柱焊。本节包含了将螺柱焊于结构钢上的要求。

8. 现有结构的加固和修补。本节包含了对现有钢结构进行焊接修改或修补的基本信息。

9. 管材。本节包含了大量管材的要求。此外，如无另外注明，则所有其他章节中的要求均适用于管材。

1.2 限制条件

本规范是专为厚度等于或大于 1/8 in. [3mm]、最低规定屈服强度等于或小于 100 ksi [690 MPa]的碳钢或低合金钢的焊接钢结构而制订的。本规范可能也适用于指导拟定范围之外的结构制造。但在超出规范适用范围的情况下使用时，工程师宜评估其适用性，并且在此类评估基础

上对规范要求进行的任何必要修改纳入合同文件中，以阐明特定应用中的具体要求。结构焊接委员会鼓励工程师在涉及下列项的应用中考虑其他 AWS D1 规范的适用性：铝(AWS D1.2)、厚度等于或小于 3/16 in. [5 mm]的薄钢板(AWS D1.3)、钢筋(AWS D1.4)和不锈钢(AWS D1.6)、现有结构的加固和修理(AWS D1.7)、抗震补遗(AWS D1.8)和钛(AWS D1.9)。AASHTO/AWS D1.5《桥梁焊接规范》是专为焊接公路桥梁组件而制订的，并且推荐在此类应用中采用该规范。

1.3 定义

本规范所用焊接术语应按最新版 AWS A3.0《标准焊接术语和定义》及下列定义来解释。此外本规范还包含了附录 J 补充的粘接、硬钎焊、软钎焊、热切割和热喷涂的术语。

1.3.1 工程师。“工程师”应指正式指派的个人，由其代理或代表业主处理本规范范围内的所有事务。

1.3.2 承包商。“承包商”应指负责按本规范的规定进行制作、安装、制造或焊接的任何公司或代表一个公司的个人。

1.3.3 检验员

1.3.3.1 承包商的检验员。“承包商的检验员”应指正式指派的代理或代表承包商在本规范和合同文件范围内处理所有检验和质量方面事务的人员。

1.3.3.2 鉴定检验员。“鉴定检验员”应指正式指派的代理或代表业主或工程师处理工程师规定的所有检验和质量方面事务的人员。

1.3.3.3 检验员(泛指)。当使用“检验员”这一术语而未按上述特定的检验员类别作进一步资格限时，它的定义与承担 6.1.2 所述职责的承包商检验员和鉴定检验员的相同。

1.3.4 OEM(原始设备制造商)。“OEM”应指承担按本规范指派给工程师的部分或全部责任的单个承包商。

1.3.5 业主。“业主”应指对按本规范生产的产品或结构总成件行使法定所有权的个人或公司。

1.3.6 规范采用的术语“Shall(应)”、“Should(宜)”和“May(可)”具有下列含义：

1.3.6.1 Shall(应)。采用“Shall(应)”表示的规范条款是必须遵守的条款，除非工程师在合同文件中专门做了修改。

1.3.6.2 Should(宜)。“Should(宜)”一词被用于表示被视为有益但并非规定要求的推荐惯例。

1.3.6.3 May(可)。条款中的“May(可)”一词表示允许使用可被作为规范要求的替代要求或补充要求的可选工艺或惯例。那些要求工程师批准的可选工艺应在合同文件中作出规定或者应获得工程师的批准。当规范没有规定需要工程师批准时，承包商可作任何选择而无需获得工程师批准。

1.4 职责

1.4.1 工程师的职责。工程师应负责制定用于控制按本规范要求制造的产品或结构总成件的合同文件。工程师可以增加、删除、甚至修改本规范的要求，以符合特定结构的特殊要求。修改了本规范要求的所有要求均应被纳入合同文件中。工程师应确定焊接总成件中所用的全部节点细节的适用性。

当有必要且适用时，工程师应在合同文件中规定下列内容：

- (1) 仅在工程师规定的情况下适用的规范要求。
- (2) 规范中未特别陈述的所有附加 NDT 要求。
- (3) 工程师要求的鉴定检验。
- (4) 除第 6 节规定以外的焊缝验收准则。
- (5) 焊缝金属、母材和/或 HAZ 的 CVN 韧性准则(当要求时)。
- (6) 对于非管材，注明结构是否是承受静荷载或循环荷载的结构。
- (7) 在规范中未特别陈述的所有附加要求。
- (8) 对于 OEM 应用，应规定相关方的职责。

1.4.2 承包商的职责。承包商应负责按本规范和合同文件要求进行 WPS 评定、焊接人员技能评定、承包商检验及完成其他工作。

1.4.3 检验员的职责

1.4.3.1 承包商检验。承包商检验应由承包商来完成，并且应按需要进行检验，以确保材料和工艺符合合同文件的要求。

1.4.3.2 鉴定检验。工程师应决定是否需要进行鉴定检验。应明确工程师和鉴定检验员之间的鉴定检验职责。

1.5 批准

需要批准的所有项均应指由具有管辖权的授权机构或工程师批准的项。

1.6 焊接符号

焊接符号应为 AWSA2.4:2007《焊接、钎焊和无损检测标准符号》中给出的符号。应通过添加注释或细节的方式来充分阐明特殊情况。

1.7 安全防护措施

本标准未涵盖安全 and 健康方面的问题，因此在这里不作充分阐述。用户有责任建立合适的安全和健康规程。可从下列渠道了解安全和健康信息：

美国焊接协会：

- (1) ANSI Z49.1《焊接、切割及相关工艺中的安全》
- (2) AWS 安全和健康情况说明书
- (3) AWS 网站上的其他安全和健康信息

材料或设备制造商：

- (1) 材料制造商提供的安全数据表
- (2) 设备制造商提供的操作手册

适用规章制度

按本规范进行的作业可能涉及到使用被视为具有危险性的材料，并且可能会涉及到可能导致伤亡的作业或使用可能导致伤亡的设备。本规范并未阐述可能碰到的任何健康和安全风险。本规范的用户宜建立阐述了此类风险且满足适用法规要求的合适安全规程。制定安全规程时宜参考 ANSI Z49.1。

1.8 标准计量单位

本规范既采用了美国惯用单位，也采用了国际单位(SI)。后者被示于括号([])中，在表格和图形中则被示于合适的列中。计量单位不一定对等，因此必须单独使用每种单位。

1.9 参考文件

附录 S 包含了本规范中参考的所有文件的清单。

本页被故意留为空白。

2. 焊接连接的设计

2.1 范围

本节包含了焊接连接设计的要求。它分为以下 3 个部分：

A 部分—焊接连接设计的通用要求(非管材和管材构件)。

B 部分—非管材连接设计的具体要求(静荷载或循环荷载)。除了 A 部分要求外，还应采用 B 部分要求。

C 部分—非管材连接设计的具体要求(循环荷载)。如适用，那么除了 A 部分和 B 部分要求外，还应采用 C 部分要求。

A 部分：焊接连接设计的通用要求(非管材和管材构件)

2.2 概述

本部分包含了适用于非管材和管材的所有焊接连接的设计要求(与荷载无关)。

2.3 合同图纸和技术规范

2.3.1 设计图和施工图资料。合同图纸和技术规范(以下简称合同文件)中应清楚地标出母材牌号(见 3.3 和 4.8.3)及所有焊缝的位置、类型、尺寸和范围的完整信息。如果工程师要求现场制作特定焊缝，则应在合同文件中予以标明。制作和安装图(以下简称施工图)应清楚地注明在工厂制作的焊缝和在现场制作的焊缝。

2.3.2 缺口韧性要求。如果对焊接接头的缺口韧性有要求，则工程师应规定最低吸收能量及与所用填充金属的相应试验温度，或者工程师应规定用 CVN 试验来评定 WPS。如果要求用 CVN 试验来评定 WPS，则工程师应规定最低吸收能量、试验温度及规定的 CVN 试验是否是在焊缝金属中进行，或者既在焊缝金属中进行，也要在 HAZ 中进行见 4.2.1.3 和第 4 节的 D 部分)。

2.3.3 具体焊接要求。工程师应在合同文件中标明其或承包商规定了具体装配次序、焊接顺序、焊接技术或其他特殊注意事项的接头或接头组，承包商也应在施工图中标出这些信息。应用 ESW 和 EGW 焊接技术的限制条件见 5.4.1 和 C-5.4.1。

2.3.4 焊缝尺寸和长度。合同和设计图应规定有效焊缝长度及 PJP 坡口焊缝的焊缝尺寸“(E)”。

对于角焊缝和斜 T 形接头，合同文件中应规定下列信息：

(1) 对于夹角在 80° ~ 100° 之间的零件表面间的角焊缝，合同文件中应规定该角焊缝的焊脚

尺寸。

(2) 对于夹角小于 80° 或大于 100° 之间的零件表面间的角焊缝，合同文件中应规定焊缝有效厚度。

如果设计要求对角焊缝进行端部绕焊和止焊，则应在合同文件中予以注明。

2.3.5 施工图要求。施工图应采用焊接符号或简图清晰地注明坡口焊接接头的细节和要求用来加工这些接头的母材的准备要求。应详细规定钢衬垫的宽度和厚度。

2.3.5.1 PJP 坡口焊缝。施工图中应注明达到焊接工艺和焊接位置要求的焊缝尺寸“(E)”所需的焊缝坡口深度“S”。

2.3.5.2 角焊缝和斜 T 形接头中的焊缝。

施工图上应体现下列信息：

(1) 对于夹角在 $80^\circ \sim 100^\circ$ 之间的零件表面间角焊缝，施工图应标明角焊缝焊脚尺寸。

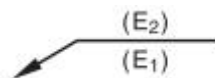
(2) 对于夹角小于 80° 或大于 100° 的零件表面间的焊缝，工厂施工图应标明焊缝的详细布局以及所要求的焊脚尺寸，以说明接头几何形状的影响；如果合适，还应标明所用焊接工艺与角度的 Z-折减量。

(3) 端部绕焊和止焊。

2.3.5.3 焊接符号。合同文件应标明 CJP 或 PJP 坡口焊缝的要求。合同文件无需标明坡口类型或坡口尺寸。下面给出的无尺寸且尾部有“CJP”的焊接符号是指 CJP 焊缝：



无尺寸且尾部无“CJP”的焊接符号表示的是使相邻母材中形成抗拉强度和剪切强度的一种焊缝。PJP 坡口焊缝的焊接符号应标明尺寸，并且尺寸应被放在位于基准线下面的“(E1)”和/或上面的“(E2)”的括号中，以分别表示焊缝接头的箭头侧和另一面的坡口焊缝尺寸，如下所示：



2.3.5.4 免评定的细节尺寸。实践一再证明，3.12 和 9.10 (PJP) 及 3.13 和 9.11 (CJP) 所述接头足以提供在母材上熔敷完好焊缝金属的条件和间隙。但这些详细要求的使用不应被解释为已经考虑到了焊接工艺对熔合边界以外的母材的影响及给定应用中接头细节要求的适用性。

2.3.5.5 特殊细节。当要求提供特殊的坡口细节时，则应在合同文件中予以详述。

2.3.5.6 特定检验要求。合同文件中应注明所有的特定检验要求。

2.4 有效面积

2.4.1 坡口焊缝

2.4.1.1 有效长度。任何坡口焊缝的最大有效焊缝长度(不考虑取向)均应为垂直于拉伸或压缩应力方向的所连接零件的宽度。对于传递剪切的坡口焊缝，有效长度即为规定的长度。

2.4.1.2 CJP 坡口焊缝的有效尺寸。CJP 坡口焊缝的焊缝尺寸应为连接的较薄零件的厚度。在对焊缝余高进行设计计算时，应严谨增加有效面积。管材中 T 形、Y 形和 K 形连接的坡口焊缝尺寸见表 9.8。

2.4.1.3 PJP 坡口焊缝的最小尺寸。PJP 坡口焊缝的尺寸应等于或大于 3.12.2.1 规定的尺寸“(E)”，按第 4 节要求对 WPS 进行评定的情况除外。

2.4.1.4 喇叭形坡口焊缝的有效尺寸。在熔敷填平时，喇叭形坡口焊缝的有效尺寸应为表 2.1 所示尺寸，4.11.5 允许的情况除外。对于不熔敷填平的喇叭形坡口焊缝，应扣除未填平坡口的 U 值。对于表面半径 R 不同的喇叭 V 形坡口焊缝，应采用较小的 R 值。对于矩形管型材的喇叭形坡口焊缝，取用的 R 应为壁厚的两倍。

2.4.1.5 坡口焊缝的有效面积。坡口焊缝的有效面积应为有效长度与有效焊缝尺寸的乘积。

2.4.2 角焊缝

2.4.2.1 有效长度(直焊缝)。直的角焊缝的有效长度应为全尺寸角焊缝(包括绕焊部分)的总长。在设计计算中不应为了考虑焊缝的起弧或熄弧而减小有效长度。

2.4.2.2 有效长度(弯焊缝)。应沿焊缝有效厚度的中心线测量弯曲角焊缝的有效长度。

2.4.2.3 最小长度。角焊缝的最小长度应至少为其公称尺寸的 4 倍，或者焊缝的有效尺寸应不超过其有效长度的 25%。

2.4.2.4 断续角焊缝(最小长)。断续角焊缝各段的最小长度应为 1½ in. [38 mm]。

2.4.2.5 最大有效长度。对于焊缝长度超过焊脚尺寸的 100 倍的端部承载角焊缝，有效长度可以是施加长度。当端部承载角焊缝的长度超过焊脚尺寸的 100 倍但未超过焊脚尺寸的 300 倍时，应用实际长度乘以折减系数 β ，以确定有效长度。

$$\beta = 1.2 - 0.2 \left(\frac{L}{100w} \right) \leq 1.0$$

式中：

β = 折减系数

L = 端部承载角焊缝的实际长度，in. [mm]

w = 焊脚尺寸，in. [mm]

当长度超过焊脚尺寸 300 倍时，有效长度应为焊脚尺寸的 180 倍。

2.4.2.6 焊缝有效厚度的计算。对于夹角为 $80^\circ \sim 100^\circ$ 的零件之间的角焊缝，其焊缝有效厚度应为焊缝 90° 图示上从接头根部到焊缝表面的最短距离(见附录 A)。对于角度在 $60^\circ \sim 80^\circ$ 之间的锐角内的焊缝和角度大于 100° 的钝角内焊缝，应在考虑了几何形状的前提下计算提供规定焊缝有效厚度所需的焊脚尺寸(见附录 B)。对于角度在 $60^\circ \sim 30^\circ$ 之间的锐角内的焊缝，应依据折减尺寸来增加焊脚尺寸，以考虑到所用焊接工艺在狭窄角度焊接时不能确保在根部获得完好焊缝金属的情况(见 2.4.3)。

2.4.2.7 增强角焊缝。PJP 坡口焊缝与角焊缝组合的焊缝有效厚度应为图示焊缝上从接头根部至焊缝表面的最短距离减去 $1/8$ in. [3 mm] 所得的值，这适用于有此折减要求的任何坡口细节(见图 3.2 和附录 A)。

PJP 喇叭形坡口焊缝和角焊缝组合的焊缝有效厚度应为图示焊缝上从接头根部至焊缝表面的最短距离减去未完全熔透焊缝部分所得的值(见表 2.1、图 3.2 和附录 A)。

2.4.2.8 最小尺寸。角焊缝的最小尺寸不应小于传递所施加荷载所需的尺寸，也不得小于 5.13 的规定尺寸。

2.4.2.9 搭接接头中的最大焊缝尺寸。在搭接接头中，沿母材边缘的最大角焊缝尺寸应满足下列要求：

(1) 如果母材厚度小于 $1/4$ in. [6mm]，则为母材厚度(见图 2.1 的细节 A)。

(2) 如果母材厚度等于或大于 $1/4$ in. [6mm]，则为母材厚度减去 $1/16$ in. [2 mm](见图 2.1 的细节 B)；施工图上要求进行采用超出规定要求的焊缝，以在尺寸等于母材厚度的焊脚处获得充分的焊缝厚度的情况除外。在焊接状态下，如果明确证实了焊缝尺寸，则母材边缘到焊趾的距离可以小于 $1/16$ in. [2 mm]。

2.4.2.10 有效面积。有效面积应为有效焊缝长度与焊缝有效厚度的乘积。

2.4.3 斜 T 形接头

2.4.3.1 概述。所连接零件间的夹角大于 100°或小于 80°的 T 形接头应指斜 T 形接头。免评定斜 T 形接头的细节见图 3.4。钝角侧和锐角侧的接头细节可一起使用，也可单独使用，具体取决于使用条件及正确考虑了偏心度影响的设计条件。

2.4.3.2 80°~60° 锐角和大于 100° 钝角内的焊缝。当在 80°~60°间或大于 100° 的角度内熔敷焊缝时，合同文件应规定所需的焊缝有效厚度。施工图应清晰地标明焊缝部位和要求的焊脚尺寸，以满足所需焊缝有效厚度要求(见附录 B)。

2.4.3.3 60°~30°角内的焊缝。当要求在一个小于 60°但等于或大于 30°的锐角[图 3.11(D)]中焊接时，应采用 Z-折减修正量来增加焊缝有效厚度(表 2.2)。合同文件应规定所需的焊缝有效厚度。施工图应标明所需的焊脚尺寸，以满足利用 Z-折减修正量增加的规定焊缝有效厚度的要求(表 2.2)(焊缝有效厚度的计算见附录 B)。

2.4.3.4 小于 30° 角内的焊缝。除了 9.15.4.2 中对管材所作的修改外，在小于 30° 的锐角中熔敷的焊缝不应被视为可以有效地传递所施加的荷载。

2.4.3.5 有效长度。斜 T 形接头的有效长度应为完整尺寸焊缝的总长度。在设计计算中不应为了考虑焊缝的起弧或熄弧而减小有效长度。

2.4.3.6 最小焊缝尺寸。应采用 2.4.2.8 的要求。

2.4.3.7 焊缝有效厚度。位于 60°~30°角之间的斜 T 形接头的焊缝有效厚度应为从根部至焊缝断面轮廓的焊缝面的最短距离减去 Z 折减量所得的值。位于 80°~60° 角和 100°以上角之间的斜 T 形接头的焊缝有效厚度应为从接头根部至焊缝表面的最短距离。

2.4.3.8 有效面积。斜 T 形接头的有效面积应为规定的焊缝有效厚度与有效长度的乘积。

2.4.4 孔和槽内的角焊缝

2.4.4.1 直径和宽度限制。用于熔敷角焊缝的孔或槽的最小直径或宽度不应小于开孔或开槽部位厚度与 5/16 in. [8 mm]所得之和。

2.4.4.2 槽的端部。除了那些延伸至零件边缘的端部外，槽的端部应为半圆形，或者应含有半径不小于开槽部位厚度的圆角。

2.4.4.3 有效长度。孔或槽内的角焊缝的有效长度应为沿焊喉中心线焊缝的长度。

2.4.4.4 有效面积。有效面积应为有效长度和焊缝有效厚度的乘积。在孔或槽中熔敷时，如果此种尺寸的角焊缝在中心线处搭接，则有效面积不应大于贴合平面内孔或槽的横截面积。

2.4.5 塞焊缝和槽焊缝

2.4.5.1 直径和宽度限制。用于熔敷塞焊缝或槽焊缝的孔或槽的最小直径或宽度不应小于开孔或开槽部位厚度与 5/16 in. [8 mm] 所得之和。孔的最大半径或槽的最大宽度不应超过最小直径与 1/8 in. [3 mm] 所得之和，或者不应超过开孔或开槽部位厚度的 2¼ 倍(两者之中取较大值)。

2.4.5.2 槽的长度和形状。用于熔敷槽焊缝的槽的长度不应超过开孔部位厚度的 10 倍。槽的端部应为半圆形，或者或者应含有半径不小于开槽部位厚度的圆角。

2.4.5.3 有效面积。塞焊缝和槽焊缝的有效面积应为贴合平面内孔或槽的公称横截面积。

2.4.5.4 最小填焊深度。塞焊缝和槽焊缝的最小填焊深度应符合下述要求：

- (1) 厚度等于或小于 5/8 in. [16 mm] 的母材上的槽焊缝或塞焊缝的填焊深度为母材厚度；
- (2) 厚度大于 5/8 in. [16 mm] 的母材上的槽焊缝或塞焊缝的填焊深度为母材厚度的一半或 5/8 in. [16 mm] (两者之中取较大值)。

任何情况下最小填焊深度均不应大于所连接的较薄零件的厚度。

B 部分：非管材连接设计的具体要求(静荷载或循环荷载)

2.5 概述

B 部分的特别要求和 A 部分的要求均适用于承受静荷载的非管材构件的所有接头。除了按 C 部分要求进行过修改的要求外，A 部分和 B 部分的要求也应适用于承受循环荷载的构件。

2.6 应力

2.6.1 计算应力。可与许用应力作比较的计算应力应为通过适当分析确定的公称应力，或者是利用本规定焊接连接设计中援引的适用设计规范中规定的最低最低接头强度要求来确定的应力。

2.6.2 偏心引起的计算应力。在焊接连接的设计中，可与许用应力作比较的计算应力应包括因所连接零件的设计偏心(如有)及焊缝的位置、尺寸和类型引起的应力，但下述情况除外：

对于承受静荷载的结构，无需通过角焊缝的位置来平衡单角钢、双角钢和类似构件的端部连接的中性轴周围的力。在此类构件中，可按照各种现有边的长度来分布钢构件跟部和趾部的焊缝。

2.6.3 母材许用应力。计算的母材应力不应超过适用设计技术规范中规定的许用应力。

2.6.4 焊缝金属的许用应力。除了 2.6.4.2、2.6.4.3、2.6.4.4 允许的情况外，焊接接头有效面积的计算应力不应超过表 2.3 给出的许用应力。2.6.4.2 仅应被用于分析单条线性角焊缝或者是由在相同角度施加全部荷载的平行线性角焊缝组成的角焊缝组。

2.6.4.1 角焊缝中的应力。对于从任何方向施加的荷载，角焊缝中的应力应被视为是施加到有效面积上的剪应力。

2.6.4.2 可替代的角焊缝许用应力。对于单条线性角焊缝或者是由在相同角度施加全部荷载且在穿过焊缝组重心的平面内施加荷载的平行线性角焊缝组成的角焊缝组，可利用公式(1)计算许用应力：

$$\text{公式(1)} \quad F_v = 0.30 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \Theta)$$

式中：

F_v = 单位许用应力

F_{EXX} = 焊条等级号，即焊条强度等级

Θ = 力的方向与焊件轴之间的夹角，单位：°。

2.6.4.3 瞬时旋转中心。当焊缝组在平面内承受何在并用瞬时旋转中心法进行分析，保持变形相容性及在不同角度承受荷载的焊缝的非线性非线性荷载-变形行为所需的容许应力应为：

$$F_{vx} = \Sigma F_{vix}$$

$$F_{vy} = \Sigma F_{viy}$$

$$F_{vi} = 0.30 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \Theta) F(\rho)$$

$$F(\rho) = [\rho (1.9 - 0.9\rho)]^{0.3}$$

$$M = \Sigma [F_{viy} (x) - F_{vix} (y)]$$

其中：

F_{vx} = x 方向的总内力

F_{vy} = y 方向的总内力

F_{vix} = 应力 F_{vi} 的 x 分量

F_{viy} = 应力 F_{vi} 的 y 分量

M = 瞬时旋转中心周围的内力的力矩

ρ = 单元“i”的变形与最大应力下的单元变形之比, Δ_i/Δ_m

$\Delta_m = 0.209(\Theta+6)-0.32 W$, 焊缝单元在最大应力下的变形, in. [mm]

$\Delta_u = 1.087(\Theta+6)-0.65 W$, $<0.17W$, 焊缝单元在极限应力(断裂)下的变形, 通常为距离瞬时旋转中心最远处的焊缝单元, in. [mm]

W = 角焊缝的焊脚尺寸, in. [mm]

Δ_i = 焊缝单元在中等应力水平下的变形, 其与基于到瞬时旋转中心的距离的关键变形之间存在线性比例关系, in. [mm] = $r_i \Delta_u/r_{crit}$

$x = r_i$ 的 x_i 分量

$y = r_i$ 的 y_i 分量

r_{crit} = 从瞬时旋转中心到具有 Δ_u/r_i 比最小的焊缝单元的距离, in. [mm]

2.6.4.4 同心承载焊缝组。对于同心承载焊缝组,也可以采用公式(2)及所有单元计算得出的和附加的许用荷载来确定每个焊缝单位的许用剪应力。

公式(2) $F_v = 0.30 C F_{EXX}$

式中:

F_v = 单位许用应力

F_{EXX} = 填充金属的公称抗拉强度

C = 选自表 2.4 的斜向受载角焊缝的等效强度系数

2.6.5 许用应力增量。如果适用设计规范中出于任何原因考虑而允许在母材中采用增加的应力,则应将相应的增量应用到这里给出的许用应力中,而不是应用到承受循环荷载的母材或焊缝金属的应力范围中。

2.7 接头形状和细节

2.7.1 概述。焊接连接的设计应满足通常引用的规范中的强度和刚性或柔性要求。

2.7.2 受压构件的连接和接头

2.7.2.1 设计在底板连接之外的地方承压的连接和接头。除非合同文件另有规定,否则完工后用于承压的柱子的接头应采用足以将零件保持在应有位置的 PJP 坡口焊缝或角焊缝来连接。除了柱子之外,完工后接头或连接焊缝处承压的受压构件的设计应能使所有零件保持成一直线,并且按比例承受构件中 50%的力。应采用表 3.5 或 5.7 中的要求。

2.7.2.2 加工好后不在底板连接之外的地方承压的连接和接头。连接柱内接头及完工后不承压的其他受压构件内的接头和连接的焊缝的设计应将传递构件内的力，合同文件或适用规范中规定采用 CJP 焊缝或规定了更多限制性要求的情况除外。应采用表 3.5 或 5.7 中的要求。

2.7.2.3 与底板的连接。柱和其他受压构件底板处的连接应足以使构件安全可靠地保持在原位。

2.7.3 承受厚度方向荷载的母材。在设计、母材选用和细节处理期间应特别注意能够传递垂直于所连接零件表面的应力的 T 形和角接接头，特别是在分支构件的母材厚度或要求的焊缝尺寸等于或 3/4 in. [20 mm] 的情况下。如适用，则应采用可将承受全厚度方向应力的母材上的应力降至最小的接头细节。应避免采用大于传递计算应力所需的焊缝尺寸。

2.7.4 组合焊缝。除了此处的规定外，如果将两个或更多不同类型的焊缝(坡口焊缝、焊缝、塞焊缝、槽焊缝)组合起来分担单一连接中的荷载，则应将该连接的能力计算为在与施加荷载的方向相对的位置确定的每条焊缝的荷载之和。这种将单条焊缝的能力相加的方法不适用于加强 PJP 坡口焊缝的角焊缝(见附录 A)。

2.7.5 对接接头、角接接头和 T 形接头的表面勾边。角焊缝可被用于连接宽度或厚度不相等的零件的对接接头、角接接头和 T 形接头中的 CJP 和 PJP 坡口焊缝，以达到焊缝表面勾边或减少应力集中的目的。当在承受静荷载的应用中使用这种表面勾边角焊缝时，其尺寸无需大于 5/16 in. [8 mm]。在没有干扰到其他结构元件的情况下，不应将 T 形或角接接头坡口焊缝表面自然形成的这种形如角焊缝的加强，作为拒收的理由，也无需将其去除。无需规定轮廓的最小半径。

2.7.6 过焊孔。当规定了过焊孔时，则应规定它们的尺寸，以提供熔敷完好焊缝金属所必需的空间。应采用 5.17.1 中的形状和尺寸要求。设计人员和细节绘制者应认识到，如果要求采用最小尺寸的孔，则可能会影响所连接母材中的可用最大净面积。

2.7.7 采用铆钉或螺栓的焊缝。应允许将接头焊接到一个构件上，而用螺栓和铆钉连接到其他构件上。当螺栓和焊缝在共同视为贴合面上分担荷载时，则应考虑螺栓和焊缝之间的应变相容性(见条文说明)。

2.8 接头形状和细节—坡口焊缝

2.8.1 厚度和宽度的过渡。对于承受静荷载结构，不必要规定表面勾边角焊缝的要求。当工程师要求规定表面勾边角焊缝的要求时，则应在合同文件中作出规定(见图 2.3)。

2.8.2 禁用长度不完整的 CJP 坡口焊缝。应禁止使用断续的或长度不完整的 CJP 坡口焊缝，除

非由角焊缝连接的组装构件的局部荷载点处有可以分担局部荷载传递的特定长度的坡口焊缝。尺寸均匀的坡口焊缝的延伸长度至少应为传递荷载所需的长度。如果超出这一长度，则应逐步将坡口焊缝过渡至零，而且这一过渡段长度不应小于坡口深度的 4 倍。在角焊缝施焊之前，坡口焊缝应被填平。

2.8.3 断续的 PJP 坡口焊缝。断续的 PJP 坡口焊缝、单边喇叭形和喇叭形坡口焊缝可被用于传递所连接零件间的剪应力。

2.8.4 焊缝引弧板的移除。对于承受静荷载的非管材，引弧板无需移除。当要求移除，或者依据除 5.14.8 所述之外的要求进行表面精修时，则应在合同文件中作出规定。

2.9 接头形状和细节—角焊缝焊接的接头

2.9.1 搭接接头

2.9.1.1 横向角焊缝。除非接头的偏转足以防止在荷载下张开的限制，否则在受轴向荷载的零件间传递应力的搭接接头的角焊缝应为双角焊缝(见图 2.4)。

2.9.1.2 最小搭接量。在承受应力的搭接接头中，零件的最小搭接量应为较薄零件厚度的 5 倍，但不应小于 1 in. [25 mm]。除非可以防止零件出现平面外偏转否则零件间的搭接接头应为采用双面角焊缝焊接的接头(见图 2.4)，或者用至少两条横向的塞焊缝或槽焊缝来连接，或者用两条或更多的纵向角焊缝或槽焊缝连接。

2.9.2 纵向角焊缝。如果扁钢或板材构件的端部连接的搭接接头中仅采用纵向角焊缝，则每一条角焊缝的长度均不应小于角焊缝间的垂直距离(见图 2.5)。除非采取了可以防止零件的翘曲或分离的合适措施(譬如采用中间塞焊缝或槽焊缝)，否则端部连接中采用的纵向角焊缝的横向间距不应超过所连接的较薄零件厚度的 16 倍。纵向角焊缝既可以位于构件的边缘，也可以位于槽中。除扁钢横截面外，采用纵向角焊缝的构件的连接设计应按通用设计规范中给出的要求来进行。

2.9.3 角焊缝的终点

2.9.3.1 概述。角焊缝终点可以延伸至零件的端部或侧面，或在离端部不远的地方停焊，或作端部绕焊，但下面限定的情况除外：

2.9.3.2 受拉搭接接头。在一个零件延伸到承受计算拉应力的零件的边缘或侧面之外的搭接接头中，角焊缝的终点不应落在到开始延伸点的距离小于焊缝尺寸的位置(见图 2.6)。

2.9.3.3 最大端部绕焊长度。焊接接头的布局应考虑到连接设计中的柔性要求。如果连接母材的

突出支架是用端部绕焊连接的，则端部绕焊的长度不应超过焊缝公称尺寸的 4 倍(柔性连接的示例见图 2.7)。

2.9.3.4 横向加劲肋的焊缝。除了将加劲肋的端部焊接到翼缘板上的情况外，将横向加劲肋连接到梁腹板的角焊缝不应起于或止于到腹板-翼缘板连接焊缝的趾部的距离既不小于腹板厚度的 4 倍，不大于腹板厚度的 6 倍的位置。

2.9.3.5 共有平面的对侧。共有平面对侧的角焊缝应在两条焊缝共有的角部断开(见图 2.8)，下列情况除外：

当要求密封接头，或者出于其他原因考虑而需要提供一条连续焊缝时，合同文件应规定这些焊缝需要在哪些地方保持连续。

2.9.4 孔或槽内的角焊缝。搭接接头内的角焊缝可以被用于传递剪切力或防止搭接零件翘曲或分离。角焊缝用孔或槽的最小间距和尺寸应满足 2.4.4.2、2.9.1、2.9.2 及 2.10.的要求。可按 2.4.4.4 中的限制性要求来搭接这些角焊缝。孔或槽内的角焊缝不可被视为是塞焊缝或槽焊缝。

2.9.5 断续角焊缝。断续角焊缝可以被用来传递所连接零件间的应力。

2.10 接头形状和细节—塞焊缝或槽焊缝

2.10.1 最小间距(塞焊缝)。塞焊缝中心-中心的最小间距应为孔径的 4 倍。

2.10.2 最小间距(槽焊缝)。在垂直于槽焊缝长度方向上，槽焊缝中心-中心的最小间距应为槽焊缝宽度的 4 倍。焊缝纵向中心-中心的最小间距应为槽长度的 2 倍。

2.10.3 免评定尺寸。免评定的塞焊缝和槽焊缝尺寸如 2.4.5 和 3.10 所述。

2.10.4 禁止在淬火与回火钢中使用。应禁止在规定的最小 F_y 大于 70 ksi [490 MPa] 的淬火与回火钢中采用塞焊缝和槽焊缝。

2.11 填板

如需采用填板传递所施加的力，则填板和连接焊接应满足 2.11.1 或 2.11.2 中的适用要求。

2.11.1 薄填板。不应采用厚度小于 1/4 in. [6 mm] 的填板来传递应力。当填板厚度小于 1/4 in. [6 mm]，或者填板厚度大于 1/4 in. [6 mm] 但不足以传递施加于所连接零件间的力时，填板应与外侧连接零件的边缘保持平齐，并且应将焊缝尺寸增加到规定尺寸以上，增加的量等于填板的厚度(见图 2.9)。

2.11.2 厚填板。当填板的厚度足以传递施加于所连接零件间的力时，填板应延伸到外侧连接母

材的边缘之外。连接外侧母材与填板的焊缝应足以将力传递到填板上，并且填板上承受作用力的面积应足够大，以免填板上的应力过大。连接填板与内侧母材的焊缝应足以传递所施加的力（见图 2.10）。

2.11.3 施工图要求。施工图和安装图上应足够详细地阐明需要采用填板的接头。

2.12 组装构件

2.12.1 最低焊接要求。如果采用两块或多块钢板或轧制型材来组装一个构件，则应提供足够多的焊缝（角焊缝、塞焊缝或槽焊缝），以使各部分协调作用，但焊缝的数量不应少于传递所连接部分之间的计算应力所需的数量。

2.12.2 断续焊缝的最大间距

2.12.2.1 概述。除了 2.12.2.2 或 2.12.2.3 中的规定外，将一板件连接到其他板件的断续焊缝的最大纵向间距既不应超过较薄板件厚度的 24 倍，也不应超过 12 in. [300 mm]。连接两个或多个轧制型材的断续角焊缝间的纵向间距不应超过 24 in. [600 mm]。

2.12.2.2 受压构件。除了 2.12.2.3 的规定外，在组装的受压构件中，沿着一外侧板件与其他板件相连边缘的断续角焊缝焊段的纵向间距既不应超过 12 in. [300 mm]，也不应超过板件厚度的 $0.730\sqrt{E/F_y}$ 倍（ F_y = 规定的最低屈服强度，E 为所用钢材的杨氏弹性模量。）当断续角焊缝焊段沿着外侧板件的对边边缘而交错排列且该板件的宽度比下一句中所述的宽度狭窄时，间距既不应超过 18 in. [460 mm]，也不应超过板件厚度的 $1.10\sqrt{E/F_y}$ 倍。相邻焊缝线之间腹板、盖板或隔板的无支撑宽度不应超过板件厚度的 $1.46\sqrt{E/F_y}$ 倍。当横向无支撑间距超过这一限值，但其宽度部分没有超过满足应力要求的板件厚度的 $1.46\sqrt{E/F_y}$ 倍时，则应认为构件符合要求。

2.12.2.3 未涂漆耐候钢。对于暴露到大气腐蚀下的未涂漆耐候钢构件，如果使用断续角焊缝，则其间距既不应超过较薄板厚度的 14 倍，也不应超过 7 in. [180 mm]。

C 部分：非管材连接设计的具体要求(循环荷载)

2.13 概述

2.13.1 适用性。C 部分仅适用于在弹性范围内承受那些频率和大小都足以引发裂纹和渐进破坏（疲劳）的循环荷载的非管材构件和连接。C 部分的条款提供了一种评估应力重复波动对焊接的非

管材构件的影响，其应被用于将出现疲劳破坏的可能性降低最低。

2.13.2 其他有关规定。A 部分和 B 部分条款适用于符合 C 部分要求的构件和连接的设计。

2.13.3 工程师的职责。工程师应提供包括焊缝尺寸在内的全部细节，或者应在合同文件中规定预期的周期寿命和连接中的力矩、剪切力和反作用力的最大范围。

2.14 局限性

2.14.1 应力阈值。如果活荷载应力范围小于应力阈值 FTH(见表 2.5)，则没有必要进行抗疲劳性评估。

2.14.2 低周疲劳。C 部分条款不适用于导致计算应力落在非弹性应力范围内的低周荷载情况。

2.14.3 腐蚀保护。C 部分所述疲劳强度适用于有适当腐蚀保护或者仅暴露在诸如正常大气条件的轻微腐蚀环境下的结构。

2.14.4 超静定-静定构件。本规范对超静定与静定构件不再进行区别。

2.15 应力的计算

2.15.1 弹性分析。计算的应力和应力范围应为基于构件级别的弹性应力分析的公称值。不需要因为出现局部几何不连续而采用应力集中系数来放大应力。

2.15.2 轴向应力和弯曲。在轴向应力和弯曲应力组合情况下，最大组合应力应为同时施加荷载时的应力。

2.15.3 对称截面。对于具有对称横截面的构件，连接焊缝最好沿着构件轴线的对称布置；如果对称布置不可行，则包括接头偏心引起的应力在内的总应力应被纳入应力范围的计算中。

2.15.4 角构件。对于承受轴向应力的角构件，连接焊缝的重心应落在角构件横截面的重心线和相连支架的中心之间。这种情况下可忽略偏心产生的影响。如果连接焊缝的重心落在该区域之外，则包括由于接头偏离角构件重心而导致的应力在内的总应力应被纳入应力范围的计算中。

2.16 许用应力和应力范围

2.16.1 许用应力。焊缝中的计算单位应力不应超过表 2.3 所述许用应力。

2.16.2 许用应力范围。应力范围是由于活荷载的反复施加和移除而导致的应力变动的幅度。如果存在反向应力，由于活荷载的布局不同，故而应将应力范围计算为给定点处最大的反复拉应力与压应力的数值总和，或者是给定点处反方向的最大剪应力之和。计算的应力范围不应超过按公式(2)~(5)计算得出的最大值。（应力类别 A、B、B'、C、D、E、E'和 F 的公式(2)~(5)

的曲线见图 2.11)。对于应力类型 A、B、B'、C、D、E 和 E'，应力范围不应超过按公式(2)确定的 F_{SR} 。

公式(2)

$$F_{SR} = \left(\frac{C_f}{N} \right)^{0.333} \geq F_{TH} \text{ (ksi)}$$

$$F_{SR} = \left[\left(\frac{C_f \times 329}{N} \right)^{0.333} \geq F_{TH} \text{ (MPa)} \right]$$

式中：

F_{SR} = 许用应力范围，ksi [MPa]

C_f = 表 2.5 中除应力类别 F 以外其他所有分类的常数

N = 设计寿命中应力范围的周期数

= 每天的周期数 $\times$ 365 $\times$ 设计寿命的年数

F_{TH} = 临界疲劳应力范围，为无限寿命的最大应力范围，ksi [MPa]

对于应力类别 F，应力范围不应超过按公式(3)确定的 F_{SR} 。

公式(3)

$$F_{SR} = \left(\frac{C_f}{N} \right)^{0.167} \geq F_{TH} \text{ (ksi)}$$

$$F_{SR} = \left[\left(\frac{C_f \times 11 \times 10^4}{N} \right)^{0.167} \geq F_{TH} \text{ (MPa)} \right]$$

式中：

C_f = 表 2.5 中应力类别的常数

对于十字形结构中的受拉板件，应按下列(a)、(b)或(c)的要求确定采用 CJP 焊缝、PJP 焊缝、角焊缝或上述焊缝组合的 T 形角接接头的细节、横向方向的应力及受拉板件横截面上的最大应力范围：

(a) 对于受拉板件横截面，在考虑了可能会从焊缝趾部开始开裂的条件下，焊缝趾部母材横截面上的最大应力范围不应超过采用公式(2)确定的应力类别 C 的 F_{SR} ，其中 F_{SR} 应等于：

$$F_{SR} = \left(\frac{44 \times 10^8}{N} \right)^{0.333} \geq 10(\text{ksi})$$

$$F_{SR} = \left[\left(\frac{14.4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0.333} \geq 68.9(\text{MPa}) \right]$$

(b) 对于采用横向 PJP 焊缝的受拉板件的端部连接(加强或未加强角焊缝或勾边焊缝), 在考虑了可能会从焊缝根部开始开裂的条件下, 焊缝根部母材横截面上的最大应力范围不应超过采用公式(4)确定的 F_{SR} :

公式(4)

$$F_{SR} = R_{PJP} \left(\frac{44 \times 10^8}{N} \right)^{0.333} (\text{ksi})$$

$$F_{SR} = \left[R_{PJP} \left(\frac{14.4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0.333} (\text{MPa}) \right]$$

式中:

R_{PJP} = 加强或无加强 PJP 接头的折减系数

R_{PJP} =

$$\frac{0.65 - 0.59(2a/t_p) + 0.72(w/t_p)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 (\text{单位: in.})$$

$$\frac{1.12 - 1.01(2a/t_p) + 1.24(w/t_p)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 (\text{单位: mm})$$

$2a$ = 受拉板件厚度方向未焊接钝边的长度

t_p = 受拉板件的厚度(in.或 mm)

w = 受拉板件厚度方面进行了加强或勾边的角焊缝(如有)的焊脚尺寸(in.或 mm)

(c) 对于采用一对角焊缝的受拉板件的端部连接, 在考虑了可能会从焊缝趾部开始开裂的条件下, 焊缝趾部母材横截面上因根部拉伸产生的最大应力范围不应超过采用公式(5)确定的 F_{SR} 。此外, 焊缝焊喉的剪应力不应超过采用公式(3)确定的应力类别 F 的 F_{SR} 。

公式(5)

$$F_{SR} = R_{FIL} \left(\frac{44 \times 10^8}{N} \right)^{0.333} \text{ (ksi)}$$

$$F_{SR} = \left[R_{FIL} \left(\frac{14.4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0.333} \text{ (MPa)} \right]$$

式中：

R_{FIL} = 仅用一对横向角焊缝的接头的折减系数

$$R_{FIL} = \frac{0.06 + 0.72 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 \text{ (单位: in.)}$$

$$R_{FIL} = \frac{0.10 + 1.24 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 \text{ (单位: mm)}$$

2.17 细节设计、制作和安装

2.17.1 厚度和宽度的过渡

2.17.1.1 对接接头的厚度过渡。位于厚度不相等且承受循环荷载的零件之间的对接接头的错位表面之间应形成不超过 1:2.5 的坡度，以便与其中一个零件的表面形成光滑过渡。这种过渡可以通过将焊缝表面作成斜坡、将较厚零件切成斜面或结合使用这两种方式来完成(见图 2.2)。

2.17.1.2 对接接头的宽度过渡。位于宽度不相等且承受循环荷载的零件之间的对接接头的错位表面之间应不超过 1:2.5 的坡度，以便与其中一个零件的棱边形成光滑过渡，或者应在对接接头中心提供一个最小半径为 24 in. [600 mm]且与较窄零件相切的过渡(见图 2.12)。对于屈服应力大于 90 ksi [620 MPa]的钢材，当细节设计包含这种半径的设计时，可以采用增大的应力范围。

2.17.2 衬垫

2.17.2.1 附有钢衬垫的焊缝。应按 2.17.2.2、2.17.2.3、2.17.2.4 所述要求及表 2.5 的应力范围分类来确定附有钢衬垫的焊缝的要求及是否需要拆除衬垫或将其留在原位。工程师应在合同图纸上注明疲劳应力类别。承包商应在施工图上注明规定的衬垫部位、采用的焊缝细节、定位焊缝是必须在坡口内或允许在坡口外以及是否允许将衬垫留在原位或拆除，以达到预期应力范围分类的要求。

2.17.2.2 从一面施焊的 CJPT 形和角接头。可在接头坡口内侧或外侧焊接附有衬垫的焊缝。

应拆除承受循环横向拉伸(疲劳)荷载的接头的衬垫, 并且已完工结构的背侧应与正面焊缝保持一致。已发现的或由于拆除衬垫而导致的任何不可接受的不连续均应进行修补, 以满足本规范的验收准则要求。

2.17.2.3 CJP 对接接头。可在接头坡口内侧或外侧焊接附有衬垫的焊缝, 应力类别描述中有限制条件的除外。位于接头坡口外侧的定位焊缝应止于到所连接零件的边缘的距离不小于 1/2 in. [12 mm]的位置。除非设计中所用的应力类别有所限制, 否则衬垫可以留在原位或予以拆除。

2.17.2.4 纵向坡口焊缝和角接接头。如果使用钢衬垫, 则其应在接头的整个长度内保持连续。可在接头坡口内侧或外侧焊接附有衬垫的焊缝(见 5.9.1.2)。

2.17.3 角接接头和 T 形接头的勾边焊缝。在承受拉伸或由于弯曲而导致拉伸的横向角接接头和 T 形接头中, 凹角处土办法增加一条尺寸不小于 1/4 in. [6 mm]的单道勾边角焊缝。

2.17.4 火焰切割边。只要符合 5.14.8.3 要求, 则无需对火焰切割边进行修整。

2.17.5 承受横向荷载的对接接头。承受横向荷载的对接接头应采用焊缝引弧板, 以使焊缝以梯形状止于已完工接头外侧。不应采用端部挡块。应拆除引弧板, 并且应将焊缝末端修整至与构件边缘齐平。

2.17.6 角焊缝的终点。对于承受循环(疲劳)荷载的焊缝终点, 除了 2.9.3.3 规定外, 下列要求也适用。对于在凸出元件上施加循环力的频率和幅度会导致在焊缝端部的最大应力点处引发渐进破坏的连接, 角焊缝应在侧面或端部进行绕焊, 绕焊长度应不超过公称焊缝尺寸的 2 倍。

2.18 禁用的接头和焊缝

2.18.1 单边坡口焊缝。禁止采用在不使用衬垫或者使用未按第 4 节评定的钢衬垫仅在一面施焊的坡口焊缝, 并且不允许在下列情况下使用仅在一面施焊的坡口焊缝:

- (1) 次要的或不承受应力的构件。
- (2) 处于组装构件的组件之间而平行于计算应力方向的角接接头。

2.18.2 平焊位置的坡口焊缝。如果可以采用 V 形坡口或 U 形坡口接头, 则禁止在平焊位置的对接接头中使用单边 V 形坡口和 J 形坡口焊缝。

2.18.3 小于 3/16 in. [5 mm]的角焊缝。严禁使用小于 3/16 in. [5 mm]的角焊缝。

2.18.4 保留衬垫的 T 形接头和角接接头 CJP 焊缝。严禁使用承受循环横向拉应力且将衬垫留在原位的 T 形接头和角接接头 CJP 焊缝。

2.19 检验

对于疲劳分类 B 和 C，工程师要确保采用射线检测(RT)或超声检测(UT)来检验承受拉应力范围内的循环横向应力的 CJP 坡口焊缝。

表 2.1 填平喇叭形坡口焊缝的有效尺寸

(见 2.4.1.4)

焊接工艺	单边喇叭形坡口	喇叭 V 型坡口
SMAW 和 FCAW-S	5/16 R	5/8 R
GMAW ^a 和 FCAW-G	5/8 R	3/4 R
SAW	5/16 R	1/2 R

^a GMAW-S 除外。

注意：R = 外侧表面的半径。

表 2.2 折减尺寸 Z(非管材)

(见 2.4.3.3)

二面角	焊接位置—V 或 OH			焊接位置—H 或 F		
Ψ	焊接工艺	Z (in.)	Z (mm)	焊接工艺	Z (in.)	Z (mm)
$60^\circ > \Psi \geq 45^\circ$	SMAW	1/8	3	SMAW	1/8	3
	FCAW-S	1/8	3	FCAW-S	0	0
	FCAW-G	1/8	3	FCAW-G	0	0
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	0	0
$45^\circ > \Psi \geq 30^\circ$	SMAW	1/4	6	SMAW	1/4	6
	FCAW-S	1/4	6	FCAW-S	1/8	3
	FCAW-G	3/8	10	FCAW-G	1/4	6
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	1/4	6

表 2.3 许用应力
(见 2.6.4 和 2.16.1)

所施加应力的类型	许用应力	要求的填充金属 强度等级
CJP 坡口焊缝		
垂直于有效面积的拉应力 ^a	与母材相同	应使用匹配填充金属 ^b
垂直于有效面积的压应力	与母材相同	可采用同等强度或低一个 强度等级(10 ksi [70 MPa]) 的填充金属
平行于焊缝轴线的拉应力或压 应力 ^c	不作为焊接接头设计考虑因素	可采用同等强度或低强度 的匹配填充金属
有效面积上的剪应力	0.30×填充金属的抗拉强度，但母材上的剪应 力不应超过母材屈服强度的 0.4 倍	
PJP 坡口焊缝		
垂直于有效面积的拉应力	0.30×填充金属的抗拉强度	可采用同等强度或低强度 的匹配填充金属
接头中设计承受的垂直于焊缝 有效面积的压应力	0.90×填充金属的抗拉强度，但不应超过所连 接母材屈服强度的 0.9 倍	
接头中未设计承受的垂直于焊 缝有效面积的压应力	0.75×填充金属的抗拉强度	
平行于焊缝轴线的拉应力或压 应力 ^c	不作为焊接接头设计考虑因素	
平行于有效面积轴线的剪应力	0.30×填充金属的抗拉强度，但母材上的剪应 力不应超过母材屈服强度的 0.4 倍	
角焊缝		
有效面积或焊缝上的剪应力	0.30×填充金属的抗拉强度，但母材净截面剪切 区域的应力不应超过母材屈服强度的 0.4 倍 ^{d,e}	可采用同等强度或低强 度的匹配填充金属
平行于焊缝轴线的拉应力或压应 力 ^c	不作为焊接接头设计考虑因素	
塞焊缝和槽焊缝		
平行于有效面积上的贴合面的剪 应力 ^f	0.30×填充金属的抗拉强度	可采用同等强度或低强 度的匹配填充金属

^a 有效面积的定义见 2.4。

^b 对于与规范认可钢材的母材强度相匹配的填充金属，见表 3.1、表 3.2 和表 4.9。

^c 虽然可将垂直于焊缝轴线的焊缝面积包含在构件的横截面积中，但允许在不考虑所连接组件中平行于焊缝轴的拉应力和剪应力的情况下设计连接组合构件的组件的角焊缝和坡口焊缝。

^d 将母材上的应力限制为母材屈服强度 0.4 倍的条件不适用于图示焊脚上的应力，但应通过检查来确保连接强度不会受到连接周围净面积上的母材厚度的限制，尤其是在板件对侧采用一对角焊缝的情况下。

^e 另见 2.6.4.2、2.6.4.3 和 2.6.4.4。上面注 d 的要求也适用。

^f 还可以利用连接周边区域较薄母材的抗撕裂强度来限制连接强度。

表 2.4 承受倾斜荷载的角焊缝的当量强度系数

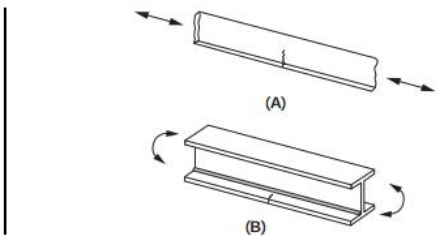
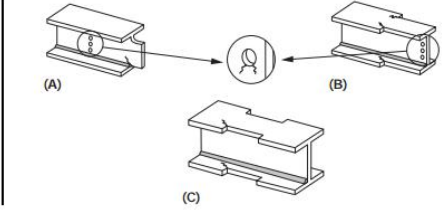
(见 2.6.4.4)

待分析单元的 负载角度	变形能力最低的焊接单元的负载角度						
Θ	C (90)	C (75)	C (60)	C (45)	C (30)	C (15)	C (0)
0	0.825	0.849	0.876	0.909	0.948	0.994	1
15	1.02	1.04	1.05	1.07	1.06	0.0883	
30	1.16	1.17	1.18	1.17	1.10		
45	1.29	1.30	1.29	1.26			
60	1.40	1.40	1.39				
75	1.48	1.47					
90	1.50						

注：变形能力最低的焊接单元是指负载角度最大的单元。允许相邻负载角度之间进行线性内插。

表 2.5 疲劳应力设计参数

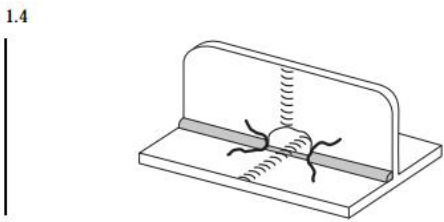
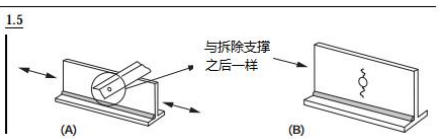
(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 1 部分—远离任何焊缝的普通材料					
1.1 具有轧制或清洁表面的母材,无涂层耐候钢除外。火焰切割边的表面粗糙度等于或小于 $1000 \mu\text{in.}$ [$25 \mu\text{m}$],但无凹角。	A	250×10^8	24 [165]	远离所有焊缝或结构连接	1.1/1.2 
1.2 具有轧制或清洁表面的无涂层耐候钢母材。火焰切割边的表面粗糙度等于或小于 $1000 \mu\text{in.}$ [$25 \mu\text{m}$],但无凹角。	B	120×10^8	16 [110]	远离所有焊缝或结构连接	
1.3 工艺孔、切口、预留孔处有凹角或者其他几何不连续(不包括过焊孔)的构件。因预先钻孔、初次钻孔、铰孔或热切割形成的半径 $R \geq 1 \text{ in.}$ [25 mm]的过焊孔应清根至光亮金属表面。	C	44×10^8	10 [69]	任何外棱边或孔周围	1.3 
半径 $R \geq 3/8 \text{ in.}$ [10 mm]的过焊孔无需清根至光亮金属表面。	E'	3.9×10^8	2.6 [18]		

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 1 部分—远离任何焊缝的普通材料(续)					
1.4 含有满足 2.17.4 和 5.16.1 要求的过焊孔的轧制横截面。 因预先钻孔、初次钻孔、铰孔或热切割形成的半径 $R \geq 1 \text{ in. [25 mm]}$ 的过焊孔应清根至光亮金属表面。 半径 $R \geq 3/8 \text{ in. [10 mm]}$ 的过焊孔无需清根至光亮金属表面。	C E'	44×10^8 3.9×10^8	10 [69] 2.6 [18]	任何外棱边或孔周围	1.4 
1.5 含有钻孔或铰孔的构件。 含有预拉伸螺栓的孔。 没有螺栓的裸孔。	C D	44×10^8 22×10^8	10 [69] 7 [48]	始于孔侧的净截面内	1.5 
第 2 部分—机械紧固结构中的连接材料—不采用 ^a					

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

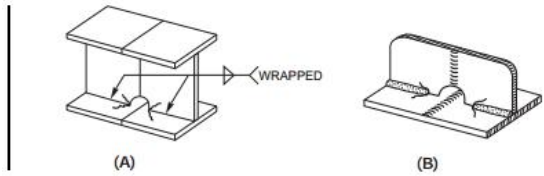
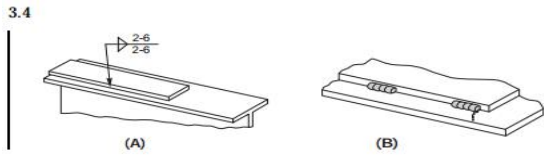
(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 3 部分—连接组装构件的组件的焊接接头					
3.1 无板材或型材组件的构件中利用连续的纵向 CJP 坡口焊缝连接且从另一面清根和焊接或者利用连续角焊缝连接的母材和焊缝金属。	B	120×10^8	16 [110]	远离表面和焊缝中的内部不连续	3.1
3.2 无板材或型材组件的构件中利用将钢衬垫留在原位的连续纵向 CJP 坡口焊缝或连续 PJP 焊缝连接的母材和焊缝金属。	B'	61×10^8	12 [83]	远离表面和焊缝中的内部不连续	3.2

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 3 部分—连接组装构件的组件的焊接接头(续)					
3.3 终点在所连接组合构件的过焊孔及过焊孔末端周围环绕的角焊缝的焊缝趾部处的纵向焊缝末端的母材。 因预先钻孔、初次钻孔、铰孔或热切割形成的半径 $R \geq 1$ in. [25 mm] 的过焊孔应清根至光亮金属表面。 半径 $R \geq 3/8$ in. [10 mm] 的过焊孔无需清根至光亮金属表面。	D E'	22×10^8 3.9×10^8	7 [48] 2.6 [18]	远离终点在腹板或翼缘板中的焊缝	3.3 
3.4 纵向断续角焊缝分段末端的母材。	E	11×10^8	4.5 [31]	所连接材料种任何焊缝的起点和终点	3.4 

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

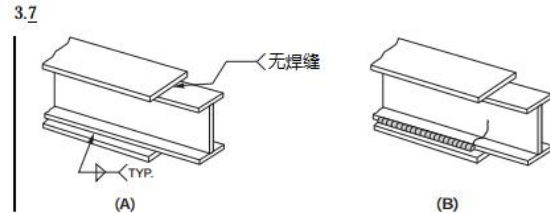
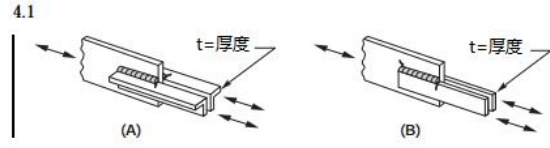
(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 3 部分—连接组装构件的组件的焊接接头(续)					
3.5 比带有方端或锥形端的翼缘板窄的 非全长焊接盖板端部的母材(焊缝有或 没有跨过端部)。 翼缘板厚度 ≤ 0.8 in. [20 mm] 翼缘板厚度 > 0.8 in. [20 mm]	E E'	11×10^8 3.9×10^8	4.5 [31] 2.6 [18]	端部焊缝趾部(如 有)的翼缘板中, 或者纵向焊缝终 点处的翼缘板中	
3.6 比翼缘板宽的非全长焊接盖板或其 他组件端部的母材(焊缝跨过端部)。 翼缘板厚度 ≤ 0.8 in. [20 mm] 翼缘板厚度 > 0.8 in. [20 mm]	E E'	11×10^8 3.9×10^8	4.5 [31] 2.6 [18]	端部焊缝趾部(如 有)的翼缘板中, 或是纵向焊缝终 点处的翼缘板 中, 或是翼缘板 棱边中	

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

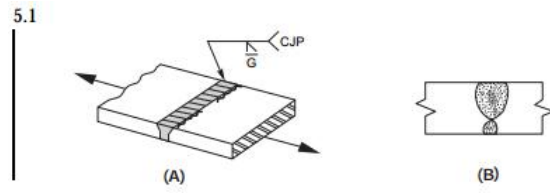
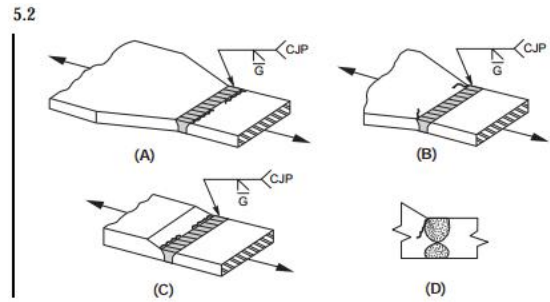
(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 3 部分—连接组装构件的组件的焊接接头(续)					
3.7 比翼缘板宽的非全长焊接盖板或其 他组件端部的母材(焊缝没有跨过端部)。 翼缘板厚度 ≤ 0.8 in. [20 mm] 翼缘板厚度 > 0.8 in. [20 mm]	E'	3.9×10^8	2.6 [18]	盖板焊缝末端的 翼缘板的棱边中	
第 4 部分—纵向角焊缝焊接的端部连接					
4.1 纵向承载构件与纵向焊接端部连接 处的母材。构件轴线每侧的焊缝应能平 衡焊缝应力。 $t \leq 0.5$ in. [12 mm] $t > 0.5$ in. [12 mm]	E E'	11×10^8 3.9×10^8	4.5 [31] 2.6 [18]	从终点在母材内 的任何焊缝的末 端开始开裂	

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 5 部分—垂直于应力方向的焊接接头					
5.1 横截面没有发生变化的板材、轧制型材或型材中 CJP 坡口焊缝焊接接头里面或附近的焊缝金属和母材，这些地方的焊缝已被打磨至基本与应力方向平行且按 2.19 要求进行了检验。	B	120×10^8	16 [110]	从焊缝金属的内部不连续处或沿着熔合边界开始开裂	
5.2 CJP 坡口焊缝焊接接头里面或附近的焊缝金属和母材，这些地方坡度不超过 1:25 的厚度或宽度过渡区内的焊缝已被打磨至基本与应力方向平行且按 2.19 要求进行了检验。					
$F_y < 90 \text{ ksi [620 MPa]}$	B	120×10^8	16 [110]	从焊缝金属的内部不连续处或沿着熔合边界开始开裂，或者在 $F_y \geq 90 \text{ ksi [620 MPa]}$ 时在过渡开始时	
$F_y \geq 90 \text{ ksi [620 MPa]}$	B'	61×10^8	12 [83]	开裂	

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

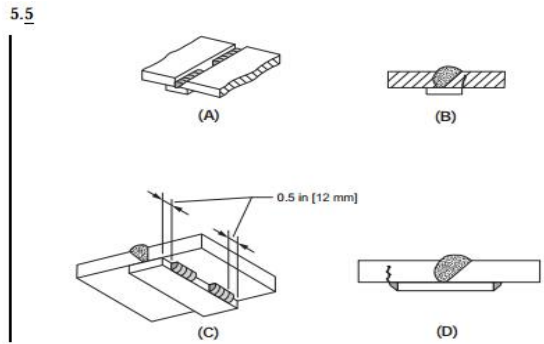
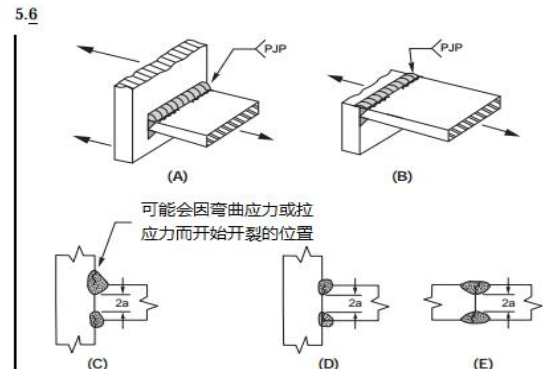
(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 5 部分—垂直于应力方向的焊接接头(续)					
5.3 CJP 坡口焊缝焊接接头里面或附近的焊缝金属和母材, 这些地方宽度不超过 24 in. [600 mm] 且含有与坡口焊缝末端的切点的过渡区内的焊缝已被打磨至基本与应力方向平行且按 2.19 要求进行了检验。	B	120×10^8	16 [110]	从焊缝金属的内部不连续处或沿着熔合边界开始开裂	
5.4 T 形接头或角接接头的 CJP 坡口焊缝里面或附近的焊缝金属和母材, 这些地方没有厚度过渡区, 或者在不消除焊缝余高且按 2.19 检验时有坡度不超过 1.2.5 的厚度过渡区。	C	44×10^8	10 [69]	从延伸到母材里面或沿着焊缝金属的焊缝处开始开裂	

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 5 部分—垂直于应力方向的焊接接头(续)					
5.5 衬垫留在原位的横向 CJP 坡口焊缝焊接的对接接头里面或附近的焊缝金属和母材。 坡口内侧的定位焊缝。 坡口外侧及到母材边缘的距离不小于 1/2 in. [12 mm] 处的定位焊缝。	D E	22×10^8 11×10^8	7 [48] 4.5 [31]	从坡口焊缝的趾部或者附有衬垫的焊缝的趾部(如适用)开始开裂	5.5 
5.6 含有加强或勾边角焊缝的对接 T 形接头或角接头中位于受拉板件端部连接(采用 PJP 坡口焊缝连接)处的母材和焊缝金属。FSR 应为导致趾部开裂或根部开裂的应力范围内的较小值。 从焊缝趾部开始的开裂: 从焊缝根部开始的开裂:	C C'	44×10^8 公式(4)	10 [69] 无	从延伸到母材内的焊缝趾部开始开裂 从延伸到焊缝且穿过焊缝的焊缝根部开始开裂	5.6 

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

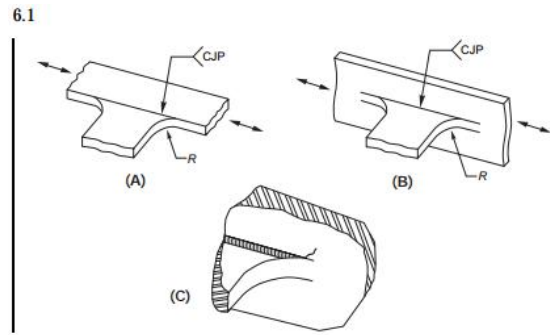
(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 5 部分—垂直于应力方向的焊接接头(续)					
5.7 在板材对侧采用一对角焊缝的受拉板件端部连接处的母材和焊缝金属。FSR 应为导致趾部开裂或根部开裂的许用应力范围内的较小值。 从焊缝趾部开始的开裂： 从焊缝根部开始的开裂：	 C C"	 44×10^8 公式(4)	 10 [69] 无	从延伸到母材内的焊缝趾部开始开裂 从延伸到焊缝且穿过焊缝的焊缝根部开始开裂	
5.8 焊接的横向加劲肋附近受拉板件及横向角焊缝趾部处组装型材和轧制梁腹板或翼缘板处的母材。	C	44×10^8	10 [69]	从延伸到母材里面的角焊缝趾部的几何不连续处开始开裂	

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 6 部分—焊接构件横向连接处的母材					
6.1 如果细节包含了过渡半径 R 、焊缝终点被打磨光滑并按 2.19 要求进行检验，则是利用 CJP 坡口焊缝连接的厚度相等或不相等的母材，其仅承受纵向荷载。					
$R \geq 24$ in. [600 mm]	B	120×10^8	16 [110]	构件边缘靠近半 径正切点的位置	
$6 \text{ in.} \leq R < 24 \text{ in.}$ [150 mm $\leq R < 600$ mm]	C	44×10^8	10 [69]		
$2 \text{ in.} \leq R < 6 \text{ in.}$ [50 mm $\leq R < 150$ mm]	D	22×10^8	7 [48]		
$R < 2$ in. [50 mm]	E	11×10^8	4.5 [31]		

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 6 部分—焊接构件横向连接处的母材(续)					
6.2 如果细节包含了过渡半径 R 、焊缝终点被打磨光滑并按 2.19 要求进行检验，则是利用 CJP 坡口焊缝连接的厚度相等的母材，其承受横向荷载和纵向荷载或仅承受横向荷载。					
6.2(a) 当消除了焊缝余高时：					
$R \geq 24$ in. [600 mm]	B	120×10^8	16 [110]	靠近半径切点	
$6 \text{ in.} \leq R < 24 \text{ in.}$ [150 mm $\leq R < 600$ mm]	C	44×10^8	10 [69]	处，或者焊缝内，	
$2 \text{ in.} \leq R < 6 \text{ in.}$ [50 mm $\leq R < 150$ mm]	D	22×10^8	7 [48]	或是构件或附件	
$R < 2$ in. [50 mm]	E	11×10^8	4.5 [31]	的熔合边界处	
6.2(b) 当未消除焊缝余高时：					
$R \geq 6$ in. [150 mm]	C	44×10^8	10 [69]	沿着构件或附件	
$2 \text{ in.} \leq R < 6 \text{ in.}$ [50 mm $\leq R < 150$ mm]	D	22×10^8	7 [48]	棱边的焊缝趾部	
$R < 2$ in. [50 mm]	E	11×10^8	4.5 [31]		

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 6 部分—焊接构件横向连接处的母材(续)					
6.3 如果细节包含了过渡半径 R 、焊缝终点被打磨光滑并按 2.19 要求进行检验，则是利用 CJP 坡口焊缝连接的厚度不相等的母材，其承受横向荷载和纵向荷载或仅承受横向荷载。					
6.3(a) 当消除了焊缝余高时：					
$R > 2 \text{ in. [50 mm]}$	D	22×10^8	7 [48]	沿较薄材料边缘的焊缝趾部	6.3 (A) (B) (C) (D) (E)
$R \leq 2 \text{ in. [50 mm]}$	E	11×10^8	4.5 [31]	小半径焊缝的终点内	
6.3(b) 当未消除焊缝余高时：				沿较薄材料边缘	
任何半径	E	11×10^8	4.5 [31]	的焊缝趾部	

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 6 部分—焊接构件横向连接处的母材(续)					
6.4 如果细节包含了过渡半径 R 且焊缝 终点被打磨光滑, 则为利用与应力方向 平行的角焊缝或 PJP 坡口焊缝连接的厚 度相等或不相等的母材, 其承受横向构 件的纵向应力和横向应力或仅承受纵向 应力。				在焊缝终点处的 母材中开始开 裂, 或者从延伸 到母材中的焊缝 的趾部开始开裂	
$R > 2 \text{ in. [50 mm]}$	D	22×10^8	7 [48]		
$R \leq 2 \text{ in. [50 mm]}$	E	11×10^8	4.5 [31]		

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 7 部分—焊接构件横向连接处的母材					
7.1 细节上承受纵向荷载且焊缝平行于或垂直于应力方向的母材(细节上有或没有标出横向荷载)。如果细节未包含过渡半径及应力方向的长度 a 和附件厚度 b, 则: $a < 2$ in. [50 mm](厚度 b 为任何值) 2 in. [50 mm] $\leq a \leq 12b$ 或 4 in. [100 mm](两者之中取较小值) 当 $b \leq 0.8$ in. [20 mm]时, $a > 12b$ 或 4 in. [100 mm](两者之中取较小值) 当 $b > 0.8$ in. [20 mm]时, $a > 4$ in. [100 mm]	C D E E'	44×10^8 22×10^8 11×10^8 3.9×10^8	10 [69] 7 [48] 4.5 [31] 2.6 [18]	在焊缝终点处的母材中开始开裂, 或者从延伸到母材中的焊缝的趾部开始开裂	7.1

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

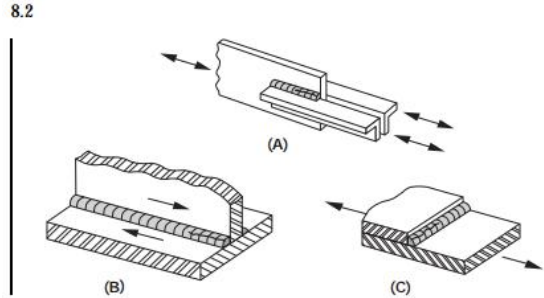
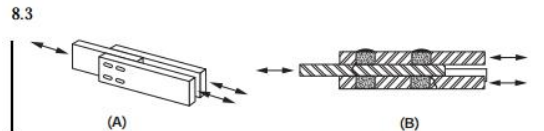
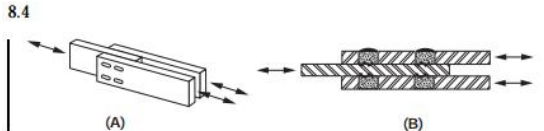
(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 7 部分—焊接构件横向连接处的母材(续)					
7.2 如果细节包含了过渡半径 R 且焊缝 终点被打磨光滑,则为利用角焊缝或 PJP 坡口焊缝连接的承受纵向应力的母材 (细节上有或没有标出横向荷载)。 $R > 2 \text{ in. [50 mm]}$ $R \leq 2 \text{ in. [50 mm]}$	D E	22×10^8 11×10^8	7 [48] 4.5 [31]	在焊缝终点处的 母材中开始开 裂, 或者从延伸 到母材中的焊缝 的趾部开始开裂	7.2
第 8 部分—其他					
8.1 采用角焊缝或自动螺柱焊连接的钢 螺柱锚固装置上的母材。	C	44×10^8	10 [69]	母材中焊缝的趾 部	8.1

(续下页)

表 2.5(续) 疲劳应力设计参数

(见 2.14.1)

描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在启裂点	示例图
第 8 部分—其他(续)					
8.2 任何连续或断续的纵向或横向角焊缝上承受剪力的焊喉。	F	150×10^{10} 公式(3)	8 [55]	从延伸到焊缝中的角焊缝根部开始开裂	
8.3 塞焊缝或槽焊缝处的母材。	E	11×10^8	4.5 [31]	从延伸到母材中的塞焊缝或槽焊缝末端的母材处开始开裂	
8.4 承受剪力的塞焊缝或槽焊缝。	F	150×10^{10} 公式(3)	8 [55]	从延伸到焊缝中的贴合面焊缝处开始开裂	
8.5 仅讨论与 D1.1 无关的机械紧固连接。					

^a AWS D1.1/D1.1M 仅讨论了焊接细节。为保持连贯性并便于与其他相关技术规定交叉引用，本表未采用“第 2 部分—用机械紧固方法连接的材料及描述”。

^b 此处使用的“附件”一次是指焊接到构件上的任何钢制零件，其会导致构件内的应力流向出现偏移，从而降低耐疲劳性。导致耐疲劳性降低的原因是存在附件，而非附件上的荷载。

出处：所采纳的文本及复制的示例图均源自 2015 版钢结构建筑规范，试验和图来自该规范的表 A-1.3。这是在获得美国钢结构学会许可的情况下进行的。

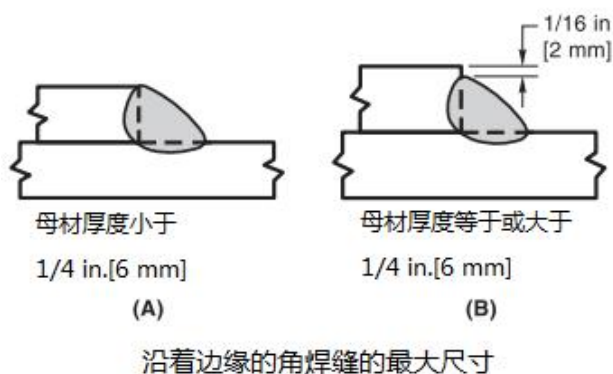
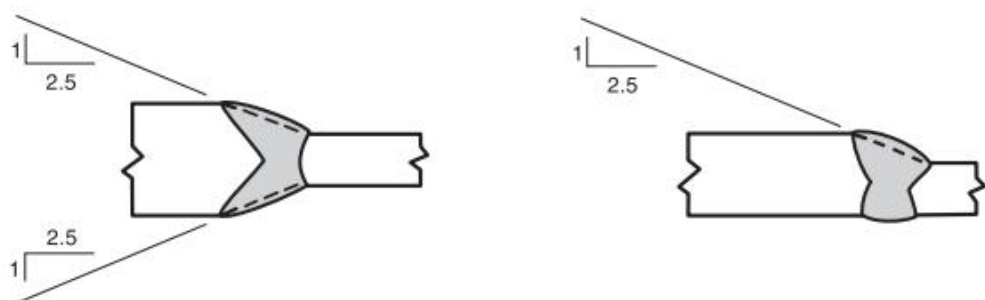
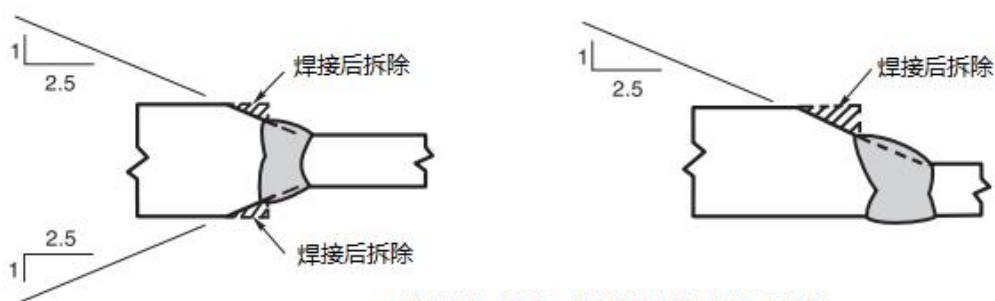


图 2.1—搭接接头中沿着边缘的角焊缝的最大尺寸

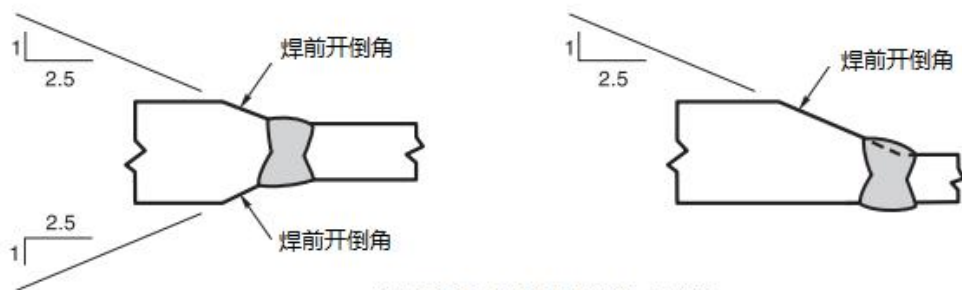
(见 2.4.2.9)



(A) 通过将焊缝表面作成斜面来过渡



(B) 通过将焊缝表面作成斜面并开倒角来过渡



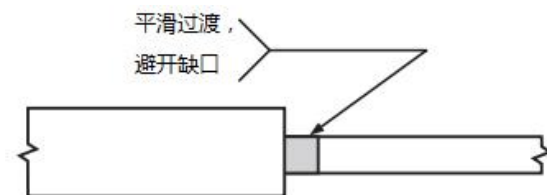
(C) 通过在较厚部分开倒角来过渡

中心线对齐(尤其适用于腹板)

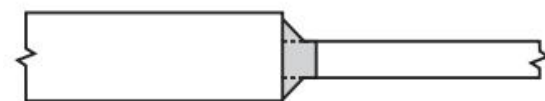
错边对齐(尤其适用于翼缘板)

图 2.2—厚度不相等的零件中对接接头的过渡(承受循环荷载的非管材)

(见 2.17.1.1)



(A) 无勾边角焊缝的过渡



(B) 有勾边角焊缝的过渡

图 2.3—厚度过渡(承受循环荷载的非管材)

(见 2.7.5 和 2.8.1)

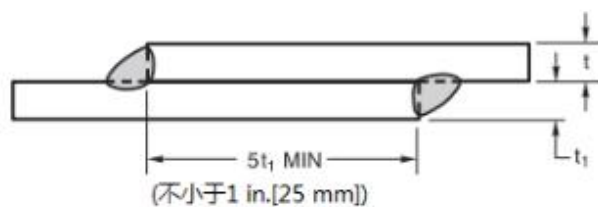
注: t =较厚构件, t_1 =较薄构件

图 2.4—承受横向荷载的角焊缝

(见 2.9.9.1 和 2.9.1.2)

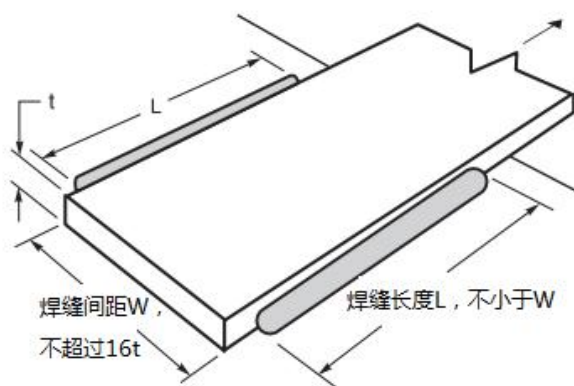


图 2.5—板材或扁钢构件端部纵向角焊缝的最小长度

(见 2.9.2)

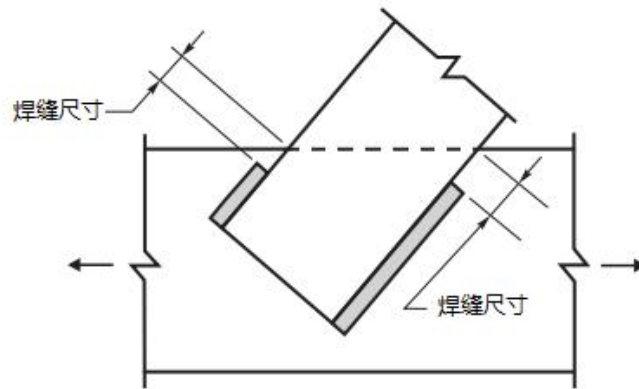
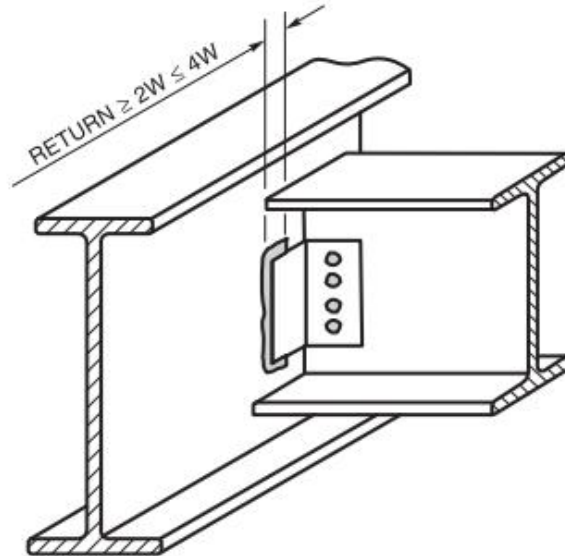


图 2.6—受拉棱边附近的焊缝终点
(见 2.9.3.2)



注：W= 焊缝公称尺寸

图 2.7—柔性连接处的端部绕焊
(见 2.9.3.3)

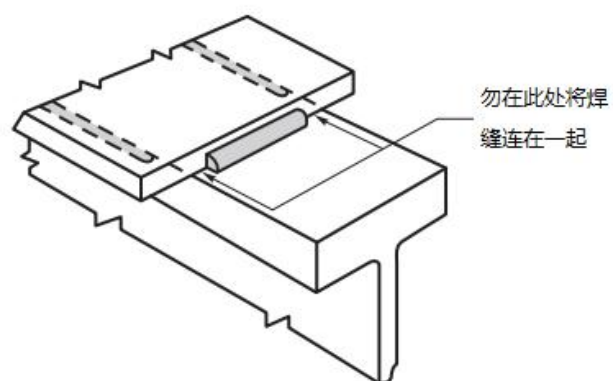
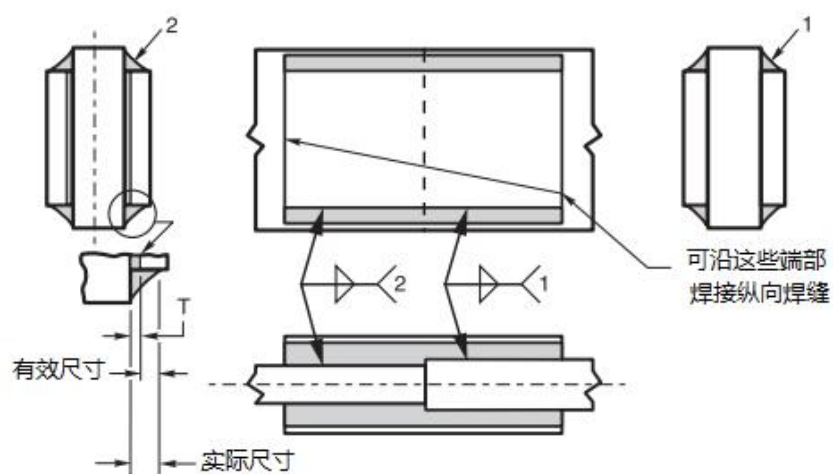


图 2.8—共同平面相对两侧的角焊缝

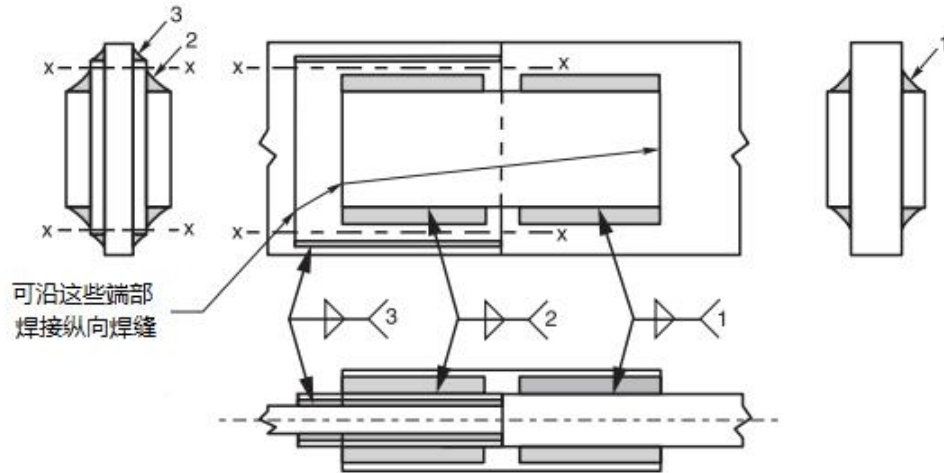
(见 2.9.3.5)



注：焊缝 2 和焊缝 1 的有效面积应相等，但焊缝 2 的尺寸应为有效尺寸加上填板 T 的厚度。

图 2.9—拼接接头中的薄填板

(见 2.11.1)



注：焊缝 1 和焊缝 2 的有效面积应足以传递设计力，并且焊缝 1 和焊缝 2 的长度应足以避免沿着 x-x 平面施加到填板上的应力过大。

图 2.10—拼接接头中的厚填板
(见 2.11.2)

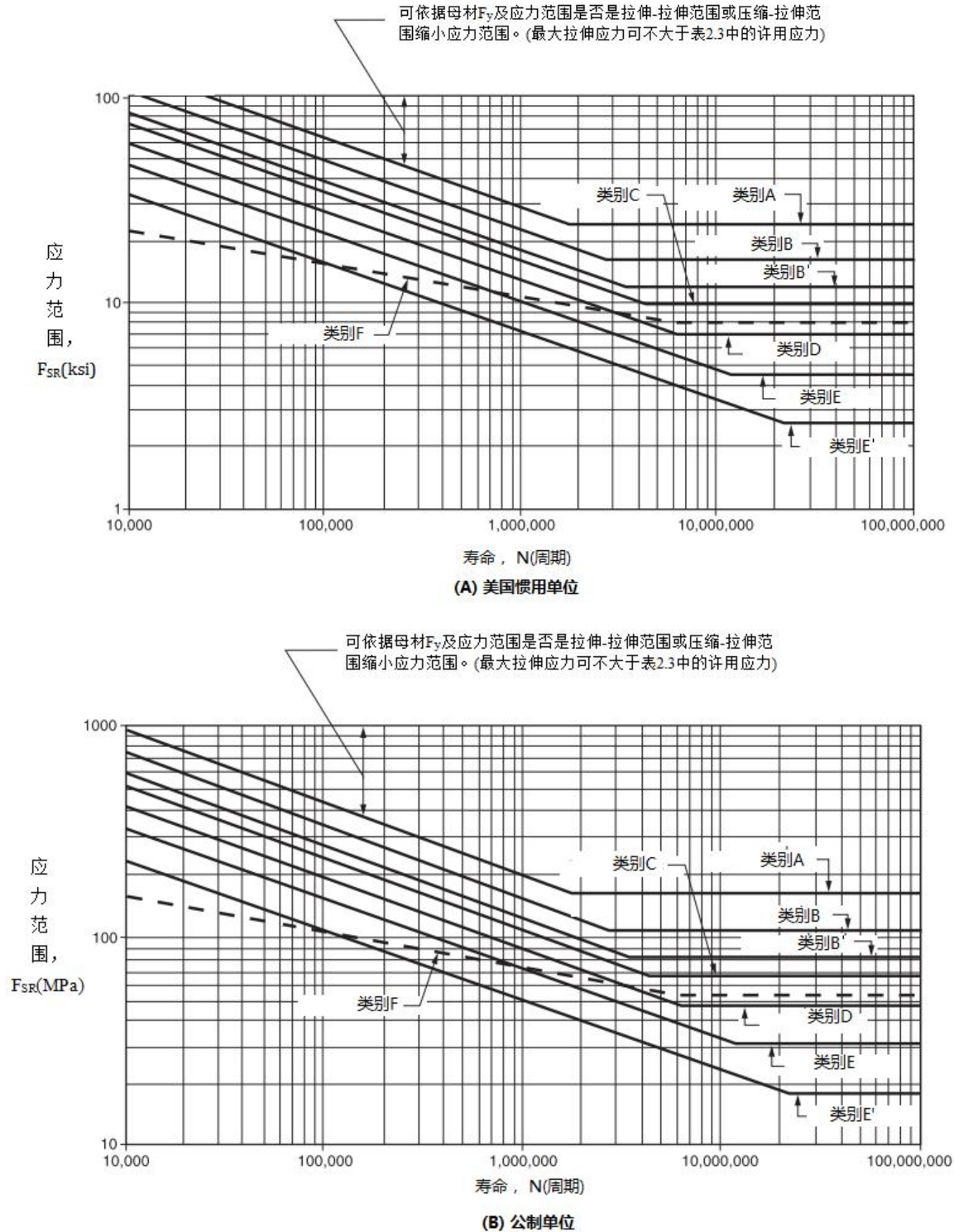


图 2.11—非管材连接中循环(疲劳)荷载的许用应力范围(表 2.5 的图示)

(见 2.16.2)

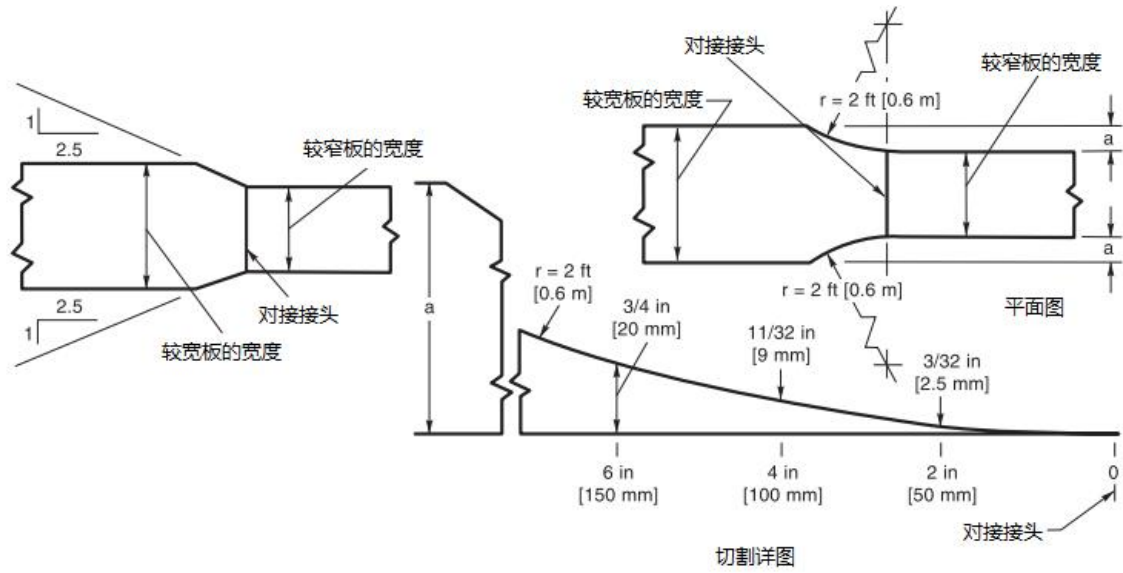


图 2.12—宽度的过渡(承受循环荷载的非管材)

(见 2.17.1.2)

本页被故意留为空白。

3. WPS 的免评定

3.1 范围

WPS(焊接工艺规程)的免评定应指免除第 4 节规定的 WPS 评定试验。所有免评定 WPS 均应为书面形式的 WPS。只有符合第 3 节适用要求的情况下 WPS 才能免除评定。不符合第 3 节要求的 WPS 可按第 4 节中的试验进行评定。为方便起见, 附录 P 列举了 WPS 免评定条款, 这些条款应被列入制造商或承包商的焊接方案中。

使用免评定 WPS 的焊工、焊接操作工和定位焊工应按第 9 节 D 部分中关于管材的要求进行技能评定。

3.2 焊接工艺

3.2.1 免评定焊接工艺。满足第 3 节中所有要求的 SMAW、SAW、GMAW(GMAW-S 除外)和 FCAW WPS 应被视为符合免评定要求, 因此可在不进行焊接工艺的 WPS 评定试验的情况下批准使用。WPS 免评定适合在满足第 3 节中所有适用要求的情况下使用。

3.2.2 规范认可的焊接工艺。如果按第 4 节的要求对 WPS 进行了评定, 则可使用 ESW、EGW、GTAW 和 GMAW-S 焊接工艺。注意, 表 4.5 中有关 GMAW 基本参数的限制也适用于 GMAW-S。

3.2.3 其他焊接工艺。如果按第 4 节所述合适试验对 WPS 进行了评定, 则可采用 3.2.1 和 3.2.2 未涵盖的其他焊接工艺。

3.2.4 FCAW 和 GMAW 的电源。按免评定 WPS 进行的 FCAW 和 GMAW 应采用恒压(CV)电源。

3.3 母材/填充金属组合

免评定 WPS 中仅可采用表 3.1 和表 3.2 列出的母材和填充金属。(表 3.1 列出的及未列出的母材和填充金属的评定见 4.2.1。)

应将下列母材和填充金属的强度关系与表 3.1 和表 3.2 结合使用, 以确定是否需要采用匹配填充金属或低匹配填充金属。

关系	母材	要求的填充金属强度关系
匹配	任何钢材之间或任何钢材与同组别中的另一钢材之间	列于相同组别中的任何填充金属
	一个组别中的任何钢材与另外一个组别中的任何钢材	列出的任何一个强度组中的任何填充金属。[SMAW 焊条应为低氢焊条]
低匹配	任何钢材与任何组别中的任何钢材	比所列较低强度组别的强度还低的强度组别中的任何填充金属。[SMAW 焊条应为低氢焊条]

注：依据表 2.3 或表 9.2 确定匹配或低匹配母材强度的填充金属强度要求。

3.4 辅助附件的工程师批准

当获得工程师批准时，可在免评定 WPS 中使用化学成分在表 3.1 所列钢的化学成分范围内的未列辅助附件材料。表 3.2 的填充金属和最低预热温度均应符合 3.5 中给出的基于类似材料强度和化学成分的要求。

3.5 最低预热温度和道间温度要求

应采用表 3.3 来确定规范中所列钢材的最低预热温度和道间温度。

3.5.1 母材/厚度组合。对于所含母材的最低预热温度不同于表 3.3(以类别和厚度为基础依据)要求的接头，其所采用的最低预热或道间温度应为这些最低预热温度中的最高值。

3.5.2 备选 SAW 预热温度和道间温度。应按表 3.3 要求选择并列双丝埋弧焊或多丝埋弧焊的预热温度和道间温度。对于涉及到待焊金属和热输入组合且需获得工程师批准的单道坡口焊缝或角焊缝，如果是最小规定抗拉强度不超过 60 ksi [415 MPa]的钢，则确定的预热温度和道间温度应足以将母材 HAZ 的维氏硬度值减小到 225 以下，；如果是最小规定抗拉强度大于 60 ksi [415 MPa]但未超过 70 ksi [485 MPa]的钢，则应足以将维氏硬度值减小到 280 以下

应按 ASTM E92 确定维氏硬度值。如果采用另外一种方法确定硬度，则应按 ASTM E140 要求确定等效硬度值，并且应按适用 ASTM 规范要求进行试验。

3.5.2.1 硬度要求。应在下列部位确定 HAZ 的硬度：

- (1) 试样的初始宏观腐蚀横截面。
- (2) 加工过程中的构件表面。进行硬度试验前应对表面进行打磨：
 - (a) 此类热影响区硬度试验的频度应为：在每 50 ft [15 m]的坡口焊缝或一对角焊缝的接

头中，应在较厚金属焊件的至少一个试验区域进行测定。

(b) 在已经确定工艺并且获得工程师批准后可以停止硬度测定。

3.6 WPS 参数的限制

所要使用过的所有免评定 WPS 应由生厂商、制造商或承包商编制成书面免评定 WPS。书面 WPS 可采用任何便于使用的表格(示例见附录 M)。表 3.6 所列焊接参数应在书面 WPS 中予以规定，并且应给出参数变化的限制范围。如果基本参数的变化超出表 3.7 允许的范围，应需要编制新的免评定 WPS 或对其免评定 WPS 进行修订，或者应通过第 4 节要求的试验来评定 WPS。

3.6.1 WPS 的组合。经评定合格的 WPS 与免评定 WPS 可在不对组合进行评定的情况下组合使用，但前提是符合适用于每种工艺的基本参数的限制要求。

3.7 WPS 的通用要求

免评定 WPS 应满足表 3.6 的所有要求。

3.7.1 向上立焊要求。立焊位置的所有焊道均应由下向上施焊，下述情况除外：

- (1) 当预热温度满足表 3.3 要求且不低于 70°F [20°C]时，则可通过向下立焊来修补咬边。
- (2) 在焊接管材产品时，立焊可以由下向上或由上向下，但焊工必须通过所焊方向的技能评定。

3.7.2 焊道宽度/深度限制。每一条熔敷焊道的焊缝金属的横截面的深度或最大宽度均不应超过此焊缝表面的宽度(见图 3.1)。

3.7.3 耐候钢要求。对于暴露在大气中的、裸露的、未喷漆的且要求焊缝金属具有类似于母材的耐大气腐蚀性能和色泽特征的耐候钢，所用焊条或焊丝-焊剂组合应满足表 3.4 要求。

这一要求在下列情况下不适用：

3.7.3.1 单道坡口焊缝。可以使用表 3.2 列出的组别 II 母材所用的任何一种填充金属来制作含有一条焊道或者每侧有一条焊道的坡口焊缝。

3.7.3.2 单道角焊缝。可以使用表 3.2 列出的组别 II 母材所用的任何一种填充金属来制作满足下列尺寸要求的单道角焊缝：

SMAW	1/4 in. [6 mm]
SAW	5/16 in. [8 mm]

GMAW/FCAW

5/16 in. [8 mm]

3.7.4 保护气体。GMAW 和 FCAW-G 的保护气体应符合 AWS A5.32/A5.32M 和下列任意一项要求:

(1) 保护气体应为按照适用 AWS A5 规范、AWS A5.18、A5.20、A5.28 或 A5.29 确定的焊条等级用的保护气体。

(2) AWS A5.36 中给出的碳钢气体保护的 FCAW 和 GMAW 及利用 M21 保护气体评定的低碳钢 FCAW 的固定分类应满足 AWS A5.20、A5.18 或 A5.29 的 M21-ArC-20/25(SG-AC-20-25)中的混合保护气体的要求。

(3) 对于 AWS A5.36 的开放分类, 保护气体的类型应被限定为供某一类型焊条使用的具体保护气体, 而不是保护气体的范围。

(4) 焊条制造商推荐的供特定焊条使用的保护气体。此类推荐应采用试验来支持。这种试验应能证明在按适用 AWS A5 规范要求进行试验时, 焊条/保护气体组合能够满足该焊条等级的所有力学和化学性能的要求。当工程师或检验员有要求时, 应提供这种此类的文件。

3.8 并列双丝和多丝埋弧焊的通用要求

3.8.1 GMAW 根部焊道。坡口焊缝或角焊缝的根部也可以用 GMAW 来施焊, 随后续以并列双丝或多丝埋弧焊, 但 GMAW 要符合本节要求, 并且 GMAW 的电弧与随后的 SAW 的电弧之间的间距不得超过 15 in. [380 mm]。

3.9 角焊缝要求

角焊缝的最小尺寸见表 5.7, 免评定角焊缝的接头细节见图 3.5。

3.9.1 细节(非管材)。免评定角焊缝的限制见图 2.1 和图 2.4。

3.9.2 斜 T 形接头。斜 T 形接头必须应符合图 3.4 要求。

3.9.2.1 二面角限制。斜 T 型接头中二面角大于 100°的钝角一面应按图 3.4 的细节 C 来制作, 以便容纳规定尺寸的焊缝。按图 3.4 的细节 C 进行的切削或打磨等的总量不应大于达到规定焊缝尺寸(W)所需的量。

3.9.2.2 斜 T 形接头的最小焊缝尺寸。对于斜 T 形接头, 图 3.4 中的细节 A、B 和 C 的最小焊缝尺寸应符合表 5.7 要求。

3.10 塞焊缝和槽焊缝要求

2.4.5.1、2.4.5.2、2.4.5.4 和 2.10.4 列出了采用 SMAW、GMAW (GMAW-S 除外)或 FCAW 工艺制作的塞焊缝和槽焊缝的细节。如果满足 5.24 的技术要求,则可在不进行第 4 节的 WPS 评定的情况下采用这些焊缝。

3.11 PJP 和 CJP 坡口焊缝的通用要求

3.11.1 SMAW 接头中的 FCAW/GMAW。免评定 SMAW 接头的坡口制备细节要求也适用于免评定 GMAW 或 FCAW。

3.11.2 角接接头的制作。对于角接接头,如果坡口的基本形状不变,并且留有足以支持焊接操作而不会导致过分熔化的边缘距离,则可在任何一个构件上制作外侧坡口,或者在两个构件上制作外侧坡口。

3.11.3 根部间隙。接头根部间隙可能不同于 3.12.3 和 3.13.1 中注明的间隙。但对于采用 FCAW、GMAW 和 SAW 工艺的自动化或机械化焊接,根部间隙最大差值(装配时最大间隙与最小间隙差值)不可超过 1/8 in. [3 mm]。当差值超过 1/8 in. [3 mm]时,则应在进行自动化或机械化焊接之前进行局部纠正。

3.12 PJP 要求

应按图 3.2 给出接头细节制作 PJP 坡口焊缝。应采用 3.12.3 规定的尺寸限制。

3.12.1 定义。除了 9.11.2 和图 3.3 (B-L1-S)给出的定义外,仅从一面施焊而背部无钢衬垫的坡口焊缝以及从二面施焊但背面不清根的坡口焊缝均被视为是 PJP 坡口焊缝。

3.12.2 焊缝尺寸。免评定 PJP 坡口的焊缝尺寸(E)应如图 3.2 所示,该图标出了推荐在焊接操作中使用的特定焊接工艺、接头代号、坡口角度和焊接位置。

3.12.2.1 免评定焊缝尺寸

(1) PJP 单面 V 形或双面 V 形、单边 V 形、J 形和 U 形坡口焊缝的最小焊缝尺寸(即焊缝类型 2 至类型 9)应图表 3.5 所示。母材的厚度应足以满足所需接头细节的要求,并且应符合 3.12.3 列出的变化要求及表 3.5 给出的要求。

(2) 不应限定母材的最大厚度。

(3) 应按图 3.2 计算 PJP 直坡口焊缝 B-P1 及单边喇叭形坡口焊缝 BTC-P10 和 B-P11 的最小焊缝尺寸。

(4) 施工图或加工细节应规定适用于 3.12.2 所需的焊缝尺寸“(E)”的设计坡口深度“S”。(注意, 本要求不适用于 B-P1、BTC-P10 和 B-P11 细节)

3.12.3 接头尺寸

(1) 在设计图或零件图上, 3.12 规定的坡口焊缝的尺寸会在图 3.2 的“零件图用公差”一栏所示的公差范围内变化。

(2) 图 3.2 的装配用公差适用于细节上标出的尺寸。但使用装配用公差并不意味着用户不必遵守 3.12.2.1 的最小焊缝尺寸要求。

(3) J 形和 U 形坡口可在装配前或在装配后制备。

3.13 CJP 坡口焊缝要求

可在不进行第 4 节所述 WPS 评定试验的前提下使用的 CJP 坡口焊缝应按图 3.3 要求进行细节设计, 并且应满足 3.13.1 所述限制条件。

3.13.1 接头尺寸。在设计图或零件图上, 3.13 规定的坡口焊缝的尺寸会在图 3.3 的“零件图用公差”一栏所示的公差范围内变化。图 3.3 的装配用公差适用于细节上标出的尺寸。

3.13.2 衬垫。除了管材允许的情况外, 仅从一面施焊的免评定 CJP 坡口焊缝应采用钢衬垫。

3.13.2.1 当满足下列条件时, 未使用钢衬垫或隔片的免评定 CJP 坡口焊缝也可采用除 5.9.3 所列钢衬垫之外的其他衬垫:

- (1) 焊接完毕后拆除了衬垫; 和
- (2) 焊缝背面清根至露出完好金属并进行背焊。

对于采用除钢衬垫之外的衬垫焊接的接头焊接工艺, 如果焊缝处于未进行清根的焊态状态, 并且是从另外一面焊接的, 则不应免除评定。

3.13.3 双面坡口制备。J 形和 U 形坡口以及背面已经部分施焊的双面 V 形和双面单边 V 形坡口的另一面均可在装配前或装配后制备。在背面清根后, 已部分施焊的双面 V 形和双面单边 V 形坡口接头的根部应有类似于免评定 U 形或 J 形接头的形状。

3.14 焊后热处理

如果应获得工程师批准并且满足下列条件, 则焊后热处理(PWHT)应为免评定焊后热处理:

- (1) 母材的最低规定屈服强度不应超过 50 ksi [345 MPa]。
- (2) 在制造母材时, 不应通过淬火和回火(Q&T)、淬火和自回火(Q&ST)、热机控制处理

(TMCP)或冷加工来达到更高的力学性能(比如 ASTM A500 某些级别的管材)。

(3) 不应有对母材、HAZ 或焊缝进行进行缺口韧性试验的要求。

(4) 应有证实焊缝金属在焊后热处理条件下具备足够强度和延展性的数据(比如从相关 AWS A5.X 填充金属规范和等级或从填充金属制造商处获得的数据)。

(5) 应按 5.8 要求进行 PWHT。

表 3.1 免评定 WPS 的批准母材

(见 3.3)

钢材技术条件要求					
组 别	钢材技术条件	最小屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围	
		ksi	MPa	ksi	MPa
	ASTM A36 ($\leq 3/4$ in. [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A53 B 级	35	240	60(最小值)	415(最小值)
	ASTM A106 B 级	35	240	60(最小值)	415(最小值)
	ASTM A131 A、B、CS、D、DS、E 级	34	235	58–75	400–520
	ASTM A139 B 级	35	240	60(最小值)	415(最小值)
	ASTM A381 Y35 级	35	240	60(最小值)	415(最小值)
	ASTM A500 A 级	33	230	45(最小值)	310(最小值)
	B 级	42	290	58(最小值)	400(最小值)
I	C 级	46	315	62(最小值)	425(最小值)
	ASTM A501 A 级	36	250	58(最小值)	400(最小值)
	ASTM A516 55 级	30	205	55–75	380–515
	60 级	32	220	60–80	415–550
	ASTM A524 I 级	35	240	60–85	415–586
	II 级	30	205	55–80	380–550
	ASTM A573 65 级	35	240	65–77	450–530
	58 级	32	220	58–71	400–490
	ASTM A709 36 级 ($\leq 3/4$ in. [20 mm])	36	250	58–80	400–550

(待续)

表 3.1(续) 免评定 WPS 的批准母材

(见 3.3)

钢材技术条件要求						
组别	钢材技术条件		最小屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围	
			ksi	MPa	ksi	MPa
I	ASTM A1008 SS	30 级	30	205	45(最小值)	310(最小值)
		33 级, 1 类	33	230	48(最小值)	330(最小值)
		40 级, 1 类	40	275	52(最小值)	360(最小值)
	ASTM A1011 SS	30 级	30	205	49(最小值)	340(最小值)
		33 级	33	230	52(最小值)	360(最小值)
		36 级, 1 类	36	250	53(最小值)	365(最小值)
		40 级	40	275	55(最小值)	380(最小值)
		45 级	45	310	60(最小值)	410(最小值)
	ASTM A1018 SS	30 级	30	205	49(最小值)	340(最小值)
		33 级	33	230	52(最小值)	360(最小值)
		36 级	36	250	53(最小值)	365(最小值)
		40 级	40	275	55(最小值)	380(最小值)
	API 5L	B 级	35	241	60	414
		X42 级	42	290	60	414
	ABS	A、B、D、CS、DS 级	34	235	58–75	400–520
		E 级 ^b	34	235	58–75	400–520
	ASTM A36	(>3/4 in. [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A131	AH32、DH32、EH32 级	46	315	64–85	440–590
		AH36、DH36、EH36 级	51	355	71–90	490–620
	ASTM A441		40–50	275–345	60–70	415–485
II	ASTM A501	B 级	50	345	70(最小值)	485(最小值)
	ASTM A516	65 级	35	240	65–85	450–585
		70 级	38	260	70–90	485–620
	ASTM A529	50 级	50	345	70–100	485–690
		55 级	55	380	70–100	485–690

(待续)

表 3.1(续) 免评定 WPS 的批准母材
(见 3.3)

钢材技术条件要求						
组别	钢材技术条件		最小屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围	
			ksi	MPa	ksi	MPa
II	ASTM A537	1 类	45–50	310–345	65–90	450–620
	ASTM A572	42 级	42	290	60(最小值)	415(最小值)
		50 级	50	345	65(最小值)	450(最小值)
		55 级	55	380	70(最小值)	485(最小值)
	ASTM A588 ^b	(4 in. [100 mm]及以下)	50	345	70(最小值)	485(最小值)
	ASTM A595	A 级	55	380	65(最小值)	450(最小值)
		B 级和 C 级	60	410	70(最小值)	480(最小值)
	ASTM A606b		45–50	310–340	65(最小值)	450(最小值)
	ASTM A618	Ib、II、III 级	46–50 42	315–345	65(最小值)	450(最小值)
	ASTM A633	A 级		290	63–83	430–570
		C 级和 D 级	50	345	70–90	485–620
		(2-1/2 in. [65 mm]及以下)				
	ASTM A709	36 级(>3/4 in. [20 mm])	36	250	58–80	400–550
		50 级	50	345	65(最小值)	450(最小值)
		50W 级 ^b	50	345	70(最小值)	485(最小值)
		50S 级	50–65	345–450	65(最小值)	450(最小值)
		HPS 50W 级 ^b	50	345	70(最小值)	485(最小值)
	ASTM A710	A 级, 2 类 (>2 in. [50 mm])	50–55	345–380	60–65	415–450
	ASTM A808	(2-1/2 in. [65 mm]及以下)	42	290	60(最小值)	415(最小值)
	ASTM A913	50 级	50	345	65(最小值)	450(最小值)
	ASTM A992		50–65	345–450	65(最小值)	450(最小值)
	ASTM A1008					
	HSLAS	45 级, 1 类	45	310	60(最小值)	410(最小值)
		45 级, 2 类	45	310	55(最小值)	380(最小值)
		50 级, 1 类	50	340	65(最小值)	450(最小值)
		50 级, 2 类	50	340	60(最小值)	410(最小值)
		55 级, 1 类	55	380	70(最小值)	480(最小值)
		55 级, 2 类	55	380	65(最小值)	450(最小值)

(待续)

表 3.1(续) 免评定 WPS 的批准母材
(见 3.3)

组 别	钢材技术条件要求				
	钢材技术条件	最小屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围	
		ksi	MPa	ksi	MPa
II	ASTM A1008 HSLAS-F	50 级	50	340	60(最小值) 410(最小值)
	ASTM A1011 HSLAS	45 级, 1 类	45	310	60(最小值) 410(最小值)
		45 级, 2 类	45	310	55(最小值) 380(最小值)
		50 级, 1 类	50	340	65(最小值) 450(最小值)
		50 级, 2 类	50	340	60(最小值) 410(最小值)
		55 级, 1 类	55	380	70(最小值) 480(最小值)
		55 级, 2 类	55	380	65(最小值) 450(最小值)
	ASTM A1011 HSLAS-F	50 级	50	340	60(最小值) 410(最小值)
	ASTM A1011 SS	50 级	50	340	65(最小值) 450(最小值)
		55 级	55	380	70(最小值) 480(最小值)
	ASTM A1018 HSLAS	45 级, 1 类	45	310	60(最小值) 410(最小值)
		45 级, 2 类	45	310	55(最小值) 380(最小值)
		50 级, 1 类	50	340	65(最小值) 450(最小值)
		50 级, 2 类	50	340	60(最小值) 410(最小值)
		55 级, 1 类	55	380	70(最小值) 480(最小值)
		55 级, 2 类	55	380	65(最小值) 450(最小值)
	ASTM A1018 HSLAS-F	50 级	50	340	60(最小值) 410(最小值)
	ASTM A1085		50–70	345–485	65(最小值) 450(最小值)
	API 2H	42 级	42	289	62–82 427–565
		50 级	50	345	70–90 483–620

(待续)

表 3.1(续) 免评定 WPS 的批准母材
(见 3.3)

钢材技术条件要求						
组别	钢材技术条件		最小屈服点/		抗拉强度范围	
			屈服强度			
			ksi	MPa	ksi	MPa
II	API 2MT1	50 级	50	345	65–90	488–620
	API 2W	42 级	42–67	290–462	62(最小值)	427(最小值)
		50 级	50–75	345–517	65(最小值)	448(最小值)
		50T 级	50–80	345–552	70(最小值)	483(最小值)
	API 2Y	42 级	42–67	290–462	62(最小值)	427(最小值)
		50 级	50–75	345–517	65(最小值)	448(最小值)
		50T 级	50–80	345–552	70(最小值)	483(最小值)
	API 5L	X52 级	52	359	66(最小值)	455(最小值)
	ABS	AH32、DH32、EH32 级	46	315	64–85	440–590
		AH36、DH36、EH36 级 ^b	51	355	71–90	490–620
	API 2W	60 级	60–90	414–621	75(最小值)	517(最小值)
	API 2Y	60 级	60–90	414–621	75(最小值)	517(最小值)
	ASTM A537	2 类 ^b	46–60	315–415	70–100	485–690
	ASTM A572	60 级	60	415	75(最小值)	520(最小值)
		65 级	65	450	80(最小值)	550(最小值)
	ASTM A633	E 级 ^b	55–60	380–415	75–100	515–690
	II I	ASTM A710	A 级, 2 类(≤2 in. [50 mm])	60–65	415–450	72(最小值)
ASTM A710		A 级, 3 类 (>2 in. [50 mm])	60–65	415–450	70–75	485–515
ASTM A913a		60 级	60	415	75(最小值)	520(最小值)
		65 级	65	450	80(最小值)	550(最小值)
ASTM A1018 HSLAS		60 级, 2 类	60	410	70(最小值)	480(最小值)
		70 级, 2 类	70	480	80(最小值)	550(最小值)
ASTM A1018 HSLAS-F		60 级, 2 类	60	410	70(最小值)	480(最小值)
		70 级, 2 类	70	480	80(最小值)	550(最小值)
I		ASTM A709	HPS 70W 级	70	485	85–110
V	ASTM A852		70	485	90–110	620–760
	ASTM A913 ^a	70 级	70	485	90(最小值)	620(最小值)

^a 5.7 的热输入限制要求不适用于 ASTM A913 的 60 级、65 级或 70 级钢。

^b 可能需要采用特殊的焊接材料和 WPS(比如 E80XX-X 低合金焊条)，以满足母材的缺口韧性要求(适用于设计到冲击荷载或低温的应用条件)，或者满足耐大气腐蚀与耐候性要求(见 3.7.3)。

注：

1. 在涉及不同组别母材的接头中，下述填充金属均可使用：(2)与较高强度母材匹配的填充金属；或者是(2)与较低强度母材匹配并产生低氢熔敷层的填充金属。应按较高强度组的适用要求进行预热。
2. 按照所用钢材选择匹配 API 标准 2B(制作的管材)。
3. 当焊缝需要进行应力消除处理时，熔敷的焊缝金属中钒的含量不应超过 0.05%。
4. 匹配填充金属的许用应力要求见表 2.3 和表 9.2。
5. 填充金属的性能已被移到非强制附录 T 中。
6. 可采用相同分类的 AWS A5M (SI 单位制)焊条来替代 AWS A5(美国惯用单位)焊条。
7. 表 3.2 中特定组别的任何焊条分类也可被用于焊接表 3.1 中该分类的任何母材。

表 3.2 表 3.1 中 I、II、III 和 IV 组别匹配强度的填充金属—SMAW 和 SAW

(见 3.3)

母材 组别	AWS 焊条规范	SMAW		SAW	
		A5.1, 碳钢	A5.5 ^a , 低碳钢	A5.17, 碳钢	A5.23 ^c , 低碳钢
I	AWS 焊条类别	E60XX	E70XX-X	F6XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
		E70XX		F6XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
				F7XX-EXXX	
				F7XX-ECXXX	
II	AWS 焊条类别	E7015	E7015-X		
		E7016	E7016-X	F7XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
		E7018	E7018-X	F7XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
		E7028			
III	AWS 焊条类别	N/A	E8015-X	N/A	F8XX-EXXX-XX
			E8016-X		F8XX-ECXXX-XX
			E8018-X		
IV	AWS 焊条类别	N/A	E9015-X E9016-X	N/A	F9XX-EXXX-XX
			E9018-X E9018M		F9XX-ECXXX-XX

(待续)

表 3.2 (续) 表 3.1 中 I 组匹配强度的填充金属—FCAW 和 GMAW 金属芯焊丝(见 3.3)

母材 组别	AWS 焊 条规范	焊接工艺					
		GMAW		FCAW		碳钢 GMAW 及 FCAW	碳钢及低碳钢 GMAW 和 FCAW
		A5.18, 碳钢	A5.28 ^a , 低合金钢	A5.20, 碳钢	A5.29 ^a , 低合 金钢	A5.36, 固定类别 ^b	A5.36 ^c 开放分类(见附录 U 的注 8)
I	AWS 焊条	ER70S-X	ER70S-XXX	E7XT-X	E7XTX-X	FCAW 碳钢焊条	FCAW 碳钢焊条
	类别	E70C-XC	E70C-XXX	E7XT-XC	E7XTX-XC	E7XT-1C	E7XTX-XAX-CS1
		E70C-XM		E7XT-XM	E7XTX-XM	E7XT-1M	E7XTX-XAX-CS2
		(不包括带-GS 后缀的焊条)		(不包括带 -2C、-2M、-3、 -10、-13、-14 和 -GS 后缀 的焊条, 也不 包括带-11 后 缀且厚度超过 1/2 in. [12 mm]的焊条)		E7XT-5C	E7XTX-XAX-CS3
						E7XT-5M	
						E7XT-9C	
						E7XT-9M	
						E7XT-12C	
						E7XT-12M	
						E70T-4	
						E7XT-6	
						E7XT-7	
						E7XT-8	
						(不包括带 T1S、T3S、T10S、T14S 和 -GS 后缀的药芯焊丝, 也不包括带-11 后缀且厚度超过 1/2 in. [12 mm]的焊 条)	(不包括带 T1S、T3S、T10S、T14S 和 -GS 后缀的药芯焊丝, 也不包括带-11 后缀且厚度超过 1/2 in. [12 mm]的焊 条)
						GMAW 金属药芯碳钢焊条	GMAW 金属药芯碳钢焊条
						E70C-6M	E7XTX-XAX-CS1
						(不包括带-GS 后缀的焊条)(注 A5.36 没有其他碳钢金属药芯焊丝或低碳钢 药芯焊丝或金属药芯焊丝的固定类别)	E7XTX-XAX-CS2 (不包括带-GS 后缀的焊条)
							GMAW 金属药芯低碳钢焊条

E7XTX-XAX-XXX

表 3.2 (续) 表 3.1 中 I 组匹配强度的填充金属—FCAW 和 GMAW 金属芯焊丝(见 3.3)

焊接工艺							
母材 组别	AWS 焊 条规范	GMAW		FCAW		碳钢 GMAW 及 FCAW	碳钢及低碳钢 GMAW 和 FCAW
		A5.18, 碳钢	A5.28 ^a , 低合金钢	A5.20, 碳钢	A5.29 ^a , 低合 金钢	A5.36, 固定类别 ^b	A5.36 ^c 开放分类(见附录 U 的注 8)
III	AWS 焊条 规范	N/A	ER80S-XXX	N/A	E8XTX-X	FCAW 碳钢焊条	FCAW 碳钢焊条
			E80C-XXX		E8XTX-XC	N/A	N/A
					E8XTX-XM		FCAW 低碳钢焊条
							E8XTX-AX-XXX
							E8XTX-XAX-XXX
						GMAW 金属药芯碳钢焊条	GMAW 金属药芯碳钢焊条
						N/A	N/A
							GMAW 金属药芯低碳钢焊条
							E8XTX-XAX-XXX
IV	AWS 焊条 规范	N/A	ER90S-XXX	N/A	E9XTX-X	FCAW 碳钢焊条	FCAW 碳钢焊条
			E90C-XXX		E9XTX-XC	N/A	N/A
					E9XTX-XM		FCAW 低碳钢焊条
							E9XTX-AX-XXX
							E9XTX-XAX-XXX
						GMAW 金属药芯碳钢焊条	GMAW 金属药芯碳钢焊条
						N/A	N/A
							GMAW 金属药芯低碳钢焊条
							E9XTX-XAX-XXX

^a 当在焊态下使用时，AWS A5.5、A5.23、A5.28 或 A5.29 中 B3、B3L、B4、B4L、B5、B5L、B6、B6L、B7、B7L、B8、B8L、B9、E9015-C5L、E9015-D1、E9018-D1、E9018-D3 的任何组别或任何 BXH 级填充金属都不是免评定填充金属。

^b 碳钢和低合金钢 FCAW 及碳钢 GMAW 金属药芯固定类别焊条用的免评定氩气基保护气体应为 M21-ArC-20-25(SG-AC-20/25)，见 3.7.4(2)。

^c 如果在“焊态”下进行分类，则 AWS A5.36/A5.36M 中 B3、B3L、B4、B4L、B5、B5L、B6、B6L、B7、B7L、B8、B8L 和 B9 的任何组别的填充金属可以是“免评定”填充金属。

^d 开放分类中的免评定保护气体应限定为供某一类型焊条使用的具体保护气体，而不是保护气体的范围，见 3.7.4(3)。

注：

1. 在涉及不同组别母材的接头中，下述填充金属均可使用：(2)与较高强度母材匹配的填充金属；或者是(2)与较低强度母材匹配并产生低氢熔敷层的填充金属。应按较高强度组的适用要求进行预热。
2. 按照所用钢材选择匹配 API 标准 2B(制作的管材)。
3. 当焊缝需要进行应力消除处理时，熔敷的焊缝金属中钒的含量不应超过 0.05%。
4. 匹配填充金属的许用应力要求见表 2.3 和表 9.2。
5. 填充金属的性能已被移到非强制附录 T 中。
6. 可采用相同分类的 AWS A5M (SI 单位制)焊条来替代 AWS A5(美国惯用单位)焊条。
7. 表 3.2 中特定组别的任何焊条分类也可被用于焊接表 3.1 中该分类的任何母材。
8. AWS A5.36/A5.36M 的开放分类见附录 U。

表 3.3 免评定最低预热温度和道间温度

(见 3.5)

类别	钢材技术条件		焊接工艺	焊接处最厚部分的厚度		最低预热温度和道间温度	
				in.	mm	°F	°C
A	ASTM A36		SMAW(不采用低氢焊条)				
	ASTM A53	B 级					
	ASTM A106	B 级					
	ASTM A131	A、B、CS、D、DS、E 级					
	ASTM A139	B 级					
	ASTM A381	Y35 级					
	ASTM A500	A 级					
		B 级					
		C 级					
	ASTM A501	A 级					
	ASTM A516						
	ASTM A524	I & II 级					
	ASTM A573	65 级		1/8~≤3/4	3~≤20	32 ^a	0 ^a
	ASTM A709	36 级					
	ASTM A1008 SS	30 级		>3/4~≤1½	>20~≤38	150	65
		33 级, 1 类					
		40 级, 1 类		>1½~≤2½	>38~≤65	225	110
	ASTM A1011 SS	30 级					
		33 级		>2½	>65	300	150
		36 级, 1 类					
		40 级					
		45 级					
		50 级					
		55 级					
	ASTM A1018 SS	30 级					
		33 级					
		36 级					
		40 级					
	API 5L	B 级					
		X42 级					
	ABS	A、B、D、CS、DS 级					
		E 级					

(待续)

表 3.3(续) 免评定最低预热温度和道间温度

(见 3.5)

类别	钢材技术条件		焊接工艺	焊接处最厚部分的厚度		最低预热温度和道间温度	
				in.	mm	°F	°C
B	ASTM A36						
	ASTM A53	B 级					
	ASTM A106	B 级					
	ASTM A131	A、B、CS、D、DS、 E 级					
		AH 32 & 36					
		DH 32 & 36					
		EH 32 & 36					
	ASTM A139	B 级					
	ASTM A381	Y35 级					
	ASTM A441						
	ASTM A500	A 级					
		B 级					
		C 级		1/8~≤3/4	3~≤20	32 ^a	0 ^a
	ASTM A501	A 和 B 级					
	ASTM A516	55 & 60 级	SMAW(采用低氢焊条)、SAW、 GMAW、FCAW	>3/4~≤1½	>20~≤38	150	65
		65 & 70 级					
	ASTM A524	I & II 级		>1½~≤2½	>38~≤65	225	110
	ASTM A529	50 & 55 级					
	ASTM A537	1&2 类		>2½	>65	300	150
	ASTM A572	42、50、55 级					
	ASTM A573	65 级					
	ASTM A588						
	ASTM A595	A、B、C 级					
	ASTM A606						
	ASTM A618	Ib、II、III 级					
	ASTM A633	A、B 级					
		C、D 级					
	ASTM A709	36、50、50S、50W、 HPS 50W 级					
	ASTM A710	A 级, 2 类 (>2 in. [50 mm])					
	ASTM A808						
	ASTM A913 ^b	50 级					

(待续)

表 3.3(续) 免评定最低预热温度和道间温度

(见 3.5)

类别	钢材技术条件		焊接工艺	焊接处最厚部分的厚度		最低预热温度和道间温度	
				in.	mm	°F	°C
B (续)	ASTM A992	45 级, 1 类	SMAW(采用低氢焊条)、SAW、GMAW、FCAW				
	ASTM A1008	45 级, 2 类					
	HSLAS	50 级, 1 类					
		50 级, 2 类					
		55 级, 1 类					
		55 级, 2 类					
	ASTM A1008 HSLAS-F	50 级					
	ASTM A1011 HSLAS	45 级, 1 类					
		45 级, 2 类					
		50 级, 1 类					
		50 级, 2 类					
		55 级, 1 类					
		55 级, 2 类					
	ASTM A1011 HSLAS-F	50 级		1/8~≤3/4	3~≤20	32 ^a	0 ^a
	ASTM A1018 HSLAS	45 级, 1 类		>3/4~≤1½	>20~≤38	150	65
		45 级, 2 类		>1½~≤2½	>38~≤65	225	110
		50 级, 1 类					
		50 级, 2 类		>2½	>65	300	150
		55 级, 1 类					
		55 级, 2 类					
	ASTM A1018 HSLAS-F	50 级					
	ASTM A1018 SS	30 级					
		33 级					
		36 级					
		40 级					
	ASTM 1085	B 级					
	API 5L	X42 级					
	API Spec. 2H	42、50 级					
	API 2MT1	50 级					
	API 2W	42、50、50T 级					
	API 2Y	42、50、50T 级					
	ABS	AH 32 & 36 级					
		DH 32 & 36 级					
		EH 32 & 36 级					

(待续)

表 3.3(续) 免评定最低预热温度和道间温度

(见 3.5)

类别	钢材技术条件		焊接工艺	焊接处最厚部分的厚度		最低预热温度和道间温度	
				in.	mm	°F	°C
C	ASTM A572	60、65 级	SMAW(采用低氢条)、SAW、GMAW、FCAW	1/8~≤3/4	3~≤20	50	10
	ASTM A633	E 级					
	ASTM A913b	60、65、70 级		>3/4~≤1½	>20~≤38	150	65
	ASTM A710	A 级, 2 类 (≤2 in. [50 mm])					
	ASTM A710	A 级, 3 类 (>2 in. [50 mm])		>1½~≤2½	>38~≤65	225	110
	ASTM A709 ^c	HPS 70W 级		>2½	>65	300	150
	ASTM A852 ^c						
	ASTM A1018	60 级, 2 类					
	HSLAS	70 级, 2 类					
	ASTM A1018	60 级, 2 类					
HSLAS-F	70 级, 2 类						
API 2W	60 级						
API 2Y	60 级						
API 5L	X52 级						
D	ASTM A710	A 级(所有分类)	当按 AWS A4.3 试验时, 能够利用焊条或焊丝-焊剂组合熔敷最大氢扩散含量为 8 ml/100 g(H8)的焊缝金属 SMAW、SAW、GMAW 和 FCAW	所有厚度≥1/8 in. [3 mm]	32 ^a	0 ^a	
	ASTM A913b	50、60、65 级					

^a 当母材温度低于 32°F [0°C]时, 应将母材至少预热到 70°F [20°C], 并且应在整个焊接期间维持最低道间温度。

^b 5.7 的热输入限制要求不适用于 ASTM A913。

^c 对于 ASTM A709 的 HPS 70W 级钢和 ASTM A852 的 70 级钢, 当厚度≤1½ in. [40 mm]时, 最低预热温度和道间温度不应超过 400°F [200°C]; 当厚度大于 1½ in. [40 mm]时, 最低预热温度和道间温度不应超过 50°F [230°C]。

注:

1. 并联焊丝埋弧焊或多丝埋弧焊预热温度的修改见 3.5.2。

2. 周围环境与母材温度要求见 5.11.2 和 5.6。

表 3.4 裸露耐候钢所用填充金属的要求

(见 3.7.3)

焊接工艺	AWS 填充金属规范	认可的焊条 ^a
SMAW	A5.5	熔敷焊缝金属满足 A5.5 中的 B2L、C1、C1L、C2、C2L、C3 或 WX 分析结果要求的所有焊条。
SAW	A5.23	熔敷焊缝金属满足 A5.23 中的 Ni1、Ni2、Ni3、Ni4 或 WX 分析结果要求的所有焊丝-焊剂组合。
FCAW	A5.29 和 A5.36	熔敷焊缝金属满足 A5.29 或 A5.36 中的 B2L、K2、Ni1、Ni2、Ni3、Ni4 或 WX 分析结果要求的所有焊条。
GMAW	A5.28 和 A5.36	满足 A5.28 或 A5.36 中的 B2L、G ^a 、Ni1、Ni2、Ni3 分析结果的填充金属成分要求的所有焊条。

^a 熔敷焊缝金属的化学成分应与本表给出的任何一种焊缝金属的成分相同。

注：

1. 除了上面列出的成分要求外，填充金属还应满足表 3.2 的要求。可采用具备 AWS 填充金属规范中列出的下一个较高抗拉强度的相同类型的填充金属。

2. 金属芯焊丝的命名方式如下：

SAW：在字母“E”和“X”之间插入字母“C”，比如 F7AXECXXX-Ni1。

GMAW：将字母“S”替换为字母“C”并省略字母“R”，比如 E80C-Ni1。AWS A5.36 合成焊条的代号是 T15 或 T16，比如 E8XT15-XXX-Ni1、E8XT16-XXX-Ni1。

表 3.5 免评定 PJP 焊缝的最小尺寸(E)

(见 3.12.2.1)

母材厚度(T) ^a	焊缝最小尺寸 ^b	
	in. [mm]	in. mm
1/8 [3]~≤3/16 [5]	1/16	2
>3/16 [5]~≤1/4 [6]	1/8	3
>1/4 [6]~≤1/2 [12]	3/16	5
>1/2 [12]~≤3/4 [20]	1/4	6
>3/4 [20]~≤1½ [38]	5/16	8
>1½ [38]~≤2¼ [57]	3/8	10
>2¼ [57]~≤6 [150]	1/2	12
>6 [150]	5/8	16

^a 对于按 4.8.4 计算的不进行预热且采用非低氢焊条的焊接工艺，T 等于所连接的较厚件的厚度，应采用单道焊缝。对于按 4.8.4 确立的用于防止开裂的采用低氢焊条及不采用低氢焊条的焊接工艺，T 等于所连接的较薄件的厚度；不要求采用单道焊。

^b 焊缝尺寸不需要超过所连接的较薄件的厚度的情况除外。

表 3.6 免评定 WPS 的要求^f(见 3.7)

表 3.6 免评定 WPS 的要求 ^f (见 3.7)							
参数	位置	焊缝类型	SMAW	SAW ^d			GMAW/ FCAW ^g
				单丝	并列 双丝	多丝	
焊条最大 直径	平焊	角焊缝 ^a	5/16 in. [8.0 mm]				1/8 in. [3.2 mm]
		坡口焊缝 ^a	1/4 in. [6.4 mm]				
		根部焊道	3/16 in. [4.8 mm]				
	横焊	角焊缝	1/4 in. [6.4 mm]	要求进行 WPS 评定试验			1/8 in. [3.2 mm]
		坡口焊缝	3/16 in. [4.8 mm]				
	立焊	全部	3/16 in. [4.8 mm] ^b				3/32 in. [2.4 mm]
	仰焊	全部	3/16 in. [4.8 mm] ^b				5/64 in. [2.0 mm]
最大电流	全部	角焊缝	在填充金属制造 商推荐的使用范 围内	1000A	1200A	不限	在填充金属制造 商推荐的使用范 围内
	全部	坡口焊缝有间 隙根部焊道		600A	700A		
		坡口焊缝无间 隙根部焊道			900A		
		坡口焊缝填充 焊道			1200A		
		坡口焊缝盖面 焊道		不限			
根部焊道 最大厚度 ^d	平焊	全部	3/8 in. [10 mm]	不限		3/8 in. [10 mm]	
	横焊		5/16 in. [8 mm]			5/16 in. [8 mm]	
	立焊		1/2 in. [12 mm]			1/2 in. [12 mm]	
	仰焊		5/16 in. [8 mm]			5/16 in. [8 mm]	
填充焊道 最大厚度	全部	全部	3/16 in. [5 mm]	1/4 in. [6 mm]	不限		1/4 in. [6 mm]
单道角焊 缝最大尺 寸 ^e	平焊	角焊缝	3/8 in. [10 mm]	不限			1/2 in. [12 mm]
	横焊		5/16 in. [8 mm]	5/16 in. [8 mm]	5/16 in. [8 mm]	1/2 in. [12 mm]	3/8 in. [10 mm]
	立焊		1/2 in. [12 mm]				1/2 in. [12 mm]
	仰焊		5/16 in. [8 mm]				5/16 in. [8 mm]
单道焊焊 层最大宽 度	全部(指 GMAW/ FCAW) , 平焊和 横焊(指 SAW)	根部间隙 > 1/2 in. [12 mm]		错层	横向移 动的焊 条或错 层	错层	错层
		宽度为 W 的任 何焊层		若 w> 5/8 in. [16 mm] , 则为错 层	若 w> 5/8 in. [16mm] , 则为含 纵列焊 条的错 层	若 w> 1 in. [25 mm] , 则为错 层	(注 e)

^a 不包括根部焊道。^b EXX14 和低氢焊条为 5/32 in. [4.0 mm]。^c 未喷漆及外露 ASTM A588 钢的焊接要求见 3.7.3。^d 宽度-深度限制见 3.7.2。^e 在非管材的平焊、横焊、或仰焊位置，当层的宽度 $w > 5/8$ in. [16 mm] 时采用错层。在非管材的立焊位置或者管材的平焊、横焊、立焊和仰焊位置，当层的宽度 $w > 1$ in. [25 mm] 时采用错层。^f 阴影区域表示不适用。^g GMAW-S 不应免除评定。

表 3.7 免评定 WPS 参数 (见 3.6 和 3.7)				
免评定 WPS 参数	工艺			
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW
概述				
1) 改变焊接工艺 ^a	X	X	X	X
2) 改变焊接位置	X	X	X	X
母材				
3) 改变母材组别(见表 3.1)	X	X	X	X
4) 改变母材预热温度 (见表 3.3)	X	X	X	X
填充金属				
5) 改变焊条分类	X	X	X	X
6) 改变焊丝-焊剂分类		X		
7) 改变焊条公称直径	X	X	X	X
8) 改变焊条数量		X		
工艺参数				
9) 改变电流		增加或减小 量> 10%	增加或减小 量> 10%	增加或减小 量> 10%
10) 改变电流类型(直流或交流)或极性	X	X	X	X
11) 改变过渡模式			X	
12) 改变电压		增加或减小 量>15%	增加或减小 量> 15%	增加或减小 量> 15%
13) 改变送丝速度(如果不控制电流)		增加或减小 量> 10%	增加或减小 量> 10%	增加或减小 量> 10%
14) 改变焊接速度		增加或减小 量> 25%	增加或减小 量> 25%	增加或减小 量> 25%

(待续)

表 3.7(续) 免评定 WPS 参数 (见 3.6 和 3.7)				
免评定 WPS 参数	工艺			
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW
保护气体				
15) 改变保护气体的成分			X	X(仅限 FCAW-G)
16) 改变保护气体的流量			> 25%	>25% (仅限 FCAW-G)
17) 增加气体流量			> 50%	>50% (仅限 FCAW-G)
18) 改变电弧的纵向间距		>10%或 1/8 in. [3 mm], 取较大值		
19) 改变电弧的横向间距		>10%或 1/8 in. [3 mm], 取较大值		
20) 改变并联焊丝的角度方位		增加或减小量> 10°		
21) 对于机械化或自动化 SAW, 改变平行于焊接方向的角度		增加或减小量> 10°		
22) 对于机械化或自动化 SAW, 改变垂直于焊接方向的焊条的角度		增加或减小量>15°		
焊缝细节				
23) 改变焊缝剖面形状(比如将角焊缝改为 CJP 坡口焊缝等)	X	X	X	X
24) 改变图 3.2、图 3.3 和图 3.6 所示坡口焊缝细节	X	X	X	X
热处理				
25) 改变 PWHT (增加或取消) ^a	X	X	X	X

^a 当这一参数改变时, 应重新编制一份 WPS。

注: “X”表示焊接工艺的适用性; 阴影区域表示不适用。

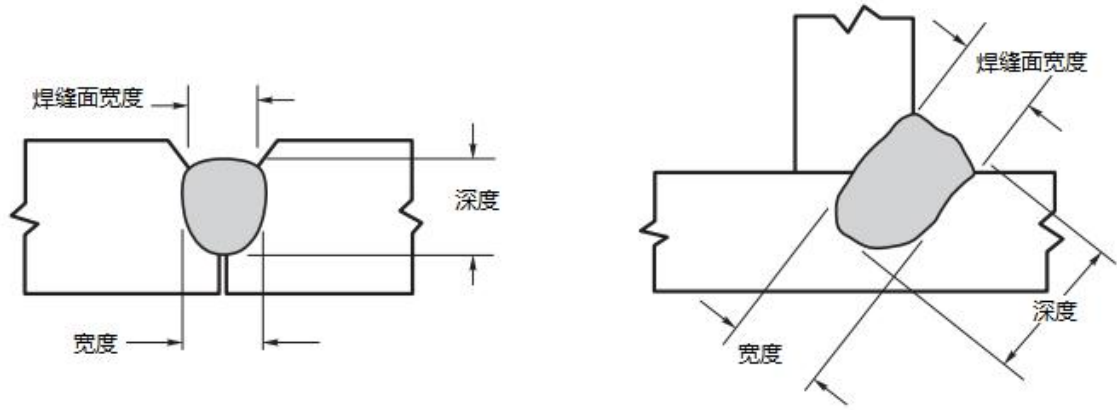


图 3.1—深度和宽度超过焊缝面宽度的焊道

(见 3.7.2)

图 3.2 和图 3.3 的符号说明

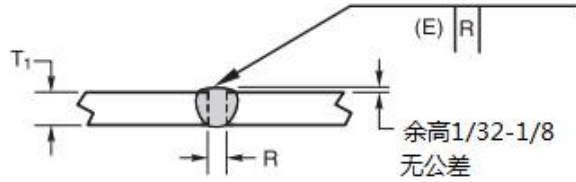
接头类型符号	焊接工艺
B—对接接头	SMAW—手工电弧焊
C—角接接头	GMAW—熔化极气体保护焊
T—T 形接头	FCAW—药芯焊丝电弧焊
BC—对接或角接接头	SAW—埋弧焊
TC—T 形或角接接头	焊接位置
BTC—对接、T 形或角接接头	F—平焊
母材厚度和熔深符号	H—横焊
P—PJP	V—立焊
L—厚度有限制—CJP	OH—仰焊
U—厚度无限制—CJP	尺寸
焊缝类型符号	R = 根部间隙
1—直边坡口	α, β = 坡口角度
2—单面 V 形坡口	f = 钝边
3—双面 V 形坡口	r = J 形或 U 形坡口的半径
4—单面喇叭坡口	S, S ₁ , S ₂ = PJP 坡口焊缝的坡口深度
5—双面喇叭坡口	E, E ₁ , E ₂ = 分别是与 S、S ₁ 、S ₂ 对应的 PJP 坡口
6—单面 U 形坡口	焊缝的尺寸
7—双面 U 形坡口	
8—单面 J 形坡口	
9—双面 J 形坡口	
10—喇叭半 V 形坡口	
11—喇叭 V 形坡口	
非 SMAW 焊接工艺用符号	接头代号
S—SAW	诸如 a、b、c 等之类的小写字母被用于区别具有相同接
G—GMAW	头代号的接头。
F—FCAW	

图 3.2 和图 3.3 的注释

- ^a GMAW-S 和 GTAW 均不免除评定。
- ^b 接头应仅从一面施焊。
- ^c 在承受循环荷载的应用中使用，本细节不适合在对接接头的平焊位置使用(见 2.18.2)。
- ^d 在另外一面焊接前清根至露出完好金属。
- ^e SMAW 的详细接头可被用于免评定 GMAW (GMAW-S 除外)和 FCAW。
- ^f 焊缝最小尺寸(E)见表 3.4。S 即为图纸上规定的尺寸。
- ^g 如果在承受静荷载的结构中用角焊缝来加强 T 形接头和角接接头的坡口焊缝，则这些尺寸应等于 $T_1/4$ ，但无需超过 3/8 in. [10 mm]。承受循环荷载的结构中的 T 形接头和角接接头的坡口焊缝应采用尺寸等于 $T_1/4$ 但不超过 3/8 in. [10 mm]的角焊缝来加强。
- ^h 双面坡口焊缝的坡口深度可以不相等，但较浅坡口的深度不应小于所连接的较薄零件厚度的 1/4。
- ⁱ 如果满足注 f 的限制条件，则双面坡口焊缝的坡口深度可以不相等。此外，每个焊缝尺寸(E)也适用于每个坡口深度。
- ^j 对于对接接头，接头内两个构件之间的方位可在 135°~80°内变化，角接接头的可在 45°~135°内变化，T 形接头的可在 45°~90°内变化。
- ^k 对于角接接头，如果坡口的基本形状不变，并且留有足以支持焊接操作而不会导致过分熔化的边缘距离，则可在任何一个构件上制作外侧坡口，或者在两个构件上制作外侧坡口。
- ^l 应依据焊平的接头来确定焊缝尺寸(E)。
- ^m 对于矩形管材截面上的喇叭 V 形坡口焊缝和喇叭半 V 形坡口焊缝，r 应为壁厚的两倍。
- ⁿ 对于半径 r 不同的喇叭 V 形坡口焊缝，应采用较小的 r 值。
- ^o 对于角接接头和 T 形接头，如果坡口角度和根部间隙可以保持不变，并且坡口面和钢衬垫之间的角度至少是 90°，则构件的方向可在 90°~170°之间变化。见图 3.6。

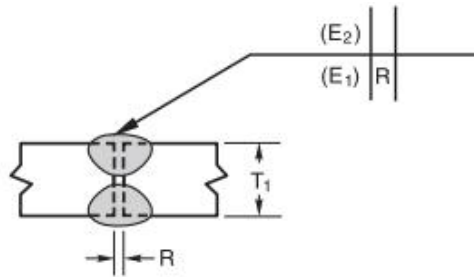
见第 65 页注释

直边坡口焊缝(1)
对接接头(B)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见3.12.3)	装配图用公差(见3.12.3)			
SMAW	B-P1a	1/8	—	R=0~1/16	+1/16, -0	±1/16	全部	T ₁ -1/32	b
	B-P1c	1/4 (最大值)	—	R=T ₁ /2 (最小值)	+1/16, -0	±1/16	全部	T ₁ /2	b
GMAW FCAW	B-P1a-GF	1/8	—	R=0~1/16	+1/16, -0	±1/16	全部	T ₁ -1/32	b,e
	B-P1c-GF	1/4 (最大值)	—	R=T ₁ /2 (最小值)	+1/16, -0	±1/16	全部	T ₁ /2	b,e

直边坡口焊缝(1)
对接接头(B)



E_1+E_2 之和不得超过 $3T_1/4$

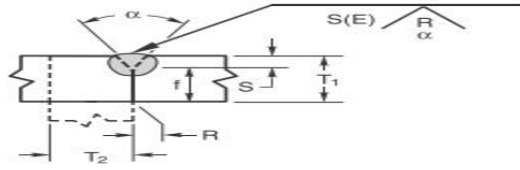
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见3.12.3)	装配图用公差(见3.12.3)			
SMAW	B-P1b	1/4 (最大值)	—	R=T ₁ /2	+1/16, -0	±1/16	全部	3T ₁ /4	
GMAW FCAW	B-P1b-GF	1/4 (最大值)	—	R=T ₁ /2	+1/16, -0	±1/16	全部	3T ₁ /4	e

图 3.2—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节

(见 3.12)(尺寸单位: in.)

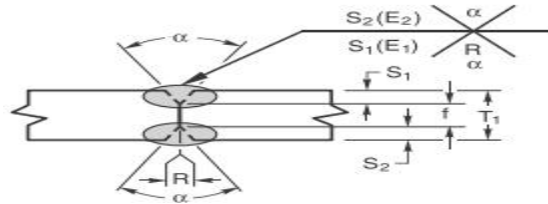
见第 65 页注释

单面 V 形坡口焊缝(2)
对接接头(B)
角接头(C)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用公差(见3.12.3)	装配图用公差(见3.12.3)			
SMAW	BC-P2	1/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/32 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P2-GF	1/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S	a, b, f, j
SAW	BC-P2-S	1/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/4 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S	b, f, j

双面 V 形坡口焊缝(3)
对接接头(B)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无 限定)		坡口制备			容许焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ +E ₂)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	B-P3	1/2 (最小值)	—	R = 0 f = 1/8 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P3-GF	1/2 (最小值)	—	R = 0 f = 1/8 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P3-S	3/4 (最小值)	—	R = 0 f = 1/4 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, i, j

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: in.)

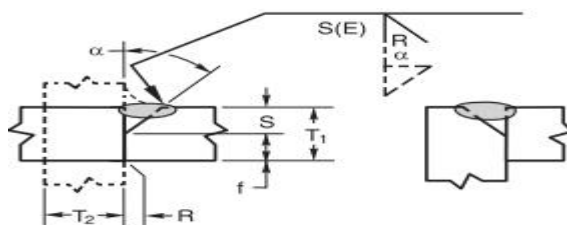
见第 65 页注释

单面喇叭形坡口焊缝(4)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接头(C)



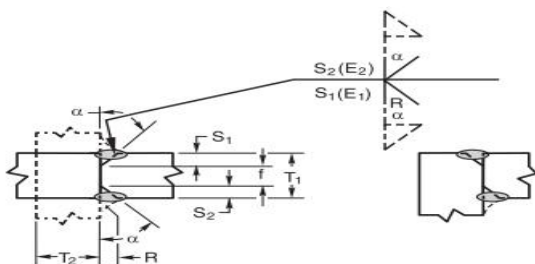
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S-1/8	b, e, f, g, j, k
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	1/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	F, H	S	a, b, f,g, j, k
							V, OH	S-1/8	
SAW	TC-P4-S	7/16 (最小值)	U	R = 0 f = 1/4 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S	b, f, g, j,k

双面喇叭形坡口焊缝(5)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接头(C)

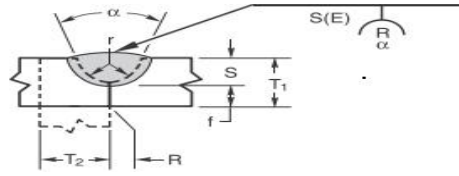


焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ +E ₂)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	BTC-P5	5/16 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂ -1/4	e, f, g, i, j, k
GMAW FCAW	BTC-P5-GF	1/2 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	F, H	S ₁ +S ₂	a, f, g, i, j, k
							V, OH	S ₁ +S ₂ -1/4	
SAW	TC-P5-S	3/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/4 (最小值) α= 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	b, f, g, j,k

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: in.)

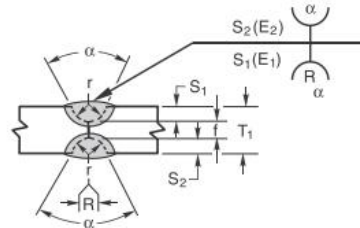
见第 65 页注释

单面 U 形坡口焊缝(6)
对接接头(B)
角接接头(C)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	BC-P6	1/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/32 (最小值) r = 1/4 α = 45°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P6-GF	1/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 1/4 α = 20°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S	a, b, f, j
SAW	BC-P6-S	1/16 (最小值)	U	R = 0 f = 1/4 (最小值) r = 1/4 α = 20°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S	b, f, j

双面 U 形坡口焊缝(7)
对接接头(B)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ +E ₂)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	BC-P7	1/2 (最小值)	—	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 1/4 α= 45°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	BC-P7-GF	1/2 (最小值)	—	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 1/4 α= 20°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	a, f, i, j
SAW	BC-P7-S	3/4 (最小值)	—	R = 0 f = 1/4 (最小值) r = 1/4 α= 20°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	f, i, j

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: in.)

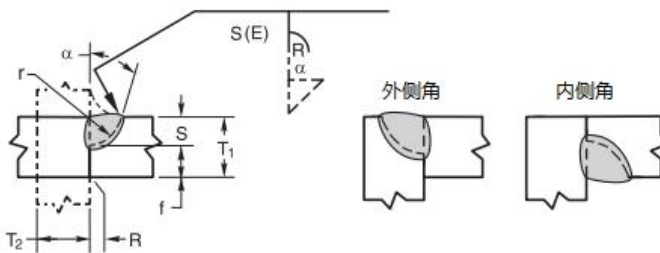
见第 65 页注释

单面 J 形坡口焊缝(8)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接头(C)



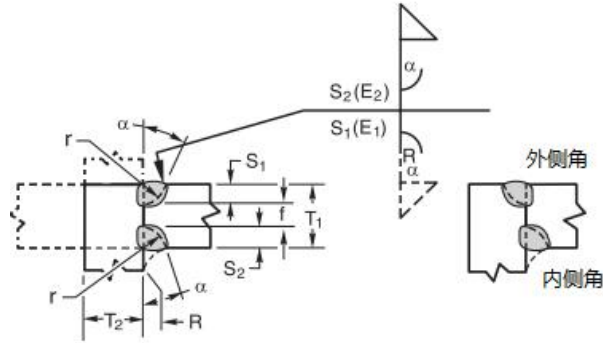
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限制)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	B-P8	1/4 (最小值)	—	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 3/8 α= 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S	e, f, g, j,k
	TC-P8	1/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 3/8 α _{oc} = 30°* α _{ic} =45°**	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	全部	S	e, f, g, j,k
GMAW FCAW	B-P8-GF	1/4 (最小值)	—	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 3/8 α= 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S	a, f, g, j,k
	TC-P8-GF	1/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 3/8 α _{oc} = 30°* α _{ic} =45°**	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	全部	S	a, f, g, j,k
SAW	B-P8-S	7/16 (最小值)	—	R = 0 f = 1/4 (最小值) r = 1/2 α = 20°	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S	f, g, j, k
	TC-P8-S	7/16 (最小值)	U	R = 0 f = 1/4 (最小值) r = 1/2 α _{oc} = 20°* α _{ic} = 45°**	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	F	S	f, g, j, k

* α_{oc} = 外侧角的坡口角度。** α_{ic} = 内侧角的坡口角度。

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: in.)

见第 65 页注释

双面 J 形坡口焊缝(9)
对接接头(B)
T 形接头(T)
角接头(C)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ +E ₂)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	B-P9	1/2 (最小值)	—	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 3/8 α= 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	e, f, g, i,j,k
	TC-P9	1/2 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 3/8 α _{oc} = 30°* α _{ic} =45°**	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	e, f, g, i,j,k
GMAW FCAW	B-P9-GF	1/2 (最小值)	—	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 3/8 α= 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	a, f, g, i,j,k
	TC-P9-GF	1/2 (最小值)	U	R = 0 f = 1/8 (最小值) r = 3/8 α _{oc} = 30°* α _{ic} =45°**	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	a, f, g, i,j,k
SAW	B-P9-S	3/4 (最小值)	—	R = 0 f = 1/4 (最小值) r = 1/2 α = 20°	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	f, g, j, i,k
	TC-P9-S	3/4 (最小值)	U	R = 0 f = 1/4 (最小值) r = 1/2 α _{oc} = 20°* α _{ic} = 45°**	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	f, g, j, i,k

*α_{oc} = 外侧角的坡口角度。

**α_{ic} = 内侧角的坡口角度。

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: in.)

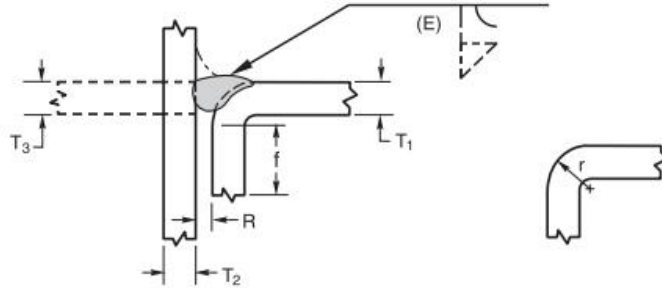
见第 65 页注释

喇叭半 V 形坡口焊缝(10)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接头(C)

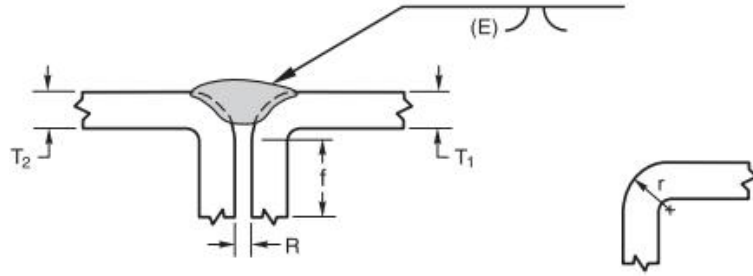


焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)			坡口制备		容许焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注释
		T ₁	T ₂	T ₃	根部间隙	公差			
						零件图用 公差(见 3.12.3)	装配图用 公差(见 3.12.3)		
SMAW FCAW-S	BTC-P10	3/16 (最小值)	U	T ₁ (最小值)	R = 0 f = 3/16 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	全部	5/16 r e, g, j, l
GMAW FCAW-G	BTC-P10 -GF	3/16 (最小值)	U	T ₁ (最小值)	R = 0 f = 3/16 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	全部	5/8 r a, g, j, l, m
SAW	B-P10-S	1/2 (最小值)	N/ A	1/2(最小值)	R = 0 f = 1/2 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	±0 +U, -0 +U, -0	+1/16, -0 +U, -1/16 +U, -0	F	5/16 r g, j, l, m

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: in.)

见第 65 页注释

喇叭 V 形坡口焊缝(11)
对接接头(B)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见3.12.3)	装配图用公差(见3.12.3)			
SMAW FCAW-S	B-P11	3/16(最小值)	T ₁ (最小值)	R = 0 f = 3/16 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	全部	5/8 r	e, j, l, m, n
GMAW FCAW-G	B-P11-GF	3/16(最小值)	T ₁ (最小值)	R = 0 f = 3/16 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	全部	3/4 r	a, j, l, m,n
SAW	B-P11-S	1/2(最小值)	T ₁ (最小值)	R = 0 f = 1/2 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	±0 +U, -0 +U, -0	+1/16, -0 +U, -1/16 +U, -0	F	1/2 r	j, l, m,n

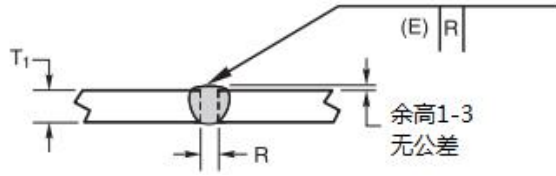
图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: in.)

见第 65 页注释

直边坡口焊缝(1)

对接接头(B)

所有尺寸的单位均为 mm。



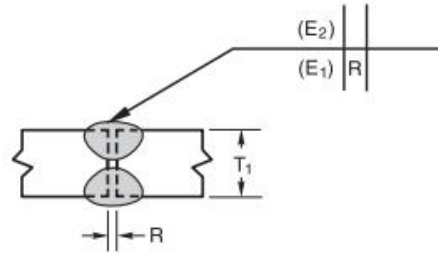
焊接 工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊 接位置	焊缝尺 寸(E)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 公差(见 3.12.3)	装配图用 公差(见 3.12.3)			
SMAW	B-P1a	3	—	R = 0~2	+2, -0	±2	全部	T ₁ -1	b
	B-P1c	6 (最大值)	—	R = T ₁ /2 (最小值)	+2, -0	±2	全部	T ₁ /2	b
GMAW FCAW	B-P1a-GF	3	—	R = 0~2	+2, -0	±2	全部	T ₁ -1	b, c
	B-P1c-GF	6 (最大值)	—	R = T ₁ /2 (最小值)	+2, -0	±2	全部	T ₁ /2	b, c

直边坡口焊缝(1)

对接接头(B)

E₁+E₂之和不得超过 3T₁/4

所有尺寸的单位均为 mm。



焊接 工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊 接位置	焊缝尺 寸(E)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 公差(见 3.12.3)	装配图用 公差(见 3.12.3)			
SMAW	B-P1b	6 (最大值)	—	R =T ₁ /2	+2, -0	±2	全部	3T ₁ /4	
GMAW FCAW	B-P1b-GF	6 (最大值)	—	R =T ₁ /2	+2, -0	±2	全部	3T ₁ /4	e

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: mm)

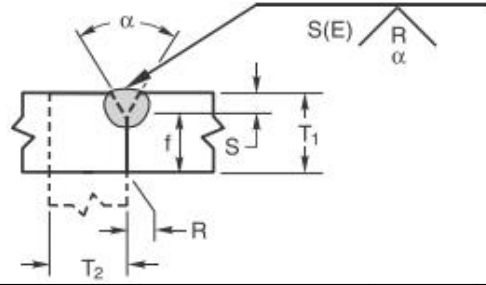
见第 65 页注释

单面 V 形坡口焊缝(2)

对接接头(B)

角接头(C)

所有尺寸的单位均为 mm。

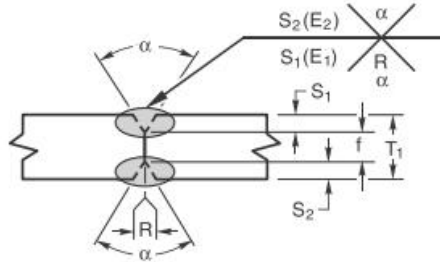


焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	BC-P2	6 (最小值)	U	R = 0 f = 1 (最小值) α= 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	全部	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P2-GF	6 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) α= 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	全部	S	a, b, f, j
SAW	BC-P2-S	11 (最小值)	U	R = 0 f = 6 (最小值) α= 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S	b, f, j

双面 V 形坡口焊缝(3)

对接接头(B)

所有尺寸的单位均为 mm。



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ +E ₂)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	B-P3	12 (最小值)	—	R = 0 f = 3 (最小值) α= 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	全部	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P3-GF	12 (最小值)	—	R = 0 f = 3 (最小值) α= 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	全部	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P3-S	2 (最小值)	—	R = 0 f = 6 (最小值) α= 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, i, j

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

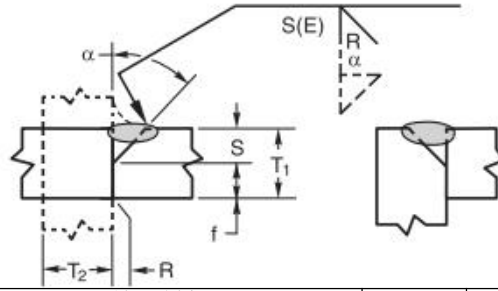
单面喇叭形坡口焊缝(4)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接头(C)

所有尺寸的单位均为 mm。



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见 3.12.3)	装配图用公差(见 3.12.3)			
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0 f = 3 (最小值) α= 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	全部	S-3	b, e, f, g, j, k
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	6 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) α= 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	F, H	S	a, b, f,g, j, k
							V, OH	S-3	
SAW	TC-P4-S	11 (最小值)	U	R = 0 f = 6 (最小值) α= 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S	b, f, g, j,k

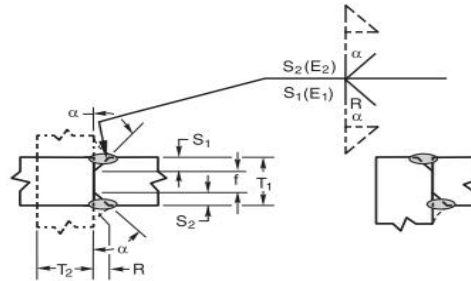
双面喇叭形坡口焊缝(5)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接头(C)

所有尺寸的单位均为 mm。



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ +E ₂)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用公差(见3.12.3)	装配图用公差(见3.12.3)			
SMAW	BTC-P5	8 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) α= 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂ -6	e, f, g, i, j, k
GMAW FCAW	BTC-P5-GF	12 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) α= 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	F, H	S ₁ +S ₂	a, f, g, i, j, k
							V, OH	S ₁ +S ₂ -6	
SAW	TC-P5-S	20 (最小值)	U	R = 0 f = 6 (最小值) α= 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	f, g, i, j, k

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: mm)

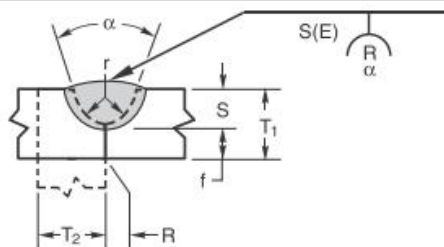
见第 65 页注释

单面 U 形坡口焊缝(6)

对接接头(B)

角接头(C)

所有尺寸的单位均为 mm。

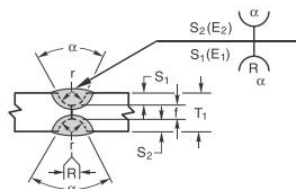


焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见3.12.3)	装配图用公差(见3.12.3)			
SMAW	BC-P6	6 (最小值)	U	R = 0 f = 1 (最小值) r = 6 α= 45°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	全部	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P6-GF	6 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) r = 6 α= 20°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	全部	S	a, b, f, j
SAW	BC-P6-S	11 (最小值)	U	R = 0 f = 6 (最小值) r = 6 α= 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S	b, f, j

双面 U 形坡口焊缝(7)

对接接头(B)

所有尺寸的单位均为 mm。



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ +E ₂)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用公差(见3.12.3)	装配图用公差(见3.12.3)			
SMAW	BC-P7	12 (最小值)	—	R = 0 f = 3 (最小值) r = 1/4 α= 45°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	BC-P7-GF	12 (最小值)	—	R = 0 f = 3 (最小值) r = 1/4 α= 20°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	a, f, i, j
SAW	BC-P7-S	20 (最小值)	—	R = 0 f = 6 (最小值) r = 1/4 α= 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	f, i, j

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

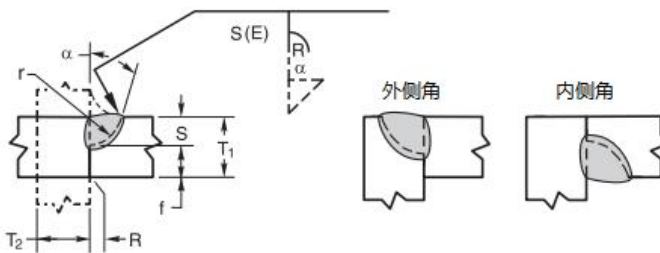
单面 J 形坡口焊缝(8)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接接头(C)

所有尺寸的单位均为 mm。



焊接 工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊 接位置	焊缝尺 寸(E)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 公差(见 3.12.3)	装配图用 公差(见 3.12.3)			
SMAW	B-P8	6 (最小值)	—	R = 0 f = 3 (最小值) r = 10 α= 30°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	全部	S	e, f, g, j,k
	TC-P8	6 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) r = 10 α _{oc} = 30°* α _{ic} = 45°**	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	全部	S	e, f, g, j,k
GMAW FCAW	B-P8-GF	6 (最小值)	—	R = 0 f = 3 (最小值) r = 10 α= 30°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	全部	S	a, f, g, j,k
	TC-P8-GF	6 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) r = 10 α _{oc} = 30°* α _{ic} = 45°**	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	全部	S	a, f, g, j,k
SAW	B-P8-S	11 (最小值)	—	R = 0 f = 6 (最小值) r = 12 α = 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S	f, g, j, k
	TC-P8-S	11 (最小值)	U	R = 0 f = 6 (最小值) r = 12 α _{oc} = 20°* α _{ic} = 45°**	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	F	S	f, g, j, k

* α_{oc} = 外侧角的坡口角度。** α_{ic} = 内侧角的坡口角度。

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

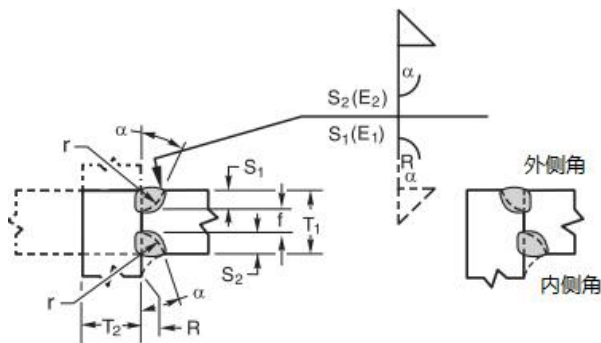
双面 J 形坡口焊缝(9)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接接头(C)

所有尺寸的单位均为 mm。



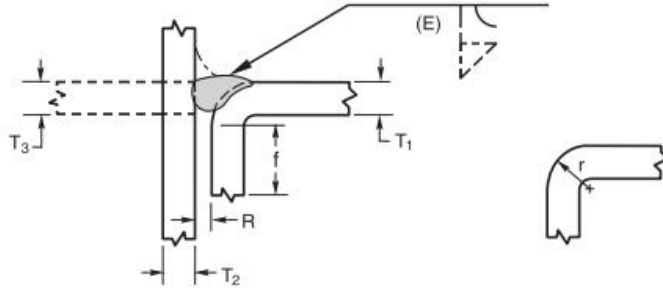
焊接 工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊 接位置	总焊缝 尺寸 (E ₁ +E ₂)	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 公差(见 3.12.3)	装配图用 公差(见 3.12.3)			
SMAW	B-P9	12 (最小值)	—	R = 0 f = 3 (最小值) r = 10 α= 30°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	e, f, g, i,j,k
	TC-P9	12 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) r = 10 α _{oc} = 30°* α _{ic} =45°**	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	e, f, g, i,j,k
GMAW FCAW	B-P9-GF	6 (最小值)	—	R = 0 f = 3 (最小值) r = 10 α= 30°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	a, f, g, i,j,k
	TC-P9-GF	6 (最小值)	U	R = 0 f = 3 (最小值) r = 10 α _{oc} = 30°* α _{ic} =45°**	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	全部	S ₁ +S ₂	a, f, g, i,j,k
SAW	B-P9-S	20 (最小值)	—	R = 0 f = 6 (最小值) r = 12 α = 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	f, g, j, i,k
	TC-P9-S	20 (最小值)	U	R = 0 f = 6 (最小值) r = 12 α _{oc} = 20°* α _{ic} = 45°**	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	f, g, j, i,k

*α_{oc} = 外侧角的坡口角度。**α_{ic} = 内侧角的坡口角度。

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

喇叭半 V 形坡口焊缝(10)
 对接接头(B)
 T 形接头(T)
 角接头(C)
 所有尺寸的单位均为 mm。

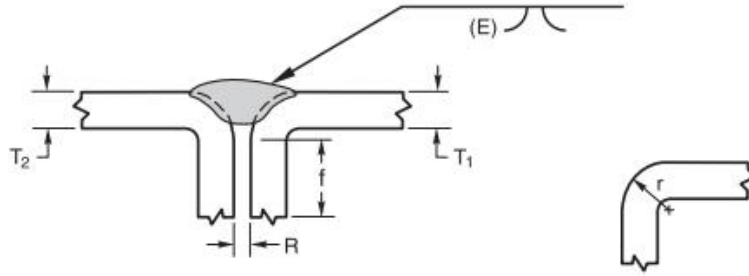


焊接 工艺	接头代 号	母材厚度 (U=无限定)			坡口制备		容许焊 接位置	焊缝 尺寸 (E)	注释
		T ₁	T ₂	T ₃	根部间隙	公差			
						零件图用 公差(见 3.12.3)	装配图用 公差(见 3.12.3)		
SMAW FCAW- S	BTC-P10	5(最小 值)	U	T ₁ (最 小值)	R = 0 f = 5 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	全部	5/16 r e, g, j, l
GMAW FCAW- G	BTC-P10 -GF	5(最小 值)	U	T ₁ (最 小值)	R = 0 f = 5 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	全部	5/8 r a, g, j, l, m
SAW	B-P10-S	12 (最小 值)	N/ A	12(最 小值)	R = 0 f = 1/2 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	±0 +U, -0 +U, -0	+2, -0 +U, -2 +U, -0	F	5/16 r g, j, l, m

图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

喇叭 V 形坡口焊缝(11)
对接接头(B)
所有尺寸的单位均为 mm。



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	焊缝尺寸(E)	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.12.3)	装配图用 公差(见 3.12.3)			
SMAW FCAW-S	B-P11	5(最小 值)	T ₁ (最小 值)	R = 0 f = 5 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	全部	5/8 r	e, j, l, m,n
GMAW FCAW-G	B-P11-GF	5(最小 值)	T ₁ (最小 值)	R = 0 f = 5 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	全部	3/4 r	a, j, l, m,n
SAW	B-P11-S	12(最小 值)	T ₁ (最小 值)	R = 0 f = 12 (最小值) r = 3T ₁ /2 (最小值)	±0 +U, -0 +U, -0	+2, -0 +U, -2 +U, -0	F	1/2 r	j, l, m,n

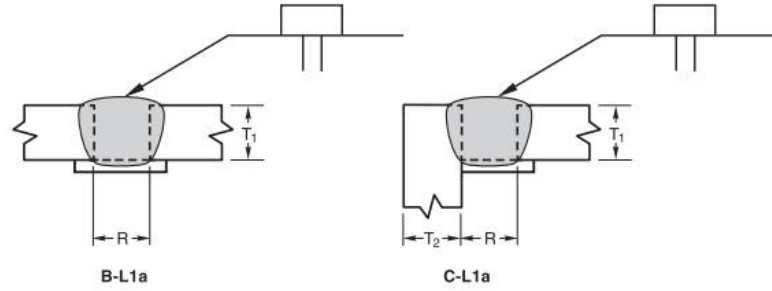
图 3.2(续)—免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.12)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

直边坡口焊缝(1)

对接接头(B)

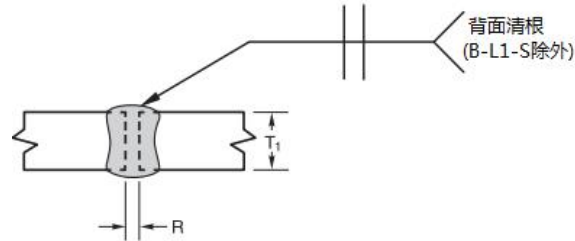
角接头(C)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	B-L1a	1/4 (最大值)	—	R=T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	全部	—	e, j
	C-L1a	1/4 (最大值)	U	R=T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	全部	—	e, j
FCAW GMAW	B-L1a-GF	3/8(最大值)	—	R=T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	全部	无要求	a, j

直边坡口焊缝(1)

对接接头(B)

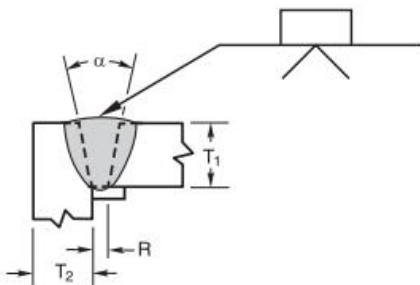


焊接 工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊 接位置	FCAW 气体 保护	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	B-L1b	1/4 (最大值)	—	R=T ₁ /2	+1/16, -0	+1/16, -1/8	全部	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-L1b-GF	3/8 (最大值)	—	R=0~1/8	+1/16, -0	+1/16, -1/8	全部	无要求	a, d, j
SAW	B-L1-S	3/8 (最大值)	—	R=0	±0	+1/16, -0	F	—	j
SAW	B-L1a-S	3/8 (最大值)	—	R=0	±0	+1/16, -0	F	—	d, j

图 3.3—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节

(见 3.13)(尺寸单位: in.)

见第 65 页注释

单面 V 形坡口焊缝(2) 角接接头(C)				公差				
				零件图用公差(见 3.13.1)		装配图用公差(见 3.13.1)		
				R=+1/16, -0		+1/4, -1/16		
				α = +10°, -0°		+10°, -5°		
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	C-U2a	U	—	R = 1/4	α = 45°	全部	—	e, o
				R = 3/8	α = 30°	F, V, OH	—	e, o
				R = 1/2	α = 20°	F, V, OH	—	e, o
GMAW FCAW	C-U2a-GF	U	—	R = 3/16	α = 30°	F, V, OH	有要求	a
				R = 3/8	α = 30°	F, V, OH	无要求	a, o
				R = 1/4	α = 45°	F, V, OH	无要求	a, o
SAW	C-L2a-S	2(最大值)	—	R = 1/4	α = 30°	F	—	o
SAW	C-U2-S	U	—	R = 5/8	α = 20°	F	—	o

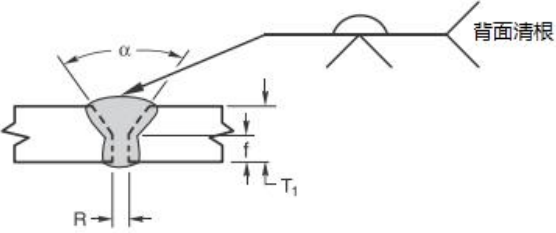
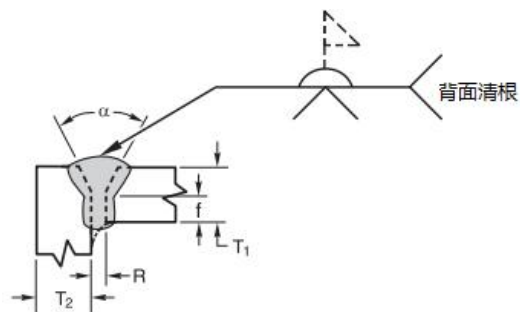
单面 V 形坡口焊缝(2) 对接接头(B)							容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差(见 3.13.1)			
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差	公差			
SMAW	B-U2	U	—	$R = 0 \sim 1/8$ $f = 0 \sim 1/8$ $\alpha = 60^\circ$	$+1/16, -0$ $+U, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -1/8$ 不限制 $+10^\circ, -5^\circ$	全部	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	—	$R = 0 \sim 1/8$ $f = 0 \sim 1/8$ $\alpha = 60^\circ$	$+1/16, -0$ $+U, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -1/8$ 不限制 $+10^\circ, -5^\circ$	全部	—	a, d, j
SAW	B-L2c-S	$> 1/2 \sim 1$	—	$R = 0$ $f = 1/4$ (最大值) $\alpha = 60^\circ$	$R = \pm 0$ $f = +0, -f$ $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -0$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	F	—	d, j
		$> 1 \sim 1\frac{1}{2}$	—	$R = 0$ $f = 1/2$ (最大值) $\alpha = 60^\circ$					
		$> 1\frac{1}{2} \sim 2$	—	$R = 0$ $f = 5/8$ (最大值) $\alpha = 60^\circ$					

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: in.)

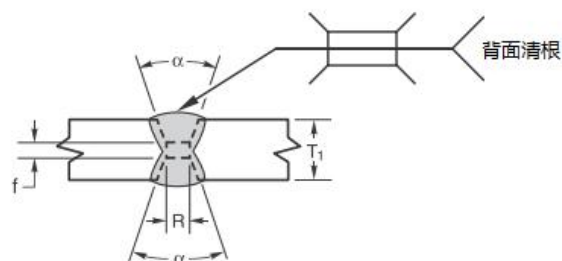
见第 65 页注释

单面 V 形坡口焊缝(2)
角接头(C)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	C-U2	U	U	R = 0~1/8 f = 0~1/8 α= 60°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 不限制 +10°, -5°	全部	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	C-U2-GF	U	U	R = 0~1/8 f = 0~1/8 α= 60°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 不限制 +10°, -5°	全部	无要求	a, d, g, j
SAW	C-U2b-S	U	U	R = 0~1/8 f = 1/4 (最大值) α= 60°	±0 +0, -1/4 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	—	d, g, j

双面 V 形坡口焊缝(3)
对接接头(B)

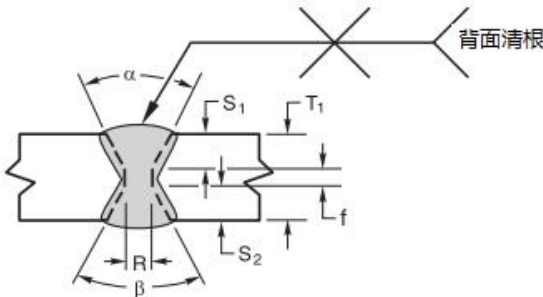


		公差	
		零件图用公差 (见 3.13.1)	装配图用公差 (见 3.13.1)
垫块	SAW	R = ±0	+1/4, -0
		f = ±0	+1/16, -0
		α = +10°, -0°	+10°, -5°
		±0	+1/16, -0
	SMAW	±0	+1/8, -0

焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	钝边	坡口角度			
SMAW	B-U3a	U 垫块=1/8×R	—	R = 1/4	f = 0~1/8	α = 45°	全部	—	d, e, h, j
				R = 3/8	f = 0~1/8	α = 30°	F, V, OH	—	
				R = 1/2	f = 0~1/8	α = 20°	F, V, OH	—	
SAW	B-U3a-S	U 垫块=1/4×R	—	R = 5/8	f = 0~1/4	α = 20°	全部	—	d, h, j

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: in.)

见第 65 页注释

双面 V 形坡口焊缝(3) 对接接头(B)									
				仅限 B-U3c-S T1 大于 2 2½ 2½ 3⅝ 3⅝ 4 4¾ 4¾ 5½ 5½ 6¼ 至 2½ 3 3⅝ 4 4¾ 5½ 6¼ S1 1⅝ 1¾ 2⅝ 2¾ 3¼ 3¼ 对于 T1>6¼或 T1≤2, S1 = 2/3 (T1 - 1/4)					
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T1	T2	根部间隙 钝边 坡口角度	零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差(见 3.13.1)			
SMAW	B-U3b	U	—	R = 0~1/8 f = 0~1/8 α = β = 60°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 无限制 +10°, -5°	全部	—	d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U3-GF						全部	无要求	a, d, h, j
SAW	B-U3c-S	U	—	R = 0 f = 1/4 (最小值) α = β = 60°	+1/16, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 +1/4, -0 +10°, -5°	F	—	d, h, j
				S1 的见上面的表: S2 = T1 - (S1 + f)					

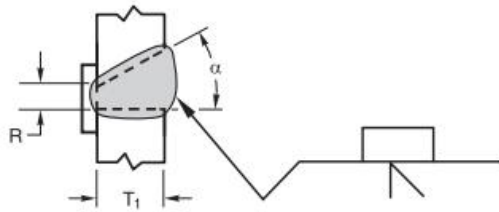
单面喇叭形坡口焊缝(4) 对接接头(B)								
				公差 零件图用公差(见 3.13.1) 装配图用公差(见 3.13.1) R=+1/16, -0 +1/4, -1/16 α = +10°, -0° +10°, -5°				
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	B-U4a	U	—	R = 1/4	α = 45°	全部	—	c, e, j
				R = 3/8	α = 30°	全部	—	c, e, j
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	R = 3/16	α = 30°	全部	有要求	a, c, j
				R = 1/4	α = 45°	全部	无要求	a, c, j
				R = 3/8	α = 30°	F, H	无要求	a, c, j
SAW	B-U4a-S	U	—	R = 3/8	α = 30°	F	—	c, j
				R = 1/4	α = 45°			

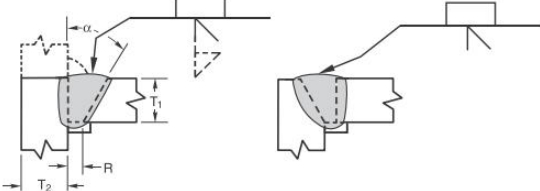
图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: in.)

见第 65 页注释

单面喇叭形坡口焊缝(4)

T 形接头(T)

角接接头(C)



公差

零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差(见 3.13.1)
R=+1/16, -0	+1/4, -1/16
α = +10°, -0°	+10°, -5°

焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	TC-U4a	U	U	R = 1/4	α= 45°	全部	—	e, g, k, o
				R = 3/8	α= 30°	F, V, OH	—	e, g, k, o
GMAW FCAW	TC-U4a-G F	U	U	R = 3/16	α= 30°	全部	有要求	a, g, k, o
				R = 3/8	α= 30°	F	无要求	a, g, k, o
				R = 1/4	α= 45°	全部	无要求	a, g, k, o
SAW	TC-U4a-S	U	—	R = 3/8	α= 30°	F	—	g, k, o
				R = 1/4	α= 45°			

单面喇叭形坡口焊缝(4)
对接接头(B)

Technical drawing of a single-sided flared bevel butt joint (4) for a butt joint (B). The drawing shows a cross-section of the joint with dimensions: f (flare width), R (fillet radius), T_1 (plate thickness), and α (bevel angle). A detail view on the right shows the '背面清根' (back root cleaning) requirement.

焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释	
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用公差(见 3.13.1)				装配图用公差(见 3.13.1)
SMAW	B-U4b	U	—	R = 0~1/8 f = 0~1/8 $\alpha= 45^{\circ}$	+1/16, -0	+1/16, -1/8	全部	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U4b-G F	U	—		+1/16, -0 +10°, -0°	不限制 +10°, -5°	全部	无要求	a, c, d, j
SAW	B-U4b-S	U	—	R = 0 f = 1/4 (最大值) $\alpha= 60^{\circ}$	± 0 +0, -1/8 +10°, -0°	+1/4, -0 $\pm 1/16$ 10°, -5°	F	—	c, d, j

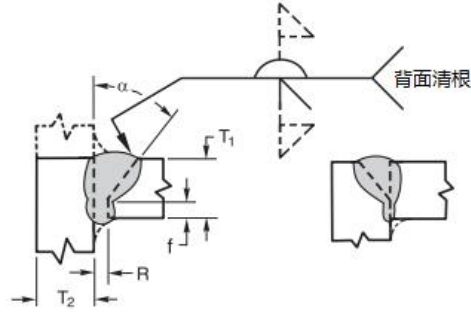
图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: in.)

见第 65 页注释

单面喇叭形坡口焊缝(4)

T 形接头(T)

角接接头(C)



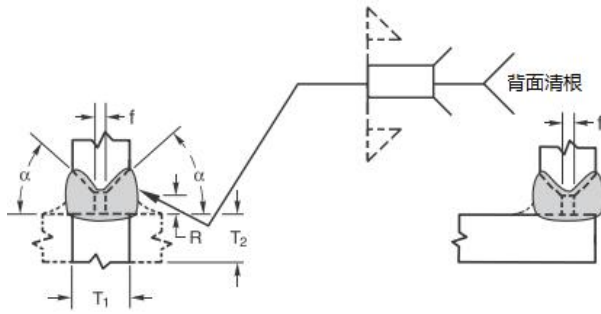
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0~1/8 f = 0~1/8 α= 45°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 不限制 +10°, -5°	全部	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U4b- GF	U	U		全部	无要求	a, d, g, j, k		
SAW	TC-U4b-S	U	U	R = 0 f = 1/4 (最大值) α= 60°	±0 +0, -1/8 +10°, -0°	+1/4, -0 ±1/16 10°, -5°	F	—	d, g, j, k

双面喇叭形坡口焊缝(5)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接接头(C)



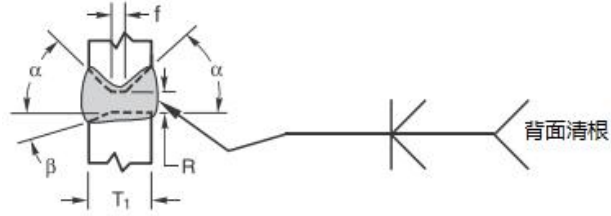
公差	公差	
	零件图用公差 (见 3.13.1)	装配图用公差 (见 3.13.1)
	R = ±0	+1/4, -0
	f = ±0	+1/16, -0
	α = +10°, -0°	+10°, -5°
垫块	+1/16, -0	+1/8, -0

焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		坡口角度	容许焊接位置	FCAW 气体 保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	钝边				
SMAW	B-U5b	U 垫块=1/8×R	—	R = 1/4	f = 0~1/8	α= 45°	全部	—	c, d, e, h, j
	TC-U5a	U 垫块=1/4×R	U	R = 1/4	f = 0~1/8	α= 45°	全部	—	d, e, g, h, j, k
				R = 3/8	f = 0~1/8	α= 30°	F, OH	—	d, e, g, h, j, k

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: in.)

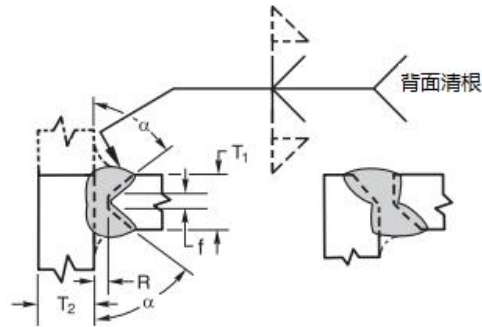
见第 65 页注释

双面喇叭形坡口焊缝(5)
对接接头(B)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	B-U5a	U	—	R = 0~1/8 f = 0~1/8 $\alpha = 45^\circ$ $\beta = 0^\circ \sim 15^\circ$	+1/16, -0 +1/16, -0 $\alpha + \beta = +10^\circ, -0^\circ$	+1/16, -1/8 不限制 $\alpha + \beta = +10^\circ, -0^\circ$	全部	—	c, d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U5-GF	U	—	R = 0~1/8 f = 0~1/8 $\alpha = 45^\circ$ $\beta = 0^\circ \sim 15^\circ$	+1/16, -0 +1/16, -0 $\alpha + \beta = +10^\circ, -0^\circ$	+1/16, -1/8 不限制 $\alpha + \beta = +10^\circ, -0^\circ$	全部	无要求	a, c, d, h, j

双面喇叭形坡口焊缝(5)
T 形接头(T)
角接接头(C)



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0~1/8 f = 0~1/8 α= 45°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 不限制 +10°, -5°	全部	—	d, e, g,h, j, k
GMAW FCAW	TC-U5-G F	U	U		全部	无要求	a, d, g,h, j, k		
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0 f = 1/4 (最大值) α= 60°	±0 +0, -3/16 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5	F	—	d, g, h, j, k

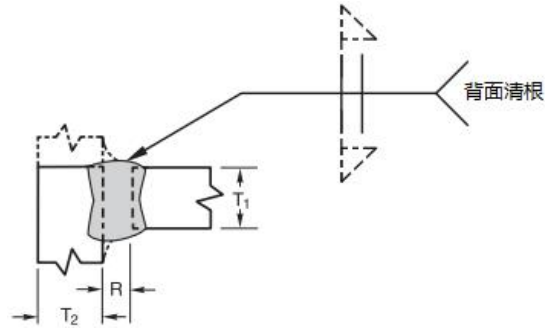
图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: in.)

