

AWS

美国国家标准

AWS D1.1/D1.1M:2010

钢结构焊接规范

Structural Welding Code—Steel

本标准受版权法保护，未经 BSI（英国标准学会）许可不得复制

美国国家标准

美国国家标准

钢结构焊接规范

Structural Welding Code—Steel

翻译单位 上海晨辉公司

翻译 潘志刚

校对 王允金

编辑 陈君

2015 年 3 月

AWS D1.1/D1.1M:2010
美国国家标准

2010 年 3 月 11 日由美国标准学会批准

钢结构焊接规范

第 22 版

取代 **AWS D1.1/D1.1M:2008**

美国焊接学会 (AWS) D1 结构焊接委员会 编制

AWS 技术活动委员会 指导

AWS 理事会 批准

摘要

本规范包含对常用碳素钢和低合金结构钢的任何类型结构的焊接要求。第 1 章至第 8 章构成了钢结构焊接规范条例的主体。规范中载有标准性附录 9 则和信息性附录 12 则。文件还包括对规范条文的说明。



American Welding Society®
550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126

国际标准书号：978-0-87171-772-6

美国焊接协会

550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126

美国焊接协会登记版权 © 2010

保留所有权利

在美国印刷

勘误表：2011 年 10 月，第 2 次印刷

影印权。事先没有版权所有者的书面许可，本标准的任何部分不得复制、存储于可检索系统中，也不得以任何形式，包括机械的、影印的、记录的或其他方式传播。

倘若给版权清算中心支付适当的费用，美国焊接协会可以授予影印标准条款仅作为内部、个人或教学之用，或特别的用户仅作内部、个人或教学之用。版权清算中心地址：222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, 电话：(978) 750-8400；互联网网址：

<www.copyright.com>.

关于美国焊接协会标准的使用的声明

美国焊接协会 (AWS) 的所有标准(典范、规范、推荐规程、方法、分类和指南),是按照美国国家标准学会 (ANSI) 的规则编制的、自愿采用的、代表多数人意见的标准。如果联邦或州法律和法规或其他政府机构法规涉及的文件中采纳或包含 AWS 美国国家标准,则其条款具有完全的法律法令效力。在此类情况下,在 AWS 标准成为所述法律和法规的一部分之前,对其进行的任何变更必须由具有法定权限的政府机构批准。在所有情况下,这些标准在采用 AWS 标准的合同或其他文件中具有完全的法律效力。如果存在该契约关系,则对 AWS 标准要求的更改或偏离必须由合同各方达成协议。

美国焊接协会美国国家标准是通过一个多数人同意的标准制定程序制定的,它把代表不同观点和不同利益的志愿者们结合在一起,以达成代表多数人意见的标准条文。AWS 管理这个过程并建立规则来推进代表多数人意见的标准制定程序的公平,它不独立地试验、评价和验证包含在其标准中的任何资料的准确性或任何判断的公正性。

美国焊接协会拒绝任何因本标准的发行、使用或信赖而产生的人身或财产伤害或其他自然损害的责任,无论是特殊、间接的、因果关系的或直接间接代偿性的。美国焊接协会也不对这里公布的任何资料的正确性或完整性作任何保证或担保。

在发行和使本标准可用的过程中,美国焊接协会既没有承诺为了任何个人或实体的利益提供专业的或其他的服 务,也没有承诺为任何个人或实体执行任何义务。任何使用这些文件的人应当依赖于他或她的独立判断,或者适当地寻求有能力的专业人员对确定任何特定情况下的实施和合理的注意事项以忠告。应该说,本标准及其条款的使用要依赖于那些有适当资格和能力的人员。

本标准可能为新版的发行所取代。本标准也可能通过发行修正案或勘误表进行修正。也可能通过发行附录进行补充。最新版本的美国焊接协会标准上的信息包含修正案、勘误表以及附录,都会在美国焊接协会的网页 (www.aws.org) 上进行公布。使用者应确保其使用的是最新版本、补遗、勘误表和附录。

本标准的发行不意味着可以违犯任何专利或商标权。本标准的使用者要承担违反任何专利和商标权事务的任何或全部责任。美国焊接协会拒绝因使用本标准而违反任何专利或产品商标权的责任。

美国焊接协会不能监视、管辖和强迫对于本标准的符合性,它也没有权力这样做。

标准的正文、表格或图形印刷偶尔会有错误,构成勘误表。一经发现,我们会在美国焊接协会的网页 (www.aws.org) 上发布这一勘误表。

只有递交一个书面的请求到适当的技术委员会,你才能获得本标准中任何技术要求的正式解释。此类请求应当寄给美国焊接协会技术服务部主任,抬头应注明: **Managing Director, Technical Services Division, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126** (见附录 O)。有关对于美国焊接协会标准的技术质询和口头意见也可呈递。这样的意见仅作为方便本标准使用者而提供,而不构成专业的建议。这样的意见仅代表特别个体对标准的个人意见。这些个人不代表美国焊接协会讲话,这些口头意见也不构成美国焊接协会的正式或非正式意见或解释。此外,口头意见是非正式的,不应视为正式解释的代用品。

本标准在任何时候都可能被 AWS D1 结构焊接委员会修订。必须每五年修订本标准一次,并且如未修订,则必须重新确认或撤销之。对于改进本标准有用的注释(建议、增加或删除)和任何中肯的数据都是受欢迎的,它们应当被递交给美国焊接协会总部。这些注释将会受到 AWS D1 结构焊接委员会的仔细考虑,注释的作者也会得到委员会对于注释反馈的通知。AWS D1 结构焊接委员会的所有会议也会要求客人出席以便口头上表述他们的注释。有关所有这些注释相反决议的诉求程序,参见技术活动委员会运行规则 (Rules of Operation of the Technical Activities Committee)。本规则的副本可以从美国焊接协会得到,地址为 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126。

题献

结构焊接 D1 委员会及钢结构 D1Q 下属委员会谨以本版 D1.1/D1.1M *钢结构焊接规范* 献给两位志愿者并长久纪念。

FRED C. BREISMEISTER

1940–2009

Fred 自 1985 年以来对多个 D1 结构焊接标准进行持续不懈的改善，包括 D1.1 *钢结构焊接规范*、D1.6 不锈钢结构焊接规范以及最近的 D1.8 *结构焊接规范—地震增补*。多年来他还担任 D1B 资格预审小组委员会主席。D1 委员会将一直怀念这位亲爱的朋友和团队的奉献者。

DONALD A. SHAPIRA

1956–2009

Don 自 1996 年以来对多个 D1 规范做出了积极贡献，其中包括 D1.1 *钢结构焊接规范*、D1.6 *不锈钢结构焊接规范*，以及 D1.8 *结构焊接规范—地震增补*。他还作为 D1K 附属委员会的官员监督了最新版本 D1.6 *不锈钢结构焊接规范* 的发行。D1 委员会会一直铭记和感激 Don 的努力及想法。

工作人员

AWS D1 结构焊接委员会

D. K. Miller (主席)	<i>The Lincoln Electric Company</i>
A. W. Sindel (第一副主席)	<i>Alstom Power, Incorporated</i>
T. L. Niemann (第二副主席)	<i>Minnesota Department of Transportation</i>
S. Morales, Secretary	<i>American Welding Society</i>
N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
F. G. Armao	<i>The Lincoln Electric Company</i>
E. L. Bickford	<i>Acute Technological Services</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
H. H. Campbell III	<i>Pazazu Engineering</i>
L. E. Collins	<i>Team Industries, Incorporated</i>
R. B. Corbit	<i>Exelon Nuclear Corporation</i>
R. A. Dennis	<i>Consultant</i>
M. A. Grieco	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>
C. R. Hess	<i>High Steel Structures, Incorporated (Retired)</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski and Masters, Incorporated</i>
J. J. Kenney	<i>Shell International E & P</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company</i>
V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
J. Lawmon	<i>American Engineering & Manufacturing, Incorporated</i>
N. S. Lindell	<i>Inspectech Incorporated</i>
D. R. Luciani	<i>Canadian Welding Bureau</i>
S. L. Luckowski	<i>Department of the Army</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
M. J. Mayes	<i>Mayes Testing Engineers, Incorporated</i>
D. L. McQuaid	<i>D. L. McQuaid and Associates, Incorporated</i>
R. D. Medlock	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
J. Merrill	<i>MACTEC, Incorporated</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
D. C. Phillips	<i>Hobart Brothers Company</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
T. J. Schlafly	<i>American Institute of Steel Construction</i>
D. R. Scott	<i>PSI (Retired)</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
R. W. Stieve	<i>Greenman-Pederson, Incorporated</i>
P. J. Sullivan	<i>Massachusetts Department of Transportation (Retired)</i>
M. M. Tayarani	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration</i>
B. D. Wright	<i>Advantage Aviation Technologies</i>

D1 结构焊接委员会顾问名单

W. G. Alexander	<i>WGAPE</i>
E. M. Beck	<i>MACTEC, Incorporated</i>
O. W. Blodgett	<i>The Lincoln Electric Company (Retired)</i>
M. V. Davis	<i>Consultant</i>

D1 结构焊接委员会顾问名单（续）

G. L. Fox	<i>Consultant</i>
G. J. Hill	<i>G. J. Hill and Associates, Incorporated</i>
M. L. Hoitomt	<i>Hoitomt Consulting Services</i>
D. R. Lawrence II	<i>Butler Manufacturing Company (Retired)</i>
W. A. Milek, Jr.	<i>Consultant</i>
J. E. Myers	<i>Consultant</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>

AWS D1Q 钢铁小组委员会人员名单

D. D. Rager (主席)	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
T. Schlafly (副主席)	<i>American Institute of Steel Construction</i>
S. Morales (秘书)	<i>American Welding Society</i>
N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
M. Bernasek	<i>C-spec</i>
E. L. Bickford	<i>Acute Technological Services</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
J. W. Cagle	<i>C P Buckner Steel Erection, Incorporated</i>
W. P. Capers	<i>Walt Disney World Company</i>
H. H. Campbell III	<i>Pazazu Engineering</i>
L. E. Collins	<i>Team Industries, Incorporated</i>
R. A. Dennis	<i>Consultant</i>
D. A. Dunn	<i>PSI</i>
K. R. Fogleman	<i>Valmont Industries</i>
J. Guili	<i>Stud Welding Associates</i>
M. J. Jordan	<i>Johnson Plate and Tower Fabrication</i>
J. J. Kenney	<i>Shell International E & P</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company</i>
L. A. Kloiber	<i>LeJeune Steel Company</i>
S. W. Kopp	<i>High Steel Structures</i>
J. E. Koski	<i>Stud Welding Products, Incorporated</i>
V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
K. Landwehr	<i>Schuff Steel Company</i>
D. R. Luciani	<i>Canadian Welding Bureau</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
R. P. Marslender	<i>Kiewit Offshore Services, LTD</i>
G. S. Martin	<i>GE Energy</i>
M. J. Mayes	<i>Mayes Testing Engineers, Incorporated</i>
R. D. Medlock	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
J. Merrill	<i>MACTEC, Incorporated</i>
J. I. Miller	<i>Helix Energy Solutions</i>
S. P. Moran	<i>PDM Bridge LLC</i>
J. C. Nordby	<i>Entergy</i>
J. A. Packer	<i>University of Toronto</i>
F. J. Palmer	<i>Steel Tube Institute</i>
D. R. Scott	<i>PSI (Retired)</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
A. W. Sindel	<i>Alstom Power, Incorporated</i>
R. W. Stieve	<i>Greenman-Pederson, Incorporated</i>
S. J. Thomas	<i>VP Buildings, Incorporated</i>
W. A. Thornton	<i>Cives Corporation</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>
P. Workman	<i>Tru-Weld</i>

D1Q 钢铁小组委员会顾问名单

U. W. Aschemeier	<i>H. C. Nutting/A Terracon Company</i>
H. A. Chambers	<i>Nelson Stud Welding</i>
R. B. Corbit	<i>Exelon Nuclear Corporation</i>
H. E. Gilmer	<i>Texas Department of Transportation</i>
M. A. Grieco	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>
M. J. Harker	<i>Idaho National Laboratory</i>
C. W. Hayes	<i>The Lincoln Electric Company</i>
C. R. Hess	<i>High Steel Structures</i>
G. J. Hill	<i>G. J. Hill and Associates, Incorporated</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski and Masters, Incorporated</i>
W. Jaxa-Rozen	<i>Bombardier Transportation</i>
D. R. Lawrence II	<i>Butler Manufacturing Company (Retired)</i>
N. S. Lindell	<i>Inspectech Consulting and Testing</i>
H. W. Ludewig	<i>Caterpillar, Incorporated</i>
D. L. McQuaid	<i>D. L. McQuaid and Associates, Incorporated</i>
J. K. Mieseke	<i>PDM Bridge, Eau Claire Wisc</i>
W. A. Milek, Jr.	<i>Consultant</i>
D. K. Miller	<i>The Lincoln Electric Company</i>
L. Muir	<i>Cives Steel Company</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
D. C. Phillips	<i>ITW, Hobart Brothers Company</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
J. Ross	<i>U.S. Army Corps of Engineers</i>
P. J. Sullivan	<i>Massachusetts Department of Transportation (Retired)</i>
M. M. Tayarani	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>
J. L. Uebele	<i>Waukesha City Tech College</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration</i>
D. G. Yantz	<i>Canadian Welding Bureau</i>
O. Zollinger	<i>Ohmstede Ltd.</i>

D1Q 设计小组委员会人员名单

J. J. Kenney (主席)	<i>Shell International E & P</i>
W. P. Capers (副主席)	<i>Walt Disney World Company</i>
N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
T. Green	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>
W. Jaxa-Rozen	<i>Bombardier Transportation</i>
M. J. Jordan	<i>Johnson Plate and Tower Fabrication</i>
L. A. Kloiber	<i>LeJeune Steel Company</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
L. Muir	<i>Cives Steel Company</i>
J. A. Packer	<i>University of Toronto</i>
F. J. Palmer	<i>Steel Tube Institute</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
T. J. Schlafly	<i>American Institute of Steel Construction</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
S. J. Thomas	<i>VP Buildings, Incorporated</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>

D1Q 设计小组委员会顾问名单

O. W. Blodgett	<i>The Lincoln Electric Company (Retired)</i>
W. A. Milek, Jr.	<i>Consultant</i>
J. D. Ross	<i>U.S. Army of Corps of Engineers</i>
W. A. Thornton	<i>Cives Corporation</i>
J. Desjardins	<i>Bombardier Transportation</i>

D1Q 资格评定小组委员会人员名单

J. H. Kiefer (主席)	<i>ConocoPhillips Company</i>
E. L. Bickford (副主席)	<i>Acute Technological Services</i>
B. Anderson	<i>Kawasaki Motors</i>
M. Bernasek	<i>C-spec</i>
R. B. Corbit	<i>Exelon Nuclear Corporation</i>
R. A. Dennis	<i>Consultant</i>
M. A. Grieco	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>
M. J. Harker	<i>Idaho National Laboratory</i>
J. J. Kenney	<i>Shell International</i>
E & P V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
K. Landwehr	<i>Schuff Steel Company</i>
R. P. Marslender	<i>Kiewit Offshore Services, LTD</i>
J. Mayne	<i>Valmont Industries</i>
J. I. Miller	<i>Helix Energy Solutions</i>
J. C. Nordby	<i>Entergy</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
A. W. Sindel	<i>Alstom Power, Incorporated</i>
D. Stickel	<i>Caterpillar, Incorporated</i>
M. M. Tayarani	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>
J. L. Uebele	<i>Waukesha County Technical College</i>