见第 65 页注释

直边坡口焊缝(1)

T 形接头(T)

角接头(C)

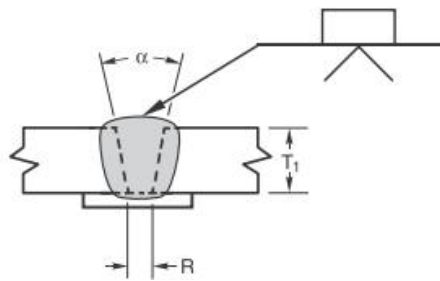
所有尺寸的单位均是
mm。

焊接 工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊 接位置	FCAW 气体 保护	注释
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	B-L1b	6 (最大值)	U	R=T ₁₂	+2, -0	+2, -3	全部	—	d, e, g
GMAW FCAW	TC-L1-GF	10 (最大值)	U	R=0~3	+2, -0	+2, -3	全部	无要求	a, d, g
SAW	B-L1-S	10 (最大值)	U	R=0	±0	+2, -0	F	—	d, g

单面 V 形坡口焊缝(2)

对接接头(B)

所有尺寸的单位均是 mm。



公差	
零件图用公 差(见 3.13.1)	装配图用公 差(见 3.13.1)
R=+2, -0	+6, -2
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

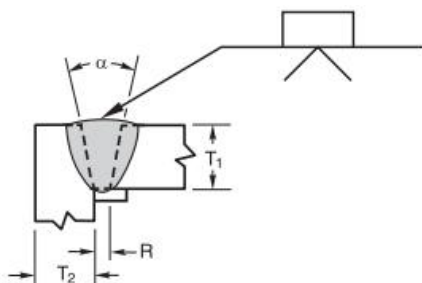
焊接 工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊 接位置	FCAW 气体 保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	全部	—	e, j
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, j
				R = 12	$\alpha = 20^\circ$	F, V, OH	—	e, j
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 5	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	有要求	a, j
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	无要求	a, j
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	F, V, OH	无要求	a, j
SAW	B-L2a-S	2(最大值)	—	R = 6	$\alpha = 30^\circ$	F	—	j
SAW	B-U2-S	U	—	R=16	$\alpha = 20^\circ$	F	—	j

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

单面 V 形坡口焊缝(2)
角接头(C)

所有尺寸的单位均是 mm。



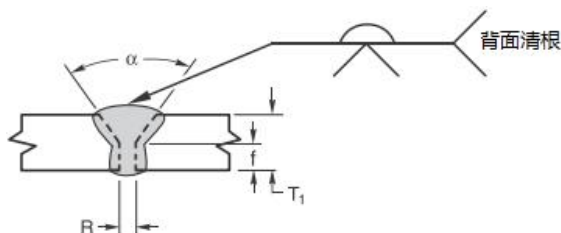
公差

零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差(见 3.13.1)
R=+2, -0	+6, -2
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	C-U2a	U	—	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	全部	—	e, o
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, o
				R = 12	$\alpha = 20^\circ$	F, V, OH	—	e, o
GMAW FCAW	C-U2a-GF	U	—	R = 5	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	有要求	a
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	无要求	a, o
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	F, V, OH	无要求	a, o
SAW	C-L2a-S	50 (最大值)	—	R = 6	$\alpha = 30^\circ$	F	—	o
SAW	C-U2-S	U	—	R = 16	$\alpha = 20^\circ$	F	—	o

单面 V 形坡口焊缝(2)
对接接头(B)

所有尺寸的单位均是 mm。



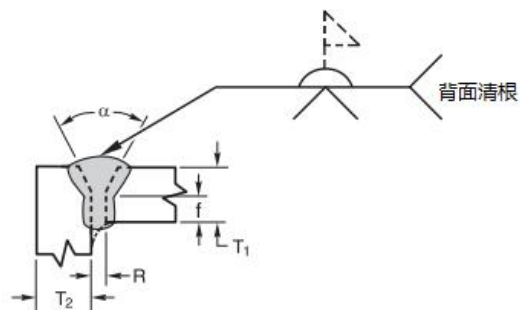
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		根部间隙 钝边 坡口角度	坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体 保护	注释
					公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	B-U2	U	—	R = 0~3 f = 0~3 $\alpha = 60^\circ$	+2, -0 +U, -0 $+10^\circ, -0^\circ$	+2, -3 不限制 $+10^\circ, -5^\circ$	全部	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	—	R = 0~3 f = 0~3 $\alpha = 60^\circ$	+2, -0 +U, -0 $+10^\circ, -0^\circ$	+2, -3 不限制 $+10^\circ, -5^\circ$	全部	—	a, d, j
SAW	B-L2c-S	>12~25	—	R = 0 f = 6 (最大值) $\alpha = 60^\circ$	R = ± 0 f = +0, -f $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+2, -0 ± 2 $+10^\circ, -5^\circ$	F	—	d, j
		>25~38	—	R = 0 f = 12 (最大值) $\alpha = 60^\circ$					
		>38~50	—	R = 0 f = 16 (最大值) $\alpha = 60^\circ$					

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

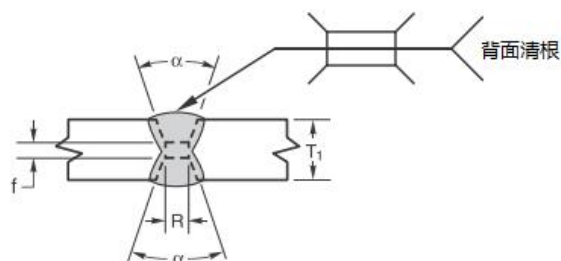
单面 V 形坡口焊缝(2)
角接头(C)

所有尺寸的单位均是 mm。



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	C-U2	U	U	R = 0~3 f = 0~3 α= 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 不限制 +10°, -5°	全部	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	C-U2-GF	U	U	R = 0~3 f = 0~3 α= 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 不限制 +10°, -5°	全部	无要求	a, d, g, j
SAW	C-U2b-S	U	U	R = 0~3 f = 6 (最大值) α= 60°	±0 +0, -6 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	—	d, g, j

双面 V 形坡口焊缝(3)
对接接头(B)



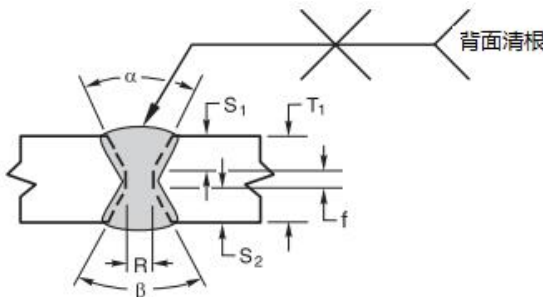
		公差	
		零件图用公差 (见 3.13.1)	装配图用公差 (见 3.13.1)
垫块		R = ±0	+6, -0
		f = ±0	+2, -0
		α = +10°, -0°	+10°, -5°
	SAW	±0	+2, -0
	SMAW	±0	+3, -0

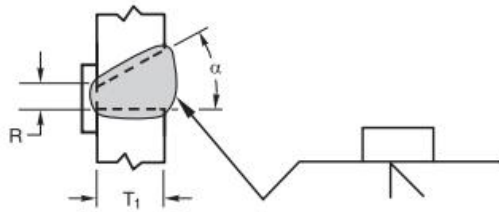
所有尺寸的单位均是 mm。

焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释	
		T ₁	T ₂	根部间隙	钝边				坡口角度
SMAW	B-U3a	U 垫块=3×R	—	R = 6	f = 0~3	α = 45°	全部	—	d, e, h, j
				R = 10	f = 0~3	α = 30°	F, V, OH	—	
				R = 12	f = 0~3	α = 20°	F, V, OH	—	
SAW	B-U3a-S	U 垫块=6×R	—	R = 16	f = 0~6	α = 20°	全部	—	d, h, j

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

双面 V 形坡口焊缝(3) 对接接头(B) 				仅限 B-U3c-S					
				T1		S1			
				大于	至				
				50	60	35			
				60	80	45			
				80	90	55			
				90	100	60			
				100	120	70			
				120	140	80			
140	160	95							
				对于 T1>160 或 T1≤ 50, S1 = 2/3 (T1 - 6)					
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释	
		T1	T2	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
						零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)		
SMAW	B-U3b	U	—	R = 0~3 f = 0~ 3 α= β=60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 无限制 +10°, -5°	全部	—	d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U3-GF						全部	无要求	a, d, h, j
SAW	B-U3c-S	U	—	R = 0 f = 6 (最小值) α= β=60°	+2, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 +6, -0 +10°, -5°	F	—	d, h, j
				S1 的值见上面的表: S2 = T1 - (S1 + f)					

单面喇叭形坡口焊缝(4) 对接接头(B)								公差	
								零件图用公差 (见 3.13.1)	装配图用公差 (见 3.13.1)
所有尺寸的单位均是 mm。								R=+2, -0	+6, -2
								α = +10°, -0°	+10°, -5°

焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备		容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	B-U4a	U	—	R = 6	α = 45°	全部	—	c, e, j
				R = 10	α = 30°	全部	—	c, e, j
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	R = 5	α = 30°	全部	有要求	a, c, j
				R = 6	α = 45°	全部	无要求	a, c, j
				R = 10	α = 30°	F, H	无要求	a, c, j
SAW	B-U4a-S	U	—	R = 10	α = 30°	F	—	c, j
				R = 6	α = 45°			

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: mm)

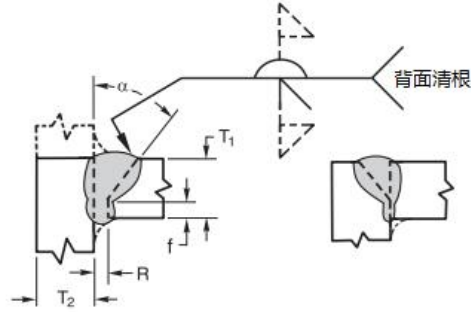
见第 65 页注释

单面喇叭形坡口焊缝(4)

T 形接头(T)

角接接头(C)

所有尺寸的单位均是 mm。



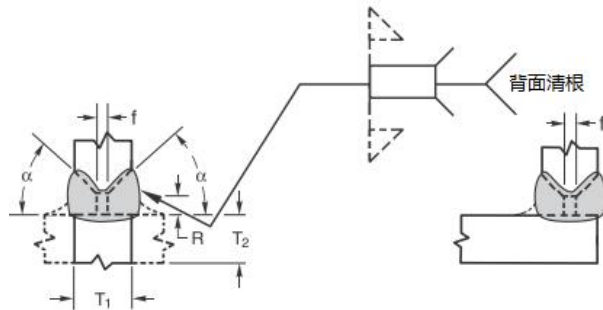
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0~3 f = 0~3 α= 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 不限制 +10°, -5°	全部	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U4b- GF	U	U				全部	无要求	a, d, g, j, k
SAW	TC-U4b-S	U	U	R = 0 f = 6 (最大值) α= 60°	±0 +0, -3 +10°, -0°	+6, -0 ±2 10°, -5°	F	—	d, g, j, k

双面喇叭形坡口焊缝(5)

对接接头(B)

T 形接头(T)

角接接头(C)



所有尺寸的单位均是 mm。

	公差	
	零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差 (见 3.13.1)
	R = ± 0	+6, -0
	f = ± 0	+2, -0
	$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°
垫块	+2, -0	+3, -0

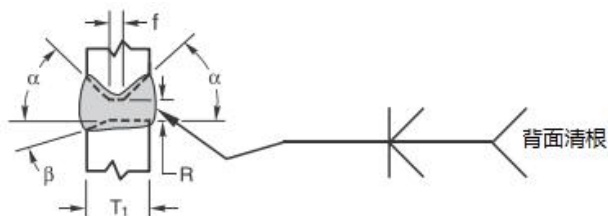
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	钝边	坡口角度			
SMAW	B-U5b	U 垫块=1/8×R	—	R = 6	f = 0~3	α= 45°	全部	—	c, d, e, h, j
	TC-U5a	U 垫块=1/4×R	U	R = 6	f = 0~3	α= 45°	全部	—	d, e, g, h, j, k
				R = 10	f = 0~3	α= 30°	F, OH	—	d, e, g, h, j, k

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

双面喇叭形坡口焊缝(5)
对接接头(B)

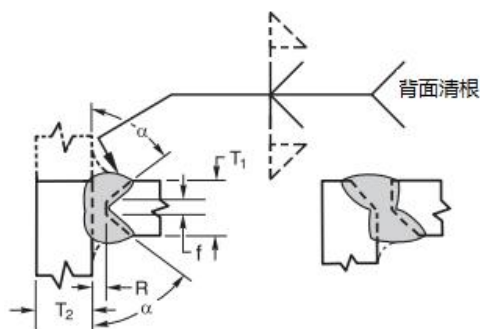
所有尺寸的单位均是 mm。



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	B-U5a	U	—	R = 0~3 f = 0~3 α= 45° β=0°~15°	+2, -0 +2, -0 α+β=+10°, -0°	+2, -3 不限制 α+β=+10°, -0°	全部	—	c, d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U5-GF	U	—	R = 0~3 f = 0~3 α= 45° β=0°~15°	+2, -0 +2, -0 α+β=+10°, -0°	+2, -3 不限制 α+β=+10°, -0°	全部	无要求	a, c, d, h, j

双面喇叭形坡口焊缝(5)
T 形接头(T)
角接接头(C)

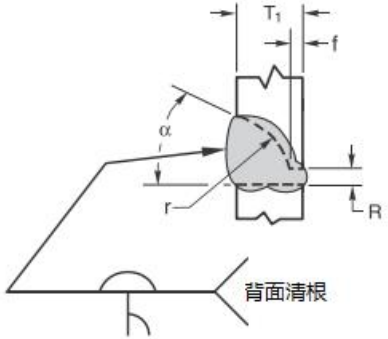
所有尺寸的单位均是 mm。



焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备			容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 公差(见 3.13.1)	装配图用 公差(见 3.13.1)			
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0~3 f = 0~3 α= 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 不限制 +10°, -5°	全部	—	d, e, g,h, j, k
GMAW FCAW	TC-U5-G F	U	U		全部	无要求	a, d, g,h, j, k		
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0 f = 6 (最大值) α= 60°	±0 +0, -5 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5	F	—	d, g, h, j, k

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

单面 J 形坡口焊缝(8) 对接接头(B) 所有尺寸的单位均是 mm。								公差		
								零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差(见 3.13.1)	
								B-U8 和 B-U8-GF		
								R = +2, -0	+2, -3	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°	
								f = +3, -0	无限制	
								r = +6, -0	±2	
								B-U8-S		
								R = ±0	+3, -0	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°	
								f = +0, -3	±2	
								r = +6, -0	±2	
										
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备				容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T1	T2	根部间隙	坡口角度	钝边	坡口半径			
SMAW	B-U8	U	—	R=0~3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	全部	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U8-GF	U	—	R=0~3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	全部	无要求	a, c, d, j
SAW	B-U8-S	U	—	R=0	$\alpha=45^\circ$	f=6(最大值)	r=10	F	—	c, d, j

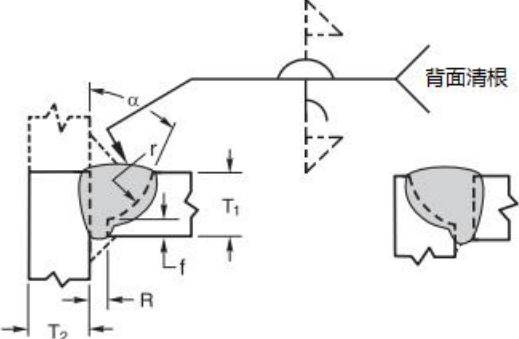
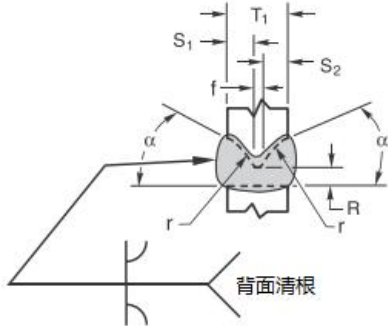
单面 J 形坡口焊缝(8) T 形接头(T) 角接接头(C) 所有尺寸的单位均是 mm。								公差		
								零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差(见 3.13.1)	
								TC-U8a 和 TC-U8a-GF		
								R = +2, -0	+2, -3	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°	
								f = +2, -0	无限制	
								r = +6, -0	±2	
								TC-U8a-S		
								R = ±0	+6, -0	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°	
								f = +0, -3	±2	
								r = +6, -0	±2	
										
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备				容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T1	T2	根部间隙	坡口角度	钝边	坡口半径			
SMAW	TC-U8a	U	—	R=0~3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	全部	—	d, e, g, j, k
				R=0~3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	F, OH	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U8a-GF	U	—	R=0~3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	全部	无要求	a, d, g, j, k
SAW	TC-U8a-S	U	—	R=0	$\alpha=45^\circ$	f=6(最大值)	r=10	F	—	d, g, j, k

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: mm)

见第 65 页注释

单面 J 形坡口焊缝(9) 对接接头(B) 所有尺寸的单位均是 mm。								公差		
								零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差(见 3.13.1)	
								R=+2, -0	+2, -3	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°	
								f = ±2, -0°	无限制	
								r = +3, -0	±2	
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备				容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	坡口半径			
SMAW	B-U9	U	—	R=0~3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	全部	—	c, d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U9-GF	U	—	R=0~3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	全部	无要求	a, c, d, h, j

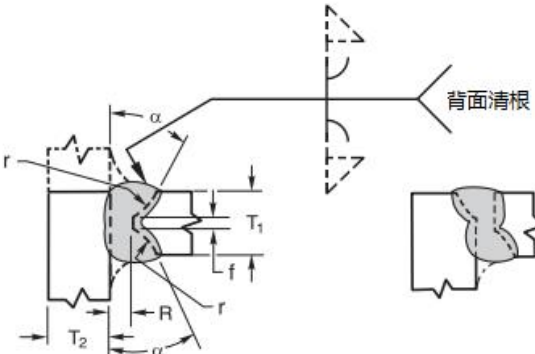
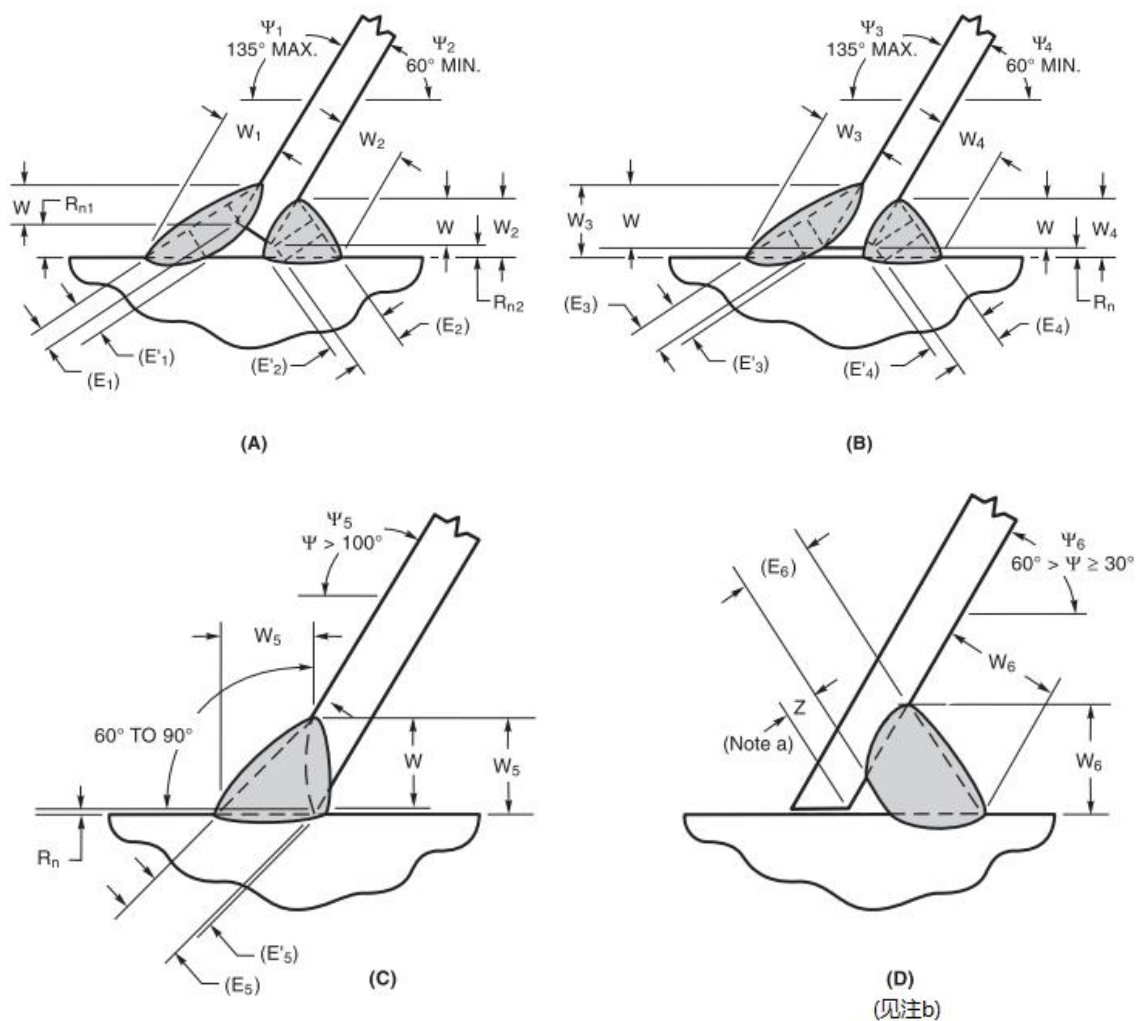
双面 J 形坡口焊缝(9) T 形接头(T) 角接接头(C) 所有尺寸的单位均是 mm。								公差		
								零件图用公差(见 3.13.1)	装配图用公差(见 3.13.1)	
								R=+2, -0	+2, -3	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°	
								f = ±2, -0°	无限制	
								r = +3, -0	±2	
焊接工艺	接头代号	母材厚度 (U=无限定)		坡口制备				容许焊接位置	FCAW 气体保护	注释
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	坡口半径			
SMAW	TC-U9a	U	U	R=0~3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	全部	—	d, e, g, h, j, k
				R=0~3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	F, OH	—	d, e, g, h, k
GMAW FCAW	TC-U9a-GF	U	—	R=0~3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	全部	无要求	a, d, g, h, j, k

图 3.3(续)—免评定 CJP 坡口焊缝焊接接头细节(见 3.13)(尺寸单位: mm)



^a 细节(D)。应用表 2.2 的折减尺寸 Z 来确定焊缝有效厚度。

^b 30°以下的细节(D)不应免除评定。焊工技能评定要求见表 4.10。

注：

1. (En), (E'n) = 取决于根部间隙(Rn)的焊缝有效厚度(见 5.21.1)。(n)代表的范围是 1~5。
2. t = 较薄零件的厚度。
3. GMAW-S 或 GTAW 不能免除评定。

图 3.4—免评定斜 T 形接头细节(非管材)

(见 3.9.2)

图 3.5 注释

^a 角焊缝尺寸(“S”)。角焊缝最小尺寸见 2.4.2.8 及第 5.14 节。单焊道最大尺寸见表 3.7。

^b 其他角焊缝组合要求或例外情况见 5.22.1。

^c 搭接接头中的最大焊缝尺寸见 2.4.2.9。

^d 构件的垂直度应在 $\pm 10^\circ$ 范围内。

角焊缝(12)

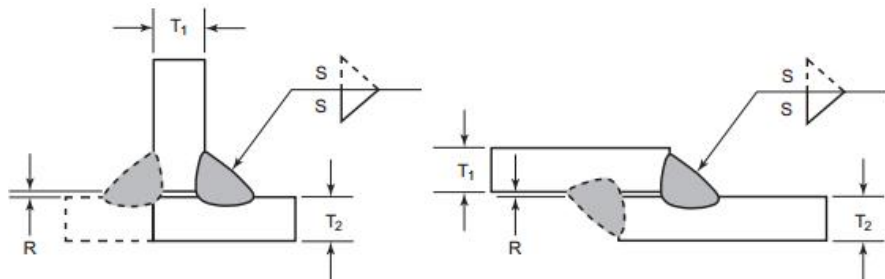
T 形接头(T)

角接头(C)

搭接接头(L)

所有尺寸的单位

均是 in.。



焊接工 艺	接头代号	母材厚度	接头设计/几何形状			容许焊接 位置	注释
		T ₁ 或 T ₂	根部 间隙	公差			
				零件图用公差	装配图用公差		
SMAW	TC-F12	<3	R = 0	+1/16, -0	3/16(最大值)	全部	a, b, d
	TC-F12a	≥3			5/16(最大值)		a, b, d
	L-F12	<3			3/16(最大值)		a, b, c
	L-F12a	≥3			5/16(最大值)		a, b, c
FMAW FCAW	TC-F12-GF	<3	R = 0	+1/16, -0	3/16(最大值)	全部	a, b, d
	TC-F12a-GF	≥3			5/16(最大值)		a, b, d
	L-F12-GF	<3			3/16(最大值)		a, b, c
	L-F12a-GF	≥3			5/16(最大值)		a, b, c
SAW	TC-F12-S	<3	R = 0	+1/16, -0	3/16(最大值)	全部	a, b, d
	TC-F12a-S	≥3			5/16(最大值)		a, b, d
	L-F12-S	<3			3/16(最大值)		a, b, c
	L-F12a-S	≥3			5/16(最大值)		a, b, c

图 3.5—免评定角焊缝焊接接头细节

(尺寸单位: in.)(见 3.9)

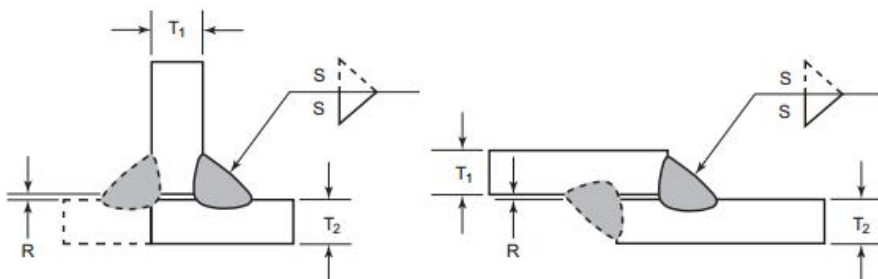
角焊缝(12)

T 形接头(T)

角接头(C)

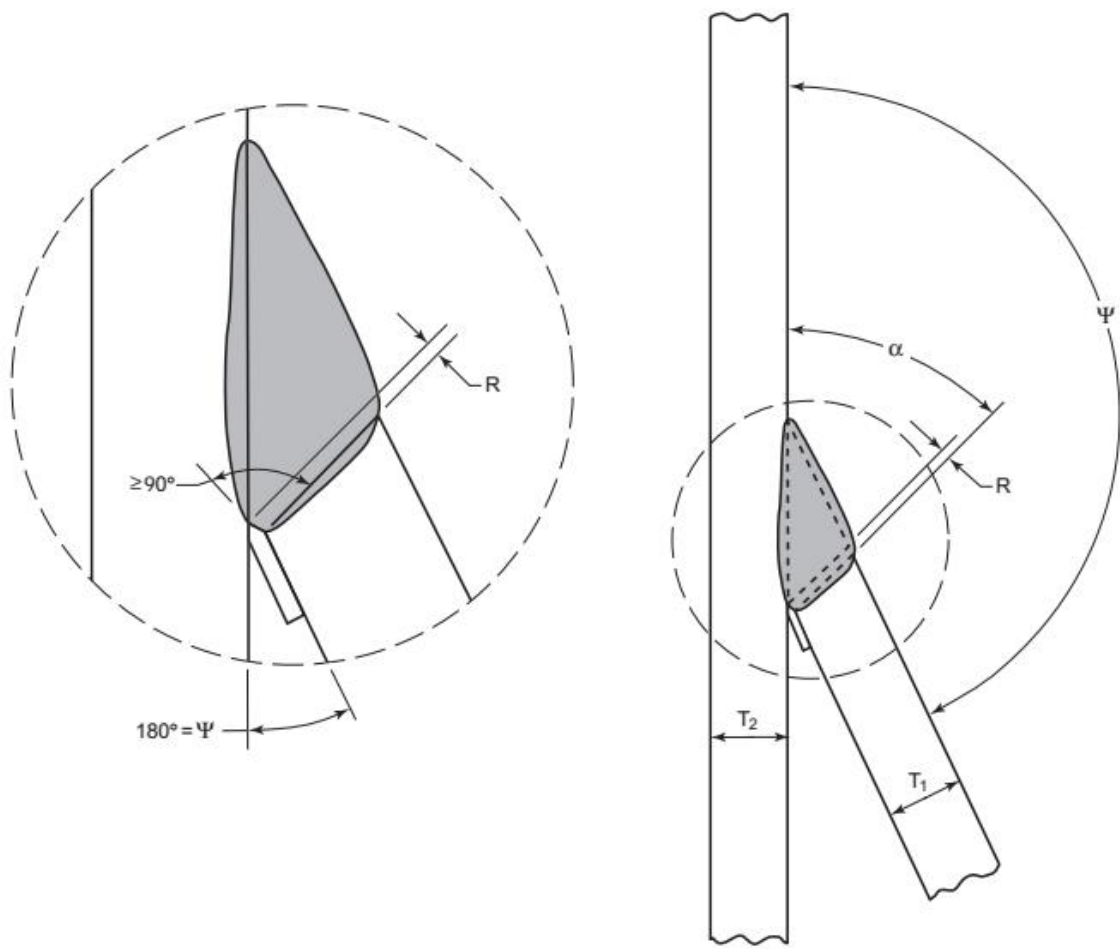
搭接接头(L)

所有尺寸的单位
均是 mm。



焊接工 艺	接头代号	母材厚度	接头设计/几何形状			容许焊接 位置	注释
		T ₁ 或 T ₂	根部 间隙	公差			
				零件图用公差	装配图用公差		
SMAW	TC-F12	<75	R = 0	+2, -0	5(最大值)	全部	a, b, d
	TC-F12a	≥75			8(最大值)		a, b, d
	L-F12	<75			5(最大值)		a, b, c
	L-F12a	≥75			8(最大值)		a, b, c
FMAW FCAW	TC-F12-GF	<75	R = 0	+2, -0	5(最大值)	全部	a, b, d
	TC-F12a-GF	≥75			8(最大值)		a, b, d
	L-F12-GF	<75			5(最大值)		a, b, c
	L-F12a-GF	≥75			8(最大值)		a, b, c
SAW	TC-F12-S	<75	R = 0	+2, -0	5(最大值)	全部	a, b, d
	TC-F12a-S	≥75			8(最大值)		a, b, d
	L-F12-S	<75			5(最大值)		a, b, c
	L-F12a-S	≥75			8(最大值)		a, b, c

图 3.5(续)—免评定角焊缝焊接接头细节(尺寸单位: mm)(见 3.9)



注: $90^\circ \leq \Psi \leq 170^\circ$

图 3.6—免评定 CJP 坡口接头、T 形接头和角接接头

(见图 3.2 和图 3.3 的注 o)

本页被故意留为空白。

4. 评定

4.1 范围

焊接工艺规程(WPS)和焊接人员评定试验的要求如下:

A 部分—通用要求。本部分包含了 WPS 和焊接人员技能两个部分的通用要求。

B 部分—焊接工艺规程(WPS)。本部分包括了按照第 3 节要求不能被归入免评定范围的 WPS 的评定。

C 部分—技能评定。本部分涵盖了规范中规定的用于确定焊工、焊接操作工或定位焊工焊接完好焊缝的能力所需的技能评定试验。

D 部分—CVN 试验要求。本部分涵盖了合同文件有规定时进行的 CVN 试验的通用要求和程序。

A 部分: 通用要求

4.2 概述

本节阐述了 WPS 和焊接人员(是指焊工、焊接操作工和定位焊工)技能评定试验的要求。

4.2.1 焊接工艺规程(WPS)。除了符合第 3 节要求的免评定 WPS 外,焊接生产中所用的 WPS 应按第 4 节 B 部分要求进行评定。可以采用以前正确记载的 WPS 评定资料。

4.2.1.1 评定职责。每个一制造商或承包商均应执行本规范中规定的用于评定 WPS 的试验。对于按本规范条款进行 WPS 评定的公司,如果出于自愿或因与母公司合并而更名,则可在 WPS 文件中使用新的名称,但应保留含有公司原名称的支持性 PQR 评定记录。

4.2.1.2 按其他标准进行的 WPS 评定。工程师负责根据具体结构和/或使用条件来确定按其他标准进行的 WPS 评定的可接受性。按照本规范要求,可采用关于标准焊接工艺规程的 AWS B2.1-X-XXX 系列规范。

4.2.1.3 CVN 试验要求。当合同文件有要求时,则应将 CVN 试验包含在 WPS 评定中。CVN 试验及其要求和程序应符合本节 D 部分要求,或者应符合合同文件中规定的要求。

4.2.2 焊接人员技能评定。所雇佣的按本规范要求采用 SMAW、SAW、GMAW、GTAW、FCAW、ESW 或 EGW 工艺从事焊接工作的焊工、焊接操作工和定位焊工应已经利用本节 C 部分所述适用试验进行过评定(见条文说明)。

4.2.2.1 以前的技能评定。如果获得工程师批准,则认可以前进行的且作了正确记录的焊工、焊

接操作工和定位焊工技能评定试验结果。工程师负责根据具体结构和/或使用条件来确定按其他标准进行的 WPS 评定的可接受性。

4.2.2.2 评定职责。不管评定是否是由制造商、承包商或独立评定机构进行，每个制造商或承包商均应对焊工、焊接操作工和定位焊工的技能评定负责。

4.2.3 有效期

4.2.3.1 焊工和焊接操作工。按本规范条款进行的焊工和焊接操作工的评定应被视为无限期有效，除非发生下列情况：

- (1) 焊工或焊接操作工停止采用已通过技能评定的焊接工艺的时间已达 6 个月以上；
- (2) 因某些具体的理由而质疑焊工或焊接操作工的能力(见 4.24.1)。

4.2.3.2 定位焊工。如果定位焊工通过了 C 部分所述试验或焊工评定所要求的试验，那么在没有质疑其能力的一些具体理由的情况下，应认为定位焊工有资格在已经通过评定的位置采用通过评定时使用的工艺无限期地进行定位焊(见 4.24.2)。

4.3 WPS 评定和焊接人员技能评定的通用要求

4.3.1 按早期版本进行的评定。对于按照 AWS D1.1 或 AWS D1.0 或 AWS D2.0 的早前版本进行且满足这些规范中的要求的评定，如果这些版本仍然有效，则仍可采用这些定。在进行新的评定时，不应采用较早版本来代替现行版本，除非合同文件中规定采用较早版本

4.3.2 老化。当适用于待测焊缝金属的填充金属规范允许时，全部焊接评定试验用试样均可在 200°F~220°F [95°C~105°C]下进行 48 ± 2 h 的老化处理。

4.3.3 记录。试验结果的记录应由制造商或承包商保存，并且应向授权检查这些记录的机构提供这些记录。

4.3.4 试验焊缝的位置。应按图 4.1、图 4.2 和 9.2.1 将所有焊缝分为平焊(F)、横焊(H)、立焊(V)、和仰焊(OH)焊缝。

试验焊接的位置如下所示：

- (1) 图 4.3 (板材内的坡口焊缝)
- (2) 图 4.4 (板材上的角焊缝)

B 部分：焊接工艺规程(WPS)评定

4.4 评定的产品焊接位置

通过板材试验评定的产品焊接位置应满足第 4 节和表 4.1 要求。通过管材焊接试验评定的产品焊接位置应满足第 9 节及表 9.9 要求。

4.5 评定试验的类型

在给定厚度和/或直径的情况下评定某一 WPS 所需的评定试验的类型和数量应符合表 4.2 (CJP)、表(PJP)或表 4.4 (角焊缝)要求。各种 NDT 和力学性能试验的详细要求见下述各小节：

- (1) 目视检验(见 4.9.1)
- (2) NDT (见 4.9.2)
- (3) 正面弯曲、根部弯曲和侧面弯曲(见 4.9.3.1)
- (4) 收缩断面拉伸试验(见 4.9.3.4)
- (5) 全焊缝金属拉伸试验(见 4.9.3.6)
- (6) 宏观腐蚀试验(见 4.9.4)

4.6 WPS 评定用焊缝类型

WPS 评定用焊缝类型应按下列要求进行归类：

- (1) 非管材连接用 CJP 坡口焊缝(见 4.10)
- (2) 非管材连接用 PJP 坡口焊缝(见 4.11)
- (3) 角焊缝(见 4.12)
- (4) 管材连接用 CJP 坡口焊缝(见 9.15)
- (5) 管材 T 形、Y 形和 K 形连接及对接接头的 PJP 坡口焊缝(见 9.16)
- (6) 塞焊缝和槽焊缝(见 4.13)

4.7 WPS 的编制

制造商或承包商应编制一份规定了 4.8 中提到的所有适用基本参数的书面 WPS。这些 WPS 参数的具体值应来自工艺评定记录(PQR)，此记录应被作为成功进行 WPS 评定的书面证据。

4.8 基本参数

4.8.1 SMAW、SAW、GMAW、GTAW 和 FCAW。如果 PQR 基本参数的变化超出表 4.5 和表 4.6(当规定进行 CVN 试验时)给出的 SMAW、SAW、GMAW、GTAW 和 FCAW 等焊接工艺的

PQR 限制, 则要求重新评定 WPS(见 4.2.1.3)。

4.8.2 ESW 和 EGW。表 4.7 列出了 ESW 和 EGW 焊接工艺中需要重新评定 WPS 的 PQR 基本参数变化范围。

4.8.3 母材评定。需要采用表 3.1 所列母材进行评定的 WPS 应能评定满足 4.8 要求的其他组别母材。需要采用表 3.1 或表 4.9 未列出的母材进行评定的 WPS 应按第 4 节要求进行评定。如果要采用未列出的母材, 则应获得工程师的批准。

利用表 4.9 所列钢材评定的 WPS 也应被用于评定表 3.1 或表 4.9 中列出的满足表 4.8 要求的钢材。表 4.9 还包括了表中所列材料的推荐匹配强度填充金属及最低预热温度和道间温度。

4.8.4 预热温度和道间温度。宜在表 3.1 所示钢材成分基础上确定最低预热温度和道间温度。此外, 也可采用认可的推算或指导方法(比如附录 H 中给出的方法)或其他方法。如果获得工程师批准并采用 WPS 试验进行了评定, 则可采用比表 3.3 规定的或按照附录 H 计算得出的值低的预热温度和道间温度。

附录 H 的方法是建立在试验室裂纹试验基础上, 并且可以预测比表 3.3 所示最低温度高的预热温度。附录 H 有助于辨别因成分、限制条件、含氢量或低的焊接热输入而导致开裂风险增加, 从而可能需要采用较高预热温度的情况。此外, 附录 H 还有助于定义在哪种情况下不会发生氢致开裂及在哪种情况下可以安全地放宽表 3.3 的最低要求。

4.9 WPS 评定的试验方法及验收准则

符合 4.9.2 要求的焊接试件应包含按图 4.5~图 4.7 所示切取自试板的试样。制备的试验用的试样应符合图 4.8、图 4.9、图 4.10 和图 4.14 要求。

4.9.1 焊缝的目视检验。坡口焊缝和角焊缝(不包括引弧板)评定的目视检验的验收准则应满足下列适用要求:

4.9.1.1 坡口焊缝的目视检验。坡口焊缝应符合下列要求:

- (1) 不应出现任何裂纹(不论大小)。
- (2) 焊缝整个横截面上的所有弧坑均应填平。
- (3) 焊缝余高不应超过 1/8 in.[3 mm]。焊缝断面形状应符合图 5.4 要求且完全熔合。
- (4) 咬边不应超过 1/32 in.[1 mm]。
- (5) 应检查 CJP 坡口焊缝的根部, 并且不应有任何裂纹、不完全熔合或未焊透。

(6) 对于不用衬垫且仅从一面施焊的 CJP 坡口焊缝, 其根部凹陷或熔透应满足下述要求:

(a) 如果总焊缝厚度等于或大于母材厚度, 则最大根部凹陷应为 1/16 in.[2 mm]。

(b) 最大熔透应为 1/8 in.[3 mm]。

4.9.1.2 角焊缝的目视检验。角焊缝应符合下列要求:

(1) 不应出现任何裂纹(不论大小)。

(2) 焊缝整个横截面上的所有弧坑均应填平。

(3) 角焊缝的焊脚尺寸不应小于规定的焊脚尺寸。

(4) 焊缝的断面形状应符合图 5.4 要求。

(5) 母材咬边不应超过 1/32 in.[1 mm]。

4.9.2 NDT。制备力学试验用试样前应按下列要求对评定用的试板或试管进行无损检测:

4.9.2.1 RT 或 UT。应采用 RT 或 UT。应按第 6 节 E 部分或 F 部分(试板)及第 9 节 F 部分(试管)的要求对试板中焊缝的整个长度(每一端弃用的长度除外)进行检查。

4.9.2.2 RT 或 UT 的验收准则。进行 RT 或 UT 之后, 评定合格的焊缝应满足第 6 节 C 部分(试板)或第 9 节 F 部分(试管)的要求。

4.9.3 力学试验。力学试验应如下所述:

4.9.3.1 根部弯曲、正面弯曲和侧面弯曲试样(根部弯曲和正面弯曲试样见图 4.8, 侧面弯曲试样见图 4.9)。每个试样均应在满足图 4.11~图 4.13 所示要求或者基本满足这些图中的要求(前提是不超过最大弯曲半径)的弯曲试验机内进行弯曲。可采用任何便捷方法使活塞杆向着夹紧单元移动。应将试样放于试验机的夹紧单元上, 并使焊缝落在跨距中心处。

应使正面弯曲试样的焊缝正面应对着弯曲柱。应使根部弯曲试样和角焊缝完好性试验用试样的焊缝根部对着弯曲柱。应使侧面弯曲试样上有较大不连续的侧面(如有)对着弯曲柱。

应利用活塞将试样压入夹紧单元, 直至试样变成 U 形。试验完毕后, 焊缝和 HAZ 应落在中心处, 并且完全落在试样的弯曲部分内。当采用卷绕试验机时, 应将试样牢牢固定在一端, 以确保弯曲期间试样不会滑动。试验完毕后, 焊缝和 HAZ 应完全落在试样的弯曲部分内。当外辊从起点移动 180° 后方可将试样从试验机上取下。

4.9.3.2 纵向弯曲试验。当材料组合的力学弯曲性能明显不相同(例如两种母材之间或母材与焊缝金属之间存在明显差异), 则可用纵向弯曲试验(面部弯曲和根部弯曲)代替横向正面弯曲和

根部弯曲试验。符合 4.9.2 要求的焊接试件应包含按图 4.5~图 4.7 所示切取自试板的试样。纵向弯曲试验用的试样应为图 4.8 所示试样。

4.9.3.3 弯曲试验的验收准则。应目视检查弯曲试验用试样的凸面上是否存在表面不连续。合格表面应不包含超过下列尺寸的不连续：

(1) 从任何方向在表面上测得的尺寸为 1/8 in. [3 mm]的不连续。

(2) 所有超出 1/32 in. [1 mm]但小于或等于 1/8 in. [3 mm]的最大不连续尺寸之和为 3/8 in. [10 mm]。

(3) 最大尺寸为 1/4 in. [6 mm](如果角裂纹是因可见夹渣或其他熔化型缺陷所致的，则最大尺寸应为 1/8 in. [3 mm])的角裂纹。

应弃用角裂纹超过 1/4 in. [6 mm]且无夹渣或其他熔化型缺陷的试样，并且对取自原焊件的代试样进行试验。

4.9.3.4 收缩断面拉伸试验(见图 4.10)。试验前应测量收缩断面的最小宽度和相应厚度。试样应在拉伸荷载下断裂，并且应测定最大荷载。应通过用宽度乘以厚度来求出横截面积。应通过用最大荷载除以横截面积来求出抗拉强度。

4.9.3.5 收缩断面拉伸试验的验收准则。抗拉强度不应小于所用母材规定抗拉强度范围内的最小值。

4.9.3.6 全焊缝金属拉伸试验用试样(见图 4.14)。待测试样应满足 ASTM A370《钢产品力学试验》要求。

4.9.4 宏观腐蚀试验。制备好的试样应进行抛光，以便进行宏观腐蚀检查。应采用合适的溶液进行蚀刻，以便产生清晰的焊缝轮廓。

4.9.4.1 宏观腐蚀试验的验收准则。当进行目视检验时，评定合格的试样应符合下列要求：

(1) PJP 坡口焊缝：实际焊缝尺寸应等于或大于规定焊缝尺寸(E)。

(2) 焊缝应熔合至接头根部，但不必延伸到接头根部外面。

(3) 最小焊脚尺寸应为规定的角焊缝尺寸。

(4) PJP 坡口焊缝和角焊缝应符合下列要求：

(a) 无裂纹。

(b) 焊缝金属相邻焊层之间以及焊缝金属与母材之间完全熔合。

(c) 焊缝断面形状符合规定细节要求且无 5.23 中禁止出现的偏差。

(d) 没有超过 1/32 in. [1 mm]的咬边。

4.9.5 复验。如果所有已试验试样中任何一个试样不符合试验要求，则可对取自相同 WPS 评定材料的特定类型的两个试样进行复验。这两个试样的试验结果均应符合要求。对于厚度超过 1½ in. [38 mm] 的材料，如果一个试样不合格，则应从试验材料的另外两个部位制取试样并进行相同类型的所有试验。

4.10 CJP 坡口焊缝

评定非管材连接上 CJP 焊缝的 WPS 的要求见表 4.2(1)。适用试板的要求见图 4.5~图 4.7。

4.10.1.1 角接头或 T 形接头。角接头或 T 形接头坡口焊缝的试样应为具备与结构用角接头或 T 形接头相同坡口形状的对接头，但坡口深度无需超过 1 in. [25 mm]。

4.11 PJP 坡口焊缝

4.11.1 待测试样的类型和数量。评定 WPS 时试验所用试样的类型和数量见表 4.3。应采用与将在结构中使用的坡口设计类型和 WPS 来制备焊缝，但坡口深度无需超过 1 in. [25 mm]。对于下面要求的宏观腐蚀试验，可用表 3.1 的 I、II 和 III 组的任一组别钢材来评定这些组内任何钢材或钢材组合的焊缝尺寸。如果在角接头或 T 形接头中采用 PJP 坡口焊缝，则对接接头的直边平面上应采用临时限位板，以模拟 T 形接头的形状。应按下列要求对焊缝进行试验：

4.11.2 用宏观腐蚀试样验证焊缝尺寸。对于所有方面都要符合第 4 节要求的 WPS，应制备 3 个宏观腐蚀横断面试样，以证实焊缝符合指定焊缝尺寸(利用 WPS 的要求来确定)要求。

4.11.3 用宏观腐蚀试样验证 CJP 坡口焊缝的 WPS。当 CJP 坡口焊缝的 WPS 已评定合格且适用于 PJP 坡口焊缝的焊接条件时，应制备 3 个宏观腐蚀横断面试样，以证实已经满足或超过了规定焊缝尺寸要求。

4.11.4 用宏观腐蚀试样验证其他 WPS。如果 WPS 不是 4.11.2 或 4.11.3 涵盖范围内的 WPS，或者焊接条件不符合免评定要求，或者这些条件未在对接接头的 CJP 焊缝中得以采用和试验，则应制备一个接头样品，并且首先应制备宏观腐蚀试样，以确定接头的焊缝尺寸。然后将通过机加工方式清除结构底侧的多余材料，直至达到焊缝尺寸中的厚度要求。应按与 CJO 坡口焊缝相同的方式制备拉伸试样和弯曲试样并进行试验(见 4.10)。

4.11.5 喇叭形坡口焊缝。应按下列要求确定已评定喇叭形坡口焊缝的有效焊缝尺寸：

(1) 应采用试验断面来验证可以始终获得有效焊缝尺寸。

(2) 在一组给定的 WPS 条件下，如果承包商证实生产中获得的有效焊缝尺寸始终大于表 2.1 所示尺寸，则承包商可通过评定来确定此类较大的有效焊缝尺寸。

(3) 按(2)要求进行的评定应包含在圆弧形构件的焊缝的中间长度和端部垂直于轴线的位置进行的分段。应在代表了承包商施工期间所用材料尺寸范围的大量材料尺寸组合上进行此类分段。

4.12 角焊缝

4.12.1 试样的类型和数量。除了第 4 节的其他地方允许的情况外，评定单焊道角焊缝和/或多焊道角焊缝 WPS 的试验用试样的类型和数量图表 4.4 所示。评定试验可以是针对单焊道角焊缝和/或多焊道角焊缝的评定试验。

4.12.2 角焊缝试验。应按施工中使用的每种 WPS 和位置来制作图 4.15(板材)或图 9.21(管材，细节 A 或细节 B)所示角焊缝焊接的 T 形接头。要求对施工中使用的最大尺寸单焊道角焊缝和最小尺寸多道角焊缝进行试验。可将这两种角焊缝试验合并并在单试样焊接或试件中进行评定，或者单独进行评定。每个焊件均应根据实际情况在图 4.15 或图 9.21 所示部位垂直于焊接方向处进行切割。应采用代表每次切割时的一个面的试样来制备宏观腐蚀试样，并按 4.9.4 要求进行试样。

4.12.3 焊材验证试验

4.12.3.1 何时需要进行试验。在下列情况下需要进行焊材验证试验：

(1) 焊材不符合第 3 节的免评定要求；和

(2) 采用推荐焊材的 WPS 未按 4.10 或 4.11 要求进行评定。

4.12.3.2 试板上的焊缝。应按下列要求焊接试板：

(1) 试板应具备图 4.16(如果是 SAW，则为图 4.17)所示坡口形状，并且含有钢衬垫。

(2) 试板应在 1G (平焊)位置焊接。

(3) 试板应具备足够长度，以提供如图 4.18 所示要求和取向的试样。

(4) 电流、电压、焊接速度和气体流量等焊接试验参数应尽量接近制备角焊缝时使用的条件。

对于在制作角焊缝时确立的这些 WPS 参数，按 4.8 测量基本参数的变化。

4.12.3.3 试验要求。应按下列要求对试板进行试验：

- (1) 应按图 4.18 所示从试板上取 2 个侧面弯曲(图 4.9)试样和 1 个全焊缝金属拉伸(图 4.14)试样。
- (2) 弯曲试样应按 4.9.3.1 要求进行试验。这些试验结果应符合 4.9.3.3 要求。
- (3) 拉伸试样应按 4.9.3.6 要求进行试验。试验结果应被用于确定焊材的强度等级。焊材的强度等级应符合表 2.3 要求，或者应符合待焊母材强度等级要求。

4.13 塞焊缝和槽焊缝

当规定采用塞焊缝和槽焊缝时，WPS 评定应按 4.21.3 要求进行。

4.14 需评定的焊接工艺

4.14.1 GTAW、GMAW-S、ESW 和 EGW。如果按第 4 节要求进行了 WPS 评定，则可采用 GTAW、GMAW-S、ESW 和 EGW。

4.14.1.1 WPS 要求(GMAW-S)。使用之前，承包商应编制 WPS 并按第 4 节要求评定每份 WPS。表 4.5 中 GMAW 的基本参数限制也适用于 GMAW-S。

4.14.1.2 WPS 要求(GTAW)。使用之前，承包商应编制 WPS 并按第 4 节要求评定每份 WPS。

4.14.1.3 WPS 要求(ESW/EGW)

(1) 使用之前，承包商应编制 WPS 并按第 4 节要求评定每份所用的 ESW 或 EGW WPS。WPS 应包括接头细节、填充金属类型和直径、电流、电压(类型和极性)、垂直焊接速度(如果没有弧长和熔敷速率自动控制功能)、摆动(横摆速度、幅度和停顿时间)、保护气体的类型(包括气体流量和露点或焊剂类型)成形模块类型、PWHT(如有采用)以及其他相关信息。

(2) 全焊缝金属拉伸试验要求。使用之前，承包商应通过第 4 节所述试样证实，当按 WPS 要求进行焊接时，每种保护气体和填充金属组合均可产生具备最新版 AWS A5.25 《电渣焊用碳钢和低合金钢焊条规范》或最新版 AWS A5.26 《气电焊用碳钢和低合金钢焊条规范》中规定的机械性能的焊缝金属。

(3) 以前的评定。如果有合适文件并且 WPS 获得了工程师批准，则可以使用以前评定过的 WPS。

4.14.2 其他焊接工艺。如果通过试验对 WPS 进行了评定，则可采用 3.2.1 或 4.14.1 未列出的其他焊接工艺。应利用承包商编制且获得工程师批准的 WPS 来确定适用于每种焊接工艺的基本参数限制。基本参数范围应以该焊接工艺有记录的经验证据为基础依据，或者应通过进行系列试验来确立基本参数限制。如有基本参数的任何变化超出以这种方式确立的限制，则应进行重新评定。

C 部分：技能评定

4.15 概述

本规范要求的技能评定试验是专门制定的用于确定评定焊工、焊接操作工或定位焊工施焊完好焊缝能力的试验。在实际施工中，不可将评定试验作为焊接或定位焊的指南。后者应按 WPS 要求来进行。

4.15.1 评定覆盖的产品焊接位置

4.15.1.1 焊工和焊接操作工。焊工和焊接操作工的板材试验所评定的产品焊接位置应满足表 4.10 要求。焊工和焊接操作工的管材接试验所评定的产品焊接位置应满足第 9 节及表 9.13 要求。

4.15.1.2 定位焊工。应在打算执行定位焊的每个位置用一块试板来对定位焊工进行评定。

4.15.2 评定覆盖的产品厚度和直径

4.15.2.1 焊工和焊接操作工。焊工和焊接操作工评定所覆盖的产品厚度和直径范围应满足表 4.11 要求。

4.15.2.2 定位焊工。定位焊工评定所覆盖的厚度应大于或等于 1/8 in. [3 mm]。

4.15.3 通过 WPS 评定进行的焊工和焊接操作工技能评定。也可通过焊接一块满足 4.9 要求且合格的 WPS 评定用试板或试管的方式对焊工或焊接操作工进行评定。以这种方式评定合格的焊工或焊接操作工应满足 4.15.1 和 4.15.2 要求。

4.16 所需评定试验的类型

4.16.1 焊工和焊接操作工。焊工和焊接操作工评定所需的评定试验类型和数量应符合表 4.11 要求。各种 NDT 和力学性能试验的详细要求见下述各小节：

- (1) 目视检验(见 4.9.1)(采用 WPS 要求)
- (2) 正面弯曲、根部弯曲和侧面弯曲(见 4.9.3.1)(采用 WPS 要求)

(3) 宏观腐蚀(见 4.22.2)

(4) 角焊缝断裂(见 4.22.4)

4.16.1.1 用 RT 代替导向弯曲试验。除了采用 GMAW - S 焊接的接头外，可对焊工或焊接操作工评定用试板或试管进行射线检查，以代替 4.16.1(2)所述弯曲试验(RT 要求见 4.22.3)。

在对焊接操作工进行评定时，也可以对产品坡口焊缝中 15 in. [380 mm]的起始段进行 RT，以替代对评定用试验试件进行的力学性能试验或 RT。评定覆盖的材料厚度范围应为表 4.11 所示范围。

4.16.1.2 导向弯曲试验。应从图 4.16、图 4.19、图 4.2 图 4.21、图 4.22 和图 9.28(如果是焊工评定)或者图 4.17、图 4.22 或图 4.24(如果是焊接操作工评定)所示试板或试管上切取力学试验用试样。这些试样的横断面应接近于矩形，并且应按图 4.8、图 4.9、图 4.10 或图 4.14 要求来制备。

4.16.2 定位焊工。定位焊工应在图 4.27 所示的角焊缝断裂试验用试样上焊接一条长度约为 2 in. [50 mm]、最大尺寸约为 1/4 in. [6 mm]的定位焊缝。

4.16.2.1 评定的范围。通过角焊缝断裂试验的定位焊工应有资格在已经进行过评定的位置采用已评定过的定位焊工艺制作所有类型的接头(不包括不采用衬垫且)仅从一面施焊的 CJP 坡口焊缝，比如对接接头及 T 形、Y 形和 K 形连接)。上述例外情况的定位焊应由通过了完全依据所用焊接工艺和位置进行了焊接评定的焊工来执行。

4.17 焊工和焊接操作工技能评定用的焊缝类型

焊工和焊接操作工评定用的焊缝类型应分为如下几类：

- (1) 非管材连接的 CJP 坡口焊缝(见 4.20)
- (2) 非管材连接的 PJP 坡口焊缝(见 4.21.1)
- (3) 非管材连接的角焊缝(见 4.21.2)
- (4) 管材连接的 CJP 坡口焊缝(见 9.19)
- (5) 管材连接的 PJP 坡口焊缝(见 9.20)
- (6) 管材连接的角焊缝(见 9.21)
- (7) 管材连接和非管材连接的塞焊缝及槽焊缝(见 4.21.3)

4.18 技能评定表格的准备

焊接人员应遵守评定试验所需的 WPS 的要求。除了 4.19 的技能评定基本参数以外，4.8 总

的所有 WPS 基本参数限制也适用。焊接人员技能评定记录 (WPQR) 应被作为书面证明文件, 并且应列出表 4.12 的所有适用的基本参数。建议采用的表格参见附录 M。

4.19 基本参数

如果焊工、焊接操作工或定位焊工的操作超出表 4.12 的基本参数限定范围, 则要求重新进行评定。

4.20 非管材连接的 CJP 坡口焊缝

焊工或焊接操作工非管材连接的技能评定位置要求见表 4.10。注意, 采用衬垫的接头的评定覆盖了进行背面清根并从另一面施焊的焊接接头。

4.20.1 焊工评定用试板。下面的图中给出了焊工评定的位置和厚度要求。

- (1) 图 4.16—所有位置—厚度无限定
- (2) 图 4.19—横焊位置—厚度无限定
- (3) 图 4.20—所有位置—厚度有限定
- (4) 图 4.21—横焊位置—厚度有限定

4.20.2 焊接操作工评定用试板

4.20.2.1 除 EGW、ESW 和塞焊外的焊接。不进行 EGW、ESW 和塞焊缝操作的焊接操作工评定用试板应符合图 4.17 要求。经此评定合格的焊接操作工应有按试验所用焊接工艺和位置在厚度不限定的材料上焊接坡口焊缝和角焊缝的资格。

4.20.2.2 ESW 和 EGW。焊接操作工的 ESW 或 EGW 评定用试板应包括焊接施工中所用的最大厚度材料的接头, 但试验焊缝的材料厚度无需超过 1½ in. [38 mm](见图 4.24)。如果焊接的试验焊缝的厚度是 1½ in. [38 mm], 则无需用更薄的板材进行试验。经此评定合格的焊接操作工应有按这种焊接工艺和位置在厚度不限定的材料上焊接坡口焊缝和角焊缝的资格。

4.21 评定的范围

4.21.1 非管材连接的坡口焊缝。CJP 坡口焊缝的评定应覆盖所有 PJP 坡口焊缝。

4.21.2 非管材连接的角焊缝。CJP 坡口焊缝的评定应覆盖所有角焊缝。但如果仅要求进行角焊缝评定, 则见表 4.11 规定。

4.21.3 塞焊缝和槽焊缝。管材连接或非管材连接上 CJP 坡口焊缝的评定应覆盖所有塞焊缝和槽

焊缝。仅进行塞焊缝和槽焊缝评定的情况见表 4.10。接头应包含位于厚度为 3/8 in. [10 mm] 的板内的一个直径为 3/4 in. [20 mm] 的孔，并且应采用最小厚度为 3/8 in. [10mm] 的衬板(见图 4.26)。

4.22 焊工和焊接操作工评定的试验方法和验收准则

4.22.1 目视检验。验收准则见 4.9.1。

4.22.2 宏观腐蚀试验。制备好的试样应进行抛光，以便进行宏观腐蚀检查。应采用合适的溶液进行蚀刻，以便产生清晰的焊缝轮廓。

4.22.2.1 塞焊缝和角焊缝的宏观腐蚀试验。宏观腐蚀的面应光滑，以便进行蚀刻：

(1) 应按下列要求从试验接头上切取塞焊缝宏观腐蚀试验用试样：

(a) 焊工评定—图 4.26

(b) 焊接操作工评定—图 4.26

(2) 应按下列要求从试验接头上切取角焊缝宏观腐蚀试验用试样：

(a) 焊工评定—图 4.25

(b) 焊接操作工评定—图 4.25

4.22.2.2 宏观腐蚀试验的验收准则。当进行目视检验时，评定合格的试样应符合下列要求：

(1) 角焊缝应熔合至接头根部，但不必延伸到接头根部外面。

(2) 最小焊脚尺寸应为规定的角焊缝尺寸。

(3) 塞焊缝应：

(a) 无裂纹。

(b) 与背部垫板以及孔的周边完全熔合

(c) 可见夹渣总累加长度不超过 1/4 in. [6 mm]。

4.22.3 RT。如果用 RT 代替规定的弯曲试验，则无需为了进行 RT 检查而打磨焊缝余高或将其处理光滑，除非表面不平整或其与母材的连接点会在射线检测中使不可接受的焊接不连续变得模糊不清。如因 RT 而移除衬垫，则应将根部打磨至与母材齐平(见 5.23.3.1)。

4.22.3.1 RT 程序和技术。RT 程序和技术应满足第 6 节 E 部分要求；如果是管材，则应满足第 9 节 F 部分要求。对于焊工评定，在可不评估距离试板每端 1¼ in. [32 mm] 的焊缝；对于焊接操作工评定，则无需评定距离试板每端 3 in. [75 mm] 的焊缝。

4.22.3.2 RT 验收准则。当进行 RT 时，评定合格的焊缝应符合 6.12.2 要求，但 6.12.2.2 的条款除

外。

4.22.4 角焊缝断裂试验。应对角焊缝的全长作目视检验，然后以一种可使焊缝根部处于受拉状态的方式向 6 in.[150 mm]长的试样(见图 4.25)或 1/4 段管的见焊缝试件上施加荷载。至少应有一个起弧点和收弧点落在试验内。应增加荷载或重复施加荷载，直至试样断裂或自己弯曲成扁平状。

4.22.4.1 角焊缝断裂试验的验收准则。为了通过断裂试验之前的目视检验，焊缝的外观应均匀且无焊瘤、裂纹以及超过 6.9 要求的咬边。焊缝表面不应有可见气孔。

如果断裂试样符合以下情况，则应被视为合格：

- (1) 试样自己弯曲成扁平状；或者
- (2) 角焊缝(如果已经断裂)的断裂面表明从表面至接头根部完全熔合且去最大尺寸超过 3/32 in. [2.5 mm]的夹渣或气孔；和
- (3) 在试样 6 in. [150mm]长的范围内，全部夹渣和气孔的最大尺寸之和不应超过 3/8 in. [10 mm]。

4.22.5 根部弯曲、正面弯曲和侧面弯曲试样。验收准则见 4.9.3.3。

4.23 定位焊工评定的试验方法和验收准则

应如图 4.23 所示向试样施力，直至发生断裂。可以用任何便捷的方式施力。应目视检验焊缝表面和断裂表面是否由缺陷。

4.23.1 目视检验的验收准则。定位焊缝的外观应均匀且无焊瘤、裂纹以及超过 1/32 in.[1 mm]的咬边.焊缝表面不应有可见气孔。

4.23.2 无损检测的验收准则。定位焊缝的断裂表面应表明焊缝已经熔至根部，但无需延伸到根部之外，并且不应有与母材不完全熔合迹象，或者不应有最大尺寸超过 3/32 in. [2.5 mm] 的任何夹渣或气孔。

4.24 复验

当焊工、焊接操作工或定位焊工未通过评定试验，或因特别的原因而质疑其焊接工作能力，或者超过评定有效期时，下列要求适用：

4.24.1 焊工和焊接操作工复验要求

4.24.1.1 立即复验。立即复验包括在焊工和焊接操作工未通过试验的位置焊接每种类型的 2 个

焊缝。所有复验用的试样均应满足所有规定要求。

4.24.1.2 进一步培训或实习后的复验。如果有证据表明焊工或焊接操作工已经进行了进一步培训或实习，则可进行复验。应在未通过或有疑问的位置采用未通过或有疑问的焊缝进行完整复验。

4.24.1.3 技能评定有效期过期后的复验。当焊工或焊接操作工的评定有效期已过时，则需进行重新评定试验。焊工可以选择用 3/8 in. [10 mm] 的厚度来评定厚度等于或大于 1/8 in. [3 mm] 的任何产品焊接厚度

4.24.1.4 例外—未通过重新评定复验。未通过重新评定复验后不应进行立即复验。仅可在按 4.24.1.2 进行进一步培训或实习后方可复验。

4.24.2 定位焊工复验要求

4.24.2.1 未作进一步培训情况下的复验。如果未通过试验，则定位焊工可在未作进一步培训情况下进行一次复验。

4.24.2.2 进一步培训或实习后的复验。如果定位焊工已经进行了进一步培训或实习，则可进行复验。应进行完整复验。

D 部分：CVN 试验要求

4.25 概述

4.25.1 仅应在符合本规范 4.2.1.3、5.25.5(3)[d]、表 3.1 和表 3.2 要求的合同文件中有规定时才应采用本节的 CVN 试验要求和试验程序。如果本节没有阐述母材的 CVN 试验要求，则可假设母材适合在需要对 WPS 进行 CVN 试验的情况下使用。

4.25.2 CVN 试样应按 ASTM E23《金属材料缺口试样冲击试验标准方法》中的 A 型夏比(简支梁)冲击试样要求进行机加工，并且应按 ASTM A 370《钢产品力学性能试验的标准试验方法和定义》或 AWS B4.0《焊缝力学性能标准试验方法》要求进行试验。

4.26 试验部位

4.26.1 除非合同文件另有规定，否则各个 CVN 试样的试验部位应如图 4.28 和表 4.14 所示。

4.26.2 在制作所有 CVN 试样的缺口时，应按图 4.28 所示先从合适深度处的试验焊缝开始进行

机加工。试样宜稍微长些，以便准确地给缺口定位。接下来用弱酸(比如 5% 硝酸酒精)溶液蚀刻棒料，以露出焊缝熔合区和 HAZ 的位置。如图 4.28 所示，缺口的中心线应落在试样上。

4.27 CVN 试验

4.27.1 从单一试验部位制备的 CVN 试样的数量有如下两种选择方案：

方案 A—3 个试样

方案 B—5 个试样

4.27.2 应从用于测定其他焊接接头性能的相同焊接试件上加工 CVN 试样(板材见图 4.6 和图 4.7，管材见图 9.19 和图 9.20)。当焊接试件的尺寸不足以满足所有力学性能试样的要求时，应制作一个补充的焊接试件。应从制备拉伸试样的焊接试样上加工出 CVN 试样。

4.27.3 当要求进行 CVN 试验时，则需准备一份包含了 CVN 试验的 PQR 和一份评定过的 WPS。应编制一份新的 PQR；如果有满足除 CVN 试验外的所有要求的现成 PQR，则仅需准备一份含有足够详细的资料的焊件，以制备所需的 CVN 试样。应采用满足原来“试验”用 WPS 要求且包含了表 4.1、表 4.2、表 4.5 的限制及仅适用于 CVN 试验的补充性基本参数的 WPS 来焊接完整或不完整(见上面的注释)试板(表 4.6)。应准备一份新的或修订过的 PQR 和一份新的或修订过的书面 WPS，以满足 CVN 试验的评定参数要求。

4.27.4 除非合同文件中另有规定，否则试样的纵向中心线应垂直于焊缝轴线，并且缺口基线应垂直于表面。

4.27.5 如果试验材料的厚度等于或大于 7/16 in. [11 mm]，则应采用 10×10 mm 标准试样。如果试验材料的厚度小于 7/16 in. [11 mm]，或者因焊件形状的缘故而不可能截取全尺寸试样，则应使用小尺寸试样。当需要使用小尺寸试样时，应按表 4.15 所示的任何一种尺寸来加工试样。(注：最好从评定试验用的试件上加工 CVN 试样。)

4.27.6 合同文件中应规定 CVN 试验温度。

4.27.7 采用小试样的 CVN 试验温度

4.27.7.1 厚度等于或大于 7/16 in. [11 mm]的试片。当需要使用小尺寸试样且跨过缺口的宽度小于试片厚度的 80%时，应按表 4.15 要求降低试验温度。

4.27.7.2 厚度小于 7/16 in. [11 mm]的试片。当需要使用小尺寸试样且跨过缺口的宽度小于试片

厚度的 80%时，试验温度所减小的量应为与试片厚度相对应的温度减小量和与实际试验用的夏比冲击试样的宽度相对应的温度减小量之间的差值。

4.28 试验要求

4.28.1 除非另有规定，否则最低规定屈服强度等于或小于 50 ksi[345 MPa]的母材之间的焊缝试验要求应不低于表 4.14 的最低要求。应在合同文件中规定最低规定屈服强度大于 50 ksi[345 MPa]的母材之间的焊缝试验要求。这些要求可以包括但不限于吸收的能量、韧性断口百分比和侧向膨胀值。

4.28.2 应在合同图纸或规范中规定每项试验的验收准则，并且验收准则应包含下列要求：

- (1) 最小个值—任何试样的值均不可低于此值；和
- (2) 最小平均值—3 个试样的算术平均值应等于或大于此值。

除非合同图纸或技术条件中另有规定，否则 4.28.1 描述的最低规定屈服强度等于或小于 50 ksi[345 MPa]的母材之间的焊缝的 CVN 试验要求应图表 4.14 所示。

4.28.3 如果选择方案、B(见 4.27.1)，则应弃用含有最高值和最低值的试样，而留下 3 个试样进行评价。对于方案 A 和留下 3 个试样的方案 B，试样的 3 个值中应有 2 个值等于或大于规定的最小平均值。3 个值中可有一个值低于规定的最小平均值，但不得低于规定的最小个值，并且 3 个值的平均值不应低于规定的最小平均值。

4.29 复验

4.29.1 当不满足 4.28.2 和 4.28.3 要求时，则可进行一次复验。留下的 3 个试样的每个个值均应等于或大于规定的最小平均值。复验用的试样应取自原焊接试件。如果不能从原焊接试件上取得试样，则应制备新的焊接试件并执行本规范要求的所有力学性能试验。

4.30 报告

4.30.1 应在 PQR 中报告本规范、合同文件或规范要求的所有 CVN 试验的测量值。

表 4.1 WPS 评定—利用板材、管材和箱型管试验评定的产品焊接位置

(见 4.4)

板 材	评定试验		所评定的板材焊接			所评定的管材焊接					所评定的箱型管焊接				
	焊缝类型	试验位置	坡口 CJP	坡口 PJP	角焊缝 ^c	对接接头		T 形、Y 形和 K 形连接		角焊缝 ^c	对接接头		T 形、Y 形和 K 形连接		角焊缝 ^c
						CJP	PJP	CJP	PJP		CJP	PJP	CJP	PJP	
	坡口焊缝 ^a	1G	F	F	F	F	F			F	F	F			F
		2G	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H			F, H	F, H	F, H			F, H
3G		V	V	V	V	V			V	V	V			V	
4G		OH	OH	OH	OH	OH			OH	OH	OH			OH	
角焊缝 ^{a,b}	1F			F					F					F	
	2F			F, H					F, H					F, H	
	3F			V					V					V	
	4F			OH					OH					OH	
塞焊缝和槽焊缝		仅在试验位置评定塞焊缝和槽焊缝													

CJP—全熔透接头

PJP—部分熔透接头

^a 评定轴线基本是直线焊接，包括沿着平行于圆管轴线的线进行的焊接。^b 评定管子中公称外径等于或大于 24 in. [600 mm] 的环焊缝。^c T 形、Y 形和 K 形连接中的角焊缝应满足 9.12 要求。应按 4.12 进行 WPS 评定。

表 4.2 WPS 评定—CJP 坡口焊缝：所评定试样的数量和类型及厚度和直径范围**(见 4.2)(尺寸单位：in.)**

1. 板材试验 ^{a, b}						
试验用板材 的公称厚度 (T), in.	试样数量				所评定板材或管材的 公称厚度 ^{c, d} , in.	
	收缩断面拉伸 (见图 4.10)	根部弯曲 (见图 4.8)	正面弯曲 (见图 4.8)	侧面弯曲 (见图 4.9)	最小值	最大值
$1/8 \leq T \leq 3/8$	2	2	2	(注 g)	1/8	2T
$3/8 < T < 1$	2			4	1/8	2T
$T \geq 1$	2			4	1/8	无限定
2. ESW 和 EGW 试验 ^{a, f}						
试验用板材 的公称厚度	试样数量				所评定板材或管材的 公称厚度	
	收缩断面拉伸 (见图 4.10)	全焊缝金属拉 伸(见图 4.14)	侧面弯曲 (见图 4.9)	CVN 试验	最小值	最大值
T	2	1	4	(注 e)	0.5T	1.1T

^a 所有试板均应进行目视检验(见 4.9.1)和 NDT (见 4.9.2)。^b 试板要求见图 4.6 和图 4.7。^c 对于在不进行背面清根的情况下评定的直边坡口焊缝，所评定的最大厚度应被限定为试板厚度。^d 任何厚度 CJP 坡口焊缝评定均应评定任何厚度的角焊缝或 PJP 坡口焊缝的任何尺寸(见 4.11.3)。^e 当有规定时，应按第 4 节 D 部分要求进行 CVN 试验。^f 试板要求见图 4.5。^g 如果板厚或壁厚是 3.8 in.，则可用侧面弯曲试验来替代正面弯曲和根部弯曲试验。

表 4.2 WPS 评定(续)—CJP 坡口焊缝：所评定试样的数量和类型及厚度和直径范围
(见 4.25)(尺寸单位：mm)

1. 板材试验 ^{a, b}						
试验用板材 的公称厚度 (T), mm	试样数量				所评定板材或管材的 公称厚度 ^{c, d} , in.	
	收缩断面拉伸 (见图 4.10)	根部弯曲 (见图 4.8)	正面弯曲 (见图 4.8)	侧面弯曲 (见图 4.9)	最小值	最大值
3≤T≤10	2	2	2	(注 g)	3	2T
10<T<25	2			4	3	2T
T≥25	2			4	3	无限定
2. ESW 和 EGW 试验 ^{a, f}						
试验用板材 的公称厚度	试样数量				所评定板材或管材的 公称厚度	
	收缩断面拉伸 (见图 4.10)	全焊缝金属拉 伸(见图 4.14)	侧面弯曲 (见图 4.9)	CVN 试验	最小值	最大值
T	2	1	4	(注 e)	0.5T	1.1T

^a 所有试板焊缝均应进行目视检验(见 4.9.1)和 NDT(见 4.9.2)。

^b 试板要求见图 4.6 和图 4.7。

^c 对于在不进行背面清根的情况下评定的直边坡口焊缝，所评定的最大厚度应被限定为试板厚度。

^d 任何厚度 CJP 坡口焊缝评定均应评定任何厚度的角焊缝或 PJP 坡口焊缝的任何尺寸(见 4.11.3)。

^e 当有规定时，应按第 4 节 D 部分要求进行 CVN 试验。

^f 试板要求见图 4.5。

^g 如果板厚或壁厚是 10 mm，则可用侧面弯曲试验来替代正面弯曲和根部弯曲试验。

表 4.3 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；PJP 坡口焊缝

(见 4.11)

试验坡口 深度, T in. [mm]	试样数量 ^{a, b}					评定范围 ^c		
	焊缝尺寸(E)	收缩断面 拉伸(见 图 4.10)	根部弯曲 (见图 4.8)	正面弯曲 (见图 4.8)	侧面弯曲 (见图 4.9)	坡口 深度	板材公称厚度, in. [mm]	
	宏观腐蚀						最小值	最大值
	4.11.2 4.11.3 4.11.4							
1/8 ≤ T ≤ 3/8 [3 ≤ T ≤ 10]	3	2	2	2	—	T	1/8 [3]	2T
3/8 < T ≤ 1 [10 < T ≤ 25]	3	2	—	—	4	T	1/8 [3]	无限定

^a 每个位置应采用一块试板(见图 4.6 或图 4.7)。采用 PJP 坡口焊缝细节进行评定。应目视检验所有试板(见 4.9.1)。

^b 如果在 T 形接头中采用 PJP 单面喇叭形坡口焊缝或 J 形坡口焊缝, 或者在角接头中采用双面喇叭形坡口焊缝或 J 形坡口焊缝, 则对接接头直边平面上应有一块临时限位板, 以模拟 T 形接头的形状。

^c 任何 PJP 评定均还应覆盖任何厚度的角焊缝尺寸。

表 4.4 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；角焊缝

(见 4.12)

试样	角焊缝尺寸	WPS 要求的 焊缝数量	所需的试样 ^b			所评定的尺寸	
			宏观腐蚀	全焊缝金属 拉伸(见图	侧面弯 曲(见图	板厚/ 管厚 ^a	角焊缝尺寸
			4.12.1 4.9.4	4.14)	4.9)		
板材 T 形 接头试验 (图 4.15)	结构中所用单焊 道的最大尺寸	每个位置用 一条焊缝	3 个面	—	—	无限定	等于或小于试验 用单焊道的最大 尺寸
	结构中所用多焊 道的最大尺寸	每个位置用 一条焊缝	3 个面	—	—	无限定	等于或大于试验 用多焊道的最小 尺寸
焊材验证 试验(图 4.18)	—	1G 位置用 一条焊缝	—	1	2	评定在上面的 T 形接头试 验中使用的焊材	

^a 评定的最小厚度应为 1/8 in. [3 mm]。

^b 应按 4.9.1 要求对所有焊好的试板进行目视检验。

表 4.5 要求重新评定 WPS 的 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 用 PQR

基本参数的变化(见 4.8.1)

要求重新评定的 PQR 基本参数的变化	工艺				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
填充金属					
1) 填充金属强度等级增加	X		X	X	
2) SMAW 所用焊条从低氢焊条改为非低氢焊条	X				
3) 从焊条或焊剂-焊条改为任何其他焊条或焊剂-焊条 ^a		X		X	X
4) 将焊条或焊剂-焊条改为下列规范未涵盖的焊条或焊剂-焊条:	AWS A5.1 或 A5.5	AWS A5.17 或 A5.23	AWS A5.18、A5.28 或 A5.36	AWS A5.20、A5.29 或 A5.36	AWS A5.18 或 A5.28
5) 添加或删除填充金属					X
6) 送丝由冷丝改为热丝或由热丝改为冷丝					X
7) 增加或删除补充性粉末状或颗粒状填充金属或金属丝		X			
8) 增加补充性粉末状或颗粒状填充金属或金属丝的量		X			
9) 如果焊缝金属的合金含量主要取决于补充性粉末状填充金属, 则为导致焊缝敷熔金属的重要合金元素不符合 WPS 的化学成分要求的任何 WPS 变化。		X			
10) 改变填充金属公称直径:	增加量 > 1/32 in. [0.8 mm]	任何增加量 b	任何增加或减少量	任何减少量	增加或减少量 > 1/16 in. [1.6 mm]
11) 改变焊条数量		X	X	X	X
工艺参数					
12) 改变每一种直径焊条的电流:	超出制造商推荐的值	增加或减少量 > 10%	增加或减少量 > 10%	增加或减少量 > 10%	增加或减少量 > 25%
13) 改变电流类型(直流或交流)或极性(直流的正极或负极)	X	X	X	X	X
14) 改变过渡模式			X		
15) 将输出从 CV 改为 CC			X	X	
16) 改变每一种直径焊条的电压:		增加或减少量 > 7%	增加或减少量 > 7%	增加或减少量 > 7%	

(待续)

表 4.5(续) 要求重新评定 WPS 的 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 用 PQR 基本参数的变化
(见 4.8.1)

要求重新评定的 PQR 基本参数的变化	工艺				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
工艺参数(续)					
17) 改变每一种直径焊条的送丝速度(如果不控制电流)		增加或减少量>10%	增加或减少量>10%	增加或减少量>10%	
18) 改变焊接速度:		增加或减小量>15%	增加或减小量>25%	增加或减小量>25%	增加或减小量>50%
保护气体					
19) 将保护气体从一种保护气体改为任何其他保护气体或气体混合物,或改变气体混合物的成分百分比,或者改为不使用保护气体			X	X	X
20) 改变保护气体的总流量:			增加量> 50% 减小量> 20%	增加量> 50% 减小量> 20%	增加量> 50% 减小量> 20%
21) 将保护气体改为下列规范未涵盖的气体:			AWSA5.18、A5.28 或 A5.36。对于 A5.36 固定分类和开放分类,保护气体分类范围的变化应被限定为焊条分类试验专用的具体保护气体。	AWS A5.20、A5.29 或 A5.36。对于 A5.36 固定分类和开放分类,保护气体分类范围的变化应被限定为焊条分类试验专用的具体保护气体。	
SAW 参数					
22) 电弧纵向间距的变化>10%或 1/8 in. [3 mm](取较大值)		X			
23) 电弧横向间距的变化>10%或 1/8 in. [3 mm](取较大值)		X			
24) 并联焊丝的角度方位增加或减小 10°以上		X			

(待续)

表 4.5(续) 要求重新评定 WPS 的 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW

用 PQR 基本参数的变化(见 4.8.1)

要求重新评定的 PQR 基本参数的变化	工艺				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
25) 对于机械化或自动化 SAW, 平行于焊接方向的角度变化超过 3°		X			
26) 对于机械化或自动化 SAW, 垂直于焊接方向的焊条的角度变化超过 5°		X			
概述					
27) 未按表 4.1 或表 9.9 评定的位置变化	X	X	X	X	X
28) 未按表 4.2 或表 9.10 评定的直径和/或厚度变化	X	X	X	X	X
29) PQR 未列出的或未按表 4.8 评定的母材或母材组合的变化	X	X	X	X	X
30) 立焊: 任何焊道由向上立焊改为向下立焊, 或者由向下立焊改为向上立焊	X		X	X	X
31) 改变破口类型(如果将单面 V 形坡口改为双面 V 形坡口), 用于评定满足 3.12、3.13、9.10 或 9.11 要求的任何坡口细节的任何 CIP 坡口焊缝的评定除外	X	X	X	X	X
32) 任何类型的坡口改为直边坡口或直边坡口改为其他坡口	X	X	X	X	X
33) 任何超出 3.12、3.13、5.21.4.1 或 9.10、9.11、9.11.2 及 9.24.2.1 公差的变化, 包括: a) 减小坡口角度 b) 减小根部间隙 c) 增加钝边	X	X	X	X	X
34) 遗漏加衬垫或背面清根, 但不包括增加加衬垫或背面清根要求	X	X	X	X	X

(待续)

表 4.5(续) 要求重新评定 WPS 的 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW**用 PQR 基本参数的变化(见 4.8.1)**

要求重新评定的 PQR 基本参数的变化	工艺				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
35) 预热温度降低 ^d :	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	>100°F[55°C]
36) 道间温度降低 ^d :	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 100°F[55°C]
37) 增加或取消 PWHT	X	X	X	X	X

^a 可在不重新评定 WPS 的情况下降低填充金属强度。

^b 对于使用合金焊剂的 WPS，焊条直径的任何增加或减小均要求重新评定 WPS。

^c 可根据最大单道焊角焊缝和最小多焊道角焊缝评定试验决定所有尺寸角焊缝的焊接速度范围。

^d 如果满足 5.6 要求，而且随后的焊接中母材温度不低于 WPS 温度时，则焊接生产中预热或道间温度可以低于 PQR 预热或道间温度。

^e 可采用相同分类的 AWS A5M (SI 单位制)焊条来替代 AWS A5(美国惯用单位)焊条。

注：“X”表示焊接工艺的适用性；阴影区域表示不适用。

**表 4.6 要求重新评定 WPS 的 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 的
CVN 试验用 PQR 补充性基本参数的变化**

(见 4.8.1)

参数	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
母材					
1) 组别变化	X	X	X	X	X
2) 评定的最小厚度为 T 或 5/8 in. [16 mm](取其中的较小值), T 小于 1/4 in. [6 mm]的情况除外(这种情况下评定的最小厚度是 1/8 in. [3 mm])	X	X	X	X	X
填充金属					
3) AWS A5.X 焊条分类或 A5.X 规范未涵盖的焊缝金属或填充金属分类的变化。对于之前按 A5.18、A5.20、A5.28 或 A5.29 要求分类及按 A5.36 要求重新分类的碳钢和低碳钢 FCAW 及 GMAW 金属芯焊丝, 如果制造商、品牌没有发生变化, 并且满足之前的 PQR/WPS CVN 评定中采用的所有分类要求, 则无需重新评定。	X	X	X	X	X
4) 焊剂/焊条分类的变化, 或者是未按 ASW 规范分类的焊条或焊剂品名的改变, 或者是改用粉碎的焊剂。		X			
5) 焊条制造商或制造商商标或焊条类型的变化。				X	
位置					
6) 焊接位置改为向上立焊。3G 立焊试验应被用于对所有位置进行评定, 还应评定向下立焊。	X		X	X	X
预热/道间温度					
7) 已评定的最大预热/道间温度增加了 100°F [56°C]以上。	X	X	X	X	X
焊后热处理					
8) PWHT 温度和/或时间范围的改变。PQR 试验应在规定温度下进行, 并且进行时间应为总时间的 80 %。规定温度下的 PWHT 总时间可应用于一次热循环中。	X	X	X	X	X
电特性					
9) 焊缝单位长度内热输入或敷熔的焊缝金属的体积超过评定范围, 焊后进行奥氏体晶粒细化热处理的情况除外。可用下列任何一种方法确定增加量: a) 热输入(J/in.) = $\frac{\text{电压} \times \text{电流} \times 60}{\text{焊接速度(in./min.)}}$ b) 焊缝金属的体积—焊条每单位长度上焊道尺寸的增加或减小	X	X	X	X	X
其他参数					
10) 立焊位置从直线运动改为摆动	X	X	X	X	X
11) 每侧的多道焊改为在每侧进行单道焊	X	X	X	X	X
12) 对于机械化或自动化焊接, 摆动变化的量超过±20%。		X	X	X	X

表 4.7 要求重新评定 WPS 的 ESW 或 EGW 的 PQR 补充性基本参数的变化

(见 4.8.2)

要求重新评定的 PQR 基本参数的变化	通过 WPS 试验重新评定	通过 RT 或 UT 重新评定 ^a
填充金属		
1) 填充金属或熔化咀金属成分的“明显”变化	X	
滑块(固定式或移动式)		
2) 从金属滑块改为非金属滑块或者相反		X
3) 从熔化型滑块改为非熔化型滑块或者相反		X
4) 实心非熔化型滑块横截面尺寸或面积减少 25%以上		X
5) 设计时将非熔化型实心滑块改为水冷型滑块或者相反	X	
填充金属摆动		
6) 横向摆动速度的变化超过 10 ipm (4 mm/s)		X
7) 横向摆动的停顿时间超过 2 s(补充接头间隙变化所需的时间除外)		X
8) 横向摆动幅度超过 1/8 in. [3 mm], 并且填充金属接近滑动		X
填充金属添加物		
9) 熔化咀金属横截面积的变化超过 30%	X	
10) 改变助焊剂系统(也就是药芯焊丝、磁性焊条、外加焊剂等)	X	
11) 改变焊接成分(包括熔化咀涂层)	X	
12) 焊剂装载量的变化超过 30%		X
焊条/填充金属直径		
13) 焊条直径的增加量或减小量超过 1/32 in. [1 mm]		X
14) 改变所用焊条的数量	X	
焊条的电流		
15) 焊条电流的增加量或减小量超过 20%	X	
16) 改变电流类型(直流或交流)或极性		X
焊条的电弧电压		
17) 电压的增加量或减小量超过 10%		X
工艺特征		
18) 改为与其他焊接工艺结合使用	X	
19) 从单焊道改为多焊道, 或者从多焊道改为单焊道	X	
20) 将恒流改为恒压或者相反		X
送丝速度		
21) 送丝速度的增加量或减小量超过 40%	X	
焊接速度		
22) 焊接速度的增加量或减小量(如果无弧长或不自动控制敷熔速率)超过 20%(补充接头间隙变化所需的增加或减小除外)		X

(待续)

表 4.7(续) 要求重新评定 WPS 的 ESW 或 EGW 的 PQR 补充性基本参数的变化

(见 4.8.2)

要求重新评定的 PQR 基本参数的变化	通过 WPS 试验重新评定	通过 RT 或 UT 重新评定 ^a
焊条保护(仅限 EGW)		
23) 保护气体中任何大于总流量 5%的一种气体成分发生变化	X	
24) 保护气体总流量的增加量或减小量超过 25%		X
焊接位置		
25) 立焊位置的角度变化超过 10°		X
坡口类型		
26) 横截面积增加(非直边坡口)	X	
27) 横截面积减小(非直边坡口)		X
28) PQR 接头厚度的变化超过 0.5T~1.1T 的限制	X	
29) 直边坡口焊缝根部间隙的增加量或减小量超过 > 1/4 in. [6 mm]		X
焊后热处理		
30) 改变 PWHT	X	

^a 应按第 6 节 E 部分或 F 部分要求进行试验；如果是管材，则应按第 9 节 F 部分要求进行试验。

注：“X”表示重新评定方法的适用性；阴影区域表示不适用。

表 4.8 采用 PQR 评定的表 3.1、表 4.9 所列及未列钢材**(见 4.8.3)**

PQR 母材	PQR 许用的 WPS 母材组组合
任何 I 组钢材与任何 I 组钢材	任何 I 组钢材与任何 I 组钢材
任何 II 组钢材与任何 II 组钢材	任何 I 组钢材与任何 I 组钢材 任何 II 组钢材与任何 I 组钢材 任何 II 组钢材与任何 II 组钢材
任何特定的 III 组钢材或表 4.9 所列钢材与任何 I 组钢材	任何特定的 PQR III 组钢材或表 4.9 所列钢材与任何 I 组钢材
任何特定的 III 组钢材或表 4.9 所列钢材与任何 II 组钢材	任何特定的 PQR III 组钢材或表 4.9 所列钢材与任何 I 组或 II 组钢材
任何 III 组钢材与相同组或任何其他组 III 组钢材 或者 任何 IV 组钢材与相同组或任何其他 IV 组钢材 或者 任何表 4.9 所列钢材与相同组或任何其他表 4.9 所列钢材	钢材的材料规范、级别/类型及最低强度应与 PQR 所列钢材的相同
III 组、IV 组及表 4.9 所列钢材的任意组合	仅采用 PQR 列出的具体钢材组合
任何未列钢材与任何未列钢材或者表 3.1 或表 4.9 所列的任何钢材	仅采用 PQR 列出的具体钢材组合

注：

1. I 组到 IV 组钢材见表 3.1。

2. 当钢材规范中允许时，可在增加金属厚度的同时减小屈服强度。

表 4.9 规范批准且需按第 4 节要求进行评定的母材和填充金属

钢材规范	母材				匹配强度的填充金属			母材厚度, T		最低预热温度和道间温度	
	最低屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围		焊接 工艺	AWS 焊 条规范 ^a	焊条分类	in.	mm	°F	°C
	ksi	MPa	ksi	MPa							
ASTM A871, 60 级	60	415	75	520	SMAW SAW GMAW FCAW	A5.5 A5.23 A5.28 A5.36 A5.29 A5.36	E8015-X E8016-X E8018-X	≤3/4 ≥3/4~1½	≤20 ≥20~38	50 125	10 50
65 级	65	450	80 (最小值)	550 (最小值)			F8XX-EXXX-XX F8XX-ECXXX-XX				
							ER80S-XXX E80C-XXX E8XTX-XAX-XXX				
							E8XTX-X E8XTX-XC E8XTX-XM E8XTX-AX-XXX E8XTX-XAX-XXX				
ASTM A514 (≥2½ in. [65 mm])	90	620	100~130	690~895	SMAW	A5.5	E10015-X E10016-X E10018-X E10018M	≥1½~2½	≥38~65	175	80
ASTM A709 级 HPS 100W [HPS 690W] (≥2½ in.~4 in. [65 mm~100 mm])	90	620	100~130	690~895	SAW	A5.23	F10XX-EXXX-XX F10XX-ECXXX-XX	≥2½	≥65	225	110
ASTM A710 A 级, 1 类 ≤ 3/4 in. [20 mm]	80~85	550~585	90 (最小值)	620 (最小值)	GMAW	A5.28 A5.36	ER100S-XXX E100C-XXX E10TX-XAX-XXX				
ASTM A710 A 级, 3 类 ≤2 in. [50 mm]	75~80	515~550	85 (最小值)	585 (最小值)	FCAW	A5.29 A5.36	E10XTX-XC E10XTX-XM E10TX-XAX-XXX				

(待续)

表 4.9(续) 规范批准且需按第 4 节要求进行评定的母材和填充金属

母材					匹配强度的填充金属			母材厚度，T		最低预热温度和道间温度				
钢材规范	最低屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围		焊接 工艺	AWS 焊 条规范 ^a	焊条分类							
	ksi	MPa	ksi	MPa				in.	mm	°F	℃			
ASTM A514 (≤2½ in.[65 mm])	100	690	110~130	760~895	SMAW	A5.5	E11015-X E11016-X E11018-X E11018M	≤3/4	≤20	50	10			
ASTM A517					SAW	A5.23	F11XX-EXXX-XX F11XX-ECXXX-XX							
												GMAW	A5.28 A5.36	ER110S-XXX E110C-XXX A5.36 E11TX-XAX-XXX
ASTM A709 HPS 100W[HPS 690W]级(≤2½ in.[65 mm])	100	690	110~130	760~895	FCAW	A5.29 A5.36	E11XTX-XC E11XTX-XM E11TX-XAX-XXX	>3/4~1½ >1½~2½	>20~38 >38~65	125 175	50 80			
ASTM A1043/A1043M	36 级 50 级	36~52 50~65	250~360 345~450	58 (最小值) 65 (最小值) 400 (最小值) 450 (最小值)	SMAW	A5.1 A5.5	E7015 E7016 E7018 E7028 E7015-X E7016-X E7018-X	>2½	>65	225	110			
36 级												SAW	A5.17 A5.23	F7XX-EXXX F7XX-ECXXX F7XX-EXXX-XX F7XX-ECXXX-XX

(待续)

表 4.9(续) 规范批准且需按第 4 节要求进行评定的母材和填充金属

母材					匹配强度的填充金属			母材厚度, T		最低预热温度和道间温度		
钢材规范	最低屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围		焊接 工艺	AWS 焊 条规范 ^a	焊条分类					
	ksi	MPa	ksi	MPa				in.	mm	°F	℃	
ASTM A1043/A1043M					GMAW	A5.18	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (不包括带 -GS 后缀的焊条) (固定分类, 碳钢)					
36 级	36~52	250~360	58 (最小值)	400 (最小值)		A5.36	E70C-6M (不包括带-GS 后缀的 焊条) (开放分类, 碳钢)					
50 级	50~65	345~450	65 (最小值)	450 (最小值)		A5.36	E7XT15-XAX-CS1 E7XT15-XAX-CS2 E7XT16-XAX-CS1 E7XT16-XAX-CS2 (不包括带-GS 后缀的 焊条)	≤3/4	≤20	50	10	
								>3/4~1½	>20~38	125	50	
								>1½~2½	>38~65	175	80	
							A5.28	ER70S-XXX E70C-XXX (开放分类, GMAW 金 属药芯低碳钢焊条)	>2½	>65	225	110
							A5.36	E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (不包括带-2C、-2M、 -3、-10、-13、-14 和-GS 的焊条, 也不包括厚度 超过 1/2 in.[12 mm]的 带-11 后缀的焊条)				
							A5.20					

(待续)

表 4.9(续) 规范批准且需按第 4 节要求进行评定的母材和填充金属

母材					匹配强度的填充金属			母材厚度, T		最低预热温度和道间温度	
钢材规范	最低屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围		焊接 工艺	AWS 焊 条规范 ^a	焊条分类				
	ksi	MPa	ksi	MPa				in.	mm	°F	℃
ASTM A1043/A1043M							(固定分类, 碳钢)				
36 级	36~52	250~360	58 (最小值)	400 (最小值)			E7XT-1C				
50 级	50~65	345~450	65 (最小值)	450 (最小值)			E7XT-1M				
(续)							E7XT-5C				
							E7XT-5M				
							E7XT-9C				
							E7XT-9M	≤3/4	≤20	50	10
							E7XT-12C				
							E7XT-12M	> 3/4~1½	> 20~38	125	50
							E70T-4				
							E7XT-6	> 1½~2½	> 38~65	175	80
							E7XT-7				
							E7XT-8	> 2½	> 65	225	110
							(不包括带 T1S、T3S、T10S 和-GS 后缀的药芯焊丝, 也不包括厚度超过 1/2 in. [12 mm]且带后缀 T11 的焊条)				

(待续)

表 4.9(续) 规范批准且需按第 4 节要求进行评定的母材和填充金属

母材					匹配强度的填充金属			母材厚度, T		最低预热温度和道间温度	
钢材规范	最低屈服点/ 屈服强度		抗拉强度范围		焊接 工艺	AWS 焊 条规范 ^a	焊条分类				
	ksi	MPa	ksi	MPa				in.	mm	°F	℃
ASTM A1043/A1043M	36~52	250~360	58 (最小值)	400 (最小值)	FCAW (续)	A5.36	(开放分类, 碳钢) E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-AX-CS3 (不包括带 T1S、T3S、 T10S 和-GS 后缀的药 芯焊丝, 也不包括厚度 超过 1/2 in. [12 mm]且 带后缀 T11 的焊条)	≤3/4	≤20	50	10
	50~65	345~450	65 (最小值)	450 (最小值)			>3/4~1½	>20~38	125	50	
							E7XTX-X E7XTX-XC E7XTX-XM	>1½~2½	>38~65	175	80
	A5.29	>2½	>65	225		110					
ASTM A1043/A1043M	50~65	345~450	65 (最小值)	450 (最小值)	FCAW (续)	A5.36	(开放分类, FCAW, 低 合金钢焊条) E6XTX-AX-XXX E6XTX-XAX-XXX E7XTX-AX-XXX E7XTX-XAX-XXX				

^a AWS A5.36/A5.36M 的开放分类见附录 U。

注:

1. 当焊缝需要进行应力消除处理时, 熔敷的焊缝金属中钒的含量不应超过 0.05%(见 5.8)。
2. 当合同或作业规范有要求时, 按第 4 节 D 部分要求进行 CVN 试验时在 0°F [-20°C]的条件下测定的敷熔焊缝金属的最低 CVN 能量应为 20 ft·lbs [27.1 J]。
3. 对于 ASTM A514、A517 和 A709 级 HPS 100W [HPS 690W], 厚度小于或等于 1½ in. [38 mm]时, 最大预热温度和道间温度不应超过 400°F [200°C]; 温度大于 1½ in. [38 mm]时, 最大预热温度和道间温度不应超过 450°F [230°C]。
4. 除了 AWS A5.36 之外(见附录 U), 其他填充金属的性能已被移到非强制附录 T 中。
5. 可采用相同分类的 AWS A5M (SI 单位制)焊条来替代 AWS A5(美国惯用单位)焊条。

表 4.10 焊工和焊接操作工评定—利用板材、管材和箱型管试验评定的焊接位置

(见 4.15.1)^g

	评定试验		所评定的板材焊接			所评定的管材焊接					所评定的箱型管焊接				
	焊缝类型	试验位置 ^a	坡口 CJP	坡口 PJP	角焊缝 ^f	对接接头		T 形、Y 形和 K 形连接		角焊缝 ^f	对接接头		T 形、Y 形和 K 形连接		角焊缝 ^f
						CJP	PJP	CJP	PJP ^{c,e}		CJP ^d	PJP	CJP	PJP ^e	
板 材	坡口焊缝 ^b	1G	F	F	F, H	F	F		F	F, H	F	F		F	F, H
		2G	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H		F, H	F, H	F, H	F, H		F, H	F, H
		3G	F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V		F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V		F, H, V	F, H, V
		4G	F, OH	F, OH	F, H, OH	F, OH	F, OH		F, OH	F, H, OH	F, OH	F, OH		F, OH	F, H, OH
		3G+4G	全部	全部	全部	全部	全部		全部	全部	全部	全部		全部	全部
	角焊缝	1F			F					F					F, H
2F				F, H					F, H					F, H	
3F				F, H, V					F, H, V					F, H, V	
4F				F, H, OH					F, H, OH					F, H, OH	
3F+4F				全部					全部					全部	
塞焊缝和槽焊缝	仅在试验位置评定塞焊缝和槽焊缝														

CJP—全熔透接头

PJP—部分熔透接头

^a 见图 4.3 和图 4.4。^b 坡口焊缝评定还应覆盖所示试验位置的塞焊缝和槽焊缝。^c 仅评定直径等于或大于 24 in.[600 mm]且加衬垫和/或背面清根的管子。^d 不评定不用衬垫仅从一面施焊或不清根而从两面施焊的接头。^e 不评定坡口角度小于 30° 的焊缝(见 9.15.4.2)。^f 板接头及管材 T 形、Y 形和 K 形连接的二面角的限制见 4.21 和 9.20。^g 电渣焊(ESW)或气电焊(EGW)焊接操作工的评定仅适用于所试验的位置。

**表 4.11 焊工和焊接操作工评定—所评定试样的数量和类型及厚度和直径范围
(尺寸单位: in.)(见 4.15.2.1)**

(1) 板材试验		试样数量 ^a				所评定尺寸				
焊缝或塞焊缝		正面弯曲 ^b (图 4.8)	根部弯曲 ^b (图 4.8)	侧面弯曲 ^b (图 4.8)	宏观腐蚀	所评定板材或管材公称厚度, in.				
试验焊缝的类型 (适用附图)	试板公称厚度(T), in.					最小值	最大值			
坡口焊缝(图 4.20 或图 4.21)	3/8	1	1	(注 c)	—	1/8	3/4(最大值) ^d			
坡口焊缝(图 4.16、图 4.17 或图 4.19)	3/8<T<1	—	—	2	—	1/8	2T(最大值) ^d			
坡口焊缝(图 4.16、图 4.17 或图 4.19)	≥1	—	—	2	—	1/8	无限定 ^d			
塞焊缝(图 4.26)	3/8	—	—	—	2	1/8	无限定 ^d			
角焊缝(T 形或斜 T 形接头)		试样数量 ^a				所评定尺寸				所评定二面角 ^e
试验焊缝的类型 (适用附图)	试板公称厚度(T), in.	角焊缝断裂	正面弯曲 ^b (图 4.8)	根部弯曲 ^b (图 4.8)	侧面弯曲 ^b (图 4.8)	宏观腐蚀	所评定板材公称厚度, in.			
							最小值	最大值	最小值	最大值
坡口焊缝(图 4.20 或图 4.21)	3/8 < T < 1	—	—	2	—	—	1/8	无限定	30°	无限定
坡口焊缝(图 4.20 或图 4.21)	≥1	—	—	2	—	—	1/8	无限定	30°	无限定
坡口焊缝(图 4.16、图 4.17 或图 4.19)	1/2	1	1	—	—	—	1/8	无限定	30°	无限定
角焊缝方案 1(图 4.25)	3/8	—	—	—	2	—	1/8	无限定	60°	135°
角焊缝方案 2(图 4.22)	> 1/8	—	1	—	—	—	1/8	无限定	60°	135°
角焊缝方案 3(图 9.21)(任何直径的管子)						—	1/8	无限定	30°	无限定
(2) 电渣焊和气电焊试验										
产品板材上的坡口焊缝		试样数量 ^a		所评定的板材公称厚度, in.						
试验焊缝的类型	试板公称厚度(T), in.	侧面弯曲 ^b (见图 4.9)		最小值		最大值				
坡口焊缝(图 4.24)	< 1½	2		1/8		T				
	1½	2		1/8		无限定				

^a 所有焊缝均应进行目视检验(见 4.22.1)。

^b 可利用试板射线检查来代替弯曲试验(见 4.16.1.1)。

^c 如果板材厚度或壁厚是 3/8 in., 则可用侧面弯曲试验来替代规定的正面弯曲试验和根部弯曲试验。

^d 也应评定任何厚度的板材或管材上任何尺寸角焊缝或 PJP 焊缝的焊接。

^e 如果二面角 < 30°, 则见 9.19.1; 但无需进行 6GR 试验。

(待续)

表 4.11(续) 焊工和焊接操作工评定—所评定试样的数量和类型及厚度和直径范围
(尺寸单位: mm)(见 4.15.2.1)

(1) 板材试验		试样数量 ^a				所评定尺寸							
焊缝或塞焊缝		正面弯曲 ^b (图 4.8)	根部弯曲 ^b (图 4.8)	侧面弯曲 ^b (图 4.8)	宏观腐蚀	所评定板材或管材公称厚度, mm							
试验焊缝的类型 (适用附图)	试板公称厚度(T), mm					最小值	最大值						
坡口焊缝(图 4.20 或图 4.21)	10					1	1			(注 c)	—	3	20(最大值) ^d
坡口焊缝(图 4.16、图 4.17 或图 4.19)	10<T<25					—	—			2	—	3	2T(最大值) ^d
坡口焊缝(图 4.16、图 4.17 或图 4.19)	≥25	—	—	2	—	3	无限定 ^d						
塞焊缝(图 4.26)	10	—	—	—	2	3	无限定 ^d						
角焊缝(T 形或斜 T 形接头)		试样数量 ^a					所评定尺寸		所评定二面角 ^e				
试验焊缝的类型 (适用附图)	试板公称厚度(T), mm	角焊缝断裂	正面弯曲 ^b (图 4.8)	根部弯曲 ^b (图 4.8)	侧面弯曲 ^b (图 4.8)	宏观腐蚀	所评定板材公称厚度, mm						
							最小值	最大值	最小值	最大值			
坡口焊缝(图 4.20 或图 4.21)	10<T<25	—	—	2	—	—	3	无限定	30°	无限定			
坡口焊缝(图 4.20 或图 4.21)	≥25	—	—	2	—	—	3	无限定	30°	无限定			
坡口焊缝(图 4.16、图 4.17 或图 4.19)	25	1	1	—	—	—	3	无限定	30°	无限定			
角焊缝方案 1(图 4.25)	12	—	—	—	2	—	3	无限定	60°	135°			
角焊缝方案 2(图 4.22)	>10	—	1	—	—	—	3	无限定	60°	135°			
角焊缝方案 3(图 9.21)(任何直径的管子)						—	3	无限定	30°	无限定			
(2) 电渣焊和气电焊试验													
产品板材上的坡口焊缝		试样数量 ^a		所评定的板材公称厚度, mm									
试验焊缝的类型	试板公称厚度(T), mm	侧面弯曲 ^b (见图 4.9)		最小值		最大值							
坡口焊缝(图 4.24)	<38	2		1/8		T							
	38	2		1/8		无限定							

^a 所有焊缝均应进行目视检验(见 4.22.1)。

^b 可利用试板射线检查来代替弯曲试验(见 4.16.1.1)。

^c 如果板材厚度或壁厚是 10 mm, 则可用侧面弯曲试验来替代规定的正面弯曲试验和根部弯曲试验。

^d 也应评定任何厚度的板材或管材上任何尺寸角焊缝或 PJP 焊缝的焊接。

^e 如果二面角<30°, 则见 9.19.1; 但无需进行 6GR 试验。

表 4.12 焊接人员技能评定中需重新评定的基本参数变化

(见 4.19)

需重新评定的 WPQR 的基本参数变化	焊接人员		
	焊工 ^b	焊接操作工 ^{b, c}	定位焊工
(1) 未评定过的焊接工艺(GMAW-S 被视为是一种独立工艺)	X	X	X
(2) 采用比 WPQR 焊条的 F 编号高的 F 编号的 SMAW 焊条(见表 4.13)	X		X
(3) 未评定过的焊接位置	X	X	X
(4) 未评定过的直径或厚度	X	X	
(5) 未评定的立焊施焊方向(向上或向下)	X		
(6) 未采用衬垫(如果在 WPQR 试验中使用)	X	X	
(7) 采用多丝焊条(如果在 WPQR 试验中使用单丝焊条), 但 反之则不然		X ^a	

^a 不适用于 ESW 或 EGW。^b 采用 SAW、GMAW、FCAW 或 GTAW 评定的焊工应被视为是采用相同工艺进行了评定的焊接操作工, 并且要遵守焊工基本参数的限制要求。^c 表 4.11 所示坡口焊缝评定的槽焊缝是 WPQR 焊接位置和厚度范围内的槽焊缝。

注:

1. “X”表示焊接人员的适用性; 阴影区域表示不适用。

2. WPQR = 焊工技能评定记录。

表 4.13 焊条分类组别

(见表 4.12)

组别代号	AWS 焊条分类
F4	EXX15, EXX16, EXX18, EXX48, EXX15-X, EXX16-X, EXX18-X
F3	EXX10, EXX11, EXX10-X, EXX11-X
F2	EXX12, EXX13, EXX14, EXX13-X
F1	EXX20, EXX24, EXX27, EXX28, EXX20-X, EXX27-X

注: 本表格的分类代号中使用的字母“XX”代表的是焊条的不同强度等级(60 [415]、70 [485]、80 [550]、90 [620]、100 [690]、110 [760]和 120 [830])。

表 4.14 CVN 试验要求

(见 4.28.1)

焊接工艺 ^a	试验位置	试样数量 ^b	试验温度, °F/°C	试样尺寸 ^d , mm	最小平均吸收能量 ^e , ft·lbf [J]	最小单个吸收能量 ^e , ft·lbf [J]	断口最小纤维率, %	最小平均侧膨胀值, Mils/mm
SMAW	焊缝金属	3	(注 c)	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(注 f)	(注 f)
GTAW								
GMAW	熔合线+1 mm	3	(注 c)	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(注 f)	(注 f)
SAW								
ESW	熔合线+5 mm	3	(注 c)	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(注 f)	(注 f)
EGW								
FCAW-S								
FCAW-G								

^a 将 FCAW-S 和其他焊接工艺结合的 WPS 尤应进行试验, 以确保两种熔敷焊缝金属的交界面符合 CVN 试验准则要求。

^b 每个试验位置允许采用的试样数量也可以是 5 个。应弃用最高值和最低值, 以将焊缝和 HAZ 的 CVN 试验的离散度降至最低。

^c 当需要使用小尺寸试样且跨过缺口的宽度小于母材厚度的 80% 时, 应按表 4.15 要求降低试验温度。

^d 试验材料的厚度大于或等于 7/16 in. [11mm] 时应采用全尺寸试样。当试验材料的厚度小于 7/16 in. [11mm], 或者当焊件几何形状不允许获得全尺寸样品时, 则应使用小尺寸试样。

^e 适用于最低规定屈服强度(SMYS) 小于或等于 50 ksi [345 MPa] 的母材间的焊缝。应在合同文件或规范中规定最低规定屈服强度超过 50 ksi [345 MPa] 的材料间的焊缝的验收准则。

^f 当在合同文件或规范中有规定时, 则应记录断口最小纤维率和侧向膨胀值。

表 4.15 CVN 试验温度的降低

(见 4.27.5 和 4.27.7)

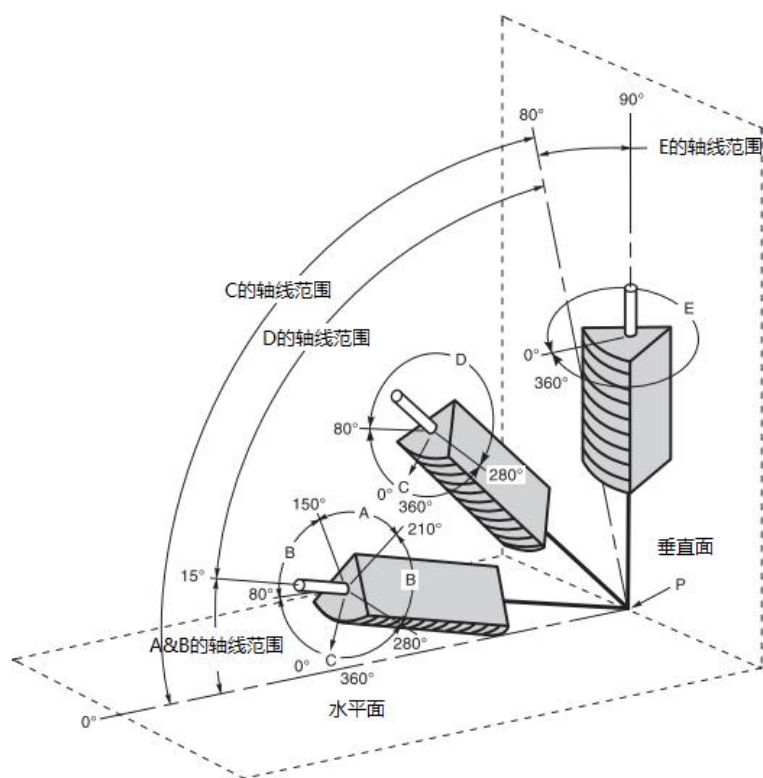
跨过缺口的宽度小于母材厚度 80% 的小尺寸 CVN 试样

试样尺寸, mm	低于规定试验温度的试验温度降低量	
	°F	°C
10 × 10	0	0
10 × 9	0	0
10 × 8	0	0
10 × 7.5	5	3
10 × 7	8	5
10 × 6.7	10	6
10 × 6	15	8
10 × 5	20	11
10 × 4	30	17
10 × 3.3	35	19
10 × 3	40	22
10 × 2.5	50	28

示例：如果设计图纸或规范指明 CVN 试验应在 32° F [0° C] 下进行，并且应使用 10 mm × 5 mm 的小尺寸试样，则实际试验温度应为 12° F [-11° C]。

注：应按 ASTM A370a-97 表 9 要求确定小尺寸试样的最低能量值的降低量。

坡口焊缝位置表			
位置	图中的参考编号	轴线倾角	面旋转角
平焊	A	$0^{\circ}\sim 15^{\circ}$	$150^{\circ}\sim 210^{\circ}$
横焊	B	$0^{\circ}\sim 15^{\circ}$	$80^{\circ}\sim 150^{\circ}$ $210^{\circ}\sim 280^{\circ}$
仰焊	C	$0^{\circ}\sim 80^{\circ}$	$0^{\circ}\sim 80^{\circ}$ $280^{\circ}\sim 360^{\circ}$
立焊	D	$15^{\circ}\sim 80^{\circ}$	$80^{\circ}\sim 280^{\circ}$
	E	$80^{\circ}\sim 90^{\circ}$	$0^{\circ}\sim 360^{\circ}$



注:

1. 水平参考面应始终落在所考虑焊缝的下方。
2. 轴线倾角应为测得的从水平参考面到垂直参考面的角。
3. 应利用垂直于焊缝理论面(该面穿过焊缝轴线)的线来测定面旋转角。面旋转角的参照位置(0°)应始终指向轴线倾角增加的反方向。当在 P 点观察时, 焊缝面旋转角应为从参照位置(0°)开始的顺时针方向测得的角。

图 4.1—坡口焊缝的位置

(见 4.3.4)

角焊缝位置表			
位置	图中的参考编号	轴线倾角	面旋转角
平焊	A	0°~15°	150°~210°
横焊	B	0°~15°	125°~150°
			210°~235°
仰焊	C	0°~80°	0°~125°
			235°~360°
立焊	D	15°~80°	125°~235°
	E	80°~90°	0°~360°

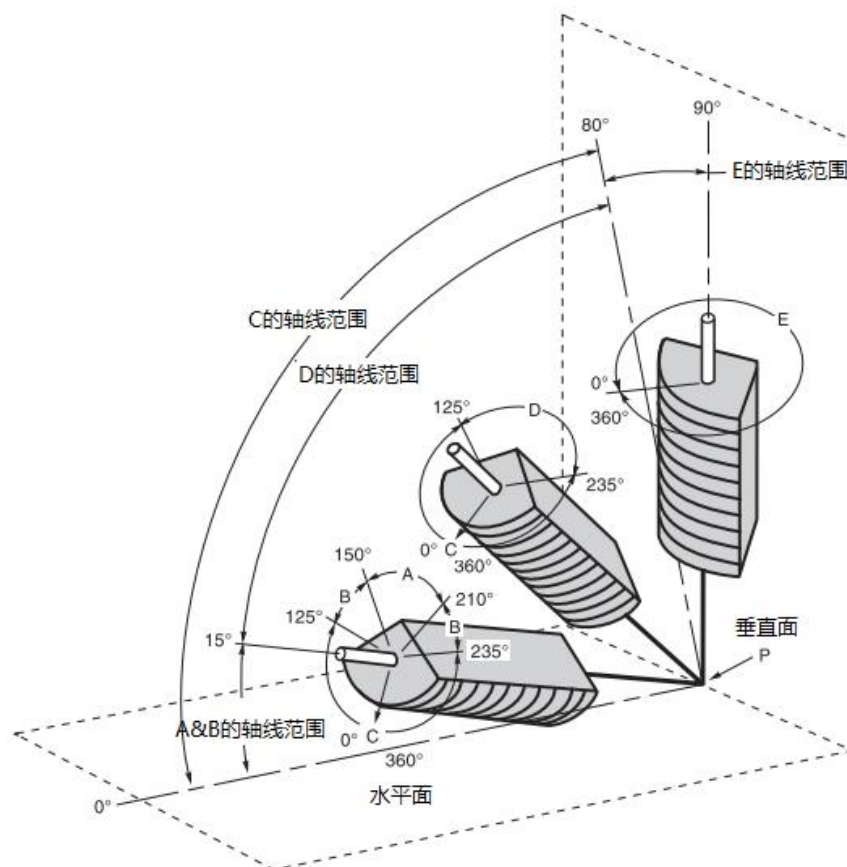


图 4.2—角焊缝的位置

(见 4.3.4)

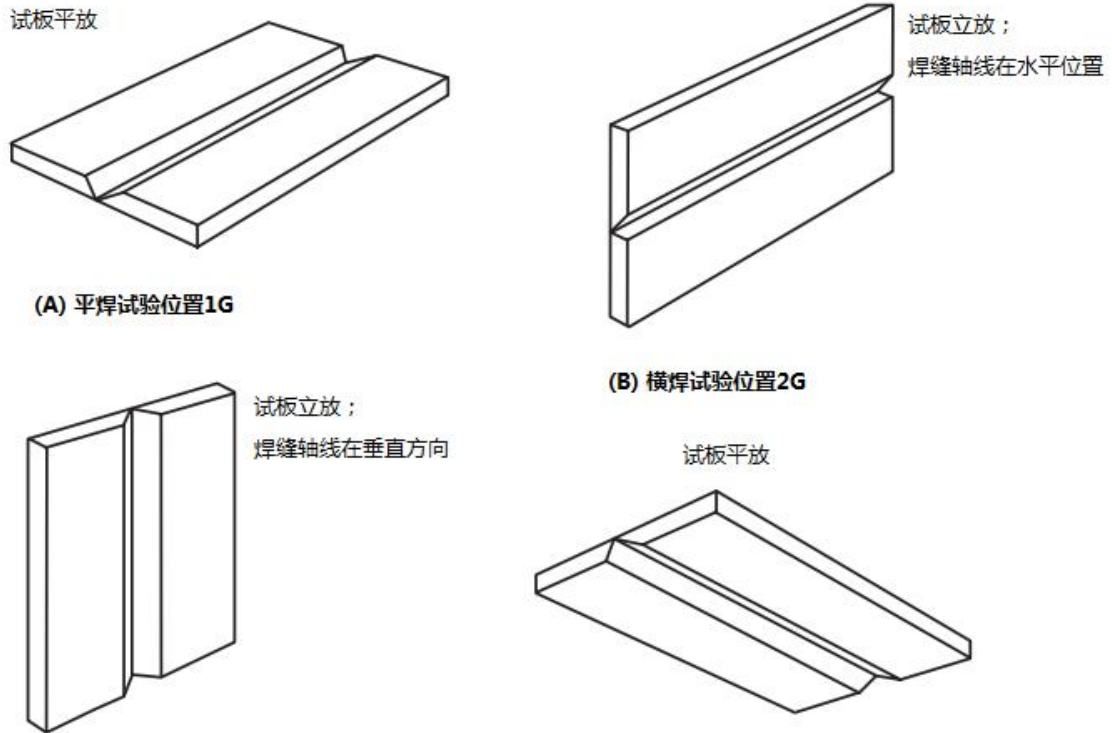


图 4.3—坡口焊缝试验用试板的位置
(见 4.3.4)

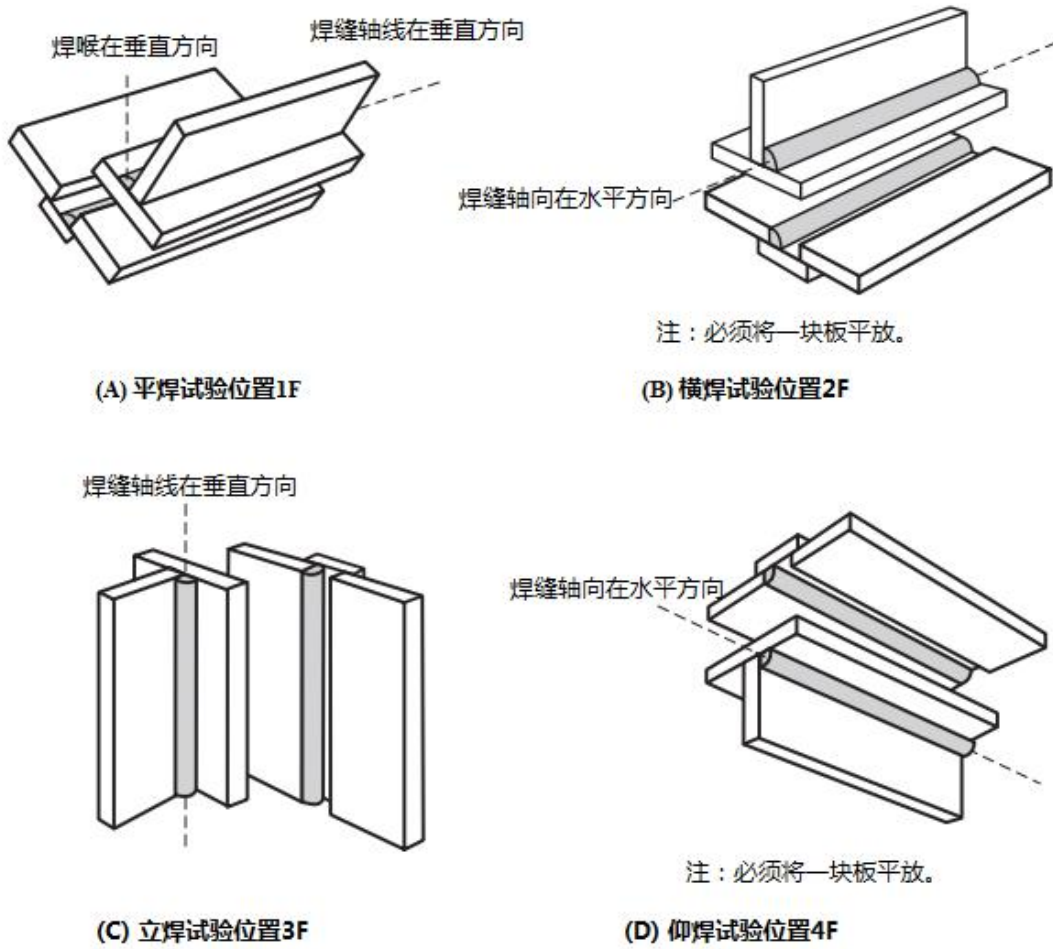
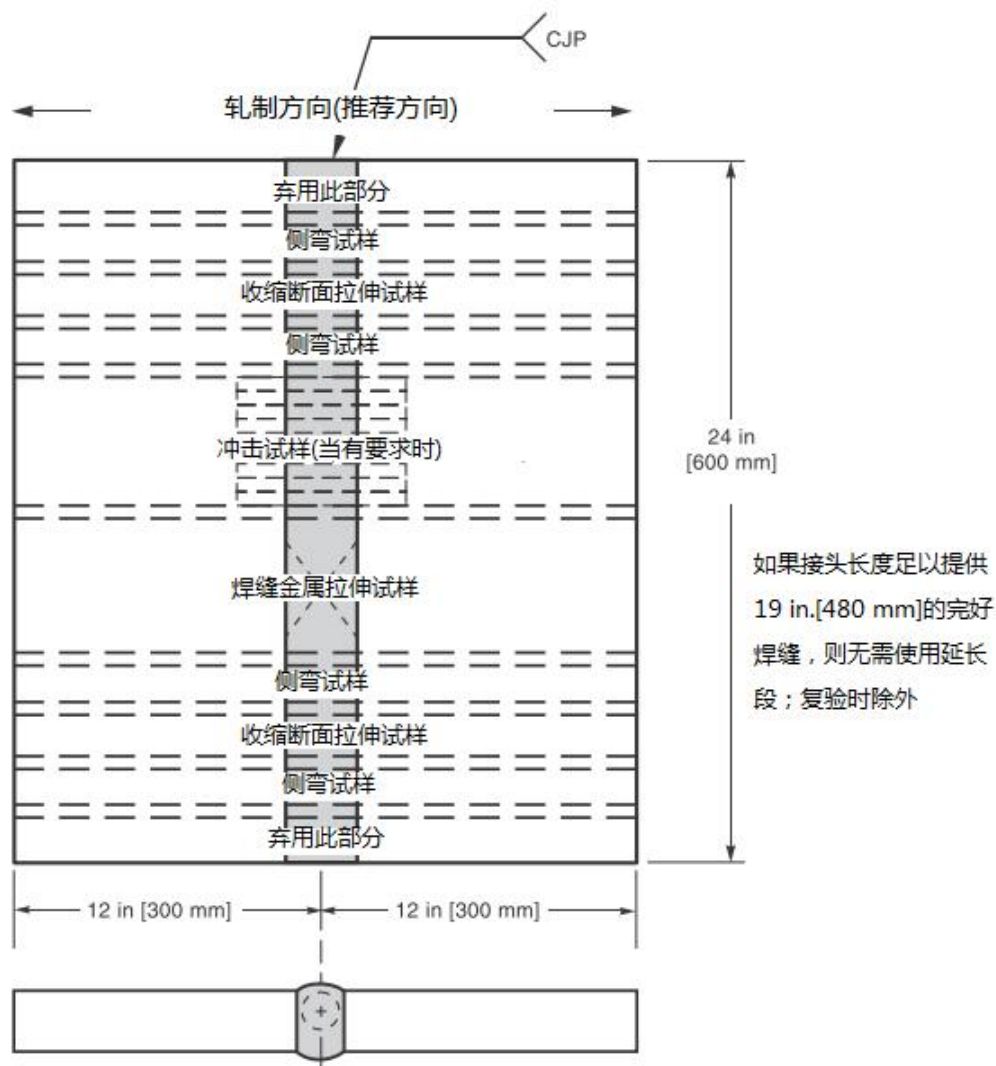


图 4.4—角焊缝用试板的位置

(见 4.3.4)

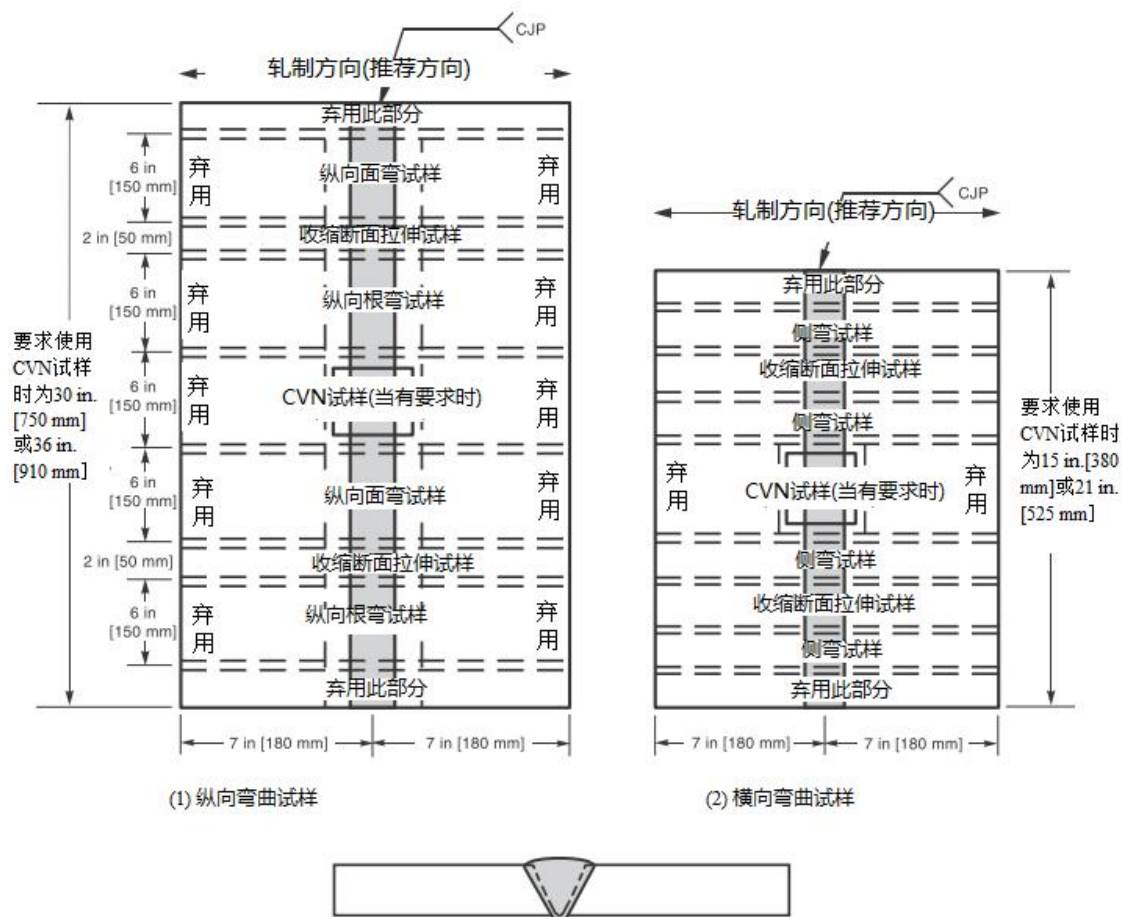


注:

1. 所示坡口形状仅作说明用。试验所用坡口形状应满足待评定坡口形状要求。
2. 当要求使用 CVN 试样时, 见第 4 节 D 部分的要求。
3. 所有尺寸均是最小尺寸。

图 4.5—焊接试板上的试样位置—ESW 和 EGW—WPS 评定

(见 4.9)

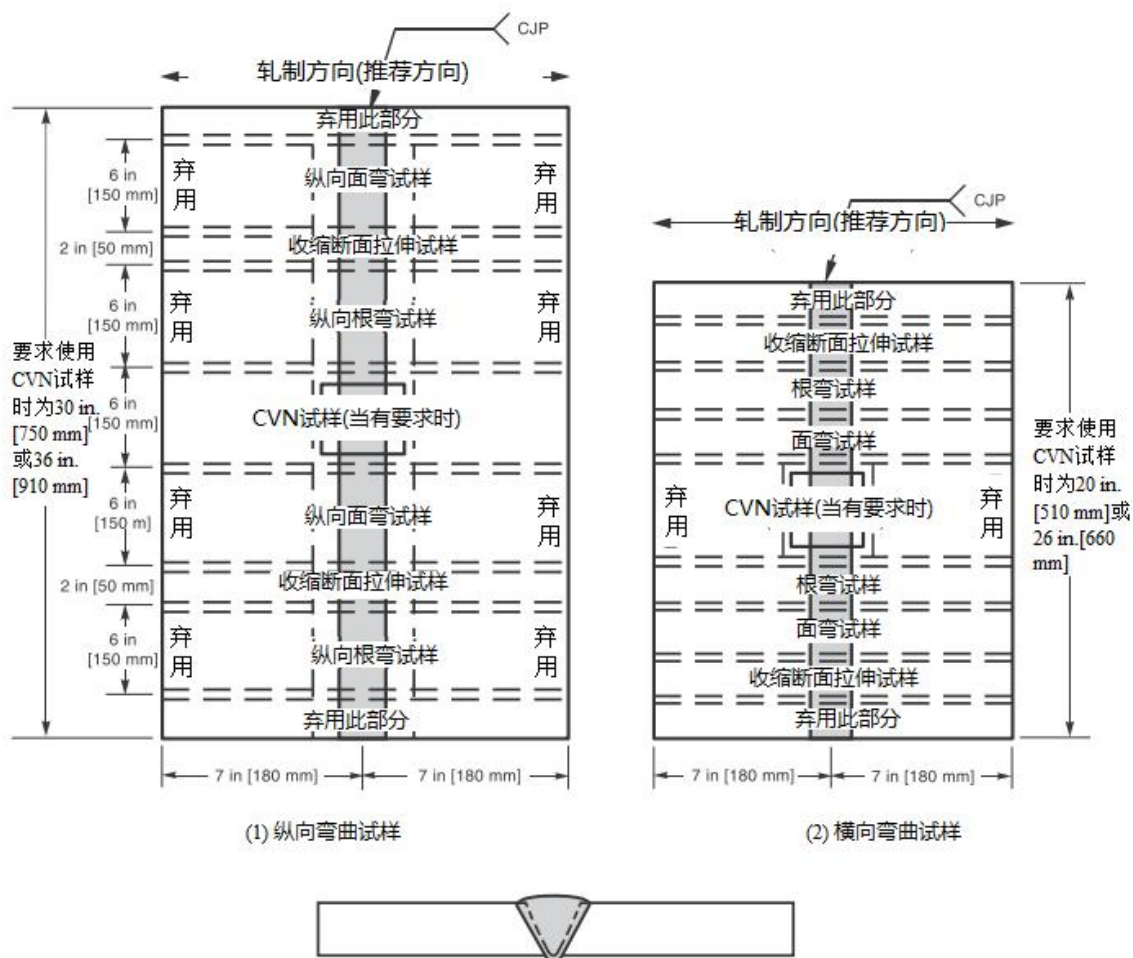


注:

1. 所示坡口形状仅作说明用。试验所用坡口形状应满足待评定坡口形状要求。
2. 当要求使用 CVN 试样时，则应从图 4.28 所示位置制取试样。
3. 所有尺寸均是最小尺寸。

图 4.6—厚度大于 3/8 in.[10 mm]的焊接试板上的试样位置—WPS 评定

(见 4.9)

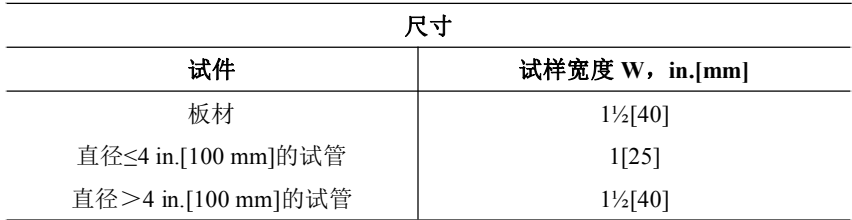


注:

1. 所示坡口形状仅作说明用。试验所用坡口形状应满足待评定坡口形状要求。
2. 当要求使用 CVN 试样时，则应从图 4.28 所示位置制取试样。
3. 所有尺寸均是最小尺寸。
4. 对于厚度为 $3/8$ in. [10 mm] 的板材，可用侧弯试验来代替规定的正面弯曲试验和根部弯曲试验。试板长度和试样位置见图 4.6(2)。

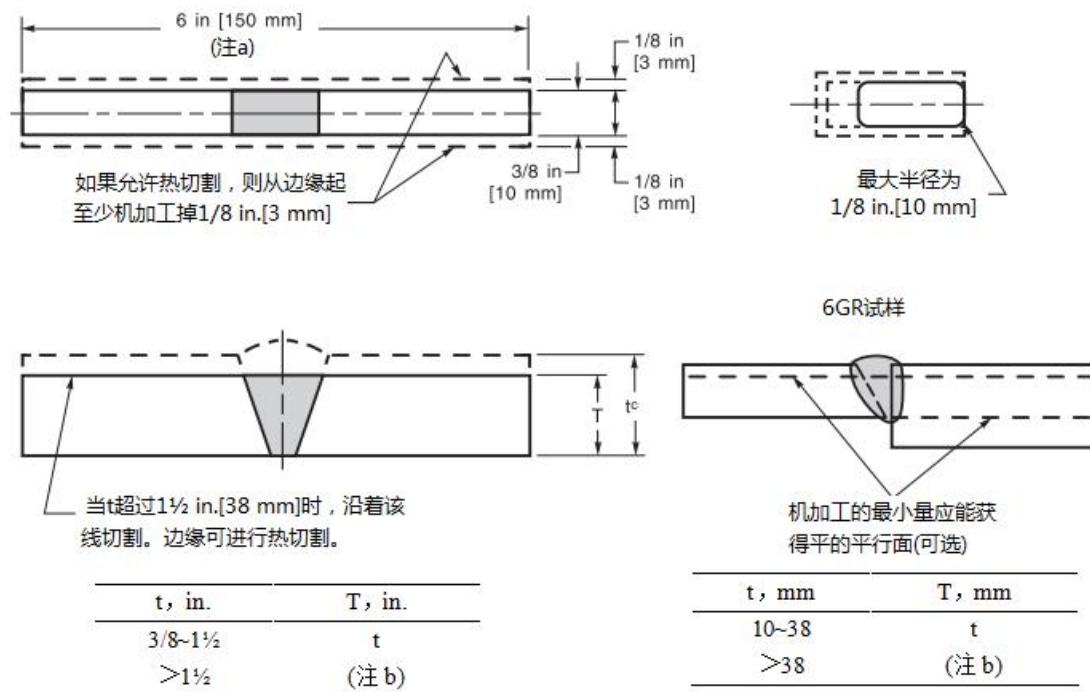
图 4.7—厚度等于及小于 $3/8$ in. [10 mm] 的焊接试板上的试样位置—WPS 评定

(见 4.9)



2. 当试板厚度小于 3/8 in. [10 mm]时, 面弯和根弯试样的厚度均应采用公称厚度。

(见 4.9.3.1)



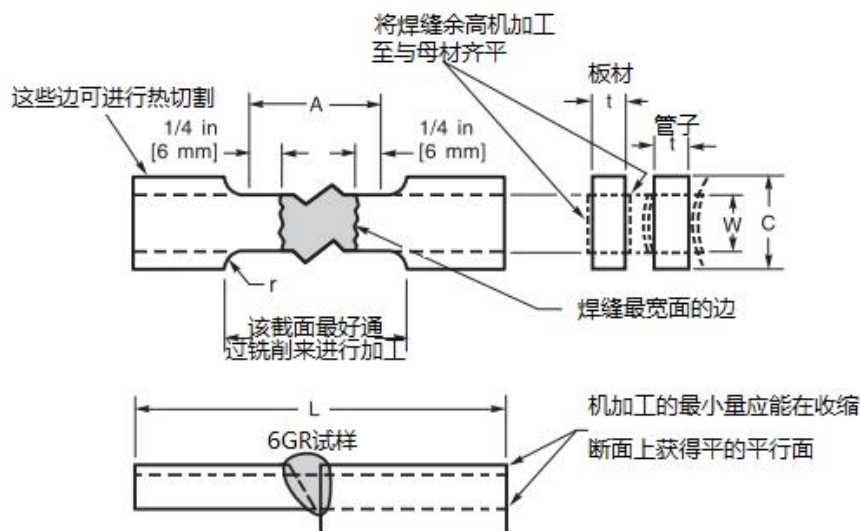
^a 当使用卷绕式弯曲装置或当试验钢材的屈服强度等于或大于 90 ksi [620 MPa]时, 可采用更长的试样长度。

^b 对于厚度超过 1½ in. [38 mm]的板材, 应将试样切割成 T 在 ¾ in. [20 mm]和 1½ in. [38 mm]之间的板条, 并对每根板条作试验。

^c t= 板材或管子的厚度。

图 4.9—侧弯试样

(见 4.9.3.1)



尺寸单位: in.[mm]					
试板公称厚度, Tp			试管		
	Tp≤1 in. [25 mm]	1 in. [25 mm] <Tp<1½ in. [38 mm]	Tp≥1½ in. [38 mm]	直径为 2 in. [50 mm] & 3 in. [75 mm]	直径或规格为 6 in. [150 mm] & 8 in. [200 mm]的较大管件
A—收缩断面的长度	焊缝最宽面尺寸+ 1/2 in. [12 mm], 2¼ in. [60 mm] (最小值)			焊缝最宽面尺寸+ 1/2 in. [12 mm], 2¼ in. [60 mm] (最小值)	
L—总长(最小值) ^a	取决于试样设备要求			取决于试样设备要求	
B—收缩断面的宽度 ^{b,c}	3/4 in. [20 mm](最小值)	3/4 in. [20 mm](最小值)	3/4 in. [20 mm](最小值)	1/2±0.01 (12 ±0.025)	3/4 in. [20 mm] (最小值)
C—夹紧段的宽度 ^{c,d}	W+1/2 in.[12 mm](最小值)	W+1/2 in.[12 mm](最小值)	W+1/2 in.[12 mm](最小值)	W+1/2 in.[12 mm](最小值)	W+1/2 in.[12 mm] (最小值)
t=试样厚度 ^{e,f}	Tp	Tp	Tp/n(注 f)	长度 A 范围内平行面之间的最大宽度	
r=角的半径(最小值)	1/2 in. [12 mm]	1/2 in. [12 mm]	1/2 in. [12 mm]	1 in. [25 mm]	1 in. [25 mm]

^a 如有可能, 夹紧段的长度最好足以使试样伸进夹具中的长度等于夹具长度的三分之二或以上。

^b 收缩端面端部的宽度之差不应超过 0.004 in. [0.102 mm]。此外, 宽度可从端部向中心逐渐减小, 但两端的宽度不应比中心处的宽度大 0.015 in. [0.381 mm]。

^c 如有必要, W 和 C 的宽度可以更窄些。在这种情况下, 收缩断面的宽度应为试验材料允许使用的宽度。如果材料宽度小于 W, 则试样应在全长范围内保持平行。

^d 对于标准板型试样, 试样的端部应与收缩断面的中心线保持对称, 并且偏差应在 1/4 in. [6 mm] 范围内。

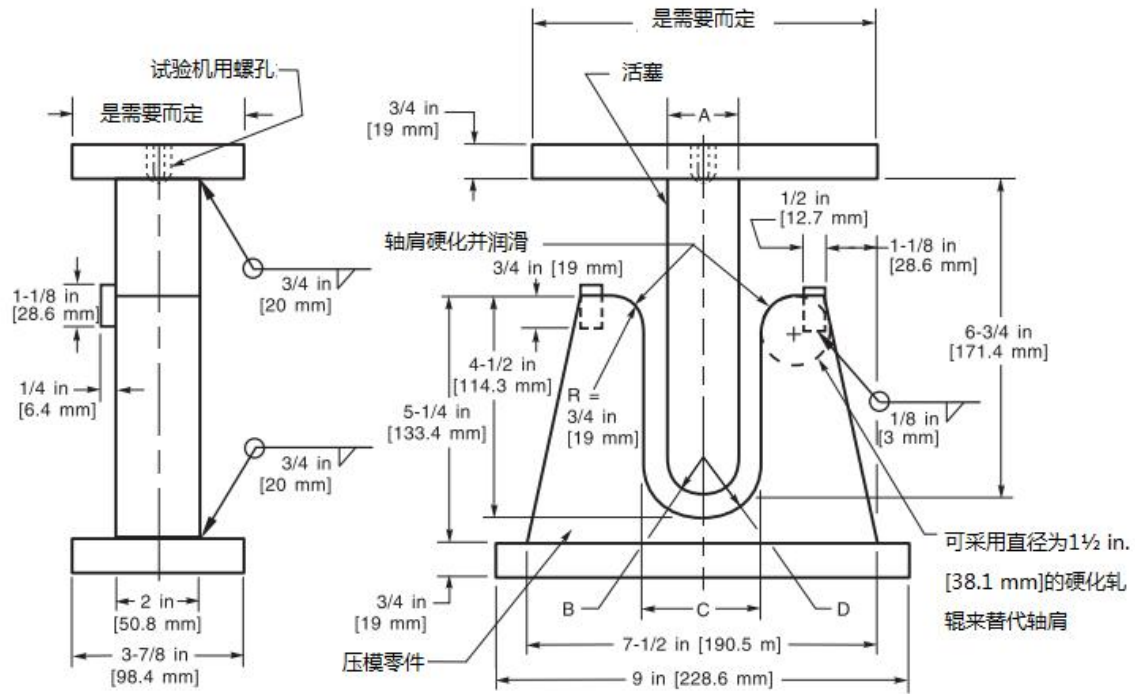
^e 适用材料规范中的尺寸 t 即为试样厚度。最小公称厚度为 1 1/2 in. [38 mm] 的试样的宽度应为 3/16 in. [5 mm], 产品规范中允许使用其他宽度的情况除外。

^f 对于厚度超过 1 1/2 in. [38 mm] 的板材, 应将试样切割成基本相同的板条。每个板条的宽度至少应为 3/4 in. [20 mm]。每个板条的试验结果均应满足最低要求。

注: 由于一些拉伸试验机的能力有限, 故而在获得工程师批准的情况下可采用表 4.9 所列钢材的其他尺寸。

图 4.10—收缩断面拉伸试样

(见 4.9.3.4)

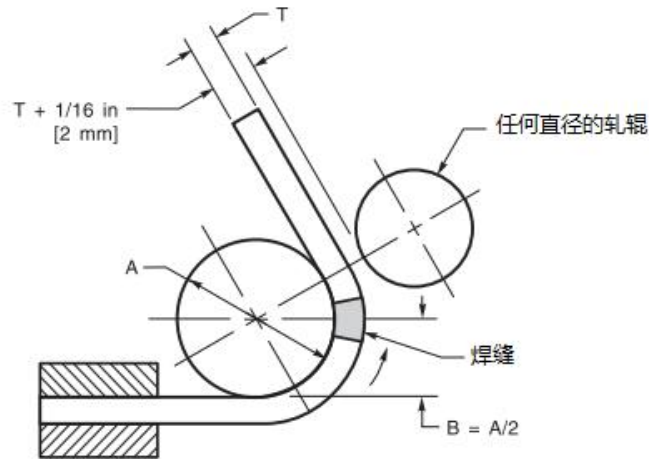


母材的规定或实际屈服强度	A	B	C	D
	in.[mm]	in.[mm]	in.[mm]	in.[mm]
≤50 ksi [345 MPa]	1-1/2 [38.1]	3/4 [19.0]	2-3/8 [60.3]	1-3/16 [30.2]
>50 ksi [345 MPa]~90 ksi [620 MPa]	2 [50.8]	1 [25.4]	2-7/8 [73.0]	1-7/16 [36.6]
>90 ksi [620 MPa]	2-1/2 [63.5]	1-1/4 [31.8]	3-3/8 [85.7]	1-11/16 [42.9]

注：活塞和压模零件的表面应进行机械精加工。

图 4.11—导向弯曲试验装置

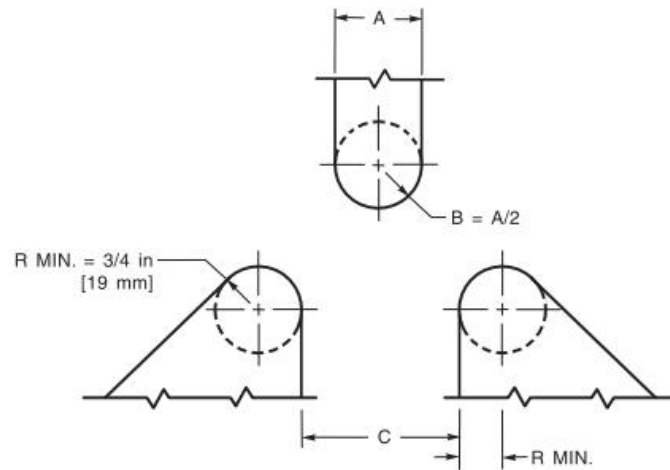
(见 4.9.3.1)



母材的规定或实际屈服强度, ksi [MPa]	A in.	B in.	A mm	B mm
≥50 [345]	1-1/2	3/4	38.1	19.0
>50 [345]~90 [620]	2	1	50.8	25.4
>90 [620]	2-1/2	1-1/4	63.5	31.8

图 4.12—可选用的卷绕式导向弯曲试验装置

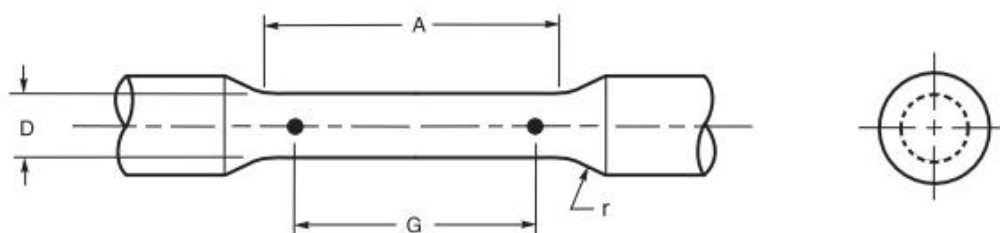
(见 4.9.3.1)



母材的规定或实际屈服强度, ksi [MPa]	A in.	B in.	C in.	A mm	B mm	C mm
≥50 [345]	1-1/2	3/4	2-3/8	38.1	19.0	60.3
>50 [345]~90 [620]	2	1	2-7/8	50.8	25.4	73.0
>90 [620]	2-1/2	1-1/4	3-3/8	63.5	31.8	85.7

图 4.13—可选用的配备有轧辊的导向弯曲试验装置(试样从底部顶出)

(见 4.9.3.1)



尺寸单位: in.

	标准试样	与标准试样成比例的小尺寸试样	
公称直径	0.500 in.(圆形试样)	0.350 in.(圆形试样)	0.250 in.(圆形试样)
G—标距长度	2.000±0.005	1.400±0.005	1.000±0.005
D—直径(注 a)	0.500±0.010	0.350±0.007	0.250±0.005
r—最小圆角半径	3/8	1/4	3/16
A—最小收缩断面长度(注 b)	2-1/4	1-3/4	1-1/4

尺寸(ASTM E8M 的公制尺寸)

	标准试样	与标准试样成比例的小尺寸试样	
公称直径	12.5 mm(圆形试样)	9 mm(圆形试样)	6 mm(圆形试样)
G—标距长度	62.5±0.1	45.0±0.1	30.0±0.1
D—直径(注 a)	12.5±0.2	9.0±0.1	6.0±0.1
r—最小圆角半径	10	8	6
A—最小收缩断面长度(注 b)	75	54	36

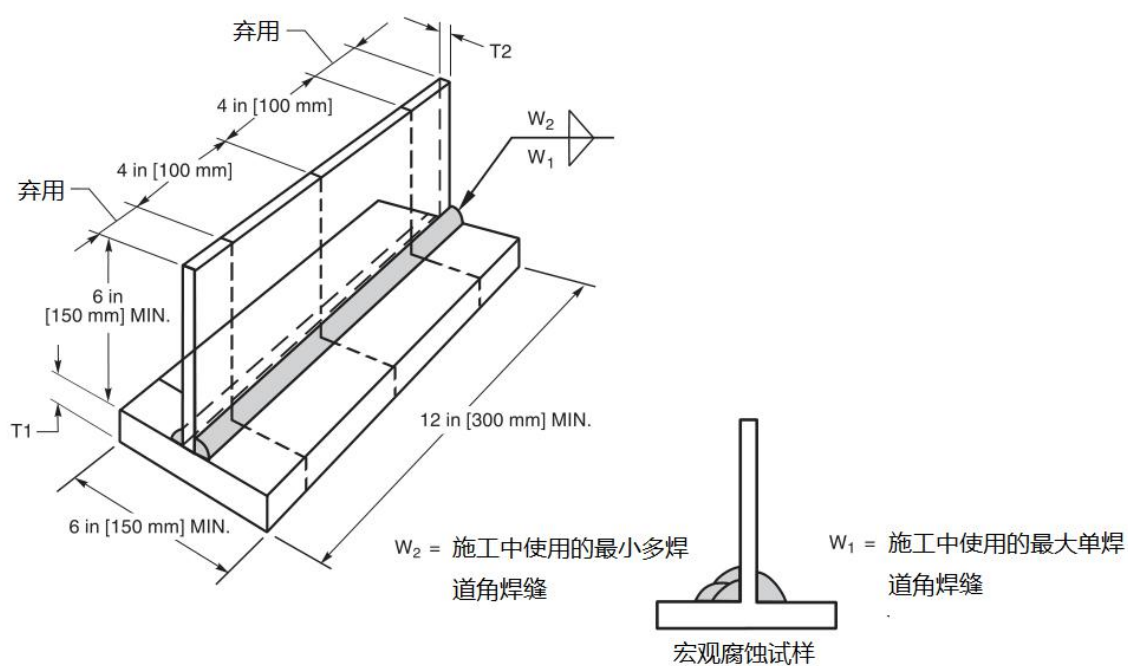
^a 收缩断面可以有一个从两端向中心逐渐变细的斜坡, 并且两端直径与中间部位直径(主尺寸)的差不超过 1%。

^b 如有必要, 可增加收缩断面的长度, 以容纳任何标距长度的伸长仪。测量伸长率用的基准标记仍应按指定的标距长度排列

注: 标距长度和圆角应如上所示, 但两端的形状可为能够以一种确保荷载是轴向荷载的方式容纳试验机夹具的任何形状。如果将端部夹在楔形夹具中, 则夹紧段的长度最好足以使试样伸进夹具中的长度等于夹具长度的三分之二或以上。

图 4.14—全焊缝金属拉伸试样

(见 4.9.3.6)

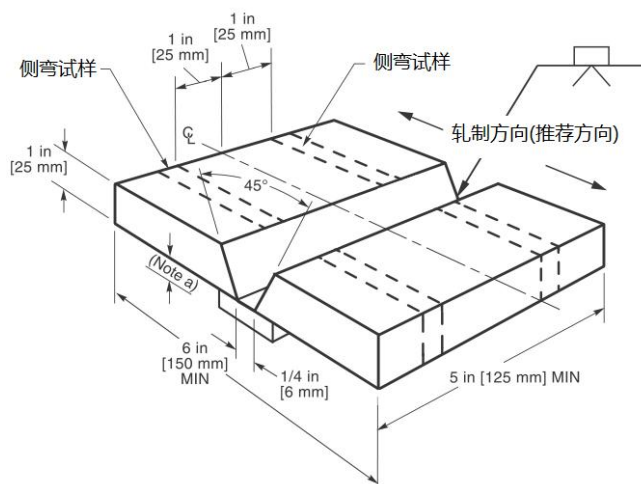


in.			mm		
焊缝尺寸	T1(最小值)	T2(最小值)	焊缝尺寸	T1(最小值)	T2(最小值)
1/8	1/4	3/16	3	6	5
3/16	1/2	3/16	5	12	5
1/4	3/4	1/4	6	20	6
5/16	1	5/16	8	25	8
3/8	1	3/8	10	25	10
1/2	1	1/2	12	25	12
5/8	1	5/8	16	25	16
3/4	1	3/4	20	25	20
> 3/4	1	1	> 20	25	25

注：如果生产中使用的最大板厚小于上面给出的值，则可用生产件的最大厚度代替 T1 和 T2。

图 4.15—WPS 评定角焊缝完好性试验

(见 4.12.2)

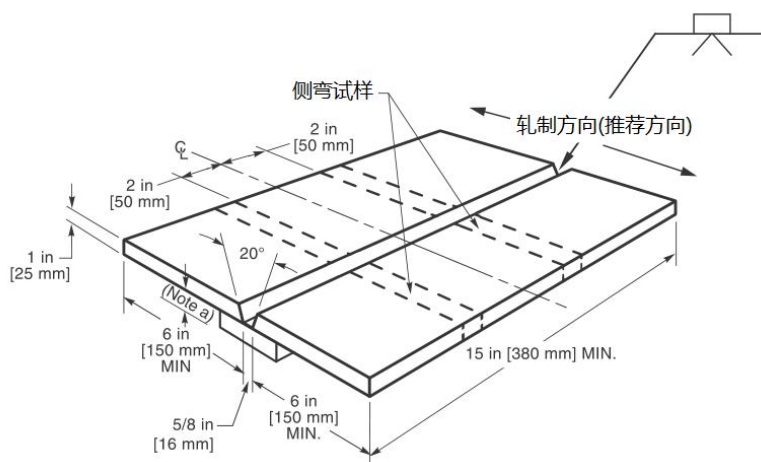


^a 衬垫最小厚度应为 1/4 in. [6 mm]，最大厚度应为 3/8 in. [10 mm]。如果进行 RT 时不移除衬垫，则衬垫宽度最小应为 3 in. [75 mm]，否则最小宽度应为 1 in. [25 mm]。

注：当采用 RT 时，检测区域内不应有定位焊缝。

图 4.16—厚度无限定的试板—焊工评定和角焊缝焊材验证试验

(见 4.12.3.2 和 4.20.1)



^a 衬垫最小厚度应为 3/8 in. [10 mm]，最大厚度应为 1/2 in. [12 mm]。如果进行 RT 时不移除衬垫，则衬垫宽度最小应为 3 in. [75 mm]，否则最小宽度应为 1½ in. [40 mm]。

注：

1. 当采用 RT 时，检测区域内不应有定位焊缝。
2. 可用已经评定合格的 WPS 接头形状来代替本图所示坡口形状。

图 4.17—厚度无限定的试板—焊接操作工评定和角焊缝焊材验证试验

(见 4.12.3.2 和 4.20.2.1)

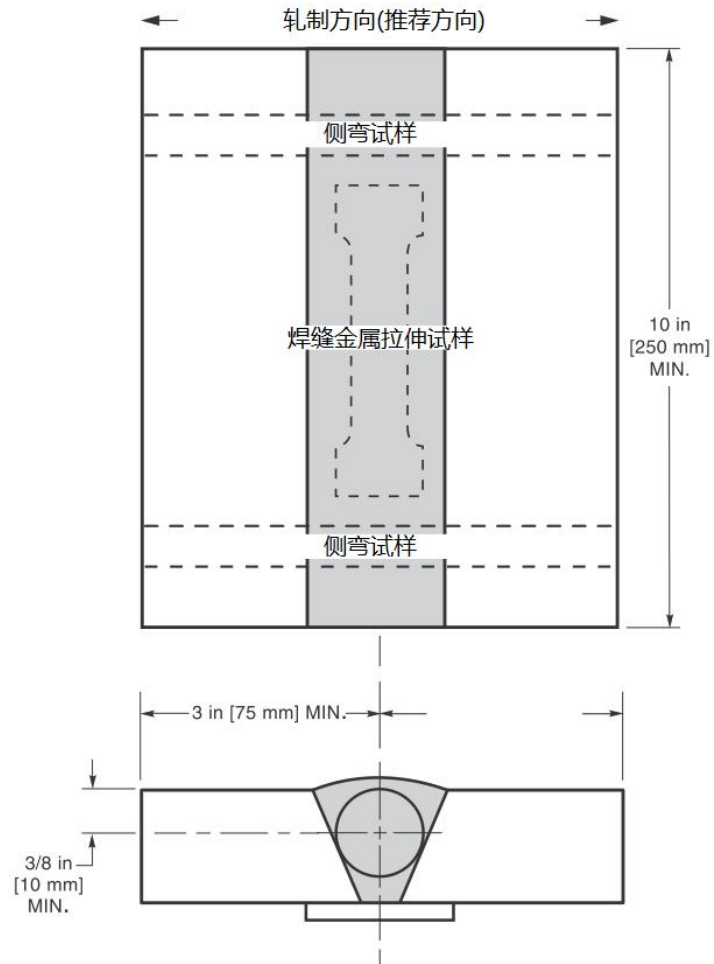
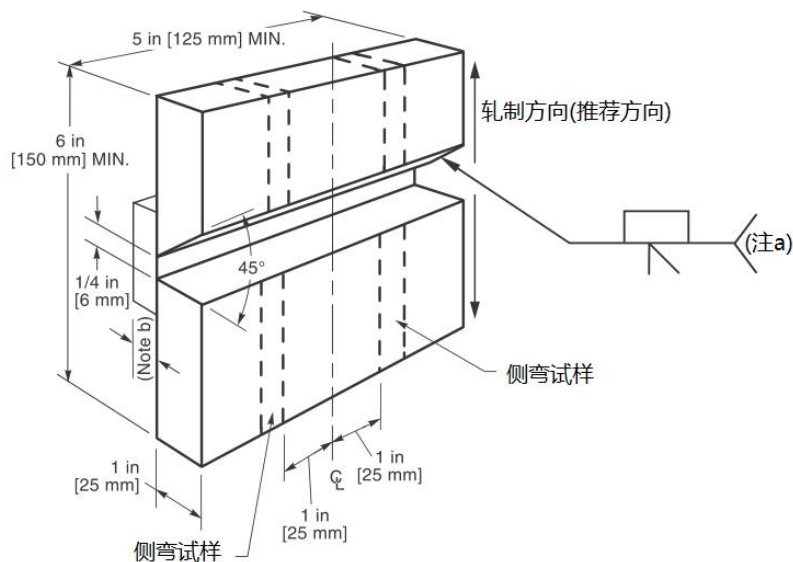


图 4.18—1 in. [25 mm]厚焊接试板上的试样位置—角焊缝 WPS 评定用焊材验证

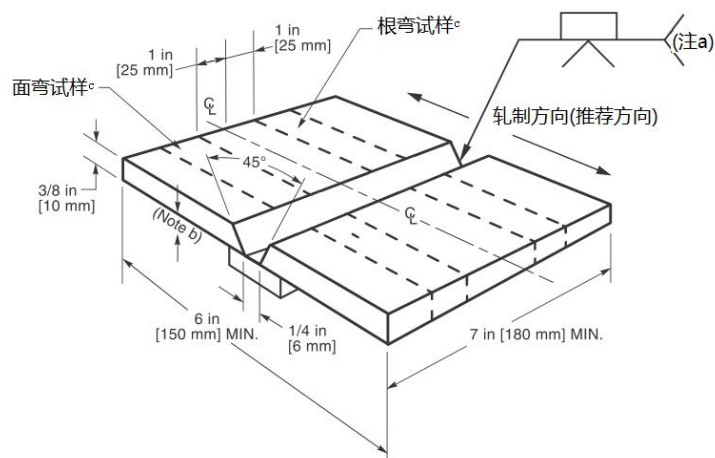
(见 4.12.3)



- ^a 当采用 RT 时，检测区域内不应有定位焊缝。
- ^b 衬垫最小厚度应为 1/4 in. [6 mm]，最大厚度应为 3/8 in. [10 mm]。如果进行 RT 时不移除衬垫，则衬垫宽度最小应为 3 in. [75 mm]，否则最小宽度应为 1 in. [25 mm]。

图 4.19—可选用的厚度无限定试板—平焊—焊工评定

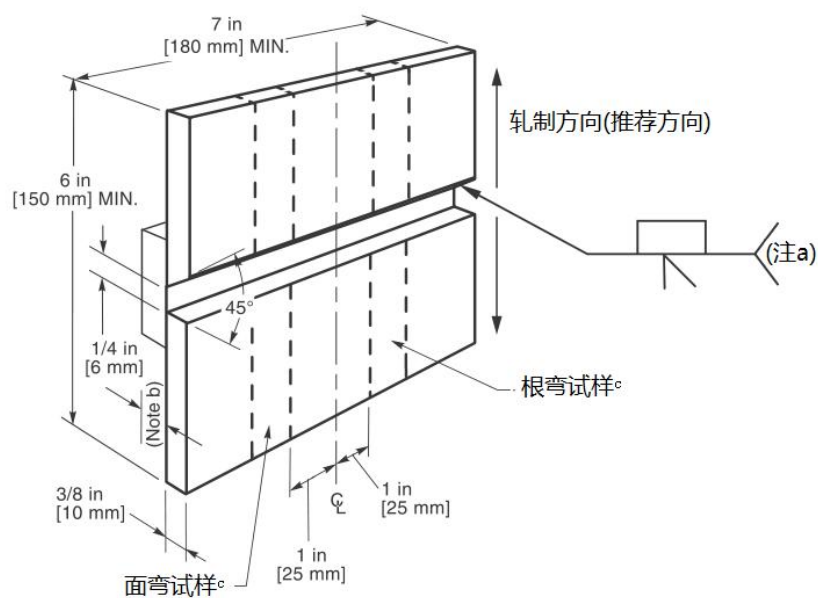
(见 4.20.1)



- ^a 当采用 RT 时，检测区域内不应有定位焊缝。
- ^b 衬垫最小厚度应为 1/4 in. [6 mm]，最大厚度应为 3/8 in. [10 mm]。如果进行 RT 时不移除衬垫，则衬垫宽度最小应为 3 in. [75 mm]，否则最小宽度应为 1 in. [25 mm]。
- ^c 对于厚度为 3/8 in. [10 mm] 的板材，可用侧弯试验来代替规定的正面弯曲试验和根部弯曲试验。

图 4.20—厚度有限的试板—所有位置—焊工评定

(见 4.20.1)



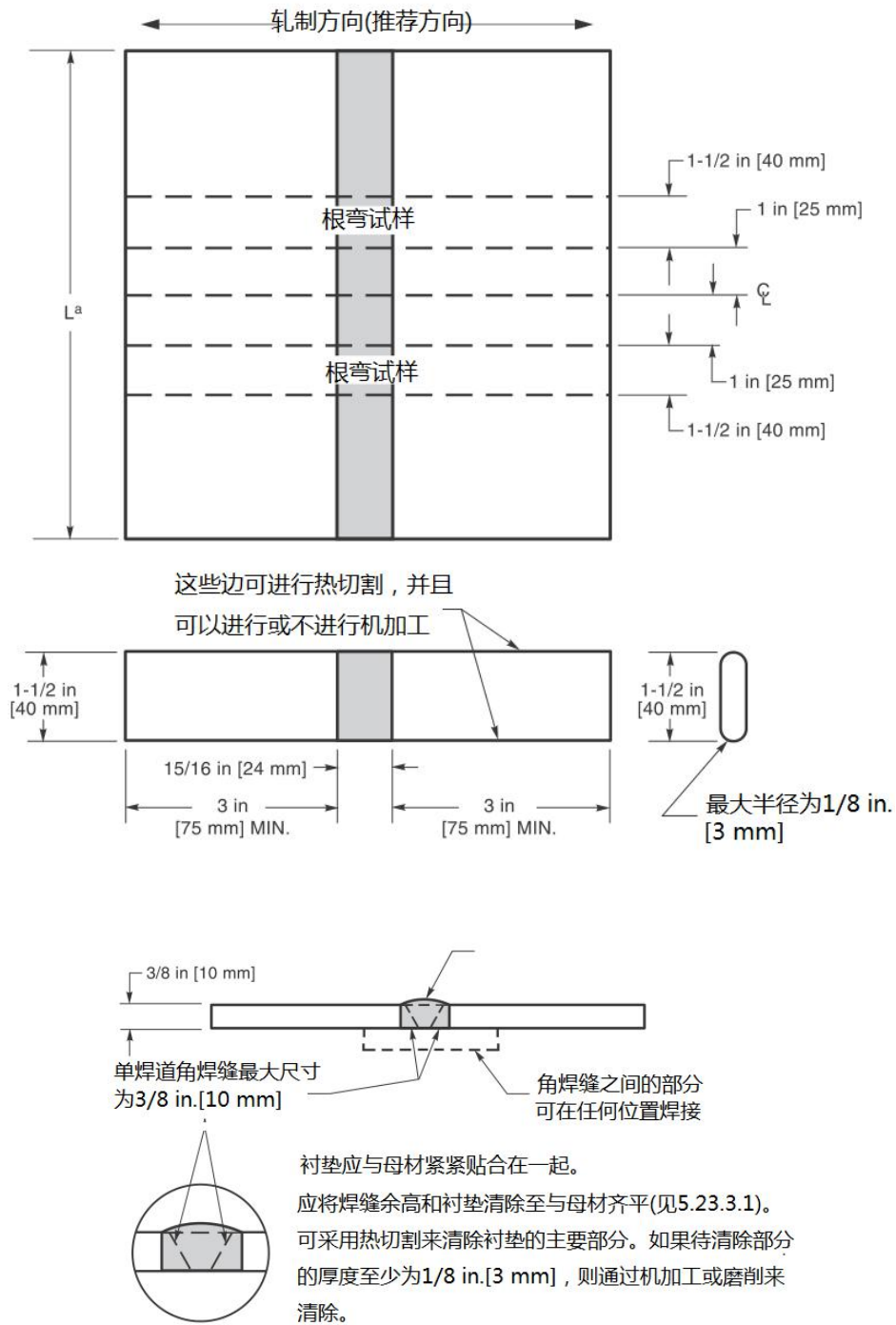
^a 当采用 RT 时，检测区域内不应有定位焊缝。

^b 衬垫最小厚度应为 1/4 in. [6 mm]，最大厚度应为 3/8 in. [10 mm]。如果进行 RT 时不移除衬垫，则衬垫宽度最小应为 3 in. [75 mm]，否则最小宽度应为 1 in. [25 mm]。

^c 对于厚度为 3/8 in. [10 mm] 的板材，可用侧弯试验来代替规定的正面弯曲试验和根部弯曲试验。

图 4.21—可选用的厚度有限的试板—平焊—焊工评定

(见 4.20.1)



^a L = 7 in. [175 mm](最小值)(焊工), L = 15 in. [380 mm](最小值)(焊接操作工)。

图 4.22—角焊缝根部弯曲试板—焊工或焊接操作工评定—方案 2

(见 4.21.2 和表 4.11 或者 9.21 和表 9.14)

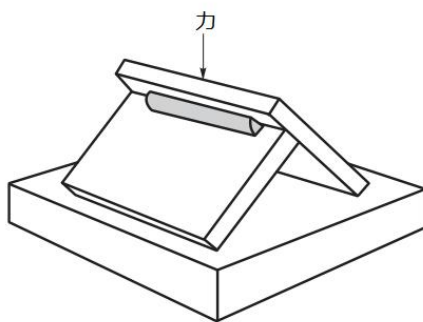
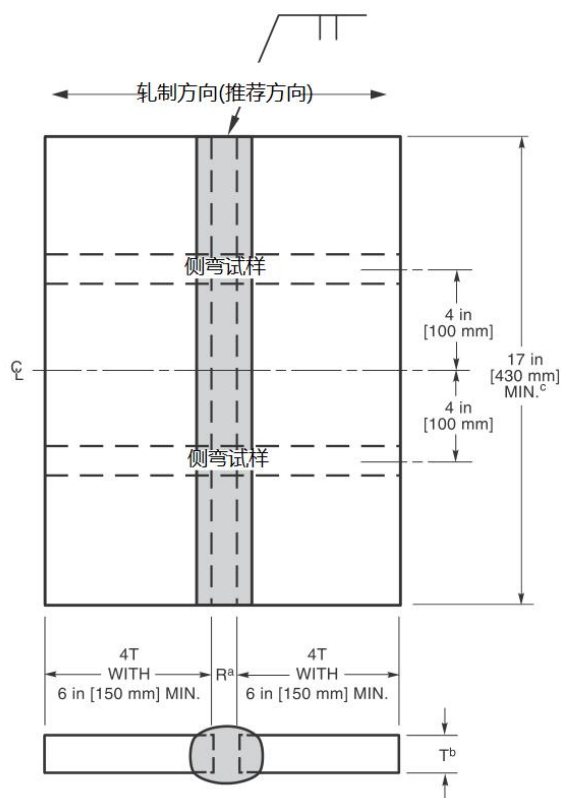


图 4.23—试样断裂方法—定位焊工评定

(见 4.23)



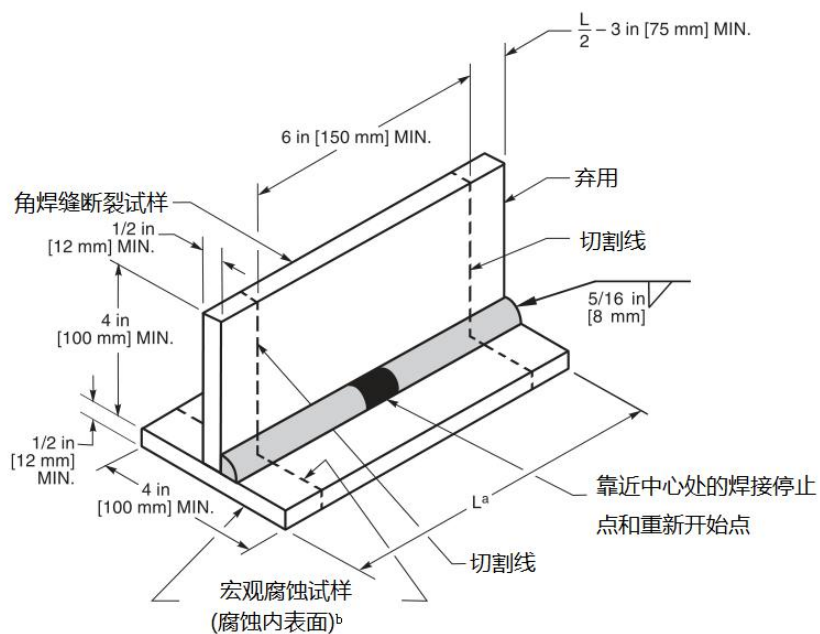
^a 利用 WPS 来确定根部间隙“R”。

^b T=施工中所焊接的最大焊缝，但无需超过 1½ in. [38 mm]。

^c 如果接头长度足以提供 17 in. [430 mm]的完好焊缝，则无需使用延长段。

图 4.24—焊接操作工评定用对接接头—ESW 和 EGW

(见 4.20.2.2)

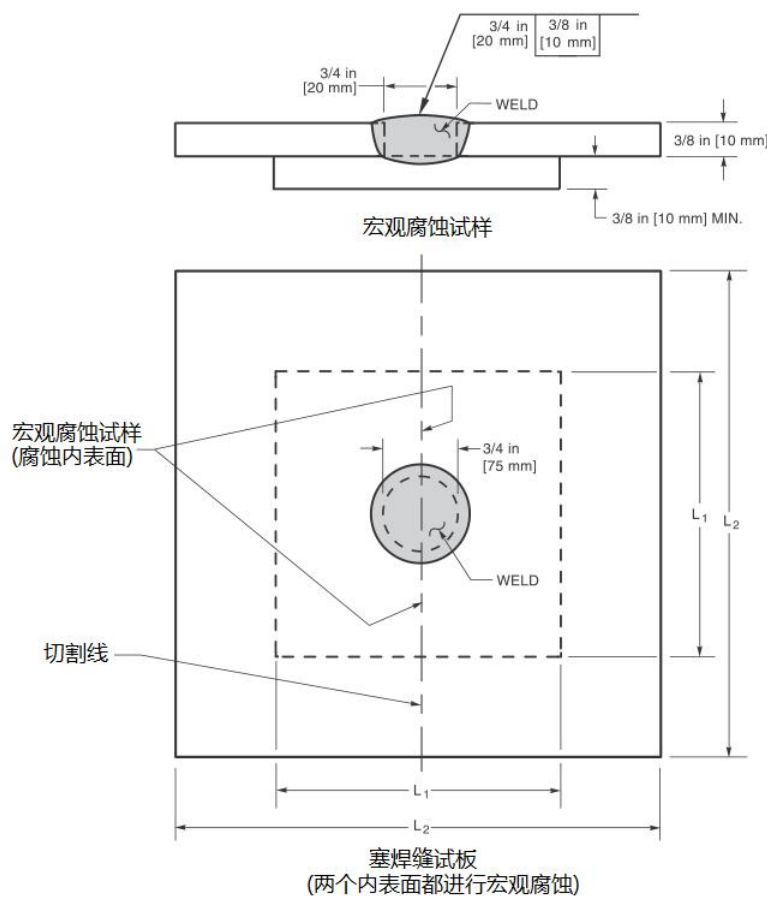


^a $L = 8 \text{ in. [200 mm]}$ (最小值)(焊工), $L = 15 \text{ in. [380 mm]}$ (最小值)(焊接操作工)。

^b 两端中有一段可被用作所需的宏观腐蚀试样, 另一端则可弃用。

图 4.25—角焊缝断裂和宏观腐蚀试验用试板—焊工或焊接操作工评定—方案 1

(见 4.21.2 和表 4.11 或者 9.21 和表 9.14)



注:

1. $L_1 = 2 \text{ in. [50 mm]}$ (最小值)(焊工), 3 in. [75 mm] (最小值)(焊接操作工)。
2. $L_2 = 3 \text{ in. [75 mm]}$ (最小值)(焊工), 5 in. [125 mm] (最小值)(焊接操作工)。

图 4.26—塞焊缝宏观腐蚀用试板—焊工或焊接操作工评定
(见 4.13 和 WPS 评定(见 4.21.3))

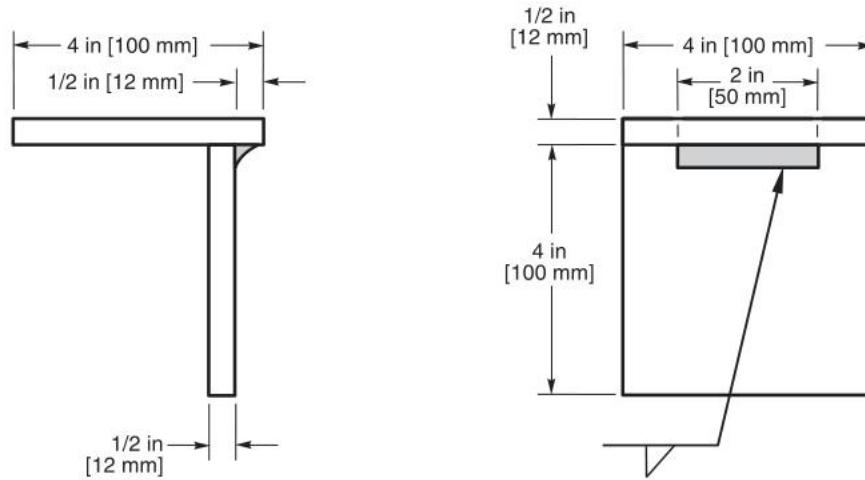


图 4.27—角焊缝断裂试样—定位焊工评定

(见 4.16.2)

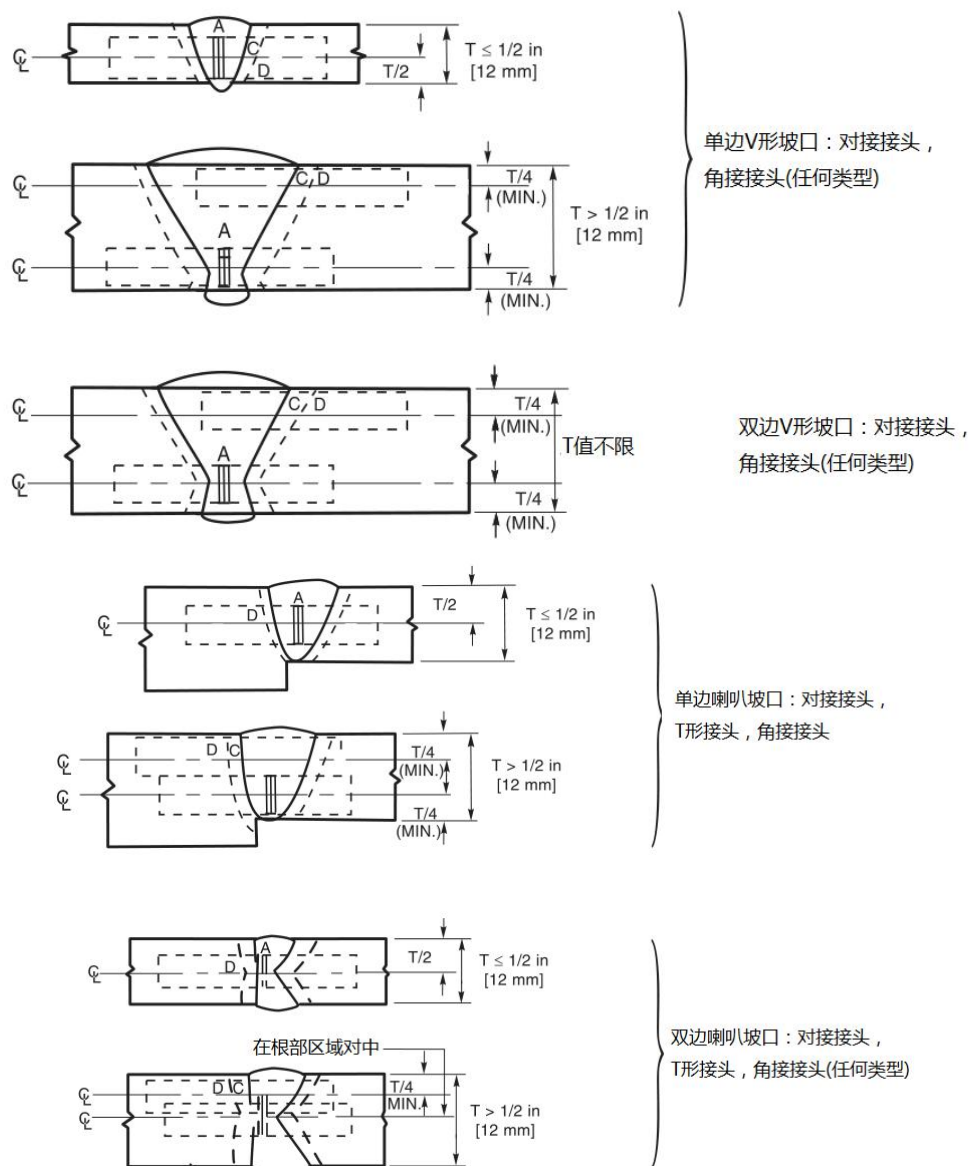


图 4.28—CVN 试样的位置

(见 4.26.1)

5. 制作

5.1 范围

根据本规范所认可的任何工艺生产的焊件及结构的制作和安装应遵守本节的所有适用条款(见 3.2 和 4.14)。

5.2 母材

5.2.1 规定的母材。 合同文件中应指定所用母材的规格和等级。当结构中涉及到焊接时，无论在何种情况下都宜尽可能采用表 3.1 或表 4.9 列出的已批准母材。

5.2.2 引弧板、衬垫和垫块的母材

5.2.2.1 引弧板。 焊接所用引弧板应符合下述要求：

(1) 当与表 3.1 或表 4.9 列出的已批准母材一起使用时，引弧板可为表 3.1 或表 4.9 所列的任何一种钢材。

(2) 当与按 4.8.3 要求评定的钢材一起使用时，引弧板可为：

(a) 已评定过的钢材；或者

(b) 表 3.1 或表 4.9 所列的任何一种钢材。

5.2.2.2 衬垫和承托条。 作为衬垫和承托条使用的钢材应满足 5.2.2.1 或 ASTM A109 T3 和 T4 要求，但最低屈服强度为 100 ksi [690 MPa] 钢材仅应与最低屈服强度为 100 ksi [690 MPa] 的钢材一起使用。

5.2.2.3 垫块。 垫块的材质应与母材的相同。

5.3 焊接材料和焊条要求

5.3.1 概述

5.3.1.1 焊条或焊丝-焊剂组合的证书。 当工程师有要求时，承包商或制造商应提供证书，以证实焊条或焊丝-焊剂组合符合分类要求。

5.3.1.2 分类的适合性。 焊条的分类和直径、电弧长度、电压以及电流均应与材料厚度、坡口类型、焊接位置和作业期间出现的其他情况相匹配。焊接电流应在焊条制造商推荐的范围内。

5.3.1.3 保护气体。 保护用的气体或气体混合物应符合 AWS A5.32 《焊接保护气体技术条件》要求。当工程师有要求时，承包商或制造商应提供气体制造商的证明书，以证实该气体或气体混合物符合 AWS A5.32 中的露点要求。当在焊接现场混合气体时，则应采用合适仪器按比例来混

合气体。各种气体的百分比含量应满足 WPS 要求。

5.3.1.4 贮存。从原包装中取出的焊接材料的保护和贮存方式应确保其焊接性能不受影响。

5.3.1.5 状态。焊条应保持干燥并处于合适的待用状态。

5.3.2 SMAW 焊条。SMAW 焊条应符合最新版 AWS A5.1/5.1M《药皮焊条电弧焊用碳钢焊条规范》或 AWS A5.5/5.5M《药皮焊条电弧焊用低合金钢焊条规范》的要求。

5.3.2.1 低氢焊条的贮存条件。采购的所有符合 AWS A5.1 和 AWS A5.5 要求的低氢型药皮焊条均应放在密封包装中，或者在使用前用户应按 5.3.2.4 要求烘焙。在打开密封包装之后，应将不马上使用的焊条贮存在温度不低于 250°F [120°C] 的烘箱中。焊条仅应烘焙一次。不应使用已经受潮的焊条。

5.3.2.2 认可的大气暴露时间。在打开密封容器后，或者从正在烘焙的烘箱或保温烘箱中取出后，焊条暴露在大气中的时间不应超过表 5.1 的 A 列给出的具体焊条分类和可选性补充代号(如适用)的值。可将在大气中的暴露时间少于表 5.1 的 A 列所示时间的焊条放回温度不低于 250°F [120°C]；在该温度下贮存至少 4 h 后焊条可重新使用。

5.3.2.3 通过试验确立的备选大气暴露时间。如果通过试验确立了最大许用时间，则可采用表 5.1 的 B 列给出的备选大气暴露时间。应按 AWS A5.5 要求对每个焊条分类和每个焊条制造商提供的焊条进行试验。此类试验应证实未超过 AWS A5.5 规定的最大含水量值。另外，应将 E70XX 或 E70XX-X(AWS A5.1 或 A5.5)低氢型药皮焊条的最大含水量(按重量计)限定为 0.4 %。如果相对湿度-温度组合条件超过了试验期间空气的相对湿度或含水量要求，则不应再使用这些焊条。

这一小节正确应用要求见附录 F 的温度-湿度含量表及示例。应采用附录 F 所示温度-湿度含量表或任何标准空气性质图来确定温度-相对湿度限值。

5.3.2.4 焊条烘焙。在大气中的暴露时间超过表 5.1 容许值的焊条应按下列要求进行烘焙：

- (1) 所有符合 AWS A5.1 的低氢型药皮焊条均应在 500°F ~ 800°F [260°C ~ 430°C] 下烘焙至少 2 h；或者
- (2) 所有符合 AWS A5.5 的低氢型药皮焊条均应在 700°F ~ 800°F [370°C ~ 430°C] 下烘焙至少 2 h。

所有焊条均应置于温度不超过最终烘焙温度一半且至少一个半小时之后才能升温到最终烘焙温度的合适烘箱中。最终烘焙时间应从烘箱达到最终烘焙温度后开始算起。

5.3.2.5 ASTM A514 或 A517 钢所用低氢焊条的限制。当用于焊接 ASTM A514 或 A517 钢时，低氢焊条应满足下列适用要求：

(1) 当采用 E90XX-X 或抗拉强度更高的焊条焊接时，如果焊条装在密封容器内，则可在不烘焙的情况下使用焊条。

(2) 当采用 E90XX-X 或抗拉强度更高但未装在密封容器内的焊条焊接，或者采用 E80XX-X 或抗拉强度更低但装在密封容器内的焊条焊接时，待用焊条应在 700°F~800°F [370°C~430°C] 的条件下烘焙至少 1 h，(c) 给出的情况除外。

(3) 当采用 E7018M 焊条焊接，或者采用含有可选 H4R 代号的焊条焊接时，可在不烘焙的情况下使用焊条。

5.3.3 SAW 焊条和焊剂。可采用一根或多根单焊条、一对或多对并联焊丝或单焊条与并联焊丝组合来进行 SAW。电弧之间的间隔应使前导电弧产生的覆盖于焊缝金属上的熔渣不会冷却到足以妨碍后续焊条顺利熔敷的程度。多焊条 SAW 可用于焊接任何坡口焊缝或角焊缝焊道。

5.3.3.1 焊丝-焊剂组合要求。用于不同钢材 SAW 的裸焊条和焊剂的组合应符合最新版 AWS A5.17《埋弧焊用碳钢焊条和焊剂规范》或最新版 AWS A5.23《埋弧焊用低合金钢焊条和焊剂规范》要求。

5.3.3.2 焊剂的状态。SAW 所用焊剂应干燥且未受污物、轧制氧化皮或其他外来物的污染。所有采购的焊剂均应有包装，以确保在正常条件下至少可以贮存 6 个月而不会因贮存不当影响其焊接特性或焊缝性能。包装损坏的焊剂应予以弃用，或者使用前应在不低于 500°F [260°C] 的温度下烘焙至少 1 h。打开包装后的焊剂应立即放入发放系统。如果使用已打开包装的焊剂，则应丢弃顶层 1 in. 厚的焊剂。不应使用已受潮的焊剂。

5.3.3.3 焊剂的回收。焊接过程中未熔化的埋弧焊焊剂可用真空装置、收集盘或者通过扫集或其他方法回收再使用。焊接制造商应拥有收集未熔化焊剂、添加新焊剂及利用这两种焊剂混合物进行焊接的系统，以使焊接熔池处的焊剂成分和颗粒度大小的分布保持相对稳定。

5.3.3.4 破碎焊渣。如果有原来的标记并且使用破碎厂商的名称和商标，则可以使用破碎的焊渣。另外，按照 AWS A5.01《填充金属采办指南》的规定，每一批干燥的焊剂或混合物均应根据 AWS A5.01 的方案 I 进行试验，并由承包商或破碎厂商按照 AWS A5.17 或 A5.23 进行分类。

5.3.4 GMAW/FCAW 焊条。GMAW 或 FCAW 用焊条应符合下列要求：

- (1) AWS A5.18/A5.18M 《气体保护焊用碳钢焊条和焊条规范》；
- (2) AWS A5.20/A5.20M 《药芯焊丝电弧焊用碳钢焊条规范》；
- (3) AWS A5.28/A5.28M 《气体保护焊用低合金钢焊条和焊条规范》；
- (4) AWS A5.29/A5.29M 《药芯焊丝电弧焊用低合金钢焊条规范》； 或
- (5) AWS A5.36/A5.36M 《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》。

5.3.5 GTAW

5.3.5.1 钨焊条。焊接电流应与焊条直径及型号或分类相匹配。钨焊条应符合 AWS A5.12 《电弧焊接和切割用钨和钨合金焊条规范》的要求。

5.3.5.2 填充金属。填充金属应符合最新版 AWS A5.18 或 AWS 5.28 和 AWS A5.30 《熔化填充丝规范》中的所有适用要求。

5.4 ESW 和 EGW 工艺

5.4.1 工艺限制。除了不允许使用 ASTM A710 的 ESW 和 EGW 之外，仅应在表 3.1 的 I 组、II 组和 III 组钢材中使用 ESW 和 EGW 工艺。

5.4.2 焊条和导管的状态。焊条与熔嘴导管应保持干燥、清洁且处于适合使用的状态。

5.4.3 焊剂状态。ESW 所用焊剂应干燥且未受污物、轧制氧化皮或其他外来物的污染。所有采购的焊剂均应有包装，以确保在正常条件下至少可以贮存 6 个月而不会因贮存不当影响其焊接特性或焊缝性能。包装在运输或搬运期间损坏的焊剂应予以弃用，或者使用前应在不低于 250°F [120°C] 的温度下烘焙至少 1 h。应使用已受潮的焊剂。

5.4.4 焊接开始与停止。为使焊缝金属与接头坡口面完全熔合，焊接应在累积了足够热量的状态下方能开始。在焊接接头内任一点停焊的时间足以使焊渣或熔池开始凝固的焊缝可以重新进行焊接，直至将其焊完，但应对每侧至少 6 in. [150 mm] 范围内的焊缝进行 UT(接头几何形状不允许进行 UT 的地方除外)，还应通过 RT 予以确认。应记录所有此类重新开始焊接的位置并报告给工程师。

5.4.5 预热。由于这些焊接工艺具备热输入大的特征，因此通常不需要预热。但如果焊接点的母材温度低于 32°F [0°C]，则不应进行焊接。

5.4.6 修补。焊缝若有第 6 节的 C 部分或者第 9 节的 F 部分不允许出现的不连续，则应按 5.26

要求采用评定过的焊接工艺进行修补，或者应将整个焊缝全部除去并重焊。

5.4.7 耐候钢要求。对于暴露在大气中的、裸露的、未喷漆的且要求焊缝金属具有类似于母材的抗大气腐蚀性能和颜色的耐候钢，ESW 和 EGW 所用焊丝-焊剂组合应满足表 4.14.1.3(2)要求，并且填充金属的化学成分应满足表 3.4 要求

5.5 WPS 参数

焊接参数应与书面 WPS 保持一致(示例见附录 M 的表 M-1)。每条焊道均应与相邻母材完全熔合，并且焊趾处没有凹陷或过度的咬边。应避免最初的焊道出现过分凹陷，以防止接头根部在受到约束的情况下开裂。应告知所有焊工、焊接操作工和定位焊工如何正确使用 WPS 及在焊接期间应遵守 WPS 中的要求，还应向他们提供合适的 WPS。

5.6 预热温度和道间温度

预热温度和道间温度应足以防止产生开裂。如有规定，则母材应预热至不低于 WPS 中所列的最低温度(免评定 WPS 的限制见 3.6，已评定 WPS 基本参数的限制见表 4.5)。

焊接期间，应在从所有方向到焊接点的距离至少等于最厚焊件厚度(但不得小于 3 in. [75 mm])的范围内保持预热温度和所有后续的最低道间温度。

除非 WPS 中另有规定，否则最低道间温度应与预热温度相等。

应在马上在每条焊道引弧施焊前检查预热温度和道间温度。

对于母材组合，应在最高预热温度基础上来确定最低预热温度。

5.7 调质钢的热输入控制

当焊接调质钢时，应限制热输入及最高预热温度和道间温度。此类考量因素应包括在共有构件的两侧同时焊接时产生的附加热输入。上述限制应符合母材生产商的建议。

5.8 应力消除热处理

当合同文件有要求时，应对焊件进行应力消除热处理。当需要保持尺寸公差时，应考虑在消除应力后进行最终机加工。

5.8.1 要求。应力消除热处理应满足下列要求：

(1) 焊件放入炉中时炉温不应超过 600°F [315°C]。

(2) 当温度在 600°F [315°C]以上时，加热速率(单位：°F[°C]/h)除以较厚件的最大厚度(单位：in.[mm])所得的值不应超过 400 [560]，但在任何情况下都不应超过 400°F [220°C]/h。加热期间，

在任何一段 15 ft[5 m]间隔内, 所加热零件整个部分内的温差均不应超过 250°F [140°C]。加热和冷却速率均不应低于 100°F [55°C]/h。但在任何情况下都应考虑到会降低加热和冷却速率的密封炉腔和复杂结构, 以免由于温度梯度过大而使结构受损。

(3) 调质钢达到 1100°F [600°C]的最高温度后, 或者其他钢的温度落在 1100°F~1200°F [600°C~650°C]的平均温度范围内之后, 组件温度的保温时间不应低于表 5.2 给出的依据焊缝厚度确定的时间。当为了保持尺寸稳定性而进行应力消除热处理时, 保温时间不应低于表 5.2 给出的依据较厚件厚度确定的时间。保温期间, 正在加热的焊件的整个部分内最高温度和最低温度之差不应超过 150°F [65°C]。

(4) 当温度在 600°F [315°C]以上时, 应在密闭炉或冷却箱内进行冷却, 冷却速率不超过 500°F [260°C]/h 除以较厚件的最大厚度(单位: in.[mm])所得的值, 但在任何情况下都不应超过 500°F [260°C]/h。从 600°F [315°C]开始, 焊件可在静止空气中冷却。

5.8.2 备选 PWHT。当不能按 5.8.1 规定温度进行 PWHT 时, 也可以在较低温度下对焊件进行应力消除处理, 处理时间可比表 5.3 给出的时间长。

5.8.3 不推荐进行 PWHT 的钢。通常不推荐对 ASTM A514、ASTM A517、ASTM A709 级 HPS 100W [HPS 690W]钢和 ASTM A710 钢焊件进行应力消除处理。对于在机加工期间需要保持尺寸稳定性或者会产生应力腐蚀开裂的焊件(这两种情况都不是只有 ASTM A514、ASTM A517、ASTM A709 级 HPS 100W [HPS 690W]钢和 ASTM A710 钢焊件才会出现的情况), 则可能需要进行应力消除处理。但缺口韧性试验的结果表明, PWHT 实际上会削弱焊缝金属和 HAZ 的韧性, 有时还可能导致在焊缝 HAZ 的粗晶区内出现晶间开裂。

5.9 衬垫

5.9.1 钢衬垫的安装。钢衬垫应满足下列要求:

5.9.1.1 熔合。使用钢衬垫的坡口焊缝应有与钢衬垫充分熔合的焊缝。

5.9.1.2 全长衬垫。除了下面允许的情况外, 钢衬垫在整个焊缝长度内应保持连续。钢衬垫中的所有接头应为符合本规范第 5 节所有要求的 CJP 坡口焊缝接头。

对于承受静荷载的应用, 如果满足下列所有条件, 则允许用一个或两个含有非拼接不连续的零件来制作封闭截面(比如空心管(HSS))端部焊缝用的衬垫。

(1) 封闭截面的公称壁厚不超过 5/8 in. [16 mm]。

- (2) 封闭截面的外周长不超过 64 in. [1625 mm]。
- (3) 衬垫垂直于封闭截面的纵轴。
- (4) 衬垫中的中断部分不超过 1/4 in. [6 mm]。
- (5) 带有不连续衬垫的焊缝到其他类型连接的距离小于 HSS 直径或主要横截面的尺寸。
- (6) 衬垫中的中断部分不在角隅处。

对于承受静荷载的箱型柱，允许在 CJP 焊接角隅、现场拼接处和连接处采用不连续衬垫。如果获得工程师批准，则可在其他密闭截面处采用不连续衬垫。

5.9.1.3 衬垫厚度。钢衬垫的厚度应足以防止产生熔穿。

5.9.1.4 承受循环荷载的非管材连接。承受循环荷载的非管材连接中的钢衬垫应符合下列要求：

(1) 垂直于计算应力方向的焊缝的钢衬垫应予以移除，并且应将接头打磨光滑，按表 2.5 (5.5) 要求设计的接头除外。

(2) 如果工程师没有另作规定，则平行于应力方向或者不承受计算应力的钢衬垫无需予以移除。

(3) 当利用外部焊缝来连接仍留在原位的纵向钢衬垫时，焊缝应为在衬垫两侧的整个长度上都保持连续的角焊缝。

5.9.1.5 承受静荷载的连接。如果工程师没有另作规定，则承受静荷载的连接(管材连接和非管材连接)中的焊缝所用钢衬垫无需进行全长焊接，也无需予以移除。

5.9.2 底焊焊缝。可利用底焊焊缝来作坡口焊缝或角焊缝的背衬。当采用 SMAW 时，则应使用低氢焊条。

5.9.3 非钢制衬垫。可采用铜、焊剂、玻璃胶带、陶瓷、铁粉或类似材料来作坡口焊缝根部的背衬，以防止产生熔穿。

5.10 焊接和切割设备

所有焊接和热切割设备的设计、制造及所处状态均应能使指定人员遵循本规范别处规定的工艺并得到所需结果。

5.11 焊接环境

5.11.1 最大风速。如果不采用屏蔽物来进行焊接保护，则不应在鼓风或有风的情况下进行 GMAW、GTAW、EGW 或 FCAW-G。此类屏蔽物的材质和形状应能将焊接区域周围的最大风

速降低到 5 miles/h(8 km/h)。

5.11.2 最低环境温度。不应在下列情况下进行焊接：

最低周围温度 严禁在下述情况下焊接：

- (1) 环境温度低于 0°F[-20°C]；或者
- (2) 表面受潮或暴露在雨雪下；或者
- (3) 风速高；或者
- (4) 焊接人员暴露在恶劣条件下。

注：0°F 并不是指周围的环境温度，而是指紧靠焊接区域处的温度。周围的环境温度可低于 0°F [-20°C]，但焊接区域周围的加热结构和屏蔽物应能使焊接周围的温度维持在 0°F [-20°C]或更高。

5.12 设计要求的符合性

除了符合表 6.1 或表 9.16 要求外，焊缝尺寸和长度不应小于设计要求和细节中规定的尺寸和长度。未经工程师批准不应改变焊缝的位置。

5.13 角焊缝最小尺寸

除了用于加强坡口焊缝的角焊缝外，角焊缝最小尺寸应为表 5.7 所示尺寸。除非设计图规定采用较大尺寸的焊缝，否则角焊缝最小尺寸在任何情况下都适用。

5.14 母材的准备

5.14.1 概述。母材应足够干净，以确保将要制作的焊缝可以满足本规范的质量要求。

5.14.2 轧制引起的缺陷。焊缝不应位于含有毛刺、撕裂痕迹、裂纹、熔渣或母材规范定义的其他母材缺陷的表面上。

5.14.3 氧化皮和铁锈。应清除待焊表面及焊缝附近表面上的松散氧化皮、厚氧化皮和薄氧化皮。如果轧制氧化皮和铁锈不能通过钢丝刷用力擦洗的方式予以清除，并且满足了本规范中的适用质量要求，则可在含有轧制氧化皮和铁锈的表面制作焊缝，下列情况除外：对于承受循环荷载的结构中的大梁，应清除打算制作翼缘板-腹板焊缝的表面上所有轧制氧化皮。

5.14.4 外来物

5.14.4.1 应清理待焊接的表面及焊缝周围的表面，以清除下列外来物：

- (1) 水
- (2) 油渍

(3) 油脂

(4) 其他碳氢化合物基物质

如果满足本规范的质量要求，则允许在含有残留外来物的表面进行焊接。

5.14.4.2 如果能够满足本规范的质量要求，则允许在含有保护性涂层或防溅剂的表面进行焊接，5.14.4.1 禁止的情况除外。

5.14.5 轧制引起的不连续。肉眼可观察到的切割表面的不连续的允许限度和修补均应满足表 5.4 要求，其中不连续的长度是材料切割表面上的目测长尺寸，而深度则为不连续从切割表面延伸到材料内部的距离。所有焊接修补均应按本规范进行。可从母材的任何一个表面清除不连续。除非得到工程师批准，否则总的焊接长度不应超过待修补板材表面长度的 20%。

5.14.5.1 验收准则。切割面上发现的长度和深度超过 1 in. [25 mm] 的不连续应按下述方法处理：

(1) 在完成接头前，如果观察到图 5.1 所示的 W、X 或 Y 类不连续，则应采用 UT 测定其尺寸和形状。当按 ASTM A435 《钢板直波束超声检查规范》检测时，不连续的面积应为底面回波的总损失面积。

(2) 对于 W、X 或 Y 类不连续，其面积(或多个不连续的总面积)不用超过被切割材料面积(长度乘以宽度)的 4%，但下述情况例外：当在垂直于被切割材料长度方向测量时，如果任一横截面上单个不连续的长度或若干不连续的总宽度超过切割材料宽度的 20%，则应从 4% 切割材料面积中扣除超过宽度 20% 的百分比。(举例说明，如果不连续为被切割材料宽度的 30%，则不连续的面积不能超过被切割材料面积的 3.6%。)应通过刨削、刨槽或打磨方法清除切割材料的切割表面上的不连续，清除深度应在其与表面相交处 1 in. [25 mm] 以上，并且采用低氢焊接工艺进行分层补焊，其中最开始的 4 层每层的厚度都不应超过 1/8 in. [3 mm]。

(3) 如果在接头完工后发现不超过 5.14.5.1(2) 中的容许面积要求的 Z 类不连续，并且在母材切割面上测量的其到焊缝面的距离不小于 1 in. [25 mm]，则无需进行修补。如果 Z 类不连续到焊缝面的距离小于 1 in. [25 mm]，则应通过应通过刨削、刨槽或打磨方法清除到距离融合区 1 in. [25 mm] 之处。然后采用低氢焊接工艺进行分层补焊，其中最开始的 4 层每层的厚度都不应超过 1/8 in. [3 mm]。

(4) 如果 W、X、Y 或 Z 类不连续的面积超过 5.14.5.1(2) 的容许面积，则应拒收、更换

或按工程师意见修补切割材料或切割件。

5.14.5.2 修补。在修补切割表面上肉眼可观察到的轧制引起的缺陷及确定其限度时，所清除的金属量应为清除不连续所需的最低量，或者不应超过表 5.4 的限值。但如果需要补焊，则应清除足够的母材，以保证焊接操作的可达性。切割面可与轧制方向成任何角度。应通过下列方式进行不连续的所有补焊：

- (1) 对修补区域进行适当准备。
- (2) 采用批准的低氢焊接工艺进行焊接，并且遵守本规范中的适用条款。
- (3) 将已完成的焊缝打磨光滑，并使其与周围表面齐平(见 5.23.3.1)，以产生做工精细的表面。

注：如果所施加的荷载穿过了材料厚度，则 5.14.5.2 中的要求可能并不充分。

5.14.6 接头准备。机加工、热切割、刨槽(包括等离子弧切割和刨槽)、刨削或打磨均可用于进行接头准备或清除不可接受的金属，但不应将氧气刨槽用于轧制钢上。

5.14.7 材料修边。对于承受循环荷载的结构，如果需要在承受计算应力地方获得满意的焊接边缘，则应对材厚度超过下面规定值的材料进行修边：

- (1) 厚度超过 1/2 in. [12 mm]的剪切材料；
- (2) 厚度超过 3/8 in. [10 mm]的板材(非一般的轧制钢板)的轧制边；
- (3) 厚度超过 5/8 in. [16 mm]的角钢或轧制型材(非宽翼缘型材)的趾部；
- (4) 厚度大于 1 in. [25 mm]的一般轧制钢板或宽翼缘型材的翼缘边缘；
- (5) 对接接头的准备应符合细节要求。

5.14.8 热切割工艺。可利用本规范认可的电弧切割与刨槽(包括等离子弧切割和刨槽)工艺以及氧气切割工艺来进行切割准备、切割或修边。应按第 5 节适用要求来使用这些工艺。

5.14.8.1 其他工艺。如果承包商向工程师证实具备成功应用这些工艺的能力，则可采用本规范中的其他热切割和刨槽工艺。

5.14.8.2 轮廓准确度。如果可以确保得到无裂纹和缺口的光滑而规则的表面，并且可以采用机械导轨来获得准确轮廓，则可对钢材和焊缝金属进行热切割。对于承受循环荷载的结构，仅应在获得工程师批准的情况下徒手进行热切割。

5.14.8.3 粗糙度要求。在进行热切割时，设备的调节和操控方法应避免在规定的线外面(里面)

进行切割。评价切割面的标准粗糙度仪应为 AWS C4.1-77《描述氧气切割表面及氧气切割表面粗糙度仪的准则》中给出的表面粗糙度仪。应目测比较切割表面的粗糙度和粗糙度仪上显示的切割表面的粗糙度。表面粗糙度不应超过 3 号样块的粗糙度，但对于不承受计算应力的构件端部、翼缘板厚度不超过 2 in. [50 mm] 的梁切口及厚度在 4 in.~8 in. [100 mm~ 200 mm] 范围内的材料，其表面粗糙度不应超过 2 号样块的粗糙度。

5.14.8.4 凹槽或缺口限制。如果粗糙度超过上述规定值，并且凹槽或缺口的深度比其他符合要求的表面深 3/16 in. [5 mm]，则应通过机加工或打磨方式予以清除。对于深度超过 1/16 in. [5 mm] 的凹槽或缺口，如果公称横截面积的减少量不大于 2%，则可通过打磨方式予以修补。经打磨或机加工的表面应以不超过 1/10 的坡度向原表面过渡。切割面和相邻边缘应无挂渣。如果获得工程师批准，则可通过焊接来修补热切割表面偶然出现的缺口或凹槽。

5.15 凹角

除了连接材料和梁切口中的凹角外，切割材料的凹角应提供一个半径小于 1 in. [25 mm] 的逐渐过渡形状。相邻切割表面应无错位或者没有超过切点的切割。如有必要，可先通过热切割制作凹角，然后在进行打磨，以满足 5.15.4.3 的表面要求。

5.16 过焊孔、梁切口和连接材料

过焊孔、梁切口和连接材料中的切割表面均应无缺口。梁切口和连接材料中的切割表面应无锋利的凹角。过焊孔应提供一个不会超过相邻表面之间的切点的平滑过渡带，并且应符合 5.14.8.3 要求。

5.16.1 过焊孔尺寸。所有过焊孔的长度(从制备焊接接头的内表面的棱边开始算起)均不应小于开孔材料的厚度 1.5 倍。过焊孔的最小高度应为孔穿过的材料的厚度(t_w)，但既不小于 3/4 in. [20 mm]，也不得超过 2 in. [50 mm]。应对过焊孔进行细节设计，以提供按需要安装衬垫所需的空间和充足的焊接空间。

5.16.1.1 轧制型材中的过焊孔。从翼缘板表面到过焊孔内凹表面的腹板边缘应呈倾斜或弯曲状。过焊孔不应有半径小于 3/8 in. [10 mm] 的凹角。

5.16.1.2 组装型材中的过焊孔。对于在型材焊接后才加工过焊孔的组装型材，从翼缘板表面到过焊孔内凹表面的腹板边缘应呈倾斜或弯曲状。过焊孔不应有半径小于 3/8 in. [10 mm] 的凹角。对于在型材焊接后加工过焊孔的组装型材，过焊孔的终点可位于垂直于翼缘板的位置，但前提

是过焊孔到焊缝距离至少为远离过焊孔的焊缝的尺寸。角焊缝不应通过过焊孔而进行绕焊(见图 5.2)。

5.16.2 镀锌型材。打算镀锌的型材中的过焊孔和梁切口均应打磨至露出光亮金属。如果过焊孔和梁切口的弯曲过渡部分时通过预先钻孔或锯加工而获得的, 则无需打磨该部分的过焊孔或梁切口。

5.16.3 重型型材。对于翼缘板厚度超过 2 in. [50 mm]的轧制型材和板厚超过 2 in. [50 mm]的焊接型材(其中过焊孔的弯曲表面是通过热切割工艺来加工的), 热切割前应在最低为 150°F [65°C]的温度下对伸出切割弯曲表面之处 3 in. [75 mm]的地方进行预热。对于重型型材, 应将梁切口和过焊孔的热切割表面打磨至露出光亮金属, 并在熔敷拼接焊缝之前采用 MT 或 PT 法进行检测。在其他型材上加工的过焊孔和梁切口既无需打磨, 也不需要 MT 或 PT 法进行检测。

5.17 定位焊缝和结构辅助焊缝

5.17.1 一般要求

(1) 定位焊缝和结构辅助焊缝应按已评定或免评定 WPS 要求来制作, 并且应有评定合格的人员来制作。

(2) 在对构件进行验收前, 不熔入最终焊缝的定位焊缝及不予清除的结构辅助焊缝应符合目检要求。

5.17.2 例外情况。允许采用定位焊缝和结构辅助焊缝, 但下述情况除外:

(1) 承受循环荷载结构的拉伸区域既不应有熔入最终焊缝的定位焊缝(2.17.2 允许的情况除外), 也不应有结构辅助焊缝。从梁或大梁的受拉翼缘板起, 超过腹板高度 1/6 的部位可被视为位于受拉区域之外。

(2) 在规定屈服强度大于 70 ksi [485 MPa]的调质钢构件上, 落在最终焊缝外面的定位焊缝和结构辅助焊缝均应获得工程师批准。

5.17.3 清除。当工程师有要求时, 应清除不熔入最终焊缝的定位焊缝和结构辅助焊缝, 5.18.2 规定的地方除外。

5.17.4 其他定位焊缝要求

(1) 熔入最终焊缝的定位焊缝应使用符合最终焊缝要求的焊条来施焊。在熔入最终焊缝之前应对这些焊缝进行清理。

(2) 多道定位焊缝的端部应为阶梯状或作其他处理，以便熔入最终焊缝。

(3) 对于评定缺口韧性用的焊缝或者需要用达到特定等级的缺口韧性要求的填缝金属制作的焊缝，熔入这种最终焊缝的定位焊缝应采用匹配的填充金属施焊。

5.17.5 熔入 SAW 焊缝的定位焊缝的附加要求。除了 5.17.4 的要求外，下列要求也适用：

(1) 被连续的 SAW 焊缝重熔的单焊道定位焊缝无需预热。这是 5.17.1 评定要求的一个例外情况。

(2) 定位角焊缝的尺寸不应超过 3/8 in. [10 mm]，并且焊缝表面外观不应产生显著变化。

(3) 要求满足具体根部熔深要求的接头根部的定位焊缝不应导致熔深降低。

(4) 不符合(2)和(3)要求的定位焊缝应予以清除，或在焊接前采用任何适当的方法将其尺寸减小。

(5) 钢衬垫厚度小于 5/16 in. [8 mm]的接头根部的定位焊缝应予以清除，或者在接头全长内采用 SMAW(使用低氢焊条)、GMAW 或 FCAW-G 将其制作成连续焊缝。

5.18 组装构件的拱度

5.18.1 拱度。应将组装梁和大梁腹板的边缘切割至规定拱度，并为切割和焊接引起的收缩留出合适的裕度。但可以通过小心加热来矫正规定拱度公差的适度偏离。

5.18.2 矫正。对淬火钢和回火钢构件拱度超差的矫正应事先得到工程师批准。

5.19 拼接

5.19.1 次组件拼接。在将组件焊接到构件的其他组件上之前，应先在盖板梁或组装构件的每个组件中拼接进行所有已焊好次组件。

5.19.1.1 现场拼接的位置。可在一个或多个横向平面内进行组装大梁中腹板和翼缘板的现场拼接。

5.19.1.2 承受循环荷载的结构拼接。对于承受循环荷载的构件，通用规范中的疲劳应力要求适用。

5.19.2 构件拼接。可通过将次组件焊接在一起的方式来拼接长的大梁或大梁截面。如果可行，则可在一个横向平面内拼接轧制梁或组装大梁之间的截面。

5.20 变形和收缩的控制

5.20.1 工艺和顺序。在进行结构或组装构件的组件装配和连接及将加强组件焊接到构件上时，

所采用的工艺与顺序应能将变形与收缩降低最低。

5.20.2 排序。在可行情况下，应以一种可确保焊接期间施加的焊接热量保持平衡的顺序来进行所有焊接。

5.20.3 承包商职责。对于预计会出现过量收缩或变形的构件或结构，承包商应准备一份书面的焊接顺序，以便生产符合规定质量要求的构件或结构。对于收缩或变形会明显影响其适用性的构件或结构，焊接开始前应向工程师呈交焊接顺序和变形控制方案。

5.20.4 焊缝走向。在构件上焊接时，焊缝的一般走向应是从构件彼此间相对固定的部位向着具有更大的相对运动自由度的地方。

5.20.5 最小约束。在组装件中，通常宜在焊接收缩不太明显的接头之前焊接预期会发生明显收缩的接头。宜在约束尽可能小的情况下来焊接这些接头。

5.20.6 温度限制。在严重的外部收缩拘束条件下施焊时，焊接一旦开始，那么在接头完工或者熔敷了足以确保不会开裂的焊缝之前，接头不应冷却到规定的最低预热温度以下。

5.21 接头尺寸公差

5.21.1 角焊缝装配。利用角焊缝连接的组件应尽可能贴合在一起。根部间隙不应超过 3/16 in. [5 mm]，但厚度等于或大于 3 in. [75 mm]且矫直后和装配中根部间隙不能尽可能接近这一公差的轧制型材或板材除外。在这种情况下，如果采用合适的衬垫，则可采用 5/16 in. [8 mm]的最大根部间隙。衬垫可以是焊剂、玻璃胶带、铁粉或类似材料，或者采用与熔敷的填充金属相容的低氢焊接工艺制作焊缝。如果间隙超过 1/16 in.[2 mm]，则角焊缝焊脚尺寸的增加量应为根部间隙，或者承包商应正视已经达到了规定的焊缝有效厚度。

5.21.1.1 贴合面。塞焊缝、槽焊缝和落在衬垫上的对接接头的贴合面之间的间距不应超过 1/16 in. [2 mm]。如果矫直后轧制型材仍然存在不能在上述限度内接触的不规则处，则使材料符合上述限制要求而采用的方法应获得工程师的批准。除非图纸有规定或工程师特别批准且按 2.11 要求执行，否则禁止使用填板。

5.21.2 PJP 坡口焊缝装配。利用平行于构件长度的 PJP 坡口焊缝连接的组件应尽可能紧贴。两组件间的根部间隙不应超过 3/16 in. [5 mm]，但厚度等于或大于 3 in. [75 mm]且矫直后和装配中根部间隙不能尽可能接近这一公差的轧制型材或板材除外。在这种情况下，如果采用合适的衬垫且最终焊缝符合焊缝尺寸要求，则可采用 5/16 in. [8 mm]的最大根部间隙。承压接头的公差应

符合适用合同规范的要求。

5.21.3 对接接头对齐。应小心地将采用对接接头连接的组件对齐。如果因对齐期间的偏心而导致组件明显弯曲，那么理论对齐度的偏移量不应超过所连接较薄组件厚度的 10%或 1/8 in. [3 mm](两者之中取较小值)。在纠正这种错位时，不应将组件拉成一个坡度大于 1/2 in. [12 mm]: 12 in.[300 mm]的斜坡。除非图纸上另外标明，否则应根据组件的中心线测量偏移量。

5.21.4 坡口尺寸

5.21.4.1 非管材横断面的变化。除了 5.21.4.2 中关于根部间隙超过图 5.3 容许值的情况外，如果坡口焊缝焊接接头横截面的尺寸与细节上所示尺寸的差异超过了这些公差要求，则应提交工程师批准或作校正。本要求不适用于 ESW 和 EGW。

5.21.4.2 矫正。对于超过 5.21.4.1 容许范围但不超过较薄件厚度两倍或 3/4 in. [20 mm](两者之中取较小值)的根部间隙，可在将组件焊接到一起之前通过焊接将其矫正到合适尺寸。

5.21.4.3 工程师批准。对于超过 5.21.4.2 容许范围的根部间隙，仅可在获得工程师批准通过焊接予以校正。

5.21.5 刨槽坡口。刨槽加工的坡口应基本上符合图 3.2 和图 3.3 的坡口形状尺寸要求及 3.12.3 和 3.13.1 的要求。应维持根部的适当可达性。

5.21.6 对齐方法。待焊构件应对齐并采用螺栓、夹钳、楔块、拉索、撑杆和其他适当装置或者定位焊缝固定到位，直至完成焊接。如果可行，建议使用夹具和定位装置。应适当考虑翘曲和收缩。

5.22 焊接结构构件的尺寸公差

焊接结构构件的尺寸应符合下列文件中的公差要求：(1)控制该项工程的通用规范，和 (2)5.22.1~5.22.12 的专用尺寸公差。（注意，管柱被视为是受压管件。）

5.22.1 柱和桁架的直线度。对于焊接的柱和主桁架构件(不考虑横截面)，直线度的最大偏差应为：

长度小于 30 ft [9 m]:

$$\frac{1/8 \text{ in.} \times \text{总长(单位: ft)}}{10}$$

$$1 \text{ mm} \times \text{总长(单位: mm)}$$

长度在 30 ft [9 m]~45 ft [15 m] 之间= 3/8 in. [10 mm]

长度超过 45 ft [15 m]:

$$3/8 \text{ in.} + 1/8 \text{ in.} \times \frac{\text{总长(单位: ft)} - 45}{10}$$

$$10 \text{ mm} + 3 \text{ mm} \times \frac{\text{总长(单位: m)} - 15}{3}$$

5.22.2 横梁和大梁的直线度(未规定拱度)。对于焊接的横梁或大梁(不考虑横截面), 如果没有规定拱度, 则直线度的最大偏差应为:

$$1/8 \text{ in.} \times \frac{\text{总长(单位: ft)}}{10}$$

$$1 \text{ mm} \times \text{总长(单位: mm)}$$

5.22.3 梁和大梁的拱度(典型大梁)。对于焊接的梁或大梁(顶部翼缘板嵌入到无设计混凝土壳板的混凝土中的梁除外), 不管其横截面如何, 与工厂装配所需的拱度(用于钻现场拼接用的孔或者准备现场焊接的拼接件)的最大偏差应为:

跨距中点: 跨距 $\geq$ 100 ft [30 m]时为-0, +1½ in. [40 mm];

跨距 $<$ 100 ft [30 m]时为-0, + 3/4 in. [20 mm]。

支点处: 端部支点处为 0;

内部支点处为 $\pm 1/8$ in. [3 mm]。

$$\text{所有中间点处: } -0, + \frac{4(a)b(1-a/S)}{S}$$

式中:

a = 从检查点至最近支点的距离, 单位: ft [m];

S = 跨距长度, 单位: ft [m];

b = 1½ in. [40 mm](跨距 $\geq$ 100 ft [30 m]时);

b = 3/4 in. [20mm](跨距 $<$ 100 ft [30 m]时)。

见表 5.5 所列值。

5.22.4 梁和大梁的拱度(无设计混凝土壳板)。对于顶部翼缘板嵌入到无设计混凝土壳板的混凝土中的构件, 与工厂装配所需的拱度(用于钻现场拼接用的孔或者准备现场焊接的拼接件)的最

大偏差应为:

跨距中点: 跨距 ≥ 100 ft [30 m]时为 $\pm 3/4$ in. [20 mm];

跨距 < 100 ft 时为 $\pm 3/8$ in. [10 mm]。

支点处: 端部支点处为 0;

内部支点处为 $\pm 1/8$ in. [3 mm]。

所有中间点处: $\pm \frac{4(a)b(1-a/S)}{S}$

其中 a 和 S 的定义即为上面的定义。

$b = 3/4$ in. [20 mm](跨距 ≥ 100 ft [30 m]时);

$b = 3/8$ in. [10 mm](跨距 < 100 ft [30 m]时)。

见表 5.6 所列值。

无论细节上所示的拱度如何, 容许偏差的符号习惯是: 加号(+)为超过图示的拱度形状, 减号(-)为低于图示的拱度形状。这些条款也适用于无需在现场拼接或在工厂组装的单个构件。应在无荷载条件下测量拱度。

5.22.5 梁和大梁的旁弯。中心点处直线度或轨道旁弯的最大偏差应为:

$$\pm 1/8 \text{ in.} \times \frac{\text{总长(单位: ft)}}{10}$$

$$\pm 1 \text{ mm} \times \text{总长(单位: m)}$$

如果构件具有足够的侧向柔性, 则允许在不损坏结构构件或其附件的情况下安装隔板、横向框架及侧向支撑等。

5.22.6 腹板平整度的偏差

5.22.6.1 测量。应通过测量腹板实际中心线与平直边(其长度大于最小平面尺寸且位于与名义腹板平面平行的平面上)的偏移量来确定大梁腹板的平整度偏差。应在安装之前进行测量(见条文说明)。

5.22.6.2 承受静荷载的非管材结构。位于以加劲肋和/或翼缘板为界限的平面(其最小平面尺寸是 d)内的腹板(其深度为 D, 厚度为 t)平整度的偏差不应超过下列值:

腹板两侧均有中间加劲肋:

当 $D/t < 150$ 时, 最大偏差 = $d/100$

当 $D/t \geq 150$ 时, 最大偏差 = $d/80$

仅腹板一面有中间加劲肋:

当 $D/t < 100$ 时, 最大偏差 = $d/100$

当 $D/t \geq 100$ 时, 最大偏差 = $d/67$

无加劲肋:

当 $D/t \geq 100$ 时, 最大偏差 = $D/150$

(见附录 D 表格。)

5.22.6.3 承受循环荷载的非管材。位于以加劲肋和/或翼缘板为界限的平面(其最小平面尺寸是 d)

内的腹板(其深度为 D , 厚度为 t)平整度的偏差不应超过下列值:

腹板两侧均有中间加劲肋

内部大梁:

当 $D/t < 150$ 时, 最大偏差 = $d/115$

当 $D/t \geq 150$ 时, 最大偏差 = $d/92$

挑口装饰大梁:

当 $D/t < 150$ 时, 最大偏差 = $d/130$

当 $D/t \geq 150$ 时, 最大偏差 = $d/105$

仅腹板一侧有中间加劲肋:

内部大梁:

当 $D/t < 100$ 时, 最大偏差 = $d/100$

当 $D/t \geq 100$ 时, 最大偏差 = $d/67$

挑口装饰大梁:

当 $D/t < 100$ 时, 最大偏差 = $d/120$

当 $D/t \geq 100$ 时, 最大偏差 = $d/80$

无中间加劲肋: 最大偏差 = $D/150$

(见附录 E 表格。)

5.22.6.4 过度变形。对于装配过程中或制作某一现场用螺栓拼接的模板期间出现在已钻孔或已

局部冲孔和铰孔的大梁端部的两倍于 5.22.6.2 或 5.22.6.3 容许公差的腹板变形, 如果用螺栓来拼接板材, 并且为腹板假设了正确的尺寸公差, 则认为这种变形符合要求。

5.22.6.5 建筑上的考虑。如果出于建筑方面的考虑而需要采用比 5.22.6.2 或 5.22.6.3 严格的公差, 则应在招标文件中明确提出。

5.22.7 腹板中心线和翼缘板中心线之间的偏差。对于组装的 H 或 I 型构件, 接触面上腹板中心线与翼缘板中心线之间的最大偏差不应超过 1/4 in. [6 mm]。

5.22.8 翼缘板翘曲和倾斜。对于焊接的梁或大梁, 应通过测量翼缘板趾部与垂直于穿过腹板中心线与翼缘板外表面相交处的腹板平面内的直线的偏移量来确定翼缘板的组合翘曲和倾斜。该偏移量不应超过翼缘板总宽度的 1%或 1/4 in. [6 mm](两者之中取较大值), 但毗连零件的焊接对接接头应满足 5.21.3 要求的情况除外。

5.22.9 深度偏差。对于焊接的梁和大梁, 在腹板中心线处测得的与规定深度的最大偏差应为:

深度 $\leq$ 36 in. [1 m]时为 $\pm 1/8$ in. [3 mm]

深度 $>$ 36 in. [1 m]~ $\leq$ 72 in. [2 m]时为 $\pm 3/16$ in. [5 mm]

深度 $>$ 72 in. [2m]时为 $+ 5/16$ in. [8 mm], $- 3/16$ in. [5 mm]。

5.22.10 承载点的支承。承载加劲肋的支承端应与腹板成直角, 并且至少 75%的加劲肋承载横截面面应与翼缘板内表面相接触。当靠着钢基础或基座支承时, 在 75%的投影面积面积内, 翼缘板的外表面与腹板和加劲肋的配合间隙应为 0.010 in.[0.25 mm], 余下 25%投影面积内的配合间隙应不超过 1/32 in. [1 mm]。无加劲肋的大梁应落在翼缘板外表面的腹板投影面积上, 配合间隙应在 0.010 in.[0.25 mm]以内, 并且支承长度范围内腹板与翼缘板间的夹角不应超过 90°(见条文说明)。

5.22.11 加劲肋公差

5.22.11.1 中间加劲肋的配合。如果规定了中间加劲肋的紧配合要求, 则应将加劲肋和翼缘板之间的间隙定义为不超过 1/16 in. [2 mm]。

5.22.11.2 中间加劲肋的直线度。对于深度达到 6 ft [1.8 m]的大梁, 中间加劲肋的直线度偏差不应超过 1/2 in. [12 mm]; 对于深度超过 6 ft [1.8 m]的大梁, 中间加劲肋的直线度偏差不应超过 3/4 in. [20 mm], 还应适当考虑框架伸入其中的构件。

5.22.11.3 承载加劲肋的直线度和位置。对于深度达到 6 ft [1.8 m]的大梁, 承载加劲肋的直线度

偏差不应超过 1/4 in. [6 mm]；对于深度超过 6 ft [1.8 m]的大梁，承载加劲肋的直线度偏差不应超过 1/2 in. [12 mm]。当从理论中心线位置开始测量时，加劲肋实际中心线应落在加劲肋厚度范围内。

5.22.12 其他尺寸公差。箱型构件的扭曲度公差以及 5.22 未涵盖的构件的其他尺寸公差应单独确定，并且应征得承包商和业主双方的同意，还应适当考虑安装要求。

5.23 焊缝剖面形状

所有焊缝均应符合表 6.1 和表 9.16 的目检验收准则要求，并且应无裂纹、焊瘤及图 5.4、表 5.8 和表 5.14 所示的不可接受的剖面缺陷，5.23.1、5.23.2 和 5.23.3 允许的情况除外。

5.23.1 角焊缝。如图 5.4 所示及表 5.8、表 5.9、表 6.1 和表 9.16 允许的那样，角焊缝表面可以稍稍凸起、平坦或稍稍下凹。

5.23.2 断续角焊缝的例外情况。除了规范所允许的咬边外，图 5.4 所示剖面形状要求不适用于超出有效长度之外的断续角焊缝的端部。

5.23.3 坡口焊缝。坡口焊缝余高应符合表 5.8、表 5.9 和下述条款要求。焊缝应有一个逐渐过渡到母材表面的平面。

5.23.3.1 齐平表面。要求齐平的焊缝应以一种不会使较薄母材或焊缝金属的厚度的减小量超过 1/32 in. [1 mm]的方式进行精加工。其余余高的高度不应超过 1/32 in. [1 mm]，同时应光滑地熔合到母材表面，并且过渡区域内无咬边。但如果焊缝是贴合面或接触面的组成部分，则应清除所有余高。

5.23.3.2 精加工方法与数值。如果需要进行表面精加工，则表面粗糙度值(见 ASME B46.1)不应超过 250 uinch[6.3 μm]。可以进行刨削和刨槽，但随后要进行打磨或机加工。对于承受循环荷载的结构，应在与主应力方向平行的方向进行精加工，但如果最终粗糙度等于或小于 125 uinch[3.2 μm]，则可在任何方向进行精加工。

5.23.4 承托条。承托条应符合 5.9.1.1~5.9.1.5 要求。仅可在承受静荷载的构件中将承托条留在原位。

5.24 塞焊缝和槽焊缝制作技术

5.24.1 塞焊缝。当采用 SMAW、GMAW (GMAW-S 除外)和 FCAW 工艺时，用于制作塞焊缝的技术应如下所述：

5.24.1.1 平焊位置。对于平焊位置的塞焊缝，每一焊道均应环绕接头根部熔敷，然后沿螺旋形路径向孔的中心熔敷，以便在结构根部和底部熔化并熔敷一层焊缝金属。然后应将电弧移至孔的内壁周边并重复上述步骤，以熔化与熔敷后续各层，从而将孔填充到规定深度。覆盖在焊缝金属上的熔渣应保持熔融状态，直至完成焊接。如果发生断弧或焊渣冷却，则必须将焊渣完全清除后再重新进行焊接。

5.24.1.2 立焊位置。对于立焊位置的塞焊缝，应从位于孔较低侧的结构根部处开始引弧并由此向上焊接，以使内层板的面与开孔板的边熔合。然后在所开孔的顶部停弧并清除焊渣，随后在孔的对边重复上述步骤。清除焊渣后，宜采用类似方法熔敷其他焊层，以将孔填充到规定深度。

5.24.1.3 仰焊位置。对于仰焊位置的塞焊缝，其步骤与平焊位置相同，但在熔敷每一连续焊道后应使焊渣冷却并将其全部清除，直至将孔填充到规定深度。

5.24.2 槽焊缝。应采用类似于 5.24.1 中规定的塞焊缝技术来制作槽焊缝，但如果槽孔的长度超过其宽度的 3 倍，或者槽孔延伸到零件边缘，则应采用 5.24.1.3 的技术要求。

5.25 修补

可用机加工、打磨、刨削或刨槽的方法来清除焊缝金属或部分母材。应以一种不会使邻近的焊缝金属或母材上产生缺口或凹槽的方式来进行清除。仅允许在轧制钢上进行氧气刨槽。应清除焊缝的不合格部分，但不要过多地伤及母材。焊接之前应彻底清洁表面。所有尺寸不足的焊缝金属均应进行熔敷补偿。

5.25.1 承包商的选择。除按 5.25.3 要求进行修改外，承包商可以选择修补不合格的焊缝或者清除整条焊缝并重焊。修补或重焊的焊缝应按原方法进行复验，并且应采用同样的技术和质量验收准则。如果承包商选择修补焊缝，则应按如下要求进行：

5.25.1.1 焊瘤、凸度过大或余高过量。应清除过量的焊缝金属。

5.25.1.2 凹陷或弧坑凹度过大、缝尺寸不足、咬边。应进行表面准备(见 5.29)并熔敷补充的焊缝金属。

5.25.1.3 不完全熔合、焊缝气孔过多或存在夹渣。应清除不合格部分(见 5.25) 并重焊。

5.25.1.4 焊缝或母材中的裂纹。应采用酸蚀、MT、PT 或其他可靠方法确定裂纹的范围；还应清除裂纹和超出裂纹每端 2 in. [50 mm]的部分。

5.25.2 局部加热修补的温度限定。因焊接而变形的零件应采用机械方法或通过进行有限度的局

部加热来矫直。当采用批准方法测量加热区域的温度时,调质钢的温度不应超过 1100°F [600°C],其他钢的温度不应超过 1200°F [650°C]。除了与加热结合使用的机械矫正方法产生的应力外,因矫直而加热的部分应基本没有应力和外力。

5.25.3 工程师的批准。母材的修补(5.14 要求的除外)、主要裂纹或延时出现的裂纹的修补、对有内部缺陷的 ESW 焊缝和 EGW 焊缝的修补或者是由于修改设计而对不足之处进行的补偿修补均应事先得到工程师的批准。割开焊接构件前应通知工程师。

5.25.4 难以修补的不合格焊缝。在已经产生不合格焊缝后,如果由于工作结束而难以修补这一不合格焊缝,或者出现给修补工作带来危险或使修补不能成功的新情况,则应在进行矫正之前清除焊缝和/或构件,以恢复原有条件。如果不这样做,则应按照批准的修改设计来执行附加工作,以便补偿缺陷。

5.25.5 开错孔位的母材的焊接修复。除了由于结构或其他原因需要焊接修复的情况外,开错位置的冲孔或钻孔可以留在原位或者拧上螺栓。通过焊接来修复开错孔位的母材时应遵循下述要求:

(1) 如果承包商备有并采用修补 WPS,则可通过焊接来修补不承受循环拉应力的母材。当合同文件中规定了对承受压应力或拉应力的坡口焊缝执行 NDT 时,则应通过此类检测来检验修补焊缝的完好性。

(2) 可通过焊接来修补承受循环拉应力的母材,但前提是:

(a) 工程师同意通过焊接方式进行修补,并且批准了修补 WPS。

(b) 按修补 WPS 要求完成工作,并且采用合同文件中规定的用于检查受拉坡口焊缝的 NDT 或工程师批准的方法来验证已修复母材的完好性。

(3) 当使用焊接工艺修复调质钢母材上的孔洞时,除了(1)和(2)的要求外,下列要求也适用:

(a) 应采用合适的填充金属、热输入和 PWHT(当需要 PWHT 时)。

(b) 应采用修补 WPS 制作焊缝样品。

(c) 样品焊件的 RT 应能证实该焊缝的完好性符合 6.12.2.1 要求。

(d) 应从焊缝样品上取 1 个收缩断面拉伸试验(焊缝金属)、2 个侧弯试验(焊缝金属)、3 个 HAZ(粗晶区)的 CVN 试验用样品,以证明修补区域的力学性能符合母材的规定要求(CVN 试

验的要求见第 4 节 D 部分)。

(4) 焊缝表面应按 5.23.3.1 规定进行精加工。

5.26 锤击

为了控制厚板焊缝中的收缩应力，可对中间焊层进行锤击，以防止开裂和/或变形。除了 9.2.7.6(3)给出的关于管材的要求外，不对焊缝根部或表面焊层或者是焊缝边的母材进行锤击。锤击应小心进行，以防止焊缝金属或母材起皱或开裂。

5.26.1 工具。允许使用手工清渣锤、凿子以及轻型振动工具来清除焊渣和飞溅物，但不应将这种清理视为是锤击。

5.27 捻缝

捻缝应指采用机械方法使焊缝和母材表面塑性变形，以密封或掩盖不连续。不对最低规定屈服强度大于 50 ksi [345 MPa]的母材进行捻缝。

最低规定屈服强度等于或小于 50 ksi [345 MPa]的母材进行捻缝，但前提是：

- (1) 所有检验均已完成且验收合格。
- (2) 需要通过捻缝来防止涂层。
- (3) 捻缝的技术和限制条件得到了工程师批准。

5.28 电弧击伤

应避免在任何母材的永久性焊缝区域外面产生电弧击伤。应将电弧击伤所致的裂纹或疤痕打磨光滑并进行检查，以确保焊缝的完好性。

5.29 焊缝清理

5.29.1 过程内清理。在之前熔敷的焊缝金属上进行焊接之前，应清除所有焊渣并通过刷洗或其他合适方式来清理焊缝及邻近的母材。这一要求不但适用于后续的焊层，而且也适用于后续焊道及发生任何焊接中断后弧坑区域的清理。但符合 5.24 要求的塞焊缝和槽焊缝不受这一要求的限制。

5.29.2 完工焊缝的清理。应清除所有完工焊缝的焊渣并通过刷洗或其他合适方式来清理焊缝及邻近的母材。允许存在清理后仍牢固粘附的飞溅残余物，但如果要求进行 NDT 则需予以清理。焊接工作完成后及焊缝验收合格以前不对焊接接头进行喷漆。

5.30 引弧板(见 5.2.2)

5.30.1 引弧板的使用。应以一种可确保焊缝完好的方式将结构端部停焊。如有必要，应使用引弧板来实现这一目的。引弧板的对齐方式应能为准备焊接的接头提供一个延伸段。

5.30.2 承受静荷载的非管材用引弧板的拆除。对于承受静荷载的非管材，如果工程师没有要求，则无需拆除引弧板。

5.30.3 承受循环荷载的非管材用引弧板的拆除。对于承受循环荷载的非管材，应在焊缝完成并冷却之后拆除引弧板，并将焊缝端部打磨至于对接零件的边缘齐平。

5.30.4 已焊对接接头的端部。要求保持齐平的已焊对接接头端部应进行精加工，但不要使其宽度比细节要求的宽度或者提供的实际宽度的较大值减少 1/8 in. [3 mm]以上，或者不要在每一端留下超过 1/8 in.[3 mm]的余高。已焊对接接头的端部应处理成斜度不超过 1:1 的斜坡。

表 5.1 低氢焊条的容许大气暴露时间**(见 5.3.2.2 和 5.3.2.3)**

焊条	A 列 (h)	B 列 (h)
A5.1		
E70XX	4(最大值)	
E70XXR	9(最大值)	>4~10(最大值)
E70XXHZR	9(最大值)	
E7018M	9(最大值)	
A5.5		
E70XX-X	4(最大值)	>4~10(最大值)
E80XX-X	2(最大值)	>2~10(最大值)
E90XX-X	1(最大值)	>1~5(最大值)
E100XX-X	1/2(最大值)	>1/2~4(最大值)
E110XX-X	1/2(最大值)	>1/2~4(最大值)

注:

1. A 列: 如果焊条的大气暴露时间超出所示值, 则应在使用前进行烘焙。
2. B 列: 如果焊条的大气暴露时间超出通过试验确定的时间, 则应在使用前进行烘焙。
3. 应采用小筒或其他小型敞口容器来发放和贮存焊条。不一定要使用加热容器。
4. 可选用的补充代号 R 表示的是在潮湿环境中暴露 5 h 后进行含水量试验且符合 AWS

A5.1/A5.1M《药皮焊条电弧焊用碳钢焊条规范》要求的低氢焊条。

表 5.2 最低保温时间**(见 5.8.10)**

≤1/4 in. [6 mm]	>1/4 in. [6 mm]~2 in. [50 mm]	>2 in. [50 mm]
15 min.	每 1/4 in. [6 mm]为 15 min, 或者按比例来确定	每增加 1 in.[25 mm]为 2 h+15 min., 超过 2 in [50 mm]则按比例来确定

表 5.3 其他应力消除热处理

(见 5.8.2)

低于最小规定温度的温度降低量		降低温度后的最小保温时间, h/in. [25 mm](厚度)
$\Delta^{\circ}\text{F}$	$\Delta^{\circ}\text{C}$	
50	30	2
100	60	4
150	90	10
200	120	20

表 5.4 切割表面上轧制引起的层状缺陷的允许限度和修补

(见 5.14.5)

缺陷描述	所需的修补
长度 $\leq$ 1 in. [25 mm]的任何确定	不修补, 也无需探查
长度 $>$ 1 in. [25 mm]、深度 $\leq$ 1/8 in. [3 mm]的任何缺陷	不修补, 但宜探查深度 ^a
长度 $>$ 1 in. [25 mm]、深度 $\leq$ 1/8 in. [3 mm]但不超过 1/4 in. [6 mm]的任何缺陷	清除但无需焊接
长度 $>$ 1 in. [25 mm]、深度 $>$ 1/4 in. [6 mm]但不超过 $>$ 1 in. [25 mm]的任何缺陷	完全清除并焊接
长度 $>$ 1 in. [25 mm]、深度 $>$ 1 in. [25 mm]的任何缺陷	见 5.14.5.1

^a 在有问题的切割表面上取 10%缺陷进行打磨, 以确定深度。如果被探查的任一缺陷的深度超过 1/8 in. [3 mm], 则应打磨该切割表面其余长度内大于 1 in. [25 mm]的所有缺陷, 以确定深度。如果被抽检的 10%的缺陷中没有一处深度超过 1/8 in. [3 mm]的缺陷, 则不需探查该切割表面上的其余缺陷。

表 5.5 典型大梁的拱度公差

(见 5.22.3)

拱度公差(单位: in.)					
a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
跨距					
≥ 100 ft	9/16	1	1-1/4	1-7/16	1-1/2
< 100 ft	1/4	1/2	5/8	3/4	3/4

拱度公差(单位: mm)					
a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
跨距					
≥ 30 m	14	25	34	38	40
< 30 m	7	13	17	19	20

表 5.6 无设计混凝土壳板的大梁的拱度公差

(见 5.22.4)

拱度公差(单位: in.)					
a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
跨距					
≥ 100 ft	1/4	1/2	5/8	3/4	3/4
< 100 ft	1/8	1/2	5/16	3/8	3/8

拱度公差(单位: mm)					
a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
跨距					
≥ 30 m	7	13	17	19	20
< 30 m	4	6	8	10	10

表 5.7 角焊缝最小尺寸

(见 5.13)

母材厚度(T) ^a		角焊缝最小尺寸 ^b	
in.	mm	in.	mm
$T \leq 1/4$	$T \leq 6$	1/8c	3c
$1/4 < T \leq 1/2$	$6 < T \leq 12$	3/16	5
$1/2 < T \leq 3/4$	$12 < T \leq 20$	1/4	6
$3/4 < T$	$20 < T$	5/16	8

^a 对于不采用按 4.8.4 要求计算的预热的非低氢焊接工艺，T 等于所连接组件中较厚件的厚度；应采用单道焊缝。

对于采用 4.8.4 确定的用于防止开裂的步骤的非低氢焊接工艺和低氢焊接工艺，T 等于所连接组件中较薄件的厚度；不规定单道焊要求。

^b 焊缝尺寸无需超过所连接组件中较薄件厚度的情况除外。

^c 承受循环荷载的结构的最小尺寸为 3/16 in. [5 mm]。

表 5.8 焊缝剖面形状^a

(见 5.23)

焊缝类型	接头类型					
	对接接头	角接接头—内侧	角接接头—外侧	T 形接头	搭接接头	带承托条的对接接头
坡口焊缝 (CJP 或 PJP)	图 5.4A	图 5.4B ^b	图 5.4C	图 5.4D ^b	N/A	图 5.4G
	方案 A	方案 B	方案 A	方案 B	N/A	见注 c
角焊缝	N/A	图 5.4E	图 5.4F	图 5.4E	图 5.4E	N/A
	N/A	方案 C	方案 C 或 D ^d	方案 C	方案 C	N/A

^a 方案 A~D 见表 5.9。

^b 对于设计要求的加强角焊缝，其剖面形状分别适用于每种坡口焊缝和角焊缝。

^c 采用承托条施焊的焊缝和厚度不等的接头的水平承托条间的焊缝不受 R 和 C 的限定。典型细节见图 5.4G 和图 5.4H。

^d 方法 C 和 D 适用情况的描述见图 5.4F。

表 5.9 焊缝剖面形状方案

(见 5.23)

方案 A	(对于 CJP, t=所连接较厚板的厚度; 对于 PJP, t=焊缝尺寸)		
	t	R(最小值)	R(最大值)
	≤ 1 in. [25 mm]	0	1/8 in. [3 mm]
	> 1 in. [25 mm], ≤ 2 in. [50 mm]	0	3/16 in. [5 mm]
	> 2 in. [50 mm]	0	1/4 in. [6 mm] ^a
方案 B	(对于 CJP, t=所连接较厚板的厚度; 对于 PJP, t=焊缝尺寸; C=容许凸度或凹度)		
	t	R(最小值)	R(最大值) C(最大值) ^b
	< 1 in. [25 mm]	0	无限定 1/8 in. [3 mm]
	≥ 1 in. [25 mm]	0	无限定 3/16 in. [5 mm]
方案 C	(W =焊缝面或单条表面焊道的宽度; C=容许凸度)		
	W	C(最大值) ^b	
	≤ 5/16 in. [8 mm]	1/16 in. [2 mm]	
	> 5/16 in. [8 mm], < 1 in. [25 mm]	1/8 in [3 mm]	
	≥ 1 in. [25 mm]	3/16 in. [5 mm]	
方案 D	(t =露出的较薄边的厚度; C=容许凸度; 见图 5.4F)		
	t	C(最大值) ^b	
	任何 t 值	t/2	

^a 对于承受循环荷载的结构, 厚度等于 3/16 in. [5 mm]时, 材料的 R(最大值) $> 2 \text{ in. [50 mm]}$ 。

^b 只要达到最小焊缝尺寸要求(焊脚和焊厚的尺寸都达到要求), 则对凹度不作限制。

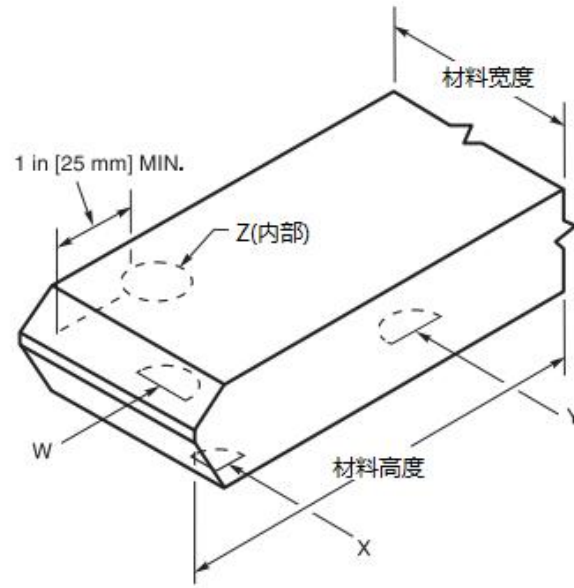
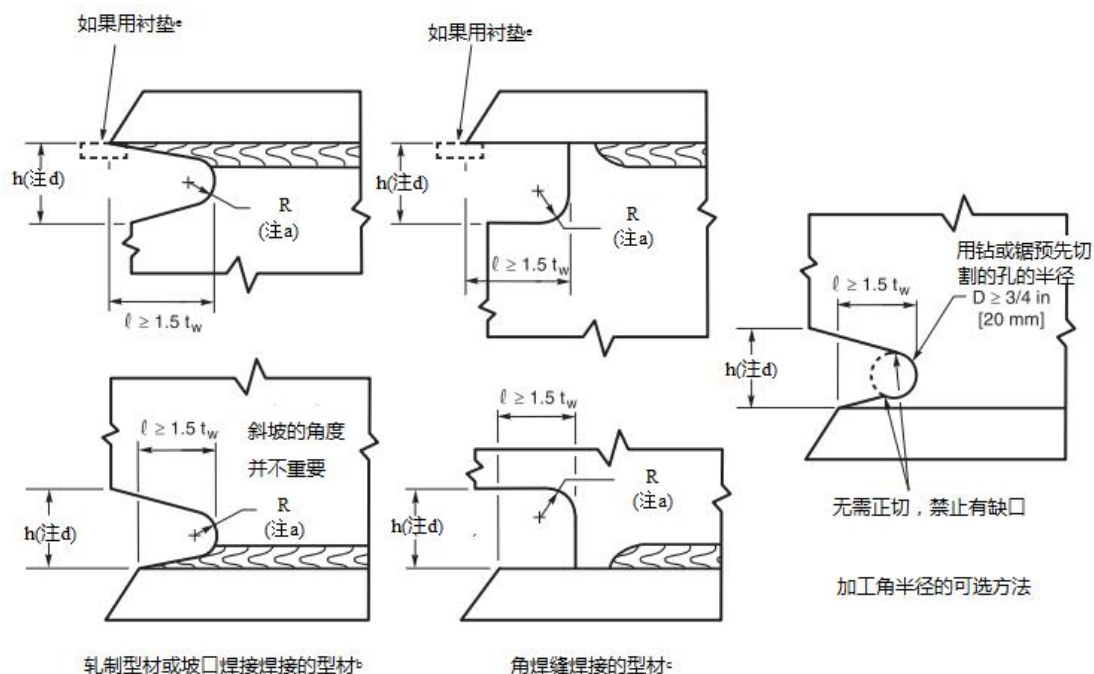


图 5.1—所切割材料的边缘缺陷

(见 5.14.5.1)



^a 圆角半径处应光滑且无缺口； $R \geq 3/8$ in. [10 mm]（通常为 $1/2$ in. [12 mm]）

^b 将腹板焊接到翼缘板之后制作的过焊孔。

^c 将腹板焊接到翼缘板之前制作的过焊孔。腹板到翼缘板的焊缝不应穿过孔进行绕焊。

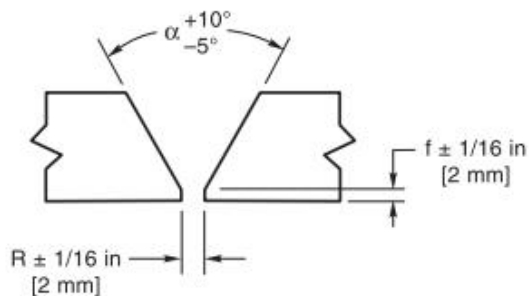
^d $h_{\min} = 3/4$ in. [20 mm] 或 t_w (腹板厚度)，两者之中取较大值； $h_{\min}$ 无需超过 2 in. [50 mm]。

^e 这些是用钢衬垫并从一面施焊的典型接头细节。宜考虑其他接头设计。

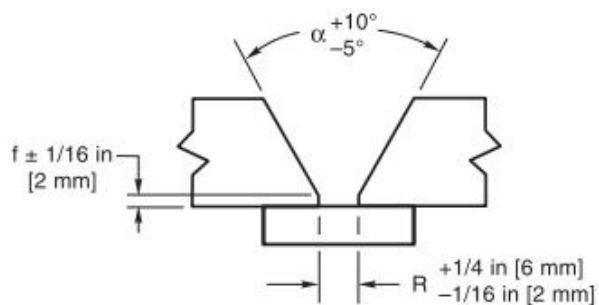
注：对于翼缘板厚度大于 2 in. [50 mm] 的轧制型材和腹板材料厚度大于 $1-1/2$ in. [40 mm] 的组装型材，热切割之前应预热至 150°F [65°C]，然后进行打磨，并在制作腹板和翼缘板拼接坡口焊缝之前采用 MT 或 PT 检查热切割边。

图 5.2—过焊孔的几何形状

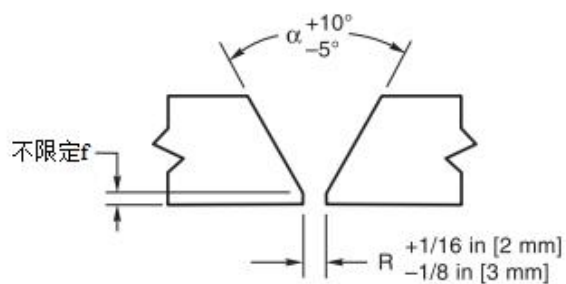
(见 5.16.1.2)



(A) 无衬垫坡口焊缝—背面不清根



(B) 有衬垫坡口焊缝—背面不清根



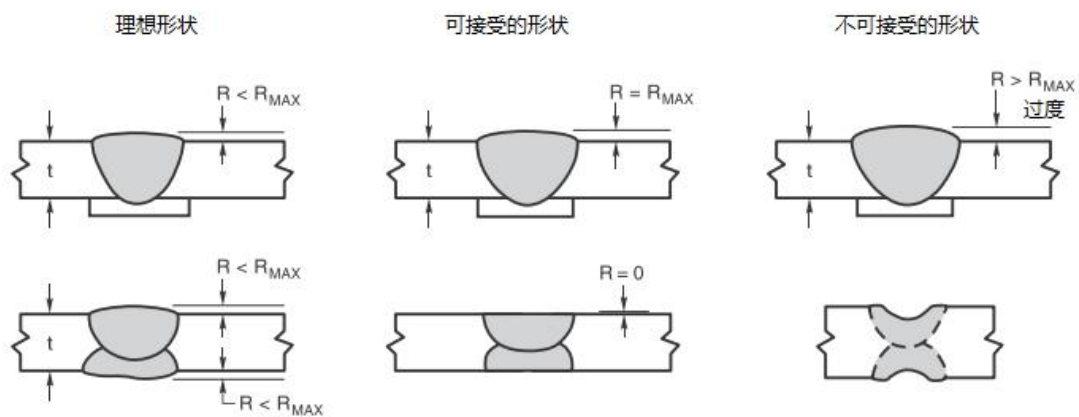
(C) 无衬垫坡口焊缝—背面清根

	背面不清根		背面清根	
	in.	mm	in.	mm
(1) 接头钝边	±1/16	2	无限定	
(2) 无衬垫接头根部间隙	±1/16	2	+1/16	2
			-1/8	3
由衬垫接头根部间隙	+1/4 -1/16	6	不适用	
		2		
(3) 接头坡口角度	+10°		+10°	
	-5°		-5°	

注：不用衬垫从一面施焊的 CJP 管材坡口焊缝的公差见 9.24.2.1。

图 5.3—坡口焊接接头组装时的加工公差

(见 5.21.4.1)



(A) 对接接头的焊缝剖面形状

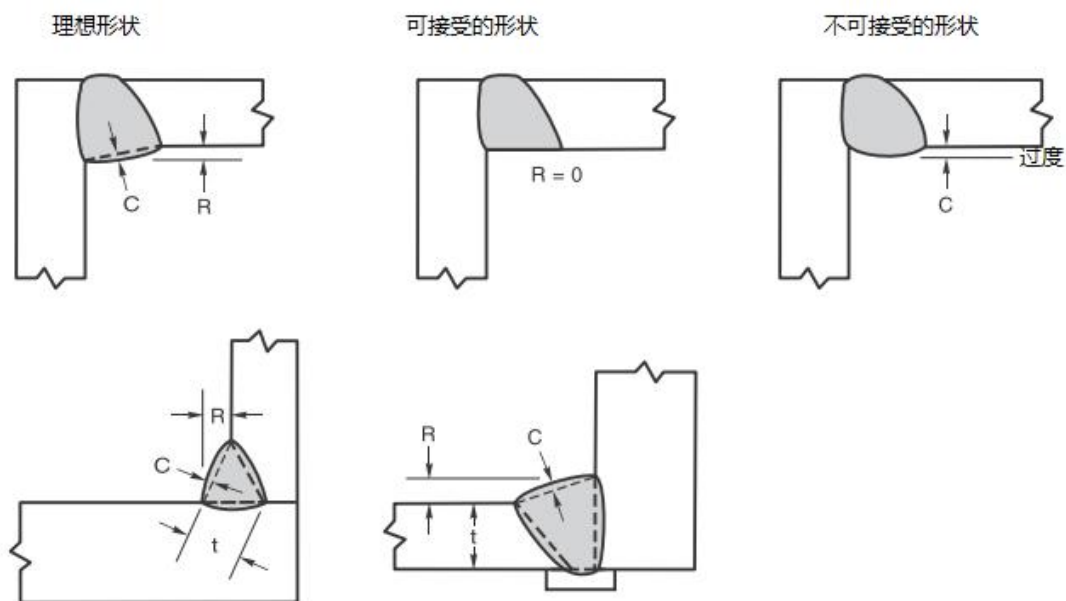
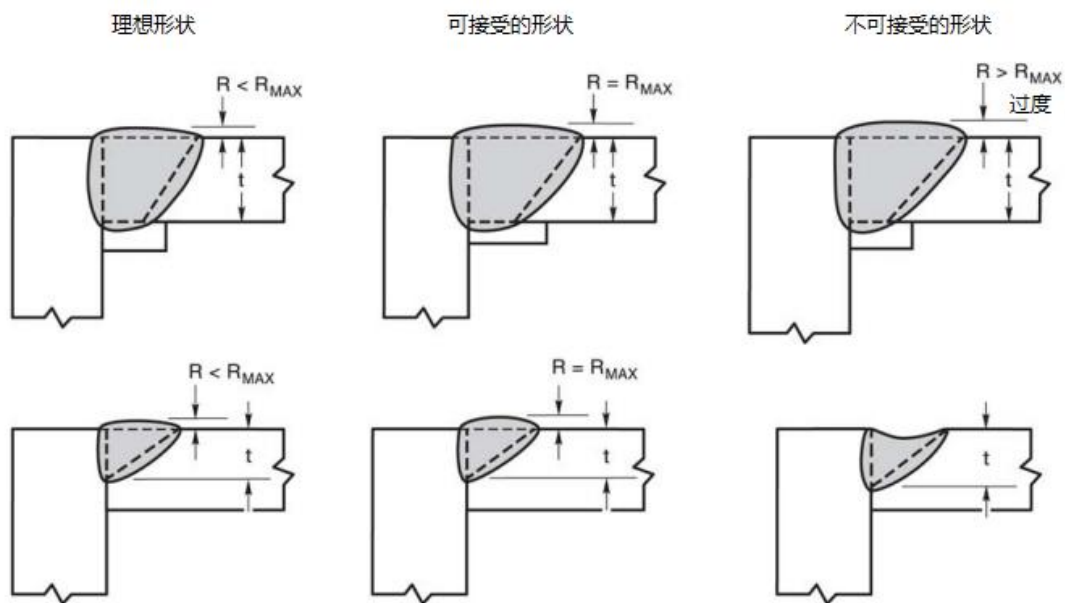
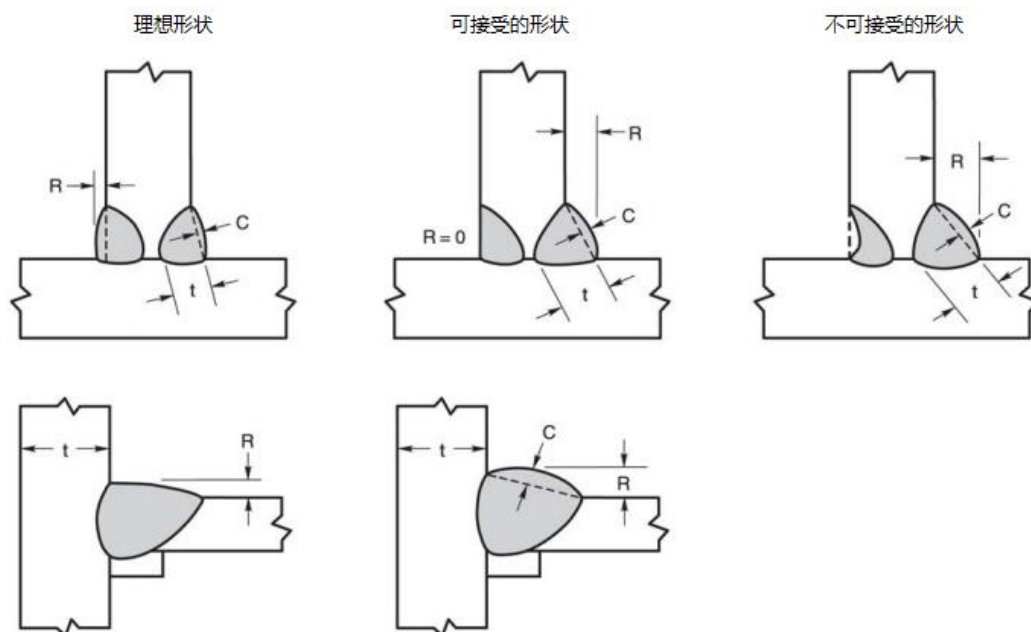


图 5.4—焊缝剖面形状要求

(见表 5.8 和表 5.9)

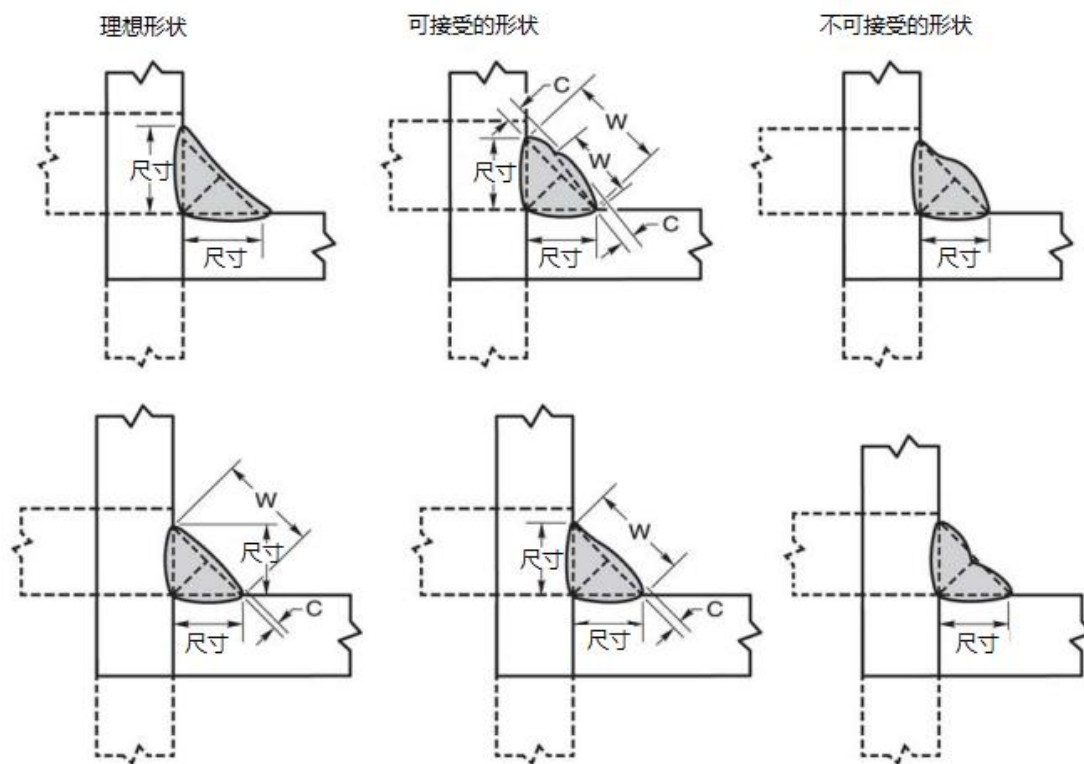


(C) 角接头外侧的坡口焊缝剖面形状

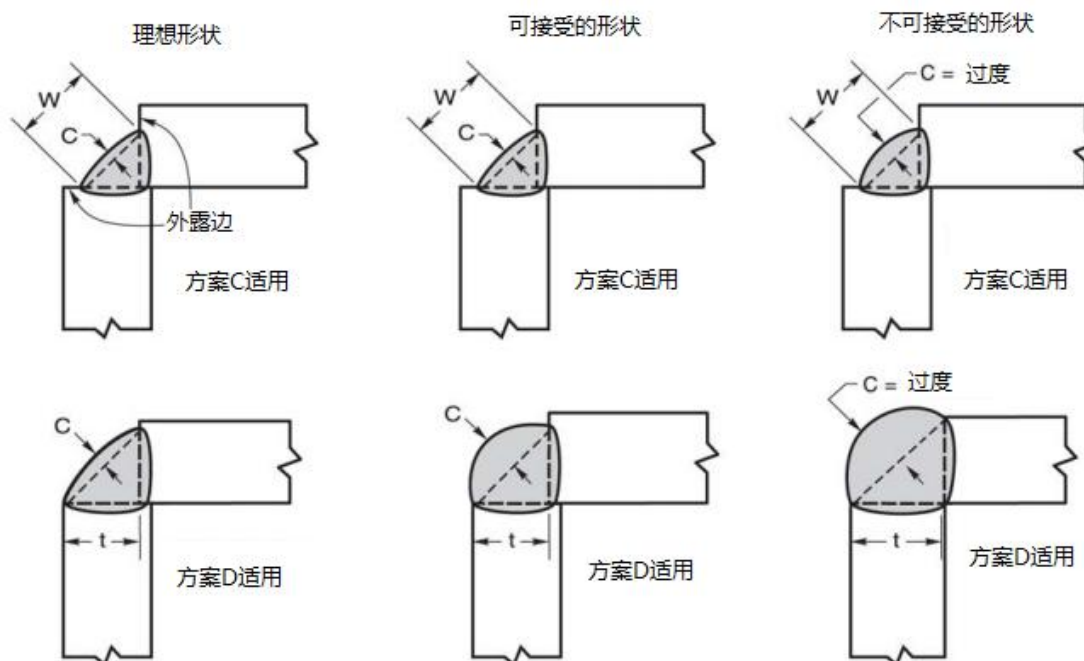


(D) T形接头内的坡口焊缝剖面形状

图 5.4(续)—焊缝剖面形状要求(见表 5.8 和表 5.9)

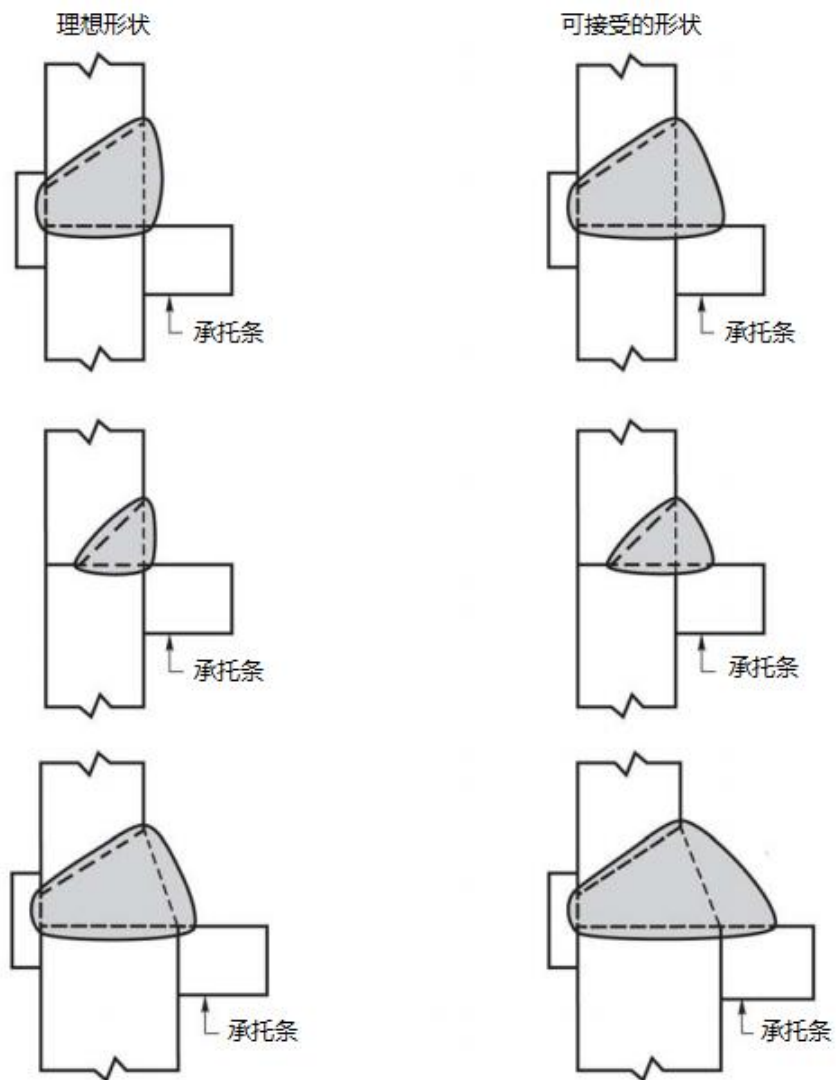


(E) 角接头、搭接接头和 T 形接头内侧的角焊缝剖面形状

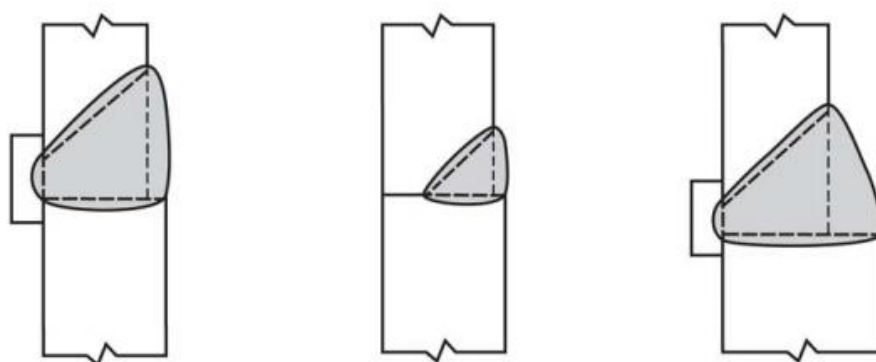


(F) 角接头外侧的角焊缝剖面形状

图 5.4(续)—焊缝剖面形状要求(见表 5.8 和表 5.9)



(G) 典型的承托条细节



(H) 厚度不相等的对接焊缝的典型剖面形状

图 5.4(续)—焊缝剖面形状要求(见表 5.8 和表 5.9)

本页被故意留为空白。

6. 检验

A 部分：通用要求

6.1 范围

第 6 节包含了检验人员的资格评定与职责、不连续的验收准则以及 NDT 工艺的所
有要求。

6.1.1 提供给投标者的资料。当要求进行 NDT 而非目视检验时，应在提供给投标者的资料中注
明这一要求。此类资料应标明受检焊缝的种类、每一种类检查的范围和方法或检测方法。

6.1.2 检验及合同规定。对于本规范而言，制造/安装检验与检测及鉴定检验与检测是两种不同
的功能。

6.1.2.1 承包商的检验。这种类型的检验和检测应在装配之前、装配过程中和焊接过程中以
及焊接之后进行，以确保材料和加工工艺符合合同文件的要求。制造/安装检验和检测应由承包
商负责，合同文件中另有规定的情况除外。

6.1.2.2 鉴定检验。应执行此类检验和检测并及时将结果报告给业主和承包商，以免延误工作。
鉴定检验和检测是业主的权利，业主可以行使这种权利，或者可以在合同中提出放弃进行独立
鉴定检验，或者规定由承包商来进行检验和鉴定。

6.1.3 检验人员类别的定义

6.1.3.1 承包商的检验员。“承包商的检验员”应指正式指派的代理或代表承包商在本规范和合同
文件范围内处理所有检验和质量方面事务的人员。

6.1.3.2 鉴定检验员。“鉴定检验员”应指正式指派的代理或代表业主或工程师处理工程师规定
的所有检验和质量方面事务的人员。

6.1.3.3 检验员。当使用“检验员”这一术语而未按上述特定的检验员类别作进一步资格限时，
它的定义与承担 6.1.2 所述职责的承包商检验员和鉴定检验员的相同。

6.1.4 检验人员资格评定要求

6.1.4.1 资格评定的依据。对材料和加工工艺负有验收和拒收责任的检验人员应为已进行过资格
评定的检验人员。应记录检验人员资格评定的基础依据。如果工程师选择规定检验员资格评定
的基本要求，则应在合同文件中作出规定。

可接受的资格评定依据应如下所述：

(1) 现在或以前按照 AWS QC1 《AWS 焊接检验员认证标准》要求获得的 AWS 注册焊接检验员(CWI)证书；或者

(2) 现在或以前由加拿大焊接协会(CWB)按照加拿大标准协会(CSA)标准 W178.2 《焊接检验员认证》要求进行的资格评定；或者

(3) 通过接受材料制造、检验和试验方面的培训或实习而有资格进行检验工作的个人。

6.1.4.2 有效期。如果检验员仍然从事焊接钢材的检验，则检验员的资格证书无限期有效，除非因某些具体的理由而质疑检验员的能力。

6.1.4.3 助理检验员。助理检验员可在检验员的监督下完成具体的检验工作，以便为检验员的工作提供支持。助理检验员应通过培训和实习来取得资格，以执行指定的检验工作。检验员应定期检查助理检验员的工作(通常每天都应进行检查)。

6.1.4.4 视力检查。检验员和助理检验员应通过裸视或带校正镜片的视力检查，以证实在 12 in.~17 in. [300 mm~430 mm]的距离内的近距离分辨能力可达到 Jaeger J-2。所有检验员的视力检查应每三年进行一次；如有必要证实其视力，则时间间隔可少于 3 年。

6.1.4.5 鉴定权力。工程师应有权鉴定检验员的资格。

6.1.5 检验员的职责。检验员应确定所有的焊接制造和安装均符合合同文件的要求。

6.1.6 提供给检验员的资料。应向检验员提供标有所有焊缝的尺寸、长度、类型和位置的完整细节。还应向检验员提供合同文件中描述的与产品制造和/或安装有关的材料和质量要求。

6.1.7 通知检验员。应在开始进行需要检验和鉴定的作业前提前通知检验员。

6.2 材料和设备的检验

承包商的检验员应确保仅使用符合本规范要求的材料和设备。

6.3 WPS 评定检验

6.3.1 免评定 WPS。承包商的检验员应确保施工用的所有免评定 WPS 均符合第 3 节、第 5 节、第 9 节(如果是管材)和合同文件的要求。

6.3.2 经试验评定的 WPS。承包商的检验员应确保所有经试验评定的 WPS 均符合第 4 节、第 5 节、第 9 节(如果是管材)和合同文件的要求。

6.3.3 生产中的 WPS。承包商的检验员应确保所有焊接操作均按符合本规范和合同文件要求的 WPS 进行。

6.4 焊工、焊接操作工和定位焊工技能评定的检验

6.4.1 资格确认。检验员应允许仅由按第 4 节或第 9 节(如果是管材)要求进行过评定的焊工、焊接操作工和定位焊工进行焊接操作,或者应确保之前已经证实每名焊工、焊接操作工或定位焊工的此类评定均受到其他可接受的监督方的监督,并且由工程师按 4.2.2.1 要求予以了批准。

6.4.2 基于工作质量的复验。当已经进行过评定的焊工、焊接操作工或定位焊工的工作质量低于本规范的要求时,检验员可以要求焊工、焊接操作工或定位焊工通过一种简单试验(例如角焊缝断裂试验)来证明其具有加工完好焊缝的能力,或者按本规范第 4 节要求重新进行一次完整的技能评定。

6.4.3 证书失效后的复验。如果任何焊工、焊接操作工或定位焊工已经有至少 6 个月没有使用其进行了资格评定的工艺,则检验员应要求他们重新进行技能评定(见 4.2.3.1)。

6.5 工作检验和记录

6.5.1 焊缝的尺寸、长度和位置。检验员应确保所有焊缝的尺寸、长度和位置均符合本规范和设计细节的要求,并且不会在未经工程师批准的情况下增加之前未规定的焊缝。

6.5.2 检查范围。检验员应每隔一段适当时间观察接头的准备、实际的装配操作、焊接技术以及每个焊工、焊接操作工和定位焊工的操作,以确保其符合本规范的适用要求。

6.5.3 检查的程度。检验员应对工作进行检查,以确保符合本规范要求。如果得到工程师批准,则允许采用其他不同于本规范规定的验收准则。应采用合适量具来测定尺寸和外形。焊缝和母材中的裂纹以及其他不连续的目视检验宜借助强光、放大镜以及其他有助于进行这种检验的手工具。

6.5.4 检验员的检验标识。对于已经检验和验收的所有零件和接头,检验员应作明显的标记或其他记录方法,以便于识别。可以采用经双方同意的任何记录方法。未经工程师的同意严禁在承受循环荷载的构件上打钢印。

6.5.5 记录的保存。检验员应保存所有焊工、焊接操作工和定位焊工的评定记录、已经进行的所有 WPS 评定或其他试验的记录及以及其他可能需要的资料的记录。

B 部分: 承包商职责

6.6 承包商的义务

6.6.1 承包商职责。承包商应负责进行目视检验，并且根据本规范的要求对材料和工艺方面所有不足之处进行必要的纠正。

6.6.2 检验员要求。承包商应根据合同文件中给出的所有检验员要求来纠正材料和工艺方面的不足之处。

6.6.3 工程判断。如果产生不合格的焊接，或者为重新施焊而清除该缺陷时使母材受损，则工程师应对不满足合同文件要求的情况作出判断，并且承包商应清除受损母材并重新焊接，或者应采用工程师批准的方式进行缺陷补偿。

6.6.4 目视检验以外的规定 NDT。当提供给投标者的资料中规定了除目视检验以外的 NDT 时，承包商应负责保证所有焊缝均满足第 6 节 C 部分或者第 9 节 F 部分(如果是管材)的质量要求。

6.6.5 目视检验以外的非规定 NDT。如果原合同未规定作除目视检验以外的 NDT 但随后业主要求这样做时，承包商应完成任何所要求的检测，或者应根据 6.14 规定完成所有检测。业主应承担包括搬运、表面准备、NDT 在内的所有相关费用，并按业主和承包商相互约定的速率进行除 6.9 所述项以外的不连续的修补。但如果发现这种检测有作弊的意图或严重违反本规范规定时，则承包商应承担修理费。

C 部分：验收准则

6.7 范围

C 部分描述了承受静荷载和循环荷载的非管材连接的目视检验及 NDT 的验收准则。应在合同文件及提供给投标者的资料中规定检查范围和验收准则。

6.8 替代验收准则的工程师批准

本规范的基本前提是提供在大多数情况下适用的条款。可根据特殊情况采用那些不同于本规范规定的的产品焊缝验收准则，但提议者要提出合适的书面文件并得到工程师批准。这些代用验收准则的基础依据可以是利用过去的经验进行的合适性评价、实践证据或者是考虑了材料类型、工作荷载效应和环境因素的工程分析。

6.9 目视检验

所有焊缝均应进行目视检验。如果满足表 6.1 或表 9.16(如果是管材)的验收准则要求，则焊缝应被视为是合格焊缝。

6.10 渗透检测(PT)和磁粉检测(MT)

应在目视检验的验收准则基础上评价除了目视检验之外还要进行 PT 和 MT 的焊缝。应按 6.14.4 或 6.14.5(如适用)要求进行检测。

6.11 无损检测(NDT)

除了 9.29 给出的与管材相关的要求外,所有 NDT 方法(包括设备要求和鉴定、人员资格评定和操作方法)均应符合第 6 节“检验”要求。验收准则应为本节所述验收准则。需作 NDT 的焊缝应为通过按 6.9 要求进行的目视检验的焊缝。

对于按 6.10、6.11、9.26.2h 和 9.27.1 要求作 NDT 的焊缝,可在完工焊缝冷却至环境温度后立即开始进行检测。ASTM A514、A517 和 A709 级 HPS 100W [690W]钢材的验收准则应以焊缝完工 48 h 内进行的 NDT 为基础依据。

6.12 射线检测(RT)

经射线检测不符合 C 部分要求或不符合 6.8 的代用验收准则的焊缝应按 5.25 要求修补。除裂纹以外的不连续应按条状不连续或圆形不连续来进行评价。不管是何种类型的不连续条状不连续应指长度超过其宽度 3 倍的不连续;圆形不连续应指长度是其宽度 3 倍或 3 倍以下的不连续,其形状可能是圆形或呈不规则形状,并且可能还带有尾巴。

6.12.1 承受静荷载的非管材连接的不连续验收准则。除目视检验之前还要进行 RT 的焊缝应无裂纹。如果 RT 发现有任何超过下列限值的不连续,则焊缝应被判定为不合格焊缝。图 6.1 给出的焊缝尺寸(E)为 1-1/8 in.[30 mm]的限制适用于 1-1/8 in.[30 mm]以上的所有焊缝尺寸。

(1) 超过图 6.1 所示最大尺寸的条状不连续。

(2) 间距小于图 6.1 所示最小间距的不连续。

(3) 超过 E/3 的最大尺寸,但不超过 1/4 in. [6 mm]的圆形不连续。然而,当 E 大于 2 in. [50 mm]时,圆形不连续的最大尺寸可能是 3/8 in. [10 mm]。对于大于或等于 3/32 in. [2.5 mm]的圆形不连续,其到可接受的条状不连续或圆形不连续或者是相交焊缝边缘或端部的最小距离应为所考虑的较大不连续的最大尺寸的 3 倍。

(4) 在焊缝与另一条焊缝或自由边(也就是不存在材料延伸的一边)相交处,合格不连续应符合图 6.1 情况 I~IV 的限制条件。

(5) 最大尺寸之和超过图 6.1 允许的单个最大尺寸不连续的孤立不连续(比如一串圆形不连

续)。此类不连续到另外一串不连续或条状不连续或圆形不连续或者是相交焊缝边缘或端部的最小距离应为所考虑的较大不连续的最大尺寸的 3 倍。

(6) 在任何 1 in. [25 mm] 长的焊缝内, 每一较大尺寸小于 $3/32$ in. [2.5 mm] 的单个不连续的总长不应超过 $2E/3$ 或 $3/8$ in. [10 mm] (两者之中取较小值)。本要求与上面的(1)、(2)和(3)无关。

(7) 在任何 6E 长度范围内最大尺寸的总长超过 E 的成行不连续。当受检焊缝的长度小于 6E 时, 应按比例减小容许的最大尺寸总和。

6.12.2 承受循环荷载的非管材连接的不连续验收准则。除目视检验之前还要进行 RT 的焊缝应无裂纹。如果 RT 发现有 6.12.2.1、6.12.2.2 或 6.12.2.3 所述任何类型的不连续, 则焊缝应被判定为不合格焊缝。图 6.2 和图 6.3 给出的焊缝尺寸(E)为 $1\text{-}1/2$ in. [38 mm] 的限制适用于 $1\text{-}1/2$ in. [38 mm] 以上的所有焊缝尺寸。

6.12.2.1 承受循环荷载的受拉非管材连接

(1) 超过图 6.2 所示最大尺寸的不连续。

(2) 间距小于图 6.2 所示最小间距的不连续。

(3) 在焊缝与另一条焊缝或自由边(也就是不存在材料延伸的一边)相交处, 合格不连续应符合图 6.2 情况 I~IV 的限制条件。

(4) 最大尺寸之和超过图 6.2 允许的单个最大尺寸不连续的孤立不连续(比如一串圆形不连续)。此类不连续到另外一串不连续或条状不连续或圆形不连续或者是相交焊缝边缘或端部的最小距离应为所考虑的较大不连续的最大尺寸的 3 倍。

(5) 在任何 1 in. [25 mm] 长的焊缝内, 每一较大尺寸小于 $3/32$ in. [2.5 mm] 的单个不连续的总长不应超过 $2E/3$ 或 $3/8$ in. [10 mm] (两者之中取较小值)。本要求与上面的(1)、(2)和(3)无关。

(6) 在任何 6E 长度范围内最大尺寸的总长超过 E 的成行不连续。当受检焊缝的长度小于 6E 时, 应按比例减小容许的最大尺寸总和。

6.12.2.2 承受循环荷载的受压非管材连接

(1) 超过图 6.3 所示最大尺寸的不连续。

(2) 间距小于图 6.3 所示最小间距的不连续。

(3) 在焊缝与另一条焊缝或自由边(也就是不存在材料延伸的一边)相交处, 合格不连续应符合图 6.3 情况 I~V 的限制条件。

(4) 最大尺寸之和超过图 6.3 允许的单个最大尺寸不连续的孤立不连续(比如一串圆形不连续)。此类不连续到另外一串不连续或条状不连续或圆形不连续或者是相交焊缝边缘或端部的最小距离应为所考虑的较大不连续的最大尺寸的 3 倍。

(5) 在任何 1 in. [25 mm] 长的焊缝内, 每一较大尺寸小于 3/32 in. [2.5 mm] 的单个不连续的总长不应超过 2E/3 或 3/8 in. [10 mm](两者之中取较小值)。本要求与上面的(1)、(2)和(3)无关。

(6) 在任何 6E 长度范围内最大尺寸的总长超过 E 的成行不连续。当受检焊缝的长度小于 6E 时, 应按比例减小容许的最大尺寸总和。

6.12.2.3 小于 1/16 in. [2 mm] 的不连续。除了 6.12.2.1 和 6.12.2.2 的要求外, 对于最大尺寸小于 1/16 in. [2 mm] 的不连续, 如果沿焊缝轴线任何 1 in. 范围内不连续最大尺寸的总和超过 3/8 in. [10 mm], 则应判定为不合格。

6.13 超声检测(UT)

6.13.1 承受静荷载的非管材连接的验收准则。对于除目视检验外还要进行 UT 的焊缝, 其验收准则应符合表 6.2 要求。对于 CJP 腹板-翼缘板焊缝, 通过除“E”(见 6.30.2.2)之外的扫查方式探测到的不连续的验收准则可以实际腹板厚度加上 1 in. [25 mm] 得出的焊缝厚度为基础依据。应根据实际腹板厚度按表 6.2 验收准则来评价用扫查方式“E”探测到的不连续。当 CJP 腹板-翼缘板焊缝承受垂直于焊缝的计算拉应力时, 宜在设计图上标出此焊缝, 并且焊缝应符合表 6.2 要求。超声波检测的焊缝的评估依据是与不连续对焊缝完整性的影响成比例的不连续反射超声。当探头移向及离开不连续(扫查动作“b”)时, 仍留在显示屏上的不连续指示可能表明存在明显贯穿焊缝厚度的平面状不连续。

由于大多数危险性不连续的主反射面与声束的垂线成 20°(如果是 70° 探头)~45°(如果是 45° 探头)角, 所以将波幅测定值(dB 额定值)作为判断依据不太可靠。当在扫查灵敏度范围内存在展示处这些平面特征的指示时, 则需要采用其他手段对不连续进行更详细的评价(比如目视检验用的其他 UT 技术、RT、打磨或刨槽等)。

6.13.2 承受循环荷载的非管材连接的验收准则。除了目视检验外还需进行 UT 的焊缝的验收准则应符合下列要求:

(1) 在任何荷载条件下都承受拉应力的焊缝应符合表 6.3 要求。

(2) 承受压应力的焊缝应符合表 6.2 要求。

6.13.2.1 指示。超声波检测的焊缝的评估依据是与不连续对焊缝完整性的影响成比例的不连续反射超声。当探头移向及离开不连续(扫查动作“b”)时，仍留在显示屏上的不连续指示可能表明存在明显贯穿焊缝厚度的平面状不连续。由于此类不连续与声束相对而言的取向偏离了垂直方向，因此无法直接用 dB 额定值可靠地评价焊接接头的完好性。当在扫查灵敏度范围内存在展示处这些平面特征的指示时，则需要采用其他手段对不连续进行更详细的评价(比如目视检验用的其他 UT 技术、RT、打磨或刨槽等)。

6.13.2.2 扫查。CJP 腹板-翼缘板焊缝应符合表 6.2 要求，并且通过除“E”(见 6.30.2.2)之外的扫查方式探测到的不连续的验收准则可以实际腹板厚度加上 1 in. [25 mm]得出的焊缝厚度为基础依据。应根据实际腹板厚度按 6.13.2d 的验收准则来评价用扫查方式“E”探测到的不连续。当 CJP 腹板-翼缘板焊缝承受垂直于焊缝的计算拉应力时，宜在设计图上标出此焊缝，并且焊缝应符合表 6.3 要求。

D 部分：NDT 工艺

6.14 工艺

本规范所述 NDT 工艺已经使用多年，并且可以为焊缝完好性提供合理保证；然而，本规范的有些用户错误地认为每一种方法均能检测所有不合格的不连续。本规范的用户宜了解每一种所用 NDT 方法的局限性，尤其是无法探测并特征化具有特定取向的平面状不连续。(最新版 AWS B1.10《焊缝无损检查指南》中阐明了每一种方法的使用限制及互补使用方法。)

6.14.1 RT。当采用 RT 时，其工艺和技术均应符合本节 E 部分或第 9 节 F 部分(管材)的要求。

6.14.2 辐射成像系统。当采用辐射成像系统进行检测时，其工艺和技术应符合本节 G 部分的要求。

6.14.3 UT。当采用 UT 时，其工艺和技术均应符合本节 F 部分的要求。

6.14.4 MT。当采用 MT 时，其工艺和技术均应符合 ASTM E709 要求，并且合格标准应符合本规范第 6 节 C 部分的要求。

6.14.5 PT。探测表面开口的不连续时可采用 PT。PT 应采用 ASTM E165 中规定的标准方法，并且合格标准应符合本规范第 6 节 C 部分的要求。

6.14.6 人员资格评定

6.14.6.1 ASNT 要求。执行 NDT(非目视检验)的人员应按现行版美国无损检测学会推荐规程 SNT-TC-1A 要求进行资格评定。执行 NDT 的个人应具备如下资格:

- (1) NDT II 级; 或
- (2) 在 NDT II 级人员指导下工作的 NDT I 级。

6.14.6.2 认证。I 级和 II 级人员的认证应由 III 级人员来执行, 而 III 级人员应已经通过下列方式进行了认证:

- (1) 美国无损检测学会; 或者
- (2) 接受了教育、培训、实习, 并且已经成功通过了 SNT-TC-1A 所述的书面考试。

6.14.6.3 QC1 要求的免除。按 6.14.6 条款执行 NDT 的人员无需按 AWS QC1 条款要求进行资格评定和认证。

6.15 检测范围

提供给投标者的资料应清晰地注明待查焊缝的 NDT 范围(类型、范围或部位)。

6.15.1 完全检测。除了规定作局部检测或抽检的情况外, 按照合同规范要求检测的焊缝接头应进行全长度检测。

6.15.2 局部检测。当规定作局部检测时, 应在合同文件中清晰地标明待检焊缝的位置和长度或类别。

6.15.3 抽检。当规定作抽检时, 提供给投标者的资料应包含在规定长度焊缝或指定的一段焊缝上要检测的每一种指定焊接接头的抽检次数。每项抽检均应覆盖至少 4 in. [100 mm] 长的焊缝。当抽检表明存在需作修补的不合格不连续时, 应仔细探测这些不连续的范围。还应在远离原抽检点的位置对焊接接头的相同段焊缝另作两次抽检。另作抽检的部位应由承包商和鉴定检验员商定。

如果另外进行的两次抽检中有一次抽检表明存在需作修补的缺陷, 则应对原抽检部位所代表的整个焊段进行检测。如果焊缝包括一个以上的焊段, 则应按上述要求对每一焊段的约定部位(部位由承包商和鉴定检验员商定)另作两次抽检。

6.15.4 相关资料。在作检测前, 应向 NDT 人员提供或使他们有途径得到与焊缝接头的几何形状、材料厚度和用以制作该焊件的焊接工艺等相关的资料。并应向 NDT 人员通报任何后续的焊缝修补工作。

E 部分：射线检测(RT)

6.16 对接接头坡口焊缝的 RT

6.16.1 工艺和标准。如果按 6.14 提供的合同文件要求对焊缝进行 RT，则应采用 E 部分所述工艺和标准指导这种检测。此处所列的要求专门用于采用 X 射线源或 γ 射线源对板材、型材和棒材对接接头的坡口焊缝进行的检测。检测方法应符合 ASTM E94《射线检测标准推荐规程》、ASTM E142《射线检测质量控制标准方法》、ASTM E747《使用线型像质计的射线检测的质量控制》和 ASTM E1032《焊件射线检测》的要求。

6.16.2 变更。检测工艺、设备和验收准则的变更可由承包商与业主商定。这些变更包括但不限于：T 形接头和角接接头内角焊缝和坡口焊缝的 RT；射线源到底片距离的改变；采用非常用底片；采用非常用孔型像质计和线型像质计(IQI)(包括底片侧 IQI)；6 in. [150 mm] 以上厚度 RT 用底片类型、底片黑度及曝光、显影和读片技术的变更。

6.17 RT 工艺

6.17.1 工艺。应采用单一 X 或 γ 射线源进行射线检测。应依据孔型像质计和线型像质计(IQI)来判断射线照相灵敏度。射线照相技术和设备应有足够的灵敏度，以清楚地指示 6.17.7 和 9.28.1、表 6.4、表 6.5、表 9.17 和表 9.18 以及图 6.4 和图 6.5 所述的孔型像质计(IQI)和主孔轮廓或是线型像质计的线。射线照相底片上应清晰地指示识别字母和数字。

6.17.2 安全要求。应按所有适用安全要求进行 RT。

6.17.3 余高的清除。当合同文件要求清除焊缝余高时，应按 5.23.3.1 所述打磨焊缝，以便为射线照相作好准备。除非表面不规则或焊缝与母材接合处会使射线底片上焊缝不连续模糊不清，否则不必为了进行射线检测而打磨其他焊缝表面或采用其他方式使其变得光滑。

6.17.3.1 引弧板。如果工程师没有另外批准，则应在 RT 前拆除引弧板。

6.17.3.2 钢衬垫。当 5.9.1 或合同文件中有要求时，应在 RT 前拆除钢衬垫并将表面打磨齐平。应按 5.23.3.1 进行打磨。

6.17.3.3 余高。当不清除焊缝余高和/或衬垫，或者不采用其他方式放置线型 IQI 时，则应在孔型 IQI 或线型 IQI 下放置钢质补偿垫片，补偿垫片应从所需孔型 IQI 或线型 IQI 的三侧伸出至少 1/8 in. [3 mm]，以使孔型 IQI 与底片之间的钢的总厚度大致等于穿过余高和衬垫测得的焊缝的

平均厚度。

6.17.4 射线照相底片。射线照相底片应符合 ASTM E94 所述要求。应按 ASTM E94 所述要求使用铅箔增感屏，但禁止使用荧光增感屏。

6.17.5 技术。应采用单一放射源进行射线照相，射线源要按实际情况尽量对准焊缝待检验部位长度和宽度的中心。

6.17.5.1 几何不清晰度。 γ 射线源(不论其尺寸如何)应符合 ASME 锅炉和压力容器规范第 V 卷第二章中的几何不清晰度要求。

6.17.5.2 放射源至工件的距离。放射源至工件的距离不应小于在单一平面上曝光的底片的总长度。本条款要求不适用于按 6.16.2 所作的全景曝光。

6.17.5.3 放射源至工件距离的限定。放射源至工件的距离不应小于焊缝厚度与余高和衬垫板(如果用衬垫)厚度之和的 7 倍，并且穿透被检验焊缝的射线与照相区任一部位焊缝表面的垂线所成角度不应大于 26.5° 。

6.17.6 射线源。如果有足够的穿透能力，则可将最大峰值电压为 600 kVp 的 X 射线机和铯 192 作为所有 RT 的射线源。仅可在对厚度超过 2-1/2 in. [65 mm] 的钢板进行射线检测时将钴 60 作为射线源。如果获得了工程师批准，则可采用其他射线源。

6.17.7 IQI 的选用和放置。应按表 6.6 所示选用 IQI 并将其置于焊件上待作射线照相的焊缝部位。

6.17.8 技术。对焊接接头进行射线检测时应对底片进行编号，以便在规定检查界限内对受检接头提供完全且连续的检验。射线底片上应清晰地指示接头界限。短底片、短的增感屏、由于散乱射线而造成的过分咬边或是任何其他使焊缝总长度的一部分模糊不清的工艺均会导致射线底片不合格。

6.17.8.1 底片长度。底片应具备足够长度，并且应被放在从焊缝突出边超出至少 1/2 in. [12 mm] 的位置。

6.17.8.2 底片搭接。对长度超过 14 in. [350 mm] 的焊缝进行射线照相时，可将底片暗盒搭接起来作一次曝光或用单个底片暗盒分别曝光。应遵守 6.17.5 的要求。

6.17.8.3 背散射。为了检查背散射情况，应在每个底片暗盒的背面放一个高 1/2 in. [12 mm]、厚 1/16 in. [2 mm] 的铅字符号“B”。如在射线底片上出现“B”的图象，则应判定该射线照相不合格。

6.17.9 底片宽度。底片宽度应足以拍摄包括 HAZ 在内的焊接接头的所有部分，并且应在不干扰

射线照相相关区域的情况下提供足以容纳所需孔型 IQI 或线型 IQI 及底片记号的空间。

6.17.10 射线底片的质量。所有射线底片均应无机械、化学或其他损伤，以免掩盖或混淆了射线底片上相关区域的不连续。这样的损伤包括但不限于以下方面：

- (1) 灰雾；
- (2) 诸如条纹、水迹或化学污染之类的处理缺陷；
- (3) 划痕、指印、皱纹、污迹、静电击痕、斑痕或撕裂；
- (4) 因增感屏与底片不够密贴而导致的不清晰；
- (5) 因增感屏不良或内在毛病而造成的虚假指示。

6.17.11 黑度限定。对于单一底片观察，如果采用 X 射线源，则规定孔型 IQI 和相关区域的射线影像的最小黑度应为 1.8；如果采用 γ 射线源，则最小黑度应为 2.0。对于双底片曝光的复合观察，最小黑度应为 2.6。复合组的每一射线照相底片的最小黑度应为 1.3。不论是单底片观察还是复合观察，最大黑度都应为 4.0。

6.17.11.1 H & D 黑度。测得的黑度应为 H&D 黑度(射线照相底片的黑度)，它是底片变黑程度的一个量度，表达为：

$$D = \text{Log } I_0/I$$

式中：

$D = H \& D$ (射线照相底片)黑度；

$I_0 =$ 入射底片的光强度；和

$I =$ 透射过底片的光强度。

6.17.11.2 过渡。当对焊缝厚度过渡区进行射线照相且较厚件厚度与较薄件厚度之比等于或大于 3 时，射线照相的曝光宜使单张底片上较薄截面处的黑度为 3.0~4.0。当要满足这一要求时，应放弃 6.17.11 的最小黑度要求，合同文件中另有规定的除外。

6.17.12 识别标记。钢材上每一个射线照相位置均应放置一个射线照相识别标记和两个位置识别标记。射线照相底片上应指示相应的射线照相识别标记和两个位置识别标记。应通过在在钢上面的每个相同识别标记和位置标记上放置铅字数字和/或字母来产生这些标记，以提供一种使显影摄像底片与受检焊缝一一对应的方式。可将其他信息预先印在距焊缝边缘不小于 3/4 in. [20

mm]之处, 或者应通过在钢材上面放置铅图的方式来产生。如果适用, 底片上指示的信息应包括业主的合同识别标记、射线检测公司的首字母、制造厂的首字母、车间加工单号、底片识别标记、日期和焊缝修补号。

6.17.13 边块。对厚度大于 1/2 in. [12 mm]的对接接头进行射线检测时应使用边块。边块应有足够长度, 以其每一端超出焊缝中心线的最小距离等于焊缝厚度但不应小于 2 in. [50 mm], 边块的厚度应等于或大于焊缝厚度。边块的最小宽度应等于焊缝厚度的一半但不应小于 1 in. [25 mm]。边块应落在待作射线照相的钢板的焊缝中心。对于具备最小规定长度的边块, 其与钢板间的间隔不得大于 1/16 in. [2 mm]。边块应采用可使射线照相清楚的钢材制作, 并且表面光洁度应为 ANSI 125 μin [3 μm]或更佳(见图 6.10)。

6.18 射线照相的检查、报告和处理

6.18.1 承包商提供的设备。承包商应提供可适当调节光强且具有局部观察或遮光局部观察功能的底片观察器(观片灯)。观片灯应具有调节受检验部位观察区大小的功能。观片灯还应具有适当观察 H&D 4.0 黑度底片的足够强度。应在光线暗淡的区域内观察底片。

6.18.2 报告。在业主验收由承包商进行过 RT 的焊缝之前, 应将所有射线底片(包括修补前质量不合格的射线底片)和解释射线底片的报告提交给鉴定检验员。

6.18.3 记录保留。完工时应将承包商为业主所作的焊缝(包括修补前质量不合格的焊缝)RT 的整套射线照相底片提交给业主。承包商保留报告的义务应在下列情况下终止:

- (1) 已将整套射线底片提交给业主; 或者
- (2) 承包商项目完工满一年, 并且业主已事先接到书面通知。

F 部分: 坡口焊缝的超声检测(UT)

6.19 概述

6.19.1 工艺和标准。当要求按本规范 6.14 进行 UT 时, 应采用 F 部分规定的工艺与标准来指导厚度在 5/16 in.~8 in.[8 mm~200 mm]之间(包括这两个厚度在内)之间的坡口焊缝和 HAZ 的超声波检测。对厚度小于 5/16 in. [8 mm]或大于 8 in. [200 mm]的情况, 应按附录 Q 要求进行检测。严禁用这些工艺和标准来检测管材与管材之间的 T 形、Y 形和 K 形连接。

6.19.2 变更。附录 Q 是执行坡口焊缝 UT 检测用的一种备选技术的示例。第 6 节 F 部分未包含

的检测工艺、设备和验收准则的变更可在获得工程师批准的情况下予以采用。此类变更包括采用其他厚度、焊缝几何形状、探头尺寸、频率、耦合剂、涂漆表面、检测技术等。应在合同记录中登记这些获批准的变更。

6.19.3 管状气孔。建议将 RT 作为 UT 的补充手段来检测 ESW 或 EGW 焊缝中可能存在的管状气孔。

6.19.4 母材。不可将这些工艺用于检测采购的母材。但如果邻近母材中出现不符合不规范要求焊接相关缺陷(开裂、层状撕裂、分层等), 则应报告工程师处理。

6.20 资格评定要求

为了满足 6.14.6 的要求, UT 操作工的资格评定应包括以本规范要求为基础依据的专门考试。这一考试应要求 UT 操作工证明其具有应用本规范规则准确探测和处理不连续的能力。

6.21 UT 设备

6.21.1 设备要求。UT 仪器应为适合与振荡频率为 1~6MHz 的探头一起使用的脉冲反射式超声探伤仪。指示应为经检波的 A 型扫描指示。应遵循表 6.8 所示要求。

6.21.2 水平线性。应按 6.28.1 要求在检测所用的全声程距离内评定检测仪器的水平线性。

6.21.3 检测仪器要求。检测仪器应配备有内部稳压装置, 以确保加热后当额定供电电压变化 15% 或在使用电池情况下整个电池供电期间内响应变化不大于 $\pm 1\text{dB}$ 。应配备警报器或测量表, 以便仪器在因电池耗尽而关闭之前发出电池电压下降信号。

6.21.4 检测仪器的校准。检测仪器应有校准用增益(衰减)控制器, 它应至少能够在 60dB 的整个范围内有每档 1dB 或 2dB 的步进调节。衰减装置的精度应在 $\pm 1\text{dB}$ 以内。6.23.2 和 6.28.2 描述的评定程序。

6.21.5 指示范围。仪器指示的动态范围应确保指示器可以轻易探测到 1dB 幅度的变化。

6.21.6 直射波(纵波)探头。直射波(纵波)探头应有一个既不小于 $1/2\text{ in.}^2$ [323 mm^2]也不大于 1 in.^2 [645 mm^2]的工作面积。探头应为圆形或方形。探头应能分辨 6.27.1.3 所述三个反射波。

6.21.7 斜射波探头。斜射波探头应由换能器和斜楔块组成。探头可由这两个元件组成, 或者是一个一体式探头。

6.21.7.1 频率。换能器的频率应在 2~2.5 MHz 之间(包括 2 和 2.5 MHz)。

6.21.7.2 换能器尺寸。换能器晶体形状应为正方形或矩形, 其宽度为 $5/8 \sim 1\text{ in.}$ [$15 \sim 25\text{ mm}$], 高

度为 5/8 in. ~13/16 in. [15~20 mm](见图 6.11)。最大宽高比为 1.2:1.0, 最小宽高比为 1.0:1.0。

6.21.7.3 角度。探头应在受检材料内产生一束声, 其角度与 6.27.2.2 所述 70°、60°或 45°的其中一个角度的偏差应不超过 $\pm 2^\circ$ 。

6.21.7.4 标记。每个探头均应进行标记, 以清晰地注明换能器频率、公称折射角和入射点。入射点定位方法如 6.27.2.1 所述。

6.21.7.5 内部反射。探头的最大容许内部反射应如 6.23.3 和 6.28.3 所述。

6.21.7.6 前沿距离。探头的尺寸应确保从探头前沿到入射点的距离不超过 1 in. [25 mm]。

6.21.7.7 IIW 型试块。采用 IIW 参考试块或其他 IIW 型试块的评定程序应符合 6.27.2.6 及图 6.12 所示要求。

6.22 参考试块

6.22.1 IIW 标准试块。国际焊接学会(IIW)的任何 UT 参考试块均可以被作为距离校准和灵敏度校准的标准试块, 前提是试块包含图 6.13 所示的直径为 0.060 in.[1.5 mm]的孔和图 6.16 所示的距离、分辨力和角度校验功能(位置 A 到位置 G)。IIW 型试块应符合 ASTM E164 要求。如果检测仪/探头组合的对比灵敏度被调节到与 IIW 型试块相等, 则可采用其他便携式试块(示例见附录 G)。

6.22.2 禁用反射体。不应使用“方角”反射体进行校准。

6.22.3 分辨力要求。探头与检测仪的组合应能分辨出如图 6.14 所示 RC 分辨力参考试块上的三个孔。探头位置见 6.27.2.5 所述。进行分辨力评价时, 仪器的各个控制器应处于常规检测状态下, 并且孔的反射指示在荧光屏高度的中部位置。分辨能力应足以区分来自三个孔的指示峰值。不应应用 RC 分辨力参考试块进行校准。每个仪器探头楔块和换能器组合在初次使用前都应进行检查。每个探头和 UT 装置组合好后就应进行设备检定。如果保存的文件记录了下述项, 则无需进行这种检定:

- (1) UT 机器的品牌、型号和序列号;
- (2) 探头的制造商、类型、尺寸、角度和序列号;
- (3) 检定日期和技术人员姓名。

6.23 设备鉴定

6.23.1 水平线性。应每隔两个月对检测仪器使用的每一距离范围的水平线性重作鉴定。鉴定方

法应满足 6.28.1 要求(备选方法见附录 G)。

6.23.2 增益控制。仪器的增益控制(衰减器)应满足 6.21.4 要求,并且应按 6.28.2 要求每两个月进行一个检查,以便进行正确检定。如果可以证实至少等于小 6.28.2 要求,则可采用备选方法来校准增益控制(衰减器)。

6.23.3 内部反射。仪器最多使用 40 h 后即应按 6.28.3 要求对每一探头的最大内部反射进行校验。

6.23.4 斜射波探头的校准。每一个斜射波探头均应在每使用 8 h 后采用认可的校准块进行检查,以确定接触面是否平、声波入射点是否正确以及波束角度是否在 6.27.2.1 和 6.27.2.2 规定的 $\pm 2^\circ$ 的公差范围内。不符合这些要求的探头应予以修正或更换。

6.24 检测时的校准

6.24.1 抑制控制器的位置。所有的校准与检测均应在关闭抑制(削波或限幅)控制器的状态下进行。衰减(削波或限幅)控制器的使用可能改变仪器的波幅线性并导致检测结果无效。

6.24.2 技术。UT 操作工应在检测马上开始之前及在第一条受检焊缝所在部位进行灵敏度和水平扫描(距离)的校准。此后应按 6.24.3 要求重新校准。

6.24.3 重新校准。在检测人员更换、最多每隔 2 h 或仪器电路有下述任何一种形式的干扰时进行重新校准:

- (1) 更换换能器
- (2) 更换电池
- (3) 更换电插座
- (4) 更换同轴电缆
- (5) 电源中断(出故障)

6.24.4 母材的直射波束检测。母材直射波检测的校准应将探头置于母材的 A 面并按下述要求进行:

6.24.4.1 扫描范围。作距离校准时应在显示屏上将水平扫描线调节到至少可以指示相当于两倍板厚的距离。

6.24.4.2 灵敏度。应在无缺陷指示部位调节灵敏度,以使钢板的第一底面回波达到全屏高度的 50%~75%。

6.24.5 斜射波束检测的校准。斜射波检测的校准应按如下要求进行(替代方法见附录 G 的 G2.4)。

6.24.5.1 水平扫描范围。水平扫描范围应按 6.22.1 规定用 IIW 型试块或代用试块进行调节, 使其可以表示实际的声程距离。距离校准应采用显示屏上的 5 in. [125 mm] 刻度或 10 in. [250 mm] 刻度。但如果接头形状或厚度不允许采用这些设定值对焊缝进行全面检测, 则应按要求采用 15 in. [400 mm] 刻度或 20 in. [500 mm] 刻度进行举例校准。探头位置见 6.27.2.3 所述。

注: 所有显示屏指示的水平位置均应以中断水平基线的偏转线的左侧位置为基础依据。

6.24.5.2 零对比基准。应通过调节不连续探测仪上校准过的增益控制(衰减器)来达到用于进行不连续评定(附录 L 的表 L-11 的超声检测报告上的“b”项)的零对比基准灵敏度, 以使最大水平偏转(用校准的增益控制[衰减器]调节到水平基准线高度)按 6.27.2.4 要求指示 40%~60% 之间的屏高范围内。调节应按 6.21 要求进行。

6.25 检测程序

6.25.1 “X”轴线。应在焊件检测面上标出不连续定位用的“X”轴线, 其方向应与焊缝轴线平行。“X”轴线与焊缝轴线的垂直距离应以细节上标注的尺寸为基础依据。对接接头焊缝“X”轴线的通常落在对接接头焊缝的中心线上, 而 T 形接头和角接接头的焊缝则总是落在这些焊缝的连接构件的近端面上(C 面的对面)。

6.25.2 “Y”轴线。应在需要进行 UT 的焊缝邻近的母材上清晰地标出“Y”轴线和焊缝识别号码。这样标记的目的是:

- (1) 识别焊缝
- (2) 识别 A 面
- (3) 测量距离及确定 X 轴线的方向(+或 -)
- (4) 从焊缝端部或边缘开始测量位置

6.25.3 清洁度。所有探头接触的表面均应无焊接飞溅物、污物、油脂、有贡(用作耦合剂的油除外)、油漆和松散氧化皮, 并且应有允许紧密耦合的外形。

6.25.4 耦合剂。探头和待检测材料之间应使用耦合材料。耦合剂应是甘油或具有适当稠度的纤维素胶与水的混合物。如需要可以添加润湿剂。校准块上可用轻质机油作耦合剂。

6.25.5 检测范围。应采用符合 6.21.6 要求且按 6.24.4 进行过校准的直射波探头来检测超声波检测焊缝时必须穿过的整个母材是否有层状缺陷反射。如果母材任何区域的底面回波全部消失, 或者在某一位置有一等于或大于原底面回波高度且影响正常焊缝扫查的指示, 则应确定其尺寸、

部位和到 A 面的深并记录在 UT 报告上，与此同时还应采用另一种焊缝扫查方法进行检测。

6.25.5.1 反射体尺寸。反射体尺寸的评估方法应符合 6.29.1 要求。

6.25.5.2 不可达性。在按表 6.7 要求进行检测，如果由于存在 6.25.5 所述层状缺陷而导致部分焊缝不可达，则应采用下述一种或几种备选方法进行检测，以获得全部焊缝的检测结果：

- (1) 应按 5.23.3.1 要求将焊缝表面打磨齐平；
- (2) 应从 A 面和 B 面进行检测；
- (3) 应采用其他探头角度。

6.25.6 焊缝的检测。应采用符合 6.21.7 要求的斜射波探头、按 6.24.5 要求校准过的仪器及表 6.7 所示角度来检测焊缝。校准后以及检测过程中，唯一允许进行的仪器调节是用校准的增益控制(衰减器)进行灵敏度调节。应关系抑制(削波或限幅)控制器。按表 6.2 或 6.3 的适用要求进行焊缝扫查时，扫查灵敏度应比基准水平高。

6.25.6.1 扫查。检测角度和扫查工艺均应符合表 6.7 所示要求。

6.25.6.2 对接接头。应在焊缝轴线的每一面对所有对接接头焊缝进行检测。角接头焊缝基本上应仅从焊缝轴线的一面进行检测。所有焊缝均应采用适用的扫查方式或图 6.15 所示方式进行检测，以来探测所有纵向和横向不连续。如果切实可行，则最好使检测焊缝的声波在两相交方向上通过整个受检焊缝与 HAZ。

6.25.6.3 最大指示。当显示屏上出现不连续指示时，应对来自不连续的最大可达指示进行调节，以使指示器上产生一个可得到的最大波幅。这一调节应采用校准过的增益控制器(衰减器)进行，并且在计算检测报告所示的“额定指示，d”时，仪器的分贝值读数应被作为检测报告中的“基准指示，a”(附录 L 的表 L-11)。

6.25.6.4 衰减系数。应利用声程距离减去 1 in. [25 mm] 所得余项乘以用 2(如果采用美国惯用单位)或 0.08(如果采用 SI 单位)，以获得检测报告上的“衰减系数，c”。应将这一系数四舍五入至最近 dB 整数值。应将小于 1/2dB 的小数值减小到较低的 dB 整数值，应将等于或大于 1/2dB 的小数值增加到较高的 dB 整数值。

6.25.6.5 指示评定值。附录 L 的表 L-11 所示 UT 报告中的“额定指示，d”表示的是经衰减修正后评定值与基准值之间的分贝值代数差，表达如下：

仪器 dB 为增益状态:

$$a - b - c = d$$

仪器 dB 为衰减状态:

$$b - a - c = d$$

6.25.7 不连续的长度。应按 6.29.2 所述方法确定不连续的长度。

6.25.8 验收与拒收依据。应按表 6.2(如果是承受静荷载的结构)或表 6.3(如果是承受循环荷载的结构)要求依据不连续的指示评定值与长度来验收或拒收焊缝上的每个不连续。仅需在检测报告上记录不合格的不连续,但对于合同文件中被标明为“断裂临界”焊缝,则应将最小不合格额定值小 6 dB(包括 6 dB)的合格额定值应被记录在检测报告中。

6.25.9 不合格部位的标记。应直接在不连续的整个长度上作标记,以注明焊缝上每个不合格的不连续。应在附近的母材上注明不连续到表面的深度及指示评定值。

6.25.10 修补。应采用本规范 5.25 所允许的方法修补 UT 发现的不合格焊缝。修补过的区域应进行超声波复检,并将结果列在原表格(如有)或附加报告中。

6.25.11 复检报告。应在报告表的新一行内列出已修补区域的复检结果。如果采用原来的报告表,则应在指示编号上冠以前缀 R1, R2.....Rn。如果采用附加报告表,则应在报告编号上冠以前缀 R。

6.25.12 钢衬垫。带钢衬垫的 CJP 坡口焊缝的 UT 应采用可以辨别母材-衬垫界面导致的反射的 UT 工艺来进行(包含钢衬垫的坡口焊缝的附加扫查指导信息见条文说明 C6.25.12)。

6.26 报告的编制和处理

6.26.1 报告的内容。UT 操作工应在检测时填写一份清楚地阐明了检测工作的内容和部位的报告表。合格焊缝的报告表仅需包含足以识别焊缝、操作工(签名)和焊缝合格性的充足信息。此类报告表的示例见附录 L 的表 L-11。

6.26.2 先前的检验报告。在业主验收由承包商进行过 UT 的焊缝之前,应将所有与焊缝有关的报告表格(包括与修补前质量不合格焊缝有关的内容)提交给检验员。

6.26.3 完工报告。完工时应将承包商为业主所作的焊缝(包括修补前质量不合格的焊缝)UT 的整套完工报告提交给业主。承包商保留 UT 报告的义务应在下列情况下终止:

- (1) 已将整套报告提交给业主；或者
- (2) 承包商项目完工满一年，并且业主已事先接到书面通知。

6.27 采用 IIW 型或其他批准参考试块校准 UT 设备(附录 G)

见 6.22 及图 6.13、图 6.14 和图 6.16。

6.27.1 纵波模式

6.27.1.1 距离校准。替代方法见附录 G 的 G1。

- (1) 应将换能器置于 IIW 型试块的 G 位置。
- (2) 应调节仪器，以便在显示屏的 1 in.[公制试块为 25 mm]、2 in.[公制试块为 50 mm]、3 in.[公制试块为 75 mm]、4 in.[公制试块为 100 mm]等处产生指示。

6.27.1.2 波幅。替代方法见附录 G 的 G1.2。

- (1) 应将换能器置于 IIW 型试块的 G 位置。
- (2) 应调整增益，直至来自第一次底部反射的最大指示达到屏幕高度的 50%~75%。

6.27.1.3 分辨力

- (1) 应将换能器置于 IIW 型试块的 F 位置。
- (2) 换能器和仪器应能分辨出所有三个距离。

6.27.1.4 水平线性评定。评定方法应符合 6.23.1 要求。

6.27.1.5 增益控制器(衰减器)鉴定。鉴定方法应符合 6.23.2 要求，或者应采用符合 6.23.2 要求的替代方法。

6.27.2 剪切波模式(横波)

6.27.2.1 入射点。换能器声波进入点(入射点)的定位或检查应按如下方法进行：

- (1) 应将换能器置于 IIW 型试块的 D 位置。
- (2) 应移动换能器，直至来自圆弧面的信号被最大化。换能器上与校准块的半径线对准的点即为声波进入点(替代方法见附录 G 的 G2.1)。

6.27.2.2 角度。应采用下列其中一种方法来检查或确定换能器声程角度：

- (1) 角度为 40°~60°的应将换能器置于 IIW 型试块的 B 位置，角度为 60°~70°的应将换能器置于 IIW 型试块的 C 位置(见图 6.16)。
- (2) 如果是选定角度，则应在表示换能器角度的线上前后移动换能器，直至来自圆弧面的

信号被最大化。应将换能器上的声入射点与校准试块上的角度标记作比较(公差: $\pm 2^\circ$)。(替代方法见附录 G 的 G2.2。)

6.27.2.3 距离校准方法。应将换能器置于 IIW 型试块的 D 位置(任何角度), 然后调节仪器, 以便在 4 in. [公制试块为 100 mm]处得到第一个指示, 在 8 in. [公制试块为 200 mm]或 9 in. [公制试块为 225 mm] 处得到第二个指示(替代方法见附录 G 的 G2.3)。

6.27.2.4 波幅或灵敏度校准方法。应将换能器置于 IIW 型试块的 A 位置(任何角度), 然后调节来自 0.060 in.[1.59 mm]小孔的信号, 直至获得一个水平基准线的高度指示(替代方法见附录 G 的 G2.4)。所得最大分贝值读数应为符合 6.22.1 要求的检测报告表上的“基准值, b”的读数(见附录 L 的表格 L-11)。

6.27.2.5 分辨力

- (1) 应将换能器置于分辨力试块 RC 的 Q 位置(70° 角)、R 位置(60° 角)或 S 位置(45° 角)。
- (2) 换能器和仪器应能分辨出 3 个检测孔, 并且至少能够区分来自 3 个孔的指示峰值。

6.27.2.6 探头前沿距离。探头前缘与 IIW 试块边缘之间的最小容许距离应如下所述(见图 6.12):

对于 70° 换能器:

$X = 2 \text{ in. [50 mm]}$

对于 60° 换能器:

$X = 1\text{-}7/16 \text{ in. [37 mm]}$

对于 45° 换能器:

$X = 1 \text{ in. [25 mm]}$

6.28 设备鉴定方法

6.28.1 水平线性鉴定方法。注: 由于本鉴定方法是采用直射波探头进行的, 其产生的纵波声速几乎是切变波(横波)声速的 2 倍, 因此, 在采用这一方法时, 所用量程均需为横波距离量程的 2 倍。

示例: 如果采用剪切波时进行的是 10 in [250 mm]屏幕校准, 那么采用本鉴定方法时需要进行 20 in. [500 mm]屏幕校准。

仪器鉴定应按下列方法进行(替代方法见附录 G 的 G3):

- (1) 应按 6.21.6 要求将直射波束探头耦合于 IIW 型或 DS 试块的 G、T 或 U 位置(见图

6.16), 以便在所鉴定的量程内得到 5 个底面回波(见图 6.16)。

- (2) 应采用距离校准试块和零位延迟值将第 1 个和第 5 个底面回波调节至它们的适当位置。
- (3) 应采用增益或衰减控制器将每一回波指示调到基准水平, 以便进行水平位置检测。
- (4) 每一个中间的脉冲位置偏差均应在在屏幕宽度的 2%以内。

6.28.2 dB 精度

6.28.2.1 方法。注: 为了使指示高度的读数达到所需的精度($\pm 1\%$), 应在屏幕高度的中部以 2% 或 2.5%的间隔作垂直分度, 以使仪器具有数值化的波幅读数。这些刻度应落在屏幕高度的 60%~100%之间。可用带有刻度的透明纸来实现这一目的。如果将这一透明纸作为超声波仪器的固定组成部分, 则宜注意确保透明纸不会使正常的检测显示变得模糊不清。

- (1) 应按 6.21.6 要求将直射波探头耦合到图 6.14 所示 DS 试块的 T 位置(图 6.16)。
- (2) 应调节距离校准试块, 以使第一个 2 in. [50 mm]底面回波指示(以下简称指示)落在水平方向的屏中央;
- (3) 应调节增益或衰减控制器, 以使指示正好位于或略高于屏高的 40%。
- (4) 应向着 U 位置(见图 6.16)移动探头, 直至指示正好达到屏高的 40%。
- (5) 应采用校准过的增益或衰减控制器将波幅增加到 6dB。从理论上讲, 指示此时应正好达到屏高的 80%。
- (6) 应在鉴定报告(附录 L 的表 L-8)的“a”列和“b”列记录 dB 读数和第 5 步中的实际屏幕高度百分数。
- (7) 应继续向着 U 位置(见图 6.16)移动探头, 直至指示正好达到屏高的 40%。
- (8) 应重复步骤 5。
- (9) 应重复步骤 6, 但数据应记入附录 L 的表 L-8 的下一行。
- (10) 应依次重复步骤 7、步骤 8 和步骤 9, 直至达到增益控制器(衰减器)的全部量程(最小为 60dB);
- (11) 应将“a”列和“b”列的数据代入 6.28.2.2 的公式或 6.28.2.3 所述的列线图, 以计算修正的 dB 值;
- (12) 应将步骤 11 的 dB 修正值记入“c”列;
- (13) 应从“a”列值中扣除“c”列值并将所得差计入“d”列(其应被作为 dB 误差)。

注：这些数值可以是正值，也可以是负值。表 L-8、表 L-9 和表 L-10 的应用示例见附录 L。

(14) 应将数据列入表格，这些数据至少包括与表 L-8 差不多的内容。表 L-8 还给出了一个按指导步骤对一台设备进行评价的示例。

(15) 表 L-9 提供了一种评价(14)的数据的相对简单的方法。这种评价方法的说明见(16)~(18)。

(16) 在表 L-9 的 X、Y 坐标上绘制 dB 曲线，应将“c”列的 dB 数据(表 L-8)绘在纵坐标上，将“a”列的 dB 读数(表 L-8)绘在横坐标上。

(17) 曲线与一个高度差为 2dB 的矩形内接，该矩形所代表的最大长度就是设备符合本规范要求的 dB 量程范围。最小容许量程为 60 dB。

(18) 可使用不符合此最小量程要求的仪器，但需求出修正系数，并将其用于落在仪器合格线性范围外的不连续的评价，或者是设备合格垂直线性量程范围内进行的焊缝检测和不连续评价。

注：dB 误差值(“d”列)可被用作修正系数值。

6.28.2.2 分贝方程式。应采用下述方程式计算分贝值：

$$dB_2 - dB_1 = 20 \times \log \frac{\%_2}{\%_1}$$

$$dB_2 = 20 \times \log \frac{\%_2}{\%_1} + dB_1$$

当与附录 L 的表 L-8 有关时：

dB_1 = “a”列

dB_2 = “c”列

$\%_1$ = “b”列

$\%_2$ = 定义见表 L-8

6.28.2.3 附录 L。下列注释适用于附录 L 的表 L-10 中使用的列线图：

(1) a、b、c、d 和 e 列见附录 L 的鉴定表 L-8。

(2) A、B 和 C 刻度见附录 L 的表 L-10 的列线图。

(3) 应通过添加与仪器设定值对应的必要值来为刻度尺 C 上的零点加前缀, 即 0、10、20、30。

6.28.2.4 程序。下列程序适用于附录 L 的表 L-10 中使用的列线图:

- (1) 应延长 C 标尺上对应于“a”列分贝值读数的点和 A 标尺上对应于“b”列百分值的点之间的直线。
- (2) 步骤 1 的直线与支点线 B 交于某一点, 此交点应被作为第二根直线的支点;
- (3) 应从 A 标尺上平均百分数点开始作通过步骤 2 所得支点的直线并将其延长至 dB 标尺 C 上;
- (4) C 标尺上的交点即为“c”列用的 dB 修正值。

6.28.2.5 列线图。列线图的使用示例见附录 L 的表 L-10。

6.28.3 内部反射检验方法

- (1) 按 6.24.5 要求校准设备。
- (2) 在不改变任何其他设备调节装置的情况下从校准试块上移去探头。
- (3) 调节校准过的增益或衰减器, 以使灵敏度比基准水平高 20 dB。
- (4) 屏幕上超出 2 in. [12 mm] 声程以外及基准高度以上的区域应无任何指示。

6.29 不连续尺寸的评估程序

6.29.1 直射波(纵波)检测。层状不连续的尺寸并不总是容易确定, 特别是那些小于换能器尺寸的层状不连续。当不连续大于换能器时, 底面回波将完全消失, 这时采用波幅 6dB 下降法以换能器中心线确定不连续的边缘通常比较可靠。但如果要对小于换能器尺寸的反射体进行大致尺寸的评估, 则应采用按 6.24.4 要求校准过的设备从不连续的外侧开始向不连续区域移动换能器, 直至显示屏上开始形成指示。此时探头的前沿即为不连续的边缘。

6.29.2 斜射波束(剪切波)检测。应采用下述方法来确定 dB 额定值比 D 级指示更为严重的那些指示的长度。应测量指示额定波幅比适用不连续等级的额定值低 50% (6 dB) 之处的换能器中心线间的距离, 以确定此类指示的长度。应将这一长度记入检测报告的“不连续长度”项内。应根部不连续的波幅重复这一方法, 以确定 A 级、B 级和 C 级不连续的长度。

6.30 扫查方式(见图 6.16)

6.30.1 纵向不连续

6.30.1.1 扫查动作 A。转动角度 $\alpha = 10^\circ$ 。

6.30.1.2 扫查动作 B。扫查距离 b 应覆盖要检测的该焊缝的截面。

6.30.1.3 扫查动作 C。步进距离 c 应大致为换能器宽度的一半。

注：一种扫查方式中可同时包含扫查动作 A、B 和 C。

6.30.2 横向不连续

6.30.2.1 磨平的焊缝。当焊缝打磨齐平时应采用扫查方式 D。

6.30.2.2 未磨平的焊缝。焊缝余高未磨平时应采用扫查方式 E。最大扫查角度 $e = 15^\circ$ 。

注：扫查方式应覆盖整个焊缝截面。

6.30.3 ESW 或 EGW 焊缝(附加扫查方式)。应采用扫查方式 E，探头转动角度 e 在 $45^\circ \sim 60^\circ$ 之间。

注：扫查方式应覆盖整个焊缝截面。

6.31 dB 精度鉴定示例

附录 L 给出了作为 6.28.2 的典型应用情况的解决方案的表 L-8、格式 L-9 和格式 L-10 的使用示例。

G 部分：其他检查方法

6.32 一般要求

本部分包含了本规范第 6 节的 D 部分、E 部分或 F 部分或者是第 9 节的 F 部分(管材)未述及的 NDT 方法。G 部分提出的 NDT 方法，可以用来替代第 6 节的 D 部分、E 部分或 F 部分或者是第 9 节的 F 部分(管材)所阐述的方法，但工艺和人员的资格评定标准及验收准则应形成书面文件并获得工程师的批准。

6.33 辐射成像系统

可以使用不同于 RT 的电离辐射方法(比如包括实时成像系统的电子成像系统)来检查焊缝。这类通过观察监控设备进行的检查的灵敏度(当用作验收与拒收依据时)以及存储媒体的灵敏度不应低于 RT 的要求。

6.33.1 程序。书面程序应包含下列基本参数：

- (1) 设备标识信息, 包括制造商、品牌、型号和序列号;
- (2) 每一种参数组合的辐射和成像控制系统的设定值;
- (3) 焊缝厚度范围;
- (4) 焊接接头类型;
- (5) 扫查速度;
- (6) 辐射源至焊缝的距离;
- (7) 图像转换屏至焊缝的距离;
- (8) X 射线穿过焊缝的角度(与法线的夹角);
- (9) IQI 位置(射线源侧或成像屏侧);
- (10) 存储介质的类型(视频录像、静物摄影底片、电影摄影底片或其他可接受的介质);
- (11) 计算机增强(如有使用);
- (12) 辐射波束宽度;
- (13) 如与本规范不同, 则需附指示特性记录方式和验收准则。

6.33.2 IQI. 应采用 E 部分描述的线型 IQI。在进行静态检查时, 应按本节 E 部分或第 9 节 F 部分(管材)要求放置 IQI。进行动态检查时应按下列要求放置 IQI:

- (1) 在检测区两端各放置两个 IQI, 跟踪并作动态检验。
- (2) 在每一动态受检端放置一个 IQI, 并且确保进行动态检验时任何两个 IQI 之间的距离不得大于 10 ft. (3 m)。

6.34 高级超声系统

高级超声系统包括但不限于多探头系统、多通道系统、自动监测系统、衍射时差(TOFD)系统和相控阵系统。

6.34.1 程序。 书面程序应包含下列基本参数:

- (1) 设备标识信息, 包括制造商、品牌、型号和序列号;
- (2) 探头的类型, 包括尺寸、形状和角度(如果是相控阵系统)、每一探头的换能器元件的数目、波束角度、焦距、焦点尺寸和频率(MHz);
- (3) 此处所述每种参数组合的扫查控制设定值;
- (4) 采用工业标准件或工艺性试件对设备和探头进行设置和校准的方法;

- (5) 焊缝厚度范围;
- (6) 焊接接头类型;
- (7) 扫查速度;
- (8) 探头数目;
- (9) 扫查角度;
- (10) 扫查类型(A、B、C、其他);
- (11) 存储介质的类型(视频录像、静物摄影底片、电影摄影底片或其他可接受的介质);
- (12) 计算机增强(如有使用);
- (13) 计算机软件标识(如有使用);
- (14) 如与本规范不同, 则需附指示特性记录方式和验收准则。

6.35 附加要求

6.35.1 工艺鉴定。应通过对 NDT 方法(系统)和存储介质进行试验来进行工艺鉴定, 以建立并记录所有基本参数和条件。鉴定试验应包括确定可以达到规定最低灵敏度要求的每一种基本参数组合或参数范围。应将试验结果记录在生产检查中所用的存储介质上。工艺应获得具备 ASNT SNT-TC-1A III 级资格的人员的批准(见 6.35.2)。

6.35.2 人员资格鉴定。除了 6.14.6 的人员资格评定外, 还应按以下要求对检测人员进行评定:

(1) III 级—应有采用相同或类似设备和方法进行金属材料结构或管材焊缝检验方面的至少 6 个月的经验。

(2) I 级和 II 级—应由上述 III 级人员进行资格评定, 并且有采用相同或类似设备和方法进行金属材料结构或管材焊缝检验方面的至少 3 个月的经验。资格评定应包括书面考试和操作考试, 以证明人员具备使用生产检查用设备和工艺的能力。

6.35.3 图像增强。如果保持了所要求的最低灵敏度和表征缺陷的精度, 则可对记录的图像进行计算机增强, 以改善所记录图像的质量并获得附加信息。计算机增强的图像应清楚地注明已进行了增强, 并且应标上增强方法。

6.35.4 记录—射线成像检测。应在合格的存储介质上记录用于进行焊缝验收或拒收的检测记录。无论是用于进行焊缝验收还是焊缝拒收, 记录均应为动态记录或静态记录。存储的图像应附有至少提供了下列信息的书面记录:

- (1) 所检焊缝的标识和描述;
- (2) 所用方法;
- (3) 所用设备;
- (4) 存储介质内的焊缝位置;
- (5) 检测结果, 包括记录在存储介质中的不合格焊缝和修补焊缝及其部位的一览表。

表 6.1 目视检验的验收准则(见 6.9)

不连续的类型和检验的验收准则	承受静荷载的非管材连接	承受循环荷载的非管材连接								
(1) 禁止出现裂纹 任何裂纹均为不合格裂纹(不论其尺寸或部位)。	X	X								
(2) 焊缝/母材的熔合 焊缝的相邻焊缝之间以及焊缝和母材之间应完全熔合。	X	X								
(3) 弧坑横截面 所有弧坑均应填平, 以提供规定的焊缝尺寸, 断续角焊缝的端部落在有效长度外面的情况除外。	X	X								
(4) 焊缝剖面形状 焊缝剖面形状应符合 5.23 要求。	X	X								
(5) 检验的时间 所有钢焊缝的目视检验均应在焊缝冷却至环境温度之后立即开始。ASTM A514、A517 和 A709 级 HPS 100W [HPS 690W]钢的验收准则应以在焊接完成 48 h 后进行的目视检验结果为基础依据。	X	X								
(6) 焊缝尺寸不足 如果不采用下列数值(U)校正, 则任何连续焊缝内角焊缝的尺寸均可能小于规定公称尺寸(L): <table><tr><td>L, 规定的公称焊缝尺寸, in. [mm]</td><td>U, 在 L 基础上容许减小量, in. [mm]</td></tr><tr><td>≤ 3/16 [5]</td><td>≤ 1/16 [2]</td></tr><tr><td>1/4 [6]</td><td>≤ 3/32 [2.5]</td></tr><tr><td>≥ 5/16 [8]</td><td>≤ 1/8 [3].00</td></tr></table> 无论在何种情况下, 焊缝尺寸不足部分均不应超过焊缝长度的 10%。 对于大梁上的腹板-翼缘板焊缝, 梁两端等于翼缘板宽度两倍的长度范围内严禁出现焊缝尺寸不足。	L, 规定的公称焊缝尺寸, in. [mm]	U, 在 L 基础上容许减小量, in. [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3].00	X	X
L, 规定的公称焊缝尺寸, in. [mm]	U, 在 L 基础上容许减小量, in. [mm]									
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]									
1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]									
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3].00									
(7) 咬边 (A) 对于厚度小于 1 in. [25 mm]的材料, 咬边不应超过 1/32 in. [1 mm], 但下列情况除外: 如果在任何 12 in. [300 mm]长度范围内任何累积长度达到 2 in. [50 mm], 则咬边不应超过 1/16 in [2 mm]。对于厚度等于或大于 1 in. [25 mm]的材料, 任何长度焊缝的咬边均不应超过 1/16 in [2 mm]。	X									
(B) 在主管中, 当焊缝在任何设计荷载条件下都垂直于拉应力时, 咬边的深度不应超过 0.01 in. [0.25 mm]。在所有其他情况下, 咬边深度不应超过 1/32 in. [1 mm]。		X								
(8) 气孔 (A) 对接接头中垂直于计算拉应力方向的 CJP 坡口焊缝不应有可见管状气孔。对于其他任何坡口焊缝和角焊缝, 直径等于或大于 1/32 in. [1 mm]的可见管状气孔在焊缝任何 1 in.线性长度范围内不应超过 3/8 in. [10 mm], 在任何 12 in. [300 mm]长范围内不应超过 3/4 in. [20 mm]。	X									
(B) 角焊缝每 4 in.[100 mm]长焊缝中管状气孔的出现频率不应超过 1 个, 并且最大直径不应超过 3/32 in. [2.5 mm]。 例外情况: 对于连接加劲肋和腹板的角焊缝, 焊缝任何 1 in.线性长度范围内管状气孔的直径之和不应超过 3/8 in. [10 mm], 在任何 12 in. [300 mm]长范围内不应超过 3/4 in. [20 mm]。		X								
(C) 对接接头中垂直于计算拉应力方向的 CJP 坡口焊缝不应有可见管状气孔。对于其他任何坡口焊缝, 每 4 in.[100 mm]长焊缝中管状气孔的出现频率不应超过 1 个, 并且最大直径不应超过 3/32 in. [2.5 mm]。		X								

注: “X”表示连接类型的适用性; 阴影区域表示不适用。

表 6.2 UT 验收准则—拒收准则(承受静荷载的受压非管材连接和承受循环荷载的受压非管材连接)(见 6.13.1、6.13.2(2)和 C-6.25.6)

不连续严重等级	焊缝尺寸 ^a (单位: in. [mm])和探头角度										
	5/16 ~3/4 [8~20]	>3/4 ~1½ [20~38]	> 1½~2½ [38~65]			> 2½~4 [65~100]			> 4~8 [100~200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
A 级	≤+5	≤+2	≤-2	≤+1	≤+3	≤-5	≤-2	≤0	≤-7	≤-4	≤-1
B 级	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
C 级	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2~ +2	+1 +2	+3 +4	-4~ +2	-1~ +2	+2 +3
D 级	≥+8	≥+5	≥+3	≥+6	≥+8	≥+3	≥+3	≥+5	≥+3	≥+3	≥+4

^a 对接接头的焊缝尺寸应为所连接的两个零件中较薄者的公称厚度。

注:

1. B 级和 C 级不连续的最小间距应为 2L(L 为较大不连续的长度), 但: 当两个或更多个此类不连续的最小间距不是 2L, 但这些不连续的联合长度与它们之间间距的总和等于或小于 B 级或 C 级规定的不连续最大允许长度时, 这种不连续应被视为单个的合格不连续。
2. B 级和 C 级不连续距离承受主要拉应力的焊缝端部的距离不应小于 2L(L 为较大不连续的长度)。
3. 如果 CJP 双面坡口焊缝在图纸上被注明为“受拉焊缝”时, 则该双面坡口焊缝钝边区域中以“扫查水平”探查出的不连续应采用比 6.25.6.5 所述值高 4dB 的指示评定值来作判断(从指示评定值“d”中减去 4dB)。如果为了清除钝边而将焊缝接头背面清根至露出完好金属, 并且采用 MT 来验证钝边清除情况, 则这一要求不适用。
4. ESW 或 EGW: 当以“扫查水平”探查到的不连续的长度超过 2 in. [50 mm]时, 应怀疑这种不连续为管状气孔并进一步用射线检测进行判断。
5. 对于当探头移动时仍留在显示屏上的指示, 参见 6.13.1。

A 级(大不连续) 应拒收此类别中的任何指示(不考虑长度如何)。 B 级(中等不连续) 应拒收此类别中长度大于 3/4 in. [20 mm]的任何指示。 C 级(小不连续) 应拒收此类别中长度大于 2 in. [50 mm]的任何指示。 D 级(细小不连续) 应验收此类别中的任何指示(不考虑其在焊缝中的部位或长度)。	扫查水平	
	声程 ^b , 单位: in.[mm]	零基准线以上, dB
	≤2-1/2 [65 mm]	14
	> 2-1/2~5 [65~125 mm]	19
	> 5~10 [125~250 mm]	29
	> 10~15 [250~380 mm]	39

^b 此栏是指声程距离, 而非材料厚度。

表 6.3 UT 验收-拒收准则(承受循环荷载的受压非管材连接)

(见 6.13.2 和 C-6.25.6)

不连续严重等级	焊缝尺寸 ^a (单位: in. [mm])和探头角度										
	5/16 ~3/4 [8~20]	>3/4 ~1½ [20~38]	> 1½~2½ [38~65]			> 2½~4 [65~100]			> 4~8 [100~200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
A 级	≤+10	≤+8	≤+4	≤+7	≤+9	≤+1	≤+4	≤+6	≤-2	≤+1	≤+3
B 级	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5
C 级	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7
D 级	≥+13	≥+11	≥+9	≥+12	≥+14	≥+6	≥+9	≥+11	≥+3	≥+6	≥+8

^a 对接接头的焊缝尺寸应为所连接的两个零件中较薄者的公称厚度。

注:

1. B 级和 C 级不连续的最小间距应为 2L(L 为较大不连续的长度), 但: 当两个或更多个此类不连续的最小间距不是 2L, 但这些不连续的联合长度与它们之间间距的总和等于或小于 B 级或 C 级规定的不连续最大允许长度时, 这种不连续应被视为单个的合格不连续。

2. B 级和 C 级不连续距离承受主要拉应力的焊缝端部的距离不应小于 2L(L 为较大不连续的长度)。

3. 如果 CJP 双面坡口焊缝在图纸上被注明为“受拉焊缝”时, 则该双面坡口焊缝钝边区域中以“扫查水平”探查出的不连续应采用比 6.25.6.5 所述值高 4dB 的指示评定值来作判断(从指示评定值“d”中减去 4dB)。如果为了清除钝边而将焊缝接头背面清根至露出完好金属, 并且采用 MT 来验证钝边清除情况, 则这一要求不适用。

4. 对于当探头移动时仍留在显示屏上的指示, 参见 6.13.2.1。

A 级(大不连续)
应拒收此类别中的任何指示(不考虑长度如何)。
B 级(中等不连续)
应拒收此类别中长度大于 3/4 in. [20 mm]的任何指示。
C 级(小不连续)
应拒收此类别中长度大于 2 in. [50 mm]的任何指示。
D 级(细小不连续)
应验收此类别中的任何指示(不考虑其在焊缝中的部位或长度)。

扫查水平	
声程 ^b , 单位: in.[mm]	零基准线以上, dB
≤2-1/2 [65 mm]	20
> 2-1/2~5 [65~125 mm]	25
> 5~10 [125~250 mm]	35
> 10~15 [250~380 mm]	45

^b 此栏是指声程距离, 而非材料厚度。

表 6.4 孔型 IQI 要求(见 6.17.1)

材料公称厚度范围, 单位: in.	材料公称厚度范围, 单位: mm	射线源侧	
		代号	主孔
≤0.25	≤6	10	4T
>0.25~0.375	>6~10	12	4T
>0.375~0.50	>10~12	15	4T
>0.50~0.625	>12~16	15	4T
>0.625~0.75	>16~20	17	4T
>0.75~0.875	>20~22	20	4T
>0.875~1.00	>22~25	20	4T
>1.00~1.25	>25~32	25	4T
>1.25~1.50	>32~38	30	2T
>1.50~2.00	>38~50	35	2T
>2.00~2.50	>50~65	40	2T
>2.50~3.00	>65~75	45	2T
>3.00~4.00	>75~100	50	2T
>4.00~6.00	>100~150	60	2T
>6.00~8.00	>150~200	80	2T

表 6.5 线型 IQI 要求(见 6.17.1)

材料公称厚度范围, 单位: in.	材料公称厚度范围, 单位: mm	射线源侧最大线直径	
		in.	mm
≤0.25	≤6	0.010	0.25
>0.25~0.375	>6~10	0.013	0.33
>0.375~0.625	>10~16	0.016	0.41
>0.625~0.75	>16~20	0.020	0.51
>0.75~1.50	>20~38	0.025	0.63
>1.50~2.00	>38~50	0.032	0.81
>2.00~2.50	>50~65	0.040	1.02
>2.50~4.00	>65~100	0.050	1.27
>4.00~6.00	>100~150	0.063	1.60
>6.00~8.00	>150~200	0.100	2.54

表 6.6 IQI 的选择和放置(见 6.17.7)

IQI 类型	等厚 $T \geq 10$ in.		等厚 $T < 10$ in.		不等厚 $T \geq 10$ in.		不等厚 $T < 10$ in.	
	[250 mm] L		[250 mm] L		[250 mm] L		[250 mm] L	
	孔型	线型	孔型	线型	孔型	线型	孔型	线型
IQI 的数量								
非管材连接	2	2	1	1	3	2	2	1
ASTM 标准选用—	E1025	E747	E1025	E747	E1025	E747	E1025	E747
表	6.4	6.5	6.4	6.5	6.4	6.5	6.4	6.5
图	6.6		6.7		6.8		6.9	

T = 母材公称厚度(图上的 T1 和 T2)。

L = 每一个射线照相部位内的焊缝长度。

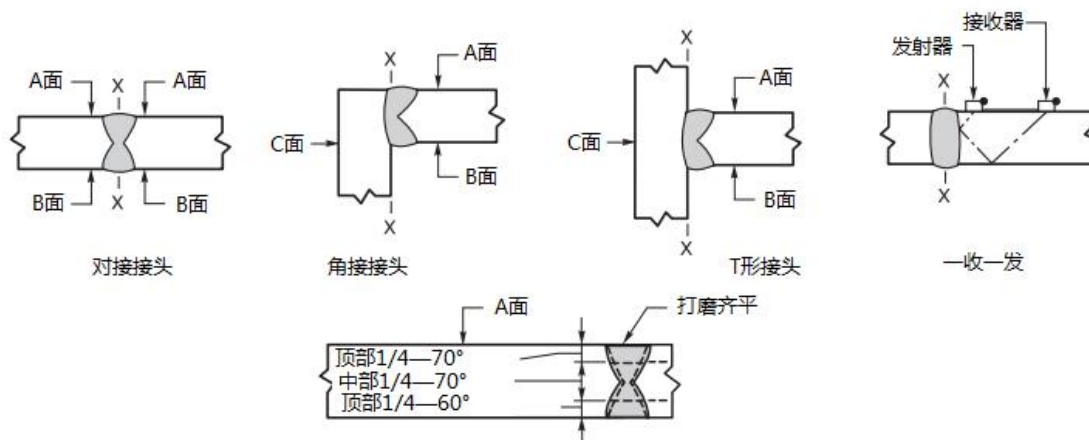
注：如果按 6.17.3.3 要求在孔型像质计下使用补偿片，则可增大 T 值，以补偿容许焊缝余高的厚度。

表 6.7 检测角度(见 6.25.5.2)

工艺流程图

材料厚度, in. [mm]

应用 对象	5/16 [8] ~1½ [38]		> 1½[38] ~1-3/4 [45]		> 1-3/4 [45] ~2½[65]		> 2½[65] ~3½[90]		> 3½ [90] ~4½ [110]		> 4½[110] ~5 [130]		> 5 [130] ~6½ [160]		> 6½[160] ~7 [180]		>7 [180] ~8 [200]	
	*		*		*		*		*		*		*		*		*	
对接 接头	1	O	1	F	1G 或 4	F	1G 或 5	F	6 或 7	F	8 或 10	F	9 或 11	F	12 或 13	F	12	F
T 形 接头	1	O	1	F 或 XF	4	F 或 XF	5	F 或 XF	7	F 或 XF	10	F 或 XF	11	F 或 XF	13	F 或 XF	—	—
角接 接头	1	O	1	F 或 XF	1G 或 4	F 或 XF	1G 或 5	F 或 XF	6 或 7	F 或 XF	8 或 10	F 或 XF	9 或 11	F 或 XF	13 或 14	F 或 XF	—	—
ESW/EGW 焊缝	1	O	1	O	1G 或 4	1**	1G 或 3	P1 或 P3	6 或 7	P3	11 或 15	P3	11 或 15	P3	11 或 15	P3	11 或 15**	P3



注:

1. 如果本表没有另作规定，则应尽可能采用一次波法从 A 面进行所有检测。
2. 对于带有合同没有要求清除的衬垫的单面坡口焊接接头焊缝的根部区域，应尽可能采用一次波法从 A 面(即为衬垫所在面的对面)进行检测。(为了彻底扫查焊缝根部，可能需要打磨焊缝面或从另外的焊缝面进行检测。)
3. 只有为了符合本表规定，或者需要检测表面未经打磨的不可达焊缝，或者受到焊件其他部分的干扰，或者为满足 6.25.6.2 要求时才应采用二次或三次波法进行检测。
4. 只可在因厚度或几何形状而妨碍了用一次波法或二次波法对全部焊缝区域和 HAZ 进行扫查时才应使用三次波法。
5. 对于承受循环荷载结构中的受拉焊缝，应采用从 B 面向 A 面传播的波束检测厚度顶部 1/4 之处，并且采用从 A 面向 B 面传播的波束检测厚度底部 1/4 之处；也就是说，如果合同文件未作其他规定，则承包商可选择采用二次波法从 A 面检测厚度顶部 1/4 之处，或者采用一次波法从 B 面检测厚度顶部 1/4 之处。
6. 采用 1G、 6、 8、 9、 12、 14 或 15 的程序之前，应将指定焊缝面打磨齐平。两连接构件的 A 面应在同一平面上。

(图表符号见下页)

表 6.7(续) 检测角度(见 6.25.5.2)

图表符号:

X—从 C 面检测。

G—焊缝面打磨齐平。

O—无要求。

*—当采用选择表的第一栏的基本方法以扫查灵敏度进行探测时, 如果仅在焊缝金属和母材界面处发现有由不连续产生的达到基准高度的指示, 则可作此项检测。

**—用 15 in. [400 mm]或 20 in. [500 mm]屏幕距离校准。

P—只有对材料厚度中间 1/2 处的不连续作进一步评估时才应采用一收一发法, 这种情况下仅可以使用相同规格的 45°或 70°换能器, 并且换能器应面向焊缝。(为控制定位, 换能器必须置于夹具中—见示意图)。通常应通过校准一个探头来进行一收一发法的波幅校准。当接通双探头作一收一发检测时, 宜确保这种校准不会因为仪器参数变化而变化。

F—应采用 70°、60°或 45°换能器(选用声程最接近垂直于有疑问的熔合面的角度)对焊缝金属-母材界面上的指示作进一步评估。

A 面—材料上进行初始扫查的面(T 形和角接接头见上图)。

B 面—相同板材上 A 面的相反面。

C 面—连接构件或者 T 形或角接接头焊缝上的相反面。

工艺图表符号

焊缝厚度区域

编号	顶部 1/4	中间 1/2	底部 1/4
1	70°	70°	70°
2	60°	60°	60°
3	45°	45°	45°
4	60°	70°	70°
5	45°	70°	70°
6	70° G(A 面)	70°	60°
7	60° (B 面)	70°	60°
8	70° G(A 面)	60°	60°
9	70° G(A 面)	60°	45°
10	60° (B 面)	60°	60°
11	45° (B 面)	70°**	45°
12	70° G(A 面)	45°	70° G (B 面)
13	45° (B 面)	45°	45°
14	70° G(A 面)	45°	45°
15	70° G(A 面)	70° A (B 面)	70° G (B 面)

表 6.8 UT 设备鉴定和校准要求(见 6.21.1)

		鉴定或校准活动的类型		最低频率	
		描述	规范条款	最低频率	规范条款
设备鉴定方法	仪器	水平线性	6.28.1	2 个月	6.23.1
		增益控制/dB 精度	6.28.2	2 个月	6.23.2
	探头	内部反射	6.28.3	使用 40 h 后 ^a	6.23.3
		斜射波探头(入射点，角度)	6.27.2.1	使用 8 h 后 ^a	6.23.4
			6.27.2.2		
	仪器/探头组合	分辨力(斜射波)	6.22.3 6.27.2.5	初次使用前 ^b	6.22.3
分辨力(直射波)		6.27.1.3	初次使用前 ^b	6.22.3	
为检测进行的校准	直射波(母材检测用)	范围	6.24.4.1 或 6.27.1.1	检测马上开始之前及在第一条受检焊缝所在部位检测时 ^c	6.24.2
		灵敏度	6.24.4.2 或 6.27.1.2		
	斜射波	范围	6.24.4.1 或 6.27.1.1		
		灵敏度	6.24.4.2 或 6.27.1.2		
		范围	6.24.5.1 6.27.2.3		
			6.24.5.2 6.27.2.4		
		入射点	6.27.2.1		
		角度	6.27.2.2		
	直射波和斜射波	重新校准	6.24.3	2 h ^d	6.24.3

^a 每个探头均必须执行。

^b 每个探头(换能器和探靴)和仪器组合在初次使用前均必须执行。

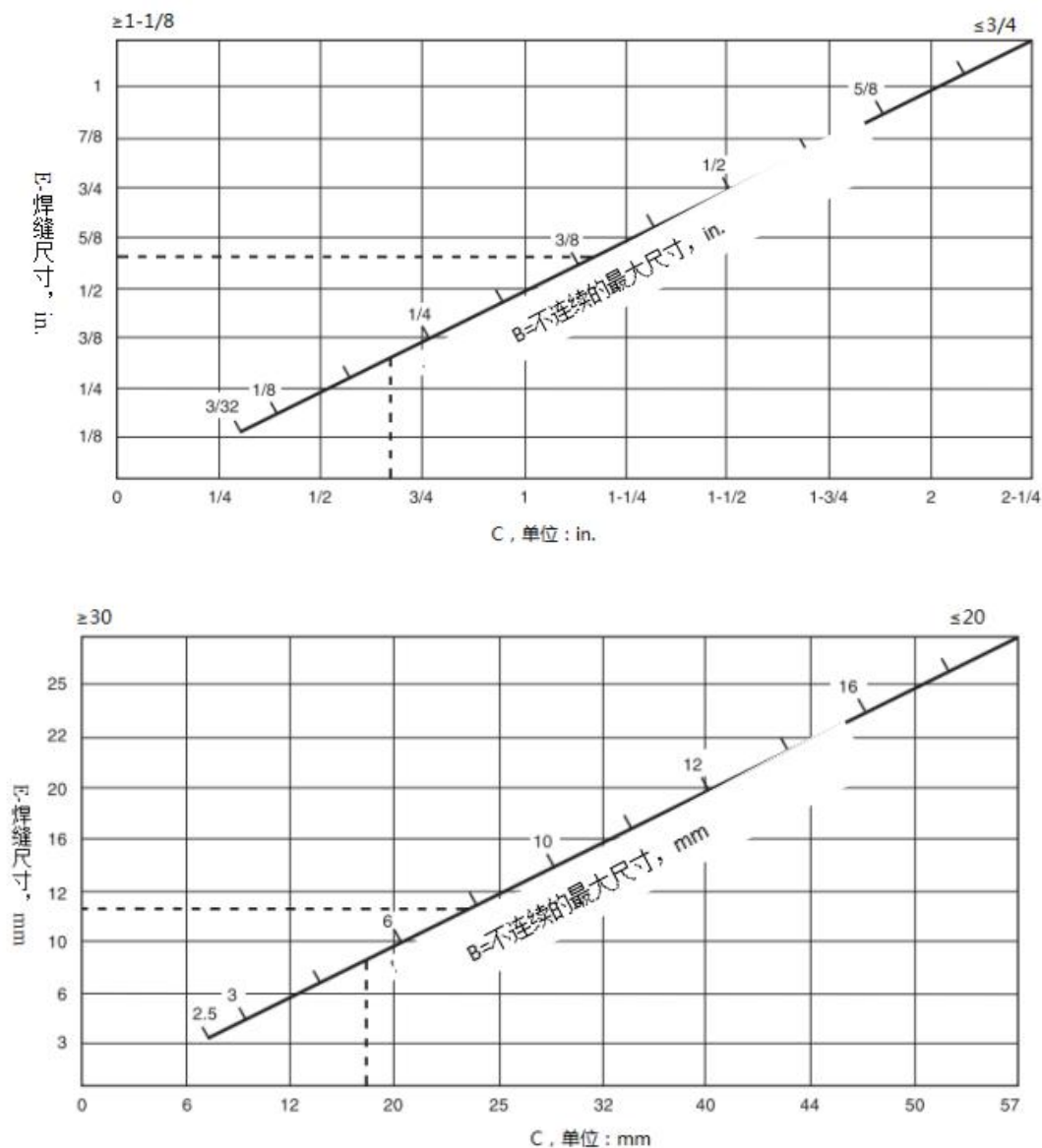
^c 如果满足了 6.24.2 要求, 则 6.24.3 的重新校准要求适用。

^d 或者当仪器电路有下述任何一种形式的干扰时:

- (1) 更换换能器
- (2) 更换电池
- (3) 更换电插座
- (4) 更换同轴电缆
- (5) 电源中断(出故障)

图 6.1、图 6.2 和图 6.3 的图表符号

不连续的尺寸	不连续的定义
B = 射线检测到的不连续的最大容许尺寸。 L = 射线检测到的不连续的最大尺寸。 L' = 相邻不连续的最大尺寸。 C = 沿着焊缝纵轴测得的气孔边缘或熔合型不连续(以相邻不连续中的较大不连续为准)到相交焊缝的边缘或端部的最小间距。 C₁ = 从平行于焊缝纵轴的方向测得的最近不连续到板材或管材自由边或者是纵向焊缝与环形焊缝的最小容许距离。 W = 相邻不连续的最小尺寸。	• 条状不连续的最大尺寸(L)应超过其最小尺寸的 3 倍。 • 圆形不连续的最大尺寸(L)应等于或小于其最小尺寸的 3 倍。 • 串状不连续应指一组不成一行、尺寸可接受的单个相邻不连续，其间距小于最大单个相邻不连续(L')的最小容许间距(C)，但每串中所有不连续的最大尺寸(L)之和小于或等于最大容许单个不连续尺寸(B)。在评估最小间距时，此类串状不连续应被视为是尺寸为 L 的单个不连续。 • 成一行的不连续应为每个不连续的主轴都基本在一条线上的不连续。
材料尺寸	
E = 焊缝尺寸	
T = CJP 坡口焊缝的板材或管材厚度	



注:

1. 从 E 作水平投影至 B, 以确定任何尺寸的接头或焊缝的不连续的最大容许尺寸。
2. 从 B 作垂直投影至 C, 以确定任何大于或等于 3/32 in. [2.5 mm] 的两个不连续的边缘之间的最小容许间距。
3. 图表符号的定义见第 217 页。

图 6.1—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接的不连续验收准则
(管材的要求见 6.12.1 和 9.26.2)

图 6.1 情况 I、II、III 和 IV 的图注

不连续 A=焊缝 A 中的圆形不连续或条状不连续

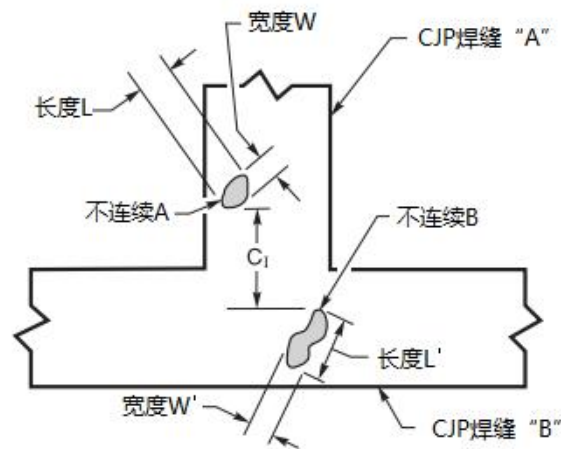
不连续 B=焊缝 B 中的圆形不连续或条状不连续

L 和 W=分别是指不连续 A 的最大尺寸和最小尺寸

L'和 W'=分别是指不连续 B 的最大尺寸和最小尺寸

E=焊缝尺寸

C₁=从平行于焊缝 A 轴的方向测得的彼此最靠近的不连续边缘之间的最短距离。

情况 I 不连续的限制^a

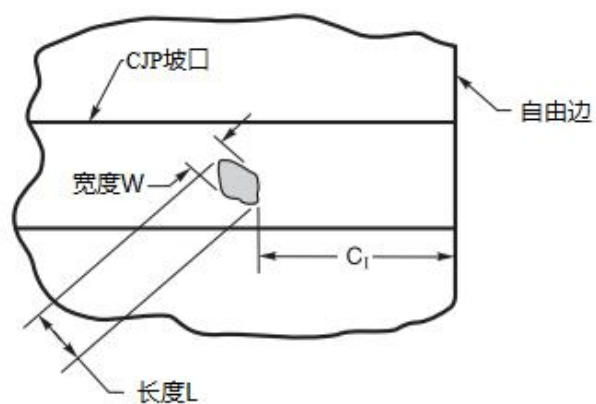
不连续的尺寸	限制	条件
L	$< E/3, \leq 1/4 \text{ in.} [6 \text{ mm}]$	$E \leq 2 \text{ in.} [50 \text{ mm}]$
	$\leq 3/8 \text{ in.} [10 \text{ mm}]$	$E > 2 \text{ in.} [50 \text{ mm}]$
C ₁	$\geq 3L$	(A) 一个是圆形不连续, 另外一个圆形不连续或条状不连续。 ^a (B) $L \geq 3/32 \text{ in.} [2.5 \text{ mm}]$

^a 条状不连续可能位于焊缝“A”或者焊缝“B”里面。这里的条状焊缝位于焊缝“B”里面。

情况 I—焊缝交会处的不连续

图 6.1(续)—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接的不连续验收准则

(管材的要求见 6.12.1 和 9.26.2)

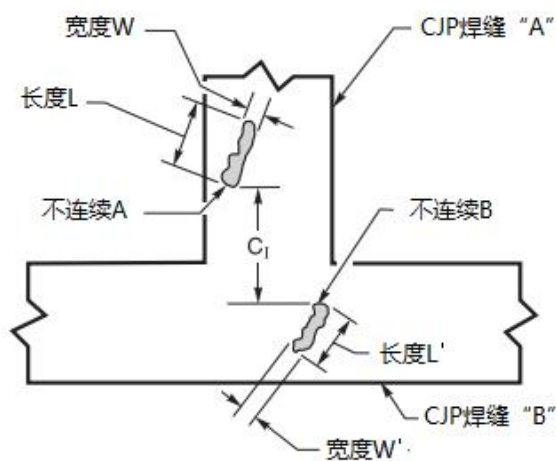


情况 II 不连续的限制

不连续的尺寸	限制	条件
L	$< E/3, \leq 1/4 \text{ in.} [6 \text{ mm}]$	$E \leq 2 \text{ in.} [50 \text{ mm}]$
	$\leq 3/8 \text{ in.} [10 \text{ mm}]$	$E > 2 \text{ in.} [50 \text{ mm}]$
C_1	$\geq 3L$	$L \geq 3/32 \text{ in.} [2.5 \text{ mm}]$

情况 II—CJP 坡口焊缝自由边处的不连续

图 6.1(续)—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接的不连续验收准则
(管材的要求见 6.12.1 和 9.26.2)

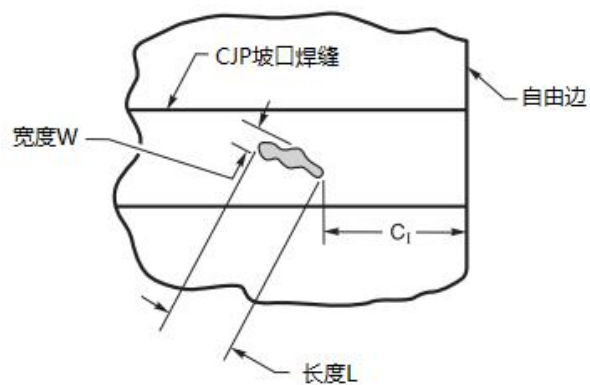


情况 III 不连续的限制

不连续的尺寸	限制	条件
L	$\leq 2E/3$	$L/W > 3W$
C_1	$\geq 3L$ 或 $2E$, 两者之中取较大值	$L \geq 3/32 \text{ in.} [2.5 \text{ mm}]$

情况 III—焊缝交会处的不连续

图 6.1(续)—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接的不连续验收准则
(管材的要求见 6.12.1 和 9.26.2)



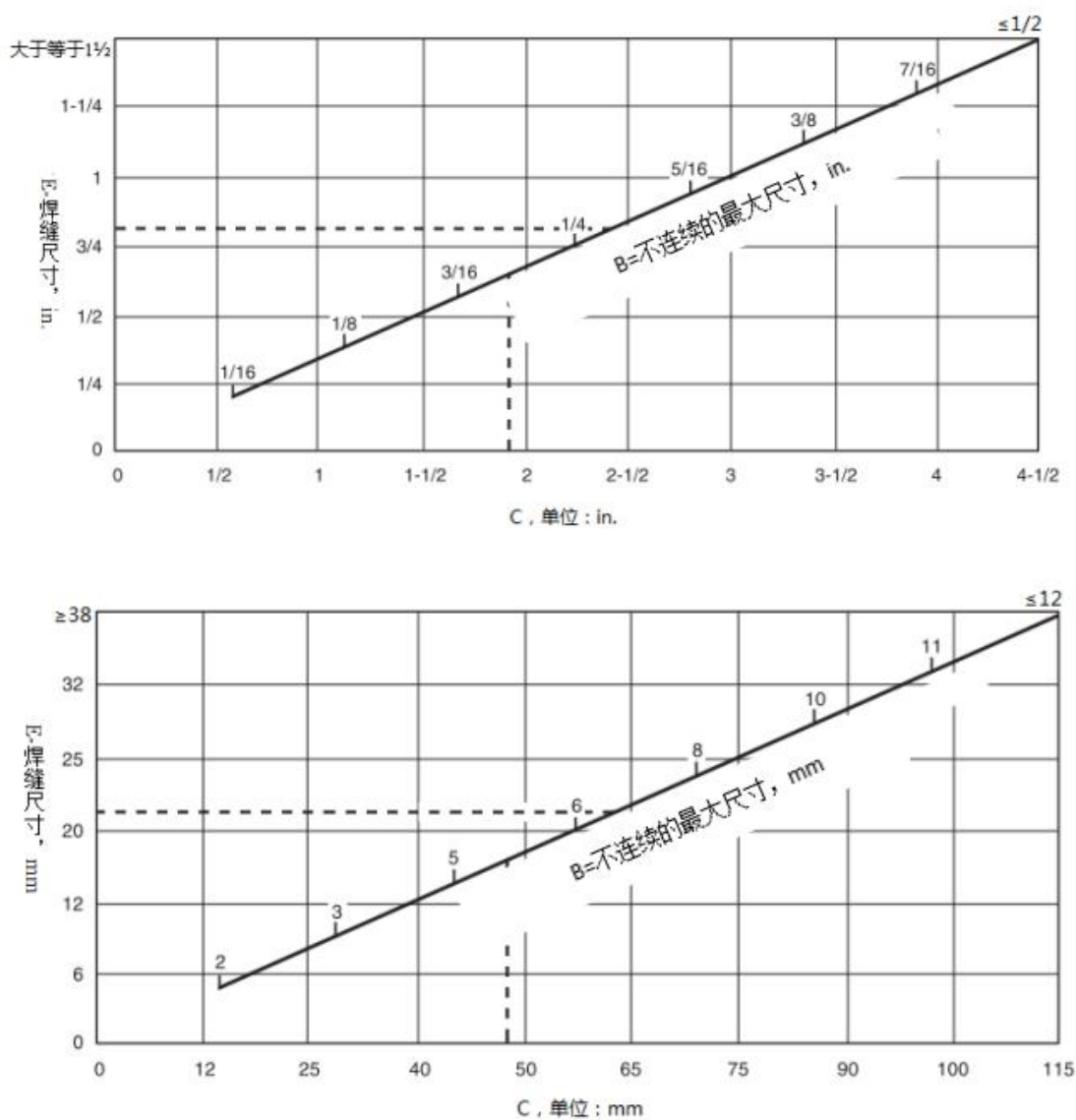
情况 IV 不连续的限制

不连续的尺寸	限制	条件
L	$\leq 2E/3$	$L/W > 3$
C_1	$\geq 3L$ 或 $2E$, 两者之中取较大值	$L \geq 3/32 \text{ in.} [2.5 \text{ mm}]$

情况 IV—CJP 坡口焊缝自由边处的不连续

图 6.1(续)—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接的不连续验收准则

(管材的要求见 6.12.1 和 9.26.2)



注:

1. 从 E 作水平投影至 B, 以确定任何尺寸的接头或焊缝的不连续的最大容许尺寸。
2. 从 B 作垂直投影至 C, 以确定任何尺寸的不连续的边缘之间的最小容许间距。
3. 图表符号的定义见第 217 页。

图 6.2—承受循环荷载的受拉非管材连接的不连续验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)
(见 6.12.2.1)

图 6.2 情况 I、II、III 和 IV 的图注

不连续 A=焊缝 A 中的圆形不连续或条状不连续

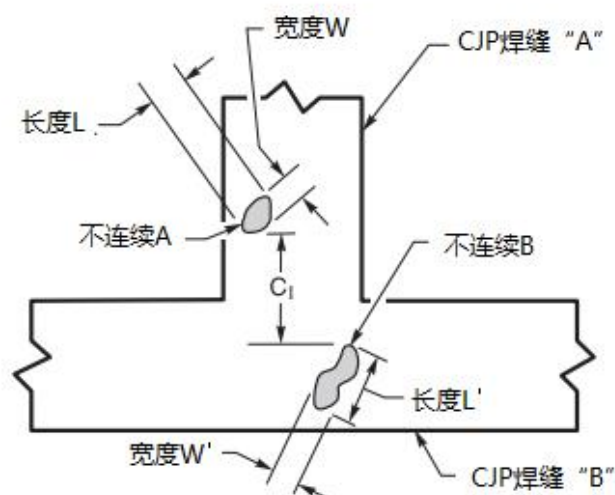
不连续 B=焊缝 B 中的圆形不连续或条状不连续

L 和 W=分别是指不连续 A 的最大尺寸和最小尺寸

L'和 W'=分别是指不连续 B 的最大尺寸和最小尺寸

E=焊缝尺寸

C₁=从平行于焊缝 A 轴的方向测得的彼此最靠近的不连续边缘之间的最短距离。

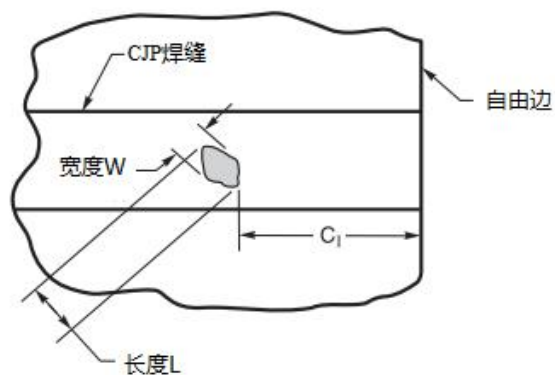
情况 I 不连续的限制^a

不连续的尺寸	限制	条件
L	见图 6.2(尺寸 B)	$L \geq 1/16 \text{ in.} [2 \text{ mm}]$
C ₁	见图 6.2(尺寸 C)	—

^a 条状不连续可能位于焊缝“A”或者焊缝“B”里面。这里的条状焊缝位于焊缝“B”里面。

情况 I—焊缝交会处的不连续

图 6.2(续)—承受循环荷载的受拉非管材连接的不连续验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)(见 6.12.2.1)

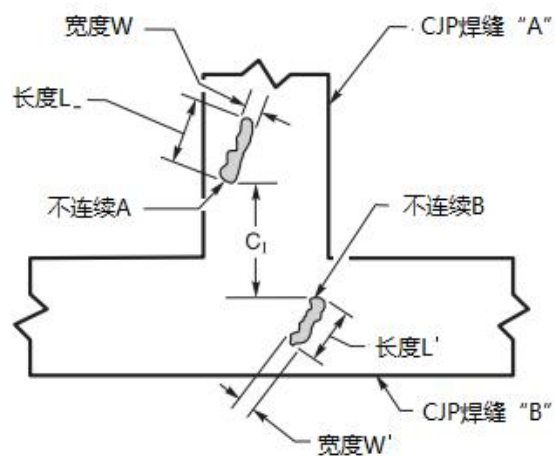


情况 II 不连续的限制

不连续的尺寸	限制	条件
L	见图 6.2(尺寸 B)	$L \geq 1/16 \text{ in.} [2 \text{ mm}]$
C_1	见图 6.2(尺寸 C)	—

情况 II—CJP 坡口焊缝自由边处的不连续

图 6.2(续)—承受循环荷载的受拉非管材连接的不连续验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)(见 6.12.2.1)

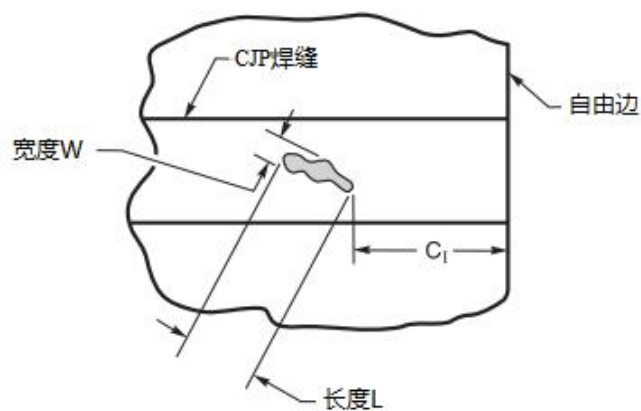


情况 III 不连续的限制

不连续的尺寸	限制	条件
L	见图 6.2(尺寸 B)	$L \geq 1/16 \text{ in.} [2 \text{ mm}]$
C_1	见图 6.2(尺寸 C)	—

情况 III—焊缝交会处的不连续

图 6.2(续)—承受循环荷载的受拉非管材连接的不连续验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)(见 6.12.2.1)

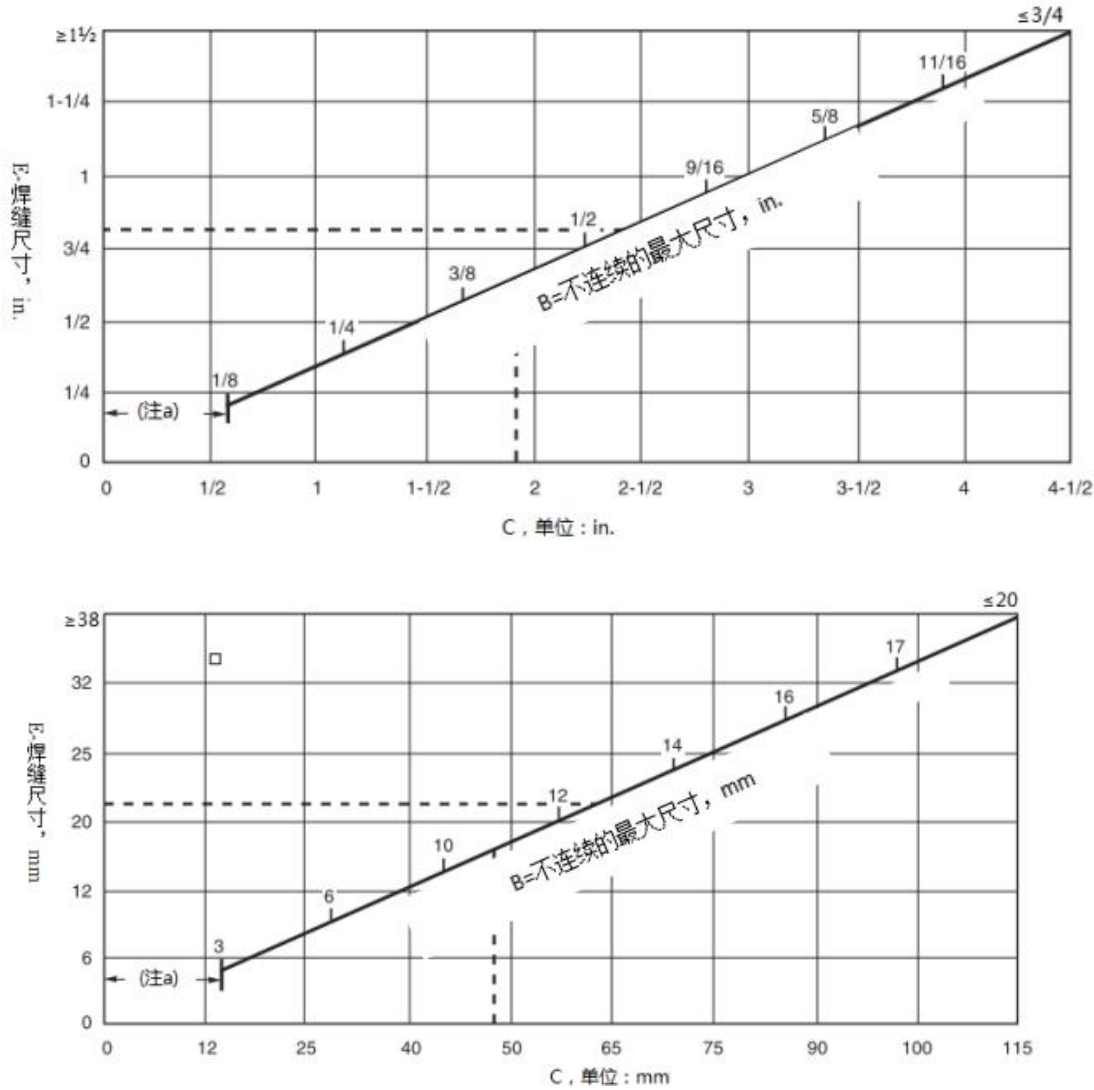


情况 IV 不连续的限制

不连续的尺寸	限制	条件
L	见图 6.2(尺寸 B)	$L \geq 1/16 \text{ in.} [2 \text{ mm}]$
C ₁	见图 6.2(尺寸 C)	—

情况 IV—CJP 坡口焊缝自由边处的不连续

图 6.2(续)—承受循环荷载的受拉非管材连接的不连续验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)(见 6.12.2.1)



^a 位于从板材边缘到此处距离范围内的不连续的最大尺寸应为 1/8 in.[3 mm]，但 1/8 in.[3 mm] 的不连续到板材边缘的距离应至少为 1/4 in.[6 mm]。位于从板材边缘到此处距离范围内尺寸小于 1/8 in.[3 mm] 的不连续之和不应超过 3/16 in.[5 mm]。不应限制其他部位尺寸在 1/16 in.[2 mm]~1/8 in.[3 mm] 之间的不连续，它们之间的间距小于 2L(L 为较大不连续的长度)的情况除外；在这种情况下，应将不连续作为长度等于不连续长度与间距总和的不连续来测量，并且应按本图要求作判断。

注：

1. 从 E 作水平投影至 B，以确定任何尺寸的接头或焊缝的不连续的最大容许尺寸。
2. 从 B 作垂直投影至 C，以确定任何尺寸的不连续的边缘之间的最小容许间距。
3. 图表符号的定义见第 217 页。

图 6.3—承受循环荷载的受压非管材连接的不验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)

(见 6.12.2.2)

图 6.3 情况 I、II、III、IV 和 V 的图注

不连续 A=焊缝 A 中的圆形不连续或条状不连续

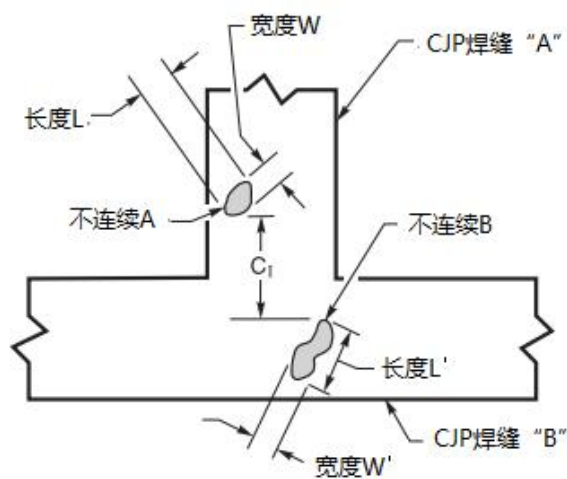
不连续 B=焊缝 B 中的圆形不连续或条状不连续

L 和 W=分别是指不连续 A 的最大尺寸和最小尺寸

L'和 W'=分别是指不连续 B 的最大尺寸和最小尺寸

E=焊缝尺寸

C₁=从平行于焊缝 A 轴的方向测得的彼此最靠近的不连续边缘之间的最短距离。

情况 I 不连续的限制^a

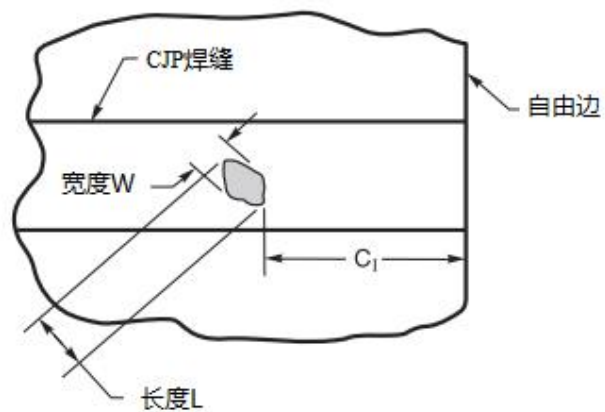
不连续的尺寸	限制	条件
L	见图 6.3(尺寸 B)	$L \geq 1/8 \text{ in.} [3 \text{ mm}]$
C ₁	见图 6.3(尺寸 C)	$C_1 \geq 2L \text{ 或 } 2L'$, 两者之中取较大值

^a 条状不连续可能位于焊缝“A”或者焊缝“B”里面。这里的条状焊缝位于焊缝“B”里面。

情况 I—焊缝交会处的不连续

图 6.3(续)—承受循环荷载的受压非管材连接的不验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)

(见 6.12.2.2)



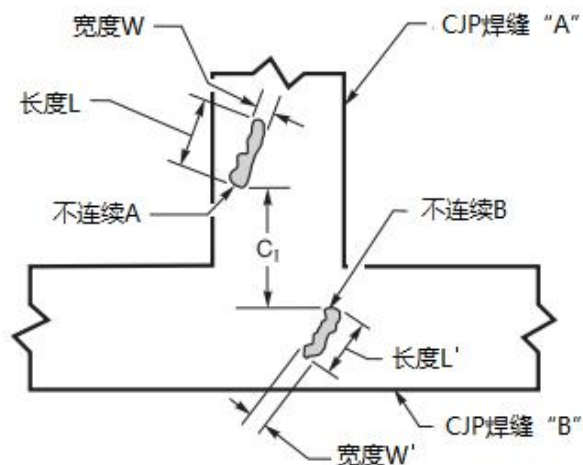
情况 II 不连续的限制

不连续的尺寸	限制	条件
L	见图 6.3(尺寸 B)	$L \geq 1/8 \text{ in.} [3 \text{ mm}]$
C_1	见图 6.3(尺寸 C)	$C_1 \geq 5/8 \text{ in.} [16 \text{ mm}]$

情况 II—CJP 坡口焊缝自由边处的不连续

图 6.3(续)—承受循环荷载的受压非管材连接的不验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)

(见 6.12.2.2)



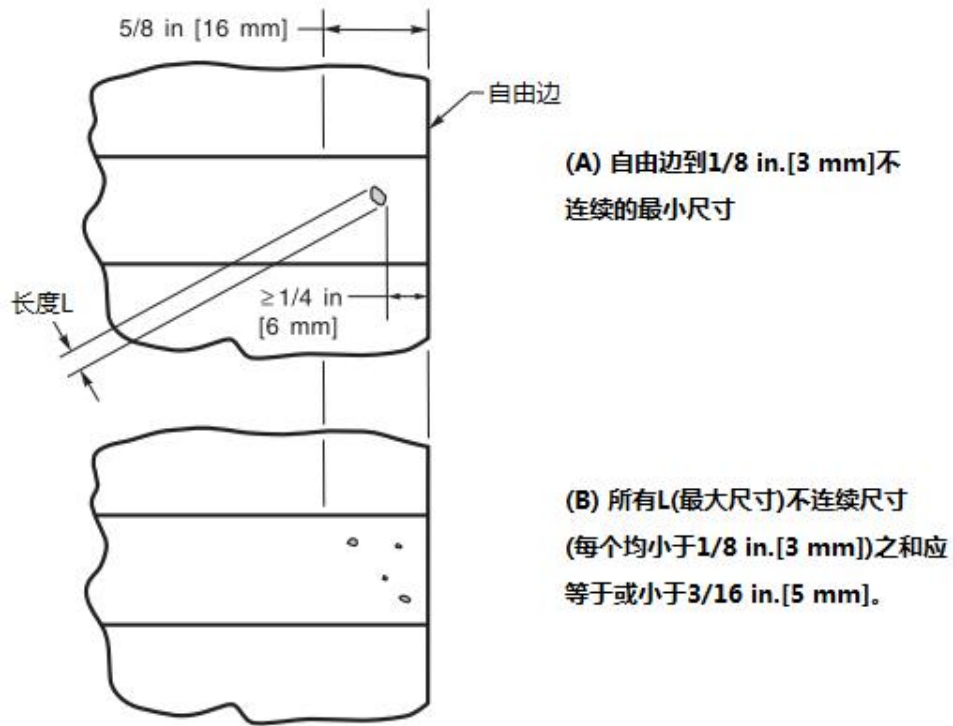
情况 III 不连续的限制

不连续的尺寸	限制	条件
L	见图 6.3(尺寸 B)	$L \geq 1/8 \text{ in.} [3 \text{ mm}]$
C_1	见图 6.3(尺寸 C)	$C_1 \geq 2L$ 或 $2L'$, 两者之中取较大值

情况 III—焊缝交会处的不连续

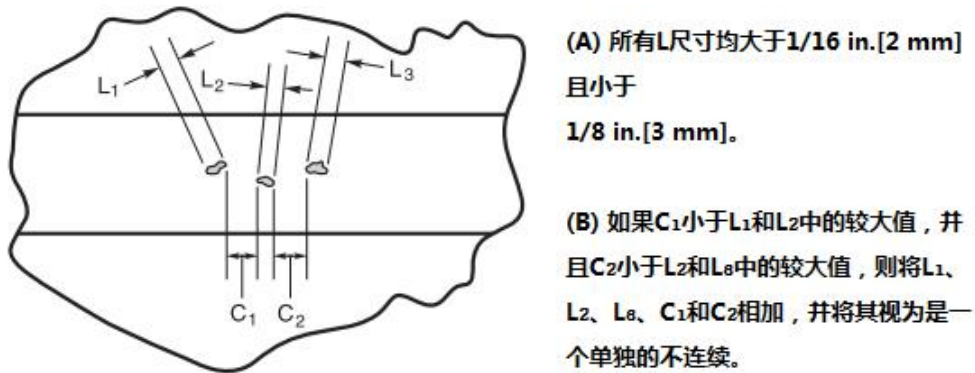
图 6.3(续)—承受循环荷载的受压非管材连接的不验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)

(见 6.12.2.2)



注：不连续之间的所有尺寸均 $\geq 2L$ (L 为任何两个不连续中的较大不连续)

情况 IV—距自由边 5/8 in [16 mm]范围内的不连续

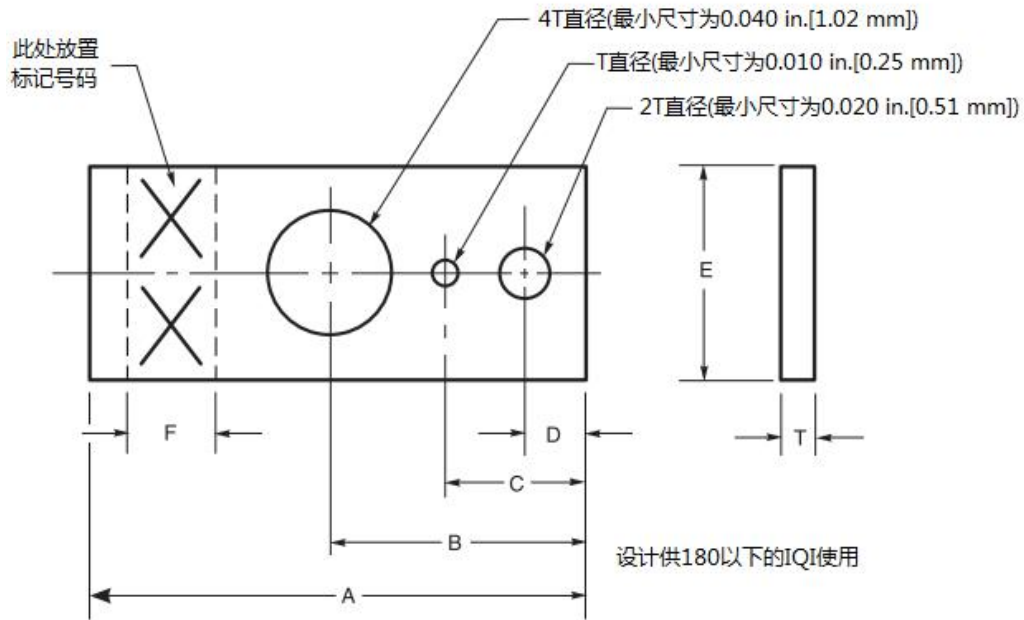


注：上述所示焊缝仅作说明用。这些限制应用于所有部位或焊缝交会处。不连续的编号也仅作说明用。

情况 V—焊缝中任何间距小于 2L 的不连续(采用图 6.3 所示单个缺陷的“B”尺寸)

图 6.3(续)—承受循环荷载的受压非管材连接的不验收准则(气孔和熔合型不连续的限制)

(见 6.12.2.2)



IQI 尺寸表(in.)

编号 ^a	A	B	C	D	E	F	IQI 厚度和孔径公差
5-20	1.500 ± 0.015	0.750 ± 0.015	0.438 ± 0.015	0.250 ± 0.015	0.500 ± 0.015	0.250 ± 0.030	± 0.0005
21-59	1.500 ± 0.015	0.750 ± 0.015	0.438 ± 0.015	0.250 ± 0.015	0.500 ± 0.015	0.250 ± 0.030	± 0.0025
60-179	2.250 ± 0.030	1.375 ± 0.030	0.750 ± 0.030	0.375 ± 0.030	1.000 ± 0.030	0.375 ± 0.030	± 0.005

IQI 尺寸表(mm)

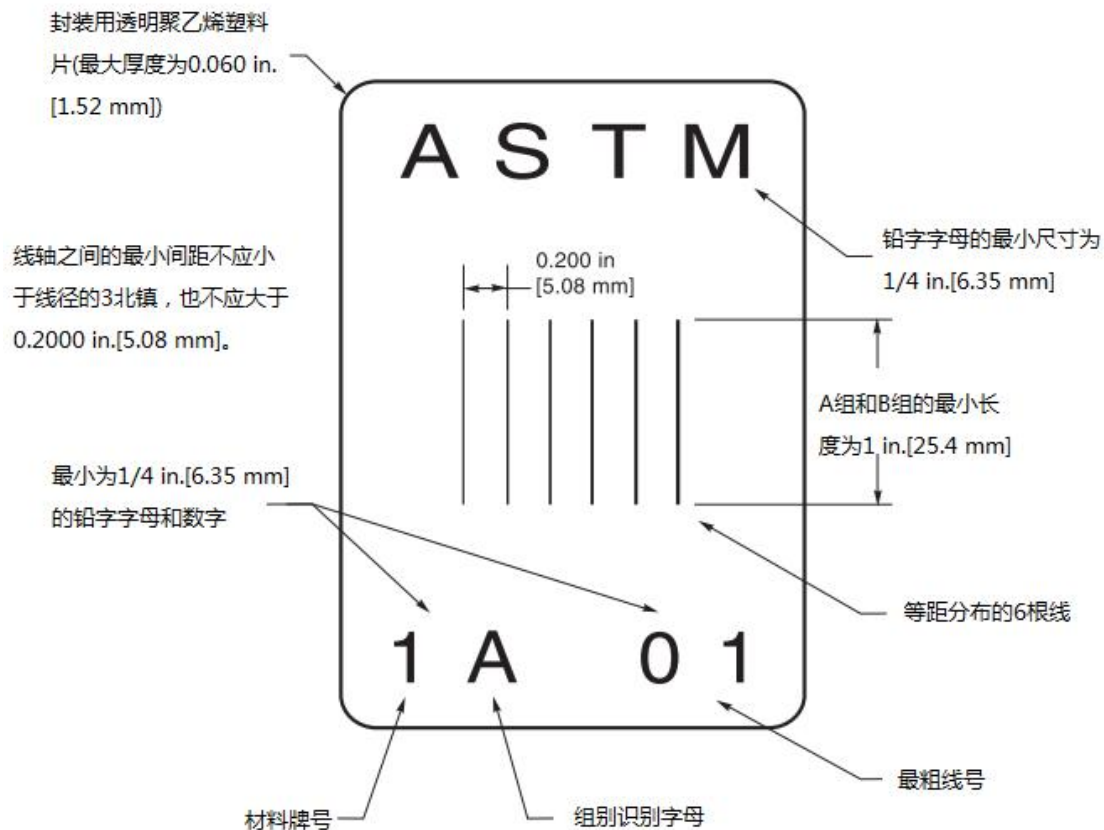
编号 ^a	A	B	C	D	E	F	IQI 厚度和孔径公差
5-20	38.10 ± 0.38	19.05 ± 0.38	11.13 ± 0.38	6.35 ± 0.38	12.70 ± 0.38	6.35 ± 0.80	± 0.013
21-59	38.10 ± 0.38	19.05 ± 0.38	11.13 ± 0.38	6.35 ± 0.38	12.70 ± 0.38	6.35 ± 0.80	± 0.06
60-179	57.15 ± 0.80	34.92 ± 0.80	19.05 ± 0.80	9.52 ± 0.80	25.40 ± 0.80	9.525 ± 0.80	± 0.13

^a5 号到 9 号 IQI 不是 1T、2T 和 4R。

注：孔应准确垂直于 IQI。不得开倒角。

图 6.4—孔型 IQI(见 6.17.1 和 9.28.1)

(获得了美国材料和试验协会的复印许可)

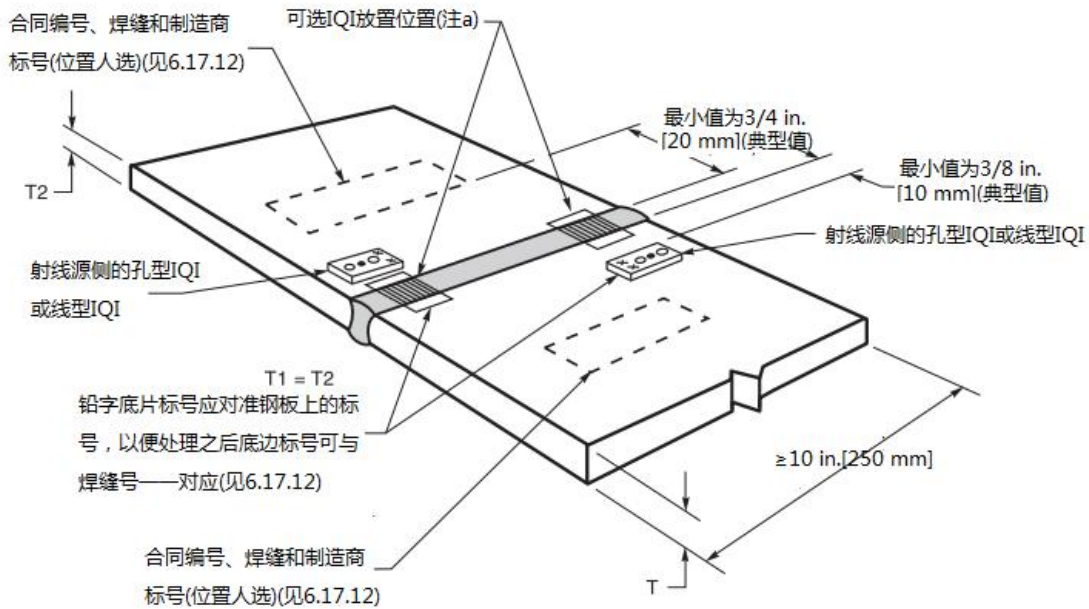


像质计(线型透度计)尺寸

线径, in. [mm]			
A 组	B 组	C 组	D 组
0.0032 [0.08]	0.010 [0.25]	0.032 [0.81]	0.10 [2.5]
0.004 [0.1]	0.013 [0.33]	0.040 [1.02]	0.125 [3.2]
0.005 [0.13]	0.016 [0.4]	0.050 [1.27]	0.160 [4.06]
0.0063 [0.16]	0.020 [0.51]	0.063 [1.6]	0.20 [5.1]
0.008 [0.2]	0.025 [0.64]	0.080 [2.03]	0.25 [6.4]
0.010 [0.25]	0.032 [0.81]	0.100 [2.5]	0.32 [8]

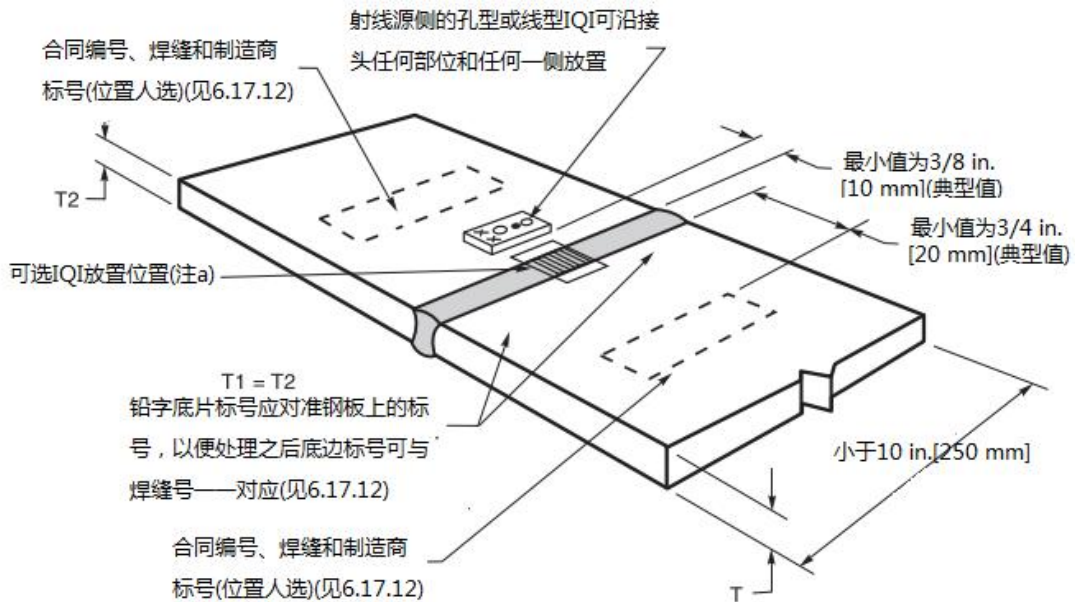
图 6.5—线型 IQI(见 6.17.1 和 9.28.1)

(获得了美国材料和试验协会的复印许可)



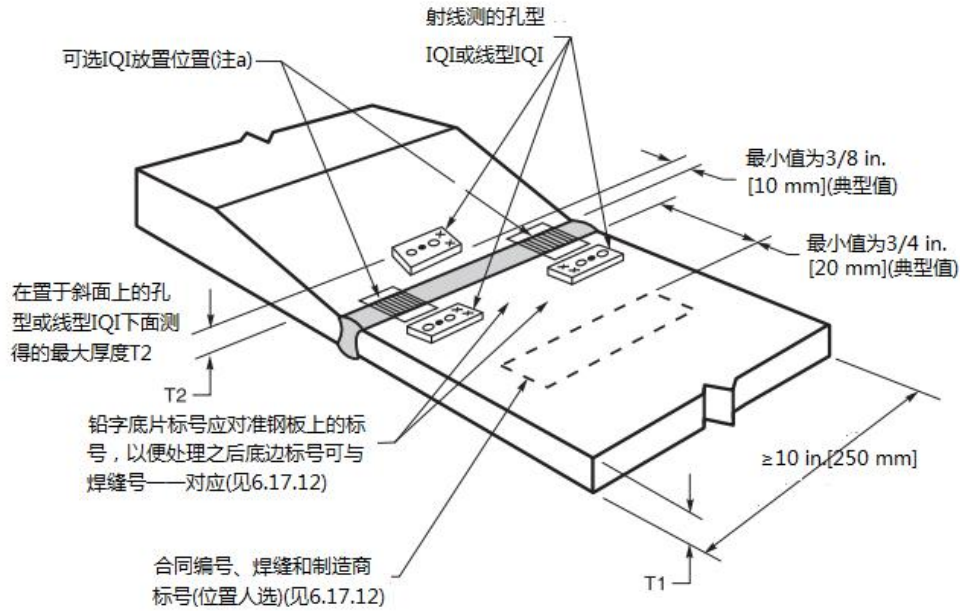
^a 如果获得了工程师批准，则允许在管材应用和其他应用中将 IQI 放置在其他侧。

图 6.6—厚度大致相等且长度等于或大于 10 in.[250 mm]的接头中的 RT 标记及孔型或线型 IQI 的放置位置(见 6.17.7 和 9.28.2)



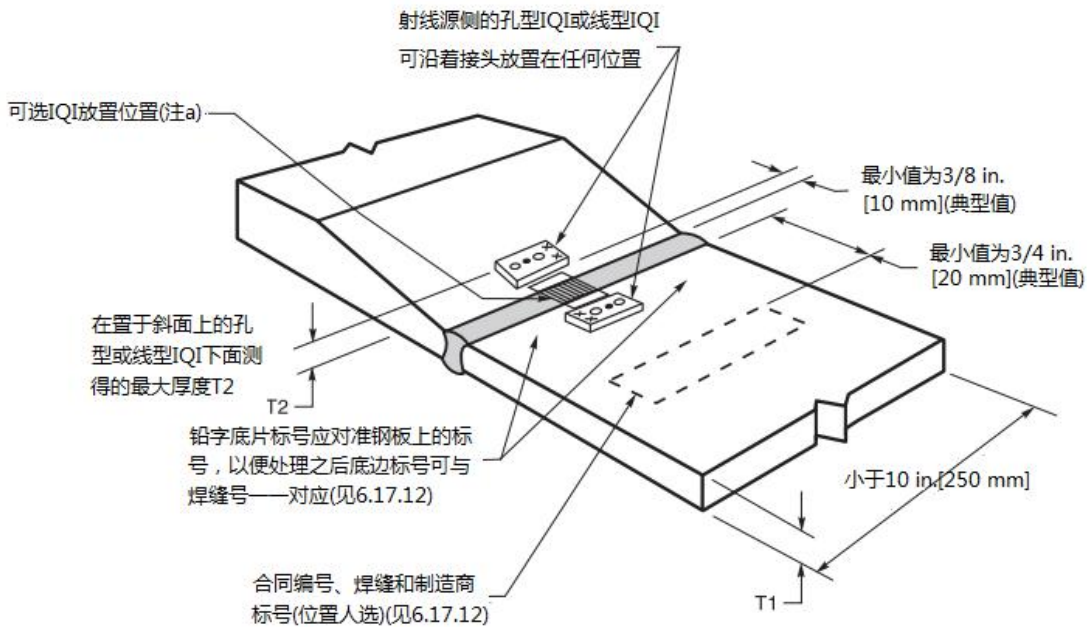
^a 如果获得了工程师批准，则允许在管材应用和其他应用中将 IQI 放置在其他侧。

图 6.7—厚度大致相等且长度小于 10 in.[250 mm]的接头中的 RT 标记及孔型或线型 IQI 的放置位置(见 6.17.7 和 9.28.2)



^a 如果获得了工程师批准,则允许在管材应用和其他应用中将 IQI 放置在其他侧。

图 6.8—长度等于或大于 10 in.[250 mm]的过渡接头上的 RT 标记及孔型或线型 IQI 的放置位置
(见 6.17.7 和 9.28.2)



^a 如果获得了工程师批准,则允许在管材应用和其他应用中将 IQI 放置在其他侧。

图 6.9—长度小于 10 in.[250 mm]的过渡接头上的 RT 标记及孔型或线型 IQI 的放置位置
(见 6.17.7 和 9.28.2)

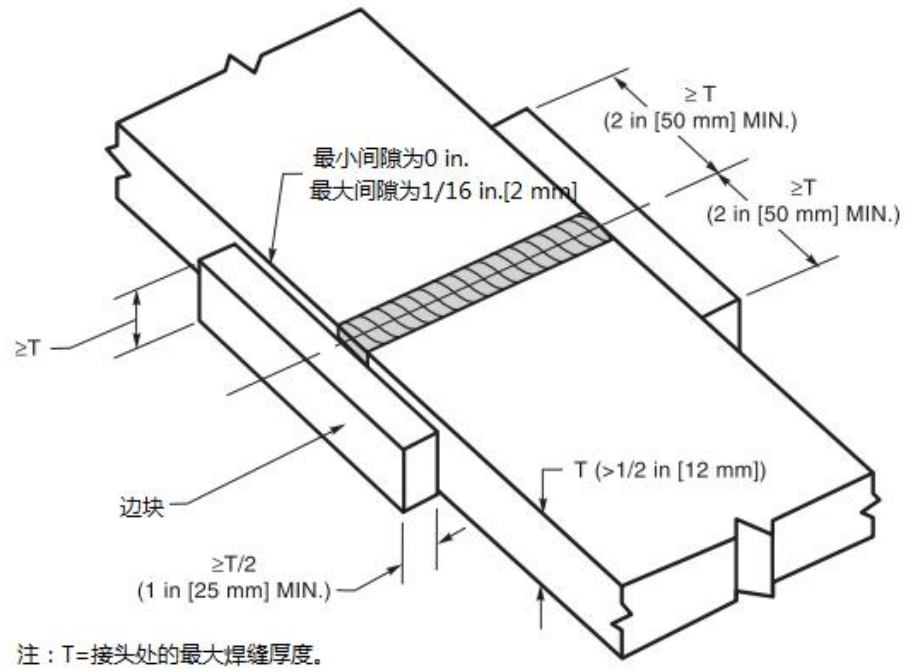


图 6.10—RT 边块(见 6.17.13)

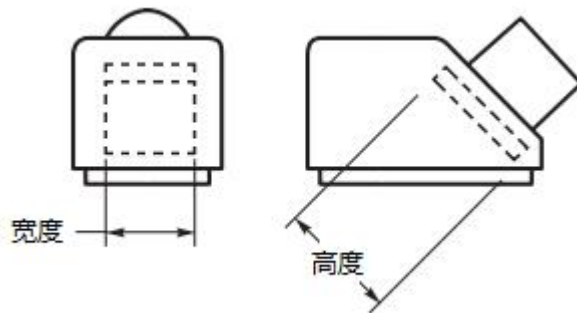


图 6.11—换能器晶片(见 6.21.7.2)

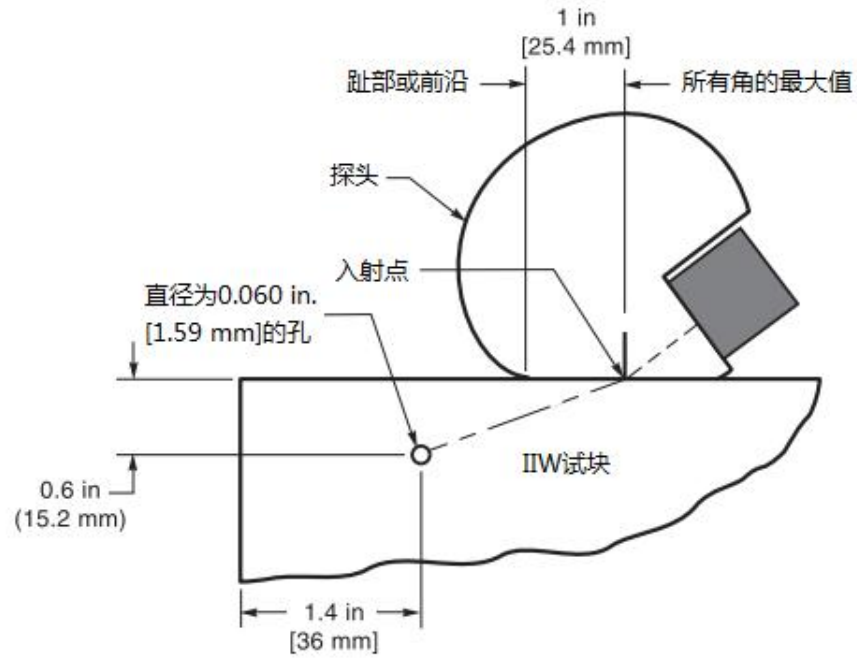
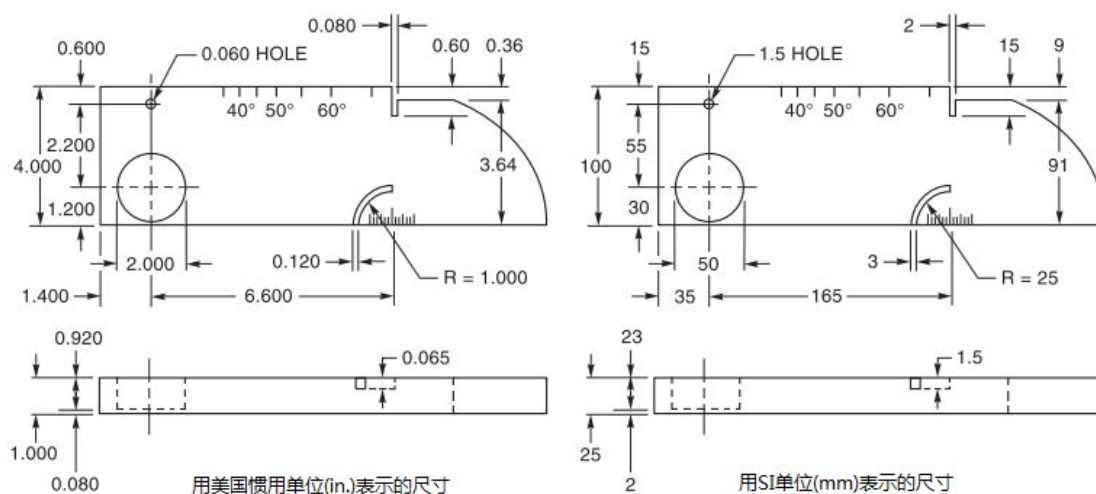


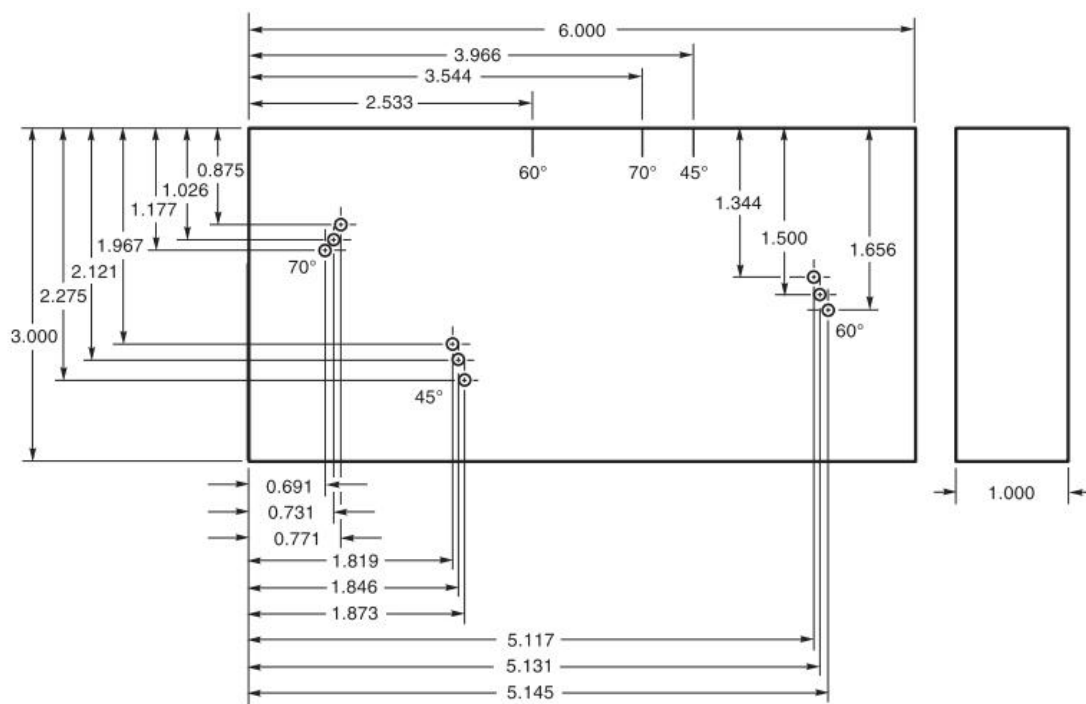
图 6.12—采用 IIW 参考试块进行探头校准的方法(见 6.21.7.7)



注:

1. 对比或校准时涉及到的所有表面之间的尺寸允许误差应在标示值 ± 0.005 in.[0.13 mm]范围内。
2. 接受或反射声波的所有表面的最大粗糙度应为 $125 \mu\text{in}$.[3.17 μm] r.m.s。
3. 所有材料应为 ASTM A36 钢材或声学上等效的材料。
4. 所有孔的内壁均应光滑, 并且应在与材料表面成 90° 的位置钻孔。
5. 应在材料表面将角度线与标记加工成凹槽, 以便永久保持其位置不变。
6. 这些注释适用于图 6.13 和图 6.13 的所有略图。

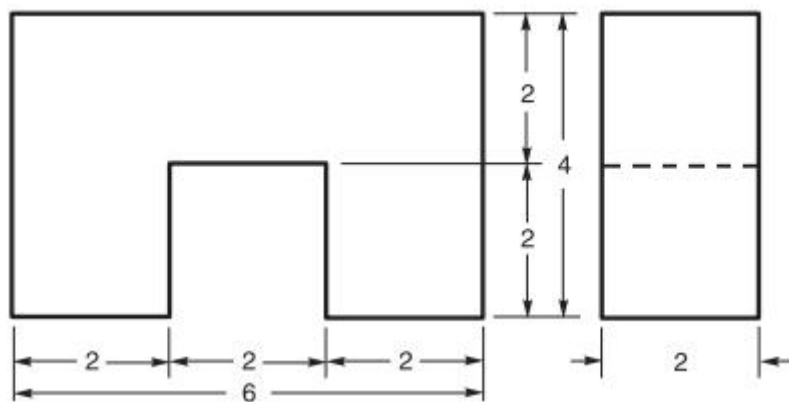
图 6.13—典型的 IIW 型试块(见 6.22.1)



注：所有孔的直径均为 1/16 in.。

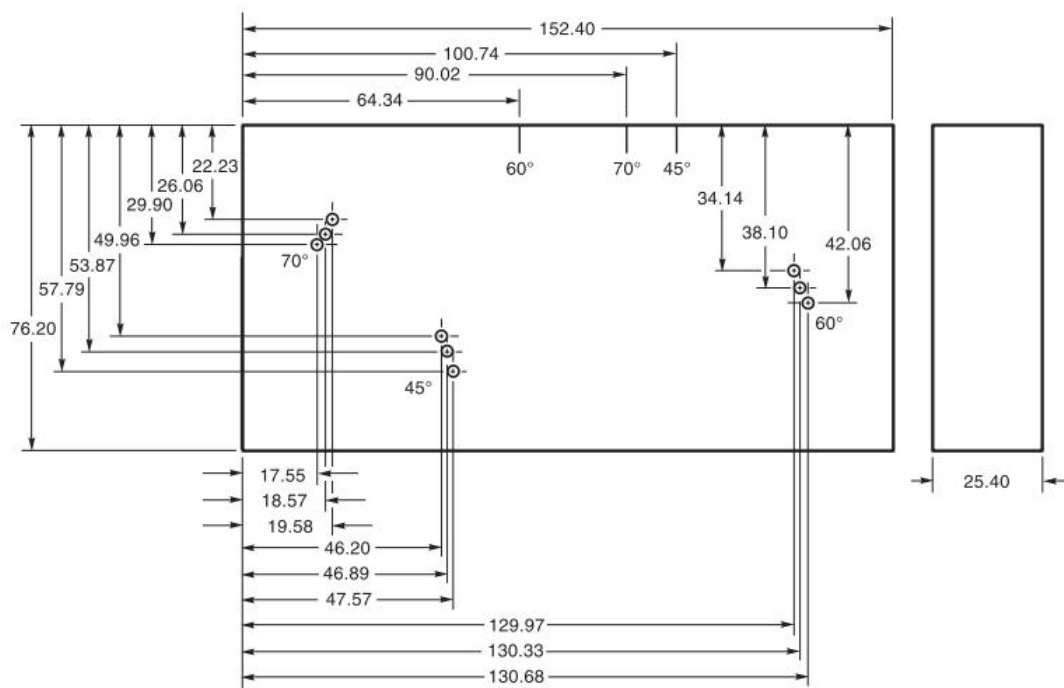
尺寸单位：in.