D1Q 资格评定小组委员会顾问名单

D. R. Lawrence II	<i>Butler Manufacturing Company (Retired)</i>
G. S. Martin	<i>GE Energy</i>
D. C. Phillips	<i>Hobart Brothers Company</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration</i>
D. G. Yantz	<i>Canadian Welding Bureau</i>

D1Q 制作小组委员会人员名单

V. Kuruvilla (主席)	<i>Genesis Quality Systems</i>
H. E. Gilmer (副主席)	<i>Texas Department of Transportation</i>
B. Anderson	<i>Kawasaki Motors</i>
E. L. Bickford	<i>Acute Technological Services</i>
J. W. Cagle	<i>C P Buckner Steel Erection, Incorporated</i>
H. H. Campbell III	<i>Pazazu Engineering</i>
L. E. Collins	<i>Team Industries, Incorporated</i>
R. A. Dennis	<i>Consultant</i>
K. R. Fogleman	<i>Valmont Industries</i>
M. E. Gase	<i>Soil and Materials Engineers, Incorporated</i>
M. A. Grieco	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>
C. R. Hess	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
G. J. Hill	<i>G. J. Hill & Associates</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski & Masters, Incorporated</i>

D1Q 制作小组委员会人员名单（续）

J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company</i>
K. Landwehr	<i>Schuff Steel Company</i>
E. S. LaPann	<i>Consultant</i>
C. A. Mankenberg	<i>Shell International E & P</i>
R. P. Marslender	<i>Kiewit Offshore Services, LTD</i>
G. S. Martin	<i>GE Energy</i>
D. L. McQuaid	<i>D. L. McQuaid & Associates, Incorporated</i>
R. D. Medlock	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
J. E. Mellinger	<i>Pennoni Associates, Incorporated</i>
W. A. Milek	<i>Consultant</i>
J. I. Miller	<i>Helix Energy Solutions</i>
T. J. Schlafly	<i>American Institute of Steel Construction</i>
A. W. Sindel	<i>Alstom Power, Incorporated</i>
J. Sokolewicz	<i>Trinity Rail</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration</i>

D1Q 制作小组委员会顾问名单

W. G. Alexander	<i>WGAPE</i>
F. R. Beckmann	<i>Consultant</i>
E. L. Bickford	<i>Acute Technologies Services</i>
G. L. Fox	<i>Consultant</i>
J. E. Myers	<i>Consultant</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>

D1Q 检验小组委员会人员名单

D. R. Scott（主席）	<i>PSI (Retired)</i>
G. S. Martin（副主席）	<i>GE Energy</i>
U. W. Aschemeier	<i>H. C. Nutting/A Terracon Company</i>
H. H. Campbell III	<i>Pazazu Engineering</i>
R. V. Clarke	<i>Team Industries, Incorporated</i>
L. E. Collins	<i>Team Industries, Incorporated</i>
D. A. Dunn	<i>PSI</i>
K. R. Fogleman	<i>Valmont Industries</i>
M. E. Gase	<i>Soil and Materials Engineers, Incorporated</i>
C. W. Hayes	<i>The Lincoln Electric Company</i>
R. K. Holbert	<i>FMC Technologies Incorporated</i>
T. Huerter	<i>PSI</i>
P. G. Kinney	<i>Technip USA, Incorporated</i>
S. W. Kopp	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
N. S. Lindell	<i>Inspectech Consulting and Testing</i>
C. A. Mankenberg	<i>Shell International E & P</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
D. L. McQuaid	<i>D. L. McQuaid & Associates, Incorporated</i>
J. E. Mellinger	<i>Pennoni Associates, Incorporated</i>
J. Merrill	<i>MACTEC, Incorporated</i>
M. Moles	<i>Olympus NDT</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
R. W. Stieve	<i>Greenman-Pederson, Incorporated</i>
P. J. Sullivan	<i>Massachusetts Department of Transportation (Retired)</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration</i>
D. G. Yantz	<i>Canadian Welding Bureau</i>

D1Q 检验小组委员会顾问名单

W. G. Alexander	<i>WGAPE</i>
E. M. Beck	<i>MACTEC Engineering & Consulting</i>
F. R. Beckmann	<i>Consultant</i>
G. J. Hill	<i>G. J. Hill & Associates</i>
M. L. Hoitomt	<i>Consultant</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company</i>
D. M. Marudas	<i>Consultant</i>
W. A. Milek, Jr.	<i>Consultant</i>
W. A. Svekric	<i>Welding Consultants, Incorporated</i>

D1Q 螺柱焊小组委员会人员名单

D. R. Luciani (主席)	<i>Canadian Welding Bureau</i>
U. W. Aschemeier (副主席)	<i>H. C. Nutting/A Terracon Company</i>
H. A. Chambers	<i>Consultant</i>
D. A. Dunn	<i>PSI</i>
J. Guili	<i>Tru-Weld Equipment Company</i>
B. C. Hobson	<i>Image Industries</i>
J. E. Koski	<i>Stud Welding Products, Incorporated</i>
S. P. Moran	<i>PDM Bridge LLC</i>
M. M. Tayarani	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>
J. L. Uebele	<i>Waukesha County Technical College</i>
P. Workman	<i>Tru-Weld Equipment Company</i>

D1Q 螺柱焊小组委员会顾问名单

C. B. Champney	<i>Nelson Stud Welding</i>
C. C. Pease	<i>Consultant</i>

D1F 加固与修理小组委员会人员名单

N. J. Altebrando (主席)	<i>STV, Incorporated</i>
S. W. Kopp (副主席)	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
S. Morales (秘书)	<i>American Welding Society</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski & Masters, Incorporated</i>
P. Rimmer	<i>New York State Department of Transportation</i>
R. W. Stieve	<i>Greenman-Pederson, Incorporated</i>
M. M. Tayarani	<i>Massachusetts Department of Transportation</i>

D1F 加固与修理小组委员会顾问名单

E. M. Beck	<i>MACTEC, Incorporated</i>
C. R. Hess	<i>High Steel Structures</i>
G. J. Hill	<i>G. J. Hill & Associates</i>
M. J. Mayes	<i>Mayes Testing Engineers, Incorporated</i>
J. W. Post	<i>J W Post & Associates, Incorporated</i>
J. D. Ross	<i>U.S. Army Corps of Engineers</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
W. A. Thornton	<i>Cives Corporation</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>

D1M 新材料常设工作组人员名单

D. C. Phillips (主席)	<i>Hobart Brothers Company</i>
T. J. Schlafly (副主席)	<i>American Institute of Steel Construction</i>
W. P. Capers	<i>Walt Disney World Company</i>
B. Cvijanovic	<i>ArcelorMittal International America</i>
C. W. Hayes	<i>The Lincoln Electric Company</i>
R. D. Medlock	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
D. Rees-Evans	<i>Steel Dynamics</i>

D1M 新材料常设工作组顾问名单

B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
M. L. Hoitomt	<i>Consultant</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
J. W. Post	<i>J W Post & Associates, Incorporated</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
A. W. Sindel	<i>Alstom Power, Incorporated</i>

前言

本前言不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

1928 年，美国焊接学会出版了 建筑结构的熔焊和气割规范 的第一版，被称作规范 1 第 1 部分。在 1930 年和 1937 年以相同的标题进行了修订及再次发行。在 1941 年再次修订并命名为 D1.0。D.10 于 1946 年，1963 年，1966 年和 1969 年再次修订。1963 年版在 1965 年时出版了一个修订版本，1966 年版在 1967 年出版一个修订版本。该规范在 1972 年与 D2.0 公路和铁路桥梁焊接规范 合并，命名为 D1.1，后再次命名为 AWS 结构焊接规范。D1.1 于下列年份再次修订：1975、1979、1980、1981、1982、1983、1984、1985、1986、1988、1990、1992、1994、1996、1998、2000、2002、2004、2006 以及 2008 年。从 1972 年到 1988 年，D1.1 规范包括建筑和桥梁的焊接。美国焊接协会在 1988 年出版了其第一版 AASHTO/AWS D1.5 桥梁焊接规范，与此同时，D1.1 规范参照建筑业和桥梁业，分别改为静荷载结构和动荷载结构，以便这一文件适用于更大范围内的结构形式。本版为 2010 版，是 D1.1 的第 22 版。

条款、表格或附图中有下划线的正文表明对 2008 版做了编辑或技术上的更改。页边空白处的竖线表明对 2008 版作了修订。

以下概括了在 D1.1/D1.1M:2010 中最重要的技术修订：

1.7 条 — 修订以澄清。

2.3.3 条 — 修订以澄清 ESW 和 EGW 的限定。

3.3 条 — 修订表格以澄清匹配和低匹配填充金属强度之间的差异。

3.6 条 — 做出修订以阐明免除评定的基本变量。

3.7.3 条 — 参考“ASTM A 588”更换为“风化作用”。

3.13.2 条 — 加入新的章节以便澄清 CJP 坡口焊的可接受的预先评定支持。

表 3.1 — 按照最新版的 ASTM、ABS 以及 API 规范进行了更新。ASTM A 709 HPS 50W 材料加入到组 II 中。

表 3.2 — ASTM A 709 Grade HPS 50W 加入到组 B 中。

表 3.3 — 删除注释，将其使用限制为仅 ASTM A 588 和 A 709。

表 3.8 — 加入新表格以阐明并列出的预先评定 WPS 的基本变量。

表 3.3 和 3.4 注 (c) — 进行了修改以便与 2.18.2 中的措辞方式相匹配。

4.36.3 条 — 进行了修改以阐明新 CVN PQR 和 WPS 在什么时候是必要的。

表 4.9 — 加入 ASTM A 1043 级别 36 和 50。

表 4.10 — 注 (1) 和注 (2) 被删除。

表 4.12 — 注 (3) 和注 (4) 被删除。

5.2.2.2 条 — 进行了修改以包含架子棒材要求。

5.10.2 条 — 进行了修改以阐明静荷载应用中全长度衬垫的要求。

5.15.4.3 条 — 粗糙度要求更改为符合 AWS C4.1 中的标准。

5.17 条 — 对梁开槽和焊接穿越孔条款进行了广泛修订。针对镀锌形状增加了章节。

5.24 条 — 广泛修订条款以便处理架子棒材和修改后可接受的焊缝剖面。

表 5.9 — 加入新的表格以阐明适用的焊缝剖面。

表 5.10 — 加入新表格，在焊缝剖面厚度基础上确定可允许的凸性。

图 5.2 — 修改了注释和示意图，以阐明腹板到边缘穿越孔的几何形状。

图 5.4 — 进行了广泛修改以阐明在对接接头、角接接头、丁字接头、搭接接头中坡口焊的可接受及不可接受的焊缝剖面，同时处理架子棒材上的焊缝。

6.17.7 条 — 进行修改以解决管道焊缝和钢衬垫。

6.22.7.7 条 — 进行修改以涵盖其他 IIW 试块。

6.23.1 条 — 进行了修改以允许使用符合 ASTM E 164 的任何 IIW UT 试块。

6.29.2.3 条 — 进行了修改以解决 IIW 型 UT 块迹象的数量。

表 6.1 (2) — 措辞进行了修改以阐明可接受的熔合。

表 6.6 — 注 (1) 和 (2) 从表格中删除，并入到 6.17.7 条中。

图 6.19 — 进行修改以应对标准 IIW 试块。

6.26.6.4 条 — 衰减因数计算改为国际单位制。

7.2.5 条 — 进行了修改以详细说明螺柱成品上不可接受的缺陷。

7.2.5.2 — 加入了新的章节以阐明带头螺柱中可接受及不可接受的裂纹。

表 7.1 — 对注释 b 进行了修改以解决混凝土锚具设计。

图 7.1 — 将带头螺柱柄直径的限制修改为更少。也加入了 3/8 in [10 mm] 螺柱。

表 I.2 — 厚度范围修改为包含 3/8 in [10 mm] 和校正的度量值。

附录 K — 加入新术语“架子棒材”及修改术语“NDT”，仅关联至 D1 规范的上下文中。删除术语“机械焊接”，并在附录和整个规范中用标准术语“机械化焊接”取代。“管状”和“管道”的定义也进行了修改。

附录 N — 修正了螺柱焊应用 N-9 的样本形式。形式 N-3 进行了修正。

C-3.7.3 条 — 进行了修改以大体上解决耐候钢，而非限制为仅 ASTM A 588。

C-表 3.8 — 增加新的注释，在免除评定的基本变量上对表 3.8 进行说明。

C-5.4.1 条 — 增加新的关于 ESW 和 EGW 流程的注释章节。

C-5.10.2 — 对注释进行了修改以解决衬垫中的不连续。

C-5.16 条 — 增加了关于内隅角最小半径的注释。

C-5.17 条 — 注释内容删除，移到 C-5.16 条中。

C-6.22.7.2 条 — 进行修改以说明表 6.2 和 6.3 的参数。

C-6.23 条 — 进行修改以阐明本规范对 IIW 试块的容差。

6.26.6 条 — 增加了注释以说明表 6.2 和 6.3 所需的扫描技术。

C-7.2.5 — 加入新的计算以确定带头螺柱的裂纹长度或裂缝。

图 C-7.1 — 加入新图展示裂纹长度计算。

AWS B4.0 焊缝力学试验的标准方法 提供了试样制备的补充细则试验夹具构造的详细信息要求。

注释。注释为非强制性，并仅用于对条款基本原理提供深刻理解信息。

标准性附录。这些附录在本规范中阐述特定的主题，并且它们的要求是强制性要求，是对规范条款的补充。

信息性附录。这些附录并非规范要求，仅用来通过展示样本、提供信息或对可替代的良好实践做出建议，从而阐明规范条款。

索引。与以前的规范一样，索引中的条目提供条款号而非页码。从而让使用者能在最短时间内查阅到所关心的特定条款。

勘误表。结构焊接委员会的政策是向规范使用者提供所有勘误表。因此，任何重大的错误都会在 AWS 焊接杂志 (Welding Journal) 的社会新闻部分中出版，并在 AWS 的网站上公布，网址为：<http://www.aws.org/technical/d1/>。

建议。欢迎您为改进 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范提出意见。意见可提交至美国焊接学会技术服务部总主任。地址为：550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126；电话：(305) 443-9353；传真：(305) 443-5951；电子邮箱：info@aws.org；或 AWS 网页：<http://www.aws.org>。

勘误表

下面的勘误表已获确认，将纳入到本文的下次重印中。

第 8 页 — 2.4.3.6 — 将“2.3.2.8”更改为“2.4.2.8”

第 23 页 — 2.27.1.1 — 将“2.24”更改为“2.25”

第 132 页 — 4.19.1.1 — 将“表 4.11”更改为“表 4.10”

第 150 页 — 注释 e — 将“（见 4.12.4.2）”改为“（见 4.13.4.2）”

第 152 页 — 表 4.11 — 在生产 T、Y、或 K 连接的 CJP 坡口焊合格尺寸类别下，将“标称的合格墙壁或板材厚度”改为“标称的合格墙壁或板材厚度^d”

第 152 页 — 表 4.11 — 在生产 T、Y、或 K 连接的 CJP 坡口焊合格尺寸类别下，将“合格的二面角^g”改为“合格的二面角^h”

第 152 页 — 表 4.11 — 在生产 T、Y、或 K 连接角焊合格尺寸类别下，将“合格的二面角^g”改为“合格的二面角^h”

第 190 页 — 图 4.38 — 将 3/4 in 的公制尺寸从“[75 mm]”改为“[20 mm]”

第 192 页 — 图 4.40 — 将 1/2 in 的公制尺寸从“[1/2 mm]”改为“[12 mm]”

第 200 页 — 5.18.2 (1) — 将“2.16.2”改为“2.17.2”

第 202 页 — 5.22.1.1 — 将“2.13”更改为“2.14”

第 207 页 — 5.27 — 将“2.20.6.6 (3)”更改为“2.21.6.6 (3)”

第 231 页 — 6.26.6.4 — 第一句第四行，将“...或者是...”改为“...或者通过...”

第 281 页 — 7.1 — 将“C7.6.1”更改为“C-7.6.1”

第 496 页 — C-表 6.7 — 将三个“表 6.6”改为“表 6.7”

第 497 页 — C-6.26.6 — 该段落出现了两次。删除第一段重复部分。

第 507 页 — C-7.2.5 — 将最后一个条目“CL ≤ 0.125 in”改为读数“CL ≤ 0.125 in [3.2 mm]”

第 533 页 — 索引 — PJP 坡口焊 — 将条目“4.14.4.20”改为读数“4.14, 4.21”

目录

页码

题献	iv
工作人员	v
前言	xii
表格列表	8
图表列表	10
1. 一般要求	15
1.1 范围	15
1.2 限制	15
1.3 定义	15
1.4 责任	16
1.5 认可	17
1.6 焊接符号	17
1.7 安全注意事项	17
1.8 标准计量单位	17
1.9 参考文件	17
2. 焊接连接设计	18
2.1 范围	18
A 部分 焊接连接设计的通用要求（非管材和管材部件）。	18
2.2 概述	18
2.3 合同图纸和技术条件	18
2.4 有效面积	19
B 部分 非管材连接设计的特定要求（静荷载或周期荷载）	22
2.5 概述	22
2.6 应力	22
2.7 接头形状和细节	24
2.8 接头形状和细节 — 坡口焊缝	24
2.9 接头形状和细节 — 角焊缝接头	25
2.10 接头形状和细节 — 塞焊缝和槽焊缝	26
2.11 填充板	26
2.12 组装部件	26
C 部分 非管材连接设计的特别要求（周期荷载）	27
2.13 概述	27
2.14 限定	27
2.15 应力的计算	27
2.16 许用应力和应力范围	27
2.17 细节、制作和安装	29
2.18 禁止的接头和焊缝	30
2.19 检验	31

D 部分 管材连接设计的特别要求（静荷载和周期荷载）	31
2.20 概述	31
2.21 许用应力	31
2.22 标识	33
2.23 符号	33
2.24 焊缝设计	33
2.25 焊接连接的强度限制	35
2.26 厚度过渡	42
2.27 材料限制	42
3. WPS 的免除评定	73
3.1 适用范围	73
3.2 焊接方法	73
3.3 母材/填充金属组合	73
3.4 工程师对辅助附件的认可	74
3.5 最低预热温度和道间温度要求	74
3.6 WPS 变素的限制	74
3.7 WPS 要求概述	74
3.8 平行焊丝或多丝埋弧焊的通用要求	75
3.9 角焊缝要求	75
3.10 赛焊缝和槽焊缝要求	76
3.11 PJP 和 CJP 坡口焊缝的通用要求	76
3.12 PJP 要求	76
3.13 CJP 坡口焊缝要求	77
3.14 焊后热处理	78
4. 评定	138
4.1 范围	138
A 部分 通用要求	138
4.2 概述	138
4.3 WPS 评定和焊接人员资格评定的通用要求	139
B 部分 焊接工艺规程 (WPS)	139
4.4 评定覆盖的产品焊接位置	139
4.5 评定试验的类型	139
4.6 WPS 评定的焊缝类型	140
4.7 WPS 准备	140
4.8 基本参数	140
4.9 评定 WPS 的试验方法和合格判据	140
4.10 非管材连接的 CJP 坡口焊缝	143
4.11 非管材连接的 PJP 坡口焊缝	143
4.12 管材和非管材连接的角焊缝	143
4.13 管材连接的 CJP 坡口焊缝	144
4.14 管材 T、Y 或 K 形节点和对接接头的 PJP 焊缝	146
4.15 管材和非管材连接中的塞焊缝和槽焊缝	146
4.16 需要评定的焊接方法	146

4.17	WPS 要求 (GTAW).....	146
4.18	WPS 要求 (ESW/EGW).....	146
C	部分 资格评定	146
4.19	概述.....	146
4.20	要求的评定试验类型.....	147
4.21	焊工和焊机操作工资格评定的焊缝类型	148
4.22	焊接人员资格评定表格的准备.....	148
4.23	基本参数.....	148
4.24	非管材连接的 CJP 坡口焊缝	148
4.25	非管材连接的 PJP 坡口焊缝	149
4.26	非管材连接的角焊缝.....	149
4.27	管材连接的 CJP 坡口焊缝.....	149
4.28	管材连接的 PJP 坡口角焊缝	149
4.29	管材连接的角焊缝	149
4.30	管材和非管材连接中的塞焊缝和槽焊缝	149
4.31	焊工和焊机操作工资格评定的试验方法和合格准则	149
4.32	定位焊工资格评定的试验方法和合格准则.....	151
4.33	重新试验.....	151
D	部分 CVN 试验的要求	152
4.34	概述.....	152
4.35	试验部位.....	152
4.36	CVN 试验.....	152
4.37	试验要求.....	153
4.38	重新试验.....	153
4.39	报告	153
5.	制造.....	207
5.1	范围.....	207
5.2	母材.....	207
5.3	焊接材料和焊条的要求	207
5.4	ESW 和 EGW 方法	209
5.5	WPS 参数	210
5.6	预热和道间温度	210
5.7	调质钢的焊接热输入控制.....	210
5.8	消除应力热处理	210
5.9	衬垫、背部保护气体或嵌条	211
5.10	沉淀	211
5.11	焊接和切割设备	212
5.12	焊接环境.....	212
5.13	符合设计要求.....	212
5.14	最小角焊缝尺寸	212
5.15	母材的制备	212
5.16	凹角	214
5.17	焊缝穿越孔、梁开槽以及连接材料	214

5.18	定位焊缝和结构辅助焊缝.....	215
5.19	组装部件拱度.....	216
5.20	周期载荷结构的拼接.....	216
5.21	变形和收缩的控制.....	216
5.22	接头尺寸公差.....	216
5.23	焊接结构部件的尺寸公差.....	218
5.24	焊缝剖面外形.....	221
5.25	塞焊和槽焊技术.....	222
5.26	返修.....	222
5.27	锤击.....	223
5.28	捻缝（凿密）.....	223
5.29	电弧击伤.....	224
5.30	焊缝清理.....	224
5.31	焊缝引弧板和引出板（见 5.2.2）.....	224
6.	检验.....	235
A	通用要求.....	235
6.1	适用范围.....	235
6.2	材料和设备的检验.....	236
6.3	WPS 的检验.....	236
6.4	焊工、焊机操作工、定位焊工的资格评定检验.....	236
6.5	工作检验和记录.....	236
B	承包商的责任.....	237
6.6	承包商的职责.....	237
C	验收判据.....	237
6.7	适用范围.....	237
6.8	工程师对选用验收判据的认可.....	237
6.9	目检.....	238
6.10	PT 与 MT.....	238
6.11	NDT.....	238
6.12	RT.....	238
6.13	UT.....	239
D	NDT 工艺.....	241
6.14	工艺.....	241
6.15	检测范围.....	242
E	射线照相检测 (RT).....	242
6.16	对接接头坡口焊缝的 RT.....	242
6.17	RT 工艺.....	242
6.18	管材连接 RT 补充要求.....	244
6.19	射线照片的检查、报告和处理.....	245
F	坡口焊缝的超声波检测 (UT).....	245
6.20	通用要求.....	245
6.21	资格评定要求.....	246

6.22	UT 设备	246
6.23	参考标准	247
6.24	设备鉴定	247
6.25	检测时的校准	247
6.26	检测工艺	248
6.27	管材 T、Y 和 K 形节点的 UT	250
6.28	报告的编制和处理	252
6.29	用 IIW 或其他批准的对比试块校准 UT 设备（附录H）	252
6.30	设备鉴定程序	253
6.31	不连续性尺寸评估程序	255
6.32	扫查方式（见图 6.21）	256
6.33	dB 精度鉴定示例	256
G	其他检查方法	256
6.34	一般要求	256
6.35	实时射线成像系统	256
6.36	先进的超声系统	257
6.37	补充要求	258
7.	螺柱焊接	293
7.1	范围	293
7.2	一般要求	293
7.3	力学性能要求	294
7.4	工艺/制作	294
7.5	技术	295
7.6	螺柱应用评定要求	295
7.7	生产控制	296
7.8	制作和验证检验要求	297
7.9	螺柱制造商的螺柱焊接端评定要求	298
8.	现有结构的补强与修理	304
8.1	概述	304
8.2	母材	304
8.3	补强和修理的设计	304
8.4	疲劳寿命的延长	304
8.5	工艺和技术	305
8.6	质量	305
	附录	306
	附录 A（规范性附录） 有效焊缝厚度	307
	附录 B（规范性附录） 斜 T 形接头中角焊缝的有效焊缝厚度	308
	附录 D（规范性附录） 大梁腹板的平整度 — 静荷载结构	311
	附录 E（标准性） 大梁 2 腹板的平正度 — 周期荷载结构	314
	附录 F（标准性） 温度 — 湿度含量曲线图	319
	附录 G（标准性） 螺柱制造商的螺柱焊接端评定要求	321

附录 H (标准性) 以其他认可的对比试块鉴定和校准 UT 探伤仪.....	322
附录 I (标准性) 确定预热温度的可选用方法指南.....	327
附录 J (标准性) 管材连接焊缝设计的符号.....	338
附录 K (信息性) 术语和定义.....	340
附录 L (信息性) 规范编写者指南.....	350
附录 M (信息性) UT 设备的鉴定和检验表格.....	351
附录 N (资料性附录) 焊接表格示例.....	364
附录 O (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.....	378
附录 P (资料性附录) 局部二面角.....	380
附录 Q (资料性附录) 免除评定的 WPS 内容.....	384
附录 R (资料性附录) 安全实践.....	386
附录 S (资料性附录) 采取选用技术作焊缝超声波检测.....	389
附录 T (信息性) 椭圆参数 α	405
附录 U (信息性) 参考文件清单.....	406
附录 V (信息性) 填充金属强度性能.....	408
钢结构焊接规范的条文说明.....	419
前言.....	420
C-附录 I 关于确定预热温度的一些可用方法指南.....	505
索引.....	508

表格列表

表 2.1 熔敷填平的喇叭形坡口焊缝的有效尺寸 (见 2.4.1.4)	43
表 2.1 Z 缺失尺寸 (非管材) (见 2.4.3.3)	43
表 2.3 许用应力 (见 2.6.4 和 2.16.1)	43
表 2.4 斜加载角焊缝的等效强度系数 (参见 2.6.4.4)	44
表 2.5 疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)	45
表 2.6 管材连接焊缝的许用应力 (见 2.21.3)	55
表 2.7 圆截面材料不同类型和部位的应力类别 (见 2.21.6.2)	57
表 2.8 疲劳类别对焊缝尺寸或厚度以及焊缝形状的限制 (管材连接) (见 2.21.6.7)	58
表 2.9 用于计算免除评定的接头部分熔透 (PJP) T、Y 和 K 形节点 最小角焊尺寸的折减尺寸 Z (见 2.24.2.1)	58
表 2.10 有关连接强度的术语 (圆截面) (见 2.25.1.1)	59
表 3.1 免除评定的等强度匹配的母材—填充金属组合 (见 3.3)	79
表 3.2 免除评定的最低预热 I 和道间温度 (见 3.5)	84
表 3.3 (见 3.7.3) 外露、无蔽复的耐候钢所用填充金属的要求	86
表 3.4 免除评定的接头部分熔透的最小焊缝尺寸 (E) (见 3.12.2.1)	87
表 3.5 免除评定的 T、Y 和 K 形管材节点的接头完全熔透 (CJP) 细节 (见 3.13.5 和图 3.7)	87
表 3.6 用 SMAW、GMAW-S 和 FCAW 方法焊接的管材 T、Y 和 K 形节点的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝免除评定接头尺寸和坡口角度 (见 3.13.5)	87
表 3.7 免除评定的 WPS 要求 ^f (见 3.7)	88
表 3.8 免除评定的 WPS 变量	89
表 4.1 焊接工艺规程 (WPS) 评定 — 用板材、圆管和方管试验进行评定所覆盖的产品焊接位置 (见 4.4)	154
表 4.2 WPS 评定 — CJP 坡口焊缝: 试样的数量与类别以及评定所覆盖的厚度与直径范围 (见 4.5) (单位: 英寸)	156
表 4.3 试样的数量和类型以及评定所覆盖的厚度范围 — WPS 评定; PJP 坡口焊缝 (见 4.11)	158
表 4.4 试样的数量与类型和评定所覆盖的厚度范围 — WPS 评定; 角焊缝 (见 4.12.1)	158
表 4.5 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 方法需要作 WPS 评定的 PQR 基本参数改变范围 (见 4.8.1)	159
表 4.8 PQR 覆盖的表 3.1、表 4.9 和未列入的钢 (见 4.8.3)	163
表 4.9 要求按第 4 章进行评定的、规范认可的母材和填充金属	164
表 4.10 焊工和焊机操作工资格评定 — 用板材、圆管和方管试验进行评定所覆盖的产品焊接位置 (见 4.19.1) ^j	166
表 4.11 焊工和焊机操作工资格评定 — 试样数量和类型以及覆盖的厚度和直径范围 (尺寸单位: 英寸) (见 4.19.2.1)	168
表 4.12 焊接人员资格评定中基本参数的改变需重作评定的情况 (见 4.23)	172
表 4.13 焊条等级的组别 (见表 4.12)	172
表 4.14 CVN 试验要求 (见 4.36)	172
表 4.15	173
CVN 试验温度降低值 (见 4.36.5)	173