RC—分辨力参考试块



类型—距离和灵敏度参考试块

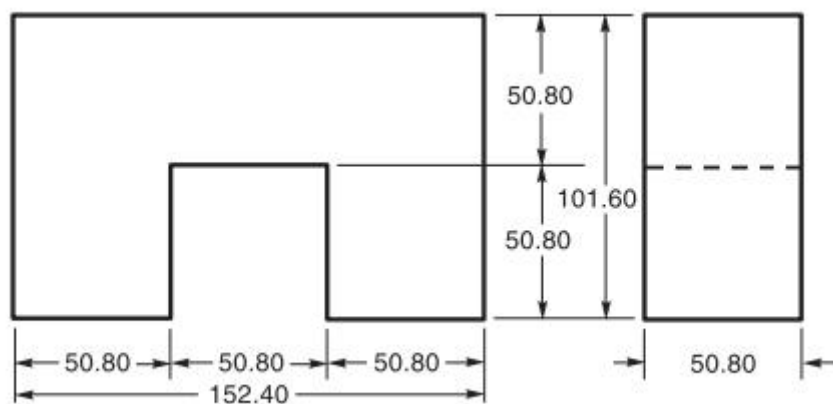
图 6.14—鉴定试块(见 6.22.3 和 6.27)



注：所有孔的直径均为 1.59 mm。

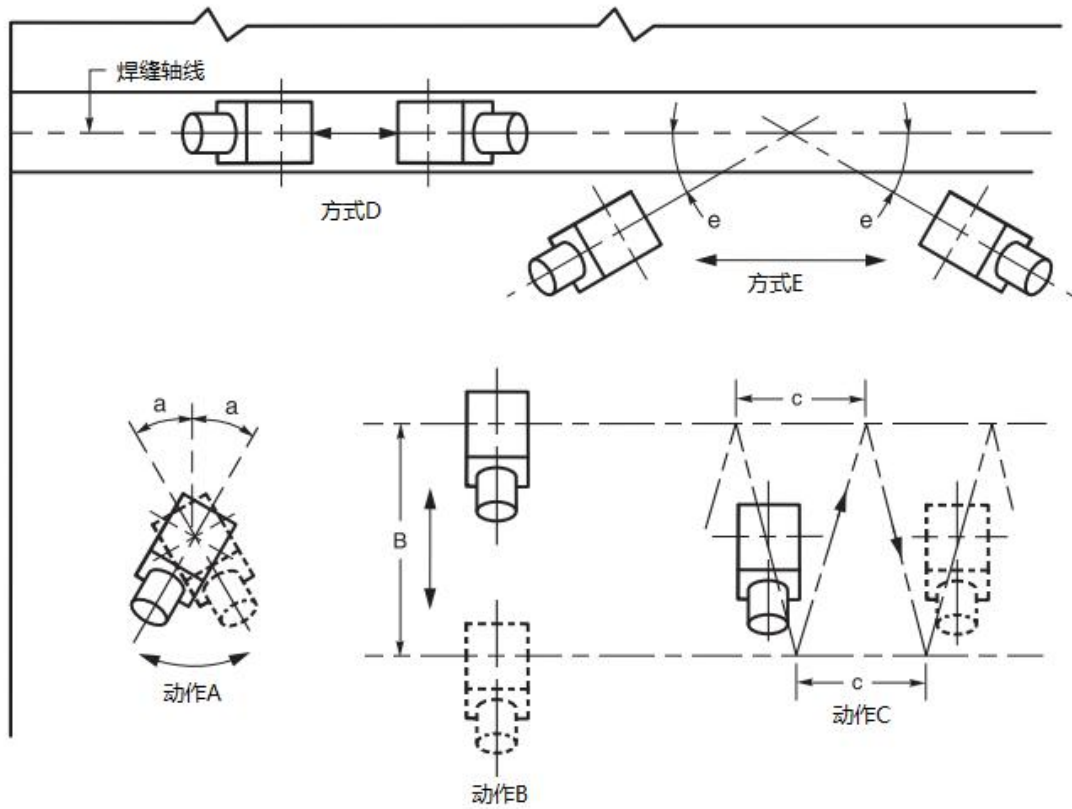
尺寸单位：mm

RC—分辨力参考试块



类型—距离和灵敏度参考试块

图 6.14(续)—鉴定试块(见 6.22.3 和 6.27)



注:

1. 除了直接在焊缝轴线上操作的方式 D 外，其余检测方式均应在对称于焊缝轴线。
2. 只要可行，则应从焊缝轴线的两侧都进行检测。

图 6.15—UT 扫查方式平面图(见 6.30)

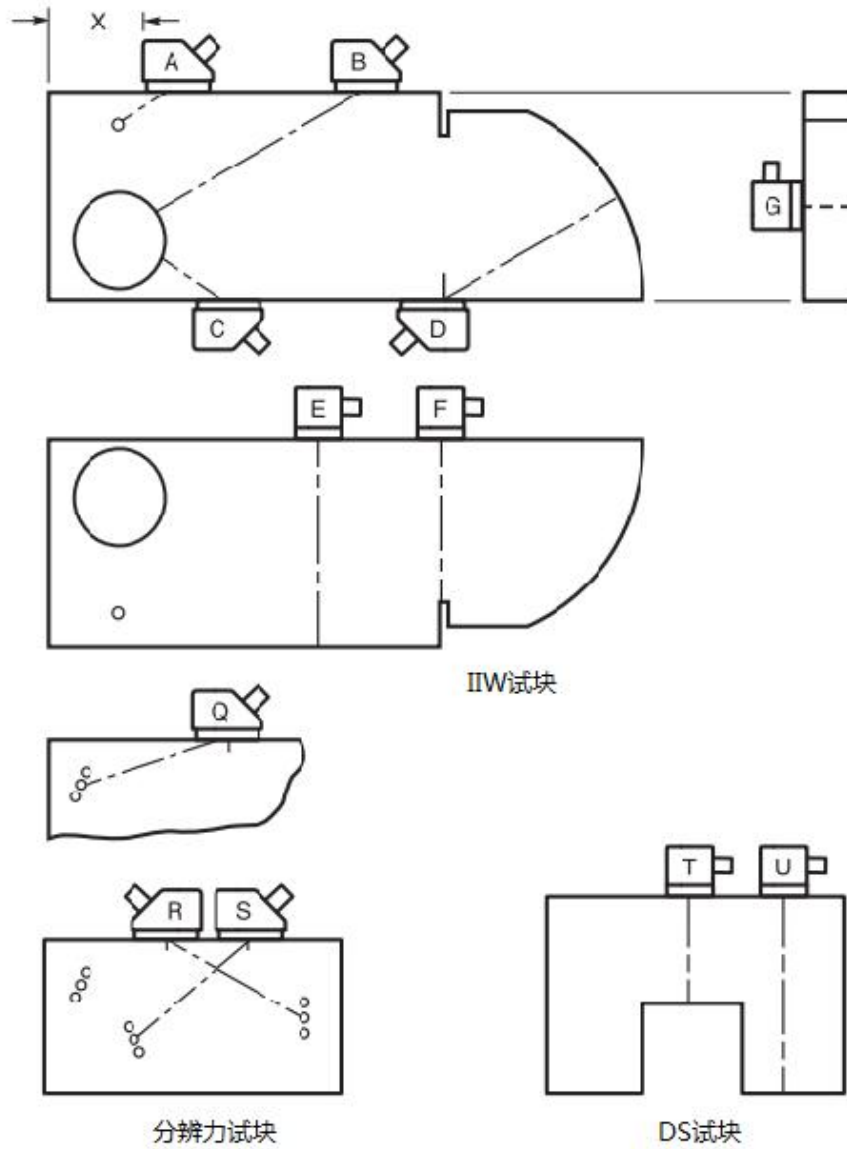


图 6.16—换能器位置(典型位置)(见 6.22、6.27 和 6.28)

7. 螺柱焊

7.1 范围

第 7 节包含了将钢螺柱焊到钢材上的通用要求并规定了下列方面的具体要求：

- (1) 钢螺柱的力学性能和材料以及螺柱焊接端的评定要求。
- (2) 应用评定试验、操作者技能评定、生产前试验和工艺
- (3) 生产、制作/安装过程中的螺柱焊接和检验。
- (4) 螺柱制造商提供的螺柱焊接端可焊性证书。

注：认可的钢材：有关螺柱的见 7.2.6；有关母材的见表 3.1(I 组和 II 组)。指导信息见 C7.6.1。

7.2 通用要求

7.2.1 螺柱设计。螺柱的设计应适合用自动定时的螺柱焊设备以电弧焊方式焊于钢构件上。螺柱的类型和尺寸应符合图纸、规范或特殊条款的要求。双头螺柱见图 7.1。如果可以通过力学性能和埋置试验证实满足设计中的所有强度要求并且获得工程师批准，则可采用其他双头螺柱。

7.2.2 电弧防护。每个螺柱均应配有材质为耐热陶瓷或其他合适材料的电弧护罩(套圈)。

7.2.3 焊剂。直径等于或大于 5/16 in. [8 mm] 的每个螺柱均应使用合适的脱氧和稳弧焊剂。直径小于 5/16 in. [8 mm] 的螺柱可以使用焊剂，也可以不使用焊剂。

7.2.4 螺柱焊接端。需评定的螺柱焊接端应已经通过了 7.9 所规定的试验。仅应采用焊接端评定合格的螺柱。按照 7.9 进行的焊接端评定的费用应由制造商来承担。生产中所用的电弧护罩应与评定试验所用的相同，或者应采用制造商推荐的电弧护罩。当工程师有要求时，承包商应提供下列资料：

- (1) 螺柱和电弧护罩的说明。
- (2) 制造商关于螺柱焊接端已按 7.9 要求通过评定试验的证明。
- (3) 评定试验数据。

7.2.5 成品螺柱

7.2.5.1 成品螺柱应采用锻造、轧制或机加工方式来制造。完工的螺柱应具有均匀的质量和状态，并且没有可能影响焊接质量、拟定应用的适用性或者是影响在规定的陶瓷电弧护罩(套圈)中的装配情况的缺陷。此类缺陷包括皱皮、毛刺、缝口、裂纹、扭转、弯曲、螺纹缺陷、不连续或外来杂质(见 7.4.1 和 7.4.2)。

7.2.5.2 当因从头部向内延伸到螺柱杆的金属的径向分离而导致外周部分突然中断时，双头螺柱的头部会产生开裂或爆裂。如果目视检验表明这些开裂或爆裂没有超过从螺柱头到螺柱杆距离的一半，则它们不应成为拒收理由(见图 C-7.1)。如果裂纹或爆裂处的数量比较大，或者其宽度不允许将螺柱头装到焊接工具的夹具中，或者会导致在螺柱头和夹具之间产生影响夹具寿命或焊缝质量的电弧，则应拒收这样的螺柱。

7.2.6 螺柱材质。螺柱的材质应为符合 ASTM A 29《热锻碳钢和合金钢棒材标准规范》中 1010~1020 级钢通用要求的冷拔棒材，包括铝脱氧或硅脱氧的半镇静钢或镇静钢。

7.2.7 母材厚度。当直接焊于母材上时，母材厚度不应小于螺柱直径的 1/3。当焊穿盖板时，螺柱直径不应大于母材厚度的 2.5 倍。任何情况下都不应将螺柱焊穿两层以上的金属盖板。

7.3 力学性能要求

7.3.1 标准力学性能要求。制造商可选择对冷加工过的钢材或完工的全直径螺栓进行试验，以确定螺栓的力学性能。无论在何种情况下螺栓都应符合表 7.1 所示标准力学性能要求。

7.3.2 试验。应按 ASTM A370《钢产品力学性能试验》适用章节的要求测定力学性能。应采用类似于图 7.2 的典型试验装置。

7.3.3 工程师要求。当工程师有要求时，承包商应提供：

(1) 证明已交付螺柱符合 7.2 和 7.3 适用要求的螺柱制造商证明。

(2) 涵盖了按 7.3 要求对交付的每种直径的螺柱进行的全套厂内质量控制力学性能试验数据的螺柱制造商试验报告的有效副本。

(3) 钢材供应商提供的标有已交付的每一炉批号的直径、化学性能和等级的认证材料试验报告(CMTR)。

7.3.4 未进行质量控制试验。如果没有进行质量控制试验，则承包商应为每个炉批号提供一份符合 7.2.6 要求的化学试验报告和一份符合 7.3 要求的力学性能试验报告。不应采用无证书和难以追溯的螺柱。

7.3.5 补充的螺柱。承包商有责任按工程师要求提供每一种类型和尺寸的补充螺柱，以核查是否满足 7.2 和 7.3 要求。试验的费用应由业主来承担。

7.4 做工/制作

7.4.1 清洁度。焊接时，螺柱应无锈斑、蚀坑、氧化皮、油渍、水分或其他对焊接操作有不利影

响的有害物质。

7.4.2 涂层限制。焊接前螺柱焊接端不应涂漆、镀锌或镀锡。

7.4.3 母材准备。母材上待焊螺柱的部位应无氧化皮、锈蚀、潮气、漆层或其他有害物质，以得到满意的焊缝及避免产生讨厌的烟气。可采用钢丝刷刷洗、刮氧化皮、冲凿或打磨等方法来清理这些部位。

7.4.4 潮气。电弧护罩或套圈应保持干燥。任何因露水、雨水而致表面潮湿的电弧护罩在使用前均应置于 250°F[120°C]的烘箱中干燥 2 h。

7.4.5 间距要求。抗剪连接螺柱(B 型)的纵向和横向间距最多可偏离图纸所示位置 1 in. [25 mm]。从螺柱焊接端的边缘到翼缘板边缘的最小距离应为螺柱直径加 1/8 in. [3 mm]，最好不要小于 1-1/2 in.[40 mm]。

7.4.6 电弧护罩的拆除。焊接完毕后应拆除埋入混凝土的螺柱上的电弧护罩；如果可行，还应拆除所有其他螺栓上的电弧护罩。

7.4.7 验收准则。焊接完毕后，螺柱应无任何影响其拟定功能的不连续或残留物，并且应有一个完成的 360°飞边。但允许飞边处的焊角上存在的不熔合和小的收缩裂纹。图 5.4 所示角焊缝剖面形状不适用于自动定时螺柱焊缝的飞边。

7.5 技术

7.5.1 自动机械化焊接。应采用自动定时的螺柱焊设备来焊接螺柱。应将焊接设备与电极为负极的合适直流电源相连接。宜根据过去的实践和/或螺柱和焊接设备制造商的建议将焊接电压、电流、时间和焊枪的升起与下降设定值等设定至最佳状态。此外，宜采用 AWS C5.4《螺柱焊推荐规程》来提供技术指导。

7.5.2 多焊枪焊接。如果采用同一电源操作两把或多把螺柱焊枪，则这些螺柱焊枪以进行联锁，以确保一次仅可以使用一把焊枪，并且确保完后一次焊接之后，在开始进行另一次焊接之前电源可完全恢复原状。

7.5.3 焊枪的移动。当进行焊接时，焊缝金属凝固之前焊枪应保持适当位置而不动。

7.5.4 环境和母材温度要求。母材温度低于 0°F [-18°C] 或其表面潮湿或暴露于雨雪中时不应进行焊接。当母材温度低于 32°F [0°C]时，应按 7.7.1.3 和 7.7.1.4 所述方法在每 100 个焊好的螺柱中取一个螺柱作追加试验，但试验角度应约为 15°。这是对在每次新的生产周期开始或改变设

定参数时先焊的两只螺柱进行的补充试验。参数设定包括所用螺柱焊枪、电源、螺柱直径、焊枪的上升和下降、焊接电缆总长度以及变化幅度为 $\pm 5\%$ 的电流(安培)和时间。

7.5.5 FCAW、GMAW、SMAW 角焊缝选择。如果满足下列要求，则承包商可选择采用免评定 FCAW、GMAW 或 SMAW 工艺来焊接螺柱：

7.5.5.1 表面。待焊表面与邻近焊缝的表面应无疏松的或厚的氧化皮、焊渣、锈蚀、水分、油脂和其他妨碍正常焊接或产生有害烟雾的外来物。

7.5.5.2 螺柱端部。对于角焊缝，螺柱端部也应保持干净。

7.5.5.3 螺柱装配(角焊缝)。对于角焊缝，螺柱焊接端的准备方式应能确保焊接端紧贴母材。

7.5.5.4 角焊缝最小尺寸。当使用角焊缝时，最小角焊缝尺寸应为表 5.7 或表 7.2 规定的较大值。

7.5.5.5 预热要求。要焊接螺柱的母材应按表 3.3 要求预热。

7.5.5.6 SMAW 焊条。除在不方便的位置焊接直径等于或小于 7/16 in. [11.1 mm] 的螺柱时可用较小直径的焊条外，其他情况下均应采用直径为 5/32 in. 或 3/16 in. [4.0 mm 或 4.8 mm] 的低氢焊条进行 SMAW 焊接。

7.5.5.7 目视检验。用 FCAW、GMAW 和 SMAW 方法焊接的螺柱应按 6.9 要求进行目视检验。

7.6 螺栓应用评定要求

7.6.1 目的。如果通过了制造商的螺柱焊接端评定试验(见 7.9)，则在工厂或工地从平焊(向下)位置焊接到平面和水平表面的螺柱应被视为是免评定螺柱，并且不应执行进一步应用试验。平焊位置的限制是指焊接螺柱的表面上 $0^\circ \sim 15^\circ$ 的斜面。

要求执行本节试验的螺柱应用的示例如下：

- (1) 焊接在非平面的表面或在立焊位置或仰焊位置焊接到平面表面的螺柱。
- (2) 穿过盖板的螺柱。应采用代表结构所用条件的材料进行试验。
- (3) 焊接到表 3.1 所列的 I 组或 II 组钢材上的螺柱。

7.6.2 试验职责。承包商应负责执行这些试验。试验可由承包商、螺柱制造商或是所有相关方都认可的另一检测机构来执行。

7.6.3 试样的准备

7.6.3.1 试样。为了评定表 3.1 所列 I 组和 II 组材料的应用，可用 ASTM A36 钢材或表 3.1 所列 I 组和 II 组钢材来制备试样。

7.6.3.2 记录的信息。为了评定表 3.1 所列 I 组和 II 组以外钢材的应用，试样的材料应为与生产中所用的化学成分、力学性能和等级规格均相同的材料。

7.6.4 试样数量。应采用推荐工艺和参数按照每一种直径、焊接位置及表面几何形状要求连续焊接 10 个试样。

7.6.5 要求的试验。应采用弯曲试验、扭转试验或拉伸试验之中的一种或多种方法对 10 个焊接试样进行试验。

7.6.6 试验方法

7.6.6.1 弯曲试验。应将螺柱放在图 7.4 所示的典型试验装置中并交替进行正、反方向 30°弯曲，直至其断裂。也可以将螺柱从其原轴线起弯曲 90°。当弯曲 90°时，C 型螺柱应在直径为螺柱直径 4 倍的短轴上弯曲。无论选用哪种方法，如果螺柱被弯成 90°且断裂发生在钢板或型材或者是螺柱杆而非焊缝上，则应认为螺柱应用通过了评定。

7.6.6.2 扭转试验。螺柱的扭转试验应采用基本如图 7.3 所示的扭转试验装置进行。如果所有试样扭转至破坏时焊缝内未产生断裂，则应认为螺柱应用通过了评定。

7.6.6.3 拉伸试验。螺柱的拉伸破坏试验应采用任何一台能提供所需拉力的试验机进行。如果试样断裂没有发生在焊缝上，则应认为螺柱应用通过了评定。

7.6.7 应用评定试验数据。应用评定试验数据应包括如下信息：

- (1) 展示了螺柱和电弧护罩的形状及尺寸的图纸。
- (2) 螺柱和母材的完整说明以及电弧护罩的描述(零件号)。
- (3) 焊接位置与设定值(电流、时间)。
- (4) 每一次评定均应作记录并将其附于每一份合同上。附录 M 的表 M-7 可被作为非免评定应用的推荐 WPS/PQR 表格。

7.7 生产控制

7.7.1 生产前试验

7.7.1.1 换班。在使用给定尺寸和类型的螺柱并用特定的参数设置值进行生产焊接前，以及在每天或每班生产开始时，应先对最先焊好的两个螺柱进行试验。焊接可在一块厚度和性能类似于产品构件的材料上进行。如果无法获得实际产品厚度，则厚度可变动 $\pm 25\%$ 。所有试验螺柱均应在与生产构件所需相同的位置进行焊接(平焊、立焊或仰焊)。

7.7.1.2 生产件选择。可将试验螺柱焊在生产件上，以代替将其焊于独立材料上，但 7.7.1.5 中要求使用独立板材的情况除外。

7.7.1.3 飞边要求。螺柱应有完整的 360°飞边，并且没有进入螺柱焊接端的咬边迹象。

7.7.1.4 弯曲试验。除了目视检验外，试验项目还包含螺柱冷却后进行的弯曲试验。试验时可用榔头锤击螺柱的非焊接端，或者将管子或空心工具套在螺柱上，并用人工或机械方法使螺柱与原轴线形成大约 30°的夹角。当温度低于 50°F [10°C]时，最好通过缓缓施加荷载来使螺柱弯曲。对于有螺纹的螺柱，应采用图 7.3 的扭转试验来代替弯曲试验。

7.7.1.5 失效。如果目视检验时没有发现 360°飞边，或者试验时断裂发生在任一螺柱的焊缝区域，则应纠正工艺并在独立材料或生产件上另外焊接 2 个螺柱，然后按 7.7.1.3 和 7.7.1.4 要求进行试验。如果第二次焊接的两个螺柱中有任何一个未通过试验，则应继续在独立板材上另外焊接螺柱，直至连续有两个焊接螺柱试验合格后才能在生产件上进行焊接。

7.7.2 生产焊接。开始进行生产焊接之后，如果按 7.7.1 测定的焊接参数发生任何变化，则应在恢复生产焊接之前按 7.7.1.3 和 7.7.1.4 要求进行试验。

7.7.3 螺柱补焊。在生产中，如果螺柱没有完整的 360°飞边，则承包商可选择进行补焊，即在缺少飞边之处按 7.5.5 要求补焊最小角焊缝。补焊焊缝应从所补焊的每个不连续的端部至少延伸出 3/8 in. [10 mm]。

7.7.4 操作工技能评定。如果按 7.7.1 要求进行的生产前试验成功进行，则还应将其用于评定螺柱焊操作工。如果焊工未参加按 7.7.1 要求进行的任何生产试验，则此焊工应在进行任何螺柱焊接之前先焊两个螺柱。这两个先焊好的螺柱应按 7.7.1.3 和 7.7.1.4 要求进行试验。当焊接的两个螺柱试验合格后，该焊工方可进行螺柱焊。

7.7.5 移除螺柱部位的修补。如果将不合格螺柱从承受拉应力的组件上移除，则应将移除了螺柱的区域修整光滑和平整。如果移除螺柱期间该部位的母材被拉出，则应采用符合本规范要求的 SMAW 工艺和低氢焊条填平凹坑，并将焊缝表面处理平整。

在构件受压部位，如果螺柱断裂发生在螺柱杆或熔合区，则可在每一不合格螺柱近旁焊接一个新螺柱而不必修补和复原原有焊接部位(见 7.4.5)。如果移除螺柱期间该部位的母材被拉出，则修补要求与受拉区域的修补要求相同，但如果是深度小于 1/8 in. [3 mm]或母材厚度 7% 的不连续，则可对该不连续进行打磨而不必填至与焊缝金属齐平。如果要替换螺柱，则应先修

补母材，然后再焊接替换的螺柱。替换的螺柱(不是有螺纹的螺柱；如果有螺纹的螺柱，则宜进行扭转试验)应进行与原轴线形成约为 15° 的角的弯曲试验。对于完工结构中暴露于视线下的组件，应将移除了螺柱的位置处理光滑和平整。

7.8 制作和鉴定检验要求

7.8.1 目视检验。如果目视检验发现了没有完成 360° 飞边的螺柱或者是已经进行过焊接修补的螺柱，则应对此类螺柱进行与原轴线形成约为 15° 的角的弯曲试验。有螺纹的螺柱应进行扭转试验。弯曲方法应符合 7.7.1.4 要求。对于飞边不足 360° 的螺柱，应从无飞边部位的相反方向弯曲。扭转试验应符合图 7.3 要求。

7.8.2 附加试验。如果有条件，则鉴定检验员可选择附加数量的螺柱进行 7.8.1 所述试验。

7.8.3 弯曲螺柱验收准则。如果已弯曲的受剪螺柱(B 型)和变形的固定螺柱(C 型)以及其他要埋入混凝土中的螺柱(A 型)并无破坏迹象，则应予以验收并使其保持弯曲状态。当合同文件要求将弯曲螺柱矫直时，矫直操作应在不加热状态下进行，并且应在螺柱焊接操作完工之前进行。

7.8.4 扭转试验验收准则。如果采用图 7.3 所述荷载对有螺纹的螺柱(A 型)进行试验时没有发现破坏迹象，则应予以验收。

7.8.5 纠正措施。不符合规范要求的焊接螺柱应进行修补或由承包商予以更换。必要时承包商应纠正焊接工艺，以确保随后的螺柱焊接符合规范要求。

7.8.6 业主的选择。在业主作出选择并承担费用的情况下，可随时要求承包商提交合同规定类型的螺柱，以便按 7.9 程序进行评定检查。

7.9 制造商的螺柱焊接端评定要求

7.9.1 目的。这些要求旨在描述螺柱制造商用于证明螺柱焊接端可焊性的试验。

7.9.2 试验的职责。螺柱制造商应负责进行评定试验。这些试验可由工程师认可的检测机构来执行。执行试验的机构应向螺柱制造商提交给出了所有试验的方法和结果(包括 7.9.10 所述信息)的螺柱证明报告。

7.9.3 评定范围。螺柱焊接端的评定应包括对几何形状和所用焊剂、电弧护罩均相同且具有相同直径及直径比规定直径小 $1/8$ in.[3 mm]的螺柱焊接端进行的评定。采用满足力学性能要求的批准等级的 ASTM A29 钢(见 7.3.1)评定的螺柱焊接端应是对满足此处所述所有要求的其他批准等级的 ASTM A29 钢(见 7.2.6)进行的评定的组成部分。

7.9.4 评定有效期。如果带有电弧护罩的某一尺寸的螺柱焊接端评定合格，那么在螺柱制造商对螺柱焊接端的几何形状、材料、焊剂或电弧护罩作出任何影响焊接特性的改变之前，评定应被视为有效。

7.9.5 试样的准备

7.9.5.1 材料。应将代表性螺柱焊接到合适的 ASTM A36 钢试板或者是表 3.1 或表 4.9 所列的任何其他材料的试板上，以制备试样。该盖板应按 ASTM A653 要求镀有一层代号为 G90 的涂层或者两层代号为 G60 涂的层。当螺柱要穿过盖板焊接时，其焊接端的评定试验应包括对结构中所用的代表性盖板进行的评定。焊接应在平焊位置(板材表面处于水平位置)进行。有螺纹的螺柱的评定试验应采用无螺纹坯料(无螺纹螺柱)进行。

7.9.5.2 焊接设备。应采用螺柱制造商推荐的电源、焊枪和自动控制设备来焊接螺柱。应测量并记录每个试样的焊接电压、电流和时间(见 7.9.6)。焊枪的升起与下降设定值应为制造商推荐的最佳设定值。

7.9.6 试样数量

7.9.6.1 高电流。对于直径等于或小于 7/8 in. [22 mm]的螺柱，应以恒定的最佳时间连续焊接 30 个试样，但电流应比最佳值高 10%。对于直径大于 7/8 in. [22 mm]的螺柱，应以恒定的最佳时间连续焊接 10 个试样。最佳电流和时间应为制造商推荐的生产焊接用正常范围内的的中间值。

7.9.6.2 低电流。对于直径等于或小于 7/8 in. [22 mm]的螺柱，应以恒定的最佳时间连续焊接 30 个试样，但电流应比最佳值低 10%。对于直径大于 7/8 in. [22 mm]的螺柱，应以恒定的最佳时间连续焊接 10 个试样，但电流应比最佳值低 5%。

7.9.6.3 金属板。对于穿过金属盖板焊接的螺柱，应以制造商推荐的最佳电流和时间按下列要求焊接 10 个螺柱，以评定焊接端的直径范围：

- (1) 穿过一层厚度为 16 gage 且涂层代号为 G90 的盖板的螺柱焊接端的最大直径和最小直径。
- (2) 穿过两层厚度为 16 gage 且涂层代号为 G60 的盖板的螺柱焊接端的最大直径和最小直径。
- (3) 穿过位于一层厚度为 16 gage 的盖板上的一层厚度为 18 gage 且涂层代号为 G90 的盖板的螺柱焊接端的最大直径和最小直径。

(4) 穿过两层厚度为 18 gage 且两层的涂层代号均为 G60 的盖板的螺柱焊接端的最大直径和最小直径。

对于穿过一层或二层厚度等于或小于 18 gage 的金属盖板的焊接，应评定穿过两层厚度为 18 gage 且镀锌层代号为 G60 的金属盖板的从最大到最小的直径范围。

7.9.7 试验

7.9.7.1 拉伸试验。按照 7.9.6.1 要求焊接的 10 个试样和按照 7.9.6.2 要求焊接的 10 个试验均应采用类似于图 7.2 所示的试验装置进行拉伸试验，但可将无头螺柱的非焊接端夹在拉伸试验机的夹具中。如果所有拉伸试样的拉伸强度均等于或大于 7.3.1 所述最小值，则应认为螺柱焊接端评定合格。

7.9.7.2 弯曲试验(直径等于或小于 7/8 in. [22 mm]的螺柱)。按 7.9.6.1 要求焊接的 20 个试样和按 7.9.6.2 要求焊接的 20 个试样应进行弯曲试验，即交替从两个相反方向弯曲至与原轴线形成约为 30°的角，直至试样断裂。除了直径小于 1/2 in.[12mm]的螺柱可以选用图 7.5 所示装置进行弯曲试验外，其他螺柱均应采用图 7.4 所示弯曲试验装置进行弯曲试验。对于所有弯曲试样，如果断裂发生在板材或螺柱杆内，而不是焊缝或 HAZ 内，则应认为螺柱焊接端评定合格。直径超过 7/8 in. [22 mm]的螺柱的所有试样应仅执行拉伸试验。

7.9.7.3 穿过盖板的焊接试验。穿过盖板焊接的所有 10 个螺柱试样均应进行弯曲试验，即在图 7.4 所示弯曲试验装置中向着相反方向弯曲 30°，或者弯曲至与原轴线形成 90°的角，或者在一台能提供所需拉力的机器上进行拉伸破坏试验。对于所用的任何试验方法，如果所有试样断裂均发生在板材或螺柱杆内，而不是焊缝或 HAZ 内，则应认为在最大直径到最小直径范围内的螺柱穿过盖板进行焊接的焊接端评定合格。

7.9.8 复验。如果 7.9.7.2 的弯曲试验中有发生在焊缝或 HAZ 内的断裂，或者 7.9.7.1 的拉伸试验结果中有低于螺柱最小规定抗拉强度的情况，则应准备一组新试样(按 7.9.6.1 或 7.9.6.2 的适用要求准备)并进行试验。如果再次发生这种断裂，则应认为螺柱焊接端评定不合格。

7.9.9 评定合格。对于所评定的制造商螺柱焊接端和电弧护罩，试验或复验后由 30 个螺柱组成的每组试样的每个试样均应符合 7.9.7 所述要求。如果特定直径的螺柱焊接端评定合格，则应认为具有相同公称直径的螺柱焊接端也评定合格(螺柱焊接端的几何形状、材料、焊剂和电弧护罩描述见 7.9.3)。

7.9.10 制造商的评定试验数据。试验数据应包含下列信息：

- (1) 展示了螺柱、电弧护罩和焊剂的形状、尺寸及公差的图纸；
- (2) 螺柱所用材料的完整说明，包括焊剂的数量和类型以及电弧护罩的描述；和
- (3) 试验结果证书。

表 7.1 螺柱的力学性能要求(见 7.3.1)

		A 型 ^a	B 型 ^b	C 型 ^c
抗拉强度	psi(最小值)	61 000	65 000	80 000
	MPa(最小值)	420	450	552
屈服强度	psi(最小值)	49 000	51 000	—
(0.2%残余变形)	MPa(最小值)	340	350	—
(0.5%残余变形)	psi(最小值)	—	—	70 000
	MPa(最小值)	—	—	485
伸长率	%(2 in.标距长度)(最小值)	17%	20%	—
	%(5 倍直径的标距长度)(最小值)	14%	15%	—
断面收缩率	%(最小值)	50%	50%	—

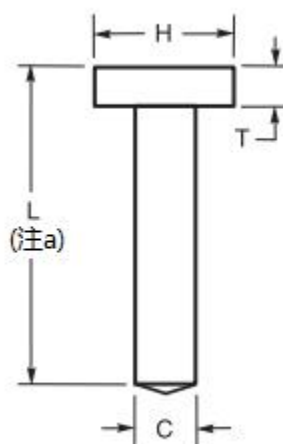
^a 用于复合梁设计与施工的任何类型和尺寸的 A 型螺柱应为一般用途的螺柱，传递剪力的情况除外。

^b B 型螺柱应是直径为 3/8 in. [10 mm]、1/2 in. [12 mm]、5/8 in. [16 mm]、3/4 in. [20 mm]、7/8 in. [22 mm] 和 1 in. [25 mm] 的弯曲双头螺柱或其他形状的螺柱，其在复合梁设计和混凝土锚定设计中作为基本组件使用。

^c C 型螺柱应为采用符合 ASTM A496 要求的冷加工变形钢棒制造的螺栓，其公称直径等于每英尺重量与异形钢丝相同的普通钢丝的直径。ASTM A496 规定的最大直径为 0.628 in. [16 mm]。所供应的大于该直径的棒材应具有与 ASTM A496 要求相同的变形方面的物理特性。

表 7.2 小直径螺柱的最小角焊缝尺寸(见 7.5.5.4)

螺柱直径		最小角焊缝尺寸	
in.	mm	in.	mm
1/4~7/16	6~11	3/16	5
1/2	12	1/4	6
5/8, 3/4, 7/8	16, 20, 22	5/16	8
1	25	3/8	10



^a 焊接前的产品长度。

标准尺寸, in.				
螺栓杆直径 (C)		长度公差 (L)	螺栓头直径 (H)	螺栓头最小高度 (T)
3/8	+0.010 -0.010	$\pm 1/16$	$3/4 \pm 1/64$	9/32
1/2	+0.010 -0.010	$\pm 1/16$	$1 \pm 1/64$	9/32
5/8	+0.010 -0.010	$\pm 1/16$	$1-1/4 \pm 1/64$	9/32
3/4	+0.015 -0.015	$\pm 1/16$	$1-1/4 \pm 1/64$	3/8
7/8	+0.015 -0.015	$\pm 1/16$	$1-3/8 \pm 1/64$	3/8
1	+0.020 -0.020	$\pm 1/16$	$1-5/8 \pm 1/64$	1/2
标准尺寸, mm				
10	+0.25 -0.25	± 1.6	19 ± 0.40	7.1
13	+0.25 -0.25	± 1.6	25 ± 0.40	7.1
16	+0.25 -0.25	± 1.6	32 ± 0.40	7.1
19	+0.40 -0.40	± 1.6	32 ± 0.40	9.5
22	+0.40 -0.40	± 1.6	35 ± 0.40	9.5
25	+0.40 -0.40	± 1.6	41 ± 0.40	12.7

图 7.1—标准双头螺栓的尺寸和公差(见 7.2.1)

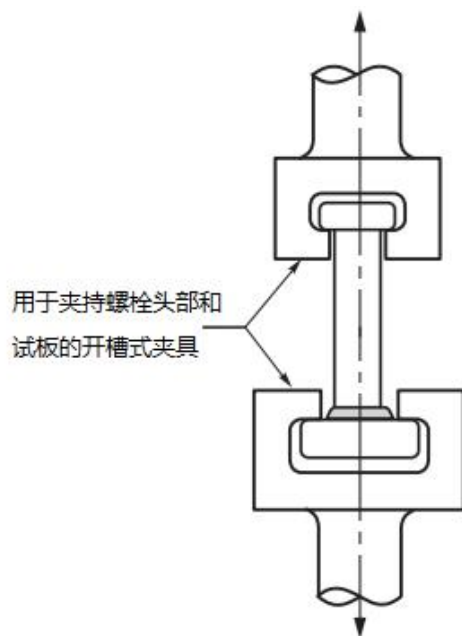
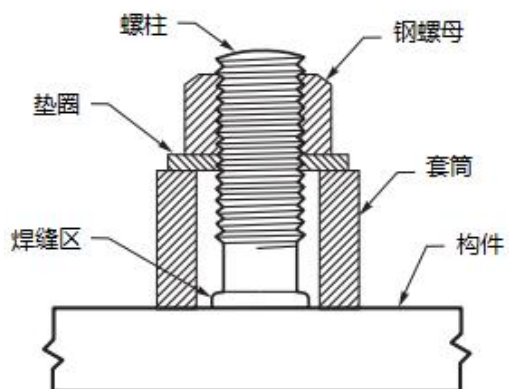


图 7.2—典型的拉伸试验装置(见 7.3.2)



注：试验装置细节所示尺寸宜与螺柱尺寸相匹配。制造商交付的处于“供货状态”的螺柱的螺纹应干净且无除切割/冷成型润滑油残留物之外的润滑油。

(待续)

有螺纹螺柱试验所需的扭矩 ^a								
公称直径		M.E.T.A. ^b		螺纹		试验扭矩 ^c		
in.	mm	in. ²	mm ²	no./in.	节距, mm	系列	lb-ft	J
0.236	M6	0.031	20.1		1.0	ISO-724	5.4	7.4
1/4	6.4	0.036	23.2	28		UNF	6.6	9.0
		0.032	20.6	20		UNC	5.9	7.8
5/16	7.9	0.058	37.4	24		UNF	13.3	18.1
		0.052	33.5	18		UNC	11.9	16.1
0.315	M8	0.057	36.6		1.25	ISO-724	13.2	17.9
3/8	9.5	0.088	56.8	24		UNF	24.3	32.9
		0.078	50.3	16		UNC	21.5	29.2
0.394	M10	0.090	58.0		1.5	ISO-724	26.2	35.5
7/16	11.1	0.118	76.1	20		UNF	37.9	51.4
		0.106	68.4	14		UNC	34.8	47.2
0.472	M12	0.131	84.3		1.75	ISO-724	45.7	61.9
1/2	12.7	0.160	103.2	20		UNF	58.8	79.7
		0.142	91.6	13		UNC	52.2	70.8
0.551	M14	0.178	115.0		2.0	ISO-724	72.7	98.5
9/16	14.3	0.203	131.0	18		UNF	83.9	113.8
		0.182	117.4	12		UNC	75.2	102.0
5/8	15.9	0.255	164.5	18		UNF	117.1	158.8
		0.226	145.8	11		UNC	103.8	140.8
0.630	M16	0.243	157.0		2.0	ISO-724	113.4	153.7
3/4	19.1	0.372	240.0	16		UNF	205.0	278.0
		0.334	215.5	10		UNC	184.1	249.7
0.787	M20	0.380	245.0		2.5	ISO-724	221.2	299.9
0.866	M22	0.470	303.0		2.5	ISO-724	300.9	408.0
7/8	22.2	0.509	328.4	14		UNF	327.3	443.9
		0.462	298.1	9		UNC	297.1	402.9
0.945	M24	0.547	353.0		3.0	ISO-724	382.4	518.5
1	25.4	0.678	437.4	12		UNF	498.3	675.7
		0.606	391.0	8		UNC	445.4	604.0

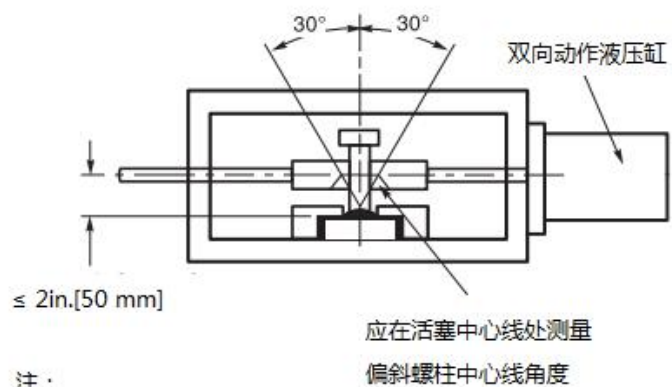
^a 扭矩数值以最低屈服强度为 49000 psi [340 MPa]的 A 型有螺纹螺柱为基础依据。

^b 平均有效螺纹面积(M.E.T.A.)应指有效应力面积, 它以在螺纹的内径与中径之间所取的约等于等于中间值的平均直径为依据。

^c 对于收货状态无镀层的螺柱, 试验扭矩=0.9×螺柱公称直径×0.2(摩擦系数)×平均有效螺纹面积×最低屈服应力。

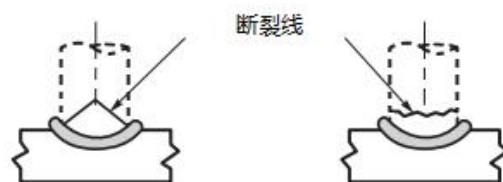
镀层、涂层或油渍/油脂残留会改变摩擦系数。

图 7.3—扭矩试验装置和试验扭矩表(见 7.6.6.2)

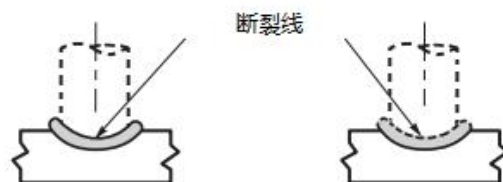


注：

1. 夹具夹紧试样，并且螺栓在相反方向交替弯曲30°。
2. 可利用图示液压缸或与拉伸试验机配备的夹具来施加荷载。



螺柱杆内的典型断裂



注：螺柱附近焊缝
内的断裂，角焊缝
仍留在板材上。

注：穿过板材撕
裂飞边的断裂

焊缝内的典型断裂

图 7.4—弯曲试验装置(见 7.9.7.2)

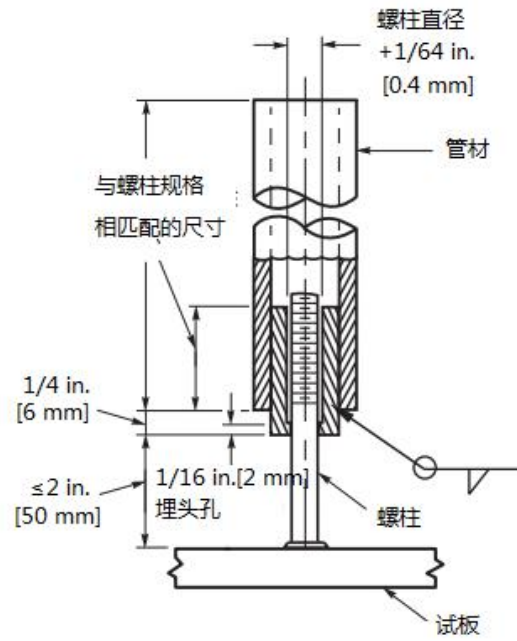


图 7.5—小螺柱评定试验用的推荐试验装置(见 7.9.7.2)

8. 现有结构的加固和修补

8.1 一般要求

现有结构的加固或修补应包含满足工程师规定的设计要求的修改。工程师应制定一份供此作业用的综合计划。此类计划应包括但不限于下述内容：设计、工艺、检验和文件。除了本节所作的修改外，本规范的所有条款也同样适用于现有结构的加固和修补，包括变形构件的热矫直。

8.2 母材

8.2.1 调查。在编制现有结构加固或修补用的图纸和技术规范之外，应利用现有图纸、规范或通过代表性母材试验来确定原结构内所用母材的类型。

8.2.2 焊接的适用性。应确定母材的焊接适用性(指导信息见表 C-8.1)。

8.2.3 其他母材。如果打算连接表 3.1 所列之外的母材，则工程师应特别谨慎地选择填充金属和 WPS。

8.3 加固和修补设计

8.3.1 设计方法。设计方法应考虑适用的管理规范条款和其他通用技术规范的要求。工程师应规定必要的调查类型和范围，以确定所需的加加固或修理是否适用于现有情况且满足适用的判断标准要求。

8.3.2 应力分析。应对受加强或修补影响的区域进行应力分析。应确定所有现场的静荷载和动荷载情况下的应力水平。应考虑构件在以往使用期间可能受到的累积损坏。

8.3.3 疲劳历史。应按照疲劳应力要求来设计承受循环荷载的构件。在设计中应考虑以前的荷载历史。如果不知道荷载历史，则应进行估算。

8.3.4 修复或更换。应决定是否要修复受腐蚀或产生其他性质损坏的零件或者更换整个构件。

8.3.5 操作中的荷载。工程师应确定加热、焊接或热切割期间构件的承载程度。必要时应减小荷载。当考虑横截面上高温蔓延产生的影响时，还应调查构件的局部稳定性和整体稳定性。

8.3.6 现有连接。应对结构中需要加固或修补的现有连接进行评估，以确保进行恰如其分的设计，并按需要予以加固。

8.3.7 现有紧固件的使用。当设计计算表明新的总荷载将导致铆钉或螺栓产生过大应力时，则铆钉或螺栓应仅被用于承受现有静荷载。如果铆钉或螺栓仅因承受静荷载或由于承受循环荷载而

产生过大应力，则应增加足量的母材和焊接，以支承总荷载。

8.4 延长疲劳寿命

8.4.1 方法。当书面工艺已获工程师批准时，则可采用下述方法修复主要焊缝：

- (1) 改善外形。通过用碳化物磨料打磨来改变焊缝面形状，以使母材以凹形圆滑过渡到焊缝。
- (2) 打磨焊趾。通过用砂轮或笔状磨头打磨的方法仅改变焊缝趾部形状。
- (3) 锤击。对焊缝表面进行喷丸清理或者锤击焊缝趾部。
- (4) TIG 修整。利用 GTAW 的电弧热(不加填充金属)重熔现有焊缝金属，以改变焊缝趾部形状。
- (5) 打磨焊趾加锤击。结合这两种方法可获得更好效果。

8.4.2 应力范围增大。工程师应确定容许应力范围的合适增量。

8.5 做工和技术

8.5.1 母材状态。应按 SSPC SP2(表面准备规范#2—手动工具清理)要求清理待修补母材及与新母材接触的原母材表面的脏物、锈斑和除粘附漆膜以外的其他杂质。应彻底清理此类表面待焊部分的杂质，包括从焊缝根部起至少 2 in. [50 mm]范围内的油漆。

8.5.2 构件中的不连续。当工程师有要求时，应在热矫直、热弯或焊接之前矫正待加固或修补构件中不合格的不连续。

8.5.3 焊缝修补。如果要求进行焊缝修补，则应按 5.25 适用要求进行。

8.5.4 厚度不足的母材。当母材厚度不足以获得所需焊缝尺寸或达到规定能力时，工程师可要求：

- (1) 将焊缝金属堆焊至规定要求；(2) 减小尺寸，以获得充足厚度；(3) 另外用母材加固；或者(4) 清除母材并更换为具备充足厚度或强度的母材。

8.5.5 热矫直。如果采用热矫直或热弯曲方法，那么采用示温色笔或其他方式测得的加热区域的最高温度不应超过 1100°F [600°C](调质钢)或 1200°F [650°C](其他钢)。钢材温度高于 600°F [315°C]不应加速冷却。

8.5.6 焊接顺序。当通过增加母材和/或焊缝金属来加强或修补构件时，焊接和焊缝顺序应尽可能使中性轴周围的热输出保持平衡，以最大限度地降低变形和残余应力。

8.6 质量

8.6.1 目视检验。应按照工程师的综合计划要求对受加固或修补工作影响的所有构件和焊缝作目视检验。

8.6.2 NDT。应在合同文件中规定 NDT 的方法、范围和验收准则。

9. 管材

9.1 概述

本节是第 1~8 节的补充。第 9 节的要求仅适用于管材连接。在进行设计时，应将本节要求与第 2 节 A 部分的适用要求结合使用。除了 9.2.7 的疲劳要求(其仅适用于承受循环荷载的结构)外，第 9 节的其他要求均适用于承受静荷载和循环荷载的结构，

本节分为下列几个部分：

A 部分—管材连接的设计

B 部分—免评定焊接工艺规程(WPS)

C 部分—焊接工艺规程(WPS)的评定

D 部分—技能评定

E 部分—制作

F 部分—检验

A 部分：管材连接的设计

9.2 许用应力

9.2.1 偏心度。在进行分析和设计时应提供因明显偏离同轴连接而引起的力矩，[偏心连接的说明见图 9.2(H)。]

9.2.2 母材应力。这些条款可连同许用应力设计(ASD)或者荷载与抗力系数设计(LRFD)中的任何适用设计规范一起使用。除非适用设计规范中另有规定，否则管材连接的设计应符合 9.2.6、9.2.7 和 9.6 要求。母材应力应为适用设计规范中的规定值，受 9.2.3 限制的情况除外。

9.2.3 管材截面的限制。应考虑超出局部屈曲或其他局部破坏模式的圆形截面的直径/厚度比限制及箱型截面的最大对边宽度/厚度限制，并且这些限制应满符合适用设计规范的要求。9.6 给出的适用限度的判定标准如下：

(1) 圆管： $D/t < 3300/F_y$ [F_y 的单位为 ksi]，或者 $D/t < 22800/F_y$ [F_y 的单位为 MPa]。

(2) 箱型截面间隙连接： $D/t \leq 210/\sqrt{F_y}$ [F_y 的单位为 ksi]，或者 $D/t < 550/\sqrt{F_y}$ [F_y 的单位为 MPa]，但不超过 35。

(3) 箱型截面搭接连接： $D/t \leq 190/\sqrt{F_y}$ [F_y 的单位为 ksi]，或者 $D/t < 500/\sqrt{F_y}$ [F_y 的单位为 MPa]。

MPa]。

9.2.4 焊缝应力。除了按 9.2.6、9.2.7 和 9.6 所作的修改外，焊缝内的许用应力不应超过表 9.2 给出的值或 2.6.4 的许用值。

9.2.5 纤维应力。因弯曲而引起的纤维应力不应超过所述拉伸和压缩值，除非构件是致密断面(能够形成全塑性力矩)且任何横向焊缝成比例地形成所连接截面的全部强度。

9.2.6 荷载与抗力系数设计。在荷载与抗力系数设计(LRFD)中，利用下列公式计算时可采用本节其他地方给出的抗力系数 Φ ：

$$\Phi \times (P_u \text{ 或 } M_u) = \Sigma(LF \times \text{荷载})$$

其中， P_u 或 M_u 是这里所给出的极限荷载或力矩；而 LF 是适用 LRFD 设计规范(比如 ANSI/AISC 360《建筑中的钢结构规范》)中定义的荷载系数。

9.2.7 圆管接头的疲劳

9.2.7.1 应力范围和构件类型。在设计承受反复变化的动荷载应力的构件和连接时，应考虑应力循环次数、预期应力范围及构件零件的部位。

9.2.7.2 疲劳应力类别。应按表 9.1 和表 9.3 所示要求来归类材料类型和部位。

9.2.7.3 基本许用应力限制。当适用的设计技术条件有疲劳要求时，则最大应力不应超过别处规定的基本许用应力，并且给定循环次数内的应力范围不应超过图 9.1 给出的值。

9.2.7.4 累积损伤。当疲劳环境涉及到应用的幅值变化与循环次数变化的应力范围时，则各种荷载的累计疲劳损伤比 D 不应超过 1：

$$D = \sum \frac{n}{N}$$

式中：

n = 给定应力范围内的循环次数

N = 图 9.1 许用的给定应力范围内的循环次数

9.2.7.5 关键构件。对于单一损坏模式不会产生重大后果的关键构件，D 值(见 9.2.7.4) 应被限定为分数值 1/3。

9.2.7.6 疲劳性能改善。当需要改善疲劳性能及合同文件中有规定时，可采取下列措施来改善管材 T 形、Y 形或 K 形连接中的焊缝形状：

(1) 可应用盖面层, 以使焊缝的焊态表面与邻近母材平滑地结合, 并且产生图 9.16 所示的剖面形状。当与直径等于或大于支管构件厚度的小圆盘作比较时, 剖面形状中缺口的深度不应超过 0.04 in. 或 1 mm。

(2) 可打磨焊缝表面, 以获得图 9.16 所示剖面形状。最终的打磨痕迹应垂直于焊缝轴线。

(3) 可用钝器锤击焊趾, 以便在产生残余压应力的同时使焊缝与母材形成平滑过渡的局部塑性变形。此类锤击应始终在目视检验之后进行, 并且在锤击之后应进行下面描述的 MT。宜考虑因锤击而导致局部缺口韧性降低的可能性。

为了对疲劳等级 X1 和 K1 进行评定, 应对代表性焊缝(已经进行过锤击的焊缝)进行 MT, 以检测表面和近表面不连续。不能通过轻微打磨清除的指示均应按 5.25.1.4 要求修补。

9.2.7.7 尺寸和剖面形状的影响。 下列焊缝疲劳类别仅适用于下面的焊缝尺寸或母材厚度:

C1 2 in. [50 mm](过渡处的较薄构件)

C2 1 in. [25 mm](附件)

D 1 in. [25 mm](附件)

E 1 in. [25 mm](附件)

ET 1.5 in. [38 mm](支管)

F 0.7 in. [18 mm](焊缝尺寸)

FT 1 in. [25 mm](焊缝尺寸)

对于超出这些限制范围的应用, 宜考虑减小许用应力或改善焊缝外形(见条文说明)。表 9.4 规定了 T 形、Y 形和 K 形连接的两个疲劳等级。如果要使用等级 I, 则设计人员应表明使用等级 I; 如果没有作此表明, 并且疲劳不是要考虑的因素之一, 则等级 II 的要求应为可接受的最低要求。

9.3 标记

管材中的构件应按图 9.2 所示要求做标记。

9.4 符号

本节所用符号见附录 I。

9.5 焊缝设计

9.5.1 角焊缝

9.5.1.1 有效面积。应按 2.4.2.10 和下述方法计算有效面积：应按 9.5.4 或 9.5.5 要求采用支管的半径或面尺寸(从焊缝中心线处测量)计算 T 形、Y 形和 K 形连接中角焊缝的有效长度。

9.5.1.2 免评定细节的 β 限值。管材 T 形、Y 形和 K 形连接中免评定角焊缝的细节如图 9.10 所示。对于圆形截面，这些细节被限定为 $\beta \leq 1/3$ ；对于箱型截面，这些细节被限定为 $\beta \leq 0.8$ 。它们也受 9.9.1 要求的限制。对于具有大的转角半径的箱型截面，可以采用较小的 β 限制，以使支管与焊缝都落在一个平面上。

9.5.1.3 搭接接头。通过焊缝传递荷载的伸缩管搭接接头(与锥形杆所用防滑接头相反)可以是如图 9.3 所示用一条角焊缝焊接的接头。

9.5.2 坡口焊缝。应按 2.4.1.5 和下列要求计算有效面积：应按 9.5.4 或 9.5.5 要求采用支管的平均有效半径或面尺寸计算 T 形、Y 形和 K 形连接中坡口焊缝的有效面积。

9.5.2.1 免评定 PJP 坡口焊缝细节。管材 T 形、Y 形或 K 形连接中的免评定 PJP 坡口焊缝应符合图 9.11 要求。工程师应结合采用图和表 9.5 来计算最小焊缝尺寸，以确定最大焊缝应力；按 9.6.1.3(2)要求放弃进行此类计算的情况除外。

应从工作点至理论焊缝面的距离中扣除折减尺寸 Z，以求出最小焊缝尺寸。

9.5.2.2 T 形、Y 形和 K 形连接中不用衬垫从一侧施焊的免评定 CJP 坡口焊缝细节。细节的选择见 9.11.2。如果要求改善疲劳性能，则应根据 9.2.7.6 和表 9.4 的剖面形状要求选择细节。

9.5.3 焊缝中的应力。当要求计算圆形截面的焊缝许用应力时，则应按下列公式计算简单的 T 形、Y 形或 K 形连接中将支管连接到弦杆的焊缝的公称应力：

$$f_{\text{焊缝}} = \frac{t_b}{t_w} \left[\frac{f_a}{K_a} \left(\frac{r_m}{r_w} \right) + \left(\frac{f_a}{K_b} \right) \frac{r_m^2}{r_w^2} \right]$$

式中：

t_b = 支管的厚度；

t_w = 焊缝有效厚度；

f_a 和 f_b = 支管内的公称轴应力和弯曲应力。

r_m 和 r_w 见图 9.4。

K_a 和 K_b 分别是 9.5.4 和 9.5.5 给出的有效长度和截面系数。

在极限强度或 LRFD 方法中，下列关于支管轴向承载能力 P 的表述也适用于圆形截面和箱

型截面：

关于支管轴向荷载能力 P 的下述表达式必须适用于圆截面和箱型截

面两者：

$$P_u = Q_w \cdot L_{\text{eff}}$$

式中：

Q_w = 焊缝线性承载能力(kips/in.)

L_{eff} = 焊缝有效长度。

对于角焊缝，

$$\Phi = 0.8 \text{ 时, } Q_w = 0.6 t_w F_{\text{EXX}}$$

其中 F_{EXX} = 焊缝熔敷金属的最小抗拉强度等级。

9.5.4 圆管连接长度。 T 形、Y 形和 K 形连接中的焊缝长度和相贯线长度应为 $2\pi r K_a$ ，其中 r 是相贯线的有效半径[见 9.5.2、9.5.1.1 和 9.6.1.3(4)]。

$$K_a = x + y + 3\sqrt{(x^2 + y^2)}$$

$$x = 1/(2\pi\sin\theta)$$

$$y = \frac{1}{3\pi} \left(\frac{3 - \beta^2}{2 - \beta^2} \right)$$

式中：

θ = 两构件轴线之间的锐角；

β = 前面所定义的支管与主管的直径比。

注：下列公式可被用于计算保守的近似值：

$$\text{轴向荷载: } K_a = \frac{1 + 1/\sin\theta}{2}$$

$$\text{面内弯曲: } K_b = \frac{3 + 1/\sin\theta}{4\sin\theta}$$

$$\text{面外弯曲: } K_b = \frac{1 + 3/\sin\theta}{4}$$

9.5.5 箱型截面连接长度

9.5.5.1 K 形和 N 形连接。 主要承受轴向静荷载的箱型截面之间的 K 形和 N 形结构连接、平面

连接及间隙连接内支管焊缝的有效长度应为：

$$\theta \leq 50^\circ \text{ 时为 } 2ax + 2b$$

$$\theta \geq 60^\circ \text{ 时为 } 2ax + b$$

因此，当 $\theta \leq 50^\circ$ 时，支管根部、趾部和边缘焊缝的长度可以被视为是完全有效的长度。当 $\theta \geq 60^\circ$ 时，由于荷载分布不均，故而根部焊缝的长度被视为是无效长度。当 $50^\circ < \theta < 60^\circ$ 时，采用内插法来计算有效长度。

9.5.5.2 T 形、Y 形和 X 形连接。主要承受轴向静荷载的箱型截面之间的 T 形、Y 形和 X 形结构连接及平接连接内支管焊缝的有效长度应为：

$$\theta \leq 50^\circ \text{ 时为 } 2ax + 2b$$

$$\theta \geq 60^\circ \text{ 时为 } 2ax$$

$$50^\circ < \theta < 60^\circ \text{ 时采用内插法计算}$$

9.6 焊接连接的强度限定

9.6.1 圆管的 T 形、Y 形和 K 形连接(见 9.8.1.1)

9.6.1.1 局部破坏。如果单纯通过将支管逐一焊接到主管的方式制作 T 形、Y 形和 K 形连接，则贯穿主管壁的潜在是小面的局部应力可能会限制到焊接接头的可用强度。导致产生这种破坏的剪应力不仅取决于主管钢材的强度，而且与连接的几何形状有关。此类连接应在下列其中一种基础上按比例配置：

- (1) 冲击剪切；或者
- (2) 下面给出的极限荷载计算值。

冲击剪应力是许用应力设计(ASD)的判定依据，并且包括了安全系数。可在荷载与抗力系数设计(LRFD)中采用极限荷载模式，并将设计人员可将抗力系数 Φ 纳入其中，见 9.2.6。

(1) 冲击剪切模式。作用于潜在破坏表面的冲击剪应力(见图 9.5)不应超过许用冲击剪应力。

作用的冲击剪应力由下式给出：

$$\text{作用的 } V_p = \tau f_n \sin.\theta$$

许用冲击剪应力由下式给出：

$$\text{许用 } V_p = Q_q \cdot Q_r \cdot F_{y0} / (0.6\gamma)$$

这里许用 V_p 也受限于适用设计规范中规定的许用剪应力(比如 $0.4 F_{y0}$)。上述方程式所用术

语的定义如下:

τ 、 θ 、 γ 、 β 和连接几何形状的其他参数的定义见图 9.2(M)。

f_b 为支管中公称轴向应力(f_a)或弯曲应力(f_b)(各支管的冲击剪应力应单独计入)。

F_{yo} 是主管弦杆的最低规定屈服强度, 但不应大于抗拉强度的 2/3。

Q_q 和 Q_r 分别为表 9.6 给出的几何形状修饰术语和应力相互作用术语。

对于绕着两条轴(比如 y 轴和 x 轴)发生的弯曲, 圆形截面和箱型截面内的有效合成弯曲应力可取为:

$$f_b = \sqrt{f_{by}^2 + f_{bz}^2}$$

合成轴向和弯曲应力应满足下列公式要求:

$$\left[\frac{\text{作用 } V_p}{\text{许用 } V_p} \right]_{\text{轴向应力}}^{1.75} + \left[\frac{\text{作用 } V_p}{\text{许用 } V_p} \right]_{\text{弯曲应力}} \leq 1.0$$

(2) LRFD 模式(荷载达到极限条件—见 9.2.6)

在主管发生弦壁塑性变形破坏时, 支管的荷载由下述公式给出:

$$\text{轴向荷载: } P_u \sin \theta = t_c^2 F_{yo} [6\pi\beta Q_q] Q_r$$

弯矩:

$$M_u \sin \theta = t_c^2 F_{yo} [d_b / 4] [6\pi\beta Q_q] Q_r, \text{ 取抗力系数 } \Phi=0.8。$$

宜采用被会重新定义为 $(P_c / AF_{yo})^2 + (M_c / SF_{yo})^2$ 的 $\bar{U}^2$ 来计算 Q_r , 其中 P_c 和 M_c 为计算的主弦杆荷载和力矩, A 为面积, S 为截面模数。

这些荷载也受下列主弦杆材料剪切强度的限定:

$$P_u \sin. \theta \leq \pi d_b t_c F_{yo} / \sqrt{3}$$

$$M_u \sin. \theta \leq t_c F_{yo} / \sqrt{3}$$

取 $\Phi=0.95$ 。

其中:

t_c = 弦壁厚度

d_b = 支管直径及 9.6.1.1(1)定义的其他术语。

轴向荷载 P 和弯曲力矩 M 组合的极限状态由下式给出：

$$(P/P_u)^{1.75} + M/M_u \leq 1.0$$

9.6.1.2 整体毁坏。应采用适用设计规范给出的合适技术来调查管材连接中进行了任何加强的主管的强度和稳定性。在十字形连接和承受破坏性荷载的连接中，整体毁坏尤为严重[见图 9.2(G) 和 9.2(J)]。可通过增加主管厚度或者使用隔板、加强环或套圈的方式来加强此类连接。

(1) 对于未加强的圆管十字形连接，由于存在受压支管的轴向荷载 P ，所以许用的横向弦杆荷载不应超过

$$P \sin \theta = t_c^2 F_y (1.9 + 7.2 \beta) Q_\beta Q_f$$

(2) 对于采用加厚厚度为 t_c 、长度为 L 的“接头套筒”增强的圆管十字形连接，许用的支管轴向荷载可为：

$$(1) L < 2.5/D \text{ 时, } P = P_1 + [P_{(2)} - P_{(1)}]L/2.5D$$

$$(2) L \geq 2.5/D \text{ 时, } P = P_{(2)}$$

其中， $P_{(1)}$ 可通过将主管公称厚度带入式(1)求出，而 $P_{(2)}$ 则可通过将接头套筒代入相同公式求出。

承载能力极限状态可为上述 ASD 许用值的 1.8 倍(取 $\Phi = 0.8$)。

(3) 在圆管的 K 形连接中，当要求主管壁厚满足 9.6.1.1 的局部剪切要求并超出所连接的支管焊缝至少 $D/4$ 时，则无需核查整体损坏情况。

9.6.1.3 非均布荷载(焊缝尺寸测定)

(1) 由于承受垂直于表面的荷载的主管与承受平行于表面薄膜应力的主管的柔性存在差异，因此从焊缝传递过的荷载的分布极不均匀，并且在连接达到其设计荷载之前预期会产生局部屈服。为防止焊缝产生“开拉链式”或渐进式破坏并保证接头的塑性行为符合要求，在简单的 T 形、Y 形或 K 形连接中提供的最小焊缝应能在极限断裂强度下降低支管的屈服强度或主管的局部强度(冲击剪切强度)。当抗拉强度是 60 ksi [415 MPa] 或 70 ksi [485 MPa] 时，计算得出的角焊缝和 PJP 坡口焊缝的极限断裂强度应为基本许用应力的 2.67 倍，如果采用更高强度等级，则应为基本许用应力的 2.2 倍。极限冲击剪应力应为 9.6.1.1 的许用 V_P 的 1.8 倍。

(2) 当使用匹配材料(表 3.1)时，可以认为图 9.14 (CJP) 和 9.10.1 (PJP) 的免评定接头的细节符

合这一要求。

(3) 当满足下述焊缝有效厚度的要求时，也可以认为焊缝的强度与图 9.10 免评定角焊缝细节相一致：

(a) 对于与超强匹配焊缝(等级强度 $F_{EXX} = 70 \text{ ksi [485MPa]}$)连接的低碳钢圆管($F_y \leq 40 \text{ ksi [280MPa]}$)的弹性工作应力设计， $E = 0.7 t_b$ 。

(b) 对于与满足表 3.1 和表 3.2 的匹配强度要求的焊缝连接的低碳钢($F_y \leq 40 \text{ ksi [280MPa]}$)圆管或箱型截面的极限强度设计(LRFD)， $E = 1.0 t_b$ 。

(c) 在所有其他情况下， $E = t_c$ 或 $1.07 t_b$ (两者之中取较小值)

(4) 对于小于图 9.10 的匹配连接强度但所选尺寸仅可承受设计荷载的角焊缝，在考虑了非均匀荷载的情况下，其尺寸至少应为按 9.5.3 计算的应力的数倍：

	ASD	LRFD
E60XX 和 E70XX	1.35	1.5
较高强度	1.60	1.8

9.6.1.4 过渡。对于除下面所列之外的喇叭形连接和管子尺寸过渡，应检查因过渡处方向变化而导致产生的局部应力(见表 9.3 的注 b)。静荷载的例外情况是：

$D/t < 30$ 且过渡坡度小于 1:4 的圆管

9.6.1.5 其他结构形式和荷载

(1) 术语“T 形、Y 形和 K 形连接”通常被用于结构节点中将分管焊接到主管或弦杆上的管材连接。9.6.1.1 和 9.6.1.2 还给出了十字形(X 形)连接(又称双 T 形连接)的具体标准。N 形连接是 K 形连接的一种特殊情况，这种连接中的支管垂直于弦杆；相同的标准也适用于这种连接(见多平接连接的条文说明)。

(2) 宜按每种荷载情况的荷载分布方式将各个支管的连接归类为 T 形、Y 形、K 形或十字形连接。如果被视为是 K 形连接，则支管中的冲孔荷载宜基本可以利用接头相同侧的相同平面内其他支管上的荷载来平衡。在 T 形和 Y 形连接中，冲切荷载是弦杆中梁剪力的反作用力。在十字形连接中，冲切荷载通过弦杆传递到对侧的支管上。对于 K 形连接及 T 形、Y 形或十字形连接中承受部分荷载的支管，应依据其在整体中所占的部分采用内插法计算荷载，或者使用已算出的 α 值来计算(见条文说明)。

(3) 对于多平接连接,附录 R 给出的 α 值可被用于估算不同支管荷载在主管椭圆线上产生的有利或有害作用。不过,对于相邻平面内承受类似荷载的连接(例如三角形桁架中的成双 TT 形和 KK 形连接),其承载能力不应超过相应的共平接连接的承载能力。

9.6.1.6 搭接连接。搭接接头(在这种连接中,部分荷载通过它们的共同焊缝直接从一个支管传递到另外一个支管上)应进行下列检查:

(1) 垂直于主管轴线的单独构件的许用荷载分类 $P_{\perp}$ 应为 $P_{\perp} = (V_p t_c l_1) + (2V_w t'_w l_2)$, 其中 V_p 是 9.6.1.1 定义的容许冲击剪力, 并且:

t_c = 主管厚度

l_1 = 支构件与主管接触部分的实际焊缝长度

V_p = 如果是 K 形连接($\alpha = 1.0$), 则为主管的许用冲切剪力

V_w = 支构件之间的焊缝许用剪应力(表 9.2)

t_w = 较薄支管的焊缝尺寸(焊缝有效厚度)或厚度 t_b (两者之中取较小值)

l_2 = 在垂直于主管的方向测得的搭接焊缝一侧的投影弦长

这些术语的说明见图 9.6。

承载能力极限状态可为上述 ASD 许用值的 1.8 倍(取 $\Phi = 0.8$)。

(2) 平行于主管轴线的许用结合荷载分量不应超过 $V_w t_w \sum l_1$, 其中 $\sum l_1$ 为所有与主管接触的支构件的实际焊缝总长。

(3) 搭接接头最好按比例承担至少 50%的作用荷载 $P_{\perp}$ 。在任何情况下,支管壁厚均不应超过主管壁厚。

(4) 如果支管实际上承受着不同荷载,或者其中一个支管的壁厚大于另外一个支管,或者同时出现这两种情况,则最好将壁厚较厚的支管或者是承受较重荷载的支管的整个圆周都焊接到主管上。

(5) 结合投影线上的横向净荷载应满足 9.6.1.1 和 9.6.1.2 要求。

(6) 角焊缝的最小焊缝尺寸应能在 $F_y < 40 \text{ ksi}$ [280 MPa]时提供 $1.0 t_b$ 的焊缝有效厚度, 在 $F_y > 40 \text{ ksi}$ [280 MPa]时提供 $1.2 t_b$ 的焊缝有效厚度。

9.6.2 箱型截面的 T 形、Y 形和 K 形连接(见 9.8.1.1)。本节给出的准则均为极限荷载模式下的准则,并未考虑安全系数。本节通篇给出了 LRFD 的抗力系数。对于 ASD,许用能力应为极限

能力除以安全系数 $1.44/\Phi$ 。应按适用设计规范要求选择荷载和荷载系数；见 2.6.5 和 9.2.6。应检查连接中是否存在下述各种破坏模式。

这些准则适用于平面桁架(其中的支管荷载是主要荷载)中壁厚均匀的箱型截面之间的连接。如果采用带有坚实塑性材料截面且强度适当的焊缝，则支管的二次弯曲可以忽略不计。(二次弯曲是指标准三角形桁架中因接头表现或旋转所致的弯曲。)由于施加的荷载、无支承框架的侧移等因素导致支管产生的弯曲不可忽略不计，并且应在设计中予以考虑(见 9.6.2.5)。

图 9.7 所示的限制条件也适用于本节给出的准则。

9.6.2.1 局部破坏。主管弦壁发生塑性破坏时，该处支构件的轴向荷载 P_u 可由下式得出：

$$P_u \sin \theta = F_{yo} t_c^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{1-\beta}} \right] Q_f$$

对于十字形、T 形和 Y 形连接， $0.25 \leq \beta < 0.85$ 且 $\Phi = 1.0$ 。

此外，当 $\Phi = 0.9$ 时， $P_u \sin. \theta = F_{yo} t_c^2 [9.8 \beta_{\text{eff}} \sqrt{\gamma}] Q_f$ 。

对于间隙的 K 形和 N 形连接：

$$\beta_{\text{eff}} \geq 0.1 + \frac{\gamma}{50} \text{ 且 } g/D = \zeta \geq 0.5 (1-\beta)$$

其中 F_{yo} 为主管的最低规定屈服强度， t_c 为弦杆壁厚， $\gamma = D/2t_c$ (D 为弦面宽度)； β 、 η 、 θ 和 ζ 为图 9.2(M) 和图 C-9.3 定义的连接拓扑参数；(β_{eff} 为如下所定义的 β 的等量值)； $Q_f = 1.3 - 0.4 \bar{U} / \beta$ ($Q_f \leq 1.0$)；如果弦杆处于受拉状态，则 $Q_f = 1.0$ ，而 $\bar{U}$ 为弦杆利用率。

$$\bar{U} = \left| \frac{f_a}{F_{yo}} \right| + \left| \frac{f_b}{F_{yo}} \right|$$

$$\beta_{\text{eff}} = (b_{\text{受压支管}} + a_{\text{受压支管}} + b_{\text{受拉支管}} + a_{\text{受拉支管}}) / 4D$$

这些荷载同样受如下弦杆材料剪切强度的限定：

$$P_u \sin. \theta = (F_{yo} / \sqrt{3}) t_c D [2\eta + 2 \beta_{\text{eop}}]$$

对于十字形、T 形和 Y 形连接， $\beta > 0.85$ ， $\Phi = 0.95$ ，并且

$$P_u \sin. \theta = (F_{yo} / \sqrt{3}) t_c D [2\eta + 2 \beta_{\text{eop}} + \beta_{\text{gap}}]$$

对于 K 形和 N 形连接， $\beta \geq 0.1 + \gamma/5$ ， $\Phi = 0.95$ (当支管为正方形及等宽构件时，则不必作此检查)，其中：

对于 $\zeta \leq 1.5 (1-\beta)$ 的 K 形和 N 形连接, $\beta_{\text{gap}} = \beta$

对于所有其他连接, $\beta_{\text{gap}} = \beta_{\text{eop}}$ 。

β_{eop} (有效外部冲切) = $5\beta/\gamma$, 但不大于 β 。

9.6.2.2 整体毁坏。应采用适用设计规范给出的合适技术来调查管材连接中进行了任何加强的主管的强度和稳定性。

(1) 在十字形连接和承受断裂荷载的连接中, 整体毁坏尤为严重。可通过增加主管厚度或者使用隔板、加强环或套圈的方式来加强此类连接。

对于未加强的箱型管十字形连接, 由于存在受压支管的轴向荷载 P , 所以垂直于主管(弦杆)的极限荷载应被限定为:

$$P_u \sin \theta = 2t_c F_{y0}(a_x + 5 t_c)$$

如果是拉伸荷载, 则 $\Phi = 1.0$;

如果是压缩荷载, 则 $\Phi = 0.8$ 。

和

$$P_u \sin \theta = \frac{47t_c^3}{H - 4t_c} \sqrt{EF_{y0}}(Q_f)$$

如果十字形连接、端柱等处于受压状态, 则 $\Phi = 0.8$ 且 E = 弹性模数。

或者是

$$P_u \sin \theta = 1.5t_c^2 [1 + 3a_x / H] \sqrt{EF_{y0}}(Q_f)$$

对于所有其他受压支管荷载, $\Phi = 0.75$ 。

(2) 对于间隙的 K 形和 N 形连接, 应检查主管承受穿过间隙区域的横向荷载的梁剪力的充分性, 包括与轴向弦杆力的相互作用。而对于 $\beta + \eta \leq H/D$ (H 是桁架平面内主管的高度)的阶梯式箱型连接, 当 $U \leq 0.44$ 时不需要作这种检查。

9.6.2.3 非均布荷载(有效宽度)。由于承受垂直于表面的荷载的主管与承受平行于表面薄膜应力的主管的柔性存在差异, 因此从焊缝传递过的荷载的分布极不均匀, 并且在连接达到其设计荷载之前预期会产生局部屈服。为防止产生渐进式破坏并保证接头的塑性行为符合要求, 应按下列要求对支管和焊缝都作检查:

(1) **支管检查。**对于所有间隔处的 K 形和 N 形连接以及 $\beta > 0.85$ 的其他连接，应检查支管有效宽度上的轴向承载力 P_u 。(注意，(当支管为正方形及等宽构件时，则不必作此检查。))

$$P_u = F_y t_b [2a + b_{\text{gap}} + b_{\text{eoi}} - 4t_b] (\Phi = 0.95)$$

式中：

F_y = 支管的最低规定屈服强度

t_b = 支管壁厚

a, b = 支管尺寸[见图 9.2(B)]

$b_{\text{gap}} = \zeta \leq 1.5(1-\beta)$ 的 K 形和 N 形连接的 b

$b_{\text{gap}} =$ 所有其他连接的 b_{eoi}

$b_{\text{eoi}} = \leq b$

注：假定 $\tau \leq 1.0$ 且 $F_y \leq F_{y0}$ 。

(2) **焊缝检查。**在简单的 T 形、Y 形或 K 形连接中提供的最小焊缝应能在极限断裂强度下降低支管的屈服强度或主管的局部强度(冲击剪切强度)。

当使用匹配材料(表 3.1 和表 3.2)时，可以认为图 9.12(CJP 和 PJP)的免评定接头的细节符合这一要求。

(3) 应按 9.5.5 所述要求检查角焊缝。

9.6.2.4 搭接连接。由于可将大部分横向荷载直接从一个支管传递给其他支管，因而搭接接头减少了主管设计中存在的问题(见图 9.8)。

本节的准则适用于满足下列限制要求的承受静荷载的连接：

(1) 较大、较厚的支管是贯穿构件。

(2) $\beta \geq 0.25$ 。

(3) 搭接支管的尺寸是贯穿构件的 0.75~1.0 倍，并且其侧面至少有 25% 的部分与贯穿构件搭接。

(4) 两根支管的屈服强度相同。

(5) 所有支管和弦杆构件均为宽厚比 ≤ 35 (如果是支管)或 ≤ 40 (如果是弦杆)的坚实箱型管。

应作下列检查：

(1) 用下列公式和 $\Phi=0.95$ 检查搭接管的轴向承载力 P_u ：

搭接部分的百分比是 25%~50%: $P_u = F_y t_b [Q_{OL} (2a - 4t_b) + b_{eo} + b_{et}]$

其中 $Q_{OL} = \frac{\text{搭接部分}\%}{50\%}$

搭接部分的百分比是 50%~80%: $P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + b_{eo} + b_{et}]$

搭接部分的百分比是 80%~100%: $P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + b + b_{et}]$

搭接部分的百分比超过 100%: $P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + 2b_{et}]$

其中 b_{eo} 是焊接到弦杆上的焊接面的有效宽度,

$$b_{eo} = \frac{(5b)F_{yo}}{\gamma(\tau)F_y} \leq b$$

其中 b_{eo} 是焊接到贯穿构件上的焊接面的有效宽度,

$$b_{et} = \frac{5b}{\gamma_t \tau_t} \leq b$$

$\gamma_t = \text{贯穿构件的 } b/(2t_b)$

$\tau_t = t_{\text{搭接构件}}/t_{\text{贯穿构件}}$

其他术语的定义即为前面给出的定义。

(2) 对于组合投影上的净横向荷载, 按 T 形或 Y 形连接的要求处理。

(3) 对于超过 100% 的搭接, 应检查纵向剪切荷载, 并且仅考虑有效覆盖的贯穿构件侧壁的荷载。

9.6.2.5 弯曲。在进行设计时, 由于施加的荷载、悬臂梁、无支承框架侧移等产生的主要弯矩应被视为是一种附加轴向荷载 P :

$$P = \frac{M}{JD \sin \theta}$$

如果不打算进行更合理的分析(见条文说明), 则面内弯曲时可取 JD 为 $\eta D/4$, 面外弯曲时可取 JD 为 $\beta D/4$ 。应将轴向荷载、面内弯曲和面外弯曲的作用作为附加情况予以考虑。以支管的投影处为力矩的作用点。

9.6.2.6 其他结构形式。可采用 9.6.2.1 和 9.6.2.2 给出的承载能力的 78.5% 来设计构成箱型截面主管框架的坚实圆形支管的十字形、T 形、Y 形连接及间隙处 K 形和 N 形连接, 并在每个公式中用箱型截面的尺寸“a”和“b”来代替支管直径(仅适用于 $0.4 \leq \beta \leq 0.8$ 的坚实截面)。

9.7 厚度过渡

在由厚度或尺寸不相同的材料组成的承受循环荷载且轴线对其的主管中，应以一种可确保穿过过渡区的斜面的斜度不超过 1:25 的方式制作受拉对接接头。应通过斜切较厚件、将焊缝金属作成斜面或兼用两种方法来实现过渡(见图 9.9)

9.8 材料限定

管材连接容易在设计荷载下产生局部应力集中，从而导致产生局部屈服和塑性应变。在使用寿命内，尤其是承受动荷载时，循环荷载可能会引发疲劳裂纹，从而对钢材塑性提出额外要求。设计用于承受冲击剪力的厚壁接头套筒的这方面的问题尤为突出(见条文说明 C-9.8.2.2)。

9.8.1 限定

9.8.1.1 屈服强度。9.6 中关于焊接管材连接的设计条款不适用于最低规定屈服强度 F_y 超过 60 ksi[415 MPa]的圆管或是 F_y 超过 52 ksi [360 MPa]的箱型管。

9.8.1.2 降低的有效屈服强度。管材连接设计中应使用降低的有效屈服强度 F_{yo} ， F_{yo} 的限定如下：

- (1) 如果是圆形截面，则为最低规定屈服强度的 2/3(见表 9.6 注释)；
- (2) 如果是矩形截面，则为最低规定屈服强度的 4/5(见图 9.7)。

9.8.1.3 箱型截面的 T 形、Y 形和 K 形连接。设计人员宜考虑用于箱型截面的 T 形、Y 形和 K 形连接的钢材的特殊要求。

9.8.1.4 ASTM A500 注意事项。按本规范制造的产品可能不适合被用作诸如焊接结构中承受动荷载的零件(这种情况下可能低温缺口韧性要求比较重要)等。如果将产品应用于管材 T 形、Y 形和 K 形连接，则需慎重考虑或进行热处理。

9.8.2 管材连接的母材缺口韧性

9.8.2.1 CVN 试验要求。应证明对受拉焊接管材构件进行 CVN 试验时，其在下列条件下在 70°F 时吸收能量为 20 ft·lb[21°C 是为 27 J]：

- (1) 母材厚度 ≥ 2 in. [50 mm]且最低规定屈服强度 ≥ 40 ksi [280 MPa]。

CVN 试验应符合 ASTM A673(炉批号的频率为 H)要求。对于本小节而言，受拉构件是指在设计荷载下承受 10 ksi [70 MPa]以上拉应力的构件。

9.8.2.2 LAST 要求。对于在设计受循环荷载或疲劳荷载限制的结构节点中被作为主管使用的管材(比如 T 形、Y 形和 K 形连接中的接头套管)，应证明进行 CVN 试验时，其在下列条件下在最

低预期工作温度(LAST)时吸收能量为 20 ft·lb [27 J]:

- (1) 母材厚度 ≥ 2 in. [50 mm]。
- (2) 母材厚度 ≥ 1 in. [25 mm] 且规定屈服强度 ≥ 50 ksi [345 MPa]。

当没有规定 LAST, 或者结构不受循环荷载或疲劳荷载限制时, 应在不超过 40°F [4°C] 的温度下进行试验。CVN 试验通常应被作为正式供货态管材的技术条件, 并且应按 ASTM A673 的频率 H(炉批号)进行试验。

9.8.2.3 其他缺口韧性。当合同文件有规定时, 应采用其他缺口韧性要求。条文说明为设计人员提供了附加指导信息。在规划和设计的早期阶段, 韧性与结构的冗余性和临界性有关。

B 部分: 免评定焊接工艺规程(WPS)

9.9 角焊缝要求

9.9.1 细节。角焊缝焊接的免评定管材连接应符合下列要求:

(1) 免评定 WPS。图 9.10 描述了利用可在不执行 WPS 评定试验的情况下使用的 SMAW、GMAW 或 FCAW 工艺制作的角焊缝焊接管材连接(相关限定见 9.5.1.2)。这些细节也适用按 9.15.4.3 评定的 GMAW-S。

(2) 搭接接头的详细要求见图 9.3。

9.10 PJP 要求

9.10.1 细节。PJP 坡口焊缝焊接的免评定管材连接应符合下列要求:

(1) 如果要采用仅可通过 SMAW、GMAW 或 FCAW 工艺焊接的 PJP 管材坡口焊缝(管材 T 形、Y 形和 K 形连接除外), 并且满足了图 3.2 描述的所有接头尺寸限制要求, 则可在不进行 WPS 评定试验的情况下使用这些焊缝。

(2) 如果要采用仅可通过 SMAW、GMAW 或 FCAW 工艺焊接的 PJP 管材 T 形、Y 形和 K 形连接, 并且满足了图 9.11 描述的所有接头尺寸限制要求, 则可在不进行 WPS 评定试验的情况下使用这些连接。这些细节也适用按 9.15.4.3 评定的 GMAW-S。

9.10.1.1 匹配的箱型管连接。这些连接中 PJP 坡口焊缝的细节、拐角尺寸和主管半径见图 9.11。趾部和跟部区域可采用角焊缝(见图 9.10)。如果拐角尺寸和/或主管半径小于 9.11 所示值, 则应在侧面零件上焊接一个简单接头并将其剖口, 以核实焊缝尺寸。试验焊缝应在横焊位置焊接。

如果支管具有如图 9.12 所示的 CJP 坡口焊缝那样的开口，则可不遵守这一要求。

9.11 CJP 坡口焊缝要求

9.11.1 对接接头。管材坡口焊缝若要免除评定，则应满足下列条件：

(1) 免评定 WPS。如果可以从两面施焊或者用衬垫从一面施焊，则可采用按第 3 节要求免评定的任何 WPS 和坡口细节，仅在直径等于或大于 24 in. [600 mm] 的情况下免评定的 SAW 除外。焊接接头的细节应满足第 3 节要求。

(2) 非免评定接头的详细要求。不用衬垫仅从一面施焊的对接接头内的 CJP 坡口焊缝不能免除评定(见 9.15.2)。

9.11.2 管材 T 形、Y 形和 K 形连接。本节描述了圆管所用管材 T 形、Y 形和 K 形连接中不用衬垫仅从一面施焊的 CJP 坡口焊缝的详细要求。细节 A、B、C 和 D 的适用范围见图 9.12 和图 9.13，与这些细节对应的局部二面角 $[\Psi]$ 的适用范围见表 9.7。

表 9.8 和图 9.14 描述了包含坡口角度在内的接头尺寸。选择随厚度而变的剖面形状(与设计中所用的疲劳类别保持一致)时应遵守 9.2.7.7 中的准则。较厚截面所需的可选焊缝剖面形状见图 9.15。如无特殊的疲劳要求，则这些剖面形状适用于支管厚度超过 5/8 in. [16mm] 的情况。

符合 9.2.7.6 和 9.2.7.7 要求的已改善焊缝剖面形状见图 9.16。如无特殊的疲劳要求，则这些剖面形状适用于支管厚度超过 1-1/2 in. [38 mm] 的情况(不适用于承受静态压缩荷载的情况)。

图 9.12 进一步阐述了采用箱型型材制作的管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定细节。上述细节受 9.11.1 要求的限制。

注：选择合适剖面形状方面的设计指南见文说明(C-9.15.4)。

接头尺寸和坡口角度不应超出表 9.8 及图 9.12 和图 9.14~图 9.16 所示范围。如果没有另标尺寸，则接头钝边的尺寸应为零。详细上可标出大于零的尺寸或规定尺寸，但不可超过 1/16 in. [2 mm]。如果小于规定尺寸，则可不予标注。

9.11.2.1 接头细节。管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的细节见 9.11.2 所述。对于 SMAW 和 FCAW，这些细节可免除评定。这些细节也适用于按 9.15.4.3 评定的 GMAW-S。

C 部分：焊接工艺规程(WPS)的评定

9.12 WPS 和焊接人员技能评定的通用要求

9.12.1 试验焊缝的位置。应按图 4.1 和图 4.2 所示位置将所有焊缝归为平焊(F)焊缝、横焊(H)焊缝、立焊(V)焊缝和仰焊(OH)焊缝。

试验焊缝的位置见：

- (1) 图 9.17 (管材或管件中的坡口焊缝)
- (2) 图 9.18 (管材或管件中的角缝)

9.13 评定的产品焊接位置

利用管材试验评定的管材产品焊接位置应符合表 9.9 要求。利用板材试验评定的管材产品焊接位置应符合第 4 节和表 4.1 要求。

9.14 WPS 评定的评定试验类型、试验方法及验收准则

评定规定厚度和/或直径用 WPS 所需的评定试验的类型和数量应符合表 9.10 (CJP)、表 9.11 (PJP)或表 9.12 (角焊缝)要求。各种 NDT 和力学性能试验的详细要求见 4.5。

焊接试件应包含按图 9.19 或图 9.20 所示切取自试管的试样。试验方法及验收准则应符合 4.9 要求，但下列情况除外：

- (1) 对于 T 形、Y 形和 K 形连接，熔透并未受到限定。
- (2) 对于管材连接，应按第 6 节 C 部分和第 9 节 F 部分的适用要求在焊缝的整个外周进行 RT 或 UT。

9.15 管材连接的 CJP 坡口焊缝

CJP 坡口焊缝应按下列要求分类：

- (1) 加衬垫或背面清根的 CJP 对接接头(见 9.15.1)。
- (2) 不用衬垫仅从一面施焊的 CJP 对接接头(见 9.15.2)。
- (3) 加衬垫或背面清根的 T 形、Y 形或 K 形连接(见 9.15.3)。
- (4) 不用衬垫仅从一面施焊的 T 形、Y 形或 K 形连接(见 9.15.4)。

9.15.1 加衬垫或背面清根的 CJP 对接接头。应采用图 9.23(A) (背面清根)或图 9.23(B) (加衬垫)所示细节评定加衬垫或背面清根的 WPS。

9.15.2 不用衬垫仅从一面施焊的 CJP 对接接头。应采用图 9.23(A) 所示细节评定不用衬垫仅从一面施焊的 WPS。

9.15.3 加衬垫或背面清根的 T 形、Y 形或 K 形连接。应按下列要求评定加衬垫或背面清根的管

材 T 形、Y 形或 K 形连接的 WPS:

- (1) 具备选择表 9.10 的合适公称外径的管材; 和
- (2) 图 9.23(B)的接头细节; 或
- (3) 对于公称外径等于或大于 24 in. [600 mm]的管材, 按 4.9 要求采用图 9.23(B)的接头细节进行评定。

9.15.4 不用衬垫仅从一面施焊的 T 形、Y 形或 K 形连接。 当要求评定时, 不用衬垫仅从一面施焊的 T 形、Y 形或 K 形连接的 WPS 应符合下列要求:

9.15.4.1 不符合免评定要求的 WPS。 基于基本参数不在免评定范围内的 WPS, 应按下列要求评定 CJP 管材坡口焊缝:

(1) 按图 9.25 要求对外径等于或大于 4 in.[100 mm]的圆管进行评定, 或按图 9.25 和图 9.27 对箱型管进行评定。按图 9.26 要求对外径小于 4 in.[100 mm]的圆管进行评定, 或按图 9.26 和图 9.27 对箱型管进行评定。

(2) 样品接头或管材焊接模拟件。样品接头或管材实物至少应能提供满足下述每项条件的一个宏观腐蚀试验断面:

(a) 采用具备最大坡口深度和最小坡口角度组合的坡口或者坡口组合: 试验焊件在立焊位置施焊。

(b) 与 37.5°坡口角度一起使用的最窄根部间隙: 一个试验焊件在平焊位置施焊, 另一个试验焊件在仰焊位置施焊。

(c) 与 37.5°坡口角度一起使用的最宽根部间隙: 一个试验焊件在平焊位置施焊, 另一个试验焊件在仰焊位置施焊。

(d) 组合中使用的最小坡口角度、拐角尺寸和拐角半径(仅限匹配的箱型管连接): 一个试验焊件在横焊位置施焊。

(3) 应检查上面(1)和(2)规定的宏观试样是否存在不连续, 并且试样应:

- (a) 无裂纹;
- (b) 焊缝金属相邻焊层之间和焊缝金属与母材之间完全熔合;
- (c) 焊缝细部符合规定的要求, 没有 5.23 不允许出现的偏差;

- (d) 没有超过 6.9 容许值的咬边；
- (e) 对于等于或大于 1/32 in. [1 mm] 的气孔，累加气孔尺寸不应超过 1/4 in. [6 mm]；
- (f) 无聚集的焊渣，并且焊渣的最大尺寸总和不应超过 1/4 in. [6 mm]。

不符合(a)~(f)要求的试样应被视为不合格试样；(b)~(f)的要求不适用于封底焊缝。

9.15.4.2 二面角小于 30°的 T 形、Y 形或 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的 WPS。应使用 9.15.4.1(2)(a) 所述样品接头。应从试样上切取 3 个符合 9.15.4.1(3)要求且具备所需的理论焊缝的宏观腐蚀断面(可适当降低封底焊缝的要求，见图 9.14~图 9.16 的细节 C 和细节 D)。(试验接头的细节见图 9.24)。

9.15.4.3 采用 GMAW-S 的 T 形、Y 形或 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的 WPS。对于采用 GMAW-S 的 T 形、Y 形或 K 形连接，应在焊接 9.11.2 详细描述的标准接头之前先按第 4 节要求进行评定。所试验的接头应包含图 9.25 所示的 37.5°单边 V 形坡口、错位根部和限位圈。

9.15.4.4 要求具备 CVN 韧性的焊件。在要求按 9.8.2.2 要求进行 CVN 试验的管材连接接头套管中，应对位于支管 0.5D 范围内的对接接头(纵焊缝或环焊缝)的 WPS 进行评定，以证明在 LAST(最低预期工作温度)或 0°F [-18°C](两者之中取较小值)温度下焊缝金属的 CVN 吸收能量为 20 ft·lb [27 J]。如果要采用的焊接材料的 AWS 规范未包含这一要求，或者生产焊接超出了先前试验的覆盖范围(比如按 AWS 填充金属规范进行的试验)，则应按第 4 节 D 部分所述要求在 WPD 评定期间执行焊缝金属 CVN 试验。

9.16 T 形、Y 形或 K 形连接和对接接头的 PJP 及角焊缝

当规定在 T 形、Y 形或 K 形连接或者对接接头中采用 PJP 坡口焊缝时，则应按表 9.11 要求进行评定。当规定在 T 形、Y 形或 K 形连接中采用角焊缝时，则应按 4.12、表 9.12 和图 9.2.1 要求进行评定。

D 部分：技能评定

9.17 评定的产品焊接位置、厚度和直径

9.17.1 焊工和焊接操作工。焊工和焊接操作工评定用的管材试验所评定的管材产品焊接位置应符合表 9.13 要求。焊工和焊接操作工评定用的板材试验所评定的管材产品焊接位置应符合第 4 节和表 4.10 要求。

对于采用管材进行的试验，应按表 9.14 要求评定焊工和焊接操作工评定用试样数量和类型及所评定产品焊接厚度和直径的位置。力学性能试验用试样应切取自图 9.28 所示的管材，并且应满足 4.16.1.2 规定的要求。

如果采用板材进行试验，则表 4.11 所示评定限制要求适用。

9.17.2 定位焊工。定位焊工的评定范围应包括弧厚度大于 1/8 in. [3 mm]的所有直径的管材，但不包括从一面施焊的 CJP 对接接头及 T 形、Y 形和 K 形连接。定位焊缝应仅由就焊接中使用的工艺和位置进行过全面评定的焊工来焊接。

9.18 焊工和焊接操作工技能评定用焊缝类型

焊工和焊接操作工技能评定用的焊缝类型应分为：

- (1) 管材连接的 CJP 坡口焊缝(见 9.19)
- (2) 管材连接的 PJP 坡口焊缝(见 9.20)
- (3) 管材连接的角焊缝(见 9.21)

平行于管材中心线的板材焊缝和管材长焊缝无需进行管材评定，但需要按第 4 节要求进行评定(见条文说明)。

9.19 管材连接的 CJP 坡口焊缝

焊工或焊接操作工的评定试验应采用下列细节：

- (1) 管材中加衬垫或背面清根的 CJP 坡口对接接头。采用图 9.22(B)。
- (2) 不加衬垫或不背面清根的 CJP 坡口对接接头。采用图 9.22(A)。
- (3) 箱型管中加衬垫的 CJP 坡口对接接头或 T 形、Y 形和 K 形连接。任何圆管(直径不限)、板材或箱型管均采用图 9.22(B)。
- (4) 管材中用衬垫仅从一面施焊的 CJP 坡口 T 形、Y 形和 K 形连接。合适直径的圆管应采用图 9.22(B)。
- (5) 管材中不用衬垫仅从一面施焊的 CJP 坡口 T 形、Y 形和 K 形连接。公称直径 ≥ 6 in. [150 mm]的管材采用图 9.25，公称直径 ≤ 4 in. [100 mm]的管材采用图 9.16。
- (6) 箱型管中不加衬垫或不背面清根且从一面施焊的 CJP 坡口 T 形、Y 形和 K 形连接。选择如下：
 - (a) 圆管(直径不限)或箱型管采用图 9.25，箱型管还可采用图 9.27。

(b) 箱型管采用图 9.25, 并且从图 9.27 所示部位制取宏观腐蚀试样。

利用特定直径和厚度的试验焊接评定的产品的直径和厚度范围见表 9.14。

9.19.1 其他接头细节或 WPS。对于要求高于此处所述要求的接头细节、WPS 或假设了深度的完好焊缝,除了进行 6GR 试验外,每位焊工还应另外执行 9.15.4.2 所述试验(见图 9.26 或图 9.27)。试验位置应为立焊位置。

9.20 管材连接的 PJP 坡口焊缝

管材连接的 CJP 坡口焊缝的评定应所有 PJP 坡口焊缝的评定。

9.21 管材连接的角焊缝

角焊缝的评定要求见表 9.14。

9.22 焊工和焊接操作工评定的试验方法及验收准则

9.22.1 T 形、Y 形和 K 形连接的宏观腐蚀试验。对图 9.27 所示箱型管上的 T 形、Y 形和 K 形连接进行角部宏观腐蚀试验时,应在图 9.27 所示的焊缝角部切取 4 个宏观腐蚀试样。取自角部的每个试样均应有一面保持光滑,以便进行蚀刻。如果用箱型管作 6GR 试片(图 9.26) 来对焊接进行评定,则可采用与图 9.27 所示差不多的方式从 6GR 试片的角部切取所需的角部宏观腐蚀试验。取自角部的每个试样均应有一面保持光滑,以便进行蚀刻。

9.22.1.1 宏观腐蚀试验的验收准则。对于合格的评定而言,当进行目视检验时,试样应符合以下要求:

(1) 图 9.27 所示箱型管上 T 形、Y 形和 K 形连接内的角焊缝及角部宏观腐蚀试验用接头应:

- (a) 无裂纹;
- (b) 焊缝金属相邻焊层之间和焊缝金属与母材之间完全熔合;
- (c) 焊缝细部符合规定的要求,没有 5.23 不允许出现的偏差;
- (d) 没有超过 1/32 in. [1 mm]的咬边;
- (e) 对于等于或大于 1/32 in. [1 mm]的气孔,累加气孔尺寸不应超过 1/4 in.[6 mm];
- (f) 无聚集的焊渣,并且焊渣的最大尺寸总和不应超过 1/4 in. [6 mm]。

9.22.2 RT 检测工艺和技术。对于直径等于或大于 4 in. [100 mm]的焊接试管,应对焊缝周长的至少一半作检查,以将进行了焊接的所有位置都包含在内。举例说明,对于在 5G、6G 或 6GR 位置焊接的试管,射线检测的范围应为从任何一侧的顶部中心线到底部中心线。直径小于 4 in.

[100 mm]应进行 100%RT。

E 部分：制作

9.23 衬垫

9.23.1 全长衬垫。除了下面允许的情况外，钢衬垫在整个焊缝长度内应保持连续。钢衬垫中的所有接头应为符合本规范第 5 节所有要求的 CJP 坡口焊缝接头。

对于承受静荷载的应用，如果满足下列所有条件，则允许用一个或两个含有非拼接不连续的零件来制作封闭截面(比如空心管(HSS))端部焊缝用的衬垫。

- (1) 封闭截面的公称壁厚不超过 5/8 in. [16 mm]。
- (2) 封闭截面的外周长不超过 64 in. [1625 mm]。
- (3) 衬垫垂直于封闭截面的纵轴。
- (4) 衬垫中的中断部分不超过 1/4 in. [6 mm]。
- (5) 带有不连续衬垫的焊缝到其他类型连接的距离小于 HSS 直径或主要横截面的尺寸。
- (6) 衬垫中的中断部分不在角隅处。

对于承受静荷载的箱型柱，允许在 CJP 焊接角隅、现场拼接处和连接处采用不连续衬垫。如果获得工程师批准，则可在其他密闭截面处采用不连续衬垫。

注：可以采用市面上有售的管材用钢衬垫，但前提是衬垫露出的内表面上没有熔合迹象。

9.24 接头尺寸公差

9.24.1 环形焊缝对齐(管材)。以环形焊缝连接的两相邻零件应仔细对齐。两条环形焊缝之前的间距不用小于管材直径或 3 ft [1 m]，两者之中取较小值。除非征得业主和承包商同意，否则管材的任何 10 ft [3 m]间距内不应有两条以上的环形焊缝。环形焊缝对接边缘的径向错位不应超过 0.2 t (其中 t 为较薄件的壁厚)，如果从两面施焊的环形焊缝的错边超过 1/8 in. [3 mm]，则最大容许偏差应为 1/4 in. [6 mm]。不过在得到工程师批准的情况下，每条环形焊缝上可以一个 0.3t (最大值为 3/8 in. [10 mm]) 的错边，但前提是局部区域的长度在 8t 以内。应向该区域增加填充金属，以形成 4:1 的过渡，可在制作焊缝的同时增加填充金属。超过这一限值的错边应按 5.21.3 要求予以纠正。相邻截面的纵向焊缝应至少错开 90°，但如果征得业主和制作商同意，则可采用 90°以下的值。

9.24.2 坡口尺寸

9.24.2.1 管材横截面的变化。坡口焊接接头横截面尺寸与细节所示尺寸之间的差异应符合

5.21.4.1, 下列情况除外:

- (1) T 形、Y 形和 K 形连接的公差在 9.11.2 给出的范围内。
- (2) 表 9.15 所示公差适用于对接接头中不用衬垫仅供一面施焊的 CJP 管材坡口焊缝。

F 部分: 检验

9.25 目视检验

所有焊缝均应进行目视检验, 如果满足了表 9.16 要求, 则应被视为是合格焊缝。

9.26 NDT

9.26.1 范围。第 6 节的 C 部分和本节的 F 部分描述了管材连接的验收准则。应在合同文件和提供给投标者的资料中规定验收准则。

9.26.2 管材连接要求。对于不用衬垫仅从一面施焊的 CJP 坡口对接接头, 应对所有完成管材产品的全长焊缝进行 TR 或 UT。验收准则应符合 6.12.1(RT)(见图 6.1)或 9.27.1(UT)要求。

9.27 UT

9.27.1 管材连接的验收准则。应在合同文件中提供 UT 的验收准则。可采用 R 级和/或 X 级验收准则。6.13.1 给出的以波幅为基础的验收准则也适用于直径等于或大于 24 in.[600 mm]的管材的对接坡口焊缝, 但需满足第 6 节 F 部分的所有相关要求。但这些基于波幅的验收准则不适用于 T 形、Y 形和 K 形管材连接。

9.27.1.1 R 级(适用于用 UT 代替 RT 的情况)。只有标准灵敏度水平一半(6dB)或一半以下波幅的所有指示(应考虑 9.30.6 的要求)均应忽略不计。超过这一忽略不计水平的指示应按如下要求作判断:

- (1) 不超过标准灵敏度水平且间距至少为 1 in. [25mm]的孤立的、随机散布的球状反射体应被判定为合格。较大的反射体应被作为线性反射体予以判定。
- (2) 联成一串的球状反射体应被作为线性反射体予以判定。
- (3) 当 1 in.²[645 mm²]的成簇球状反射体的密度超过 1 个且指示超过了可忽略不计的水平时(投影区域应垂直于施加应力的方向, 并在整个 6 in. [150 mm]长焊缝范围内取平均值), 则应予

以拒收。

(4) 长度(范围)超过图 9.29 的限定的线性或平面性反射体应予以拒收。另外,根部反射体不应超过 X 级的限制要求。

9.27.1.2 X 级(以经验为基础且符合目标要求的验收准则,适用于结构中的 T 形、Y 形和 K 形连接及有缺口韧性要求的焊件)。只有标准灵敏度水平一半(6dB)或一半以下波幅的所有指示(应考虑 9.30.6 的要求)均应忽略不计。超过这一忽略不计水平的指示应按如下要求作判断:

(1) 球状反射体应为 R 级所述反射体,但不同的是位于下面线性或平面性反射体限制范围内的任何指示均应被判定为合格。

(2) 线性或平面性反射体应采用波束边界技术做判定,尺寸超过图 9.30 限制的反射体应予以拒收。如图 9.14 所示,根部区域应指位于理论焊缝根部 1/4 in.[6 mm]或 $tw/4$ (两者之中取较大值)范围内的区域。

9.28 RT 工艺

9.28.1 工艺。除了要满足 6.17 要求外,还应按表 9.17 和表 9.18 及图 6.4 和图 6.5 要求选择 IQI。

9.28.2 IQI 的选用和放置。应按表 9.19 要求选择 IQI 并将其安放到焊件上待作射线照相的焊缝部位。当采用单次曝光成像法对一整条管材环焊缝进行射线检测且放射源位于弯曲部分的中心处时,应采用三个等间隔放置的 IQI。选择 IQI 时,不应将钢衬垫视为焊缝的一部分或焊缝余高。

9.29 管材连接的 RT 补充要求

9.29.1 对接接头中的环向坡口焊缝。用于拍摄对接环缝的射线照相技术应能覆盖整个环缝。所用技术最好是单壁透照/单壁成像技术。如因可达性或管道尺寸限制采用这种技术,则可采用双壁透照/单壁成像或双壁透照/双壁成像技术。

9.29.1.1 单壁透照/单壁成像。射线源应位于管材内部,而胶片则贴于管材外侧(见图 9.31)。如果满足射线源到物体距离的要求,则可作全景曝光;如果不能满足要求,则应至少作 3 次曝光。可选择 IQI 并将其安放在管材的射线源侧。如果不可行,则可将其安放在该受检管的胶片侧。

9.29.1.2 双壁透照/单壁成像。如因不可达或受几何形状的限制而无法进行单壁曝光,则射线源应位于管材内部,而胶片则应贴于管材外侧(见图 9.32)。应至少作 3 次曝光,以覆盖全部环缝。可选择 IQI 并将其安放在该受检管的胶片侧。

9.29.1.3 双壁透照/双壁成像。当管材外径等于或小于 3-1/2 in. [90 mm]时,则射线源侧和胶片侧

的焊缝均可被投影到胶片上，并通过两侧的成像情况作判断。射线源到管材的距离至少应为外径的 7 倍。射线束应与焊缝中心线的平面形成一个足以将射线源侧焊缝与胶片侧焊缝的图像分离开的角度。两受检区域不应重叠。应至少作两次互成 90°的曝光(见图 9.33)。也可在两侧焊缝重叠状态下对焊缝进行射线照相。在这种情况下应至少作 3 次互成 60°的曝光(见图 9.34)。不管采用上述哪种技术，IQI 均应置于管材的射线源侧。

9.30 T 形、Y 形和 K 形连接的 UT

9.30.1 工艺规程。所有 UT 均应按书面工艺规程执行，这种书面工艺规程应由通过 SNT-TC-1A III 级认证且在管状连接 UT 方面有经验的人员编制或获得此类人员的批准。工艺规程应以本节和第 6 节 F 部分的适用要求为基础依据。工艺规程至少应包含下列与 UT 方法和技术有关的信息：

(1) 待检焊接接头形状的类型(即直径、厚度和局部二面角的适用范围)。传统技术仅适合在直径 $\geq 12\text{-}3/4\text{ in.}$ [325 mm]、厚度 $\geq 1/2\text{ in.}$ [12 mm]、局部二面角 $\geq 30^\circ$ 的情况下使用。如果按本处所述要求进行了评定，则可采用用于检测较小尺寸的特殊技术对较小尺寸焊缝进行检测。

(2) 每种类型和尺寸焊缝的验收准则。

(3) UT 仪器的类型(品牌和型号)。

(4) 换能器(探头)的频率、有效工作区的尺寸和形状、波束角度以及斜探头上的斜楔的类型。如果按本处所述要求进行了评定，则可采用工作频率高达 6 MHz 且尺寸小到 1/4 in. [6 mm]的不同形状的换能器。

(5) 表面准备情况与耦合剂(如果要使用)。

(6) 校准试块和参考反射体的类型。

(7) 校准方法及距离(扫描)、垂直线性、波束扩散、角度、灵敏度和分辨力的精度要求。

(8) 上述(7)项的重新校准周期。

(9) 确定母材声学连续性(见 9.30.4)及建立局部二面角与厚度之间的几何关系的方法。

(10) 扫查方式与灵敏度(见 9.30.5)。

(11) 表面曲率和粗糙度的传输校正量(如果使用波幅法，见 9.30.3)。

(12) 确定有效波束角(如果是曲面材料中)及查明根部区域和不连续部位的方法。

(13) 确定不连续长度和高度的方法。

(14) 挖凿及修补期间确认不连续的方法。

9.30.2 人员。当对 T 形、Y 形和 K 形连接进行检测时，除了 6.14.6 的人员资格要求外，操作工还应证明其具备应用专门技术从事此类检验的能力。为了实现这一目的，应在代表待检焊缝类型(包括生产中遇到的有代表性的二面角和厚度的范围)的焊缝焊接模拟件上采用已经评定和批准的工艺执行实践考试。每个焊接模拟件均应包含可以产生高于或低于批准工艺规程中规定的拒收标准的自然不连续或人工不连续。

应依据操作工确定每个不连续的尺寸和等级、验收或拒收每个焊接的判断的准确性及准确确定沿着焊缝和位于焊缝横截面内的不合格不连续的能力来进行技能考核。应能至少将 70% 的不合格不连续正确地判定为不合格不连续。应找出并报告超过最大允许尺寸 2 倍或波幅超过 6dB 的每一个不连续。

9.30.3 校准。UT 设备鉴定和校准方法应符合批准的工艺规程和第 6 节 F 部分的要求，但下述情况除外：

9.30.3.1 量程。量程(距离)的校准至少应包括在作具体检验中用到的整个声程距离。可以按照批准的工艺规程将仪器设定值调整为代表仪器水平标尺上显示的声程、表面距离、或者距接触面的等量深度的设定值。

9.30.3.2 灵敏度校准。采用波幅技术进行产品焊缝检验的标准灵敏度应为基准灵敏度+距离波幅校正量+传输校正量。在每一待检测接头上应至少要作一次这样的校准；但如果对尺寸和形状相同的接头反复检测，则可采用 6.24.3 规定的校准频率。

(1) 基准灵敏度。按 6.25 6.24 (或 6.27)所述，从 IIW 型试块(或可得到同样基准校准灵敏度的其他试块)上直径为 0.060 in. [1.5 mm] 的小孔处得到最大反射波，由此获得的参考水平屏幕高度即为基准灵敏度。

(2) 距离波幅校正。应采用距离波幅校正曲线、电子装置或 6.25.6.4 所述方法调整灵敏度水平，以便在所用的整个声程范围内对衰减损耗作出校正。如果采用高频换能器，则应考虑会产生较大的衰减。传输校正量适用于对厚度不超过 10 mils [0.25 mm] 的致密漆层进行 UT 的情况。

9.30.4 母材检查。要作 UT 扫查的整个区域均应采用纵波技术进行检查，以探测是否存在将会妨碍预期的定向声波传播的层状反射体。对焊缝进行检测之前，应标出存在层状反射体的所有区域，并且随后选择用于检测该区域内的焊缝的探头角度和扫查技术时应考虑到这一情况。应

将超过 5.14.5.1 限制要求的母材不连续报告给工程师。

9.30.5 焊缝扫查。T 形、Y 形和 K 形连接的焊缝扫查应从支管表面开始进行(见图 9.35)。如有可能,所有检测均应采用一次波法和二次波法。对于初始扫查,灵敏度应比 9.30.3 规定的最大声程的灵敏度高出 12 dB。指示的评估应以标准灵敏度为基准。

9.30.6 最佳角度。对于对接接头坡口焊缝根部区域和沿所有焊缝熔合面发现的指示,应采用 70°、60°或 45°探头角度作进一步检测评估,所选角度应为垂直于预期熔合面的最佳角度。

9.30.7 不连续评价。应结合采用波束边界法和波幅技术来评价不连续。所给出的不连续的尺寸应为长度和高度(深度)或波幅。波幅应为与“标准校准值”有关的波幅。另外,当换能器对准反射体作圆弧摆动时应注意波幅的变化,必并且应据此将不连续分成线状不连续、平面状不连续和球状不连续。不仅应确定不连续在沿焊缝轴线方向与事先设定的参照点间的相对位置,而且应确定其在焊缝横截面内部的位置。

9.30.8 报告

9.30.8.1 表格。完成检测后,UT 技术人员应填写一张清晰注明检测工作的内容和区域的报告表。对于发现明显指示的每条焊缝,应提供表明了沿着焊缝轴向的指示的位置、在焊缝横截面内的部位、尺寸(或指示评定值)、范围、方向和类别的详细报告和简图。

9.30.8.2 报告的不连续。当有规定时,还应报告接近不合格尺寸的不连续,尤其是一些在评定中有所怀疑的不连续。

9.30.8.3 未完成的检测。报告上也应注明做不到完全检测的部位,并且应说明没有完成检测的理由。

9.30.8.4 参考标记。除非另有规定,否则还应在工件上做好标出不合格不连续的参照点位置及其部位和范围。

表 9.1 疲劳应力设计参数(见 9.2.7.2)

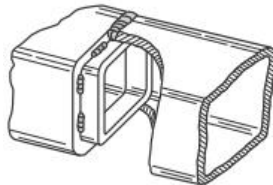
描述	应力 分类	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	潜在的 启裂点	示例图
第 1 节—垂直于应力方向的焊接接头					
1.1 CJP 坡口焊缝焊接的 对接接头(衬垫留在原 位)里面或附近的母材和 填充金属					1.1 
坡口内侧的定位焊缝	D	22×108	7 [48]	从坡口焊缝 趾部或带衬 垫的焊缝趾 部开始开裂	
坡口外侧到母材边缘的 距离不小于 1/2 in. [12 mm]的定位焊缝	E	11×108	4.5 [31]		

表 9.2 管材连接焊缝的许用应力(见 9.2.4)

焊缝类型	管材应用	应力种类	许用应力设计(ASD)	荷载与抗力系数设计(LRFD)		所需的填充金属 强度等级 ^a
			许用应力	抗力系数 Φ	公称强度	
CJP 坡口焊缝	纵向对接接头(纵缝)	平行于行风轴线的拉应力或压应力 ^b	与母材相同 ^c	0.9	$0.6F_y$	可采用强度等于或低于匹配填充金属的填充金属
		梁应力或扭转切应力	母材: $0.4F_y$ 填充金属: $0.3F_{EXX}$	0.9 0.8	$0.6F_y$ $0.6F_{EXX}$	
	环形对接接头(环形焊缝)	垂直于有效面积的压应力 ^b	与母材相同	0.9	F_y	应采用匹配填充金属
		有效面积上的剪应力		母材: 0.9 焊缝金属: 0.8	$0.6F_y$ $0.6F_{EXX}$	
		垂直于有效面积的拉应力		0.9	F_y	
	设计用于承受诸如疲劳荷载之类的临界荷载的结构中 T 形、Y 形或 K 形结构连接的焊缝接头, 其通常被称为 CJP 焊缝	符合图 9.12 和图 9.14~图 9.16 细节要求的焊缝(不用衬垫仅从一面施焊的管材焊缝)附近母材上的拉应力、压应力或剪应力	与母材相同或受限于连接的几何形状(见 ASD 的要求见 9.6)	与母材相同或受限于连接的几何形状(见 ASD 的要求见 9.6)		应采用匹配填充金属
		从两面施焊或用衬垫施焊的坡口焊缝有效面积上的拉应力、压应力或剪应力				
角焊缝	组装管材构件的纵向接头	平行于焊缝轴线的拉应力或压应力	与母材相同	0.9	F_y	可采用强度等于或低于匹配填充金属的填充金属
		有效面积上的剪应力	$0.30 F_{EXX}^e$	0.75	$0.6 F_{EXX}$	
	环形搭接接头和管材与附件之间的接头中 T 形、Y 形或 K 形结构连接的接头	焊缝有效厚度上的剪应力, 与施加荷载的方向无关(见 9.5 和 9.6.1.3)	$0.30 F_{EXX}$ 或受限于连接的几何形状(见 9.6)	0.75 或受限于连接的几何形状(LRFD 的要求见 9.6)	$0.6 F_{EXX}$	可采用强度等于或低于匹配填充金属的填充金属
塞焊缝和槽焊缝	平行于贴合面(有效面积)的剪应力		母材: $0.40F_y$ 填充金属: $0.3 F_{EXX}$	不适用		可采用强度等于或低于匹配填充金属的填充金属

(待续)

表 9.2(续) 管材连接焊缝的许用应力(见 9.2.4)

表 9.2(续) 管材连接焊缝的许用应力(见 9.2.4)							
焊缝类型	管材应用	应力种类		许用应力设计(ASD)	荷载与抗力系数设计(LRFD)		所需的填充金属 强度等级 ^a
				许用应力	抗力系数Φ	公称强度	
PJP 坡口焊缝	传递荷载的环形接头和纵向接头	垂直于有效面积的压应力	接头不设计用于承受压应力	0.50 F _{EXX} , 但邻近母材上的应力不应超过 0.60 F _y	0.9	F _y	可采用强度等于或低于匹配填充金属的填充金属
			接头设计用于承受压应力	与母材相同			
		有效面积上的剪应力		0.30 F _{EXX} , 但邻近母材上的应力不应超过 0.50 F _y (拉应力)或 0.40F _y (剪应力)	0.75	0.6 F _{EXX}	可采用强度等于或低于匹配填充金属的填充金属
		有效面积上的拉应力			母材: 0.9 填充金属: 0.8	F _y 0.6 F _{EXX}	
	一般结构内的 T 形、Y 形或 K 形结构连接	向焊缝有效厚度哈桑施加应力时从焊缝传递过去的荷载(见 9.5 和 9.6.1.3)	0.30 F _{EXX} 或受限于连接的几何形状(见 9.6), 但邻近母材上的应力不应超过 0.50 F _y (拉应力)或 0.40F _y (剪应力)	母材: 0.9 填充金属: 0.8	F _y 0.6 F _{EXX}	应采用匹配填充金属	
				或受限于连接的几何形状(LRFD 的要求见 9.6)			

^a 匹配填充金属见表 3.2。^b 允许存在达到填充金属最小规定抗拉强度 0.30 倍的梁应力或扭转切应力, 但邻近母材上的剪应力不应超过 $0.40 F_y$ (LRFD; 见剪应力)。^c 除了连接区域之外, 平行于拉伸或压缩构件纵轴的坡口焊缝和角焊缝不应被用于传递应力, 因此, 不管采用哪个焊条(填充金属)等级, 该坡口焊缝和角焊缝均应采用与母材相同的应力。当采用 9.6.1 要求时, 位于连接区域内的主管的焊缝应为采用匹配填充金属焊接的 CJP 坡口焊缝, 定义见表 3.2。^d 见 9.6.1.3。^e 另见 2.6.4.2 和 2.6.4.3。

表 9.3 圆截面材料不同类型和部位的应力类别(见 9.2.7.2)

应力类别	应用	应力种类 ^a
A	普通的非焊接管材	TCBR
B	纵缝管材	TCBR
B	含有打磨齐平并采用 RT 或 UT 检测的 CJP 坡口焊缝的对接拼接接头(R 级)	TCBR
B	有连续焊接的纵向加劲肋的构件	TCBR
C1	含有处于焊态的 CJP 坡口焊缝的对接拼接接头	TCBR
C2	含有横向(环形)加劲肋的构件	TCBR
D	含有诸如卡箍、托架之类的其他附件的构件	TCBR
D	含有 CJP 焊缝的十字形接头和 T 形接头(管材连接除外)	TCBR
DT	被设计成含有符合图 9.14~图 9.16 要求的 CJP 坡口焊缝的简单 T 形、Y 形或 K 形连接的连接(包括满足冲击剪切要求的每个相交部位主管内的搭接连接)(见注 b)	支管内的 TCBR(注:必须按类别 K ₁ 或 K ₂ 要求分开检查主管)
E	含有 PJP 坡口焊缝或角焊缝的平衡十字形接头和 T 形接头(管材连接除外)	构件内的 TCBR; 必须按类别 F 要求检查焊
E	双复板、盖板、纵向加劲肋、节点板等终点处的构件(管材连接除外)	构件内的 TCBR; 必须按类别 F 要求检查焊
ET	含有 PJP 坡口焊缝或角焊缝的简单 T 形、Y 形和 K 形连接; 还包括主管的冲击剪切能力无法承受全部荷载, 而是通过搭接(负偏心)、节点板、环形加劲肋等完成荷载传递的复杂管材连接(见注 b)	支管内的 TCBR(注:必须按类别 K ₁ 或 K ₂ 要求分开检查简单 T 形、Y 形或 K 形连接中的主管; 还必须按类别 FT 和 9.6.1 要求检查焊缝)
F	盖板或双复板的端部焊缝; 节点板、加劲肋等上面的焊缝	焊缝内的剪应力
F	承受拉应力或弯曲应力且含有角焊缝或 PJP 坡口焊缝的十字形接头和 T 形结构(管材连接除外)	焊缝内的剪应力(不考虑施加荷载的方向)(见 9.5)
FT	承受拉应力或弯曲应力且含有角焊缝或 PJP 坡口焊缝的简单 T 形、Y 形或 K 形连接	焊缝内的剪应力(不考虑施加荷载的方向)
X ₂	简单 T 形、Y 形和 K 形连接处的相交构件; 可通过试验确定充分性并能通过模型或理论分析(比如有限元分析)准确确定比例的任何连接	连接相交构件的焊缝趾部的相交构件外表面上的热点应力或应变的最大范围——在调整模型或原型件上的连接之后予以测量, 或者采用可用的最佳理论进行计算

(待续)

表 9.3(续) 圆截面材料不同类型和部位的应力类别(见 9.2.7.2)

应力类别	应用	应力种类 ^a
X ₁	同 X ₂ , 但按 9.2.7.6 和 9.2.7.7 改善剖面形状	同 X ₂
X ₁	无加强的锥形筒体相交连接	角度变化时的热点应力; 按注 d 要求计算
K ₂	主管的γ比 R/t _c 不超过 24 的简单 T 形、Y 形和 K 形连接(见注 c)	主管的冲切剪切; 按注 e 要求计算
K ₁	同 K ₂ , 但按 9.2.7.6 和 9.2.7.7 改善剖面形状	

^a T=拉应力, C=压应力, B=弯曲应力, R=反向应力(即即公称轴向应力和弯曲应力的总范围)。

^b 根据“典型”连接几何形状绘制的经验曲线(图 9.1); 如果已经知道实际应力集中系数或热点应变, 则优先选用曲线 X₁ 或 X₂。

^c 根据γ比(R/t_c) 在 18~24 范围内进行的试验所绘制的经验曲线(图 9.1); 安全侧的曲线是极重荷载弦杆构件(低 R/t_c) 的曲线; 对于 R/t_c>24 的弦杆构件, 根据下述公式按比例降低许用应力:

$$\frac{\text{许用疲劳应力}}{\text{曲线K的应力}} = \left(\frac{24}{R/t_c} \right)^{0.7}$$

如果已经知道实际应力集中系数或热点应变, 则优先选用曲线 X₁ 或 X₂。

$$\text{d 应力集中系数} - \text{SCF} = \frac{1}{\cos \psi} + 1.17 \tan \bar{\psi} \sqrt{\gamma_b}。$$

式中:

$\bar{\psi}$ = 过渡处的角度变化;

γ_b = 过渡处管材的半径/厚度比。

^e 冲击剪切的循环范围由下式给出:

$$VP = \tau \sin \theta \left[\left(\alpha f_a + \sqrt{(0.67 f_{by})^2 + (1.5 f_{bz})^2} \right) \right]$$

式中:

τ 和 θ 的定义见图 9.2; 和

f_a = 承受轴向荷载的支管的公称应力的周期范围;

f_{by} = 面内弯曲应力的周期范围。

f_{bz} = 面外弯曲应力的周期范围。

α 的定义见表 9.16。

表 9.4 疲劳类型对焊缝尺寸或厚度及焊缝剖面形状的限制(管材连接)(见 9.2.7.7)

焊缝剖面形状	I 级	II 级
	适用于类别 X1、X2、DT 的 限定支管厚度	适用于类别 X2、K2 的 限定支管厚度
	in. [mm]	in. [mm]
标准平焊缝剖面形状 图 9.14	0.375 [10]	0.625 [16]
有趾部的角焊缝剖面形状 图 9.15	0.625 [16]	1.50 [38] 对于静态压缩荷载,应在不限定厚度的情况下进行评定
焊态凹形剖面形状 图 9.16 按 9.2.7.6(1)进行圆盘试验	1.00 [25]	无限定
平滑的凹形剖面形状 图 9.16 按 9.2.7.6(2)彻底打磨	无限定	—

表 9.5 计算管材 T 形、Y 形和 K 形连接中免评定 PJP 最小焊缝尺寸的折减尺寸 Z(见 9.5.2.1)

接头的夹角 ϕ	焊接位置: V 或 OH			焊接位置: H 或 F		
	工艺	Z (in.)	Z (mm)	工艺	Z (in.)	Z (mm)
$\phi \geq 60^\circ$	SMAW	0	0	SMAW	0	0
	FCAW-S	0	0	FCAW-S	0	0
	FCAW-G	0	0	FCAW-G	0	0
$60^\circ > \phi \geq 45^\circ$	GMAW	N/A	N/A	GMAW	0	0
	GMAW-S ^a	0	0	GMAW-S ^a	0	0
	SMAW	1/8	3	SMAW	1/8	3
	FCAW-S	1/8	3	FCAW-S	0	0
	FCAW-G	1/8	3	FCAW-G	0	0
$45^\circ > \phi \geq 30^\circ$	GMAW	N/A	N/A	GMAW	0	0
	GMAW-S ^a	1/8	3	GMAW-S ^a	1/8	3
	SMAW	1/4	6	SMAW	1/4	6
	FCAW-S	1/4	6	FCAW-S	1/8	3
	FCAW-G	3/8	10	FCAW-G	1/4	6
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	1/4	6
	GMAW-S ^a	3/8	10	GMAW-S ^a	1/4	6

^a 采用 GMAW-S 工艺的免评定 PJP T 形连接、Y 形连接、K 形连接细节的评定要求见 9.10.1(2)。

表 9.6 连接强度用术语(圆形连接)(见 9.6.1.1)

支管几何形状和荷载 修正值 Q_q	$Q_q = \left(\frac{1.7}{\alpha} + \frac{0.18}{\beta} \right) Q_\beta^{0.7(\alpha-1)}$	轴向荷载 ^d
	$Q_q = \left(\frac{2.1}{\alpha} + \frac{0.6}{\beta} \right) Q_\beta^{1.2(\alpha-0.67)}$	弯曲荷载
Q_β (Q_q 用)	$Q_\beta = 1.0$	$\beta \leq 0.6$
	$Q_\beta = \frac{0.3}{\beta(1-0.833\beta)}$	$\beta > 0.6$
弦杆椭圆参数 α (Q_q 用)	$\alpha = 1.0 + 0.7 g/d_b$ $1.0 \leq \alpha < 1.7$	间隙处 K 形连接的轴向荷载, 该连接的所有构件均处于相同平面内, 并且垂直于主管的荷载基本保持平衡 ^a
主管应力相互作用术语 $Q_f^{b,c}$	$Q_f = 1.0 - \lambda \gamma \bar{U}^2$ $\lambda = 0.030$ $\lambda = 0.044$ $\lambda = 0.018$	支管内的轴向荷载 支管内的面内弯曲 支管内的面外弯曲

^a 间隙 g 的定义见图 9.29.2(E)、(F)和(H); d_b 是指支管直径。

^b $\bar{U}$ 是所考虑连接处的主管中纵向压应力(轴向应力、弯曲应力)的利用率(实际值和许用值之比)。

$$\bar{U} = \left(\frac{f_a}{0.6F_{yo}} \right)^2 + \left(\frac{f_b}{0.6F_{yo}} \right)^2$$

^c 对于面内弯曲和面外弯曲的组合情况, 采用 α 和 λ 的内插值。

^d 对于整体毁坏(横向压缩), 另见 9.6.1.2。

注:

1. λ 和 β 是图 9.2(M)所定义的几何形状参数

2. F_{yo} = 主管的最低规定屈服强度, 但不大于抗拉强度的 2/3。

表 9.7 免评定 CJP T 形、Y 形和 K 形管材连接接头细节的应用
(见 9.11.2 和图 9.13)

细节	局部二面角 Ψ 的适用范围	
A	180°~135°	
B	150°~50°	
C	75°~30°	} 30°以下的坡口角度不能免除评定
D	40°~15°	

注:

1. 应利用局部二面角 Ψ 来确定连接的具体部位的适用接头细节(A、B、C 或 D)，局部二面角沿着支管圆周不断变化。
2. 细节 A、B、C 或 D 给出的角度和尺寸范围包含了最大许用公差。
3. 局部二面角的定义见附录 J。

- a 或者按需要获得 ϕ 值。
- b 30°以下的坡口角度不能免除评定。
- c 在坡口宽度(W)足以保证实现完好焊接之前，打底焊缝的初始焊道不作要求；焊缝坡口的必要宽度(W)由打底焊缝提供。
- d 这些根部细节适用于 SMAW 和 FCAW-S。
- e 这些根部细节适用于 GMAW-S 和 FCAW-G。

1. 对于 GMAW-S, 见 9.15.4.3。这些细节不适用于 GMAW (射流过渡)。
2. 最小标准剖面形状(有限厚度)见图 9.14。
3. 其他带趾部的角焊缝剖面形状见图 9.15。
4. 改善的剖面形状见图 9.16(见 9.2.7.6 和 9.2.7.7)。

表 9.9 WPS 评定—利用板材、管材和箱型管试验评定的产品焊接位置(见 9.13)

	评定试验		所评定的板材焊接			所评定的管材焊接					所评定的箱型管焊接				
	焊缝类型	试验位置	坡口 CJP	坡口 PJP	角焊缝 ^g	对接接头		T 形、Y 形和 K 形连接		角焊缝 ^g	对接接头		T 形、Y 形和 K 形连接		角焊缝 ^g
						CJP	PJP	CJP	PJP		CJP	PJP	CJP	PJP	
管 材	CJP 焊缝	1G(旋转)	F	F	F	F ^a	F		F	F	F ^a	F		F	F
		2G	F, H	F, H	F, H	(F,H) ^a	F, H		F, H	F, H	(F,H) ^a	F, H		F, H	F, H
		5G	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	(F,V,OH) ^a	F, V, OH		F, V, OH	F, V, OH	(F,V,OH) ^a	F, V, OH		F, V, OH	F, V, OH
		(2G+5G)	全部	全部	全部	全部 ^a	全部	全部 ^c	全部 ^c	全部	全部 ^a	全部	全部 ^d	全部 ^{e,f}	全部
		6G	全部	全部	全部	全部 ^a	全部		全部 ^c	全部	全部 ^a	全部		全部 ^{e,f}	全部
		6GR	全部	全部	全部	全部 ^a	全部	全部 ^c	全部	全部	全部 ^a	全部	全部 ^d	全部	全部
	角 焊 缝	1F(旋转)			F					F					F
		2F			F,H					F,H					F,H
		2F(旋转)			F,H					F,H					F,H
		4F			F,H,OH					F,H,OH					F,H,OH
		5F			全部					全部					全部

CJP—全熔透接头

PJP—部分熔透接头

^a 不加衬垫或不背面清根且需进行接头细节评定试验的产品对接接头细节见图 9.23(A)。^b 仅适用于免评定接头细节(见 9.1 或 9.11)。^c 对于符合 9.14、9.15 或 9.15 和表 9.8 要求的 CJP T 形、Y 形和 K 形连接, 采用图 9.25 所示细节进行焊接接头试验。其他焊接接头的要求见 9.15.4.1。^d 对于符合图 9.12 和表 9.8 要求的 CJP T 形、Y 形和 K 形连接, 采用图 9.25 和图 9.25 所示细节进行焊接接头试验; 或者对图 9.25 的接头进行试验, 并按图 9.27 所示从角部切取宏观腐蚀试样。其他焊接接头的要求见 9.15.4.1。^e 对于符合图 9.11 要求的 PJP T 形、Y 形和 K 形连接, 采用图 9.23(A)或图 9.23(B)所示细节进行焊接接头试验。^f 圆角半径小于弦杆构件厚度 2 倍的匹配箱型管连接的要求见 9.10.1.1。^g 产品 T 形、Y 形或 K 形连接中的角焊缝应符合图 9.10 要求。WPS 评定应按 9.16 要求进行。

表 9.10 WPS 评定—CJP 坡口焊缝：所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围

(见 9.14)(尺寸单位：in.)

1. 管材试验^{a, c}

	NPS 或直 径， in.	公称壁厚 T, in.	试样数量				所评定管 材的公称 直径 ^d 或规 格，in.	所评定管材的 公称厚度 ^{b, c} ，in.	
			收缩断面 拉伸(见图 4.10)	根部弯 曲(见图 4.8)	正面弯 曲(见图 4.8)	侧面弯 曲(见图 4.9)		最小值	最大值
与工 件尺 寸相 同的 试管	< 24	1/8 ≤ T ≤ 3/8	2	2	2	(注 f)	≥ 试管直径	1/8	2T
		3/8 < T < 3/4	2	—	—	4	≥ 试管直径	T/2	2T
		T ≥ 3/4	2	—	—	4	≥ 试管直径	3/8	无限定
	≥ 24	1/8 ≤ T ≤ 3/8	2	2	2	(注 f)	≥ 试管直径	1/8	2T
		3/8 < T < 3/4	2	—	—	4	≥ 24	T/2	2T
		T ≥ 3/4	2	—	—	4	≥ 24	3/8	无限定
标准 试管	2 in. Sch. 80 或 3 in. Sch. 40		2	2	2	—	3/4~4	1/8	3/4
	6 in. Sch. 120 或 8 in. Sch. 80		2	—	—	4	≥ 4	3/16	无限定

^a 所有试管焊缝均应进行目视检验(见 4.9.1)和 NDT(见 4.9.2)。^b 对于在不进行背面清根的情况下评定的直边坡口焊缝，所评定的最大厚度应被限定为试板厚度。^c 任何厚度 CJP 坡口焊缝评定均应评定任何厚度的角焊缝或 PJP 坡口焊缝的任何尺寸(见 4.11.3)。^d 任何直径管材的评定应覆盖所有箱型管截面宽度和高度。^e 评定管材对接接头和 T 形、Y 形、K 形连接所需的坡口细节见表 9.9。^f 如果壁厚是 3/8 in.，则可用侧面弯曲试验来替代正面弯曲和根部弯曲试验。

表 9.10 (续) WPS 评定—CJP 坡口焊缝：所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围
(见 9.14)(尺寸单位：mm)

1. 管材试验^{a, c}

	NPS 或直 径， mm	公称壁厚 T，mm	试样数量				所评定管 材的公称 直径 ^d 或规 格，mm	所评定管材的 公称厚度 ^{b, c} ，mm	
			收缩断面 拉伸(见图 4.10)	根部弯 曲(见图 4.8)	正面弯 曲(见图 4.8)	侧面弯 曲(见图 4.9)		最小值	最大值
与工 件尺 寸相 同的 试管	<600	3≤T≤10	2	2	2	(注 f)	≥试管直径	3	2T
		10<T<20	2	—	—	4	≥试管直径	T/2	2T
		T≥20	2	—	—	4	≥试管直径	10	无限定
	≥600	3≤T≤10	2	2	2	(注 f)	≥试管直径	3	2T
		10<T<20	2	—	—	4	≥24	T/2	2T
		T≥20	2	—	—	4	≥24	10	无限定
标准 试管	DN 50 × 5.5 mm WT 或 DN 80 × 5.5 mm WT		2	2	2	—	3/4~4	3	20
	DN 150 × 14.3 mm WT 或 DN 200 × 12.7 mm WT		2	—	—	4	≥4	5	无限定

^a 所有试管焊缝均应进行目视检验(见 4.9.1)和 NDT(见 4.9.2)。

^b 对于在不进行背面清根的情况下评定的直边坡口焊缝，所评定的最大厚度应被限定为试板厚度。

^c 任何厚度 CJP 坡口焊缝评定均应评定任何厚度的角焊缝或 PJP 坡口焊缝的任何尺寸(见 4.11.3)。

^d 任何直径管材的评定应覆盖所有箱型管截面宽度和高度。

^e 评定管材对接接头和 T 形、Y 形、K 形连接所需的坡口细节见表 9.9。

^f 如果壁厚是 10 mm，则可用侧面弯曲试验来替代正面弯曲和根部弯曲试验。

表 9.11 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；PJP 坡口焊缝(见 9.14)

试验坡口 深度, T in. [mm]	试样数量 ^{a, b}					评定范围 ^{c, d}		
	焊缝尺寸(E) 宏观腐蚀 4.11.2 4.11.3 4.11.4	收缩断面 拉伸(见 图 4.10)	根部弯曲 (见图 4.8)	正面弯曲 (见图 4.8)	侧面弯曲 (见图 4.9)	坡口 深度	管材公称厚度, in. [mm]	
							最小值	最大值
1/8 ≤ T ≤ 3/8 [3 ≤ T ≤ 10]	3	2	2	2	—	T	1/8 [3]	2T
3/8 < T ≤ 1 [10 < T ≤ 25]	3	2	—	—	4	T	1/8 [3]	无限定

^a 每个位置应采用一个试管(见图 9.23)。采用 PJP 坡口焊缝细节进行评定。应目视检验所有试管(见 4.9.1)。

^b 如果在 T 形接头中采用 PJP 单面喇叭形坡口焊缝或 J 形坡口焊缝, 或者在角接头中采用双面喇叭形坡口焊缝或 J 形坡口焊缝, 则对接接头直边平面上应有一块临时限位板, 以模拟 T 形接头的形状。

^c 管材直径评定要求见表 9.10。

^d 任何 PJP 评定均还应覆盖任何厚度的角焊缝尺寸。

表 9.12 所评定试样的数量和类型及厚度范围—WPS 评定；角焊缝(见 9.14)

试样	角焊缝尺寸	WPS 要求 的焊缝数量	所需的试样 ^b			所评定的尺寸	
			宏观腐蚀 4.12.1 4.9.4	全焊缝金属 拉伸(见图 4.14)	侧面弯 曲(见图 4.9)	管厚 ^a	角焊缝尺寸
管材 T 形 接头试验 (图 9.21)	结构中所用单焊 道的最大尺寸	每个位置用 一条焊缝 (见表 9.9)	3 个面(4F&5F 需 要 4 个面)	—	—	无限定	等于或小于试验 用单焊道的最大 尺寸
	结构中所用多焊 道的最大尺寸	每个位置用 一条焊缝 (见表 9.9)	3 个面(4F&5F 需 要 4 个面)	—	—	无限定	等于或大于试验 用多焊道的最小 尺寸

^a 评定的最小厚度应为 1/8 in. [3 mm]。

^b 应按 4.9.1 要求对所有焊好的试管进行目视检验。

^c 管材直径评定要求见表 9.10。

表 9.13 焊工和焊接操作工技能评定—采用管子和箱型管试验评定产品焊接位置(见 9.17.1)

	评定试验		所评定的板材焊接			所评定的管材焊接					所评定的箱型管焊接				
	焊缝类型	试验位置 ^a	坡口 CJP	坡口 PJP	角焊缝 ^g	对接接头		T 形、Y 形和 K 形连接		角焊缝 ^g	对接接头		T 形、Y 形和 K 形连接		角焊缝 ^g
						CJP ^e	PJP ^e	CJP ^{d,e}	PJP ^{d,e}		CJP	PJP	CJP	PJP ^d	
管 材	CJP 焊缝 ^b (管材或箱型管)	1G(旋转) ^h 2G ^h 5G ^h 6G ^h (2G+5G) ^h	F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部		F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部		F F, H F, V, OH 全部 全部	F, H F, H F, H 全部 全部
	6GR (图 9.25)	全部	全部	全部	全部	全部 ^c	全部	全部	全部	全部	全部 ^c	全部		全部	全部
	6GR(图 9.25&9.27)	全部	全部	全部	全部	全部 ^c	全部	全部	全部	全部	全部 ^c	全部	全部 ^{d,f}	全部	全部
	管材角焊缝	1F(旋转) 2F 2F(旋转) 4F 5F		F F, H F, H F, H, OH 全部 全部						F F, H F, H F, H, OH 全部 全部					F F, H F, H F, H, OH 全部 全部

CJP—全熔透接头

PJP—部分熔透接头

^a 见图 9.17 和图 9.18。^b 坡口焊缝评定还应覆盖所示试验位置的塞焊缝和槽焊缝。^c 不评定不用衬垫仅从一面施焊或不清根而从两面施焊的接头。^d 不评定坡口角度小于 30° 的焊缝(见 9.15.4.2)。^e 采用箱型管进行的评定(图 9.25)还覆盖了直径等于或大于 24 in. [600 mm]的焊接管。^f 圆管或箱型管需进行 6GR 评定(图 9.25)。如果采用图 9.25 所示箱型管, 则可在试样角部进行宏观腐蚀试验(类似于图 9.27)。^g 管材 T 形、Y 形和 K 形连接的二面角的限制见 9.15。^h 应采用图 9.22(A)所示接头细节对不加衬垫或不背面清根的焊接接头进行评定。对于加衬垫或背面清根的焊接接头, 可采用图 9.22(A)或图 9.22(B)所示接头细节进行评定。

表 9.14 焊工和焊接操作工技能评定—所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围(尺寸单位: in.)(见 9.17.1)

管材试验 ^f			试样数量 ^a						所评定的管材公称尺寸, in.		所评定板材或管材的公称厚度 ^d , in.	
CJP 坡口对接接头			仅限 1G 和 2G 位置			仅限 5G、6G 和 6GR 位置						
试验焊缝类型	试管公称尺寸, in.	试管公称厚度, in.	正面弯曲 ^b	根部弯曲 ^b	侧面弯曲 ^b	正面弯曲 ^b	根部弯曲 ^b	侧面弯曲 ^b	最小值	最大值	最小值	最大值
坡口焊缝	≤ 4	无限定	1	1	注 c	2	2	注 c	3/4	4	1/8	3/4
坡口焊缝	> 4	≤ 3/8	1	1	注 c	2	2	注 c	注 e	无限定	1/8	3/4
坡口焊缝	> 4	> 3/8	—	—	2	—	—	4	注 e	无限定	3/16	无限定
							所评定的尺寸					
产品 T 形、Y 形或 K 形连接的 CJP 坡口焊缝				试样数量 ^a			所评定的管材公称尺寸, in.		所评定的 NPS 或管材公称壁厚, in.		所评定的二面角 ^h	
试验焊缝类型	试管公称尺寸, in.	试管公称厚度, in.	侧面弯曲 ^b		宏观腐蚀		最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值
圆管坡口焊缝 (图 9.25)	≥ 6 O.D.	≥ 1/2	4		—		4	无限定	3/16	无限定	30°	无限定
圆管坡口焊缝 (图 9.26)	< 4 O.D.	≥ 0.203	注 i		—		3/4	< 4	1/8	无限定	30°	无限定
箱型管坡口焊缝(图 9.27)	无限定	≥ 1/2	4		4		无限定(仅限箱型管)	无限定(仅限箱型管)	3/16	无限定	30°	无限定
							所评定的尺寸					
产品 T 形、Y 形或 K 形连接的角焊缝			试样数量 ^a				所评定的管材公称尺寸, in.		所评定的 NPS 或管材公称壁厚, in.		所评定的二面角 ^h	
试验焊缝类型	试管公称尺寸, in.	试管公称厚度, in.	角焊缝断裂	宏观腐蚀	根部弯曲 ^b	正面弯曲 ^b	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值
5G 位置(坡口焊缝)	无限定	≥ 1/8	—	—	2 ^c	2 ^c	注 e	无限定	1/8 ^d	无限定 ^d	30°	无限定
方案 1—角焊缝(图 4.26) ^g	—	≥ 1/2	1	1	—	—	24	无限定	1/8	无限定	60°	无限定
方案 2—角焊缝(图 4.23) ^g	—	3/8	—	—	2	—	24	无限定	1/8	无限定	60°	无限定
方案 3—角焊缝(图 9.21)	无限定	≥ 1/8	—	1	—	—	D	无限定	1/8	无限定	30°	无限定

^a 所有焊缝均应进行目视检验(见 4.22.1)。^b 可利用试管射线检查来代替弯曲试验(见 4.16.1.1)。^c 如果壁厚是 3/8 in., 则可用侧面弯曲试验来替代规定的正面弯曲试验和根部弯曲试验。^d 也应评定任何厚度的板材或管材上任何尺寸角焊缝或 PJP 焊缝的焊接。^e 所评定的管材最小直径应为试管直径的 1/2 或 4 in.(两者之中取较大值)。^f 适用坡口细节见表 9.13。^g 需要两块板, 并且每块板均应满足所述试样要求。一块板在 3F 位置焊接, 另外一块板在 4F 位置焊接。^h 如果二面角<30°, 则见 9.19.1; 但无需进行 6GR 试验。ⁱ 两次根部弯曲, 两次正面弯曲。

表 9.14(续) 焊工和焊接操作工技能评定—所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围(尺寸单位: mm)(见 9.17.1)

管材试验 ^f			试样数量 ^a						所评定的管材公称尺寸, mm		所评定的板材或管材的公称厚度 ^d , mm	
CJP 坡口对接接头			仅限 1G 和 2G 位置			仅限 5G、6G 和 6GR 位置						
试验焊缝类型	试管公称尺寸, mm	试管公称厚度, mm	正面弯曲 ^b	根部弯曲 ^b	侧面弯曲 ^b	正面弯曲 ^b	根部弯曲 ^b	侧面弯曲 ^b	最小值	最大值	最小值	最大值
坡口焊缝	≤ 100	无限定	1	1	注 c	2	2	注 c	20	100	3	20
坡口焊缝	> 100	≤ 10	1	1	注 c	2	2	注 c	注 e	无限定	3	20
坡口焊缝	> 100	> 10	—	—	2	—	—	4	注 e	无限定	5	无限定

						所评定的尺寸					
产品 T 形、Y 形或 K 形连接的 CJP 坡口焊缝				试样数量 ^a		所评定的管材公称尺寸, mm		所评定的 NPS 或管材公称壁厚, mm		所评定的二面角 ^h	
试验焊缝类型	试管公称尺寸, mm	试管公称厚度, mm	侧面弯曲 ^b		宏观腐蚀	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值
圆管坡口焊缝 (图 9.25)	≥ 150 O.D.	≥ 12	4		—	10	无限定	5	无限定	30°	无限定
圆管坡口焊缝 (图 9.26)	< 100 O.D.	≥ 5	注 i		—	20	< 100	3	无限定	30°	无限定
箱型管坡口焊缝(图 9.27)	无限定	≥ 12	4		4	无限定(仅限箱型管)	无限定(仅限箱型管)	5	无限定	30°	无限定

							所评定的尺寸					
产品 T 形、Y 形或 K 形连接的角焊缝				试样数量 ^a			所评定的管材公称尺寸, mm		所评定的 NPS 或管材公称壁厚, mm		所评定的二面角 ^h	
试验焊缝类型	试管公称尺寸, mm	试管公称厚度, mm	角焊缝断裂	宏观腐蚀	根部弯曲 ^b	正面弯曲 ^b	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值
5G 位置(坡口焊缝)	无限定	≥ 3	—	—	2 ^c	2 ^c	注 e	无限定	3 ^d	无限定 ^d	30°	无限定
方案 1—角焊缝(图 4.26) ^g	—	≥ 12	1	1	—	—	24	无限定	3	无限定	60°	无限定
方案 2—角焊缝(图 4.23) ^g	—	10	—	—	2	—	24	无限定	3	无限定	60°	无限定
方案 3—角焊缝(图 9.21)	无限定	≥ 3	—	1	—	—	D	无限定	3	无限定	30°	无限定

^a 所有焊缝均应进行目视检验(见 4.22.1)。^b 可利用试管射线检查来代替弯曲试验(见 4.16.1.1)。^c 如果壁厚是 10 mm, 则可用侧面弯曲试验来替代规定的正面弯曲试验和根部弯曲试验。^d 也应评定任何厚度的板材或管材上任何尺寸角焊缝或 PJP 焊缝的焊接。^e 所评定的管材最小直径应为试管直径的 1/2 或 4 in.(两者之中取较大值)。^f 适用坡口细节见表 9.13。

^g 需要两块板，并且每块板均应满足所述试样要求。一块板在 3F 位置焊接，另外一块板在 4F 位置焊接。

^h 如果二面角 $\leq 30^\circ$ ，则见 9.19.1；但无需进行 6GR 试验。

ⁱ 两次根部弯曲，两次正面弯曲。

表 9.15 不采用衬垫焊接的对接接头的根部间隙公差(见 9.24.2.1)

	接头钝边		无钢衬垫接头的根部间隙		坡口角度
	in.	mm	in.	mm	°
SMAW	±1/16	±2	±1/16	±2	±5
GMAW	±1/32	±1	±1/16	±2	±5
FCAW	±1/16	±2	±1/16	±2	±5

注：根部间隙大于上述规定公差但不大于较薄件的壁厚时，可在组件焊接连接之前进行堆焊，以使之符合尺寸要求。

表 9.16 目视检验的验收准则(见 9.25)

不连续的类型和检验的验收准则	管材连接(所有荷载)								
(1) 禁止出现裂纹 任何裂纹均为不合格裂纹(不论其尺寸或部位)。	X								
(2) 焊缝/母材的熔合 焊缝的相邻焊缝之间以及焊缝和母材之间应完全熔合。	X								
(3) 弧坑横截面 所有弧坑均应填平, 以提供规定的焊缝尺寸, 断续角焊缝的端部落在有效长度外面的情况除外。	X								
(4) 焊缝剖面形状 焊缝剖面形状应符合 5.23 要求。	X								
(5) 检验的时间 所有钢焊缝的目视检验均应在焊缝冷却至环境温度之后立即开始。ASTM A514、A517 和 A709 级 HPS 100W [HPS 690W] 钢的验收准则应以在焊接完成 48 h 后进行的目视检验结果为基础依据。	X								
(6) 焊缝尺寸不足 如果不采用下列数值(U)校正, 则任何连续焊缝内角焊缝的尺寸均可能小于规定公称尺寸(L): <table border="1" data-bbox="272 840 792 1039"> <tr> <td>L, 规定的公称焊缝尺寸, in. [mm]</td><td>U, 在 L 基础上容许减小量, in. [mm]</td></tr> <tr> <td>≤ 3/16 [5]</td><td>≤ 1/16 [2]</td></tr> <tr> <td>1/4 [6]</td><td>≤ 3/32 [2.5]</td></tr> <tr> <td>≥ 5/16 [8]</td><td>≤ 1/8 [3].00</td></tr> </table> 无论在何种情况下, 焊缝尺寸不足部分均不应超过焊缝长度的 10%。 对于大梁上的腹板-翼缘板焊缝, 梁两端等于翼缘板宽度两倍的长度范围内严禁出现焊缝尺寸不足。	L, 规定的公称焊缝尺寸, in. [mm]	U, 在 L 基础上容许减小量, in. [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3].00	X
L, 规定的公称焊缝尺寸, in. [mm]	U, 在 L 基础上容许减小量, in. [mm]								
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]								
1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]								
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3].00								
(7) 咬边 (A) 对于厚度小于 1 in. [25 mm] 的材料, 咬边不应超过 1/32 in. [1 mm], 但下列情况除外: 如果在任何 12 in. [300 mm] 长度范围内任何累积长度达到 2 in. [50 mm], 则咬边不应超过 1/16 in [2 mm]。对于厚度等于或大于 1 in. [25 mm] 的材料, 任何长度焊缝的咬边均不应超过 1/16 in [2 mm]。	X								
(B) 在主管中, 当焊缝在任何设计荷载条件下都垂直于拉应力时, 咬边的深度不应超过 0.01 in. [0.25 mm]。在所有其他情况下, 咬边深度不应超过 1/32 in. [1 mm]。									
(8) 气孔 (A) 对接接头中垂直于计算拉应力方向的 CJP 坡口焊缝不应有可见管状气孔。对于其他任何坡口焊缝和角焊缝, 直径等于或大于 1/32 in. [1 mm] 的可见管状气孔在焊缝任何 1 in. 线性长度范围内不应超过 3/8 in. [10 mm], 在任何 12 in. [300 mm] 长范围内不应超过 3/4 in. [20 mm]。	X								
(B) 角焊缝每 4 in. [100 mm] 长焊缝中管状气孔的出现频率不应超过 1 个, 并且最大直径不应超过 3/32 in. [2.5 mm]。 例外情况: 对于连接加劲肋和腹板的角焊缝, 焊缝任何 1 in. 线性长度范围内管状气孔的直径之和不应超过 3/8 in. [10 mm], 在任何 12 in. [300 mm] 长范围内不应超过 3/4 in. [20 mm]。									
(C) 对接接头中垂直于计算拉应力方向的 CJP 坡口焊缝不应有可见管状气孔。对于其他任何坡口焊缝, 每 4 in. [100 mm] 长焊缝中管状气孔的出现频率不应超过 1 个, 并且最大直径不应超过 3/32 in. [2.5 mm]。									

注: “X”表示连接类型的适用性; 阴影区域表示不适用。

表 9.17 孔型 IQI 要求(见 9.28.1)

材料公称厚度范围， 单位：in.	材料公称厚度范围 ^a ， 单位：mm	射线源侧	
		代号	主孔
≤0.25	≤6	7	4T
>0.25~0.375	>6~10	10	4T
>0.375~0.50	>10~12	12	4T
>0.50~0.625	>12~16	12	4T
>0.625~0.75	>16~20	15	4T
>0.75~0.875	>20~22	17	4T
>0.875~1.00	>22~25	17	4T
>1.00~1.25	>25~32	20	4T
>1.25~1.50	>32~38	25	2T
>1.50~2.00	>38~50	30	2T
>2.00~2.50	>50~65	35	2T
>2.50~3.00	>65~75	40	2T
>3.00~4.00	>75~100	45	2T
>4.00~6.00	>100~150	50	2T
>6.00~8.00	>150~200	60	2T

^a 射线穿透的单壁厚度。

表 9.18 线型 IQI 要求(见 9.28.1)

材料公称厚度范围， 单位：in.	材料公称厚度范围， 单位：mm	射线源侧最大线直径	
		in.	mm
≤0.25	≤6	0.008	0.20
>0.25~0.375	>6~10	0.010	0.25
>0.375~0.625	>10~16	0.013	0.33
>0.625~0.75	>16~20	0.016	0.41
>0.75~1.50	>20~38	0.020	0.51
>1.50~2.00	>38~50	0.025	0.63
>2.00~2.50	>50~65	0.032	0.81
>2.50~4.00	>65~100	0.040	1.02
>4.00~6.00	>100~150	0.050	1.27
>6.00~8.00	>150~200	0.063	1.60

^a 射线穿透的单壁厚度。

表 9.19 IQI 的选择和放置(见 9.28.2)

IQI 类型	等厚 $T \geq 10$ in.		等厚 $T < 10$ in.		不等厚 $T \geq 10$ in.		不等厚 $T < 10$ in.	
	[250 mm] L		[250 mm] L		[250 mm] L		[250 mm] L	
	孔型	线型	孔型	线型	孔型	线型	孔型	线型
IQI 的数量								
管材环缝	3	3	3	3	3	3	3	3
ASTM 标准选用—	E1025	E747	E1025	E747	E1025	E747	E1025	E747
表	9.17	9.18	9.17	9.18	9.17	9.18	9.17	9.18
图	6.6		6.7		6.8		6.9	

T = 母材公称厚度(图上的 T1 和 T2)。

L = 每一个射线照相部位内的焊缝长度。

注：如果按 6.17.3.3 要求在孔型像质计下使用补偿片，则可增大 T 值，以补偿容许焊缝余高的厚度。

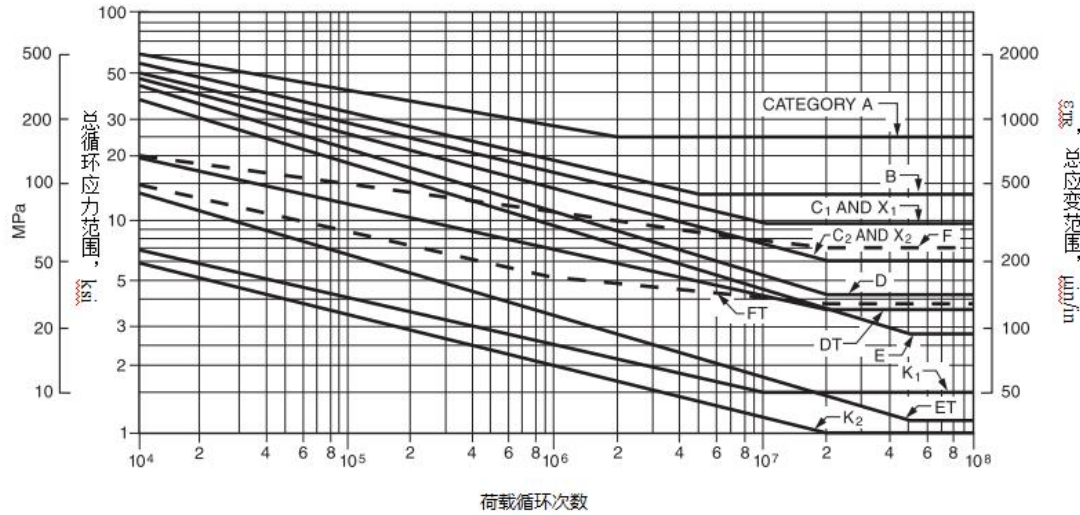
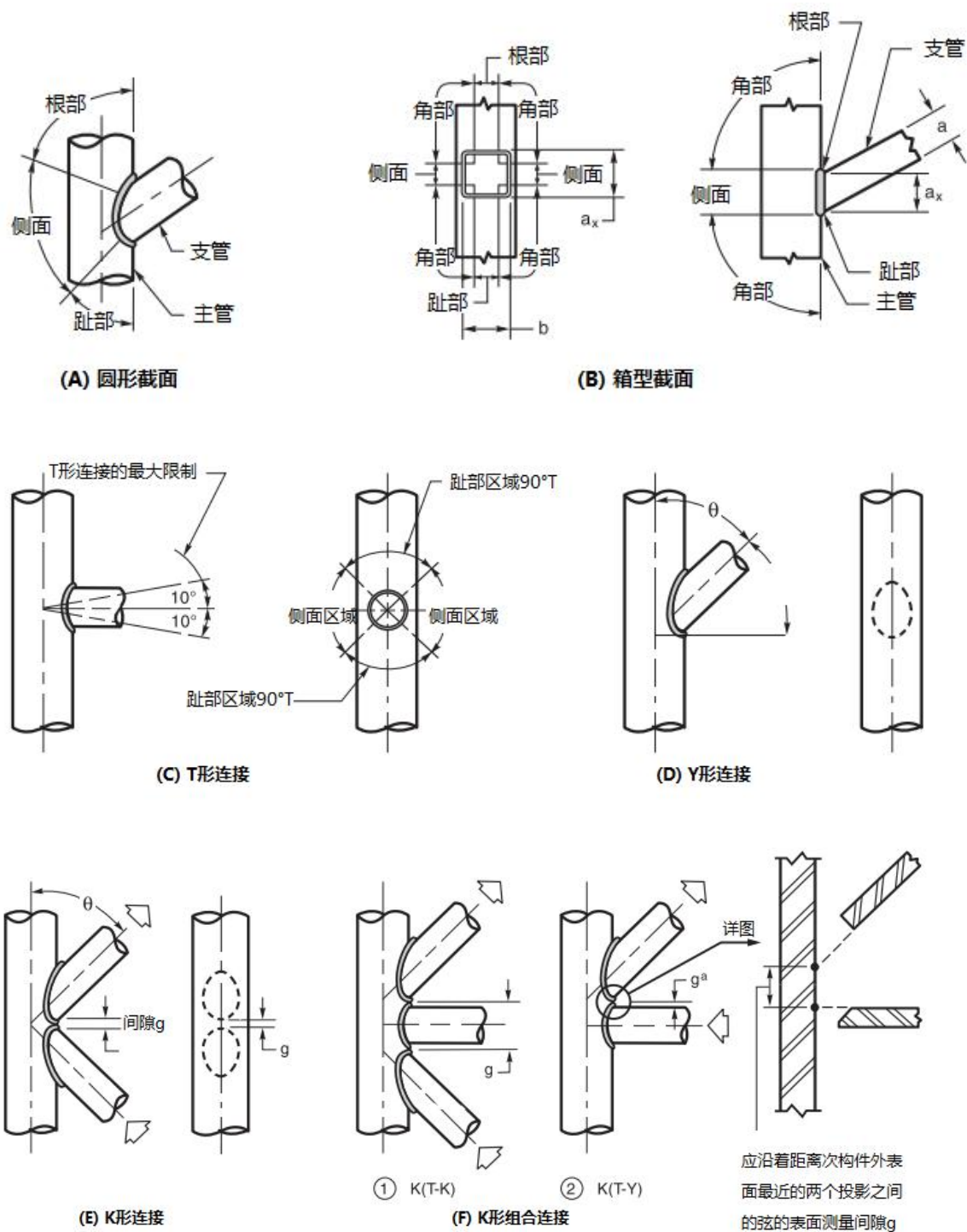


图 9.1 应力类别(见表 9.3)的容许疲劳应力和应变范围及在大气中使用的管材(见 9.2.7.3)



^a 相关间隙是指荷载基本保持平衡的两个支撑之间的间隙。类型(2)也可被称为N形连接。

图 9.2—管材连接的组成部分(见 9.3)

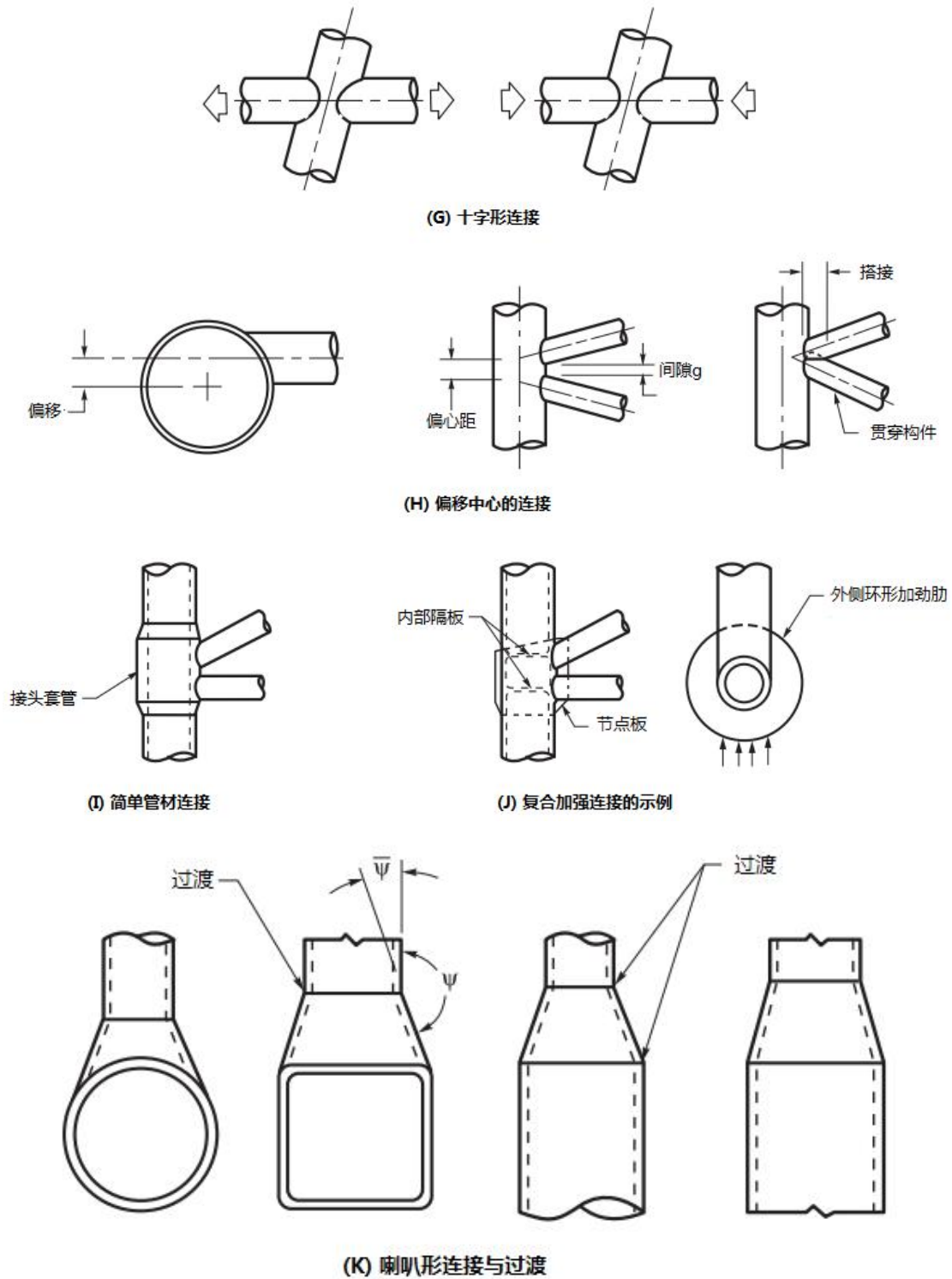
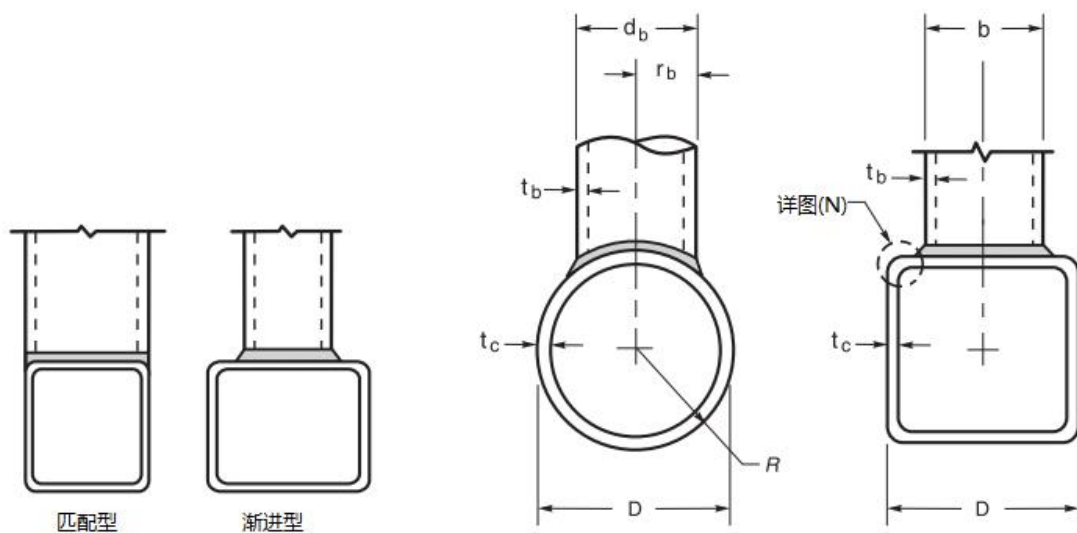
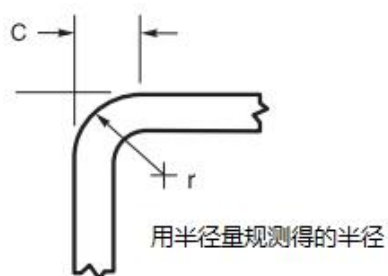


图 9.2(续)—管材连接的组成部分(见 9.3)



(L) 箱型截面的连接类型

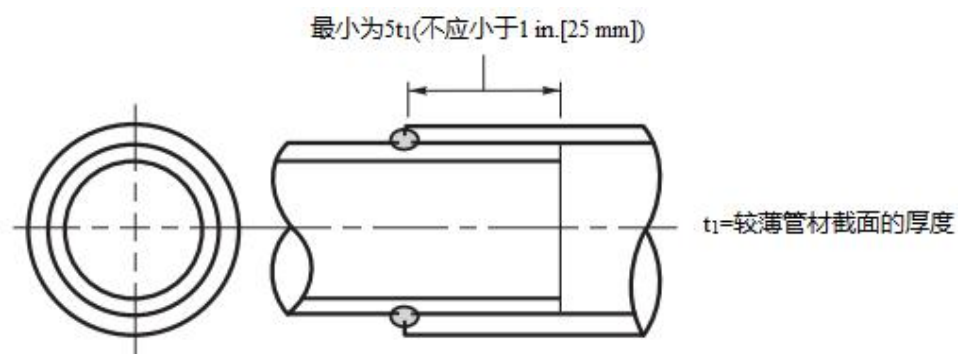
(M) 几何参数



(N) 角部尺寸或半径测量

参数	圆形截面	箱型截面
β	r_b/R 或 d_b/D	b/D
η	—	a_x/D
γ	R/t_c	$D/2t_c$
τ	t_b/t_c	t_b/t_c
θ	构件中心线之间的角度。	
Ψ	焊接接头给定点上的局部二面角	
C	利用放在角部的 90° 直角尺测得的切点或接触点的角部尺寸	

图 9.2(续)—管材连接的组成部分(见 9.3)



注：L=所需尺寸。

图 9.3—角焊缝焊接的搭接接头(管材)[见 9.5.1.3 和 9.9.1(2)]

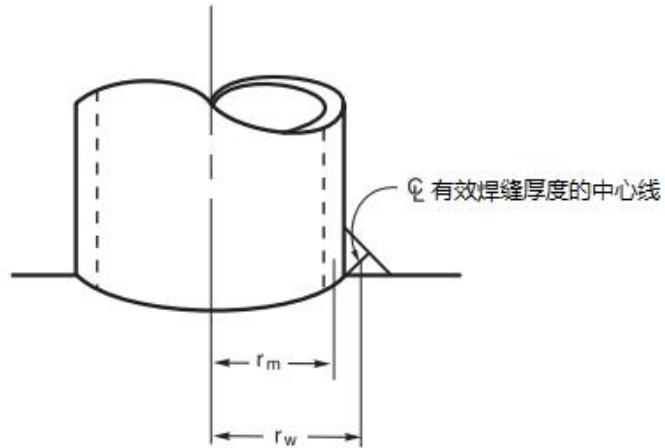


图 9.4—管材 T 形、Y 形和 K 形连接的角焊缝投影半径(见 9.5.3)

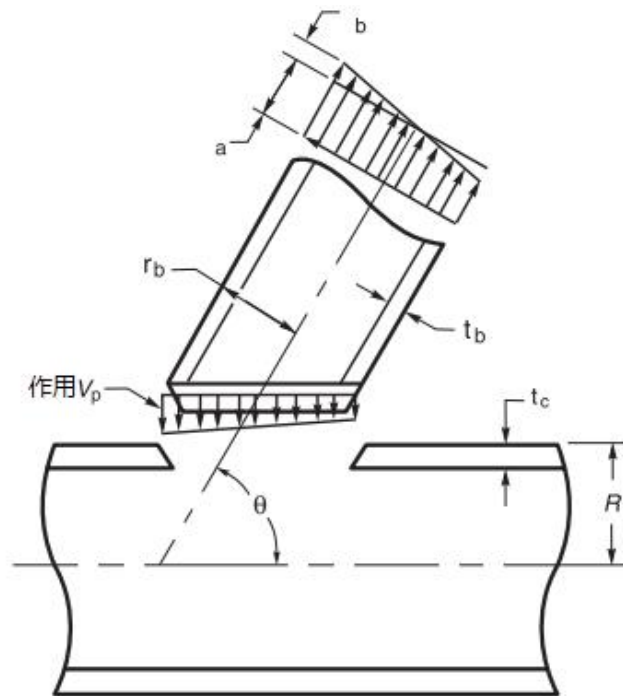


图 9.5—冲切剪应力(见 9.6.1.1)

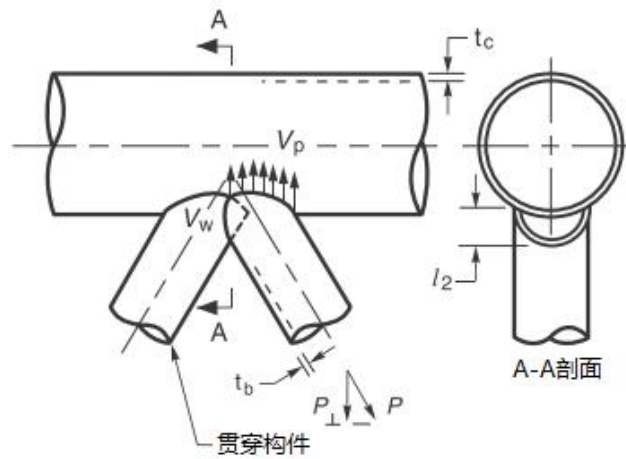
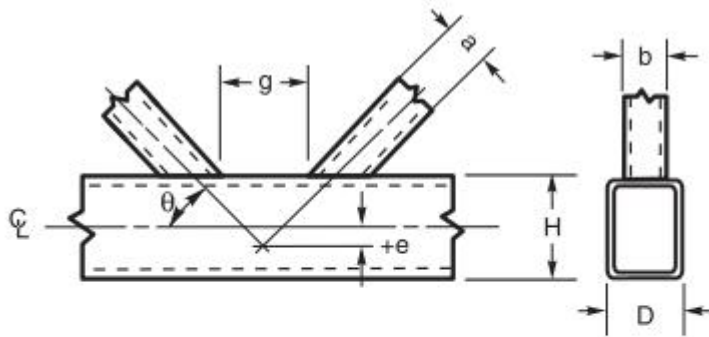


图 9.6—搭接接头细节(见 9.6.1.6)



注：

1. $-0.55H \leq e \leq 0.25H$
2. $\theta \geq 30^\circ$
3. H/t_c 和 $D/t_c \leq 35$ (搭接K形连接和N形连接为40)
4. a/t_b 和 $b/t_b \leq 35$
5. $F_{y0} \leq 52 \text{ ksi} [360 \text{ MPa}]$
6. $0.5 \leq H/D \leq 2.0$
7. $F_{y0}/F_{ult} \leq 0.8$

图 9.7—箱型截面 T 形、Y 形和 K 形连接的限制[见 9.6.2 和 9.8.1.2(2)]

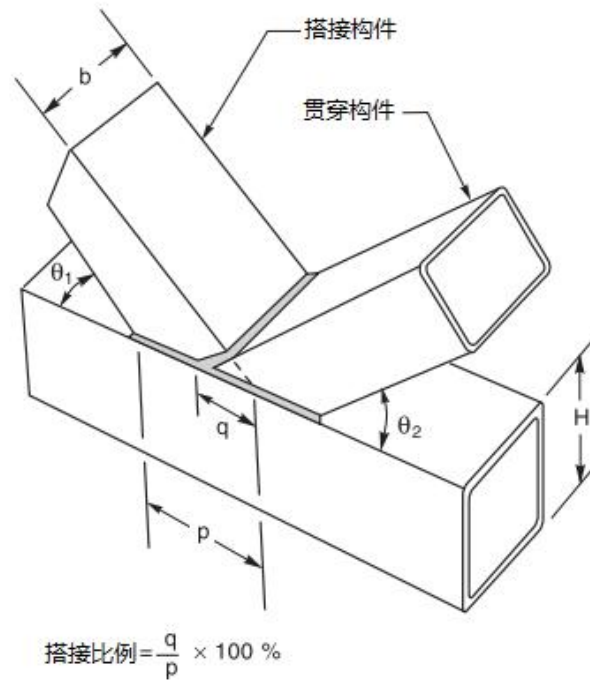
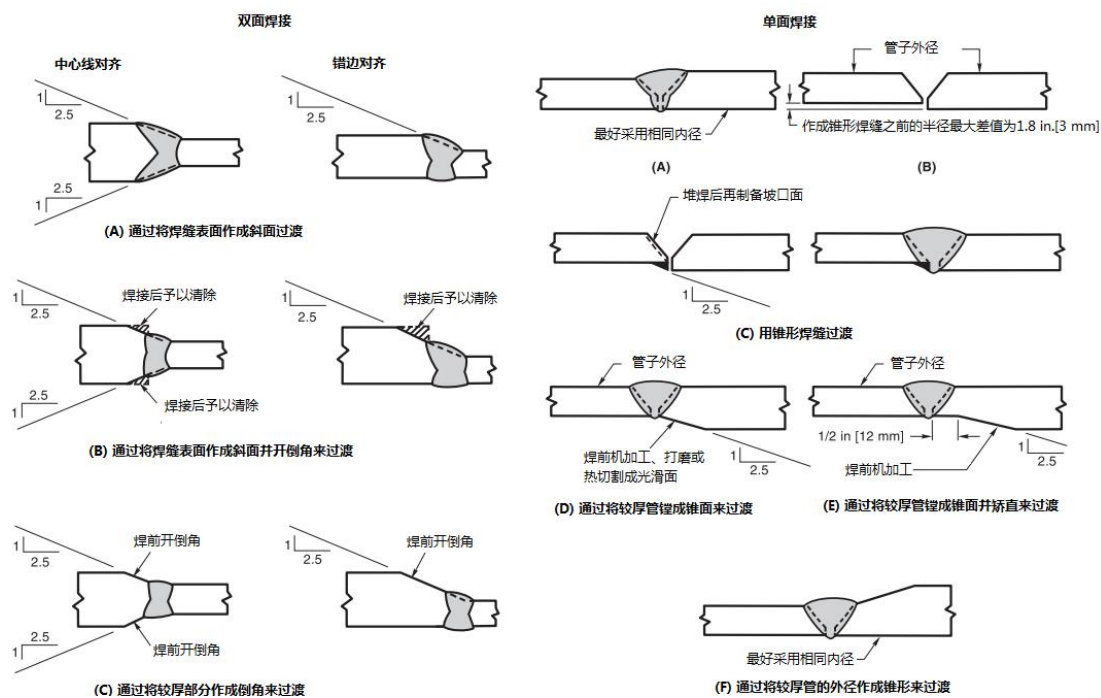


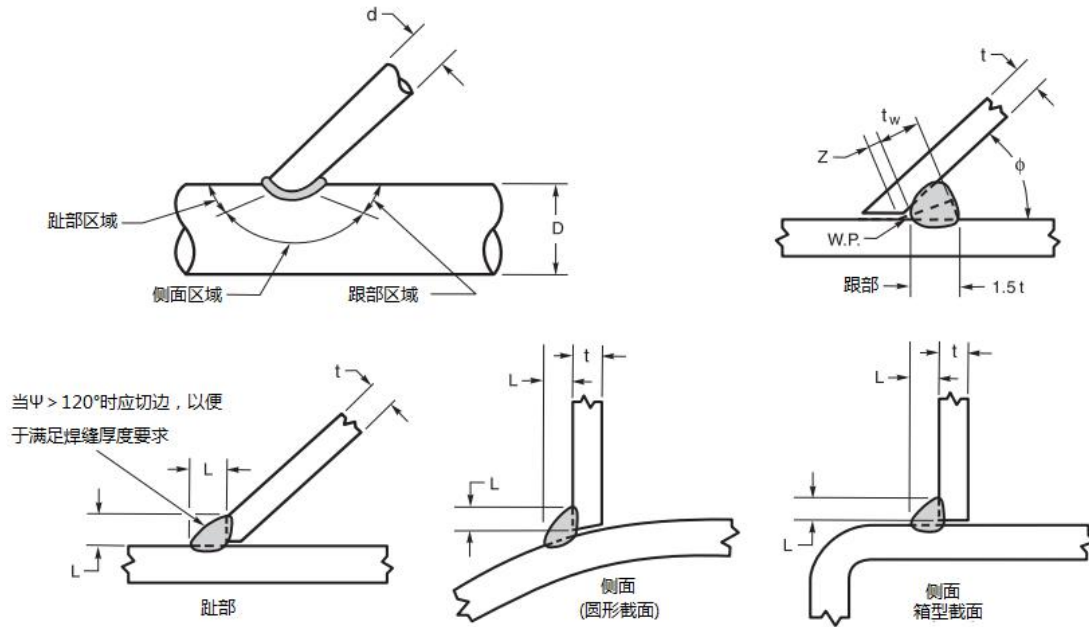
图 9.8—搭接的 K 形连接(见 9.6.2.4)



注:

1. 坡口可采用任何一种允许使用的或评定合格的类型和细节。
2. 所示过渡斜率为最大许用斜率。
3. 在(B)、(D)和(E)中, 坡口可采用任何一种允许使用的或评定合格的类型和细节。过渡斜率应为最大许用斜率。

图 9.9—不等厚零件中对接接头的厚度过渡(管材)(见 9.7)



下列项的最小 L:

	$E=0.7t$	$E=t$	$E=1.07t$
根部 $< 60^\circ$	$1.5t$	$1.5t$	$1.5t$ 或 $1.4t+Z$ 中的较大值
侧面 $\leq 100^\circ$	t	$1.4t$	$1.5t$
侧面 $100\sim 110^\circ$	$1.1t$	$1.6t$	$1.75t$
侧面 $110\sim 120^\circ$	$1.2t$	$1.8t$	$2.0t$
趾部 $> 120^\circ$	t 斜面	$1.4t$ 斜面	全斜面 $60\sim 90^\circ$ 坡口

注:

1. t = 较薄件的厚度。
2. L = 最小尺寸 (如果是组合焊缝, 则可按 9.6.1.3 要求增加焊缝尺寸, 36 ksi [250 MPa] 母材和 70 ksi [485 MPa] 焊条除外)。
3. 根部间隙为 0 in. $\sim$ 3/16 in. [5 mm] (见 5.21)。
4. $\phi < 30^\circ$ 时不能免除评定。 $\phi < 60^\circ$ 时, 采用表 9.5 的 Z 折减尺寸。焊工位置评定要求见表 9.13。
5. $\beta = d/D$ 的限制见 9.5.1.2。
6. Ψ = 二面角。

图 9.10—采用 SMAW、GMAW 和 FCAW 制作的角焊缝焊接免评定管材连接(见 9.9.1)

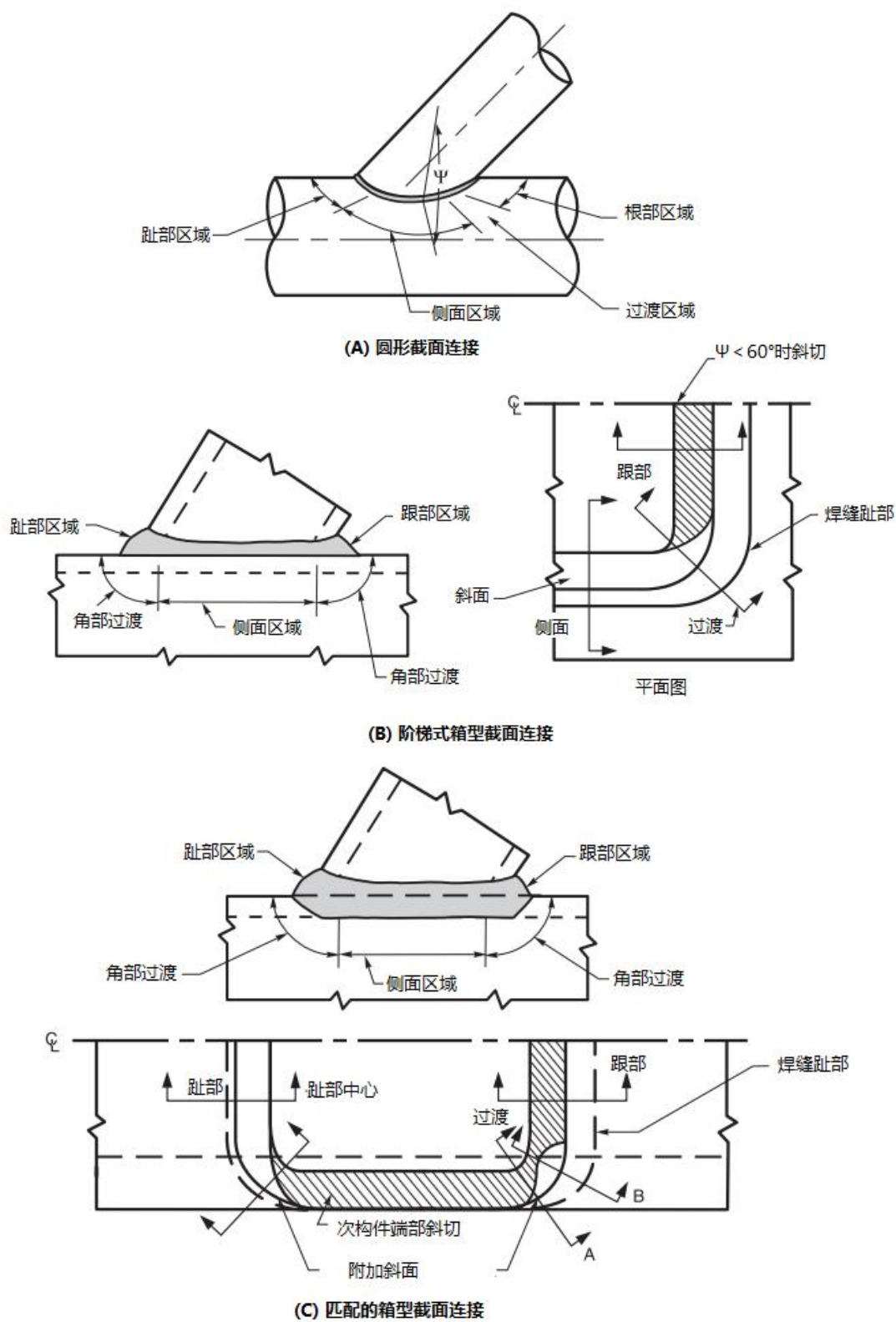


图 9.11—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 PJP 的免评定接头细节(见 9.10.1)

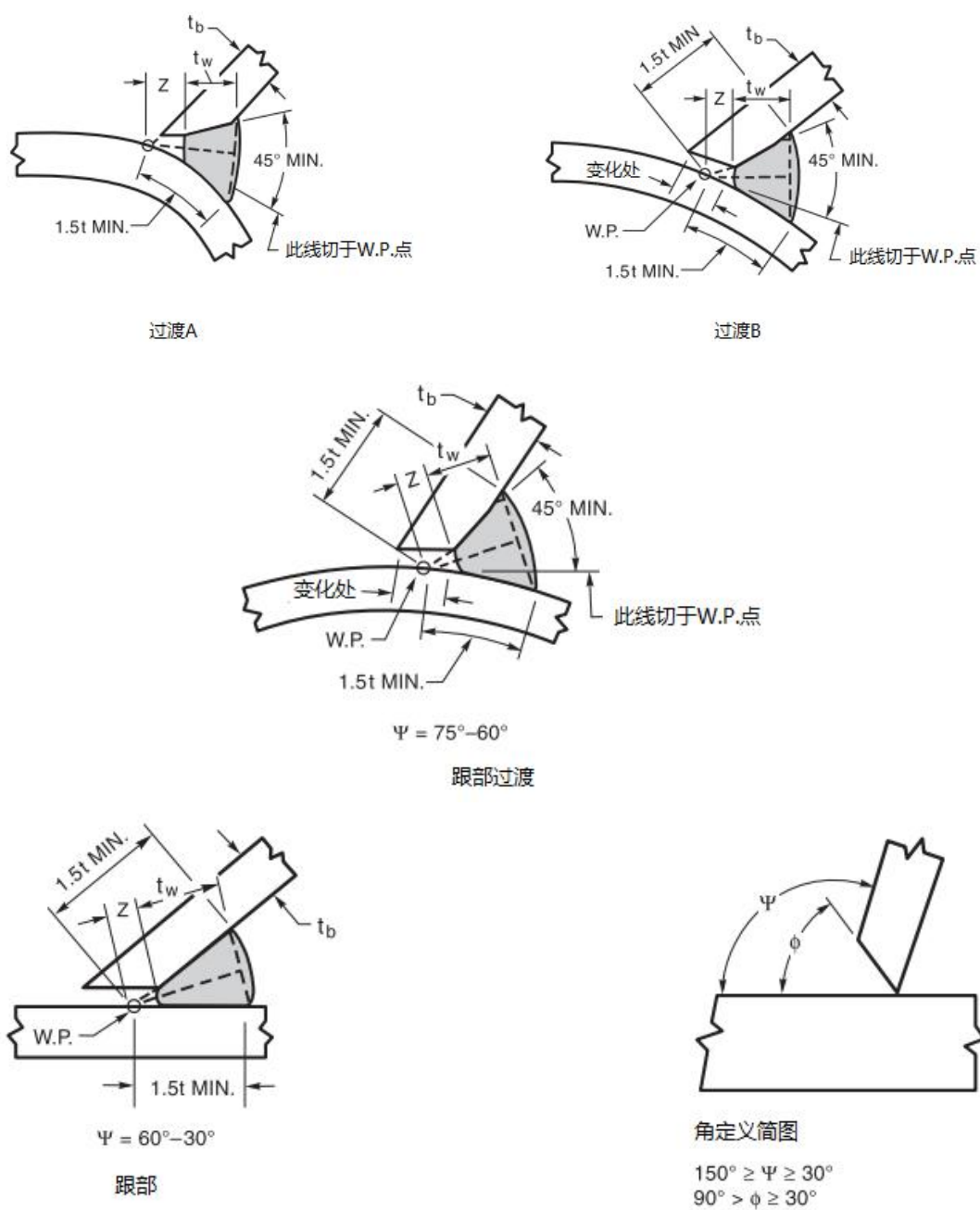
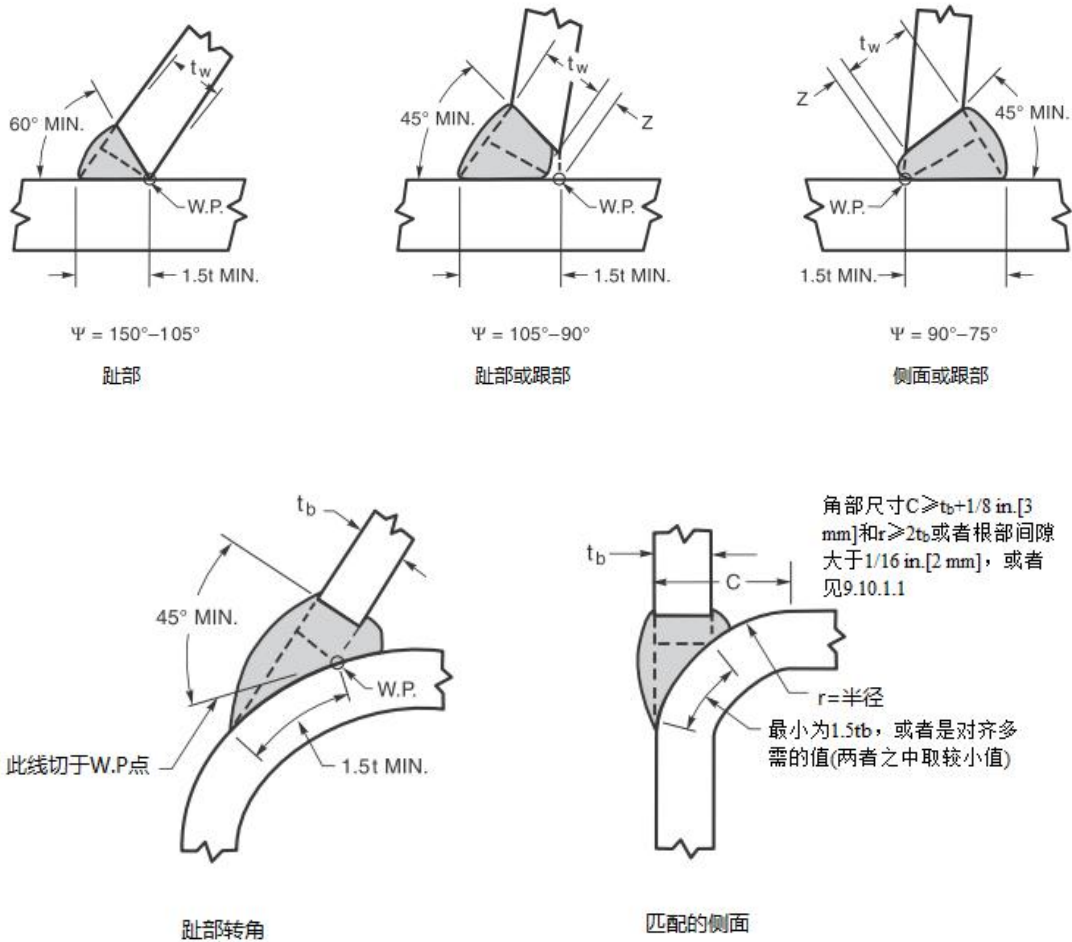


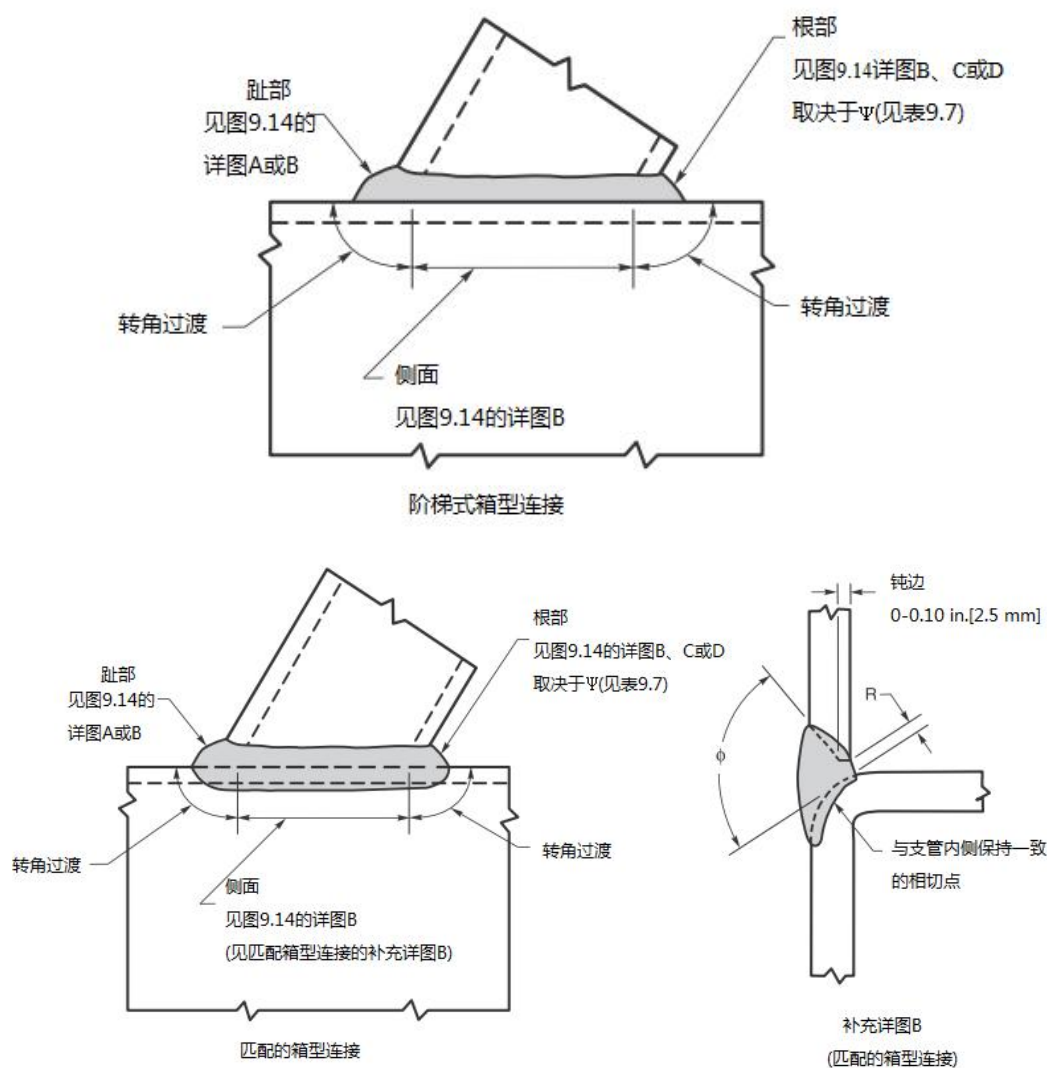
图 9.11(续)—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 PJP 的免评定接头细节(见 9.10.1)



注:

1. t = 较薄截面的厚度。
2. 除过渡区域和跟部区域外，其余部位削斜到边缘。
3. 根部间隙为 $0 \text{ in.} \sim 3/16 \text{ in.} [5 \text{ mm}]$ 。
4. 30° 以下不免除评定。
5. 焊缝尺寸(焊缝有效厚度) $t_w \geq t$; Z 折减尺寸见表 9.5。
6. 如图所示，焊脚尺寸小于 $1.5t$ 时应按 9.6.1.3 计算。
7. 对于箱型截面，角部过渡区的接头的制备方式应确保一个零件可以平滑过渡到另一个零件。应绕着角部连续焊接，并且所有焊缝的起点与终点都要落在平坦面上。
8. 局部二面角 Ψ 的定义见附录 J。
9. W.P. = 着力点。

图 9.11(续)—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 PJP 的免评定接头细节(见 9.10.1)



注:

1. 细节 A、B、C 和 D 如图 9.14 所示，并且表 9.8 的所有注释均使用。
2. 角部过渡区的接头的制备方式应确保一个零件可以平滑过渡到另一个零件。应绕着角部连续焊接，并且所有焊缝的起点与终点都要落在平坦面上。
3. 图 9.14 参考了图 9.15 和图 9.16 的合适厚度(见 9.2.7.7)。

图 9.12—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 的免评定接头细节(见 9.11.2)

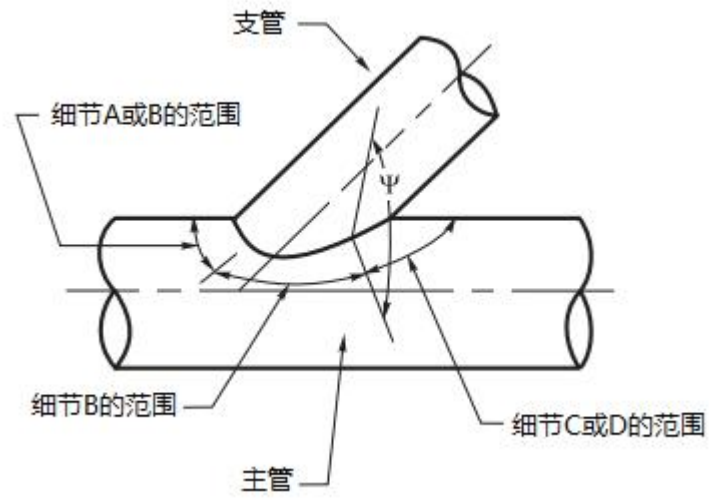
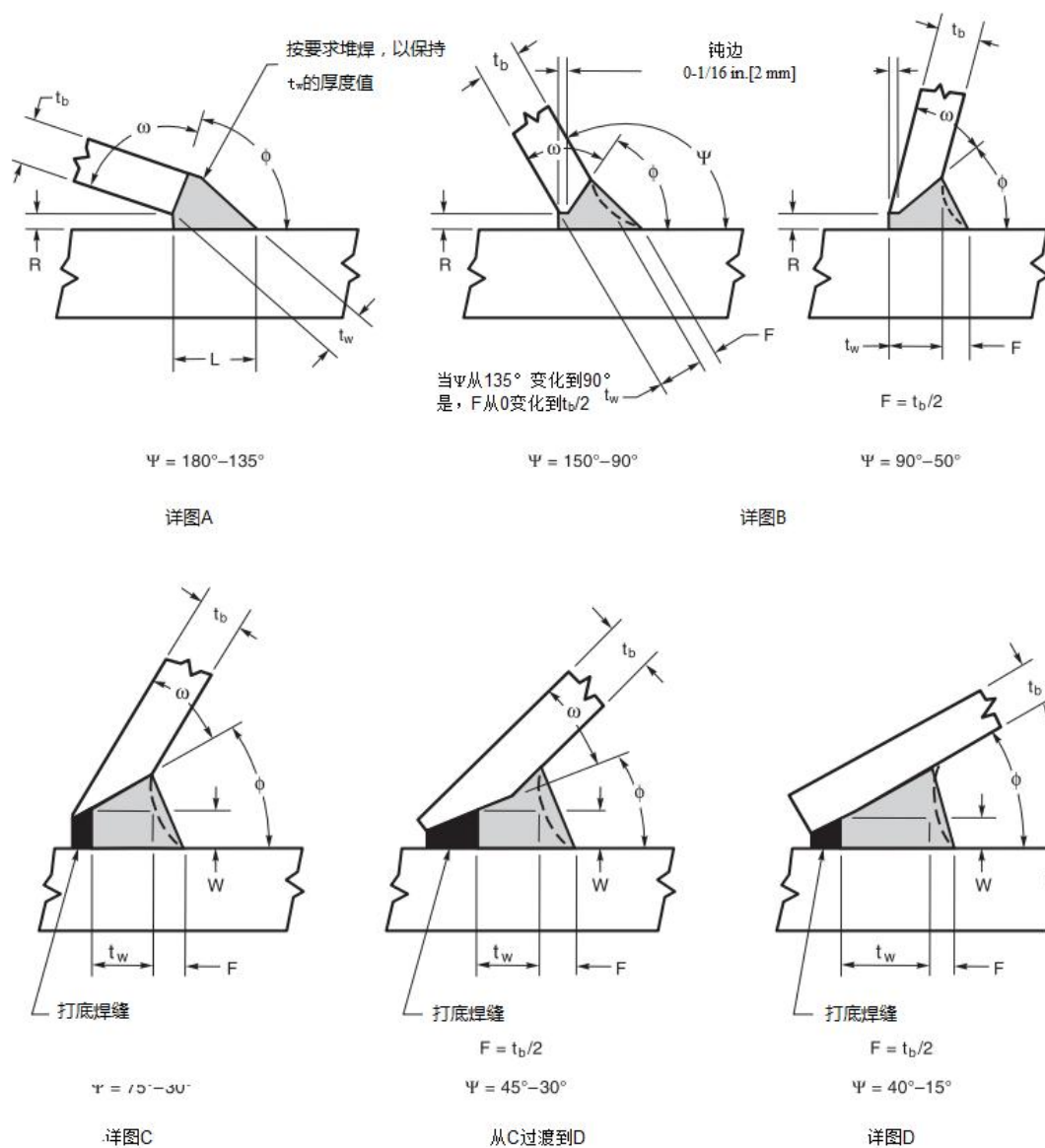


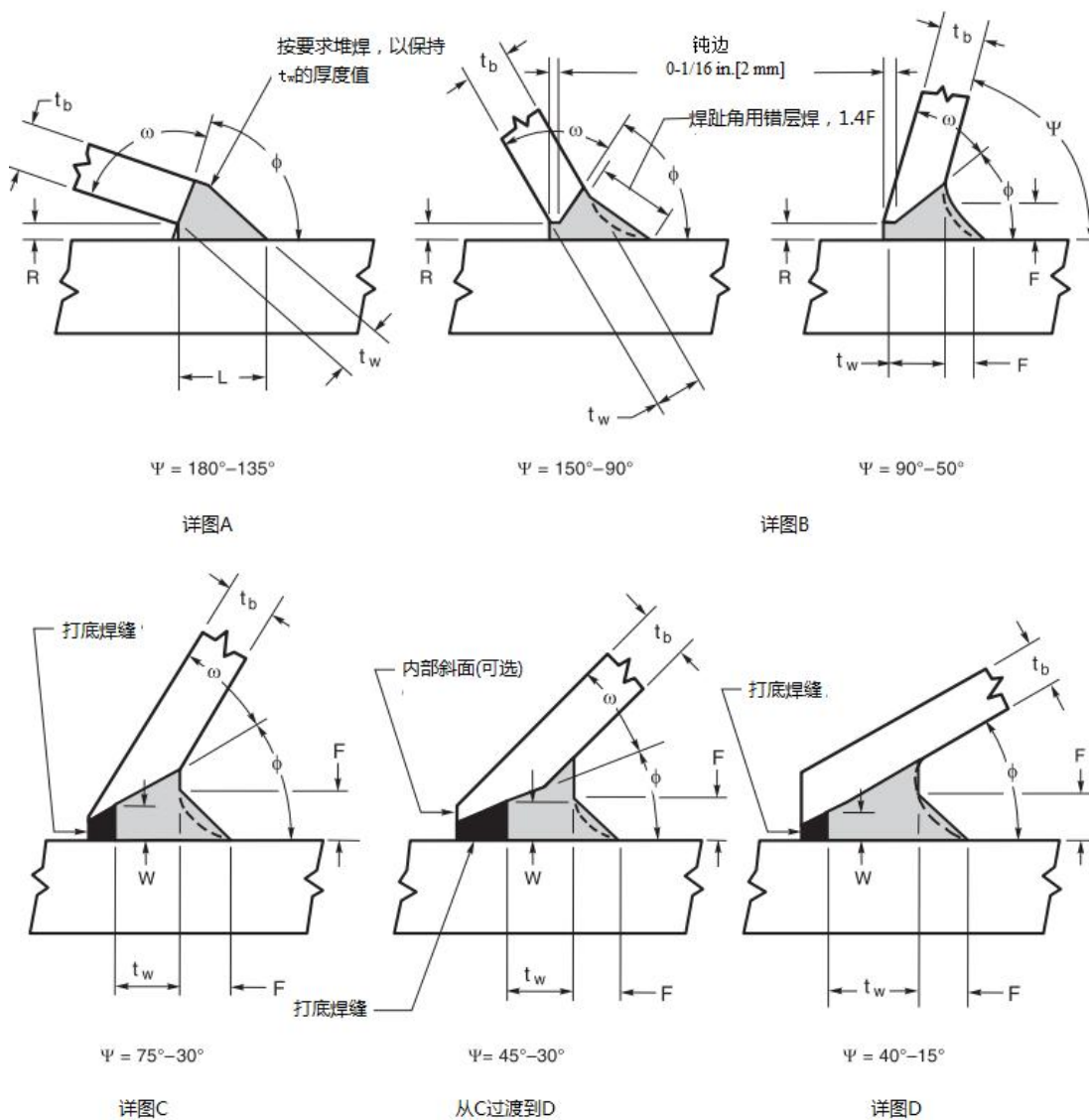
图 9.13—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 的定义和详细选择要求(见 9.11.2 和表 9.7)



注:

1. t_w 、 L 、 R 、 W 、 ω 、 ϕ 的尺寸见表 9.8。
2. 最小标准平直状焊缝剖面形状应为实线所示形状。
3. 也可采用虚线所示的下凹状剖面形状。
4. 焊缝凸度、焊瘤等均应按 5.23 要求处理。
5. 支管厚度 t_b 应符合 9.2.7.7 要求。

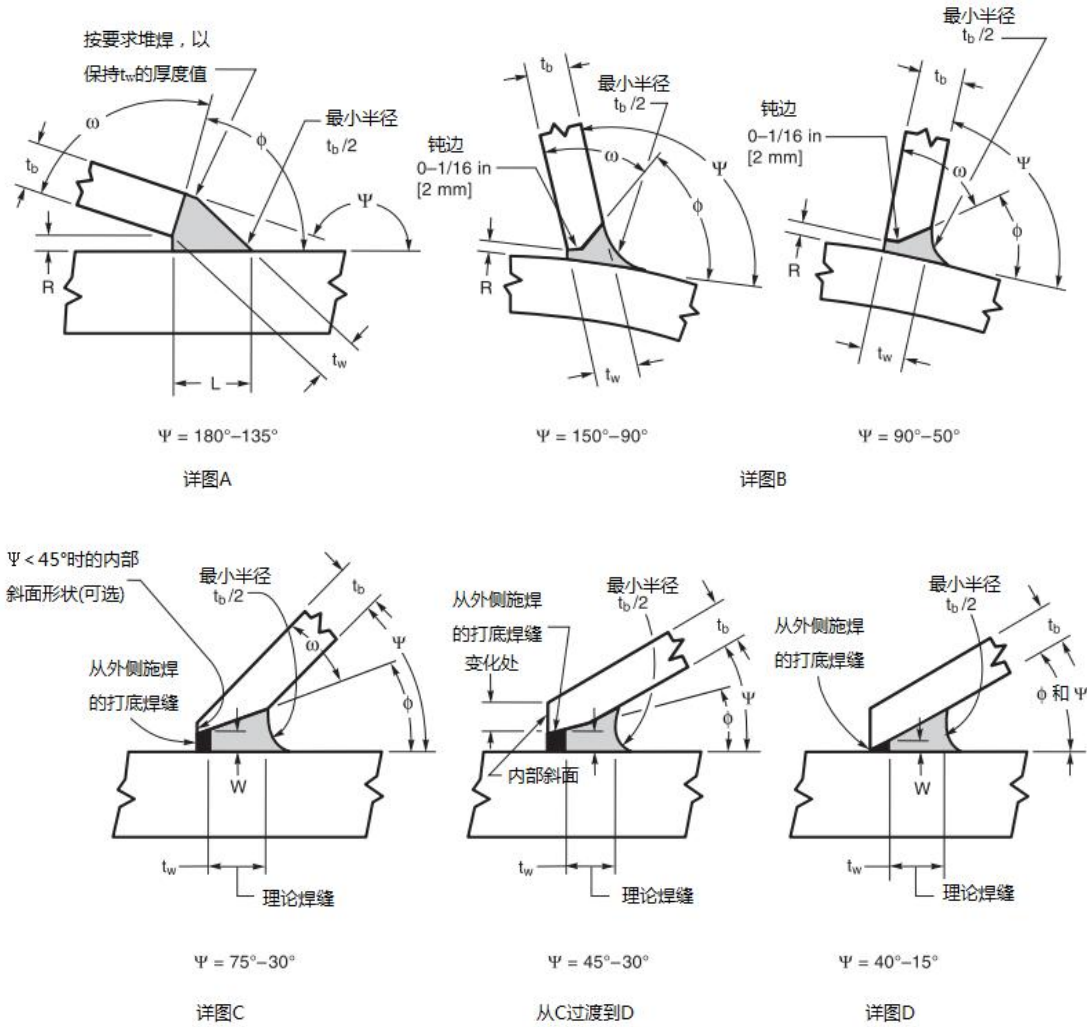
图 9.14—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—有限厚度的标准平
面状断面形状(见 9.11.2)



注:

1. 草图描述了另外一种带趾部角焊缝的标准剖面形状。
2. 厚度 t_b 的适用范围见 9.2.7.7。
3. 最小角焊缝尺寸 $F = t_b/2$, 还应要符合表 5.7 要求。
4. t_w 、 L 、 R 、 W 、 ω 、 ϕ 的尺寸见表 9.8。
5. 焊缝凸度、焊瘤等均应按 5.23 要求处理。
6. 也可采用虚线所示的下凹状剖面形状。

图 9.15—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—中等厚度带趾角焊缝的断面形状(见 9.11.2)



注:

1. 阐述了按 9.2.7.6(1)焊接且按 9.2.7.6(2)充分打磨的改善的焊缝剖面形状。

2. 厚截面或承受疲劳临界荷载的应用要求见 9.2.7.7。

用于疲劳临界状态时的要求, 见 2.21.6.7

3. t_w 、 L 、 R 、 W 、 ω 、 ϕ 的尺寸见表 9.8。

图 9.16—管材 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的免评定接头细节—存在厚截面或疲劳要求时的改进下凹形断面形(见 9.11.2)

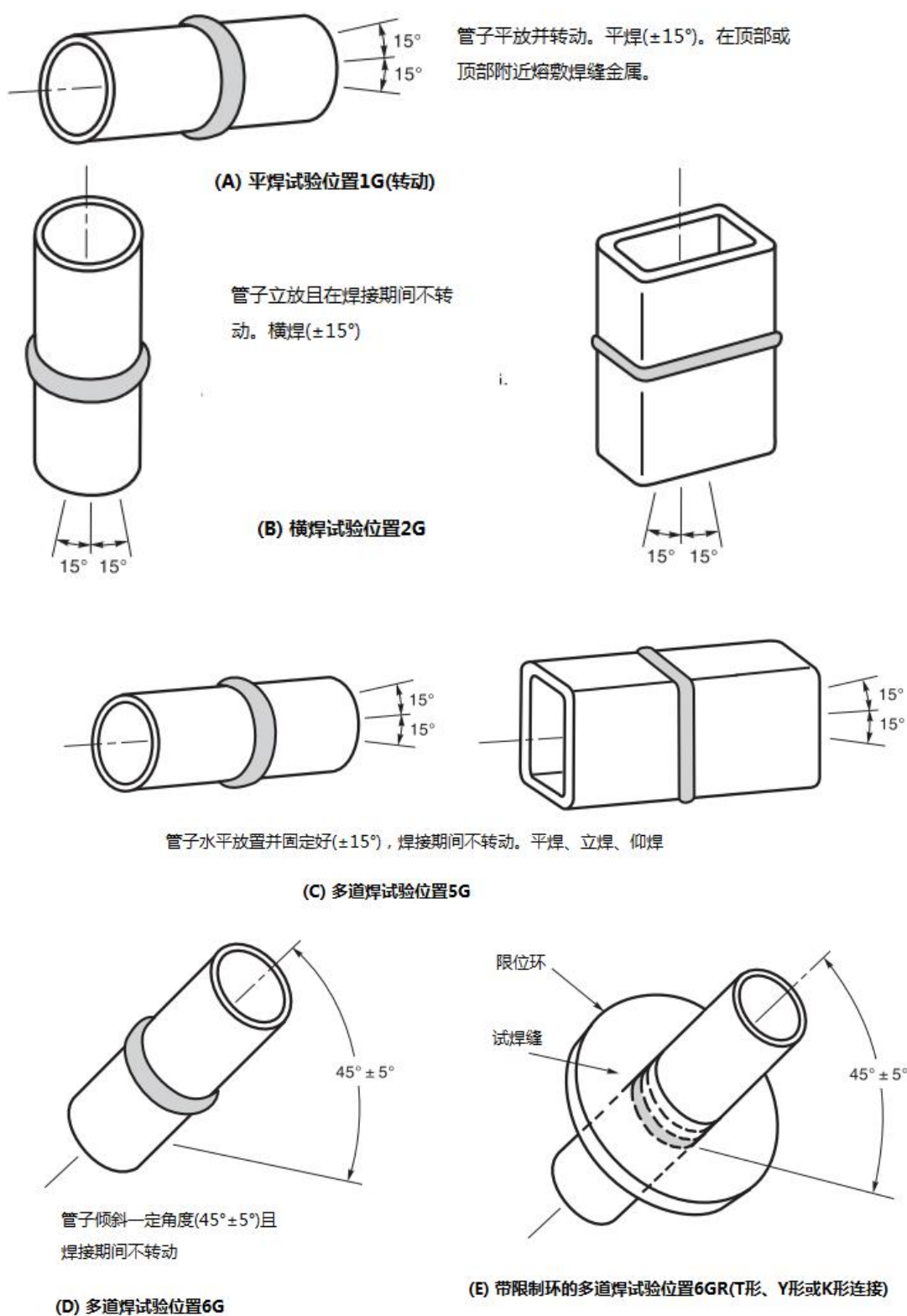
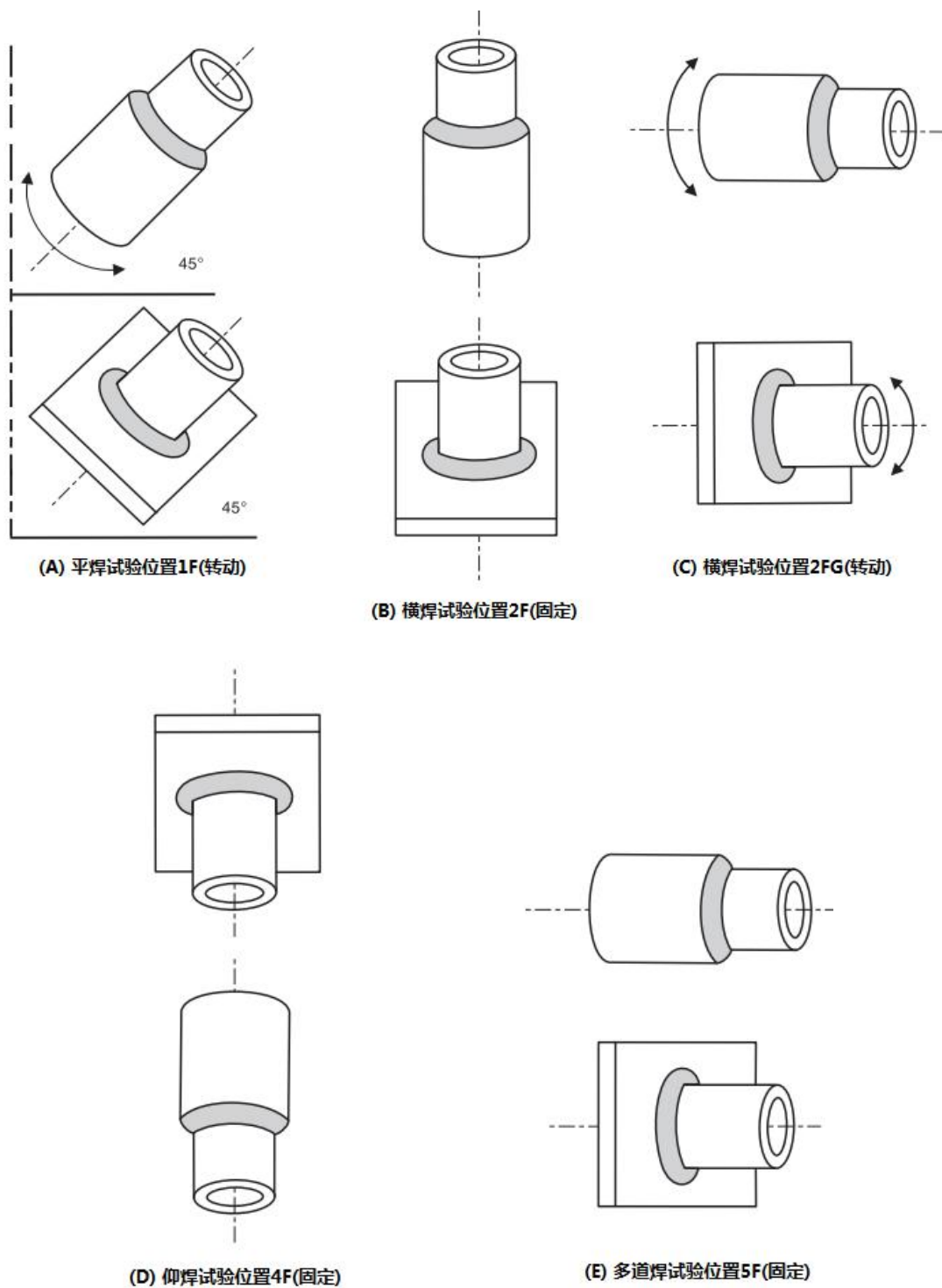
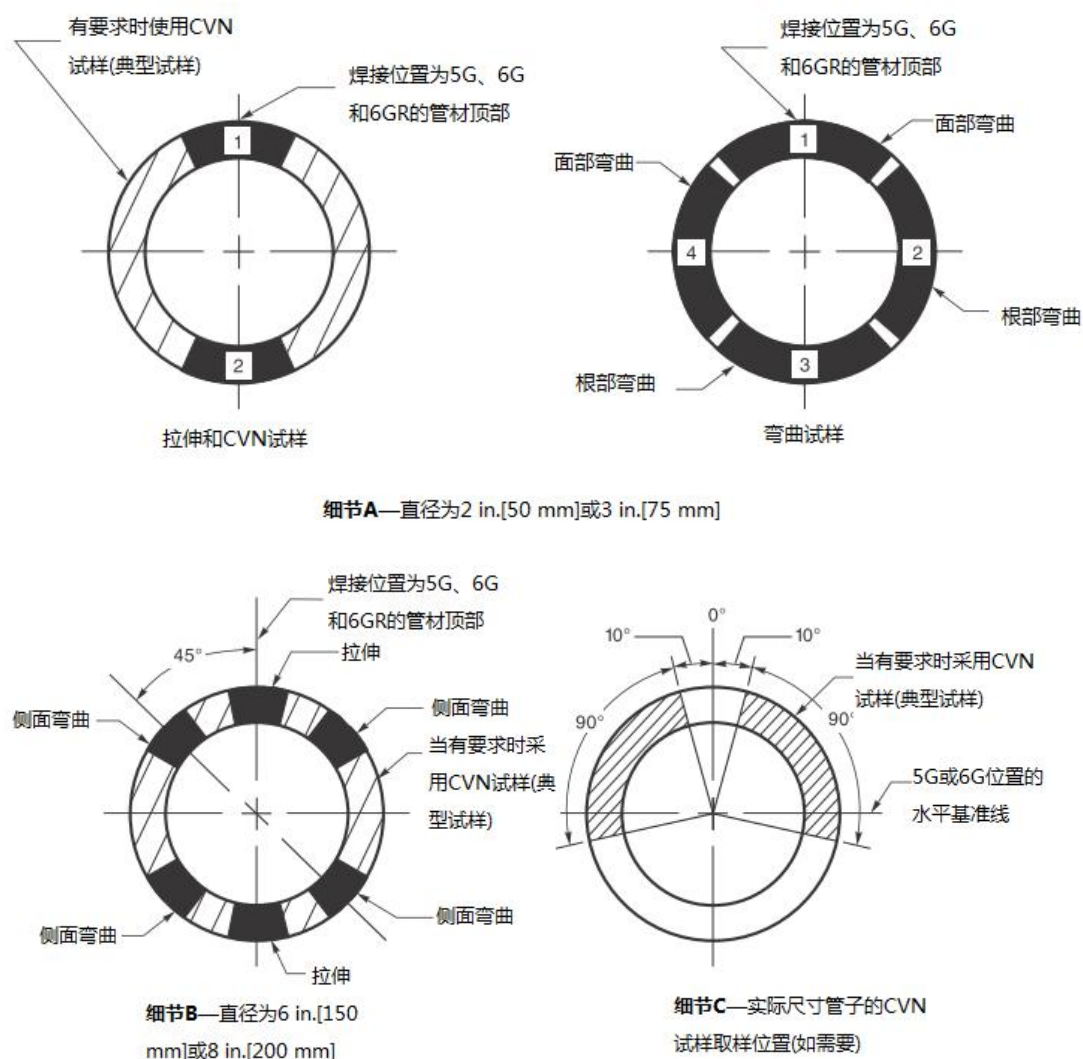


图 9.17—管材坡口焊缝的试验位置(见 9.12.1)



复制自 AWS A3.0M/A3.0:2010《标准焊接术语和定义》中包括了粘接、硬钎焊、软钎焊、热切割和热喷涂的术语的图 B.20, Miam: 美国焊接协会。

图 9.18—管材角焊缝的试验位置(见 9.12.1)



注：当合同或技术条件规定进行 CVN 试验时，可采用相同的试验管件或大尺寸工作管件。

图 9.19—焊接试管上的取样位置—WPS 评定(见 9.14)

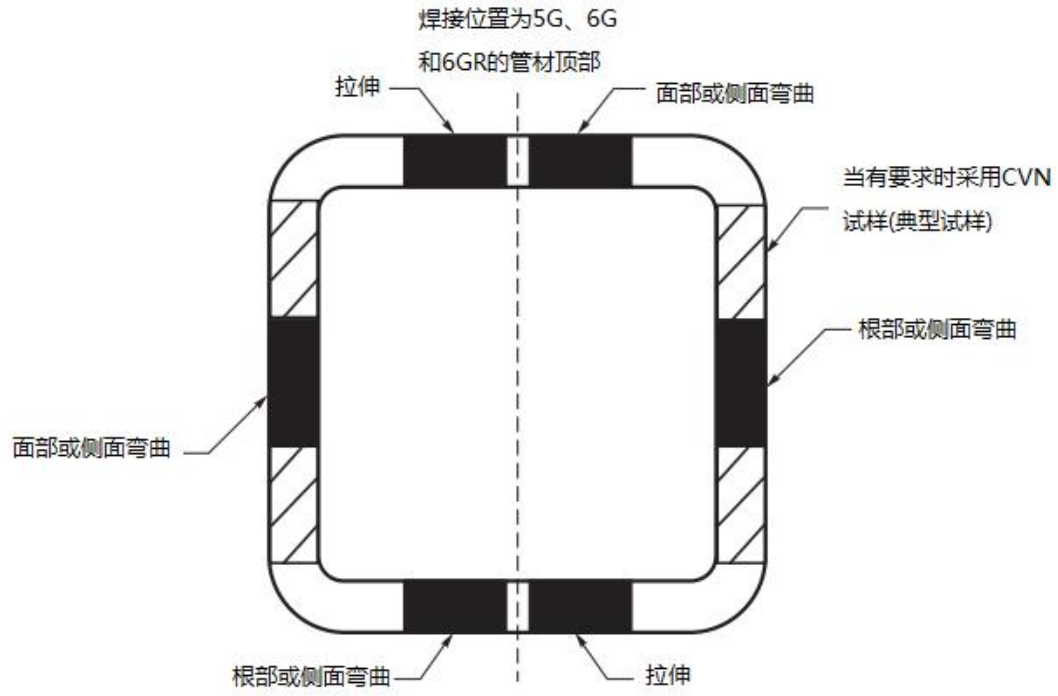
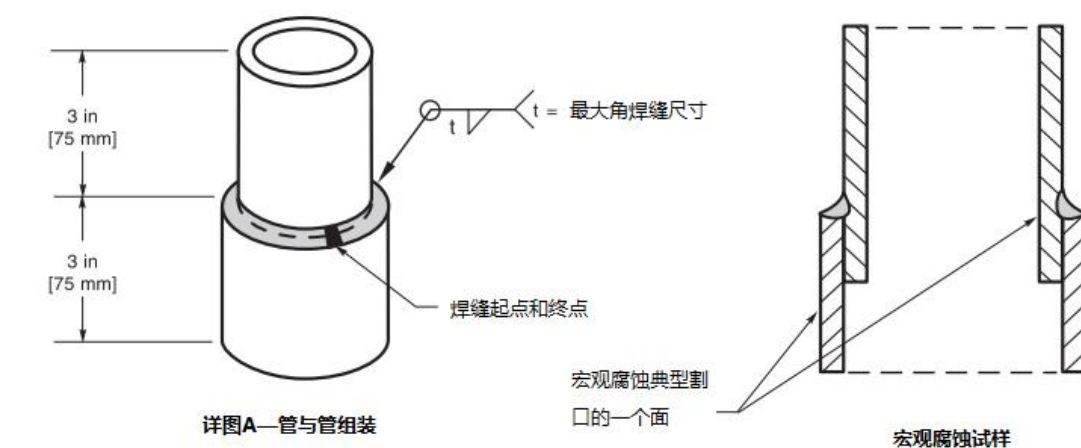
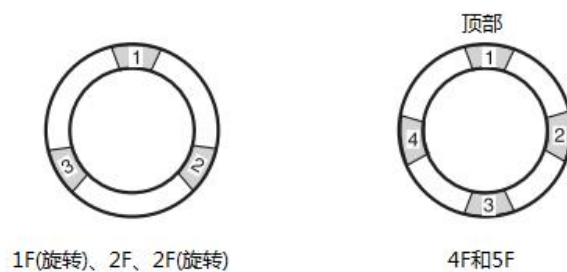


图 9.20—焊接箱型管上的取样位置—WPS 评定(见 9.14)

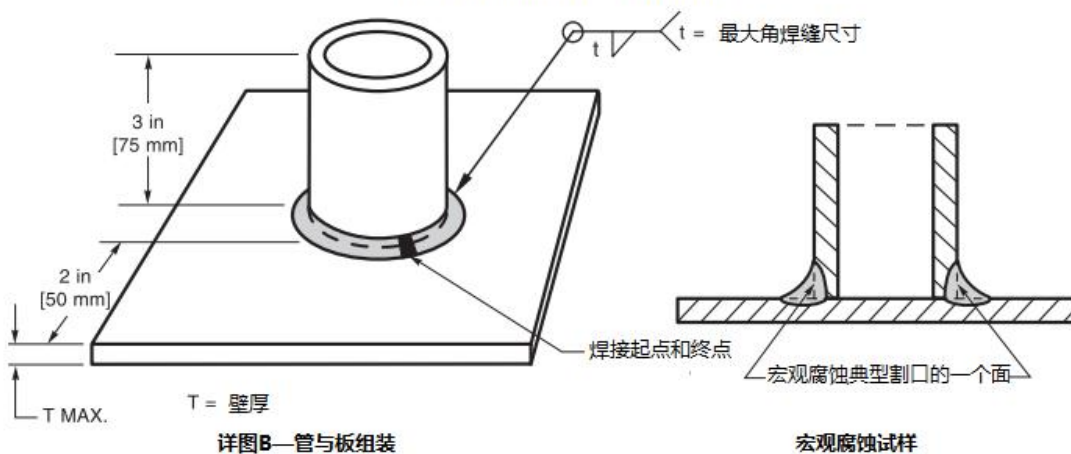


注：

1. 位置要求见表9.9。
2. 管的厚度应足以防止焊穿。



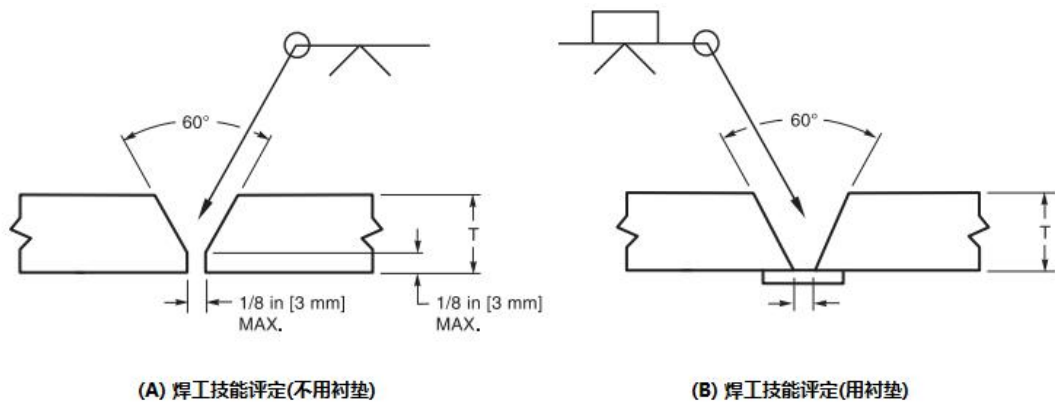
焊接管上的试样取样位置—WPS评定



注：

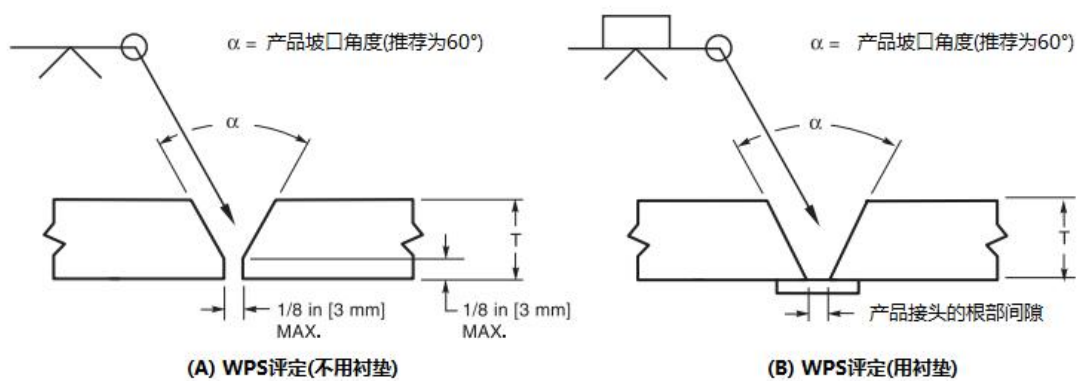
1. 位置要求见表9.9。
2. 管的厚度应足以防止焊穿。
3. 所有尺寸均是最大尺寸。

图 9.21—管材角焊缝的完好性试验—WPS 评定(见 4.12.2 和 9.16)



注：T=所评定圆管或箱型管的壁厚。

图 9.22—管材对接接头—焊工技能评定(用/不用衬垫)(见 9.19)



注：T=所评定圆管或箱型管的壁厚。

图 9.23—管材对接接头—WPS 评定(用/不用衬垫)(见 9.15.1 和 9.15.2)

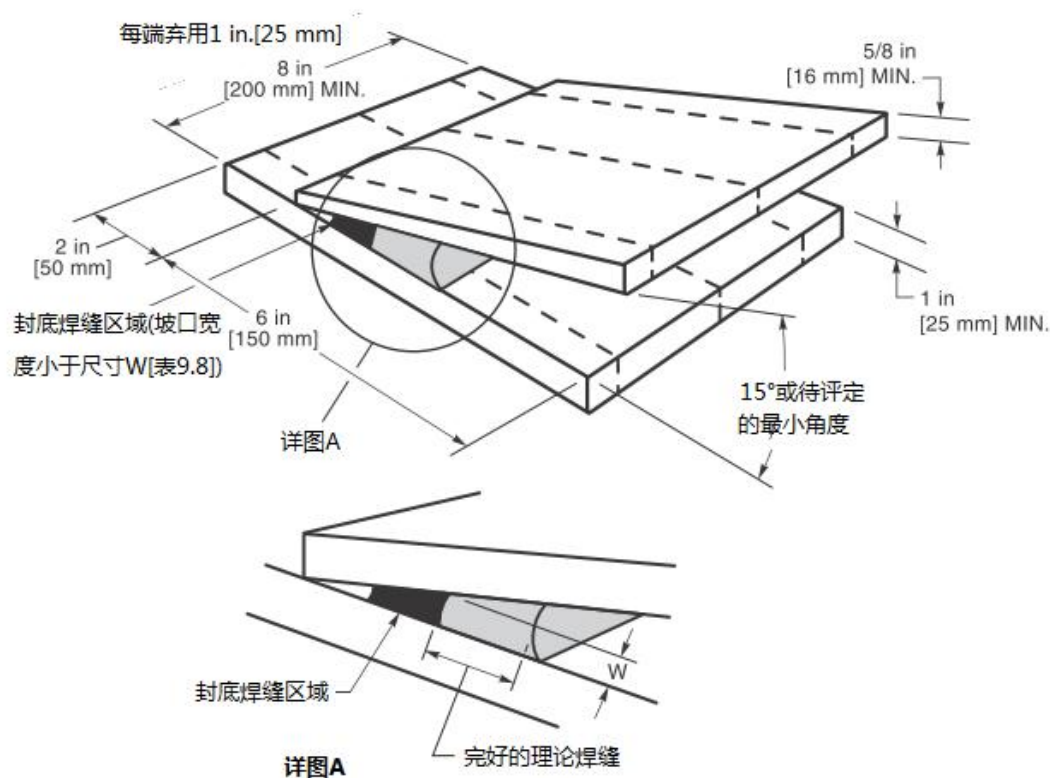
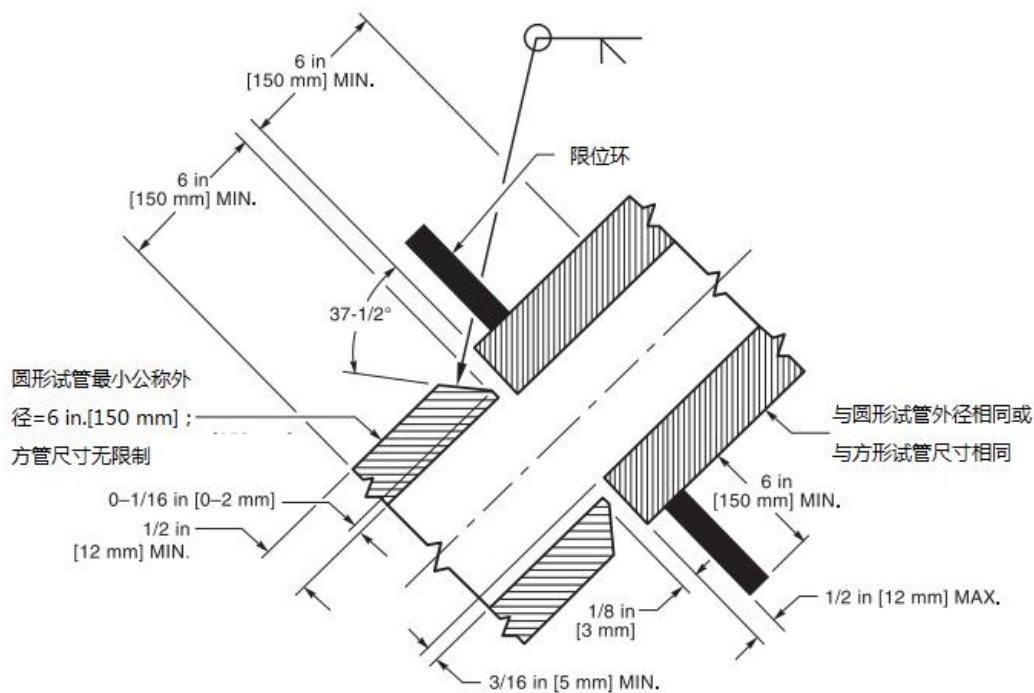