表 5.1 低氢焊条允许暴露于大气的时间 (见 5.3.2.2 和 5.3.2.3)	225
表 5.2 最少保温时间 (见 5.8.1)	225
表 5.3 变通的消除应力热处理 (见 5.8.2)	225
表 5.4 切割表面上轧制引起的层状缺陷的允许限度和修理 (见 5.15.1)	225
表 5.5 管材接头根部间隙公差 (见 5.22.4.2)	226
表 5.7 未曾设计混凝土拱腋的大梁的拱度公差 (见 5.23.4)	226
表 5.8 最小角焊缝尺寸 (见 5.14)	226
表 5.6 典型大梁的拱度公差 (见 5.23.3)	226
表 5.9 焊接外形 ^a (见 5.24)	227
表 5.10 焊接外形时间表 (见 5.24)	227
表 6.1 目检验收标准 (见 6.9)	258
表 6.2 UT 合格 — 拒收标准 (静荷载非管材连接) (见 6.13.1 及 C-6.26.6)	259
表 6.3 UT 合格 — 拒收标准 (周期荷载非管材连接) (见 6.13.2 及 C-6.26.6)	261
表 6.4 孔型像质计 (IQI) 要求 (见 6.17.1)	262
表 6.5 线型像质计 (IQI) 要求 (见 6.17.1)	262
表 6.6 IQI 的选择和放置 (见 6.17.7)	263
表 6.7 检测角度 (见 6.26.5.2)	263
表 7.1 螺柱机械性能要求 (见 7.3.1)	300
表 7.2 小直径螺柱的最小角焊缝尺寸 (见 7.5.5.4)	300
表 B.1 斜 T 形接头角焊缝等效焊脚尺寸系数	309
表 D.1 腹板两面都有中间加劲材	312
表 D.2 无中间加劲材	312
表 D.3 腹板仅单面有中间加劲材	313
表 E.1 腹板两面都有中间加劲材, 内部大梁	315
表 E.2 腹板仅单面有中间加劲材, 挑口装饰梁	315
表 E.3 腹板仅单面有中间加劲材, 内部梁	316
表 E.4 腹板两面都有中间加劲材, 挑口装饰梁	317
表 E.5 无中间加劲材、内部梁或挑口装饰梁	317
表 I.1 以含氢量 “H” 和化学成分参量 P _{cm} 为函数的敏感度指数分组 (见 I6.2.3)	330
表 I.2 三个拘束等级的最低预热温度和道间温度 (见 16.2.4)	331
表 S.1 合格-拒收判据 (见 S12.1)	396
表 C-3.1 钢材进行 GMAW-S 焊接的典型电流范围	443
表 C-4.1 CVN 试验值 (参见 C-4.13.4.4)	453
表 C-4.2 HAZ CVN 试验值 (参见 C-4.13.4.4)	453
表 C-6.1 关于 2 in [50 mm] 焊缝的超声波检测验收条件, 70° 探头 (见 C-6.13.1)	483
表 C-8.1 焊接合适性指南 (见 C-8.2.2)	499
表 C-8.2 板材厚度与磨头半径的关系[见 C-8.41 (2)]	499

图表列表

图 2.1 — 搭接接头中沿边缘的最大角焊缝尺寸 (见 2.4.2.9)	60
图 2.2 — 不同厚度部件中队接接头的过渡 (周期荷载非管材) (参见 2.17.1.1)	61
图 2.3 — 厚度的过渡 (静荷载非管材) (见 2.7.5 和 2.8.1)	61
图 2.4 — 横向荷载角焊缝 (见 2.9.1.2)	61
图 2.5 — 板材或扁钢部件端部纵向角焊缝的最小长度 (见 2.8.2)	61
图 2.6 — 靠近受拉伸边缘的焊缝的末端 (见 2.9.3.2)	62
图 2.7 — 柔性连接处的端部绕焊 (见 2.9.3.3)	62
图 2.8 — 共同接触面相对两侧的角焊缝 (见 2.9.3.5)	63
图 2.9 — 拼接接头中的薄填充板 (见 2.11.1)	63
图 2.10 — 拼接接头中的厚填充板 (见 2.11.2)	63
图 2.11 — 在非管材连接中周期地施加荷载 (疲劳) 的许用应力范围 (表 2.5 的图示)	64
图 2.12 — 宽度的过渡 (周期荷载非管材结构) (见 2.17.1.2)	65
图 2.13 — 各种应力类别的许用疲劳应力和应变范围 (见表 2.7), 大气中使用的冗余管材结构 (见 2.21.6.3)	65
图 2.14 — 管材连接的部件 (见 2.22)	66
图 2.14 (续) — 管材连接的部件 (见 2.22)	67
图 2.14 (续) — 管材连接的部件 (见 2.22)	68
图 2.15 — 角焊焊缝搭接接头 (管材) (见 2.24.1.3)	68
图 2.16 — 管材 T、Y 和 K 形节点的角焊缝半径 (见 2.24.3)	69
图 2.17 — 冲击剪切应力 (见 2.25.1.1)	69
图 2.18 — 交叠节点详图 (见 2.25.1.6)	70
图 2.19 — 方截面管 T、Y 和 K 形节点限制 (见 2.25.2)	70
图 2.20 — 交叠的 K 形节点 (见 2.25.2.4)	70
图 2.21 — 不等壁厚部件对接接头的厚度过渡 (管材) (见 2.26)	72
图 3.1 — 深度和宽度超过焊缝面宽度的焊道 (见 3.7.2)	91
图 3.2 — SMAW、GMAW 和 FCAW 方法施焊的、免除评定的角焊缝管材接头 (见 3.9.2)	91
图 3.3 — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)	93
图 3.4 — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)	107
图 3.5 — 免除评定的管材 T、Y 和 K 形节点的部分熔透 (PJP) 接头详细要求 (见 3.12.4)	130
图 3.6 — 免除评定的管材 T、Y 和 K 形节点的 CJP 详细要求 (见 3.13.5)	132
图 3.7 — 免除评定的 T、Y 和 K 形管材节点的 CJP 定义和细节选择 (见 3.13.5 和表 3.5)	133
图 3.8 — 管材 T、Y 和 K 形节点的 CJP 焊缝的免除评定细节 — 有限厚度的标准平面状剖面形状 (见 3.13.5)	134
图 3.9 — 管材 T、Y 和 K 形节点的 CJP 焊缝的免除评定细节 — 中等厚度有趾部角焊缝的剖面形状 (见 3.13.5)	135
图 3.10 — 管材 T、Y 和 K 形节点的 CJP 焊缝的免除评定细节 — 对厚截面或有疲劳要求时改善的下凹形剖面形状 (见 3.13.5)	136

图 3.11 — 免除评定的斜 T 形接头细节（非管材）（见 3.9.3）	137
图 4.1—坡口焊缝位置（见 4.3.4）	174
图 4.2—角焊缝位置（见 4.3.4）	175
图 4.3—坡口焊缝试板位置（见 4.3.4）	176
图 4.4 — 管材坡口焊缝试验位置（见 4.3.4）	177
图 4.5 — 板材角焊缝试验位置（见 4.3.4）	178
图 4.6 — 管材角焊缝试验位置（见 4.3.4）	179
图 4.7 — 焊接试管上的试样位置（见 4.9）	180
图 4.8 — 焊接方管上的试样位置（见 4.9）	181
图 4.9 — WPS 评定用：ESW 和 EGW 的焊接试板上的试样位置（见 4.9）	182
图 4.10 — WPS 评定用：厚度超过 3/8 in [10 mm] 的焊接试板上的试样位置（见 4.9）	183
图 4.11 — WPS 评定用：厚度等于或小于 3/8 in [10 mm] 的焊接试板上的试样位置（见 4.9）	184
图 4.12 — 面弯和根弯试样（见 4.9.3.1）	186
图 4.13 — 侧弯试样（见 4.9.3.1）	187
图 4.14 — 缩减断面拉伸试样（见 4.9.3.4）	188
图 4.15 — 导向式弯曲试验装置（见 4.9.3）	189
图 4.16 — 可选用的卷绕式导向弯曲试验装置（见 4.9.3）	190
图 4.17 — 可选用的配备滚筒的导向弯曲试验装置（试样从底部顶出）（见 4.9.3）	190
图 4.18 — 全焊缝金属拉伸试样（见 4.9.3.6）	191
图 4.19 — 角焊缝完好性试验 — WPS 评定用（见 4.12.2）	191
图 4.20 — 管材焊缝完好性试验 — WPS 评定用（见 4.12.2）	192
图 4.21 — 不限制厚度的试验板材 — 焊工资格评定用（见 4.24.1）	193
图 4.22 — 无限定厚度的试板 — 焊机操作工资格评定用（见 4.24.2）	194
图 4.23 — 厚度 1 in. [25mm] 焊接试板上的试样位置 — 角焊缝 WPS 评定时验证焊接耗材用（见 4.12.3）	194
图 4.24 — 管材对接接头—焊工资格评定用和不用衬垫板（见 4.27）	195
图 4.25 — 管材对接接头 — WPS 评定用和不用衬垫板（见 4.13.1 和 4.13.2）	195
图 4.26 — 锐角根部试验（未表明拘束）（见 4.13.4.2）	196
图 4.27 — 圆管或方管（外径 6 in [150 mm]）的 T、Y 和 K 形节点的（无衬垫板）试验接头 — 焊工资格评定和 WPS 评定用（见 4.13.4.1 和 4.27）	196
图 4.28 — 圆管或方管（外径 < 4 in [100 mm]）的 T、Y 和 K 形节点的（无衬垫板）试验接头 — 焊工资格评定和 WPS 评定用（见 4.13.4.1 和 4.27）	197
图 4.29 — CJP 坡口焊缝方管 T、Y 和 K 形节点的无衬垫角部宏观腐蚀试验接头 — 焊工资格评定和 WPS 评定用（见 4.13.4.1 和 4.27）	197
图 4.30 — 可选择的厚度不限定的横焊位置试板 — 焊工资格评定用（见 4.24.1）	198
图 4.31 — 用于所有位置的限定厚度的试板 — 焊工资格评定用（见 4.24.1）	199
图 4.32 — 可选择的限制厚度的横焊位置试板 — 焊工资格评定用（见 4.24.1）	200
图 4.33 — 角焊缝根部弯曲试验板材 — 焊工和焊机操作工资格评定用 — 选择之二（见	

4.29 或 4.26)	201
图 4.34 — 圆焊管或方焊管上试样部位 — 焊工资格评定 (见 4.20.1.2)	201
图 4.35 — 破断试样法 — 定位焊工资格评定用 (见 4.32)	202
图4.36 — 电渣焊和气电焊对接接头 — 自动焊工资格评定用 (见 4.24.2)	203
图 4.37 — 角焊缝破断和宏观腐蚀试板 — 焊工和焊机操作工资格评定用 — 选择之一 (见 4.29 或 4.26)	203
图4.38 — 塞焊缝宏观腐蚀试板 — 焊工或焊机操作工资格评定 (见 4.15) 和 WPS 评定用 (见 4.30)	204
图 4.39 — 角焊缝破断试样 — 定位焊工资格评定用 (见 4.20.2)	205
图 4.40 — CVN 试样部位 (见 4.35.1)	206
图 5.1 — 材料切割边缘缺陷 (见 5.15.1.1)	228
图 5.2 — 焊缝穿越孔几何形状 (参见 5.17.1)	229
图 5.3 — 坡口焊接接头组装时的加工公差 (见 5.22.4.1)	230
图 5.4 — 合格和不合格焊缝剖面形状 (见表 5.9 和 5.10)	230
图 6.1 — 静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载的管材连接中不连续性的合格判据 (见 6.12.1)	266
图 6.2 — 周期荷载非管材连接拉伸应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.1)	270
图 6.3 — 周期荷载非管材连接受压应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.2)	273
图 6.4 — R 级指示 (见 6.13.3.1)	277
图 6.5 — X 级指示 (见 6.13.3.2)	279
图 6.6 — 孔型像质计 (IQI) (见 6.17.1)	280
图 6.7 — 线型像质计 (见 6.17.1)	281
图 6.8 — 接头厚度大致相等而长度等于或大于 10 in. [250mm] 时 RT 的标记和孔型或线型 IQI 的放置部位 (见6.17.7)	282
图 6.9 — 接头厚度大致相等而长度小于 10 in. [250mm] 时 RT 的标记和孔型或线型 IQI 的放置部位 (见 6.17.7)	282
图 6.10 — 过渡接头长度等于或大于 10 in. [250mm] 时 RT 的标记和孔型或线型 IQI 的放置部位 (见 6.17.7)	283
图 6.11 — 过渡接头长度小于 10 in. [250mm] 时 RT 的标记和孔型或线型 IQI 的放置部位 (见 6.17.7)	284
图 6.12 — RT 边块 (见 6.17.13)	284
图 6.13 — 单壁透照—单壁成像 (见 6.18.1.1)	285
图 6.13 — 单壁透照—单壁成像 (见 6.18.1.1)	285
图 6.15 — 双壁透照—双壁 (椭圆形) 成像, 最少二次曝光 (见 6.18.1.3)	286
图 6.16 — 双壁透照—双壁成像, 最少三次曝光 (见 6.18.1.3)	286
图 6.17 — 换能器晶体 (见 6.22.7.2)	287
图 6.18 — 用 IIW 对比试块校准探头的方法 (见 6.22.7.7)	287
图 6.19 — 国际焊接学会 (IIW) 超声校准块 (见 6.23.1)	288
图 6.20 — 鉴定试块 (见 6.23.3)	288
图 6.20 (续) — 鉴定试块 (见 6.23.3) (公制)	289
图 6.21 — UT 扫查方式平面图 (见 6.32)	290
图 6.22 — 扫查技术 (见 6.27.5)	291

图 6.23 — 换能器位置（典型的）（见 6.29）	292
图 7.1 — 标准类型有头螺柱的尺寸和公差（见 7.2.1）	301
图 7.2 — 典型的拉伸试验夹具（见 7.3.2）	301
图 7.3 — 扭矩试验设置和试验扭矩表（见 7.6.6.2）	302
图 7.4 — 弯曲试验装置（见 7.9.7.2）	303
图 7.5 — 小螺柱鉴定试验用推荐装置形式（见 7.9.7.2）	303
图 F.1 — 温度 — 湿度曲线图结合试验计划用以确定低氢 SMAW 焊条在大气中的暴露时间（见 5.3.2.3）	320
图 F.2 — 应用温度 — 湿度曲线图确定低氢 SMAW 焊条在大气中暴露时间（见 5.3.2.3）	320
图 H.1 — 其它认可的试块和典型的换能器位置（见 H2.3.1）	325
图 H.1（续） — 其它认可的试块和典型的换能器位置（见 H2.3.1）（公制）	326
图 I.1 — 钢材的区域切分（见 I5.1）	332
图 I.2 — 350 HV 和 400 HV 临界冷却速率（见 I3.3）	333
图 I.3 — 确定埋弧焊单道角焊缝的冷却速率曲线图（见 I6.1.3）	334
图 I.4 — 角焊缝尺寸和能量输入间的关系（见 I6.1.5）	337
图 S.1 — 标准对比反射体（参见 S5）	396
图 S.2 — 校准的校准试块（参见 S5）	396
图 S-3 — 典型的标准反射体（位于焊缝实样和产品焊缝中）（见 S5）	397
图 S.4 — 传输修正（参见 S6.1）	398
图 S.5 — 纵波深度（水平扫描校准）（参见 S6.2.1）	398
图 S.6 — 纵波灵敏度校准（参见 S6.2.2）	398
图 S-7 — 横波距离和灵敏度校准（参见 S6.3.1）	399
图 S.8 — 扫描方法（见 S7）	400
图 S.9 — 球形不连续性特性（参见 S8.2.1）	401
图 S.10 — 柱状不连续性特性（参见 S8.2.2）	401
图 S.11 — 平面不连续性的特性（参见 S8.2.3）	402
图 S.12 — 不连续性高度的尺寸（参见 S9.2）	402
图 S.13 — 不连续性长度的尺寸（参见 S9.3）	403
图 S.14 — 显示屏幕标记（见 S11）	403
图 S.15 — UT 报告（选用方法）（见 S13）	404
图 T.1 — 用于计算的 α 值术语的定义	405
图 C-3.1 — GMAW-S 熔滴过渡波形图和示意图	443
图 C-3.3 — 免除评定的角接头可供选用的坡口制备详图（见 C-3.11.2）	444
图 C-4.1 — 不需进行管材焊接评定的管材的焊接类型（见表 4.9）	453
图 C-5.1 — 不合格内凹拐角的示例（参见 C-5.16）	463
图 C-5.2 — 开槽口切割的良好实例（参见 C-5.16）	463
图 C-5.3 — 对接构件允许的偏离（参见 C-5.22.3）	464
图 C-5.4 — 对未对准的构件的纠正（参见 C-5.22.3）	464
图 C-5.5 — 确定大梁腹板平正度偏差的典型方法	465
图 C-5.6 — 拱度测量方法的举例（参见 C-5.23.4）	466
图 C-5.7 — 翼缘板翘曲和倾斜的测量（参见 C-5.23.8）	467
图 C-5.8 — 承载点的公差（参见 C-5.23.10）	468
图 C-6.1 — 用钢衬垫的 90° T 形或角接头	483

图 C-6.2 — 斜 T 形或角接接头	484
图 C-6.3 — 衬垫和接头分离的对接接头	484
图 C-6.4 — 用钢衬垫的对接接头的根部间隙的影响	485
图 C-6.5 — 密封焊接钢衬垫的扫查	485
图 C-6.6 — 密封焊接钢衬垫扫查的分辨力	486
图 C-6.7 — 静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载管材连接的不连续性合格判据图解（见 6.12.1）	487
图 C-6.8 — 1-1/8 in [30 mm] 以上的静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载管材连接的，典型的随机分布不连续性的合格判据图解（见 6.12.1）	488
图 C-6.9 — 周期荷载非管材受拉连接的不连续性合格判据图解（见 6.12.2.1）	489
图 C-7.1 — 有头螺柱头部中容许缺陷	492
图 C-8.1 — 微观侵入	500
图 C-8.2 — 疲劳寿命（见 C-8.4.1）	500
图 C-8.3 — 带磨头的砂轮机修整焊趾（见 C-8.4.1）	501
图 C-8.4 — 垂直于应力的焊趾修整（见 C-8.4.1）	501
图 C — 8.5 — 有效的焊趾打磨（见 C-8.4.1）	502
图 C-8.6 — 端部打磨[见 C-8.4.1(2)]	502
图 C-8.7 — 锤击[见 C-8.4.1 (3)]	503
（经由 <i>S. Maddox, IIW, Com. XIII</i> 提供）	503
图 C-8.8 — 焊趾重熔[见 C-8.4.1(4)]	504
（经由 <i>P Haagensen, IIW, Com. XIII</i> 提供）	504

钢结构焊接规范

1. 一般要求

1.1 范围

本规范包括制作和安装焊接钢结构的要求。当合同文件规定使用本规范时，除了工程师（见 1.4.1）或合同文件特别修改或允许免除的条款外，本规范的所有条款均必须遵守。

以下为规范条款的概括：

1. 一般要求。本条款包含规范的范围及限制的基本信息，关键性定义，和钢结构制作有关各方的主要责任。

2. 焊接连接的设计。本条款包含管材、非管材、产品构成组件的焊接连接设计要求。

3. 预先评定。本条款包含从本规范的 WPS 评定要求中免除 WPS（焊接工艺规程）的要求。

4. 评定。本条包含 WPS 评定试验以及按照本规范实行焊接的所有焊接人员（焊工、自动焊工、定位焊工）需要通过的评定试验。

5. 制作。本条包括由本规范管辖、适用于焊接钢结构的一般制作和安装要求。这些要求包括：基底金属、焊接材料、焊接技术、焊接细节、材料准备和装配、工艺、焊接修补以及其他要求。

6. 检验。本条包括检验员资格评定和职责的准则、产品焊缝的认可准则，以及进行外观检查和 NDT（无损检测）的标准流程。

7. 螺柱焊。本条包含螺柱焊于结构钢的要求。

8. 现有结构的补强和修理。本条包含与现有钢结构用焊接方法改建或修理有关的基本信息。

1.2 限制

本规范的编制是专门针对于使用厚度为 1/8 in [3 mm] 或更厚，最小规定屈服强度不大于 100 ksi [690 MPa] 的碳素钢或低合金钢的焊接钢结构。本规范可能适用于既定用途范围之外的结构制作控制。但工程师应对该适用性进行评估，在此评估的基础上，将对规范要求的任何必要更改纳入到合同文件中，以解决本规范范围之外应用的特殊要求。结构焊接委员会鼓励工程师考虑其他 AWS D1 规范的适用性，如铝材焊接规范 (AWS D1.2)、厚度小于等于 3/16 in thick [5 mm] 的薄板材焊接规范 (AWS D1.3)、钢筋焊材规范 (AWS D1.4) 以及不锈钢焊接规范 (AWS D1.6)。AASHTO/AWS D1.5 桥梁焊接规范是专门为公路桥梁部件的焊接而制定，我们推荐在公路桥梁焊接应用中使用这一规范。

1.3 定义

本规范中所用焊接术语必须按最新版的 AWS A3.0 标准焊接术语和定义来解释，并由本规范的附录 K 和以下定义加以补充：

1.3.1 工程师。“工程师”为代表并以业主名义处理本规范范围内所有事宜的正式指定人

员。

1.3.2 承包商。“承包商”为任何公司，或代表一个公司的个人，按照本规范的条款对制造、安装、生产或焊接负责。

1.3.3 检验员

1.3.3.1 承包商检验员。“承包商检验员”为在本规范及合同文件范围内的所有检验和质量事务上代理和代表承包商的经正式指定的人员。

1.3.3.2 监理检验员。“监理检验员”为在工程师规定的所有检验和质量事务上代理和代表业主或工程师的经正式指定的人员。

1.3.3.3 检验员（泛指）。当使用“检验员”这一术语而没有按上述特定的检验员类别进一步限时，它等同于其责任在 6.1.2 中所述范围内的承包商检验员和监理检验员这两类。

1.3.4 原始设备制造商 (OEM) 。“OEM”为向工程师承担部分或全部本规范指定责任的单一承包商。

1.3.5 业主。“业主”为对于按照本规范生产的产品或结构组件行使法定所有权的个人或公司。

1.3.6 规范术语“Shall”、“Should”和“May” “Shall”、“should”和“may”具有如下意义：

1.3.6.1 Shall —应该、必须。除非工程师在合同文件中特别修正，否则使用“shall”的规范条款为强制性条款。

1.3.6.2 Should—宜。“should”一词用于认为有利而推荐实施的情况，但并非要求。

1.3.6.3 May —可以。条款中的“may”一词即允许使用可选工艺或实践，这些工艺或实践能够用作本规范要求的替代或补充。那些要求工程师批准的可选工艺必须在合同文件中规定，或者有工程师的书面批准。当规范未规定必须经工程师批准时，承包商可以作任何选择而不用工程师批准。

1.4 责任

1.4.1 工程师的责任。工程师应负责合同文件的开发，该合同文件在本规范下对生产的产品或结构组件进行管理。工程师可以增加、删除或修改本规范的要求，以符合特定结构的特殊要求。对本规范进行修改的所有要求都应纳入到合同文件中。工程师应确定焊接装配件中所用全部接头详细要求的适用性。

必要且适当时，工程师应在合同文件中规定如下内容：

- (1) 仅由工程师规定的适用的规范要求。
- (2) 规范中未具体论述的所有附加 NDT。
- (3) 工程师所要求的监理检验。
- (4) 除第 6 条规定以外的焊缝验收标准。
- (5) 需要时，焊接金属、基底金属和/或 HAZ 的 CVN 粗糙度标准。
- (6) 对于非管材应用，结构为静态载荷还是周期载荷。
- (7) 在规范中未具体论述的所有附加要求。
- (8) 对于 OEM 应用，涉及各方的责任。

1.4.2 承包商的责任。承包商应负责 WPS、焊接人员的资格评定、承包商检验以及按照本规范和合同要求履行工作。

1.4.3 检验员的责任

1.4.3.1 承包商检验。承包商检验应由承包商负责，并且必须充分实施以确保材料和工艺符合合同要求。

1.4.3.2 监理检验。工程师应决定监理检验是否必须进行。必须在工程师和监理检验员之间确定监理检验的责任。

1.5 认可

凡规范中提到须经认可必须理解为由具有管辖权的权威机构或工程师认可。

1.6 焊接符号

焊接符号如 AWS A2.4 焊接、铜焊和无损检测用标准符号最新版本中所示。特殊情况应另加附注或详图给以充分说明。

1.7 安全注意事项

安全和健康问题及考虑并不在本标准的范围之内，因此在此并未充分论述。用户有责任建立适当的安全和健康规范。安全和监控信息可从其他来源获得，包括但不限于以下来源：

- (1) ANSI Z49.1, 焊接、切割和相关工艺中的安全¹
- (2) 关于材料和设备的制造商的安全文件
- (3) 适当的联邦、州和地方法规，或其他管辖权要求
- (4) 附录 R 安全措施

依据本规范完成的工作可能会涉及到有危险的材料。用户应在使用前确定规章限制条件的适用性。

1.8 标准计量单位

本标准采用美国惯用单位和国际单位制 (SI)。这两个单位制可能不精确等值，因此每一单位制必须独立使用而不以任何方法与另一单位制结合。本标准表示为 D1.1:2010 时采用美国惯用单位制。标示为 D1.1M:2010 采用国际单位制。后者适于括号[]内。

1.9 参考文件

附录 U 为本规范所有参考文献的一览表。

¹ 1 ANSI Z49.1 是美国焊接学会出版，地址为 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

2. 焊接连接设计

2.1 范围

本章包括焊接连接设计的要求。它分为以下 4 部分：

A—焊接连接设计的通用要求（非管材和管材部件）。

B—非管材连接设计的特定要求（静荷载或周期荷载）。这部分要求必须另加 A 部分要求使用。

C—非管材连接设计的特定要求（周期荷载）。当适用时，这部分要求必须另加 A 部分和 B 部分要求使用。

D—管材结构设计的特定要求（静荷载或周期荷载）。当适用时，这部分要求必须另加 A 部分要求使用。

A 部分—焊接连接设计的通用要求（非管材和管材部件）。

2.2 概述

本部分包括适用于非管材和管材结构所有焊接连接的设计要求，而与荷载形式无关。

2.3 合同图纸和技术条件

2.3.1 设计图和施工图资料。关于母材技术条件牌号（见 3.3 和 4.8.3）和所有焊缝的部位、类型、尺寸和范围的全部资料必须清晰地标注于合同设计图和技术条件，下称合同文件。如果工程师要求特定的焊缝在工地施焊，这些焊缝必须标明在合同文件上。制作和安装施工图，下称施工图，必须清晰地区分工厂焊缝和工地焊缝。

2.3.2 缺口韧性要求。如果要求焊接接头缺口韧性，工程师必须按所用的填充金属等级规定相应试验温度的最低吸收能量，或者，工程师必须规定评定的 WPS 带有 CVN 试验。如果要求 WPS 带有 CVN 试验，则工程师必须规定最低吸收能量，试验温度以及所要求的 CVN 试验究竟是在焊缝金属中，还是焊缝金属中和 HAZ 中两者都要（见 4.2.1.3 和第 4 条款，D 部分）。

2.3.3 特定的焊接要求。工程师在合同文件中，而承包商则在工厂图纸中，必须表明他们对哪些接头或接头组要求特定的装配程序，焊接顺序，焊接技术或其他特别的注意事项。关于 ESW 和 EGW 焊接的应用限制，请参考 5.4.1 和 C-5.4.1。

2.3.4 焊缝尺寸和长度。合同设计图必须规定有效的焊缝长度，以及 PJP（接头部分熔透）坡口焊缝的焊缝尺寸“（E）”。

对于角焊缝和斜 T 形接头，必须在合同文件上规定下述内容：

(1) 零件表面之间成 80° ~ 100° 角度的角焊缝，合同文件必须规定该角焊缝的焊脚尺寸。

(2) 零件表面之间成一小于 80° 或一大于 100° 角度的角焊缝，合同文件必须规定有效焊缝厚度。

如果设计要求角焊缝的端部绕焊和止焊，则必须在合同文件上标明。

2.3.5 施工图要求。施工图必须用焊接符号或草图清晰地标明坡口焊接接头的细节和加工这些接头而要求的母材准备。钢衬垫的宽度和厚度两者均必须详细规定。

2.3.5.1 PJP 坡口焊缝。对于所用的焊接方法和焊接位置，为了达到焊缝尺寸“(E)”，施工图必须规定焊缝坡口深度“S”。

2.3.5.2 角焊缝和斜 T 形接头中的焊缝期。

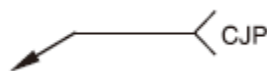
施工图必须规定下述内容：

(1) 零件表面之间成 $80^\circ \sim 100^\circ$ 角度的角焊缝，施工图必须表明角焊缝焊脚尺寸。

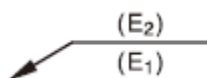
(2) 零件表面之间成一小于 80° 或大于 100° 角度的焊缝，施工图必须表明焊缝的详细安排以及所要求的焊脚尺寸，以说明接头几何形状的作用，并且，在那些合适的场合，对所用焊接方法与角度来说，表明 Z-折减的减小量。

(3) 端部绕焊和止焊。

2.3.5.3 焊接符号。合同文件必须表明 CJP（接头完全熔透）或 PJP 坡口焊缝要求。合同文件无需表明坡口类型或坡口尺寸。无尺寸且尾部有“CJP”的焊接符号指定为 CJP 焊缝，如下所示：



无尺寸且尾部无“CJP”的焊接符号，表示该焊缝将改变邻近母材强度的拉伸和剪切状态。PJP 坡口焊缝的焊接符号，必须表明尺寸，该尺寸置于括号中，位于基准线上方的“(E1)”和/或基准线下方的“(E2)”，分别表示该焊缝接头的箭头侧和另一侧的坡口焊缝尺寸，如下所示：



2.3.5.4 免除评定的详图尺寸。3.12 (PJP) 和 3.13 (CJP) 中规定的接头细则已反复证实：对于将密实的焊缝金属熔敷并熔合于母材，它们足以提供必要的条件和余地。然而，这些细则的应用，严禁理解为已考虑焊接方法对于熔合边界以外材料的影响，也不得认为对给定用途具有适用性。

2.3.5.5 特别的细节。当需要特别的坡口细节时，必须在合同文件中详述。

2.3.5.6 特别的检验要求。任何特别的检验要求必须在合同文件上注明。

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长度，不论其取向，必须为垂直于拉伸或压缩应力方向的被连接件的宽度。对于传递剪力的坡口焊缝，有效长度为规定的长度。