图 9.24—锐角根部试验(未标出限制条件)(见 9.15.4.2)

图 9.25—圆管或箱型管(外径 ≥ 6 in.[150 mm])上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)的试验用接头—
焊工技能评定和 WPS 评定(见 9.15.4.1 和 9.19)

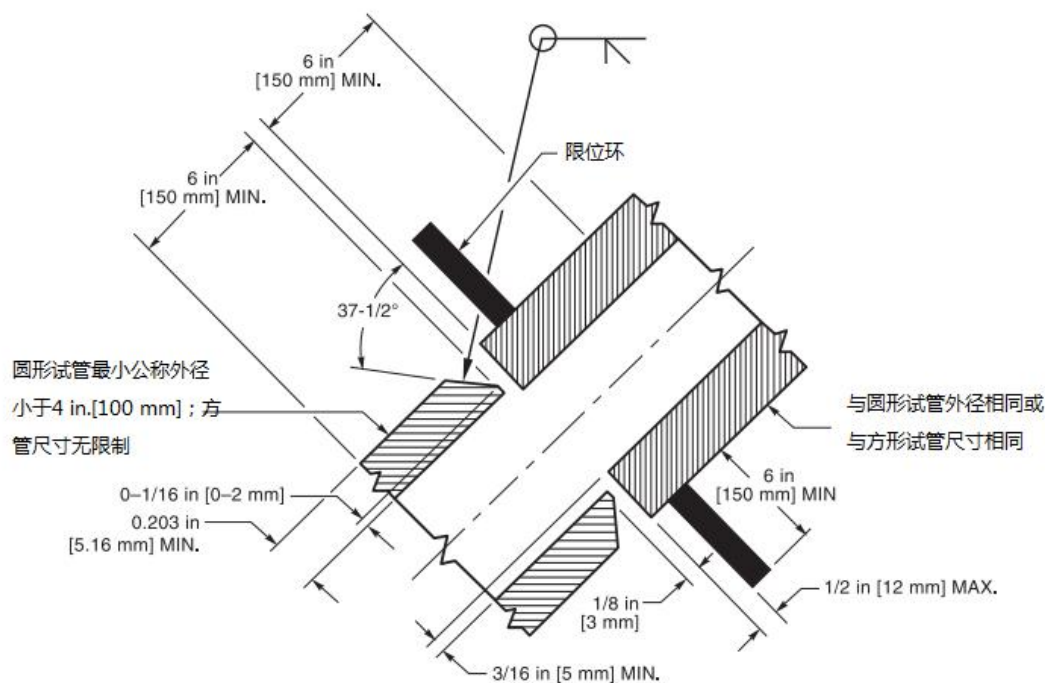


图 9.26—圆管或箱型管(外径< 4 in. [100 mm])上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)的试验用接头
—焊工技能评定和 WPS 评定(见 9.15.4.1 和 9.19)

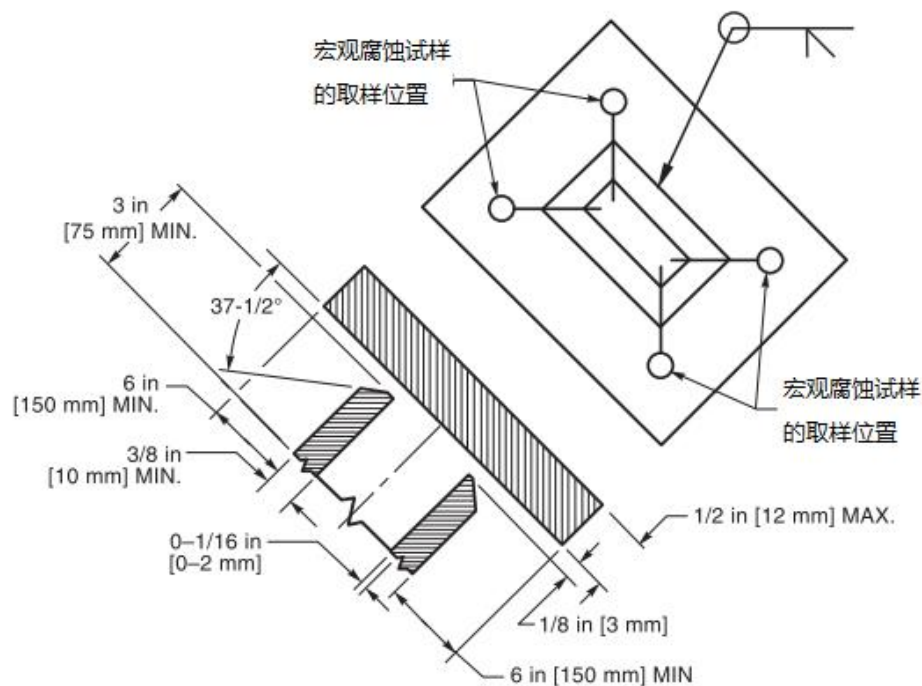
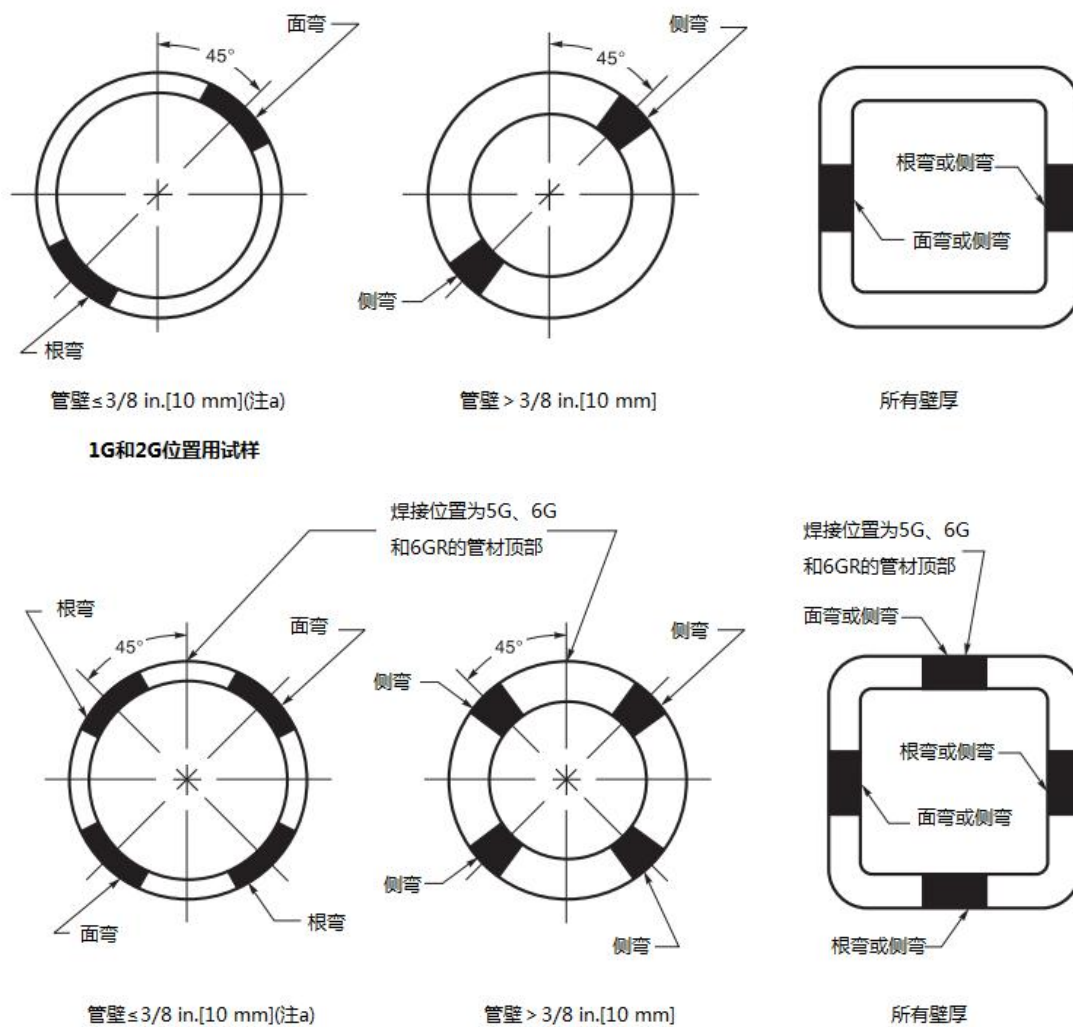
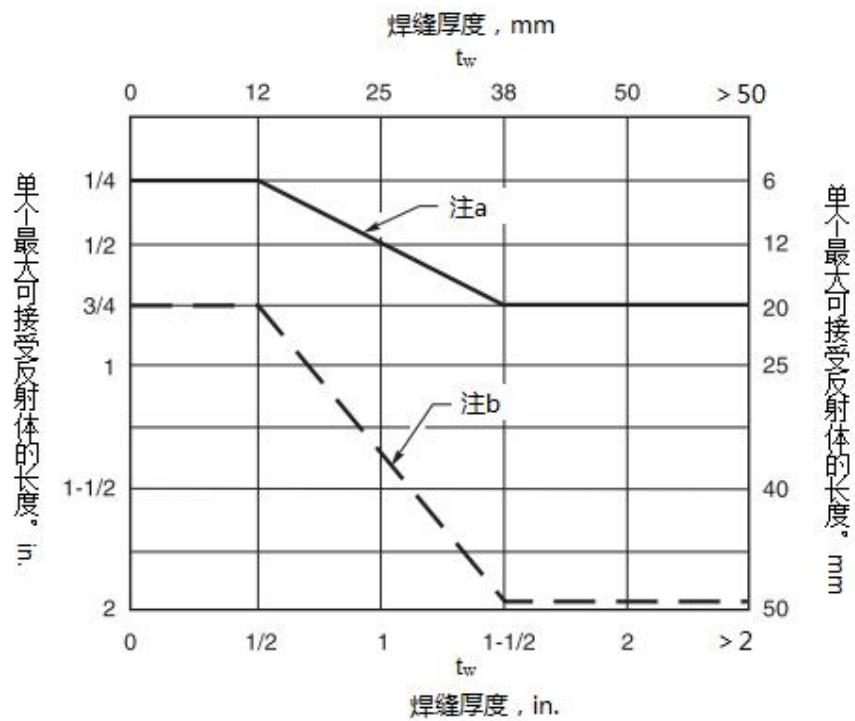


图 9.27—箱型管上 T 形、Y 形和 K 形连接(无衬垫)中 CJP 坡口焊缝宏观腐蚀试验用接头—焊工
技能评定和 WPS 评定(见 9.15.4.1 和 9.19)



^a 如果壁厚是 $3/8$ in. [10 mm]，则可用侧面弯曲试验来替代正面弯曲和根部弯曲试验。

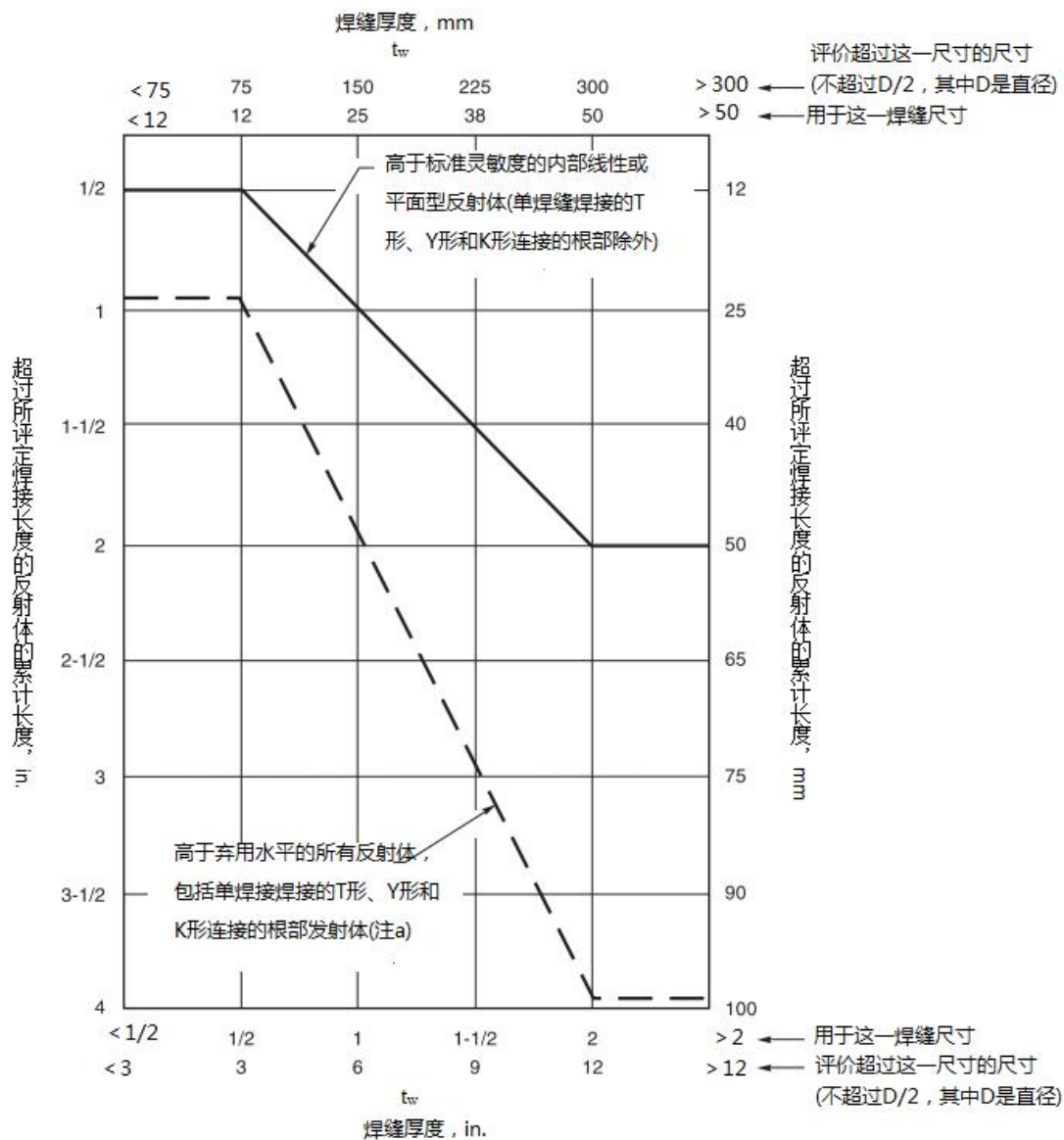
图 9.28—焊接圆管和箱型管的取样位置—焊工技能评定(见 9.17.1)



^a 高于标准灵敏度的内部线性或平面状反射体。

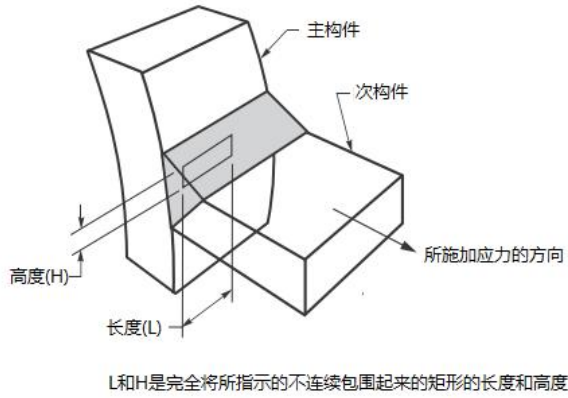
^b 次要反射体 (高于可忽略不计的水平(小于等于标准灵敏度)的反射体)。间距等于其平均长度的相邻反射体应被视为是连续反射体。

图 9.29—R 类指示(见 9.27.1.1)

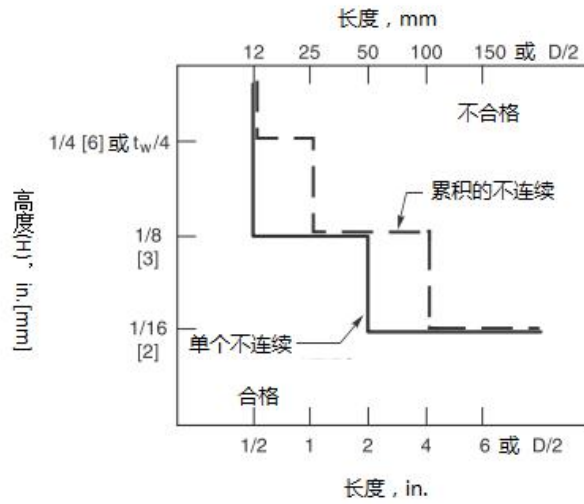


^a 落在理论焊缝(图 9.14、图 9.15 和图 9.16 的尺寸“ t_w ”或“L”)外侧的根部区域不连续可忽略不计。

图 9.29(续)—R 类指示(见 9.27.1.1)

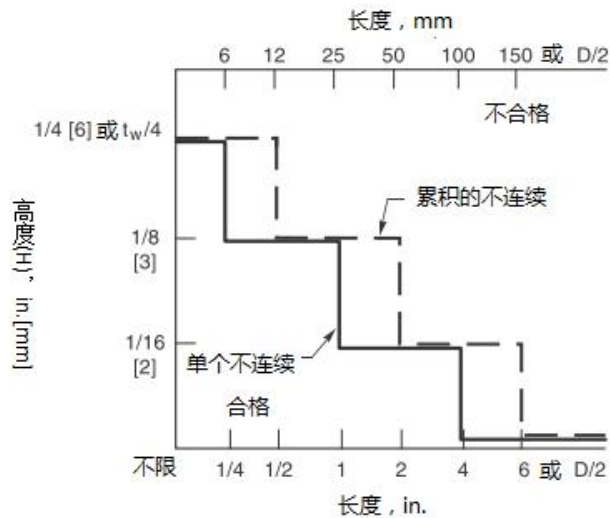


1. 间距小于 $(L_1+L_2)/2$ 的成行不连续和间距小于 $(H_1+H_2)/2$ 的平行不连续均被视为是连续的不连续予以评价。
2. 应评价长度超过6 in.[150 mm]或 $D/2$ (其中D是管材直径)(两者之中取较小值)的焊缝上的累计不连续。



T形、Y形和K形连接的根部不连续

1. 适用于单焊缝焊接T形、Y形和K形管材连接(无衬垫)中的CJP焊缝。
2. 图9.14、图9.15和图9.16的详图C和详图D中根部凹陷焊缝的不连续应忽略不计。



内部反射体和所有其他焊缝

到外表面的距离在 H 或 $t_w/6$ 范围内的不连续应被视为是延伸到焊缝表面外面的不连续来测定尺寸。

图 9.30—X 类指示(见 9.27.1.2)

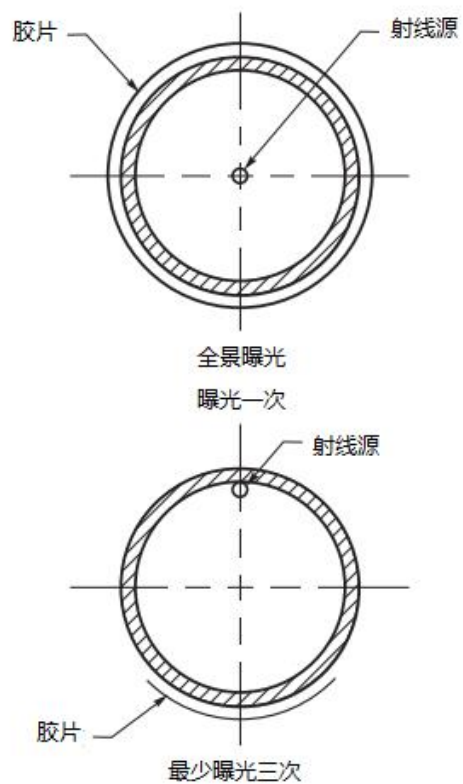


图 9.31—单壁透照-单壁成像(见 9.29.2.1)

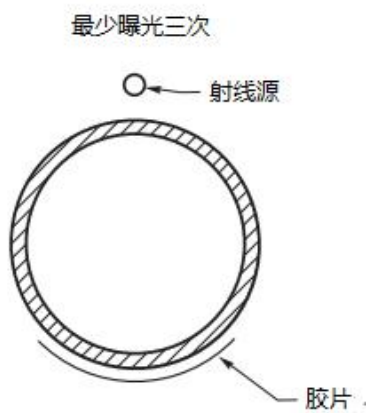


图 9.32—双壁透照-单壁成像(见 9.29.1.2)

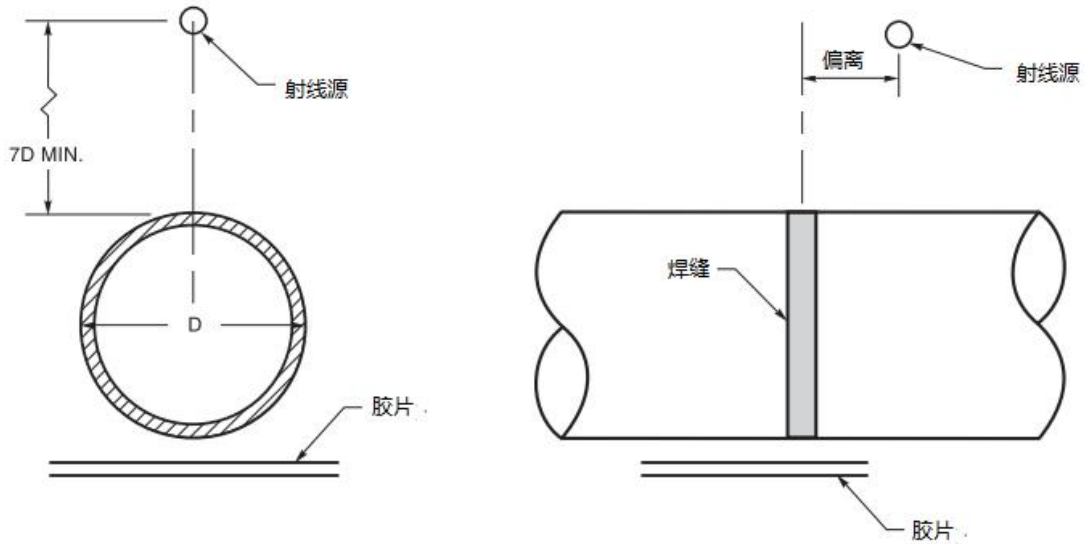


图 9.33—双壁透照-双壁(椭圆形)成像, 最少曝光两次(见 9.29.1.3)

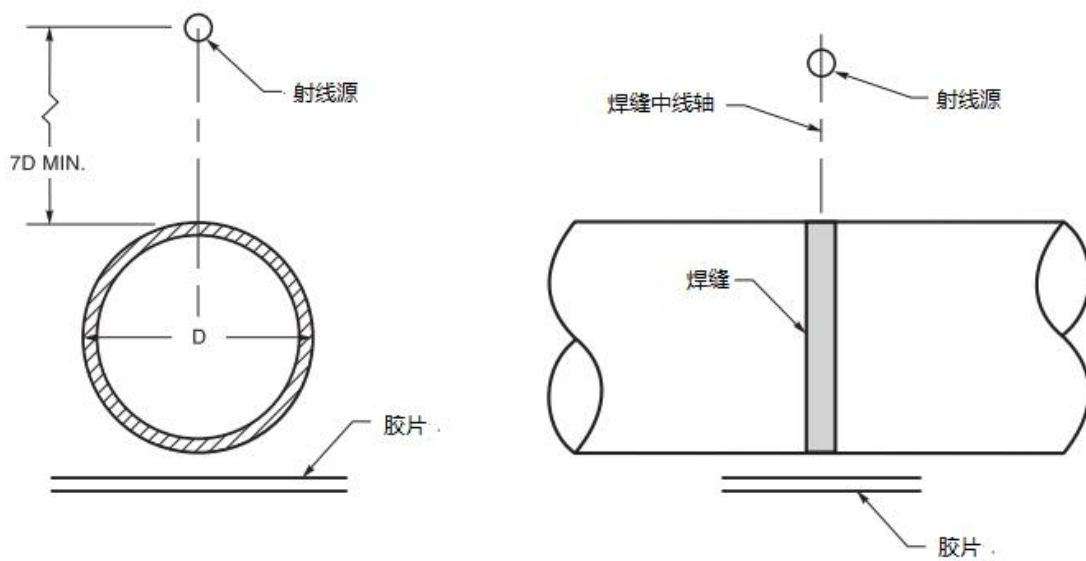


图 9.34—双壁透照-双壁成像,最少曝光三次(见 9.29.1.3)

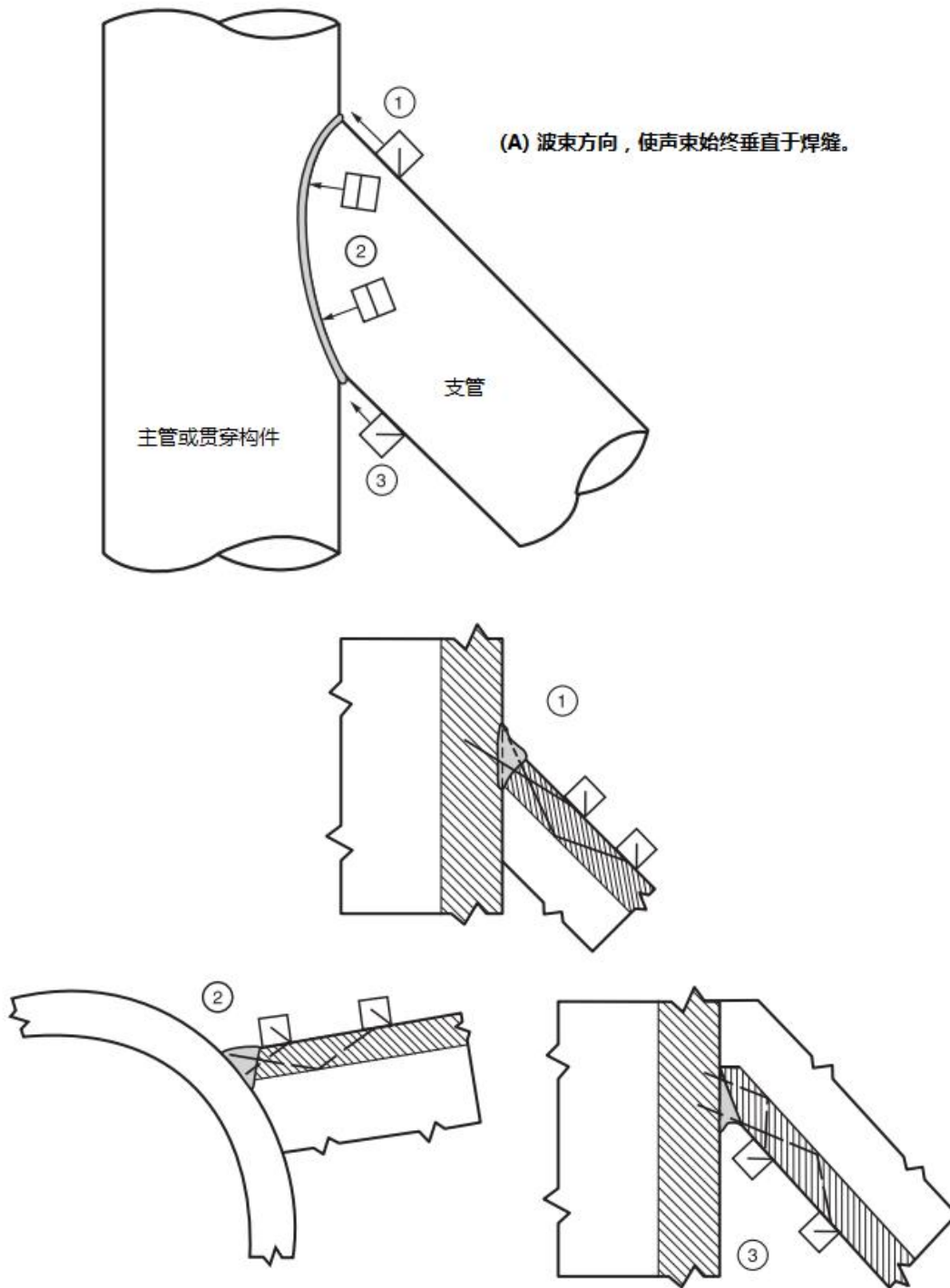


图 9.35—扫查技术(见 9.30.5)

附录

规范性附录

这些附录包含了被视为是标准组成部分的资料和要求。

- 附录 A 焊缝有效厚度(E)
- 附录 B 斜 T 形接头中角焊缝的焊缝有效厚度
- 附录 D 大梁腹板的平直度—承受静荷载的结构
- 附录 E 大梁腹板的平直度—承受循环荷载的结构
- 附录 F 温度-湿度曲线图
- 附录 G 采用其他批准参考试块鉴定和校准 UT 探伤仪
- 附录 H 确定预热温度的替代方法指南
- 附录 I 管材连接焊缝设计符号
- 附录 J 术语和定义

资料性附录

这些附录不被视为是标准的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

- 附录 K 规范编写者指南
- 附录 L UT 设备鉴定和检验表格
- 附录 M 焊接表格示例
- 附录 N 向结构焊接委员会进行技术查询的准备工作指南
- 附录 O 局部二面角
- 附录 P 免评定 WPS 的内容
- 附录 Q 采用替代技术进行的焊缝 UT 检查
- 附录 R 椭圆参数 α
- 附录 S 参考文件清单
- 附录 T 填充金属强度性能
- 附录 U AWS A5.36 填充金属分类和性能

本页被故意留为空白。

附录 A

(规范性附录)

焊缝有效厚度(E)

本附录是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，并且包含了与本标准结合使用的强制性要素。

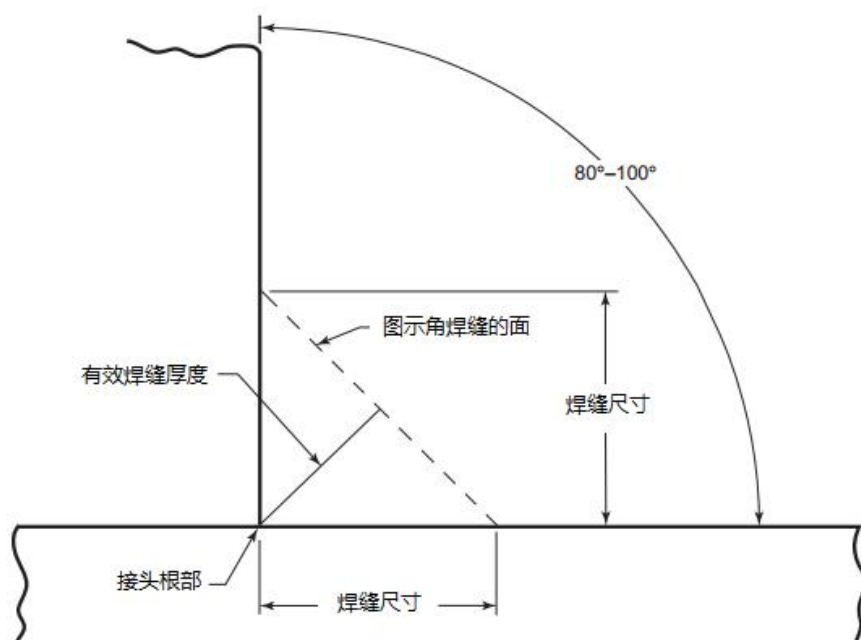


图 A.1—角焊缝(见 2.4.2.6)

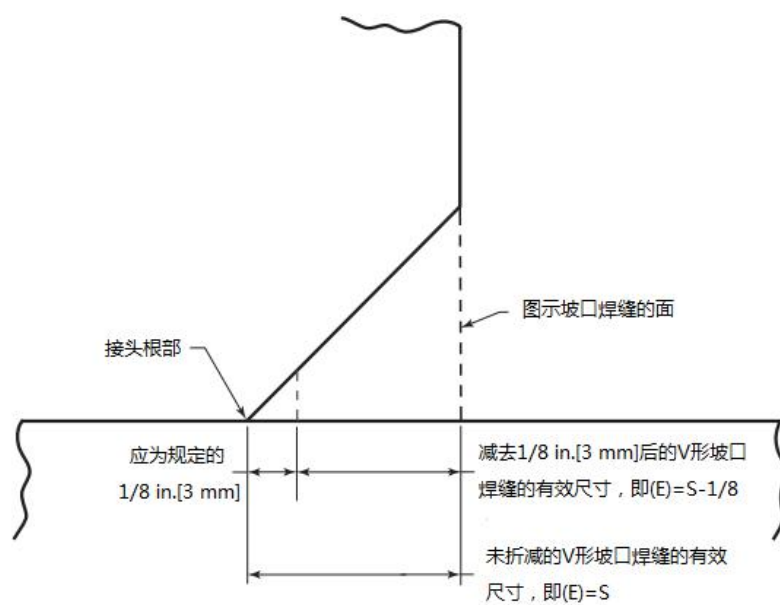


图 A.2—未增强的 V 形坡口焊缝

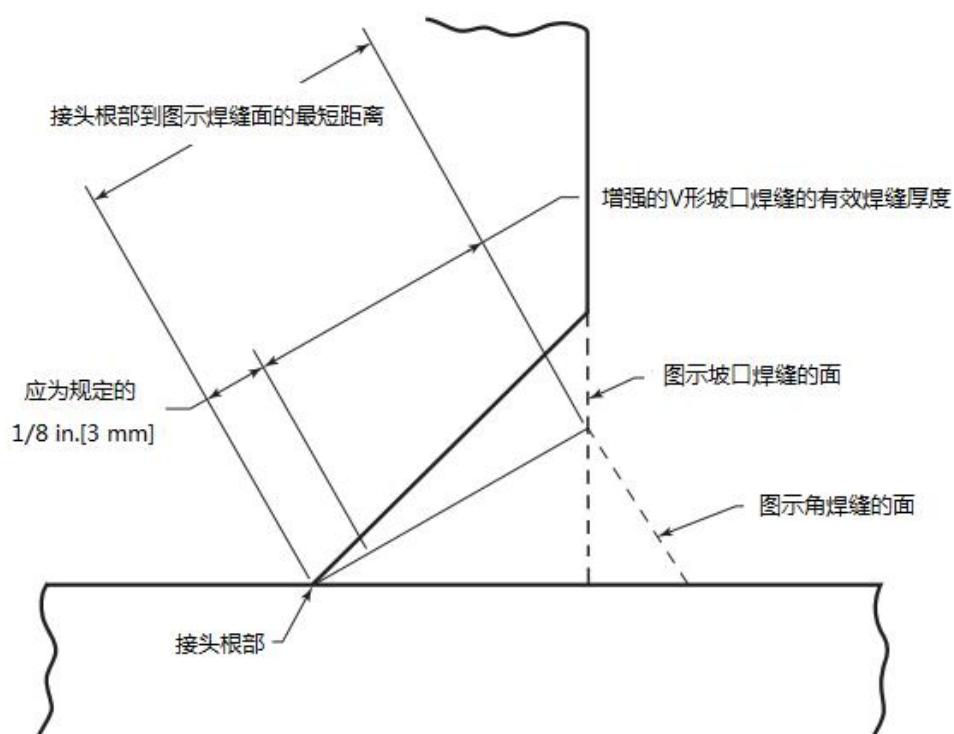


图 A.3—增强了角焊缝的 V 形坡口焊缝(见 2.4.2.7)

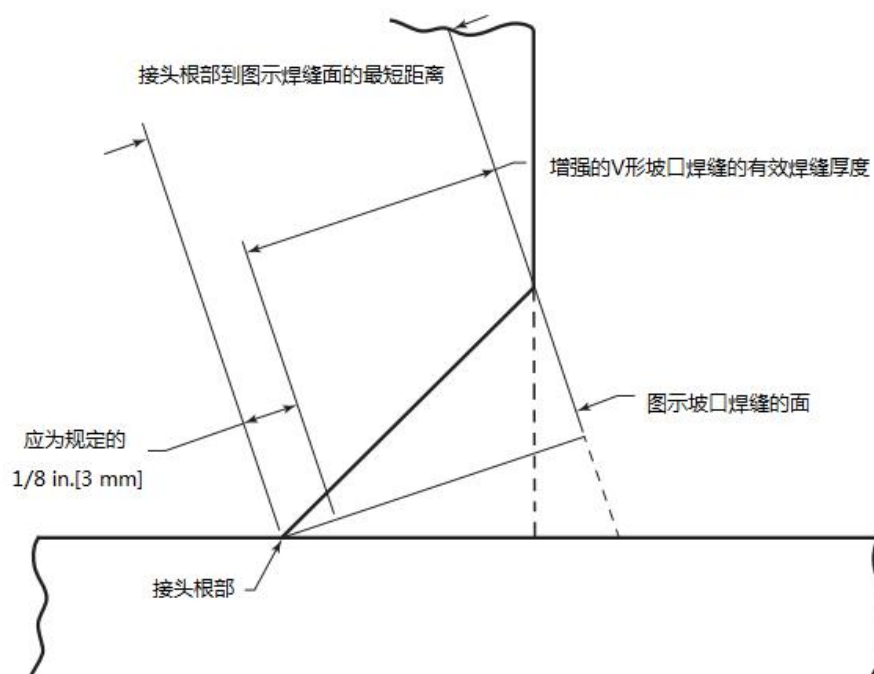


图 A.4—增强了角焊缝的 V 形坡口焊缝(见 2.4.2.7)

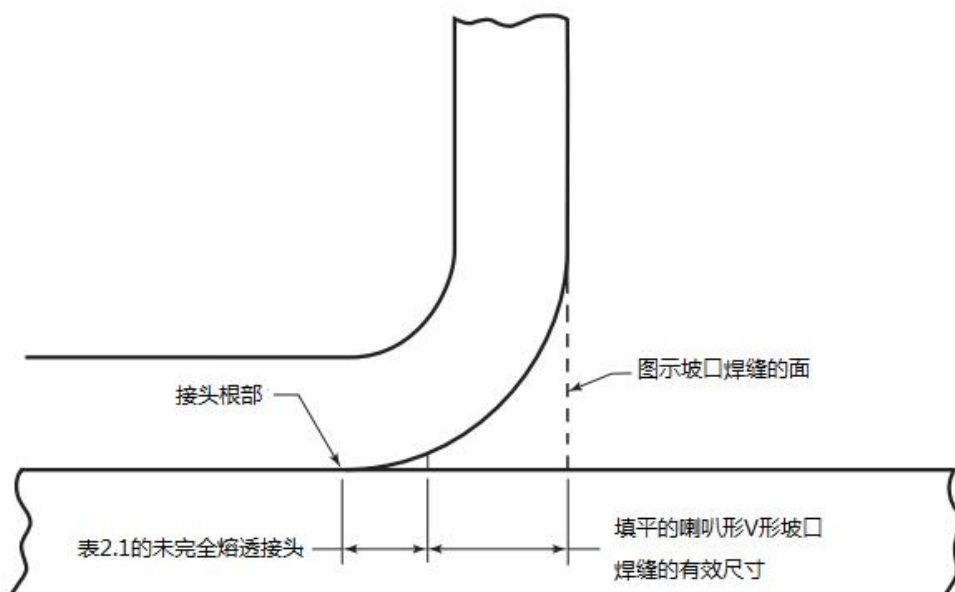


图 A.5—未增强的喇叭形 V 形坡口焊缝

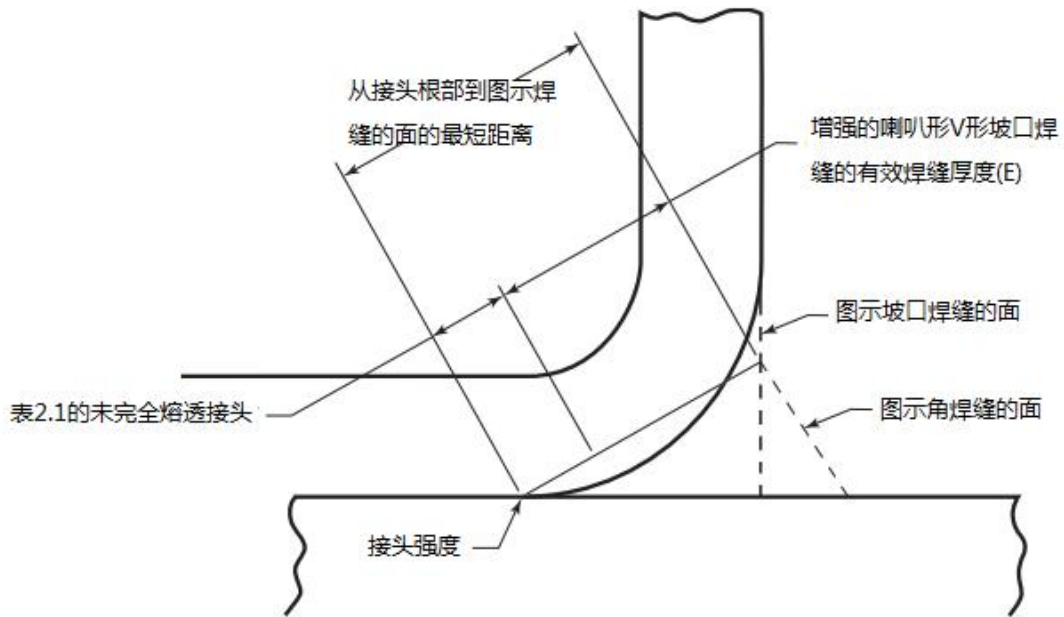


图 A.6—增强了角焊缝的喇叭形 V 形坡口焊缝(见 2.4.2.7)

附录 B

(规范性附录)

斜 T 形接头中角焊缝的焊缝有效厚度

本附录是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，并且包含了与本标准结合使用的强制性要素。

表 B.1 列出了二面角范围在 $60^\circ \sim 135^\circ$ 之间的等效焊脚尺寸系数(假设根部间隙)。当根部间隙等于或大于 $1/16$ in. [2 mm]但不超过 $3/16$ in. [5 mm]时，应直接将该值加到焊脚尺寸上。按照示例要求，应采用用于校正二面角的等效焊脚尺寸系数来计算斜 T 形接头中角焊缝的焊脚尺寸。

示例

(美国惯用单位)

已知：斜 T 形接头，角度： 75° ；根部间隙： $1/16(0.063)$ in.。

求出：相当于角度为 90° 、焊脚尺寸为 $5/16$ (0.313) in. 的角焊缝的强度。

步骤：(1) 从表 B.1 中查得 75° 的系数：0.86

(2) 斜 T 形接头等效焊脚尺寸(无根部间隙)： $W=0.86 \times 0.313=0.269$ in.

(3) 根部间隙为 0.063 in.

(4) 斜 T 形接头角焊缝的焊脚尺寸为(2)+(3)， $W=0.332$ in.

(5) 修约到实用尺寸： $W=3/8$ in.

示例

(SI 单位)

已知：斜 T 形接头，角度： 75° ；根部间隙：2 mm。

求出：相当于角度为 90° 、焊脚尺寸为 8 mm 的角焊缝的强度。

- 步骤: (1) 从表 B.1 中查得 75°的系数: 0.86
- (2) 斜 T 形接头等效焊脚尺寸(无根部间隙): $W=0.86 \times 8=6.9 \text{ mm}$
- (3) 根部间隙为 2 mm
- (4) 斜 T 形接头角焊缝的焊脚尺寸为(2)+(3), $w=8.9 \text{ mm}$
- (5) 修约到实用尺寸: $w=9.0 \text{ mm}$

对于具有实测焊脚(w_n)相等的角焊缝, 可按下式计算从接头根部到图示焊缝的面的距离 (tn):

当根部间隙 $> 1/16 \text{ in } [2 \text{ mm}]$ 且 $\leq 3/16 \text{ in } [5 \text{ mm}]$ 时采用:

$$t_n = \frac{w_n - R_n}{2 \sin \frac{\Psi}{2}}$$

当根部减小 $< 1/16 \text{ in } [2 \text{ mm}]$ 时采用

$$R_n = 0 \text{ 和 } t'_n = t_n$$

其中, 此角焊缝的实测焊脚尺寸(w_n)是从接头表面至对侧焊趾的垂直距离, R 为两零件间之间的根部间隙(如果有间隙的话)(见图 3.4)。合格的根部间隙见 5.21.1 的规定。

表 B.1 斜 T 形结构的等效角焊缝焊角尺寸系数

二面角, Ψ	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	95°
具有可比性的相同强度角焊缝 的尺寸	0.71	0.76	0.81	0.86	0.91	0.96	1.00	1.03
二面角, Ψ	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°
具有可比性的相同强度角焊缝 的尺寸	1.08	1.12	1.16	1.19	1.23	1.25	1.28	1.31

附录 C

没有附录 C。为了避免与条文说明条款可能产生混淆，故而省略了附录 C。

本页被故意留为空白。

大梁腹板的平直度—承受静荷载的结构

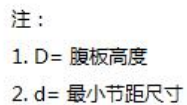


表 D.1 腹板两侧的加劲肋

腹板厚度, in.	腹板高度, in.	最小节距尺寸, in.													
5/16	<47	25	31	38	44	50									
	≥47	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
3/8	<56	25	31	38	44	50	56	63							
	≥56	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
7/16	<66	25	31	38	44	50	56	63	69						
	≥66	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1/2	<75	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81				
	≥75	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
9/16	<84	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88			
	≥84	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
5/8	<94	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94		
	≥94	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
		最大容许偏差, in.													
腹板厚度, mm	腹板高度, m	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
		最小节距尺寸, m													
8.0	<1.19	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27									
	≥1.19	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
9.5	<1.42	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60							
	≥1.42	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
11.1	<1.68	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60	1.75						
	≥1.68	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
12.7	<1.90	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60	1.75	1.90	2.06				
	≥1.90	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
14.3	<2.13	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60	1.75	1.90	2.06	2.24			
	≥2.13	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
15.9	<2.39	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60	1.75	1.90	2.06	2.24	2.39		
	≥2.39	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
		最大容许偏差, m													
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：对于没有给出的实际尺寸，采用下一个较大值。

表 D.2 无中间加劲肋

腹板厚度, in.		腹板高度, in.															
不限	38	47	56	66	75	84	94	103	113	122	131	141	150	159	169	178	188
		最大容许偏差, in.															
	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16	1-1/18	1-3/16	1-1/4
腹板厚度, mm		腹板高度, m															
不限	0.97	1.19	1.45	1.68	1.90	2.13	2.39	2.62	2.87	3.10	3.33	3.58	3.81	4.04	4.29	4.52	4.77
		最大容许偏差, m															
	6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	29	30	32

注：对于没有给出的实际尺寸，采用下一个较大值。

表 D.3 仅腹板一侧有中间加劲肋

腹板厚度, in.	腹板高度, in.	最小节距尺寸, in.													
5/16	<31	25	31												
	≥31	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
3/8	<38	25	31	38											
	≥38	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
7/16	<44	25	31	38	44										
	≥44	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
1/2	<50	25	31	38	44	50									
	≥50	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
9/16	<56	25	31	38	44	50	56								
	≥56	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
5/8	<63	25	31	38	44	50	56	63							
	≥63	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
								最大容许偏差, in.							
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
腹板厚度, mm	腹板高度, m	最小节距尺寸, m													
8.0	<0.78	0.63	0.79												
	≥0.78	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
9.5	<0.97	0.63	0.79	0.97											
	≥0.97	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
11.1	<1.12	0.63	0.79	0.97	1.12										
	≥1.12	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
12.7	<1.27	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27									
	≥1.27	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
14.3	<1.42	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42								
	≥1.42	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
15.9	<1.60	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60							
	≥1.60	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
								最大容许偏差, m							
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：对于没有给出的实际尺寸，采用下一个较大值。

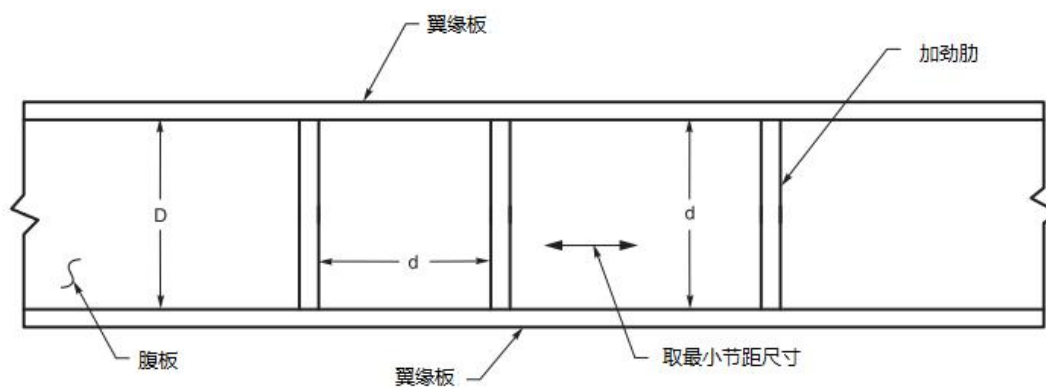
本页被故意留为空白。

附录 E

(规范性附录)

大梁腹板的平直度—承受循环荷载的结构

本附录是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，并且包含了可与本标准结合使用的强制性要素。



注：

1. D = 腹板高度
2. d = 最小节距尺寸

表 E.1 腹板两侧都有中间加劲肋(内部大梁)

腹板厚度, in.	腹板高度, in.	最小节距尺寸, in.													
5/16	<47	29	36	43	50										
	≥47	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
3/8	<56	29	36	43	50	58									
	≥56	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
7/16	<66	29	36	43	50	58	65								
	≥66	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
1/2	<75	29	36	43	50	58	65	72	79						
	≥75	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
9/16	<84	29	36	43	50	58	65	72	79	86					
	≥84	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
5/8	<94	29	36	43	50	58	65	72	79	86	93				
	≥94	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
		最大容许偏差, in.													
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
腹板厚度, mm	腹板高度, m	最小节距尺寸, m													
8.0	<1.19	0.74	0.91	1.09	1.27										
	≥1.19	0.58	0.74	0.89	1.02	1.17	1.32	1.47	1.60	1.75	1.90	2.06	2.18	2.34	2.49
9.5	<1.42	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47									
	≥1.42	0.58	0.74	0.89	1.02	1.17	1.32	1.47	1.60	1.75	1.90	2.06	2.18	2.34	2.49
11.1	<1.68	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47	1.65								
	≥1.68	0.58	0.74	0.89	1.02	1.17	1.32	1.47	1.60	1.75	1.90	2.06	2.18	2.34	2.49
12.7	<1.90	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47	1.65	1.83	2.00						
	≥1.90	0.58	0.74	0.89	1.02	1.17	1.32	1.47	1.60	1.75	1.90	2.06	2.18	2.34	2.49
14.3	<2.13	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47	1.65	1.83	2.00	2.18					
	≥2.13	0.58	0.74	0.89	1.02	1.17	1.32	1.47	1.60	1.75	1.90	2.06	2.18	2.34	2.49
15.9	<2.39	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47	1.65	1.83	2.00	2.18	2.36				
	≥2.39	0.58	0.74	0.89	1.02	1.17	1.32	1.47	1.60	1.75	1.90	2.06	2.18	2.34	2.49
		最大容许偏差, m													
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：对于没有给出的实际尺寸，采用下一个较大值。

表 E.2 仅腹板一侧有中间加劲肋(挑口装饰大梁)

腹板厚度, in.	腹板高度, in.	最小节距尺寸, in.													
5/16	<47	30	38												
	≥47	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
3/8	<56	30	38												
	≥56	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
7/16	<66	30	38	45											
	≥66	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1/2	<75	30	38	45	53										
	≥75	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
9/16	<84	30	38	45	53	60									
	≥84	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
5/8	<94	30	38	45	53	60	68								
	≥94	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
		最大容许偏差, in.													
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
腹板厚度, mm	腹板高度, m	最小节距尺寸, m													
8.0	<1.19	0.76	0.97												
	≥1.19	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
9.5	<1.42	0.76	0.97												
	≥1.42	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
11.1	<1.68	0.76	0.97	1.14											
	≥1.68	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
12.7	<1.90	0.76	0.97	1.14	1.35										
	≥1.90	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
14.3	<2.13	0.76	0.97	1.14	1.35	1.52									
	≥2.13	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
15.9	<2.39	0.76	0.97	1.14	1.35	1.52	1.73								
	≥2.39	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
		最大容许偏差, m													
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：对于没有给出的实际尺寸，采用下一个较大值。

表 E.3 腹板一侧有中间加劲肋(内部大梁)

腹板厚度, in.	腹板高度, in.	最小节距尺寸, in.													
5/16	<47	25	31												
	≥47	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
3/8	<56	25	31	38											
	≥56	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
7/16	<66	25	31	38	44										
	≥66	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
1/2	<75	25	31	38	44	50									
	≥75	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
9/16	<84	25	31	38	44	50	56								
	≥84	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
5/8	<94	25	31	38	44	50	56	63							
	≥94	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
		最大容许偏差, in.													
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
腹板厚度, mm	腹板高度, m	最小节距尺寸, m													
8.0	<1.19	0.63	0.79												
	≥1.19	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
9.5	<1.42	0.63	0.79	0.97											
	≥1.42	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
11.1	<1.68	0.63	0.79	0.97	1.12										
	≥1.68	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
12.7	<1.90	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27									
	≥1.90	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
14.3	<2.13	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42								
	≥2.13	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
15.9	<2.39	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60							
	≥2.39	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
		最大容许偏差, m													
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：对于没有给出的实际尺寸，采用下一个较大值。

表 E.4 腹板两侧都有中间加劲肋(挑口装饰大梁)

腹板厚度, in.	腹板高度, in.	最小节距尺寸, in.													
5/16	<47	33	41	49											
	≥47	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
3/8	<56	33	41	49	57										
	≥56	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
7/16	<66	33	41	49	57	65	73								
	≥66	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
1/2	<75	33	41	49	57	65	73	81							
	≥75	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
9/16	<84	33	41	49	57	65	73	81	89						
	≥84	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
5/8	<94	33	41	49	57	65	73	81	89	98					
	≥94	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
		最大容许偏差, in.													
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
腹板厚度, mm	腹板高度, m	最小节距尺寸, m													
8.0	<1.19	0.84	1.04	1.24											
	≥1.19	0.66	0.84	0.99	1.19	1.35	1.50	1.68	1.83	2.01	2.16	2.34	2.49	2.67	2.84
9.5	<1.42	0.84	1.04	1.24	1.45										
	≥1.42	0.66	0.84	0.99	1.19	1.35	1.50	1.68	1.83	2.01	2.16	2.34	2.49	2.67	2.84
11.1	<1.68	0.84	1.04	1.24	1.45	1.65	1.85								
	≥1.68	0.66	0.84	0.99	1.19	1.35	1.50	1.68	1.83	2.01	2.16	2.34	2.49	2.67	2.84
12.7	<1.90	0.84	1.04	1.24	1.45	1.65	1.85	2.06							
	≥1.90	0.66	0.84	0.99	1.19	1.35	1.50	1.68	1.83	2.01	2.16	2.34	2.49	2.67	2.84
14.3	<2.13	0.84	1.04	1.24	1.45	1.65	1.85	2.06	2.26						
	≥2.13	0.66	0.84	0.99	1.19	1.35	1.50	1.68	1.83	2.01	2.16	2.34	2.49	2.67	2.84
15.9	<2.39	0.84	1.04	1.24	1.45	1.65	1.85	2.06	2.26	2.49					
	≥2.39	0.66	0.84	0.99	1.19	1.35	1.50	1.68	1.83	2.01	2.16	2.34	2.49	2.67	2.84
		最大容许偏差, m													
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：对于没有给出的实际尺寸，采用下一个较大值。

表 E.5 无中间加劲肋(内部大梁或挑口装饰大梁)

腹板厚度, in.		腹板高度, in.															
不限	38	47	56	66	75	84	94	103	113	122	131	141	150	159	169	178	188
		最大容许偏差, in.															
	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16	1-1/18	1-3/16	1-1/4
腹板厚度, mm		腹板高度, m															
不限	0.97	1.19	1.45	1.68	1.90	2.13	2.39	2.62	2.87	3.10	3.33	3.58	3.81	4.04	4.29	4.52	4.77
		最大容许偏差, m															
	6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	29	30	32

注: 对于没有给出的实际尺寸, 采用下一个较大值。

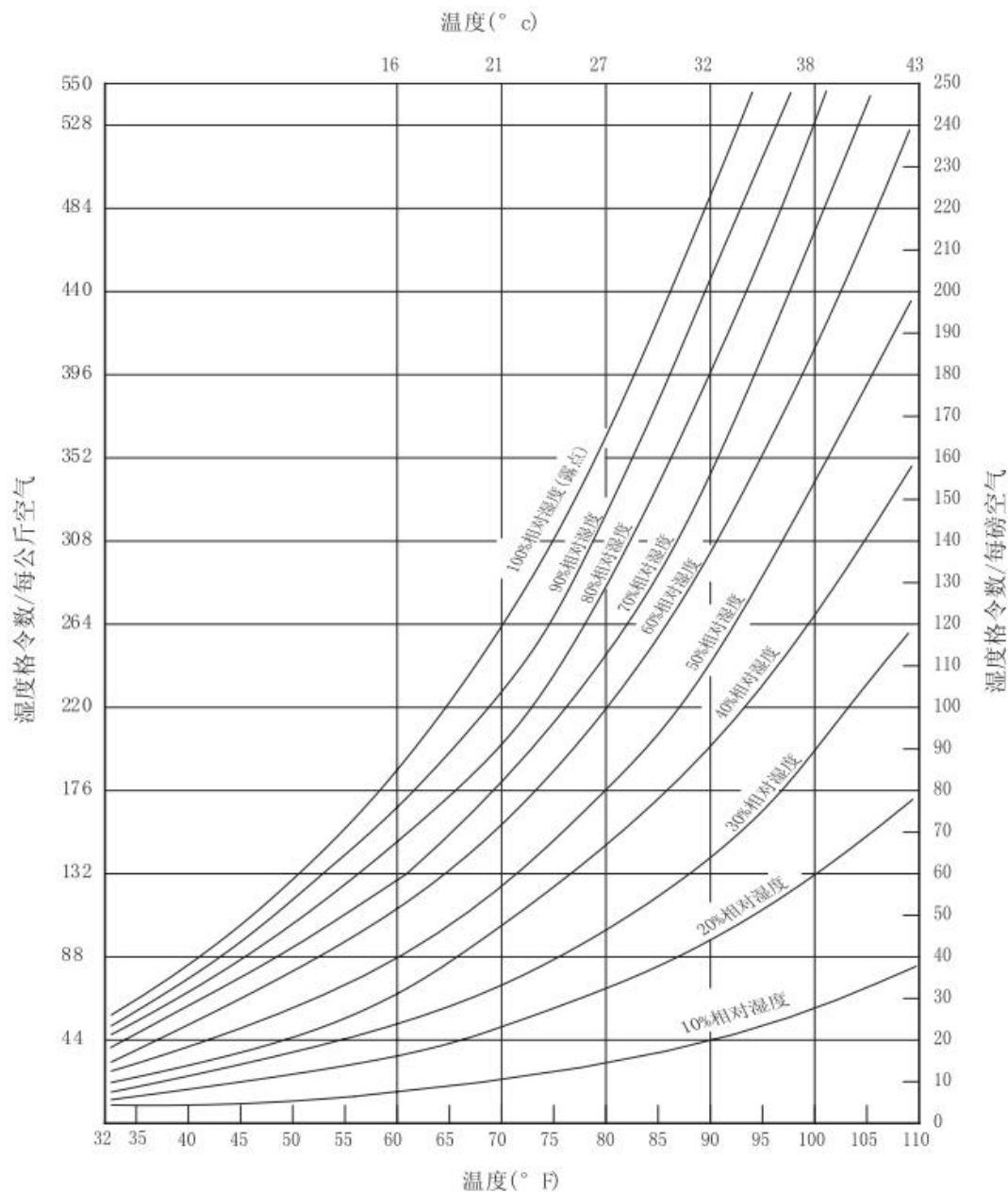
本页被故意留为空白。

附录 F

(规范性附录)

温度-湿度曲线图

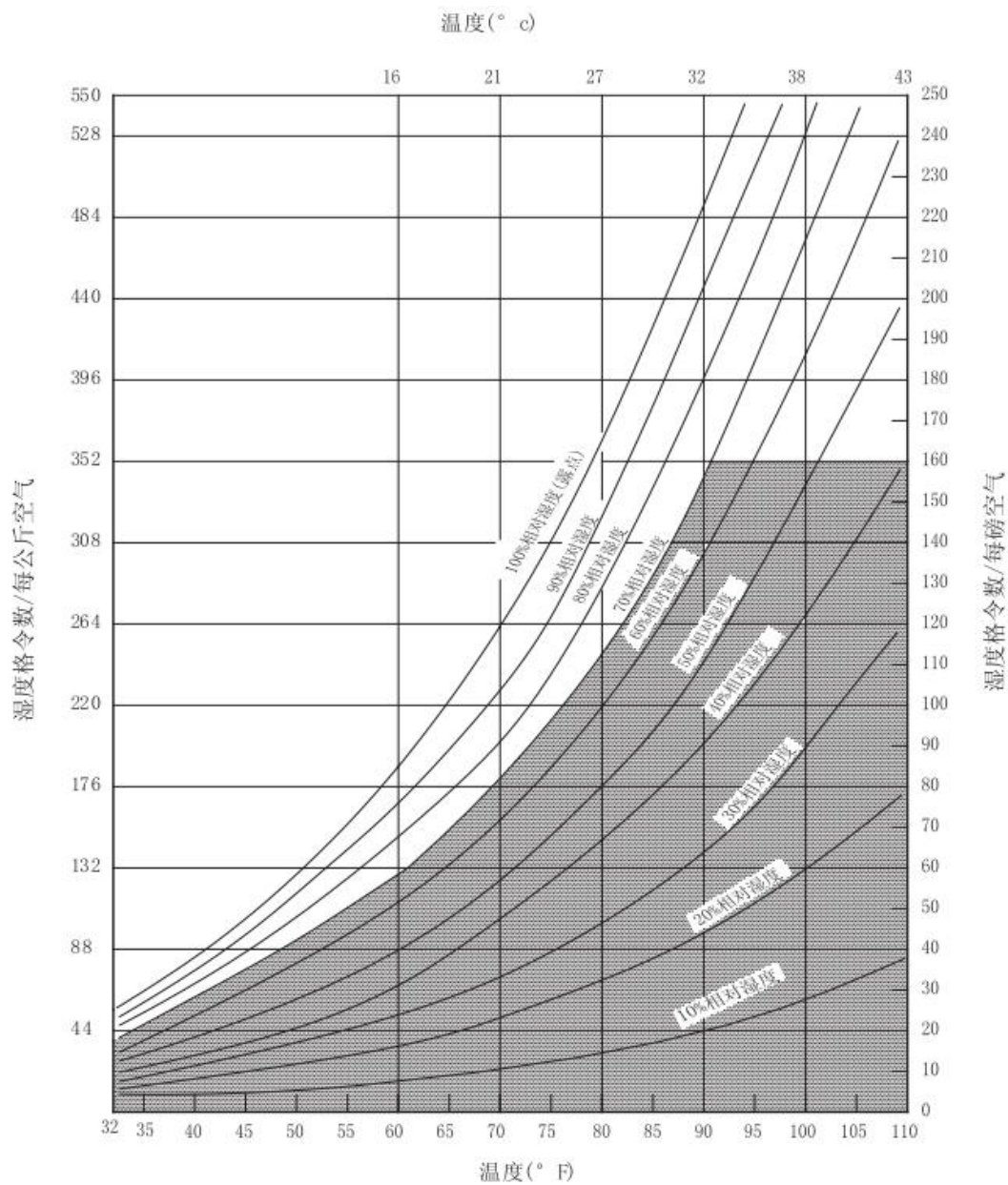
本附录是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，并且包含了可与本标准结合使用的强制性要素。



注:

1. 可利用任何标准湿度测定图来替代本图表。
2. 应用本图表建立焊条暴露条件的示例见图 F.2。

图 F.1—与测定低氢 SMAW 焊条在大气中的延长暴露时间的试验程序结合使用的温度-湿度曲线图(见 5.3.2.3)



示

例：在 90°F [32°C] 和 70% 相对湿度 (RH) 的条件下试验的焊条可在图中所示阴影区域条件下使用。在其他条件下使用时需另外进行试验。

图 F.2—温度-湿度曲线图在测定低氢 SMAW 焊条大气暴露时间中的应用(见 5.3.2.3)

本页被故意留为空白。

附录 G

(规范性附录)

采用其他批准参考试块鉴定和校准 UT 探伤仪

(见图 G.1)

本附录是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，并且包含了可与本标准结合使用的强制性要素。

G1. 纵波模式

G1.1 距离校准

G1.1.1 应将换能器置于 DC 试块上的 H 位置或 DSC 试块上的 M 位置。

G1.1.2 调节仪器，以使显示屏的 1 in. [25 mm]、2 in. [50 mm]、3 in. [75 mm]、4 in. [100 mm]等处出现指示。

注：此方法确立的屏幕校准距离是 10 in [250 mm]，经修改后也可被用于确立 6.24.4.1 许用的其他距离。

G1.2 波幅。应将换能器放在 G 1.1 所述位置并调节增益，直至第一个底面回波的最大指示达到屏幕高度的 50%~75%。

G2. 剪切波模式(横波)

G2.1 声波入射点检查

G2.1.1 应将探头置于 DSC 试块上的 J 位置或 L 位置，或者是 DC 试块上的 I 位置。

G2.1.2 应移动探头，直至来自径向射线的信号达到最大值。

G2.1.3 探头上与校准试块上的刻线成直线的点就是声波入射点。

注：所有后续的距离和角度检查都应使用这一声波入射点。

G2.2 检查声束角度检查

G2.2.1 应将换能器置于下列位置：

45°~70°换能器：DSC 试块上的位置 K

70°换能器：SC 试块上的 N 位置

45°换能器：SC 试块上的 O 位置

60°换能器：SC 试块上的 P 位置

G2.2.2 应在指示换能器角度的线前后移动换能器，直至来自径向射线的信号达到最大值。

G2.2.3 应比较换能器的声波入射点和校准试块上的角度标记(公差：2°)。

G2.3 距离校准

G2.3.1 应将换能器置于 DSC 试块上的 L 位置(图 G.1)。应调节仪器，以使显示屏的 3 in. [75 mm] 和 7 in. [180 mm] 处出现指示。

G2.3.2 应将换能器置于 DSC 试块上的 J 位置(角度不限)。应调节仪器，以使显示屏的 1 in. [25 mm]、5 in. [125 mm]、9 in. [230 mm] 处出现指示。

G2.3.3 应将换能器置于 DC 试块上的 I 位置(角度不限)。应调节仪器，以使显示屏的 1 in. [25 mm]、2 in. [50 mm]、3 in. [75 mm]、4 in. [100 mm] 等处出现指示。

注：此方法确立的屏幕校准距离是 10 in [250 mm]，经修改后也可被用于确立 6.24.5.1 许用的其他距离。

G2.4 波幅或灵敏度校准

G2.4.1 应将换能器置于 DSC 试块上 L 位置(角度不限)。应调节来自 1/32 in. [0.8 mm] 槽的最大信号，以获得达到水平基准线高度的指示。

G2.4.2 应将换能器置于 SC 试块上的下列位置：

N 位置(70°角)

O 位置(45°角)

P 位置(60°角)

应调节来自 1/16 in. [1.6 mm] 孔的最大信心，以获得达到水平基准线高度的指示。

G2.4.3 根据 6.22.1 的规定，G2.4.1 或 G2.4.2 得到的分贝值应被作为检测报告(附录 L 的表 L-11)“b”栏的“基准值”使用。

G3. 水平线性校准方法

注：由于这种鉴定方法是用直探头进行的，而此种探头产生的纵波波速约为切变波波速的两倍，故使用此方法时需将原切变波距离量程扩大两倍。

G3.1 应将符合 6.21.6 要求的直射波探头耦合于下列位置：

IIW 型试块的 G 位置(图 6.16)

DC 试块的 H 位置(图 G.1)

DSC 试块的 M 位置(图 G.1)

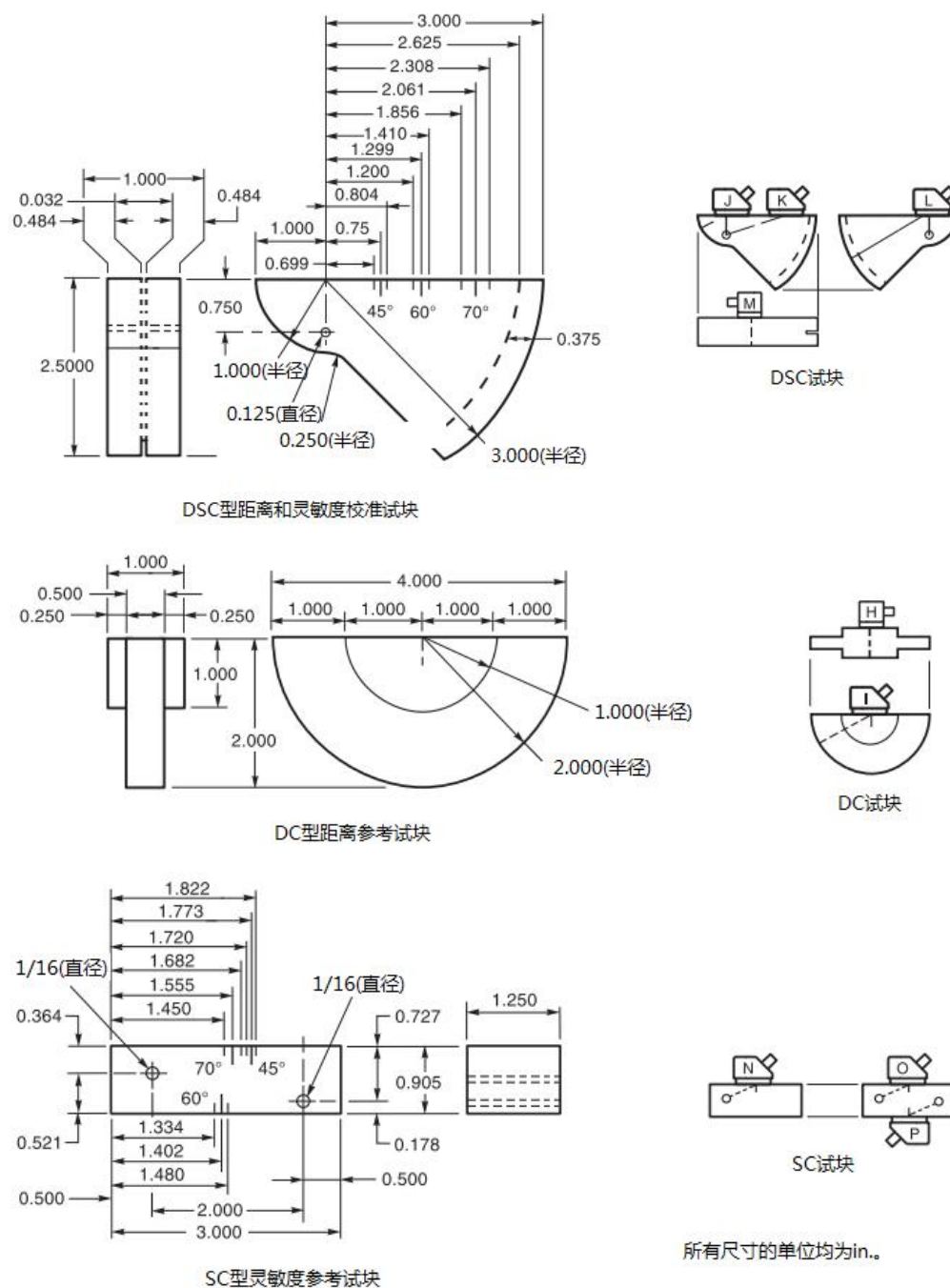
DS 试块的 T 位置或 U 位置(图 6.16)

G3.2 应在鉴定范围内至少取得 5 个底面回波。

G3.3 应通过距离校准和零位延迟调节将第 1 个底面回波和第 5 个底面回波调节到正确位置。

G3.4 应通过控制增益或衰减将每个指示调节到基准线处，以作水平位置检测。

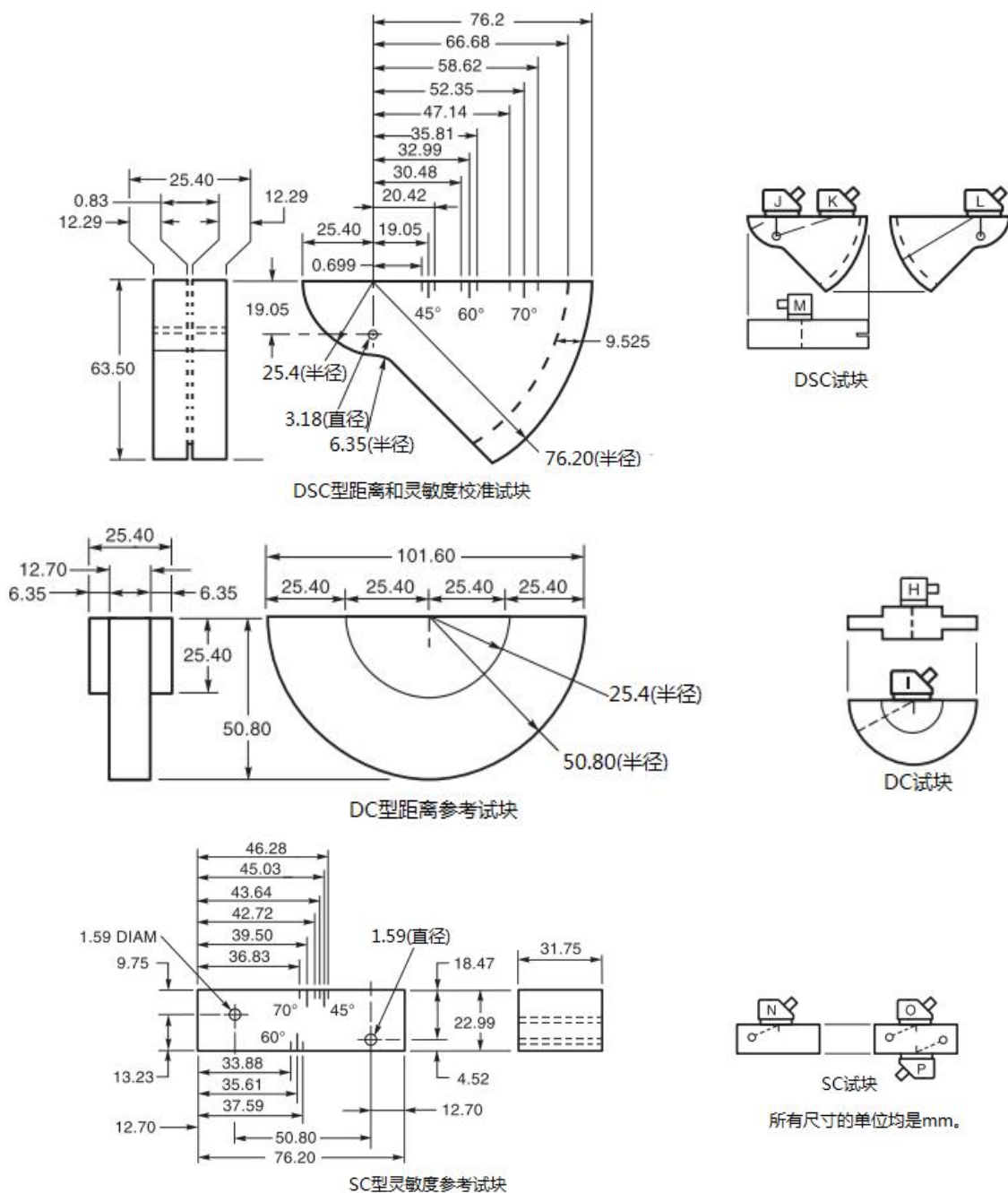
G3.5 各中间回波信号偏转位置应准确，并且误差应在屏宽 $\pm 2\%$ 范围内。



注:

1. 对比或校准时涉及到的所有表面之间的尺寸允许误差应在细节所示值的 ± 0.005 in.[0.13 mm]范围内。
2. 接受或反射声波的所有表面的最大粗糙度应为 $125\mu\text{in}$.[3.17 μm] r.m.s。
3. 所有材料应为 ASTM A36 钢材或声学上等效的材料。
4. 所有孔的内壁均应光滑, 并且应在与材料表面成 90° 的位置钻孔。
5. 应在材料表面将角度线与标记加工成凹槽, 以便永久保持其位置不变。

图 G.1—其他批准的试块和典型的换能器位置(见 G2.3.1)



注:

1. 对比或校准时涉及到的所有表面之间的尺寸允许误差应在细节所示值的 ± 0.005 in.[0.13 mm]范围内。
2. 接受或反射声波的所有表面的最大粗糙度应为 $125\mu\text{in}$.[3.17 μm] r.m.s。
3. 所有材料应为 ASTM A36 钢材或声学上等效的材料。
4. 所有孔的内壁均应光滑, 并且应在与材料表面成 90° 的位置钻孔。
5. 应在材料表面将角度线与标记加工成凹槽, 以便永久保持其位置不变。

图 G.1(续)—其他批准的试块和典型的换能器位置(见 G2.3.1)(公制单位)

附录 H

(规范性附录)

确定预热温度的替代方法指南

本附录是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，并且包含了可与本标准结合使用的强制性要素。

H1. 引言

本指南旨在提供一些用于测定可以避免冷裂的焊接条件(主要是预热条件)的可选替代方法。这些方法主要以世界范围内几个实验室多年来进行的小规模试验的研究工作为基础依据。目前并没有可以用于预测所有情况下的最佳条件的方法，但指南考虑了表 3.3 的要求中明显没有包括的几个重要因素，比如氢的含量和钢的化学成份。因此，指南在说明表 3.3 的要求是否过分保守或者在某些情况下是否不足以满足要求方面具有价值。

用户可以参阅更加详细地介绍了得出所推荐的两种方法的科研背景的条文说明。

当采用本指南作为表 3.3 的一种替代方法时，应认真考虑所作的假设、所选的数值及以往的经验。

H2. 方法

采用下列两种方法作为评估可以避免冷裂的焊接条件的基础依据：

- (1) HAZ 硬度控制
- (2) 氢含量控制

H3. HAZ 硬度控制

H3.1 本指南中包含的有关使用这一方法的条款仅适用于角焊缝。

H3.2 本方法所依据的假设条件是，只要 HAZ 的硬度保持在某个临界值之下，则不会发生开裂。将冷却速率控制在某一临界值(取决于钢的淬硬性)以下即可达到这一目的。焊接时钢的淬硬性与钢形成硬的 HAZ 的倾向有关，并且可以通过产生规定硬度所需的冷却速率来表征。所以，与

具有较低淬硬性的钢材相比，具有较高淬硬性的钢材能够在较低冷却速率下产生硬的 HAZ。

在技术文献中可以找到与焊接冷却速率与钢材构件厚度、接头类型、焊接条件和参数有关的方程式和图表。

H3.3 临界硬度值的选择取决于若干因素，比如钢材的类型、氢含量、拘束度和工作条件。角焊缝的实验室试验表明，如果 HAZ 的维氏硬度值(HV)低于 350 HV，则即使使用高氢焊条也不会产生 HAZ 开裂。当使用低氢焊条时，如果硬度达到 400 HV，则不会产生开裂。但如果应力腐蚀开裂或脆性断裂的风险高，或者存在与结构安全和耐用性有关的其他危险，则不可采用此类硬度。

给定硬度值的临界冷却速率大概与钢材的碳当量(CE)有关联(见图 H.2)。由于只是大概有关联，因此，图 H.2 所示曲线对于普通碳素钢和普通碳-锰钢来说可能偏于保守，因此采用高硬度曲线也无多大危险。

某些低合金钢(特别是那些含铌的钢)可能比图 H.2 所示情况更易淬硬，推荐采用较低的硬度曲线。

H3.4 虽然本方法可被用于确定预热温度，但其主要价值是确定能防止过分硬化所需的最小热输入(从而可以确定最小焊缝尺寸)。这对确定无需预热就能施焊的单道角焊缝的最小尺寸特别有用。

H3.5 硬度法不考虑焊缝金属开裂的可能性。不过，根据经验，只要焊条不是高强度的填充金属并且通常采用的是低氢型焊接工艺(例如低氢 (SMAW)焊条、GMAW、FCAW、SAW)，则用此法确定的热输入对大多数角焊缝来说通常足以防止焊缝金属开裂。

H3.6 因为本方法仅依赖于控制 HAZ 硬度，所以明显不用考虑氢含量和拘束度。

H3.7 本方法不适用于调质钢[限制条件见 H5.2(3)]。

H4. 氢含量控制

H4.1 氢含量控制法所依据的假设条件是，如果接头冷却到大约 120°F [50°C]以后，接头中残留的平均氢含量不超过取决于钢的化学成分和拘束度的某一临界值，则不会产生开裂。运用此法能够估算出足以使氢扩散出接头所需的预热温度。

H4.2 本方法主要建立在有拘束的 PJP 坡口焊缝试验结果的基础上；试验中所用的焊缝金属与母材匹配。尚未采用本方法对角焊缝作大量试验；不过，由于考虑到限制条件，因此这些焊缝也

适合采用此方法。

H4.3 氢含量控制法需要测定拘束度和熔池中的原始氢含量。

在本指南中，拘束度被分为高、中、低三级，并且必须根据经验加以确定。

H4.4 氢含量控制法是以代表根部焊道的低热输入单焊道以及假定热影响区硬化为基础依据。所以，本方法对淬硬性很高的高强度、低合金钢(在这种情况下硬度控制法不可行)特别有用，因此，由于假设了 HAZ 会完全变硬，所以对碳素钢来说，估计的预热温度也许过于保守。

H5. 方法的选择

H5.1 建议将下列步骤作为确定选择硬度控制法还是氢含量控制法的指南。

$$\text{确定碳含量和碳当量: } CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

然后找出该钢材在图 H. 1 中的位置(用于获得化学成分的不同方法见 H6.1.1)。

H5.2 每个区域的性能特征及推荐做法如下：

(1) I 区。不一定产生开裂，但在氢含量高或拘束度高的情况下可能产生开裂。采用氢含量控制法来确定该区内钢材的预热温度。

(2) II 区。应采用硬度控制法和选定的硬度来确定不预热的单焊道角焊缝的最小热输入。

如果不能确定热输入，则采用氢含量控制法来确定预热温度。

对于坡口焊缝，应采用氢含量控制法来确定预热温度。

对于高碳钢，角焊缝和坡口焊缝这两种焊缝可能都需要确定用于控制硬度的最低能量和用于控制氢含量的预热温度。

(3) III 区。应采用氢含量控制法。如果为了保持 HAZ 性能而限制热输入(比如一些调质钢)，则宜采用氢含量控制法来确定预热温度。

H6. 详细指南

H6.1 硬度控制法

H6.1.1 应按下式计算碳当量：

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

化学成分可来源于：

(1) 钢厂试验证书

- (2) 典型产品化学成分(来自钢厂)
- (3) 技术规格中的化学成分(采用最大值)
- (4) 用户进行的试验(化学分析)

H6.1.2 应利用图 H.2 确定 400 HV 或 350 HV 的选定最大 HAZ 硬度下的临界冷却速率。

H6.1.3 应采用合适的“翼缘板”和“腹板”厚度从图 H.3 选取合适的曲线，并且应确定单焊道角焊缝的最小热输入。这种能量输入适用于 SAW 焊缝。

H6.1.4 对于其它的焊接工艺，可将下列倍增系数应用到 H6.1.3 估算的 SAW 方法的热输入值中，以估算单到角焊缝的最小热输入：

焊接工艺	倍增系数
SAW	1
SMAW	1.50
GMAW、FCAM	1.25

H6.1.5 图 H.4 可被用于确定随热输入变化的角焊缝尺寸。

H6.2 氢含量控制法

H6.2.1 应按下列公式计算成分参量 P_{cm} 的值：

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

应按 H6.1.1 要求确定化学成分。

H6.2.2 应按下述要求确定和定义氢含量：

(1) H1 超低氢含量。这些焊接材料为采用 ISO 3690-1976 测定时扩散氢含量小于 5 ml/100 g 的熔敷金属，或者是根据 AWS A5.1 或 5.5 要求测定时含水率不超过 0.2 % 的焊条药皮。将所用焊接材料从包装或容器中取出后露天放置一定时间，然后测试每种型号、品牌或焊丝-焊剂组合，以确定这一数据。使用前应适当考虑实际的贮存条件。可以采取下列措施来满足这一要求：

(a) 从密封防潮容器中取出的低氢焊条，在 700°F~800°F 下烘焙 1 小时，并在取出后在 2 h 内用完。

(b) GMAW 使用干净的实芯焊条。

(2) H2 低氢含量。这些焊接材料为采用 ISO 3690-1976 测定时扩散氢含量小于 10 ml/100 g

的熔敷金属，或者是根据 AWS A5.1 要求测定时最大含水率不超过 0.4 % 的焊条药皮。可通过测试每种型号、品牌或焊丝-焊剂组合来确定这一数据。可以采取下列措施来满足这一要求：

(a) 从符合本规范 5.3.2.1 要求的密封防潮容器中取出低氢焊条，并在取出后在 4 h 内用完。

(b) SAW 使用干燥的焊条。

(3) H3 不控制氢含量。不符合 H1 或 H2 要求的所有其他焊接材料。

H6.2.3 应根据表 H. 1 确定敏感度指数分组。

H6.2.4 最低预热温度和道间温度。表 H. 2 给出应采用的最低预热温度和道间温度。表 H. 2 给出了拘束度的三个等级。应根据 H6.2.5 确定所用的拘束度等级。

H6.2.5 拘束度。宜在经验、工程判断、研究或计算基础上确定各种拘束度等级的焊缝类型分类。

这里提供了拘束度的三个等级：

(1) 低拘束度。这一等级的拘束度描述的是构件可以自由移动的普通角焊缝焊接接头和坡口焊缝焊接接头。

(2) 中拘束度。这一等级的拘束度描述的是因构件已被连接到结构上而导致自由度有所降低的角焊缝焊接接头和坡口焊缝焊接接头。

(3) 高拘束度。这一等级的拘束度描述的是所连接的构件基本不能自由移动的焊缝(比如补焊焊缝，特别是厚的材料中的修补焊缝)。

表 H.1 作为氢含量“H”和成分参量 P_{cm} 函数的敏感度指数分组(见 H6.2.3)

氢含量, H	敏感度指数 ^b 分组 ^c				
	碳当量 = P _{cm} ^a				
	< 0.18	< 0.23	< 0.28	< 0.33	< 0.38
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

$$^a P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

^b 敏感度指数— $12 P_{cm} + \log_{10} H$ 。

^c 按照注 b 所示公式, 从 A 至 G 的敏感度指数分组涵盖了化学成份参数 P_{cm} 和含氢量 H 的组合作用。将已知 P_{cm} 值和下述 H 值(用 ml/100g 的焊缝金属表示)代入注 b 公式即可求得敏感度指数的精确数值[见 H6.2.2(1)、(2)、(3)]:

H1—5; H2—10; H3—30。

为了方便, 表格中用涵盖了下列较小范围的字母 A 到 G 来表示敏感度指数分组:

A=3.0; B=3.1–3.5; C=3.6–4.0; D=4.1–4.5; E=4.6–5.0; F=5.1–5.5; G=5.6–7.0

表 H. 2 中将这此分组与拘束度和厚度相结合来确定最低预热温度和道间温度。

表 H.2 三个拘束度等级的最低预热温度和道间温度(见 H6.2.4)

拘束度 等级	厚度 ^a , in.	最低预热温度和道间温度(°F) ^b						
		敏感度指数分组						
		A	B	C	D	E	F	G
低	< 3/8	< 65	< 65	< 65	< 65	140	280	300
	≥3/8~≤3/4	< 65	< 65	65	140	210	280	300
	> 3/4~≤1-1/2	< 65	< 65	65	175	230	280	300
	> 1-1/2~≤3	65	65	100	200	250	280	300
	> 3	65	65	100	200	250	280	300
中	< 3/8	< 65	< 65	< 65	< 65	160	280	320
	≥3/8~≤3/4	< 65	< 65	65	175	240	290	320
	> 3/4~≤1-1/2	< 65	65	165	230	280	300	320
	> 1-1/2~≤3	65	175	230	265	300	300	320
	> 3	200	250	280	300	320	320	320
高	< 3/8	< 65	< 65	< 65	100	230	300	320
	≥3/8~≤3/4	< 65	65	150	220	280	320	320
	> 3/4~≤1-1/2	65	185	240	280	300	320	320
	> 1-1/2~≤3	240	265	300	300	320	320	320
	> 3	240	265	300	300	320	320	320

^a 厚度是指所焊接的较厚件的厚度。

^b “<”表明如果预热温度和道间温度低于所示温度，则可避免产生氢致开裂。既低于所列温度又低于表 3.3 所列温度的预热温度和道间温度应通过试验进行评定。

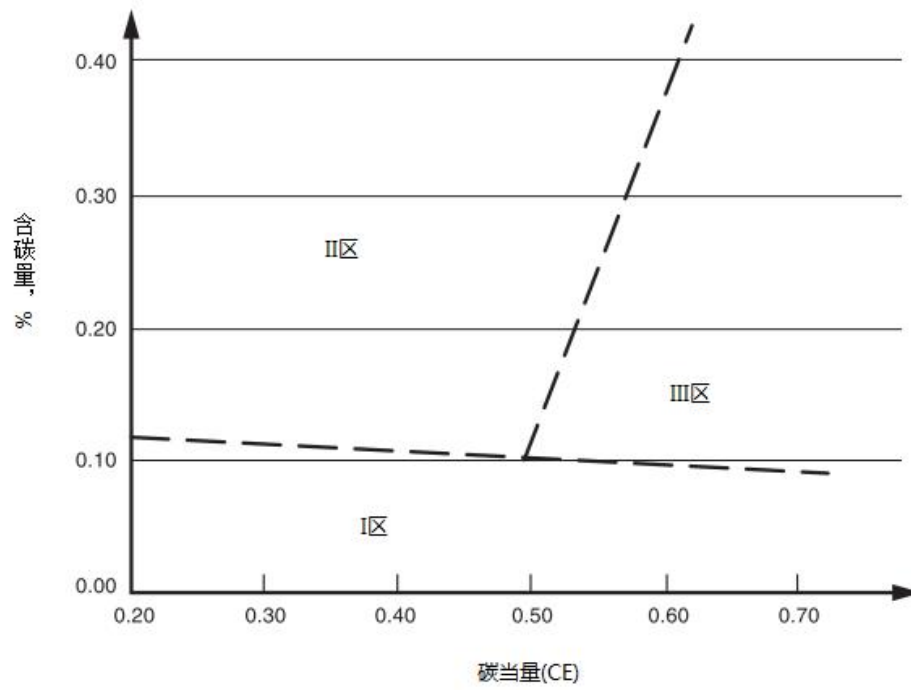
(待续)

表 H.2(续) 三个拘束度等级的最低预热温度和道间温度(见 H6.2.4)

拘束度 等级	厚度 ^a , mm	最低预热温度和道间温度(°F) ^b						
		敏感度指数分组						
		A	B	C	D	E	F	G
低	< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	60	140	150
	≥10~≤20	< 20	< 20	20	60	100	140	150
	> 20~≤38	< 20	< 20	20	80	110	140	150
	> 38~≤75	20	20	40	95	120	140	150
	> 75	20	20	40	95	120	140	150
中	< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	70	140	160
	≥10~≤20	< 20	< 20	20	80	115	145	160
	> 20~≤38	20	20	75	110	140	150	160
	> 38~≤75	20	80	110	130	150	150	160
	> 75	95	120	140	150	160	160	160
高	< 10	< 20	< 20	20	40	110	150	160
	≥10~≤20	< 20	20	65	105	140	160	160
	> 20~≤38	20	85	115	140	150	160	160
	> 38~≤75	115	130	150	150	160	160	160
	> 75	115	130	150	150	160	160	160

^a 厚度是指所焊接的较厚件的厚度。

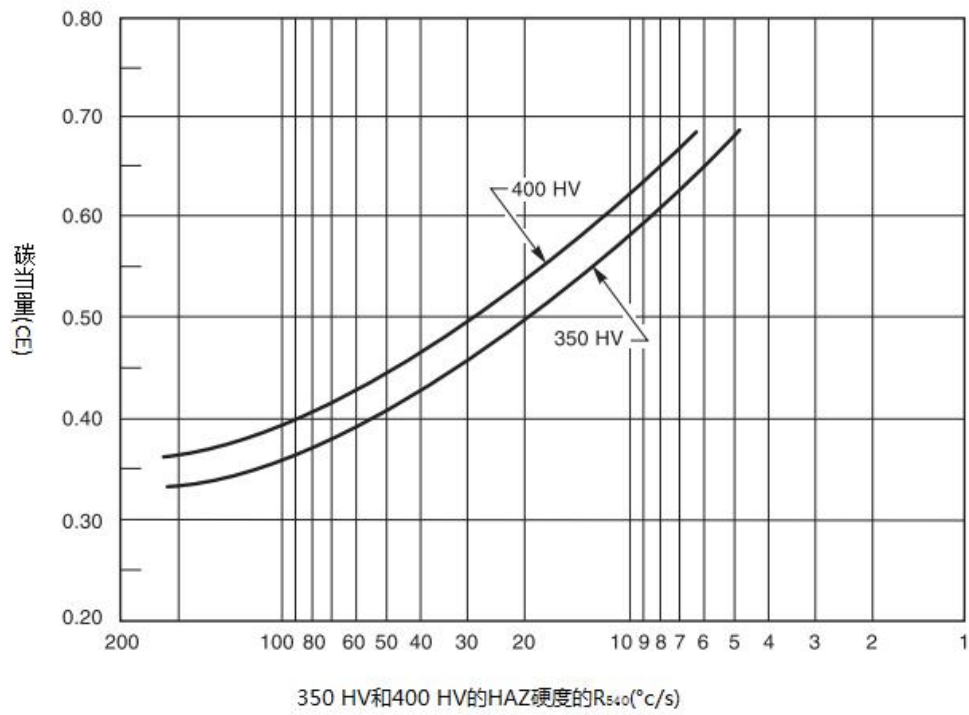
^b “<”表明如果预热温度和道间温度低于所示温度，则可避免产生氢致开裂。既低于所列温度又低于表 3.3 所列温度的预热温度和道间温度应通过试验进行评定。



注:

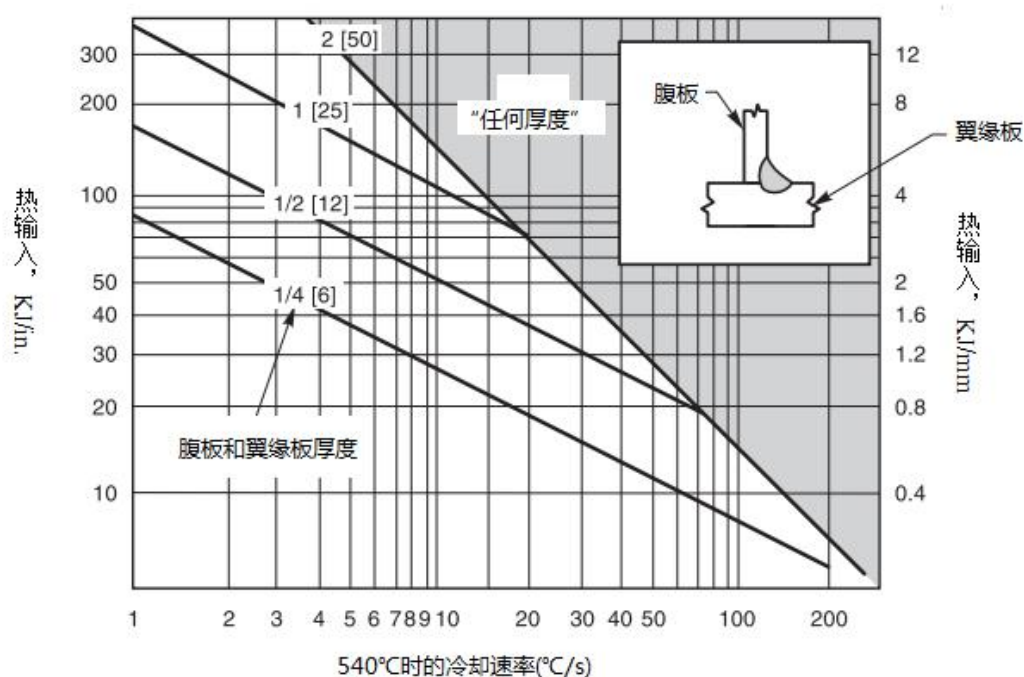
1. $CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ 。
2. 合适的区域特征见 H5.2(1)、(2)或(3)。

图 H.1—钢材的区域分类(见 H5.1)



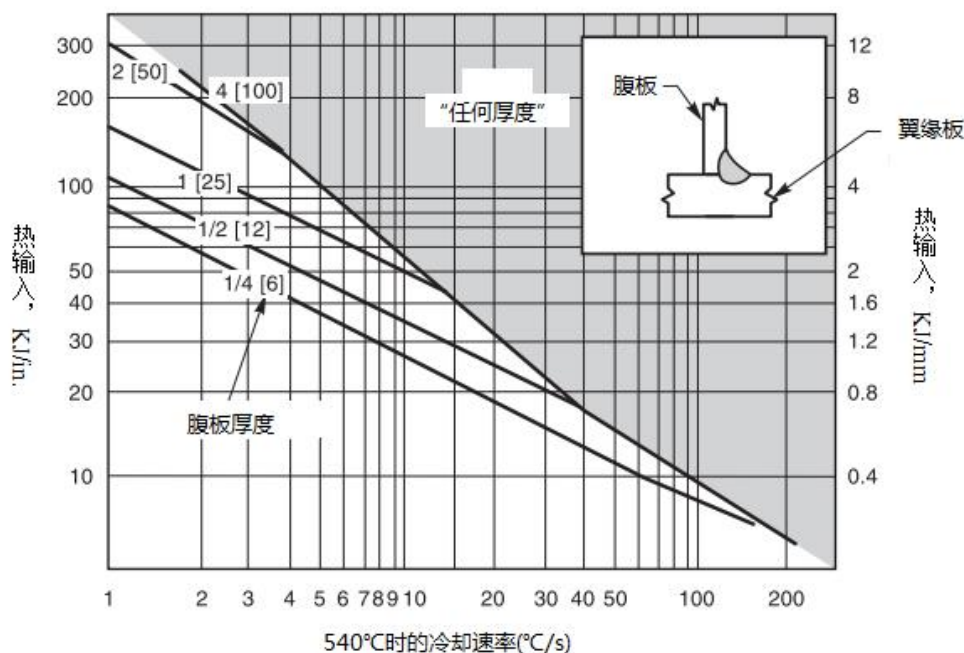
注：CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15。

图 H.2—350 HV 和 400 HV 的临界冷却速率(见 H3.3)



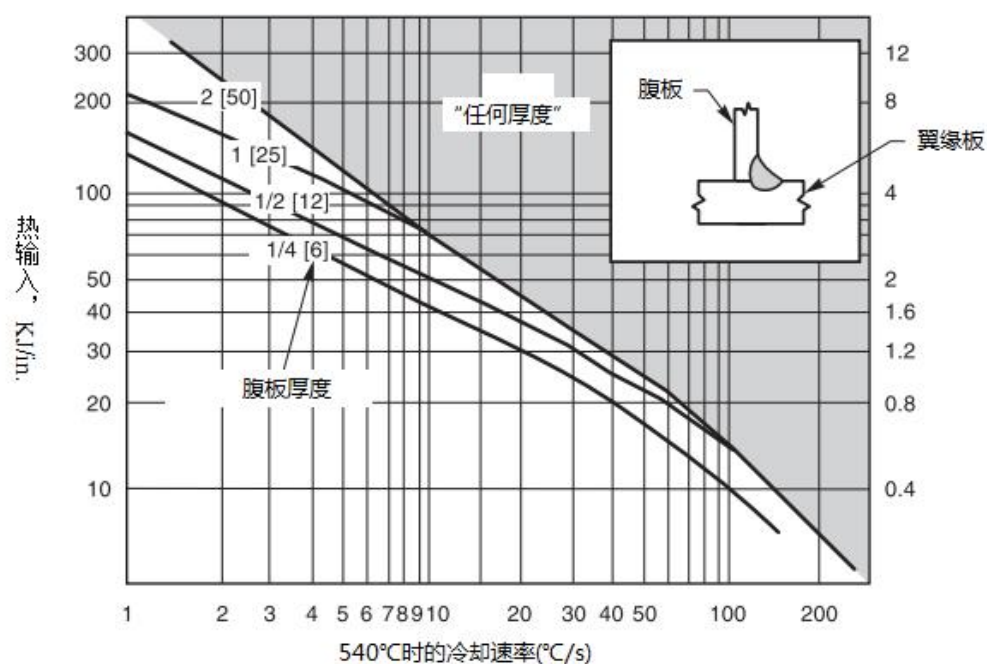
注：利用曲线确定的热输入在实际应用中并不一定适用，这是因为某些厚度的组合可能会被熔穿。

(A) 腹板和翼缘板厚度相同的单焊道SAW角焊缝



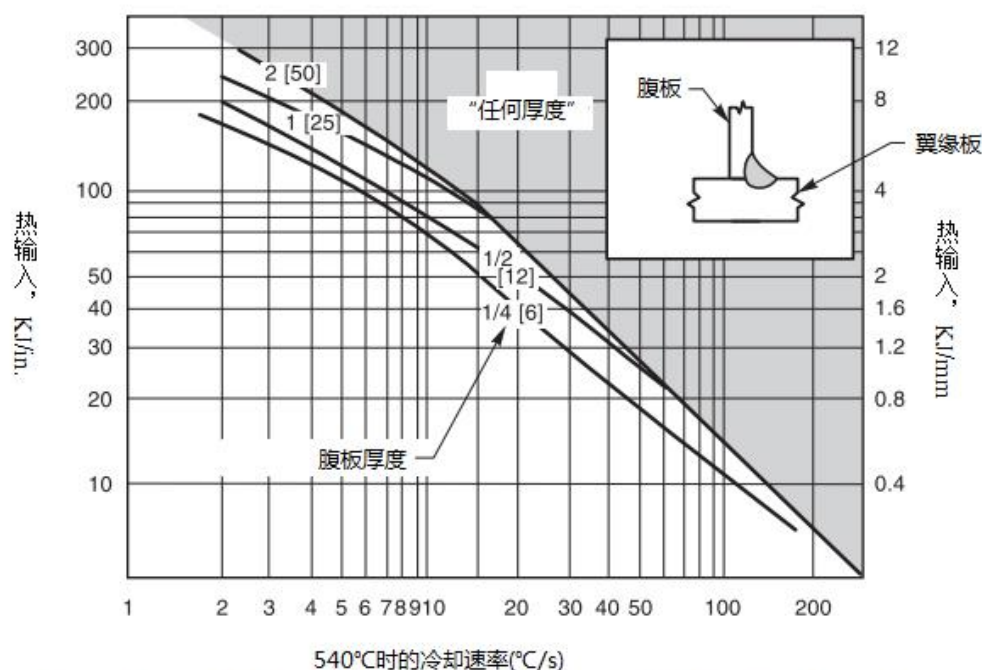
(B) 1/4 in. [6 mm] 翼缘板和不同厚度腹板的单焊道SAW角焊缝

图 H.3—用于确定单焊道 SAW 角焊缝的冷却速率的曲线图(见 H6.1.3)



注：利用曲线确定的热输入在实际应用中并不一定适用，这是因为某些厚度的组合可能会被熔穿。

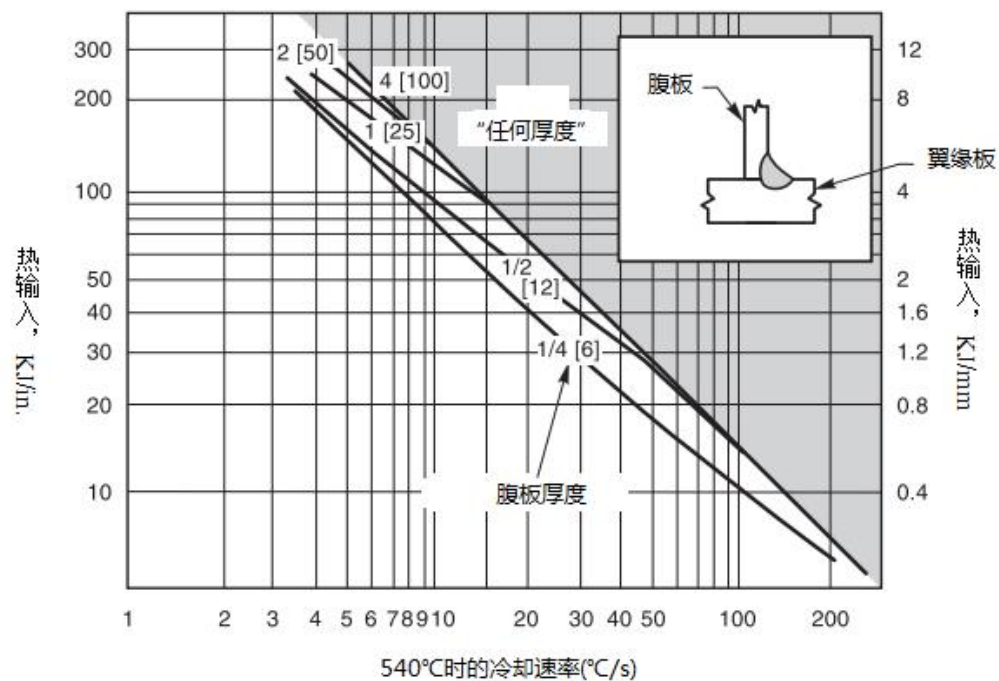
(C) 1/2 in. [12 mm] 翼缘板和不同厚度腹板的单焊道SAW角焊缝



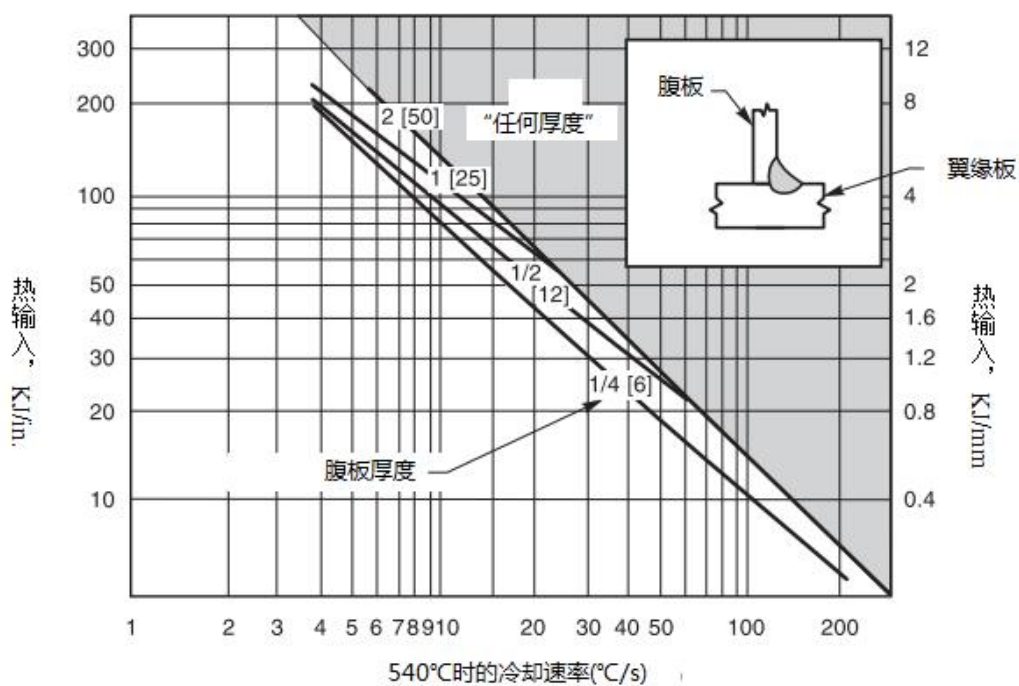
注：利用曲线确定的热输入在实际应用中并不一定适用，这是因为某些厚度的组合可能会被熔穿。

(D) 1 in. [25 mm] 翼缘板和不同厚度腹板的单焊道SAW角焊缝

图 H.3(续)—用于确定单焊道 SAW 角焊缝的冷却速率的曲线图(见 H6.1.3)



(E) 2 in.[50 mm]翼缘板和不同厚度腹板的单焊道SAW角焊缝



注：利用曲线确定的热输入在实际应用中并不一定适用，这是因为某些厚度的组合可能会被熔穿。

(F) 4 in.[100 mm]翼缘板和不同厚度腹板的单焊道SAW角焊缝

图 H.3(续)—用于确定单焊道 SAW 角焊缝的冷却速率的曲线图(见 H6.1.3)

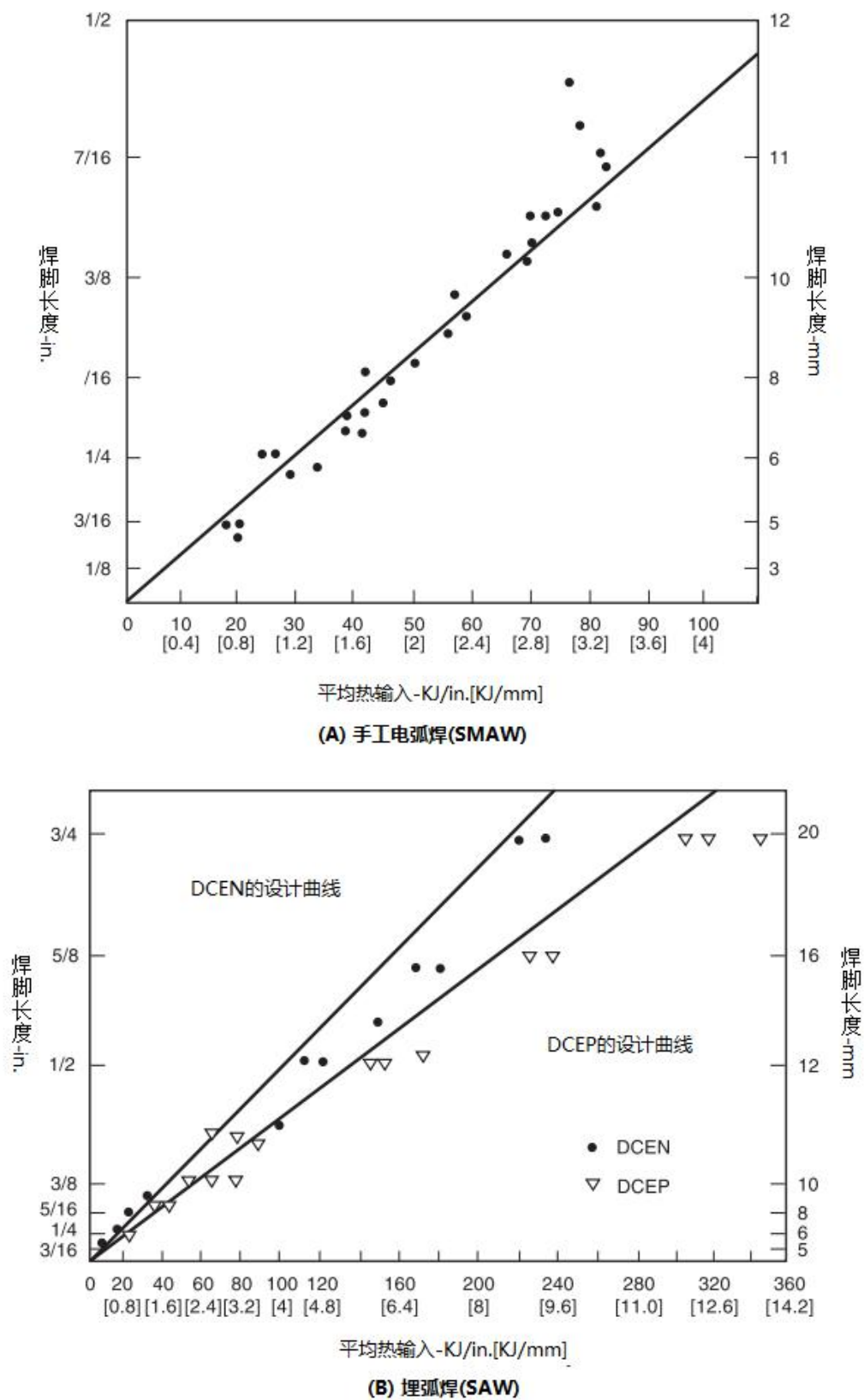


图 H.4—角焊缝尺寸和热输入之间的关系(见 H6.1.5)

附录 I

(规范性附录)

管材连接焊缝设计符号

本附录是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，并且包含了与本标准结合使用的强制性要素。

符号	含义	符号	含义
α	(alpha)弦杆椭圆参数	f_b	支管内的弯曲应力
a	矩形空心截面产品的宽度	f_b	主管内的弯曲应力
a_x	a 与 $\sin\theta$ 的比值	f_{by}	面内弯曲的公称应力
b	箱型管的横向宽度	f_{bz}	面外弯曲的公称应力
$b_{et} (b_{e(ov)})$	贯穿构件处的支管有效宽度	f_n	支管内的公称应力
$b_{eo} (b_e)$	弦杆处的支管有效宽度	g	K 形连接的间隙
$b_{eoi} (b_{ep})$	外部剪切的支管有效宽度	H	桁架平面内的腹板深度(方形弦杆)
b_{gap}	K 形连接间隙的有效宽度	γ	(gamma)主管柔性参数; R 与 t_c 之比(圆形截面); D 与 $2t_c$ 之比(箱型截面)
β	(beta) d_b 与 D 的直径比 r_b 与 R 之比(圆形截面) b 与 D 之比(箱型截面)	γ_b	过渡处的半径与厚度之比
β_{gap}	K 形连接间隙的无量纲有效宽度	γ_t	贯穿构件的 γ (用于搭接连接)
β_{eoi}	b_{eoi} 与主管宽度的无量纲比值	ID	内径
β_{eop}	外部冲切的无量纲有效宽度	K-	连接形状
β_{eff}	K 形连接弦杆面增塑作用的有效 β	K_a	相对长度系数
c	角部尺寸	K_b	相对截面系数
D	外径 OD (圆管)或主管的外宽(箱型截面)	λ	(lambda)相互作用敏感系数
D	累积疲劳损坏率, $\sum \frac{n}{N_f}$	L	图 9.3 所示角焊缝尺寸
d_b	支管的直径		接头套管长度
η	(eta) a_x 与 D 之比	LF	荷载系数(LRFD 中荷载的分项安全系数)
ϵ_{TR}	(epsilon)总应变范围	l_1	支管与主管接触处的实际焊缝长度
F	趾部角焊缝尺寸	l_2	搭接焊缝的投影长度(), 从垂直于主管的位置开始测量)
F_{EXX}	焊缝熔敷金属的已分级最低抗拉强度	M	施加的力矩
F_y	母材屈服强度	M_c	弦杆内的力矩
F_{yo}	主管屈服强度	M_u	极限力矩
f_a	支管内的周向应力	n	所施加荷载的循环次数
f_a	主管内的周向应力	N	给定应力范围下许用的循环次数
		OD	外径

符号	含义	符号	含义
P	支管内的轴向荷载	t	管子壁厚
P _c	弦杆内的轴向荷载	tb	支管的壁厚
P _u	极限荷载		用于标出 CJP 坡口焊缝尺寸的支管壁厚
P _⊥	垂直于主管轴线的单个构件的荷载分量		用于标出 PJP 坡口焊缝和角焊缝尺寸的较薄件的壁厚
p	搭接构件的投影长度	t _c	主管接头套管的壁厚
q	搭接量	t _w	焊缝尺寸(焊缝有效厚度)
φ	(phi)接头夹角	t' _w	焊缝尺寸(焊缝有效厚度)或内部支管厚度 t _b 中的较小值
π	(pi)圆的周长与直径之比	τ	(tau)主管与支管的相对厚度几何参数; t _b 与 t _c 之比
Ψ	(psi)局部二面角。定义见附录 J。	τ _t	t _{overlap} /t _{thru}
$\overline{\Psi}$	(psi bar)过渡区局部二面角变化的补充角度值	θ	(theta)两个构件轴线之间的锐角
Q _b	几何修正值		构件中心线之间的夹角
Q _f	应力相互作用术语		支管交角
Q _q	支管几何形状与荷载特性曲线修正值	$\overline{U}$	所考虑的主管中轴向应力和弯曲应力与许用之类的利用率
R	主管的外半径	V _p	冲切剪应力
R	根部间隙(接头装配)	V _w	支管之间的焊缝的许用应力
r	有半径量规测得的矩形空心截面的角部半径	x	代数变量 $\frac{1}{2\pi\sin\theta}$
r	相交线的有效半径	Y-	连接形状
r _b	支管的半径	y	代数变量 $\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{3-\beta^2}{\alpha^2}$
r _m	支管壁厚中心处的半径	Z	Z 折减尺寸
r _w	有效焊喉中心处的半径	ζ	(zeta)间隙与 D 之比
SCF	应力集中系数		
Σl ₁	(sigma)实际焊缝长度之和		
T-	连接形状		
TCBR	拉应力/压应力和/或弯曲应力的总公称应力范围		

附录 J

(规范性附录)

术语和定义

本附录是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，并且包含了与本标准结合使用的强制性要素。

本词汇表所列术语和定义分为三类：(1) 由 AWS 定义和符号委员会汇编的常用焊接术语；(2) 由 AWS 结构焊接委员会定义的只适用于 UT 的术语(此类术语后面标有(UT))；和(3) 根部与本规范有关的内容给出的前面冠以星号的其他术语。

对于本文件而言，下列术语和定义适用：

A

***alloy flux 合金焊剂。**在很大程度上取决于焊缝金属合金含量的一种焊剂。

***all-weld-metal test specimen 全焊缝金属试样。**完全由焊缝金属组成的收缩断面试样。

***amplitude length rejection level (UT) 波幅长度拒收基准(UT)。**表 6.2 和表 6.3 所示的与焊缝尺寸有关的各种指示评定值所允许的不连续的最大长度。

***angle of bevel 坡口角度。**见 bevel angle。

arc gouging 电弧刨槽。用电弧切割方法形成斜面或坡口的热刨槽。

as-welded 焊态。焊后未经任何热处理、力学或化学处理的焊缝金属、焊接接头和焊件的状态。

***attenuation (UT) 衰减(UT)。**声程上任何两点之间出现的声能量的损耗。这种损耗可能由于吸收、反射等引起。(在本规范中，当采用切变波脉冲回波测试法时，第一个 1 in. 后的衰减系数是 2 dB/ in.。

automatic welding 自动焊接。用仅需在焊接期间偶然观察或不观察焊接情况且无需对设备控制系统进行手工调节的设备进行的焊接。这一术语的变化形式有自动硬钎焊、自动软钎焊、

自动热切割和自动热喷涂。

***auxiliary attachments 辅助附件。**通过焊接方式附加于承受应力的主管上的构件或附件，此类构件可以承受或不承受荷载。

axis of a weld 焊缝轴。见 weld axis。

B

backgouging 背面清根。从已焊接头的焊缝根部一面清除焊缝金属和母材金属，以便于接着从该面施焊时可以获得完全熔透和 CJP 焊缝。

backing 衬垫。紧靠接头背面放置的或者放置在 ESW 和 EGW 焊缝两侧的材料或器件，用以衬托和保持熔化的焊缝金属。焊接期间材料可能部分熔化或者不发生熔化，其材质既可以是金属，也可以是非金属。

backing pass 背部焊道。背部焊缝的焊道。

backing ring 衬环。是一种环形衬垫，一般用于管材的焊接。

backing weld 打底焊缝。焊缝形式的衬垫。

***backup weld 打底焊缝(管材结构)。**仅从一面施焊的 CJP 坡口焊缝中的首道封焊焊道，其在随后的焊接中被作为衬垫使用，但不被视为是理论焊缝的组成部分(图 9.14~图 9.16 的细节 C 和细节 D)。

back weld 背部焊缝。施焊于单面坡口焊缝背部的焊缝。

base metal 母材。被焊接、硬钎焊、软钎焊或切割的金属或合金。

bevel angle 坡口角度。接头构件的坡口斜面与垂直于构件表面的平面之间的夹角

box tubing 箱型管。含有正方形或矩形横截面的管材产品。见 Tubular。

***brace intersection angle, θ 支管交角, θ (管材结构)。**支管中心线之间形成的锐角。

***Building Code 建筑规范。**当本规范中用到建筑规范这一术语时，则指可与本规范结合使用的建筑法律或规范或其他施工条例。当没有任何适用的地方建筑法律或规范或其他施工条例时，则建议按美国钢结构协会(AISC)《建筑用结构钢设计、制作和安装规范》要求施工。

butt joint 对接接头。在相同平面内基本对齐的两个构件之间的接头。

butt weld 对接焊缝。对接接头焊缝的非标准术语。见对接接头。

C

***cap pass 盖面焊道。**形成焊缝面(完工焊缝的外露表面)的一条或多条焊道。相邻的盖面焊道可以部分覆盖另一盖面焊道，但不完全会完全将其覆盖。

***caulking 捻缝。**捻缝应指采用机械方法使焊缝和母材表面塑性变形，以密封或掩盖不连续。

complete fusion 完全熔合。遍及整个熔合面及所有相邻焊道间的熔合。

CJP (complete joint penetration) CJP(接头完全熔透)。焊缝金属熔透整个接头厚度的坡口焊缝接头根部的状态。

***CJP groove weld CJP 坡口焊缝(承受静荷载和循环荷载的结构)。**从两面施焊或仅从一面在衬垫上施焊的接头整个深度内的焊缝金属与母材都实现 CJP 和熔合的坡口焊缝。

***CJP groove weld CJP 坡口焊缝(管材结构)。**接头整个深度内的焊缝金属与母材都实现 CJP 和熔合的坡口焊缝，或者是图 9.9、图 9.12~图 9.16 和图 9.26 详述的坡口焊缝。如果尺寸和/或形状不允许进入焊缝根部一侧，则允许采用不用衬垫仅从一侧施焊的 CJP 管材坡口焊缝。

complete penetration 完全熔透。CJP 的非标准术语。

construction aid weld 结构辅助焊缝。为了将装卸、运输和结构加工中临时使用的一个或多个零件附加于焊件上而施焊的焊缝。

consumable guide ESW 熔咀电渣焊。见 ESW。

continuous weld 连续焊缝。从接头的一端连续延伸至另一端的焊缝。当接头基本上为环形时，焊缝完全环绕着接头。

***contract documents 合同文件。**业主以合同形式规定的任何规范、技术条件、图纸或补充要求。

***Contractor 承包商。**符合按本规范条款进行对制作、安装、加工或焊接的任何公司或代表公司的个人。

***Contractor's Inspector 承包商的检验员。**正式指派的代理或代表承包商在本规范和合同文件范围内处理所有检验和质量方面事务的人员。

corner joint 角接接头。安放在基本成 90°角且相互形成 L 形的两构件间的接头。

***cover pass 盖面焊道。**见 cap pass。

CO₂ welding CO₂ 焊接。用 CO₂ 气体保护的 GMAW 的非标准术语

crater 弧坑。焊道末端焊缝表面的凹陷。

***CVN。**夏比 V 形缺口。

D

***decibel (dB) (UT)分贝(dB)(UT)。**两个声能波幅或强度比的对数表达式。

***decibel rating (UT)分贝额定值(UT)。**见 indication rating。

defect 缺陷。因性质或累积作用(比如裂纹总成)而导致零件或产品不能满足适用标准或规范要求的一个或多个不连续。这一术语具有拒收的明确含意。

defective weld 不合格焊缝。有一个或多个缺陷的焊缝。

***defect level (UT) 缺陷评定值(UT)。**见 indication level。

***defect rating (UT) 缺陷指示评定值(UT)。**见 indication rating。

depth of fusion 熔深。焊接期间熔融金属从表面延伸到母材或先焊焊缝的深度。

***dihedral angle 二面角。**见 local dihedral angle。

discontinuity 不连续。材料典型组织产生的导致力学或冶金或物理性能不均匀的一种中断。不连续不一定是缺陷。

downhand 俯焊。平焊的非标准术语。

***drawings 图纸。**指的是方案设计图、细节及安装图。

E

***edge angle 棱边角(管材结构)。**为焊接而制备的削斜面 and 构件表面切线之间的所夹的锐角(在垂直于交线的平面内测量)。所有削斜面都朝向支管外侧。

***effective length of weld 焊缝有效长度。**整个具有适当匀称横截面的焊缝的长度。对于弯曲焊缝，应沿焊缝轴线测量焊缝有效长度。

EGW (electro gas welding) EGW(气电焊)。是一种采用连续焊缝金属焊条和熔池之间产生的电弧在接近于立焊的位置向上施焊的电弧焊接工艺，这种方法采用衬垫来约束熔融的焊缝金属，可以用或不用外部供应的保护气体，并且不施加压力。

ESW (electro slag welding) ESW(电渣焊)。是一种焊接工艺，它利用熔融的焊渣熔化填充金属和工件表面及随后使金属凝固结合。熔池是利用焊接期间沿着接头的整个横截面移动的这种焊渣来保护的。这种方法需先引燃电弧加热焊剂。一旦电流在焊条和工件之间流过，则熔融熔

渣的导电性立即使电弧熄灭，并靠熔渣的电阻保持其熔融状态。

consumable guide ESW 熔咀电渣焊。是电渣焊的一种形式，其填充金属为焊条和导丝咀。

***end return 端部绕焊。**围绕一构件拐角连续主角焊缝延伸的角焊缝。

***Engineer 工程师。**正式指派的个人，由其代理或代表业主处理本规范范围内的所有事务。

F

***fatigue 疲劳。**这里所指的疲劳是指发生足够次数的应力波动后产生的可能导致断裂的损坏。应力范围是指这些波动的波峰至波谷的幅度。如果产生应力变向，则应将应力范围计算为最大重复拉应力和压应力的数值总和(代数差)，或者是荷载方向变化时某一点的相反方向的剪应力之和。

faying surface 贴合面。一构件与另一待连接构件接触或非常接近的紧密配合表面。

FCAW (flux cored arc welding) FCAW(药芯焊丝电弧焊)。是一种采用连续焊缝金属焊条和熔池之间的电弧的焊接工艺。此法采用包含在管状焊条中的焊剂产生的保护气体，使用或不用外部供给的气体进行补充保护，并且不施加压力。

***FCAW-G (flux cored arc welding—gas shielded) FCAW-G(气体保护药芯焊丝电弧焊)。**是药芯焊丝电弧焊的一种形式，其中补充的保护来自外部供给的气体或混合气体

***FCAW-S (flux cored arc welding—self shielded) FCAW-S(自动保护药芯焊丝电弧焊)。**是药芯焊丝电弧焊的一种形式，其中保护仅由管状焊条中包含的焊剂提供。

filler metal 填充金属。制作焊接接头、硬钎接接头或软钎接接头时添加的金属或合金。

fillet weld leg 角焊缝焊脚。从接头根部到角焊缝焊趾的距离。

fin 毛刺。是棒材或其他轧制型材中因钢材蔓延到轧辊之间的间隙中而产生的一种缺陷。这样会形成一层厚厚的溢出物，如果再次轧制，则这种溢出物通常会变成一层重叠层。

flare-bevel-groove weld 喇叭形 V 形坡口焊缝。一个含有曲面的结构构件与另外一个含有平面的接头构件之间形成的坡口内的焊缝。

***flash 飞边，**从焊缝接头挤压出并形成于焊缝四周的材料。

flat welding 位置平焊位置。从接头的上部进行焊接的焊接位置。在该位置，焊缝轴线接近水平，焊缝表面也约为水平平面。

flux cored arc welding 药芯焊丝电弧焊。见 FCAW。

fusion 熔合。填充金属和母材(基材)一起熔化或者仅母材熔化而形成焊缝。

***fusion-type discontinuity 熔合型不连续。**夹渣、不完全熔合、接头不完全熔透和类似的与熔合有关的不连续。

fusion zone 熔合区。在焊缝横截面上确定的已熔化的母材区域。

G

gas metal arc welding 熔化极气体保护焊。见 GMAW。

***gas pocket 气泡。**气孔的非标准术语。

***Geometric unsharpness 几何不清晰度。**由于射线源的尺寸、物体到胶片的距离和射线源到物体的距离而造成的射线成像模糊或清晰度不够。几何不清晰度可用如下数学式表达:

$$U_g = F(L_i - L_o) / L_o$$

其中 U_g 表示几何不清晰度, F 为焦点或伽马源的尺寸, L_i 为射线源至胶片的距离, L_o 为射线源至物体的距离。

GMAW (gas metal arc welding) GMAW(熔化极气体保护焊)。是一种采用连续焊缝金属焊条和熔池之间的电弧的焊接工艺。此法使用外部供给的气体进行保护, 并且不施加压力。

GMAW-S (gas metal arc welding-short circuit arc) GMAW-S(熔滴过渡熔化极气体保护焊)。是熔化极气体保护焊的一种形式, 其焊条在重复短路期间熔敷。

gouging 刨槽。见 thermal gouging。

groove angle 坡口角度。两工件间坡口的总夹角。

***groove angle, ϕ 坡口角度, ϕ (管材结构)。**要用焊缝金属充填的坡口的两个相对面间的角度。应在结构装配完毕后测定该角度。

groove face 坡口面。包含在坡口中的接头构件的表面。

groove weld 坡口焊缝。施焊于工件之间坡口中的焊缝。

GTAW。气体保护钨极电弧焊。

H

HAZ (heat-affected zone) HAZ(热影响区)。母材中由于焊接、硬钎焊、软钎焊或热切割的加热而改变了力学性能或显微组织的部分。

heat-affected zone 热影响区。见 HAZ。

horizontal fixed 位置(pipe welding) 水平固定位置(管焊接)。管接头的焊接位置。焊接时管子轴线基本保持水平且管子不旋转(见图 4.1、图 4.2 和图 9.17)。

horizontal welding position, fillet weld 横焊位置, 角焊缝。在约呈水平的表面的上侧紧靠着约呈垂直的表面施焊(见图 4.1、图 4.2、图 4.3 和图 4.4)。

***horizontal reference line (UT) 水平基准线(UT)。**靠近超声波检测仪器屏幕中心的一条水平线, 所有回波均应调节到这一位置, 以得到 dB 读数。

horizontal rotated 位置(pipe welding) 水平旋转位置(管焊接)。管接头的焊接位置。焊接时管子轴线基本保持水平, 并且在平焊位置通过转动管子来进行焊接(见图 4.1、图 4.2 和图 9.17)。

***hot-spot strain 热点应变(管材结构)。**循环应变的总范围, 应从焊接连接的最高应力集中点处开始测量。测量热点应变时应采用足够小的应变片, 以免将陡峻梯度区域里的高、低应平均化。

I

***IQI (image quality indicator) IQI(像质计)。**射线照片上的成像被用于确定射线照片质量的一种装置。它既不被用来评判不连续的尺寸, 也不被用于确定不连续的合格界限。

image quality indicator 像质计。见 IQI。

***indication (UT) 指示(UT)。**显示于示波器上的信号。出现这一信号即意味着被检测部分存在声波反射体。

***indication level (UT) 指示值(UT)。**将不连续产生的指示调整到基准线高度时, 由经校准过的增益或衰减控制器而获得的读数。

***indication rating (UT) 指示评定值(UT)。**进行声程衰减修正后获得的相对于零值基准线的分贝读数。

intermittent weld 断续焊缝。被循环出现的未焊间隔所断开的焊缝。

道间温度道间温度。多道焊中两焊道之间焊缝区域的温度。

J

joint 接头。待连接或已连接的构件的接合区或构件边缘的接合区。

joint penetration 接头熔深。焊缝金属从焊缝面向接头内延伸的距离(不包括焊缝余高在内)。

joint root 接头根部。待焊接头中构件相互靠得最近的部分。在横截面中, 接头根部可以是

一个点、一条线或一个区域。

***joint welding 工艺接头焊接工艺。**指特定接头焊接时所采用的材料、详细方法和操作。

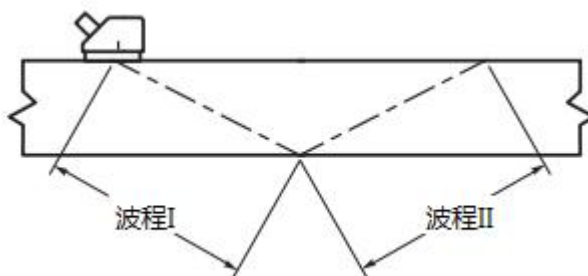
L

lap joint 搭接接头。平行平面内两个相互搭接的构件之间的接头。

***layer 焊层。**焊缝金属或堆敷材料的一层。焊层可由一条焊道或多道边靠边的焊道组成。

***leg (UT) 波程(UT)。**在受检材料的表面反射之前剪切波的直线传播路径。见波程辨别简图。

注：波程 I 加上波程 II 等于一个 V 形路径。



leg of a fillet weld 角焊缝焊脚。见 fillet weld leg。

***local dihedral angle, Ψ 局部二面角, Ψ (管材结构)。**在垂直于焊缝轴线的平面内测得的焊缝所连接管材外表面的切线之间的夹角。从连接的局部截面看时这个二面角是外部二面角，因此可以把相交表面视为是表面。

M

manual welding 手工焊。用手握持并操纵焊炬、焊枪或焊钳而进行的焊接。可采用诸如部分运动装置和手工控制焊接材料馈送装置等之类的辅助设备。见自动焊接、机械化焊接和半自动焊接。

mechanized 方法(XXXX-ME) 机械化方法(XXXX-ME)。是一种采用要求操作人员在目视观察后人工调节焊炬、焊枪、焊条导向装置或利用机械装置控制的焊条架的设备的操作方法。见 Mechanized Welding。

mechanized welding (W-ME) 机械化焊接(W-ME)。见机械化方法。

***MT。磁粉检测。**

N

***nondestructive testing (NDT) 无损检测。**按照既定准则以一种不妨碍材料或零件将来的可用性的方式来确定材料或零件是否合格的方法。

***node (UT) 波节(UT)。**见波程。

***nominal tensile strength of the weld metal 焊缝金属的公称抗拉强。**用填充金属的分级数字表示的焊缝金属抗拉强度(比如 E60XX 焊条的公称抗拉强度为 60 ksi [420 MPa])。

O

***OEM (Original Equipment Manufacturer) OEM(原始设备制造商)。**是承担本规范赋予工程师的部分或全部职责的单独承包商。

overhead welding position 仰焊位置。从接头下方进行焊接的位置(见图 4.1、图 4.2、图 4.3 和图 4.4)。

overlap, fusion welding 熔焊焊瘤。焊缝金属超出焊缝趾部或根部的隆起物。

***Owner 业主。**拥有按本规范制造的产品或结构装配件合法所有权的个人或公司。

oxygen cutting (OC) 氧气切割(OC)。借助氧气和母材高温化学反应而切断或除去金属的一组热切割方法。所需温度可由来自电弧、氧燃气火焰或其他能源的热来维持。

oxygen gouging 氧气刨槽。氧气切割方法的一种变化形式，被用于制作斜面或坡口。

P

***parallel electrode 并联焊丝。**见 SAW。

partial joint penetration 部分熔透焊缝。见 PJP。

pass 焊道。见 weld pass。

锤击锤击。通过冲击式打击对金属进行的机械加工。

***pipe 管。**按管材产品规范生产或制造的中空圆形横截面产品。见 tubular。

***piping porosity (ESW and EGW) 管状气孔(电渣焊和气电焊)。**主尺寸落在与焊缝轴线基本平行的方向的细长气孔。

***piping porosity (general) 管状气孔(通用)。**主尺寸落在与焊缝面基本平行的方向的细长气孔，当其延伸至焊缝表面时则常被称为针孔。

PJP。故意使接头熔深小于完全熔透的熔深。

plug weld 塞焊缝。在接头的一个构件的圆孔中施焊的使该构件与另一构件熔合的焊缝。

焊接角焊缝的孔不符合这一定义要求。

porosity 气孔。凝固过程或热喷涂熔敷中由气体停滞其中而形成的空穴型不连续。

positioned weld 定位焊缝。为便于进行焊接而在已经确定位置的接头中施焊的焊缝。

***postweld heat treatment 焊后热处理。**焊接后进行的任何热处理。

preheating 预热。焊接、硬钎焊、软钎焊、热喷涂或切割即将实施前对母材进行的加热。

preheat temperature, welding 预热温度(焊接)。即将开始焊接前环绕焊接点一定体积母材的温度。在多道焊缝中也指即将施焊第二道或后续焊道前的温度。

***PT。**液体渗透检测。

***PWHT。**焊后热处理。

Q

qualification 评定。见焊工技能评定和 WPS 评定。

R

random sequence 随机顺序。随机焊接焊缝时的纵向顺序。

***reference level (UT) 对比基准(UT)。**由参考反射体的水平参考线高度指示值生成的分贝读数。

***reference reflector (UT) 参考反射体(UT)。**IIW 参考试块或其他经认可的试块中的包含的已知几何形状的反射体。

reinforcement of weld 焊缝余高。见 weld reinforcement。

***resolution (UT) 分辨力(UT)。**超声设备对靠得很近的反射体给出独立指示的能力。

root face 钝边。接头根部内坡口面的直边部分。

root gap 根部间隙。root opening 的非标准术语。

root of joint 接头根部。见 joint root。

root of weld 焊缝根部。见 weld root。

root opening 根部间隙。工件之间接头根部的间距。

***RT。**射线检测。

S

SAW (submerged arc welding) SAW(埋弧焊)。用一根或数根裸金属焊条与焊接熔池之间产

生的一个或数个电弧进行焊接的电弧焊方法。其电弧与熔化的金属由一层铺在工件上的颗粒状焊剂保护。本方法不施加压力，填充金属来自焊条，有时也可利用焊棒、焊剂或金属颗粒来补充。

***single electrode 单焊条。**连接到一个专用电源(该电源可以由一个或多个电源装置组成)的一根焊条。

***parallel electrode 并联焊丝。**并联连接到相同的专用电源的两根焊条。这两根焊条通常用一个送丝装置来送丝。规定的焊接电流为两根焊条的电流总和。

***multiple electrodes 多焊条。**两根或多根单焊条或并联焊丝系统的组合。每个组成系统均具有自己独立的电源和送丝装置。

***scanning level (UT) 扫查水平(UT)。**表 6.2 和表 6.3 所述的扫查期间所用的 dB 设定值。

semiautomatic welding 半自动焊。采用可以控制一个或多个焊接参数的设备进行的手工焊接。

***shelf bar 承托条。**横向坡口焊缝接头中承托过多熔敷焊缝金属溢流的钢板、板条或类似零件。

shielded metal arc welding 手工电弧焊。见 SMAW。

shielding gas 保护气体。用以防止或减少大气污染的保护性气体。

single-welded joint 单面施焊接头。仅从一面施焊的接头。

size of weld 焊缝尺寸。见 weld size。

slot weld 槽焊缝。在接头的一个构件的长孔中施焊的使该构件与另一构件熔合的焊缝。孔的一端可呈开口状。焊有角焊缝的槽孔不符合这一定义要求。

SMAW (shielded metal arc welding) SMAW(手工电弧焊)。是一种采用药皮焊条和熔池之间产生的电弧进行焊接的一种电弧焊方法。焊接时的保护来自焊条药皮的分解，并且不施加压力。所用填充金属来自焊条。

***sound beam distance (UT) 声束距离(UT)。**见 sound path distance。

***sound path distance (UT) 声程距离(UT)。**沿着声束中心线测得的探头所测材料与反射体之间的距离。

spatter 飞溅物。在熔化焊接过程中不构成焊缝的飞离金属颗粒。

stringer bead 窄焊道。焊接时无明显横向摆动的焊道类型。

***stud base 螺柱焊接端。**焊接端部的螺柱尖顶，它包括焊剂及其容器以及邻近尖顶 1/8 in [3 mm]处的螺柱体。

***stud welding (SW) 螺柱焊(SW)。**是一种采用金属螺柱或类似零件与另一工件之间产生的电弧进行加热，以形成金属结合的一种电弧焊接工艺。在适当加热待连接表面时需施加压力，以使它们结合为一体。可以使用环绕螺柱的陶瓷护套提供局部保护。可以采用或不采用保护气体或焊剂。

submerged arc welding 埋弧焊。见 SAW。

T

tack weld 定位焊缝。在最终焊缝施焊前用来将一个焊件的各组件保持于合适对准位置的焊缝。

***tack welder 定位焊工。**正式焊缝施焊前，为了将一个焊件的各组件保持于合适对准位置进行定位焊的装配工或在装配工指导下作业的人员。

***tandem 纵列焊条焊接。**是指焊条的一种几何排列方式，其中穿过电弧的一条线与焊接方向保持平行。

thermal gouging 热刨槽。是热切割方法的一种变化形式，即借助熔化或燃烧来完全清除待清除的那部分金属，以形成斜面或坡口。

throat of a fillet weld 角焊缝焊缝厚度

actual throat 实际焊缝厚度。角焊缝根部至角焊缝面之间的最短距离。

theoretical throat 理论焊缝厚度。在角焊缝横断面内部作最大的内接直角三角形，从接头根部的起点到该直角三角形斜边的垂直距离即为理论焊缝厚度。这一尺寸是建立在假设根部间隙为零的基础上。

throat of a groove weld 坡口焊缝的焊缝厚度。坡口焊缝尺寸的非标准术语。

T-joint T 形接头。构件相互放置成接近 90°角而成 T 形的接头。

toe of weld 焊缝趾部。见 weld toe。

***transverse discontinuity 横向不连续。**主垂直于焊缝“X”轴的焊缝不连续，见附录 L 的表 L-11。

***tubular 管材。**是包含管制品(见管)及按照管材产品规范生产或制造的方形、矩形或圆形中空截面产品在内的统称。也被称为空心管(HSS)。

***tubular connection 管材连接。**是含有两个或两个以上相交构件(其中至少有一个构件是管件)的结构中的一种连接。

***tubular joint 管材接头。**由管件与另一构件(此构件可以是也可以不是管件)相交而形成的交界面内的接头。

U

***unacceptable discontinuity 不合格的不连续。** 见 defect。

undercut 咬边。熔蚀邻近焊缝趾部或焊缝根部的母材且未被焊缝金属填满的沟槽。

***UT。**超声检测。

V

***Verification Inspector 鉴定检验。**正式指派的代理或代表业主或工程师处理工程师规定的所有检验和质量方面事务的人员。

vertical welding 位置立焊位置。焊接点的焊缝轴线接近于垂直且焊缝表面大致位于垂直平面内的焊接位置(见图 4.1、图 4.2、图 4.3 和图 4.5)。

***vertical 位置(pipe welding) 立焊位置(管焊接)。**焊接在横焊位置进行且焊接期间管子不旋转的管接头位置(见图 4.1、图 4.2 和图 9.17)。

***V-path (UT) V 形路径(UT)。**切变超声波束从测试材料探测界面至测试材料的另一面再返回原表面所经过的距离。

W

weave bead 摆动焊道。施焊时作横向摆动的焊道类型。

weld 焊缝。将材料加热至焊接温度后施加或不施加压力,或者仅通过施加压力及使用或不适用填充金属来实现的金属或非金属的局部结合。

weldability 可焊性。材料在所施加的条件下形成特定的、合适的设计结构并满意地在预期用途中发挥作用的能力。

weld axis 焊缝轴线。穿过焊缝的长度方向的直于焊缝横截面且位于焊缝横截面几何中心的一条线。

weld bead 焊道。一次施焊形成的焊缝。见窄焊道和摆动焊道。

welder 焊工。进行手工或半自动焊接操作的人。

welder certification 焊工证书。所制作焊缝符合规定焊工技能标准的焊工书面证明。

welder performance qualification 焊工技能评定。焊工所制作焊缝符合规定标准能力的证明。

weld face 焊缝面。进行焊接操作一侧的焊缝外露表面。

welding 焊接。是一种通过将材料加热至焊接温度后施加或不施加压力，或者仅通过施加压力及使用或不适用填充金属来实现金属或非金属局部结合的连接过程。另见最新版 AWS A3.0 中的焊接及相关工艺一览表。

welding machine 焊接机器、用以实施焊接操作的设备。例如点焊机、弧焊机和缝焊机。

welding operator 焊接操作工。操作适应控制、自动化、机械化或机器人等焊接设备的人员。

welding sequence 焊接顺序。焊件上焊缝的施焊次序。

weld pass 焊道。沿着接头进行的单程焊接。施焊一个焊道即可产生一个焊道或焊层。

weld reinforcement 焊缝余高。超出填满接头所需容量的那部分焊缝金属。

weld root 焊缝根部。横截面图上所示的根部表面和母材表面相交的点。

weld size 焊缝尺寸

fillet weld size 角焊缝尺寸。对于焊脚相等的角焊缝，角焊缝尺寸是指角焊缝横截面内最大内接等腰直角三角形的边长。对于焊脚不等的角焊缝，则为角焊缝横截面内的最大直角三角形的边长。

注：当一构件与另一构件所成角度大于 105°时，焊脚长度(尺寸)不如焊缝有效厚度重要，焊缝有效厚度是焊缝强度的控制因素。

groove weld size 坡口焊缝尺寸。坡口焊缝的接头熔深。

weld tab 引弧板。延伸到接头两端之外的附加材料，焊缝的起点或终点均位于这些材料上面。

weld toe 焊趾。焊缝表面和母材的接合处。

weldment 焊件。通过焊接将组成件连接起来的装配件。

WPS qualification WPS 评定。证明用特定工艺制作的焊缝满足规定标准要求。

***WPS (welding 工艺 specification) WPS(焊接工艺规程)。**包含了焊件生产过程中涉及到的所有接头的焊接要求的详细方法和实施细则。见接头焊接工艺。

附录 K

(资料性附录)

规范编写者指南

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

合同文件中关于所有焊接均按 AWS D1.1 《钢结构焊接规范》要求进行的陈述仅仅涵盖了强制性焊接要求。规范中的其他条款均为可选条款。仅在有规定时这些条款才适用。下列是较长适用的一个可选条款及如何规定应用这些条款方面的示例。

可选条款	典型的技术规定
制作/安装检验[当不是承包商责任时(6.1.2)]	制作/安装检验应由业主执行。 或者 制作/安装检验应由业主聘请的检测机构执行。 注：当制作/安装检验由业主或业主聘请的检测机构执行时，应给出此类检测范围方面的全部细节。
鉴定检验(6.1.2.2)	鉴定检验(6.1.2.2)应由承包商执行。 或者 鉴定检验应由业主执行。 或者 鉴定检验应由业主聘请的检测机构执行。 或者 应放弃进行鉴定检验。
无损检测	NDT 总则： 对于每种类型的接头（[6.14]的目视检验和应力类型[拉应力、压应力和剪应力]除外），指明要采用的 NDT 类型、检测范围、要采用的任何特殊技术和验收准则。应附上具体示例(作为示例解释，而非推荐建议)。工程师应确定适用于每种条件的具体要求。 承受静荷载结构的制作： 抗弯连接的对接接头中的受拉坡口焊缝—最初 4 个接头的每条焊缝作 25 % UT，其余接头的每条焊缝作 10% UT。验收准则—表 6.2。

(待续)

可选条款	典型的技术规定
无损检测(续)	角焊缝—对每条焊缝长度的 10%作 MT—验收准则—表 6.1(非管材连接焊缝)或表 9.16(管材连接焊缝)
	承受循环荷载结构的制作： 受拉对接接头—100% UR 或 100% RT—验收准则—UT： 6.13.2； RT： 6.12.2。
	轴向承载构件内的全熔透角接头焊缝： 拉应力—100% UT，扫查方式 D 或 E—验收准则—表 6.3。
	压应力 —25% UT，扫查活动 A、B 或 C。 验收准则—表 6.1。
	角焊缝—MT—对每条焊缝长度的 10%作 MT—验收准则—6.12.2。
	或者
(6.15.3)	如果未作 100%检测的焊缝的任何部分被拒收，则应对该焊缝进行 100%检测。
	或者
(6.15.3)	如果只对部分长度进行了检测的焊缝的任何部分被拒收，则应对不连续的每侧的规定长度进行检测。

附录 L

(资料性附录)

UT 设备鉴定和检验表格

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

本附录包含了用于记录 UT 检测数据的 3 个表格(L-8、L-9 和 L-10)的用法示例。表格 L-8、L-9 和 L-10 的每个示例均给出了在焊缝 UT 检测中如何使用表格。表格 L-11 被用于报告焊缝 UT 检测结果。

超声设备校准报告—AWS

超声设备型号_____ 序列号_____

探头尺寸_____ 类型_____ 频率_____ MHz

校准日期_____ 时间间隔_____ 方法_____

试块编号_____ 数据_____ (调整前)_____ (调整后)

补充说明

- 从最低 dB 等级开始，直接从 DS 试块的 2 in. 截面上获得一个达到显示器屏高 40% 的指示。将这一 dB 读数加上 6 dB 后记录在“a”行，显示高度记录在“b”行，以此作为图表的起始点。
- 将这些数据记录在“a”行和“b”行之后，滑动换能器，以获得一个达到显示器屏高 40% 的新指示。不移动换能器，将这一新的 dB 读数加上 6 dB 后记录在相应的行中。在设备允许条件下多次重复这一步骤。
- 由“b”行求出屏幕%值的平均值，但舍弃表中开头的 3 个数据和最后的 3 个数据。将此值作为计算校正读数中的 $\%_2$ 。
- 利用下列公式计算“c”行：

$$dB_c = 20 \times \log \left| \frac{\%_2}{\%_1} \right| + dB_1$$
 $\%_1$ 是“b”行值。
 $\%_2$ 是舍弃开头的 3 个数据和最后的 3 个数据后的“b”行平均值。
 dB_1 是“a”行值。
 dB_2 是“c”行值。
- 从“c”行值中减去“a”行值，即可获得“d”行 dB 误差： $(a - c = d)$ 。
- 从最接近 0.0 的“d”行 dB 误差开始向水平方向累积增加 dB 误差，并将合计值放在“e”行，即可获得累积 dB 误差。
- 自%数平均值线向左、右水平移动，找出一个其中最大和最小累积误差差值不超过 2dB 的区间。数出水平移动的格数并减去 1，然后用余数乘以 6。这一 dB 值即为设备的合格范围。
- 为了以图解方式确定合格范围，宜按下列方式将表 L-8 与表 L-9 结合使用。

(1) 根据 dB 读数“a”在水平轴上找出相应位置，然后对应此位置在垂直方向上按累积 dB 误差“e”找出相应的点。

(2) 画一条穿过这一系列点的曲线。

(3) 在曲线上加一高度为 2dB 的水平窗口，垂直方向移动窗口，以使 2dB 误差高度所包含的部分达到最长。

(4) 这个窗口的长度即为设备的合格 dB 范围。

行 项	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a dB 读数													
b 显示屏高度													
c 已校正读数													
d dB 误差													
e 累积 dB 误差													

精度要求：最小允许范围为_____。

$\%_2$ (平均值)_____ %

设备为：合格_____

不合格_____ 重新校准截止日期_____

总评定范围_____ dB 到 _____ dB = _____ dB

总误差 _____ dB (取自上表)

总评定范围_____ dB 到 _____ dB = _____ dB

总误差 _____ dB (取自表 L-9)

校准人：_____ 级别_____

地点_____

表 L-8

超声设备校准报告—AWS

超声设备型号 USN-50 序列号 47859-5014
 探头尺寸 1"圆探头 类型 SAB 频率 2.25 MHz
 校准日期 1996年6月17日 时间间隔 2个月 方法 AWS D1.1
 试块编号 1234-5678 数据 XX (调整前) (调整后)

补充说明

- 从最低 dB 等级开始，直接从 DS 试块的 2 in. 截面上获得一个达到显示器屏高 40% 的指示。将这一 dB 读数加上 6 dB 后记录在“a”行，显示高度记录在“b”行，以此作为图表的起始点。
- 将这些数据记录在“a”行和“b”行之后，滑动换能器，以获得一个达到显示器屏高 40% 的新指示。不移动换能器，将这一新的 dB 读数加上 6 dB 后记录在相应的行中。在设备允许条件下多次重复这一步骤。
- 由“b”行求出屏幕%值的平均值，但舍弃表中开头的 3 个数据和最后的 3 个数据。将此值作为计算校正读数中的 $\%_2$ 。

- 利用下列公式计算“c”行：

$$dB_c = 20 \times \log \left(\frac{\%_2}{\%_1} \right) + dB_1$$

$\%_1$ 是“b”行值。

$\%_2$ 是舍弃开头的 3 个数据和最后的 3 个数据后的“b”行平均值。

dB_1 是“a”行值。

dB_2 是“c”行值。

- 从“c”行值中减去“a”行值，即可获得“d”行 dB 误差：(a - c = d)。
- 从最接近 0.0 的“d”行 dB 误差开始向水平方向累积增加 dB 误差，并将合计值放在“e”行，即可获得累积 dB 误差。
- 自%数平均值线向左、右水平移动，找出一个其中最大和最小累积误差差值不超过 2dB 的区间。数出水平移动的格数并减去 1，然后用余数乘以 6。这一 dB 值即为设备的合格范围。
- 为了以图解方式确定合格范围，宜按下列方式将表 L-8 与表 L-9 结合使用。

(1) 根据 dB 读数“a”在水平轴上找出相应位置，然后对应此位置在垂直方向上按累积 dB 误差“e”找出相应的点。

(2) 画一条穿过这一系列点的曲线。

(3) 在曲线上加一高度为 2dB 的水平窗口，垂直方向移动窗口，以使 2dB 误差高度所包含的部分达到最长。

(4) 这个窗口的长度即为设备的合格 dB 范围。

行 项	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a dB 读数	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78
b 显示屏高度	69	75	75	77	77	77	77	78	77	78	79	80	81
c 已校正读数	7.1	12.3	18.3	24.1	30.1	36.1	42.1	48.0	54.1	60.0	65.9	71.8	77.7
d dB 误差	-1.1	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	+0.1	+0.2	+0.3
e 累积 dB 误差	-2.2	-1.1	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	+0.1	+0.3	+0.6

精度要求：最小允许范围为_____。

$\%_2$ (平均值) _____ %

设备为：合格_____

不合格_____

重新校准截止日期_____

总评定范围 _____ dB 到 _____ dB = _____ dB

总误差 _____ dB (取自上表)

总评定范围 _____ dB 到 _____ dB = _____ dB

总误差 _____ dB (取自表 L-9)

校准人：_____ 级别_____

地点_____

表 L-8

dB 精度评估

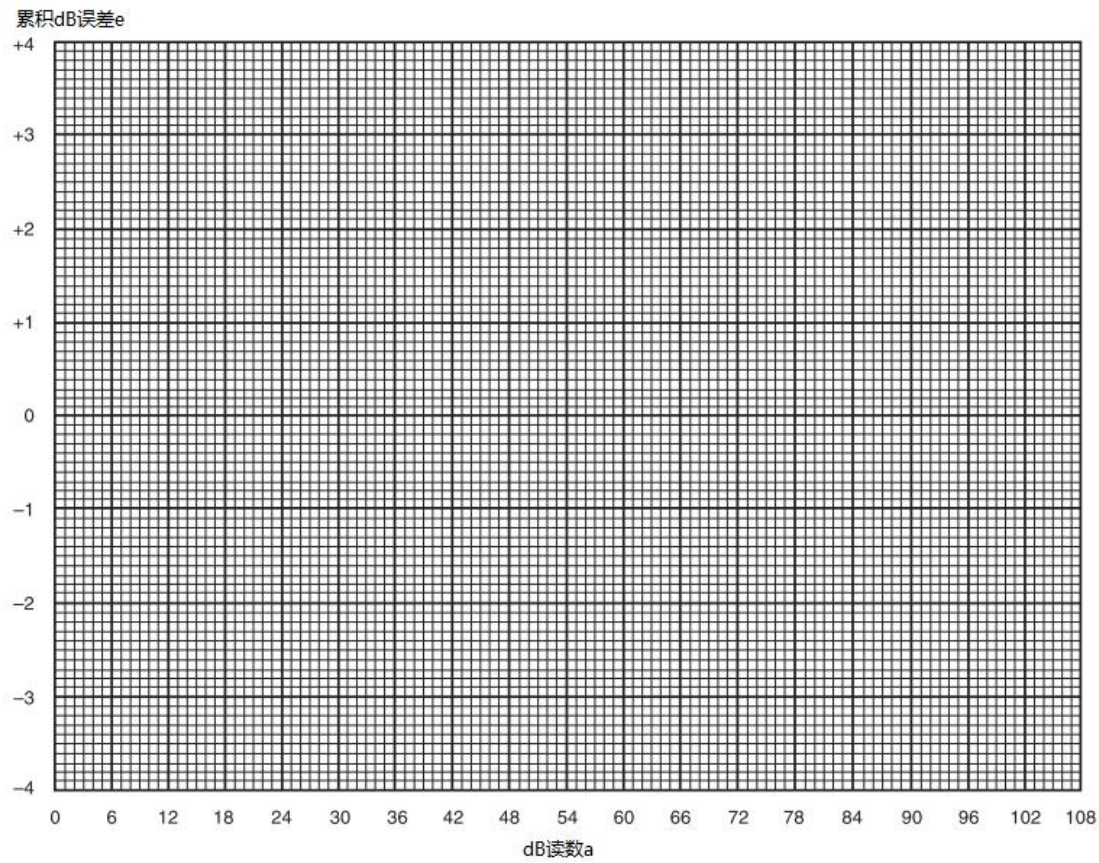


表 L-9

dB 精度评估-AWS

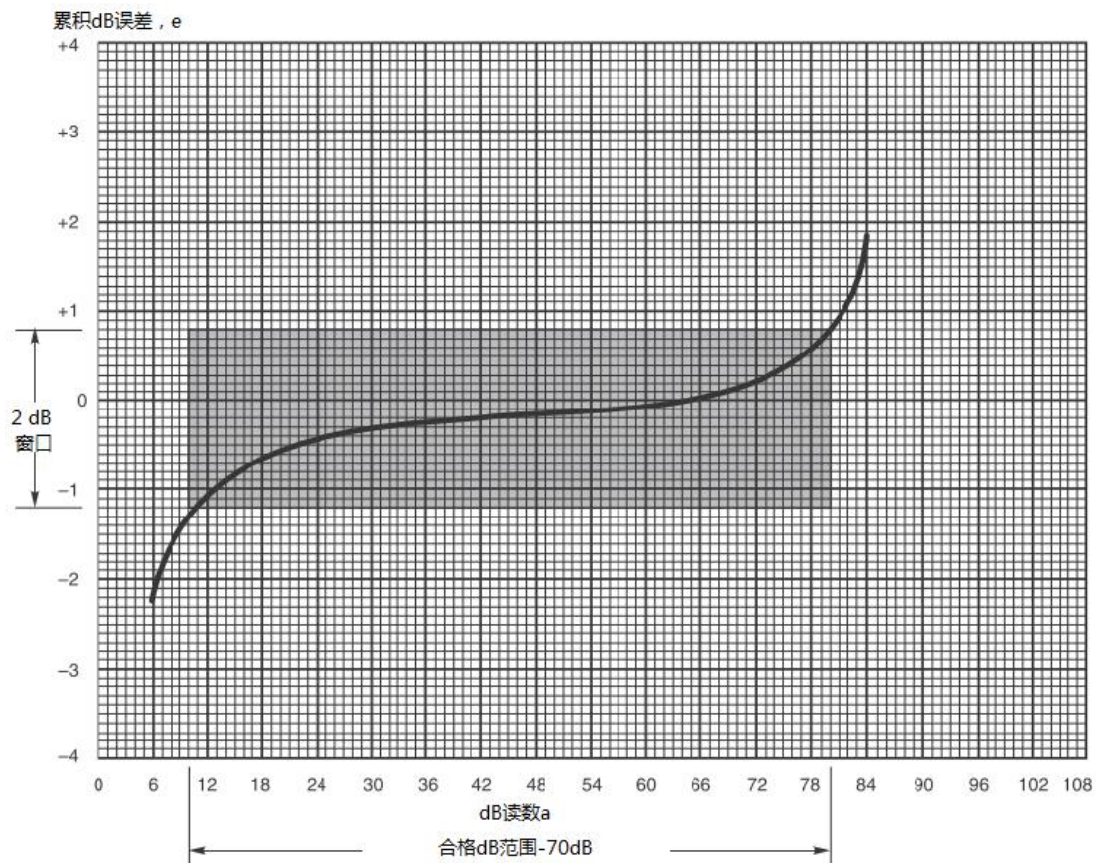
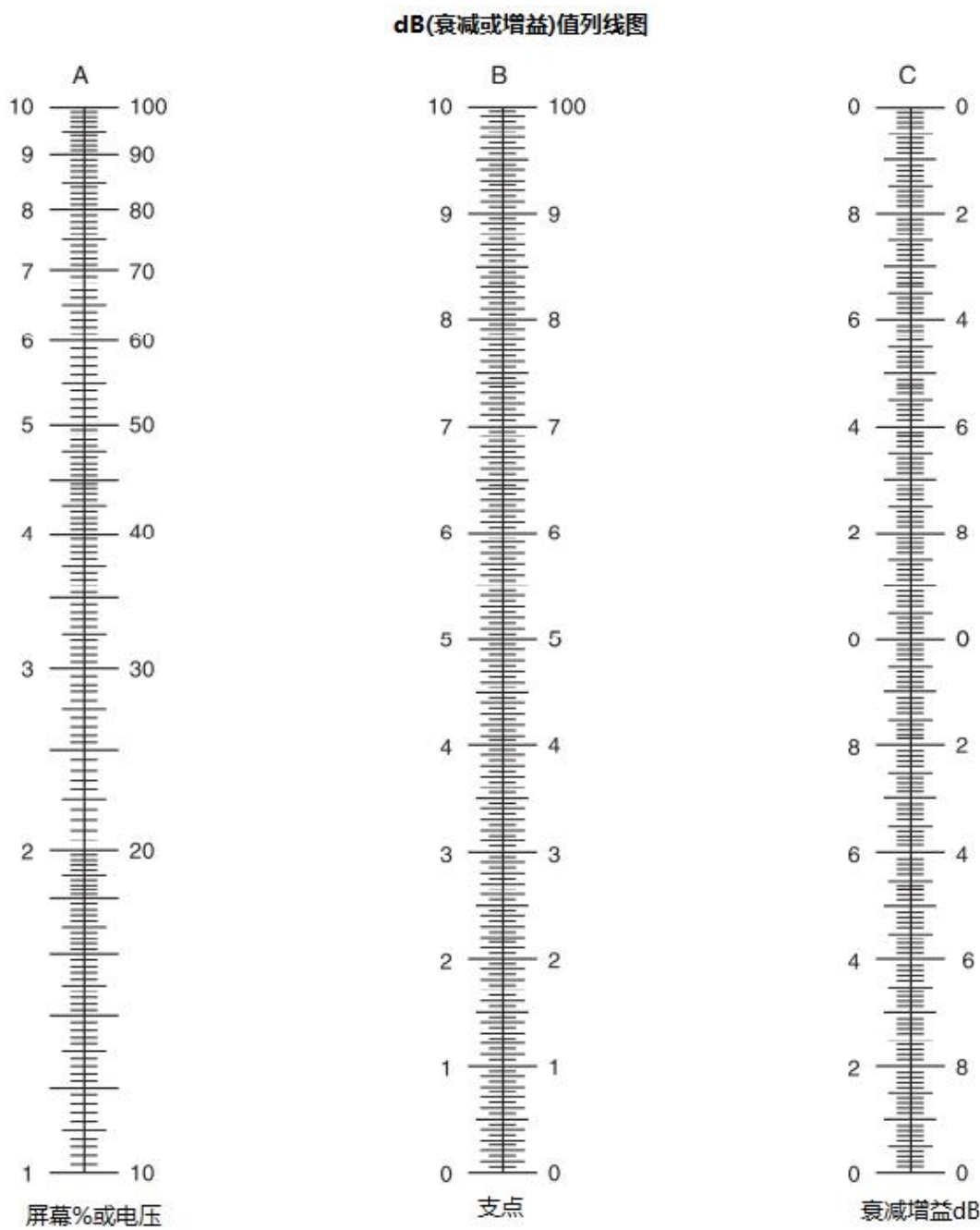


表 L -9 示例曲线源自表 L -8 的计算结果。

上图中的阴影区域表示按本规范所鉴定仪器的合格范围。

注：本示例给出了表 L-8 第一行的使用示例。

表 L-9

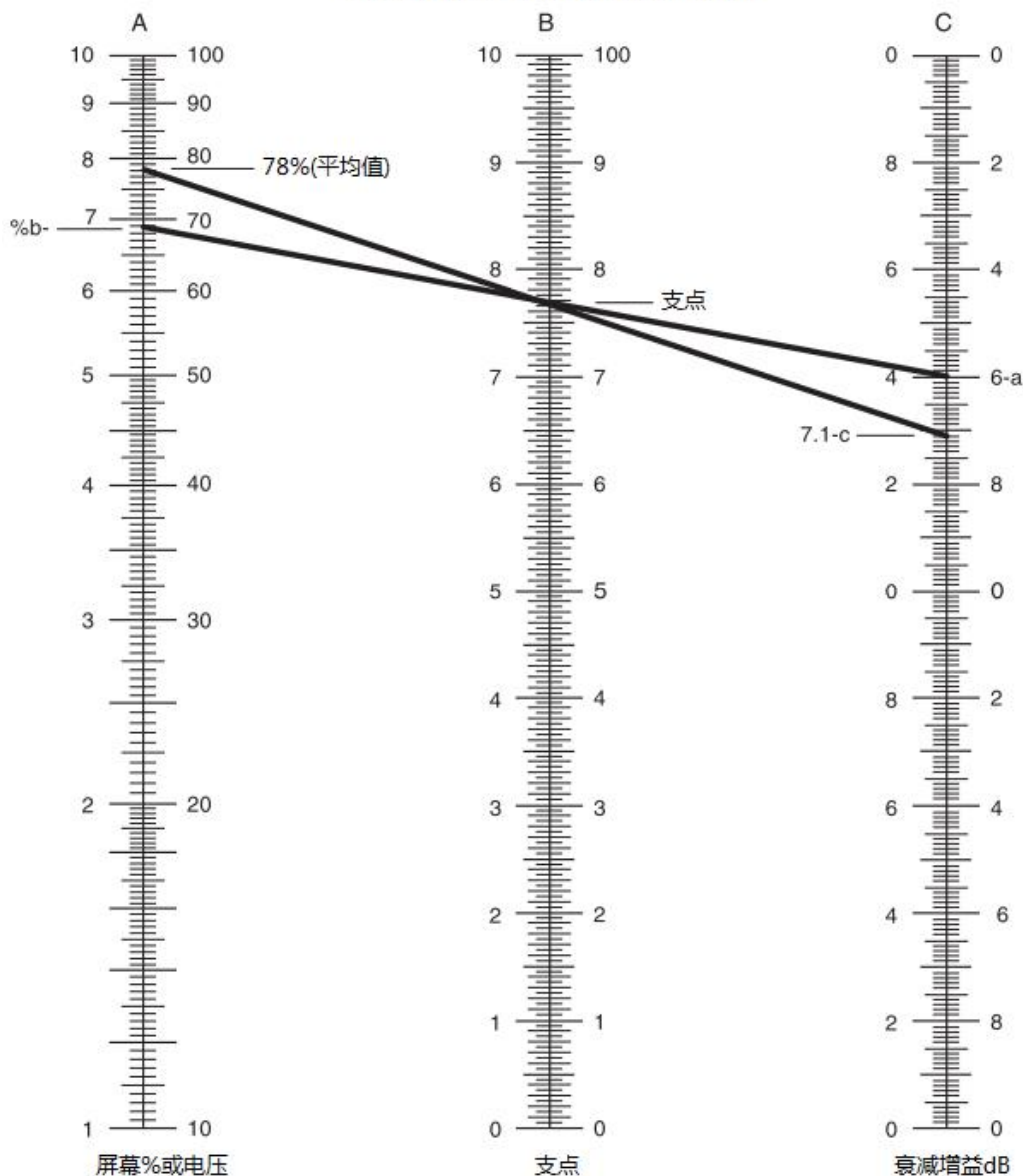


注：此列线图的使用说明见 6.28.2.3。

表 L-10

dB(衰减或增益)值列线图——AWS

以下是使用列线图对注3进行求解的示例。



使用诺谟图的方法：

- 在 C 标尺上找出相应“a”行的 dB 读数，在 A 标尺上找出相应“b”行的百分数，用直线连接这两点。
- 将上述直线与支点线 B 相交处用作第二根直线的支点。
- 从 A 标尺上标有平均记号的点开始延伸第二天直线，并将该点延伸穿过上述支点，并与 C 标尺上的相应 dB 值相交。
- C 标尺上的这一点代表的就是“c”行所用的校正过的 dB 值。

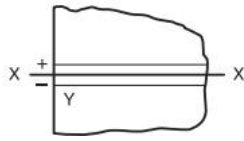
注：

1. 6 dB 读数和 69%刻度均来自仪器读数，并且分别是 dB₁“b”和%₁“c”。
2. %₂ 为 78—(常数)。
3. dB₂(即校正后的 dB“d”)等于 $20 \times \log(78/69) + 6$ 或 7.1。

表 L-10

焊缝 UT 报告

项目 _____ 报告编号 _____



焊缝标识 _____
 材料厚度 _____
 焊接接头 AWS _____
 焊接工艺 _____
 质量要求—章节号 _____
 备注 _____

序号	指示编号	换能器角度	检测面	波程 ^a	dB				不连续				不连续评估	备注	
					指示值	基准值	衰减系数	指示评定值	长度	角距离 (声程)	到“A”面 距离	距离			
												到 X			到 Y
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															

下列签字人证实本报告所述内容正确无误，并且按 AWS D1.1/D1.1M(____年版)《钢结构焊接规范》第 6 节 F 部分的要求准备和检测焊缝。

检测日期 _____

制造商或承包商 _____

检测方 _____

授权人 _____

注：本表适用于第 2 节 B 部分或 C 部分(承受静荷载和循环荷载的非管材结构)，而不适用于管材结构(第 9 节 A 部分)。

日期 _____

表 L-11

^a 采用一次波、二次波或三次波(波程的定义见附录 J)。

注:

1. 评定值“d”的计算:

a. 使用带增益控制的仪器时用公式 $a-b-c = d$ 。

b. 使用带衰减控制的仪器时用公式 $b-a-c = d$ 。

c. 除非“d”=0, 否则“d”的数字应带正号或负号。

2. 到 X 的距离被用于描述垂直于焊缝参考线方向的焊缝不连续的位置。除非该数值为零, 否则应带正号或负号。

3. 到 X 的距离被用于描述平行于焊缝参考线方向的焊缝不连续的位置。可通过测量焊缝“Y”端到上述不连续起点的距离来获得该值。

4. 应在报告表中另起一行列出复验过的修补焊缝区域的评估结果。如果采用原来的报告, 则应在指示编号前面加前缀 R_n。如果另用新表, 则应在报告编号前面加前缀 R。

本页被故意留为空白。

附录 M

(资料性附录)

焊接表格示例

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

本附录包含了用于记录本规范要求的 WPS 信息评定检测数据、评定试验结果、焊工技能评定、焊接操作工技能评定和定位焊工评定数据的表格示例。此外还包含了用于记录焊缝 NDT 结果的报告表。

建议将本规范要求的评定 NDT 资料记录在这些表格或用户已准备好的类似表格上。允许用户根据自己的需要对表格作改动。

M1. 表格的使用

WPS 的接头细节栏可采用简图或适用的免评定接头细节的参考编号(比如 B-U4a)。

WPS 表格中有包含了本规范没有要求的信息的行，无需为了满足本规范要求而填写这些行。

M2. 免评定 WPS

M2 足以记录免评定 WPS 的信息。

M3. 表格示例

随附已填好的 WPS 和 PQR 的示例，这些示例仅供参考。本附录提供了供焊接工艺类别 GTAW/SMAW、GMAW/FCAW 和 SAW 的 WPS 和 PQR 使用的单独表格。表格中的姓名是虚构的，所填试验数据并非来自任何实际试验，因此不宜予以采用。委员会相信这些示例有助于帮助规范用户编制合格的文件。

M4. 采用试验评定的 WPS

可按第 4 节条款采用试验来评定 WPS。在这种情况下，除了 WPS 之外还需要提供支持性的 PQR。对于 WPS，注明允许采用试验评定的范围或者注明基本参数的合适公差(比如 250 amps

± 10%)。

对于 PQR，宜记录实际的接头细节和试验中所用基本参数的值。应提供已填好的 PQR 表格示例，以指导如何填写表格。应附上一份有关所试材料的钢厂试验报告的副本。还应提供作为支持资料的检测实验室的数据报告，或者是与本附录所用示例差不多的 PQR 试验结果表格。表格中应提供一些供参考的适用于所评定的 WPS 的机械试验交叉参考资料。注意，并非提及的所有试验都是必须进行的试验。

表格索引

表格 编号	标题	页码
M-1	工艺评定记录(PQR)表格	389
M-2	焊接工艺规程(WPS)表格	395
M-3	电渣焊和气电焊的 WPS 评定试验记录	400
M-4	焊工、焊接操作工或定位焊工技能评定试验记录(单道焊)表格	401
M-5	焊工、焊接操作工或定位焊工技能评定试验记录(多道焊)表格	403
M-6	焊缝射线检测报告	405
M-7	焊缝磁粉检测报告	406
M-8	螺柱焊应用评定试验、生产前试验、PQR 或 WQR 表格	407

PQR 表格的空白样表(GTAW & SMAW—第 1 页)

工艺评定记录(PQR)

公司名称	PQR 编号	版本号	日期

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	厚度	尺寸(NPS)	表号	直径
母材材料							
焊接到							
衬垫材料							
其他							

接头细节	
坡口类型	
坡口角度	
根部间隙	
钝边	
背面清根	
方法	

焊后热处理	
温度	
保温时间	
其他	

接头细节(草图)

工艺									
焊层									
焊道									
方法									
类型(手工焊接、机械化焊接等)									
位置									
向上施焊									
填充金属(AWS 规范)									
AWS 分类									
直径									
制造商/品牌名称									
保护气体成分(GTAW)									
流量(GTAW)									
喷嘴尺寸 (GTAW)									
预热温度									
道间温度									
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—	—
焊条直径(GTAW)									
电流类型&极性									
电流									
电流									
冷丝或热丝(GTAW)									
焊接速度									
最大热输入									
技术	—	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动									
多焊道或单焊道(每侧)									
振动形式(GTAW 机械化/自动化)									
横移长度									
横移速度									
停顿时间									
锤击									
道间清理									
其他									

表格 M-1(正面)

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

PQR 表格的空白样表(GMAW & FCAW—第 1 页)

工艺评定记录(PQR)

公司名称	PQR 编号	版本号	日期

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	厚度	尺寸(NPS)	表号	直径
母材材料							
焊接到							
衬垫材料							
其他							

接头细节	
坡口类型	
坡口角度	
根部间隙	
钝边	
背面清根	
方法	

焊后热处理	
温度	
保温时间	
其他	

接头细节(草图)

工艺									
焊层									
焊道									
方法									
类型(手工焊接、机械化焊接等)									
位置									
向上施焊									
填充金属(AWS 规范)									
AWS 分类									
直径									
制造商/品牌名称									
保护气体成分(GTAW)									
流量(GTAW)									
喷嘴尺寸 (GTAW)									
预热温度									
道间温度									
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—	—
电流类型&极性									
过渡方式(GMAW)									
电源类型(cc、cv 等)									
电流									
电压									
送丝速度									
焊接速度									
最大热输入									
技术	—	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动									
多焊道或单焊道(每侧)									
振动形式(GTAW 机械化/自动化)									
横移长度									
横移速度									
停顿时间									
焊条数量									
导电咀到工件距离									
锤击									
道间清理									
其他									

表格 M-1(正面)

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

PQR 表格的空白样表(SAW—第 1 页)

工艺评定记录(PQR)

公司名称	PQR 编号	版本号	日期

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	厚度	尺寸(NPS)	表号	直径
母材材料							
焊接到							
衬垫材料							
其他							

接头细节	
坡口类型	
坡口角度	
根部间隙	
钝边	
背面清根	
方法	

焊后热处理	
温度	
保温时间	
其他	

接头细节(草图)

工艺									
焊层									
焊道									
方法	SAW								
类型(手工焊接、机械化焊接等)									
位置									
填充金属(AWS 规范)									
AWS 分类									
焊条直径									
焊丝-焊剂分类									
制造商/品牌名称									
补充性填充金属									
预热温度									
道间温度									
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—	—
电流类型&极性									
电流									
电压									
送丝速度									
焊接速度									
最大热输入									
技术	—	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动									
多焊道或单焊道(每侧)									
焊条数量									
电弧横向间距									
电弧纵向间距									
并联焊丝的角度									
焊条角度(机械化/自动化)									
垂直方向焊接									
振动形式(GTAW 机械化/自动化)									
横移长度									
横移速度									
停顿时间									
锤击									
道间清理									
其他									

表格 M-1(正面)

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

工艺评定记录(POR)试验结果

版本号

✓	试验类型	章节/图参考编号	验收准则	结果	备注
	目视检验	4.9.1	4.9.1		
	射线检测	4.9.2.1	4.9.2.2		
	超声检测	4.9.2.1	4.9.2.2		
	2 横向根部弯曲	4.9.3.1/图 4.8	4.9.3.3		
	2 横向正面弯曲	4.9.3.1/图 4.8	4.9.3.3		
	2 纵向根部弯曲	4.9.3.1/图 4.8	4.9.3.3		
	2 纵向正面弯曲	4.9.3.1/图 4.8	4.9.3.3		
	2 侧面弯曲	4.9.3.1/图 4.9	4.9.3.3		
	4 侧面弯曲	4.9.3.1/图 4.9	4.9.3.3		
	2 拉伸试验	4.9.3.4/图 4.10	4.9.3.5		
	全焊缝金属拉伸试验	4.9.3.6/图 4.14 和图 4.18	4.14.1.3(b)		
	3 宏观腐蚀试验	4.9.4	4.9.4.1		
	4 宏观腐蚀试验	4.9.4	4.9.4.1		
	CVN 试验	4(D 部分)/图 4.28	4.30 和表 4.14		

试验编号	宽度	厚度	面积	极限拉伸荷载	极限单位应力	断裂类型及位置

试验数据如下							平均值
试验编号	缺口位置	试样规格	试验温度	吸收能力	剪切百分比	横向膨胀	

焊工姓名	ID 编号	印章编号

实验室	
试验编号	
档案编号	

头衔	
姓名	签字
日期	

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

PQR 表格的样表(GMAW & FCAW—第 1 页)

工艺评定记录(PQR)

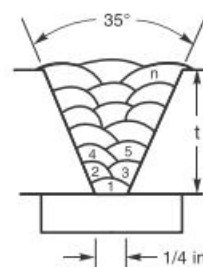
Red Inc.	231	0	01/18/2015
公司名称	PQR 编号	版本号	日期

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	厚度	尺寸(NPS)	表号	直径
母材材料	ASTM A131	A	I	1 in.	—	—	—
焊接到	ASTM A131	A	I	1 in.	—	—	—
衬垫材料	ASTM A131	A	I	1/4 in.			
其他							

接头细节	
坡口类型	单边 V 形坡口对接接头
坡口角度	35°(夹角)
根部间隙	1/4 in.
钝边	—
背面清根	无
方法	—

焊后热处理	
温度	—
保温时间	—
其他	—

接头细节(草图)



工艺								
焊层	-	-	-	-	-			
焊道	1	2-8	9-11	12-15	16			
方法	FCAW	FCAW	FCAW	FCAW	FCAW			
类型(手工焊接、机械化焊接等)	半自动	半自动	半自动	半自动	半自动			
位置	4G	4G	4G	4G	4G			
向上施焊	-	-	-	-	-			
填充金属(AWS 规范)	A5.20	A5.20	A5.20	A5.20	A5.20			
AWS 分类	E71T-1C	E71T-1C	E71T-1C	E71T-1C	E71T-1C			
直径	0.045 in.	0.045 in.	0.045 in.	0.045 in.	0.045 in.			
制造商/品牌名称	-	-	-	-	-			
保护气体成分(GTAW)	100%CO ₂	100%CO ₂	100%CO ₂	100%CO ₂	100%CO ₂			
流量(GTAW)	45-55 cfh	45-55 cfh	45-55 cfh	45-55 cfh	45-55 cfh			
喷嘴尺寸 (GTAW)	#4	#4	#4	#4	#4			
预热温度	75° min.	75° min.	75° min.	75° min.	75° min.			
道间温度	75°-350°	75°-350°	75°-350°	75°-350°	75°-350°			
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—
电流类型&极性	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP			
过渡方式(GMAW)	-	-	-	-	-			
电源类型(cc、cv 等)	-	-	-	-	-			
电流	180	200	200	200	200			
电压	26	27	27	27	27			
送丝速度	(Amps)	(Amps)	(Amps)	(Amps)	(Amps)			
焊接速度	8 ipm	10 ipm	11 ipm	9 ipm	11 ipm			
最大热输入	-	-	-	-	-			
技术	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动	直线	直线	直线	直线	直线			
多焊道或单焊道(每侧)	多焊道	多焊道	多焊道	多焊道	多焊道			
振动形式(GTAW 机械化/自动化)	-	-	-	-	-			
焊条数量	1	1	1	1	1			
导电咀到工件距离	3/4-1 in.	3/4-1 in.	3/4-1 in.	3/4-1 in.	3/4-1 in.			
锤击	无	无	无	无	无			
道间清理	钢丝刷	钢丝刷	钢丝刷	钢丝刷	钢丝刷			
其他								

表格 M-1(正面)

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

PQR 表格的样表(GMAW & FCAW—第 2 页)

工艺评定记录(PQR)试验结果

231
PQR 编号0
版本号

试验

✓	试验类型	章节/图参考编号	验收准则	结果	备注
✓	目视检验	4.9.1	4.9.1	合格	
✓	射线检测	4.9.2.1	4.9.2.2	合格	
	超声检测	4.9.2.1	4.9.2.2		
	2 横向根部弯曲	4.9.3.1/图 4.8	4.9.3.3		
	2 横向正面弯曲	4.9.3.1/图 4.8	4.9.3.3		
	2 纵向根部弯曲	4.9.3.1/图 4.8	4.9.3.3		
	2 纵向正面弯曲	4.9.3.1/图 4.8	4.9.3.3		
	2 侧面弯曲	4.9.3.1/图 4.9	4.9.3.3		
✓	4 侧面弯曲	4.9.3.1/图 4.9	4.9.3.3	合格	间隙<1/16 in.
✓	2 拉伸试验	4.9.3.4/图 4.10	4.9.3.5	合格	
✓	全焊缝金属拉伸试验	4.9.3.6/图 4.14 和图 4.18	4.14.1.3(b)	合格	*见注释
	3 宏观腐蚀试验	4.9.4	4.9.4.1		
	4 宏观腐蚀试验	4.9.4	4.9.4.1		
✓	CVN 试验	4(D 部分)/图 4.28	4.30 和表 4.14		

注: *全焊缝金属拉伸试验: T/Y: 83 100/72 600 psi, 2 in.伸长率: 28%, 实验室试验编号: PW 231。

拉伸试验细节

试验编号	宽度	厚度	面积	极限拉伸荷载	极限单位应力	断裂类型及位置
231-1	0.75 in.	100 in.	0.75 in. ²	52 500 lb	70 000 psi	韧性断裂/焊缝金属
231-2	0.75 in.	100 in.	0.75 in. ²	52 275 lb	69 700 psi	韧性断裂/焊缝金属

韧性试验细节

试验编号	缺口位置	试样规格	试验温度	吸收能力	剪切百分比	横向膨胀	平均值
231-7	BM	10×10 mm	-20°F	126 ft·lb	50%	45 mils	125/50/45
231-8	BM	10×10 mm	-20°F	124 ft·lb	50%	45 mils	
231-9	BM	10×10 mm	-20°F	125 ft·lb	50%	45 mils	
231-10	HAZ	10×10 mm	-20°F	86 ft·lb	50%	45 mils	85 ft·lb 50% 45 mils
231-11	HAZ	10×10 mm	-20°F	84 ft·lb	50%	45 mils	
231-12	HAZ	10×10 mm	-20°F	85 ft·lb	50%	45 mils	
231-13	WM	10×10 mm	-20°F	27 ft·lb	50%	45 mils	28 ft·lb 50% 45 mils
231-14	WM	10×10 mm	-20°F	29 ft·lb	50%	45 mils	
231-14	WM	10×10 mm	-20°F	28 ft·lb	50%	45 mils	

证明

焊工姓名	ID 编号	印章编号
W. T. Williams	261	

试验执行方:	
实验室	Red Inc. & ABC Testing
试验编号	PQR 231 (按 D. Miller)
档案编号	WeldingForms/PQR231.pdf

下列签字人证实本报告所述内容正确无误, 并且按 AWS D1.1/D1.1M(____年版)《钢结构焊接规范》第 4 节要求准备、焊接和检测焊缝。

头衔	
姓名	签字
日期	

表格 M-1(反面)

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

WPS 表格的空白样表(GTAW & SMAW)
焊接工艺规程(WPS)

公司名称	WPS 编号	版本号	日期

授权人	日期	支持性 PQR	CVN 报告

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	母材厚度	焊态	PWHT
母材材料				CJP 坡口焊缝		
焊接到				CJP 坡口焊缝/CVN		
衬垫材料				PJP 坡口焊缝		
其他				角焊缝		
				直径		

接头细节	
坡口类型	
坡口角度	
根部间隙	
钝边	
背面清根	
方法	

焊后热处理	
温度	
保温时间	
其他	

接头细节(草图)

工艺								
焊层								
焊道								
方法								
类型(手工焊接、机械化焊接等)								
位置								
向上施焊								
填充金属(AWS 规范)								
AWS 分类								
直径								
制造商/品牌名称								
保护气体成分(GTAW)								
流量(GTAW)								
喷嘴尺寸(GTAW)								
预热温度								
道间温度								
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—
焊条直径(GTAW)								
电流类型&极性								
电流								
电压								
冷丝或热丝(GTAW)								
焊接速度								
最大热输入								
技术	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动								
多焊道或单焊道(每侧)								
振动形式(GTAW 机械化/自动化)								
横移长度								
横移速度								
停顿时间								
锤击								
道间清理								
其他								

表 M-2

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

WPS 表格的空白样表(GMAW & FCAW)
焊接工艺规程(WPS)

公司名称	WPS 编号	版本号	日期
授权人	日期	支持性 PQR	CVN 报告

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号
母材材料			
焊接到			
衬垫材料			
其他			

母材厚度	焊态	PWHT
CJP 坡口焊缝		
CJP 坡口焊缝/CVN		
PJP 坡口焊缝		
角焊缝		
直径		

接头细节	
坡口类型	
坡口角度	
根部间隙	
钝边	
背面清根	
方法	

焊后热处理	
温度	
保温时间	
其他	

接头细节(草图)

工艺								
焊层								
焊道								
方法								
类型(半自动、机械化等)								
位置								
向上施焊								
填充金属(AWS 规范)								
AWS 分类								
直径								
制造商/品牌名称								
保护气体(成分)								
流量								
喷嘴尺寸								
预热温度								
道间温度								
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—
电流类型&极性								
过渡模式								
电源类型(cc、cv 等)								
电流								
电压								
送丝速度								
焊接速度								
最大热输入								
技术	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动								
多焊道或单焊道(每侧)								
振动形式(GTAW 机械化/自动化)								
横移长度								
横移速度								
停顿时间								
焊条数量								
导电咀到工件距离								
锤击								
道间清理								
其他								

表 M-2

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

WPS 表格的空白样表(SAW)
焊接工艺规程(WPS)

公司名称	WPS 编号	版本号	日期
授权人	日期	支持性 PQR	CVN 报告

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号
母材材料			
焊接到			
衬垫材料			
其他			

母材厚度	焊态	PWHT
CJP 坡口焊缝		
CJP 坡口焊缝/CVN		
PJP 坡口焊缝		
角焊缝		
直径		

接头细节	
坡口类型	
坡口角度	
根部间隙	
钝边	
背面清根	
方法	

焊后热处理	
温度	
保温时间	
其他	

接头细节(草图)

工艺								
焊层								
焊道								
方法	SAW							
类型(半自动、机械化等)								
位置								
填充金属(AWS 规范)								
AWS 分类								
焊条直径								
焊条/焊条分类								
制造商/品牌名称								
补充性填充金属								
预热温度								
道间温度								
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—
电流类型&极性								
电流								
电压								
送丝速度								
焊接速度								
最大热输入								
技术	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动								
多焊道或单焊道(每侧)								
焊条数量								
电弧纵向间距								
电弧横向间距								
并联焊丝的角度								
焊条角度(机械化/自动化)								
垂直方向焊接								
振动形式(GTAW 机械化/自动化)								
横移长度								
横移速度								
停顿时间								
锤击								
道间清理								
其他								

表 M-2

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

免评定 WPS 示例

焊接工艺规程(WPS)

LECO	W2081	2	01/03/2015
公司名称	WPS 编号	版本号	日期
C. W. Hayes	01/03/2015	无(免评定)	无
授权人	日期	支持性 PQR	CVN 报告

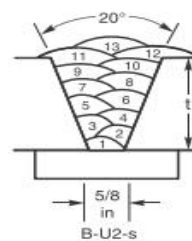
母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号
母材材料	ASTM A36	-	II
焊接到	ASTM A36	-	II
衬垫材料	ASTM A36	-	-
其他			

母材厚度	焊态	PWHT
CJP 坡口焊缝	> 3/4–2.5 in.	-
CJP 坡口焊缝/CVN	-	-
PJP 坡口焊缝	-	-
角焊缝	-	-
直径	-	-

接头细节	
坡口类型	单边 V 形坡口对接接头
坡口角度	20°
根部间隙	5/8 in.
钝边	-
背面清根	无
方法	-

焊后热处理	
温度	
保温时间	
其他	

接头细节(草图)



工艺									
焊层	全部								
焊道	全部								
方法	SAW								
类型(半自动、机械化等)	机械化								
位置	F								
填充金属(AWS 规范)	A5.17								
AWS 分类	EM12K								
焊条直径	5/32 in.								
焊条/焊条分类	F7A2-EM12K								
制造商/品牌名称	(Flux XYZ)								
补充性填充金属	-								
预热温度	150°F min.								
道间温度	500°F max.								
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—	—
电流类型&极性	DCEP								
电流	500–600								
电压	26–30								
送丝速度	-								
焊接速度	20–25 ipm								
最大热输入	-								
技术	—	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动	直线								
多焊道或单焊道(每侧)	多焊道								
焊条数量	1								
电弧纵向间距	-								
电弧横向间距	-								
并联焊丝的角度	-								
焊条角度(机械化/自动化)	5° ± 2°								
垂直方向焊接	90° ± 2°								
振动形式(GTAW 机械化/自动化)	无								
横移长度	-								
横移速度	-								
停顿时间	-								
锤击	无								
道间清理									
其他	清除焊渣								

表 M-2

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

WPS 示例(单焊道) 焊接工艺规程(WPS)

RED Inc.	2010	0	12/01/2015
公司名称	WPS 编号	版本号	日期
J. Jones	12/01/2015	231	无
授权人	日期	支持性 PQR	CVN 报告

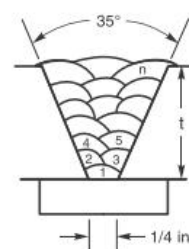
母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号
母材材料	ASTM A131	A	I
焊接到	ASTM A131	A	I
衬垫材料	ASTM A131	A	I
其他			

母材厚度	焊态	PWHT
CJP 坡口焊缝	3/4–1½ in.	-
CJP 坡口焊缝/CVN	-	-
PJP 坡口焊缝	-	-
角焊缝	-	-
直径	-	-

接头细节	
坡口类型	单边 V 形坡口对接接头
坡口角度	35°(夹角)
根部间隙	1/4 in.
钝边	-
背面清根	无
方法	-

焊后热处理	
温度	
保温时间	
其他	

接头细节(草图)



工艺								
焊层	全部							
焊道	全部							
方法	FCAW							
类型(半自动、机械化等)	半自动							
位置	OH							
向上施焊	-							
填充金属(AWS 规范)	A5.20							
AWS 分类	E71T-1C							
直径	0.045 in.							
制造商/品牌名称	-							
保护气体(成分)	100%CO ₂							
流量	45–55 cfh							
喷嘴尺寸	#4							
预热温度	60° min.							
道间温度	60°–350°							
电特性	—	—	—	—	—	—	—	—
电流类型&极性	DCEP							
过渡模式	-							
电源类型(cc、cv 等)	CV							
电流	180–220							
电压	25–26							
送丝速度	(Amps)							
焊接速度	8–12 ipm							
最大热输入	-							
技术	—	—	—	—	—	—	—	—
直线或横向摆动	直线							
多焊道或单焊道(每侧)	多焊道							
振动形式(GTAW 机械化/自动化)	-							
焊条数量	1							
导电咀到工件距离	1/2–1 in.							
锤击	无							
道间清理	钢丝刷							
其他								

表 M-2

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

电渣焊和气电焊的 WPS 评定试验记录

工艺规程

材料规范 _____
 焊接方法 _____
 焊接位置 _____
 填充金属规范 _____
 填充金属等级 _____
 填充金属 _____
 焊剂 _____
 保护气体 _____ 流量 _____
 气体露点 _____
 此次试验所评定的厚度范围 _____
 单焊道或多焊道 _____
 单电弧或多电弧 _____
 焊接电流 _____
 预热温度 _____
 后热温度 _____
 焊工姓名 _____
 导丝管焊剂 _____
 导丝管成分 _____
 导丝管直径 _____
 垂直上升速度 _____
 横移长度 _____
 横移速度 _____
 停顿时间 _____
 成形模块的类型 _____
目视检验(表 6.1“承受循环荷载的结构”)
 外观 _____
 咬边 _____
 管状气孔 _____
 检测日期 _____
 见证人 _____

试验结果

收缩断面拉伸试验

抗拉强度, psi _____
 1. _____
 2. _____

全焊缝金属拉伸试验

抗拉强度, psi _____
 屈服点/屈服强度, psi _____
 2 in. 伸长率, % _____

侧面弯曲试验

1. _____ 3. _____
 2. _____ 4. _____

射线—超声检测

RT 报告编号 _____
 UT 报告编号 _____

冲击试验

试样尺寸 _____ 试验温度 _____
 Ft·lb: 1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____
 5. _____ 6. _____ 平均值 _____
 最高值 _____ 最低值 _____
 实验室试验编号 _____

焊接工艺

焊道编号	焊条规格	焊接电流		接头细节
		电流	电压	

下列签字人证实本报告所述内容正确无误, 并且按 AWS D1.1/D1.1M(____年版)《钢结构焊接规范》第 6 节 F 部分的要求准备和检测焊缝。

工艺编号 _____
 版本号 _____

制造商或承包商 _____
 授权人 _____
 日期 _____

表 M-3

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

焊工评定表格空白样表(单道焊)

焊工、焊接操作工或定位焊工技能评定试验记录

姓名		可选 照片	试验日期		版本
ID 编号			记录编号		
印章编号			标准试验编号		
公司			WPS 编号		
部门			评定目标		

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	厚度	尺寸(NPS)	表号	直径
母材材料							
焊接到							

参数	实际值	所评定范围
焊接接头类型		
母材		

	坡口焊缝	角焊缝	坡口焊缝	角焊缝
板厚				
管材壁厚				
管材直径				

焊接方法		
类型(手工、半自动、机械化、自动化)		
衬垫		
填充金属(AWS 规范)		
AWS 分类		
F-编号		
位置		
坡口焊缝—板材&管材≥ 24 in.		
坡口焊缝—管材< 24 in.		
角焊缝—板材&管材≥ 24 in.		
角焊缝— 管材< 24 in.		
方位		
GMAW 过渡模式		
单焊条或多焊条		
气体/焊剂类型		

试验结果

试验类型	验收准则	结果	备注

证明

试验执行方:

实验室	
试验编号	
档案编号	

下列签字人证实本报告所述内容正确无误, 并且按 AWS D1.1/D1.1M(____年版)《钢结构焊接规范》第 4 节要求准备、焊接和检测焊缝。

制造商或承包商_____ 授权人_____

日期_____

表 M-4

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

焊工评定表格示例(单道焊)

焊工、焊接操作工或定位焊工技能评定试验记录

姓名	Z. W. Elder	可选 照片	试验日期	12/12/2015	版本
ID 编号	00-001-ZWE		记录编号	WPQ-001	0
印章编号	ZWE-1		标准试验编号	ST-001	0
公司	RED Inc.		WPS 编号	WPS-001	0
部门	-		评定目标	AWS D1.1	

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	厚度	尺寸(NPS)	表号	直径
母材材料	ASTM A36	UNS K02600	I	-	-	3/8 in.	-
焊接到	ASTM A36	UNS K02600	I	-	-	3/8 in.	-

参数	实际值	所评定范围
焊接接头类型	板材-坡口(图 4.31), 用衬垫	坡口焊缝、角焊缝、塞焊缝和槽焊缝(仅限 T 形-Y 形、K 形坡口 PJP)
母材	I 组到 I 组	任何通过 AWS D1.1 评定的母材

	坡口焊缝	角焊缝	坡口焊缝	角焊缝
板厚	3/8 in.	-	1/8 in. – 3/4 in.	1/8 in.(最小值)
管材壁厚	-	-	1/8 in. – 3/4 in.	无限定
管材直径	-	-	24 in.(最小值)	无限定

焊接方法	GMAW	GMAW
类型(手工、半自动、机械化、自动化)	半自动	半自动、机械化、自动化
衬垫	有衬垫	有衬垫(包括背面清根和背焊)
填充金属(AWS 规范)	A5.18	A5.xx
AWS 分类	ER70S-6	全部
F-编号	-	-
位置	2G、3G 和 4G	
坡口焊缝—板材&管材≥ 24 in.		全部
坡口焊缝—管材< 24 in.		-
角焊缝—板材&管材≥ 24 in.		全部
角焊缝— 管材< 24 in.		全部
方位	向上立焊	向上立焊
GMAW 过渡模式	熔滴	喷射、脉冲喷射、熔滴
单焊条或多焊条	单焊条	单焊条
气体/焊剂类型	A5.32 SG-C	批准的 A5.xx

试验结果

试验类型	验收准则	结果	备注
目视检验(按 4.9.1)	4.9.1	合格	
每个位置: 1 次根部弯曲(按 4.8.3.1 和图 4.8)	4.9.3.3	合格	
每个位置: 1 次正面弯曲(按 4.9.3.1 和图 4.8)	4.9.3.3	合格	3G: 小间隙(<1/16 in.)