2.4.1.2 CJP 坡口焊缝的有效尺寸。CJP 坡口焊缝的焊缝尺寸必须为连接的较薄件的厚度。设计计算时，严禁将焊缝余高作为对有效面积的增加。管材构造中，T-，Y-，和 K 形连接的坡口焊缝尺寸如表 3.6 中所示。

2.4.1.3 PJP 坡口焊缝的最小尺寸。PJP 坡口焊缝必须等于或大于 3.12.2.1 中规定的“(E)”值，按第 4 条款的规定进行了 WPS 评定的除外。

2.4.1.4 喇叭形坡口焊缝的有效尺寸。除 4.11.5 允许的情况以外，在熔敷填平时，喇叭形坡口焊缝的有效尺寸必须如表 2.1 中所示。不熔敷填平的喇叭形坡口焊缝，未填满的 U 必须扣除。对表面有不同的半径 R 的喇叭-V 形坡口焊缝，必须采用较小的 R。对焊于矩形管

型材的喇叭形坡口焊缝，R 必须为壁厚的两倍。

2.4.1.5 坡口焊缝的有效面积。坡口焊缝的有效面积必须为有效长度乘以有效焊缝尺寸。

2.4.2 角焊缝

2.4.2.1 有效长度（直线）。直线角焊缝的有效长度必须为正式尺寸角焊缝的全长，包括绕焊部分。设计计算接受焊缝的起弧或熄弧弧坑，则有效长度不减少。

2.4.2.2 有效长度（曲线）。弯曲的角焊缝的有效长度必须沿有效焊缝厚度的中心线测量。

2.4.2.3 最小长度。角焊缝的最小有效长度必须至少为其公称尺寸的 4 倍，或焊缝的有效尺寸必须不超过其有效长度的 25%。

2.4.2.4 断续角焊缝（最小长度）。断续角焊缝各段的最小长度必须为 1-1/2 in. [38mm]。

2.4.2.5 最大有效长度。对长度不超过 100 倍焊脚尺寸的端部荷载角焊缝，允许其有效长度等于实际长度。当端部荷载角焊缝的长度超过焊缝尺寸 100 倍、但不超过 300 倍时，有效长度必须用折减系数 β 乘以实际长度决定：

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

其中

β =折减系数

L=端部荷载焊缝的实际长度，in. [mm]

W=焊脚尺寸，in.[mm]

当长度超过焊脚尺寸 300 倍时，有效长度必须为焊脚尺寸的 180 倍。

2.4.2.6 有效焊缝厚度的计算。对于零件表面夹角为 80° 和 100° 的角焊缝，其有效焊缝厚度必须为：作焊缝的 90°面轮廓后，从接头根部至焊缝面的最短距离（见附录 A）。对于所成角度为 60° 和 80°锐角的焊缝和角度为大于 100° 钝角的焊缝，必须按焊缝几何形状，计算所要求的焊脚尺寸，以获得规定的有效焊缝厚度（见附录 B）。对于所成角度为 60° 和 30°锐角的焊缝，必须计及所用的焊接方法在狭窄角度的根部焊道形成完好焊缝的不可靠性，而根据瘰 折损尺寸增加焊脚尺寸（见 2.4.3）。

2.4.2.7 增强角焊缝。PJP 坡口焊缝与角焊缝的组合，其有效焊缝厚度必须为接头根部至图解焊缝表面的最短距离减去 1/8 in. [3 mm]，此折减用于有此要求的任何坡口细节（见图 3.3 和附录 A）。

2.4.2.8 最小尺寸。最小角焊缝尺寸严禁小于传递施加的荷载所需的尺寸，也不得小于 5.14 中的规定。

2.4.2.9 搭接接头中的最大焊缝尺寸。在搭接接头中，沿母材棱边的最大角焊缝尺寸必须按如下规定：

对母材厚度小于 1/4 in. [6mm]者，为母材厚度（见图 2.1，详图 A）

(2) 对母材厚度等于或大于 1/4 in. [6mm]者，为母材厚度减去 1/16 in. [2mm]（见图 2.1，详图 B），除非生产图上规定施焊超出规定以得到充分的焊缝厚度，而使焊脚尺寸等于母材厚度。在焊态下，如果焊缝尺寸可明确校核，则从母材棱边至焊趾的距离可以小于 1/16 in. [2mm]。

2.4.2.10 角焊缝的有效面积。有效面积必须为有效焊缝长度与有效焊缝厚度的乘积。

2.4.3 斜 T 形接头

2.4.3.1 概述。零件接头的夹角大于 100° 或小于 80° 的 T 形接头必须定义为斜 T 形接头。免除评定的斜 T 形接头的详图如图 3.11 所示。根据工作状态和设计时对偏心的影响作适当考虑，钝角边和锐角边接头详图可以结合起来使用，也可单独使用。

2.4.3.2 80° ~ 60° 锐角中的焊缝和大于 100° 钝角中的焊缝。当焊缝要在 80° 和 60° 或在大于 100° 的角度中熔敷时，合同文件必须规定所要求的有效焊缝厚度。生产图必须清晰地表明焊缝部位和所要求的焊脚尺寸，以满足所需的有效焊缝厚度（见附录 B）。

2.4.3.3 60° ~ 30° 夹角中的焊缝。当要求在一个小于 60° 但等于或大于 30° 的锐角中焊接时 [图 3.11 (D)]，有效焊缝厚度必须加上 Z-折损修正量（表 2.2）。合同文件必须规定要求的有效焊缝厚度。生产图必须表明所要求的焊脚尺寸，以满足因 Z-折损修正量而增加的、所要求的有效焊缝厚度（表 2.2）（见附录 B，关于有效焊缝厚度的计算）。

2.4.3.4 小于 30° 角度中的焊缝。除了在 4.13.4.2 中为管材结构作的修正外，严禁将熔敷于小于 30° 锐角中的焊缝在传递施加的力的方面视为有效。

2.4.3.5 斜 T-形接头的有效长度。斜 T 形接头的有效长度必须为足尺寸焊缝的整个长度。严禁由于在设计计算中允许焊缝引弧和熄弧而减少这一有效长度。

2.4.3.6 最小斜 T-形接头焊缝尺寸。必须采用 2.4.2.8 的要求。

2.4.3.7 斜 T 形接头的有效焊缝厚度。角度为 60° 和 30° 的斜 T 形接头的有效焊缝厚度必须为从根部至焊缝剖面轮廓的焊缝面的最短距离，并减去 Z 折损尺寸。角度为 80° 和 60° 以及角度大于 100° 的斜 T-形接头的有效焊缝厚度必须取从接头根部至焊缝面的最短距离。

2.4.3.8 斜 T 形接头的有效面积。斜 T-形接头的有效面积，必须规定为有效焊缝厚度乘以有效长度。

2.4.4 孔和长槽孔中的角焊缝。

2.4.4.1 直径和宽度限定。要在其中熔敷角焊缝的孔的最小直径或长槽孔的最小宽度严禁小于：开孔板的厚度加上 $5/16$ in. [8mm]。

2.4.4.2 长槽孔的端部。除那些延伸至部件棱边者外，长槽孔的端部必须为半圆形或其角部必须作成半径不小于开孔板厚度的圆形。

2.4.4.3 孔或长槽孔中的角焊缝的有效长度。孔或长槽孔中的角焊缝，其有效长度必须为沿焊缝厚度中心线的焊缝长度。

2.4.4.4 孔或长槽孔中的角焊缝的有效面积。有效面积必须为有效长度乘以有效焊缝厚度。相互搭接于孔或长槽孔的中心线的熔敷角焊缝，其有效面积取值严禁大于贴合面上孔或长槽孔的横截面积。

2.4.5 塞焊缝和槽焊缝

2.4.5.1 直径和宽度限定。要进行塞焊或槽焊的孔的最小直径或长槽孔的宽度严禁小于：开孔件厚度加 $5/16$ in. [8mm]。孔的最大直径或长槽孔的宽度严禁超过：最小直径加 $1/8$ in. [3mm] 或开孔件厚度的 $2-1/4$ 倍，取两值中之较大者。

2.4.5.2 长槽孔长度和形状。要进行槽焊的长槽孔的长度严禁超过开孔件厚度的 10 倍。长槽孔的端部必须为半圆形或其角部必须作成半径不小于开孔板厚度的圆形。

2.4.5.3 塞焊缝或槽焊缝的有效面积。塞焊缝和槽焊缝的有效面积必须为在贴合面平面上的孔或长槽孔的公称面积。

2.4.5.4 填充深度。塞焊缝和槽焊缝的最小填充深度必须符合以下要求：

(1) 在厚度等于或小于（不大于）5/8 in [16 mm] 的材料上作塞焊和槽焊时，焊缝厚度等于材料的厚度。

(2) 在厚度大于 5/8 in [16 mm] 的材料上作塞焊和槽焊时，焊缝厚度等于材料的厚度的一半或 5/8 in [16 mm]，取其大者。

在任何情况下，塞焊缝和槽焊缝的最小填充厚度都不得大于两连结部件中较薄件的厚度。

B 部分—非管材连接设计的特定要求（静荷载或周期荷载）

2.5 概述

B 部分的特别要求必须连同 A 部分的要求应用于所有承受静荷载的非管材构件的连接。除 C 部分作了修订外，A 部分和 B 部分的要求也必须应用于周期荷载。

2.6 应力

2.6.1 计算应力。要与许用应力进行比较的计算应力必须为根据适当分析而确定的公称应力，或由可以在适用的设计技术条件中规定的最低接头强度要求来决定的应力，该设计技术条件引用本规范进行焊接连接设计。

2.6.2 偏心引起的计算应力。在焊接接头的设计中，与许用应力进行比较的计算应力必须包括：由于设计偏心度（如果存在的话）的缘故，相关的排成一直线的连接零件和焊缝的位置、尺寸与类型，但下述情况可除外：对于静荷载结构，在单角钢、双角钢和类似构件的端部连接时，并不要求以角焊缝相对于中性轴的位置来作力的平衡。在这样的构件中，在角钢的跟部和趾部的焊缝安排可以按照各种合适的边缘长度进行布置。

2.6.3 许用的母材应力。计算母材应力严禁超过在适用的设计技术条件中规定的许用应力。

2.6.4 许用的焊缝金属应力。焊接接头的有效面积上的计算应力，除了 2.6.4.2、2.6.4.3 和 2.6.4.4 允许者外，严禁超过表 2.3 中给出的许用应力。2.6.4.2 的使用应该限定在单个线性角焊缝或平行的线性角焊缝组在同一角度方向上一起荷载的分析上。

2.6.4.1 角焊缝中的应力。对于任何方向上施加的荷载，角焊缝中的应力都必须视为施加于有效面积上的剪力。

2.6.4.2 选择用许用角焊缝应力。平面内通过重心受到荷载的线性角焊缝的许用剪应力可以由公式 (1) 确定：

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

其中

F_v = 许用单位应力

F_{EXX} = 焊条（丝）等级号，即焊条（丝）强度

Θ = 力的方向与焊缝元的轴线间的夹角，度

2.6.4.3 瞬时旋转中心。当用瞬时旋转中心方法对一组承受平面内荷载的焊缝进行分析，以保持变形的合适性和可变化角度受载焊缝的非线性荷载-变形行为时，该组焊缝内的焊缝元的许用应力必须为：

$$\begin{aligned} F_{vx} &= \Sigma F_{vix} \\ F_{vy} &= \Sigma F_{viy} \\ F_{vi} &= 0.30 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \Theta) F(\rho) \\ F(\rho) &= [\rho (1.9 - 0.9\rho)]^{0.3} \\ M &= \Sigma [F_{viy} (x) - F_{vix} (y)] \end{aligned}$$

其中

F_{vx} = X 方向上的总内力

F_{vy} = Y 方向上的总内力

F_{vix} = 应力 F_{vi} 的 X 分量

F_{viy} = 应力 F_{vi} 的 Y 分量

M = 内力对瞬时旋转中心的力矩

ρ = 单元总的变形与最大应力时单元变形的比率， Δ_i / Δ_m

Δ_m = $0.209 (\Theta + 6)^{-0.32} W$ ，最大应力焊缝元的变形，in. [mm]

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

W = 角焊缝焊脚尺寸，in. [mm]

Δ_i = 在中等应力水平下的焊缝元的变形，根据离开瞬时旋转中心的距离，它线性地正比于临界变形，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最小的 Δ_u / r_i 比值的焊缝元的距离，in. [mm]

2.6.4.4 集中荷载焊缝组。可选择地，对于受集中荷载的焊缝组的特殊情况，每个焊缝元的许用剪应力可用公式 (2) 来计算，所有焊缝元的许用载荷可以计算并加起来。

$$\text{公式 (2) } F_v = 0.30 C F_{EXX}$$

其中

F_v = 许用单位应力

F_{EXX} = 填充金属的公称拉伸强度

C = 角焊缝斜向荷载时的当量强度系数，从表 2.4 中选择。

2.6.5 允许应力增量。如果适用的设计规范因某种理由允许增加母材的使用应力，则相应的增加值必须加于所给定的许用应力，而严禁加于承受周期荷载的母材或焊缝金属所允许的应力范围。

2.7 接头形状和细节

2.7.1 综合考虑。焊接连接的设计必须满足常规引用的技术条件的强度和刚性或柔性要求。

2.7.2 受压部件连接和拼接

2.7.2.1 与底板连接以外的承压的连接和拼接设计。除非合同文件另有规定，被精加工而承压的柱的拼接必须用 PJP 坡口焊缝或角焊缝加以连接而足以将零件保持在应有位置。柱以外的、经精加工而在拼接或连接处承压的受压部件，其焊缝设计必须使所有部件保持成一直线，并且必须按比例承担部件中 50% 的力。表 3.4 或 5.8 的要求必须采用。

2.7.2.2 与底板连接以外的不精加工而承压的连接和拼接。除非在合同文件或指令性技术条件中规定 CJP 焊缝或更多限制性的要求，柱的拼接焊缝和其他未精加工而承压的受压部件的拼接和连接的焊缝，均必须设计为传递构件中的力。表 3.4 或 5.8 的要求必须采用。

2.7.2.3 和底板的连接。在柱和其他受压部件的底板处，连接必须充分以使部件可靠地保持在应有位置。

2.7.3 承受厚度方向荷载的母材。T 形和角接接头，其作用是传递垂直于连接零件的表面应力者，特别当分支部件的母材厚度或要求的焊缝尺寸为 3/4 in. [20mm] 或更大时，在设计、选择母材和处理细节中，必须给予特别注意。只要适用，必须采用如下接头细节处理：使承受厚度方向应力的母材的应力强度降低到最小程度。必须避免采用的焊缝尺寸大于传递计算应力所需。

2.7.4 组合焊缝。除了此处规定以外，如果两个或更多不同类型焊缝（坡口焊缝，角焊缝，塞焊缝，槽焊缝）组合以分担一个单一的连接中的荷载，则该连接的能力必须作为已确定的，与所加荷载的方向有关的各别焊缝的总和进行计算。这一将各单一焊缝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 角接接头和 T-形接头表面轮廓。角焊缝可以用于角接接头和 T-形接头的 CJP 和 PJP 坡口焊缝，以达到作成焊缝轮廓面或减少应力。当作成这种轮廓表面的角焊缝用于静荷载时，其尺寸不需要大于 5/16 in. [8mm]。在 T-形或角接接头表面自然形成的这种形如角焊缝的加强，当其不与构造的其他元件相干涉时，严禁作为拒收的理由或要求将其去除。没有最小轮廓半径的要求。