证明

试验执行方:

实验室	Welding Forms Lab
试验编号	Fictitious Test XYZ
档案编号	Welding Forms/Sample-WPQ-for-GMAW.pdf

下列签字人证实本报告所述内容正确无误, 并且按 AWS D1.1/D1.1M(____年版)《钢结构焊接规范》第 4 节要求准备、焊接和检测焊缝。

制造商或承包商 Red Inc 授权人 E.M.Ployee(Q.C.Mgr)

日期 12/12/2015

表 M-4

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

焊工评定表格空白样表(多道焊)

焊工、焊接操作工或定位焊工技能评定试验记录

姓名		可选 照片	试验日期		版本
ID 编号			记录编号		
印章编号			标准试验编号		
公司			WPS 编号		
部门			评定目标		

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	厚度	尺寸(NPS)	表号	直径
母材材料							
焊接到							

参数	实际值	所评定范围
焊接接头类型		
母材		

	坡口焊缝	角焊缝	坡口焊缝	角焊缝
板厚				
管材壁厚				
管材直径				

焊接方法		
类型(手工、半自动、机械化、自动化)		
衬垫		
填充金属(AWS 规范)		
AWS 分类		
F-编号		
位置		
坡口焊缝—板材&管材≥ 24 in.		
坡口焊缝—管材< 24 in.		
角焊缝—板材&管材≥ 24 in.		
角焊缝— 管材< 24 in.		
方位		
GMAW 过渡模式		
单焊条或多焊条		
气体/焊剂类型		

试验结果

试验类型	验收准则	结果	备注

证明

试验执行方:

实验室	
试验编号	
档案编号	

下列签字人证实本报告所述内容正确无误, 并且按 AWS D1.1/D1.1M(____年版)《钢结构焊接规范》第 4 节要求准备、焊接和检测焊缝。

制造商或承包商_____ 授权人_____

日期_____

表 M-5

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

焊工评定表格示例(多道焊)

焊工、焊接操作工或定位焊工技能评定试验记录

姓名	Z. W. Elder	可选 照片	试验日期	12/12/2015	版本
ID 编号	00-001-ZWE		记录编号	WPQ-003	0
印章编号	ZWE-1		标准试验编号	ST-003	0
公司	RED Inc.		WPS 编号	WPS-003	0
部门	-		评定目标	AWS D1.1	

母材	规范	类型或等级	AWS 分组编号	厚度	尺寸(NPS)	表号	直径
母材材料	ASTM A36	UNS K02600	II	-	-	1 in.	-
焊接到	ASTM A36	UNS K02600	II	-	-	1 in.	-

参数	实际值	所评定范围
焊接接头类型	板材-坡口(图 4.31), 用衬垫	坡口焊缝、角焊缝、塞焊缝和槽焊缝 (仅限 T 形-Y 形、K 形坡口 PJP)
母材	I 组到 I 组	任何通过 AWS D1.1 评定的母材

	坡口焊缝	角焊缝	坡口焊缝	角焊缝
板厚	1 in.	-	1/8 in.(最小值)	1/8 in.(最小值)
管材壁厚	-	-	1/8 in.(最小值)	无限定
管材直径	-	-	24 in.(最小值)	无限定

焊接方法	GTAW	SMAW	FCAW	GTAW	SMAW	FCAW
类型(手工、半自动、机械化、自动化)	手工	手工	手工	手工/机械化/自动化	手工/机械化/自动化	手工/机械化/自动化
衬垫	有衬垫	有衬垫	有衬垫	有衬垫	有衬垫	有衬垫
填充金属(AWS 规范)	A5.18	A5.1	A5.20	A5.xx	A5.xx	A5.xx
AWS 分类	ER70S-2	E7018	E70T-6	全部	全部	全部
F-编号	-	4	-	-	1~4	-
位置	1G	1G	1G			
坡口焊缝-板材&管材≥ 24 in.				F	F	F
坡口焊缝-管材< 24 in.				-	-	-
角焊缝-板材&管材≥ 24 in.				F, H	F, H	F, H
角焊缝- 管材< 24 in.				F, H	F, H	F, H
方位	-	-	-	-	-	-
GMAW 过渡模式	-	-	-	-	-	-
单焊条或多焊条	单焊条	-	单焊条	单焊条	-	单焊条
气体/焊剂类型	A5.32 SG-A	-	无	批准的 A5.xx	-	批准的 A5.xx

试验结果

试验类型	验收准则	结果	备注
目视检验(按 4.9.1)	4.9.1	合格	
2 次横向侧面弯曲试验(按 4.9.3.1 和图 4.8)	4.9.3.3	合格	

试验执行方:

实验室	Welding Forms Lab
试验编号	Fictitious Test XYZ
档案编号	Welding Forms/Sample-WPQ-for-GMAW.pdf

下列签字人证实本报告所述内容正确无误, 并且按 AWS D1.1/D1.1M(____年版)《钢结构焊接规范》第 4 节要求准备、焊接和检测焊缝。

制造商或承包商 _____ Red Inc _____ 授权人 _____ E.M.Ployee(Q.C.Mgr) _____

日期 _____ 12/12/2015 _____

表 M-5

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

项目 _____

质量要求—章节号 _____

呈交 _____

技术

射线源

胶片到射线源距离

曝光时间

显示屏

胶片类型

(描述所有接受过射线检测的接头的长度、宽度和厚度)

[illegible]

射线检测员_____ 制造商或承包商_____

判断人员_____ 授权人_____

检测日期_____ 日期_____

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

焊缝磁粉检测报告

项目 _____

质量要求—章节号 _____

呈交 _____

焊缝位置和识别概要

数量: _____ 总的合格数量: _____ 总的不合格数量: _____

日期	焊缝识别 标识	检测部位		判断		修补		备注
		全部	特定部位	合格	不合格	合格	不合格	

检测前

表面准备: _____

设备

仪器品牌: _____ 型号: _____ 序列号: _____

检测方法

☐ 干粉 ☐ 湿粉 ☐ 可见光 ☐ 荧光粉

如何施加介质: _____

☐ 剩磁法 ☐ 连续法 ☐ 真正的连续法

☐ AC ☐ DC ☐ 半波

☐ 双圆棒电极 ☐ 磁轭法 ☐ 电缆缠绕 ☐ 其他
磁场方向 ☐ 圆周磁场 ☐ 纵向磁场

磁场强度: _____

(安匝数、磁场强度、磁化力、施力次数和持续时间)

检测后

推辞技术(如有必要): _____

清理(如有必要): _____ 标记方法: _____

下列签字人证实本报告所述内容正确无误, 并且按 AWS D1.1/D1.1M(_____ 年版)《钢结构焊接规范》要求准备和检测焊缝。

射线检测员 _____ 制造商或承包商 _____

判断人员 _____ 授权人 _____

检测日期 _____ 日期 _____

表 M-7

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

按第 7.6 小节进行的螺柱焊应用评定试验数据 是 ☐按第 7.7.1 小节进行的生产前试验 是 ☐或工艺评定记录(PQR) 是 ☐或焊工评定记录 是 ☐

公司名称 _____
 操作者名称 _____
 试验编号 _____
 焊接螺柱材料 _____
 焊接螺柱尺寸和 PN#/制造商 _____

母材

规范 _____
 合金和回火处理 _____
 表面条件 HR ☐ CR ☐
 涂层 _____
 清理方法 _____
 盖板规格 _____

母材形状

☐ 扁平状 ☐ 圆形 ☐ 管状
☐ 倾斜状 ☐ 内侧 ☐ 外侧 ☐ 内径

厚度 _____

防护套圈

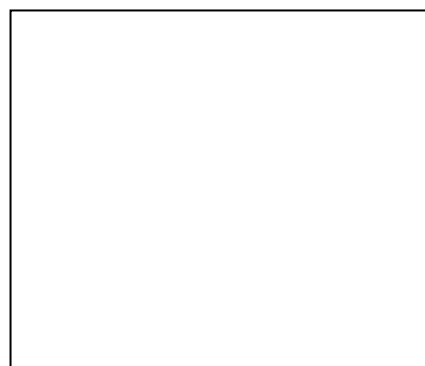
件号/制造商 _____
 防护套圈描述 _____

设备数据**应用设定值、电流和时间设定值**

品牌 _____ 型号 _____
 螺柱焊枪: 品牌 _____ 型号 _____
 焊接时间(s) _____
 电流(A) _____
 极性: DCEN _____ DCEP _____
 提升 _____
 推进 _____
 焊接电缆规格 _____ 长度 _____
 接地线数量(工件引线) _____

焊接位置平焊(手向下) ☐ 横焊(手向侧面) ☐ 与垂直方向成角度 ☐仰焊 ☐**保护气体**

保护气体/成分 _____
 流量 _____

螺柱焊接端简图/应用细节**焊缝试验结果**

螺柱编号	目视检验验收	方案#1: 弯曲试验	方案#2: 拉伸试验	方案#3: 扭矩试验*
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

*注: 扭矩试验仅适用于有螺纹的紧固件。

机械试验由 _____ (公司) 进行 日期 _____
 签字人 _____ (承包商/申请人/其他) 头衔 _____ 日期 _____
 公司 _____

表 M-8

(见 <http://go.aws.org/D1forms>)

本页被故意留为空白。

附录 N

(资料性附录)

向结构焊接委员会进行技术查询的准备工作指南

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

N1. 引言

美国焊接协会(AWS)理事会采取的政策是，所有 AWS 标准的正式解释均按正式方式处理。依据该政策要求，所有解释均由负责相关标准的委员会作出。涉及解释的正式沟通可通过该委员会的 AWS 工作人员进行。这一政策要求以书面形式提出所有希望得到解释的请求。这些要求将尽可能迅速处理，但由于工作的复杂性和必须遵循的程序，一些解释可能需要花费大量时间。

N2. 程序

所有查询均应提交给：

美国焊接协会技术服务部门总经理

8669 NW 36 Street, # 130

Miami, FL 33166

所有查询均应包含查询人姓名、地址和单位，并且应提供足以使委员会完全明白要查询的要点的信息。如果要点含糊不清，那么为了弄清原委，这一查询将被退回。为了提高受理效率，所有查询均应是打印出来的查询，并且宜采用下列规定格式。

N2.1 范围。每次查询均应只谈及规范的一个单独条款，查询的要点包括两个或更多相关条款的情况除外。应在查询范围内标出相关条款，并且还应注明包含了查询人关心的条款的规范的版本。

N2.2 查询的目的。应在查询件中说明查询的目的。目的既可以是得到对规范要求的解释，

也可以是提出对规范特定条款的修改。

N2.3 查询的内容。查询件宜简洁但完整，以使委员会能够迅速、全面地了解查询的要点。合适时应运用简图并列举与查询有关的段落、图形和表格(或附录)。如果查询的要点是要求对规范进行修订，则应在查询件中提供进行这种修订的技术论证。

N2.4 拟推荐的答复。如果要获得推荐答复，则查询人宜陈述作为查询要点的条款的解释，或者陈述拟议修订(如果这是查询人寻求获得的结果)的内容

对查询要点的条款陈述一个解释，或者提出建议修改的措词，如果那是查询人所探索的内容。

N3. 规范条款的解释

规范条款由结构焊接委员会作出解释。委员会的秘书将所有查询件提交给涉及各自分管规范的分委员会主席。分委员会评阅这一查询件并提出应对查询者作出怎样答复方面的建议。分委员会拟定答复后，将查询和答复提交给整个结构焊接委员会审阅和批准。在委员会批准后，解释即被作为学会的正式解释，秘书将答复传送给查询者并交焊接期刊(Welding Journal)发表。

N4. 解释的公布

所有正式解释均应发表在焊接期刊(Welding Journal)上，并且还应发布到 AWS 网页上。

N5. 电话查询

就有关结构焊接规范向 AWS 总部进行的电话查询应限于一般性的问题或直接与规范的使用有关的事宜。对于与 AWS 任何标准的正式解释有关的电话查询，理事会的政策是要求所有 AWS 工作人员告知对方这种解释只能通过书面申请获取。总部工作人员不能提供咨询服务。不过，工作人员可向电话查询人转荐那些姓名刊登在 AWS 总部文件上的任何顾问。

N6. 结构焊接委员会

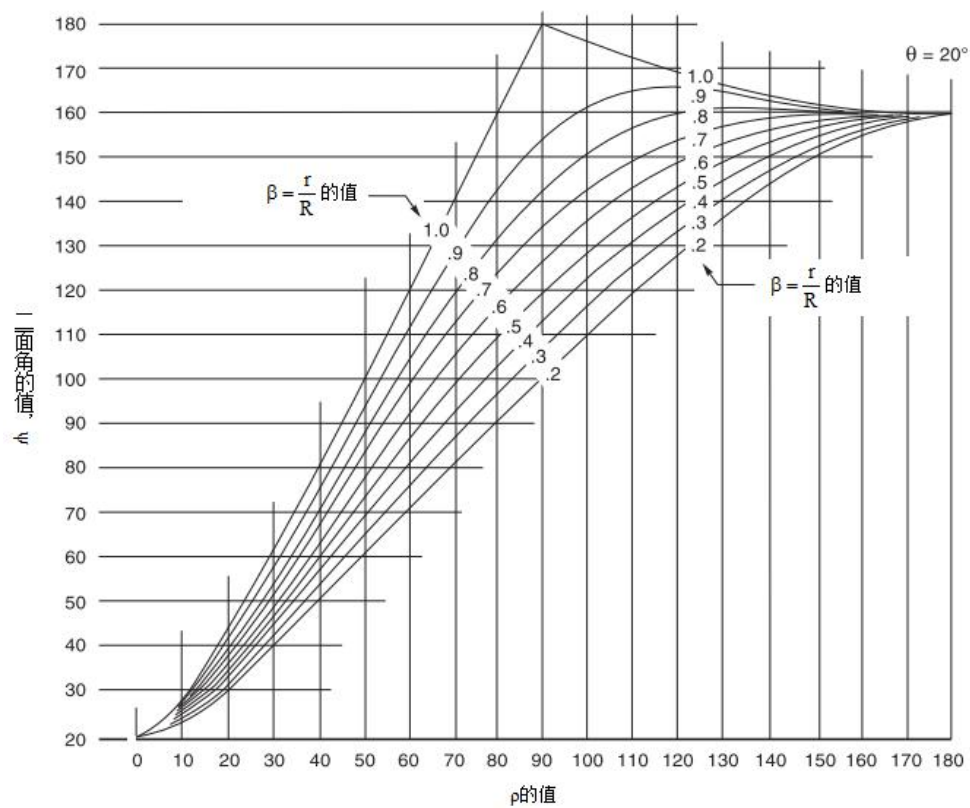
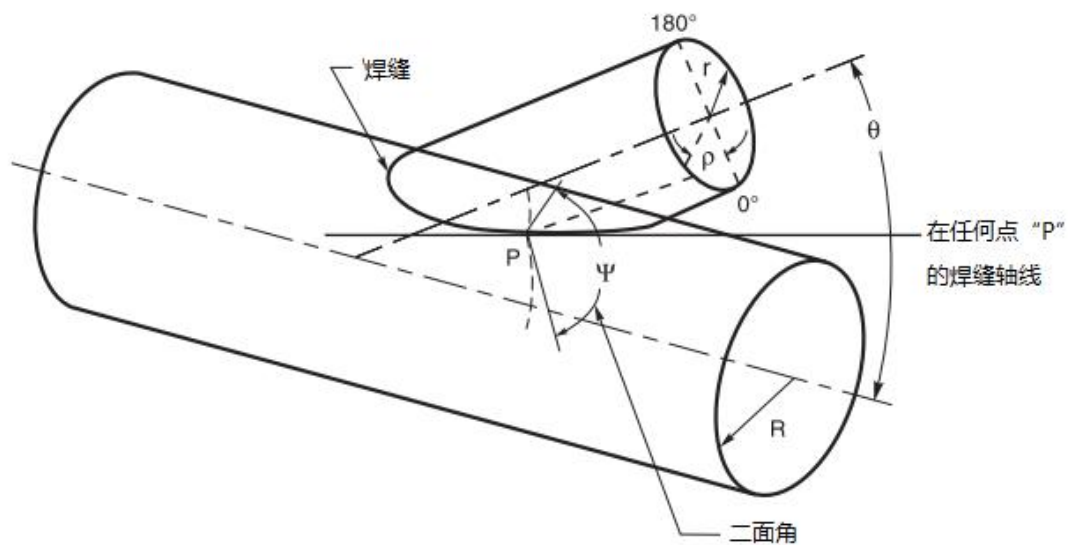
结构焊接委员会关于解释的工作被严格限定为对规范条款的解释或在新资料新技术的基础上考虑修订现有条款。无论是委员会还是工作人员都不对下述方面的问题提供解释或咨询服务：(1)具体的工程问题，或(2)将规范要求用于超出规范范围或规范不明确包括的制作事宜。在这种情况下，查询人应寻求在其查询的特定领域内有经验可胜任的工程师的帮助。

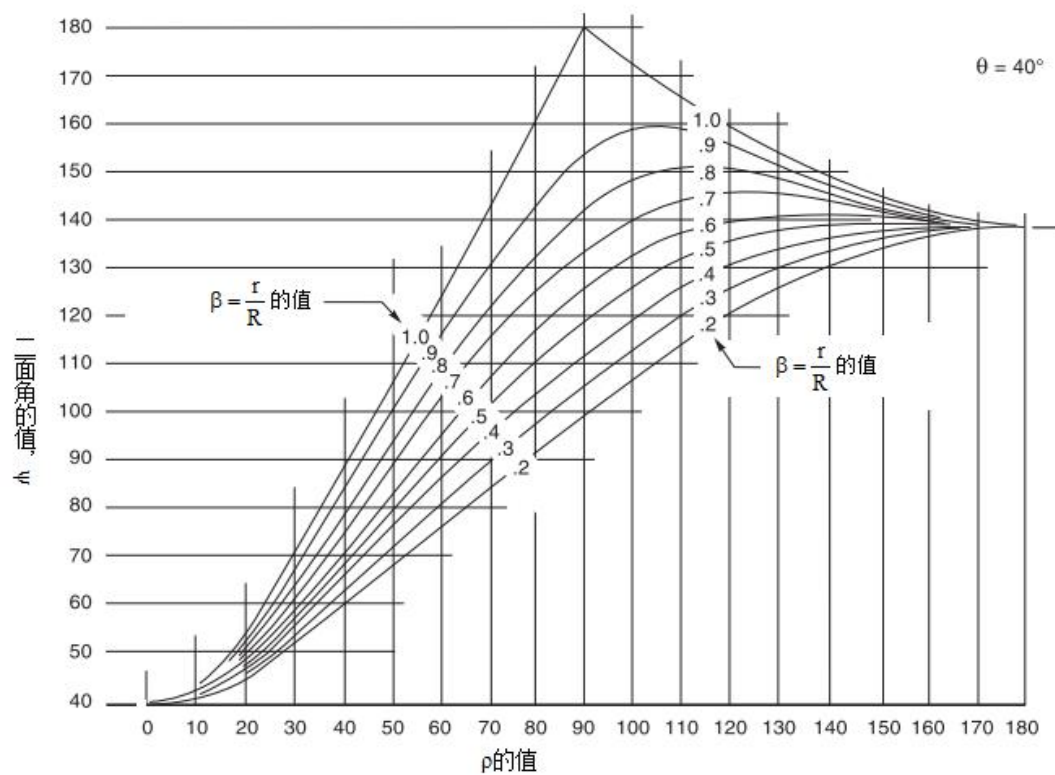
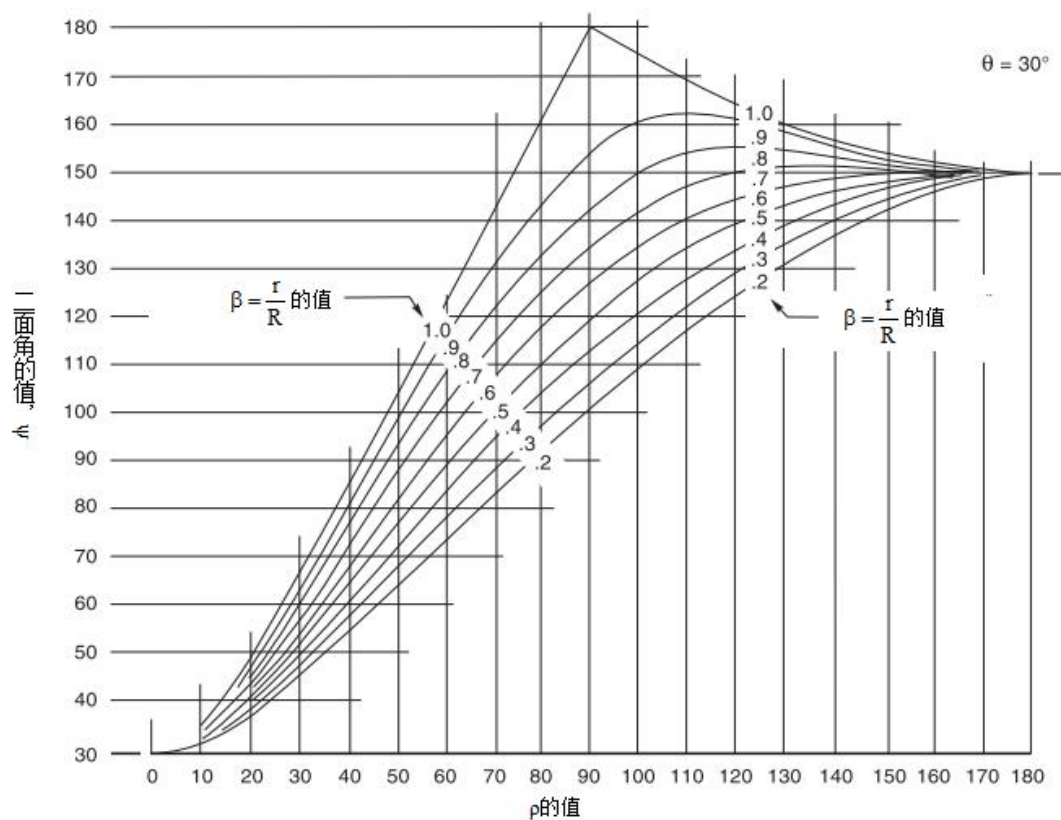
附录 O

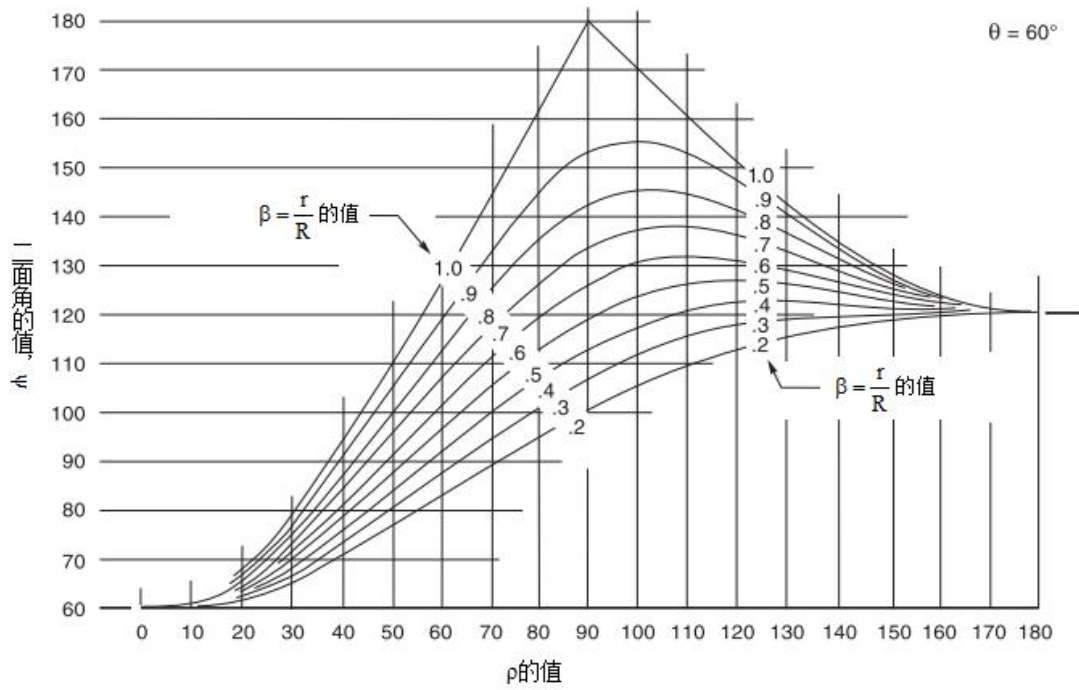
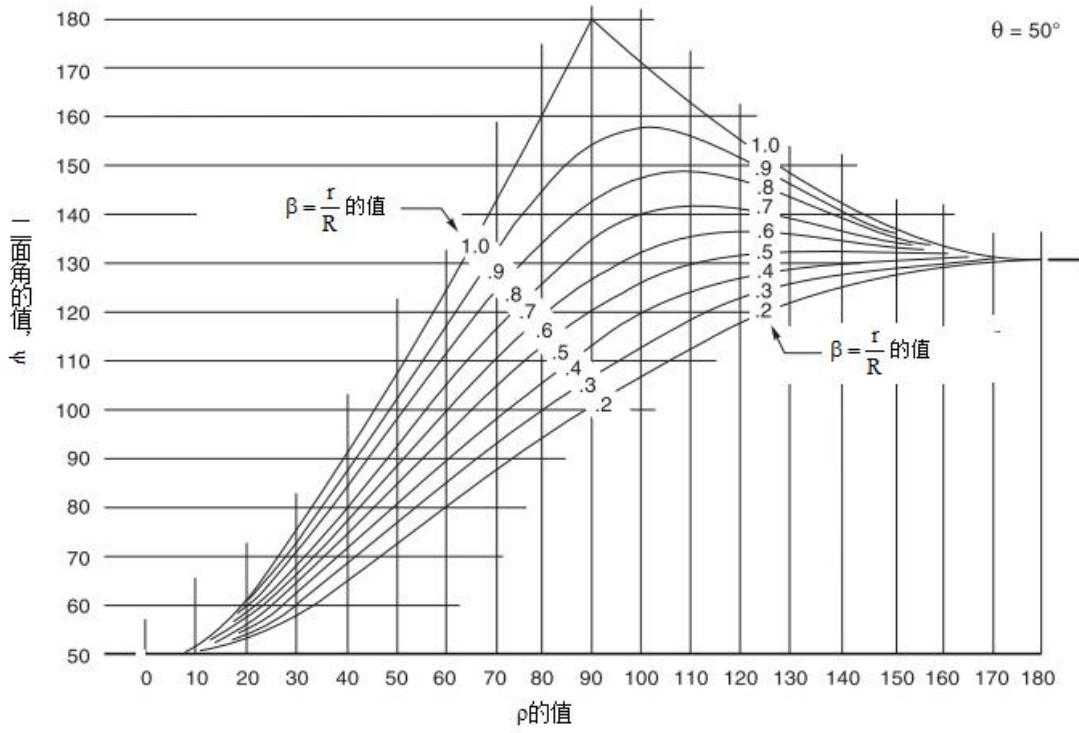
(资料性附录)

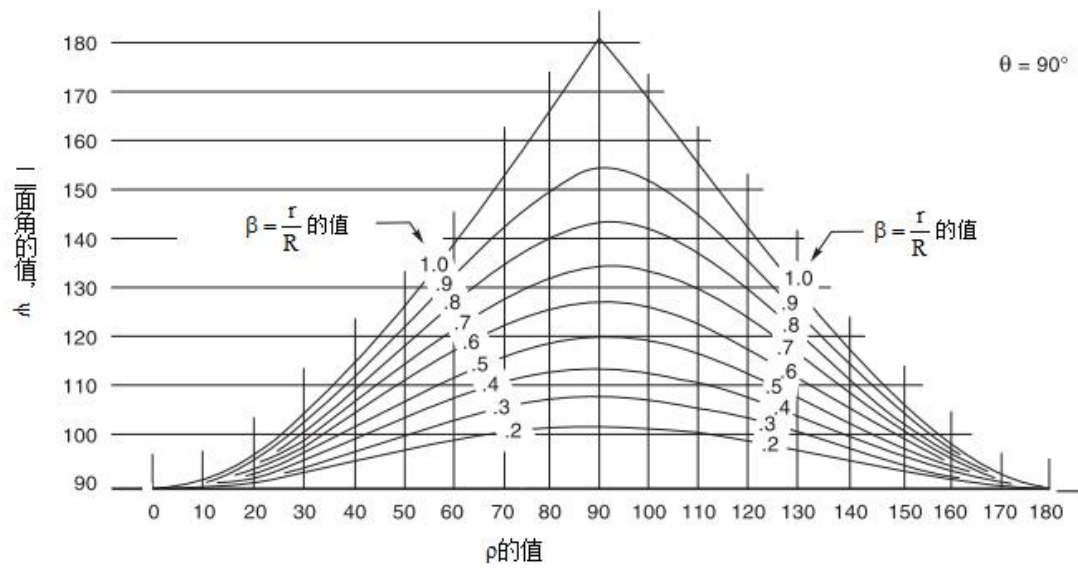
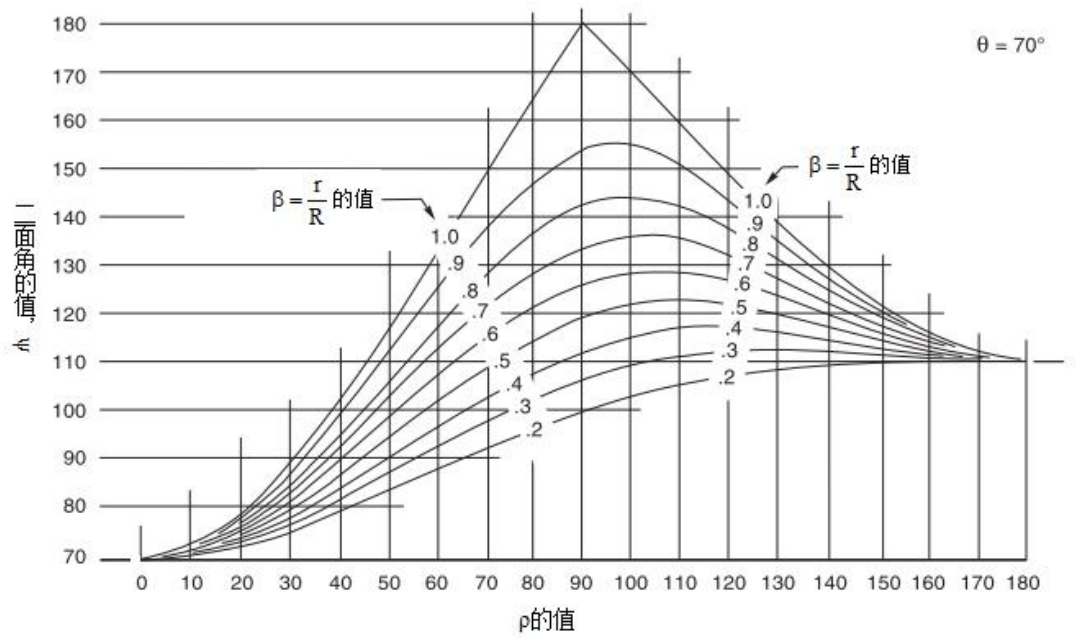
局部二面角

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。









本页被故意留为空白。

附录 P

(资料性附录)

免评定 WPS 的内容

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

免评定焊接需要提供一份阐明了适用于相关焊件的下列规范条款的书面 WPS。除了提供书面 WPS 的要求外，本规范还涵盖了免评定焊接的很多其他要求和限制条件。使用免评定焊接的单位需要遵守所有相关要求。

WPS 的技术条件可以满足用户的需要。可参考诸如装配公差之类的项。

1.2	限制条件	5.3.2	SMAW 焊条(所有小节)
2.4.1.4	喇叭形坡口焊缝的有效尺寸	5.3.3	SAW 焊条和焊剂(所有小节)
2.4.2.9	搭接头中的最大焊缝尺寸—角焊缝	5.3.4	GMAW/FCAW 焊条
2.4.4.2	槽焊缝	5.5	WPS 参数
2.4.3	斜 T 形接头(所有小节)	5.7	调质钢的热输入控制
3.2.1	免评定焊接工艺	5.9	衬垫(所有小节)
3.3	母材/填充金属组合	5.13	角焊缝最小尺寸
3.5	最低预热温度和道间温度	5.14	母材的准备(所有小节)
3.6	WPS 参数的限制(所有小节)	5.21.1.1	贴合面
3.7	WPS 通用要求(所有小节)	5.24	塞焊缝和槽焊缝制作技术(所有小节)
3.9.2	角焊缝要求—斜 T 形接头	5.16	锤击(所有小节)
3.10	塞焊缝和槽焊缝要求	5.29.1	过程内清理
3.12	PJP 要求(所有小节)	7.5.5	FCAW、GMAW、SMAW 角焊缝选择(所有小节)
3.13	CJP 坡口焊缝要求(所有小节)	7.7.5	移除螺柱部位的修补
表 3.7	免评定 WPS 参数	9.10	PJP 要求(所有小节)
5.2.2	引弧板、衬垫和垫块的母材	9.11	CJP 坡口焊缝要求(所有小节)
5.3.1.2	分类的适合性—焊接材料和焊条要求	9.23	衬垫(所有小节)

本页被故意留为空白。

附录 Q

(资料性附录)

采用替代技术进行的焊缝 UT 检查

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

Q1. 概述

本附录旨在介绍一些焊缝 UT 的替代技术。这些技术是目前在其他应用中得到证实但在本规范中未作详细描述的方法。所介绍的这些替代技术要求采用已评定过的书面化工艺，并且要求进行特殊的 UT 操作员资格评定和采用特殊的校准方法，以便在测量不连续大小时达到所需的精度要求。本附录的使用及由此开发的工艺(包括适用的验收准则)需得到工程师的批准。

除非合同文件中规定，否则本附录是非强制性附录。然而，当作如此规定时，此处包含的要求(如适用)应被视为是强制性要求，合同文件中专门作了修改的地方除外。

规范中关于仪器和操作人员资格的适用要求(这里作了修正的地方除外)可用作本附录的补充。但目的并不是利用这些技术来补充本规范第 6 节的现有要求，这是因为第 6 节规定的工艺和技术均为完善的工艺和技术，并且代表的是一种不同的焊缝 UT 方法。

A 部分：基本 UT 工艺

Q2. 引言

A 部分中包括的基本 UT 工艺、仪器和操作人员的要求是确保评价不连续及确定其尺寸时达到最大准确性所需的要求。这里述及的方法并非是新方法。它们早已在包括造船和近海结构在内的其他工业中使用了近二十五年。虽然它们尚未被禁用过，但也一直未被编入 AWS 的文件，也没有明确要求采用这些方法。本节所包含的一些方法也被纳入是美国石油学会的 API RP 2X 《海上结构件超声检测推荐规程及无损检测人员资格评定指南》中。可从参考资料中获得其他有用信息。在确定不连续尺寸时进行的最大程度的控制中，重点应放在 UT 工艺应书面化并

作评定、UT 技术人员的特殊要求和 UT 仪器及其校准要求。AWS 认识到了 UT 在确定不连续的特征和尺寸方面存在的固有局限性和不一致性。UT 技术人员应采用合适的工艺和设备来合适可得到的精确程度。

宜将工艺鉴定结果呈交工程师。AWS 不对采用本处包含的方法时的精确程度负责。

Q3. UT 工艺

所有 UT 均应按书面工艺进行，书面工艺应至少包括与 UT 方法及检查技术有关的下列资料：

- (1) 所检测的焊缝接头形状的类型；
- (2) 所检测焊缝接头类型的验收准则(包括工程师不采用第 6 节 C 部分的验收准则时的附加准则)；
- (3) UT 设备类型(制造商、型号、序列号)；
- (4) 换能器的类型，包括频率、规格、形状、角度及楔块的类型(如果不同于 6.21.6 或 6.21.7 要求)；
- (5) 扫查表面的准备和耦合要求；
- (6) 带有合适的基准反射体的校准试块的类型；
- (7) 校准方法及校准的时间间隔；
- (8) 焊缝评价之前检查钢材分层的方法(如果不采用 6.25.5 的方法)；
- (9) 焊缝根部指示标记及其他预作焊缝标记的方法；
- (10) 扫查方式及灵敏度要求；
- (11) 确定不连续的位置、高度、长度和幅度值的方法；
- (12) 表面粗糙度、表面涂层及局部弯曲的传输修正方法(如果适用)；
- (13) 验证整个检测精确程度的方法。这一验证可由其他人(审核员)采用其他 NDE 方法、宏观腐蚀试样、刨槽或其他经工程师批准的目视检验技术重新进行 UT 来完成；
- (14) 检测(包括任何已经进行的验证)的文件要求；
- (15) 文件保管要求。应通过对代表待检产品焊缝的焊接模拟件进行试验来评定书面工艺。应对焊接模拟件上的焊缝进行剖切和正确检测并作记录，以证实证实该工艺有令人满意的效果。工艺及所有评定数据应提交已按 ASNT SNT-TC-1A 要求通过考试取得 UT III 级证书且具有待检

的特定类型的焊缝接头方面的经验的合格人士。

Q4. UT 操作人员和设备

除了 6.14.6、6.20 和 9.30.2 的要求之外，UT 操作人员应证实其具有使用书面工艺的能力(包括规定的所有专业技术)。此外，当要求确定不连续的高度和长度时，UT 操作人员应证实其具备这种能力并能精确地确定这些尺寸。

UT 设备应符合 6.21 和本附录所规定的要求。当工程师批准时，可以使用配备计算机处理、成像系统、机械化扫查和记录装置的替代设备。可以采用最高频率为 6 MHz、最小尺寸为 1/4 in. [6 mm]的任何形状的换能器，但它们要被包括在工艺之中并且进行了适当鉴定。

Q5. 标准参考试块

标准反射体应为一个直径为 1.5 mm 的横孔或等效物体。用户可选择将反射体放在任何类型的校准试块、焊接模拟件或实际的生产件上。反射体放置的方向及公差如图 Q.1 所示。图 Q.2 所示为推荐使用的校准试块。图 Q.3 所示为可替代使用的反射体。当放在焊接模拟件和生产件的截面中时，反射体宜位于声束难于对准的地方，这样才能确保探测到所有相关区域内的不连续。

Q6. 校准方法

这里所述校准方法被认为是可接受且可用来完成这些替代 UT 程序的方法。本规范认识到个别用户可能更喜欢采用其他校准方法。如果采用其他方法，则这些方法所产生的效果至少宜与此处推荐方法所得结果等同。Q5 所述标准反射体宜被视为是供这里推荐的方法及其他可能采用的方法使用的标准反射体。

Q6.1 标准灵敏度。标准灵敏度宜为下列各项的总和：

- (1) 基准灵敏度。来自标准反射体的最大指示值；加上
- (2) 距离波幅修正。利用代表最小、中等和最大检测深度的多个标准反射体的波幅确定；加上
- (3) 传输修正。因材料类型、形状及扫查表面状况所进行的调整，具体如下：

宜进行传输修正，以将准确的灵敏度标准化。这样可确保在进行标准灵敏度校准时利用校准标准试块与标准参考试块之间由声学特性、扫查表面和零件形状引起的差异。宜在开始进行检测及预计由材料类型、形状、厚度和扫查表面变化而引起的传输差异超出原来的值 $\pm 25\%$ 时确

定传输修正值。以按图 Q.4 所示确定传输修正值。

Q6.1.1 扫查灵敏度。扫查灵敏度宜为标准灵敏度加上大约 6~12dB，或者是核实表面反射指示的声波穿透性的所需的灵敏度。作指示评价时宜参考标准灵敏度，但如果较高或较低灵敏度更加适合用来确定不连续的最大尺寸(高度和长度)，则可以不参考标准灵敏度。

Q6.2 纵波

Q6.2.1 深度(水平扫描)。如图 Q.5 所示，宜采用来自标准校准试块厚度或者是焊接模拟件或生产件上进行过测量的区域的多次反射指示来进行调节。检测母材分层时，校准精度宜在实际厚度的 $\pm 5\%$ 范围内，确定不连续的尺寸(深度)和位置时则宜在实际厚度的 $\pm 2\%$ 范围内。

Q6.2.2 灵敏度校准(标准反射体)。宜将探头放在至少位于 3 个深度处的标准反射体上方，以确保可以覆盖图 Q.6 所示的整个待检厚度范围。宜记录来自每个反射体的最大指示的 dB 值。宜绘制一条距离-波幅曲线(DAC)，或用电子手段显示屏幕上代表了不同受检厚度处的标准反射体的各个指示的位置。

Q6.3 横波

Q6.3.1 深度(水平扫描)。来自选定的标准反射体的指示宜被用于覆盖按图 Q.7 要求进行检测期间所用的最大深度。精度应在 $\pm 1\%$ 范围内，以便最准确地进行不连续高度的测量。比规定深度大约大 1.5 in.的不连续宜采用延时技术，以尽可能达到最高的不连续深度(和不连续高度)的读数精度。

Q6.3.2 灵敏度校准(标准反射体)。以按图 Q.7 所示采用位于受检表面之下的最小、中间及最大深度处的标准反射体。宜将指示最大化，并且采用绘制好的 DAC 或电子手段来定位代表了位于选定的不同深度处的标准反射体的指示。宜依据传输修正结果调整 DAC。当要求得出实际的不连续大小(高度和长度)时，此处所述灵敏度校准方法不是主要方法。在这种情况下，只需要在整个受检部位保持足够灵敏度，以便找出并正确评价所有不连续。

Q7. 扫查

扫查应符合 6.30 和 9.30.7 要求。此外，对于上述规范的参考资料未包括一些特殊应用，宜采用图 Q.8 的扫查方法(如适用)。

Q8. 焊缝不连续特征的代表方法

Q8.1 宜对焊缝不连续作如下表征：

- (1) 球状不连续(单个气孔、分散的气孔、非条状夹渣);
- (2) 圆柱状不连续(条状夹渣、成排气孔、中空焊道)
- (3) 平面状不连续(未熔合、未熔透、裂纹)

Q8.2 宜采用下列方法确定不连续的基本特征:

Q8.2.1 球状不连续。声波在所有方向上的反射均相等。当探头如图 Q.9 所示绕球形不连续移动时, 指示基本保持不变。

Q8.2.2 圆柱状不连续。声波在一个方向上的反射相等, 但在其他方向上则会发生改变。如图 Q.10 所示, 当探头向一个方向移动时, 指示基本保持不变, 但向其他方向移动时, 指示则大幅变化。

Q8.2.3 平面状不连续。声波被一个平面所反射时仅在一个入射角上使其反射声波达到最大值。如图 Q.11 所示, 探头移动任何角度指示都会变化。从裂纹处探得的指示通常因存在很多不连续小屏面而具有多个峰值。

Q9. 确定焊缝不连续大小及位置的方法

Q9.1 校准。宜按 Q6 要求以从表面算起的深度为依据进行校准。用本节所述方法确定的不连续的尺寸应具备可达到的最高精度; 但用户需注意, 与所有其他 NDT 方法一样, UT 只能测出相对的不连续尺寸。不连续的取向和形状与 NDT 方法的局限性相关, 并且会导致相对尺寸与实际尺寸之间存在明显偏差。

Q9.2 高度。宜采用以下方法来确定不连续的高度(深度尺寸):

Q9.2.1 宜按图 Q.12 的 A 要求将探头移向不连续和从不连续处移开, 以使指示高度最大化。宜将指示高度调整到一个已知值(比如显示屏全高[FSH]的 80%)。

Q9.2.2 宜将探头向着不连续移动, 直至指示高度值开始快速下降, 然后继续向着基线移动。宜标出图 Q.12 上 B 处指示前沿(左边)相对于屏幕水平基线的刻度的位置。宜采用 0.10 in. [2.5 mm] 的分度刻度或米制刻度。

Q9.2.3 宜将探头从不连续处移开, 直至指示高度值开始快速下降, 然后继续向着基线移动。宜标出图 Q.12 上 C 处指示前沿相对于屏幕水平基线的刻度的位置。

Q9.2.4 宜采用 B 和 C 之间的数学差来确定不连续的高度。

Q9.3 长度。宜采用下述方法确定不连续的长度:

Q9.3.1 按图 Q.13 的 A 所示, 宜通过操控探头来判断最强指示的平面及方向, 从而确定不连续

的取向。

Q9.3.2 宜在显示屏上始终保持部分指示可见的同时将探头向着不连续的一端移动，直至指示完全降至基线为止。宜将探头向着不连续移动，直至指示高度达到在图 Q.13 的 B 所示端部获得原最大高度的 50%。宜在与探头获得最大指示记号成一条直线的扫查表面或焊缝上标出不连续端部的位置。宜采用细线小心地作标记。

Q9.3.3 应按图 Q.13 的 C 所示要求重复上述步骤，以确定不连续另一端的位置并小心地作标记。

Q9.3.4 宜按图 Q.13 要求测量两个标记间的距离，以得出不连续的长度。

Q9.4 定位—扫查表面下的深度。当用上述方法确定不连续高度时，可直接从显示屏水平基线的标尺上读出不连续的深度位置。除非另有规定，否则填入报告单的位置应是所确定的有助于实施清除的最深点的位置。

Q9.5 定位—沿焊缝的长度。对于不连续距离某一已知参考点的位置，可通过测量此参考点到已标出的不连续长度标记的距离来确定该位置。除非另有规定，否则宜从不连续起点处开始进行测量。

Q10. 不连续引起的问题

采用 UT 来检测焊缝的用户宜注意下列与焊缝不连续的特征相关的潜在判断问题：

Q10.1 不连续的类型。超声波对焊缝不连续的灵敏度取决于不连续的类型。宜在评价不连续期间考虑下表所示相对灵敏度。UT 技术人员可以改变超声波仪器的设置值、探头的频率及尺寸和包括扫查方式与耦合方式在内的扫查方法等，以改变所有类型不连续的灵敏度：

不连续的类型	UT 相对灵敏度
(1) 未熔合	最高
(2) 表面裂纹	.
(3) 未熔透	.
(4) 次表面裂纹	.
(5) 连续夹渣	.
(6) 分散夹渣	.
(7) 管状气孔	.

(8) 密集气孔	.
(9) 分散气孔	最低

Q10.2 可按下列要求对比不连续的总体分类:

总体分类	UT 相对灵敏度
(a) 平面状	最高
(b) 线状	.
(c) 球状	最低

注: 上表假设了探测及评价的取向均为最佳取向。

Q10.3 尺寸。不连续的尺寸影响着正确的判读。与指示高度中等的平面状不连续相比, 指示高度很大或很小的平面状不连续的判读精度要小些。对于小的球状气孔, 由于波束从上面经过时反射面会快速变化, 故而难以确定其尺寸。

Q10.4 取向。不连续取向影响着 UT 灵敏度, 这是因为最高灵敏度是声波直接反射在探头上的灵敏度。与取向及不连续类型有关的相对灵敏度与先前表中所列的灵敏度相反。UT 技术人员可以选择一个更近于垂直于不连续平面和反射表面的波束角度, 以提高不连续取向的灵敏度。如声波束角度的选择与焊缝的坡口角度匹配, 则会提高对于平面型和线型不连续的灵敏度, 这是因为这些不连续很可能沿着该平面出现。

Q10.5 位置。位于焊缝和邻近母材中的不连续位置会影响探测能力和正确的评价。近表面不连续通常更加容易被探测到, 但不太容易确定其尺寸。

Q10.6 焊缝接头类型和坡口设计。焊缝接头类型和坡口设计是影响 UT 探测不连续能力的重要因素。

下面是会导致产生一些问题的设计因素, 并且宜考虑它们可能产生的影响:

- (1) 衬垫
- (2) 坡口角度
- (3) 接头构件的交角
- (4) PJP 焊缝
- (5) T 形焊缝
- (6) 管采购件

(7) 焊缝表面粗糙度和外形

Q11. 不连续波幅等级和焊缝等级分类

宜将下列不连续波幅等级分类应用于合格性评价中：

等级	描述
1	等于或大于 SSL (见图 Q.14)
2	在 SSL 和 DRL 之间(见图 Q.14)
3	等于或小于 DRL (见图 Q.14)

SSL =标准灵敏度水平—见第 6 节

DRL= 可忽略不计的水平=比 SSL 低 6 dB

焊缝等级。宜将下列焊缝等级用于进行不连续的合格性评价：

焊缝等级	描述
S	承受静荷载的结构
D	承受循环荷载的结构
R	管材结构(替代 RT)
X	管材 T 形、Y 形、K 形连接

Q12. 验收-拒收准则

Q12.1 波幅。当不连续的最大高度未知或对此未作规定，而仅以波幅和长度作为主要评判因素时，宜采用表 Q.1 的验收-拒收准则。

Q12.2 尺寸。当不连续的最大允许尺寸(高度和长度)已知并由工程师对此作了规定时，则应确定实际尺寸(包括高度及长度两)与位置(深度及沿焊缝方向)并出具报告。最终评价及合格/不合格结论宜由工程师作出。

Q13. 报告的编制和处理

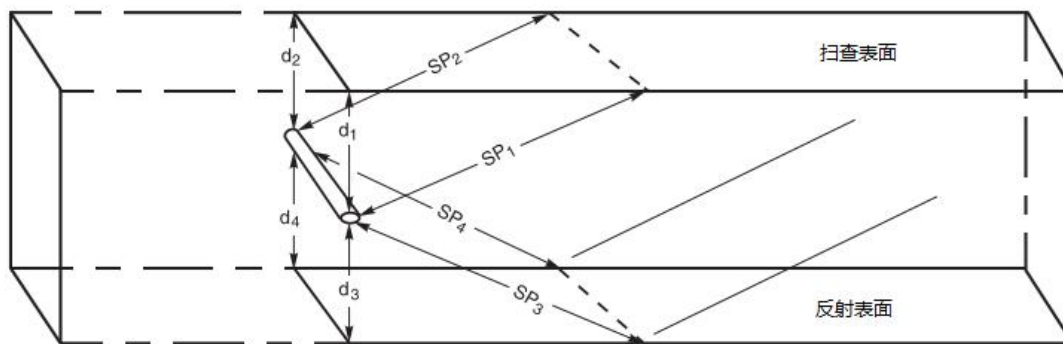
UT 操作工应在检测时填写一份清楚地阐明了检测工作的内容和部位的报告表。报告至少应包含报告表范本图 Q.15 所示新想。UT 不连续的表征和随后的分级与报告宜被限定为三类，即球状、圆柱状和平面状不连续。

当有规定时，还应报告接近于不合格尺寸的不连续(特别是那些在评估时存在一些疑问的不连续)。

在业主验收承包商进行过 UT 的焊缝之前，宜在完工时将焊缝(包括修补前质量不合格的焊缝)有关的所有报告表呈交业主。承包商保留 UT 报告的义务应在下列情况下终止：(1) 已将整套报告提交给业主；或者(2) 承包商项目完工满一年，并且业主已事先接到书面通知。

表 Q.1 验收-拒收准则(见 Q12.1)

测得的最大不连续波幅等级	按焊缝等级确定的最大不连续长度			
	承受静荷载的结构	承受循环荷载的结构	R 类管材	X 类管材
1 级—等于或大于 SSL(见 Q6.1 和图 Q.14)	比 SSL 高 5 dB 以上= 都不允许 比 SSL 高 0~5 dB = 3/4 in. [20 mm]	比 SSL 高 5 dB 以上= 都不允许 比 SSL 高 0~5 dB = 1/2 in. [12 mm]	见图 9.29	见图 9.30 (利用规定高度)
2 级—在 SSL 和 DRL 之间(见图 Q.14)	2 in. [50 mm]	焊缝中心 1/2 区域=2 in. [50 mm] 焊缝顶部和底部的 1/4 区域= 3/4 in. [20 mm]	见图 9.29	见图 9.30 (利用规定高度)
3 级—等于或小于 DRL (见图 Q.14)	忽略不计(当工程师有规定时，记下供参考的信息)			



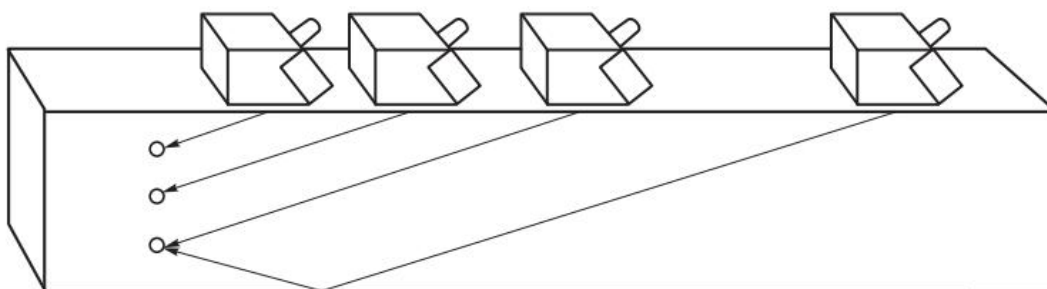
注:

1. $d_1 = d_2 \pm 0.5 \text{ mm}$, $d_3 = d_4 \pm 0.5 \text{ mm}$

$SP_1 = SP_2 \pm 1 \text{ mm}$, $SP_3 = SP_4 \pm 1 \text{ mm}$

2. 上述公差宜被视为是合适公差。在任何情况下，反射体的放置方式都应能使反射及 UT 指示最大化。(这是附录 Q 中所有注释的通用说明。)

图 Q.1—标准参考反射体(见 Q5)



注：尺寸宜与探头所需的声程距离相匹配。

图 Q.2—推荐的校准试块(见 Q5)

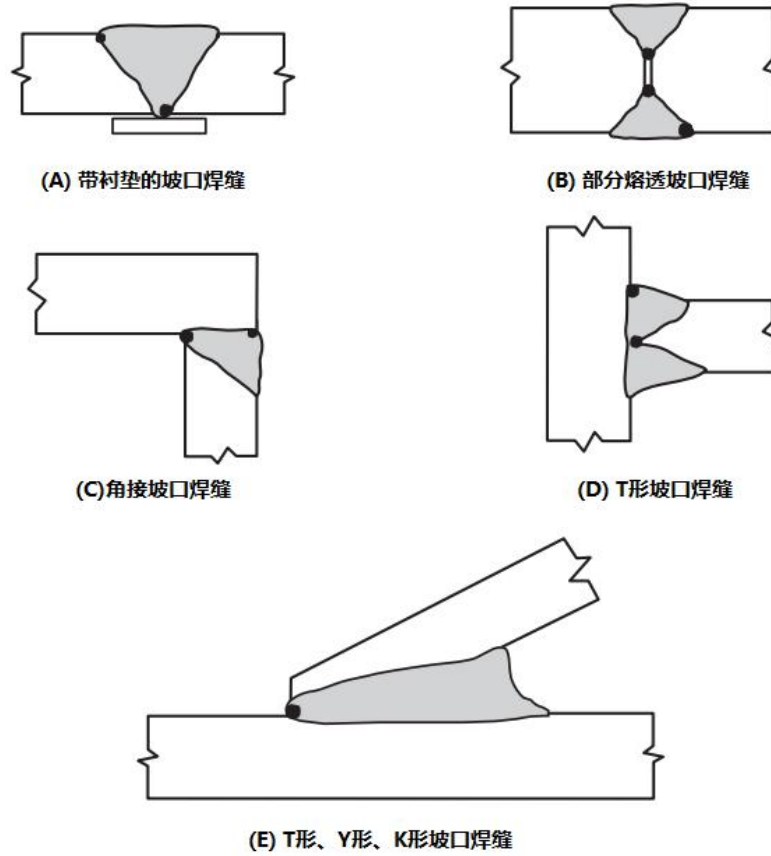
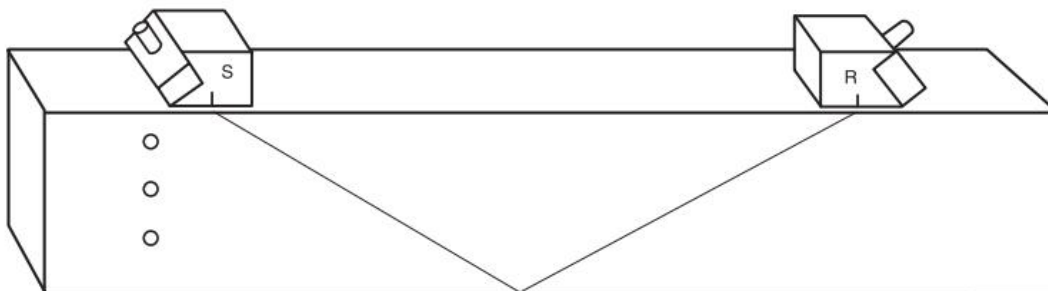


图 Q.3—典型的标准反射体(位于焊缝模拟件和生产件中)(见 Q5)



方法:

1. 将两个相似的斜射波探头放在待用校准试块或焊缝模拟件上，位置如图所示。
2. 采用穿越传输方法将得到的指示最大化，并且获得指示的 dB 值。
3. 将两个相同的探头移到待检部分，其取向与将要扫查的方向一致，然后按上述方法至少在三个部位进行扫查，以获得指示的 dB 值。
4. 宜记录校准试块或焊接模拟件的 dB 值与从待检部位获得平均值之间的差，并利用该差调整标准灵敏度。

图 Q.4—传输修正(见 Q6.1)

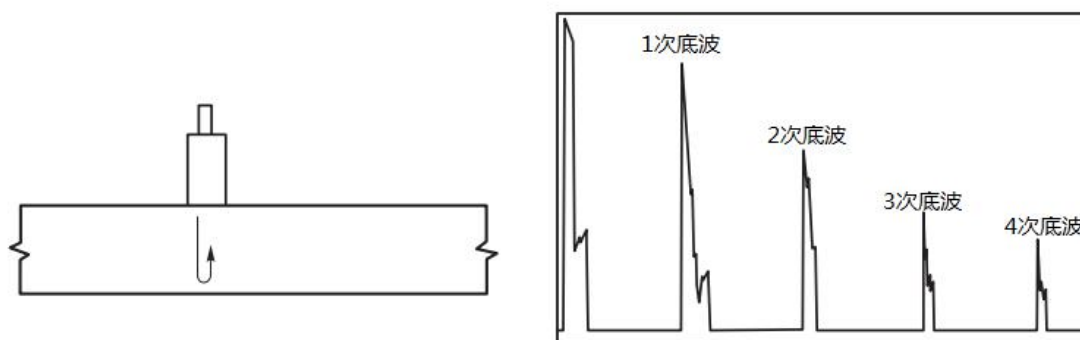


图 Q.5—纵波深度(水平扫描校准)(见 Q6.2.1)

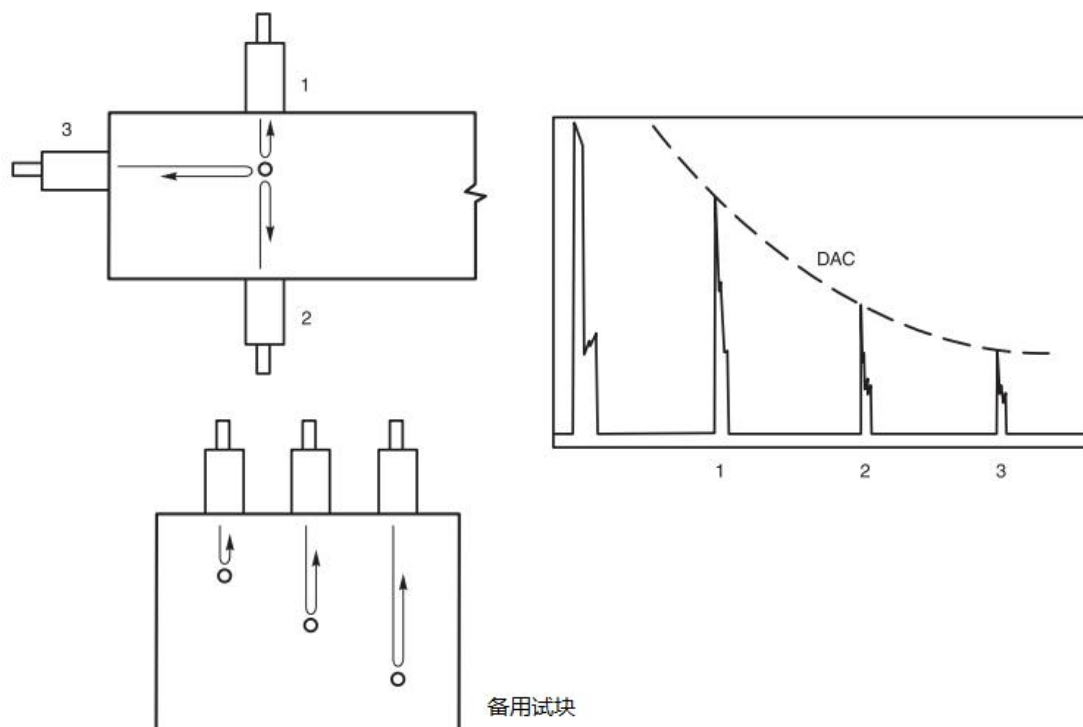


图 Q.6—纵波灵敏度校准(见 Q6.2.2)

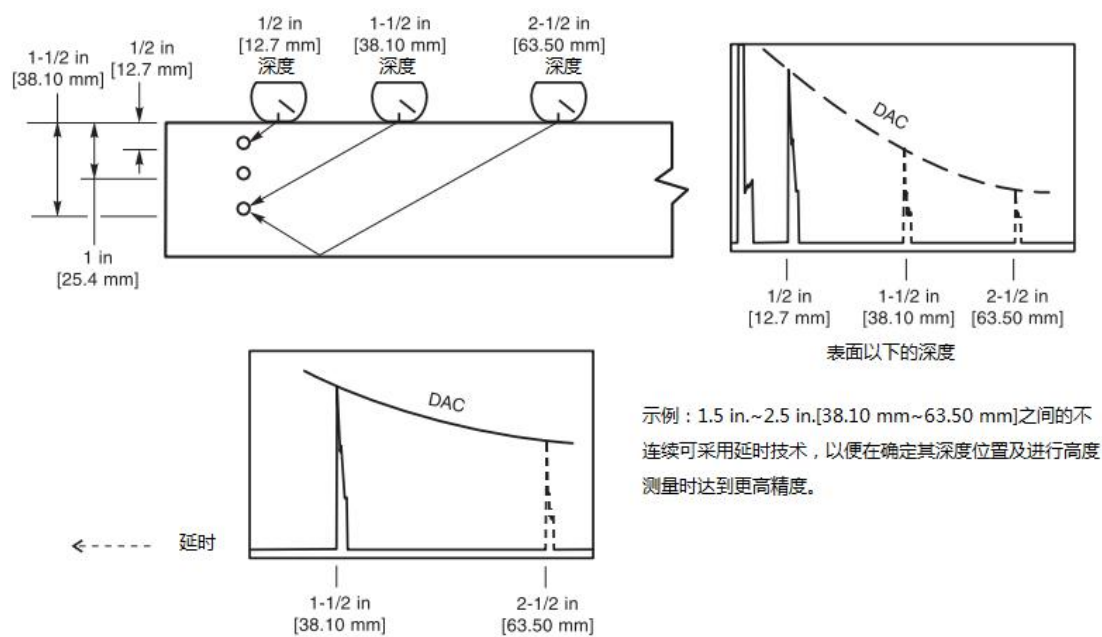
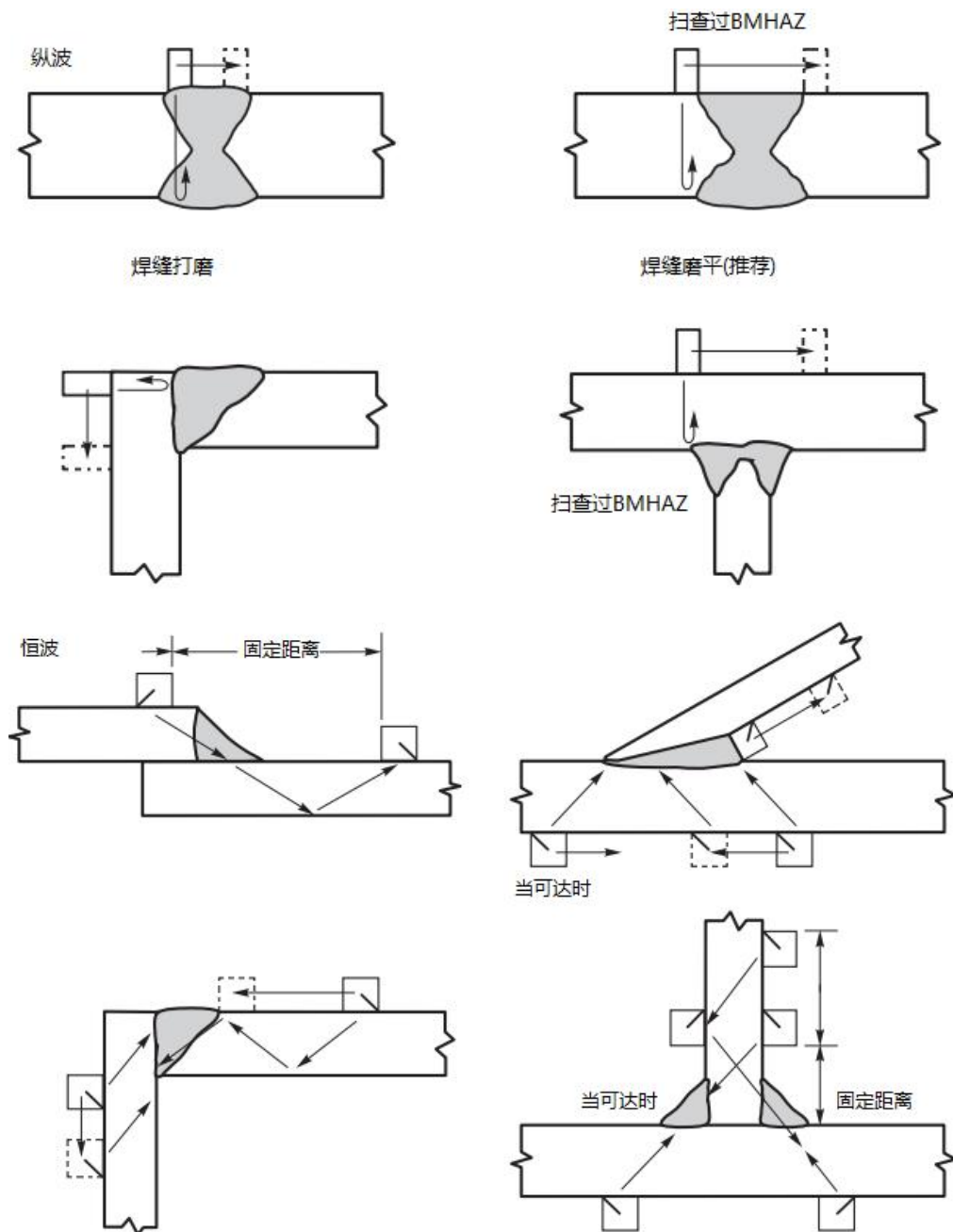


图 Q.7—横波距离和灵敏度校准(见 Q6.3.1)



注:

1.  表示扫查, 否则当沿焊缝扫查时宜将探头放在距离焊缝固定距离的位置。
2. 图示为剖面扫查。假定扫查完全按焊缝长度进行, 则至少应重叠 25%, 以确保达到 100%覆盖。图示所有扫查位置可能不需要实现完全覆盖。图例给出了因不达而妨碍了使用某些位置时的可选用位置。

图 Q.8—扫查方法(见 Q7)

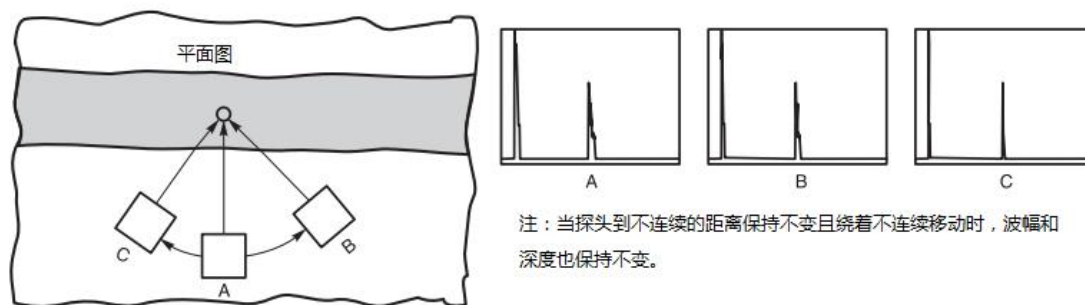


图 Q.9—球状不连续的特征(见 Q8.2.1)

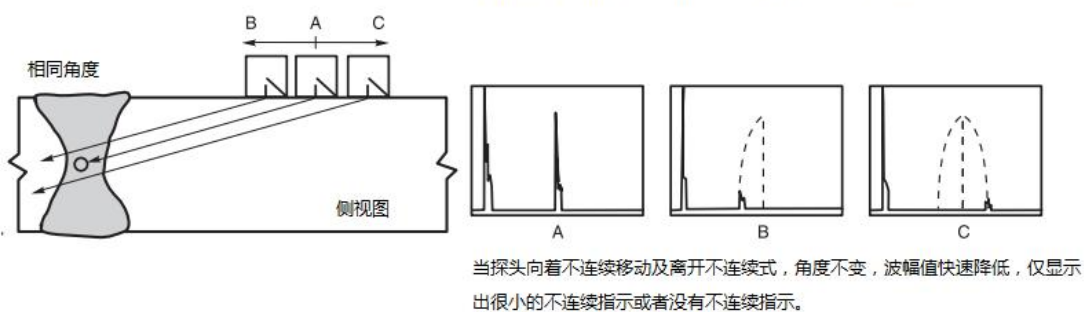
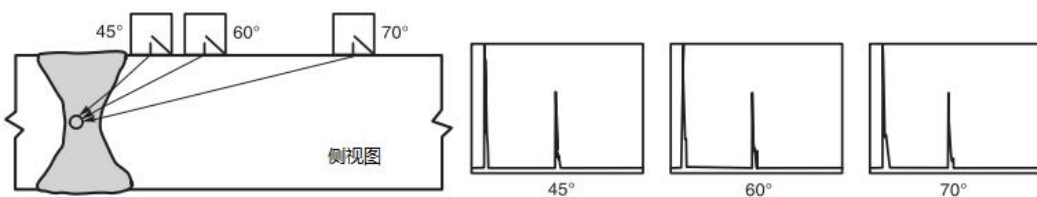
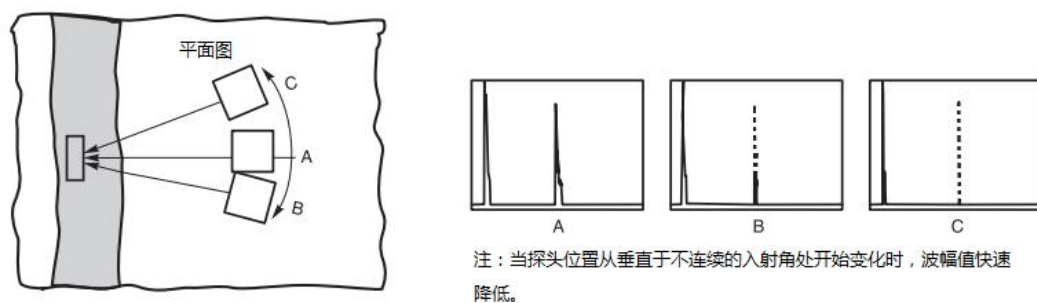


图 Q.10—圆柱状不连续的特征(见 Q8.2.2)

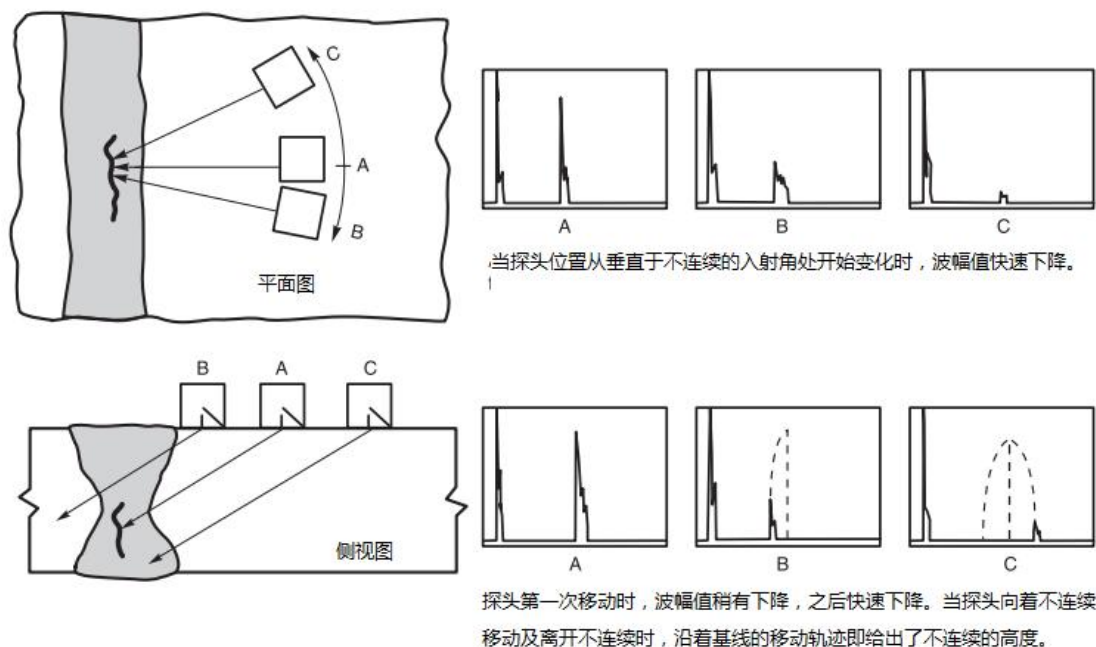


图 Q.11—平面状不连续的特征(见 Q8.2.3)

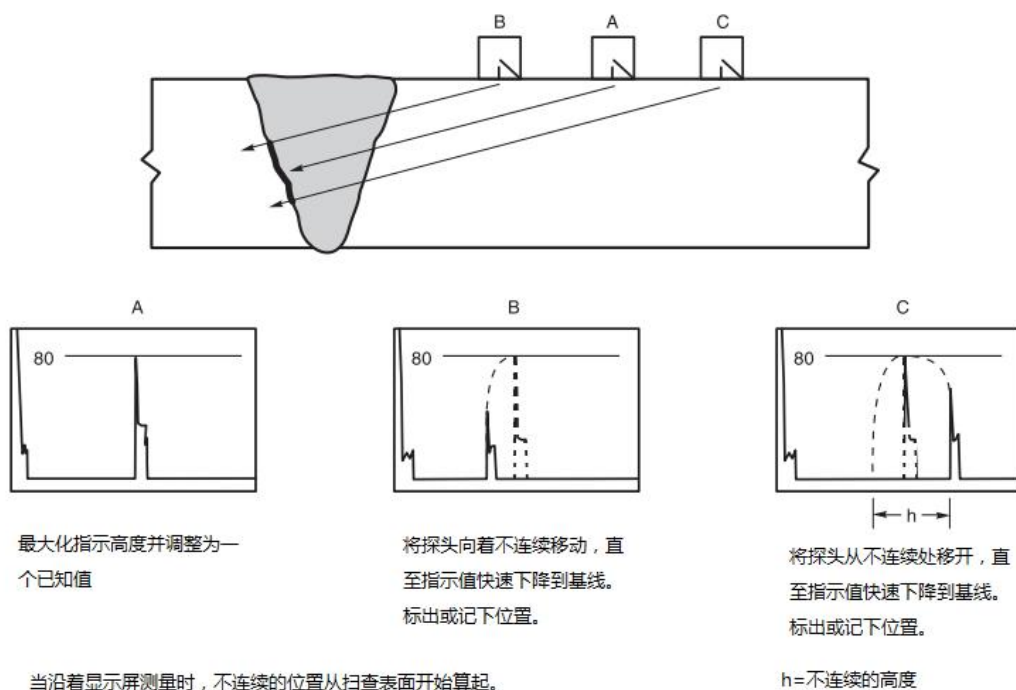


图 Q.12—不连续的高度(见 Q9.2)

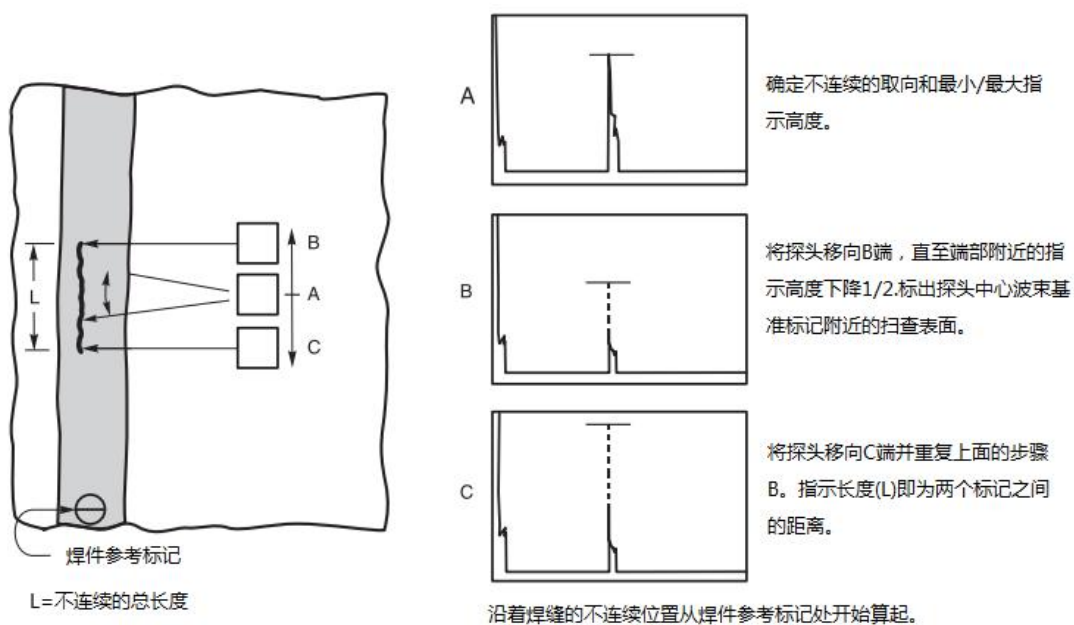
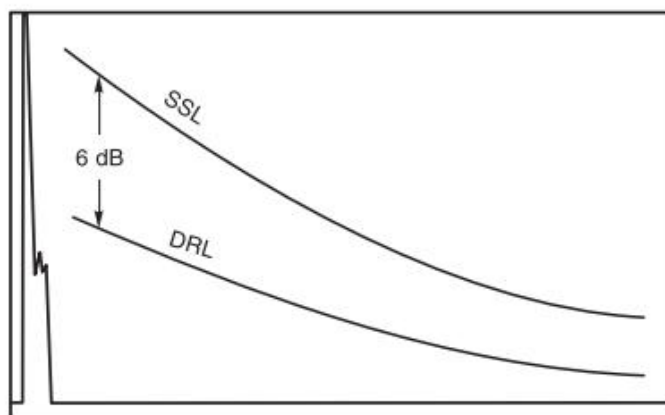


图 Q.13—不连续的长度(见 Q9.3)



注：可在显示屏上标出灵敏度校准期间确立的SSL(比DRL低6 dB)。

图 Q.14—显示屏标记(见 Q11)

第____页，总____页

项目_____报告编号_____

焊缝识别编号_____厚度_____等级_____

UT 工艺编号_____技术_____

UT 仪器_____

探头：编号_____角度_____频率_____尺寸_____

结果(确定并描述每个不连续)

序号.	从__算起的位置	波幅水平	长度	高度	评论

草图(标出上面所列的每个不连续)

NDT 技术_____承包商_____

检测日期_____批准人_____

批准日期_____

图 Q.15—UT 报告(替代工艺)(见 Q13)

本页被故意留为空白。

附录 R

(资料性附录)

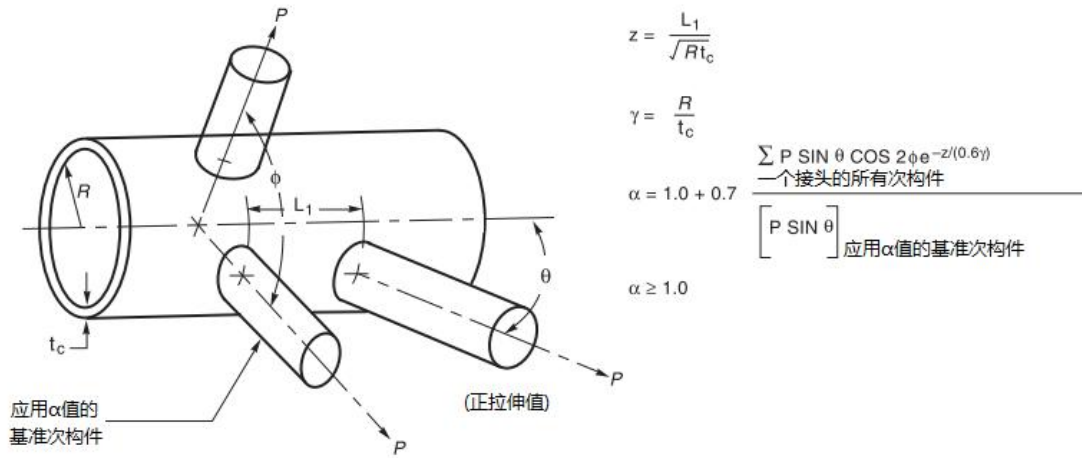
椭圆参数 α

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

图 R.1 给出了设计多平面管节点时构成弦杆椭圆参数 α 值的公式并定义了所用术语。得到的 α 值既适合静强度设计(表 9.6)，也适用于采用冲击剪切模式时的疲劳要求(表 9.3 的注 e)。

单独评价校验了冲击剪切的每个支管(“基准支撑”)的 α 值。对于每一种荷载情况，用节点处存在的所有支撑的荷载总和评价每次使用的 α 值。在求和时，余弦项表示的是随着环绕圆周的位置变化的支撑的影响，而指数衰减项表示的是距离 L_i 增加时减小的支撑的影响；对于再次出现于分母中的基准支撑来说，这些项都为整数。在复杂的空间框架中，可将反复的计算合并于节点设计的后处理程序中作设计的计算机分析。

对于手动计算，设计人员也许更喜欢用表 9.6 给出的一些较简单的 α 形式。然而，这种 α 形式并不包括可能采用较高 α 值的多平面情况(比如采用 4 个支管的轮毂式十字接头的值为 3.8)，并且要求对接头类型稍作随机分类。对于荷载模式介于两种标准情况之间的接头(比如 K 形接头承受部分荷载，T 形接头承受部分荷载的情况)，则宜采用插入法确定 α 值。计算的 α 值会自动地满足这种情况。

图 R.1—计算出的 α 值的术语定义

本页被故意留为空白。

附录 S

(资料性附录)

参考文件清单

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

1. AISC《钢结构建筑荷载和抗力分项系数设计规范》
2. ANSI/AISC 360-10《结构建筑规范》
3. ANSI Z49.1《焊接、切割及相关工艺中的安全性》
4. API 2W《海洋结构用热机械控制工艺轧制钢板规范》
5. API 2Y《海洋结构用淬火加回火钢板规范》
6. ASME 锅炉和压力容器规范第 V 卷第 2 节
7. ASME B46.1《表面纹理(表面粗糙度、波纹度和花纹方向)》
8. 美国无损检测协会推荐规程 SNT-TC-1A
9. ASTM A108《标准质量冷加工碳钢及合金钢棒材规范》
10. ASTM A370《钢制品的机械试验》
11. ASTM A435《钢板超声直射波检验规范》
12. ASTM A6《轧制结构钢棒材、板材、型材和薄板桩通用要求的标准规范》
13. ASTM A673《结构钢冲击试验取样方法规范》
14. ASTM E23《金属材料缺口试样标准冲击试验方法》(适用于 A 型夏比(单波束)冲击试样)
15. ASTM E92《金属材料维氏硬度的试验方法》
16. ASTM E94《摄像检测的标准推荐规程》
17. ASTM E140《金属硬度换算表》
18. ASTM E142《控制射线检测质量的标准方法》
19. ASTM E165《液体渗透检测的试验方法》
20. ASTM E709《磁粉检测指南》

21. ASTM E747 《采用线型透度计控制射线检测的质量》
22. ASTM E1032 《焊件的射线检测》
23. 表 3.1 和表 4.9 列出的所有 ASTM 母材见 ASTM 01.01 《结构钢、钢筋、压力容器用钢、铁路用钢》、ASTM 01.03 《钢厚板、钢薄板、钢带、钢丝；不锈钢钢棒》和 ASTM 01.01 《钢管和钢管件》
24. AWS A2.4:2007 《焊接、钎接和无损检测用标准符号》
25. AWS A3.0 《标准焊接术语和定义》，包括粘接、硬钎焊、软钎焊、热切割和热喷涂术语
26. AWS A5.01M/A5.01:2013 (ISO 14344:2010 MOD) 《焊接耗材采购指南—焊接及相关工艺—焊剂和气体保护电气焊工艺》
27. AWS A5.1/A5.1M:2012 《药皮焊条电弧焊用碳钢焊条规范》
28. AWS A5.5/A5.5M:2014 《药皮焊条电弧焊用低合金钢焊条规范》
29. AWS A5.12M/A5.12:2009 (ISO 6848:2004 MOD) 《电弧焊接和切割用钨和钨合金焊条规范》
30. AWS A5.17/A5.17M-97 (R2007) 《埋弧焊用碳钢焊条和焊剂规范》
31. AWS A5.18/A5.18M:2005 《气体保护焊用碳钢焊条和焊条规范》
32. AWS A5.20/A5.20M:2005 《药芯焊丝电弧焊用碳钢焊条规范》
33. AWS A5.23/A5.23M:2011 《埋弧焊用低合金钢焊条和焊剂规范》
34. AWS A5.25/A5.25M-97 (R2009) 《电渣焊用碳钢和低合金钢焊条规范》
35. AWS A5.26/A5.26M-97 (R2009) 《气电焊用碳钢和低合金钢焊条规范》
36. AWS A5.28/A5.28M:2005 《气体保护焊用低合金钢焊条和焊条规范》
37. AWS A5.29/A5.29M:2010 《药芯焊丝电弧焊用低合金钢焊条规范》
38. AWS A5.30/A5.30M:2007 《熔化填充丝规范》
39. AWS A5.32M/A5.32:2011 (ISO 14175:2008 MOD) 《焊接材料—熔焊及相关工艺用气体和气体混合物》
40. AWS A5.36/A5.36M:2012 《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯药芯焊丝规范》
41. AWS B1.10M/B1.10:2009 《焊缝无损检测指南》
42. AWS C4.1-77 (R2010) 《氧气切割表面和氧气切割表面粗糙度检验规的描述准则》
43. AWS C5.4-93 《螺柱焊推荐规程》
44. AWS D1.0 《建筑结构焊接规程》

- 45. AWS D1.3/D1.3M:2008 《结构焊接规范—钢板》
- 46. AWS D1.6/D1.6M:2007 《结构焊接规范—不锈钢》
- 47. AWS D2.0 《高速公路及铁路桥焊接规范》
- 48. AWS QC1:2007 《美国焊接学会焊接检验员认证标准》
- 49. AWS 焊接手册，第 1 卷，第 9 版，第 13 章
- 50. 加拿大标准协会(CSA)标准 W178.2 《焊接检验员认证》
- 51. 国际焊接学会(IIW)超声参考试块

附录 T

(资料性附录)

填充金属强度性能

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

本附录包含的数据拷贝自合适的 A5 规范。所示值仅作参考。为了达到公称抗拉强度和公称屈服强度，也许还不得不控制焊接方法的其他参数(更详细的说明见合适的 AWS A5 填充金属规范)。

AWS A5.1/A5.1M《气体保护焊用碳钢焊条和焊条规范》 ^{a,b}						
AWS 分类		抗拉强度		0.2%残余变形时的屈服强度		4×直径长度时的伸长率
A5.1	A5.1M	A5.1 (ksi)	A5.1M (MPa)	A5.1 (ksi)	A5.1M (MPa)	
E6010	E4310	60	430	48	330	22
E6011	E4311	60	430	48	330	22
E6012	E4312	60	430	48	330	17
E6013	E4313	60	430	48	330	17
E6018	E4318	60	430	48	330	22
E6019	E4319	60	430	48	330	22
E6020	E4320	60	430	48	330	22
E6022	E4322	60	430	未规定		未规定
E6027	E4327	60	430	48	330	22
E7014	E4914	70	490	58	400	17
E7015	E4915	70	490	58	400	22
E7016	E4916	70	490	58	400	22
E7018	E4918	70	490	58	400	22
E7024	E4924	70	490	58	400	17 ^c
E7027	E4927	70	490	58	400	22
E7028	E4928	70	490	58	400	22
E7048	E4948	70	490	58	400	22
E7018M	E4918M	注 d	注 d	53–72 ^e	370–500 ^e	24

^a 为焊后状态和时效后的要求。

^b 单值为最小值。

^c 利用 E7024-1 [E4924-1]制作的焊缝金属的最小伸长率应为 22%。

^d 这一焊缝金属的公称抗拉强度是 70 ksi [490 MPa]。

^e 对于 3/32 in. [2.4 mm]焊条，最大屈服强度是 77 ksi [530 MPa]。

AWS A5.5/A5.5M 《药皮焊条电弧焊用低合金钢焊条规范》^a

AWS 分类 ^b		抗拉强度		0.2%残余变形时的屈服强度		伸长率	焊后状态 ^c
A5.5	A5.5M	ksi	MPa	ksi	MPa	%	
E7010-P1	E4910-P1	70	490	60	415	22	AW
E7010-A1	E4910-A1	70	490	57	390	22	PWHT
E7010-G	E4910-G	70	490	57	390	22	AW 或 PWHT
E7011-A1	E4911-A1	70	490	57	390	22	PWHT
E7011-G	E4911-G	70	490	57	390	22	AW 或 PWHT
E7015-X	E4915-X	70	490	57	390	22	PWHT
E7015-B2L	E4915-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7015-G	E4915-G	70	490	57	390	22	AW 或 PWHT
E7016-X	E4916-X	70	490	57	390	22	PWHT
E7016-B2L	E4916-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7016-G	E4916-G	70	490	57	390	22	AW 或 PWHT
E7018-X	E4918-X	70	490	57	390	22	PWHT
E7018-B2L	E4918-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7018-C3L	E4918-C3L	70	490	57	390	22	AW
E7018-W1	E4918-W1	70	490	60	415	22	AW
E7018-G	E4918-G	70	490	57	390	22	AW 或 PWHT
E7020-A1	E4920-A1	70	490	57	390	22	PWHT
E7020-G	E4920-G	70	490	57	390	22	AW 或 PWHT
E7027-A1	E4927-A1	70	490	57	390	22	PWHT
E7027-G	E4927-G	70	490	57	390	22	AW 或 PWHT
E8010-P1	E5510-P1	80	550	67	460	19	AW
E8010-G	E5510-G	80	550	67	460	19	AW 或 PWHT
E8011-G	E5511-G	80	550	67	460	19	AW 或 PWHT
E8013-G	E5513-G	80	550	67	460	16	AW 或 PWHT
E8015-X	E5515-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8015-B3L	E5515-B3L	80	550	67	460	17	PWHT
E8015-G	E5515-G	80	550	67	460	19	AW 或 PWHT
E8016-X	E5516-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8016-C3	E5516-C3	80	550	68~80 ^d	470~550 ^d	24	AW
E8016-C4	E5516-C4	80	550	67	460	19	AW
E8016-G	E5516-G	80	550	67	460	19	AW 或 PWHT
E8018-X	E5518-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8018-B3L	E5518-B3L	80	550	67	460	17	PWHT
E8018-C3	E5518-C3	80	550	68~80 ^d	470~550 ^d	24	AW
E8018-C4	E5518-C4	80	550	67	460	19	AW
E8018-NM1	E5518-NM1	80	550	67	460	19	AW
E8018-P2	E5518-P2	80	550	67	460	19	AW
E8018-W2	E5518-W2	80	550	67	460	19	AW
E8018-G	E5518-G	80	550	67	460	19	AW 或 PWHT
E8045-P2	E5545-P2	80	550	67	460	19	AW
E9010-P1	E6210-P1	90	620	77	530	17	AW
E9010-G	E6210-G	90	620	77	530	17	AW 或 PWHT
E9011-G	E6211-G	90	620	77	530	17	AW 或 PWHT

(待续)

AWS A5.5/A5.5M 《药皮焊条电弧焊用低合金钢焊条规范》^a(续)

AWS 分类 ^b		抗拉强度		0.2%残余变形时的屈服强度		伸长率	焊后状态 ^c
A5.5	A5.5M	ksi	MPa	ksi	MPa	%	
E9013-G	E6213-G	90	620	77	530	14	AW 或 PWHT
E9015-X	E6215-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9015-G	E6215-G	90	620	77	530	17	AW 或 PWHT
E9016-X	E6216-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9016-G	E6216-G	90	620	77	530	17	AW 或 PWHT
E9018M	E6218M	90	620	78~90 ^d	540~620 ^d	24	AW
E9018-P2	E6218-P2	90	620	77	530	17	AW
E9018-X	E6218-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9018-G	E6218-G	90	620	77	530	17	AW 或 PWHT
E9045-P2	E6245-P2	90	620	77	530	17	AW
E10010-G	E6910-G	100	690	87	600	16	AW 或 PWHT
E10011-G	E6911-G	100	690	87	600	16	AW 或 PWHT
E10013-G	E6913-G	100	690	87	600	13	AW 或 PWHT
E10015-X	E6915-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10015-G	E6915-G	100	690	87	600	16	AW 或 PWHT
E10016-X	E6916-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10016-G	E6916-G	100	690	87	600	16	AW 或 PWHT
E10018M	E6918M	100	690	88~100 ^d	610~690 ^d	20	AW
E10018-X	E6918-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10018-G	E6918-G	100	690	87	600	16	AW 或 PWHT
E10045-P2	E6945-P2	100	690	87	600	16	AW
E11010-G	E7610-G	110	760	97	670	15	AW 或 PWHT
E11011-G	E7611-G	110	760	97	670	15	AW 或 PWHT
E11013-G	E7613-G	110	760	97	670	13	AW 或 PWHT
E11015-G	E7615-G	110	760	97	670	15	AW 或 PWHT
E11016-G	E7616-G	110	760	97	670	15	AW 或 PWHT
E11018-G	E7618-G	110	760	97	670	15	AW 或 PWHT
E11018M	E7618M	110	760	98~110 ^d	680~760 ^d	20	AW
E12010-G	E8310-G	120	830	107	740	14	AW 或 PWHT
E12011-G	E8311-G	120	830	107	740	14	AW 或 PWHT
E12013-G	E8313-G	120	830	107	740	11	AW 或 PWHT
E12015-G	E8315-G	120	830	107	740	14	AW 或 PWHT
E12016-G	E8316-G	120	830	107	740	14	AW 或 PWHT
E12018-G	E8318-G	120	830	107	740	14	AW 或 PWHT
E12018M	E8318M	120	830	108~120 ^d	745~830 ^d	18	AW
E12018M1	E8318M1	120	830	108~120 ^d	745~830 ^d	18	AW

^a 如果没有另作规定，则单值为最小值。^b 本表所用后缀“X”代表后缀(A1、B1、B2 等)，含有这些后缀的项仅在 PWHT 状态下试验。^c “AW”表示焊态，制造商可选择进行或不进行时效处理。“PWHT”表示焊后热处理。^d 对于 3/32 in. [2.5 mm]焊条，屈服强度的上限值可能比所示值高 5 ksi [35 MPa]。

AWS A5.17/A5.17M 《埋弧焊用碳钢焊条和焊剂规范》

焊丝-焊剂分类 ^a		抗拉强度	屈服强度	伸长率 ^b
A5.17	A5.17M	psi [MPa]	psi [MPa]	%
F6XX-EXXX	F43XX-EXXX	60 000–80 000 [430–560]	48 000 [330]	22
F7XX-EXXX	F48XX-EXXX	70 000–95 000 [480–660]	58 000 [400]	22

^a 当焊剂采用压碎焊渣或压碎焊渣与未用(新鲜)焊剂混合物时, 则将字母“S”作为分类标号的组成部分放在“F”后面。当焊条被归类为复合焊条时, 则将字母“C”作为分类标号的组成部分放在“E”后面。本表各处使用的字母“X”分别表示的是热处理状态、焊缝金属的韧性和焊条的分类。

^b 最低要求。屈服强度为 0.2%残余变形时的屈服强度, 而伸长率为 2 in. [51 mm]标距长度时的伸长率。

AWS A5.18/A5.18M 《气体保护焊用碳钢焊条和焊条规范》

AWS 分类 ^a		保护气体	抗拉强度(最小值)		屈服强度 ^b (最小值)		伸长率 ^b
A5.18	A5.18M		psi	MPa	psi	MPa	%(最小值)
ER70S-2	ER48S-2	CO ₂ ^c	70 000	480	58 000	400	22
ER70S-3	ER48S-3						
ER70S-4	ER48S-4						
ER70S-6	ER48S-6						
ER70S-7	ER48S-7						
ER70S-G	ER48S-G	d	70 000	480	58 000	400	22
E70C-3X	E48C-3X	75~80% Ar/平衡 CO ₂ 或 CO ₂	70 000	480	58 000	400	22
E70C-6X	E48C-6X						
E70C-G(X)	E48C-G(X)	d	70 000	480	58 000	400	22
E70C-GS(X)	E48C-GS(X)	d	70 000	480	58 000	未规定	未规定

^a 分类最后的字母 X 代表与焊条一起分类的保护气体对应的“C”或“M”。“C”代表 100% CO₂ 保护气体(AWS A5.32 类别 SG-C), “M”代表 75~80%Ar/平衡 CO₂(AWS A5.32 类别 SG-AC-Y, 其中 Y 在 20~25 之间)。最后的“C”和“M”可以省略。

^b 屈服强度为 0.2%残余变形时的屈服强度, 而伸长率为 2 in. [51 mm]标距长度时的伸长率。

^c CO₂=二氧化碳保护气体(AWS A5.32 类别 SG-C)。为了分类而使用 CO₂ 并不意味着禁止使用 Ar/CO₂ (AWS A5.32 类别 SG-AC-Y)或 Ar/O₂ (AWS A5.32 类别 SG-AO-X)保护气体混合物。采用气体混合物(比如 Ar/O₂ 或 Ar/CO₂)对填充金属进行试验可能会导致焊缝金属具有较高的强度和较低的伸长率。

^d 除非带有前缀“C”或“M”, 否则保护气体应为采购商和供应商商定的气体。

AWS A5.20/A5.20M 《药芯焊丝电弧焊用碳钢焊条规范》

AWS 分类		抗拉强度	最低屈服强	最低伸	最低夏比 V 型缺口冲
A5.20	A5.20M	ksi [MPa]	度 ksi [MPa]	长率 ^b %	击功
E7XT-1C, -1M	E49XT-1C, -1M	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E7XT-2C ^c , -2M ^c	E49XT-2C ^c , -2M ^c	70 [490] min.	未规定	未规定	未规定
E7XT-3 ^c	E49XT-3 ^c	70 [490] min.	未规定	未规定	未规定
E7XT-4	E49XT-4	70–95 [490–670]	58 [390]	22	未规定
E7XT-5C, -5M	E49XT-5C, -5M	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT-6	E49XT-6	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT-7	E49XT-7	70–95 [490–670]	58 [390]	22	未规定
E7XT-8	E49XT-8	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT-9C, -9M	E49XT-9C, -9M	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT-10 ^c	E49XT-10 ^c	70 [490] min.	未规定	未规定	未规定
E7XT-11	E49XT-11	70–95 [490–670]	58 [390]	20d	未规定
E7XT-12C, -12M	E49XT-12C, -12M	70–90 [490–620]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E6XT-13 ^c	E43XT-13 ^c	60 [430] min.	未规定	未规定	未规定
E7XT-13 ^c	E49XT-13 ^c	70 [490] min.	未规定	未规定	未规定
E7XT-14 ^c	E49XT-14 ^c	70 [490] min.	未规定	未规定	未规定
E6XT-G	E43XT-G	60–80 [430–600]	48 [330]	22	未规定
E7XT-G	E49XT-G	70–95 [490–670]	58 [390]	22	未规定
E6XT-GS ^c	E43XT-GS ^c	60 [430] min.	未规定	未规定	未规定
E7XT-GS ^c	E49XT-GS ^c	70 [490] min.	未规定	未规定	未规定

^a 屈服强度为 0.2%残余变形时的屈服强度。

^b 当采用公称直径为 0.500 in. [12.5 mm]且公称标距长度与直径比为 4:1 的拉伸试样时，使用 2 in. [50 mm]的标距长度。

^c 这些分类仅供单焊道焊接用，而不适用于多焊道焊接。仅规定了抗拉强度。

^d 当允许将 0.045 in. [1.2 mm]和 E7XT-11[E49XT-11]分类中更小规格的焊条用于公称直径为 0.250 in. [6.5 mm]的拉伸试样中时，使用 1 in. [25 mm]的标距长度。

AWS A5.23/A5.23M 《埋弧焊用低合金钢焊条和焊剂规范》

焊剂-焊条分类 ^a		抗拉强度 ^b	屈服强 ^b (0.2%残余变	伸长率 ^b
A5.23	A5.23M	psi [MPa]	形)psi [MPa]	(%)
多焊道分类				
F7XX-EXX-XX	F49XX-EXX-XX	70 000–95 000 [490–660]	58 000 [400]	22
F8XX-EXX-XX	F55XX-EXX-XX	80 000–100 000 [550–700]	68 000 [470]	20
F9XX-EXX-XX	F62XX-EXX-XX	90 000–110 000 [620–760]	78 000 [540]	17
F10XX-EXX-XX	F69XX-EXX-XX	100 000–120 000 [690–830]	88 000 [610]	16
F11XX-EXX-XX	F76XX-EXX-XX	110 000–130 000 [760–900]	98 000 [680]	15 ^c
F12XX-EXX-XX	F83XX-EXX-XX	120 000–140 000 [830–970]	108 000 [740]	14 ^c
F13XX-EXX-XX	F90XX-EXX-XX	130 000–150 000 [900–1040]	118 000 [810]	14 ^c
双焊道分类				
F6TXX-EXX	F43TXX-EXX	60 000 [430]	50 000 [350]	22
F7TXX-EXX	F49TXX-EXX	70 000 [490]	60 000 [415]	22
F8TXX-EXX	F55TXX-EXX	80 000 [550]	70 000 [490]	20
F9TXX-EXX	F62TXX-EXX	90 000 [620]	80 000 [555]	17
F10TXX-EXX	F69TXX-EXX	100 000 [690]	90 000 [625]	16
F11TXX-EXX	F76TXX-EXX	110 000 [760]	100 000 [690]	15
F12TXX-EXX	F83TXX-EXX	120 000 [830]	110 000 [760]	14
F13TXX-EXX	F90TXX-EXX	130 000 [900]	120 000 [830]	14

^a 当焊剂采用压碎焊渣或压碎焊渣与未用(新鲜)焊剂混合物时,则将字母“S”作为分类标号的组成部分放在“F”后面。当焊条被归类为复合焊条时,则将字母“C”作为分类标号的组成部分放在“E”后面。对于双焊道分类,应将字母“G”放在冲击代号后面(正好放在连字符前面),以表明分类用的母材钢材不是 AWS A5.23/A5.23M 中规定的母材钢材之一,而是采购商和供应商商定的另外一种钢材。本表各处使用的字母“X”分别表示的是热处理状态、焊缝金属的韧性和焊条的分类。

^b 对于多道焊分类,本表所列屈服强度和伸长率%(标距为 2 in.[51 mm])要求为最低要求。对于双道焊分类,所列的抗拉强度、屈服强度和伸长率%(标距为 1 in.[25 mm])均为最低要求。

^c 对于下列焊剂-焊条组合,当焊缝金属的抗拉强度超过抗拉强度范围 25%时,伸长率可以降低 1 个百分点:
F11XX-EXX-XX、F11XX-ECXX-XX、F12XX-EXX-XX、F12XX-ECXX-XX、F13XX-EXX-XX 和
F13XX-ECXX-XX [F76-EXX-XX、F76-ECXX-XX、F83XX-EXX-XX、F83XX-ECXX-XX、F90XX-EXX-XX 及
F90XX-ECXX-XX]。

AWS A5.28/A5.28M 《气体保护焊用低合金钢焊条和焊条规范》								
AWS 分类		保护气体 ^a	抗力强度 (最小值)		屈服强度 ^b (最小值)		伸长率 ^b %(最小值)	试验 状态
A5.28	A5.28M		psi	MPa	psi	MPa		
ER70S-B2L E70C-B2L ER70S-A1	ER49S-B2L E49C-B2L ER49S-A1	氩气/1-5% O ₂ (分类 SG -AO-1 到 SG -AO-5)	75 000	515	58 000	400	19	PWHT
ER80S-B2 E80C-B2	ER55S-B2 E55C-B2		80 000	550	68 000	470	19	
ER80S-B3L E80C-B3L	ER55S-B3L E55C-B3L		80 000	550	68 000	470	17	
ER90S-B3 E90C-B3	ER62S-B3 E62C-B3		90 000	620	78 000	540	17	
ER80S-B6	ER55S-B6		80 000	550	68 000	470	17	
E80C-B6	E55C-B6		80 000	550	68 000	470	17	
ER80S-B8	ER55S-B8		80 000	550	68 000	470	17	
E80C-B8	E55C-B8		80 000	550	68 000	470	17	
ER90S-B9	ER62S-B9	氩气/5% O ₂ (分类 SG-AC-5)	90 000	620	60 000	410	16	
E90C-B9	E62C-B9	氩气/5-25% CO ₂ (分类 SG-AC-5 到 SG-AC-25)						
E70C-Ni2	E49C-Ni2	氩气/1-5% O ₂ (分类 SG-AO-1 到 SG-AO-5)	70 000	490	58 000	400	24	PWHT
ER80S-Ni1 E80C-Ni1	ER55S-Ni1 E55C-Ni1		80 000	550	68 000	470	24	焊态
ER80S-Ni2 E80C-Ni2 ER80S-Ni3 E80C-Ni3	ER55S-Ni2 E55C-Ni2 ER55S-Ni3 E55C-Ni3		80 000	550	68 000	470	24	PWHT
ER80S-D2	ER55S-D2	CO ₂ (分类 SG-C)	80 000	550	68 000	470	17	焊态
ER90S-D2 E90C-D2	ER62S-D2 E62C-D2	氩气/1-5% O ₂ (分类 SG-AO-1 到 SG-AO-5)	90 000	620	78 000	540	17	
ER100S-1	ER69S-1	氩气/2% O ₂ (分类 SG-AO-2)	100 000	690	88 000	610	16	
ER110S-1	ER76S-1		110 000	760	95 000	660	15	
ER120S-1	ER83S-1		120 000	830	105 000	730	14	
E90C-K3	E62C-K3	氩气/5-25% CO ₂ (分类 SG-AC-5 到 SG-AC-25)	90 000	620	78 000	540	18	
E100C-K3	E69C-K3		100 000	690	88 000	610	16	
E110C-K3 E110C-K4	E76C-K3 E76C-K4		110,000	760	98 000	680	15	
E120C-K4	E83C-K4		120 000	830	108 000	750	15	
E80C-W2	E55C-W2		80 000	550	68 000	470	22	

(待续)

AWS A5.28/A5.28M 《气体保护焊用低合金钢焊条和焊条规范》(续)								
AWS 分类		保护气体 ^a	抗拉强度 (最小值)		屈服强度 ^b (最小值)		伸长率 ^b %(最小值)	试验 状态
A5.28	A5.28M		psi	MPa	psi	MPa		
ER70S-G E70C-G	ER49S-G E49C-G	注 c	70 000	490	注 d	注 d	注 d	注 d
ER80S-G E80C-G	ER55S-G E55C-G	注 c	80 000	550	注 d	注 d	注 d	注 d
ER90S-G E90C-G	ER62S-G E62C-G	注 c	90 000	620	注 d	注 d	注 d	注 d
ER100S-G E100C-G	ER69S-G E69C-G	注 c	100 000	690	注 d	注 d	注 d	注 d
ER110S-G E110C-G	ER76S-G E76C-G	注 c	110 000	760	注 d	注 d	注 d	注 d
ER120S-G E120C-G	ER83S-G E83C-G	注 c	120 000	830	注 d	注 d	注 d	注 d

^a 为分类而使用特殊保护气体并不意味着限制使用其他气体混合物。采用诸如 Ar/CO₂ 或 Ar/O₂ 等其他混合气体对填充金属进行试验时可能得到不同强度和伸长率的焊缝金属。

^b 屈服强度为 0.2%残余变形时的屈服强度，而伸长率为 2 in. [51 mm]标距长度时的伸长率。

^c 保护气体应为采购商和供应商商定的气体。

^d 未规定(由采购商和供应商商定)。

AWS A5.29/A5.29M 《药芯焊丝电弧焊用低合金钢焊条规范》						
AWS 分类 ^{a, b}		状态 ^c	抗拉强度 ksi [MPa]	屈服强度 ksi [MPa]	最小伸长率%	最低夏比 V 型缺口冲击功
A5.29	A5.29M					
E7XT5-A1C, -A1M	E49XT5-A1C, -A1M	PWHT	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT1-A1C, -A1M	E55XT1-A1C, -A1M	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	未规定
E8XT1-B1C, -B1M, -B1LC, -B1LM	E55XT1-B1C, -B1M, -B1LC, -B1LM	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	未规定
E8XT1-B2C, -B2M, -B2HC, -B2HM, -B2LC, -B2LM E8XT5-B2C, -B2M, -B2LC, -B2LM	E55XT1-B2C, -B2M, -B2HC, -B2HM, -B2LC, -B2LM E55XT5-B2C, -B2M, -B2LC, -B2LM	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	未规定
E9XT1-B3C, -B3M, -B3LC, -B3LM, -B3HC, -B3HM E9XT5-B3C, -B3M	E62XT1-B3C, -B3M, -B3LC, -B3LM, -B3HC, -B3HM E62XT5-B3C, -B3M	PWHT	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	未规定
E10XT1-B3C, -B3M	E69XT1-B3C, -B3M	PWHT	100–120 [690–830]	88 [610] min.	16	未规定
E8XT1-B6C, ^d -B6M, ^d -B6LC, ^d -B6LM, ^d E8XT5-B6C, ^d -B6M, ^d -B6LC, ^d -B6LM ^d	E55XT1-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM E55XT5-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	未规定
E8XT1-B8C, ^d -B8M, ^d -B8LC, ^d -B8LM ^d E8XT5-B8C, ^d -B8M, ^d -B8LC, ^d -B8LM ^d	E55XT1-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM E55XT5-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	未规定
E9XT1-B9C, -B9M	E62XT1-B9C, -B9M	PWHT	90–120 [620–830]	78 [540] min.	16	未规定
E6XT1-Ni1C, -Ni1M	E43XT1-Ni1C, -Ni1M	AW	60–80 [430–550]	50 [340] min.	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT6-Ni1	E49XT6-Ni1	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT8-Ni1	E49XT8-Ni1	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT1-Ni1C, -Ni1M	E55XT1-Ni1C, -Ni1M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT5-Ni1C, -Ni1M	E55XT5-Ni1C, -Ni1M	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E7XT8-Ni2	E49XT8-Ni2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT8-Ni2	E55XT8-Ni2	AW	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT1-Ni2C, -Ni2M	E55XT1-Ni2C, -Ni2M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E8XT5-Ni2C, ^e -Ni2M ^e	E55XT5-Ni2C, ^e -Ni2M ^e	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –75°F [27 J @ –60°C]
E9XT1-Ni2C, -Ni2M	E62XT1-Ni2C, -Ni2M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E8XT5-Ni3C, ^e -Ni3M ^e	E55XT5-Ni3C, ^e -Ni3M ^e	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –100°F [27 J @ –70°C]
E9XT5-Ni3C, ^e -Ni3M ^e	E62XT5-Ni3C, ^e -Ni3M ^e	PWHT	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	20 ft·lbf @ –100°F [27 J @ –70°C]

(待续)

AWS A5.29/A5.29M 《药芯焊丝电弧焊用低合金钢焊条规范》(续)						
AWS 分类 ^{a, b}		状态 ^c	抗拉强度 ksi [MPa]	屈服强度 ksi [MPa]	最小伸长率%	最低夏比 V 型缺口冲击功
A5.29	A5.29M					
E9XT1-D1C, -D1M	E62XT1-D1C, -D1M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E9XT5-D2C, -D2M	E62XT5-D2C, -D2M	PWHT	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E10XT5-D2C, -D2M	E69XT5-D2C, -D2M	PWHT	100–120 [690–830]	88 [610] min.	16	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E9XT1-D3C, -D3M	E62XT1-D3C, -D3M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT5-K1C, -K1M	E55XT5-K1C, -K1M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E7XT7-K2	E49XT7-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT4-K2	E49XT4-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E7XT8-K2	E49XT8-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT11-K2	E49XT11-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ +32°F [27 J @ 0°C]
E8XT1-K2C, -K2M E8XT5-K2C, -K2M	E55XT1-K2C, -K2M E55XT5-K2C, -K2M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E9XT1-K2C, -K2M	E62XT1-K2C, -K2M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E9XT5-K2C, -K2M	E62XT5-K2C, -K2M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E10XT1-K3C, -K3M	E69XT1-K3C, -K3M	AW	100–120 [690–830]	88 [610] min.	16	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E10XT5-K3C, -K3M	E69XT5-K3C, -K3M	AW	100–120 [690–830]	88 [610] min.	16	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E11XT1-K3C, -K3M	E76XT1-K3C, -K3M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] min.	15	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E11XT5-K3C, -K3M	E76XT5-K3C, -K3M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] min.	15	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E11XT1-K4C, -K4M	E76XT1-K4C, -K4M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] min.	15	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E11XT5-K4C, -K4M	E76XT5-K4C, -K4M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] min.	15	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E12XT5-K4C, -K4M	E83XT5-K4C, -K4M	AW	120–140 [830–970]	108 [745] min.	14	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E12XT1-K5C, -K5M	E83XT1-K5C, -K5M	AW	120–140 [830–970]	108 [745] min.	14	未规定
E7XT5-K6C, -K6M	E49XT5-K6C, -K6M	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ –75°F [27 J @ –60°C]
E6XT8-K6	E43XT8-K6	AW	60–80 [430–550]	50 [340] min.	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT8-K6	E49XT8-K6	AW	70–90 [490–620]	58 [400] min.	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]

(待续)

AWS A5.29/A5.29M 《药芯焊丝电弧焊用低合金钢焊条规范》(续)						
AWS 分类 ^{a, b}		状态 ^c	抗拉强度 ksi [MPa]	屈服强度 ksi [MPa]	最小伸长率%	最低夏比 V 型缺口冲击功
A5.29	A5.29M					
E10XT1-K7C, -K7M	E69XT1-K7C, -K7M	AW	100–120 [690–830]	88 [610] min.	16	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E9XT8-K8	E62XT8-K8	AW	90–110 [620–760]	78 [540] min.	17	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E10XT1-K9C, -K9M	E69XT1-K9C, -K9M	AW	100–120 [690–830] ^f	82–97 [560–670]	18	35 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E8XT1-W2C, -W2M	E55XT1-W2C, -W2M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] min.	19	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
EXXTX-G, ^g -GC, ^g -GM ^g	EXXTX-G, ^g -GC, ^g -GM ^g	焊缝金属成分、试验状态(AW 或 PWHT)和夏比 V 型缺口冲击性能均由采购商和供应商商定。拉伸试验、可定位性、焊渣系统和保护气体(如有)均应符合所用数字代表的那些要求。				
EXXTG-X ^g	EXXTG-X ^g	焊渣系统、保护气体(如有)、试验状态(AW 或 PWHT)和夏比 V 型缺口冲击性能均由采购商和供应商商定。拉伸试验、可定位性和焊缝金属成分均应符合所用数字代表的那些要求。				
EXXTG-G ^g	EXXTG-G ^g	焊渣系统、保护气体(如有)、试验状态(AW 或 PWHT)、夏比 V 型缺口冲击性能和焊缝金属成分均由采购商和供应商商定。拉伸试验和可定位性应符合所用数字代表的那些要求。				

^a 在实际分类中将用合适代号代替“Xs”。

^b 位于标号位置处的“G”表明这些性能是由采购商和供应商商定过的性能。

^c AW = 焊态。PWHT = 焊后热处理。

^d 这些焊条现在在 AWS A5.22-95 中的分类是 E502TX-X 或 E505TX-X。下次修订 A5.22 时这些分类将被移除，并且仅在本规范中列出。

^e PWHT 温度超过 1150°F [620°C]时将降低冲击韧性。

^f 对于这一分类(E10XT1-K9C, -K9M [E69XT1-K9C, -K9M])，所示抗拉强度范围并不是一项要求，而是近似值。

^g 本表给出的 EXXTX-G、-GC、-GM [EXXTX-G、-GC、-GM]及 EXXTG-X 和 EXXTG-G [EXXTG-X 和 EXXTG-G]焊条的抗拉强度、屈服强度和%伸长率要求也适用于具备相同抗拉强度代号的其他焊条分类(不包括 E10XT1-K9C、-K9M [E69XT1-K9C、-K9M])。

本页被故意留为空白。

附录 U

(资料性附录)

AWS A5.36 填充金属分类和性能

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2015《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

附录 U 为 D1.1 规范用户提供了与本规范的适用性相关的信息。此外，之前的填充金属规范中的填充金属及现有 WPS 中已经利用 AWS A5.36 的固定分类或开放分类重新分类的分类无需进行 PQR 重新评定，这是因为焊条是在满足之前的所有分类要求的前提下重新分类的。本附录结尾处给出了多焊道焊接用附录 T 焊条分类与 AWS A5.36 固定分类和开放分类的对比清单。不管 AWS A5.36 开放分类系统发生什么变化，所列出的分类都仅适用于 D1.1:2010 附录 T 分类。本规范中也使用了其他 AWS A5.36 分类。

AWS 填充金属规范 A5.36/A5.36M:2012《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》包含了两种对碳钢 FCAW 和 GMAW 金属芯焊丝分类的方法，即固定分类和开放分类。AWS A5.36 采用了多个不同的焊条分类表格(6 个表格和 1 个图)。本附录包含了这些表格。注意，表中可能增加了含有限制条件的附加脚注，以便满足现有 WPS 中给出的之前的填充金属规范中规定的免评定 WPS 和已评定 WPS 的要求。

固定分类仅适用于碳钢焊条，其要求与 AWS A5.18 GMAW 和 AWS A5.20 FCAW 的要求相同，但没有包含 GMAW 金属芯焊丝和 FCAW 焊条中都包含的一些分类，并且按开放分类系统对 E70C-6C、E70C-3C、E70C-3M 和 E7XT-11 进行了分类。此外还删除了可选代号“J”，并且代号“D”有别于之前 AWS A5.20 中的代号“D”，因此不可互换使用。在固定分类中，T-12 FCAW 焊条的要求与 AWS A5.20 的要求相同，但在开放分类中则不相同。

开放分类系统适用于碳钢及低碳钢 FCAW 和 GMAW 金属芯焊丝的分类。当与之前的 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 分类及与固定分类或开放分类有关的要求作比较时需要格外注意，这是因为力学和化学性能要求可能会存在差异。开放分类系统中包含了一些明确

的焊条分类强制性要求，但任何保护气体或任何强度分类可能也适用于按焊态(AW)和/或焊后热处理(PWHT)状态分类的焊条。之前的碳钢焊条一直都是按 AW 状态分类的，但在 AWS A5.36 也按 PWHT 状态进行分类。同样地，之前按 PWHT 状态分类的低合金钢焊条现在也可以按 AW 状态分类。

与之前的技术条件和分类要求相比，保护气体要求发生了很大变化。D1.1 规范的免评定 WPS 对 AWS A5.36 分类要求形成了限制。氩气混合保护气体要求仅限于 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 中给出的免评定 WPS 的混合保护气体混合要求或者分类用的 AWS A5.36 表 5 中给出的其他具体保护气体要求，而不适用于保护气体代号的整个范围(见规范的 3.7.4)。

在开放分类系统中，也可利用其他氩气基保护气体进行分类。但氩气含量和混合物中主要气体的变化可能会影响焊缝敷熔金属的力学和化学性能，也就是说，之前规范中焊条分类的 70 ksi [490 MPa]力学性能值现在可能增加到 90 ksi [620 MPa]或降低到 60 ksi [430 MPa]。

对于采用 AWS A5.20 和 A5.29 的可选代号“D”来焊接关键接头的规范用户来说，热输入的 A5.36“D”代号要求已经发生了变化。采用可选代号“D”分类的 AWS A5.36 焊条现在不可与抗震用关键接头的 AWS A5.2 或 AWS A5.29 焊条互换使用，这是因为它们的热输入要求存在差异。AWS D1.8/D1.8M 《结构焊接规范—抗震补遗》中包含了与两种不同代号“D”的互换使用相关的类似限制条件。

表 U.1 按固定分类要求分类的 AWS A5.36/A5.36M 碳钢焊条分类^{a, b}

焊条分类和要求的规范来源	分类代号 ^{b, c}	焊条类型	保护气体 ^d	焊缝敷熔金属要求	
				力学性能 ^e	焊缝敷熔金属 ^f
AWS A5.20/ A5.20M	E7XT-1C ^g	药芯 焊条	C1	抗拉强度：70 ksi–95 ksi 最低屈服强度：58 ksi ⁱ 最小夏比冲击功：20 ft·lbf @ 0°F 最小%伸长率：22% ^j	CS1
	E7XT-1M ^g		M21 ⁱ		
	E7XT-5C ^g		C1	抗拉强度：70 ksi–95 ksi 最低屈服强度：58 ksi ⁱ 最小夏比冲击功：20 ft·lbf @ -20°F 最小%伸长率：22% ^j	CS1
	E7XT-5M ^g		M21		
	E7XT-6 ^g		无		CS3
	E7XT-8 ^g		无		CS3
	E7XT-9C ^g		C1	抗拉强度：70 ksi–90 ksi 最低屈服强度：58 ksi ⁱ 最小夏比冲击功：20 ft·lbf @ -20°F 最小%伸长率：22% ^j	CS1
	E7XT-9M ^g		M21 ⁱ		
	E7XT-12C ^g		C1	抗拉强度：70 ksi–95 ksi 最低屈服强度：58 ksi ⁱ 最小夏比冲击功：未规定 最小%伸长率：22% ^j	CS2
	E7XT-12M ^g		M21 ⁱ		
	E70T-4 ^g		无	抗拉强度：70 ksi–95 ksi 最低屈服强度：58 ksi ⁱ 最小夏比冲击功：未规定 最小%伸长率：22% ^j	CS3
	E7XT-7 ^g				
AWS A5.18 /A5.18M	E70C-6M ^h	金属芯 焊丝	M21 ⁱ	抗拉强度：70 ksi(最小值) 最低屈服强度：58 ksi ⁱ 最小夏比冲击功：20 ft·lbf @ -20°F 最小%伸长率：22% ^j	CS1

^a 这些多焊道焊条是按照 AWS A5.20/A5.20M 或 AWS A5.18/A5.18M 中采用的固定分类系统要求分类的，并且对作为 AWS A5.36/A5.36M 组成部分的这些具体焊条进行了分类。本表定义了力学性能和焊缝敷熔金属要求。也可采用本规范介绍的开放分类系统按相同要求或不同要求对这些相同的焊条进行分类。在这种情况下应采用图 U.1 规定的分类代号。当都按照本表所列要求分类时，上述焊条的“固定分类”代号和对等的“开放分类”代号的对比见 AWS A5.36/A5.36M 附录 A 的表 A.1 或表 A.3。

^b AWS A5.36 的上表中不包括 AWS A5.20 中的 E7XT-11 多焊道焊条，但这些焊条可按开放分类要求分类。AWS A5.18/A5.18M 中的金属芯焊丝分类 E70C-6C、E70C-3C、E70C-3M 也被排除在外，但可以按照开放分类要求对这些焊条分类。

^c 阴影区域内的焊条均是自保护焊条。

^d 见表 U.5。

^e 力学性能是通过对 AWS A5.36/A5.36M 图 2 所示坡口焊缝的焊缝金属进行试验而获得的。焊接和试验均应按 AWS A5.36/A5.36M 要求进行。焊接和试验要求与 AWS A5.20/A5.20M 中给出的要求相同。本表所列分类的任何力学性能试验均应在焊态下进行。

^f 见表 U.6。

^g 如适用，可在 AWS A5.20/A5.20M 确定的代号(即 E7XT-XXD、E7XT-XXQ、E7XT-XXHX、E7XT-XXDHX 或 E7XT-XXQHX)的末尾添加可选代号“D”、“Q”和“H”(这不是焊条分类代号的组成部分)，比如。不再需要适用 AWS A5.20/A5.20M 中列出的可选补充代号“J”。AWS A5.36/A5.36M 规范中介绍的开放分类系统无需使用这个代号。

^h 可在 AWS A5.18/A5.18M 确定的代号(即 E70C-6 MHZ)的末尾添加可选补充代号“H”(这不是焊条分类代号的组成部分)。AWS A5.18/A5.18M 中没有给出可选补充代号“J”、“D”和“Q”的要求，因此不可将它们与 E70C-6M 代号一起使用。但这并不妨碍它们与按 AWS A5.36/A5.36M 规范的开放分类系统要求分类的金属芯焊丝一起使用。

ⁱ 对于 D1.1 规范，免评定氩气/CO₂ 混合保护气体应被限定为满足 AWS A5.18 和 AWS A5.20 保护气体分类要求的 SG-AC-20/25，而非 M21 的保护气体范围。

出处：摘自美国焊接协会 AWS A5.36/A5.36M:2012 《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》的表 1。

表 U.2 AWS A5.36/A5.36M 拉伸试验要求^a

拉伸强度代号		单焊道焊条	A5.36 多焊道焊条(美国惯用单位)			A5.36M 多焊道焊条(国际单位)		
美国惯 用单位	国际单 位(SI)	最小抗拉强 度 ksi [MPa]	抗拉强 度(ksi)	最低屈服 强度 ^b (ksi)	最小%伸 长率 ^c	抗拉强度 (ksi)	最低屈服 强度 ^b (ksi)	最小% 伸长率 ^c
6	43	60 [430]	60–80	48	22	430–550	330	22
7	49	70 [490]	70–95	58	22	490–660	400	22
8	55	80 [550]	80–100	68	19	550–690	470	19
9	62	90 [620]	90–110	78	17	620–760	540	17
10	69	100 [690]	100–120	88	16	690–830	610	16
11	76	110 [760]	110–130	98	15d	760–900	680	15d
12	83	120 [830]	120–140	108	14d	830–970	740	14d
13	90	130 [900]	130–150	118	14d	900–1040	810	14d

^a 开放分类 E7XT12-C1A2-CS2/E7XT12-M21A2-CS2 的抗拉强度范围(即 70 ksi~95 ksi)超过了固定分类

E7XT-12X 的抗拉强度范围(即 70 ksi~90 ksi)。

^b 屈服强度是 0.2%残余变形时的屈服强度。

^c 当采用公称直径为 0.500 in. [12.5 mm]且公称标距长度与直径比为 4:1 的拉伸试样时, 使用 2 in. [50 mm] 的标距长度(与 AWS B4.0[AWS B4.0M]拉伸试验一节规定的要求相同)。当允许将 0.045 in. [1.2 mm]和 E7XT-11[E49XT-11]分类中更小规格的焊条用于公称直径为 0.250 in. [6.5 mm]的拉伸试样中时, 使用 1 in. [25 mm]的标距长度。

^d 如果焊缝金属的抗拉强度超过抗拉强度范围 25%, 伸长率可以降低 1 个百分点。

出处: 摘自美国焊接协会 AWS A5.36/A5.36M:2012《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》的表 2。

表 U.3 AWS A5.36/A5.36M 夏比冲击试验要求

表 U.3 AWS A5.36/A5.36M 夏比冲击试验要求					
A5.36 要求 (美国惯用单位)			A5.36M 要求 (国际单位)		
冲击代号 ^{a, b}	最低试验 温度 ^{c, d} (°F)	最低平均冲击 能量	冲击代号 ^{a, b}	最低试验 温度 ^{c, d} (°F)	最低平均冲击 能量
Y	+68	20 ft·lbf	Y	+20	27 J
0	0		0	0	
2	-20		2	-20	
4	-40		3	-30	
5	-50		4	-40	
6	-60		5	-50	
8	-80		6	-60	
10	-100		7	-70	
15	-150		10	-100	
Z	无冲击要求		Z	无冲击要求	
G	由供应商和采购商商定				

^a 如图 U.1 所示，制造商应依据焊缝金属的冲击试验结果在分类中插入取自上面表 U.3 的合适代号。

^b 当采用美国惯用单位按 AWS A5.36 要求对焊条进行分类时，冲击代号表示的是以°F为单位的最大冲击试验温度。当采用国际单位(SI)按 AWS A5.36M 要求对焊条进行分类时，冲击代号表示的是以°C为单位的最大冲击试验温度。除了冲击代号“4”之外，其他给定冲击代号表示的是不同的温度，温度的单位取决于是否采用美国惯用单位按 AWS A5.36 要求或者采用国际单位(SI)按 AWS A5.36M 要求进行分类。举例说明，当按 AWS A5.36M 要求分类时，冲击代号“2”表示试验温度是-20°F(也就是-29°C)。

^c 在给定温度下满足冲击试验要求的某一焊条的焊缝金属在本表给出的所有较高温度下也应满足冲击试验要求。举例说明，满足 AWS A5.36 的代号“5”要求的焊缝金属也满足代号 4、2、0 和 Y 的要求。[满足 A5.36M 的代号“5”要求的焊缝金属也满足代号 4、3、2、0 和 Y 的要求]。

^d 对于通过试验证明满足规定的最低可接受冲击试验要求(即规定温度条件下的最低能量)的填充金属分类，可通过进行试验及满足任何较低温度条件下的最低能量要求的方式来证明其满足要求。在此类情况下，应在证明文件中列出试验用的实际温度。

出处：摘自美国焊接协会 AWS A5.36/A5.36M:2012《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》的表 3。

表 U.4 焊条可用性特征

焊条可用性代号 ^a	工艺	焊条类型概述 ^{b, c}	典型焊接位置 ^{d, e}	极性 ^f
T1	FCAW-G	这种类型的药芯焊丝是气体保护药芯焊丝，并且有金红石基渣。它们可通过射流过渡、低飞溅损失及完全盖住了焊道的中等体积焊渣来表征。	H, F, VU, & OH	DCEP
T1S	FCAW-G	这种类型的药芯焊丝与“T1”型焊条差不多，但锰和/或硅的含量较高。它们主要是在平焊和横焊位置的单焊道焊接中使用。这种焊条的脱氧剂含量较高，从而可对极易氧化的钢材或沸腾钢进行单焊道焊接。	H, F, VU, & OH	DCEP
T3S	FCAW-S	这种类型的药芯焊丝是自保护焊条，可供单焊道焊接用，并且通过射流过渡来表征。钛基焊渣系统的设计可使焊接速度变得非常快。	H, F	DCEP
T4	FCAW-S	这种类型的药芯焊丝是自保护焊条，并且通过熔滴过渡来表征。这种焊条的氟化物基焊渣系统的设计可使熔敷速度变得非常快，并且产生的硫化物很少，从而可以提高焊缝的抗热开裂性。	H, F	DCEP
T5	FCAW-G	这种类型的药芯焊丝是气体保护焊条，并且通过熔滴过渡、稍微凸起的焊道轮廓和未完全覆盖涵盖的薄焊渣来表征。这种焊条具有石灰-氟化物焊渣系统，并且具有比“T1”型焊条更好的冲击性能和抗冷开裂性能。	H, F, VU & OH	DCEP 或 DCEN ^g
T6	FCAW-S	这种类型的焊条是气体保护焊条，并且通过射流过渡来表征。这种焊条的氧化物基系统可以产生良好的低温冲击性能，还能很好地熔入焊缝根部，并且易于将焊渣清除。	H & F	DCEP
T7	FCAW-S	这种类型的药芯焊丝是自保护焊条，并且通过细滴过渡、射流过渡来表征。如果焊条直径较大，则氟化物基焊渣系统的设计可以在俯焊位置提供高的熔速；如果焊条直径较小，则可提供旁位焊接控制。	H, F, VU & OH	DCEN
T8	FCAW-S	这种类型的药芯焊丝是自保护焊条，并且通过细滴过渡、射流过渡来表征。氟化物基焊渣系统的设计可以提供良好的旁位焊接控制。这种焊条产生的焊缝金属展现出非常好的低温缺口韧性和抗裂性。	H, F, VD, VU, & OH	DCEN
T9	FCAW-G	这种类型的药芯焊丝的设计和应用要求与 T1 型焊条差不多，但具有更加的焊缝金属缺口韧性。	H, F, VU & OH	DCEP

(待续)

表 U.4(续) 焊条可用性特征

焊条可用性代号 ^a	工艺	焊条类型概述 ^{b, c}	典型焊接位置 ^{d, e}	极性 ^f
T10S	FCAW-S	这种类型的药芯焊丝是自保护焊条, 并且通过细滴过渡来表征。氟化物基焊渣系统的设计可在任何厚度的钢材上以高的焊接速度制造单焊道焊缝。	H, F	DCEN
T11	FCAW-S	这种类型的药芯焊丝是自保护焊条, 并且通过平滑的射流过渡、有限的焊渣覆盖率来表征, 通常不推荐将其用于焊接厚度超过 3/4 in. [20 mm] 的材料。	H, F, VD&OH	DCEN
T12	FCAW-G	这种类型的药芯焊丝的设计和与应用要求与 T1 型焊条差不多。但它们具备更加的冲击韧性, 并且满足 ASME 锅炉和压力容器规定第 IV 篇中 A-No. 1 分析组的较低锰含量要求。	H, F, VU&OH	DCEP
T14S	FCAW-S	这种类型的药芯焊丝是自保护焊条, 并且通过平滑的射流过渡来表征。焊渣系统的设计可在所有位置以高的焊接速度制作单焊道焊缝。	H, F, VD&OH	DCEN
T15	GMAW-C	这种类型的焊条是气体保护复合焊条或金属芯焊丝。焊芯的成分主要是金属材料。焊芯中的非金属成分的总含量通常不超过焊条总重量的 1%。这些焊条通过射流电弧和优越的焊道清理能力来表征。应用方法在大多数情况下都与实心 GMAW 焊条差不多。	H, F, OH, VD&VU	DCEP 或 DCEN
T16	GMAW-C	这种类型的焊条是气体保护的金属芯焊丝, 专门设计与含有或不改进波形的 AC 电源一起使用。	H, F, VD, VU&OH	AC ^h
T17	FCAW-S	这种类型的药芯焊丝是自保护焊条, 专门设计与含有或不改进波形的 AC 电源一起使用。	H, F, VD, VU&OH	AC ^h
G		由供应商和采购商商定	未规定	未规定

^a 当待分类的焊条是推荐仅供单焊道焊接用的焊条时, 在可用性代号末尾加上“S”。

^b 详细信息见 AWS A5.36/A5.36M 附录 A 的 A7“描述和拟定用途”。

^c 利用与外部保护气体一起使用的焊条制作的焊缝金属的性能取决于所用的保护气体。在事先未咨询焊条制造商的情况下, 不宜将按照某一具体保护气体分类的焊条于其他保护气体一起使用。

^d H=横焊位置, F=平焊位置, OH=仰焊位置, VU=向上施焊的立焊位置, VD=向下施焊的立焊位置。

^e 适用于旁位焊接(也就是除平焊位置和横焊位置之外的焊接位置)的焊条规格通常是比第 9 节中坡口焊缝用焊条规格小 3/32 in. [2.4 mm] 或者接近第 9 节中坡口焊缝用焊条规格的规格。鉴于此, 满足坡口焊缝试验要求的焊条的分类可以是 EX1TX-XXX-X (其中 X 代表的是抗拉强度、可用性、保护气体(如有)、热处理状态、冲击试验温度和焊缝金属成分代号), 而无需考虑焊条规格。

^f 术语“DCEP”是指直流电极接正(直流反接)。术语“DCEN”是指直流电极接负(直流正接)。

^g 一些 EX1T5-XXX-X 焊条可能被推荐在 DCEN 上使用, 以提高旁位焊接直流。可向制造商咨询推荐采用的极性。

^h 对于这种类型的焊条, 焊接电流可以是传统的正弦交流电流、改进的 AC 波形(交变 DCEP 波形或交变 DCEN 波形)交变正电流和负电流。

出处: 摘自美国焊接协会 AWS A5.36/A5.36M:2012《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》的表 4。

表 U.5 AWS A5.36/A5.36M 的保护气体成分要求

AWS A5.36/A5.36M 保护气体代号 ^a	指明的主要/次要分组的 AWS A5.32M/A5.32 成分范围 ^b		按 AWS A5.36/A5.36M 进行气体保护焊条分类用保护气 体的名义成分 ^{c, d}		
	氧化组分 ^e		ISO 14175 代号 ^f	氧化组分 ^{c, g}	
	% CO ₂	% O ₂		% CO ₂	% O ₂
C1	100	—	C1	100	—
M12	0.5≤CO ₂ ≤5	—	M12 – ArC – 3	3	—
M13	—	0.5≤O ₂ ≤3	M13 – ArO – 2	—	2
M14	0.5≤CO ₂ ≤5	0.5≤O ₂ ≤3	M14 – ArCO – 3/2	3	2
M20	5<CO ₂ ≤15	—	M20 – ArC – 10	10	—
M21	15<CO ₂ ≤25	—	M21 – ArC – 20	20	—
M22	—	3<O ₂ ≤10	M22 – ArO – 7	—	7
M23	0.5≤CO ₂ ≤5	3<O ₂ ≤10	M23 – ArOC – 7/3	3	7
M24	5<CO ₂ ≤15	0.5≤O ₂ ≤3	M24 – ArCO – 10/2	10	2
M25	5<CO ₂ ≤15	3<O ₂ ≤10	M25 – ArCO – 10/7	10	7
M26	15<CO ₂ ≤25	0.5≤O ₂ ≤3	M26 – ArCO – 20/2	20	2
M27	15<CO ₂ ≤25	3<O ₂ ≤10	M27 – ArCO – 20/7	20	7
M31	25<CO ₂ ≤50	—	M31 – ArC – 38	38	—
M32	—	10<O ₂ ≤15	M32 – ArO – 12.5	—	12.5
M33	25<CO ₂ ≤50	2<O ₂ ≤10	M33 – ArCO – 38/6	38	6
M34	5<CO ₂ ≤25	10<O ₂ ≤15	M34 – ArCO – 15/12.5	15	12.5
M35	25<CO ₂ ≤50	10<O ₂ ≤15	M35 – ArCO – 38/12.5	38	12.5
Z	代号“Z”指的是供焊条分类使用的保护气体不是本表规定的保护气体，而是供应商和采购商商定的含有不同成分的保护气体。				

^a 保护气体代号与 AWS A5.32M/A5.32:2011 [ISO 14175:2008 MOD] 《焊接材料—熔焊及相关工艺用气体和气体混合物》中给出的相同保护气体的主要分组/次要分组代号相同。

^b 按照 AWS A5.32M/A5.32:2011 要求，用于平衡气体混合物的惰性气体可以是氩气、氦气或它们的混合物。

^c 对于 D1.1 规范，免评定氩气/CO₂ 混合保护气体应被限定为满足 AWS A5.18 和 AWS A5.20 保护气体分类要求的 SG-AC-20/25，而非 M21 的保护气体范围。

^d 对于碳钢和低合金钢 FCAW 和 GMAW 金属芯焊丝的开放分类，之前按 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 的保护气体要求分类的焊条应被视为是免评定焊条。AWS A5.36 的表 5 给出的对焊条进行分类用的其他保护气体分类仅限于在保护气体分类范围内的具体保护气体。

^e 混合物成分的公差如下：

名义浓度>5%的气体组分：名义值的±10%

名义浓度在 1%~5%的气体组分：绝对值的±0.5%

名义浓度<1%的气体组分：本规范未作规定。

^f AWS A5.32M/A5.32:2011 保护气体代号以“AWS A5.32 (ISO 14175)”开始。为了简便起见，保护气体代号中已经省略了这部分代号。

^g 用于平衡气体保护药芯焊丝和金属芯焊丝的气体混合物的惰性气体应为氩气。

出处：摘自美国焊接协会 AWS A5.36/A5.36M:2012 《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》的表 5。

表 U.6 焊缝金属化学成分要求^a

表 U.6 焊缝金属化学成分要求 ^a													
焊缝金属代号	UNS 编号 ^b	重量百分比 ^c											
		C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Al	Cu	其他 ^d
碳钢焊条													
CS1 ^e	—	0.12	1.75	0.90	0.030	0.030	0.50 ^f	0.20 ^f 0.20 ^f	0.30 ^f 0.30 ^f	0.08 ^f	—	0.35 ^f	—
CS2 ^{e, g}	—	0.12	1.60	0.90	0.030	0.030	0.50 ^f	0.20 ^f	0.30 ^f	0.08 ^f	—	0.35 ^f	—
CS3 ^e	—	0.30	1.75	0.60	0.030	0.030	0.50 ^f			0.08 ^f	1.8 ^{f, h}	0.35 ^f	—
锰钢焊条													
A1	W1703X	0.12	1.25	0.80	0.030	0.030	—	—	0.40–0.65	—	—	—	—
铬-钼钢焊条													
B1	W5103X	0.05–0.12	1.25	0.80	0.030	0.030	—	0.40–0.65	0.40–0.65	—	—	—	—
B1L	W5113X	0.05	1.25	0.80	0.030	0.030	—	0.40–0.65	0.40–0.65	—	—	—	—
B2	W5203X	0.05–0.12	1.25	0.80	0.030	0.030	—	1.00–1.50	0.40–0.65	—	—	—	—
B2L	W5213X	0.05	1.25	0.80	0.030	0.030	—	1.00–1.50	0.40–0.65	—	—	—	—
B2H	W5223X	0.10–0.15	1.25	0.80	0.030	0.030	—	1.00–1.50	0.40–0.65	—	—	—	—
B3	W5303X	0.05–0.12	1.25	0.80	0.030	0.030	—	2.00–2.50	0.90–1.20	—	—	—	—
B3L	W5313X	0.05	1.25	0.80	0.030	0.030	—	2.00–2.50	0.90–1.20	—	—	—	—
B3H	W5323X	0.10–0.15	1.25	0.80	0.030	0.030	—	2.00–2.50	0.90–1.20	—	—	—	—
B6	W50231	0.05–0.12	1.20	1.00	0.030	0.025	0.40	4.0–6.0	0.45–0.65	—	—	0.35	—
B6L	W50230	0.05	1.20	1.00	0.030	0.025	0.40	4.0–6.0	0.45–0.65	—	—	0.35	—
B8	W50431	0.05–0.12	1.20	1.00	0.030	0.040	0.40	8.0–10.5	0.85–1.20	—	—	0.50	—
B8L	W50430	0.05	1.20	1.00	0.030	0.040	0.40	8.0–10.5	0.85–1.20	—	—	0.50	—
B91 ⁱ	W50531	0.08–0.13	1.20 ^j	0.50	0.015	0.020	0.80 ^j	8.0–10.5	0.85–1.20	0.15–0.30	0.04	0.25	Nb: 0.02–0.10 N: 0.02–0.07 Nb: 0.02–0.08 W: 1.5–2.0
B92	—	0.08–0.15	1.20 ^j	0.50	0.015	0.020	0.80 ^j	8.0–10.0	0.30–0.70	0.15–0.30	0.04	0.25	B: 0.006 N: 0.02–0.08 Co ^k
镍钢焊条													
Ni1	W2103X	0.12	1.75	0.80	0.030	0.030	0.80–1.10	0.15	0.35	0.05	1.8 ^h	—	—
Ni2	W2203X	0.12	1.50	0.80	0.030	0.030	1.75–2.75	—	—	—	1.8 ^h	—	—
Ni3	W2303X	0.12	1.50	0.80	0.030	0.030	2.75–3.75	—	—	—	1.8 ^h	—	—

(待续)

表 U.6(续) 焊缝金属化学成分要求 ^a

焊缝金属代号	UNS 编号 ^b	重量百分比 ^c											
		C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Al	Cu	其他 ^d
碳钢焊条													
D1	W1913X	0.12	1.25–2.00	0.80	0.030	0.030	—	—	0.25–0.55	—	—	—	—
D2	W1923X	0.15	1.65–2.25	0.80	0.030	0.030	—	—	0.25–0.55	—	—	—	—
D3	W1933X	0.12	1.00–1.75	0.80	0.030	0.030	—	—	0.40–0.65	—	—	—	—
其他低合金钢焊条													
K1	W2113X	0.15	0.80–1.40	0.80	0.030	0.030	0.80–1.10	0.15	0.20–0.65	0.05	—	—	—
K2	W2123X	0.15	0.50–1.75	0.80	0.030	0.030	1.00–2.00	0.15	0.35	0.05	1.8 ^h	—	—
K3	W2133X	0.15	0.75–2.25	0.80	0.030	0.030	1.25–2.60	0.15	0.25–0.65	0.05	—	—	—
K4	W2223X	0.15	1.20–2.25	0.80	0.030	0.030	1.75–2.60	0.20–0.60	0.20–0.65	0.03	—	—	—
K5	W2162X	0.10–0.25	0.60–1.60	0.80	0.030	0.030	0.75–2.00	0.20–0.70	0.15–0.55	0.05	—	—	—
K6	W2104X	0.15	0.50–1.50	0.80	0.030	0.030	0.40–1.00	0.20	0.15	0.05	1.8 ^h	—	—
K7	W2205X	0.15	1.00–1.75	0.80	0.030	0.030	2.00–2.75	—	—	—	—	—	—
K8	W2143X	0.15	1.00–2.00	0.40	0.030	0.030	0.50–1.50	0.20	0.20	0.05	1.8 ^h	—	—
K9	W23230	0.07	0.50–1.50	0.60	0.015	0.015	1.30–3.75	0.20	0.50	0.05	—	0.06	—
K10	—	0.12	1.25–2.25	0.80	0.030	0.030	1.75–2.75	0.20	0.50	—	—	0.50	—
K11	—	0.15	1.00–2.00	0.80	0.030	0.030	0.40–1.00	0.20	0.50	0.05	1.8 ^h	—	—
W2	W2013X	0.12	0.50–1.30	0.35–0.80	0.030	0.030	0.40–0.80	0.45–0.70	—	—	—	0.30–0.75	—
G	—	(m)	由供应商和采购商商定										
GS ⁿ	—	由供应商和采购商商定											

- ^a 应分析本表所示焊缝金属的具体元素的值。
- ^b 见 ASTM DS-56/SAE HS-1086《统一编号系统中的金属和合金》。当将“X”放在最后位置时，则表示的是用于敷熔焊缝金属的焊条类型的可用性代号。这一要求的例外情况是，如果用“9”来代替“11”，则表示的焊条类型是“11”。
- ^c 单值为最大值。
- ^d 需要对硼的焊缝敷熔金属进行分析。如果故意添加了这一元素，或者已知这一元素的含量超过 0.0010%，则应予以报告。
- ^e 对于这一分类，本表列出的所有元素的总含量不应超过 5%。
- ^f 如果故意添加了这些元素，则应报告这些元素的分析结果。
- ^g 满足 ASME 锅炉和压力容器规范第 IX 卷“焊接与钎焊评定”QW-422 中 A-No. 1 分析组的较低 Mn 要求。
- ^h 仅适用于自保护焊条。拟在气体保护下使用的焊条通常不会大量添加铝。
- ⁱ “B91”代号是一个新代号，取代了之前这种类型合金用的“B9”代号。
- ^j $Mn + Ni = 1.40\%$ (最大值)。见 AWS A5.36/A5.36M 附录 A 的 A7.16.2。
- ^k 如果故意添加了 Co，或者已知 Co 含量超过 0.0010%，则应报告其分析结果。
- ^l 气体保护焊条的限值是 0.18%(最大值)。自保护焊条的限值是 0.30%(最大值)。
- ^m 焊缝金属的成分通常不重要，因为该分类中的焊条仅供单焊道焊缝使用。在此类焊缝中，母材的稀释程度通常相当高。见 AWS A5.36/A5.36M 附录 A 的 A7.2。

出处：摘自美国焊接协会 AWS A5.36/A5.36M:2012《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》的表 6。

表 U.7 可选补充代号“D”的 AWS A5.20/A5.20M 工艺要求

可选补充代号	工艺热输入(冷却速率快或慢)	预热温度 °F [°C]	道间温度 °F [°C]	任何单焊道的 热输入要求 ^a	所有焊道的平均 热输入 ^a
D	低(冷却速率快)	70°F ± 25°F [20°C ± 15°C]	200°F ± 25°F [90°C ± 15°C]	直径 < 3/32 in. [2.4 mm] 的焊条	
				33 kJ/in. [1.3 kJ/mm]	30 +2, -5 kJ/in.
				(最大值)	[1.2 +0.1, -0.2 kJ/mm]
				直径 ≥ 3/32 in. [2.4 mm] 的焊条	
	高(冷却速率慢)	300°F ± 25°F [150°C ± 15°C]	500°F ± 50°F [260°C ± 25°C]	44 kJ/in. [1.7 kJ/mm]	40 +2, -5 kJ/in.
				(最大值)	[1.6 +0.1, -0.2 kJ/mm]

^a 不适用于第一层焊层。第一层焊层可能有一条或两条焊道。

出处：：摘自美国焊接协会 AWS A5.20/A5.20M:2005 《药芯焊丝电弧焊用碳钢焊条规范》的表 9。

表 U.8 可选补充代号“D”的 AWS A5.36/A5.36M 工艺要求

可选补充代号	工艺热输入(冷却速率快或慢)	预热温度 °F [°C]	道间温度 °F [°C]	任何单焊道的 热输入要求 ^a	所有焊道的平均 热输入 ^a
D	低(冷却速率快)	120°F [50°C] (最大值)	250°F [120°C] (最大值)	直径 < 3/32 in. [2.4 mm] 的焊条	
				38 kJ/in. [1.5 kJ/mm]	24 kJ/in. -36 kJ/in.
				(最大值)	[0.9 kJ/mm -1.4 kJ/mm]
				直径 ≥ 3/32 in. [2.4 mm] 的焊条	
	高(冷却速率慢)	250°F [120°C] (最小值)	450°F [240°C] (最小值)	44 kJ/in. [1.7 kJ/mm]	35 kJ/in. -42 kJ/in.
				(最大值)	[1.4 kJ/mm -1.6 kJ/mm]

^a 不适用于第一层焊层。第一层焊层可能有一条或两条焊道。

注：预热温度、道间温度和热输入的“D”代号要求的变化用黑体字和下划线标出。

出处：摘自美国焊接协会 AWS A5.36/A5.36M:2012 《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》的表 10。

表 U.9 多焊道 FCAW 及 GMAW 金属芯焊丝的 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 规范分类与 AWS A5.36 固定分类和开放分类的对比

附录 T		A5.36		
规范	分类	固定分类	开放分类	附录 V 保护气体分类要求
A5.18	E70C-3C	不适用	E7XT15-C1A0-CS1	SG-C
	E70C-3M	不适用	E7XT15-M21A0-CS1	SG-AC-20-25
	E70C-6C	不适用	E7XT15-C1A2-CS1	SG-C
	E70C-6M	E70C-6M	E7XT15-M21A2-CS1	SG-AC-20-25
	E70C-G	不适用	E7XT15-XAX-G	按约定
A5.20	E7XT-1C	E7XT-1C	E7XT1-C1A0-CS1	SG-C
	E7XT-1M	E7XT-1M	E7XT1-M21A0-CS1	SG-AC-20-25
	E7XT-4	E70T-4	E7XT4-AZ-CS3	
	E7XT-5C	E7XT-5C	E7XT5-C1A2-CS1	SG-C
	E7XT-5M	E7XT-5M	E7XT5-M21A2-CS1	SG-AC-20-25
	E7XT-6	E7XT-6	E7XT6-A2-CS3	
	E7XT-7	E7XT-7	E7XT7-AZ-CS3	
	E7XT-8	E7XT-8	E7XT8-A2-CS3	
	E7XT-9C	E7XT-9C	E7XT9-C1A2-CS1	SG-C
	E7XT-9M	E7XT-9M	E7XT9-M21A2-CS1	SG-AC-20-25
	E7XT-11	不适用	E7XT11-AZ-CS3	
	E7XT-12C	E7XT-12C	不适用	SG-C
	E7XT-12M	E7XT-12M	不适用	SG-AC-20-25
	E6XT-G	不适用	E6XTG-XXX-G	按约定
	E7XT-G	不适用	E7XTG-XXX-G	按约定
A5.28	E70C-B2L	不适用	E7XT15-M13PZ-B2L E7XT15-M22PZ-B2L	SG-AO-1-5
	E80C-B2	不适用	E8XT15-M13PZ-B2 E8XT15-M22PZ-B2	SG-AO-1-5
	E80C-B3L	不适用	E8XT15-M13PZ-B3L E8XT15-M22PZ-B3L	SG-AO-1-5
	E90C-B3	不适用	E9XT15-M13PZ-B3 E9XT15-M22PZ-B3	SG-AO-1-5
	E80C-B6	不适用	E8XT15-M13PZ-B6 E8XT15-M22PZ-B6	SG-AO-1-5
	E80C-B8	不适用	E8XT15-M13PZ-B8 E8XT15-M22PZ-B8	SG-AO-1-5
	E90C-B9	不适用	E9XT15-M20PZ-B9 E9XT15-M21PZ-B9	SG-AC-5-25
	E70C-Ni2	不适用	E7XT15-M13P8-Ni2 E7XT15-M22P8-Ni2	SG-AO-1-5

(待续)

表 U.9(续) 多焊道 FCAW 及 GMAW 金属芯焊丝的 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 规范分类与 AWS A5.36 固定分类和开放分类的对比

附录 T		A5.36		
规范	分类	固定分类	开放分类	附录 V 保护气体分类要求
A5.28(续)	E80C-Ni1	不适用	E8XT15-M13A5-Ni1 E8XT15-M22A5-Ni1	SG-AO-1-5
	E80C-Ni2	不适用	E8XT15-M13P8-Ni2 E8XT15-M22P8-Ni2	SG-AO-1-5
	E80C-Ni3	不适用	E8XT15-M13P10-Ni3 E8XT15-M22P10-Ni3	SG-AO-1-5
	E90C-D2	不适用	E9XT15-M13A2-D2 E9XT15-M22A2-D2	SG-AO-1-5
	E90C-K3	不适用	E9XT15-M12A6-K3 E9XT15-M20A6-K3 E9XT15-M21A6-K3	SG-AC-5-25
	E100C-K3	不适用	E10XT15-M12A6-K3 E10XT15-M20A6-K3 E10XT15-M21A6-K3	SG-AC-5-25
	E110C-K3	不适用	E11XT15-M12A6-K3 E11XT15-M20A6-K3 E11XT15-M21A6-K3	SG-AC-5-25
	E110C-K4	不适用	E11XT15-M12A6-K4 E11XT15-M20A6-K4 E11XT15-M21A6-K4	SG-AC-5-25
	E120C-K4	不适用	E12XT15-M12A6-K4 E12XT15-M20A6-K4 E12XT15-M21A6-K4	SG-AC-5-25
	E80C-W2	不适用	E8XT15-M12A2-W2 E8XT15-M20A2-W2 E8XT15-M21A2-W2	SG-AC-5-25
	E70C-G	不适用	E7XTG-XXX-X	按约定
	E80C-G	不适用	E8XTG-XXX-X	按约定
	E90C-G	不适用	E9XTG-XXX-X	按约定
	E100C-G	不适用	E10XTG-XXX-X	按约定
	E110C-G	不适用	E11XTG-XXX-X	按约定
	E120C-G	不适用	E12XTG-XXX-X	按约定
A5.29	E7XT5-A1C, -A1M	不适用	E7XT5-C1P2-A1 E7XT5-M21P2-A1	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-A1C, -A1M	不适用	E8XT1-C1PZ-A1 E8XT1-M21PZ-A1	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-B1C, -B1M, -B1LC, -B1LM	不适用	E8XT1-C1PZ-B1 E8XT1-M21PZ-B1 E8XT1-C1PZ-B1L E8XT1-M21PZ-B1L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25

(待续)

表 U.9(续) 多焊道 FCAW 及 GMAW 金属芯焊丝的 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 规范分类与 AWS A5.36 固定分类和开放分类的对比

附录 T		A5.36		
规范	分类	固定分类	开放分类	附录 V 保护气体分类要求
A5.29(续)	E8XT1-B2C, -B2M, -B2HC, -B2HM, -B2LC, -B2LM	不适用	E8XT1-C1PZ-B2 E8XT1-M21PZ-B2 E8XT1-C1PZ-B2H E8XT1-M21PZ-B2H E8XT1-C1PZ-B2L E8XT1-M21PZ-B2L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-B2C, -B2M, -B2LC, -B2LM	不适用	E8XT5-C1PZ-B2 E8XT5-M21PZ-B2 E8XT5-C1PZ-B2L E8XT5-M21PZ-B2L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-B3C, -B3M, -B3LC, -B3LM, -B3HC, -B3HM	不适用	E9XT1-C1PZ-B3 E9XT1-M21PZ-B3 E9XT1-C1PZ-B3L E9XT1-M21PZ-B3L E9XT1-C1PZ-B3H E9XT1-M21PZ-B3H	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E9XT5-B3C, -B3M	不适用	E9XT5-C1PZ-B3 E9XT5-M21PZ-B3	SG-C SG-AC-20-25
	E10XT1-B3C, -B3M	不适用	E10XT1-C1PZ-B3 E10XT1-M21PZ-B3	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM	不适用	E8XT1-C1PZ-B6 E8XT1-M21PZ-B6 E8XT1-C1PZ-B6L E8XT1-M21PZ-B6L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM	不适用	E8XT5-C1PZ-B6 E8XT5-M21PZ-B6 E8XT5-C1PZ-B6L E8XT5-M21PZ-B6L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM	不适用	E8XT1-C1PZ-B8 E8XT1-M21PZ-B8 E8XT1-C1PZ-B8L E8XT1-M21PZ-B8L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM	不适用	E8XT5-C1PZ-B8 E8XT5-M21PZ-B8 E8XT5-C1PZ-B8L E8XT5-M21PZ-B8L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-B9C, -B9M	不适用	E9XT1-C1PZ-B9 E9XT1-M21PZ-B9	SG-C SG-AC-20-25
	E6XT1-Ni1C, -Ni1M	不适用	E6XT1-C1A2-Ni1 E6XT1-M21A2-Ni1	SG-C SG-AC-20-25
	E7XT6-Ni1	不适用	E7XT6-A2-Ni1	
	E7XT8-Ni1	不适用	E7XT8-A2-Ni1	

(待续)

表 U.9(续) 多焊道 FCAW 及 GMAW 金属芯焊丝的 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 规范分类与 AWS A5.36 固定分类和开放分类的对比

附录 T		A5.36		
规范	分类	固定分类	开放分类	附录 V 保护气体分类要求
A5.29(续)	E8XT1-Ni1C, -Ni1M	不适用	E8XT1-C1A2-Ni1 E8XT1-M21A2-Ni1	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-Ni1C, -Ni1M	不适用	E8XT5-C1P6-Ni1 E8XT5-M21P6-Ni1	SG-C SG-AC-20-25
	E7XT8-Ni2	不适用	E7XT8-A2-Ni2	
	E8XT8-Ni2	不适用	E8XT8-A2-Ni2	
	E8XT1-Ni2C, -Ni2M	不适用	E8XT1-C1A4-Ni2 E8XT1-M21A4-Ni2	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-Ni2C, -Ni2M	不适用	E8XT5-C1P8-Ni2 ^a E8XT5-M21P8-Ni2 ^a	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-Ni2C, -Ni2M	不适用	E9XT1-C1A4-Ni2 E9XT1-M21A4-Ni2	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-Ni3C, -Ni3M	不适用	E8XT5-C1P10-Ni3 E8XT5-M21P10-Ni3	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT5-Ni3C, -Ni3M	不适用	E9XT5-C1P10-Ni3 E9XT5-M21P10-Ni3	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT11-Ni3	不适用	E8XT11-A0-Ni3	
	E9XT1-D1C, -D1M	不适用	E9XT1-C1A4-D1 E9XT1-M21A4-D1	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT5-D2C, -D2M	不适用	E9XT5-C1P6-D2 E9XT5-M21P6-D2	SG-C SG-AC-20-25
	E10XT5-D2C, -D2M	不适用	E10XT5-C1P4-D2 E10XT5-M21P4-D2	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-D3C, -D3M	不适用	E9XT1-C1A2-D3 E9XT1-M21A2-D3	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-K1C, -K1M	不适用	E8XT5-C1A4-K1 E8XT5-M21A4-K1	SG-C SG-AC-20-25
	E7XT7-K2	不适用	E7XT7-A2-K2	
	E7XT4-K2	不适用	E7XT4-A0-K2	
	E7XT8-K2	不适用	E7XT8-A2-K2	
	E7XT11-K2	不适用	E7XT11-A-K2 ^b	
	E8XT1-K2C, -K2M	不适用	E8XT1-C1A2-K2 E8XT1-M21A2-K2	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-K2C, -K2M	不适用	E8XT5-C1A2-K2 E8XT5-M21A2-K2	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-K2C, -K2M	不适用	E9XT1-C1A0-K2 E9XT1-M21A0-K2	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT5-K2C, -K2M	不适用	E9XT5-C1A6-K2 E9XT5-M21A6-K2	SG-C SG-AC-20-25

(待续)

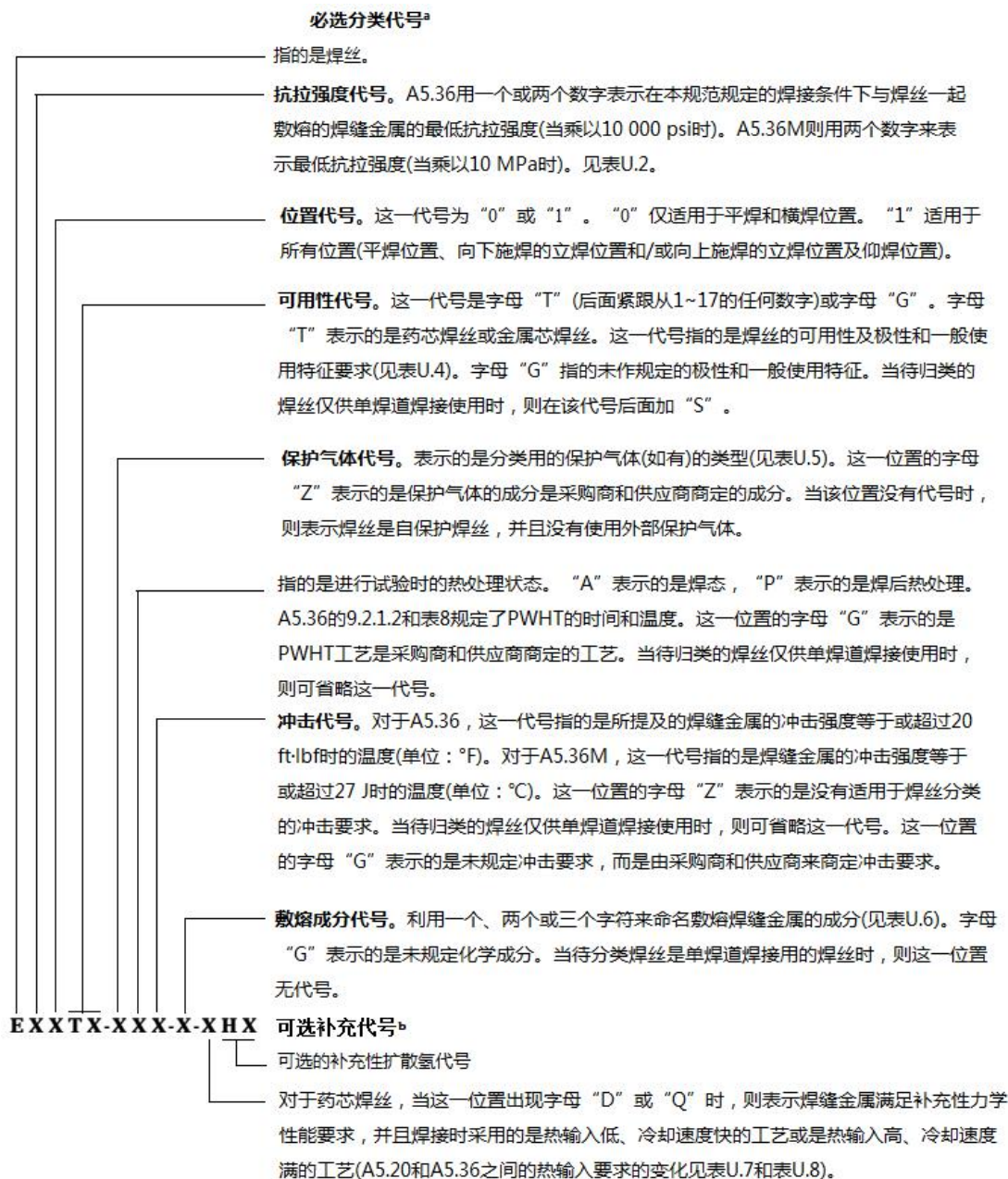
表 U.9(续) 多焊道 FCAW 及 GMAW 金属芯焊丝的 AWS A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 规范分类与 AWS A5.36 固定分类和开放分类的对比

附录 T		A5.36		
规范	分类	固定分类	开放分类	附录 V 保护气体分类要求
A5.29(续)	E10XT1-K3C, -K3M	不适用	E10XT1-C1A0-K3 E10XT1-M21A0-K3	SG-C SG-AC-20-25
	E10XT5-K3C, -K3M	不适用	E10XT5-C1A6-K3 E10XT5-M21A6-K3	SG-C SG-AC-20-25
	E11XT1-K3C, -K3M	不适用	E11XT1-C1A0-K3 E11XT1-M21A0-K3	SG-C SG-AC-20-25
	E11XT5-K3C, -K3M	不适用	E11XT5-C1A6-K3 E11XT5-M21A6-K3	SG-C SG-AC-20-25
	E11XT1-K4C, -K4M	不适用	E11XT1-C1A0-K4 E11XT1-M21A0-K4	SG-C SG-AC-20-25
	E11XT5-K4C, -K4M	不适用	E11XT5-C1A6-K4 E11XT5-M21A6-K4	SG-C SG-AC-20-25
	E12XT5-K4C, -K4M	不适用	E12XT5-C1A6-K4 E12XT5-M21A6-K4	SG-C SG-AC-20-25
	E12XT1-K5C, -K5M	不适用	E12XT1-C1AZ-K5 E12XT1-M21AZ-K5	SG-C SG-AC-20-25
	E7XT5-K6C, -K6M	不适用	E7XT5-C1A8-K6 ^a E7XT5-M21A8-K6 ^a	SG-C SG-AC-20-25
	E6XT8-K6	不适用	E6XT6-A2-K6	
	E7XT8-K6	不适用	E7XT8-A2-K6	
	E10XT1-K7C, -K7M	不适用	E10XT1-C1A6-K7 E10XT1-M21A6-K7	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT8-K8	不适用	E9XT8-A2-K8	
	E10XT1-K9C, -K9M	不适用	E10XT1-C1A6-K9 ^c E10XT1-M21A6-K9 ^c	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-W2C, -W2M	不适用	E8XT1-C1A2-W2 E8XT1-M21A2-W2	SG-C SG-AC-20-25
	EXXTX-G	不适用	EXXTX-XX-G	
	EXXTX-GC, -GM	不适用	EXXTX-C1XX-G EXXTX-M21XX-G	SG-C SG-AC-20-25
	EXXTG-X	不适用	EXXTG-XXX-X	按约定
	EXXTG-G	不适用	EXXTG-XXX-G	按约定

^a 现在使用的 AWS A5.29 CVN 温度是-75°F [-60°C]。由于这不是 A5.36 中的代号，故而开放分类对比是一个大概的对比。

^b 现在使用的 AWS A5.29 CVN 温度是+32°F [0°C]。由于这不是 A5.36 中的代号，故而开放分类的对比并不是完整的对比(原因在于缺乏 CVN 试验温度)。

^c AWS A5.36 并未强调军工行业用 K9 焊条的具体要求，应控制这种焊条的屈服强度，并且给出作为参考值的抗拉强度。AWS A5.29 给出的抗拉强度值是一个近似值(100 ksi~120 ksi [690 MPa~830 MPa])，而非一项要求，并且将屈服强度控制为 82 ksi~97 ksi [570 MPa~670 MPa]。



^a 这些代号的组合构成了药芯焊丝分类或金属芯焊丝分类。

^b 这些代号是可选代号,并且不构成药芯焊丝分类或金属芯焊丝分类的组成部分。

出处:摘自美国焊接协会 AWS A5.36/A5.36M:2012《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》的图1。

图 U.1—A5.36/A5.36M 开放分类系统

《钢结构焊接规范》

条文说明

第 18 版

由 AWS D1 结构焊接委员会编制

由 AWS 技术活动委员会提供指导

由 AWS 理事会批准

本页被故意留为空白。

前 言

本前沿不是 AWS D1.1/D1.1M:2015 《钢结构焊接规范》的组成部分，提供的目的仅仅是供参考。

编制 AWS D1.1/D1.1M:2015 的这一条文说明的目的是为了在钢结构焊接中对规范的应用有更好的理解。

由于规范是以技术条件的形式书写的，故而不能介绍背景资料或者讨论结构焊接委员会的意图；条文说明的功能正可满足这一需要。

本条文说明提供了应用建议并阐明了规范要求，还具体强调了用户不太熟悉的新的或修订过的章节。

自规范的第一版出版以来，寄给美国焊接学会和结构焊接委员会的查询件的性质表明规范中存在一些难以理解或不够具体的要求，并且还存在着一些过于保守的要求。

应该认识到的是，规范的基本前提是提供适用于任何情况的通用条款，并为实施工程评判留出足够的余地。

还应认识到的另外一点是，规范代表了委员会的集体经验，而某些条款也许似乎显得过于保守，但它们的基础依据都是可靠的工程实践。

因此，委员会认为条文说明是阐明要求及提供很多规范要求的正确解释的最合适的手段。条文说明的内容显然不得不受到篇幅的限制。

这一条文说明并不打算提供编制规范的历史背景，也无意提供委员会在系统阐述规范条款期间查阅的研究数据的详细详细梗概。

本规范一般不涉及为了均衡结构的承载构件及其连接而作的诸如荷载和应力计算这类设计上的考量因素。此类考量因素通常包含在一般建筑规范、桥梁规范或类似文件中。

作为例外，本规范特别提供了焊缝中的许用应力、适用于周期荷载结构和管材结构焊缝的疲劳条款及管材连接的强度限定。这些条款与焊接连接的特定性能有关。

委员会已经致力于提供一个在语言、体裁和涵盖范围等方面均适用于钢结构焊接的有用文件。本规范为业主或业主指定的代表提供了制定适用于设计与建造的焊接标准的方法。本规范包含有考虑了公众安全所必要的焊接规章的条款。

委员会建议业主或业主代表在将规范应用于焊接结构中遵从本条文说明。条文说明并不打算补充规范的要求，而仅仅是提供一个对规范解释和应用有用的文件。它的条文中没有一条是具有约束力的条文。

结构焊接委员会打算定期修订条文说明，以便马上将规范更改之处的条文说明提供给用户。这样条文说明将始终与钢结构焊接规范的版本保持同步。

条文说明的变更之处已用下划线标出。图表的修改之处则在页面边缘用竖直线标出。

本页被故意留为空白。

钢结构焊接规范条文说明

C-1. 总则

本规范的用户可能已经注意到没有附录 C。这样做的意图是避免与条文说明中使用“C-”标识的文字、表格和附图相混淆。规范的条文说明相对易于理解。如果规范正文条款有条文说明，比如规范的 2.3.2，则可以在标有 C-2.3.2 的条文说明中找到条款 C-2。“C-”表明其为条文说明，“2.3.2”则表示的是条文说明所指的规范的相关部分。同样地，C-表 3.7 指的是关于表 3.7 的条文说明，C-图 3.1 指的是关于图 3.1 的条文说明。如果某一规范条款、表和附图没有与其相关的条文说明，则条文说明中将不会有标有该规范内容的章节号的条款。这就是为什么我们在通篇阅读条文说明时会觉得其序号看上去没有规律，并且会觉得遗漏了某些段落。比如，你也许会在条文说明中阅读到以下三个按顺序排列的段落：C-5.22.6.1、C-5.22.6.2、C-5.22.6.4。你会注意到其中的 C-5.22.6.3 被遗漏了。这并非排版错误，而是表明规范的 5.22.6.3 没有条文说明。条文说明有其自己的表格和附图。这些表格和附图均以相差不大的方式给出，要小心防止将它们与规范中表格和附图的条文说明相混淆。比如，条文说明 C-8 节的第一个表格的标签是“表 C-8.1”。注意不要将“C-”放在表格前面，而要将其放在表格后面。“C-表 3.7”是规范中表 3.7 的条文说明；“表 C-8.1”则是 C-8 节的第一个条文说明表格。这同样也适用于附图的标签，比如“C-图 3.1”和“图 C-3.1”。

C-1.1 范围

《钢结构焊接规范》(以下简称规范)规定了钢结构制造中的焊接要求。它是对钢结构设计和制造所用的通用规范或技术条件的补充。

当将本规范用于其他结构时，业主、建筑师和工程师应当注意，并非本规范的所有条款都适用于他们的具体结构。然而，倘若有关主管部门认为有必要对规范作任何修改，则应当征得业主和承包商的同意并在合同中作出明确规定。

C-1.3 定义

C-1.3.1 工程师。本规范并不根据工程师的教育、职业注册资格、业务执照、专业领域或其他这

样的准则给工程师下定义。本规范没有规定工程师资格或能力考试要求。不过，贯穿整个规范的前提是，当涉及到将责任和权力分派给工程师时，其个人能胜任并且有能力履行这些职责。适用建筑规范中可能包含了工程师需要满足的要求。这些要求可能包括但不限于遵守地箱型管辖法律和指导工程实践的条例的规定。

C-1.3.3.1 承包商的检验员。在本规范的以前版本中，术语“制作-安装检验员”是指监督承包商工作的个人。6.1 定义了承包商检验员的具体责任。在某些行业，这种类型的检验被称为“质量控制”或“QC 检验”。

C-1.3.3.2 鉴定检验员。鉴定检验员的职责由工程师确定。工程师有责任决定某一特定项目是否需要以及何时需要进行鉴定检验，并且按需要定义检验员的职责。在某些行业，这种类型的检验被称为“质量保证”或“QA 检验”。建筑规范中可能规定了鉴定检验要求。工程师应在合同文件中明确此类要求。

C-1.3.3.3 检验员(泛指)。当使用“检验员”这一词汇而无修饰语“承包商”或“核查”时，则与此相关的条款对两种类型的检验员同等适用(示例见 6.1.4)。

C-1.3.4 OEM (原始设备制造商)。由本规范管辖的主要工业领域和应用通常包括在承包商和工程师的广泛范围内的独立实体。对于本规范的一些应用而言，一个实体既发挥着工程师的作用，也发挥着承包商的作用。在本规范中，这种实体被称为原始设备制造商(OEM)。示例将包括金属建筑系统、装备滑道和平台、材料储存系统、输送塔、指示灯杆和标志牌结构。对于这些情况，合同文件中宜定义如何处理各种各样的职责。根据定义，本规范将工程师的作用从承包商的作用中分离了出来，而将这些归类为 OEM 应用。这样可能会存在很多种类别，但下列通用类别涵盖了 OEM 应用的很用例子。

- OEM 1—OEM 承担“总承包产品”的职责，而业主不参与工程或检验。
- OEM 2—OEM 提供总承包产品，但业主会派出自己的鉴定检验员，由他们向业主报告检查结果。
- OEM 3—规范规定的工程师职责由 OEM 和业主的工程师一起承担。

为了阐明上面的每一种情况，下面给出了一些可能使用的合同用语的示例。宜斟酌这些术语在具体情况下的适用性。

OEM1 的合同用语示例：

“应采用 D1.1。承包商的工程师应承担 1.3.1 定义的工程师职责。不允许偏离规范 1.4.1 定义的要求。”

OEM2 的合同用语示例:

“应采用 D1.1。承包商的工程师应承担 1.3.1 定义的工程师职责，但例外情况是第 6 节的“工程师”指的是“业主”。鉴定检验应由业主来确定，并且鉴定检验员应将结果报告给业主。此外，另外，承包商工程师作出的更改规范 1.4.1 规定的决定应提交业主审批。”

OEM3 的合同用语示例:

因为行数过多，故而本处未提供具体的推荐用语，鼓励用户查阅与工程师有关的所有参考信息，并且弄清楚如何处理每种情况。举例说明，可将第 1 节、第 2 节和第 6 节的职责指派给业主的工程师，而将第 3 节、第 4 节、第 5 节和第 7 节的职责指派给承包商的工程师。

C-1.3.6.2 Should(宜)。用“Should(宜)”表述的条款是建议性条款(以 5.28 为例—宜避免产生电弧击伤，而不是禁止产生电弧击伤)。不过，如果存在电弧烧伤，则“Shall(应)”(即要求)予以清除。

某些规范条款是提供给承包商的选择性条款(以 5.26 为例—允许(可)在中间焊层上进行锤击，但不要求(应)在中间焊层上进行锤击)。

C-1.3.6.3 May(可)。一些规范条款不是强制性条款，除非工程师在合同文件中将这些条款规定为强制性条款。

C-1.4 职责

C-1.4.1 工程师的职责。工程师负责在合同准备阶段向业主或承包方提供规范在满足具体结构的特殊要求方面的适用性的建议。工程师可以更改任何规范要求，但宜作好关于此类更改的基础依据的记录，并且要利用过去的经验、实验证据或工程分析考虑在使用中的合适性及考虑材料类型、荷载作用和环境因素。

在项目进行过程中，工程师可建议对规范条款作补充更改，以使项目达到更好效果。宜对此类更好作记录。相关各方宜解决更改事宜对合同关系的影响。

与承包合同的规范修改相关的常见例子包括解决项目中不可预见的困难、处理无关紧要的不合格项及应付与违反规范要求有关的具体问题。举例说明，对于整个项目而言，在适当考虑使用要求的情况下接受无关紧要的不合格项远比为了完全符合规范要求而强制要求进行修补，但获得不理想的最终产品的做法更可取。

规范的基本前提是提供适用于大多数情况的通用条款。也适用有别于规范规定的产品焊缝的验收准则，但宜在诸如以往经验、实验证据或工程分析之类的基础依据上采用此类替代的验收准则。

签订合同之后，工程师可以更改规范中的要求，但宜记录更改情况，并且与相关各方达成一致意见。如果没有与合同条款相冲突的可能性，则工程师不能在合同签订后单方面修改或更改任何规范条款。各方宜就此种类型的修改相互达成一致意见，以便令人满意地处理意料不到的情况。

工程师需要确定特殊接头细节在具体焊接件中的适用性。免评定接头细节和可通过试验评定的特殊接头细节可能不适合在所有荷载条件或拘束条件下使用。宜考虑钢材的贯穿厚度特性、层状撕裂的可能性、待连接零件的尺寸和比例以及其他因素。

C-1.4.1(1) 规范的某些条款仅当工程师规定时才是强制性条款。这需要按规范要求，在合同文件中作出规定。

C-1.4.1(2) 工程师有权力、有责任确定具体项目采用什么样的 NDT(如有要求)。工程师宜考虑失效后果、检验方法在涉及到的具体焊缝中的适用性，并且认识到所规定的 NDT 方法及该 NDT 范围的局限性。

C-1.4.1(3) 规范未要求作鉴定检验。如果进行鉴定检验，则按工程师规定的规范要求作鉴定检验(见 6.1.2.2)。工程师可选择不作鉴定检验、仅在制作的某部分作鉴定检验，或者用鉴定检验完全取代承包商检验。然而，当工程师选择不作承包商检验时，则宜认识到这里存在由承包商检验员承担的大量职责，包括从传统意义上讲不可被视为是鉴定检验的组成部分的活动(见 6.1.2.1、6.2、6.3、6.5、6.9 和 9.25)。这些活动对控制焊缝质量是重要的。不宜设想用 NDT(无论范围多大)来抵消进行这些控制活动的需求。

C-1.4.1(5) 规范中的焊缝金属、母材和/或 HAZ 的韧性要求均非强制性要求。当有必要时，应在合同文件中规定规范中给出的这些要求。

C-1.4.1(6) 规范包含了适用于承受静荷载和循环荷载的非管材应用的条款。此类构造物的准则不同于其他构造物的准则，因此应在合同文件中规定规范中给出的适用的钢材类型和荷载条件。

C-1.4.1(7) 对于本规范中不必要提出的要求，工程师有责任规定附加的制作和检验要求。由于存在诸如极端操作温度(既包括热也包括冷)、独特的材料制作要求等之类的条件，故而这些附

加要求可能都是必要的要求。

C-1.4.1(8) 对于 OEM 应用(见 1.3.4)工程师的部分职责由承包商来履行。规范要求合同文件中规定这些责任(见 C-1.3.4)。

C-1.4.2 承包商的职责。1.4.2 的简略说明强调了承包商职责的主要范围，但这并非全部范围。承包商的职责贯穿于整个规范中。

C-1.4.3 检验员的职责。第 1.4.3 小节强调了各类检验员职责的主要范围，但这并非全部范围。第 6 节强调了具体职责。

C-1.8 标准计量单位

D1.1 有两套单位体系：美国惯用单位制和国际单位制 SI (米制) 。在整个规范中，用户会发现：跟在美国惯用单位尺寸后面的括号[]内的是 SI (米制)尺寸。SI 单位是美国惯用单位的“近似”换算值；也就是采用基于换算系数的相对接近有理数的转换方法获得 SI 值的“近似”换算值。举例说明，1/2 in.的近似换算值 12 mm，而精确换算值则是 12.7 mm。同样地，1 in.的近似换算值 25 mm，而精确换算值则是 25.4 mm。在美国惯用单位和 SI 之间硬要找出并选择公差的做法并不合适；每种单位制都宜被视为是一个整体，并且所用单位制宜与施工图中使用的单位制相同。就 WPS 而言，不宜要求制作者 PQR 的单位制再作改变。不过宜选用合适单位制来起草 WPS 的草稿。

本页被故意留为空白。

C-2. 焊接连接的设计

C-2.3 合同图纸和技术规范

C-2.3.2 缺口韧性要求。缺口韧性是一种材料性能，它提供了材料脆性断裂敏感性的一个量度。CVN 试验是衡量缺口韧性的最常用方法。目前也有更为可靠的其他试验方法，但也更加复杂且成本高昂。除非设计中采用断裂力学方法，否则无法对更精确的韧性量度作出判断。

对韧性的要求取决于荷载类型、加载速率、温度和其他因素。在确定焊接接头的 CVN 试验要求时，还可以考虑超静定性和断裂的后果。很多应用中都不要求测量缺口韧性。在要求采用最低 CVN 试验值的应用中，包括 CVN 试验值在内的填充金属分类的技术条件可以满足需要。许多填充金属分类都提供了 CVN 试验准则。结构应用中使用的的大多数填充金属都不作 CVN 试验。进行 CVN 试验并在结构中使用的一些填充金属通常要满足 20 ft·lbs(温度为-20°C或 0°F)或 27 J(温度为-29°C或-18°F)的缺口韧性要求。在更为严峻的情况下，可对 WPS 进行评定，以满足 CVN 试验值要求。应当认识到的是，填充金属或 WPS 评定中的 CVN 试验准则均与材料的脆性断裂敏感性(而非产品接头材料性能的精确量度)有关。大多数 CVN 试验要求的目的是要提供一些保证，即在结构工作温度下材料不处于缺口韧性的下平台。

结构型材和板材的调研和试验结果是，在 40°F [4°C]下，CVN 试验值等于或大于 15 ft·lbs [20 J]。这些调研是应钢厂要求而进行的，旨在证明在大多数建筑应用中均无需对母材进行 CVN 试验(见参考资料 6)。第 4.8.1 小节、C-2.5.2.2、C-9.15.4.4 和第 4 节的 D 部分都包含了与 CVN 试验值有关的信息(另见 Barsom 和 Rolfe 的“结构中的断裂和疲劳控制”[参考资料 1])。

C-2.3.4 焊缝尺寸和长度。绘制合同设计图的工程师不能在焊接方法和焊接位置未知的情况下规定坡口深度“S”。规范中明确规定 PJP 坡口焊缝的设计图上仅仅规定焊缝尺寸“(E)”(见 2.3.5.1)。这使得承包商可按施工图上标示的坡口深度来加工焊缝尺寸，当然这与承包商选择的焊接方法和焊接位置有关。

根部熔透通常取决于坡口根部的角度以及根部间隙、焊接位置和焊接方法。对于单边 V 形坡口焊缝和 V 形坡口焊缝，这些因素决定着免评定 PJP 坡口焊缝的制备深度与焊缝尺寸间的关系。

角焊缝的强度取决于焊缝厚度；然而，对于施工而言，角焊缝的焊脚尺寸更为有用，因为

这一尺寸是可测量的尺寸。当连接的零件角度之间的角度是 80° ~ 100° 时，取 90° 角焊缝的焊缝厚度为有效尺寸，并且在合同文件和施工图上用焊脚尺寸标出这一尺寸。

在重要的斜 T 形接头的锐角侧[见图 3.4(A)、(B)和(C)]，焊脚尺寸和焊缝有效厚度间的关系较为复杂。当零件之间的角度小于 80° 或大于 100° 时，合同文件应给出可以满足设计条件的规定焊缝有效厚度，而施工图上则应标明可以满足规定焊缝有效厚度所需的焊脚尺寸。

当锐角角度为 30° ~ 60° 时，有效焊缝尺寸取决于 Z 折减尺寸[见图 3.4(D)]，而 Z 折减尺寸又取决于焊接方法和焊接位置。仅在合同文件中规定满足设计条件所需的焊缝有效厚度，以使采用与其设备和通常做法相匹配的焊接方法的制作人能够用合适的 WPS 和施工图上符号表明其意图和操作说明。

C-2.3.5.4 免评定的细节尺寸。 C-3.2.1 中解释免评定接头的背景 and 基础。设计人员和细节绘制人员应当注明，免评定接头的几何形状的基础依据是证实下述情况符合要求：接头的形状、间隙、焊接位置及板材构件之前供评定合格的焊工将完好焊缝金属充分敷熔在母材上的通道。对于特殊接头在特殊应用场合的适用性来说非常重要的其他设计考虑因素不是免评定内容的组成部分。

此类考虑因素包括但不必限于：

- (1) 所连接母材的刚性对焊缝金属收缩产生的限制性影响；
- (2) 因在拘束状态下向整个厚度方向都承受应力的母材上敷熔大量焊缝金属而引起层状撕裂的潜在可能性；
- (3) 附近母材(并非接头的组成部分)对焊工接近接头，以便进行正确定位及焊条操控所形成的限制；
- (4) 焊缝相交处存在两向或三向应力的可能性；
- (5) 为了进行可靠 UT 或 RT 而接近接头时受到的限制；
- (6) 焊缝收缩引起残余拉应力的影响；
- (7) 焊缝变形超过所需变形时产生的影响。

C-2.4 有效面积

C-2.4.1.4 喇叭形坡口焊缝的有效尺寸。 矩形中空结构型材的成形方式可能导致无法形成 90° 的角。用于支持表 2.1 的研究结果考虑到了这一情况，并且认为 $2t$ 是可接受的值。

C-2.4.2.5 最大有效长度。当采用平行于应力的纵向角焊缝将荷载传递至轴向承载构件端部时，该焊缝被称为“端部承载焊缝”。这种焊缝的典型示例包括但不必限于轴向承载构件端部的纵向焊接搭接接头、连接承压加劲肋的焊缝、在拉应力及类似情形基础上设计的用于连接横向加劲肋和大梁腹板的焊缝。不被视为是端部承载焊缝的纵向承载角焊缝的典型示例包括但不限于用于板材或型材连接以形成组合横截面的焊缝(其中施加到焊缝应力的每一长度增量上的剪力取决于剪切荷载沿着构件长度的分布情况)、连接梁腹板上的连接角钢和受剪板材的焊缝(因为从梁或大梁腹板到焊缝的剪力流在整个焊缝长度内保持均匀，故而尽管承载方向实际上平行于焊缝轴线，但焊缝也不是端部承载焊缝)。不可将折减系数应用到在传统梁剪切基础上的设计的连接加劲肋和腹板的焊缝中，这是因为加劲肋和腹板都不承受计算的轴向应力，该应力仅被用于使腹板保持平整。

沿着端部承载角焊缝长度的应力分布很不均匀，它取决于纵向角焊缝的相对刚度和所连接母材的刚性之间的复杂关系。如果超过某一长度，则可保守地假设整个焊缝总长度上的平均应力等于许用应力。经验已经表明，当焊缝长度大约等于或小于焊缝尺寸的 100 倍时，合理的做法是假设有效长度等于实际长度。当焊缝长度大于焊缝尺寸的 100 倍时，则宜取比实际长度小的有效长度。2.4.2.5 中规定的折减系数 β 是欧洲规范 3 的等量值(采用美国单位和术语)，它是一个简化成指数公式的近似值，并且是在欧洲进行多年有限元研究和试验后开发的。此准则是在综合考虑了焊脚尺寸小于 1/4 in. [6 mm]的角焊缝的极限强度及焊脚尺寸等于或大于 1/4 in. [6 mm]的角焊缝的焊缝端部的位移小于 1/32 in. [1 mm]的使用可靠性极限的基础上得出的准则。从数学角度来讲，当实际长度约为焊脚尺寸的 300 倍时， β 系数乘以实际长度得到的表达式即为最大有效长度；因此，端部承载角焊缝的最大有效长度可以是焊脚尺寸的 180 倍。

C-2.6 应力

C-2.6.1 计算应力。可与许用应力作比较的计算应力应为采用适当分析方法确定的公称应力，而非可采用小于 1 ft.的较细网格进行有限元分析确定的“热点”应力。一些适用设计规范中要求某些接头的设计不仅要承受因所施加的荷载而产生的计算应力，并且要承受构件强度的某一最小百分比值，而不考虑施加到接头上的力的大小。此类要求的示例见 AISC 规范。

C-2.6.2 偏心引起的计算应力。试验表明，位于单角钢或双角钢构件或类似构件中性轴周围的平衡焊缝不会增强连接处的承载能力。因此允许使用不平衡焊缝。值得注意的是，由于不存在撕

裂温度，故而不必要进行端部绕焊(见图 C-2.1)。

C-2.6.4 焊缝金属的许用应力。可按下列原则来阐述构成本规范中与焊缝内应力有关的条款的基础依据的原理：

(1) 承受垂直于有效面积的拉应力的 CJP 坡口焊缝中的焊缝金属应具备与母材十分接近的力学性能。这实际上提供了一种未减小截面的几乎均匀的焊接件，从而可将确定零件所用的应力用于敷熔焊缝金属及其邻近部分。对于其他方向的荷载引起的应力，如果可以满足强度要求，则可使用强度较低的焊缝金属。

(2) 对于角焊缝和 PJP 坡口焊缝，与所连接的构件相比较，设计人员在选择焊缝金属的力学性能方面有较强的灵活性。在大多数情况下，这些焊缝传递的力小于构件的承载能力。这类焊缝与所传递的力成比例。如果焊缝面积足以承受所给的力，则可采用低于母材强度的焊缝金属来满足要求。由于较低强度的焊缝金属有更大的塑性，故而这种选择可能更为可取。

试验表明(参考资料 7)，在工作荷载条件下，施加到角焊缝焊喉上的等于填充金属抗拉强度(用焊条分类表示)0.3 倍的工作应力提供的安全系数范围是 2.2(适用于平行于焊缝纵轴的剪切力)~4.6(适用于垂直于焊缝轴的剪切力)。这是表 2.3 给出的值的基础依据。

(3) 作用于角焊缝焊缝有效厚度上的应力应始终被视为剪应力。虽然角焊缝承受垂直于其纵轴的荷载的破坏抗力强度承受平行于其纵轴的荷载的破坏抗力，但表 2.3 没有给出承受垂直于其纵轴的荷载的角焊缝的更高承载能力。

2.6.4.2 提供了允许承受斜交于焊缝轴线的荷载的角焊缝使用较高许用应力的替代准则。

(4) 任何焊缝的承载能力均由在每一个传递应力平面中计算所得的最低值确定。角焊缝和坡口焊缝中的这些剪切平面的说明见图 C-2.2。

(a) 平面 1-1 的承载能力取决于材料“ A ”的许用剪应力。

(b) 平面 2-2 的承载能力取决于焊缝金属的许用剪应力。

(c) 平面 3-3 的承载能力取决于材料“ B ”的许用剪应力。

C-2.6.4.2 可替代的角焊缝许用应力。人们长期以来都认为角焊缝构件的强度和变形能力与力和角焊缝构件轴线所成角度 θ 有关。承受横向荷载的角焊缝比承受纵向荷载的角焊缝的强度大约大 50%。单过来即可知道承受横向荷载的角焊缝断裂前的抗形变能力不如承受纵向荷载的角焊缝。按照 1968 年 10 月焊接期刊研究增刊中 Higgins 和 Preece 的试验的结果，为了简便起见及考虑

到没有用于处理纵向荷载和横向荷载之间相互作用的方式，所以本规范将角焊缝的许用应力限定为 $0.3F_{EXX}$ 。

这一数值以纵向荷载焊缝的低强度试验结果为基础，其中使用的抗断裂安全系数约为 2.2~2.7。相同的基本准则依然适用，然而，本规范现在提供了选择的余地，即允许与荷载角度形成特定数值而根据此值计算的角焊缝采用更高的许用应力。

承受来自各个角度的荷载的单一角焊缝元的极限剪切强度最初来源于 Butler(1972)提供的 E60 焊条的荷载-变形关系(参考资料 3)。E70 焊条的曲线是由 Lesik(1990)得出的(参考资料 4)。焊缝的强度和变形性能取决于角度 θ 。而角度 θ 由基本力的合力与焊缝元的轴线构成(见图 C-2.3)。图 C-2.4 给出了源自 Lesik 的角焊缝的实际荷载-变形关系。

焊缝极限应力 F_v 的公式如下

$$F_v = 0.852 (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \Theta) F_{EXX}$$

由于纵向荷载焊缝($\theta=0^\circ$)的许用应力被限定为 $0.3F_{EXX}$ ，所以试验结果表明，2.6.4.2 和 2.6.4.3 的公式提供的安全系数大于通常可接受的值(也就是 2)。

C-2.6.4.3 瞬时旋转中心。当一组焊缝因承受不通过该组重心作用的外部荷载而受到剪切时，此荷载是偏心荷载，并且倾向于使焊缝连接的零件间产生相对旋转和位移。倾向于产生旋转之处周围的点被称为瞬时旋转中心，其位置取决于荷载偏心度、焊缝组的几何形状以及合成的基本力在相对于焊缝轴线的不同角度下导致的焊缝变形。可以设想每一单位焊缝元的单独的抗力作用于一条直线，而该直线垂直于通过瞬时旋转中心和焊缝元部位(见图 C-2.3)。

所有焊缝元的总抗力合并以承受偏心荷载，并且当选定瞬时旋转中心的正确位置后即可满足静力学的三个平面方程式 (Σx 、 Σy 、 ΣM)要求。Tide(参考资料 5)给出了包括问题示例在内的方法的充分解释。目前已经研发出了用于定位受收敛公差限制的瞬时旋转中心的数字技术，比如 Brandt (参考资料 2)提出的数字技术。为了排除可能存在的计算困难，焊缝元的最大变形被限定为 $0.17W$ 的下限值。为了便于设计，可用一个简单的椭圆公式计算 $f(\rho)$ 值，它非常接近于 Lesik(参考资料 4)依据经验推导出的多项式。

C-2.6.4.4 同心承载焊缝组。承受垂直于其纵轴的荷载的焊缝具有较大能力，但与承受沿纵向轴线的荷载的焊缝相比起来却有较低的收缩变形的能力。所以，当承受不同角度的荷载的焊缝组合成一个单一焊缝组时，设计人员必须考虑它们的相对变形能力，以确保整个焊缝组具有应变

协调性。2.6.4.3 中的方法考虑了应变协调性。

由于介绍了 2.6.4.2 中的方程式(该式给出了一个通过重心在平面内受载的直线角焊缝的强度公式, 即: $F_v = 0.30F_{EXX} (1 + 0.50 \sin 1.5\theta)$), 所以很多工程师都只是将某一焊缝组内的单条焊缝的承载能力简单相加而忽略了应变协调性。这是一种不稳妥的做法。

对于同心但斜向受载焊缝组的设计, 除了可按图 C-2.5 证明的 2.6.4.4 的要求来完成之外, 还可以采用图 C-2.6 的荷载-变形曲线通过作图来完成设计。例如, 为了找出图 C-2.5 所示同心受载焊缝组的强度, 首先要确定具有最有限变形能力的焊缝元。在这一情况下, 焊缝就是横向受载焊缝。从折断点画一垂线, 则可以确定剩余焊缝元的强度是增加还是减少。

C-2.7 接头形状和细节

C-2.7.1 概述。总的来说, 细节设计应既能将抑制塑性行为的拘束最小化, 以避免产生不必要的集中焊接, 也要提供熔敷焊缝金属的充分空间。

C-2.7.3 承受厚度方向荷载的母材。通过对钢材进行轧制来生产供钢结构使用的型材和板材会导致母材的不同正交方向上具有不同的力学性能。这使得设计人员、细节绘制人员和制作者有必要认识到存在影响完工接头完整性的层状结构和/或层状撕裂的可能性; 当涉及到厚的母材时尤其应注意这个问题。

层状结构不是因焊接而产生的, 它们归因于钢材的制造方法。当层状结构的平面平行于应力场(也就是在纵向或横向方向承受应力)时, 它们通常不会影响母材的强度。在传递厚度方向的力的 T 形接头和角接头处, 层状结构不会直接影响母材的承载能力。

如果发生层状撕裂, 则通常归因于在高拘束度下产生的大量焊缝金属敷熔物的收缩。当焊缝尺寸大约在 3/4 in. ~1 in. [20 mm~25 mm] 之间时, 则很少会出现层状撕裂。角焊缝中很少发生层状撕裂。如果已经固化的热的焊缝金属的收缩没有受到约束, 则也不会发生层状撕裂; 但在大的焊缝中, 熔敷于焊缝根部区域已凝固的初始焊道会为后续熔敷焊道的拉伸收缩应变提供一个本来就坚硬的毗连区域。

由于层状撕裂是因固化焊缝金属的收缩引起的, 而这种收缩在局部平衡压缩拘束作用下被迫发生在短的标距长度范围内, 所以母材中单位厚度方向的应变可以比屈服点应变大数倍。状撕裂可能因此而产生。能产生层状撕裂的局部应变是在制作过程中冷却时发生, 并且成为在结构使用期限内强加于接头附近母材的最恶劣的条件。由于接头内部或非常靠近接头内部处的压

应力和拉应力都是自平衡应力，并且与施加的设计应力有关的应变只是那些与焊缝收缩有关的应变的很小一部分，所以外部施加的荷载不会引发层状撕裂，但如果焊接已经引发了层状撕裂，则原来就有的层状撕裂可能会扩展。

T 形接头和角接接头的设计和细节设计建立了会增加或降低层状撕裂可能性的条件，并且决定着焊接制作是一帆风顺地进行还是困难重重或者无法进行。因此，包括作业组、设计人员、细节绘制人员、制造者和焊工在内的所有成员均应关注所有组成的每个部分，以将出现层状撕裂的可能性降至最低。

本规范无法提供用于确保不发生层状撕裂的明确条款；因此，本条文说明旨在提供了解产生层状撕裂的原因的信息，并且提供将发生层状撕裂的可能性降至最低的方法方面的指导信息。试验和经验已经证实下述的预防措施会最大限度地降低出现撕裂的可能性：

(1) 母材厚度和焊缝尺寸宜足以满足设计要求；但在低于规范许用应力基础上设计接头而不提供保守设计的做法会导致拘束度、焊缝尺寸和收缩应变都增大。因此，这种习惯性做法增大了层状撕裂的可能性，而没有降低这种可能性。

(2) 在焊接大的 T 形接和角接接头时应采用低氢焊条。吸收的氢不是引发层状撕裂的主要原因，但不管在什么情况下，在大接头上(横向、纵向或厚度方向)使用低氢焊条都可以将氢致冷开裂的倾向降到最低程度。采用非低氢焊条可能会引起麻烦。

(3) 试验和经验已经证实，接头装配之前，在母材承受厚度方向应力的面上预先堆焊一层厚度约 1/8 in. ~ 3/16 in. [3 mm~5 mm] 的隔离层焊道可降低层状撕裂的可能性。在焊缝收缩应变最清冽的部位，这种预先堆焊的焊层提供了具有铸造晶粒组织的韧性焊缝金属，从而取代了纤维状的各向异性轧制钢材晶粒组织。

(4) 在大的接头中，以这样一种方式安排焊道的顺序，即在承受全厚度方向应力的母材的面上敷熔焊道之前，现在承受纵向方向应力的母材的面上敷熔焊道。这一安排可使部分明显的焊缝收缩发生于无拘束的情况下。

(5) 在角接接头中，如果可行，则应在承受全厚度方向应力的母材上制备斜面接头的，以使焊缝金属熔入母材厚度的部分最大化。

(6) 双边 V 形接头所需的敷熔量大大小于单边 V 形接头的熔敷量，因此，焊缝的收缩量也大约减少一半。只要可行，则采用此类接头可能也有好处。

(7) 在涉及到母材厚度不同的多种接头的焊件中, 宜线焊接较大的接头, 以便在可能存在的最低拘束条件下完成焊缝收缩量最大的焊缝金属敷熔。较小的接头虽然是在拘束度较高的条件下焊接的, 但只有少量的焊缝收缩。

(8) 设计期间宜对承受大焊缝传递的全厚度方向应力的构件区域作检查, 以确保接头的焊缝收缩不会向已经存在层状结构或大的夹杂物的母材施加全厚度应变(见 ASTM A578)。

(9) 目前已经证明, 在中心焊道上进行正确锤击可降低产生层状撕裂的可能性。不宜对根部焊道进行锤击, 以免根部初始的薄焊道内产生裂纹(这种裂纹可能未被觉察并继而穿过接头进行扩展)。以采用圆头工具以足够的力量锤击中间焊道, 以使焊道表面塑性变形并将拉伸残余应力变为压缩残余应力, 但不应过份用力而引起表面开裂或皱叠。不应锤击盖面焊道。

(10) 避免使用强度过高的填充金属。

(11) 当可行时, 使用低硫($< 0.006\%$)母材或者已改进全厚度方向性能的母材。

(12) 宜在接头冷却到室温后对关键接头作 RT 或 UT。

(13) 如果检查出微小的不连续, 则工程师宜仔细评估可否在不影响使用时的适用性和结构完整性的情况下不对不连续进行修补。刨槽和补焊将会增加额外的加热和冷却循环, 并且在拘束条件下焊缝收缩很可能要比在接头原来焊接条件下更为恶劣。修补操作可能导致出现更不利的情况。

(14) 当确定了层状撕裂并且认为修补可行时, 不宜在未先行审查 WPS 及找出原因的情况下着手进行修补。可能需要提供专用 WPS 或接头细节变更单。

C-2.7.4 组合焊缝。熔敷于坡口焊缝上的角焊缝并不直接增加接头的焊缝有效厚度; 因此, 接头强度可能并不等于坡口焊缝的强度和角焊缝强度的代数和。

C-2.7.5 对接接头、角接接头和 T 形接头的表面勾边。在 T 形接头和角接接头及在连接不等宽度或不等厚度零件的对接接头中, 进行了加强和表面勾边的角焊缝比较有用。加强的和造型好的角焊缝是有用的。它们提供了一种填角焊缝, 这种填角焊缝降低了截面 90° 几何形状变化处存在的应力集中的严重程度。

C-2.7.6 过焊孔。对于每一种应用, 过焊孔既非必备的选择, 也不是期望的选择。但必须明白的是, 在宽的翼缘板、H 型材和类似截面型材翼缘中, 未采用过焊孔焊接的横向接头不能被视为是免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头。这是真实情况, 这是因为免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头仅限

定于图 3.3 所示的光面板材构件之间的接头。采用免评定 CJP 接头或采用没有过焊孔的非面屏接头的决定取决于几个考虑因素，这包括但不限于下列因素：

(1) 所连接构件的规格。

(2) 该接头是否是工厂焊接或现场焊接的接头，也就是说零件的焊接位置是否可避免进行仰焊并且在峰值应力集中的部位熔敷加强角焊缝。

(3) 焊缝收缩的拘束度和由于所连接零件的几何形状而引起的沿横向接头长度施加的应力的分布情况的变化。比如，因柱的翼缘板中心线区域内柱的腹板所产生的高拘束度(与远离中心线的低拘束度相比较而言)导致产生的焊接残余应力及所施加的应力在梁的翼缘板中心处的难以施焊区域明显达到了峰值。

(4) 在沿接头长度几何形状给予更均匀的拘束而没有“硬点”的情况下，增加焊缝金属内部小的不连续的数量而使过焊孔中不存在大的不连续的做法可否提供更高强度的接头。例如：端板刚性连接的试验(Murray 1996)已经表明，梁的端部和端部板的接头无过焊孔，但腹板与翼缘板连接部位有未作修补的不连续，这样提供的连接的强度超过了采用过焊孔但内部连续少的连接的强度。

目前正在进行旨在改进梁与柱之间的刚性连接的焊接细节的研究、思考和创新。如果可行，则宜考虑采用可以提供满足使用要求的强度和合适性的替代接头设计和细节。需作出工程判断。

当需要采用过焊孔时，则 5.16 的最低要求适用。提供熔敷完好焊缝金属所必需间隙的最小尺寸对所连接构件的净截面特性有明显影响。

C-2.7.7 采用铆钉或螺栓的焊缝。在以前版本的规范中，当将接头作为防滑关键连接设计，并安装了作为防滑关键连接的螺栓时，则允许在焊缝和高强度螺栓之间分担荷载。结构连接研究委员会编制的采用 ASTM A325 或 A490 螺栓的结构接头规范(RCSC 规范)中提供了这样使用时的局限性。根据 Kulak 和 Grondin 的研究(螺栓和焊缝联合的接头强度; Geoffrey L. Kulak 和 Gilbert Y. Grondin; Engineering Journal, 2003 第二季, 第 89 页), 2000 版 RCSC 规范撤销了这一允许情况，并且 RCSC 规范中没有提供其他指导信息。

AISC 钢结构建筑规范(2005 年 3 月)第 J1.8 节提供了螺栓和焊缝之间的荷载分担方面的新指导信息。除了将螺栓安装在垂直于荷载方向的标准孔或短槽孔内的剪切连接外(这种连接可被用于与承受纵向荷载的角焊缝一起分担荷载)，螺栓不宜被用于与焊缝一起分担荷载。在此类连接

中，螺栓的有效强度不宜大于连接中承载型螺栓有效强度的 50%。当将横向角焊缝与螺栓结合使用时，焊缝断裂时的剪切强度应基本不会产生螺栓剪切强度。

C-2.8 接头形状和细节—坡口焊缝

C-2.8.1 厚度和宽度的过渡。在承受拉力的应用中，承受应力的构件的材料厚度和/或宽度变化处发生的应力集中取决于变化的急剧程度和介于 1~3 之间的应力集中系数。在承受静荷载的结构中，如果提供了无缺口过渡，则此类几何形状的变化对于结构而言并不重要。在静荷载应用中，供应商宜考虑采用增加了勾边的角焊缝或其他细节，以改善诸如长节距桁架轴向对齐受拉弦杆中的对接拼接处、低温应用中采用的易于产生脆性断裂的接头或其他存在高应力或使用条件恶劣的位置的应力流的连续性。与疲劳相关的条款中提供了承受循环荷载的应用中几何形状不连续的影响。

C-2.9 接头形状和细节—角焊缝焊接的接头

C-2.9.1.1 横向角焊缝。由于承受横向荷载的角焊缝焊接的搭接接头具有偏心距，所以，如果未按细节 A 所示施加拘束力 R，则所施加的力倾向于使接头张开，并在焊缝根部产生撕开作用，如图 C-2.7 的细节 B 所示。本规范要求采用双角焊缝或其他方式防止出现这种情况。

C-2.9.2 纵向角焊缝。由纵向角焊缝沿着构件端部传递的力会在沿着从构件到认为构件内的应力在整个横截面上都保持均匀的部位边缘剪切应力集中的接头过渡区域内产生被称为剪切滞后的影响。与横截面形状有关的纵向焊缝的布局影响着构件的设计，也影响着连接的强度。对于扁钢和板件的横断面这种简单情况而言，经验和理论都已经表明，2.9.2 的要求既保证了连接的充分性，也保证了所连接零件的充分性。对于其他横截面，所连接构件的有效面积取决于端部连接焊缝的布局；因此宜参考合适的构件和结构设计规范。

C-2.9.3.1 角焊缝的终点—概述。大多数情况下，角焊缝终点是否落在构件端部或侧面对接头工作的适用性没有影响，因此，这种情况是一种默认情况；但在某些情况下，终止的方式比较重要。目前已经提供了适用于各种情况的独立合理规则。

C-2.9.3.2 受拉搭接接头。当在其中一个连接的零件延伸到另外一个零件的边缘或端部之外的构件之间制作接头时，必须避免承受计算拉应力的零件边缘出现缺口。用于避免关键部位出现此类缺口的良好做法是用焊接引燃电弧从边缘处稍微回焊然后，以离开边缘的方向熔敷焊缝而继续前进，以保护边缘不会产生缺口。

C-2.9.3.3 最大端部绕焊长度。对于框架型角钢和简单的端板的连接而言，构件设计中设想的连接柔性比较重要。试验已经表明，连接的静态强度不取决于有或没有进行端部绕焊。因此，沿着连接的伸出焊脚的焊缝(通常为立焊缝)可在未达到端部时停止焊接，或者一直焊到角钢顶部和底部的最末端，或者沿水平端部稍作绕焊。不过，如果采用了绕焊，则必须对绕焊长度作一定限定，以防止影响连接的柔性。

C-2.9.3.4 横向加劲肋的焊缝。经验已经表明，当加劲肋不焊到翼缘板上时，加劲肋和腹板的焊缝必须在距离腹板和翼缘板焊缝的焊趾有一小段距离的位置停下。如果不这样做，则在正常操作和装运过程中翼缘板的稍微扭曲将要在加劲肋焊缝终止处和腹板—翼缘板焊缝的焊趾之间，并在极短的标距长度内引起极大的弯曲应力。进入到非弹性区的这些非计算应力经几个循环而引发裂纹，这些裂纹最终可能在使用中扩展而穿过腹板或翼缘板。非焊接部分的最大长度应足以避免腹板中没有加劲肋的柱才产生翘曲。

C-2.9.3.5 共有平面的对侧。打将两零件间共同接触平面上对边熔敷的两条角焊缝连接到一起的尝试会导致产生缺口或者掩盖不良装配。

一些设计或应用要求中可能规定采用连续焊缝。要求焊缝保持连续的原因可能是防腐蚀、便于进行冲洗或者进行热浸镀锌，或者是其他原因。第 2.9.3.5 小节要求断开焊缝，但合同文件中注明的例外情况除外。一般而言，角焊缝宜在共有的对侧断开，以消除可能存在的工艺缺陷(比如咬边)。由于制作合格的连续焊缝本身具有挑战性，故而可进行特殊检验，尤其是在承受循环荷载的结构中。可对角部焊缝作 MT 或 PT；在这种情况下，应在合同文件中规定检测方法和频率。

C-2.12 组装构件

C-2.12.2.1 概述。虽然要求进行足以确保零件动作协调的充分焊接，但也应规定断续角焊缝的最大间距，以确保可通过喷涂密封未焊接部分的结构密封性，并且防止通过围护在某一建筑物内来防止产生腐蚀的接头焊缝的母材之间出现难看的“绉缝”。

C-2.12.2.2 受压构件。连接承受压力的构件外侧板的断续角焊缝的间距的准则源自典型的弹性板翘曲理论，并且与 AISC《钢结构建筑物的设计、制造和安装规范》中提出的准则一致。

C-2.12.2.3 未涂漆耐候钢。对于暴露到大气腐蚀下的未涂漆耐候钢构件根据经验和试验需采用较小的间距，以防止零件之间出现导致焊缝之间产生难看的“绉缝”的堆积腐蚀产物，并且防止

在焊缝终点处引发开裂。

C-2.13 概述

C-2.13.1 适用性。本规范 C 部分的条款适用于在应力弹性范围内承受多次活荷载施加—卸除—再施加的结构和焊接。这种类型的荷载通常被称为高周疲劳荷载。本规范允许的最大计算设计应力在 $0.60F_y$ 范围内，或在其他类似标准允许的规范或技术条件的范围内。因此，与活荷载的施加和卸除有关的最大应力范围一般是这一应力水平的某个分值。虽然没有采纳这些条件来限定规范条款的适用范围，但它们确实建立了应该被承认的正常界限。

建筑结构通常不要求进行疲劳抗力设计；但如果存在可能会导致引发裂纹和疲劳裂纹扩展的循环荷载，这包括但不限于下列情况：

- (1) 支撑起重设备的构件。
- (2) 承受滚动式交通荷载的构件。
- (3) 承受风引起的谐振的构件。
- (4) 往复式机械的支架。

通过举例说明给出与适用范围有关的一些观点：如果所连接的相对易受影响的焊接细部(长度不完整的盖板的端部)的母材上因全部活荷载的重复施加和卸除而产生的应力范围是 30 ksi [210 MPa]，则预计的疲劳失效寿命为 36,000 个周期(每天施加 4 次，总共施加 25 年)。对于同样的细部，如果应力的范围小于 4.5 ksi [32 MPa]，则可以期望其疲劳寿命无限大。因此，如果施加的全负荷活荷载的周期数小于几千次，或者发生的应力的范围小于应力限度阈值，则无需注意疲劳问题。

C-2.14 局限性

C-2.14.2 低周疲劳。由于地震荷载涉及到的高应力低周数不在弹性范围内，所以依赖 C 部分条款进行地震荷载设计的做法并不合适。

C-2.14.4 超静定-静定构件。辨别超静定和静定构件及其细节之间的差别的概念并不以任何给定的构件或细节的疲劳行为上的任何差异为基础依据，而是以失效后果为基础依据。在采用 AASHTO/AWS D1.5 之前，AASHTO 提供了断裂临界构件的准则，其中包括了特殊的母材和检验要求及通过引用方式纳入的 D1.1 第 9 节(于 1996 年停止使用)中与承受动荷载的结构有关的降低许用应力范围曲线。指定用于静定结构的降低许用应力范围曲线专门是为了将疲劳应力范

围限制为超静定构件和细节应力范围曲线的大约 80%而推导得出的。采用了 AASHTO/AWS D1.1 之后即不再参考 AWS D1.1 规范第 9 节(于 1996 年停止使用)中与承受动荷载的结构有关的许用应力及应力和应力范围要求,而是转而参考 AASHTO 设计规范。随后,除规定了特殊的母材要求和检验要求外,AASHTO 还决定将许用应力范围规定为平均值减去 2(标准偏差,来自零件疲劳试验数据)后所得值的 80%,从而形成了双重保守性。因此,关于桥梁设计的现行 AASHTO LRFD 规范已经删除了静定构件和细节设计的降低许用应力范围,与此同时保留了特殊的母材要求和检验要求。

C-2.15 应力的计算

C-2.15.1 弹性分析。表 2.5 和表 9.1 所包含的准则均以代表了每种典型情况的全尺寸试样的疲劳试验结果为基础依据。可按应力类别来考虑局部几何应力集中的影响。

C-2.16 许用应力和应力范围

C-2.16.2 许用应力范围。由公式(2)~(4)提供的及图 2.11 中以图示方式给出的应力范围-周期寿命曲线是通过公路合作研究项目的研究而绘制的曲线。该项目对包含了真实的几何不连续的实际零件进行了研究。所包含的不连续不适当地放大了计算应力,以便考虑缺口效应。这一研究的成果见发表的研究报告 102“焊件对梁的强度的影响”和研究报告 147“含有焊接的加劲肋和附件的钢梁的强度”。随后在美国和海外进行的针对其他实际零件的研究结果见表 2.5 和表 9.1,但这些研究项目未被包含在 NCHRP 试验项目中。

当一板构件由一条横向 CJP 或 PJP 焊缝连接,或者由一对横向角焊缝在板的相对两面连接且承受循环施加的荷载时,横向焊缝的焊趾通常是导致裂纹进入被连接母材的关键部位。对于每一种接头类型,这一部位引发裂纹的临界应力范围均相同,并且可利用(2)和类别 C 的准则来确定应力范围。

如果横向焊缝为 PJP 焊缝或一对角焊缝,则必须考虑从焊缝根部引发裂纹的可能性,还应考虑如果将荷载传递到母材而母材又承受弯曲的拉应力时从反面的焊趾引发裂纹的可能性。用从裂纹始于焊趾时的许用应力范围乘以折减系数,即可确定裂纹始于焊缝根部时的最大应力范围。接头未焊部分的厚度与板材厚度之比是公式(4)所包含的折减系数的一个基本参数。对于在板材相对两侧制作一对角焊缝的情况, $2a/t_p$ 是一个整数,并且缩减系数公式简化为公式(5)(见参考资料 8)。

C-2.17 细节设计、制作和安装

C-2.17.6 角焊缝的终点。在角焊缝焊接的角钢支架、角钢梁座、框架角钢和类似的连接中，如果施加的荷载倾向于使连接的零件分离并在焊缝根部施加拉应力，则需要对焊缝进行绕焊，以保护焊缝起点处的根部免于产生裂纹。

C-2 的参考资料

1. Rolfe, S. T.和 Barsom, J. M.。"结构中的断裂和疲劳控制"。Prentice Hall, 1977。
2. Brandt, G. D.。"焊缝组中偏心荷载的一般解决方法"。AISC Engineering Journal, 第3季度, 1982。
3. Butler, L., Pal, J. S.和 Kulak, G. L.。"承受偏心荷载的焊接连接"。Journal of The Structural Division, ASCE 98 (ST5) 1972。
4. Lesik, D. F.和 Kennedy, D. J. L.。"平面内的角焊缝焊接连接的极限强度", Canadian Journal of Civil Engineering, 17(1) 1990。
5. Tide, R. H. R.。"承受偏心荷载的焊缝组—AISC 设计表"。AISC Engineering Journal 17(4) 1980。
6. R. J. Dexter, 等。明尼苏达大学。结构制作中所用板材的调查 7/20/2000 MTR; R. L. Brockenbrough; AISC; 3/1/2001 钢结构用宽翼缘型材夏比 V 形缺口韧性的统计分析; J. Cattani; AISC; 7/95。
7. Higgins, T. R.和 Preece, F. R.。"建筑结构中角焊缝的推荐工作应力"。Welding Journal Supplement, 1968 年 10 月。
8. Frank, K. H.和 Fisher, J. W.。"角焊缝焊接的十字形接头的疲劳强度"。Journal of The Structural Division, ASCE 105 (ST9), 1979 年 9 月, pp. 1727-1740。