2.7.6 焊缝穿越孔。当要求焊缝穿越孔时，其尺寸必须提供必需的空间，以熔敷完好的焊缝金属。必须采用 5.17.1 节规定的形状和尺寸。设计者和详图绘制者必须认识到：要求最小尺寸的孔，可能会影响在所连接的母材中可得到的最大净范围。

2.7.7 连同铆钉和螺栓的焊缝。应该允许用焊接与一构件连接而用螺栓或铆接与其他部件的连接。当螺栓与焊缝在共有的贴合面上分担载荷时，必须考虑螺栓和焊缝之间的应变兼容性（见注释）。

2.8 接头形状和细节 — 坡口焊缝

2.8.1 厚度中和宽度中的过渡。对于静荷载结构，角焊缝表面的轮廓（厚度和宽度的过渡）整理不必要。当工程师要求角焊缝作表面轮廓整理时，他们应该在合同文件中规定（见图 2.3）。

2.8.2 禁止部分长度 CJP 坡口焊缝。禁止断续的或部分长度的 CJP 坡口焊缝，但下述情况除外：由角焊缝连接的组装部件，在局部荷载的作用点，可以用有限长度的坡口焊缝分

担局部荷载的传递。坡口焊缝必须以均匀的焊缝尺寸至少延伸到传递荷载需要的长度。在这一长度以外，坡口深度必须逐步过渡至零，过渡段长度不小于坡口深度的 4 倍。在施焊角焊缝之前，坡口焊缝必须熔敷平齐。

2.8.3 断续 PJP 坡口焊缝。断续的 PJP 坡口焊缝，单边喇叭形和喇叭形坡口的焊缝可以用以传递两连接零件间的剪应力。

2.8.4 焊缝引弧和引出板的去除。对于静荷载非管材结构，焊缝引弧和引出板不需要去除。当要求除去、或要求进行 5.15.4 节以外的表面精修时，此要求必须在合同文件中规定。

2.9 接头形状和细节 — 角焊缝接头

2.9.1 搭接接头

2.9.1.1 双角焊缝。除非接头的偏转受到充分的拘束以防接头受荷载张开，否则传递轴向荷载零件之间应力的搭接接头必须为双横向角焊缝（见图 2.4）。

2.9.1.2 最小搭接。承受应力的搭接接头的最小搭接量必须为较薄件厚度的 5 倍，且不小于 1 in.[25mm]。除非零件的平面外偏转被阻止，否则搭接接头必须为双面角焊缝（见图 2.4），或者用至少两条横向的塞焊缝或槽焊缝联接，或者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。如果扁钢或板材部件的端部连接仅采用纵向角焊缝，则每一条角焊缝的长度严禁小于角焊缝间的垂直距离（见图 2.5）。除非采取了适当的措施以阻止零件的翘曲或分离（譬如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严禁超过较薄连接件厚度的 16 倍。纵向角焊缝既可以在部件的边缘，也可以在长槽孔中。除扁钢横截面外，将纵向角焊缝用于部件连接，其设计必须按照通用设计技术条件的规定。

2.9.3 角焊缝端部

2.9.3.1 概述。角焊缝端部可以延伸至零件的末端或侧面，或不到端部而停止，或作端部绕焊，但下述情况有限制：

2.9.3.2 受拉搭接接头。在搭接接头中，一零件延伸出另一承受计算拉应力的零件的边缘或侧面，则角焊缝必须在距离开始伸出处不小于焊缝尺寸的地方终止（见图 2.6）。

2.9.3.3 最大端部绕焊长度。安排焊接接头必须考虑到连接设计中采用的柔性要求。如果连接零件的突出支架是用端部绕焊连接的，则端部绕焊的长度严禁超过焊缝公称尺寸的 4 倍（见图 2.7 关于柔性连接例证）。

2.9.3.4 横向加劲材焊缝。除了加劲材末端焊于翼缘板的情况外，连接横向加劲材和大梁腹板的角焊缝，必须从腹板与翼缘板连接焊缝的趾部、距离不小于腹板厚度的 4 倍而又不大于腹板厚度的 6 倍处开始或终止。

2.9.3.5 共同平面对边。出现在共同平面对边的角焊缝必须在两条焊缝共有的角部断开。（见图 2.8）。

2.9.4 圆孔或长孔内的角焊缝。在搭接接头圆孔或长孔中的角焊缝可用来传递剪力或防止搭接零件的翘曲或分离。当在圆孔或长孔内采用角焊缝时，圆孔或长孔的最小间隔和尺寸必须符合 2.4.4.1、2.4.4.2、2.9.1、2.9.2 和 2.10 的要求。这些角焊缝可以有搭接，但受 2.4.4.4 节的制约。圆孔或长孔内的角焊缝不作为塞焊缝或槽焊缝对待。

2.9.5 断续角焊缝。断续角焊缝可用来传递连接零件间的应力。

2.10 接头形状和细节 — 塞焊缝和槽焊缝

2.10.1 最小间隔（塞焊缝）。塞焊缝的最小中心间隔必须为孔径的 4 倍。

2.10.2 最小间隔（槽焊缝）。在垂直于槽焊缝长度方向上，槽焊缝中心至中心的最小间隔必须为槽焊缝宽度的 4 倍。在长度方向上中心至中心的最小间隔必须为槽焊缝长度的 2 倍。

2.10.3 免除评定的尺寸。免除评定的塞焊缝和槽焊缝的尺寸如 2.4.5 和 3.10 所述。

2.10.4 在淬火与回火钢上的禁令。在规定的最小 F_y 大于 70 ksi [490MPa] 的淬火与回火（调质）钢上严禁采用塞焊缝和槽焊缝。

2.11 填充板

凡接头有必要用填充板传递作用力的地方，根据适用情况，填充板和连接焊缝必须符合 2.11.1 或 2.11.2 的要求。

2.11.1 薄填充板。厚度小于 1/4 in. [6 mm] 的填充板严禁用来传递应力。当填充板厚度小于 1/4 in. [6mm]，或当填充板厚度大于 1/4 in. [6mm] 但不足以传递连接零件间施加的力时，填充板必须与外侧连接板的边缘保持平齐，且焊缝尺寸必须增加而超过所要求的等于填充板厚度的量（见图 2.9）。

2.11.2 厚填充板。当填充板的厚度足以传递连接零件间施加的力时，填充板必须伸出外侧连接的棱边。连接外侧板与填充板的焊缝必须足以传递力至填充板，且根据施加于填充板的力，其面积应足以避免使填充板应力过大。连接填充板与内侧板的焊缝必须足以传递施加的力（见图 2.10）。

2.11.3 施工图纸要求。需用填充板的接头，必须在施工图和安装图上充分详述。

2.12 组装部件

2.12.1 最低要求的焊接。如用两块或多块钢板或轧制型材组装部件，必须有足够的焊接（角焊缝、塞焊缝或槽焊缝类型）使这些部件协调作用，并严禁少于在两连接部件之间传递计算应力所需。

2.12.2 断续焊缝的最大间隔

2.12.2.1 概述。除了在 2.12.2.2 或 2.12.2.3 中的规定外，将一板材组件连接于其他板材组件的断续焊缝的最大纵向间隔严禁超过较薄板材厚度的 24 倍，也不得超过 12 in. [300mm]。连接两件或更多件轧制型材的断续角焊缝间的纵向间隔严禁超过 24 in. [600mm]。

2.12.2.2 受压部件。除 2.12.2.3 的规定外，在组装的受压部件中，沿着一外侧板材组件与其他组件相连边缘的断续角焊缝焊段的纵向间隔严禁超过 12 in. [300mm]，也不得超过板材厚度乘以 $0.730 \sqrt{E/F_y}$ （ F_y =规定的最低屈服强度， E 为所用钢材的杨氏弹性模数。）当断续角焊缝焊段沿着外侧板材组件的反面边缘交错排列、而该板材组件窄于下一句中所述的宽度时，间隔严禁超过 18 in. [460mm]，也不得超过 $1.10 \sqrt{E/F_y}$ 倍。腹板、盖板或隔板，其在相邻两条焊缝中间部份的无支撑宽度，严禁超过板材厚度的 $1.46 \sqrt{E/F_y}$ 倍。当无支撑的横向间隔超过这一限度，但其宽度的一部份不大于 $1.46 \sqrt{E/F_y}$ 乘以厚度、且符合应力要求时，则必须认为此构件合格。

2.12.2.3 不涂漆耐候钢。对于暴露于大气腐蚀的不涂漆耐候钢部件，如果使用断续角焊缝，则其间隔严禁超过较薄件厚度的 14 倍，也不得超过 7 in. [180mm]。

C 部分—非管材连接设计的特别要求（周期荷载）

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性失效（疲劳）的周期荷载的非管材构件和连接。C 部分的条款规定了一种用在非管材的焊接结构元件上评估应力重复波动的影响的方法，它必须用来最大程度地降低疲劳失效的可能性。

2.13.2 其他有关规定。A 部分和 B 部分的条款必须应用到符合 C 部分要求的部件和连接的设计。

2.13.3 工程师的责任。工程师必须在合同文件中提供包括焊缝尺寸在内的全部细节，或者规定预期的周期寿命和连接中的力矩、剪力和反作用力的最大范围。

2.14 限定

2.14.1 应力范围极限。如果活荷载应力范围小于极限应力范围 FTH（见表 2.5），则没有必要进行疲劳抗力的评估。

2.14.2 低周疲劳。C 部分条款不适用于计算应力在非弹性应力范围的低周荷载情况。

2.14.3 腐蚀保护。C 部分所述疲劳强度适用于需进行适当腐蚀保护、或仅受诸如正常大气条件的轻度腐蚀环境的结构。

2.14.4 超静定——静定部件。本规范不再辨别超静定——静定部件之间的区别。

2.15 应力的计算

2.15.1 弹性分析。计算应力和应力范围必须为根据该部件级别进行的弹性应力分析的公称值。应不必因局部几何不均匀性而导致的应力集中而将应力进行放大。

2.15.2 轴向应力和弯曲。在轴向应力和弯曲应力复合存在情况下，最大的复合应力必须同时存在的荷载的情况。

2.15.3 对称截面。对于具有对称横截面的部件，必须优先对连接焊缝作关于部件轴线的对称布置，或者，如果对称布置实际上不可行，则包括接头偏心引起的应力在内的总应力必须包括在应力范围的计算内。

2.15.4 角钢部件。对于轴向应力的角钢部件，连接焊缝的重心必须位于角钢横截面的重心线和连接肢中心之间，在这种情况下，偏心的作用可以忽略。如果连接焊缝的重心处于该区域之外，则总应力，包括由于接头偏离角钢重心的偏心导致的应力，必须包含在应力范围的计算中。

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严禁超过表 2.3 中规定的许用应力。

2.16.2 许用应力范围。应力范围定义为由于反复施加荷载和活荷载的移动而导致的应力变动幅度。在反向应力的情况下，应力范围必须根据由于活荷载的不同位置在某给定点应力范围必须计算为：重复拉应力与压应力的最大值的数值总和，或许还有相反方向的最大的剪应力之和。应力的计算范围严禁超过各自适用的公式 (2) ~ (5) 的最大计算值。（见图 2.11 中

适用于应力类别 A, B, B', C, D, E, E' 和 F 的公式 (2) ~ (5) 的曲线)。

对于类别 **A, B, B', C, D, E, 和 E'**, 应力范围严禁超过按公式 (2) 确定的 FSR。

公式 (2)

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

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

其中:

F_{SR} = 许用应力范围, ksi [MPa]

C_f = 表 2.5 中除类别 F 以外所有类别的常数。

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]

对应力类别 **F**, 应力范围严禁超过按公式 (3) 确定的 F_{SR} 。

公式 (3)

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

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

其中:

C_f = 表 2.5 类别 F 的常数

对十字、T 形和角接接头细节受拉伸荷载的板件, 用 CJP 焊缝、PJP 焊缝、角焊缝或上述焊缝的组合连接, 在垂直于应力的方向上, 受拉伸荷载的板件的横截面上最大应力范围必须由下述 (a)、(b) 或 (c) 确定:

(a) 对于拉伸荷载板件的横截面, 考虑到裂纹从焊缝趾部引发, 因此焊缝趾部母材横截面上的最大应力范围严禁超过由类别 C 公式 (2) 确定的 FSR, FSR 必须为:

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

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

(b) 对于用横向 **PJP** 焊缝——它有或没有加强或过渡成形角焊缝——的受拉伸荷载板材的端部连接, 考虑到裂纹从焊缝趾部引发, 因此焊缝趾部母材横截面上的最大应力范围严禁超过由公式 (4) 确定的 FSR。

公式 (4)

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

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

其中:

R_{PJP} = 加强或无加强的 PJP 接头的折减系数

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

$$R_{PJP} = \frac{1.12 - 1.01(2a/t_p) + 1.24(w/t_p)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 \text{ (for mm)}$$

$2a$ = 受拉伸荷载板件厚度方向未焊接钝边长度

t_p = 受拉伸荷载板件的厚度 (in.或 mm)

w = 如果有加强或成过渡成形角焊缝, 则其为受拉伸荷载板件厚度方向上的焊脚尺寸 (in.或 mm)。

(c) 对于用一对角焊缝的受拉荷载板件的端部连接, 考虑到由于跟部拉伸而裂纹从焊缝的跟部引发, 最大的应力范围严禁超过由公式 (5) 确定的 F_{SR} 。另外, 焊缝厚度上的剪应力范围严禁超过类别 F 公式 (3) 确定的 F_{SR} 。

公式 (5)

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

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

其中:

R_{FIL} = 仅用一对横向角焊缝的接头的折减系数

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

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

2.17 细节、制作和安装

2.17.1 厚度和宽度的过渡

2.17.1.1 对接接头厚度过渡。不等厚度零件对接接头并承受周期拉伸应力者必须对其中

一个零件表面作成不大于 1:2.5 的斜坡，以形成光滑过渡。这种过渡可以通过将焊缝表面作成斜坡、将较厚件切成斜面或这两种方法的组合来完成（见图 2.2）。

2.17.1.2 对接接头宽度过渡。不等宽度零件间的对接接头并承受进入拉伸范围周期应力者，必须对其中一个零件的边缘作成不大于 1:2.5 的斜坡，以形成棱边的光滑过渡；或必须作成最小半径为 24 in. [600mm]，在接头中心相切于较窄零件的过渡（见图 2.12）。对于屈服应力大于 90 ksi [620MPa] 的钢材，当结合半径细节时，可以用于增加的应力范围。

2.17.2 衬垫

2.17.2.1 附加钢衬垫的焊缝。焊缝附加钢衬垫，不管该衬垫必须除去或原处留下，对焊缝的要求都必须按 2.17.2.2、2.17.2.3、2.17.2.4 和表 2.5 应力范围类别的规定来确定。工程师必须注意合同图纸上的疲劳应力类别。承包商必须注意：生产图上要求的钢衬垫部位，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，以及衬垫是否允许保留或是必须清除以达到所希望的应力范围类型。

2.17.2.2 一面施焊的 CJP T 形和角接接头。连接钢衬垫的焊缝，可以在接头坡口内施焊，也可以在接头坡口外施焊。承受周期横向拉伸（疲劳）荷载的接头的衬垫必须除去，且接头背侧必须修整以与正面焊缝一致。由于清除衬垫而发现或导致的不合格缺陷必须进行修补，以符合本规范的合格判据。