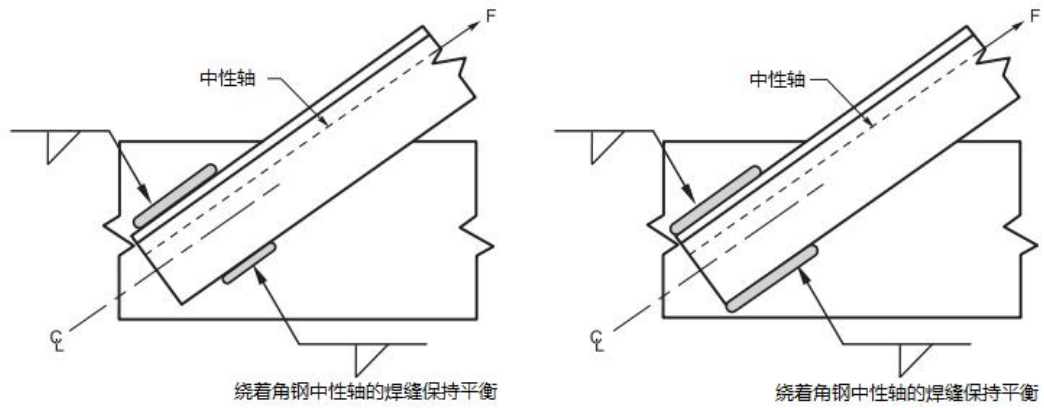


图 C-2.1—绕着中心轴的角焊缝的平衡(见 C-2.6.2)

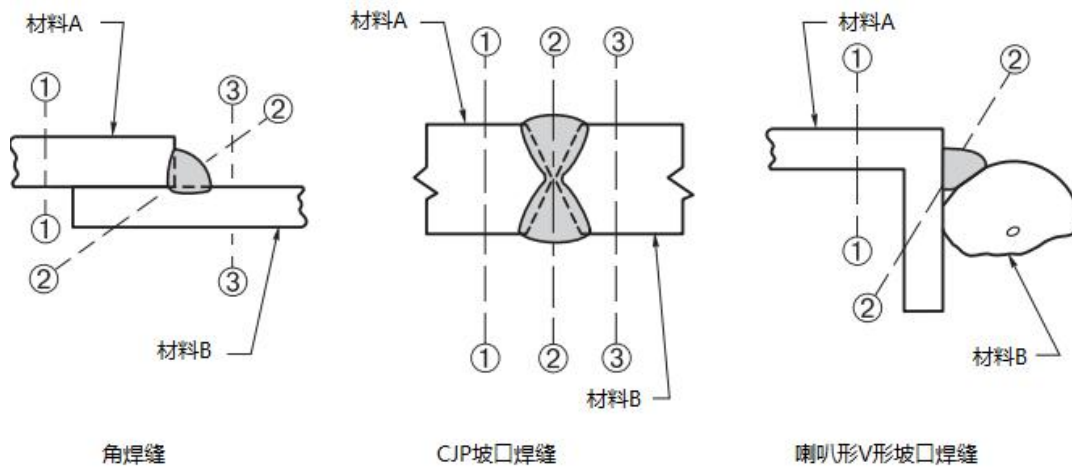


图 C-2.2—角焊缝和坡口焊缝的剪切平面(见 C-2.6.4)

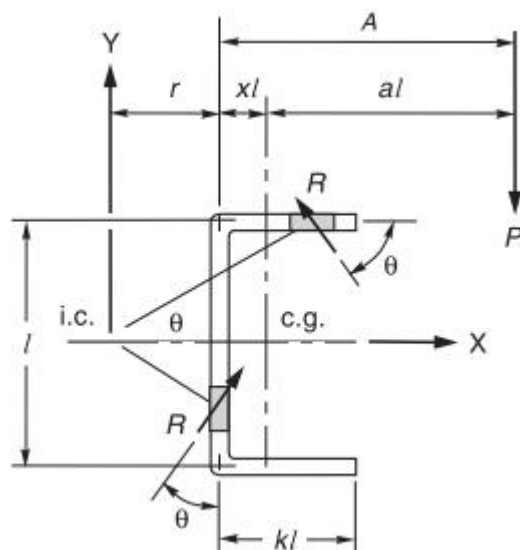


图 C-2.3—偏心荷载(见 C-2.6.4.2 和 C-2.6.4.3)

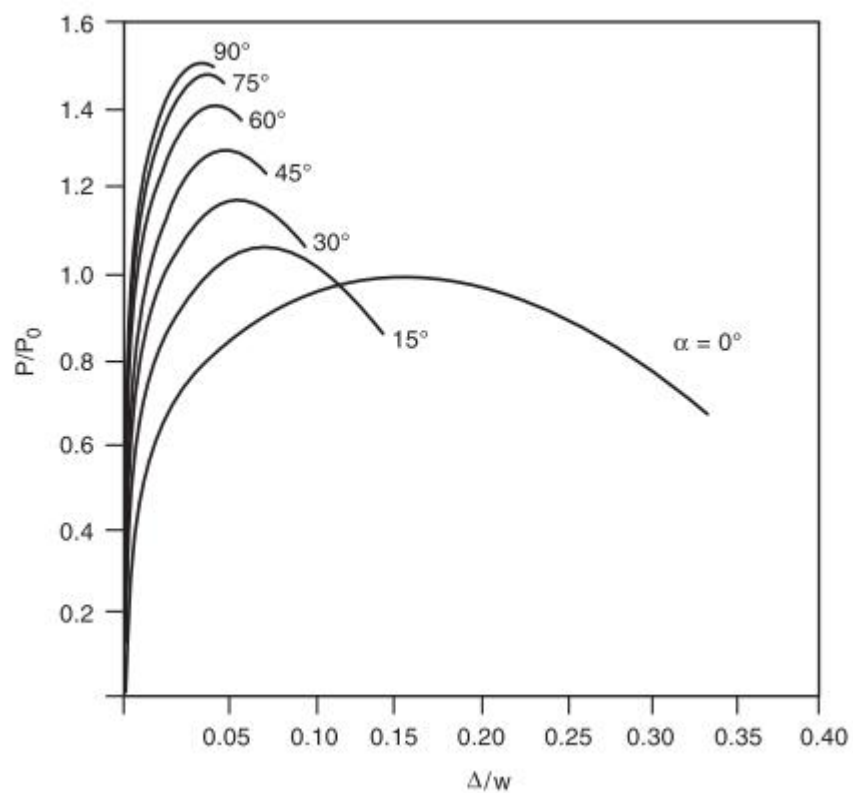
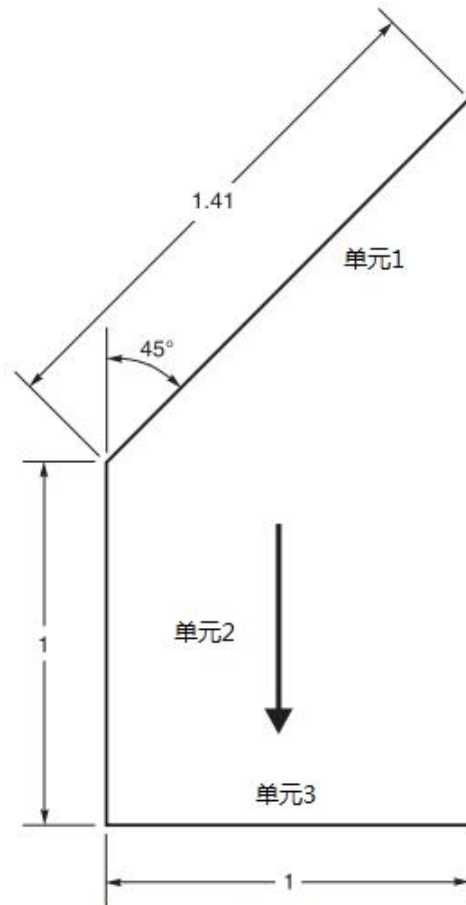


图 C-2.4—焊缝的荷载-变形关系(见 C-2.6.4.2 和 C-2.6.4.3)



单元1: $\theta = 45$; $L = 1.41$; $C = 1.29$

单元2: $\theta = 0$; $L = 1$; $C = 0.825$

单元3: $\theta = 90$; $L = 1$; $C = 1.5$

许用强度 $= D(0.707)(0.3F_{EXX})(0.0625)\Sigma C_i L_i$

$\Sigma C_i L_i = [1.29(1.41) + 0.825(1) + 1.50(1)]$

D = 第16条焊缝的尺寸

图 C-2.5—承受斜荷载的焊缝组示例(见 C-2.6.4.4)

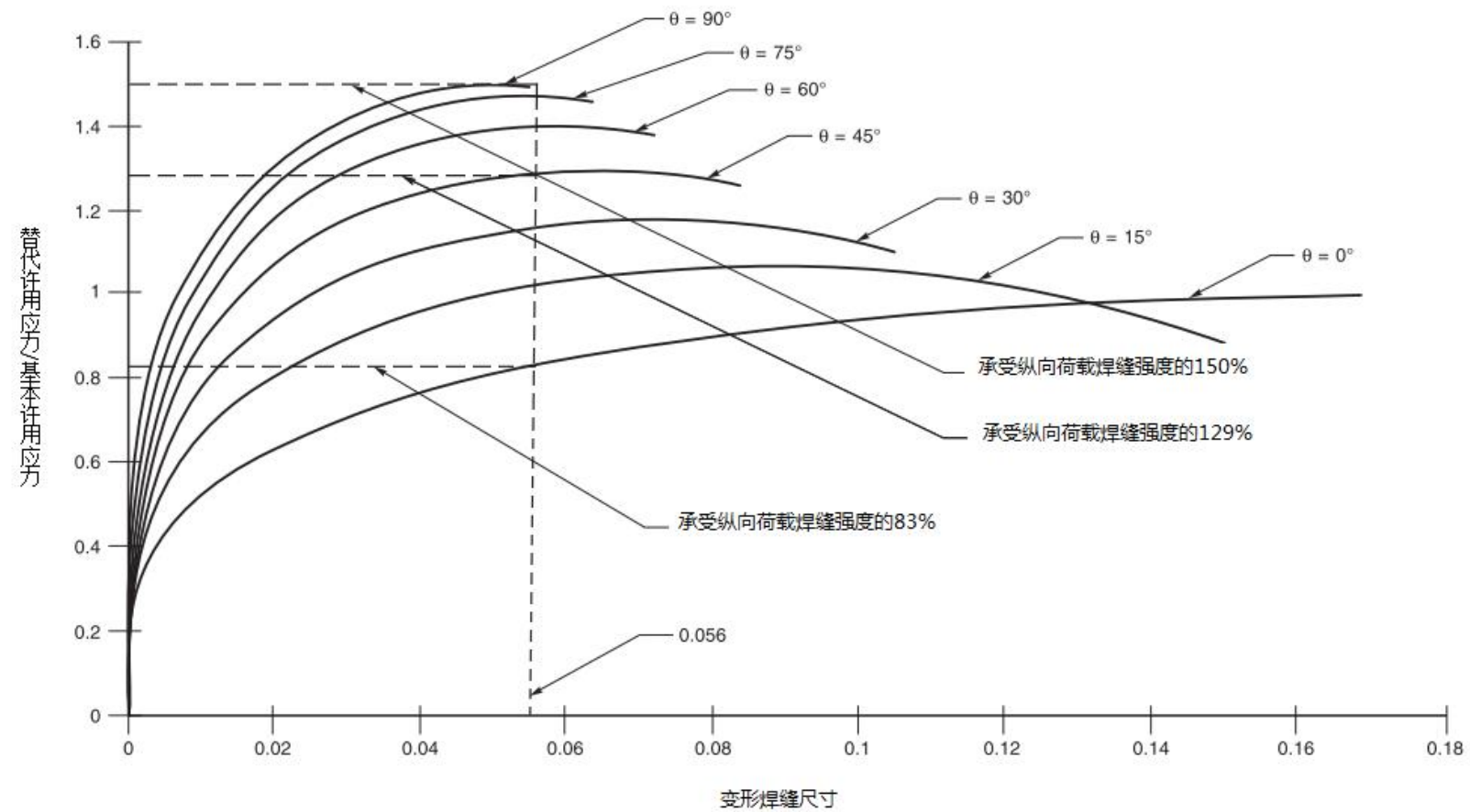


图 C-2.6—承受斜荷载的焊缝组能力的图解法(见 C-2.6.4.4)

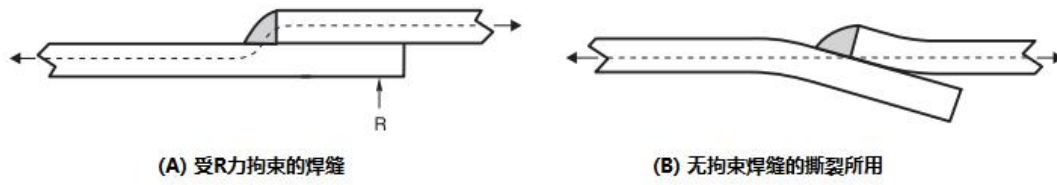


图 C-2.7—单角焊缝焊接的搭接接头(见 C-2.9.1.1)

本页被故意留为空白。

C-3. WPS 的免评定

C-3.2 焊接工艺

C-3.2.1 免评定焊接工艺。某些 SMAW、SAW、GMAW (GMAW-S 除外)和 FCAW WPS 连同一些相关类型的接头已经进行过全面试验,并且经长期使用证实其性能良好。这些 WPS 和接头被指定为免评定 WPS 和接头,可在不作试验或评定的情况下使用(见第 4 节)。

第 3 节给出了免评定条款,其中包括具体提到了预热温度、填充金属、焊条规格和其他相关要求的 WPS。第 9 节给出了管材结构用免评定接头的附加要求。

采用免评定接头和 WPS 并不一定能保证焊缝质量。如果需要始终如一地制作完好焊缝,则还需要具备制作能力,并且应进行有效且专业的焊接监督。

本规范未禁止采用任何其他焊接工艺。同时既不对任何其他接头类型强加限定,也不对任何焊接工艺强加任何工艺性的约束。它提供了以承包商按规范要求进行的成功评定为基础依据的接头、焊接工艺和 WPS 的验收准则(见第 4 节)。

短路过渡是 GMAW-S 的一种金属过渡形式,在这种过渡中,来自可熔焊条的熔化金属在反复短路过程中熔敷到焊缝上。

短路过渡电弧焊是 GMAW 中使用最小焊接电流和相应焊条直径的焊接方法。钢焊条的代表性电流范围见表 C-3.1。这种形式的过渡产生小而快速凝固的熔池,通常适用于薄壁部件焊接、装配质量差的构件的焊接或填充大的根部间隙。当焊接热输入极低时,板的变形比较小。只有当焊条与焊缝熔池接触时,金属才从焊条过渡到工件。金属过渡不穿越电弧间隙。

焊条以每秒 20~200 次的稳定速率接触焊缝熔池。金属在过渡中经历的过程及相应的电流和电压如图 C-3.1 所示。当焊条接触焊缝金属时,电流就会增加。如图 C-3.1 中 E 点所示,如未形成电弧,则电流会持续增大。电流增大率必须足以维持熔化的焊条端部熔滴完成过渡。

不过,此过程不宜太快,那样会由于填充金属的熔滴在过渡中的分裂而引起飞溅。电流的增大率可通过调节电源中的电感加以控制。所需的电感值取决于焊接电路中的电阻和焊条熔化的温度范围。电源的空载电压必须足够低,以确保不能在现有焊接条件下继续维持电弧。维持电弧所需要的部分能量由短路期间贮存电感能量提供。

因为金属只在短路时过渡,所以保护气体对这种过渡形式的影响甚微。过渡期间会发生飞

溅。一般情况下，这或者由于焊条熔化尖端上的气体逸出而引起，或者由作用于熔融的焊条端部的电磁力引起。

C-图 3.2 免评定 PJP 坡口焊缝焊接接头细节

喇叭形 V 形坡口焊缝焊接接头的有效尺寸。目前已经对存在“c”尺寸(该尺寸与含有公称半径 $2t$ 的 T_1 一样小)的冷成型 ASTM A500 材料进行过试验。半径增加时，“c”尺寸也随之增加。

角部曲率可能不是与侧边相切的圆的一个象限。角部尺寸“c”可以小于角部半径。

C-3.2.4 FCAW 和 GMAW 的电源。CV 电源的电压-电流关系是，小的电弧电压变化会产生大的电流变化。恒流(CC)电源的电压-电流关系是，大的电弧电压变化会产生小的电流变化。FCAW 和 GMAW 的最佳焊接效果通常是采用 CV 输出达到的。如果已按第 4 节要求通过试验对 WPS 进行了评定，则可将 CC 用于 FCAW 或 GMAW。

C-3.3 母材/填充金属组合

表 3.2 的注 c 列出的含有代号的填充金属在 1275°F 或 1350°F [690°C 或 730°C] 下进行 PWHT 可获得该等级的抗拉强度。它们焊态的抗拉强度也许超过 100 ksi [690 MPa]。

表 3.2 列出了与在免评定接头中使用的批准母材匹配的焊条和焊丝-焊剂组合。在该表中，表 3.1 的钢材规格分组与具有类似于表 3.2 的抗拉强度的焊缝金属分类相匹配。在涉及到具有不同抗拉强度母材的接头中，如果较高强度的母材需要使用较低强度的填充金属，则可以使用适用于较低强度材料的焊条，不过焊条需要是低氢焊条。

AWS A5.36/A5.36M《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》是将碳钢焊条和低合金钢焊条合并到含有固定分类系统和开放分类系统的一份规范中的第一份规范。A5.36 包含了用于焊接碳钢和低合金钢的所有 FCAW 和 GMAW 管状焊条。规范含有两个碳钢焊条的分类系统，即固定分类系统和开放分类系统。对于多焊道焊条，除了 T11 FCAW 和 E70C-6C、E70C-3C、E70C-3M 和 E70C-G GMAW 是按开放分类系统要求分类外，其余均按开放分类系统要求分类。低合金钢 FCAW 和 GMAW 金属芯焊丝只能按照开放分类系统要求分类。附录给出了 A5.36 规范所涵盖的焊条的力学和化学性能分类方面的更详细数据。

由于存在两个分类系统，所以 D1.1:2010 的表 3.1 不能满足新的 A5.36 分类与现有规范的分类的要求。在 2015 版的 D1.1 中，表 3.1 被拆分成了关于母材的表 3.1 和关于填充金属的表 3.2，

但仍然保留了之前表格中的材料分组。从 2015 年 12 月起, A5.36 成为这些 FCAW 和 GMAW 焊条的控制规范; 但已经与制作商签订的合同该日期之后的数年内仍然有效, 不过应在批准的 WPS 中包含现行焊条规范 A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29, 并且必须在规范要求的范围内保持这些规范的有效性, 以满足合同要求。

在新的表 3.2 中, 为了与现有的免评定 WPS 和已评定 WPS 保持一致, 焊条的 AWS A5.36 固定分类和开放分类与表 3.1 给出的 A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 规范的现有分类相同或差不多。这样的话, 这些免评定 WPS 和已评定 WPS 可能仅在进行编辑性变更时成为“祖父条款”。按照 AWS A5.36/A5.36M 《药芯焊丝电弧焊用碳钢和低合金钢药芯焊丝及熔化极气体保护电弧焊用金属芯焊丝规范》要求, 对于当前有效的 WPS, 固定分类或开放分类的力学和化学性能与之前的规范 A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 中的力学和化学性能相同且包含的各种分类的保护气体要求与这些规范的要求相同的填充金属条款可被视为是“祖父条款”。按照新的 A5 规范和分类进行的免评定 WPS 和已评定 WPS 的编辑是 WPS 唯一需要进行的更改。

A5.36 并未确定除碳钢固定分类之类的焊条评定的任何特殊保护气体。A5.36-2012 分类系统采用保护气体范围来分类; 然而, 保护气体范围的公称百分比实际上是按 A5.36 的表 5 气体分类。

为了保持连贯性, D1.1:2015 的表 3.2 和表 4.9 所示分类中给出的保护气体与之前的 A5.18、A5.20、A5.28 和 A5.29 给出的保护气体相同, 以保持现有的免评定 WPS 和已评定 WPS 的有效性。可采用其他保护气体进行分类, 但为了满足规范条款的要求, 所用保护气体应被限定为分类用的具体保护气体或气体混合物, 而非 A5.36 的表 5 给出的保护气体代号范围。

规范 A5.20 涵盖的碳钢 FCAW T-12 分类含有受控的化学成分和力学性能。在新规范 A5.36 中, 这些要求仍然保持不变。开放分类中的化学成分要求虽然仍然与 A5.20 的要求相同, 但将力学性能中抗拉强度的最大值增加到了 95 ksi, 而非 A5.20 中的 90 ksi 或是 A5.36 的固定分类中给出的值。

A5.36 中没有可选代号“J”。对于之前分类时采用了代号“J”的那些 FCAW 焊条, 开放分类要求采用代号“J”对 CVN 温度要求较低的焊条进行分类。

关键接头的可选代号“D”的要求现在也适用于 GMAW 金属芯焊丝。不过按 AWS A5.36 要求对填充金属进行试验时的热输入水平不同于 AWS A5.20 的热输入水平。因此, 无需评价采用了

AWS A5.36 代号“D”的焊条的 WPS，也无需为了采用在 AWS A5.36 试验时用的热输入范围内的热输入值而对其进行修改。AWS D1.8/D1.8M《结构焊接规范—抗震补遗》也体现了采用代号“D”的两种焊条在互换性方面的差异，这是因为这一差异与热输入分类要求有关。

在焊条的开放分类中，碳钢和低合金钢都既可以按焊态分类，又可以按焊后热处理状态分类，或者按两种状态分类。代表焊态的字母“A”或代表焊后热处理的字母“P”位于保护气体代号(如适用)和 CVN 试验温度之间(比如 E8XT1-C1A8-CS1；E7XT15-M21P6-CS2)。

A5.36 中既有细微更改之处，也有大幅更改之处。由于更改之处过多，本条文说明便不一一赘述。强烈建议向工程师和制造商、制作商或承包商提供 A5.36 的复印件，以供他们参考。

C-图 3.2 和图 3.3。图 3.2 和图 3.3 的注释。如果构件的方位变化超过了注 j 的容许范围，则注“o”允许钢衬垫焊接的接头采用免评定焊缝状态(见图 3.6)。可通过打磨、机加工或成形方式来修改衬垫。

C-3.5 最低预热温度和道间温度要求

加热的原则是达到一定温度后保持这一温度，并且该温度作为控制焊缝金属及邻近母材的冷却速率的最低温度。较高的温度可使氢更快地扩散并减少冷裂的可能性。可对整个零件或仅对待焊接头邻近部位的金属进行预热(见表 3.3)。对于给定的一组焊接条件，未经预热的焊缝的冷却速率将高于预热焊缝的冷却速率。预热温度越高，冷却速率越低。当冷却足够缓慢时，则将有效地减少硬化与开裂。

调质钢最好不要慢速冷却，并且钢厂也不推荐慢速冷却。

表 3.3 的预热温度是最低温度。预热温度和道间温度必须足够高，以确保获得完好焊缝。

为了获得无裂纹的焊缝而降低冷却速率所需的预热量取决于多种因素，其中包括：

- (1) 周围温度
- (2) 电弧产生的人
- (3) 接头的散热性
- (4) 钢的化学成分(可焊性)
- (5) 熔敷焊缝金属的氢含量
- (6) 接头的拘束度

第 1 点以上已作考虑。

第 2 点本规范目前未作考虑。

第 3 点部分体现在材料厚度中。

第 4 点间接体现于钢材组别标号中。

第 5 点目前体现在非低氢焊接方法或低氢焊接方法中。

第 6 点最不明确，并且仅在表 3.3 的条款中给出的一般条件。

从这些因素来看，表 3.3 的要求不宜被视为是全面要求，并且更加有必要将预热温度和道间温度强调为最低温度。

在预热及焊接调质钢时需要注意，这是因为这些钢材可能具备最小和最大道间温度及热输入限制(见 5.7)。

C-3.7 WPS 的通用要求

C-3.7.2 焊道宽度/深度限制。焊核或焊道形状是影响焊缝裂纹的重要因素。由于母材急剧冷却的作用，熔融焊缝金属沿焊缝金属的边缘开始凝固，并向中部发展，直至完成这一过程。最后凝固的液态金属位于穿过焊缝中心线的平面内。如果焊缝深度大于其表面宽度，则在焊缝中心凝固之前焊缝表面可能先凝固。如果发生这种情况，那么如图 C-3.2(A)和(B)所示，作用于仍然热的半液态焊缝中央或芯部的收缩力会导致中心线处产生开裂。这种裂纹可能会贯穿焊缝的纵向全长，并且可能会在焊缝表面看见或看不见此类裂纹。如图 C-3.2(C)所示，两电弧彼此直接相对同时焊接接头两面的角焊缝时也会出现这种情况。

限制焊道宽度与焊道深度之比的目的是防止宽度过深的焊道出现收缩开裂。在测量焊道尺寸时，最好将焊缝分段并进行蚀刻。所产生的窄焊道不符合本条要求的 WPS 可按第 4 节要求作评定。

C-3.7.3 耐候钢要求。本小节的要求适用于要求具备与母材差不多的耐大气腐蚀性和色泽特征的裸露的、未喷漆的耐候钢。本 3.4 规定的填充金属满足这一要求。当在其他应用中焊条此类钢材时，需要满足表 3.2 规定的焊条、焊丝-焊剂组合或焊缝金属等级要求。

如 3.7.3 所示，允许在特定尺寸的单道角焊缝中使用非表 3.4 所列的焊接耐候钢(在裸露的、暴露在大气中的应用中使用)用填充金属(与焊接工艺有关)。焊缝金属-母材混合物的量产生的焊缝金属的色泽特征和耐大气腐蚀性应与母材的色泽特征和耐大气腐蚀性差不多。

多道焊焊缝中可采用表 3.2 的填充金属来填充接头(最后两个焊层除外)。最后的两个表面焊

层和焊缝端部宜采用表 3.4 规定的填充金属来填充。

如果进行表面盖焊,则允许在多焊道坡口焊缝的内部焊道上使用匹配的非耐腐蚀填充材料。最后的填充焊道和盖面焊道可采用表 3.4 的填充金属来焊接,以将焊缝表面下层填充金属的稀释程度降至最低。

C-表 3.6 最大根部焊道厚度(参数)。可从公称板厚或双面制备接头时的坡口深度中减去未填充深度,以确定根部焊道的厚度。

C-表 3.6 最大填充焊道厚度(参数)。可从板材表面的新填充焊道/焊层到之前敷熔的焊道/焊层的深度中减去未填充深度,以确定填充焊道的厚度。熔透到先前的焊道/焊层的部分不被计入填充厚度中。

C-表 3.6 电特性方面的限制。试验已经证实,坡口根部角度和使用时不会产生有开裂倾向的焊缝剖面形状的最大电流之间存在一种经验关系,如图 C-3.2 所示。在这些条件,唯有不采用衬垫的免评定单边坡口和 V 形坡口有效。

J 形和 U 形坡口的根部角度比 V 形坡口的大,它们形成具有开裂倾向的焊核的可能性很小。但规范未在这方面给出 V 形坡口与 J 形和 U 形坡口之间的区别。规范中规定表 3.6 的要求适用于所有坡口。由于 J 形和 U 形坡口并不经常使用,所以这一要求看来不无道理。

从经验关系来看,可接受的电流安培数约为坡口夹角度数的 10 倍。这基本上适用于免评定的无衬垫单边坡口和 V 形坡口。由于这种免评定接头的夹角为 60° ,所以规范允许的最大电流为 600 A;对于 90° 角焊缝,最大电流可以为 1000 A。这种限制仅用于使接头的两面熔合的焊道,盖面焊道除外。

C-表 3.6 多焊条 SAW 的要求。当使用 GMAW 加串联 SAW(见表 3.6)时,气体保护熔化极电弧与前导埋弧焊电弧间的最大间距应为 15 in. [380 mm],以维持第一个电弧的预热效果,从而使随后焊接的主焊缝被其余两个熔敷率高的埋弧焊电弧所熔敷。较小间距也可以为第一焊道的重熔提供较好条件。

C-表 3.6 GMAW/FCAW 的要求。本节提供了采用免评定 WPS 时的 GMAW 和 FCAW 要求。

应对焊接点的保护气体提供防风保护,以防止保护中断及焊缝受到大气污染。

免评定条款仅适用于采用喷射过渡和熔滴过渡的金属熔敷方式的 GMAW。GMAW-S 不免除评定,并且必须按第 4 节要求作评定。经验已经表明,这种金属过渡方式常常导致产生熔透

和熔合不足。这种不可靠性通常归因于每单位长度熔敷焊缝金属的热量较低，从而导致母材熔化甚少或不熔化。因此，当使用 GMAW-S 时，要求每个用户均要证实其具备按选定 WPS 制作完好焊缝的能力。

C-表 3.7 免评定 WPS 的参数

(1) 表 3.7 的目的。本条文说明提供了表 3.7 在免评定 WPS 中的应用的解释和示例。2010 版 D1.1 中包含了表 3.7，从而免去了用户在免评定 WPS 中使用表 4.5 的需求。表 3.7 确定了必需将哪些内容纳入免评定 WPS 中。表 4.5 所列的一些参数不适用于免评定 WPS。表 3.7 中的“X”表示的是该参数发生了变化，或者变化超出了该参数的指定范围，从而需要提供一份新的免评定 WPS。

(2) 何处得到参数值。免评定 WPS 中给出的安培值(如果安培值不受控，则为送丝速度)、电压和焊接速度需符合表 3.6 的条件，并且与材料厚度、焊接位置相匹配，还应能够满足本规范的质量要求。符合这些规定的参数的特定值或范围可列在免评定 WPS 中。

(3) 什么样的参数组合可以列于单一 WPS 中。允许在一份 WPS 中列出单一 WPS 的多个参数组合。举例说明，对于 WPS 适用的每个等级的钢材，无需提供独立的 WPS。一份 WPS 可以列出全部是 I 组钢(见 3.1)的 A36、A53 和 A106 钢材。此外，虽然 A131 和 A572 的 50 级钢属于 II 组钢材，但只要其他焊接参数(比如焊条类型)适用于列出的所有钢材，但也可以将它们列在上述 WPS 中。

(4) 可对一份免评定 WPS 作出的变更。一旦编制好免评定 WPS，则对该 WPS 所作的变更均应在表 3.7 规定的限制范围内。举例说明，如果最初的 WPS 仅列出了 E7016，而承包商希望采用 E7018，则可按表 3.7 的项 5 要求变更最初的 WPS，以体现 E7018 的可接受性。在未将 E7018 添加到 WPS 中之前，即便按 3.2 要求该焊条已经是免评定填充金属，但仍不能使用该焊条。然而，如果 E7016 和 E7018 两者对于应用来说是等同可接受的，则可以将它们列于一份单一 WPS 中。虽然这种变更不像评定 WPS 那样需要进行再试验，而仅是一项案头工作，但必须注明多 WPS 做出的此类变更可能需要重新提交修订过的 WPS。

对于承包商来说，将可用于相同免评定 WPS 的各种条件(比如多种钢材或表 3.1 的钢材分组编号)放入一份单一的 WPS 中通常比较有利，这样可以最大限度地减少案头工作的工作量。但允许列出的条件的范围必须在表 3.7 和其他规范要求范围内。包括过多内容的 WPS 会使焊工

和检验员不能完全理解其中的要求。

(5) 需要提供新的或修改过的免评定 WPS 的变更。如果现有的免评定 WPS 列出的电流范围为 $300\text{ A} \pm 30\text{ A}$ ，而承包商希望采用 400 A 的电流，由于它超出了表 3.7 的项 9 所允许的范围，故而需修改 WPS，以体现采用这一较高电流值的可接受性。此外，当采用这一较高的电流值时，可能需要调整焊剂速度值或范围，以符合表 3.6 的要求。可修改现有 WPS 并添加新的参数组合，以便在使用较高电流值的情况下获得满足本规范要求的焊缝。

(6) 需要提供已评定 WPD 的变更。WPS 的一些变更可能导致 WPS 落在免评定范围之外。举例说明，如果免评定 WPS 中的焊接工艺是其参数可以产生喷射过渡的 GMAW，那么将可以产生短路过渡的参数添加到免评定 WPS 的做法会导致其变得不可接受。可按第 4 节要求通过试验来评定此类参数。

C-3.10 塞焊缝和槽焊缝要求

满足 2.5 的尺寸要求、采用表 3.1 或表 4.9 所列材料按 5.24 所述技术焊接的塞焊缝和槽焊缝被视为是免评定焊缝，并且可在不进行接头 WPS 评定试验的情况下使用。

C-3.11 PJP 和 CJP 坡口焊缝的通用要求

C-3.11.2 角接接头的制作。如图 C-3.3 所示，对于角接头中所有单面坡口焊缝和 J 形坡口焊缝，本规范允许在其中一个构件或两个构件上制备坡口。

制定这一条款的原因是考虑了在接头的垂直构件上制备全部或部分坡口时可能存在的层状撕裂。此类坡口制备工作降低了因焊缝冷却收缩而引起的残余拉应力。如图 3.2、图 3.3 和图 3.4 中图解的免评定角接头所示，这种应力作用于单个垂直平面内的全厚度方向。因此，规范现在允许通过进行坡口制备来降低这些接头产生层状撕裂的可能性。但宜保持图 C-3.3 所示的一些未加工厚度“a”，以防止直板顶部熔塌。可通过在两个构件(夹角为 β)上都制备坡口的方式轻易达到这一目的。

C-3.13 CJP 坡口焊缝要求

C-3.13.1 接头尺寸。坡口制备好之后，由于背面清根方法所固有的局限性，故而双面焊接接头的另一面可能不一定与图 3.3 所示的免评定焊缝接头简图完全一样。可能出现 U 形和 J 形与 V 形和单面坡口相结合的情况。这种状况是可接受的。

C-3.14 焊后热处理

从历史上来看，D1.1 的 PWHT 要求在很大程度上以 ASME 规范中普通碳-锰钢的制作经验为基础依据。结构钢工业已从碳锰钢向更新的钢种发展，这些钢在冶金上更为复杂，譬如低合金钢和微合金化[比如添加 Cb(Nb)和 V]钢。这些更新的钢材可以轧制状态或热处理状态供货，比如淬火和回火(Q&T)、淬火和自回火 (QST)或热机械控制工艺(TMCP)，以获得更高的屈服强度。一般而言，压力容器用钢材不添加 Cb(Nb)和 V；当添加了 Cb(Nb)和 V 时，通常将它们的含量限定为一个比较低的值。压力容器用钢材的一个例外是 SA-737，它按钢的级别添加 Nb 或 V。焊接研究协会(WRC)至少有 7 个关于 PWHT 和微合金化钢材题材的会刊。以下为这些结论的简要概括：

(1) 轧制态或正火态碳锰钢和低合金钢(屈服强度 ≤ 50 ksi [345 MPa])的 PWHT(在 1150°F [620°C]下进行数小时)不会对强度产生不利影响。不管温度或持续时间如何，PWHT 均会降低 Nb 或 V 微合金化母材及 HAZ 的缺口韧性。韧性的降低变化严重，并且可能影响或可能不影响用途的适用性。

(2) 用 Q&T、QST 或 TMCP 工艺制造的钢材需根据具体材料和工艺确定 PWHT 要求。PWHT 可能降低强度和缺口韧性。PWHT 的作用在很大程度上取决于成分。一些日本的数据表明，对于某些 TMCP 钢来说，1025°F [550°C]可能是更为合适的 PWHT 温度。最佳 PWHT 温度取决于具体的化学成分、强度和缺口韧性要求。

(3) 在 PWHT 期间，ASTM A 710 A 级时效硬化的 Ni、Cu、Cr、Mo、Nb 钢材的 HAZ 极易产生开裂。对于 B 级和 C 级钢还未作研究。PWHT 对于某些级别的 ASTM A 514/A 517 钢的影响并不明显，因为这些钢材的塑性低，并且在 PWHT 期间 HAZ 产生开裂及强度和韧性受损的可能性。一些规范对诸如 ASTM A913 钢材或“用淬火和自回火工艺(QST)生产的结构用高强度低合金钢型材”的 PWHT 作出了具体限定，其中要求“型钢不应在超过 1100°F [600°F]的温度下成形和进行焊后热处理”。关于 TMCP 钢材的 API 海洋平台结构规范 2W 及关于 Q&T 钢材的规范 2Y 均给出了考虑进行 PWHT 时需考虑的“制造后加热”方面的类似警告信息。

C-3 的参考资料

1. Stout, R. D. “压力容器的焊后热处理”。WRC Bulletin. 302(1), 1985 年 2 月。
2. Shinohe, N., Sekizawa, M., 和 Pense, A. W. “ASTM A737 B 级和 C 级微合金化钢中长时间应力消除的影响”。WRC Bulletin. 322(4), 1987 年 4 月。
3. Konkol, P. J. “焊后热处理对结构钢焊件性能的长期影响”。WRC Bulletin. 330(2), 1988 年 1 月。
4. Pense, A. W. “A588 钢板和焊件的力学性能特征”。WRC Bulletin. 332(2), 1988 年 4 月。
5. 日本压力容器研究委员会, “500 N/mm² 级 TMCP 钢的 PWHT 表现的特征化”。WRC Bulletin. 371, 1992 年 4 月。
6. Xu, P., Somers, B. R.和 Pense, A. W. “压力容器用钢材中添加的钒和铌”。WRC Bulletin. 395, 1994 年 9 月。
7. Spaeder Jr., C. E 和 Doty, W. D. “ASME 焊后热处理规程: 解释性报告”。WRC Bulletin. 407(2), 1995 年 12 月。

表 C-3.1 钢材 GMAW-S 的典型电流范围(见 C-3.2.1)

焊条直径		焊接电流, A(阳极)			
		平焊和横焊位置		立焊和仰焊位置	
in.	mm	min.	max.	min.	max.
0.030	0.8	50	150	50	125
0.035	0.9	75	175	75	150
0.045	1.2	100	225	100	175

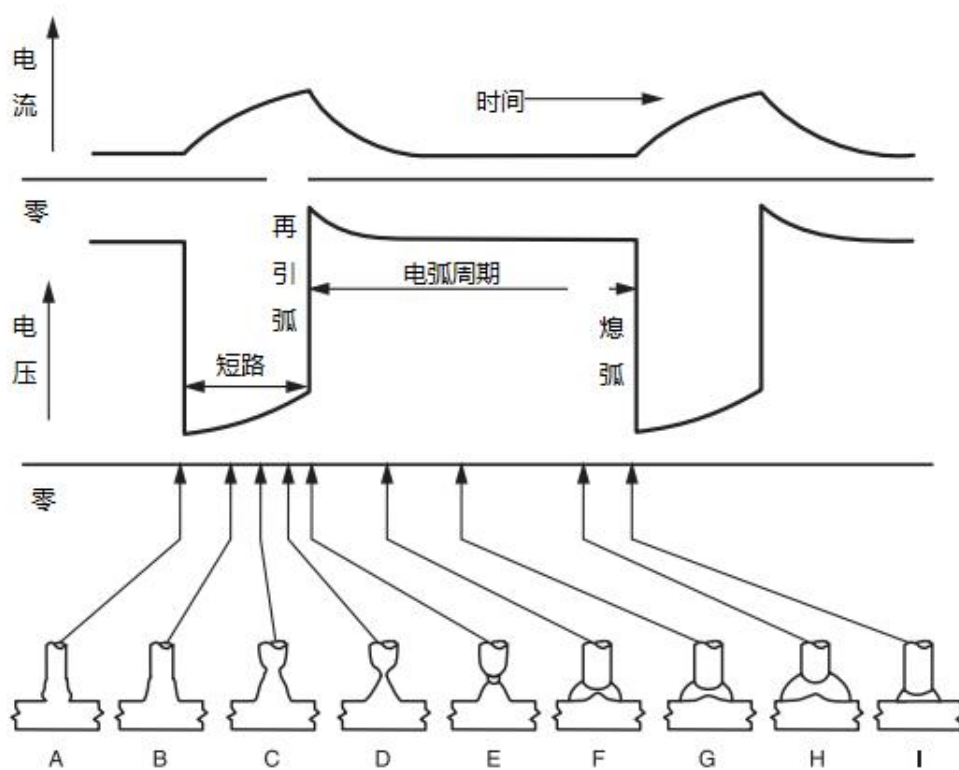


图 C-3.1—GMAW-S 金属过渡的波形图和示意图(见 C-3.2.1)

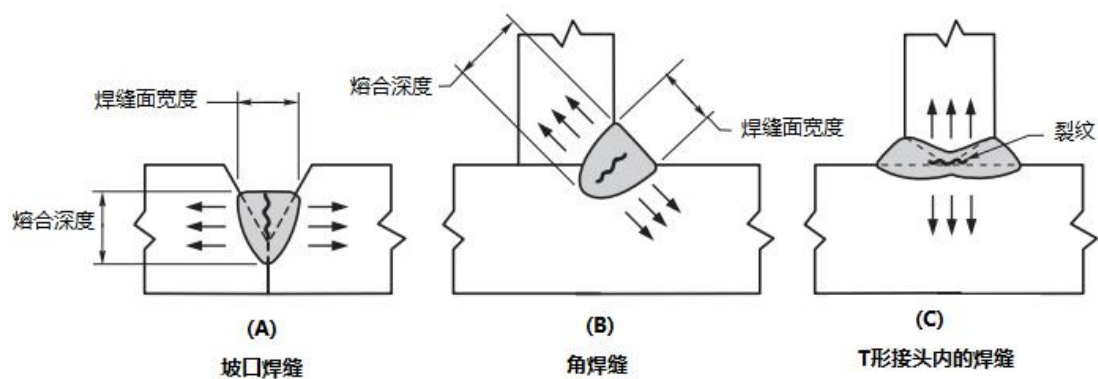


图 C-3.2—中心线开裂示例(见 C-3.7.2)

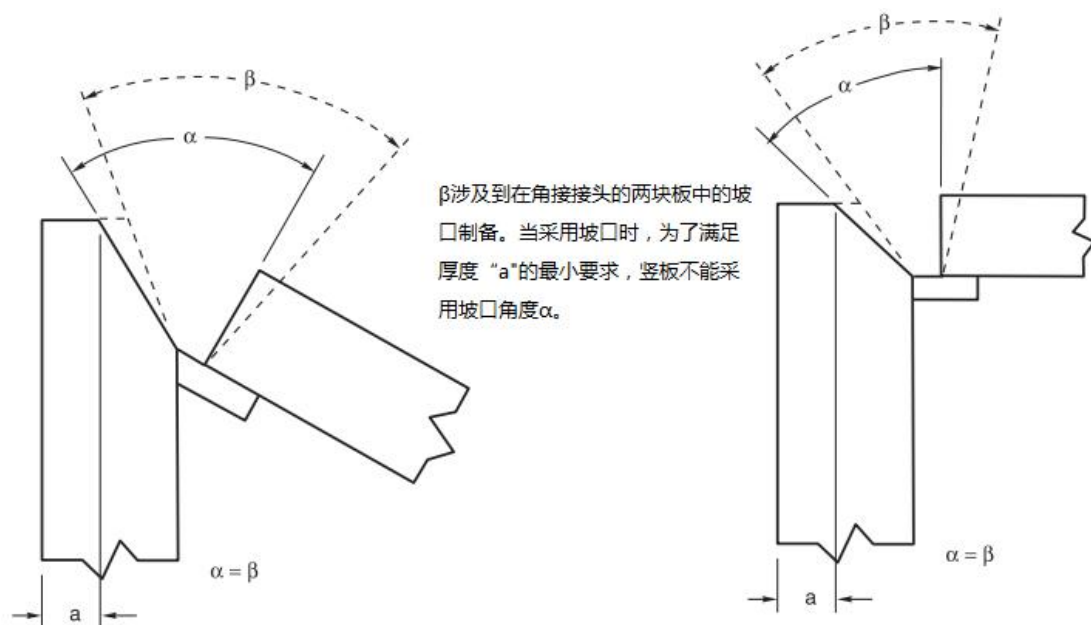


图 C-3.3—免评定角接接头的替代坡口制备细节(见 C-3.11.2)

本页被故意留为空白。

C-4. 评定

A 部分：通用要求

C-4.2 概述

C-4.2.1.1 评定职责。所有承包商均应对他们的完工产品负责。因此，他们有责任遵守本规范的 WPS 评定要求。为了确保承包商可以按照本规范要求正确实施文件化 WPS，建议工程师按照本规范要求编制 WPS。

C-4.2.2 焊接人员技能评定。评定试验专门用以确定焊工、焊接操作工和定位焊工按照 WPS 加工完好焊缝的能力。规范并不认为顺利通过评定试验的任何人能够对付在焊接加工中碰到的业已经过评定的所有情况。焊工、焊接操作工和定位焊工必须接受一定程度的针对这些不同情况的培训。

理想情况是，焊接淬火和回火高强度钢的焊工、焊接操作工和定位焊工应当具有焊接这种母材的经验。除了此类经验外，承包商还宜确保其人员接受有关这种钢材焊接方面的指导与培训。此外，建议其他人员(比如制作期间从事淬火和回火高强度钢装配和热切割的人员)也进行这方面的实习，或者在进行热切割操作之前接受过教育与培训。

C-4.2.2.1 以前的技能评定。除了 D1.1 外，其他标准中也包含了与本规范相同或类似的焊工和焊接操作工评定试验。如果根据这些替代试验进行评定时所得的结果与本规范规定的试验结果基本相同，则本条款允许工程师接受其他的评定试验。比如，可以采用 AWS B2.1《焊接工艺和技能评定规范》和 ASME 规范来对焊接人员进行评定。可以类似方式采用其他 D1 标准(比如 D1.2、D1.3、D1.4、D1.5 和 D1.6)中的技能评定试验。当按照其他标准对焊工资格进行评定，而这些标准之间有差异及这些差异比较大时，工程师负责根据具体结构和/或工况来确定这些技能评定试验是否可予接受。

C-4.3 WPS 评定和焊接人员技能评定的通用要求

C-4.3.4 试验焊缝的位置。本小节规定了评定试验焊缝和产品焊缝的施焊位置。除只用一种位置焊接的气电焊和电渣焊外，对于所有 WPS 来说，位置都是一个基本参数。评定试验焊缝位置和形状与所评定的焊缝类型和位置之间的关系如表 4.1 所示。在工作中实际使用之前，必须对结构建造中将要遇到的焊缝进行试验和评估。这将确保把所有必要的焊接位置都作为评定过程的

组成部分予以试验。

B 部分：焊接工艺规程(WPS)评定

C-4.5 评定试验的类型

表 4.2 概括了对评定试样的数量和类型以及所评定的厚度范围的要求。厚度等于或大于 1 in.[25 mm]的试板覆盖了无限定厚度的 WPS。目前已经证明, 1 in.[25 mm]的厚度通常可以体现焊缝金属的化学成分、热输入和预热温度对焊缝金属和 HAZ 的影响。虽然轧制方向被认为是推荐的轧制方向, 但钢板的力学性能还是会随这种方向发生明显变化, 并且可能会影响试验结果。举例说明, 除非使用横向轧制法, 否则钢板的纵向抗拉强度和冲击韧性常常大于横向抗拉强度和冲击韧性。同样地, 简图所示轧制方向常常能获得较好的弯曲试验结果。某些应用要求提供韧性试验结果, 并且宜在试验结果中注明轧制方向。

C-4.7 WPS 的编制

书面 WPS 和 PQR 可以采用任何合适的格式(示例见附录 M)。

C-4.8 基本参数

本规范允许评定 WPS 所用的参数有一定程度的偏离。但影响到材料的力学性能或化学成分或者是焊件的完好性的参数偏离可不重作评定。后面的参数被称为基本参数。4.8.3 列出了母材的基本参数。4.8.1 列出了焊接工艺的基本参数。4.3.4 和 9.12.1 列出了试验焊缝的位置。如果这些参数的变化超过了各小节允许的范围, 则需对 WPS 重作评定。同样地, 变化超过 4.8.2 所示范围时, 则仅需采用 RT 或 UT 重作评定。

这些基本参数是 WPS 文件中规定的具体参数, 并且应按这些参数施焊。表 4.6 列举了 PQR(如果合同文件要求进行 CVN 试验)评定用的补充基本参数要求。表 4.6 的要求是表 4.5 的基本参数要求的补充。对于无 CVN 试验的工艺评定, 宜完全满足表 4.5 的基本参数要求。如果为了满足 CVN 试验要求而进一步评定 PQR, 则宜完全满足表 4.6 的基本参数要求。表 4.6 的要求并不改变表 4.5 的任何要求。在表 4.6 中, 第 6 行的基本参数消除了在所有位置进行 CVN 试验的需要, 但不改变表 4.5 中关于焊接位置的要求。仍然需要满足表 4.5 中的强度和完好性的所有 WPS 评定要求。

C-4.8.1 SMAW、SAW、GMAW、GTAW 和 FCAW。焊接速度影响热输入、焊缝冷却速率和焊缝金相组织, 这些对于 HAZ、断裂韧性控制以及调质钢的焊接而言都很重要。为了避免产生不

完全熔合与夹渣，还需要选择适当的焊接速度。

焊条外伸长度或导电咀到工件的距离是重要的焊接参数，它不但影响熔滴过渡模式，而且还影响电流大小。使用恒压电源设定送丝速度时，较长的焊条外伸长度会使得焊接电流减小。这会减小熔透深度和热输入，并且导致产生熔合不连续。较短的外伸长度会使焊接电流增加。焊条外伸长度的变化会导致喷射过渡变为粗滴过渡或短路过渡。必须控制焊条外伸长度和其他焊接参数。

可通过控制送丝速度、焊条外伸长度和电弧长度或者电压来控制半自动焊接过程。对于机械化焊接，可预先测量焊条外伸长度；如果是手工焊接，则可目测焊条外伸长度。在圆管(或方管)管材上的焊接并不一定意味着管材的焊接就此完成。沿圆管周长的焊接和沿平行于管的轴线(中心线)的焊接明显存在差异。对接接头的环焊缝完全不同于用卷板制成的管材的纵向坡口焊缝；套管接头的角焊缝完全不同于沿管的长度方向附加的板材的角焊缝。沿平行于管材轴线的直线进行焊接的技巧与笔直地焊接钢板轧制型材的技巧显然毫无二致；因此，管材产品结构的限定不适用于直线焊接的情况。见图 C-4.1。

C-4.9 WPS 评定的试验方法及验收准则

C-4.9.3.2 纵向弯曲试验。本小节提供了在材料组合的力学弯曲性能明显不同时进行的纵向弯曲试验的条款。

C-4.9.3.3 弯曲试验的验收准则。用新的、更确切的措施表示弯曲试验的准则有助于解释试验结果。弯曲试验的目的是证明焊缝的完好性。增加了关于指示的总数量的陈述，以限制不连续的累计总量。

规范增加了始于角部的撕裂的最大限制，以防止出现角部裂纹可能扩展穿过半个试样的情况(按照以前的准则，这种情况被判定为合格)。

C-4.11 非管材连接的 PJP 坡口焊缝

C-4.11.1 待测试样的类型和数量。本小节讨论了承包商要求评定的 PJP 坡口焊缝的评定要求，承包商要求作评定的原因是结构中使用的接头设计和 WPS 不符合 3.1 所述的免评定状态，或者是建议将已评定的采用特定接头设计制作 CJP 坡口焊缝的 WPS 用于制作 PJP 焊缝。这样做的目的是确定采用拟供结构用的接头设计和 WPS 制作的焊缝尺寸。与特定的焊接方法和焊接位置相结合的某种接头设计也许会表明：计划制备的坡口不能生产出所希望的焊缝尺寸(E)。

符合 4.11.2 或 4.11.3 条款要求的 WPS 评定仅要求采用宏观腐蚀试样。达不到 4.11.4 准则要求的 WPS 需进行附加试验。这些试验的要求如表 4.3 所示。

C-4.12 管材连接和非管材连接的角焊缝

C-4.12.1 试样的类型和数量。当采用单道角焊缝时，则需要一条如图 4.15 和图 9.21 所示的试验焊缝，该焊缝采用最大单道角焊缝尺寸来焊接。如果仅使用多道角焊缝，则需要一条如图 4.15 和图 9.21 所示的试验焊缝，该焊缝采用最小单道角焊缝尺寸来焊接。每项试验都要被用来评价最关键的状态。

C-4.14 需评定的焊接工艺

规范并未将焊接局限于 3.1 所述免评定 WPS 范围内。当其他 WPS 和新观念变得可行时，只要按第 4 节 B 部分所述要求进行了评定即可使用。如果承包商以前已评定的 WPS 符合第 4 节 B 部分的所有要求，则结构焊接委员会建议工程师接受以前试验的正式成文的资料，而不再要求进行试验。正式文件意味着承包商已经满足第 4 节 B 部分的要求，并将评定试验的结果记录在附录 M 所示的合适表格中。当使用附录 M 的表格时，宜在表格中提供列出了所有基本参数及所执行的评定试验的结果的合适信息。

这里有适用于任何情况的通用条款。工程师负责根据具体结构和工况决定是否接受按其他标准所作的评定。结构焊接委员会不对按任何其他焊接标准进行的评定发表意见。

C-4.14.1.3 WPS 要求(ESW/EGW)。对于 ESW 和 EGW 的焊接方法、工艺和接头细节，本规范未给予免评定的地位。需按第 4 节要求编制 WPS。由于这两种方法都有会导致 HAZ 力学性能严重劣化的高的热输入，因此禁止采用其中任何一种方法来焊接调质钢。

C 部分：技能评定

C-4.15 概述

焊工技能评定考试专门用以确认焊工具备在任何给定试验接头上制作完好焊缝的能力。在顺利完成技能评定考试后，应认为该焊工具有最起码的资格。

了解被焊接的材料的知识有益于焊工制作完好焊件；因此，建议在焊接调质钢之前向焊工介绍这种材料的性能或者已有的以前焊接特殊钢材的经验。

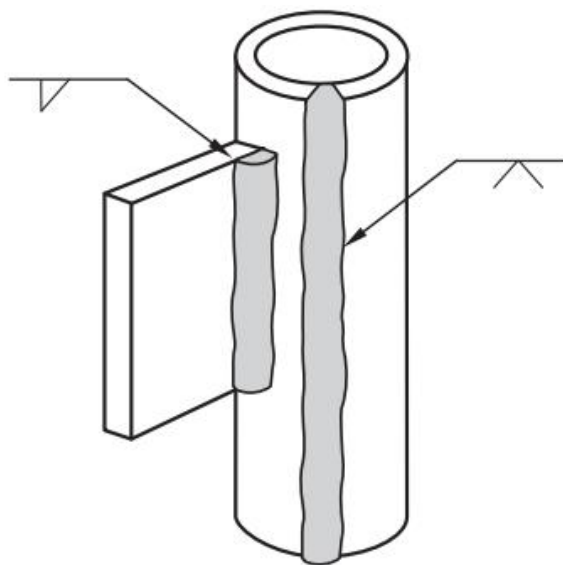
承包商可能不定时改进或增添新的控制设备。以前技能评定合格的焊接操作工可能需要进行培训，以熟悉新设备。这里强调的是“培训”，而不是“重作技能评定”，因为这种培训仅需在

板材或管材上焊几个焊道就足够了。这样做的目的是使承包商对焊接操作工进行培训，以便采用新设备进行焊接。

C-4.19 基本参数

本规范认为，焊工制作完好焊缝的能力取决于一些基本参数。表 4.12 列出了这些参数。

C-表 4.13。 SMAW 焊条的分组与所需要的焊工技术有关。F 组代号允许用某一分组代号中的焊条评定合格的焊工采用数字序号较低的代号中列出的其他焊条。举例说明，采用 E6010 焊条评定合格的焊工也具有使用 E6011 焊条的资格，使用分组代号 F3 评定合格的焊工可以使用分组代号 F2 和 F 的焊条进行焊接，但没有使用分组代号 F4 的焊条的资格。



注：这种情况可以接受用板材进行平焊、横焊、立焊和仰焊位置的坡口焊缝和角焊缝的评定，而无需进行管材焊接评定。

图 C-4.1—无需进行管材评定的管材的焊接类型(见表 4.10 和表 9.13)

C-5. 制作

C-5.1 范围

第 5 节所含的准则旨在向生产厂商、监督人员、工程师和焊工指明制作和安装过程中什么是良好的工艺。遵守这些标准是能够做到并且期望做到的事情。如果普遍达不到这些工艺标准,则表示需要采取纠正措施。

C-5.2 母材

ASTM A6 和 A20 规范提出了钢材交货要求,规定了尺寸公差,描述了质量要求,并且提出了轧制状态的类型。

应用于结构中的材料通常以轧制状态供货。工程师宜考虑到生产车间所收到的材料中可能存在 A6 和 A20 允许的表面缺陷(接缝、疤痕等)。当需要轧制产品有特殊的精加工表面质量时,宜在提供给投标者的资料中作出规定。

作为本规范表 3.1 或表 4.9 认可的材料而列出的钢材包括适合在承受循环荷载、承受静荷载的结构及管材结构中使用的钢材。还列出了涵盖了已在管材结构中使用的材料类型的其他 ASTM 规范、美国船级社(ABS)规范、和美国石油学会(API)规范。所有认可的钢材都是已按本规范作了评定或免评定 WPS 认为可焊接的钢材。表 3.1 或表 4.9 列出了规范认可的每一种钢材。

表 3.1 和表 4.9 列出了 WPS 涵盖的建筑物用结构钢的 ASTM 规范及涵盖了其他类型不常用但适用于承受静荷载结构的材料的其他 ASTM 规范。ASTM A588、A514 和 A517 规范包含了一些化学成分适用于不涂漆或耐候条件的级别的钢种。ASTM A618 钢具有更强的耐腐蚀性。

通常认为适用于承受循环荷载结构的焊接结构钢已被作为认可的钢材列于表 3.1 和表 4.9 中。虽不常用但适用于承受循环荷载结构的其他 ASTM 钢种也被作为认可钢材列出。符合这些涵盖了结构管材的附加 ASTM 规范 A500、A501 和 618 及涵盖了压力容器用板材的 ASTM 规范 A516 和 A516 的钢材被视为是可以焊接的钢材,并且被纳入了承受循环荷载结构用的认可钢材清单中。

表 3.1 和表 4.9 的完整认可钢材清单为设计人员提供了一批最低规定屈服强度(如果是其他材料,则为使其适合在低温条件下应用的缺口韧性特征)在 30 ksi~100 ksi [210 MPa~690 MPa]范围内的可焊接钢材。也可以使用其他钢材,但需要按第 4 节要求的评定方法确定它们的可焊性。

规范限定使用最低规定屈服强度不超过 100 ksi [690 MPa]的钢材。9.6.1 的一些条款取决于钢的应变硬化能力。

C-5.3 焊接材料和焊条要求

C-5.3.1.3 保护气体。根据保护气体制造商提供的资料，已经确定 -40°F [-40°C]的露点是提供充分湿气防护的实用上限。 -40°F [-40°C]可换算为约 $128 \times 10^{-6}(\text{ppm})$ 体积的水蒸汽，或是约 0.01% 的适合的含水率。这一含水率看来很低，但在焊接温度下分解时能使伴随焊条产生的氢增加来源。因此，必须将保护气体的露点规定为 -40°F [-40°C]或更低。采购按 AWS A5.32 要求合格的保护气体即可满足这一要求。

C-5.3.2 SMAW 焊条。低氢焊条防止焊道下裂纹的能力取决于药皮的含水量。当焊接时，水份分解成氢和氧；氢被熔融金属吸收，在焊缝金属凝固后可能出现气孔和裂纹。为防止水份被药皮材料吸收，应严格遵守规范中关于低氢焊条运输、贮存、干燥和使用的规定。

C-5.3.2.1 低氢焊条的贮存条件。术语“低氢”是焊接行业广泛使用的术语，但诸如 AWS A3.0 之类的行业文件中尚未对这一术语作正式定义。结果产生了与这些词汇有关的大量混淆和歧义。简略地总结一下该属于的演变过程可能会有所帮助。

氢致开裂(HIC)现象通常与三个因素在焊件中的相互作用有关：(1)高的外加应力或残余应力；(2)存在对 HIC 敏感的钢材微观组织；和(3)存在高浓度的可扩散(原子)氢。对于焊接结构而言，通常依靠所用填充金属和母材的强度等级来控制第一个因素。其余两个因素则通常通过预热(促进产生更少的 HIC 敏感微观组织)及使用可以最大限度地降低氢的合适焊接方法和技术来进行控制。为了避免 HIC，可以采用多种预热和控制氢方法的组合。举例说明，如果扩散氢含量较高，则采用较高的预热温度和道间温度。反过来说，如果扩散氢含量较低，则采用较低的预热温度和道间温度。

多年来，真正唯一可选择的电弧焊是 SMAW。在这种工艺中，纤维素或金红石焊条的使用(比如 E6010)对以前使用的裸焊条的巨大改进，从而大大降低了熔敷焊缝的氮含量。然而，同样这种对焊缝质量作出改进的药皮却由于焊条药皮在电弧中的分解而使得大量的氢进入焊件。焊缝金属中扩散氢的含量并不固定，但 40 ml~80 ml/100 g 的含量并不罕见。当仅对不宜产生 HIC 的较低强度的钢进行焊接时，这么高的扩散氢含量是可以接受的，并且也可能会获得没有裂纹的焊缝。对于较为敏感的钢材和较厚的钢材，可通过增加预热温度和道间温度来克服产生 HIC

的倾向。但 HIC 是一种常见现象，特别是在预热不充分和残余应力非常高的较厚焊件中，裂纹几乎不可避免。

焊接行业研发出了低氢药皮 SMAW 来面对这一挑战。时至今日，此类药皮仍然限定了药皮中的具体最大含水量限值。这样的焊条包括 AWS A5.1 和 AWS A5.5 E7015、E7016、E7018 和 E7028 分类的焊条。尽管 AWS 标准未对低氢焊条作出定义，但这些产品却为人熟知。尽管如此，但这些“低氢焊条”和可选用的纤维素或金红石焊条之间的对比却是十分明显：用低氢药皮熔敷的焊缝金属实际上具有更低的含氢量。这样就允许在稍微预热或不预热的情況下焊接“难焊钢材”，并且大大降低了 HIC。后来研发出了半自动化焊接工艺(比如 GMAW 和 FCAW)，从而可以使焊件的氢含量与采用低氢 SMAW 焊条时的差不多。但这些工艺及所用焊条中从来没有使用术语“低氢”，这是因为它从来没有经历过氢含量最小化的进化过程。为了引起对这些焊接方法的注意，诸如“低氢焊接工艺”之类的术语开始得到使用，但仍然没有正式的定义。

有关什么样的数量真正代表恰当的低氢的争论仍在继续。今天，焊缝金属的实际扩散氢含量是可以测量的，并且通常用 ml/100 g(熔敷焊缝金属)为单位来表示。如今已经不再争论“低氢”的定义，更普遍的是讨论用该计量单位表示的氢含量。对于本规范所管辖的典型的工业应用中的大多数应用，这些半自动焊接方法的采用保证了使足够低的氢进入，从而防止产生 HIC。合同文件中“低氢”焊条的条款有时确实排除了半自动化焊接工艺，而代之以要求采用低氢药皮 SMAW 焊条。事实上，这样的合同语言是通常来源于 1950 年代的思维模式，它只在不熔敷低氢焊缝金属的 SMAW 焊条之间作出了区分。没有任何限定使用半自动化焊接工艺的理由。此外，D1.1 规范提供了合格填充金属、钢材和预热限定方面的必要限定，因此，合同文件中一般无需对合格填充金属另作限定。对于预热和其他目的而言，D1.1 对 GMAW、FCAW、SAW、GTAW、ESW 和 EGW 的要求与对“低氢”SMAW 的要求相同。

经验已经表明，代表特定 AWS 分类的各种品牌的焊条的吸湿率千差万别。一些焊条在标准的暴露时间内只吸收很少的水分，而另一些焊条则非常快地吸收水分。5.3.2.1 中的水分控制要求有必要保守些，以涵盖这种条件并确保可以制作完好焊缝。

焊条从贮存烘箱取出后使用的时间限定也许对某些用户来说过于严格。低湿度区域内的吸湿率低于高湿度区域内的吸湿率。本规范考虑的是最具有约束性的情况。

C-5.3.2.5 ASTM A514 或 A517 钢所用低氢焊条的限制。对于碳钢低氢焊条，AWS A5.1/A5.1M

《药皮焊条电弧焊用碳钢焊条规范》规定的处于“收货状态”或“已调节状态”的低氢焊条药皮的含水量限值(按重量计)是 0.6 % (E7018M 除外, 其药皮的含水量限值为 0.1%)。采用可选代号 R 的防潮低氢焊条的具体含水量限值是 0.3%。AWS A5.5/A5.5M 《药皮焊条电弧焊用低合金钢焊条规范》中规定了处于制造状态的合金钢低氢焊条的最大含水量限值。E70XX-X 类焊条的含水量限值是 0.4%; E80XX-X 类焊条的含水量限值是 0.2%; E90XX-X、E100XX-X、E110XX-X 和 E120XX-X 类焊条的含水量限值是 0.15%。含有可选代号 H4 的焊条的药皮中的含水量限值足以确保将实际的可扩散氢的最大含量限定为 4 ml/100 g (熔敷焊缝金属), 而不考虑焊条的抗拉强度等级。

经验已经表明, 在采用 E80XX-X 及更低级别焊条的一些应用中, 药皮含水量的上述限值并非始终具有充分的局限性。低于 E100XX-X 的焊条在焊接 ASTM A514 和 A517 的高强度调质钢时应采用更严格的含水量要求。所有此类焊条在使用前均需要 700°F~800°F [370°C~430°C] 的温度条件下烘干。按照 AWS A5.5 要求, E90XX-X 以下焊条的含水量不必低于 0.15%, 并且所要求的烘干至少要达到这一含水量要求。由于高强度钢和焊缝金属对氢致裂纹较为敏感, 所以这种措施是必要措施。

C-5.3.3.1 焊丝-焊剂组合要求。如果遵守了 3.3、表 3.1 和表 3.2 中的条款, 则符合这些规范中的分类代号要求的焊丝-焊剂组合可被作为免评定焊丝-焊剂组合使用。承包商宜按供应商的建议正确使用焊剂。

C-5.3.3.2 焊剂的状态。本节的要求是确保焊剂不成为因吸潮而作为将氢带入焊缝的媒介所必需的要求。当因贮存不当或包装损坏而对焊剂的适用性产生怀疑时, 宜弃用焊剂或按制造商建议烘干焊剂。

C-5.3.3.3 焊剂的回收。对于通过真空回收系统回收的未熔化焊剂, 应分清是熔炼焊剂还是陶质焊剂。一般而言, 熔炼焊剂回收时颗粒会变得比较粗大(特别是粒度小于 200 目时)。在这种情况下, 真空回收系统会筛掉一些细的焊剂, 因此在重新使用前应加入至少 25% 的新鲜焊剂, 以补充细颗粒焊剂。另一方面, 陶质焊剂由于制造方法的关系会在焊剂回收系统中因破碎而增加小颗粒的比例。为了补偿破碎的焊剂, 在重新使用前需要增加至少 25% 的新鲜焊剂(虽然用户通常增加的量是 50%)。对于这两种类别的焊剂, 重要的是在回收焊剂前分离出可能的金属夹杂物(来自板材的铁锈或轧制鳞片)。

人工收集系统回收的焊剂质量取决于收集技术的稳定性。宜控制外来的物料和潮气的污染。另外，焊接制作者应保证以稳定的比例加入新鲜焊剂并与回收的焊剂混合。

C-5.3.3.4 破碎焊渣。SAW 过程中形成的焊渣可能不具备与未使用过的(新鲜)焊剂相同的化学成分。焊渣成分受原来焊剂的成分、母材和焊条的成分以及焊接参数的影响。

虽然可以破碎一些 SAW 焊渣并将其重新作为焊剂使用，但无论在破碎的焊渣后加入了多少新鲜焊剂，它都会是一种化学成分不同的新的焊剂。这些焊剂可按 AWS A5.17 或 A5.23 规范来分类，但不宜被视为与新鲜焊剂相同的焊剂。

C-5.4 ESW 和 EGW 工艺

使用 ESW 和 EGW 的工艺已在 5.4 作了详细说明，并且在 4.8.2 中给出了这些工艺的基本参数。

由于焊接参数会影响操作过程，它关系到能否有足够的熔深、接头区域是否完全熔合和有无加工完好焊缝能力，因此规范要求对这两种方法的 WPS 进行评定。

这两种方法相对较新，经验不足，因而其工艺不能免除评定。

C-5.4.1 工艺限制。ESW 和 EGW 工艺具有优势，这是因为它们能够在非常厚的板材上以单焊道非常快地熔敷焊缝金属且产生很小变形。ESW 和 EGW 工艺相对高的热输入和相对低的冷却速率可以在淬火和回火(Q&T)、热机械控制工艺(TMCP)和沉淀硬化(PH)钢中产生含有软化的热影响区(HAZ)的焊缝。这些焊缝的 HAZ 会出现降低的断裂韧性，即局部脆化区(LBZ)。

当产生疲劳开裂时，其常常从应力集中的焊趾处开始开裂。疲劳裂纹在与垂直于主要应力场的方向蔓延，并且会随着活荷载应变范围变化。ESW 和 EGW 方法焊接的焊缝中较大尺寸的 HAZ 和任何 LBZ 意味着低断裂韧性区域会产生较大的疲劳裂纹。另外，高荷载可能会使任何软化 HAZ 的任何塑性集中。这样的两个因素的单独或共同作用都会增加脆性断裂的风险。ESW 和 EGW 工艺用方形坡口接头的设计是产生这一麻烦的原因，因为它使 HAZ 和 LBZ 的方向垂直于拉应力。标准的拉伸和弯曲试验工艺评定不会揭示这种状态。如果拟定应用中存在这些问题，则设计人员或工程师宜考虑进行诸如 CTOD(裂纹尖端扩张位移)断裂韧性和疲劳试验之类的附加试验。

鼓励那些打算使用这些方法的工程师和承包商在材料和方法选择方面调查潜在的影响。作为 ESW 工艺的一种变体的 ESW-NG 具有相对低的热输入，因此减小了 HAZ 的尺寸和对 HAZ

缺口韧性的损伤。

C-5.5 WPS 参数

规范要求焊工、焊接操作工和定位焊工能正确使用 WPS。必要时可以通过经验、培训或讲授来实现。

C-5.7 调质钢的热输入控制

调质钢焊缝 HAZ 的强度和韧性与冷却速率有关。与适用于其他钢材的原则相反的是需要非常快地使焊接热量散失，以保持足够的强度与韧性。奥氏体化 HAZ 的冷却速率必须足够快，以保证钢的显微组织中形成硬化组分。过热的调质钢以慢的速度冷却都会妨碍硬化显微组织的形成。

敷熔许多小焊道时，由于细化晶粒及下一焊道的回火作用，从而改善了焊缝的缺口韧性。由于较慢的焊接速度会增加热输入，因此不推荐采用横向摆动焊接。由于各种调质钢的最大热输入差异很大，所以应严格遵照钢材生产商制定和推荐的热输入

C-5.8 应力消除热处理

本小节提供了用于焊件消除应力的两种焊后热处理方法。第一种方法要求将调质钢的焊接装配件最高加热至 1100°F [600°C]，其他钢材加热至 1100~1200°F [600~650°C] 之间。焊接装配件在这一温度下保温时间见表 5.2。5.8.2 的替代方法将温度降低到第一种方法规定的最低温度以下，与此同时增加保温时间。当焊接的装配件不能够在较高温度下进行 PWHT 时，则采用后一种方法。这些温度都比防止性能发生任何变化的临界温度低。

如果 PWHT 的目的是消除焊缝应力，则保温时间以焊缝金属厚度为基础依据，即使焊件的某些材料厚度大于焊缝厚度也应如此。如果 PWHT 的目的是保持焊件在后续机加工中的尺寸稳定性，则保温时间以焊件上的最厚组件为基础依据来确定。如果将某些调质钢当作碳钢或低合金钢来消除应力，则其显微组织可能发生不良变化，从而引起力学性能劣化和/或产生裂纹。这种钢材仅适宜在咨询钢材生产厂之后才作消除应力处理，并且要严格按照他们的建议进行。

注意：宜考虑应力消除热处理可能引起的变形。

C-5.9 衬垫

除了管材结构允许的情况外，仅从一面施焊的所有免评定 CJP 坡口焊缝的焊缝金属和钢衬垫均需要达到完全熔合。如果按第 4 节要求作了评定，则可采用其他衬垫(比如 5.9.3 列出的衬

垫)。当使用钢衬垫时,要求衬垫在整个焊缝长度内保持连续,5.9.1.2 或 9.23.1 提供的焊缝除外。如果钢衬垫不连续,则衬垫未焊的对接接头可能成为引发裂纹的应力源。

C-5.9.1.2 全长衬垫。经验已经表明,在钢衬垫中,紧配合但不焊接衬垫的方形对接接头构成了严重缺口及类似开裂的状态,当未熔合区域垂直于应力场时,它可能会导致焊缝中产生横向裂纹。在许多情况下,这样的裂纹会扩展到母材中。

在一些衬垫板条几何形状需要将衬垫断开以及由于可达性原因而阻碍了衬垫焊接的细节中,衬垫的断开是不可避免的。平行于构件轴线焊接的衬垫将随构件产生应变。对于未焊接的衬垫断开之处,当其垂直于应力场时,则将会造成应力集中和缺陷。这种应力集中可能诱发开裂。残余应力、严重的拘束和循环荷载增大了产生这种开裂的风险。除非在施加的应力中存在反向应力,否则压应力可以降低开裂风险。对于选择的特定应用或工程师批准的情况,规范允许采用不连续的衬垫。

C-5.9.1.3 衬垫厚度。推荐的钢衬垫的最小公称厚度如下表所示:

工艺	厚度(最小值)	
	in.	mm
GTAW	1/8	3
SMAW	3/16	5
GMAW	1/4	6
FCAW-S	1/4	6
FCAW-G	3/8	10
SAW	3/8	10

如果裸露内表面上没有熔化迹象,则允许使用市面上可购买到的管材和管件用钢衬垫。

C-5.9.1.4 承受循环荷载的非管材连接。垂直于所施加应力的钢衬垫形成了一个应力集中点,并且可能成为承受循环荷载的结构中引发疲劳裂纹的源头,因此,5.9.1.3 的条款要求在承受循环荷载的结构中清除垂直于计算应力方向的衬垫。

C-5.11 焊接环境

C-5.11.2 最低环境温度。经验表明,在温度低于 0°F [-20°C]的环境中作业时,焊接人员不能焊出最好的焊缝。关于使用加热结构或屏蔽物来保护焊工及待焊部位免受恶劣气候条件影响的要

求见 5.11.2。如果这一加热结构或屏蔽物内提供的温度在 0°F[-20°C]或以上，则 5.11.2 中的禁止条款便不适用。加热结构或屏蔽物内部的环境条件不能改变规范中其他条款关于母材预热或道间温度的要求。

C-5.12 设计要求的符合性

如果角焊缝的一个或两个焊脚超出规定尺寸而不影响构件的最终使用，则可不作修整。从超出尺寸的焊缝去除多余材料的尝试毫无意义。具有足够的焊缝厚度以及符合图 5.4 的焊缝剖面形状宜被作为唯一的验收准则。

C-5.13 角焊缝最小尺寸

规范规定的角焊缝最小尺寸以两个独立的考虑因素为基础依据。

(1) 对于非低氢焊接工艺，规定的最小尺寸要保证有足够的热输入，以减小 HAZ 或焊缝金属中产生开裂的可能性。

(2) 当按照 4.8.4 条款规定的工艺并使用低氢方法或非低氢方法而降低了开裂的可能性时，规定的最小尺寸要与较薄的连接件保持合理的比例。

在这两种情况下，如果最小尺寸大于设计要求的尺寸时，则采用此处的角焊缝最小尺寸。

C-5.14 母材的准备

C-5.14.1 概述。对于合格焊缝而言，母材的清洁度至关重要。但在制作焊缝前既不要求也无必要对母材进行完全的清理。清洁度量化限值的确立和这些限值的测量都存在困难；因此本条款使用了以获得的焊缝质量为准的实用标准；如果母材进行了足以产生符合本规范要求的焊缝的清理，则认为母材足够干净。如果获得的焊缝不满足本规范的质量要求，则需要提供更干净的母材。

C-5.14.2 轧制引起的缺陷。打算用来制作焊缝的母材的必须足够完好，以确保不会影响连接的强度。敷熔预先规定的焊缝之前需修补母材缺陷。本小节并未禁止通过焊接来进行母材修补。切割边上外露的缺陷的要求见 5.14.5 和 C-5.14.3。

C-5.14.3 氧化皮和铁锈。过多的铁锈或氧化皮会对焊缝质量产生不利影响。规范允许在满足下列前提的情况下在含有薄的轧制氧化皮的表面进行焊接：

- (1) 用钢丝刷刷洗之后轧制氧化皮仍然完好无损；和
- (2) 不会对获得的焊缝的质量产生不利影响(见 C-5.14.1)。

C-5.14.4 外来物。本小节禁止待焊接表面及其邻近区域内存在大体积污染物。在焊接之前，必须采用诸如擦洗之类的方式将被 5.14.4.1 所列污染的表面清理干净。在清除含有碳氢化合物或凝结水的表面污染物时宜格外注意，这是因为释放到熔池中的氢会导致产生严重的焊接缺陷，比如开裂。清理工作(可能仅仅涉及到擦洗)既无需清除所有外来污染物，也不要求使用溶剂；允许焊接时穿过薄层的残留污染物，但会导致产生不符合本规范质量要求的焊缝的情况除外。

C-5.14.5.2 修补。在钢材切割表面上看到的轧制引起的缺陷归因于夹渣、高熔点夹杂物、脱氧产物或气孔。对于厚度方向上承受拉力的材料，切割表面缺陷的这种修补工艺可能不足以满足要求。对于在其他方向承受荷载的情况，本条款允许材料中存在某些层状缺陷。经验和试验已经表明，这种平行于拉应力方向的分层对结构件的承载能力一般无不利影响。用户宜注意，5.14.5.2 的修补工艺仅可被用来修整具有剪切或热切割边缘的材料。

C-5.14.6 接头准备。由于热输入高，因此禁止在调质钢或热机械控制工艺(TMCP)钢上进行氧气刨槽(见 C-5.7)。

C-5.14.8.3 粗糙度要求。允许对超过表面粗糙度最大允许值的热切割表面作修整。深度有限的偶现缺口或凹槽可作整修，更深的缺口或凹槽则需在获得批准后方可作整修。深度限定体现了委员会的集体意见，并且反映了结构的要求以及承包商应拥有的典型工艺能力。

对于所谓的“偶现缺口或凹槽”，委员会认为由最熟悉具体结构情况的工程师来作判断比较好，故而未规定具体数值。工程师可选择确定偶现缺口或凹槽的验收准则。

C-5.15 凹角

规定凹角最小半径的目的是避免应力集中产生的影响。因为任何人为选择的最小半径都会向上延伸到梁角焊缝或翼缘板的底部，这在某些情况下会使半径的制作特别困难或不可行，故而规范未规定热轧梁或焊接组装梁横截面梁切口角部的最小半径。另外，峰值应力仅可藉由局部屈服予以调整，并且弹性应力集中系数的量级不受任何实际尺寸的半径差异的明显影响。

承受静荷载的结构和管材接缝允许并通常要求采用比承受循环荷载结构的小的凹角半径。一些标准螺栓连接或铆接连接也需要采用较小半径。

不合格凹角的示例见图 C-5.1。

C-5.16 过焊孔、梁切口和连接材料

C-5.16.1 过焊孔尺寸。已凝固而仍为热态的焊缝金属在冷却到环境温度时会明显收缩。当两个

组件之间的大尺寸焊缝收缩而部件不能自由移动以调节收缩变形时，则会导致邻近焊缝的材料中产生超过屈服点的应变。在厚的材料中，焊缝在宽度和长度方向上及在厚度方向上都受到约束，从而导致形成抑制塑性钢材以塑性方式变形的能力的三轴应力。(图 C-5.2 为形成梁切口的良好实践的示例)

在这些条件下，脆性断裂的可能性会所有增加。要求提供如图 5.2 所示的大尺寸的过焊孔，以便释放集中的焊缝收缩应变，避免正交方向上焊缝密集并提供足够的间距，从而高质量地进行孔的制备、焊接，并且确保易于作检验。不推荐用焊接来封堵过焊孔。如果出于美化外观和防腐蚀的原因而需要封闭过焊孔时，胶粘材料比焊接更可取。

C-5.16.2 镀锌型材和 C-5.16.3 重型型材。在重型型材中切割梁切口和过焊孔之前进行预热及打磨镀锌型材的目的是减少硬表面层的形成，并且降低诱发开裂的倾向。

C-5.18 组装构件的拱度

热锻(也被称为火焰矫正)是通过局部加热来使构件变形。它被用来矫正适度偏离规定尺寸的构件。进行热锻应小心加热，以确保由此引起的温度不超过 5.25.2 规定的最高温度。

C-5.20 变形和收缩的控制

C-5.20.2 当在型材之间进行拼接(不管是工厂拼接还是现场拼接)时，宜合理平衡腹板焊缝和翼缘板焊缝之间及构件长轴和短轴之间的焊接顺序。

C-5.21 接头尺寸公差

C-5.21.1 角焊缝装配。除了搭接接头和衬垫板条的贴合面要分离之外，允许厚度不超过 3 in. [75 mm]的角焊缝焊接材料之间留有最大为 3/16 in. [5 mm]的间隙。对于厚度超过 3 in. [75 mm]的材料，许用的最大间隙为 5/16 in. [8 mm]。

因为存在轧制钢板容许公差，并且不能矫直后的组件，故而有必要留出这些间隙。本规范要求要求在装配之前对材料进行矫直，或在装配过程中应用外部机械施加荷载，以迫使材料保持直线状态。

这些缝隙可能要求用焊缝或用其他能承托熔化焊缝金属的材料予以密封。应当认识到，当移除用于施加任何外部荷载的装置之后，可能会出现作用于焊缝上的附加应力。尺寸等于或大于 1/16 in. [2 mm] 的任何间隙均需要增加角焊缝尺寸，并且增加量即为间隙量。

C-5.21.2 PJP 坡口焊缝装配。见 C-5.21.1。

C-5.21.3 对接接头对齐。对于以对接接头焊缝连接的毗邻组件，如何应用对齐要求的典型示意图见图 C-5.3 和 C-5.4。

C-5.21.4.2 矫正。对于超过图 5.3 和表 9.15 要求的根部间隙，可通过在坡口面的一侧或两侧堆焊的方式予以矫正。矫正根部间隙时，用户必须要获得工程师的必要批准。只有在接头已经矫正到符合规定的根部间隙公差后方可施焊最终焊缝，以将收缩量降至最小。

C-5.22 接结构构件的尺寸公差

C-5.22.2 横梁和大梁的直线度(未规定拱度)及 C-5.22.3 横梁和大梁的拱度(典型大梁)。焊接装配件的直线度允许偏差与 ASTM A6 中规定的热轧型材的直线度允许偏差相同。

C-5.22.4 梁和大梁的拱度(无设计混凝土壳板)。焊接梁或大梁的拱度可被用于消除构件承受全部荷载后的下弯现象者使之与邻近建筑组件的高度相匹配。

虽然拱度的公差比起拱度本身并不重要，但为一致起见，拱度的允许偏差均应以引起抛物线形状挠曲的典型荷载分布情况为基础依据来确定。

在对装配构件钻孔以进行现场拼装或准备进行现场拼焊时测量所示允许偏差(见图 C-5.6)。

当面板设计有混凝土壳板时，则梁的跨度中央的 1-1/2 in. [40 mm]公差是在假设壳板为 2 in. [50 mm]的基础上确立的。现场偏离和其他偶发情况的公差为 1/2 in. [12 mm]。

当承包商检查单个构件时，宜注意保证组装件符合公差的要求。

规定的拱度有两套允许公差。第一套公差适用于所有焊接梁和大梁，但那些顶部翼缘板埋进混凝土中而无设计混凝土壳板的构件除外。这里的拱度公差只为正值，不允许有负公差。

第二套公差适用于那些顶部翼缘板埋进混凝土中且无设计壳板的焊接构件；允许偏差既可以是正值，也可以是负值。

C-5.22.6.1 测量。本规范给出的承受动荷载的大梁腹板的平正度的允许偏差分为内部大梁和挑口装饰大梁两种情况。由于结构要求并无差别，所以挑口装饰大梁采用较严格公差仅仅是出于外观上的考虑。即便如此，挑口装饰大梁的允许变形也多少值得注意，特别是在构件上喷涂发光的面漆时。挑口装饰大梁的公差被视为可以满足大多数要求。如果由于外观要求而需要采用更为严格的公差，则应将它们包含在 5.22.6.1 所述的合同文件中，但一定程度的变形是不可避免的。

可通过从腹板公称中心线至一直边(此直边的长度大于最小节距尺寸，并且落在平行于腹板

公称平面的平面上)的偏离值来确定大量腹板的平直度偏差(典型测量方法见图 C-5.5)。

C-5.22.6.2 承受静荷载的非管材结构。两面有中间加劲肋且承受动荷载的腹板平直度公差与桥梁内部大梁的公差相同(见 5.22.6.3)。当仅承受静荷载时,公差可稍微放宽。对于仅一面有中间加劲肋的腹板,其在承受循环荷载或静荷载时的平直度公差都相同,并且与桥梁内部大梁的公差也相同

注: AISC《建筑用结构钢设计、制作和安装规范》指出,无需将 5.22.6.2 给出的大梁腹板的平直度公差应用到承受静荷载的大梁中。

C-5.22.6.4 过度变形。如果安装现场螺栓拼接板会使变形量减少到其他允许值,则允许大梁端部节距中的腹板变形量等于内部大梁或挑口装饰大梁的允许变形量的两倍。为避免可能发生的现场矫正的花费过大,承包商应在工厂进行试拼装,以使螺栓拼接板的变形减少至允许范围内。

C-5.22.8 翼缘板翘曲和倾斜。焊接梁和大梁的翼缘板翘曲和倾斜的综合量 Δ 的测量方式如图 C-5.7 所示。委员会认为,这一公差比 ASTM A6 规范的准则更易于使用(尽管这两种公差相当吻合)。

由于敞开(非箱型)型材的扭转刚性很低,因此不规定扭曲公差。在安装期间与其他构件相互连接时,这种扭曲将会很容易地被消除。箱型截面构件的扭转刚性大约是具有相等弯曲和截面积性质的敞开的 I 或 W 型材扭转刚性的 1000 倍。封闭型箱型截面焊好之后,如果不切开一角使之拆开并重焊,则很难矫正其扭曲。由于因焊接而引起的扭曲不能完全预测且封闭箱型构件极难矫正,故应遵照下述要求:

(1) 宜在设计要求中纳入合适条款,以确保这种带有某种程度扭曲的构件具备可靠的使用性能。

(2) 应当认识到当在这样的结构上浇筑水泥时扭曲对构件尺寸的影响及使用此类连接连接细节能否很好地适应这种扭曲。

C-5.22.10 承载点的支承。图 C-5.8 描述了规范要求的应用情况。

C-5.22.12 其他尺寸公差。5.22 规定的公差仅限用于常见情况。宜制定 5.22 未涵盖的尺寸公差,以体现使用要求的解释或适用性。

C-5.23 焊缝剖面形状

1982 版的规范将角焊缝凸度要求更改为，最大凸度公式不仅适用于焊缝的总表面宽度，而且适用于多焊道焊缝面上每一单独焊道的宽度。这样做是为了消除在其他方面都合格的焊缝面上有不合格的窄的“蹩脚”焊道的可能性。与先前以“焊脚尺寸”为依据的公式相比，以“焊缝面宽度”为依据的新公式对焊缝凸度的要求相同。

当开始焊接角焊缝时，由于表面张力的缘故，焊缝金属在焊缝端部常收缩成圆形。有时略呈内凹状。此外，在焊缝的始端和末端，这种内凹都使焊缝不能以完整尺寸到达端部。因此，这两部分不能被包括在有效的焊缝长度内。如果设计人员担心端部的缺口效应，则宜规定采用连续角焊缝，这通常会减少所需的焊缝尺寸。

C-5.25 修补

C-5.25.1 承包商的选择。规范允许承包商自行选择是修补不合格焊缝，或是去除不合格焊缝并重焊。规范不打算授权检验员规定修补的模式。

C-5.25.2 局部加热修补的温度限定。允许通过局部加热来矫直构件；但加热时宜小心，以避免超过会对钢材性能产生不利影响的温度限值。调质钢不宜加热到 1100°F [600°C] 以上，否则冷却到室温时形成的不良显微组织可能使力学性能劣化。其他钢材不宜加热到 1200°F [650°C] 以上，否则可能会形成不良相变产物和/或粗大晶粒。但上述最高温度应足以低于金属的相变温度下限，以考虑温度测量方法存在的一些误差。

C-5.25.5 开错孔位的母材的焊接修复。本规范 5.24.1 所述塞焊技术不适用于开错孔位的母材整个截面的焊接修复。塞焊缝拟被用于将剪力从一个平面的表面传递到另一平面的表面，并且不扩展到孔洞的整个横截面上。焊补不合格孔洞的一个方法是，用与母材材料规格相同的钢衬垫将孔填充一半或不足一半，凿出一条通到衬垫底部的细长的船形长槽，然后用窄焊道技术焊补这一凹槽。此面焊毕后，在另一面再凿出一条细长的船形长槽，将临时衬垫完全清除并用窄焊道技术完成焊补。

C-5.26 锤击

除了 9.2.7.6(3) 规定的情况以外，严禁锤击焊缝表层，这是因为表面的机加工会遮掩不合格的表面缺陷。出于类似原因考虑，利用轻型振动工具清除焊渣也应谨慎。

C-5.27 捻缝

由于会使缺陷模糊或封闭，所以规范历史上曾禁止焊缝或母材表面产生任何塑性变形。然

而，由于一些次要的小缺陷可能妨碍涂层系统的完整性，所以现在在得到工程师批准后可以对较软的焊缝和母材进行有限的捻缝。

为了装饰的需要，不禁止使用树脂或非金属填充料，但在使用前应完成并通过，焊缝和母材的所有必要检查。

C-5.28 电弧击伤

电弧击伤会导致受热和非常快的冷却。在待焊的焊缝区域外擦打电弧会导致硬化或局部开裂，并可能成为引发断裂的潜在部位。

C-5.29 焊缝清理

必须将熔敷焊道上的焊渣清除，以防止后续焊道夹渣并便于作目视检验。

C-5.30 引弧板

与焊缝其他部位相比，坡口焊缝的开始端或终止端更易于产生缺陷。这归因于电弧的引弧和熄弧机理。因此，宜采用引弧板将其置于可用的完工焊缝外面，所安置位置应能确保按 5.30.2 或 5.30.3 要求将其拆除。引弧板还有助于在整个规定长度范围内使焊缝的整个截面保持完整。引弧板的安装方式必须能够防止在引弧板连接构件的区域形成裂纹。

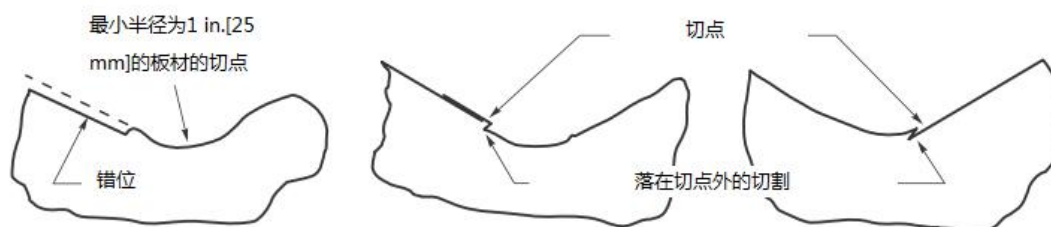


图 C-5.1—不合格凹角的示例(见 C-5.15)

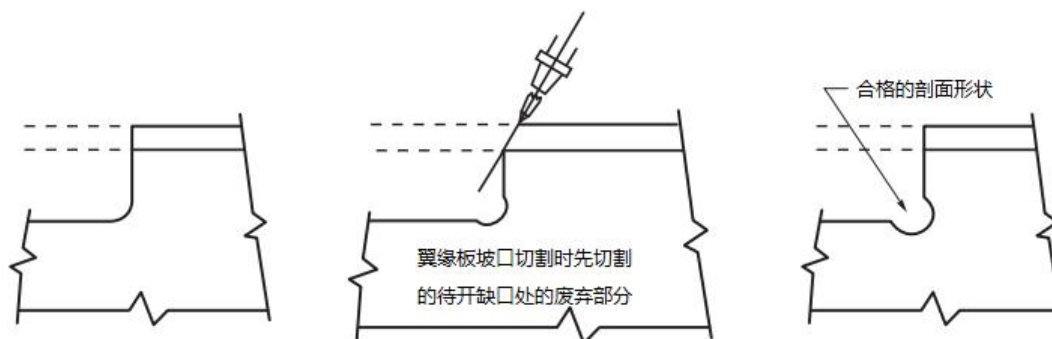


图 C-5.2—切割梁切口的良好做法示例(见 C-5.16)

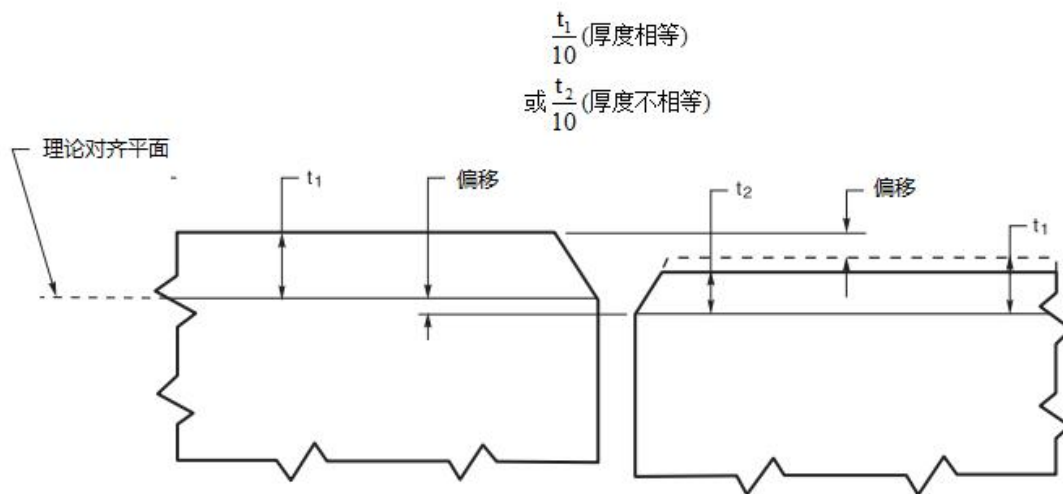
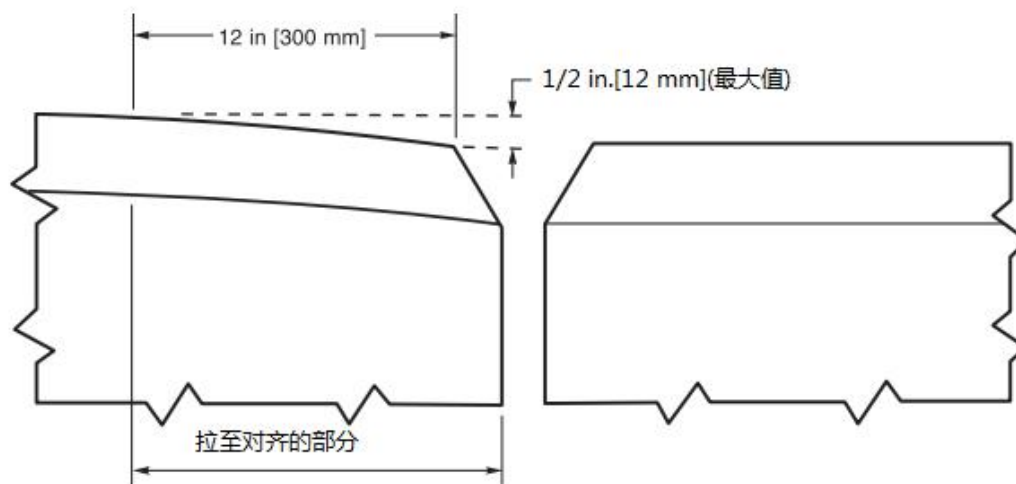


图 C-5.3—对接构件中的允许偏移(见 C-5.21.3)



注：在矫正超过容差的错位时，不得将零件拉至超过 12 in.[300 mm]：1/2 in. [12 mm]的坡度。

图 C-5.4—错位零件的矫正(见 C-5.21.3)

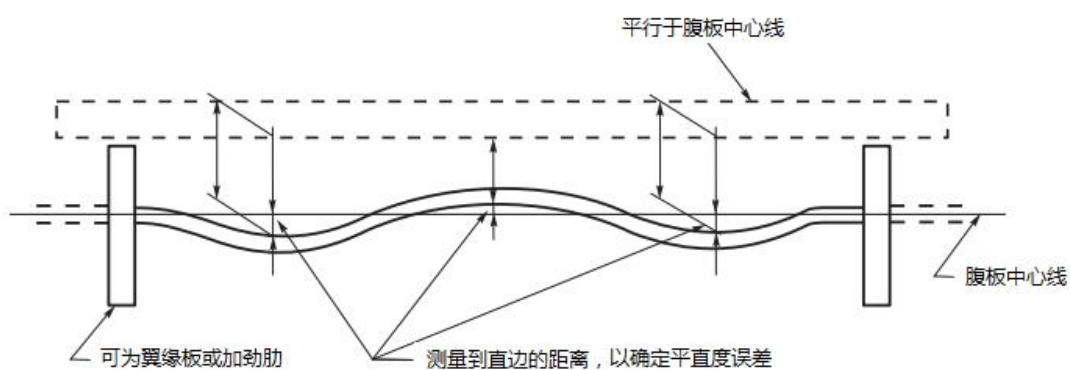
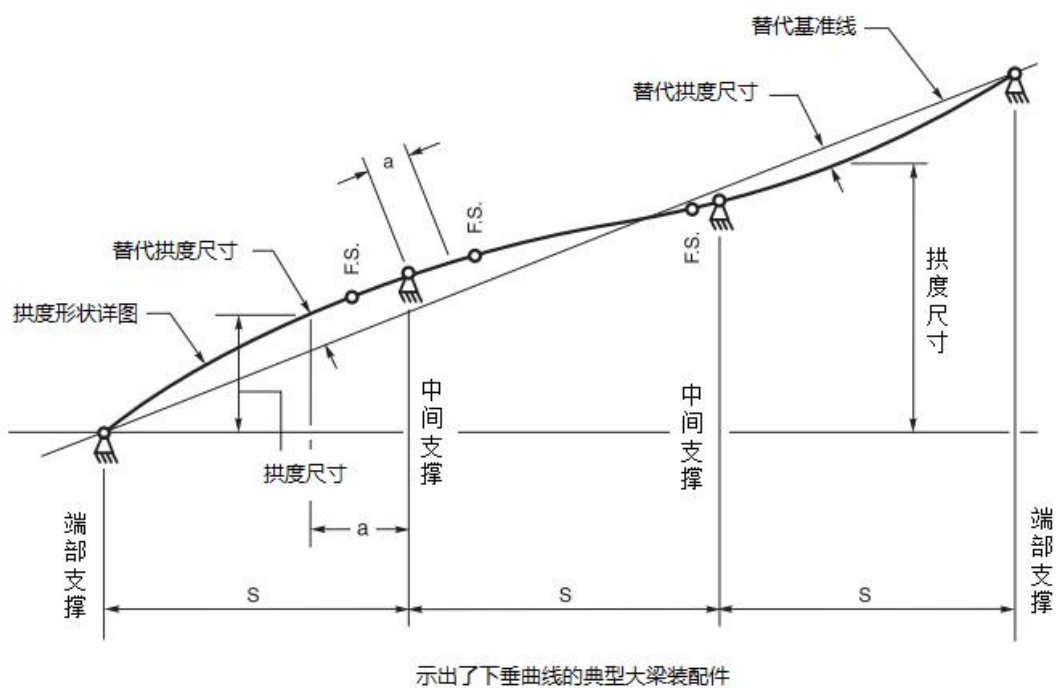
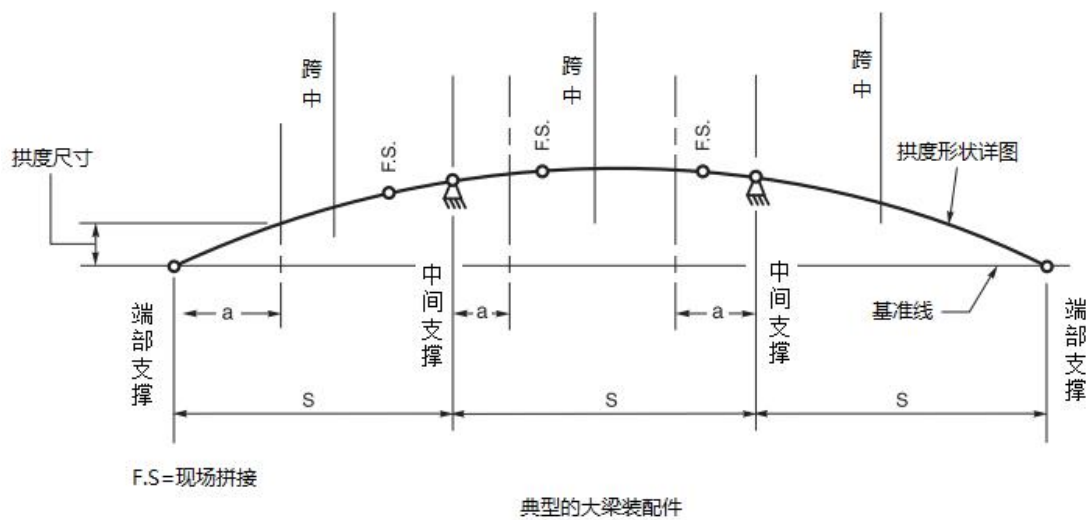


图 C-5.5—确定大梁腹板平直度偏差的典型方法(见 C-5.22.6.1)



注：正公差表示点落在所示拱度形状细节上面，负公差表示点落在所示拱度表面细节下面。

图 C-5.6—拱度测量方法示意图(见 C-5.22.4)

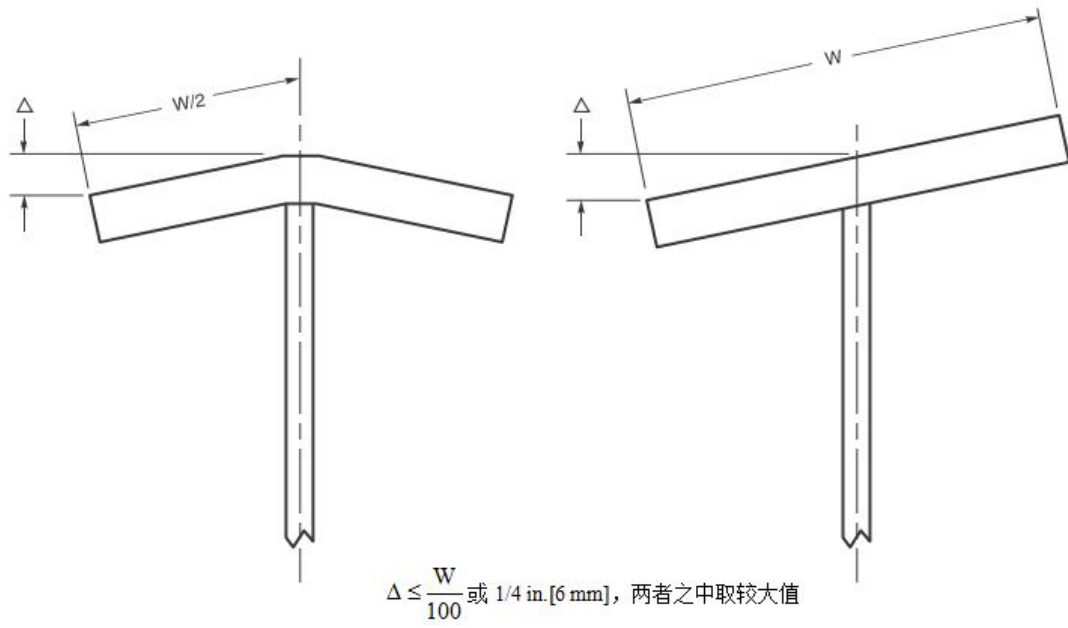


图 C-5.7—翼缘板翘曲和倾斜的测量(见 C-5.22.8)

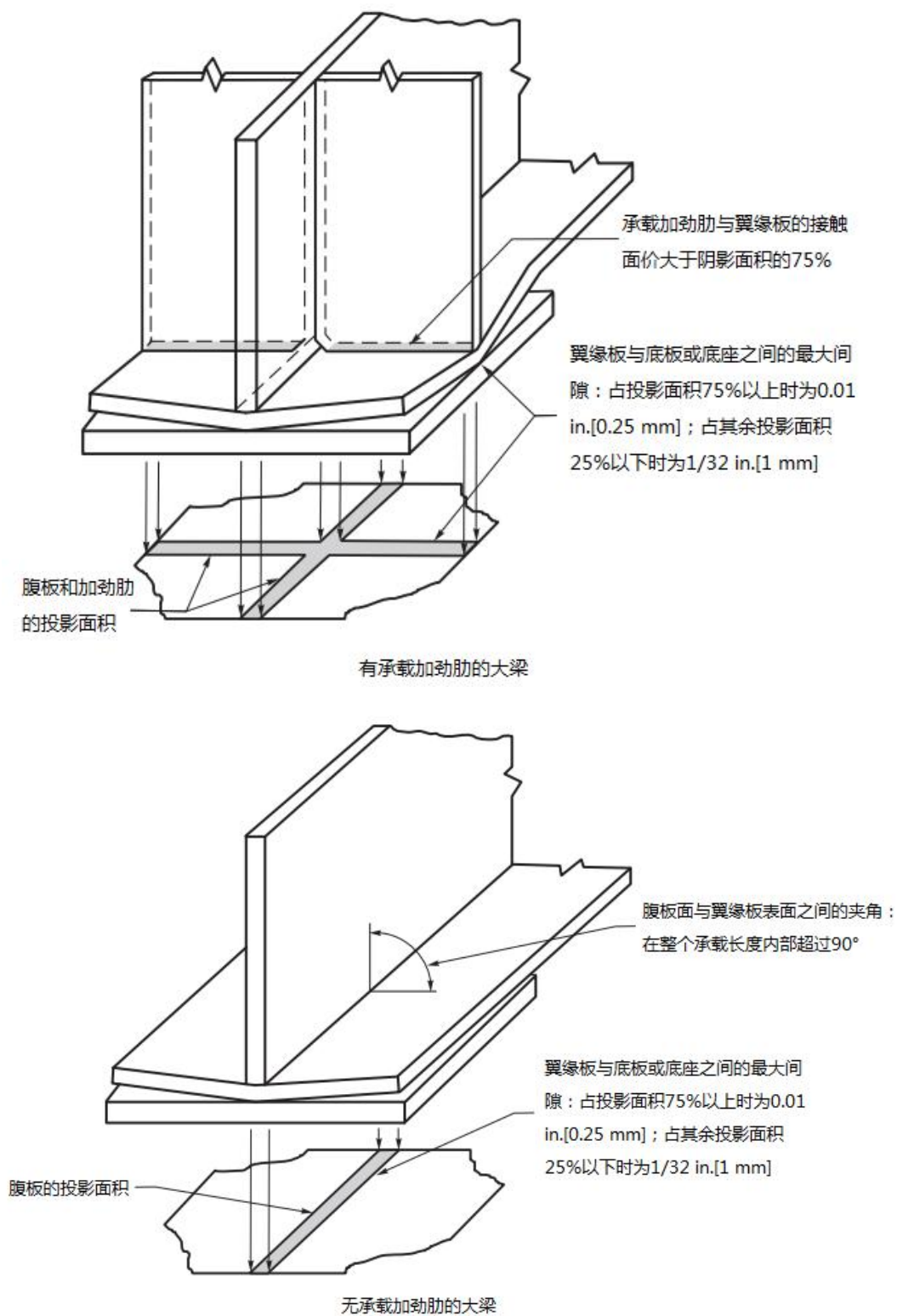


图 C-5.8—承载点的公差(见 C-5.22.10)

C-6. 检验

C-6.1 范围

规范的这一章节旨在阐明与业主/工程师等相对而言的承包商/制作商/安装商各自的职责。

条款澄清了提供产品和服务时的合同义务的基本前提。通过提交竞标书或以其他方式签订按规范条款要求提供结构焊件用材料和工艺合同人应履行相关义务，以按合同文件规定要求提供产品，并且对产品质量负完全责任。

在本条款中，制作和安装检验这一术语是从鉴定检验中分离出来的。本节原稿中曾将这两种不同的职能分别称作质量控制和质量保证。这些术语在本规范中现已被含义更广的术语所代替，以避免与一些行业(例如核工业)中的用法相混淆。对于本规范的一些用户来说，质量保证的含义是指特定的任务和文件程序。采用更加强调及时检验的更为概括的术语是有好处的。如果要改善结构质量，则业主宜有计划地及时进行检验。

C-6.1.1 提供给投标者的资料。承包商必须提前知道哪些焊缝要作 NDT 及要采用哪些检测工艺。除非合同文件中另作规定，否则焊缝质量的验收准则即为第 6 节 C 部分和第 9 节 F 部分(管材结构)中所述的验收准则。不必要在合同文件中明确写明采用某一具体检测方法要检测的焊缝或某一焊缝的某些部位。可以规定对焊缝检测要求的总体说明(举例说明，“应对所有角焊缝长度的 10%作 MT”，或者“应对大梁受拉翼缘板内的所有 CJP 对接接头焊缝作射线检测”)。

如果受拉翼缘板对接接头焊缝的位置并不明显，则应在设计图中予以标注。

当规定作抽样检查时(比如全部角焊缝的 10%)，这不应被理解为在焊接之前就通知承包商将检测哪些具体的焊缝或焊缝的具体部位。如果实行随机检查或抽查，则基本前提是进行足够次数的随机检测，以给出焊缝质量可靠的指示信息。

承受静荷载结构、循环荷载结构和管材结构的验收准则并不相同。这些结构中每种结构的验收准则的基本差别取决于静荷载和疲劳荷载之间的差别。

当预先估计到疲劳裂纹会增大时，初始焊缝不连续的尺寸应比较小。确定所有验收准则时均要致力于防止焊缝在焊件预期使用寿命内断裂。

C-6.1.2 检验及合同规定。本小节描述了承包商在制作\安装检验和检测方面的职责，这些职责是其他合同文件中所述的基本的质量控制责任。业主有权提出进行独立检验(但通常不负责进行

这样的检验),以核查产品是否符合规定要求。这种质量保证的职能可由业主或其代表独立履行,或者合同有规定时,业主也可放弃鉴定检验,或者规定承包商必须同时执行检验与鉴定检验。当这样做时,质量控制和质量保证仍保持各自独立的功能。鉴定检验宜由主要负责提供质量保证而不参与生产的人员来独立完成。

C-6.1.3 检验人员类别的定义。本小节描述了代表业主的检验员和代表承包商的检验员之间的差别。

C-6.1.5 检验员的职责。本小节要求检验员核实所有通过焊接进行的制造和安装是否符合合同文件要求。这不仅包括焊接,也包括材料、组装、预热、NDT 以及规范及合同文件条款规定的所有其他要求。

C-6.1.6 提供给检验员的资料。检验员需有一整套经过批准的图纸,以便能够正常工作。仅需向他们提供合同文件中描述了他们将检验的产品要求的组成部分。合同文件中涉及到与检验员的职责无关的很多事项;无需提供此方面的资料。

C-6.1.7 通知检验员。如果未在开始作业之前通知检验员,则检验员就不可能正常履行规定要求的职责。

C-6.2 材料和设备的检验

本规范的条款是全面的条款。它要求检验材料并检查材料合格证和工厂试验报告。重要的是及时地进行检查,以免不合格材料混入工程之中。

C-6.3 WPS 评定检验

在任何焊件上进行合同文件要求的任何焊接之前,宜先满足本节的要求(包括第四节所要求的任何评定试验)。评定宜始终在工作开始之前进行,但并非任何评定都必须在工作开始之前完成。

C-6.4 焊工、焊接操作工和定位焊工技能评定的检验

C-6.4.1 资格确认。在项目开工之前,检验员必须确定所有焊工都已经进行了技能评定。如果焊接开始会才发现没有焊工技能评定文件,则会导致焊件验收工作出现严重延误。

C-6.4.2 基于工作质量的复验。检验员可选择用于证实焊工焊接完好焊缝的能力的方法示例包括:

- (1) 对焊工进行面试;

- (2) 在一定时间段内增加目视检验的次数;
- (3) 观察焊接情况, 或者进行简单的焊接试验, 以评价相关问题;
- (4) 按第 4 节或第 9 节(如果是管材)要求重作评定。

C-6.4.3 证书失效后的复验。如果不能提供焊缝、焊接操作工或定位焊工在过去的 6 个月内使用评定过的焊接工艺进行焊接的证据, 那么在未重新进行技能评定试验的情况下应认为他或她不具备用该工艺进行焊接的资格。由于现职焊工只要持续完成良好的焊接作业就可以保有其焊工资格, 所以检验员鼻息定期评价每一焊工、焊接操作工和定位焊工的焊缝质量。

C-6.5 工作检验和记录

除要求对每条焊缝所作的最终目视检验外, 检验员宜按合适间隔检验作业情况, 以确保符合规范适用章节的要求。这种以抽样为根据的检验宜在装配前、装配中和焊接中进行。检验员需在工件上用记号或其他记录方式标出工作的最终验收或拒收情况。标记方法不宜使焊件受损。由于钢印可能成为开裂的源头, 故不推荐在焊缝上敲钢印。

C-6.5.4 检验员的检验标识。钢印可能成为开裂的源头。

C-6.6 承包商的义务

C-6.6.1 承包商职责。承包商所作检验的范围应为确保满足规范要求所需的范围, 6.6.5 给出的情况除外。

C 部分: 验收准则

C-6.8 替代验收准则的工程师批准

第 5 节“制作”中规定的验收准则以合格焊工所能达到的质量的内行评价为依据。第 5 节中的验收准则不宜被视为是适用性的判定界限。适用性分析可能会得出不适用于标准规定且变化幅度大的工艺验收条件。此外, 在一些情况下, 验收条件会比一个合格焊工所指望并能做得到的条件更为宽松。一般来说, 合适的质量验收条件和偏离验收条件是否对产品有害宜由工程师来决定。当修订得到批准后, 使用现代断裂力学技术对适用性、在类似结构中的成功使用历史或是经验性证据所作的评价都被视为是焊缝替代验收准则的合适基础依据。

C-表 6.1 和表 9.16, 条目 8—管状气孔。表 6.1 和表 9.6 包含了冲出表面的管状气孔的目视检验验收准则, 这是因为这种气孔可以通过肉眼检测出来, 并且可能明显减小用于承受所施加荷载的焊缝的横截面积。其他形状的冲出表面的气孔并不会如此明显地减少焊缝横截面积(管状气孔

的定义见附录 J)。

C-6.9 目视检验

本小节规定了必需进行的焊缝目视检验，并且包含了目视检验的验收准则。第 5 节的制作要求也需进行目视检验。在 1980 年版规范中修改了咬边的允许深度，以便更准确地体现三个应力类别的横截面积的允许减小量百分数。此咬边值适用于主要承受静荷载的结构和单个构件。

承受循环荷载的结构或管材结构(6.9 和 25)的咬边值保持不变，并且宜将其规定为承受循环荷载的结构和单个构件的咬边值。

C-6.11 NDT

除在 9.2.6.1 中的规定外，NDT 的焊缝质量要求不是合同的组成部分，除非在提供给投标人的资料中对无损检测作了规定或者这些要求随后成为合同的组成部分。业主和承包商双方都应仔细留意 6.6.5 和 6.14.1 的规定。除目视检验要求之外，当规定作 NDT 时，6.11、6.12 或 6.13 的验收准则适用。ASTM A514、A517 和 A709 HPS 级 100W 高强度调质钢的验收准则以焊缝完成 48 小时后进行的目视检验或 NDT 为基础依据。由于高强度钢和焊缝金属焊接时容易产生氢脆引起的延迟裂纹、应力断裂等，所以需要对此事件作出限制，以确保检验期间有发现延迟裂纹的合适机会。

C-6.12 RT

C-6.12.1 承受静荷载的非管材连接的不连续验收准则。见图 C-6.7 和图 C-6.8。

C-6.12.2.1 承受循环荷载的受拉非管材连接。见图 C-6.9。

C-6.13 UT

C-6.13.1 承受静荷载的非管材连接的验收准则。在表 6.2 的注释中，最常被解释错误的关键词是“……距承受主要拉应力的焊缝端部”。这一短句通常是指承受垂直于焊缝厚度的设计荷载施加的拉力的坡口焊缝端部。当采用外表面焊有刚性连接构件、内侧焊有隔板(用于将主应力传递过箱型柱的构件)的箱型柱时，板材和箱型柱板之间的刚性焊缝的端部到焊缝端部的距离为 $2L$ ，但位于箱型柱内侧隔板上的焊缝则不受此限制。隔板焊缝的端部不承载主应力，因为这种应力穿过相邻箱型构件板的宽度而进行传递。

表 6.2 增加了关于扫查水平的注释，这是因为本规范以前根据 UT 合格水平的经验所作的规

定会使得一些相当大、能出现在 ESW 和 EGW 焊缝中的气泡和管状气孔被视为是合格气泡和管状气孔。ESW 和 EGW 焊缝所特有的这些气体缺陷的形状使得它们反射的超声波少于一般焊缝不连续反射的超声波。以比标准测试幅度灵敏度高 6dB 的检测仍不能保证精确地评价 ESW 或 EGW 焊缝中的气体缺陷。可用 RT 轻松评价此类不连续。如果看额在扫查水平探测到管状气孔或其他气体不连续的指示，则推荐采用 RT。

C-6.13.2 承受循环荷载的非管材连接的验收准则。见 C-6 的 F 部分。规范提出了承受拉应力的焊缝验收准则，这有别于仅承受压应力的焊缝验收准则。仅承受压应力且在设计图或施工图上标出的坡口焊缝需要满足表 6.2 的验收准则。在任何荷载条件下都承受拉应力的坡口焊缝以及仅受压应力但未在设计中或施工图上明确标出的焊缝需要满足表 6.3 的验收准则(比表 6.2 的高 6 dB)。

D 部分：NDT 工艺

C-6.14 工艺

除了为了符合规范要求始终需要进行的目视检验外，规范还提供了 4 种 NDT 方法：(1) RT；(2) UT；(3) MT；和(4) PT。

RT 和 UT 被用于探测表面和内部不连续，MT 被用于探测表面及近表面的不连续，而 PT 则被用于探测开口于表面的不连续。如果业主和承包商达成一致意见，则可使用其他 NDT 方法。

C-6.14.6 人员资格评定。除了 II 级技术人员外，III 级人员只要满足 NDT II 级要求也可执行 NDT 试验。NDT III 级工程师和技术人员通常是监督人，不必自己进行实际检测工作。由于没有适用于按 NDT III 级要求评定的员的资格评定试验，故而按照规范要求提供检测服务的所有人员都需要通过有具体的技能评定要求的 II 级资格评定。

C-6.15 检测范围

必须在按本条文说明 A 部分说明提供给投标人的资料明确阐明需作无损检测接头。

E 部分：射线检测

C-6.16 对接接头坡口焊缝的 RT

C-6.16.1 工艺和标准(RT)。本节提出的工艺和标准主要适用于在承受循环荷载的结构和承受静荷载的结构中使用的 CJP 坡口焊缝的 RT。结构连接的典型几何形状以及这些结构的设计要求在制订技术说明书时已作了考虑，并且在收编 ASTM 的一整套方法并利用 ASME 锅炉和压力容器

规范所述工艺方面已经尽了一切可能的努力。

C-6.17 RT 工艺

本规范规定了检测用的单一射线源，以避免射线照相图像的变模糊或变虚。规范的其他地方也对源的尺寸作了限定，以限制几何不清晰度。RT 灵敏度仅可按 IQI 图像的质量来判断，ASTM 和 ASME 两者均如此。

C-6.17.3 余高的清除。

当业主希望在 RT 准备工作中将焊缝表面打磨平齐或用其他办法使之平滑，则宜在合同文件中予以注明。除非表面不规整干扰了射线照相的判读，否则业主与承包商应商定哪些焊缝表面不规整可以不必打磨。在观察射线底片时，如果缺少描述焊缝表面的资料，则非常难以甚至常常不可能区分表面不连续和内部不连续。如果在 RT 之前就对焊缝表面的准备要求达成一致意见，则通常能减少拒收和时间延误。

C-6.17.3.1 引弧板。通常在 RT 之前拆除引弧板，以确保射线照片可以体现焊缝在完工和使用状态。在连接焊缝引弧板和板材或型材边缘交界处的焊缝中通常会发现收缩裂纹。

这些裂纹在最佳条件下也难以从射线底片上辨认，这就是在打算对焊接接头交界处作射线照相之前有必要拆除引弧板的理由(另见 C-6.17.13)。

C-6.17.3.3 余高。当不清除焊缝余高和/或衬垫时，则需要 IQI 下面补偿垫片，以确保可以用 IQI 图像来评价射线检测到的钢材平均总厚度(焊缝金属、衬垫、余高)的灵敏度。

C-6.17.4 射线照相底片。本节规定使用细粒度的胶片，以免由于使用荧光增感屏而引起图像粗糙。

C-6.17.5 技术。射线源对准待检查焊缝部分的中心，以尽可能避免几何失真。

C-6.17.5.1 几何不清晰度。本小节旨在限制引起射线照相图像失真和模糊的几何不清晰度。

C-6.17.5.2、C-6.17.5.3 射线源至受检物的距离和限定。这些章节旨在限制出现在射线照片中物体的几何失真。管材结构的全景曝光除外，其要求见规范的 9.29。

C-6.17.6 射线源。本小节认为，对于最大值为 600 kVp 且采用铯 137 射线源的 X 射线装置，只要它们具有足够的穿透力，并且能够产生 6.17.7 和 9.28.1 所示的基于 IQI 图像的射线灵敏度，则可将其用于进行所有 RT。由于采用钴 60 时一定厚度以下材料的射线照片对比度很差，所以当被射线照相的钢材厚度等于或小于 2-1/2 in.[65 mm]时不可将其作为射线源。当钢材厚度超过

2-1/2 in. [65 mm]，则常常推荐使用钴 60，这是因为它具备强的穿透能力。宜注意确保射线照相源的有效尺寸足够小，以避免产生几何不清晰度过大。

C-6.17.7 IQI 的选用和放置。由于射线照相的灵敏度和射线照片合格与否均以所需 IQI 的图像为准，所以要注意描述所需 IQI 的制造商和用途。IQI 应被放置在受检焊缝接头的胶片末端，该末端的几何失真预计会使射线底片上出现图 6.6~6.9 所示的灵敏度不足。

仅可将 IQI 放置在射线源侧，否则要获得工程师批准。在事先未获得工程师批准的情况下，如果射线照相曝光期间没有将 IQI 放置在射线源侧，则宜拒收射线照片。

C-6.17.8.3 背散射。背散射的射线可能在射线照片上引起一片雾状和产生伪像。可用本节所述方法来辨别背散射，以便采取纠正措施。

C-6.17.11.1 H & D 黑度。本规范旨在说明如何使用在有用胶片黑度限制范围内的射线照相胶片。本规范已经致力于避免在检测承受循环荷载的结构和承受静荷载的结构中常常会碰到的焊接接头时进行多次曝光或采用多种曝光速度胶片的必要性。

C-6.17.11.2 过渡。本小节提供的焊缝厚度过渡最好以最大为 1:2.5 的坡度按图 2.2 所示逐渐过渡。

C-6.17.12 识别标记。本小节描述了识别射线照片所需的全部信息，并且提供了将射线照片与焊缝匹配的方法，以确保可在不充分开挖或进行不必要的大幅开挖的情况下进行焊缝修补(当有必要时)。

C-6.17.13 边块。连接梁和大梁中一段厚翼缘板的翼缘板-翼缘板对接接头难于进行射线照相，这是因为代表翼缘板边缘的焊缝端部存在散射射线造成的几何失真和咬边。这些关键部位的焊缝缺陷按 6.12 的要求处理。

对于厚度超过 1/2 in. [12 mm] 的焊件，可通过在靠近焊缝顶部边缘的地方钻孔和放置铅质指示物来证实这个边缘的主要部分因被过度曝光而不能显示，从而留下了显示不出缺陷的可能性。在使用了边块和对齐的标准射线源后，板边缘处的射线底片上即可显示出铅质指示物和所钻的孔。

C-6.18 射线照相的检查、报告和处理

C-6.18.1 承包商提供的设备。需要提供具有定位读片能力和掩光读片能力的合适的可变强度照明器，这是因为当观察者的眼睛不受来自射线照片非检查部分光的影响时，即可进行更加准确的底片观察。可以调节光强的能力降低了眼睛的疲劳，并且提高了底片上缺陷的清晰程度。观

察区域内柔和的光能使观察者的眼睛看清射线照片上小的缺陷。不适合在全黑的地方观察底片，这是因为来自底片上低黑度部分的强光与全黑之间太大的范畴内会令人不舒服，从而失去观察的准确性。一般说来，在规范认可的黑度范围内，底片黑度越高，射线照相灵敏度也越高。

C-6.18.3 报告及保留。在 6.18.3 中使用的术语“一整套射线照片”是指整个 RT 中所要求的每次拍摄的每张合格射线照片。如果承包商为了获得自用的额外射线照片而在每个暗盒中装一张以上的底片，或者为了避免可能发生的延误而通过额外曝光方法获得额外射线照片，或者上述二者兼有，则额外射线照片均归承包商所有；另有规定的除外。

F 部分：坡口焊缝超声检测(UT)

C-6.19 概述

C-6.19.1 UT 工艺和标准。UT 条款是被检测测试焊件用的精确而直接的方法写进规范的。当对特定反射体进行检测时，这些条款可被用来确保检测结果的再现性。可采用第 6 节 F 部分的条款对大多数坡口焊缝进行满足检测。

T 形、Y 形和 K 形管材连接中焊缝 UT 的条款见 9.27.1 和 9.30。因为这些焊缝的几何形状复杂，所以规范的本章节未包含详细的工艺。这些焊接接头的 UT 工艺宜由工程师和承包商共同批准。

因为不能明确表达可以产生满意结果的简单工艺，故而本规范未包含角焊缝的 UT。可采用专业技术获得与角焊缝中不连续的位置及其尺寸和取向相关的大量信息。角焊缝的尺寸越小，UT 的复杂性和局限性越大。当角焊缝尺寸小于 3/4 in. [20 mm] 时，通常需要使用小型探头作全面探查。小型探头的频率宜比通常要求的公称频率高 2.25 MHz，以便控制声束的发散。这一频率的改变也将影响评价指示用的 2dB/1 in.[25 mm] 的衰减因子。如果获得工程师同意，则允许采用与规范条款不同的 UT 条款。推荐以书面形式商定此类细节，以确保各方都了解如何对焊缝作检测。

C-6.19.2 变更。如果要更改在喷漆表面透过漆层的 UT 的重要参数，则需获得工程师批准。尽管规范禁止作透过漆层的 UT，但这绝不意味一层良好的、紧贴的、均匀的漆层会影响 UT 工艺的应用。当存在漆层时，宜对其进行测量和报告。

在结构钢的常规制作中，宜在喷漆前对所有焊缝作检验和验收。大多数涉及喷漆表面的检测都是在已经投入使用的构件上进行，在作常规检测前宜考虑受检表面的状况。

C-6.19.3 管状气孔。ESW 和 EGW 焊缝中的管状气孔的一般性质是，焊缝中心部位的孔可能会被其他周围的孔遮蔽。管状气孔的分支或隧洞有一种尾端伸向焊核边缘的趋势。UT 仅能有效查出拦截声程的第一个主要反射体。有些不连续可能为这种方式所遮掩；所有 UT 都存在这种情况。

宜采用 RT 来评价建筑结构中使用的 ESW 和 EGW 焊缝中的管状气孔(见表 6.2 的注 4)。目前没有提及要根据表 6.3 中检测 ESW 和 EGW 焊缝的要求进行补充的射线检测，因为现在还没有认可将这些工艺用于受拉焊缝。以较高扫查水平进行 ESW 和 EGW 焊缝的 UT 会获得来自管状气孔的间歇性响应。这表面宜按上述要求采用 RT。

采用一发一收评价 ESW 和 EGW 焊缝中不完全熔合的方法只可以被作为在沿着板厚中心一半处的原先坡口面范围内进行的一种辅助检测。这种检测规定被用于对该区域内在一定扫查水平下出现在显示屏上，但按指示额定值被视为是可接受指示的 UT 指示作进一步评价。来自这样一个反射体的预期发-收幅度响应非常高，从而无需使用适当的幅度合格指标。然而，由于无其他代用标准，故而要采用这些分贝额定值。由于仅有一个待评价的特定位置，所以可以事先确定探头的位置。探头固定支架在这种操作中最有帮助。

检测材料厚度等于和小于 2-1/2 in. [65 mm] 的 ESW 和 EGW 焊缝的熔合面时主要使用 70° 探头，因为这样足以对合格指标作出恰当的判断。

C-6.21 UT 设备

目前已经确立了 UT 不连续探测设备的标准，以确保按本规范要求使用时具备恰当的机械和电气性能。

第 6.21.1~6.21.5 小节包含了设备鉴定时需要考虑的具体设备特征；6.22.1 涵盖了标准试块；6.23.1~6.23.4 涵盖了时间间隔要求和相关 6.27 参考试块用途的说明；6.28 介绍了详细的鉴定程序。这些应用的示例见附录 L 的表 L-8。

C-6.21.6 直射波(纵波)探头。直射波束换能器的工作面积的尺寸限定没有改变，但给出的大小为 1/2 in.²[323 mm²]和 1 in.²[645 mm²]的尺寸已被误解为 1/2 in.[12.7mm]²和 1 in.[25.4 mm]²平方，故分别改写为 1/2 in.²和 1 in.²。

第 6 节这些工作面积的要求写成现在这样的目的是避免混淆。

C-6.21.7.2 换能器尺寸。第 6 节的表 6.2 和表 6.3 涵盖了有限的参数范围。更改第 6 节的设备参

数或工艺可能导致检测结果明显有别于想要获得的结果。用户要注意,检测参数的任何变化(比如能器尺寸、角度、形状、频率、设备校准等)都可能导致无法应用表 6.2 和表 6.3。只有在已经确定了此类更改对验收准则的影响的情况下,工程师才能批准对检测设备或工艺所作的这些改动。

C-6.22 参考试块

C-6.22.1 IIW 标准试块。规范不再要求必须使用 1 型 IIW UT 参考试块。可以使用任何 IIW“类型”试块。

在美国,图 6.13 所示标准试块通常被称为 IIW 标准试块。IIW 是国际焊接学会的首字母缩写词。它被叫做 IIW “型”参考试块的原因在于它模拟了“真实的”IIW 试块,但并不符合 IIS/IIW-23-59 的 IIW 的要求。“真实的”IIW 试块仅用钢制成(精密钢、镇静钢、平炉钢和电炉钢、晶粒尺寸为 McQuaid-Ehn#8 的正火低碳钢),而 IIW “型”试块的材料则为市面上可购买到的材料。“真实的”IIW 试块采用米制单位,而 IIW“型”试块通常采用美国惯用单位。IIW “型”试块也可以包括 IIW 不作规定的附加的校准和其他诸如缺口、圆环形坡口和刻度等之类的参考特性。

C-图 6.13 该图的所有注释都适用于图 6.13 和附录 G 的所有参考试块。

C-6.22.2 禁用反射体。规范禁止在校准中使用方角,这是因为从被称作方角的各个拐角处不能得到标准化波幅。影响波幅标准化的因素是拐角处的倒圆角或切角的大小、角的不方正(与 90° 的偏离量)以及材料表面的光洁度。当使用 60°探头时,要确定来自拐角处的指示值就极为困难,因为在拐角处发生了高波幅波的模式转换。

C-6.23 设备鉴定

C-6.23.1 水平线性。已经删除了采用 ASTM E317 的水平线性鉴定方法,而改用 6.28.1 中所列一步一步进行验证的方法。

C-6.23.2 增益控制。采用其他垂直线性校准方法时需格外谨慎。由于高频电流转换会引起电位器负载和电容的问题,所以通常不能使用常规的方法使电压比转换为 dB 刻度。在所有布线中还必须保持高度的屏蔽。

C-6.23.4 斜射波探头的校准。由于探头的接触表面会磨损并导致定位精度降低,所以规范要求探头最多工作 8 小时便应校核其精度。在此时间之后的时间间隔内对探头精度进行校核的责任由执行此项工作的人员承担。

C-6.24 检测时的校准

C-6.24.4.1 扫描范围。为了确保进行正确的距离校准，必须至少能显示两个板材厚度的指示值，这是因为在换能器晶体面到探头表面之间有延时，从而使获得的初始脉冲位置不准确。

C-6.24.5.1 水平扫描范围。由于在换能器面和探头表面之间有延时，所以在作这种距离校准时除初始脉冲之外还必须至少要用到两个指示值。

注 1：初始脉冲位置总是偏在显示器上零点的左侧。

注 2：必须注意确保在屏幕左边的脉冲是初始脉冲，而不是来自对比反射体的脉冲。(可通过从工件上移开探头的方式来证实。)

注释已被附于本小节结尾处，以确保定位数据的重复性。

C-6.25 检测程序

C-6.25.4 耦合剂。应当承认，非本规范所指定的那些耦合剂可能在某些应用中获得同等甚至更佳的效果。规范并未列出所有可能成为合格耦合剂材料的液体和油脂。对于任何耦合剂材料(列入本规范者除外)，只要已证实其性能符合本规范要求并且得到了工程师和 UT 操作员的批准，则可在检测中予以采用。

如果由于校准时和实际检测时使用的耦合剂不同而导致来自对比反射体的响应有差异，则宜通过检测来予以确定。在评价不连续时宜考虑到任何可测量的差异。

UT 报告表的范例见附录 L 的表 L-11。

C-6.25.5 检测范围。探查母材层状反射体的条款不打算被用于核定母材是否合格，而是确定规定的 UT 工艺是否适用于母材。

C-6.25.5.1 反射体尺寸。现在在 6.29.1 中包含了一种评价层状结构大小的工艺。

C-6.25.5.2 不可达性。本小节的要求时，当母材中的层状不连续不允许采用标准工艺来进行检测时，需要将焊缝表面打磨齐平，以获得替代 UT 工艺可达的几何形状。合同文件可能要求将受拉坡口焊缝打磨齐平，以改善疲劳性能并便于进行更精确的 TR 和 UT。

C-表 6.7 建立工艺图的依据是，70°角探头能够最有利地探测和更精确地评估下述其主尺寸的取向垂直或接近垂直于残余应力和施加拉应力的合力方向(最不利于焊缝的完整性)的不连续。宜假设所有不连续的取向均为此方向，并且宜尽可能采用 70°角探头。为了取得最佳结果，已经规定 10 in. [250 mm] 的声程为常规使用的最大值。但是有些接头的尺寸和形状需要采用更

长的声程才能对焊缝进行完整检测。

表 6.7 附图说明中的检测工艺 6、8、9、12、14 和 15(用焊缝顶部 1/4 处代号 GA 或底部 1/4 处代号 GB 来标注)要求对正好位于探头正下方的不连续作判断。如果按此表的规定从 A 面和 B 面两面都对这些大焊缝进行检测, 则可获得更精确的结果。

绘制工艺图时应考虑到上述因素, 规范中给出与探头(频率、尺寸、角度)应用相关的极为严格的要求的目的是保持获得可重复性结果的最佳条件。规范的意图是用表 6.7 中规定的探头角度和焊缝面来探查焊缝。采用其他角度或焊缝面可能导致检测要求比规定确定的要求更为苛刻。

符号“P” 采用一发一收的检测方法时不允许使用 60°探头进行评价, 因为波型转换可能引起高的能量损失。

C-6.25.6 焊缝的检测。当表 6.2 和表 6.3 有要求时, 在检测声程最大的情况下, 扫查灵敏度至少要高于最大拒收水平 4 dB。这一增加的灵敏度确保了扫查中不会漏掉不合格的不连续。表 6.2 和表 6.3 要求的较高 dB 水平的扫查可能要求采用不同于较低 dB 水平扫查时的特别的扫查技术。注意, 扫查水平取决于声程距离, 而非材料厚度, 这点很重要。举例说明, 假设对承受循环荷载的非管材连接中一个厚度为 2 in. [50 mm]的焊缝结构进行超声检测(表 6.3)。按照表 6.7 工艺 4 要求, 焊缝被分成 3 个独立的检测区域。它们分别为焊缝厚度顶部 1/4、中间 1/2 和底部 1/4 区域。对于顶部 1/4 厚度而言, 声程距离将为 7 in.~8 in. [180 mm~200 mm](检测用二次波法、60°探头), 对于中间 1/2 厚度而言, 声程距离将为 1-1/2 in.~4-3/8 in.[38 mm~111 mm]; 而对于底部 1/4 厚度而言, 声程距离将为 4-3/8 in.~5-7/8 in. [111 mm~150 mm]。按表 6.3 确定的扫查水平是, 顶部 1/4 厚度区域为 35 dB, 中间 1/2 厚度区域为 25 dB, 底部 1/4 厚度区域为 35 dB。为了减少高 dB 水平扫查带来的问题, 通常需要分多个步骤进行检测, 并且采用适合于每一个区域所要求声程的扫查水平独立的扫查动作对三个区域(顶部 1/4、中间 1/2 和底部 1/4)的每个区域进行扫查。如果未能采用规定扫查水平, 则可能产生误将严重缺陷验收的结果。

C-6.25.6.4 衰减系数。声传播的衰减率是 2 dB/1 in.(2 dB/25 mm)(不包括最初的 1 in.[25 mm]在内)。它是利用两个因素组合确立的, 即距离平方律和声能在被测材料中的衰减(吸收)。所用声程是显示在屏幕上的尺寸。在整个计算中采取保留分数值或小数值的方法, 将数值修约为最接近的 dB 值。在最后一步当计算得到等于或大于半分贝时, 则进为整一分贝; 若小于半分贝,

则舍去。

C-6.25.7 不连续的长度。所要求的 6 dB 声能下降可以这样确定：用已经校准过的增益控制在指示值之上加 6 dB 增益，然后重新扫描焊缝区域，直至不连续的波幅指示值跌落回到基准线上。

当评估沿其全长的反射率不相等的非连续的长度时，其长度的估值可能有误。当通过移动探头而获得变化为 6 dB 的波幅且指示额定值大于较小反射体的指示额定值时，操作人员以将变化 ± 6 dB 的非连续的每一部分作为单独的非连续记录下来，再按照规范要求以长度、位置和间距为依据来确定其是否合格。

C-6.25.8 验收与拒收依据。在规定的 UT 工艺中，非连续评估用的零基准是反射自 IIW 超声参考试块中直径为 0.06 in. [1.5 mm] 的孔的最大读数值。当实际检测焊缝时，给出的最低合格水平是不同焊缝厚度的最低合格水平的 dB 数。一般而言，指示额定值或合格水平越高，焊缝中垂直于施加应力的非连续的横截面积就越小。

对于合同文件中被标明为“断裂临界”焊缝，应将比不合格值高出 6 dB 的指示额定值记录在检测报告中，以确保将来进行检测时可以确定非连续是否有所增大。

C-6.25.12 钢衬垫。由于在显示屏上产生伪指示，所以很多 UT 操作人员都认为钢衬垫会妨碍进行有效的坡口焊缝 UT。然而，UT 操作人员可采用钢衬垫的反射来证实超声波穿透了焊缝根部范围的整个横截面。存在钢衬垫指示及 UT 显示屏上无任何其他扫迹是一个焊缝没有主要非连续的证据。它也证明在声波通过的焊缝区域没有会干扰声波正常通路的不连续。声波会因衰减、反射或折射而受到干扰，从而阻止声波返回到探头，这会导致含有临界尺寸非连续的焊缝被视为是合格焊缝。

复杂焊接接头的 UT 可以可靠且经济地进行。焊接接头模型、对 UT 操作者的培训以及焊接接头和 UT 设备应用的知识将确保检测的可靠性与经济性。

来自钢衬垫的伪指示归因于形状的变化。以下示例包括组合在一起的检测工艺和技术。

(1) T 形接头或角接头

(a) 90°二面角。倘若根部间隙和熔透深度如图 C-6.1 所示，则图中钢衬垫的端部将充当反射体(“RB”)。在大约相当于“D”点焊缝非连续的声程距离内，“RB”将产生一个水平指示。

解决技术：

1. 从“C”点用直射波 UT 来确定是否存在非连续“D”(如果“C”点可达)。

2. 确定在焊接接头长度上指示是否相对连续。注：大多数焊接不连续相对并不均匀。
3. 从“B”点对焊缝进行评定，以确定“D”是否存在。注：可能需要将“F”点打磨齐平，以确保声束覆盖到“D”点。
4. 增加探头角度，以保证声束更好地覆盖到“D”点。
5. 清除掉一小块衬垫，以使声波不能到达“RB”，从而确定“D”实际上存在或者“RB”是指示的起源。
6. 选择一处最大的不连续额定值进行打磨探查或刨槽，以确定“D”是否存在。

(b) 斜 T 形接头或角接接头。由于改变了二面角，所以 T 形接头的解释变得更为复杂。复杂性的增加归因于钢衬垫中反射的增加以及相对于焊缝较上面的焊趾的衬垫端部的位置。如图 C-6.2(A)所示，“RB”的反射也能被解释成为一个焊道下裂纹(“Cu”)。

如图 C-6.2(B)所示，当二面角大于 90°时，“RB”的声程距离现在与一夹渣(“D”)的声程距离相等。

这些条件的分辨力与 90°T 形接头或角接接头的相同[见 C-6.25.12(1)(a)]。

(2) 对接接头

(a) 衬垫和接头之间的分离。最常见的伪指示(“Is”)归因于连接接头的错边(装配质量)或者是两不同厚度板材连接而导致钢衬垫和板材间的贴合面的分离。根据声程距离和路径，当从“A”点检测时，在图 C-6.3 中的指示看起来象是如裂纹或未熔合等根部缺陷。

解决技术：

1. 准确标出指示的位置(“L”)。
2. 从“A1”点重复 UT 检测。
3. 从“A1”点检测而得到“L”指示证实根部确实存在缺陷。
4. 从“A1”点检测不到“L”则证明“Is”是反射源。

(b) 具有类似声程的表面形状和衬垫。另一个引起混淆的原因是焊缝表面成形与钢衬垫导致的反射的声程距离相同。图 C-6.4(A)的焊缝接头中的焊缝底部足够大，从而容许声波传输到钢衬垫而导致从“RB”处反射并得到一大的指示。

在图 C-6.4(B) 中，焊缝底部窄一些，并且声波进入处离焊缝接头稍远了些，这导致从焊缝余高(“WR”)的声波反射和大的指示。

在 UT 的这一阶段，UT 操作人员面对的问题是指示的复杂解释；(A)和(B)的声程距离均相同。是表面缺陷的指示，还是焊缝余高的指示，或者是衬垫边缘的指示？

解决技术：

1. 从“A.1”点对焊缝(B)作 UT，以确定是否在“W_R”区域存在不连续。
 2. “W_R”的任何指示均可成为通过打磨进行检测，以明确确定不连续并判断临界状态的理由。
 3. 如果从“A.1”进行的检测无任何指示，则再从“A”进行检测。
 - 首先操作探头直到得到最大的荧光屏轨迹高度，然后用耦合剂弄湿“W_R”并在从“A”导入声波时用手指摩擦耦合剂，以此确定来自“W_R”的指示是焊缝余高。
 - 如果“W_R”是反射体，则对应于手指的运动荧光屏上的轨迹将变成不稳定。注意：这一技术在较厚的板上可获得最佳效果。声波倾向于覆盖非常薄的板，这会影响 UT 操作人员判断由不连续引起的指示。
 4. 如果“W_R”不是反射体，则按下面所述将钢衬垫作为反射源来验证：
 - 将换能器放在(A)的“A.1”，以得到最大的屏幕轨迹高度；
 - 计算从换能器发射点到反射体的投射表面距离；
 - 在焊缝对面标出到换能器的尺寸，这一尺寸现在是“L”；
 - 测量从“L”到“W_R”的尺寸—如果 UT 设备进行了正确校准，则这一尺寸宜为钢衬垫的宽度。注：UT 操作人员必须了解所用钢衬垫的尺寸和基本根部间隙尺寸，以解决与反射源相关的一些问题。
 5. 如图(B)所示，一般建议用中心线(“CL”)将焊缝分成两部分：
 - 宜从探换能器所在的焊缝的相同侧对反射体进行判断，以使伪指示最小化。
- (3) 密封焊接的钢衬垫。**合同可以要求所有在钢衬垫上进行密封焊。密封焊缝会导致超声波不能通过坡口焊缝的整个横截面。NDT III 级水平人员应在制作之前确定钢衬垫的最实用的宽度以及用于检测的辅助切变波探头角度。
- 在图 C-6.6(A)中，钢衬垫端部是关键部位，因为它影响了声波反射到焊缝接头的上部。一般而言，钢衬垫端部所在位置在“B”~“B.1”区域内会导致声波进入钢衬垫，或者像“R_B”指示返回，或者如“A.1”那样完全不返回。

在图 C-6.6(B)中，当声波在“B”处进入钢衬垫，并且继续传导通过衬垫条。然后进行垂直板材中时会存在相同情况。如果屏幕上出现指示，则非常可能是伪指示。

解决技术:

1. 用增加宽度的方法改变密封焊接钢衬垫的尺寸，这将减少出现这一问题的可能性。
2. 或者，如果上面的 1 不可行，则减小换能器的角度。

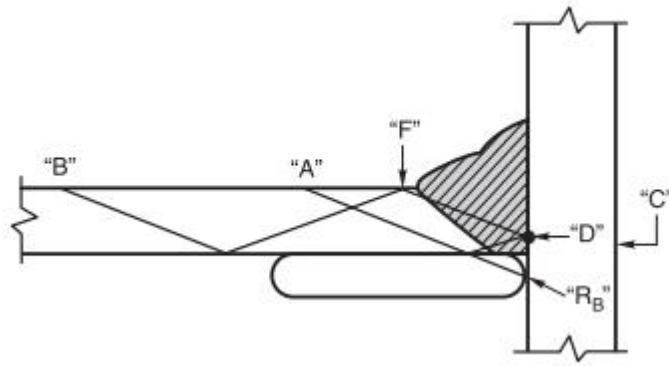
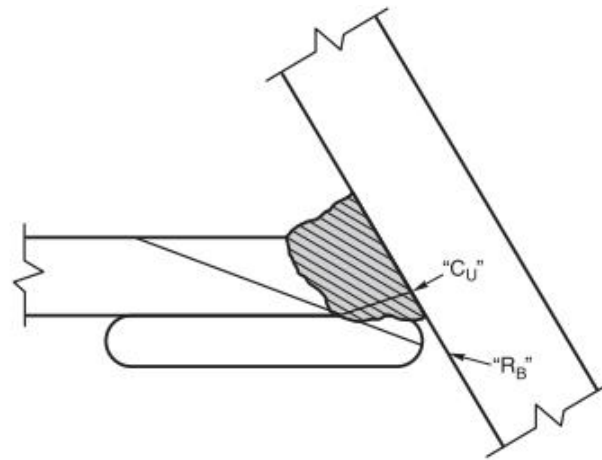
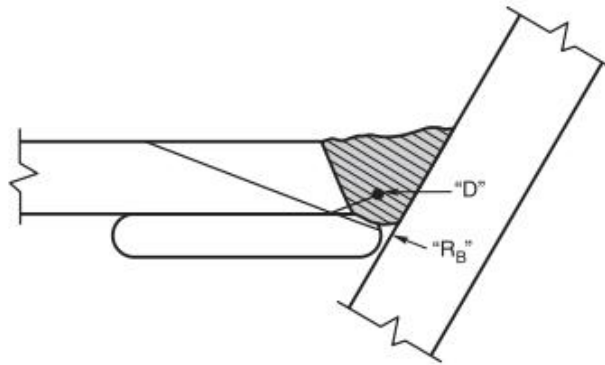


图 C-6.1—带钢衬垫的 90°T 形接头或角接接头



(A) 二面角小于90°



(B) 二面角大于90°

图 C-6.2—斜 T 形接头或角接接头

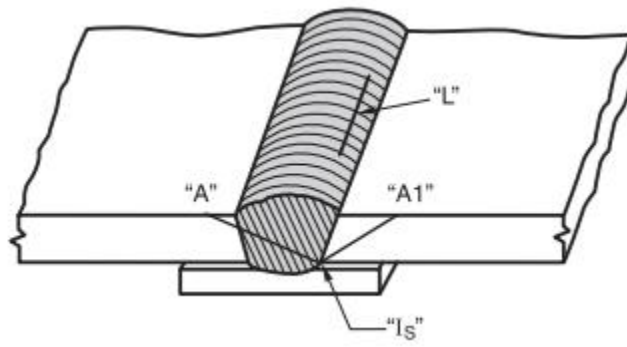
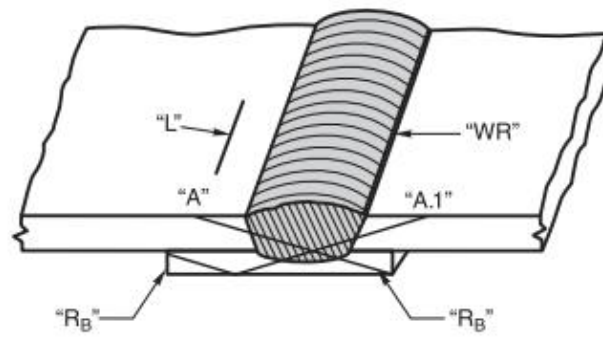
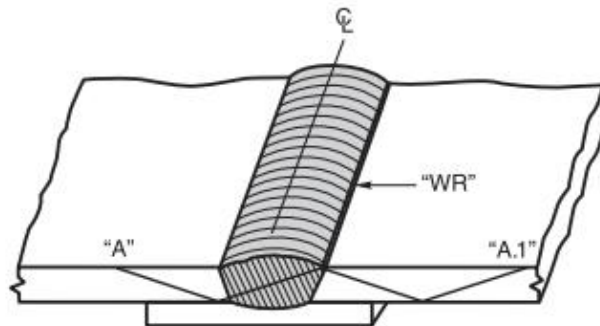


图 C-6.3—衬垫和接头分离的对接接头

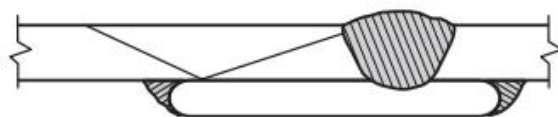


(A) 宽的根部间隙

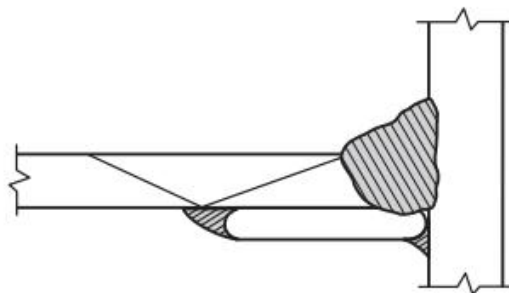


(B) 不太宽的根部间隙

图 C-6.4—根部间隙对采用钢衬垫的对接接头的影响

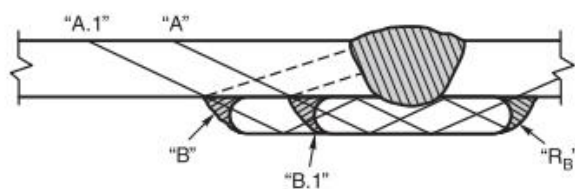


(A) 对接接头

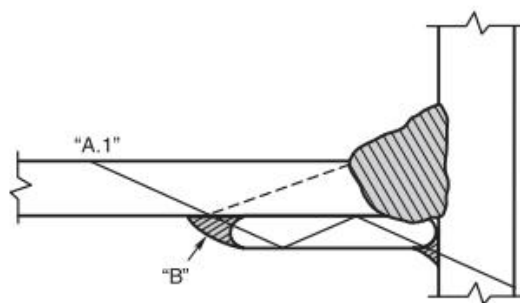


(B) T形接头

图 C-6.5—密封焊接钢衬垫扫查的分辨力



(A) 对接接头



(B) T形接头

图 C-6.6—密封焊接钢衬垫的扫查

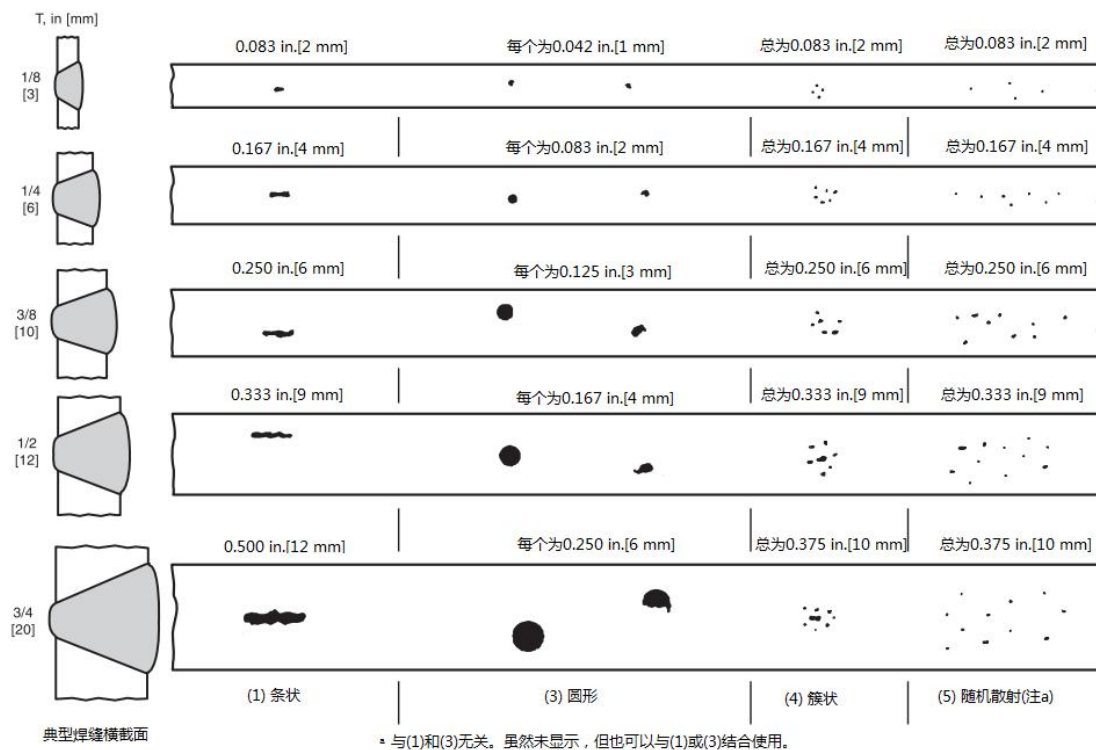
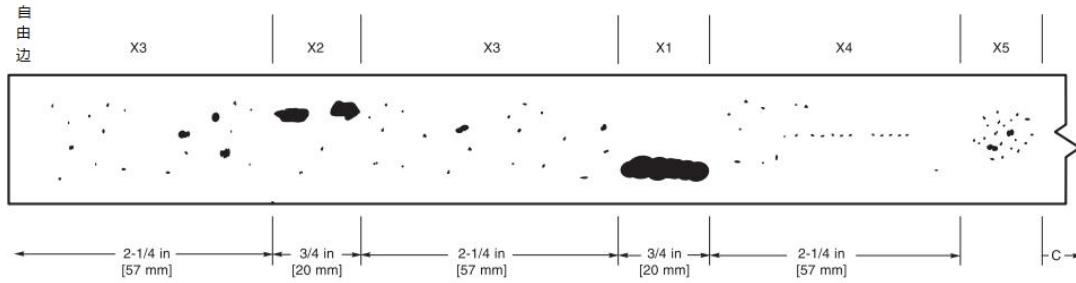


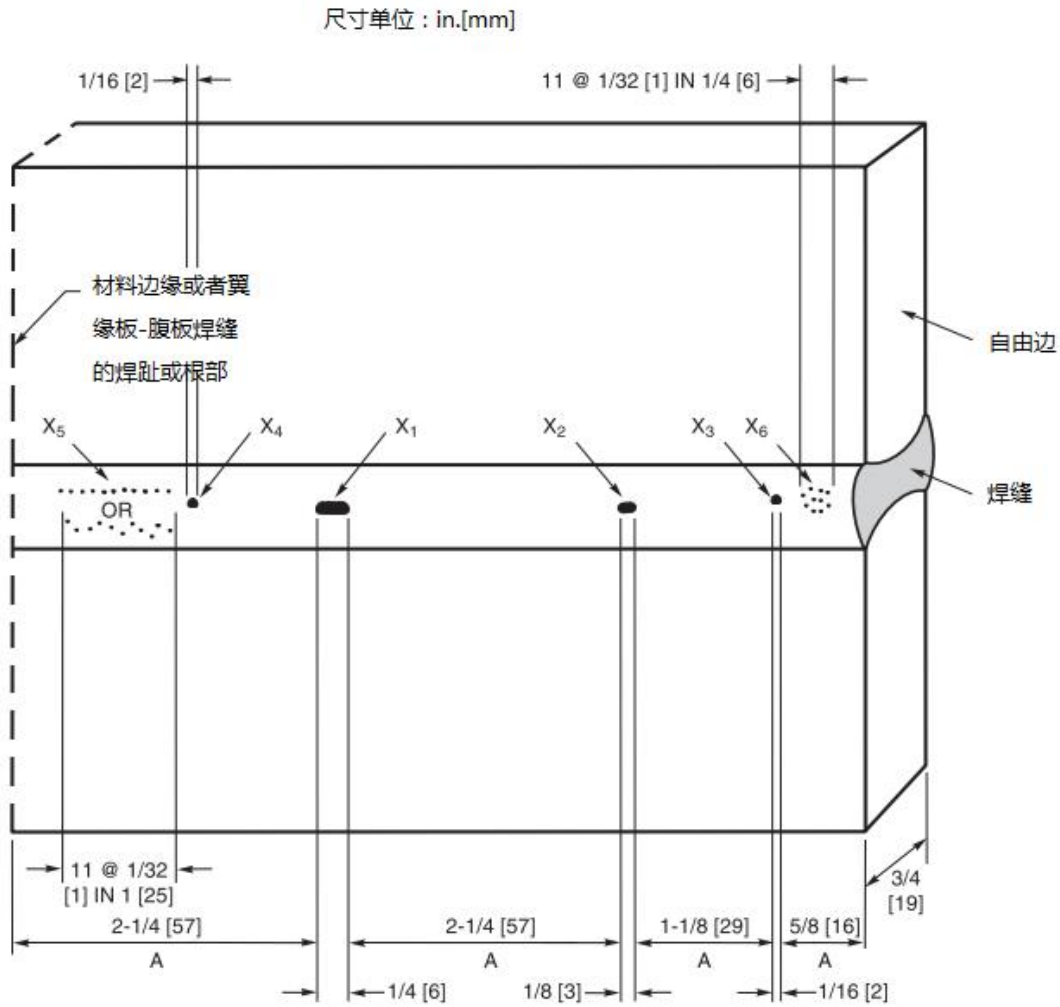
图 C-6.7—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接中不连续验收准则的示意图(见 6.12.1)



注:

1. C—等于或大于 $3/32$ in. [2.5 mm] 的不连续的边缘间的最小容许间距(按图 6.1)。以相邻不连续中的较大值为准。
2. X1—厚度为 $1-1/8$ in. [30 mm] 的接头的最大容许条状不连续(见图 6.1)。
3. X2—在图 6.1 允许的长度范围内的多个不连续可被作为单个不连续来处理。
4. X3—X4—小于 $3/32$ in. [2.5 mm] 的圆形不连续。
5. X5—一个串内的圆形不连续。串内所有气孔都具有 $3/4$ in. [20 mm] 的最大尺寸的串状不连续的间距与图 6.1 所示长度为 $3/4$ in. [20mm] 的不连续的间距相同。
6. 解释: 图示的圆形不连续和条状不连续是合格的不连续。所有不连续均在尺寸限制范围内, 并且最小间距为焊缝接头端部或不连续之间的最小容许间距。

图 C-6.8—承受静荷载的非管材连接和承受静荷载或循环荷载的管材连接中 $1-1/8$ in. [30 mm] 及以上不连续(典型随机分布的可接受不连续)验收准则的示意图(见 6.12.1)



注:

1. A—等于或大于 1/16 in. [2 mm]的气孔边缘之间或熔合型不连续边缘之间的最小容许间距。以相邻不连续中的较大值为准。
2. X₁—厚度为 1-1/8 in. [30 mm]的接头中的最大气孔或熔合型不连续(见图 6.2)。
3. X₂、X₃、X₄—尺寸等于或大于 1/16 in. [2 mm]但小于厚度为 3/4 in. [20 mm]接头的最大容许值的气孔或熔合型不连续。
4. X₅、X₆—尺寸小于 1/16 in. [2 mm]的气孔或熔合型不连续。
5. 存在气孔或熔合型不连续 X₄的焊缝是不合格焊缝, 这是因为它在此类不连续边缘之间的最小容许间距内(见 6.12.2.1 和图 6.2)。其余焊缝是合格焊缝
6. 假定所示不连续大小是其最大尺寸。

图 C-6.9—承受循环荷载的受拉非管材连接中不连续验收准则的示意图(见 6.12.2.1)

本页被故意留为空白。

C-7. 螺柱焊

C-7.1 范围

螺柱焊是本规范认可的焊接方法中的一种独特焊接方法，它不仅自动控制弧长和焊接时间，并且适用于进行有效的生产验证试验。一旦对设备进行了正确设定，那么只要注意恰当的工艺和技术就能加工大量同样完好的焊缝。数百万计的螺柱已经得到成功应用。此外，当在 3.1 所列 I 组和 II 组材料的平焊(向下)位置焊接螺柱时，无需进行正式的工艺评定。按 7.6 条款应用评定要求而改进的工艺是上述工艺的一种例外情况。由于构成了不同于本规范认可的其他焊接方法的基本变化，所以螺柱焊被移到了第 7 节。

本节有关于下列方面的条款：

- (1) 螺柱制造商为确定螺柱焊接端的力学性能及评定进行的试验。
- (2) 确定或验证焊接装置(基本参数)以及对操作人员及应用进行评定的试验
- (3) 为了满足检验要求而进行的试验。

C-7.2 通用要求

C-7.2.5 成品螺柱。抗剪螺柱或紧固螺柱的头部易发生裂纹或开裂(这两个名称指同一回事)。裂纹或开裂表示螺柱头部沿周边金属径向分开而开裂。这样的开裂对有头螺柱的结构强度、抗腐蚀或其他功能要求无不利影响。

计算裂纹长度或开裂尺寸的典型例子如下：

0.5 in.[13mm]的带头紧固螺柱

H- 头部直径 = 1.0 in. [25 mm]

C- 杆部直径 = 0.5 in. [13 mm]

CL- 裂纹长度

$$CL \leq (H - C)/4$$

$$CL \leq (1.0 - 0.5)/4$$

$$CL \leq 0.125 \text{ in. [3.2 mm]}$$

C-7.3 力学性能要求

力学性能要求一节已经进行了扩展，以给出三种螺栓的 3 个强度等级。A 型是较低强度等

级，适用于一般用途的螺柱；B 型是较高强度等级，用作复合梁设计和构造的基本组件。B 型螺柱大多数用于公路桥梁的复合构造。

C-7.4 做工/制作

需要给出几项有关清洁的条款，以生产完好质量的螺柱。目前新的重点是螺柱的保管。B 型螺柱是用作公路桥梁和建筑的复合梁构造的重要组件。C 型螺柱通常用作埋设于钢筋混凝土构造中的连接。

C-7.4.6 电弧护罩的拆除和 C-7.4.7 验收准则。这些小姐明确要求应用者拆除用过的电弧护罩并作目视检验。如果要作出有效判断，则应在螺柱焊接完毕后马上进行这一检验，以免因设备失灵而导致焊出大量有缺陷的螺柱。

在本规范的附录 J 中，环绕螺柱焊接端挤出的金属被称为飞边。它不是通过传统电弧焊接所形成的角焊缝。挤出的超过焊缝强度所需的金属非但无不利影响，反而是产生良好焊缝必不可少的条件。这种环绕着已焊螺柱的过剩熔化金属受到电弧防护圈(电弧护罩)的包围有助于确保螺柱焊接端的整个横截面实现良好熔合。螺柱焊缝飞边可以在其垂直边上有不熔合及在水平边上形成焊瘤；并且可以有偶然的细小收缩裂纹或其他不连续，这些常常在焊缝飞边的顶部形成，其方向相对于螺柱轴线而言基本上为径向和/或纵向。可以接受飞边垂直边上的这种不熔合以及细小的收缩裂纹。

C-7.5 技术

C-7.5.1 自动机械化焊接。关于技术的小节涵盖了设备和初始设定值要求。

C-7.5.5 FCAW、GMAW、SMAW 角焊缝选择。虽然一般优先选用自动定时焊机，但规范也允许承包商选用 SMAW、GMAW 和 FCAW 方法以角焊缝形式焊接螺柱。对于这种应用，宜按第 4 节要求对焊工作评定。这种选择也包括仅对现场有限数量的螺柱的焊接。承包商作出这种选择显然是出于经济上的考虑。为了确保将热输入最小化，应结合表 3.3 的适用预热要求来规定焊条直径。

用自动定时焊接设备焊接螺柱或通过 SMAW、GMAW 和 FCAW 用角焊缝焊接的螺柱都可被视为是采用免评定 WPS 焊接的螺柱。

C-7.6 螺栓应用评定要求

在垂直表面上焊接螺柱可能要求采用改进的电弧护罩，在非平坦表面上焊接时也可能要求

采用改进的电弧护罩。由于螺柱制造商进行的螺柱焊接端的评定并不包括这种和其他特殊情况，故而承包商应该负责进行这些试验。试验数据的作用与其他焊接方法进行的工艺评定相同。检验员应当认可以前的螺柱特殊应用试验的证据，这些试验以在用的、特定的螺柱焊装置进行的满意的生产前试验为根据。

C-7.6.1 目的。对于采用应用评定要求的情况，特殊条件已经从考虑采用改进的电弧护罩和焊接位置扩大到包括穿过盖板的焊缝以及焊接于表 3.1 的 I 或 II 组以外钢材上的螺柱。

由于仅仅与生产现场有关的一些温度与制造商的螺柱焊接端评定无关，故而已经增加了穿过盖板的焊缝的应用要求，这些问题包括但不限于盖板装配、气候条件、翼缘板厚度和钢梁上可能存在的涂层、盖板涂层厚度和盖板层数。建议在工作现场使用和现场相同的焊接设备、操作人员、材料、涂层厚度以及梁状态进行应用评定。建议用最厚的金属盖板(不管是一层还是两层)同时进行最大厚度涂层(如果镀锌的话)的试验，以评定每个项目的工作。不必将这种最恶劣情况的焊接参数应用于该项目的每一个螺柱，所用设备应当经过最恶劣情况的考验。操作者应作技能评定，要建立现场的 PQR/WQR 记录，并且要将 7.7.1 的生产前试验用于每一个其他设置和生产周期。

如果新的工作范围在原先的范围内，则推荐工程师认可这种穿透盖板焊接的应用试验的正确文件证明。

已经增加了对 I 组或 II 组之外的钢材进行应用试验的要求，以提供工程师应当对每一种此类应用作出评价。

表 3.1 的 III 组钢材和表 4.9 中的钢材大多数是进行过热处理的钢材，来自螺柱焊的热量会使母材板件的静态或动态物理性能下降。比如，薄的调质钢板材可能会降低抗拉强度，而较厚的调质钢则更可能降低螺柱焊缝 HAZ 的缺口韧性。工程师特别宜对承受周期拉伸应力或反向应力的构件中焊接螺柱的应用进行评估。应用试验将被用于证明螺柱本身连同所用的金属符合要求。

C-7.7 生产控制

每班生产最先焊的两个螺柱或下述诸项的任何一个设定值发生变化时都要进行应用试验：螺柱枪、定时器、电源、螺柱直径、枪的升降、焊接导线总长以及焊接电流(安培)与时间的变化大于 5%。鼓励不熟悉这些术语的用户参阅最新版的 AWS C5.4《螺柱焊推荐规程》。因为螺

柱焊中所用电流很大，所以使用足够截面的导线和良好的导线连接非常重要。

C-7.7.1.4 弯曲试验。在温度低于 50°F [10°C] 时，对某些螺柱和母材进行弯曲，这样会使其因韧性不足而不能通过榔头锤击试验。

C-7.8 制作和鉴定检验要求

除了施工方进行的目视和弯曲试验外，检验员还应对螺柱进行目视检验和弯曲试验。

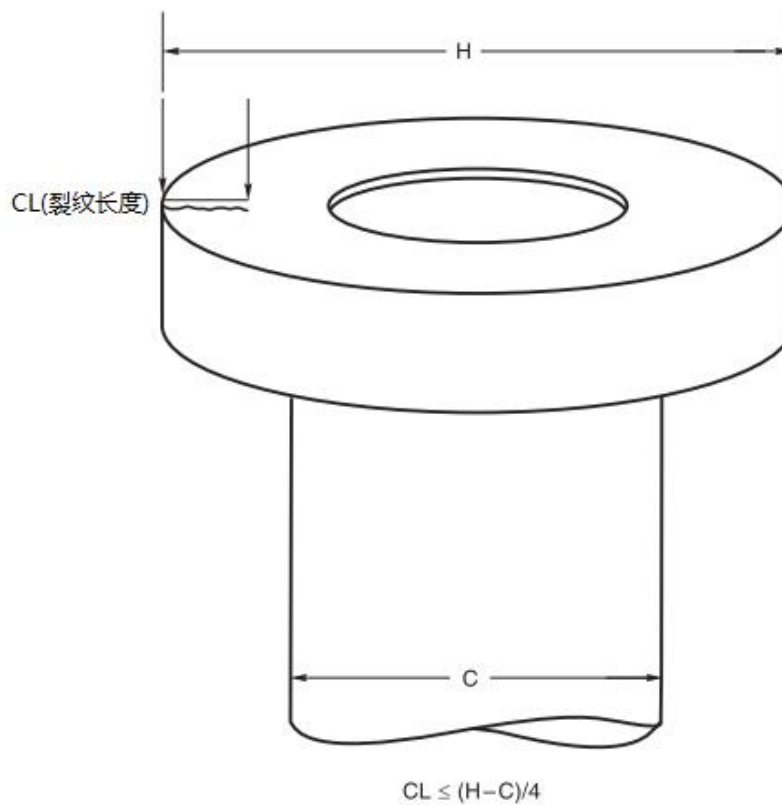


图 C-7.1—带头螺柱头部中的允许缺陷

C-8. 现有结构的加固和修补

C-8.1 一般要求

钢制构件的加固、修理和热矫直有许多通用的技术和工艺，因此对第 8 节进行了扩展，以将作为钢构件修补方式之一的热矫直纳入其中。

本规范的第 8 节不可被用于代替 ASTM A6 中新钢材的调节要求，而仅仅是提出与现有结构中 构件的修补和加固有关的建议。

C-8.2 母材

C-8.2.1 调查。现有结构的加固、修补和热矫直中的第一项基本要求是辨别材料。

现有钢材的可焊性非常重要。它与材料力学性能共同提供了用于确立安全且完善的 WPS 的基本信息。只有真实的数据才能可靠地估算成本。可焊性差会使成本高而不经济，工程师宜考虑采用其他连接方法。

从现有结构截取代表性试样进行试验时可能会发现力学性能有变化。还应进行硬度试验，以评估材料的拉伸性能。

在不了解可焊接的情况下，参考资料 1 和 2 都为母材是否适于焊接作出初步决定提供了简单而经济的技术示例。

母材中熔化温度低的元素(比如硫、磷、铜、锡、铅和锌)会导致产生凝固或“热”开裂。采用不依赖深熔焊增加强度的低掺杂 WPS 和接头细节可能有助于最大限度地减小热开裂趋向。较高的含碳量伴以较高合金含量(不论是有意或是无意添加的)都增加了钢的可淬硬性，并且增加了与氢有关的裂纹或“冷”裂倾向。低氢作业、较高的预热温度和道间温度还有后热操作都会降低冷裂倾向。材料可能包括从易于焊接到不具有可焊性的材料。必须对相对可焊性作调查(见参考资料 3、5 和 6)。

C-8.2.2 焊接的适用性。本规范的正文中没有给出与不锈钢、锻钢和铸铁焊接有关的内容。但在有时在修补旧结构时会碰到这些材料。如表 C-8.1 所示，由于存在固有的焊接困难，所以在每一种情况下都需要有 WPS 及评定合格的焊接监督人员。参考资料 3 和 4 给出了不锈钢焊接指南。参考资料 5 给出了锻铁焊接指南。参考资料 3、4、5 和 6 都给出了铸铁焊接指南。

C-8.3 加固和修补设计

C-8.3.1 设计方法。强烈建议对打算焊接或加热的部位作检查。与任何一种作业方法有关的热膨胀可使已有的裂纹向构件内进一步扩展。

C-8.3.3 疲劳历史。一般而言，如果是承受循环荷载的结构，则难以获得用于估算剩余疲劳寿命的疲劳历史方面的充足数据。宜在可了解到的承载历史基础上对剩余疲劳寿命作保守估算。延续一个构件预期疲劳寿命的实用方法包括降低应力或应力范围、提供对疲劳失效较不敏感性的接头几何形状以及使用延长疲劳寿命的技术。

C-8.3.5 操作中的荷载。现有结构的修理、加固和热矫直不同于新结构，因为这些操作可能必须在结构或结构元件处于工作应力的状态下实施。

参考资料 1、2、7、8、9、10、11 和 12 中给出了在承受状态下进行结构构件焊接的指南。宜根据自身特点评估每一种情况并作出稳妥的工程判断。

研究(参考资料 7、11 和 19)表明，轧制和焊接引起的残余应力仅对一些特定的结构功能的构件能力有影响。由于拉伸和压缩残余力的抵消，残余应力不会导致构件抗挠能力数量级的降低。加热或焊接仅仅影响受拉构件的部分横截面时也会存在类似情况。由于有可能导致整体或局部翘曲，因此受压构件对于残余应力的分布更为敏感。对称于中性轴平衡的火焰加热或焊接基本上可以避免这类问题。不管应力情况如何都不应在同一时间对整个横截面加热或焊接。

C-8.3.7 现有紧固件的使用。焊缝与过应力铆钉或螺栓组合连接的翻新规定比 2.7.3 中翻新时不承受应力的连接元件的规定更为苛刻(见参考资料 22)。

C-8.4 延长疲劳寿命

C-8.4.1 延长疲劳寿命。如果实施得当，则下述整修方法可被用来延长现有结构的疲劳寿命，特别是在施加的应力垂直于焊件轴线的情况下。下列影响疲劳寿命的技术仅仅从源于焊趾的失效的角度出发。不宜忽略起源于焊缝其他部位(比如根部区域)的疲劳裂纹可能性。典型的应用包括疲劳裂纹的修补和现有建筑与设备疲劳寿命的延长。

焊接接头呈现出特别严重的应力集中。英国剑桥焊接研究所(TWI)的研究表面，除了 GTAW 以外，沿着所有电弧焊接方法的焊趾都有一条尖锐的微观焊渣侵入线。但也发现所有焊接方法均关于生成程度不等的趾部咬边，即使理想的焊缝剖面形状也是如此(见图 C-8.1)。其实际意义是，所有焊缝均有先已生就的缺陷，它或呈微观咬边，或呈微观焊渣侵入，或两者兼具。正常的检验方法不能探测到这些缺陷，而这些缺陷是现有焊接技术在任何情况下都难以避免的(见参

考资料 28、32 [第 1 章和第 2 章]及 33)。

在普通材料中, 疲劳寿命消耗于裂纹的起裂和扩展。不过要假定焊件中业已存在类似裂纹的不连续。因此, 仅是裂纹的扩展消耗了焊缝的疲劳寿命。这连同屈服点或接近屈服点的残余拉伸应力就是为什么焊接件比承受相似荷载的普通材料易于出现疲劳破坏的基本原因所在(见图 C-8.2)。

可通过修整焊趾延长疲劳寿命。应清除这种小的业已存在的缺不连续, 或者使其尖锐的开口变钝(见图 C-8.5)。通过打磨趾部或用 GTAW (TIG)方法修整来重建裂纹起裂前的状态, 从而延长疲劳寿命。锤击产生了压应力, 从而延缓了裂纹扩展的速率。效果良好的焊缝断面形状也减轻了几何形状的应力集中, 因而也提高了整个接头对疲劳裂纹的抗力。当这些业已存在的趾部不连续垂直于施加的应力时, 延长疲劳寿命的方法最有效(图 C-8.4) (见参考资料 32 [第 4 章])。

(1) 圆管截面焊缝形状的改善需符合 9.2.7.6、9.2.7.7 及条文说明 C-9.2.7.6 和 C-9.2.7.7 的要求。可用下列方式获得符合图 9.16 要求的合格焊缝剖面形状: 加一盖面焊层; (2)打磨焊缝表面; 和(3)用钝器锤击焊缝趾部。图 C-2.8 提供了精确的剖面形状验收准则。有关焊缝尺寸或厚度以及焊缝形状的疲劳类别限定需符合表 9.4 等级 I 的标准。

(2) 对于管材连接(T 形、Y 形或 K 形连接)和非管材连接, 焊趾打磨均宜沿焊趾中心线进行。推荐采用的工具包括带有碳化钨磨头的高速砂轮机。宜按表 C-8.2 要求根据板材厚度确定磨头端部半径。这些半径是推荐的最小尺寸, 采用较大的尺寸更加有好处。

打磨的最小深度宜为到板材表面以下 0.03 in.~0.04 in. [0.8 mm~1.0 mm]或者到最深咬边以下 0.02 in.~0.03 in. [0.5 mm~0.8 mm]处, 从而使打磨总深度最大值达到 1/16 in. [2 mm]或者为板厚的 5%(两者之中取较大值)。磨头轴线与主要板材成约 45°角(见图 C-8.3)。磨头轴线与移动方向的最大夹角宜为 45°, 以确保打磨痕迹基本垂直于焊趾线(平行于应力方向)。承受纵向应力的焊缝端部需小心进行打磨(见图 C-8.6)。完工的打磨槽道宜光亮, 以获得良好的表面粗糙度。对任何余留的咬边或其他不连续作目视检验和 MT 或 PT (见参考资料 28、29、32 [第 2 章]、34 和 37)。

(3) 钢锤锤击的方法适用于屈服强度不超过 115 ksi [800 MPa]且厚度不小于 3/8 in. [10 mm]的钢材。钢锤锤头端部宜接近半球状, 其直径宜在 1/4~1/2 in. [6~12 mm]之间。压痕宜落在焊趾

中心处, 以使每一边的金属(焊缝金属与母材两者)都产生变形, 从而形成一个个无明显凹痕的光滑表面。

钢锤宜与钢板表面成 45° 角, 并且基本垂直于移动方向。低碳钢(屈服强度不超过 36 ksi [250 MPa])上的压痕宜深约 0.02 in. [0.5 mm]; 中等强度钢(屈服强度在 36~65 ksi [250~450 MPa]之间)上的压痕宜深约 0.01 in. [0.25 mm]; 而高强度钢(屈服强度在 65~115 ksi [450~800 MPa]之间)上的压痕宜深约 0.004 in. [0.1 mm](见图 C-8.7)。达到这些深度约需进行 4 次锤击。锤击前需要对焊缝进行目视检验和 MT 或 PT(见参考资料 28、29、32 [第 2 章]、34 和 36)。

锤击的好处是, 由于会导致产生压缩残余应力, 因此必须确保在锤击后不作任何引起应力消除的处理(例如焊后热处理)。此外, 宜在接头置于“适当位置”且承受静荷载时进行锤击。

(4) GTAW(TIG)修整是在不添加填充金属的情况下沿着焊趾重熔现有焊缝金属, 直至深度大约达到 1/16 in. [2 mm]。焊缝表面应无无锈、焊渣和轧制氧化鳞片。电极端部宜保持尖锐、洁净。尖端宜落在到焊趾的距离在 0.02~0.06 in. [0.5~1.5 mm]之间的水平位置(见图 C-8.8)。如果 HAZ 的韧性可能会导致产生问题, 则可以采用改进技术, 即施加第二次回火焊道(见参考资料 28、32 [第 2 章和第 4 章节]及 35)。

(5) 打磨焊趾之后再进行锤击可以抑制疲劳裂纹的起裂和裂纹扩展的速率。因此, 对于关键接头, 这种组合处理对疲劳失效提供了优良抗力。锤击前宜对焊缝表面作目视检验, 并通过 MT 探测表面缺陷。在锤击期间, 每一道锤击以后都要进行目视检验(见参考资料 30、31 和 34)。

C-8.4.2 应力范围增大。当采用焊趾打磨、锤击或 GTAW (TIG)时, 承受循环荷载的连接的许用应力范围可能会沿着 S-N 设计曲线增大 1.3 倍, 这相当于 S/N 斜率约 1/3 时周期寿命提高了 2.2 倍。不过, 打磨焊趾和锤击的效果可以叠加。对于高周($N=10^7$), 允许用应力范围乘以系数 1.5, 但对于低周($N=10^4$), 则将系数减为 1.0(没有好处)。对于非管材接头, 改进系数不宜超过最高的焊态疲劳设计类别。

T 形、Y 形和 K 形连接的管状截面的讨论见 9.2.7.6 和 9.2.7.7 (见参考资料 28、29、30、32、34、35 和 36)。

注: Lehigh 大学目前进行的关于焊接盖板梁的研究表明, 上述延长疲劳寿命的技术(特别是锤击)对这种接头无效。

C-8.5 做工和技术

C-8.5.2 构件中的不连续。 在已存在裂纹的情况下对钢材进行焊接或加热会导致裂纹扩展，这是因为裂纹尖端可能已经存在应力。因此，强烈建议在加热或焊接以前除去任何类似裂纹的不连续。可通过在裂纹末端钻孔或打磨的方式来实现这一目的。参考资料 23 和 26 提供了修补很多常见不连续的指导信息。现有焊缝的修补工艺也需要符合第 5 节的要求。

C-8.5.4 厚度不足的母材。 腐蚀或磨损可能将零件厚度减小到提供充分焊缝尺寸所需的厚度之下。为使整个断面厚度足以承受荷载，可对这些减薄的断面的边缘进行堆焊。

腐蚀或磨损可能会将零件厚度减小到承受荷载所需的厚度之下。同样地，增加荷载可能也要求增加构件厚度。除了小的局部区域之外，采用表面堆焊焊缝金属以增加构件厚度的办法通常无效。最好通过另加板材或类似附件来加强构件。

C-8.5.5 热矫直。 钢构件的热矫直需要采用各种加热程序图。文献(参考资料 1、8、9、13、14、15、16、17 和 18)提供了关于热矫直力学的指导。实际作业还得依靠操作者的经验。

限定(包括重要的安全因素)的重点为钢材能够加热到的避免在随后冷却到室温时会使钢材中产生冶金变化的温度。这一临界温度取决于钢材的化学成分和先前的回火。

不推荐将钢材从高温快速冷却到大约 600°F [315°C]，因为可能会发生不良的冶金相变(关于这一问题更详细的讨论见 5.8)。

参考资料 20(AASHTO 第 II 部分的 11.4.12.2.3)也认为 600°F [315°C]是临界温度。此外，参考资料 21 表明，在这一温度下，钢材的弹性模量和屈服点并不会明显低于室温下的弹性模量和屈服点。

通用规范的其他部分已推荐了适当级别和厚度钢材的冷却速率。可考虑用水雾、湿布或鼓风来加速冷却，并且仅可在钢材温度低于 600°F [315°C]时采用这些方法。

C-8.5.6 焊接顺序。 宜调节焊接程序，以便在给定材料厚度和几何形状条件下将承受应力的构件横断面单位焊缝长度的总热量输入能够将温度等温线保持在相对狭而小的范围内。

C-8.6 质量

工程师按照适当的工作条件确定检验和无损检测的等级。建议使合同文件的要求与本规范第 6 节的条款保持一致。

宜考虑对受到焊接或矫直所造成热影响的铆钉和螺栓进行检查。

C-8 的参考资料

1. Blodgett, O. W. “焊接结构的设计”，第 12 版。克里夫兰，OH: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1982。
2. Ricker, D. T. “现有钢结构的现场焊接”。Engineering Journal 25(1): 芝加哥，IL: 美国钢结构学会，1988。
3. 美国焊接协会。焊手册第 4 卷。Miami, FL: 美国焊接协会，1982。
4. Lincoln 弧焊接。《弧焊接工艺手册》，第 12 版。克里夫兰，OH: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation，1973 年 6 月。
5. Jefferson, T. B. 和 Woods, G. “金属及如何焊接金属”，第 2 版。克里夫兰，OH: W. E. Publications, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1972。
6. 美国焊接协会，《铸铁焊接指南》，AWS D11.2。迈阿密，FL: 美国焊接协会，1989。
7. Nagaraja Rao, N. R. 和 Tall, L. “荷载下增强的柱子”，Welding Journal, Vol. 42, Research Supplement 177-s, 1963 年 4 月。
8. Shanafelt, G. O 和 Horn, W. B. “受损钢桥梁构件的评价和修补指南”。Report No. 271. 华盛顿，DC: 国家公路合作研究项目运输研究委员会，1984 年 6 月。
9. Tide, R. H. R. “加固现有钢结构时的基本考虑因素”。会议记录，National Engineering Conference 和 Conference of Operating Personnel, 新奥尔良，LA。芝加哥，IL: 美国钢结构学会，1987 年 4 月。
10. Tide, R. H. R. “制作过程对局部应力的影响”。会议记录，ASCE 第七届结构和环太平洋工程会议，San Francisco, CA. 纽约，NY: 美国土木工程师协会，1989 年 5 月。
11. Marzouk, H. 和 Mohan, S. “承载宽翼缘柱的加固”，Canadian Journal of Civil Engineering 17(5), 1990 年 10 月。加拿大安大略省渥太华市: 加拿大土木工程师协会。
12. Tide, R. H. R. “钢构件的加固和焊接的影响”。Engineering Journal 27(4):1990。
13. Stitt, J. R. “大型结构焊接中的变形控制”。Paper 844B, Air Transport and Space Meeting。纽约，NY: 美国汽车工程师协会和美国机械工程师协会，1984 年 4 月。
14. Holt, Richard E. “框架弯曲的主要概念”。Welding Journal，1971 年 6 月。

15. United States Steel Corporation. “连续热弯梁的制作帮助”，ADUSS88-5538-01。匹兹堡，PA：United States Steel Corporation，1972 年 4 月。
 16. Stewart, J. P. “火焰矫直技术”。LaSalle, QUE, 1981。
 17. Roeder, C. W. “热致变形的经验研究”。Journal of Structural Engineering 112(ST10) 1986. 纽约，NY：美国土木工程师协会。
 18. Avent, R. R. “钢材的热矫直：从理论到实践”。会议记录，全国钢结构会议，Miami Beach, FL。芝加哥，IL：美国钢结构学会，1988 年 6 月。
 19. 美国土木工程师协会。“钢材中的塑性设计：指南和条文说明”。纽约，NY：ASCE, 1971。
 20. 美国国家公路和运输协会。《公路桥梁标准规范》，第 15 版。华盛顿，DC：AASHTO，1992。
 21. United States Steel Corporation。《钢材设计手册》，ADUSS 27-3400-04. 匹兹堡，PA：United States Steel Corporation，1981 年 1 月。
 22. Jarosch, K. H. 和 Bowman, M.D. “螺栓和焊缝组合中的受拉对接接头”。Engineering Journal 23(1) 1986.23. Fisher, J. W. “钢桥梁的疲劳和断裂”。纽约，NY：John Wiley 和 Sons, Inc., 1984。
 24. Fisher, J. W. “桥梁疲劳指南—设计和细节”。芝加哥，IL：美国钢结构学会，1977。
 25. Welding in the World. “钢结构修补和加固的建议”，26(11/12)，大不列颠。
 26. Haagenzen, P. J. “改善焊接接头的疲劳性能”，海上焊接结构国际会议记录，英国伦敦，1982 年 11 月。
 27. Maddox, S. J. “通过锤击改善角焊缝的疲劳强度”。剑桥，英国：焊接学会，1985。
 28. Maddox, S. J.。《焊接结构的疲劳强度》，第 2 版。Abington Publishing, 1992。
 29. Haagenzen, P. J. IIW DOC. XIII-WG2-22-93, “修补方法和寿命延长”，1993。
 30. Haagenzen, P. J. “打磨和锤击对焊接 T 形接头疲劳强度的影响”。IIW Doc. XIII-1510-93。1993。
 31. Haagenzen, P. J., “通过打磨和锤击来实现寿命延长和修补”，IIW Doc. XIII-1511-93, 1993。
 32. 焊接学会。“改善焊接接头的疲劳性能”。英国剑桥：焊接学会，1983。
- Maddox, S. J., 第 1 章“焊接接头疲劳的介绍”
- Booth, G. S., 第 2 章“疲劳强度改善技术回顾”
- Woodley, C. C., 第 4 章“焊趾打磨的实践应用”

Haagensen, P. J, 第 5 章“TIG 修整对钢焊件疲劳性能和硬度的影响”

33. Maddox, S. J. “焊接结构疲劳方面的国际协作”。Welding & Metal Fabrication, 1982 年 12 月。
34. IIW 委员会工作组 2—改善技术, 通过锤击或磨头打磨进行焊趾改善的拟议 IIW 规范, 1993。
35. Takenouchi 等。“采用 TIG 修整方法修补过的疲劳损坏公路桥梁焊缝的疲劳性能”。IIW Doc. XIII-1509-93。日本, 1993。
36. Welsch, W. “用锤击延长疲劳寿命”。Welding Design & Fabrication, 1990 年 9 月。
37. Connect, No. 12, 焊接学会, 英国剑桥(源自 AWS Welding Journal, 1991 年 2 月 12 日)。
38. CETIM/Centre Technique Des Industries Mecaniques。“采用 TIG 或等离子修整法改善焊接接头的疲劳强度”。IIW Doc. XIIIWG2-10-91, 1991。

表 C-8.1 焊接合适性指南(见 C-8.2.2)

结构类别	母材			
	3.1 和表 3.1 的 ASTM、ABS 和 API 钢材	停产钢材、未知钢材、铸钢和不锈钢	锻铁	铸铁
承受静荷载和循环荷载的非管材结构 第 2 节, B 部分	按第 3 节要求检查免评定状态。 可采用符合第 3 节要求的免评定 WPS。	ASTM A7、A373、A441—使用表 3.1 (II 组)和第 3 节。 其他的见注 a。	注 a 和注 b 适用。	注 a 和注 b 适用。
承受循环荷载的非管材结构 第 2 节, C 部分	按第 3 节要求检查免评定状态。 可采用符合第 3 节要求的免评定 WPS。	ASTM A7、A373、A441—使用表 3.1(II 组)和第 3 节。 其他的见注 a。	注 a 和注 b 适用。	未推荐
管材结构 第 9 节, A 部分	可采用符合第 9 节要求的免评定 WPS。			
承受静荷载的管材结构	按第 9 节要求检查免评定状态。	注 a 适用。	注 a 和注 b 适用。	注 a 和注 b 适用。 未推荐
承受循环荷载的结构	按第 9 节要求检查免评定状态。	注 a 适用。	注 a 和注 b 适用。	未推荐

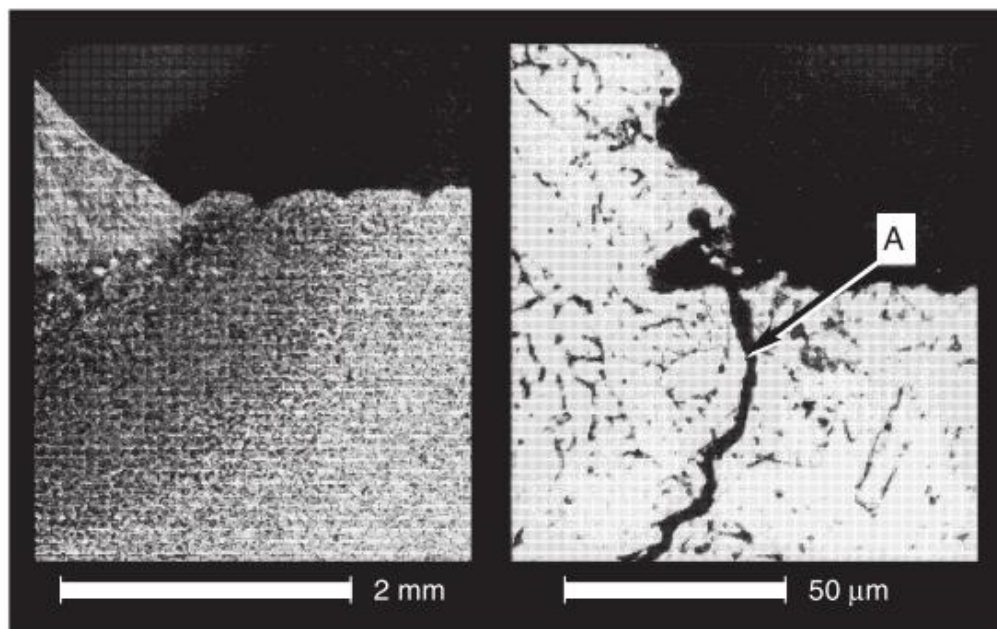
^a 确定焊接合适性: 以前的满意的焊接结果可以为使用表 3.2(II 组)填充金属提供根据。如果之前未进行过焊接, 则制备样品并准备进行 WPS 评定。如果得不到样品, 则在结构上安全区域的适当位置进行焊接试验。

^b 有资格确定焊接合适性的人员必须提供书面 WPS, 并对焊接作业进行监督。

注: 需要提供书面 WPS, 并且必须获得工程师的批准。

表 C-8.2 板材厚度和磨头半径之间的关系[见 C-8.4.1(2)]

板材厚度(in.)	板材厚度(mm)	磨头半径(mm)
< 0.79	< 20	5
0.79~1.14	20~29	6
1.18~1.54	30~39	8
1.57~1.93	40~49	10
1.97~2.52	50~64	12
2.56~3.11	65~79	16
3.15~3.90	80~99	18
3.94~4.69	100~119	20
4.72~5.87	120~149	25
5.91~7.09	150~180	30



征得了英国焊接学会同意，1980。

注：焊趾处的微观侵入实为业已存在的不连续(见 C-8.4.1)。

图 C-8.1—微观侵入

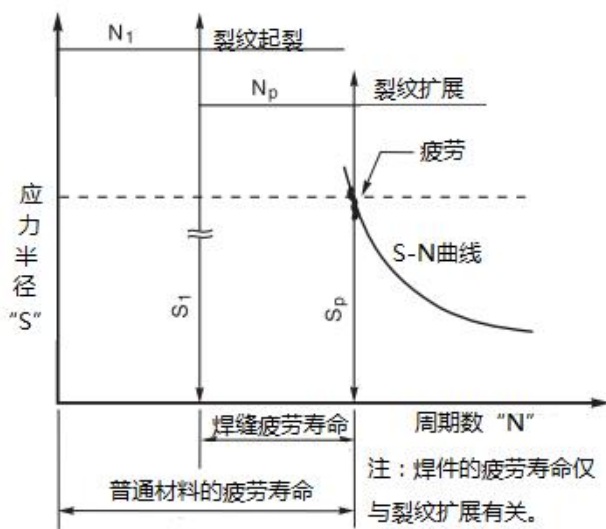


图 C-8.2—疲劳寿命(见 C-8.4.1)

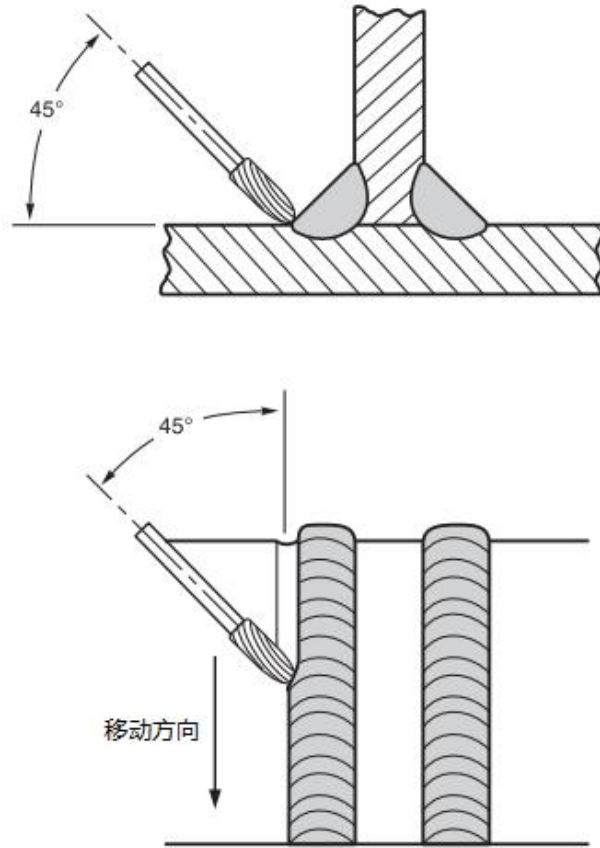


图 C-8.3—用磨头式打磨机进行焊趾修整(见 C-8.4.1)

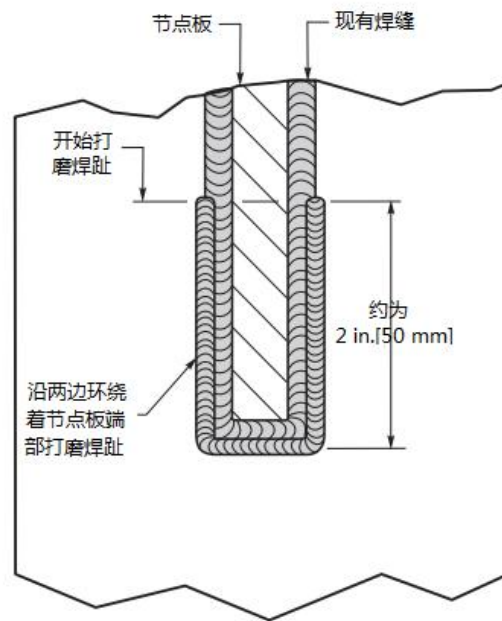


图 C-8.4—垂直于应力的焊趾修整(见 C-8.4.1)

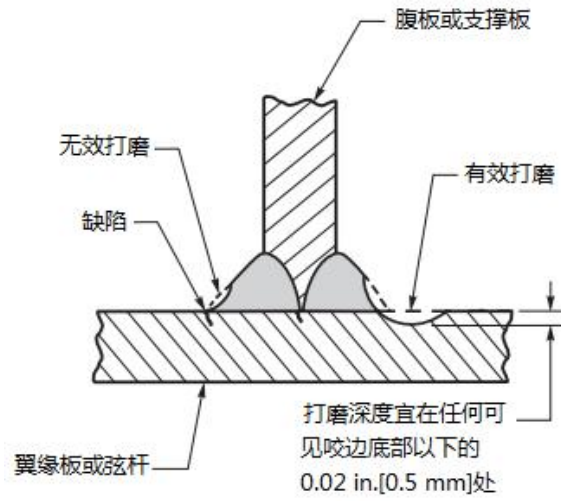


图 C-8.5—有效的焊趾打磨(见 C-8.4.1)

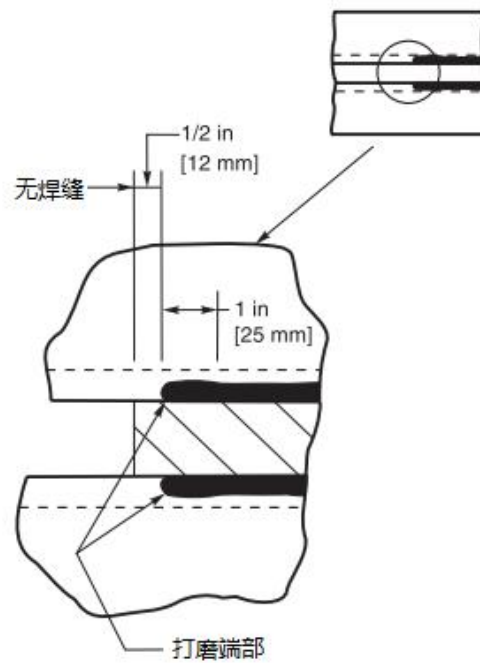


图 C-8.6—端部打磨[见 C-8.4.1(2)]

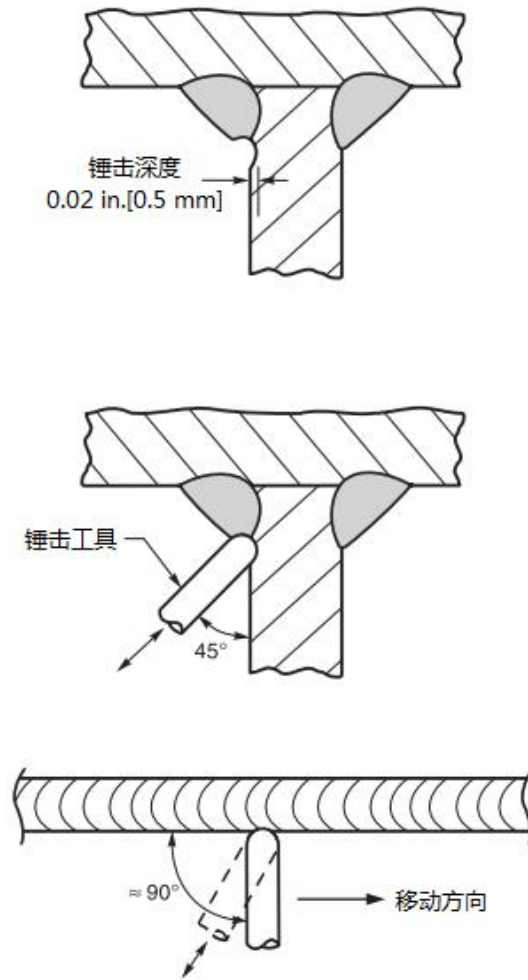


图 C-8.7—锤击[见 C-8.4.1(3)]

(征得了 S. Maddox, IIW, Com. XIII 同意)

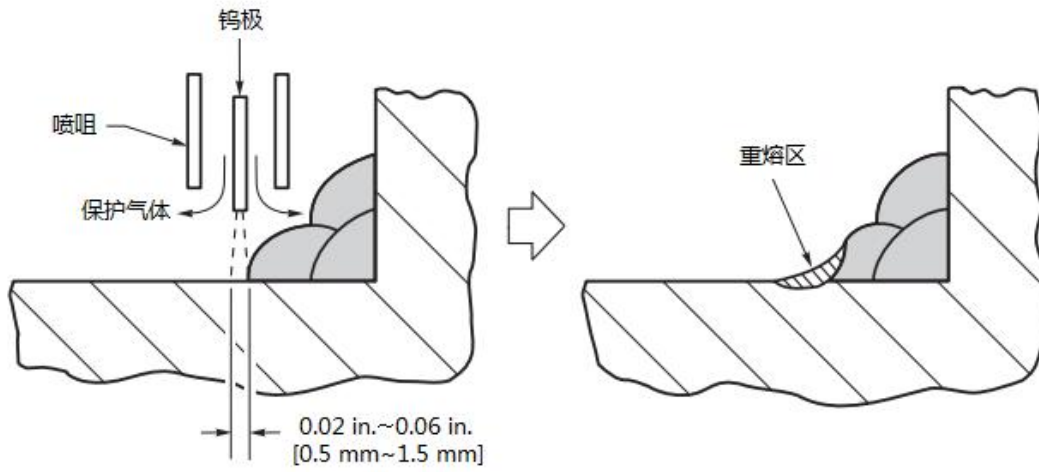


图 C-8.8—焊趾重熔[见 C-8.4.1(4)]

(征得了 P. Haagensen, IIW, Com. XIII 同意)

C-9. 管材结构

A 部分：管材连接的设计

C-9.1 概述

本规范关于管材的条款最初是由管材焊接结构的固定式海上平台的实践与经验的经历演变而来。譬如桥梁之类的结构承受着中等程度的周期荷载。譬如传统建筑结构之类的结构在一定程度上是超静定结构，其中的孤立的接头损坏不会危及整个结构。第 9 节 A 部分的要求普遍适用于各种各样的管材结构。

C-9.2 许用应力

本部分讨论了管状截面的许用应力，其中既包括了正箱型截面管与矩形截面管的要求，也包括了圆管的要求。

在通常使用的管材连接形式中，焊缝本身可能不是限定接头能力的因素。这里讨论了诸如局部破坏(冲击剪力)、主管的整体毁坏和层状撕裂的限定，因为其他规范中未充分涵盖这些内容。

C-9.2.2 母材应力。直径/厚度比和宽度/厚度比的限定取决于应用情况。见表 C-9.1。该表左侧讨论的是 AWS D1.1 规范涵盖的设计温度。前三列定义了采用简化设计规则的结实构件；如果超过这些限定，则必须进行规范规定的比较详细的计算。

右手侧给出了设计在不同程度塑性下抵抗局部翘曲的构件的限定。这些是 API、AISC 和 AISI 三部分要求的混合体。在这里自然要优先考虑决定设计技术条件的要求。

C-9.2.4 焊缝应力。表 9.2 给出了焊缝中的许用单位应力。此表是合并和浓缩版的表格，其中列出了管材结构中每种类型焊缝的许用单位应力和焊缝将要经受的应力的种类。所要求的焊缝金属强度等级也作了规定。此表与表 2.3 的格式相同。

C-9.2.7.2 疲劳应力类别。疲劳应力类别的依据见参考资料 1。这些依据是利用圆形截面的数据推导得出，并且仅提供了箱型截面的基本指导信息。

为了与现行承受周期荷载的结构条款 2.16.2 及最新版 API RP 2A(参考资料 9)保持一致，对应力类别和疲劳曲线作了修改。

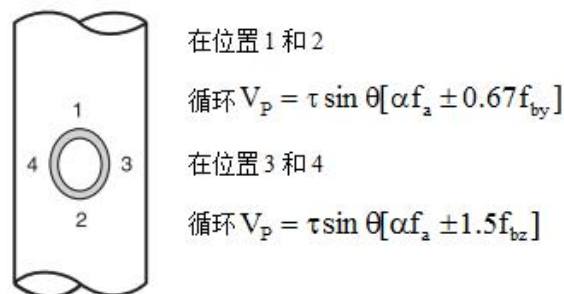
早期曲线中大部分的斜线部分已予保留。按照 API 要求, 每一条曲线 X 和 K 均已被分成两条曲线。上面的一条曲线代表实验室小规模质量试样的历史(1972 年前)资料, 而下面的一条曲线则为近来进行的不控制焊缝剖面形状的大批量试验的结果。在解释后一种情况时, 美国规范的早期版本强调的是焊缝剖面形状, 而推荐的英国规定(参考资料 12)则强调厚度的作用。现在作的假设是, 焊缝剖面形状和尺寸的作用对疲劳性能的了解都很重要, 并且它们之间是相互关联的。这也是设计与焊接不能分开的部分。9.2.7.7 参考了一套作为厚度函数的“标准”焊缝剖面形状控制规程和应力类别选择要求。9.2.7.6 讨论了改善剖面形状和打磨要求, 还讨论将作为改善疲劳的备选方法的锤击法。

大部分曲线的耐疲劳极限已超过了传统的 200 万次周期数。历史资料在这一领域提供不了很多的指导, 而来自较大量焊接试样的较多的近期资料却清楚地表明斜线部分宜予以延续。截止点与承受周期荷载的结构及耐大气设施所采用的截止点一致。对于海洋环境下的随机荷载, API 采用的截止点为 20000 万次; 不过 AWS 应用中不需要采用这个截止点。

当考虑到 9.2.7.5 的规定时, 可采用修改过的截止点和单独一套曲线。

对于类别 K (K 形连接的冲击剪切), 经验设计曲线是根据涉及到支管轴向荷载的试验推导得出的。根据总体静态考虑 9.6.1.1 中作用力 V_p 和几何形状(9.5.3)所确立的冲击剪切公式所得的结果并非始终与各种加载模式对局部热点应力的影响保持一致, 在涉及到弯曲的情况下尤为如此。由于没有包含一些相关参数(比如支管间的间隙), 所以下述简化近似法比 $0.3 \leq \beta \leq 0.7$ 的典型连接更为合适。

在这些公式中, 公称支管应力 f_a 、 f_{by} 、 f_{bz} 对应于图 C-9.1 所示的几种加载模式。附于 f_a 的系数 α 已被引用, 以将前面的曲线 K 和 T 结合为单一曲线。其他术语的说明见图 C-9.5。



在最高应力点

$$\text{循环 } V_p = \tau \sin \theta [\alpha f_a + \sqrt{(0.67 f_{by})^2 + (1.5 f_{bz})^2}]$$

C-9.2.7.3 基本许用应力限制。疲劳数据呈现出很大的离散性。已绘制出的设计曲线落在数据点的 95% 的安全侧。AWS 设计准则适合于超静定的故障安全结构。在这种结构中，单个连接的局部疲劳失效不会引起结构立即毁坏。对于一次失效便会引起灾难性后果的关键构件，9.2.7.4 定义的累计疲劳损伤比 D 被限定为一个分数值(即 1/3)，以提供增大的安全系数。这种陈述假设了疲劳分析用的所施加荷载的范围内没有保守的偏差或隐含的安全系数(很多规范都包含了此类偏差)参考资料 8 和 9 讨论了这些评判准则在海洋结构上的应用，包括所作的可能适合于随机荷载和腐蚀环境下的高周疲劳的修改。

C-9.2.7.6 疲劳性能改善。可通过降低焊缝趾部的缺口效应或降低残余拉应力的方式来改善焊接接头的疲劳性能。这两种方法都未被包含了设计人员使用的实测热点应变范围之内。参考资料 11 的讨论改善焊接接头疲劳性能的各种方法如下：

- (1) 改善焊态焊缝的剖面形状(包括使用专门使焊缝趾部形成光滑过渡的焊条)，
- (2) 对整个剖面形状进行打磨；
- (3) 焊趾打磨；
- (4) 焊趾重熔(GTAW 修整或等离子电弧修整)；
- (5) 锤击；和
- (6) 喷丸处理。

早期确定(但并非广泛采用)的焊缝剖面形状改善的海上结构行业管理如图 C-9.2 所示。理想的焊缝剖面形状为凹形，其最小半径为支管壁厚的一半并与邻近母材平滑熔合。如果要获得理想焊缝剖面形状，则一般要求选择湿润和成形特性良好的焊接材料，与此同时施焊者还需要是

精通所遇到的各种位置和几何形状的直线施焊的多道焊盖面技术的盖面焊专家。实现这一目标的困难是仰焊和立焊位置时的高熔敷率焊接。完工焊缝剖面形状的检查大多数为采用判定轮廓线情况的小圆盘进行的目视检验。如果在焊缝和规定半径的圆盘之间能插进 0.04 in. [1 mm] 的钢丝，则焊缝剖面形状被视为是不合格形状，而不管缺口是在焊趾处还是焊道之间。

AWS D1.1 的早期版本较少有严格的焊缝剖面形状要求。令人惊讶的是，当随着构件厚度的增加而导致相关缺口效应更为严重时，剖面形状不好的焊缝能够通过这种检测。欧洲最近的研究表明，早期的 D1.1 没有充分区分满足 AWS 疲劳分类 X1 的焊接管材连接和那么没有达到要求的焊接管材连接(参考资料 11 和 12)。

在证实原来的剖面形状要求不适用于厚大截面情况的同时，缺口应力分析与断裂力学研究也指出，图 C-9.2 中更严格的要求对于在广大厚度范围内保持 X1 等级疲劳特性方面更加有效(参考资料 13)。图 C-9.2 也建议使用轻微的打磨来修正焊趾缺陷，比如过深的缺口或咬边。一旦打磨开始，则应当注意使允许的缺口深度减少到 0.01 in. [0.25 mm]；仅磨平各独立焊道的顶部而留下各焊道间尖锐的沟槽的做法虽然符合圆盘试验的要求，但对改善疲劳性能的作用却很小。

因为焊缝的趾部常有微观裂纹或裂纹状的缺陷，因此有必要进行 MT，以确保已经消除了这些缺陷。审慎地进行打磨以消除 MT 检查出的指示并经常将这项工作作为检验工作的组成部分予以执行也会改善焊缝的剖面形状。

将整个焊缝剖面形状全部打磨平滑的做法也许更加节约成本，这取决于具体情况。就控制焊态的焊缝剖面形状而言，这样做可避免使用上述特殊焊接技术及进修剖面形状检查、修正打磨和 MT。对于多道下凹形盖面焊的管材连接，焊道间的缺口会引发疲劳裂纹；在这种情况下，打磨打磨焊趾的效果就不如在大多数研究中采用的打磨平焊位置角焊缝的效果。

焊趾重熔技术能够改善焊趾处缺口的几何形状，并且已被实验室试验证明能够改善焊接连接的疲劳性能。然而，除非仔细地进行了控制，否则加热和冷却的快速循环会产生不合格的硬质 HAZ，并且在侵蚀性环境中(例如海水)易于产生应力腐蚀开裂。

使用圆头工具锤击也可以改善焊缝趾部几何形状；这会在焊缝表层原可能引发疲劳裂纹处产生了附加残余压应力。母材的过份变形会使其容易受到邻近的后续焊接的应变脆化影响。此外还会使表面焊层模糊不清，甚至会使原先存在的裂纹湮没，从而要求进行 MT。喷丸处理在变形方面的作用不大，而且在改变几何形状方面效果也差。

应当强调的是，许多管材结构足以满足疲劳等级 X2、K2 和 ET 的要求，所以上述改善疲劳性能的方法并非必须采用的方法。此外，除了最大型截面以外，9.11.2 所述“标准”焊缝剖面形状能够满足疲劳等级 X1、K1 和 DT 的要求。

C-9.2.7.7 尺寸和剖面形状的影响。尺寸对焊接连接疲劳性能方面的有害影响已有充分的资料记载(见新近的参考资料 11、12 和 13 及较早的资料)。对于焊趾有尖锐缺口的焊接接头，按比例增大焊缝尺寸和缺口尺寸将会降低疲劳性能。如果在应用中超过资料规定的尺寸，则在设计时宜考虑尺寸的影响。参考资料 12 建议按下列比例降低疲劳强度：

$$\left[\frac{(\text{尺寸})}{(\text{尺寸限定})} \right]^{-0.25}$$

其他权威文献(参考资料 14)表明，当采用的指数约为-0.10 时，尺寸的影响较为缓和。

在充分打磨焊缝剖面形状的情况下，对尺寸影响起主要作用的几何缺口的影响并不存在，对于那种在邻近母材处平滑熔合的剖面形状，几何缺口的影响也是相对微弱(疲劳等级 B 和 C1)。除去以英寸表示的尺寸已作了修约处理外，大多数其他类别疲劳等级的尺寸限定(超出这一限定便不在我们引用的历史数据范围内)类似于参考资料 12 中引证的数据。疲劳等级 X2、K2 和 DT 的较大尺寸限定体现的事实是，绘制的这些 S-N 曲线已经落在了近来获得大量试验数据下方。

参考资料 13 讨论了在各种水平疲劳性能情况下与焊缝剖面形状有关的尺寸影响。9.2.7.7 提及的 T 形、Y 形和 K 形连接的“标准”焊缝剖面形状随厚度而变化，因而要规定两个与尺寸无关的疲劳性能等级。然而，如果低劣的剖面形状超出标准范围，则尺寸影响(降低疲劳性能)将会生效。满足 9.2.7.6(1)要求的“已改善”焊缝剖面形状会使缺口影响在大的厚度范围内保持不变，因而缓和了尺寸影响。充分打磨过的焊缝的光滑表面剖面形状也显示没有尺寸影响。由于锤击只改善了焊缝接头的有限体积，因此，如果锤击是唯一采取的措施，则可以预料尺寸影响会很快显示出来；然而如果锤击仅被作为剖面形状控制的附加手段，则不会导致尺寸影响严重化。

因为部分设计规则以拉断试验的结果为基础依据，所以尺寸影响本身也会在静荷载极限强度状态下有所表现。对于低缺口韧性或未知缺口韧性的高强度钢的 T 形、Y 形和 K 形连接，推荐选用 I 级剖面形状，而不采用允许有较大缺口的 III 级剖面形状。

C-9.6 焊接连接的强度限定。管材连接中可能会有若干独有的破坏模式。除按大多数设计规范对焊缝应力进行通常校核外，设计人员还宜作以下校核：

	圆形截面	箱型截面
(1) 局部破坏*	9.6.1.1	9.6.2.1
(2) 整体毁坏	9.6.1.2	9.6.2.2
(3) 渐进式失效(开拉链式破坏)	9.6.1.3	9.6.2.3
(4) 材料问题	9.8	9.8.1.3

* 搭接连接分别见 9.6.1.6 和 9.6.2.4。

C-9.6.1.1 局部破坏。设计要求是以公称冲击剪应力的形式给出的(剪应力简化概念见图 C-9.3)。实际的局部应力状态比这种简化概念提出的更为复杂，并且还包括了壳体弯曲和薄膜应力。不论主管的实际破坏模式如何，许用应力 V_p 是包括安全系数 1.8 在内的简单管材焊接连接静态试验发生破坏时的平均剪应力的保守表达式。有关背景资料用户宜查阅参考资料 1~6。

箱型截面的处理方式尽可能与圆形截面的保持一致。包括安全系数 1.8 在内的箱型截面基本许用应力 V_p 是在应用极限抗拉强度的限值分析基础上推导得出的，而极限抗拉强度被假定为规定最小屈服强度的 1.5 倍。这就是为什么表 9.6 中 $\alpha(\alpha)$ 将冲切剪力用的设计公式中的 F_y 值限定为抗拉强度 2/3 倍的原因。

如果合适，还可以假设荷载进行了有利的重新分布。应该预料到在许用荷载水平内会发生局部屈服。可以预测的是，当荷载超过容许静荷载的 120%~160%时会产生挠度超过 0.02D 的全面屈服。

文献(比如参考资料 3)中可以找到确定管材连接尺寸的其他冲击剪切方法。但是，在将此类经验性规则(特别是尺寸不完整的设计公式)用于推导管材结构形状与尺寸(和单位)时应予以限定。

1984 版中已对圆形截面的冲击剪切要求作了实质性更改，以使它们与时俱进。这些更改包括：

(1) 从作用力 V_p 公式中取消了 K_a 和 K_b 。虽然从几何学和静力学观点看合乎逻辑，但却不符合管材连接强度的试验资料的要求。

(2) 采用许用基本应力 V_p 的新表达式和新的修正系数 Q_q (采用该系数所得的数值结果类似

于参考资料 2 的数值结果)。

(3) 引入弦管椭圆参数 α ，该参数与单一平面接头的有效结果相匹配，并且有望扩展到适用于多平面接头(参考资料 3)。

(4) 增加了基于最近的 Yura 试验的新 Q_f 表达式(参考资料 4)。

(5) 给出了支管轴向荷载和弯曲荷载之间的非线性相互关系，这种关系以管材截面的完全塑性行为为基础依据(参考资料 5)。

图 C-9.4 表明了计算的 α 值基础上确定的新冲击剪力评判准则的可靠性，它用试验极限强度(P 试验值)与容许强度的比值的直方图表示。该图采用了参考资料 6 的数据，删除了不适当的试验值，并且按 IIW-doc XV-405-77 所述要求对符合 1/3 法则的有效 F_y 作了估算。

试验结果正好群集于公称极限强度 1.8 安全系数的安全侧。当使用对数正态安全指数公式时，因塑性破坏而失效的接头的中等极限强度是超过设计荷载的 3.45 标准偏差，这与其他结构类型中的连接的 3~4 的安全指数有可比性。由于对不同接头类型作了对比，所以新的评判准则与被取代的不太精确的评判准则相比具有类似的综合经济性和更大的安全性。

大量小尺寸管子的拉伸试验数据表明安全系数和安全指数存在明显偏差。如果仅考虑 $t_c = 0.25$ in. [7 mm] 的管材，则平均安全系数降至 3.7；如果 $t_c = 0.5$ in. [13 mm]，则安全系数仅为 2.2。考虑到常见焊缝趾部的特性(尖锐缺口)和断裂控制失效方面的不利尺寸影响，故而不允许为拉伸荷载留出裕度。

在 1992 版中，规范也包含了以极限强度形式表示的管子连接设计评判准则，即本规范 9.6.1.1(2)中关于圆形截面的条款。这是从早期的冲击剪切评判准则推导而来的，并且与这一准则等效。推导时作了薄壁假设(即无 t_b/d_b 修正)，并且用弹性截面模量来进行弯曲换算。

当 AISC-LRFD 中使用 0.8 的抗力系数时，它在名义上等同于承受 40%静荷载和 60%活荷载的结构的 1.8 的许用应力设计(ASD)安全系数。改变受剪材料抗力系数的目的就是保持这种等效性。

对于静荷载所占比例较低的结构，LRFD 落在了 ASD 的安全侧。受拉和受压构件的 AISC 评判准则看起来在静荷载占 25%时方等效；因此，此处给定的 LRFD 评判准则对大多数结构而言是比较保守的。但由于不对冲击剪切作 t_b/d_b 修正，故而作用力 $V_p = \tau \sin \theta f_n (1 - t_b/d_b)$ 。

ASD 冲击剪切格式也格外具有保守性。

图 C-9.4 表明安全指数 3.45 适合用于选择作为构件的接头套筒(以总不确定度的标准偏差形式表达的安全指数是设计评判准则的安全裕度, 其中包括了隐含的偏差)。为便于作进一步比较, ASCE 管材结构委员会在参考资料 2 中推导得出的供类似的基于 Yura 的管材连接设计评判准则的抗力系数为 0.81, 安全指数为 3.0。

由于 9.6 的局部破坏评判准则可被用于选择主管或弦杆, 所以选择的安全指数与设计其他结构构件用的安全指数(而非诸如铆钉、螺栓之类的连接材料或角焊缝常常应用的较高值, 这些连接会产生诸如局部延展性和加工工艺之类的附加可靠性问题)具有可比性。

对于典型特征是无人操控时会受环境荷载支配的海洋结构, API RP2A-LRFD 的 1986 版草稿曾建议选用 0.90~0.95 的更宽松抗力系数, 它对应于减小的目标安全指数 2.5(受拉构件的安全系数实际低至 2.1)。API 也调整了他们的许用应力设计评判准则, 以体现典型 t_b/d_b 比的好处。

加拿大(参考资料 21)采用的是这些抗力系数, 不过采用的是稍有差异的荷载系数, 结果总安全系数相差 4.2%。这都在标定精度范围之内。

C-9.6.1.2 整体毁坏。除了在焊接支管附近发生的主管局部破坏外, 还可能发生范围更广的整体毁坏。在圆柱形构件中, 发生的这种损坏归因于主管圆柱壳体形成的整体椭圆形塑性破坏。在箱型截面中, 它可能涉及到主管侧壁的腹板局部失稳和压跛(见参考资料 15)。

C-9.6.1.3 非均布荷载(焊缝尺寸测定)。通过管材连接焊缝传递的荷载的初始弹性分布很不均匀, 其峰值线荷载(kips/in. 或 MPa/mm)常常比基于 9.5.3 的公称截面、几何形状和静荷载的值高 2 倍或 3 倍。对于管材连接, 需要一些局部屈服来重新分布应力并达到设计能力。如果焊缝在系统中为薄弱环节, 则它在进行这种重新分布之前会产生开拉链式破坏。

规范给出的评判准则旨在采用比别处焊缝许用应力更大的安全系数来防止产生这种开拉链式破坏。比如, 用 E70XX 焊条焊接的 0.7t 角焊缝的线荷载极限强度为 $0.7t (2.67 \times 0.3 \times 70) = 39t$, 这足以匹配低碳钢支管材料的屈服强度

另一个例子是, 如果峰值线荷载实际上为公称荷载的两倍, 那么当焊缝强度为其许用应力的 2.67 倍时, 按 1.35 倍公称线荷载进行的设计将得出的接头安全系数为 1.8。IIW 规则和基于 LRFD 的强度计算均建议规定较大的匹配焊缝尺寸, 比如 1.0t 或 1.2t(欧洲规范草案为 1.07t)。这为解决问题提供了容易的方法, 但还未作很多试验以验证前述 AWS 的推理是否适用于较小焊缝。

C-9.6.2 箱型截面的 T 形、Y 形和 K 形连接。在 1990 版及更早版本的 D1.1 中，箱型截面的处理方式与圆形截面的处理方式相同。箱型截面基本许用冲击剪应力 V_p 的推导包括了基于简单屈服线限值分析(而非采用假定为最低规定屈服强度 1.5 倍的极限抗拉强度)的 1.8 的安全系数。这就是为什么将冲切剪力用的设计公式中的 F_y 值限定为抗拉强度 2/3 倍的原因。如果合适，还可以假设荷载进行了有利的重新分布。应该预料到在许用荷载水平内会发生局部屈服。可以预测的是，当荷载超过容许静荷载的 120%~160%时会产生挠度超过 0.02D 的全面屈服。

使用限值分析的上限定理(见图 C-9.6)和屈服线图(与图 C-9.7 所示差不多)可以对台阶式箱型连接的极限强度作合理处理。为了求出最小的计算能力(它可能等于或大于实际值)，宜假设出弦杆面塑性破坏的各种屈服图。扇形角部(如 T 形连接)的能力常常低于其他情况所示的平坦形角部。在将破坏试验作为经验设计的评判准则的基础依据时，表 C-9.2 给出的推荐设计系数符合我们利用的应变硬化、荷载重新分布等方法的要求。一般而言，承载能力既为无量纲的拓扑参数 β 、 η 和 ξ (定义如图)的函数，也是弦杆厚度平方值(对应于冲击剪切形式中的 τ 和 γ)的函数。

对于非常大的 β 值 (> 0.85) 和间隙几乎为零的 K 形连接，屈服线分析会得出十分高而不现实的连接能力。在这种情况下，以加劲肋区域的材料剪切破坏和较为柔性区域的降低的能力(即有效宽度)为基础依据的其他限定性条款会对设计产生影响。

虽然旧的 AWS 评判准则包括了这些考虑因素(参考资料 18)，并且既考了弯曲荷载也考虑了轴向荷载(参考资料 19)，但 CIDECT (Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire) (参考资料 20) 和 IIW 分委员会 XV-E 的成员(参考资料 24)已经在过去几年中研究出了体现更大数据库的更加权威的表达式。加拿大的钢结构极限状态设计中已经采用了这些评判准则(Packer 等，参考资料 21)。加拿大规范的格式类似于 AISC-LRFD。在 1992 年版中，这些最新的评判准则都被编进了 AWS 规范中，并且采用的是厚度平方值极限强度格式和 Packer 抗力系数。

C-9.6.2.1 局部破坏。当将公式与试验数据作比较时，不同公式采用的荷载系数也不同，以体现不同量的偏移和离散(参考资料 21)。比如，T 形、Y 形和十字形连接的弦杆面塑性破坏方程式是根据屈服线分析得出的，而忽略了应变硬化的强度储备系数；这一偏差形成一个为整数 1 的安全系数 Φ 。用于有间距的 K 形和 N 形连接的第二个方程式是根据经验推导得出的，它在安全侧也有较小的隐含偏差，并且会导致得出较低的抗力系数。

在间隙连接和搭接连接之间的过渡区域存在没有给出评判准则的一个区域。海洋结构细节设计规程通常会给出 2 in. [50 mm] 的最小间隙“g”或 3 in. [75 mm] 的最小搭接“q”，以避免焊缝的相互干扰。对于较小直径的箱型连接，这些限定与构件尺寸成比例。对于台阶式箱型连接，这些限定也避免了趾部相互接触，这种趾部的接触会产生不成比例的刚性荷载传递路径，但又不能对付由此引起的所有荷载，从而可能导致产生渐进式破坏。

C-9.6.2.2 整体毁坏。为了避免出现一些会导致箱型截面腹板断裂的难处理的柱子翘曲问题(比如参考资料 15)，已经分别更改了受拉、单侧承载和双侧承载情况下的腹板屈服、压皱和横向翘曲的评判准则。给出的抗力系数就是 AISC 给出的抗力系数。Packer(参考资料 22)指出了可用箱型连接试验结果之间的合理、良好关系，其中大部分情况为双侧承载情况。

C-9.6.2.3 非均布荷载(有效宽度)。对于箱型截面，这种问题现在按有效宽度概念予以处理。在这一概念中，传向弦杆较为柔性部分的荷载可忽略不计。9.6.2.3(1)给出了支管评判准则的校核要求，它是在 IIW/CIDECT 工作经验基础上的得出的。焊缝中荷载计算的评判准则(9.5.5)的基础依据是 Packer(参考资料 23)进行的有间隙 K 性和 N 形连接的试验及根据 IIW 有效宽度概念对 T 形、Y 形和十字形连接所作的推断和简化。

C-9.6.2.4 搭接连接。由于 K 形和 N 形可将来自支管的荷载直接传递给其他支管，所以搭接接头减少了对主管的冲击要求，因而允许在桁架中使用较薄的弦杆。这在箱型截面中特别有利，因为构件端部的加工不像圆管那样复杂。

在完全搭接的连接中，搭接支管完全焊在贯穿支管上而与弦杆毫无接触，因而这种连接可使端部制作工作变得更为简单。但对于间隙连接而言，原来存在于弦杆中的冲切问题现在被转移给了贯穿支管，该贯穿支管在承受高的梁的剪切荷载和弯曲荷载的同时也将这些荷载传递到了弦杆上。

大多数搭接连接在完全平衡的荷载状态下进行试验，其中一根支管的横向压缩荷载被其他支管的拉伸荷载所补偿。试验表明，在这种承受平衡且主要为轴向荷载的搭接连接中，没有必要完成贯穿支管趾部的“隐藏”焊缝。但在实际的设计中，局部存在的弦杆剪切荷载或传递到桁架节点的桁条荷载会导致产生不平衡荷载。在这种不平衡荷载中，承受大部分重荷载的构件宜为贯穿支管。贯穿支管的整个周边都要被焊接到弦杆上，并且对加于所有支管的组合接触面上的净荷载作附加校核。

C-9.6.2.5 弯曲。由于用于管材连接弯曲能力的国际评判准则还没有发展得像用于轴向荷载那样好，所以主要弯矩的影响基本被视为是附加的轴向荷载。在设计表达式时，JD 表示的是产生力矩的应力区之间的力矩的一半(之所以为一半是因为仅有一半的轴向能力位于中性轴的每一侧)，这与混凝土设计差不多。在推导表 C-9.3 的 JD 表达式时采用了各种各样的极限限定状态。对于弦杆面的塑化，均匀的冲切剪力或线性荷载能力均为假设情况。在确定材料剪切强度限值使用的是有效宽度。整体毁坏体现了侧壁的破坏机理。最后给出了 JD 的简化表达式，可将这一保守的表达式应用于任何决定性的破坏模式中。

应当注意的是，由于接头旋转导致的偏转可能也很重要，比如建筑中门框框架的侧倾。对于这种情况，以前版本的规范条款规定减少 1/3 的容许连接能力。

C-9.6.2.6 其他结构形式。箱型管和圆管的支管在箱型弦杆上的等效性取决于它们各自的周长($\pi/4$ 是 0.785)。这实际上是应用冲击剪切概念来解决问题(尽管这些国际评判准则总是以极限强度的形式表示)。这一结果落在了可用试验结果的安全侧。

C-9.8 材料限定

可以采用限值分析的上限定理(见图 C-9.6)和与图 C-9.7 所示差不多屈服线图对台阶式箱型连接的极限强度作合理处理。为了求出最小的计算能力(它可能等于或大于实际值)，宜假设出弦杆面塑性破坏的各种屈服图。扇形角部(如 T 形连接)的能力常常低于其他情况所示的平坦形角部。表 C-9.2 给出了推荐设计参数；这些应与规范正文中使用的设计系数保持一致。对于 T 形和 Y 形连接，与 9.5.1 给出的较为简单的表达形式不同的，几何形状修正系数不但是 β 也是 η 的函数。对于 K 形连接，间距参数 ξ 也宜予以考虑。无量纲几何形状参数 η 、 β 和 ξ 的定义见图 9.2。

对于接近零的间隙和接近整数 1 的很大的 β 值，屈服线分析表明接头有不现实的极高能力。还宜对 9.6.1.1 和 9.6.1.3 的限定条款进行校核。

C-9.8.1.3 箱型截面的 T 形、Y 形和 K 形连接。管材连接承受着可能导致局部屈服和塑性应变的集中应力。焊缝趾部的尖锐缺口和不连续以及循环荷载引发的疲劳裂纹对钢材的塑性和缺口韧性提出了附加要求，尤其是在承受循环荷载的情况下。在管材 T 形、Y 形和 K 形连接的主管中，这些要求尤为迫切。对于冷成型箱型管(比如 ASTM A500 钢和以弯板制作的管子)，由于角部存在应变时效，所以在这些严重变形的区域承受了甚至接近焊接的中等热量时韧性会有所降低。宜通过代表最终状态(即管材成型后未经正火的应变和时效状态)的试验来评价此类管材在

拟定用途中的合适性(CVN 试验要求的讨论见 C-9.8.2.2)。

C-9.8.2 管材连接的母材缺口韧性。表 C-9.4、表 C-9.5 和表 C-9.6 按强度组别(I 组、II 组、III 组、IV 组和 V 组)和韧性等级(A 级、B 级和 C 级)列出了一些钢材。列出的这些钢材可为设计人员提供指导信息,并且遵循的是参考资料 9 所述的海洋结构中长期积累的经验 and 下列要求:

强度组别 钢材可按强度水平和焊接特性作如下分组(另见 3.3 和 3.5):

(1) I 组代表的是最低规定屈服强度为 ≤ 40 ksi [280 MPa]的低碳结构钢。这些钢材的碳当量(如附录 H 的 H6.1.1 定义)一般 $\leq 0.40\%$,并且可用规范所述的任何一种方法进行焊接。

(2) II 组代表的最低规定屈服强度在 40 ksi~52 ksi [280 MPa~360 MPa]之间的中等强度低合金钢。这些钢材的碳当量一般 $\geq 0.45\%$,并且要求用低氢方法焊接。

(3) III 组代表的最低规定屈服强度在 52 ksi~75 ksi [360 MPa~515 MPa]之间的高强度低合金钢。如果在每次应用时进行下针对下列方面的调查,则可采用此类钢材:

- (a) 可焊性及可能要求提供的特殊 WPS。一般应采用低氢 WPS。
- (b) 采用较高工作应力时可能产生的疲劳问题;和
- (c) 与断裂控制的其他环节(比如制作、检验工艺、工作应力和温度环境)有关的缺口韧性。

(4) IV 组和 V 组包括屈服强度在 75 ksi ~100 ksi [515 MPa ~690 MPa]之间的高强度结构钢。宜格外注意氢的控制,以免产生开裂,还要控制热输入,以免因过分回火而降低强度。

韧性等级。韧性等级 A、B 和 C 可以覆盖表 C-9.7 的模型中所示的各种临界陈述,阐述如下:

主要(或断裂临界)结构涵盖了那些一次失效将会导致灾难性后果的组件。

次要结构包括那些不会因失效而导致灾难性毁坏,并且在出现失效时结构仍可使用和/或能够使主要损坏都发生在现场之外(比如污染)的组件。

对于高度超静定的管材空间构架结构,在正常荷载甚至一般严重荷载下不大可能因单独一根支撑或其端部连接的断裂而导致毁坏。不过强度会稍有降低,并且在极端超荷载情况下毁坏的危險也会相应增加。

(1) C 级钢是指在冰点以上的工作温度下在焊接结构中得到过成功应用但未规定进行冲击试验的钢材。此类钢适用于涉及到有限厚度、适当的成形加工、低拘束度、不过分的应力集中、

准静态荷载(加载时间为 1 秒或更长)和孤立断裂不至引起灾难性后果的超静定结构的构件。此类应用的示例包括打桩用材料、超静定空间构架的撑杆、横梁和柱。

(2) B 级钢适合在厚度、冷加工、拘束度、应力集中和冲击荷载和/或超静定不足要求均表明需要改善缺口韧性的场合使用。如果规定进行冲击试验,则 B 级钢宜在最低预期工作温度下具有 15 ft·lb [20 J](I 组)、25 ft·lb [34 J](II 组)和 35 ft·lb [48 J] (III 组)的 CVN 能量。这里所列的 B 级钢一般均满足 50°F~32°F [10°C~0°C]温度范围内的夏比冲击试验要求。

这种钢的应用示例包括次要结构中的连接件和主要结构中的支撑杆。当规定对 B 级钢作冲击试验时,通常采用的是按 ASTM A673 的频率 H 进行的炉批试验。但不能保证未作试验的钢复合 B 级钢的韧性要求。

(3) A 级钢适合在零下温度以及涉及上面列举的不利因素组合的临界应用中使用。临界应用要能保证在比最低预期工作温度低 36°F~54°F [20°C~30°C]的条件下进行 CVN 试验。缺口韧性的这种特别大的裕度阻止了来自大不连续的脆性断裂的扩展,并且可在数英寸厚度内停止开裂。此处列举的 A 级钢一般能在-4°F~-40°F [-20°C~-40°C]范围内满足上述夏比试验的冲击要求。A 级钢的冲击试验的频率要求应符合订货时的技术条件;在没有其他要求时,则按炉批次进行试验。

C-9.8.2.1 CVN 试验要求。厚截面受拉构件的这些最低缺口韧性要求与 AISC 最近最近提出的要求保持一致。这些要求在很大程度上依赖于 Barsom(参考资料 16)所述的温度漂移现象。温度漂移影响是指承受静荷载的材料表现出的与承受循环荷载的 CVN 试样在较高温度下试验时表现出的差不多的延展性。对于较高强度等级(即 III 组、IV 组和 V 组),温度漂移影响比较小;此外,断裂力学应变能量释放的考虑因素也建议采用较高的能量值。在炉批次的基础上对轧制钢材进行的试验表明,在一个炉号内冲击性能比强度性能具有更大的离散性,这是值得重视的偏差。不过,它总比根本不进行试验要好。

C-9.8.2.2 LAST 要求。管材连接中的主管承受着可能导致在设计荷载下产生局部屈服和塑性应变的局部应力集中在使用寿命范围内,循环荷载可能会引发疲劳裂纹,从而对钢材塑性提出额外要求。这些要求对于为承受冲击剪力荷载而设计的厚壁接头套管特别严格。

C-9.8.2.3 其他缺口韧性。规定缺口韧性要求时宜考虑下面的(1)~(4)列出的条件。

(1) 水下连接。对于超静定的模板型海洋平台的水下部分,API 建议用作接头套管的钢材

(例如套管腿的接头套管\主要的 X 和 K 形节点中的弦杆以及搭接连接设计中的贯穿构件)应满足表 C-9.8 给定温度下的其中一项缺口韧性评判准则:

(a) NRL 落锤试验。无断裂特性(优先选用)。

(b) CVN 能量:I 组钢材为 15 ft· lb [20 J], II 组钢材为 25 ft· lb, III 组钢材为 35 ft· lb [4 J](横向试验)。

优先选用的 NRL 止裂评判准则来自断裂分析图(参考资料 17)及满足温度漂移 CVN 初始评判准则要求重型连接的失效。当工作温度 40°F [4°C] 时, A 级的任何钢材通常都可以满足这些要求。

(2) 大气中的使用。暴露在较低温度并可能承受冲击荷载的连接或者在任何部位都希望防止所有脆性断裂的关键性连接宜考虑采用韧性更好的 A 级钢, 比如 API 规范 2H 中的 Gr. 42 或 Gr. 50 钢材。对于屈服强度 ≥ 50 ksi [345 MPa]的钢材, 宜特别注意焊缝工艺, 以免 HAZ 劣化。即便是要求较低的普通结构也不推荐将下列组别/等级的母材作为管材连接的主管: IIC、IIIB、IIIC、IV 和 V。

(3) 关键连接。对于涉及到高拘束(包括不利的几何形状、高屈服强度、厚截面或任何这些条件的组合)的关键连接以及在使用中承受全厚度方向的拉伸荷载的关键连接, 宜考虑采用已经改善了全厚度方向(Z 方向)性能的钢材, 比如 API 规范 2H 增补刊 S4 和 S5 或 ASTM A770 中规定的钢材。

(4) 支撑杆端部。虽然管材连接中支撑杆的端部也承受应力集中, 但工作状态并不完全像主管(或接头套管)那样严重。对于关键性的支撑杆, 其脆性断裂将是灾难性的, 宜考虑使用与接头套管钢材级别相同或低一个级别的粗短端部支撑杆。无需将这一要求应用于连接之间的支撑杆杆体。

C-9.11 CJP 坡口焊缝要求

C-9.11.1 对接接头。如果 T 形、Y 形和 K 形连接的坡口细节有别于 3.13.4 的细节, 或者存在一些与这些接头细节是否适用于新的 WPS 的问题, 则要求制作焊接件或接头样品, 以确认 WPS 有效。

C 部分: 焊接工艺规程(WPS)的评定

C-9.12 WPS 和焊接人员技能评定的通用要求

C-9.12.1 试验焊缝的位置。本小节规定了评定试验焊缝和产品焊缝的施焊位置。除只用一种位置焊接的气电焊和电渣焊外，对于所有 WPS 来说，位置都是一个基本参数。评定试验焊缝位置和形状与所评定的焊缝类型和位置之间的关系如表 9.9 所示。在工作中实际使用之前，必须对结构建造中将要遇到的焊缝进行试验和评估。这将确保把所有必要的焊接位置都作为评定过程的组成部分予以试验。

C-9.14 WPS 评定的评定试验类型、试验方法及验收准则

C-表 9.10 WPS 评定—CJP 坡口焊缝；所评定试样的数量和类型及厚度和直径的范围。管材的 WPS 评定包括大直径管材。可采用诸如 SAW 之类的自动焊接工艺进行大直径管材的 WPS 评定，并且可将其应用于任何大直径管材可采用的焊接工艺中，但 8 in. [200 mm] Sch. 120 管除外。

C-9.15 管材连接的 CJP 坡口焊缝

管材构件的焊接在一些重要方面不同于常规板材和宽翼缘板构造的焊接。环绕接头焊接时位置常常连续变化；在 T 形、Y 形和 K 形连接中，接头几何形状也会变化。焊缝的根部常常难于施焊，并且衬垫的使用也会受环境限定(比如将管带作为导管的情况或者是具有复杂几何形状的 T 形、Y 形和 K 形连接)。但对于许多结构，使用条件要求这些焊缝应符合强度和疲劳性能的要求，而这常常是与 CJP 坡口焊缝联系在一起。为了满足这些要求，目前已经编制出了一整套关于管材结构的 WPS 和焊工评定及免评定结构细节方面的专业规程。这些条款是对对本规范其他业已给出的条款的补充。

一些特定的管材应用中允许不用衬垫仅从外侧施焊 CJP 坡口焊缝：

(1) 管材对接接头。在对接接头中，承受循环荷载的结构和承受静荷载的结构方面的传统要求禁止从一面施焊 CJP 坡口焊缝，但它们在压力管道应用中得出了广泛应用。现在也允许在管材结构中使用这种焊缝，但需要符合 15.2 的所有特定要求。

(2) T 形、Y 形和 K 形连接。如果 T 形、Y 形和 K 形连接的坡口细节有别于 9.11.2 的细节，或者存在一些与这些接头细节是否适用于新的 WPS 的问题，则要求制作焊接件或接头样品，以确认 WPS 有效。

由于要考虑接头设计以外的一些基本参数，则可能要进行附加 WPS 评定试验。这些包括(但不限于)下述情况：

- (a) 使用免评定范围以外的焊接方法(比如 GMAW-S)。
- (b) 使用免评定范围以外的母材或焊接材料(比如使用特许钢材或对厚的材料根部焊道使用非低氢焊接材料)。
- (c) 使用免评定范围以外的焊接条件(比如电流、电压、预热温度、焊接速度和移动方向)。
- (d) 满足业主特殊试验要求(比如冲击试验)。

按照表 9.9 和图 9.27 所示, 对于采用箱型管截面和单面焊接的 T 形、Y 形和 K 形连接的 CJP 坡口焊缝的评定需作附加试验。在这种试验中, 焊工应证实其具备环绕箱型管构件角部熔敷完好焊缝的技能和技术。角焊缝与 PJP 焊缝无需作宏观腐蚀试验(详细讨论见条文说明 C-9.19)。

这些试验应采用图 9.25 和图 9.27 的接头形状, 以模拟根部条件及 T 形、Y 形和 K 形连接的难以接近之处。然后按表 9.10 制备用于力学性能试验的常规试样。

本规范还提供了 T 形、Y 形和 K 形连接的 PJP 焊缝要求。它们可由通过 2G+5G 位置评定的焊工来施焊。这在没有通过 6GR 评定的焊工的情况下可能有用处。虽然可以采用较低屈服强度, 但这种接头的静载强度几乎与 CJP 相同, 尤其在用 E70 填充金属焊接低碳钢的情况下。

C-9.15.4 不用衬垫仅从一面施焊的 T 形、Y 形或 K 形连接。在详细描述的条件下(见图 9.12 和图 9.14~图 9.16), 规范允许不用衬垫仅从一面施焊管材 T 形、Y 形和 K 形连接中的 CJP 坡口焊缝。难于接近的部位和复杂的几何形状使得无法应用常规技术。焊工需具备很高的技能(例如通过 6GR 评定考试)。当使用匹配的材料(见表 3.1)时, 可以认为这种接头与按照 9.5 和 9.2.7 的限定条件连接的断面强度相等。

在制作 T 形、Y 形或 K 形连接的焊缝时, 在绕着接头焊接的同时, 焊缝几何形状与位置不断发生变化。图 9.12 和图 9.14~图 9.16 所示细节是由全位置 SMAW 和快速凝固的 GMAW-S 的经验发展而来的。这些细节也适用于具有相似快速凝固特性的 FCAW。对于 GMAW, 需要用更宽的坡口(和更宽的根部间隙)来焊枪的导电咀。虽然 GMAW 的短路过渡不免除评定, 但接头细节仍适用于这种 GMAW WPS。

在许多应用中(特别是采用小型管材的应用), 9.10.1 规定的 PJP 完全满足要求。虽然要求设计人员作补充的强度校核, 但对装配与焊工技术的不太严格的要求却对工作有显著的经济意义。对于可以进入内部施焊的非常大的管子, 则可从两面施焊常规 CJP 坡口焊缝。

对于需要增强 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝疲劳性能的应用，规范早在 C-9.2.7.7 中提到过一套“标准”焊缝剖面形状。一旦学会，则宜称为焊工焊接的厚度的自然剖面形状。它们从下述经验发展而来。

对于非常薄的管材连接，扁平的焊缝剖面形状 (图 9.14)代表了通常在海岸应用中使用的小管材连接上得到的剖面形状，它们也类似于从某些用于开发历史疲劳数据库的比例模型上得到的剖面形状。这里整个盖面焊缝均是单道焊，需要时也带摆动。当使用 E6010 焊条时，技艺较高的盖面焊专家能够焊出这种与邻近母材呈光滑熔合过渡的下凹剖面形状。高强度钢和大厚度截面的出现需要采用低氢焊条，并且高熔敷率的引入需要半自动焊接方法，因此这种焊接技艺看来已是失传的技艺。

对于更大的厚度，需要时应在焊缝趾部增焊一条角焊缝，以限定焊缝趾部的缺口效应并使之具有 45°角焊缝的效果(见图 9.15)。这些角焊缝的尺寸应与支管的厚度成比例，以形成接近于下凹的焊缝形状。不过我们也需要保持角焊缝的最小尺寸，以免焊趾的 HAZ (此处也是在设计荷载水平下可能遭受局部屈服的“热点”部位)产生危险的高硬度。这一替代的“标准”剖面形状更易于被传达给焊工，并且这种剖面形状比规范早期版本所示的理想化下凹剖面形状更加易于焊接。形成的焊缝剖面形状非常像早期墨西哥湾海上平台的那种剖面形状(这种剖面形状使用了几十年后其疲劳性能仍符合 X1、K1 和 DT 类别要求)。

对于厚度超过 0.625 in. [16 mm]的支管(通常与厚度超过 1.25 in. [32 mm]的弦杆有关)，既没有可供设计人员查询的历史疲劳数据，也没可借鉴的早期墨西哥湾平台经验。

如果不能进一步改善焊缝剖面形状，则厚度尺寸增大的影响开始显现，疲劳性能将会向较低的 X2 和 K2 类别下滑。1.5 in.[38 mm]的支管厚度和 3 in. [75 mm]的弦杆厚度代表近来欧洲大规模试验的限值，如果有尖锐缺口的焊缝剖面形状成比例地进一步增加，则可预测尺寸产生的更多不利影响(性能低于 X2 和 K2)。图 9.16 描述了向邻近母材平滑过渡的下凹形焊缝剖面形状，它减小了缺口的影响并且改善了大型截面的疲劳性能。

第 4 节 B 部分规定的 WPS 评定用标准化管材对接接头试样可被用于确定 WPS 和材料的冶金性能的完好性。它们不能涵盖结构 T 性、Y 形和 K 形连接中遇到的各种几何形状和位置的全部范围。

9.11.2 所述免评定接头细节的基础依据是从常常暴露了标准试样不能显示出来的实际问题的全尺寸模拟件上获得的经验。不免除评定的焊接方法的评定以及基本参数超出免评定范围的 WPS 评定要符合 9.15.4.1 条款的规定。该小节规定了接头试样或管材模拟件的试验要求。用于箱型截面的 WPS 可以板材或管材的焊接位置和适配性试验为基础。当考虑 T 形、Y 形和 K 形连接的箱型截面用的模拟件试验时，则宜采用箱型管。

坡口角度小于 30°的连接应按 9.15.4.2 所述要求作补充试验。

C-9.15.4.4 要求具备 CVN 韧性的焊件。焊缝金属和 HAZ 的韧性宜以与母材韧性要求相同的工程需要为基础依据。但仅仅通过增加韧性来防止断裂的做法实际上并不值得。疲劳开裂、氢致冷开裂和凝固热开裂均宜予以考虑。规范的其他部分通过设计、评定、技术和检验要求讨论了此类其他问题。缺口韧性只是帮助我们适应不完美的解决方案。

焊缝金属。具备缺口韧性的母材一与性能一致的填充金属相连接。为了与表 C-9.4、表 C-9.5 和表 C-9.6 所列的各种级别钢材的性能相匹配，推荐采用表 C-9.9 的试验温度和最小能量值。当要求通过试验评定 WPS 时(也就是说，当 WPS 不免除评定及类似冲击性能预先未得到证实时，或者当使用的焊接材料超出以前试验的基本参数范围时)，评定宜包括熔敷态焊缝金属 CVN 试验。试样宜取自试验焊缝，并按第 4 节 D 部分 CVN 试验要求进行 CVN 试验。允许单个试样(三个试样中的一个)的能量值降低 5 ft·lb [7 J]而不必复验。

因为 AWS 的 WPS 要求主要与抗拉强度和焊缝完好性有关(不太强调断裂韧性)，因此适合考虑对断裂韧性有影响的附加基本参数，比如特定牌号的焊丝/焊剂组合和 SAW 焊接材料在按 AWS 等级实际测试的范围之内的限制。注意，规定的能量水平高于 AWS 等级的 A 级钢要求通过试验来评定所有 WPS，而非授予它们免评定状态。

CVN 试验是一种定性评价材料韧性的方法。虽然缺乏裂纹尖端张开位移(CTOD)试验的断裂力学根据，但当与排除焊缝区域缺陷的 NDT 确定的程序一起使用时，这种方法已经是并且继续是断裂安全性的合理度量。这里给出的建议的基础依据是位于中等温度环境(比如 40°F [4°C] 的海水和 14°F [-10°C] 的空气)的结构提供了令人满意的断裂表现的实践。对于更加恶劣或不太恶劣的环境，宜根据当地温度重新考虑冲击试验温度。

对于关键的焊接连接，更加具有技术性的 CTOD 试验更为合适。应采用足尺试样在代表工程应用的实际温度和应变速率的条件下进行 CTOD 试验。这种试验产生了对工程断裂力学分析

和缺陷评估有用的定量资料，其中所需的 CTOD 与预期的应力水平(包括残余应力)和缺陷尺寸有关。

要求的代表性 CTOD 值的范围是 40°F 时的 0.004 in.[4°C 时的 0.10 mm]到 14°F 时的 0.015 in. [-10°C 时的 0.38 mm]。如果要达到更高的韧性水平，则可能需要克服一些焊缝方法的其他特性导致产生的困难，比如用下坡焊的低热输入和高度精致的焊层换得上坡焊道无夹渣和更大的熔深。

HAZ。除了焊缝金属韧性外，还应当考虑控制 HAZ 的性能。虽然焊接热循环有时会改善低韧性的轧制态母材，但这一区域的韧性常会有所降低。焊道下氢致开裂常发生在 HAZ 内。管材焊接接头的大量早期失效均与断裂有关，这种断裂要么起源于 HAZ 中，要么穿过 HAZ 进行扩展，并且常常发生在承受有效疲劳荷载之前。

第 4 节 D 部分给出了焊缝金属和 HAZ 两者的取样要求，还包括了合同文件中载明的 CVN 试验能量值和温度。经验表明，表 C-9.10 的平均 HAZ 值是合理可获得的值，并且允许单个试样(三个试样中的一个)的能量值降低 5 ft·lb [7 J]而不必复验。

如果提高组件性能具有重要性，则应规定更低的 HAZ 试验温度(这意味着采用更有约束性的 WPS)，以使其与邻近的焊缝金属和母材性能更加匹配，而不致成为这一系统中潜在的薄弱环节。业主也许希望 HAZ 的取样比第 4 节 D 部分要求的单组 CVN 试样的取样范围更大，比如在距离熔合线 0.4 mm、2 mm 和 5 mm 处取样(这些尺寸可随热输入而改变)。取样范围越大，则发现具有低韧性值的局部脆性区的可能性越大。

由于 HAZ 的韧性既取决于焊接参数也取决于钢材，所以处理这一问题的更好的替代办法就是对钢材的可焊性进行预先评定。C-2 的参考资料 25 研究出了一种既采用 CTOD 试验，又采用 CVN 试验的预先评定工艺。这种预先评定试验目前被用作高性能钢(比如 API 规范 2W 和 2Y 所述钢材)的补充要求，并且一些制造商也承认将其作为一项要求。

注意：本规范第 4 节允许通过用一种 50 ksi[345 MPa]钢的试验覆盖其他 50 ksi[345 MPa]及以下的钢材。当选择 API-2H-50-Z(硫含量非常低，并且 CVN 上限值为 200 ft·lb [270 J])作为评定试板时，即便采用高热输入和高的道间温度施焊也可以确保满足 25 ft·lb [34 J]的 HAZ CVN 试验要求。

没有根据这一试验推断预期会再现 HAZ 冲击能量的普通 A572 50 级钢的试验结果或者 API-2H-50-Z 试验呈 8:1 降级的试验结果的合理方法。因此, 如果 HAZ 韧性值是由 WPS 试验获得的, 则宜考虑按不同钢材级别、不同厚度范围和不同加工途径分别进行 CVN 试验。

局部脆化区(LBZ)。在 HAZ 内的焊缝可能存在局部脆化区。在特定条件下, 这些脆化区产生有害影响。工程师宜考虑 LBZ 的危险并决定应当采取什么对策来限定 LBZ 的范围及它们对结构性能的影响。下面列出了近海平台中采用的一些对策和缓解措施:

- (1) 采用有中等抗裂能力的钢材, 比如 NRL 落锤试验中不破裂(有小的不连续)的钢材。
- (2) 对进行了常规正火的 42 ksi~50 ksi [290 MPa~345 MPa]碳锰钢(这种钢材中的焊缝和 HAZ 屈服强度高于邻近母材, 从而迫使塑性应变向别处扩展)采取过强度匹配和应变硬化。
- (3) 管材焊接接头中的疲劳裂纹呈现在达到相当大的尺寸之前蔓延到 HAZ 之外的趋势(假设其避免了连接套管焊缝与支管接触处的不利相切)。
- (4) 焊接工艺中对焊层厚度的免评定限制, 这种限制和热输入限制共同促使 HAZ 内的晶粒细化并使 LBZ 范围减至最小。
- (5) 改变化学成分, 比如减少钒和氮含量及增加钛含量。

D 部分: 技能评定

C-9.17 评定的产品焊接位置、厚度和直径

C-表 9.13。在圆管(或方管)管材上的焊接并不一定意味着管材的焊接就此完成。沿圆管周长的焊接和沿平行于管的轴线(中心线)的焊接明显存在差异。对接接头的环焊缝完全不同于用卷板制成的管材的纵向坡口焊缝; 套管接头的角焊缝完全不同于沿管的长度方向附加的板材的角焊缝。沿平行于管材轴线的直线进行焊接的技巧与笔直地焊接钢板轧制型材的技巧显然毫无二致; 因此, 管材产品结构的限定不适用于直线焊接的情况。见图 C-9.8。

允许用实际产品尺寸的圆管或方管对焊工进行技能评定, 因为承包商并不总是能够得到表 9.14 规定的焊工技能评定用尺寸的管材。

C-9.19 管材连接的 CJP 坡口焊缝

由于在管材 T 形、Y 形和 K 形连接中成功焊接 CJP 坡口焊缝需要具备特殊技巧, 所以始终要求采用这种焊接工艺的焊工通过 6GR 评定。此外, 如果要采用小于 30°的坡口角度, 则还需

要每个焊工能通过 9.15.4.2 中规定的采用锐角接头试样的考试。当技能评定中采用箱型管时，不可用正面弯曲试验评定焊工在陡变转角周围焊接完好焊缝的能力。因为这些连接的角部可能存在很大的应力，所以这些弯曲试验不能满足 T 形、Y 形和 K 形连接的 CJP 坡口焊缝要求。当要求 CJP 时，由于会涉及到焊工证实他们焊接箱型管角部的技能，所制定了图 9.27 的角部宏观腐蚀试验。

对于打算焊接箱型管 T 形、Y 形和 K 形连接中的 CJP 坡口焊缝的焊工，图 9.27 所示的角部宏观腐蚀试验是要求进行的补充技能测试。

在这种情况下，如果满足表 9.13 和 9.15.4.2 的全部要求，则通过了图 9.25 所示圆管和方管 6GR 评定试验的焊工仅需通过图 9.27 所示的附加角部宏观腐蚀试验。

如果承包商希望对没有 6GR 资格的焊工进行箱型管 T 形、Y 形和 K 形连接中 CJP 坡口焊缝的评定，则该焊工须按照表 9.14 的限定使用圆管或箱形管焊接图 9.25 和图 9.25 所示的 6GR 试件。另外，焊工必须成功通过图 9.27 所示的角部宏观腐蚀试样；如果采用箱型管，则须通过采用按图 9.25 或图 9.26 所示从试验焊件上切取角部截面进行的宏观腐蚀试验。

2G+5G 或 6G 管材试验的评定范围也包括箱型管中的对接接头(适用性取决于厚度，而不靠直径)，但反之则不然。这些对接接头不一定要进行图 9.27 的角部宏观腐蚀试验，因为所有产品接头都需按 9.26.2 要求作 NDT。

表 9.14 并不在圆管和箱型管之间作出区分，故此给出了下列解释：

- (1) 6GR 管材试验的评定范围也包括箱型管中的 T 形、Y 形和 K 形连接及坡口焊缝。
- (2) 5G 和 2G 管材试验的评定范围也包括箱型管(适用性取决于厚度，而不靠直径)，但反之则不然。
- (3) 箱型管中坡口焊缝的评定范围也包括板材(如果在表 9.13 和 4.19 的限定范围内，则反之亦然)。
- (4) 当技能评定中采用箱型管时，不可用正面弯曲试验评定焊工在陡变转角周围焊接完好焊缝的能力。因为这些连接的角部可能存在很大的应力，所以这些弯曲试验不能满足 T 形、Y 形和 K 形连接的要求。当用箱形管进行 6GR 试验时，建议用 RT 对角部进行评估。

规范中也提供了 T 形、Y 形和 K 形连接的 PJP 焊缝要求。可由通过管材 2G+5G 评定的焊工了施焊这些焊缝。

E 部分：制作

C-9.23 衬垫

C-9.23.1 全长衬垫。经验已经表明，在钢衬垫中，紧配合但不焊接衬垫的方形对接接头构成了严重缺口及类似开裂的状态，当未熔合区域垂直于应力场时，它可能会导致焊缝中产生横向裂纹。在许多情况下，这样的裂纹会扩展到母材中。

在一些衬垫板条几何形状需要将衬垫断开以及由于可达性原因而阻碍了衬垫焊接的细节中，衬垫的断开是不可避免的。平行于构件轴线焊接的衬垫将随构件产生应变。对于未焊接的衬垫断开之处，当其垂直于应力场时，则将会造成应力集中和缺陷。这种应力集中可能诱发开裂。残余应力、严重的拘束和循环荷载增大了产生这种开裂的风险。除非在施加的应力中存在反向应力，否则压应力可以降低开裂风险。对于选择的特定应用或工程师批准的情况，规范允许采用不连续的衬垫。

C-9.24 接头尺寸公差

C-9.24.2.2 矫正。对于超过图 5.3 和表 9.15 要求的根部间隙，可通过在坡口面的一侧或两侧堆焊的方式予以矫正。矫正根部间隙时，用户必须要获得工程师的必要批准。只有在接头已经矫正到符合规定的根部间隙公差后方可施焊最终焊缝，以将收缩量降至最小。

F 部分：检验

C-9.26 NDT

C-9.26.1 管材结构的焊缝质量要求基本与承受静荷载的结构的焊缝质量要求相同。RT 通常不能被成功用于检测管材的 T 形、Y 形和 K 形连接。

C-9.26.2 管材连接要求。6.12.1 的静荷载 RT 要求适用于对接接头中留有余高的纵向坡口焊缝。对于循环荷载，RT 要求与类别 C 细节的降低许用的应力范围保持一致。如果为了提高疲劳性能而去除焊缝余高，则也要更新 6.12.2 的循环荷载 TR 验收准则，以保持一致。

按照前面段落的逻辑，在对接接头的纵向坡口焊缝中用 UT 代替 RT 时，通常可采用非管材结构的验收准则。9.27.1.1 中 R 级管材的 UT 要求与 ASME 锅炉和压力容器规范第 VIII 卷的要

求差不多，并且也可以考虑将其用于纵向坡口焊缝。纵向坡口焊缝根部情况的宽松规定不适用于承受循环荷载的受拉坡口环焊缝。

由于管材与管材之间的 T 形、Y 形和 K 形连接中的焊缝的几何形状复杂，故而 RT 并不适用。可采用 9.27.1.2 中 X 级的内部 UT 验收准则，这是因为其疲劳性能类似于留有余高的基本剖面形状的疲劳性能。当工程师规定按 9.2.7.6 改进表面形状，以将疲劳性能改善到表 9.4 的类别 I 时，也可以将内部检验的验收准则提高到 R 级。

见 P. W. Marshall“基于经验的管材结构超声拒收准则的适用性”，验收准则在焊接结构中的适用性，AWS/WRC/WI 会议记录，亚特兰大，1982 年 5 月(另见 IIW 第 2 届国际管材结构焊接会议记录，波斯顿，1984 年)。

C-9.27 UT

C-9.27.1 管材连接的 UT 验收准则。第 6 节的 6.13.1 和 6.13.2 中列出的 UT 工艺和验收准则不适用于管材 T 形、Y 形和 K 形连接。9.27.1 列出了后者的验收准则。合同文件中宜注明检测范围、所采用的验收准则(R 级或 X 级)及适用场合。由于管材 T 形、Y 形和 K 形连接的几何形状复杂，所以诸如第 6 节中那些标准化的逐步 UT 工艺并不适用。只要满足了下述一般原则的要求，则任何种类的设备和技術都能获得令人满意的结果。

检查技术宜充分考虑到接头的几何形状。可通过将焊缝理想化的局部分布连接到两块平板上的方式来简化这一要求。在这种情况下，主要的变量为局部二面角、材料厚度和坡口面制备；然后再引入作了校服修正的曲率影响。测绘标度板有助于把超声束叠置在焊缝横截面的视图上。检验应以局部焊缝轴线(而不是支管轴线)为参考。宜努力使声束取向垂直于焊缝的熔合线；在某些情况下，这将意味着用多种换能器角度作多次检测。

用波幅校准来估计不连续大小时宜考虑到声程衰减、传输机理(以便校正表面粗糙度和曲率的差别)和不连续的取向(即表面的不连续可以比内部同样大小的不连续产生更大的回波)。传输修正的描述见参考资料 10 的 3.6.5。

对于小直径 (12 in. [300 mm]以下)和/或薄壁(1/2 in. [12 mm]以下)管材而言，波幅校准比较困难。在管材 T 形、Y 形和 K 形连接的根部区域常常存在不能单靠波幅来评价的凸起的角反射体；在这种情况下，波束轮廓技术对于确定较大不连续的尺寸很有用处。波束轮廓技术的描述见 C-2 参考资料 10 的 3.8.3.2。

在考虑下列因素时，宜结合应用 UT 验收准则与工程师的判断：

- (1) 对于含有仅从外侧施焊的 CJP 坡口焊缝的管材 T 形、Y 形和 K 形连接(见图 9.12 和图 9.14~图 9.16)，根部不连续的危害较小，并且比焊缝其他地方的不连续难以修补。
- (2) 应当清楚的是，错判(未在随后的返修中得到证实的 UT 不连续)和偶然漏判不连续这两者情况都可能发生。前者是检验的一部分代价，而后者则强调需要超静定结构和缺口韧性钢。

C-9.28 RT 工艺

C-9.28.2 IQI 的选用和放置。由于射线照相的灵敏度和射线照片合格与否均以所需 IQI 的图像为准，所以要注意描述所需 IQI 的制造商和用途。IQI 应被放置在受检焊缝接头的胶片末端，该末端的几何失真预计会使射线底片上出现图 6.6~6.9 所示的灵敏度不足。

C-9.30 T 形、Y 形和 K 形连接的 UT

本节的 UT 要求阐述了可用于检测管材结构，特别是 T 形、Y 形和 K 形连接的技术。当反射体超出波束边界范围时，用小于波束高度(见图 9.30)的条状反射体尺寸(H)来判定高度的准确性要比确定长度的准确性小很多，比确定长度的精确性小得很多，因此要求更加注意对工艺的评定与审批及超声操作人员的训练与认可。

本节给出了工艺、人员及其技能评定的要求。它在很大程度上以发展起来的固定式近海平台的管材焊接结构的实践为基础依据。这些在参考资料 10 中作了详述。

C-9 的参考资料

1. Marshall, P. W.和 Toprac, A. A.。“管材接头设计的基础依据”。Welding Journal. Welding Research Supplement, 1974 年 5 月(另见美国土木工程师协会预印本 2008)。
2. Graff, W. J., 等。“管材接头设计考虑因素的评论”。管材结构委员会工作进展报告，ASCE 预印本 810043。纽约：1981 年 5 月。
3. Marshall, P. W.和 Luyties, W. H.。“疲劳设计中国的许用应力”。第 3 届国际海岸结构性能会议纪要。波士顿：1982 年 8 月。
4. Yura, Joseph A.等。“弦杆应力对管材接头极限强度的影响”。PEMSEL 报告 82.1。德克萨斯大学：美国石油学会，1982 年 12 月。
5. Stamenkovic, A.等。“空心圆钢管 T 形接头内荷载的相互作用”(包括 P. W. Marshall 的论述)。

Journal of Structural Engineering. ASCE 9 (109): 1983 年 9 月。(另见应力钢结构中的接头的国际会议记录。Teeside Polytechnical Institute, 1981 年 5 月。)

6. Rodabaugh, E. C. “与固定式海岸平台所用管材接头设计相关的数据的评论”。WRC Bulletin. 256, 1980 年 1 月。

7. Cran, J. A., 等。《空心结构型材—连接设计手册》。加拿大: The Steel Company of Canada (STELCO), 1971。

8. Marshall, P. W. “海上结构用管材接头设计的基本考虑因素”。WRC Bulletin 193, 1974 年 4 月。

9. 美国石油协会。《海上固定平台规划、设计和建造的推荐规程》。API RP 2A, 第 17 版。达拉斯州: 美国石油协会, 1987。

10. 美国石油协会。《海上结构超声检测推荐规程及无损检测人员资格评定指南》。API RP 2X, 第 1 版。达拉斯州: 美国石油协会, 1980。

11. Haagenzen, P. J. “改善焊接接头的疲劳性能”, 海上焊接结构国际会议记录, 36。伦敦, 1982 年 11 月。

12. Snedden, N. W. “提出海上结构焊接接头疲劳设计规则的背景”。英国: 英国能源部, AERE Harwell, 1981 年 5 月。

13. Marshall, P. W. “尺寸对管材焊接接头的影响”。ASCE 结构会议 1983, Session ST6。休斯顿, 1983 年 10 月。

14. 美国汽车工程师协会。《美国汽车工程师协会疲劳设计手册》, AE-4。Warrendale: 美国汽车工程师协会, 1968。

15. Davies, G., 等。 “全宽度 RHJS 十字接头的性能”。IIW 第 2 届国际管材结构焊接会议记录。波斯顿: Pergamon Press, 1984 年 7 月。

16. Rolfe, S. T. 和 Barsom, J. M. “结构中的疲劳和断裂控制”。Prentice Hall, 1977。

17. Carter, R. M., Marshall, P. W. 等。 “海上结构的材料问题”, 海上结构会议记录。OTC 1043, 1969 年 5 月。

18. Marshall, P. W. “利用 AWS D1.1 设计管材连接”。Welding Journal, 1989 年 3 月。

19. Sherman, D. R. 和 Herlache, S. M. “横梁与矩形管柱的连接”。AISC 全国钢结构会议。迈阿密, FL, 1988 年 6 月。

20. Giddings, T. W.和 Wardenier, J.。《空心结构型材中承受静荷载的焊接连接的强度和性能》，第 6 节，CIDECT Monograph. British Steel Corp. Tubes Div., 1986。
21. Packer, J. A.、Birkemoe, P. C.和 Tucker, W. J.。“CIDECT 专论在加拿大的实施情况”。CIDECT 报告。5AJ-84/9E, IIW Doc. SC-XV-84-072。多伦多大学，1984 年 7 月。
22. Packer, J. A.。“美国 RHS 腹板压皱条款的评论”。ASCE Journal of Structural Engineering, 1987 年 12 月。
23. Packer, J. A. 和 Frater, G. S.。“空心型材接头的焊接设计”。CIDECT 报告。5AN-87/1-E, IIW Doc. XV-664-87, 多伦多大学，1987 年 4 月。
24. 国际焊接学会。IW S/C XV-E, 《空心型材接头的设计建议—主要承受静荷载的接头》，第 2 版，IIW Doc.XV-701-89。赫尔辛基，芬兰：国际焊接学会，1989 年 9 月。
25. 美国石油协会。《海上结构用钢板试生产评定的推荐规程》，API RP2Z, 第 1 版。达拉斯州：美国石油协会，1987。

表 C-9.1 管材直径/厚度和平面宽度/厚度限值的综述(见 C-9.2.2)

F _y (单位: ksi)									
AWS 连接设计				构件设计					
局部破坏极限	弦杆侧壁屈服	锥度 1:4 的	9.6 规则的适用	全塑性设	有限旋转	屈服力矩或弹	完全轴向屈服	局部翘曲公式限定	

	$V_p=0.57F_{y0}$	是的整体 体毁坏	圆锥 形管	性	计	时的 塑性 力矩	性行为 限定			
圆管	16(K 形) 12(T&Y 形) 9(X 形)	—	30	$\frac{3300}{F_y}$	$\frac{1300}{F_y}$	$\frac{1500}{F_y}$	$\frac{6000}{F_y}$	60	300	API RP2A
					—	$\frac{2070}{F_y}$	$\frac{8970}{F_y}$	$\frac{3300}{F_y}$	$\frac{13000}{F_y}$	AISC
箱型管	8(K&N 形) 7(T&K 形)	22	20	间隙连接: $\frac{210}{\sqrt{F_y}} \leq 35$	$\frac{190}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{210}{\sqrt{F_y}}$	M=S(F _y -10)时为 $\frac{238}{\sqrt{F_y-10}}$	$\frac{238}{\sqrt{F_y}}$	无限制	AISC A 级
				搭接连接: $\frac{190}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{150}{\sqrt{F_y}}$		$\frac{238}{\sqrt{F_y}}$			AISC B 级

F_y(单位: MPa)

AWS 连接设计					构件设计					
	局部破坏极限 $V_p=0.57F_{y0}$	弦杆侧壁屈服是的整体毁坏	锥度 1:4 的圆锥形管	9.6 规则的适用性	全塑性设计	有限旋转时的塑性力矩	屈服力矩或弹性行为限定	完全轴向屈服	局部翘曲公式限定	
圆管	112(K 形) 84(T&Y 形) 63(X 形)	—	210	$\frac{23100}{F_y}$	$\frac{9100}{F_y}$	$\frac{10500}{F_y}$	$\frac{42000}{F_y}$	60	300	API RP2A
					—	$\frac{14490}{F_y}$	$\frac{62790}{F_y}$	$\frac{8731}{F_y}$	$\frac{91000}{F_y}$	AISC
箱型管	56(K&N 形) 49(T&K 形)	15.4	140	间隙连接: $\frac{556}{\sqrt{F_y}} \leq 35$	$\frac{503}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{556}{\sqrt{F_y}}$	$M=S(F_y-70)$ 时为 $\frac{630}{\sqrt{F_y-70}}$	$\frac{630}{\sqrt{F_y}}$	无限制	AISC A 级
				搭接连接: $\frac{503}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{397}{\sqrt{F_y}}$		$\frac{630}{\sqrt{F_y}}$			AISC B 级

注:

1. AISI A 级=热成型
2. AISI B 级=冷成型和焊接。
3. 对于箱型截面构件的设计, 平面宽度可取为 D-3t。

表 C-9.2 推荐的设计系数(见 C-9.6.2)

静荷载安全系 K 的假设值	荷载增加 1/3 后的安全系 数

可应用过的连接极限断裂强度(包括应变硬化的作用等):

故障安全结构及按 9.5.1 进行的设计	1.5 ^a	1.8	1.4
单次失效会引起灾难后果的临界构件	1.5 ^a	2.7	2.0
不允许有局部变形的建筑应用	1.0	1.7	1.3

^a 适用于主管的 F_y 不超过规定最小抗拉强度 2/3 的情况。

表 C-9.3 JD 值(见 C-9.6.2.5)

主要的失效模式	面内弯曲	面外弯曲
塑性弦杆壁失效	$\frac{\eta D(\beta + \eta/2)}{2(\beta + \eta)}$	$\frac{\beta D(\eta + \beta/2)}{2(\eta + \beta)}$
弦杆材料剪切强度	$\frac{\eta D(\beta_{eop} + \eta/2)}{2(\beta_{eop} + \eta)}$	$\frac{\beta D(\eta + \beta_{eop}(1 - \beta_{eop}/2\beta))}{2(\eta + \beta_{eop})}$
整体毁坏	$\frac{\eta D + 5t_c}{4}$	$\frac{D}{2}$
支管有效宽度	$\frac{\eta D(\beta_{eoi} + \eta/2)}{2(\eta + \beta_{eoi})}$	$\frac{\beta D(\eta + \beta_{eoi}(1 - \beta_{eoi}/2\beta))}{2(\eta + \beta_{eoi})}$
任何模式的保守近似值	$\frac{\eta D}{4}$	$\frac{\beta D}{4}$

表 C-9.4 结构钢板(见 C-9.8.2)

强度组别	韧性等级	技术条件和级别	屈服强度		抗拉强度	
			ksi	MPa	ksi	MPa
I	C	ASTM A36 (厚度≤2 in. [50 mm])	36	250	58-80	400-550
		ASTM A131 A 级(厚度≤1/2 in. [12 mm])	34	235	58-71	440-490

I	B	ASTM A131 B 级、D 级	34	235	58-71	400-490
		ASTM A573 65 级	35	240	65-77	450-550
		ASTM A709 36T2 级	36	250	58-80	400-550
I	A	ASTM A131 CS 级、E 级	34	235	58-71	400-490
II	C	ASTM A242 (厚度 $\leq 1/2$ in. [12 mm])	50	345	70	480
		ASTM A572 42 级 (厚度 ≤ 2 in. [50 mm])	42	290	60	415
		ASTM A572 50 级(厚度 $\leq 1/2$ in. [12 mm]) ^a	50	345	65	450
		ASTM A588 (≤ 4 in. [100 mm])	50	345	70 min.	485 min.
II	B	ASTM A709 50T2 级、50T3 级	50	345	65	450
		ASTM A131 AH32 级	45.5	315	68-85	470-585
		ASTM A131 AH36 级	51	350	71-90	490-620
		ASTM A808 (强度随厚度变化)	42-50	290-345	60-65	415-450
		ASTM A516 65 级	35	240	65-85	450-585
II	A	API 规范 2H 42 级	42	290	62-80	430-550
		50 级 (厚度 $\leq 2-1/2$ in. [65 mm])	50	345	70-90	483-620
		(厚度 $> 2-1/2$ in. [65 mm])	47	325	70-90	483-620 427
		API 规范 2W 42 级 (厚度 ≤ 1 in. [25 mm])	42-67	290-462	62	427
		(厚度 > 1 in. [25 mm])	42-62	290-427	62	448
		50 级 (厚度 ≤ 1 in. [25 mm])	50-75	345-517	65	448
		(厚度 > 1 in. [25 mm])	50-70	345-483	65	483
		50T 级 (厚度 ≤ 1 in. [25 mm])	50-80	345-522	70	483
		(厚度 > 1 in. [25 mm])	50-75	345-517	70	427
		API 规范 2Y 42 级 (厚度 ≤ 1 in. [25 mm])	42-67	290-462	62	427
		(厚度 > 1 in. [25 mm])	42-62	290-462	62	448
		50 级 (厚度 ≤ 1 in. [25 mm])	50-75	345-517	65	448
		(厚度 > 1 in. [25 mm])	50-70	345-483	65	483
		50T 级 (厚度 ≤ 1 in. [25 mm])	50-80	345-572	70	483
		(厚度 > 1 in. [25 mm])	50-75	345-517	70	470-585
		ASTM A131 DH32 级、EH32 级	45.5	315	68-85	490-620
		DH36 级、EH36 级	51	350	71-90	485-620
		ASTM A537 I 级(厚度 $\leq 2-1/2$ in. [65 mm])	50	345	70-90	435-570
		ASTM A633 A 级	42	290	63-83	485-620
		C 级、D 级	50	345	70-90	485-620
		ASTM A678 A 级	50	345	70-90	
III	C	ASTM A633 E 级	60	415	80-100	550-690
III	A	ASTM A537 II 级(厚度 $\leq 2-1/2$ in. [65 mm])	60	415	80-100	550-690
		ASTM A678 B 级	60	415	80-100	550-690
		API 规范 2W 60 级(厚度 ≤ 1 in. [25 mm])	60-90	414-621	75	517
		(厚度 > 1 in. [25 mm])	60-85	414-586	75	517
		API 规范 2Y 60 级(厚度 ≤ 1 in. [25 mm])	60-90	414-621	75	517
		(厚度 > 1 in. [25 mm])	60-85	414-586	75	517
		ASTM A710 A 级 3 类(淬火和沉淀热处理)				
		厚度 < 2 in. [50 mm]	75	515	85	585
IV	C	厚度 2 in. [50 mm]~4 in. [100 mm]	65	450	75	515
		厚度 > 4 in. [100 mm]	60	415	70	485
IV	C	ASTM A514 (厚度 $> 2-1/2$ in. [65 mm])	90	620	110-130	760-890
		ASTM A517(厚度 $> 2-1/2$ in. [65 mm])	90	620	110-130	760-896
V	C	ASTM A514 (厚度 $\leq 2-1/2$ in. [65 mm])	100	690	110-130	760-895
		ASTM A517(厚度 $\leq 2-1/2$ in. [65 mm])	100	690	110-130	760-895

^a 对于 1 型或 2 型细晶粒镇静钢，厚度 ≤ 2 in. [50 mm]。

注：见上面列出了全称的参考规范清单。

表 C-9.5 结构钢管和管状型材(见 C-9.8.2)

组别	等级	技术条件和级别	屈服强度		抗拉强度	
			ksi	MPa	ksi	MPa

I	C	API 规范 5L B 级 ^a	35	240	60	415
		ASTM A53 B 级	35	240	60	415
		ASTM A139 B 级	35	240	60	415
		ASTM A500 A 级 (圆管)	33	230	45	310
		(型材)	39	270	45	310
		ASTM A500 B 级 (圆管)	42	290	58	400
		(型材)	46	320	58	400
		ASTM A501 A 级(圆管和型材)	36	250	58	400
		API 规范 5L X42 级 (最大冷膨胀为 2%)	42	290	60	415
I	B	ASTM A106 B 级(正火)	35	240	60	415
		ASTM A524 I 级(壁厚≤3/8 in. [10 mm])	35	240	60	415
		II 级(壁厚>3/8 in. [10 mm])	30	205	55–80	380–550
I	A	ASTM A333 6 级	35	240	60	415
		ASTM A334 6 级	35	240	60	415
II	C	API 规范 5L X42 级 (最大冷膨胀为 2%)	52	360	66	455
		ASTM A618	50	345	70	485
		ASTM A501 B 级	50	345	70	485
II	B	API 规范 5L X52 级和 SR5 级、SR6 级或 SR8 级	52	360	66	455
III	C	ASTM A595 A 级 (锥形管)	55	380	65	450
		ASTM A595 B 级和 C 级(锥形管)	60	410	70	480

^a 无缝或由纵向焊缝。

注:

1. 见上面列出了全称的参考规范清单。
2. 结构管材也可以按照 API 规范 2B、ASTM A139+、ASTM A252+或 ASTM A671 采用 C-9.4 所列等级的结构钢板材制作，不执行液体静力学试验的钢材除外。
3. 含有纵向焊缝和环向对接焊缝。

表 C-9.6 结构钢型材(见 C-9.8.2)

组别	等级	技术条件和级别	屈服强度		抗拉强度	
			ksi	MPa	ksi	MPa

I	C	ASTM A36 (厚度 ≤ 2 in. [50 mm])	36	250	58-80	400-5504
		ASTM A131 A 级(厚度 $\leq 1/2$ in. [12 mm])	34	235	58-80	00-550
I	B	ASTM A709 36T2 级	36	250	58-80	400-550
II	C	ASTM A572 42 级 (厚度 ≤ 2 in. [50 mm])	42	290	60	415
		ASTM A572 50 级 (厚度 $\leq 1/2$ in. [12 mm])	50	345	65	480
		ASTM A588 (厚度 ≤ 2 in. [50 mm])	50	345	70	485
II	B	ASTM A709 50T2 级、50T3 级	50	345	65	450
		ASTM A131 AH32 级	46	320	68-85	470-585
		ASTM A131 AH36 级	51	360	71-90	490-620

注:

1. 对于 1 型或 2 型细晶粒镇静钢, 厚度 ≤ 2 in. [50 mm]。
2. 本表为管材结构(或钢管与其他型钢复合结构)(比如海上平台)韧性的条文说明的组成部分。这并不意味着未列出的型材不适合在其他应用中使用。

表 C-9.7 应用分类模型(见 C-9.8.2)

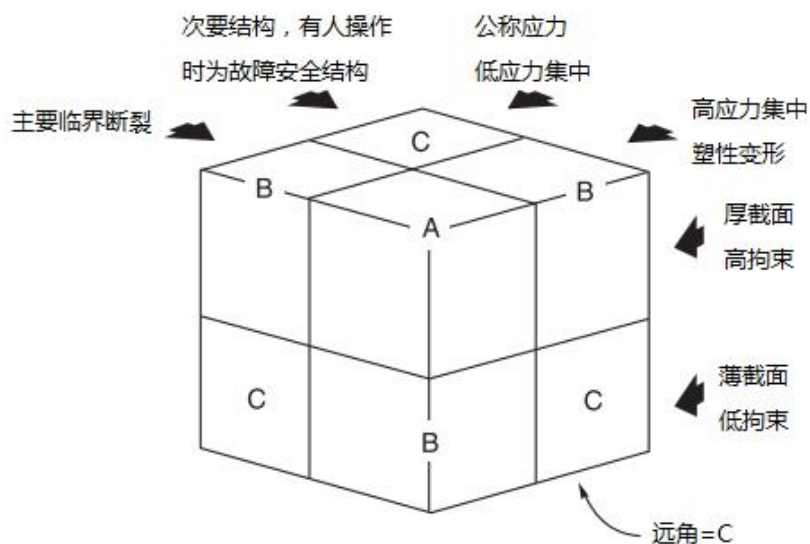


表 C-9.8 CVN 试验条件(见 C-9.8.2.2)

直径/厚度	试验温度	试验条件

> 30	比 LAST ^a 低 36°F [20°C]	平板
20~30	比 LAST 低 54°F [30°C]	平板
< 20	比 LAST 低 18°F [10°C]	按要求制作

^a LAST=最低预期工作温度。

表 C-9.9 CVN 试验值(见 C-9.15.4.4)

钢材组别	钢材等级	CVN 试验温度	焊缝金属的平均冲击能量	
			ft·lb	(Joules)
I	C	0°F [-18°C]	20	[27]
I	B	0°F [-18°C]	20	[27]
I	A	-20°F [-29°C]	20	[27]
II	C	0°F [-18°C]	20	[27]
II	B	-20°F [-29°C]	20	[27]
II	A	-40°F [-40°C]	25	[34]
III	C	-20°F [-29°C]	20	[27]
III	B	-40°F [-40°C]	20	[27]
III	A	-40°F [-40°C]	30	[40]
IV 和 V		作特殊调查		

注：规范要求体现的上表最不常见的共同特性。

表 C-9.10 HAZ CVN 试验值(见 9.15.4.4)

钢材组别	钢材等级	CVN 试验温度	HAZ

			ft·lb	(Joules)
I	C	50°F [10°C]	仅供参考	
I	B	40°F [4°C]	15	[20]
I	A	14°F [-10°C]	15	[20]
II	C	50°F [10°C]	仅供参考	
II	B	40°F [4°C]	15	[20]
II	A	14°F [-10°C]	25	[34]
III	A	14°F [-10°C]	30	[40]

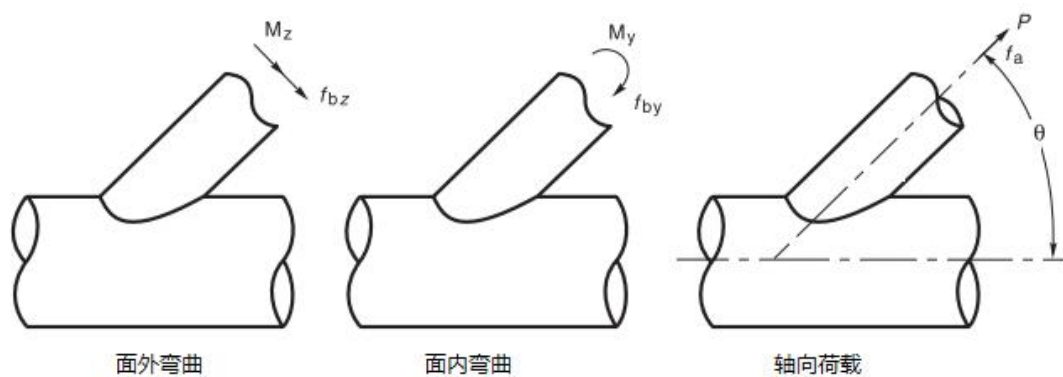
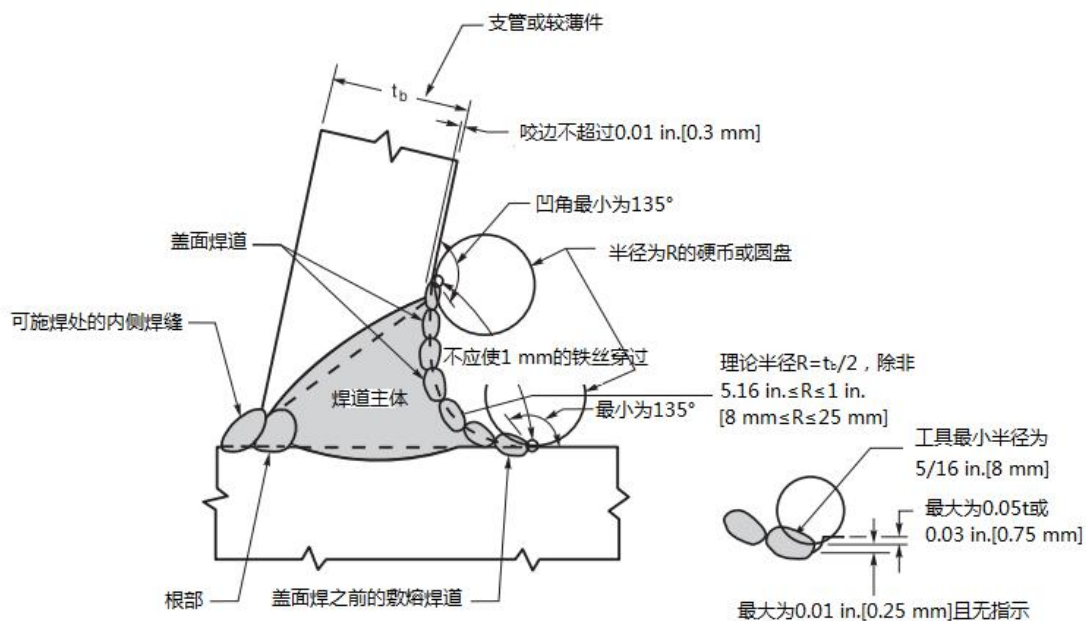


图 C-9.1—与荷载模式对应的支管应力示意图(见 C-9.2.7.2)



注：管材连接处外侧焊缝的最低要求应满足9.2.7.6(1)要求。

注：可通过稍微打磨来矫正焊缝趾部焊道或相邻焊道间的MPI指示、过度凸起或咬边。

图 C-9.2—已改善焊缝剖面形状的要求(见 C-9.2.7.6)

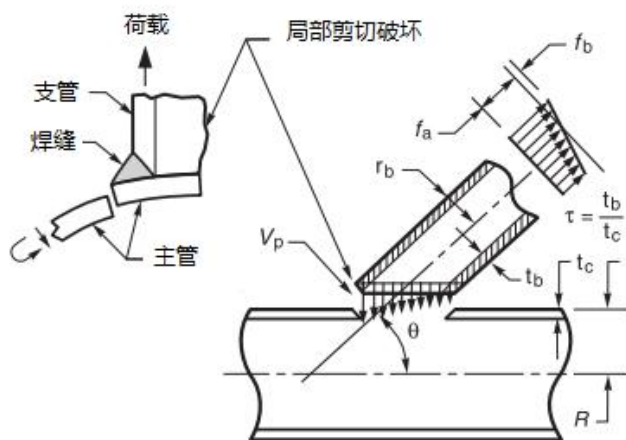
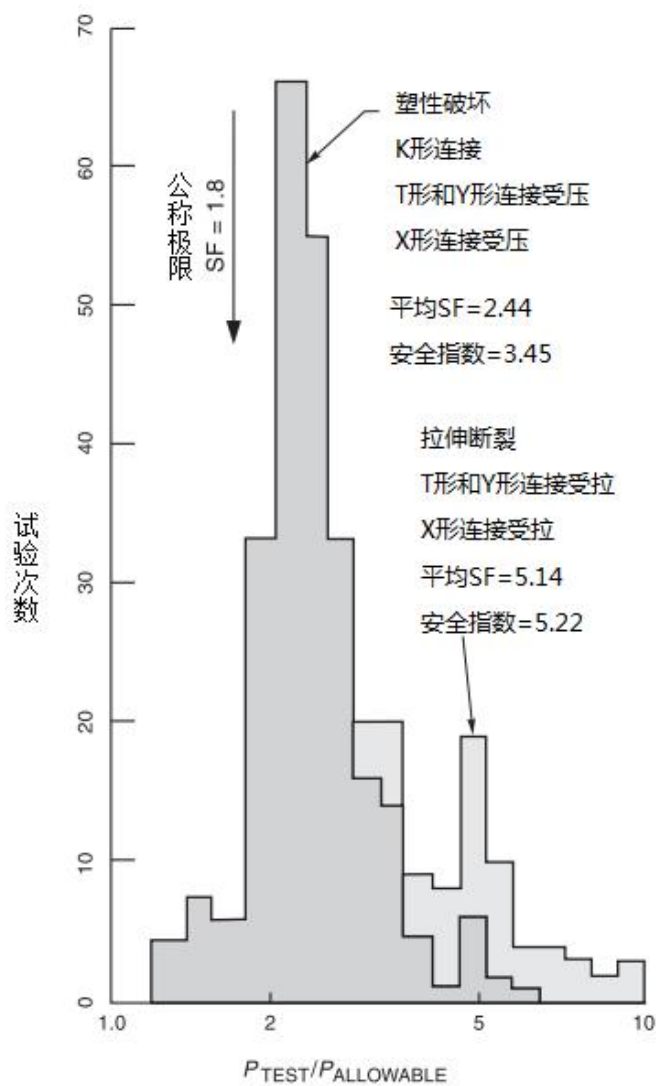


图 C-9.3—冲击剪切的简化概念(见 C-9.6.1.1)



注：

1. SF=安全指数
2. 数据库：306(非搭接)接头(见参考资料6)。

图 C-9.4—采用计算得出的 α 的冲击剪切评判准则的可靠性(见 C-9.6.1.1)

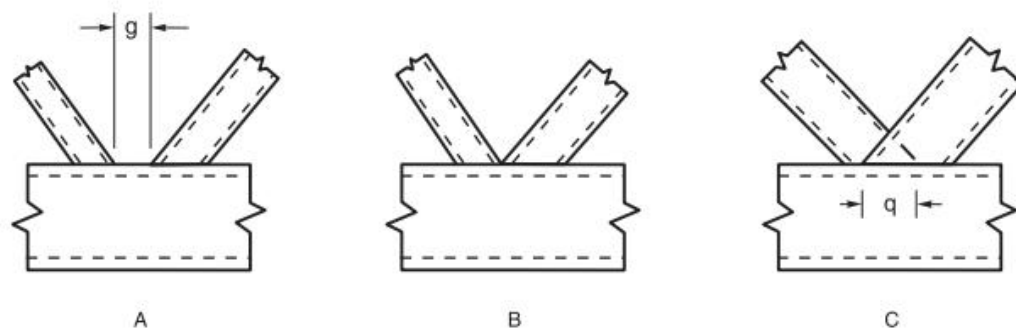
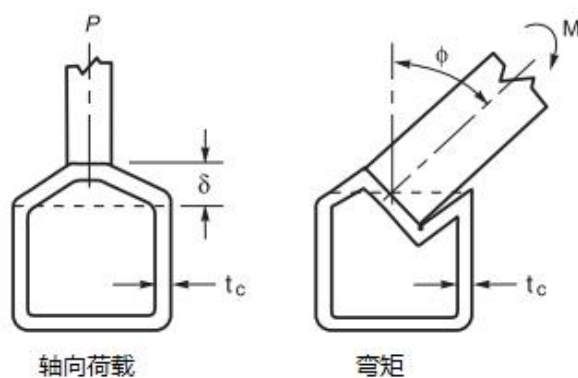


图 C-9.5—间隙连接和搭接连接之间的过渡(见 C-9.6.2.1)



$$\left. \begin{array}{l} P\delta \\ \text{或} \\ M\phi \end{array} \right\} = \frac{K}{SF} \frac{t_c^2 F_y}{4} \sum_{\text{所有屈服线}} a_i (L_i)$$

图注：

K = 应变硬化、三维应力、大挠度特征等的强度储备系数

SF = 安全系数

 F_y = 主管的规定屈服强度 a_i = 利用几何机制确定的屈服线*i*的正常旋转 L_i = 屈服线段的长度 t_c = 弦杆壁厚

图 C-9.6—上限定理(见 C-9.2.7.2、C-9.6.2 和 C-9.8)

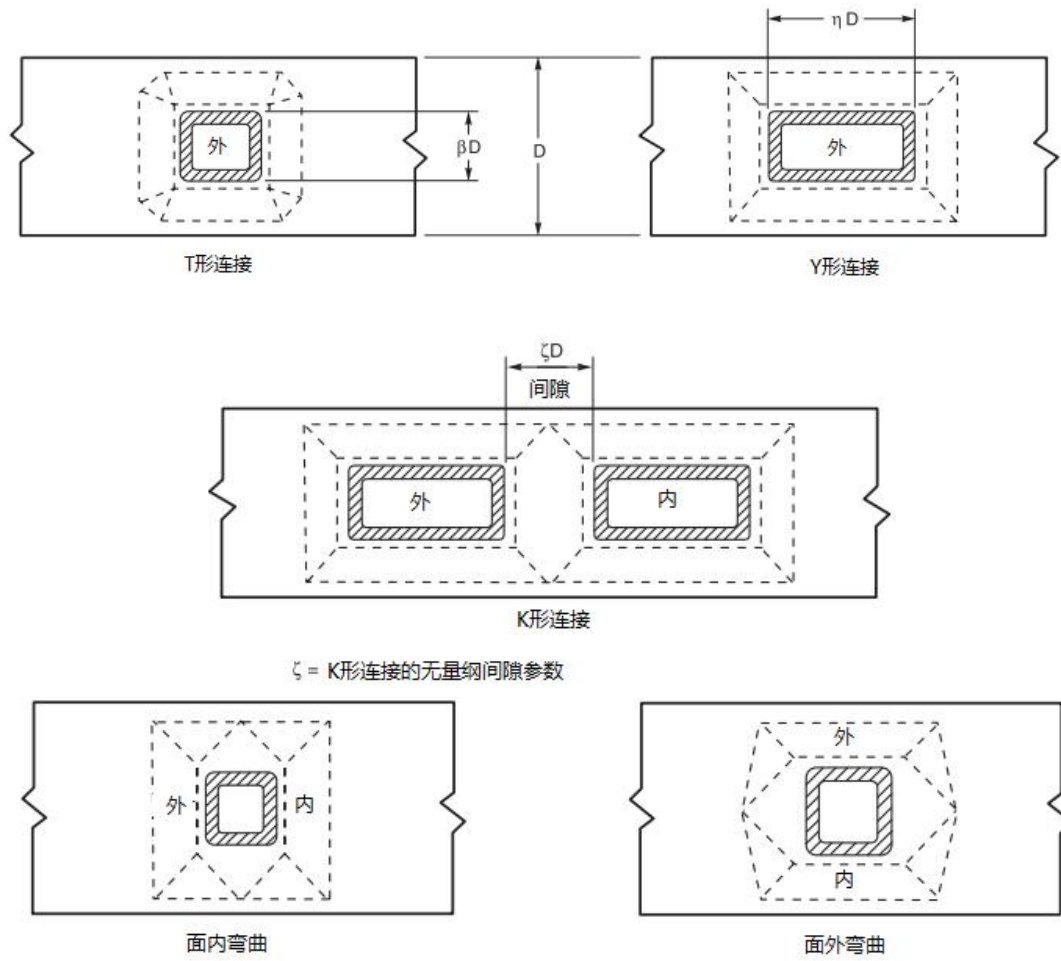


图 C-9.7—屈服线图(见 C-9.6.2 和 C-9.8)

C-附录 H

确定预热温度的替代方法指南

预热—背景回顾与讨论

概述。氢致开裂的发生概述取决于许多因素。其中一些因素可被归类为全局性因素(比如化学成分和厚度), 因此可以进行定义; 而其他被归类为局部因素(比如焊缝根部几何形状的细节或某些化学元素局部偏析)的因素则无法予以定义。

在某些情况下, 这些因素可能处于支配地位, 并且导致无法利用任何合理方式来预测避免氢致开裂所需的准确预热条件。宜根据经验来辨别这些条件, 并且采用保守的工艺。但在大多数情况下可根据当前对氢致开裂现象的认识来预测避免氢致开裂所需的预热条件和其他焊接工艺细节, 这在大多数不过分保守的情况下都有效。

利用此类体系预测的预热温度宜与经验数据相匹配。这就要求允许制造商根据他们关心的系列具体情况优先选择预热条件。因此, 替代的指南所提供的预热温度是以所焊钢板的化学成分为基础依据, 这种化学成分可以从钢厂的报告或通过化学分析确定, 而非特定钢材规范中给出的化学成分。这样制造商就可以根据其对具体情况的认识选择较低的预热温度和经济焊接工艺。另一方面, 应当给一些要求更严格的接头(例如高拘束的接头)提供更好的指导, 以使制造商能采取足够的预防措施。

预测预热的基础。研究表明, 下列四项基本先决条件是产生氢致开裂的基本先决条件:

- (1) 敏感的微观组织(硬度可以给出敏感性的一个大概指示)
- (2) 适当的扩散氢含量
- (3) 适当的拘束水平
- (4) 适宜的温度

其中一项或几项先决条件可能处于支配地位, 但发生氢致开裂时需要具备这四项基本先决条件。可用防止氢致开裂的实用方法(比如预热)来控制这些因素中的一个或多个因素。

过去采用两种不同的方法来预测预热温度,并在进行了大量角焊缝可控热拘束(CTS)试验的基础上提出了一种基于 HAZ 临界硬度的方法(参考资料 1 和 2)。通过控制焊缝的冷却速率来使 HAZ 的硬度不超过临界值,从而可消除氢致开裂的危险。

可接受的临界硬度会随氢含量发生变化。但这种方法并未弄清预热对冷却过程中氢从焊缝中逸出的作用;尽管在本指南中此法被推荐用于预估不预热焊接的最小热输入,但此法在预估预热温度时仍过分保守。

第二种预估预热温度的方法是以氢的控制为基础依据。为弄清低温时的冷却速率(即 572°F ~212°F [300°C~100°C]之间的冷却速率)的作用,故而采用高拘束度剖口焊缝试验确定了临界冷却速率、化学成分和氢含量之间的经验关系(参考资料 3)。

另有一些研究人员利用简单的氢扩散模型提出了更为全面的模型(参考资料 4、5 和 6)。氢含量通常是被作为一个对数项包含在其中的。这种方法的优点在于可以把钢材化学成分和焊缝的氢含量结合为一个可以表示氢脆敏感性的参数。在给定的拘束水平下,临界冷却时间与该参数之间存在一种关系。这样就可以根据大量试验或经验为各种不同的拘束度以及为其他类型的角焊缝划出界线(参考资料 7)。在推广应用此方法时,宜假设特定的预热和冷却时间之间存在某种关联。

由这些模型预测出的预热温度与提供实验数据所用的试验方法有关,认识到这一点很重要。这些试验中通常检验的是对接接头的根部单焊道。这个部位被视为是最关键的部位,并且可被用来确定预热温度;但也有这样的情况,即在第一焊道冷却之前施焊第二焊道(火炉管管子环缝的焊接)。用这种特殊的工艺方法焊接时就可采用比预测值低的预热温度。但对于一般应用来说,预热温度仍应正确地通过施焊根部焊道的要求来确定。因此,这种氢含量控制方法中并没有明确的能量输入要求。

拟议预热要求的范围。所有用于预测预热温度的拟议方法均忽略了一个重要特征,即焊缝金属开裂。假设预热温度取决于热 HAZ 开裂(因此取决于母材的成分),但在某些情况下,特别是使用现代高强度低合金钢的情况下,焊缝金属可能更加易受影响。对此问题尚无可列入本指南的充分研究资料,因此,碰到这种情况时可能需要进行试验。

拘束

采用氢含量控制法来确定预热温度的主要问题是选择拘束的量值。本指南考虑了 3 种拘束

量级。第 1 级为低拘束,并且被认为与厚度无关。低拘束相当于拘束度 K 值小于 1000 N/mm/mm ,这与角焊缝的结果相符合。实际上许多焊缝都属于这一类。中等拘束的基础依据是拘束度值 $K=150 \times \text{板厚}(\text{mm})$,它相当于已经报导过的大部分测定出的拘束度值。高拘束系的基础依据是拘束度值 $K=400 \times \text{板厚}(\text{mm})$,表示的是严重拘束。要注意的是,在中等拘束和更高拘束的情况下,拘束会随板厚的增加而增大。

拘束将直接影响所需的预热程度。参考资料见本规范表 3.3 下面的注 a。该参考资料可能没有完全表达国际上公认的预热因素的重要性。

附录 H 提出的三个通常所说的等级将用户的注意力转移到了焊接接头的拘束上。随着参加或未参加工业生产监察计划的部分用户的持续密切关注,拘束将根据实际的详细情况或结构的构架情况最终得到更加精确的界定

目前尚不能更明确地定义拘束的这一事实不能被作为不关注拘束、不辨别拘束的重大影响及不提出适应拘束的最佳解决办法的充分有效的理由。

注:有关工业部门共同发起了一项旨在快速、有效地交换经验的计划,以便可以根据 3 种拘束等级对具体的结构细节和情况作最终分类并将其列出。

从制作和工程实践中收集到的拘束数据为按照这些指南中的建议进行更实际的拘束评估和更可靠的预热温度测定提供了基础依据。

除了某些管材构件外,对结构工程中焊接工艺评定的现行要求都依赖标准试验组件来“证明”作为产品组件组成部分的相同接头的预热的充分性。人们应当认识到,在这些情况下,评定中并不考虑“拘束”,而改为使用“模拟试验组件接头”来进行评定,以便得到更可靠的实际工作状态结果,另外还能收集到可靠的拘束数据。

能量输入与角焊缝焊脚尺寸之间的关系

虽然输入板材的热量在冷却速率和潜在 HAZ 硬度方面至关重要,但更为实用的做法是规定焊缝尺寸。热输入与角焊缝尺寸(即焊脚长度)之间的关系并非唯一的,它还与焊接方法、极性及其它因素有关。一些工作人员提出,在冷却速率和熔化金属的总横截面积之间存在某种关系。但后者难以测定,并且在实践中不能被作为规定焊缝尺寸的合适方法。

在角焊缝试验中曾经测定过焊缝尺寸和焊接条件,并用这些数据绘制成了焊脚长度的平方数与热输入的关系曲线。另一个信息来源于熔敷速率数据,即假设全部熔敷金属形成一个理想

的角焊缝。如果根部有间隙，那么在热输入相同的情况下，焊脚长度要比良好的无间隙装配情况下的小些。表达这种结果的曲线如图 H.4 所示。

对于药皮中含有大量铁粉的手工药皮焊条，在相同热输入产生的角焊缝尺寸的比较。对于 SAW，如同所期望的那样，焊丝极性和焊丝伸出长度具有显著影响。就焊接条件的常规实用范围而言，可以认为它是一条简单的弥散带，并且可以选择一条较低的边界曲线作为焊接工艺设计的基础。

应用

应当清楚的是，所提议的方法不但以预热方法理论的这些基本因素的影响及它们的相互作用的正确评价为先决条件，也以对所涉及的概念有良好的工程认识为先决条件。

在选择合适的硬度曲线时宜进行工程判断，并将实际的拘束水平评价作为这种判断的组成部分。

测量有效预热温度的方法仍然是一个独立的问题，并且需要各方的持续关注。

预热在防止开裂方面的有效性很大程度上取决于预热的区域和所用方法。

由于预热目的是降低冷却速率以使氢逸出，所以预热区域大些将使热量保持更久些并且更有效。

没有必要改变表 3.3 的注 a 中对距离焊接点半径 3 in. [75 mm] 以内的区域进行预热的要求，因为其它作业已证实了这一要求的有效性。

预热的方法(设备、气体)应当制造商以获得经济性和有效性为目的而进行了较大投入的另一项研究的主题。

C-附录 H 的参考资料

1. 英国标准 5135-1974.
2. Coe, F. R.。 “无氢致开裂的钢材焊接”。加拿大焊接学会，1973。
3. Graville, B. A.、 “预热要求的确定”。 Technology Focus。加拿大焊接学会，1980 年 10 月。
4. Ito, F. 和 Bessyo, K. “避免 HAZ 开裂的焊接工艺的预测”。 IIW 文件 No. IX-631-69。
5. McParlan, M.和 Graville, B. A. Welding Journal55(4): p. 92-s. Res. Suppl., 1976 年 4 月。
6. Suzuki, M. “钢材焊接中的冷开裂及其预防”。 IIW 文件 No. IXC-1074-78。
7. Tersaki 等， Trans. JWS 10(1), 1979 年 4 月。

本页被故意留为空白。

Index

A

"A" scan (UT), 6.21.1
 Acceptance criteria
 alternate, 6.8
 bend tests, 4.9.3.3, C-4.9.3.3
 discontinuities, 5.14.5.1, 6.12.1, 6.12.2, C-6.8, C-6.9
 fillet weld, 4.22.4.1
 macroetch test, 4.9.4.1, 4.22.2.2, 9.22.1.1
 MT, 6.10
 NDT, 6.11, 9.26.1, C-6.11
 nontubular structures, 6.12.2, 6.13.1, 6.13.2
 PT, 6.10
 reduced section tension test, 4.9.3.5
 RT, 4.9.2.2, 4.22.3.2, 6.12.1, 6.12.2, C-6.12.1
 stud welding, 7.4.7, 7.8.3, 7.8.4, C-7.4.7
 tack welds, 4.23
 tubular structures, 9.27.1, Fig. 6.1
 UT, 4.9.2.2, 6.13.1, 6.13.2, 9.27.1, C-6.13, C-6.13.2, C-9.27.1
 visual, 4.9.1, 4.22.3.2, 6.9, 9.25, C-6.9
 Aging, 4.3.2
 AISC Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel in Buildings, 9.2.6, 9.6.1.1(2), Table 9.2
 Alignment, 5.21
 girth weld (tubular), 9.24.1
 jigs and fixtures for, 5.21.6
 offset, 5.21.3
 welds in butt joints, 5.21.3, C-5.21.3
 Allowable stresses, 2.16, 9.2, C-2.16, C-9.2
 ASD, 9.2.2, 9.6.1.1, 9.6.1.2, 9.6.1.3, 9.6.1.6, Table 9.2
 base metal, 2.6.3, 9.2.2, C-9.2.2
 fatigue, 9.2.7.2, C-9.2.7.2
 fiber, 9.2.5

limitation, 9.2.7.3
 weld metal, 2.6.4, 2.16.1, 9.2.4, 9.5.3, C-9.2.4
 All-weld-metal tension, 4.9.3.6, 4.14.1.3(2)
 Alpha (α) (ovalizing parameter), 9.6.1.5, Annex R, Fig. C-9.4
 Angle beam (UT) search units, 6.21.7, 6.23.4, C-6.23.4
 Angle member, 2.15.4
 AMSE B46.1, 5.23.3.2
 ANSI Z49.1, 1.7
 Anti-spatter compounds, 5.14.4.2
 Approval, 1.5
 Arc shield, 7.22, 7.2.4, 7.2.5.1, 7.4.4, 7.4.6, 7.6.7, 7.9.3, 7.9.4, 7.9.9, 7.9.10, C-7.4.6, C-7.6, C-7.6.1, C-7.9.10(1)
 Arc strikes, 5.28, C-5.28
 Architectural consideration, 5.22.6.5
 As-detailed tolerance, 3.12.3, 3.13.1, Figs. 3.2, 3.3, 3.5
 ASME *Boiler & Pressure Vessel Code*, 6.17.5.1, 9.26.2, C-9.26.2, Table U.4
 ASNT (American Society of Nondestructive Testing), 6.14.6.2(1)
 ASNT Recommended Practice SNT-TC-1A, 6.14.6.1, 6.14.6.2(2), 6.35.1, 9.30.1, Annex U3
 Assembly, 5.21.1, 5.21.4, C-5.21.1, C-5.21.4
 Assistant Inspectors, 6.1.4.3, 6.1.4.4
 ASTM A6, C-5.2, C-5.22.2, C-5.22.8, C-8.1
 ASTM A370, 4.9.3.6, 4.25.2, 7.3.2
 ASTM A435, 5.14.5.1(1)
 ASTM A588, 5.4.7, C-5.2, C-9.4, C-9.6, Tables 3.1, 3.3, 3.6 (Notes)
 ASTM A673, 9.8.2.1, 9.8.2.2
 ASTM E23, 4.25.2
 ASTM E94, 6.16.1, 6.17.4

ASTM E142, 6.16.1
 ASTM E165, 6.14.5
 ASTM E709, 6.14.4
 ASTM E747, 6.16.1, Tables 6.6, 9.19
 ASTM E1032, 6.16.1, Tables 6.6, 9.19
 ASTM base metals, C-9.4, C-9.6, C-9.8, Tables 3.1–3.3, 4.9
 Atmospheric corrosion resistance, 3.7.3, 5.4.7, C-3.7.3
 Atmospheric exposure time periods, 5.3.2.2, 5.3.2.3
 Attachments, Tables 2.5, 9.2
 auxiliary, 3.4, Annex J
 Attenuation factor, 6.19.1, 6.25.6.4, C-6.19.1, C-6.25.6.4
 Attenuator, *see* Gain control
 AWS A2.4, 1.6
 AWS A3.0, 1.3
 AWS B1.10, *Guide for Nondestructive Examination of Welds*, 6.14
 AWS B4.0, 4.25.23, Table U.2 (footnote)
 AWS D1.3, 1.2
 AWS A5.36, Annex U
 Axially aligned, 9.7, C-2.8.1
 Axially loaded parts, 2.9.1.1

B

Backgouging, 3.12.1, 3.13.2.1, 3.13.3, 9.15, 9.15.1, 9.15.3, 9.19, Annex J, Table 4.5(34)
 chipping, 5.14.5.1, 5.14.6, 5.23.3.2, 5.25
 grinding, 5.14.5.1, 5.14.5.2, 5.14.6, 5.14.8.4, 5.15, 5.23.3.2, 5.25, 6.17.3.2, 7.4.3, 7.7.5, 8.4.1, 9.2.7.6, C-5.16.2, C-8.4.1, C-9.2.7.6
 oxygen gouging, 5.14.6, 5.25, C-15.4.6, Annex J

Backing, 2.3.5, 2.17.2, 2.18.1, 2.18.4, 3.12.1, 3.13.2, 4.20, 4.22.3, 5.2.2.2, 5.9, 5.16.1, 5.21.1, 5.21.1.1, 5.21.2, 6.17.3.2, 6.17.3.3, 9.5.2.2, 9.11.1, 9.11.2, 9.15, 9.19, 9.23, 9.28.2, Annex J, C-5.9, C-5.25.5, C-6.17.3.3, C-6.25.12, C-9.15, C-9.23, Tables 4.5(34), 4.12(6)
 UT, 6.25.12, C-6.25.12
 Backing, attachment of, 5.9.1
 Backing, removal of, 2.17.2.1-2.17.2.3, 3.13.2.1, 4.22.3, 5.9.1.5, 5.17.5, 6.17.3.2, 6.17.3.3, C-5.9.1.4, CH6.17.3.3, C-6.25.12
 Backing thickness, 5.9.13, C-5.9.1.3
 Backscatter, 6.17.8.3, C-6.17.8.3
 Baking, 5.3.2.1, 5.3.2.2, 5.3.2.4, 5.3.2.5
 Base metal, Annex J, Tables 2.5, 3.7(3), (4), 4.5(29), 4.6, 4.9
 essential variables, 4.8.3
 examination, 9.30.4
 filler metal combinations, 3.3, 4.2.1
 foreign materials, 5.14.4
 limitations (tubular), 9.8.1
 notch toughness (tubular), 9.8.2
 preparation, 5.14, 7.4.3, 8.2
 qualification, 4.8.3
 removal, 5.25, 7.7.5
 repair, 5.14.5.2, 5.25, 5.25.1.4, 5.25.3, 5.25.5
 specifications, 2.3.1, 9.2.2
 stresses, 2.63, 2.65, 9.2.2
 surfaces, 5.14, 5.27, 8.5.1
 thermal cutting, 5.14.8.3
 thickness, 2.7.3, 3.5.1, 3.12.2.1, 7.2.7, 8.5.4
 toughness, 9.8.2
 unlisted, 3.3, 4.8.3
 UT, 6.19.4, 6.24.4, 6.25.2, 6.25.5
 Base plates, 2.7.2.2, 2.7.2.3
 Beams
 access holes, 5.16
 built-up edges, 5.18.1
 camber, 5.22.3
 copes, 5.14.8.3, 5.16
 cover plates, C-8.4.2
 depth, 5.17.2, 5.22.9
 splices, 5.19.2
 straightness, 5.22.2
 sweep, 5.22.5
 tilt, 5.22.8
 warpage, 5.22.8
 Bearing at points of loading, 5.22.10
 bearing stiffeners, 5.22.10, 5.22.11.3
 tolerances, 5.21.2, 5.22.11
 Bend test requirements, 4.9.3.1-4.9.3.3, 4.16.1.2
 Bend jig, 4.9.3.1

Bend test, stud welds, 7.6.6.1, 7.7.1.4, 7.9.7.2, 7.9.7.3
 Bidders, 5.22.6.5, 6.1.1, 6.15, C-5.2
 Bolt holes, mislocated
 restoration by welding, 5.25.5
 Bolts, 2.7.7, 8.3.7
 Box cross section twist, C-5.22.8
 Box section, Table C-9.1
 connection lengths, 9.5.5
 corner radii, 9.5.1.2
 gap connections, 9.2.3
 matched connections, 9.10.1.1
 overlap, 9.2.3
 Box tube design rules, 9.6.2
 Bracing, 5.22.5
 Branch member, 9.5.3, 9.6.1, 9.6.2.3, 9.6.2.4
 Break test, fillet welds, 4.16.2.1, 4.22.4
 Building code, Annex J
 Built-up members, 2.12.1, 5.18
 intermittent welds, 2.12.2.1, 2.12.2.2
 Bursts, 7.2.5
 Butt joints, 2.17.1, 2.17.5, 5.21.3, 5.30.4, 6.16, 6.25.6.2, 9.7, 9.11.1, 9.15.1, 9.15.2, 9.15.4.4, 9.16, 9.19, 9.29.1

C

Calibration, UT, 6.24, 6.27, 9.30.3, Annex G
 angle beam, 6.23.4, 6.24.5
 block (IIW), 6.22.1
 dB accuracy, 6.28.2
 equipment, 6.21.4, 6.22.1, 6.27, 6.23.2
 horizontal linearity, 6.28.1
 longitudinal mode, 6.26.1, 6.27.1
 nomograph, 6.28.2.5, Annex L
 shear wave mode, 6.27.2, Annex G2
 Camber, 5.18, 5.22.2, 5.22.3, 5.22.4
 beams, 5.18.1, 5.22.2-5.22.4
 girders, 5.18.1, 5.22.2-5.22.4
 measurement, C-5.22.6.1, Fig. C-5.6
 quenched and tempered steel, 5.18.2
 tolerance, C-5.22.4, Tables 5.5, 5.6
 Cap pass, Annex J
 Carbon equivalent, Annex H, H5.1, H6.1.1, Table H.1, Figs. H.1, H.2
 Caulking, 5.27, Annex J
 Center-of-gravity loading, 2.6.4.2
 Center-of-rotation, 2.6.4.3
 Circular sections
 connection lengths, 9.5.4
 limitations, 9.2.3
 strength terms, Table 9.6
 stress categories, 9.2.7.2

Chipping, 5.14.5.1, 5.14.6, 5.23.3.2, 5.25
 CJP groove welds, 2.3.5.3, 2.4.1.2, 2.7.2.2, 2.8.2, 2.17.2.2, 2.18.4, 2.19, 3.11, 3.13, 4.10, 4.11.3, 4.20, 4.21, 6.13.2.2, 6.25.12, 9.5.2.2, 9.11, 9.15, 9.19, 9.20, Tables 4.1, 4.2, 4.5(32), 4.10, 9.9, 9.10, 9.13
 Cleaning, 5.29, 7.4.1
 weld spatter, 5.26.1, 5.29.2, 6.25.3, Annex J
 Clipping control (UT), 6.24.1, 6.25.6
 Code interpretations, Annex N
 Collapse, 9.6.1.2, 9.6.2.2, Tables C-9.1, C-9.3
 Columns, variation from
 straightness, 5.22.1
 Combination of welds, 2.7.4
 Compression members
 acceptance, 6.12.2.1, 6.12.2.2
 built-up, 2.12.2.2
 column, 5.22
 connections, 2.7.2
 splices, 2.7.2.2
 stresses, 9.2.5, C-8.3.5, Tables 2.3, 9.2
 weld spacing, 2.12.2.2
 Concavity, 4.9.1.1(6), 5.5, 5.23.1, 5.25.1.2, Table 5.9
 Constant voltage, 3.2.4, Table 4.7(20)
 Construction aid weld, 5.17, Annex J
 Consumables verification test, 4.12.3, Table 4.4
 Contouring welds, 2.7.5, 2.8.1, 2.16.2(b), 2.17
 Contract documents, 1.1, 1.2, 1.3.3.1, 1.3.6.1, 1.3.6.3, 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3.1, 2.3, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5.3, 2.3.5.5, 2.3.5.6, 2.4.3.2, 2.4.3.3, 2.7.2.1, 2.7.2.2, 2.8.1, 2.8.4, 2.9.3.5, 2.13.3, 4.26.1, 4.27.6, 4.28, 5.2.1, 6.1.4.1, 6.7, 6.15.2, 8.6.2, 9.26.1, 9.27.1, Annex J
 Contractor, 1.3.2, 1.3.6.3, 1.4.3.1, 5.25.1, Annex J
 obligations of, 2.3.3, 2.17.2.1, 4.3.3, 4.7, 4.14, 5.3.1.1, 5.3.1.3, 5.21.1, 6.6, 6.18, 6.26.3, 7.2.4, 7.3.3-7.3.5, 7.8.5, 7.8.6
 responsibilities, 1.4.2, 4.2.1.1, 4.2.2.2, 5.20.3, 6.6, 7.6.2
 Contractor's Inspector, 1.3.3.1, 6.1.3.1, 6.2-6.5, Annex J
 Convexity, 5.23.1, 5.25.1.1, Table 5.9, Figs. 9.14, 9.15
 Cooling rates, 5.8, Annex H, C-3.5, C-4.8.1, C-5.4.1, Tables U.7, U.8, Fig. U.1
 Cope holes, 5.16

Corner joints, 2.7.3, 2.7.5, 2.17.2.2, 2.17.2.4, 2.17.3, 2.18.1, 3.11.2, 4.10.1.1, 6.16.2, Fig. 3.6

Corner reflector (prohibited), 6.22.2, C-6.22.2

Correction of deficiencies, 6.6.1, 6.6.2

Corrosion protection, 2.14.3, C-5.16.1

Cover plates, beams, C-8.4.2, Tables 2.5, 9.1

Cracks, 4.9.1.1, 4.9.3.3, 4.9.4.1, 4.22.2.2, 4.22.4.1, 4.32.1, 5.14.2, 5.14.8.2, 5.23, 5.25.1.4, 5.25.3, 5.28, 6.5.3, 6.12.1, 6.12.2, 7.2.5, 9.8, 9.15.4(3), 9.22.1.1(1), Annex Q8.3, Q10, C-5.4.1, C-5.9.1.2, C-5.30, C-6.17.3.1, C-8.4.1, C-8.5.2, C-9.2.7.6, C-9.23, Tables 6.9(1), 9.16(1)

Craters, 4.9.1, 5.25.1.2, Tables 6.1(3), 9.16(3)

Crushed slag, 5.3.3.4, Table 4.6(4)

Cumulative damage, 9.2.7.4

CVN test, 2.3.2, 4 Part D, 9.8.2.1, Annex J, Figs. 9.19, 9.20

Sub-sized test temperature, 4.27.7

Cyclic loads, 2 Part B, 2 Part D, 9.1 stress range, 2.16.2, Table 9.3, Figs. 2.11, 9.1

Cyclically loaded structures, 2 Part C acceptance criteria, 6.12.1, 6.12.2, 6.13.2, 6.25.8, Table 6.1

allowable stress, 2 Part B, 2 Part C, Table 2.3

backing, 2.17.2.2, 5.9.1.4

beams, cover plates, Tables 2.5, 9.1

combined stresses, 2.15.2

fatigue stress, 2.16.2, 5.19.1.2, Tables 2.5, 9.1

fillet welds, 2.17.6

finishing, 5.23.3.2

flatness of girder webs, 5.22.6.3, Annex E

girders, 5.14.3

increased unit stress, 2.6.5

material thickness, 5.14.7

NDT, 6 Part C

prohibited welds, 2.18

RT, 6.12.2

splices, 5.19.1.2

tack welds, 5.17.2

tension members, 2.17.2.2, 6.12.2.1, C-6.9

thermal cutting, 5.14.8.2

transition of radius, 2.17.1.2

transition of thickness or width in butt joints, 2.17.1, 9.7

unit stress, 2.16.1, Table 2.3

UT, 6.13.2

visual inspection, 6.9, 9.25, Tables 6.1, 9.16

weld tabs, 5.30.3

D

Decibel calculating equation, 6.28.2.2

Deficiencies in the work, 6.6.1

Definitions, 9.13, C-1.3

Details, 2.3.4.4, 2.7–2.10, 3.9.1, 9.5.1.2, 9.5.2.1, 9.5.2.2, 9.9.1, 9.10.1, 9.11.2.1, 9.19, C-2.7–C-2.9, C-Fig. 3.2, Table 3.7, Figs. 3.2–3.5, 9.11, 9.12, 9.14–9.16, C-3.3

Dew point, 4.14.1.3, 5.3.1.3, C-5.3.1.3

Diagrammatic weld, 2.4.2.6, 2.4.2.7, Annex B, Fig. A.3, Fig. A.4, Fig. A.6

Diaphragm plates, 2.12.2.2, C-6.13.1

Die stamping, 6.5.4, C-6.5

Dihedral angle, 3.9.2.1, 9.11.2, 9.15.4.2, 9.30.1(1), 9.30.1(9), 9.30.2, Annexes B, I, J, O, C-6.25.12(1)(a), C-6.25.12.1(b), C-9.27.1, Tables 2.2, 4.10, 4.11, 9.7, 9.13, 9.14, B.1, Figs. 9.10, 9.11

Dimensional tolerances, 5.8, 5.22, 5.22.6.4, 5.22.12, C-5.2, C-5.22, C-5.22.12

Discontinuities, 2.15.1, 4.9.3.3, 4.22.3, 5.4.6, 5.9.1.2, 5.14.5, 5.23, 5.27, 6.1, 6.5.3, 6.6.4, 6.12, 6.12.1, 6.12.2, 6.13.1, 6.13.2, 6.14, 6.14.5, 6.15.3, 6.17.3, 6.19.4, 6.20, 6.25.6.2, 6.25.7, 6.25.8, 6.29.1, 6.29.2, 6.30.1, 6.30.2, 6.35.3, 7.2.5.1, 7.4.7, 8.5.2, 9.2.7.6, 9.15.4.1, 9.23.1, 9.30.2, 9.30.4, 9.30.7, 9.30.8, Annexes J, Q, C-2.7.3, C-2.7.6, C-2.8.1, C-2.16.2, C-4.9.3.3, C-5.9.1.2, C-5.14.5.2, C-5.26, C-5.27, C-5.30, C-6.13.1, C-6.14, C-6.17.3, C-6.18, C-6.19.3, C-6.25.5.2, C-Table 6.7, C-6.25.6, C-6.25.12, C-7.4.6, C-8.4.1, C-8.5, C-9.8.1.3, C-9.8.2, C-9.23, C-9.27, Tables 2.5, 5.4, 6.2, 6.3, Figs. 5.1, 6.1–6.3, 9.29, 9.30, C-6.8, C-6.9, C-8.1 acceptance criteria, 4.9, 4.9.3.3, 4.22.3.2, 5.14.5.1, 5.23, 6.1, 6.5.3, 6.12, 6.12.1, 6.12.2, 6.13.1, 6.13.2, 7.4.7, Annex Q, C-4.9.3.3, C-6.12.1, C-6.13.1, C-7.4.6, C-9.27.1, Figs. 6.1, C-6.7, C-6.8

dimensions, 4.22.4.1, 6.12.1, 6.12.1.1, 9.4.3.3, 9.30.2, Annex Q, Figs. 6.1–6.3, 9.29

elongated, 6.12, 6.12.1(1), 6.12.1(3), 6.12.1(5), 6.12.2.1(4), 6.12.2.2(4), Annex J, C-6.8, Figs. 6.1–6.3

in-line, 6.12.1(7), 6.12.2.1(7), 6.12.2.2(6)

isolated, 6.12.1(5), 6.12.2.1(4), 6.12.2.2(4)

length, 5.14.5, 5.14.5.1, 6.12, 6.12.1(7), 6.12.2.1(6), 6.12.2.2(6), 6.25.7–6.25.9, 6.29.2, Annex Q9.3–Q9.5, C-6.25.7, Table 5.4

repair, 2.17.2.2, 5.4.6, 5.14.5, 5.14.5.1(3), 6.6.5, 6.15.3, 6.25.10, C-5.14.5.2, Table 5.4

rounded, 6.12, 6.12.1(3), 6.12.1(5), 6.12.2.1(4), 6.12.2.2(4), Figs. 6.1–6.3, C-6.8

Discontinuity size evaluation (UT), 6.29

angle beam testing, 6.24.5

straight beam testing, 6.24.4

Disposition of radiographs, 6.18, C-6.18

Distortion, 5.20, 5.20.1, 5.20.3, 5.22.6.4, 5.26, 8.5.6, C-2.3.5.4, C-2.6.4.2, C-3.2.1, C-5.4.1, C-5.8, C-5.20, C-5.22.6.1, C-5.22.6.4, C-6.17.5, C-6.17.5.1, C-6.17.2, C-17.3, C-6.17.7, C-6.17.13

straightening, 5.25.2, C-5.25.2

Drawings, 2.3.1, 2.3.3–2.3.5, 2.3.5.1, 2.3.5.2, 2.4.3.2, 2.4.3.3, 2.11.3, 2.17.2.1, 3.12.2.1, 3.12.3(1), 3.13.1, 4.28.2, 5.12, 5.13, 5.14.7(5), 5.21.1.1, 5.21.2, 5.21.4.1, 5.22.4, 6.1.6, 6.5.1, 6.13.2.2, 7.2.1, 7.4.5, 7.6.7(1), 7.9.10(1), 8.21, 9.24.2.1, Annex J, C-1.8, C-2.3.4, C-6.1.6, C-6.13.2

Drying

arc shields, 7.4.4

electrodes, C-5.3.2, C-5.3.2.5

flux, 5.3.3.2, 5.4.3, 7.4.4, C-5.3.3.2

ovens, 5.3.2.1, 5.3.2.2, 5.3.2.4

E

Eccentricity, 2.4.3.1, 2.6.2, 2.15.3, 2.15.4, 5.21.3, C-2.6.2, C-2.6.4.3, C-2.9.1.1

Edge blocks, 6.17.13, C-6.17.13, Figs. 6.10, 9.33

Edge discontinuities, 5.14.5.1, Fig. 5.1

- Effective throat, 2.4.2.2, 2.4.2.6, 2.4.2.7, 2.4.2.10, 2.4.3.2, 2.4.3.3, 2.4.3.7, 2.4.3.8, 5.21.1, 9.6.1.3, 9.6.1.6, Annexes A, B, Table 9.2, Fig. 3.4, *see also* Effective weld size
- Effective weld area, 2.4.1.5, 2.4.2.10, 2.24.1.1, 2.24.2
- Effective weld length, 2.3.4, 2.4.1.1, 2.4.2.1, 2.4.2.2, 2.4.2.10, 2.24.1.1 box, 2.24.5 circular, 2.24.4
- Effective weld size, 2.4.1.4, 2.4.1.5, 4.11.5, C-2.3.4
- diagrammatic weld, 2.4.2.6, 2.4.2.7, Annex A
- Effective width (box sections), 9.6.2.3, 9.6.2.4, C-9.6.2.4
- EGW (Electrogas welding), 3.2.2, 4.8.2, 4.17, 5.4, 9.18, Table 4.11
- all-weld-metal tension test, 4.14.1.3(2)
- CVN tests, 2.3.2, 4.2.1.3, 4 Part D, 4.27, C-9.8.2.1, Table 4.2, Fig. 4.6
- electrodes, 4.14.1.3(2), 5.4.2
- flux, 5.4.3
- guide tubes, 5.4.2
- joint details, 4.14.1.3(1), Figs. 4.5, 4.24
- mechanical properties, 4.14.1.3(2), preheating, 5.4.5, 5.25.5(d)
- preheating, 5.4.5
- previous qualifications, 4.14.1.3(3)
- qualification, 4.14.1, 4.14.1.3(1)
- quenched and tempered steels, 5.4.1, 5.7, C-3.5, C-4.8
- repairs, 5.4.6, 5.25
- shielding gas, 3.7.4, 5.3.1.3, Tables 3.7, 4.5
- starts and stops, 5.4.4
- wind protection, 5.11.1
- WPS, 4.14.1.3(1), 5.4
- WPS qualification, essential variables, 4.8.2, Table 4.7
- WPS test record form, Annex M
- Elastic analysis, 2.15.1, C-2.15.1
- Electrodes, 3.3, 3.7.3, 4.14.1.3(1), 5.3.1.1, 5.3.1.5, 5.3.2, 5.3.2.1, 5.3.2.2, 5.3.2.3, 5.3.2.4, 5.3.2.5, 5.3.3, 5.3.4, 5.3.5.1, 5.4.2, 5.9.2, 5.17.4, 5.17.5, 7.5.5, 7.5.5.6, 7.7.5, C-3.7.2, C-4.14.1.3, C-5.3.3, C-5.3.4, Annex H3.3, H6.1.1, Tables 3.1, 3.3, 3.4, 3.6, 3.7, 4.7, 4.9, 4.12, 4.13, 5.1, Figs. F.1, F.2
- drying, 5.3.2.1, C-5.3.2.1
- EGW, 4.8.2, 4.14.1.3, Table 4.7
- ESW, 4.8.2, 4.14.1.3, Table 4.7
- FCAW, 3.2.1, 3.2.4, 3.3, 3.4, 3.7.3.2, 3.10, 3.11.1, 3.11.3, 4.2.2, 4.8, 5.3.4, Tables 3.1–3.4, 3.7, Figs. 3.2, 3.3, 3.5
- for atmospheric corrosion resistance, 3.7.3, C-3.7.3, Table 3.4
- GMAW, 3.2, 3.7.3.2, 3.7.4, 3.8, 3.10, 4.8, 5.3.4, 5.24.1, 7.5.5, 9.10.1, Annex H3.5, H6.1.4, Tables 2.1, 2.2, 3.1–3.4, 4.5, 4.9, 4.14, 9.5, 9.15
- low hydrogen, 5.3.2.1, 5.3.2.3–5.3.2.5, 5.9.2, 5.14.5.1, 5.14.5.2, 5.17.4, 5.21, 7.5.5.2, 7.5.5.6, 7.7.5, Annex H3.5, H6.2.2, H6.1.1(a), C-2.7.3 (2), C-3.3, C-5.3.2, C-5.3.2.1, C-5.3.2.5, C-5.13, C-9.8.2, Tables 3.1, 3.2, 3.4–3.6, 4.5, 5.1, 5.7, Figs. F.1, F.2
- manufacturer's certification, 5.3.1.1, 5.3.1.3, Annex H
- SAW, 3.8, 5.3.3.1, Tables 3.1, 3.3, 3.4
- SMAW, 3.2.1, 3.7.3.2, 3.10, 3.11.1, 4.2.2, 4.8.1, 5.3.2, 5.9.2, 5.24.1, 7.5.5, 7.5.5.6, 7.5.5.7, 7.7.5, 9.10.1(2), 9.11.2.1, Annex F.1, F.2, H6.1.4, Tables 2.1, 2.2, 3.1–3.4, 3.6, 3.7, 9.5, 9.8, 9.15, Figs. 3.2, 3.3, 3.5, 4.5, 4.6, 4.9, 4.12, 4.14, 9.10
- storage, 5.3.1.4, 5.3.2.1, 5.3.2.4, 5.3.3.1, C-5.3.2.1
- welder qualification groups, Table 9.15
- End returns, 2.3.4, 2.3.5.2, 2.4.2.1, 2.9.3.1, 2.9.3.3
- Energy input, Annex H, C-H
- Engineer, 1.1, 1.2, 1.5, 1.3.1, 1.3.3.2, 1.3.4, 1.3.6.1, 1.4, 1.4.1, 1.4.3.2, 1.5, 2.3.2, 2.3.3, 2.13.3, 2.19, 3.2, 3.4, 3.5.2.1, 4.2.1.2, 4.2.2.1, 4.8.3, 4.8.4, 4.14.1.3(3), 4.14.2, 5.3.1.1, 5.3.1.3, 5.4.4, 5.9.1.2, 5.9.1.4, 5.9.1.5, 5.12, 5.14.5, 5.14.5.1(4), 5.14.8.1, 5.14.8.2, 5.14.8.4, 5.17.1, 5.17.3, 5.18.2, 5.20.3, 5.21.1.1, 5.21.3.1, 5.21.4.1, 5.21.4.4, 5.25.3, 5.25.5(2), 5.27(b), 5.30.2, 6.1.3.2, 6.1.4.1, 6.1.4.5, 6.4.1, 6.5.1, 6.5.3, 6.5.4, 6.6.3, 6.8, 6.17.3.1, 6.17.6, 6.19.2, 6.19.4, 6.32, 7.2, 7.3.3, 7.3.5, 7.8.5, 7.9.2, 8.1, 8.3.1, 8.3.5, 8.4.1, 8.5.2, 8.5.4, 8.6.1, 9.5.2.1, 9.24.1, C-1.3.1, C-1.3.3, C-1.4.1, C-1.4.3.1
- Equipment hazards, 1.7
- UT, 6.21
- welding, 5.10, 6.3, 7.2.1, 7.5.1
- Essential variables, 3.2.3, 3.6, 4.8, 4.14.2, 4.19, Table 4.5
- EGW, 2.3.3, 3.2.2, 4.8.2, 4.14.1, 4.14.1.3, 4.20.2.2, 5.4, 5.4.1, 5.4.7, 5.11.1, 5.25.3, 6.30.3, C-4.14.1.3, C-5.4, C-5.4.1, C-6.13.1, C-6.19.3, Tables 4.2, 4.7, 4.14, 6.2, 6.7, Fig. 4.5
- ESW, 2.33, 3.2.2, 4.2.2, 4.8.2, 4.14.1, 4.14.1.3, 4.20.2.1, 4.20.2.2, Annex J, C-4.14.1.3, C-5.4, C-6.13, C-6.19.3, Table 4.7, Fig. 4.24
- FCAW, 3.7.3, 3.10, 5.3.4, 5.11, 5.24.1, 7.5.5, C-3.7.3, Tables 3.1, 3.3, 3.4, 4.6, 4.9, 4.12, 4.14
- GMAW, 3.2, 3.7.4, 3.8.1, 3.10, 3.11.1, 3.11.3, 4.8, 4.14.1, 5.3.4, 5.11.1, 5.24.1, 7.5.5, 7.5.5.7, 7.5.5.2, 7.7.5, 9.10.1(2), 9.11.2.1, 9.15.4.3, Annex H, C-3.1, 5.3.1.1, Tables 3.1, 3.3, 3.4, 4.5, 4.6, 4.9, 9.8, U.9, Fig. 9.10
- SAW, 3.2.1, 3.5.2, 3.7.3.2, 3.8, 4.2.2, 4.8.1, 4.12.3.2, Annex H.3, Tables 3.2, 4.5
- SMAW, Table 4.6
- tack welder qualification, 4.3.2, 4.15.2.2, 4.23, 6.4, 9.17.2, C-6.4, Table 4.12
- welder, 4.3.2, 4.19, C-4.19, Table 4.11
- welding operator, 4.3.2, 4.23, 4.15.1.1, 4.15.2.1, 4.15.3, 4.19, 4.20, 4.22, Tables 4.10, 4.11, 9.13, 9.14
- ESW (Electroslag welding), 3.2.2, 4.8.2, 4.17, 5.4, 9.18
- CVN tests, 4.2.1.3, 4.27, 4.27.3, 5.25.5(d), 9.15.4.4, 4 Part D, Tables 4.2, 4.15, Figs. 4.6, 4.7
- electrodes, 4.14.1.3(2), 5.4.2
- flux, 5.3, 5.4.3
- guide tubes, 5.4.2
- joint details, 1.4.1, 2.3.5.4, 2.7.3, 4.14.1.3(1), 4.14.1.3, 9.11.2.1, Figs. 4.5, 4.24
- previous qualifications, 4.14.1.3(3)
- qualification, 4.14.1, 4.14.1.3(1), C-4.14.1.3
- quenched and tempered steels, 2.10.4, 5.4.1, 5.7, Annex H3.7, H5.1, C-3.5, C-4.8.1, C-4.14.1.3, C-4.15, C-5.3.2.5, C-5.7, C-5.8, C-5.25.2, C-7.6
- stops and starts, 5.4.4

WPS, 4.14.1.1, 4.14.1.2, 4.14.1.3(1)–(3), 4.14.2, 5.4, Table 4.7
 WPS test record form, Annex M
 Existing structures, Clause 8, 8.5, C-8
 design, 8.3
 fatigue stresses, 8.4
 live load, 8.3.2, 9.2.7.1
 materials, 8.2, 8.4(1)
 repair, 8.3.2, 8.3.4, 8.3.6, 8.5
 rivets or bolts, loads on, 8.3.7, C-8.3.7
 strengthening, 8.1, 8.2, 8.3.2, 8.3.6, 8.5.6, C-8.1-C-8.3, C-8.3.5
 workmanship, 8.1, 8.5, C-8.1, C-8.5
 Exposed application, 3.7.3, C-3.7.3, Table 3.4
 Exposure (RT)
 single wall, 9.29.1.1, 9.31
 double wall, 9.29.1.2, 9.29.1.3, 9.32–9.34
 Extension bars, *see* Weld tabs
 Eye examination, 6.1.4.4

F

Fabrication, Clause 5
 Fabricator, 3.6, 5.3.1.3, 5.3.3.3, 6.17.12, 9.24.1, *see also* Contractor
 Face-bend test, 4.9.3.1, 4.9.3.2, 4.9.3.3, Fig. 4.8
 Failure, local, 9.6.1.1, C-9.6.1.1
 Fatigue, 2.13.1, 2.14.1–2.14.3, 2.16.2, 2.19, 9.1
 allowable stress, 9.2.7.3, Figs. 2.11, 9.1
 increase in, 2.6.5, 9.2.7.4
 behavior improvement, 9.2.7.6
 categories, 9.2.7.2, 9.11.2, Tables 2.5, 9.1, 9.4
 critical members, 9.2.7.5
 cumulative damage, 9.2.7.4
 cyclically loaded structures, 2.2, 2.12, 5.19.1.2, 5.9.1.4, 5.22.6.3, Annex E, Tables 9.1, 2.5, Fig. 2.11
 history, 8.3.3
 life enhancement, 8.4
 loading, 8.3.5
 peening, 8.4.1, 9.2.7.6(3)
 size and profile effects, 9.2.7.7
 stress categories, 9.2.7.2, Tables 9.1, 9.3, Fig. 9.1
 stress cycles, 9.2.7.1
 stress range, 9.2.7.1, Figs. 2.11, 9.1
 tubular structures, 9.11.2, 9.2.7.6, Tables 9.2–9.4
 Faying surfaces, 2.4.5.3, 2.7.7, 5.21.1.1, Tables 2.3, 2.5

FCAW (Flux Cored Arc Welding), 3.2.4
 backing, 5.9, C-5.9
 electrodes, 5.3.1.5, 5.3.4
 layer thickness, Table 3.6
 limitations, 3.2.4, 9.11
 power sources, 3.2.4, C-3.2.4
 prequalified WPS, Clause 3, 3.2.4
 shielding gas, 5.3.1.3, C-5.3.1.3
 WPS qualification, Clause 4
 essential variables, Table 4.5
 FCAW-G, FCAW-S, Annex J
 Ferrules, 7.4.4, 7.2.5.1
 Fiber stresses, 9.2.5
 Field welds, 2.3.1, 5.22.3, C-2.7.6, C-5.22.4
 Fillers (nonmetallic), 5.27, C-5.27
 Filler metals
 base metal combinations, 3.3, 3.5.1, 3.5.2, 3.7.3, Tables 3.1, 3.2
 classifications, Annex U
 cut wire, Table 4.5(7)
 electrode-flux, 5.3.1.1
 electrodes, 3.3, 5.3, Table 3.1
 granular, Table 4.5(8)
 hydrogen control, Annex H2.4, H4, H6.2
 matching requirements, 3.3, Tables 2.3, 9.2
 powdered, Table 4.5(9)
 properties, Annexes T, U
 storage, 5.3.1.4, 5.3.2.1, C-5.3.2.1
 strength level match, Table 2.3
 welder group designation, 4.3.2.1
 Filler plates, 2.11, 5.21.1.1, Figs. 2.9, 2.10
 Fillet welds, 2.4.2
 allowable stresses, 2.6.3, 2.6.4, 2.6.4.2, 2.6.4.3, 2.6.5, 2.16, 8.4.2, 9.2 Tables 2.3, 2.5, Fig. 2.11
 along an edge, 2.4.2.9, Fig. 2.1
 assembly tolerances, 5.21, C-5.21
 break test, 4.22.4.1, 4.22.4, 6.4.2
 combination with PJP weld, Annex A
 concavity, 5.23.1
 convexity, 5.23.1, 5.23.3, Fig. 5.4
 curved, effective length, 2.4.2.2
 details, 3.9.1, 9.9.1, Figs. 2.1, 9.10
 effective area, 2.4
 effective length, 2.4.2.1, 2.4.2.2
 effective throat, Annexes A, B
 end connections, 2.9.2, C-2.9.2
 energy input, Annex H, H.5, H.6, Fig. H.4
 holes, 2.9.4
 intermittent, 2.4.2.4, 2.9.5
 joint details, Figs. 3.2–3.5

lap joints, 2.4.2.9, 2.9.1, 2.9.3.2, 9.5.1.3, 9.6.2.4, C-2.9.3.2, Fig. 2.1
 longitudinal, 2.9.2
 macroetch test for, 4.9.4, 4.22.2
 maximum size, 2.4.2.8, 2.18.3, 3.9, 5.13, 7.5.5.4, Table 5.7
 minimum size, 2.18.3, 3.9, 5.13, 7.5.5.4, 9.9.1(2), Table 5.7
 tolerance, 5.12
 opposite sides, of common plane, 2.9.3.5
 pipe positions, 4.3.4, 9.12.1, Figs. 9.17, 9.18
 prequalified, 3.4.3.5, 3.9, 9.11.2, Fig. 2.1
 profiles, 5.23
 reinforcing, 2.4.2.7, 2.7.4, 2.7.5, Annex A
 shear stress, 2.6.4.1
 slots, 2.9.4
 soundness test, Figs. 4.15, 9.21
 straight, 2.4.2.1
 studs, 7.5.5.2, 7.5.5.3
 terminations, 2.9.3, 2.17.6
 test plates, 4.4
 transverse, 2.9.1.1
 WPS qualification, 4.12
 Film (RT)
 length, 6.17.8.1
 overlapping cassette, 6.17.8.2
 width, 6.17.9
 Fit-up tolerance, 3.13.1
 Flare-groove welds, 2.4.1.4, 2.8.3, 4.11.5, Table 2.1
 Flat position, 5.24.1.1, Figs. 4.1–4.4
 Fluorescent screens, 6.17.4
 Flux, 5.4.3, 7.2.3
 condition, 5.3.3.2, 5.4.3
 damaged packages, 5.3.3.2
 drying, 5.3.3.2, 5.4.3
 electrode combination, 5.3.3.1
 fused, 5.3.3.2
 packaging, 5.3.3.2, 5.4.3
 reclamation, 5.3.3.3, C-5.3.3.3
 SAW, 5.3.3.2, 5.3.3.3
 storage, 5.4.3
 SAW, 5.3.3.2, 5.3.3.3
 Fogging, 6.17.10
 Footprint (tubular connection), Fig. 9.4
 Forms, Annexes L, M

G

Gain control (attenuator), 6.21.4, 6.23.2, 6.24.5.2, 6.25.6, 6.25.6.3, 6.27.1.5, 6.28.2.1
 Gamma ray, 6.17

Gap (g), 9.2.3, 9.6.2.1, 9.6.2.2, 9.6.2.6,
Annex I, Table 9.6, Figs. 9.2, 9.7

General collapse
box, 9.6.2.2
circular, 9.6.1.2

Geometric unsharpness, 6.17.5.1,
Annex J

Girders
camber, 5.22.3, 5.22.4
depth, 5.22.9
splices, 5.19.1
stiffeners, 2.9.3.4, 5.22.11
straightness, 5.22.2, 5.22.5
tilt, 5.22.8
warpage, 5.22.8
web flatness, 5.22.6, Annexes D, E

Girth welds, 9.24.1

Glass tape, 5.9.3, 5.21.1

GMAW (Gas metal arc welding), 3.2.1,
3.11, Annex J
backing thickness, C-5.9.1.3
electrodes, 5.3.4
layer thickness, Table 3.6
power sources, 3.2.4
prequalified WPSs, Tables 3.6, 3.7
essential variables, Tables 4.5, 4.6
properties of electrodes for, 5.3.4
protection from environment, 5.11
root pass, 3.8.1
shielding gas, 3.7.4
GMAW-S, 3.2.2, 4.14.1, 9.15.4.3,
Annex J, Tables 9.8, C-3.1, Fig.
C-3.1

Gouging, 5.14.5.1, 5.14.6, 5.14.8,
5.21.5, 5.23.3.2, 5.25

Gouges, 5.14.8.4, C-5.14.8.3

Grease, 5.14.4.1, 6.25.3, 7.5.5.1

Grinding, 5.14.5.2, 5.14.6, 6.17.3

Groove angle, Annex J, Table 9.8, Figs.
3.2, 3.3, 9.14

Groove welds, 2.3.5, 2.4.1, 2.8
allowable stresses, Tables 2.3, 9.2
backing, 2.17.2, 3.13.2, 5.2.2.2, 5.9,
5.9.1.3, 9.23
bevel, 2.4.2.7, 2.8.3, 3.13.3, Annex
A, Table 2.1
CJP, 2.3.5.3, 2.4.1.2, 2.7.2.2, 2.8.2,
2.17.2.2, 2.18.4, 2.19, 3.11,
3.13, 4.10, 4.11.3, 4.20, 4.21,
6.13.2.2, 6.25.12, 9.5.2.2, 9.11,
9.15, 9.19, 9.20, Tables 2.3, 4.1,
4.2, 4.5(32), 4.10, 9.9, 9.10,
9.13
cross sections of, 2.16.2, 5.21.4.1,
Table 2.5
detail dimensions, 2.3.5.4, Figs. 3.2,
3.3
dimensional tolerances, 3.12.3,
3.13.1, 5.21.4

effective area, 2.4.1.5
effective length, 2.4.1.1, 9.5.2
effective weld size, 2.4.1.2, 9.5.2,
Table 2.1
limitations, 3.13.1, 3.13.3
one sided, 2.18.1, 9.5.2.2
partial length, 2.8.2
PJP, 2.3.4, 2.3.5.1, 2.3.5.3, 2.3.5.4,
2.4.1.3, 2.7.2.1, 2.7.4, 2.7.5,
2.8.3, 3.12, 4.6, 4.9.4.1, 4.11,
4.17, 4.21, 5.21.2, 9.5.2.1,
9.6.1.3, 9.10, 9.16, 9.18, 9.20,
Annexes I, J, M, C-2.3.4, C-
2.6.4, C-2.16.2, C-9.15, C-4.11,
Tables 2.3, 2.5, 9.3, 9.11
prequalified, 3.12.2.1, 9.10, 9.11,
Table 9.5
profiles, 5.23.3, Fig. 5.4
symbols, 2.3.5.3
termination, 5.30
throat, *see* effective weld size
tubular, 9.5.2, Table 9.8

Groove weld test plate, 4.9, Figs. 4.3,
4.45

GTAW (Gas tungsten arc welding),
4.14.1.2, 4.14.1.2, 5.3.5, Annex J
essential variables, Table 4.5

Guided bend test jig, 4.9.3.1, 4.16.1.2

Guide tubes, 5.4.2

Gussets, 9.6.2.2

H

H & D Density, 6.17.11.1

Hammers, 5.26.1

Hardness, 3.5.2, Annex H3

HAZ (Heat-affected zone)
hardness control, Annex H3, H5
hardness of, 3.5.2.1
notch toughness, C-9.15.4.4
testing of, 3.5.2.1

Hazardous materials, 1.7

Heat input, 5.4.5, 5.7, Tables 4.6(9),
U.7, U.8

Heat treatment, 3.14, 5.8, Tables 4.6,
4.7

Hermetically sealed containers, 5.3.2.1,
5.3.2.2, 5.3.2.5

Hole-type IQI, 6.17.3.3, 6.17.7, Tables
6.4, 9.17, Figs. 6.4, 6.7
design, 6.17.7, 9.28.2, Tables 6.4,
9.17
essential hole size, Tables 6.4, 9.17
location, 6.17.7, 9.28.2, Figs. 6.9,
6.10, 9.31, 9.32
minimum exposure, 9.29
number required, 6.17.7, 9.28.2, 9.29
thickness, 6.17.3

Holes, access, 2.7.6, 5.16

Holes
approved WPS, 5.25.5(2)(b)
quenched and tempered steels,
5.25.5(3)
restoration by welding, 5.25.5
subject to other stresses, 5.25.5(1)
subject to tensile stresses, 5.25.5(2)
surface finish, 5.25.5(4)
tests required, 5.25.5(3)(d)
unacceptable, bolt or punched
appearance, 5.25.5(1)

Horizontal position, Figs. 4.1–4.4, 4.19,
4.21, 9.17, 9.18

Hydrogen control, Annex H4, H6.2

Hydrogen cracking, Annex H

I

IIW UT reference block, 6.22.1, 6.27

Identification marks, 6.5.4

In-plane bending, 9.5.4, 9.6.2.5

In-process cleaning, 5.29.1

Inadequate joint penetration, 4.9.1.1,
5.23

Incomplete fusion, 5.25.1.3, Fig. 5.4

Indication rating, 6.25.6.3, 6.25.6.5,
6.25.8, 6.25.9, 6.29.2, 9.30.8.1

Inspection, Clause 6
equipment, 6.2
fatigue, 2.19
general, 6.1, 6.15
incomplete, 9.30.8.3
materials, 6.2
MT, 6.10, 6.14.4
NDT, 4.9.2, 6.11, 6.14, 9.26, C-6.11,
C-9.26
personnel, 6.1.4.4, 6.14.6
pipe and tubing, 4.9.1
PT, 6.10, 6.14.6
records, 6.5
reference standards, 6.22
RT, 6.12, 6.14.1
specific requirements, 2.3.5.6
studs, 7.1, 7.5, 7.6, 7.8
UT, 6.14.3
verification, 6.1.2.2, 6.1.3.2
visual, 4.9.1, 5.14.5.2, 6.5.3.6.9,
7.5.5.7, 7.7.1.3–7.7.1.5, 7.8.1,
9.25, Tables 6.1, 9.16
welder qualification, 6.4
work, 6.5
WPS qualification, 6.3

Inspector, 6.1–6.5, 6.26.1, 6.26.2, 7.8.2
assistant inspector, 6.1.4.3, 6.1.4.4
AWS Certified Welding, 6.1.4.1
Canadian CSA/CWG, 6.1.4.1

Contractor's, 1.3.3.1, 6.1.2.1, 6.1.3.1, Annex J, C-1.3.3.1
 fabrication/erection, 6.1.1, 6.1.2
 identification of accepted welds, 6.5.4
 qualification, 6.1.4
 unmodified, 1.3.3.3
 verification, 1.3.3.2, 6.1.2, 6.6.2, Annex J, C-1.3.3.2
 vision requirements, 6.1.4.4
 Intermittent welds, 2.4.2.4, 2.12.2
 Interpass temperature, 3.5, 3.5.2, 4.8.3, 4.8.4, 5.6, 5.20.6, 5.7, Annex H6.2.4, Table 3.3
 Interpretation of code provisions, Foreword, Annex N
 Intersection length, 9.5.4
 IQI, 6.16.2, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.7, 6.17.9, 6.17.11, 9.28.1, 9.28.2, 9.29.1.1, Tables 6.4–6.6, 9.17–9.19, Figs. 6.4–6.9
 Iridium-192, 6.17.6
 Iron powder, 5.9.3, 5.21.1
 Isotope radiation, 6.17.1, 9.28.1

J

J-grooves, 2.18.2, C-3.11.2
 Job size pipe or tubing, C-9.14, C-Table 9.13, Table 9.10, Fig. 4.10
 Joint root openings, 3.11.3
 Joints
 butt, 2.7.5, 2.17.1.1, 2.17.1.2, 2.17.5, 5.21.3, 5.30.4, 6.16.1, 6.25.6.2, 9.7, 9.11.1, 9.15.1, 9.15.2, 9.16, 9.29.1, 4.24, 9.9, 9.22, 9.23, Annex J, C-6.25.15(2), Figs. C-6.3, C-6.4
 corner, 2.7.5, 2.17.2.2, 2.17.2.4, 2.17.3, 3.11.2, 4.10.1.1, Annex J, C-6.25.12, Figs. 3.2, 3.3
 transition in thickness and width, 2.8.1, 2.17.1, 9.7

K

K-connection, 9.5.2.2, 9.6.1, 9.6.1.5, 9.6.2, 9.8.1.3, 9.11.2, 9.15.3, 9.15.4, 9.15.4.3, 9.16, 9.22.1, 9.30, C-9.15(2)

L

Lamellar tearing, C-2.7.3, C-3.11.2
 Laminar reflector, 6.25.5, 9.30.4

Laminations, Annex Q6.2.1, C-2.7.3, C-5.14.5.2
 Lap joints, 2.4.2.9, 2.9.1, 2.9.2, 2.9.3.2, 9.5.1.3, 9.6.2.4, Annex J, Figs. 2.1, 9.3
 Limitation of variables, WPS qualification, 3.6, 4.8
 ESW and EGW, 4.8.2, 5.4, Table 4.7
 FCAW, Table 4.5
 GMAW, Table 4.5
 SAW, Table 4.5
 SMAW, Table 4.5
 Limitation of variables, tack welders, 4.19
 base metals, Table 4.12
 electrodes, Table 4.12
 position, Table 4.12
 welding process, Table 4.12
 Limitation of variables, welder qualification, 4.18
 base metals, Table 4.12
 electrodes, Table 4.12
 position, Table 4.12
 progression of welding, Table 4.12
 welding process, Table 4.12
 Limitation of variables, welding operator qualification, 4.19
 base metals, Table 4.12
 electrodes, Table 4.12
 position, Table 4.12
 progression of welding, Table 4.12
 welding process, Table 4.12
 Linearity (UT)
 horizontal, 6.21.2, 6.23.1, 6.27.1.4, 6.28.1, Annex G3
 Load
 uneven distribution of, 9.6.1.3, 9.6.2.3
 Load and Resistance Factor Design (LRFD), 9.2.2, 9.2.6, 9.5.3, 9.6.1.1, 9.6.2, Table 9.2
 Local dihedral angle, *see* Dihedral angle
 Local failure
 box, 9.6.2.1
 circular, 9.6.1.1
 Longitudinal bend specimens, 4.9.3.2
 Low alloy steel, 1.2, 3.7.4, 4.14.1.3, 5.3.2, 5.3.3.1, 5.3.4, Tables 3.1, 3.2, 4.6, 4.9
 Low-hydrogen electrodes, 3.3, 5.3.2.1, 7.5.5.6, Annex H3.3, C-2.7.3(2), Tables 3.3, 5.1
 atmospheric exposure, 5.3.2.2, 5.3.2.3, Table 5.1
 condition, 5.3.2.1, 5.3.2.4
 established by tests, 5.3.2.3, Annex F
 redrying, 5.3.2.2, 5.4.3, 7.4.4
 restrictions, 5.3.2.5
 storage, 5.3.2.1, 5.3.2.4

Lowest Anticipated Service Temperature (LAST), 9.8.2.2, 9.15.4.4
 Lubricants, Fig. 7.3

M

Machining, 5.14.6, 5.25, 7.2.5.1
 Macroetch test, 4.9.4, 4.11, 4.22.2, 4.22.2.1, 4.22.2.2
 Macroetch test specimen, 3.5.2.1(1), 4.11.4, 4.12.2, 9.15.4.1(3), 9.22.1, Figs. 4.25, 4.26, 9.27
 Manufacturer
 electrode certification, 5.3.1.1
 responsibility, 4.2.1.1, 4.2.2.2
 shielding gas certification, 5.3.1.3
 stud certification, 7.1, 7.2, 7.3.3, 7.9
 Mastic, C-5.16.1, C-5.27
 Matching strength, 3.3, Tables 2.3, 3.2, 4.9
 Material limitations, 9.8
 May (definition), 1.3.6.3
 Maximum current, Table 3.6
 Maximum electrode diameter, Table 3.6
 Maximum fill pass thickness, Table 3.6
 Maximum root pass thickness, Table 3.6
 Maximum single pass layer width, Table 3.6
 Mean Effective Thread Area, Fig. 7.3
 Mechanical testing, 4.9.3
 Melt-thru, *see* Melt-through
 Melt-through, 4.9.11(6), 5.9.1.3, 5.9.3, 9.14(1), Fig. 9.21
 Member splices, 5.19.2
 Metal cored electrodes, Annex U, C-3.3, Tables 3.2, 3.4 (Note 2), 4.6, U.4, U.9
 Method of testing, 4.9, 4.22, 4.23, 9.14, 9.22
 Mill induced laminar discontinuities, 5.14.5, Table 5.4
 Mill scale, 5.3.3.2, 5.4.3, 5.14.3, 6.25.3, 7.4, 7.5.5.1
 Minimum weld size
 fillet, 2.4.2.8, 7.5.5.4, 9.6.1.6(6), C-5.13, Table 5.7
 PJP, 2.4.1.3, 3.12.2.1, 9.5.2.1, Tables 3.5, 9.5
 skewed, 3.9.2.2
 Misalignment, 5.21.3, Fig. C-5.4
 Mislocated holes, 5.25
 Mock-up, 9.15.4.1, 9.30.2, Annex Q3(15), Q5, Fig. Q.3
 MT (magnetic particle testing), 9.2.7.6, 6.10, 6.14.4, Annex J
 sample form, test report form, Annex M, Form M-7

Multiple arc, 5.3.3, Annex M, Form M-3
 Multiple electrodes, 3.5.2, 3.8, 5.3.3, Annexes J, M, Forms M-4, M-5, Tables 3.6, 4.12
 Multiple pass, 4.12.2, 5.17.4, Annex M, Form M-3, C-3.7.3, C-4.12.1

N

N-connections, 9.5.5.1, 9.6.2.1-9.6.2.3, 9.6.2.6, C-9.6.2.1-C-9.6.2.4
 NDT, 4.9.2, 4.16.1, 5.25.5(1), 5.29.2.6.1, 6.6.4, 6.6.5, 6.7, 6.11, 6.14, 6.15, 6.32, 6.35.1, 8.6.2, 9.26, C-4.9.2, C-6.11, C-9.26
 MT, 6.14.4
 personnel qualification, 6.14.6, 9.30.2
 PT, 6.10, 6.14.5
 RT, 6.12, 6.14.1, 6.16, 6.17, 9.28, 9.29
 UT, 6.13, 6.14.3, 9.30, C-6.13.1
 Nomograph, 6.2.8.2.1(11), 6.2.8.2.3-6.2.8.2.5, Annex L
 Nonconformance, C-1.4.1, 6.6.5
 Nonfusion, 7.4.7, c-7.4.7, *see also* Incomplete fusion
 Nonredundant, 2.14.4, 9.2.7.6, 9.30.2, C-2.14.4, C-9.2.7.2
 Notches, 5.16, 9.2.7.6 (1), C-2.9.3.2, C-2.9.3.5, C-5.14.8.3, C-6.22.1, C-9.2.7.6, C-9.2.7.7, C-9.8.1.3
 Notch toughness, 2.3.2, 3.14(3), 5.8.3, 9.2.7.6(3), 9.8.1.4, 9.8.2, 9.8.2.3, C-1.4.1 (5), C-2.3.2, C-3.14(1), (2), C-5.2, C-5.4, C-5.7, C-7.6, C-9.2.7.7, C-9.8.1.3, C-9.8.2(c), C-9.15.14.4, Tables 4.6, U.4
 base metal, 9.2.7.6(1), (3), 9.2.7.7, 9.8.2, C-9.8.2
 weld metal, 9.15.4.4

O

OEM (Original Equipment Manufacturer), 1.3.4, 1.4.1 (8), Annex J, C-1.3.4, C-1.4.1 (8)
 Offset, 5.15, 5.21, 5.22.6.1, 5.22.8, 9.15.4.3, 9.24.1, 9.29.1.3, Annexes L, T, U, C-5.22.6.1, C-6.25.12(2), C-8.3.5, C-9.6.2.4, Table 7.1, Fig. C-5.3
 Oscillation, 4.14.1.3(1), Annexes J, M, Table 4.7
 Out-of-plane bending, 9.5.4, 9.6.2.5, Annex I, Tables 9.3, 9.6, C-9.3

Ovalizing parameter alpha, Annex R
 Overhead position, 5.24.1.3, 9.6.2.5, 9.17, 9.18, Figs. 4.1-4.4
 Overlap, 2.4.4.4, 2.9.1.2, 2.9.4, 4.22.4.1, 4.23.1, 5.4, 5.23, 5.25.11, 5.26, 9.2.3(3), 9.6.1.6(3), 9.6.2.4, 9.29.1.3, Annex I, C-2.7.3, C-9.6, C-9.6.2.1, C-9.6.2.4, C-9.8.2.3, Tables 9.3, C-9.1, Figs. 9.6-9.8, 9.14, 9.15, Q.8, C-9.4, C-9.5
 Owner, Foreword, 1.3.1, 1.3.3.2, 1.3.5, 5.21.3.1, 5.22.12, 6.1.2.2, 6.1.3.2, 6.6.5, 6.16.2, 6.17.12, 6.18.2, 6.18.3, 6.26.2, 6.26.3, 7.3.5, 7.8.6, 9.24.1, Annexes J, K, Q, C-1.1, C-1.3.4, C-1.4.1, C-6.1, C-6.11, C-6.14, C-16.7.3, C-9.15, C-9.15.4.4
 Oxygen cutting, 5.14.6, 5.14.8.3, Annex J, C-5.14.6
 plate preparation, 5.14.8.2
 repair, 5.16
 roughness, 5.14.6, C-5.14.6
 Oxygen gouging, 5.14.8.2, 5.16, 5.25, 8.5.5
 metal removal, 5.25
 on quenched and tempered steels, 5.14.6, 5.25, 8.5.5

P

Paint removal, 5.14, 6.25.3, 8.5.1
 Parallel electrodes, 5.3.3, Annex M, Table 3.7
 Peening, 5.26, 9.2.7.6, Annexes J, M, P, C-1.3.6.2, C-2.7.3(a)
 acceptable peening, 5.26, C-5.26
 slag removal, 5.26.1
 use of vibrating tools, 5.26.1
 Penetrameters, 6.16.1, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.9, 6.17.11, Tables 6.4, 9.17, Fig. 6.4, *see also* hole-type IQI or wire IQI
 Performance qualification, 4 Part C, 9 Part D
 Personnel qualification for NDT, 6.7, 9.26.1, 9.30.2
 Pipe welds
 job-size pipe, Tables 4.11, 9.14
 procedure qualification test specimens, 4.9.2
 test position, Figs. 9.17, 9.18
 test specimens, location, Figs. 4.5-4.7, 9.19, 9.20, 9.28
 tests required, 9.19, C-9.19
 visual inspection, 4.9.1
 welder qualification, 4.17, 9.18, Figs. 4.19-4.22, 9.22-9.27

Piping porosity, C-6.1, Table 6.1
 PJP groove welds, 2.3.4, 2.3.5.1, 2.3.5.3, 2.3.5.4, 2.4.1.3, 2.7.2.1, 2.7.4, 2.7.5, 2.8.3, 4.6, 4.9.4.1, 4.11, 4.17, 4.21, 5.21.2, 9.5.2.1, 9.6.1.3, 9.10, 9.16, 9.18, 9.20, C-2.6.4, C-2.16.2, C-9.15, Annexes I, J, M, C-2.3.4, C-2.6.4, C-4.11, Tables 2.3, 2.5, 9.3, 9.11
 Plastic deformation, 5.27, 9.2.7.6(3), Annex J, C-5.27
 Plastic moment, Table C-9.1, 9.2.5
 Plate qualification test specimens, 4.9, Figs. 4.5-4.7
 Plug welds, 2.4.5.3, 2.7.4, 2.4.5.4, 2.10.1, 3.9.2, 4.20.2.1, 4.22.2.2, 5.2.4.1, 5.24.2, 9.13, C-2.4.5.4, Tables 4.10, 4.11
 allowable stresses, Tables 2.3, 9.2
 assembly, 5.21.1
 effective area, 2.4.5.3
 filling, 3.10.1
 macroetch test, 4.9.4, 4.11.1, 4.11.4, 4.12.2, 4.22.2, 9.22.1.1, Figs. 4.25, 4.26, 9.27
 prequalified dimensions, 2.10.3, 3.9.2
 qualification tests, 4.21.3, Fig. 4.26
 quenched and tempered steels, 2.10.4, 3.10.1
 size, 3.10.1
 spacing, 2.10.1
 stresses, Table 2.3
 technique for making, 5.24.1
 thickness, 3.10.1
 Porosity, 6.12.2.1, Tables 6.1, 9.16
 Position 1F rotated, 4.12.3.2, 9.14, Annex M, Tables 4.1, 4.4, 4.10, 6.7, 9.9, 9.13
 Position 2F rotated, 4.1, 4.10, 9.9, 9.13
 Position 1G rotated, 4.1, 4.10, 9.9, 9.13
 Position of welding, 2.3.5.1, 4.2.3.2, 4.3.4, 9.12.1, Annex M, C-2.3.4, C-4.3.4, Tables 2.2, 9.5
 Power sources, 3.2.4, Table U.4
 Preheat, 3.4, 3.5, 3.5.1, 3.7.1, 4.8.4, 5.6, Annex H, Commentary Annex H, C-5.3.2.1, C-5.3.2.4, C-5.11.2, C-5.16.2, C-6.1.5, C-7.5.5, C-8.2.1, C-9.15, C-Annex H, Tables 3.3, H.2, C-3.5, C-4.6
 effect on hardness, 3.5.2, C-3.5
 Prequalification of WPSS, Clause 3
 Prequalified joint details, 22.3.5.4, 9.5.1.2, 9.9.1, 9.11.1, Figs. 3.2, 3.4, 9.11, 9.12, 9.14-9.16
 Procedure qualification record (PQR), 4.7, Annex M
 Processes, 3.2.1-3.2.3

Profile effects, 9.2.7.7
 Profiles, weld, 4.9.4, 5.23, 9.2.7.7, C-5.12, C-5.23, C-9.2.7.7, Tables 5.8, 6.1, 9.16, Figs. 5.4, 9.16
 Progression of welding, 3.7.1, Annex J
 Prohibited welded joints, 2.18, 2.18.1, 2.18.3
 Protective coatings, 5.14
 PT, 6.10
 Punched holes, repair, 5.25.5
 Punching shear stress, 9.6.1
 PWHT (Postweld Heat Treatment), 3.14, 4.14.1.3, 5.8.2, 5.8.3, 5.25.5, C-3.3, C-3.14, C-5.8, C-8.4.1, Tables 3.7, 4.5–4.7

Q

Qualification, Clause 4, Annexes G, L, Tables 9.9, 9.10, 9.12–9.14, 9.19–9.28
 forms, Annexes K, M
 general requirements, Clause 4
 inspector, 6.1
 NDT, 6.14.6
 prequalified WPSs, 3.6
 previously qualified WPSs, 4.2.1, C-4.16
 records, 4.3.3, 6.5, 6.19, 6.22.3, 6.35.4
 responsibility, 4.2.2.2
 retests, 4.9.5, 4.24.2.1, 7.9.8
 stud application, 7.6, C-7.6
 tack welders, 4.2.2, 4.2.3, 5.5, 6.4, 6.5.5, 9.17.2, C-4.2.2
 UT unit, Annex G, C-6.25.12, 6.27, 6.22.3
 welders, 4 Part C, 4.2.2, 9 Part D, C-4.2.2
 welding operators, 1.1, 3.1, 4.2.2, 4.15, 4.16, 4.19, 4 Part D, 6.4.1, 6.5.5, 7.7.4, 9.17.1, C-4.2.22
 WPSs, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.4, 3.3, 3.6, 3.7, 4 Part B
 Quality of welds, C-9.26.1
 Quenched and tempered steel, 2.10.4, 5.7, 5.8.1, 5.17.2, 5.18.2, 5.25.2, 8.5.5, C-5.7, C-5.8, C-6.11, C-7.6

R

Radiation imaging, 6.33, 6.14.2, 6.35.4
 RT, 2.19, 4.9.2, 4.16.1.1, 4.22.3, 9.22.2, 9.26.2, 9.27.1, 9.28, 9.29, Annexes J, K, M, C-6.17.6, C-6.18.3, C-6.19.3, C-6.25.5.2, C-9.22

acceptance, 6.12.1, 6.12.2.2, Figs. 6.1, 6.4, 9.29, 9.30
 backscattered radiation, 6.17.8.3
 elongated discontinuities, 6.12.1, Figs. 6.1, 6.4, 9.29, 9.30
 extent of testing, 6.15, C-6.15
 partial testing, 6.15.2
 spot testing, 6.15.3
 film type, 6.17.4, C-6.17.4
 film width, 6.17.9, C-6.17.9
 gamma ray sources, 6.17.6, C-6.17.6
 general, 6.17.1, 6.17.8, 9.28.1
 hole-type IQI, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.9, 6.17.11, Tables 6.4, 9.17, Fig. 6.4
 IQIs, 6.17.1, 6.17.7, 9.28.1, 9.28.2, C-4.3.4, C-6.17.7, Tables 6.4, 6.5, 9.17, 9.18, Figs. 6.8–6.10, 9.31, 9.32
 minimum acceptable image, Fig. 6.2
 minimum exposure, butt joint welds, 9.29
 radiograph illuminator, 6.18.1, C-6.18.1
 safety, 6.17.2
 source location, 6.17.2, C-6.17.2
 sources, 6.17.6, C-6.17.6
 surface preparation, 6.17.3
 wire IQI, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.9, 9.28.1, Figs. 6.8–6.10, 9.31, 9.32
 X-ray unit size, 6.17.6, C-6.17.6
 Radiographs, 4.22.3, 6.12.1, 6.12.2, 6.17, 6.17.5–C-6.17, 9.28, Figs. 6.2, 6.3
 Contractor's obligation, 6.18.2, C-6.18.2
 density limitations, 6.17.11, 9.28.1, C-6.17.11
 density measurements, 6.17.11.2, C-6.17.11.2
 disposition, 6.19, C-6.19
 geometric unsharpness, 6.17.5.1, Annex J
 identification of, 6.17.12
 quality, 6.17.10
 submitted to Owner, 6.18.3
 Radiography, 6.17.2, 6.19.3, C-6.17.2, C-6.19.3
 Records, 4.3.3
 Reduced-section tension tests, 4.5(4), 4.9.3.4, 4.9.3.5, 5.25.5(3)(d), Tables 4.2, 4.3, 9.10, 9.11, Fig. 4.10
 acceptance criteria, 4.9.3.5
 test specimens, Fig. 4.10
 Redundant, 2.14.4, 9.27.1.2, C-2.14.4, C-9.1, C-9.2.7.3, C-9.8.2.3, Table C-9.2, Fig. 9.1

Reentrant corners, 2.17.3, 5.15, 5.16, C-5.15, Table 2.5, Fig. C-5.1
 Reference block, UT IIW, 6.22.1
 other approved design, 6.22.1, Annex G, Figs. 6.16, G.1
 Reference standards, 6.22, Annex S, C-6.22
 Reinforcement, 2.12.2.1, 5.23.3, 5.23.3.1, 6.17.3, C-6.17.3
 removal of, 5.23.3.2, 6.17.3.3
 not removed, 6.17.3.3, C-6.17.3.3
 Reject control (UT), 6.24.1, 6.25.6, C-6.25.6
 Repair, 5.14.5.2, 5.14.6, 5.14.8.3, 5.16.5.18.1, 5.21.4.1, 5.25.5, 6.25.10, C-5.14.6, C-5.14.8.3, C-5.16, C-5.18, C-5.25.5
 of cracks, 5.25.1.4
 of existing structures, Clause 8
 of plate, 5.14.5.2, C-5.14.5.2
 of studs, 7.7.3, 7.7.5
 Report forms, Annex M
 Reports, 6.26, C-6.19, Fig. Q15
 Residual stress, 8.5.6, 9.2.7.6, C-2.3.5.4, C-2.7.3, C-5.3.2.1, C-5.9.1.2, C-8.3.5, C-9.2.7.6, C-9.23
 Responsibilities, 1.4, 2.13.3, C-1.4
 Restoration by welding, of holes, 5.25.5
 Restraint, Annex H, 4.8.4, 5.5, 5.20.5, 5.20.6, Fig. 9.24
 Retests, 4.9.5, 4.24, 4.29, 6.25.11, 7.9.8, C-6.4.2, C-9.15.4.4
 Rivets, 2.7.7, 8.3.7, C-2.7.7, C-8.3.7
 Root-bend test, 4.9.3.3
 Root face, 3.11.3, 5.21.4.2, C-5.21.4.2, Fig. 3.3
 Root opening, 3.11.3, 5.21.4.2, C-5.21.4.2
 build-up of, 5.21.4.1, 5.21.4.2
 Root pass, 3.7.4(4), 3.8.1, Table 3.6
 RT procedure, 6.17, 9.28
 Run-off plates, 2.8.4, 2.17.5, 5.2.2, 5.30, C-5.30, C-6.17.3.1, *see also* Weld tabs
 Rust, 5.14.3, 7.4.1, 7.4.3, 7.5.5.1, 8.5, C-5.14.3
 Rust-inhibitive coating, 5.14, C-5.14

S

Safety and health, 1.7, 6.17.2
 Sample joint, 4.11.4, 9.10.1.1, 9.15.4.1(2), 9.15.4.2, C-9.11, C-9.15, C-9.15.4, C-9.19
 Sample report forms, Annexes L, M, Q13

- SAW (Submerged arc welding), 3.2.1, 3.8, Annex J
 electrode diameter, Annex M, C-7.5, Tables 3.6, 3.7, 4.5
 electrodes and fluxes, 5.3.3, Annex T
 flux reclamation, 5.3.3.3, C-5.3.3.3
 hardness testing, 3.5.2.1
 interpass temperature, 3.5.2, 4.8.4, Annex J, Tables 4.5, 4.6
 layer thickness, Table 3.6
 limitations, 3.13, 9.11
 macroetch test specimens, 3.5.2.1
 maximum current, Table 3.6
 multiple arcs, 3.5.2, 3.8, Table 3.6
 multiple electrodes, 5.3.3
 definition, Annex J
 GMAW root pass, 3.8.1
 reduction of preheat and interpass temperatures, 3.5.2
 weld current limitations, Table 3.6
 weld layer thickness, Table 3.6
 parallel electrodes 5.3.3
 definition, Annex J
 GMAW root pass, 3.8.1
 reduction of preheat and interpass temperatures, 3.5.2
 weld layer thickness, Table 3.6
 welding current limitations, Table 3.6
 preheat, 3.5.2
 prequalified WPSs, Clause 3
 sample joint, 3.5.2.1
 single electrodes, 5.3.3, Annex J, Table 3.6
 tack welds, 5.17.4, 5.17.5
 WPS qualification, 4 Part B
 essential variables, 4.8, Annex J
 Scale, 5.14.3
 Scanning, 6.13.2.2, 6.25.6.1, 6.30, 9.30.5, Figs. 6.15, 9.35, Q.7, Q.8
 Secondary bending, 9.6.2
 Section modulus, 9.6.1.1
 Sensitivity (UT), 6.24.4.2, 9.30.3.2, G2.4
 Sequence, 5.20.1, 5.20.2
 Shall (definition), 1.3.6.1
 Shear connectors, 7.8.3, C-7.2.5, 7.4.5
 Shear stress, 2.6.4, 9.6.1.1, C-2.6.4, C-2.9, C-9.6.1.1, Fig. 9.5
 Shielding gas, 3.7.4, 5.3.1.3, Annex J, C-5.3.1.3, Tables 3.7, 4.5
 wind protection, 5.11.1
 Shop splices, 5.19.1
 Shop welds, 2.3.1
 Short circuiting transfer, *see* GMAW-S
 Should (definition), 1.3.6.2
 Shrinkage, 5.20
 due to cutting, 5.18, 5.20, C-5.18, C-5.208
 due to welding, 5.20, C-5.16.1
 Side bend, 4.9.3.1
 specimens, Fig. 4.9
 Side-bend test, 4.9.3.1, 4.9.3.3, 4.12.3.3, 4.16.1.2, Figs. 4.9, 4.18
 Sidesway, 9.6.2, 9.6.2.5, C-9.6.2.5
 Size effects, 9.2.7.7, C-9.2.7.7
 Skewed T-joints, 2.3.4, 2.3.5.2, 2.4.3, 2.4.3.7, 3.9.2, Annex B, C-2.3.4, Table 2.2, Fig. 3.44
 Slag, 4.22.2.2, 5.3.3, 5.3.3.4, 5.4.4, 5.14, 5.24, 5.29, 7.5.5.1, 9.15.4.1, Table U.4, C-5.29
 Slag inclusion, 4.9.3.3, 5.25.1.3, Annex J, C-6.25.12
 Slag removal, required, 5.29.2
 use of slag hammers, 5.26.1
 use of vibrating tools, 5.26.1
 Slip-critical, 2.7.7
 Slot welds, 2.4.5.3, 2.7.4, 2.10, 4.13, 4.21.3, 5.24.1.2, C-2.7.4, C-2.7.5, C-3.10
 effective area, 2.4.5.3
 ends, 2.4.4.2
 filling, 2.4.5.4
 in quenched and tempered steels, 2.10.4
 operator qualification, 4.21.3
 prequalified dimensions, 2.10.3
 size, 2.4.5, 3.10.1
 spacing, 2.10.2
 technique for making, 5.24.2
 thickness, 3.10.1, 5.24.2
 welder qualification, 4.15.3
 SMAW (Shielded metal arc welding), 3.2.1, 3.7.3.2, 4.2.2, 4.8, 5.3.2, 5.24, 7.5.5, 7.5.6, 9.10, 9.11, Annex J, C-5.3.2, C-5.13
 atmospheric exposure, 5.3.2.3, C-5.3.2.1
 electrodes, 5.3.2.1, 7.5.5.6, C-5.3.2
 essential variables, Table 4.5
 layer thickness, Table 3.6
 maximum fillet weld size, Table 3.6
 of studs, 7.5.5
 prequalified WPSs, Clause 3
 root pass, Table 3.6
 SNT-TC-1A qualification, 6.14.6
 Spacers, 5.22.3
 Spatter, 5.29.2, 6.25.3, Annex J
 Special details, 2.3.5.5
 Special inspection requirements, 2.3.5.6
 Splice plates, 2.11.2, 5.22.6.4
 Splices, 2.7.2.1, 2.7.2.2, 5.19
 cyclically loaded, 5.19.1.2
 member, 5.19.2
 shop, 5.19.1.1
 subassembly, 5.19.1
 Split layers, Table 3.6
 Spot testing (NDT), 6.15.3, C-6.15.3
 Stainless steel, 1.2, C-8.2.2
 Standard units of measurement, 1.8
 Statically loaded structures, Clause 2
 allowable stresses, 2.6.4, 2.16, Table 2.3
 backing, 2.6.4.1
 combinations of welds, 2.7.4
 connections for built-up members, 2.12.1
 dimensional tolerances, 5.22
 eccentricity, 2.6.2, C-2.6.2
 flatness of girder webs, 5.22.6.1, 5.22.6.2, Annex D
 quality of welds
 acceptance criteria, 6.9, 6.13.1, 9.25
 increased unit stress, C-6.9, C-6.11, C-9.26
 MT, 6.10
 PT, 6.10
 RT, 6.12.1
 UT, 6.13.1, C-6.13.1
 visual inspection, 6.9, 9.25, C-6.9
 spacers, 5.22
 transition of thickness, 2.8.1, C-2.8.1, Fig. 2.3
 transition of widths, 2.8.1, C-2.8.1
 undercut, Tables 6.1, 9.16, Annex J
 web flatness, girders, Annex D, Fig. C-5.5
 welds and rivets, bolts, 2.7.7, C-2.7.7
 Steels, quenched and tempered, 2.10.4, 5.7, 5.17, 5.25.2, 8.5.5, C-5.7, C-5.25
 camber correction, 5.18.1
 heat input control, 5.7
 oxygen gouging, 8.5.5, 5.7
 Stiffeners
 bearing, 5.22.11.2, 5.22.11.3
 intermediate, 5.22.6.2, 5.22.11.1
 straightness, 5.22.11.2, 5.22.11.3
 tolerance, 5.22.11
 Straightening, 5.25.2, 7.8.3, 8.1, 8.5.5, C-8.1, C-8.2.1, C-8.5.5
 Straightness, 5.22.1, 5.22.2, 5.22.11.2, C-5.22.2
 Strengthening of existing structures, Clause 8
 base metal, 8.2
 design, 8.3.1
 stress analysis, 8.3.2
 suitability for welding, 8.2.2
 Stress, buckling, 9.6.2.1, C-9.6.2.1
 Stress relief, 5.8
 alternate temperatures, 5.8.2, Table 5.3
 cooling, 5.8.1
 heating, 5.8.1

- holding time, 5.8.1, Tables 5.2, 5.3
quenched and tempered steels, 5.8.1
temperature, 5.8.1, 5.8.2
Stringer pass, Table 4.6(10)
Studs, acceptance
 application qualification, 7.6
 base qualification, 7.2.4, 7.2.6, 7.3-7.5, 7.6.1, 7.6.5, 7.6.6.3, 7.7.1.4, 7.7.1.5, 7.8, 7.9, 7.9.5.1
 certification, 7.2.4, 7.3.3, 7.9
 cracks, 7.2.5
 decking, 7.2.7, 7.6.1, 7.9.5.1
 description, 7.2.4, 7.6.7, 7.9.10
 design, 7.2.1
 fillet weld size, 7.5.5.4
 finish, 7.2.5
 flash, 7.4.7, 7.7.1.3, 7.7.1.5, Annex J
 length of studs, 7.2.1, Fig. 7.1
 manufacturers, 7.6.2, 7.9
 materials, 7.6.3.2, 7.6.7, 7.9.5.1, 7.9.10
 mechanical requirements, 7.3
 moisture, 7.4.1, 7.4.3, 7.4.4, 7.5.5.1
 not prequalified, 7.6.7
 oil, 7.4.1
 removal, 7.4.1
 rust, 7.4.6, 7.7.5
 scale, 7.4.1, 7.4.3, 7.5.5.1
 shear connectors, 7.4.5, 7.8.3, C-7.2.5
 standard type connectors, 7.2.1, Fig. 7.1
 tensile requirements, 7.9.7.1
 torque testing, 7.6.6.2, 7.7.1.4, 7.8.1, 7.8.4, Fig. 7.3
 type A, 7.8.3, 7.8.4, Table 7.1
 type B, 7.4.5, 7.8.3, Table 7.1
Stud welding, Clause 7
 application qualification requirements, 7.6
 arc shields, 7.2.2, 7.4.4, 7.4.6, 7.9.3, C-7.4.6
 automatically timed welding equipment, 7.2.1, 7.5.1, 7.5.2, C-7.5
 bursts, 7.2.5
 certification, 7.2.4, 7.3.3, 7.9
 decking, 7.2.7, 7.6.1, 7.9.5.1, C-7.6
 electrode diameters, 7.5.5.6
 fabrication and verification of fillet welded studs, 7.8
 ferrule, 7.2.2, 7.2.5.1, 7.4.4, 7.4.6, 7.9.3, Annex J
 flash, 7.4.7, 7.7.1.3, 7.7.1.5, 7.7.3, 7.8.1, C-7.4.6
 flux, 7.2.3, 7.9.3, 7.9.4, 7.9.9, 7.9.10
 general requirements, 7.2
 inspection, 7.5.5.7, 7.7.1.3, 7.7.1.4, 7.7.1.5, 7.8, C-7.7.1.4
 inspection requirements, 7.8
 length of studs, 7.2.1, Fig. 7.1
 low-hydrogen electrodes, 7.5.5.6, 7.7.5
 minimum size, 7.5.5.4, Table 7.2
 moisture, 7.4.1, 7.4.3, 7.4.4, 7.5.5.1
 operator qualification, 7.7.4
 preheat requirements, 7.5.5.5
 prequalified processes (SMAW, GMAW, FCAW), 7.5.5
 pre-production testing, 7.7.1
 production control, 7.7
 production welding, 7.7.2
 profiles, 7.4.7
 repair, 7.7.3, 7.7.5
 rust, 7.4.1, 7.4.3, 7.5.5.1
 scale, 7.4.1, 7.4.3, 7.5.5.1
 stud base qualification, 7.2.4, 7.2.6, 7.6.1, 7.9, 7.9.5.1
 technique, 7.5, 7.1.1
 torque tests, 7.6.6.5, 7.8.1, 7.8.4, Fig. 7.3
 workmanship, 7.4
Subassembly splices, 5.19.1
Surface defects, 5.14.2
Surface preparation, 5.14, 5.29, 7.4.3, 8.5
Surface roughness, 5.14.8.3, 5.23.3.1, Annex Q2 (12), C-9.27, Table 2.5 (1.1, 1.2)
Surface roughness guide, 5.14.8.3
Sweep (fabrication), 5.22.5
Sweep (UT), 6.24.2, 6.24.4.1, 6.24.5.1
- ## T
- Tack welder qualification, 4 Part A, 4.2.2, 4.2.3, 4 Part C, 4.15.1.2, 4.15.2.2, 4.16.2.1, 6.4, 9.17.2, C-4, C-6.4
 essential variables, 4.19, Table 4.12
 method of testing specimens, 4.23
 period of effectiveness, 4.2.3.2, 4.24, 4.24.1.3
 retests, 4.24.2, 6.4.2, 6.4.3
 test report form, Annex M
 test specimens, 4.3.2, 4.16.2, 4.23, 4.27, Fig. 9.28
 tests, 4.23
Tack welds
 in final weld, 5.17.1, 5.17.3, 5.17.4
 multiple pass, 5.17.4, 5.17.5
 size, 5.17.5
Technical inquiries, iii, xxxi, Annex N
Telescoping tubes, 9.5.1.3
Temperature, ambient, 5.11.2, 6.11, C-2.7, C-3.5, C-5.11.2, C-5.16.1, C-8.5.5, Tables 3.3, 6.1, 9.16
Temperature limitations, 5.8.2, 5.20.6, 5.25.2, C-5.25.2
Temperature sensitive crayons, 8.5.5
Tension members, 9.8.2.1, C-9.6.1.1, C-9.8.2.1
 built-up, 2.8.2, 2.12.1, 2.12.2.2, 2.18, 5.16.1.2, 5.18, 5.19, 5.20.1, 5.22.7, C-2.4.2.5, C-2.12, C-5.15, C-5.18, C-5.22.2, Tables 2.3, 2.5, Fig. 5.2
 intermittent weld, 2.12.2.1
 repair, 5.14.5.2, C-5.14.5.2
 stress, 2.6.2, 5.25.5, 9.25, 9.8.2.1, Annex I, C-2.6.4, C-2.8, C-2.9.3.2, C-9.6.1.1, Tables 2.3, 9.2, 9.3
Tension test, stud weld, 7.6.6.3, 7.9.7.1, 7.9.7.3, Fig. 7.2
Tension test fixture, Fig. 7.2
Terms, Annex J
Testing agency, 4.2.2.2, 7.6.2, 7.9.2, Annex K
Test plates, welded
 aging, 4.3.2, 4.9.2.1, 4.20.2, Table 4.4, Figs. 4.3, 4.5
 tack welder qualification, 4.23, Figs. 4.23, 4.27
 welder qualification, 4.2.3.2, 4.15.2.2, 4.16.1.2, 4.20.1, 4.22.2.1, 4.22.3.1, Annex M, Figs. 4.16, 4.19–4.21, 9.22, 9.28
 welding operator qualification, 4.15.3, 4.16.1.1, 4.16.1.2, 4.20.2, 4.22.3.1, Tables 4.10, 4.11, Figs. 4.17, 4.22, 4.25, 4.26
 WPS qualification, Figs. 4.2.1, 4.9, 4.15.3, Tables 4.1–4.4, 9.9, Figs. 4.5–4.7, 4.18, 4.26, 9.19
Test specimens, 4.3.2, 4.9, 4.9.3.1, 4.9.3.2, 4.9.5, 4.10, 4.11.4, 4.12.3.2, 4.12.3.3, 4.16.1.2, 4.22.2, 4.25.2, 4.27.2, 7.6.3.1, 7.6.6.3, 7.9.5.1, 7.9.6, 7.9.7.1–7.9.7.3, 9.17.1, C-4.5, C-Table 9.10, Tables 4.2–4.4, 4.15, 9.10–9.12, 9.14, Figs. 4.5–4.7, 4.22, 9.19, 9.20, 9.28
Test weld positions, 4.3.4, 9.12.1, C-4.3.4, Figs. 4.1–4.4, 9.17, 9.18
Thermal cutting, 5.14.6, 5.14.8, 5.14.8.1, 5.14.8.2, 5.14.8.3, 5.15, 5.16.3, 8.3.5
Through-thickness loading, 2.7.3, C-2.7.3
T-joints, 2.4.3, 2.7.5, 2.17.3, 3.9.2, 3.9.2.2, 4.10.1.1, 4.11.1, Annex B, Tables 4.3, 9.3, 9.11, Figs. 3.2, 3.3, 3.6

Tolerances

- alignment, 5.21.3, 9.24.1
- camber, 5.18, 5.22.2, 5.22.3, 5.22.4, 5.22.4, C-5.18, C-5.22.2, C-5.22.4, Tables 5.5, 5.6, Fig. C-5.6
- dimensional, 3.12.3, 3.13.1, 5.8, 5.21.4.1, 5.22, 5.22.6.4, 5.22.12, 9.24, C-5.2, C-5.21, C-5.22, C-5.22.12, Table 9.15, Figs. 3.2, 3.3, 3.5, 5.3, 6.4, 7.1
- flatness, 5.22.6.1-5.22.6.3, 6.17.3.2, C-5.22.6.1, C-5.22.6.2 C-6.17.3.2, Fig. C-5.5
- offset, 5.21.3, 5.22.6.1, 5.22.8, 9.24.1, C-5.22.6.1, Table 7.1, Fig. C-5.3
- variation from straightness, 5.22.1, 5.22.2, 5.22.5, C-5.22.2
- warpage, 5.22.8, C-5.22.8, Fig. C-5.7
- Torque testing, 7.6.6.2, 7.7.1.4, 7.8.1, 7.8.4, Fig. 7.3
- Transducer calibration, 6.24.3, 6.27, 6.27.2.2(2), 6.27.2.3, 6.27.2.4, Annex G, C-6.24.4.1, C-6.24.5.1
- Transducer specifications, 6.21.6, 6.21.7, C-6.21.6
- Transitions of thickness or widths, 2.75, 2.8.1, 2.17.1.1, 2.17.1.2, 6.17.11.2, 9.7, C-2.8.1, C-6.17.11.2, Table 2.5, Figs. 2.2, 2.3, 2.12, 9.9
- Transverse bend specimens, 4.9.3.1, 4.9.3.2, 4.27.4, C-4.9.3.2, Figs. 4.8, 4.9
- Tubular structures, Clause 9, 9 Part A, Table 9.2, Fig. 9.1
 - acute angle heel test, 9.15.4.2, Fig. 9.24
 - allowable load components, 2.6.4.4, C-9.6.1.1
 - allowable shear stress, 9.6.1.1, 9.6.1.6
 - Allowable Stress Design (ASD), 9.2.2, Table 9.2
 - box, 9.6.2, 9.10.1.1, Tables 9.9, 9.13, Figs. 9.7, 9.20, 9.25-9.28
 - circular, 9.2.3(1), 9.5.4, 9.6.1, 9.8.1.1, Tables 9.3, 9.6, C-9.6
 - allowable stresses in welds, 9.2.4, C-9.2.4, Table 9.2
 - fiber stresses, 9.2.5
 - allowable unit stresses, 9.2.5, 9.6, C-9.2.4
 - axial load, 9.5.2.2, 9.5.4, 9.5.5.1, 9.5.5.2, 9.6.1.1, 9.6.2.1-9.6.2.3, 9.6.2.5, 9.7, Annex I, C-9.6.1.1(5), C-9.6.2, C-9.6.2.5, Tables 9.3, 9.6
 - bending, 9.6.2.5, C-9.6.2.5, Table C-9.3
 - box connections, 9.6.2, 9.6.2.2, 9.10.1.1, 9.15.4.1(d), C-9.6.2
 - box section parts, 9.6.2, 9.8.1.1, 9.11.2, C-9.6.2, C-9.6.2.3, C-9.19
 - box section qualification, test specimens, Fig. 9.20
 - box section strength, 9.2.3, 9.5.3, 9.8.1.2(1), Tables 9.3, 9.6
 - circular section, Fig. 9.2(A)
 - CJP, 9.5.2.2, 9.11, 9.11.2, 9.14, 9.15, 9.19, C-9.11, C-9.15, C-9.19, Tables 9.7, 9.8, 9.10, Figs. 9.12-9.16, 9.27
 - collapse, 9.6.1.2, 9.6.2.2, C-9.6.1.2, C-9.6.2.2
 - cross joints, 9.6.2.1, Fig. 9.2(G)
 - crushing load, 9.6.2.2, C-9.6.2.2
 - details of welded joints, 9.5.1.2, Figs. 3.2, 3.3, 9.10-9.14
 - dimensional tolerances, 5.21.4.2
 - effective fillet length, 9.5.1.1
 - effective weld areas, 9.5.1.1
 - failure, 9.6.1.3, 9.6.2.1, C-9.6.1.1, C-9.6.2.1, Table C-9.1
 - fatigue, 9.2.7, 9.2.7.2, 9.2.7.6, 9.2.7.7, C-9.2.7.2, C-9.2.7.3, C-9.2.7.6, Tables 9.1, 9.4, Figs. 9.1, 9.16
 - fillet welds, 9.5.1.2, 9.5.2.2, 9.6.1.3(4), 9.6.1.6(6), 9.11, 9.12.1(2), 9.16, 9.18(3), 9.21, 9.22.1.1(1), Table 9.12, Fig. 9.18
 - details, 9.5.1.1
 - fillet welded, 9.10.1
 - fillet welds for tubular T-, Y-, and K-connections, 9.5.1.2, 9.18(3) Fig. 9.10
 - flared connections, 9.6.1.4
 - groove welds, 9.5.2, 9.10, 9.11, 9.15, 9.19, 9.24.2, 9.29
 - identification, 9.3, Fig. 9.2
 - inspection, 9.25, Table 9.16
 - intersection lengths of welds in box sections, 9.5.5
 - in T-, Y-, and K-connections, 9.5.4
 - joint can, 9.6.1.2(2), 9.8, 9.15.4.4
 - K-connections, *see* T-, Y-, and K-connections
 - lap joints, 9.5.1.3
 - length of welds, 9.5.4, 9.5.5
 - Load and Resistance Factor Design (LRFD), 9.2.2, 9.2.6, 9.5.3, 9.6.1.1, 9.6.1.3(b), Table 9.2
 - main member load, 9.5.3, 9.6.2.1
 - mock-up, 9.15.4.1
 - NDT of tubular structures, 9.26.2
 - RT, 9.29
 - UT, 9.30, 9.27.1
 - notch toughness
 - base metal, 9.8.2
 - HAZ, C-9.15.4.4
 - weld metal, C-9.15.4.4
 - overlapping joints, 9.6.1.6, 9.6.2.4
 - box, 9.6.2.4, C-9.6.2.1, C-9.6.2.4, Figs. 9.8, C-2.6
 - circular, Fig. 9.6
 - PJP groove welds in matched box connections, 9.10.1.1
 - prequalified joint details, 9.15.4, Table 9.8
 - processes and procedures
 - T-, Y-, and K-connections (less than 30°), 9.15.4.2
 - other joint details, 9.19.1
 - punching shear stress, 9.6.1.1
 - qualification tests, 4.15.3, Tables 4.10, 9.13, 9.14
 - RT, 9.28, 9.29
 - strength of connections, limitations of, 9.6
 - symbols, 9.4, Annex I
 - T-, Y-, and K-connections, 9.5.2.2, 9.5.3, 9.5.4, 9.5.5.2, 9.6.1.2, 9.6.1.3, 9.6.1.5, 9.6.2.6, 9.8.1.3, 9.10.1, 9.11.2, 9.15.4, 9.16, 9.19, 9.22.1, 9.27.1.2, 9.30, 9.30.5, Tables 4.10, 9.2, 9.3, 9.13
 - test specimens, qualification, 4.9.2
 - transfer of load, 9.6.2.3
 - transition slope, 9.6.1.4
 - transition of thickness, 9.7
 - transitions, tube size, 9.6.1.4, Fig. 9.2(K)
 - tubular grooves in T-, Y-, and K-connections, 9.11.2
 - undercut, Table 9.16
 - unit stresses, base metals, 9.2.2
 - unit stresses, welds, 9.2.4
 - UT, 9.30
 - WPS qualification tests, 9.14
 - butt joints welded from one side, 9.15.2
- Y-connections, *see* T-, Y-, and K-connections

U

- Ultimate load, 9.2.6, 9.6.1.1, 9.6.2, 9.6.2.2, Annex I
- Undercut, 3.7.1(1), 4.9.4.1, 4.22.4.1, 4.23.1, 5.5, 5.23.2, 5.23.3.1, 5.25.1.2, 7.7.1.3, 9.15.4.1,

- 9.22.1.1, Annex J, C-6.9, C-8.4.1, Tables 6.1, 9.16
- Undermatching strength, 3.3
- Unequal thicknesses, 2.17.1, Table 2.5, Figs. 2.2, 9.9
- Unequal width, 2.7.5, 2.17.1.2
- Unlisted base metals, 4.8.3
- Unlisted materials, 3.4
- Unit stresses
- base metal, 2.6.3, 2.6.5, 2.15.2, 9.2.2
 - shear, 2.6.4.1
 - tension, Tables 2.3, 9.2
 - welds, 9.2.4, 2.6.4, 2.16.1
- Unzipping, 9.6.1.3, 9.6.2.3
- UT (Ultrasonic testing), 6.13, Annex J
- acceptance criteria, 4.9.2.2, 6.13.1, 6.13.2, 9.26.2, 9.27.1, Annexes K, Q, Table 6.3
 - attenuation factor, 6.25.6.4, Annex J
 - backing, 6.25.12, Annex Q
 - base metal discontinuities, 6.19.4, C-6.25.5.2
 - calibration, 6.21.4, 6.22-6.24, 6.27, 9.30.3, Annex G, Table 6.8
 - calibration for angle beams, 6.23.4, 6.24.5, 6.27, Table 6.8, Annex G
 - distance, 6.24.5.1
 - horizontal sweep, 6.24.5.1
 - zero reference level sensitivity, 6.24.5.2
 - calibration for longitudinal mode, 6.27.1, Annex G, G7
 - calibration for shear mode, 6.27.2, Annex G
 - amplitude calibration, 6.27.1.2, 6.27.2.4, 9.30.3.2(2), C-9.27, Annexes G, Q
 - approach distance, 6.27.2.6
 - distance calibration, 6.27.2.3, Annex G
 - resolution, 6.27.2.5
 - sound entry point, 6.27.2.1, 6.27.2.2, Annex G
 - sound path angle, 6.27.2.2
 - transducer positions, 6.27.2.1(1), 6.27.2.2(1), 6.27.2.3-6.27.2.5, Annex G
 - calibration for straight beam, 6.24.4
 - horizontal sweep, 6.24.4.1, 6.24.5.1, Annex Q
 - sensitivity, 6.24.4.2
 - calibration for testing, 6.24
 - distance, 6.24.5.1
 - horizontal sweep, 6.24.4.1, 6.24.5.1
 - zero reference level sensitivity, 6.24.5.2
- crossing patterns, 6.25.6.2
- discontinuities, longitudinal, 6.25.6.2, 6.29.1, 6.30.1
- discontinuities, transverse, 6.25.6.2, 6.30.2 Annexes J, L
- discontinuity length determination, 6.25.7, 6.29.2
- discontinuity size evaluation procedures, 6.29
- angle beam testing, 6.29.2
 - straight beam testing, 6.29.1
- equipment, 6.21
- gain control, 6.21.4
 - horizontal linearity, 6.21.2
 - search units, 6.21.6, 6.21.7
- equipment qualification, 6.23, 6.28, 9.30.3, Annex L, Table 6.8
- calibration block, 6.23.4
 - dB accuracy, 6.28.2.6.31, Annex L
 - gain control, 6.23.2, 6.27.1.5
 - horizontal linearity, 6.23.1, 6.28.1, Annex G
 - internal reflections, 6.21.7.5, 6.23.3, 6.28.3
 - verification, 6.23.3
- ESW and EGW, 6.19.3
- examples, 6.31, Annexes G, L
- extent of testing, 6.19.1, 6.25.5
- groove welds, 6 part F
- indication length, 6.25.5
- laminar reflector, 6.25.5, 9.30.4
- longitudinal mode calibration, 6.27.1, Annex G
- nomograph, 6.28.2.3, 6.28.2.4, 6.28.5, Annex L
- operator requirements, 9.30.2
- personnel qualification, 6.14.6, 6.35.1, 9.30.2
- procedure, 6.19.1, 6.25, 9.30.1
- procedures, equipment qualification, 6.28, Annex G
- horizontal linearity, 6.21.2, 6.23.1, 6.27.1.4, 6.28.1, Annex G
 - internal reflections, 6.27.7.5, 6.23.3, 6.28.3
 - vertical linearity, 6.28.2.1, 9.30.1
- procedures, discontinuity size evaluation, 6.29
- angle beam testing, 6.29.2
 - straight beam testing, 6.29.1
- qualification blocks, 6.22.3
- reference blocks, IIW, 6.21.7.7, 6.22.1, 6.27, Annex G
- information on, 6.25.6.3, 6.25.6.5, 6.26.1
- other approved blocks, 6.22.1, 6.27, Annex G
- reports, 6.25.11, 6.25.6.5, 6.26, 9.30.8
- disposition, 6.26.3
- reflector size, 6.25.5.1
- repairs, 6.25.10
- scanning patterns, 6.30
- search units
- amplitude, 6.13.1, 6.27.1.2, 6.27.2.4, 9.27.1, 9.30.3.2, Annex G
 - angle beam, 6.21.7.6.22.3, 6.23.4, 6.25.6, 6.27.2.1, 6.27.2.2, 6.27.2.5, 6.29.2
 - approach distance, 6.27.2.6
 - dimensions, 6.21.6, 6.21.7.2, 6.21.7.6
 - distance calibration, 6.24.4.1, 6.24.5.1, 6.27.1.1, 6.27.3, 9.30.3.1, Annex G
 - resolution, 6.22.3, 6.27.1.3, 6.27.2.5
 - sensitivity, 6.24.2, 6.24.4.2, 6.24.5.2, 6.27.2.4
 - shear wave mode, 6.27.2, Annex G
 - sound entry point, 6.27.2.1, 6.27.2.2, Annex G
 - sound path angle, 6.27.2.2, Annex G
 - straight beam, 6.21.6, 6.25.5, 6.28.1, Annex G
- spot testing, 6.15.3
- testing angle, 6.25.5.2, 6.25.6.1, Table 6.7
- testing procedure, 6.19.2, 6.25, 9.30.1
- cleanliness of surfaces, 6.25.3
 - couplant materials, 6.25.4
 - discontinuity evaluation, 9.30.7
 - testing of repairs, 6.25.10
- thickness limitations, 6.19.1
- transducer locations, 6.27.2.2, Fig. 6.16
- transducer size, 6.21.6, 6.21.7.2, 6.29.1
- tubular structures, 9.30
- weld identification, 6.25.1, 6.25.2
- UT (Alternative Method), 6.19.1, 6.19.2, Annex Q
- acceptance criteria, Annex Q3(2), Q12
 - amplitude, Annex Q6.1(2), Q11, Q12.1, Figs. Q.9-Q.11, Q.15
 - calibration, Annex Q3(7), Q6, Q9.1
 - calibration test block, Annex Q3(6), Q5
 - compression wave, Annex Q6.2, Fig. Q.5
 - DAC (Distance Amplitude Correction), Annex Q6.2.2, Q6.3.2, Fig. Q.7
 - discontinuities, Annex Q3(11), Q5, Q6.3, Q8-Q12, Fig. Q.15

UT (Alternative Method) (Cont'd)

cylindrical, Annex Q8.1(2), Q8.2.2, Q13, Fig. Q10
 height, Annex Q3(11), Q4, Q6.1.1, Q6.2, Q9.2, Q10.3, Q12, Figs. Q.12, Q.15
 length, Annex Q3(11), Q4, Q6.1.1, Q9.3, Q12, Figs. Q.13, Q.15
 location, Annex Q3(11), 6.2, Q9, Q10.5, Q12.2, Fig. Q.15
 orientation, Annex Q9.1, Q9.3.1, Q10.4
 planar, Annex Q8.1(3), Q8.2.3, Q10.2(a), Q10.3, Q10.4, Q13, Fig. Q.11
 spherical, Annex Q8.1(1), Q8.2.1, Q10.2(c), Q10.3, Q13, Fig. Q.9
 display, Annex Q9.2.2, Q9.2.3, Q9.4
 documentation requirements, Annex Q3(14), Q3(15)
 equipment, Annex Q3(3), Q4
 laminations, Annex Q3(8)
 Level III (ASNT), Annex Q3(15)
 operator, Annex Q4
 procedures, Annex Q2, Q3
 reports, Annex Q13, Fig. Q.15
 scanning, Annex Q3(5), Q3(10), Q6.1.1, Q7, Q9.4, Fig. Q.8
 sensitivity, Annex Q3(10), Q6.1.1, Q6.2.2, Q6.3.2, Q10, Figs. Q.4, Q.6, Q.7, Q.14
 shear wave, Annex Q6.3, Q.7
 standard reflector, Annex Q5, Q6, Figs. Q.1, Q.3
 transducer, Annex Q3(4), Q4
 transfer correction, Annex Q3(12), Q6(3), Fig. Q.4
 weld classes, Annex Q11
 weld marking, Annex Q3(9), Q9.2.3, Q9.3.3, Q9.3.4, Q9.5, Fig. Q.13
 UT report forms, Q.15, Annex L

V

Verification inspection, 1.4, 1.4.3.2, 6.1.2.2, 7.8, C-1.4.1(3), C-6.1.2
 Verification Inspector, 1.3.3.2, 6.1.3.2, 7.8.2, Annex J
 Vertical position, 3.7.1, 5.24.1.2, Annex J, Tables 4.6, 4.7, Figs. 4.1–4.4, 9.17, 9.18
 prequalified, 3.7.1
 restrictions on, 3.7.1
 Vickers hardness, 3.5.2, Annex H3.3
 Vision acuity, 6.1.4.4

Visual inspection, 4.9.1, 4.22.1, 6.5.3, 6.6.1, 6.6.4, 6.9, 7.5.5.7, 7.8.1, 8.6.1, 9.25

W

Warpage, 5.21.6, 5.22.8, C-5.22.8, Fig. C-5.7
 Weathering steel, 2.12.2.3, 3.7.3, 5.4.7, C-3.7.3, C-2.12.2.3, Tables 2.5, 3.4
 Web-to-flange welds, 2.9.3.4, 6.13.1, 6.13.2.2, C-2.9.3.4, Tables 6.1, 9.16
 Weld access holes, 2.7.6, 5.16, 5.16.1, 5.16.1.1, 5.16.1.2, 5.16.2, 5.16.3, C-2.7.6, C-5.16, Table 2.5
 Weld cleaning, 5.29
 completed welds, 5.29.2
 in-process cleaning, 5.29.1
 use of manual hammers, 5.26.1
 use of lightweight vibrating tools, 5.26.1, C-5.26
 Weld length, *see* Welds, length
 Weld profiles, *see* Welds, profiles
 Weld size, *see* Welds, size
 Weld spatter, removal of, 6.25.32
 Weld starts and stops, 5.4.4, Fig. 9.11
 Weld tabs, 2.8.4, 2.17.5, 4.9.1, 5.2.2, 5.2.2.1, 5.30, 5.30.1–5.30.3, 6.17.3.1, C-5.30, C-6.17.3.1, Annex P
 Weld thickness (UT), 4.9.1.1, 5.8, 6.13.1, 6.13.2.2, 6.17.13, 6.33.1, 6.34.1, C-6.25.6, C-6.25.8, Tables 6.3, 6.7
 Welder qualification, 4 Part C, 9 Part D
 essential variables, 4.19, Table 4.12
 fillet weld tests, 4.21.2, 4.22.2.1, Figs. 4.27, 9.21
 groove weld tests, 9.19
 limited thickness, 4.15.2.2, 4.20.1, Figs. 4.20, 4.21
 method of testing, 4.22.3.1, 9.22
 number of specimens, 4.15.2.1, 9.17.1, Tables 4.11, 9.14
 period of effectiveness, 4.2.3.1
 pipe welding tests, 4.21.1, 4.21.3, 9.19, 9.20
 plate, 4.20.1, 4.21, Figs. 4.16, 4.19–4.21
 position, 4.15.1.1, 9.17.1
 production welding position, 4.15.1.1, 9.17.1, Tables 4.10, 9.13
 records, 4.3.3
 retest, 4.24
 T-, Y-, and K-connections, 4.11, 9.14
 test results, 4.16

bend tests, 4.16.1
 fillet weld break tests, 4.22.4
 macroetch test, 4.22.2.2, 9.22.1.1
 RT, 4.22.3.2
 visual, 4.9.1
 test specimens, 4.16.1, Fig. 4.23
 location, pipe and rectangular tubing, 4.16.1.2, Fig. 9.28
 preparation, 4.16.1.2
 tests required, 4.2.3.2, 4.5
 tubular butt, 4.13.3, 9.15.1, 9.19, Figs. 9.22, 9.23
 Welders, 3.1, 4.2, 4.2.2, 4.2.3, 4.15.1, 4.15.2, 4.16.1, 4.16.2, 4.19, 4.20.1, 4.24.1.3, 5.5, 6.4, 6.5.5, 9.17, Table 4.12
 Welding
 at low temperatures, 5.11.2, 7.5.4, C-5.2, C-5.11.2
 equipment, 5.10, 6.3
 progression, 5.20.2
 Welding consumables, 4.12.3.3
 Welding operator qualification, 4 Part D, 7.7.4
 essential variables, 4.8, 4.19, C-4.8, C-4.19, Table 4.12
 ESW/EGW weld tests, 4.20.2, 4.8.2, Table 4.10, Fig. 4.24
 fillet weld tests, 9.21, Figs. 4.22, 4.25, 4.26
 groove weld tests, 4.20, 4.21.1, 9.19, 9.20
 method of testing, 4.22, 9.22
 number of specimens, 4.15.2.1, 9.17.1, Tables 4.11, 9.14
 period of effectiveness, 4.2.3.1, 4.24.1.3
 pipe weld tests, Figs. 4.22, 4.25
 plate weld tests, 4.12.3.27
 plug welds, 4.21.3, Fig. 4.26
 preparation of test specimens, 7.6.3, 7.9.5
 retests, 4.9.5, 4.24
 stud welds, 7.7.4, C-7.1
 test report form, Annex M
 test results required, 4.16
 bend tests, 4.16.1
 fillet weld break tests, 4.22.4
 macroetch tests, 4.22.2.3
 RT, 4.22.3.2
 visual, 4.9.1
 test specimens, 4.16.1
 Welding operators, 4.15.1, 4.16.1, 4.2.2, 4.2.3, 5.20.2, 6.4, 7.7.4, 9.17.1, C-4.2.2, Table 4.10
 Welding Performance Qualification Record (WPQR), 4.18, Table 4.12
 Welding personnel, 4.2.2, C-4.2.2
 Welding sequences, 5.20.2

Welding symbols, 1.6, 2.3.5

Welds

acceptability, 6.7, 9.26.1, C-9.26.1
 access hole geometry, Fig. 5.2
 accessibility, 5.25.4, 6.25.5.2, C-6.25.5.2
 area, 2.4.1.5, 2.4.2.10
 cleaning, 5.29, C-5.29
 diagrammatic, 2.4.2.6, 2.4.3.7, Annex A
 fatigue stress provisions, 2.16.2, 5.19.1.2, C-2.16.2, Tables 2.5, 9.1
 length, 2.3.4, 2.4.1.1, 2.4.2.10, Tables 6.1, 9.16
 notch toughness (tubular), 2.3.2, 9.8.2, 9.15.4.4, C-2.3.2, C-3.1.4
 painting, 5.29.2
 profiles, 5.23, 9.11.2, Tables 5.4, 5.8, 9.4
 quality, 6.7, 9.26.1
 size, 2.3.4, 2.4.1, 2.4.2, 2.4.2.8, 2.4.2.9, 2.4.3.6, 3.12.2, 4.11.2, 5.13, 9.2.7.7, Tables 3.5, 5.7, 7.2, Figs. 2.1, 2.5, 2.6

stresses, 9.2.4, 9.5.3

surfaces, 5.23.3.1

temporary, 5.17.1

termination, 2.9.3

Wind velocity, 5.11.1, 5.11.2

Wire feed speed, Table 4.5(17)

Wire IQI, 6.17.3.3, Tables 6.5, 9.18,

Figs. 6.5–6.9

Workmanship tolerances, 5.21.4.1, Fig. 5.3

WPS (Welding Procedure Specification),

Clause 3, 4.3, 4 Part B, 5.5, 6.6,

9 Part B, 9 Part C, Annex P

essential variables, 4.8.1, 4.8.2, 4.18, Tables 4.5, 4.7

qualification, 4.4, 4.5, 4.11, 4.12.1,

6.5.5, 9.12, 9.14, Tables 4.1–

4.4, 9.9–9.12, Figs. 4.5–4.7,

4.15, 4.18, 4.26, 9.10, 9.19–

9.21, 9.23, 9.25–9.27

sample forms, Annex M

specific values required, 4.7

WPS qualification, *see* WPS,

qualification

X

X-rays, 6.16.1, 6.17.6, 6.17.11, 6.33, C-6.17.6

Y

Yield line analysis, C-9.6.2, C-9.6.2.1, C-9.8

Yield strength, 1.2, 2.12.2.2, 3.14, 4.28.1, 4.28.2, 5.2.2.2, 5.17.1, 5.27, 9.6.1.1, 9.6.1.3, 9.6.2.1, 9.6.2.3, 9.6.2.4, 9.8.1.1, 9.8.2.1, 9.8.2.2, Annexes I, T, U, C-3.14, C-5.2, C-8.4.1, C-9.6.1.3, C-9.8.2, C-9.15.4.4, Tables 2.3, 4.8, 4.14, 7.1, 9.6, C-9.4–C-9.6, Figs. 4.8, 4.9, 4.11–4.13, C-9.6

Z

Z loss, 2.3.5.2, 2.4.2.6, 2.4.3.3, 2.4.3.7, 9.5.2.1, Annex I, C-2.3.4, Tables 2.2, 9.5, Figs. 3.4, 9.10, 9.11

本页被故意留为空白。

AWS 结构焊接文件一览表

标号	标题
D1.1/D1.1M	钢结构焊接规范
D1.2/D1.2M	铝结构焊接规范
D1.3/D1.3M	薄钢板结构焊接规范
D1.4/D1.4M	钢筋结构焊接规范
D1.5M/D1.5	桥梁焊接规范
D1.6/D1.6M	不锈钢结构焊接规范
D1.7/D1.7M	现有结构的加固和修补指南
D1.8/D1.8M	结构焊接规范—抗震补遗
D1.9/D1.9M	钛结构焊接规范

本页被故意留为空白。



版权归美国焊接协会

由获得 AWS 授权的 IHS 提供

未经 IHS 许可不得复制或上传网络。

被许可方=阿尔伯塔大学/5966844001，用户=wang, ge

不得转售，09/04/2015 09:23:45 MD