2.17.2.3 CJP 对接拼接。连接钢衬垫的焊缝，可以在接头坡口内施焊，也可在接头坡口外施焊，除非在应力类别规定中有所限制。安排在接头坡口外的定位焊缝必须在离开所连接零件的边缘不小于 1/2 in. [12mm] 处终止。衬垫可以原处保留或去除，除非设计中所用的应力类别有所限制。

2.17.2.4 纵向坡口焊缝和角接接头。如果使用钢衬垫，则其必须在接头的整个长度内连续。连接钢衬垫的焊缝可以在坡口内或在坡口外（见 5.10.2）。

2.17.3 角接和 T 形接头的成形焊缝。在承受拉伸或由于弯曲而导致拉伸的横向角接和 T 形接头中，凹角处必须增加一尺寸不小于 1/4 in. [6mm] 的单道成形角焊缝。

2.17.4 火焰切割棱边。火焰切割的棱边只要符合 5.15.4.3 的粗糙度规定，无需修整。

2.17.5 横向荷载对接接头。对承受横向荷载的对接接头，必须使用焊缝引弧、引出板，以使焊缝端部成阶状形成于完工接头外。严禁使用端部挡块。焊缝引弧、引出板必须除去，且焊缝末端必须修整以与部件棱边平齐。

2.17.6 角焊缝末端。对承受周期（疲劳）荷载的焊缝末端，除 2.9.3.3 规定外还要增加下述要求。对于以一定的频率和振幅的周期力施加于伸出元件，从而有可能在焊缝端部的最大应力点导致渐进式破坏，就如此情况的连接而言，角焊缝必须在侧面或端部以不小于公称焊缝尺寸 2 倍的长度绕焊。

2.18 禁止的接头和焊缝

2.18.1 一面施焊的坡口焊缝。严禁未按第 4 章进行评定而使用无衬垫仅从一面施焊的坡口焊缝，或虽用衬垫而非钢质衬垫的坡口焊缝。下述情况除外：

- (1) 次要或不承受应力的部件。
- (2) 处于组装部件的组件之间而平行于计算应力方向的角接接头。

2.18.2 平焊位置坡口焊缝。禁止在平焊位置焊接的对接接头单边削斜坡口和 J 形坡口焊缝，该位置可适用 V 形坡口或 U 形坡口接头。

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

2.18.4 原位置保留衬垫的 T 形和角接 CJP 焊缝。 严禁承受周期横向拉伸应力的、带有原位置保留衬垫的 T 形和角接 CJP 焊缝。

2.19 检验

对于疲劳类别 B 和 C，工程师要保证承受周期横向作用应力变为拉伸范围的 CJP 坡口焊缝采用 RT 或 UT 进行检验。

D 部分—管材连接设计的特别要求（静荷载和周期荷载）

2.20 概述

D 部分的特定要求仅适用于管材连接，并必须与 A 部分的适用要求一并应用。D 部分的所有条款适用于静荷载与周期荷载的情况，而 2.21.6 仅适用于周期荷载的疲劳条款除外。

2.20.1 偏心。 必须提供因明显偏离接头共同轴线而引起的力矩，作分析和设计之用。见图 2.14 (H) 有关偏心连接的说明。

2.21 许用应力

2.21.1 母材应力。 这些条款可连同许用应力设计（ASD）方面或荷载与抗力系数设计（LRFD）规格方面的任何适用的设计规定一起使用。除非另有适用的设计规定，否则，管材连接的设计必须符合 2.21.5、2.21.6 和 2.25 规定。母材应力必须为适用的设计规范中的规定值，并包括如下限制：

2.21.2 环形截面限定。 圆管直径与厚度的比例限制，矩形管的平面宽度与厚度的比例限制都必须符合管端的设计规范，还必须考虑超出这些限制所导致的局部翘曲或其他局部失效的模式。2.25 中关于判据的适用性限制必须遵守如下：

(1) 圆管： $D/t < 3300/F_y$ [F_y 单位为 ksi]， $478/F_y$ [F_y 单位为 MPa]

(2) 矩形截面节点间有间隔的连接： $D/t \leq 210\sqrt{F_y}$ [F_y 单位为 ksi]， $80\sqrt{F_y}$ [F_y 单位为 MPa]但不大于 35

(3) 矩形截面交叠节点连接： $D/t \leq 190\sqrt{F_y}$ [F_y 单位为 ksi]， $72\sqrt{F_y}$ [F_y 单位为 MPa]

2.21.3 焊缝应力。 除按 2.21.5、2.21.6 和 2.25 所作修改外，焊缝的许用应力严禁超过表 2.6 的给定值或 2.6.4.2 和 2.6.4.3 的容许值。

2.21.4 纤维应力。 因弯曲而引起的纤维应力严禁超过拉力和压力的规定值，除非构件是致密断面（能增强全塑性力矩），且任何横向焊缝成比例地充分发挥结合断面的强度。

2.21.5 荷载和抗力系数设计。 凡在本章别处提到的抗力系数 Φ 可用于下式中的荷载和抗力系数设计（LRFD）计算：

$$\Phi \times (P_u \text{ 或 } M_u) = \Sigma (LF \times \text{荷载})$$

式中， P_u 或 M_u 是这里所给出的极限荷载或力矩；而 LF 是管端 LRFD 设计规范所定义的荷载系数，即建筑用结构钢的 AISC 荷载和抗力因素设计技术规定。

2.21.6 疲劳

2.21.6.1 应力范围和部件类型。在承受反复变化动荷载应力的部件和连接的设计中，必须考虑应力的周期数、预期的应力范围以及构件或零件的类型与位置。

2.21.6.2 疲劳应力类别。材料的类型与位置必须按表 2.7 分类。

2.21.6.3 基本的许用应力限制。在适用的设计技术规定有疲劳要求时，则最大应力严禁超过在别处规定的基本许用应力，并在给定周期数下的应力范围严禁超过图 2.13 所示值。

2.21.6.4 累积损坏。当疲劳环境涉及应用的应力大小与周期数变动的应力范围时，则总计了各种荷载的累积疲劳损坏率。严禁超过，其中

$$D = \sum \frac{n}{N}$$

其中：

n = 给定应力范围内使用的周期数

N = 图 2.13 中允许的给定应力范围内的周期数

2.21.6.5 临界部件。对于本身单独损坏却会导致灾难性后果的临界构件，D 值（见 2.21.6.4）必须限制为分数值 1/3。

2.21.6.6 疲劳性能的改善。为提高疲劳性能，且合同文本有规定，可采取下列措施改善管材 T、Y 或 K 形节点的焊缝形状：

(1) 可以施加覆盖层，使得焊缝的焊态表面与邻近母材平滑地结合，并接近图 3.10 所示外形。外表上的缺口严禁深于 0.04 in. 或 1 mm，相对于直径等于或大于支管厚度的圆形而言。

(2) 可以打磨焊缝表面达到图 3.10 所示外形。最后的打磨痕迹必须垂直于焊缝轴线。

(3) 可用钝器敲击焊趾，在产生残余压应力的同时还产生使得焊缝与母材平顺过渡的局部塑性变形。这种锤击始终必须在目检后进行，并随即进行下述磁粉检测。应该考虑由于锤击而导致局部缺口韧性下降的可能性。

为了证明符合疲劳等级 X1 和 K1，必须对典型焊缝（静定结构所有焊缝或锤击过的焊缝）的表面和近表面缺陷进行磁粉检测。任何不能用轻微打磨即可清除的痕迹，必须按 5.26.1.4 的要求返修。

2.21.6.7 尺寸和形状效应。焊缝适用于下列疲劳类别者仅限于以下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) 支构件

F 0.7 in. (18 mm) 焊缝尺寸

FT 1 in. (25 mm) 焊缝尺寸

在使用中超过上述限定时，应当考虑减少许用应力或改善焊缝外形（见条文说明）。对于 T、Y 和 K 形节点，表 2.8 规定了两个疲劳等级。当使用等级 I 时，设计者必须标明；不

作如此标明以及疲劳不予考虑时，最低合格标准必须为等级 II。

2.22 标识

管材结构中的构件必须如图 2.14 所示予以识别。

2.23 符号

第 2 章 D 部分所用符号，如附录 J 所示。

2.24 焊缝设计

2.24.1 角焊缝

2.24.1.1 有效面积。有效面积必须按 2.4.2.10 和下述方法计算：构成 T、Y 和 K 形节点的角焊缝的有效长度必须根据 2.24.4 或 2.24.5 所述、按照量至焊缝中心线的距离、使用分支构件的半径或面部尺寸进行计算。

2.24.1.2 免除评定细节中 β 值的限制。管材 T、Y 和 K 形节点的免除评定的角焊缝细节如图 3.2 所示。这些细节限定用于圆管连接时 $\beta \leq 1/3$ ，用于方管连接时 $\beta \leq 0.8$ 。它们也要符合 3.9.2 的要求。对于转角曲率半径大的方管，可以要求对 β 的限制更小些，以使分支构件与焊缝保持在平面上。

2.24.1.3 搭接接头。由焊缝传递荷载的套管搭接接头（与锥形杆所用阻碍滑动的接头相反）可以如图 2.15 所示只焊一条角焊缝。

2.24.2 坡口焊缝。有效面积必须按 2.4.1.5 和下述方法计算：构成 T、Y 和 K 形节点的坡口焊缝的有效长度必须根据 2.24.4 或 2.24.5 所述、运用支管的平均半径 r_m 或面部尺寸进行计算。

2.24.2.1 免除评定的接头部分熔透坡口焊缝详细要求。管材 T、Y 和 K 形节点免除评定的接头部分熔透焊缝必须符合图 3.5 的要求。为了决定最大的焊缝应力，工程师必须使用该图结合表 2.9 计算最小的焊缝尺寸，只有 2.25.1.3 (2) 所述可以不计算这种应力者除外。

必须在从工作点至理论焊缝面的距离中扣除折减尺寸 Z 值，以求得最小焊缝尺寸。

2.24.2.2 T、Y 和 K 形节点中免除评定的无衬垫从一侧施焊的接头完全熔透坡口焊缝详细要求。细节的选择见 3.13.5。如果要求改善疲劳性能，则必须根据 2.21.6.6 和表 2.8 的形状要求选择细节。

2.24.3 焊缝中的应力。当需要计算圆截面构件的焊缝许用应力时，则在简单的 T、Y 或 K 形节点中将分支构件连接于弦杆的焊缝中的公称应力必须作如下计算：

$$f_{\text{weld}} = \frac{t_b}{t_w} \left[\frac{f_a}{K_a} \left(\frac{r_m}{r_w} \right) + \left(\frac{f_b}{K_b} \right) \frac{r_m^2}{r_w^2} \right]$$

其中

t_b = 分支构件厚度

t_w = 焊缝的有效焊缝厚度

f_a 和 f_b = 分支构件中的公称轴向和弯曲应力

r_m 和 r_w ，请参见图 2.16。

K_a 和 K_b 为 2.24.4 和 2.24.5 中给定的有效长度和断面系数。

在极限强度或 LRFD 模式中，有关分支构件轴向荷载能力 P 的表达式必须适用于圆截面和方截面两者：

$$P_u = Q_w \cdot L_{eff}$$

其中 Q_w =焊缝线性荷载能力（千磅/英寸）， L_{eff} =焊缝有效长度。

对于角焊缝，

$$Q_w = 0.6 t_w F_{EXX}$$

$$\Phi = 0.8$$

其中 F_{EXX} =焊缝熔敷金属的分类最小拉伸强度。

2.24.4 圆管连接长度。在 T、Y 和 K 形节点中焊缝长度和相交线长度必须按 $2\pi r K_a$ 决定，其中， r 是相交线的有效半径 [见 2.24.2，2.24.1.1 和 2.25.1.3 (4)]。

$$K_a = x + y + 3 \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

$$x = 1/(2 \pi \sin \theta)$$

$$y = \frac{1}{3\pi} \left(\frac{3 - \beta^2}{2 - \beta^2} \right)$$

其中

θ = 两管轴线相交之锐角

β = 如前面所定义的支管与主管的直径比。

注：下述公式可用于保守的近似计算：

$$K_a = \frac{1 + 1/\sin \theta}{2} \quad \text{用于轴向荷载}$$

$$K_b = \frac{3 + 1/\sin \theta}{4 \sin \theta} \quad \text{用于平面内弯曲}$$

$$K_b = \frac{1 + 3/\sin \theta}{4} \quad \text{用于平面外弯曲}$$

2.24.5 方管连接长度

2.24.5.1 K 和 N 形节点。主要承受轴向静荷载、两根方截面管构成同平面、有间隙的 K 和 N 形连接的支管焊缝有效长度必须取为：

$$2a_x + 2b, \quad \theta \leq 50^\circ$$

$$2a_x + b, \quad \theta \geq 60^\circ$$

所以，对 $\theta \leq 50^\circ$ ，支管的跟、趾和边可认为充分有效。对 $\theta \geq 60^\circ$ ，由于荷载分布不均匀，节点的根部可认为无效。对于 $50^\circ < \theta < 60^\circ$ ，用插入法。

2.24.5.2 T、Y 和 X 形节点。在结构中主要承受轴向静荷载、两根方截面管构成同平面的 T、Y 和 X 形节点的支管焊缝有效长度必须取为：

$$2a_x + b, \theta \leq 50^\circ$$

$$2a_x, \theta \geq 60^\circ$$

$50^\circ < \theta < 60^\circ$ 时，用插入法。

2.25 焊接连接的强度限制

2.25.1 圆周 T 形、Y 形和 K 形连接（参见 2.27.1.1）

2.25.1.1 局部断裂。T 形、Y 形和 K 形连接仅需通过将分支构件单独焊接至主要构件实现时，主要构件潜在断裂表面上的局部应力可能会限制焊接接头的可用强度。出现断裂之部位的剪切应力不仅取决于主要构件钢的强度，而且还取决于连接的几何结构。这些连接应根据 (1) 抗冲切力或 (2) 上述极限负载计算值按比例配合。抗冲切力是一种容许应力设计 (ASD) 标准，它包括安全系数。极限负载格式可以用于负载和阻力系数设计 (LRFD)，而阻力系数 Φ 须由设计师计入，参见 2.21.5。

(1) 抗冲切力格式。潜在断裂表面上作用的抗冲切力应力（参见图 2.17）不得超过容许抗冲切力应力。

作用的抗冲切力应力推导为

$$\text{作用 } V_p = \tau f_n \sin \theta$$

容许抗冲切力应力推导为

$$\text{容许 } V_p = Q_q \cdot Q_f \cdot F_{yo} / (0.6 \gamma)$$

容许 V_p 还应受限于适用设计规范中规定的容许剪切应力（例如 $0.4 F_{yo}$ ）。

上述等式中使用的术语在下文中详细规定：

T、 θ 、 γ 、 β 以及连接几何结构的其他参数已在图 2.14 (M) 中详细规定。

f_n 是分支构件（各个部分的抗冲切力保持分离状态）中的标称轴向应力 (f_a) 或弯曲应力 (f_b)。

F_{yo} = 主要构件弦杆的规定最小屈服强度，但不超过拉伸强度的 2/3。

Q_q 和 Q_f 分别是几何结构修改量和应力相互作用术语，已列于表 2.10 中。

对于相关于两个轴（例如 y 和 z）的弯曲，圆周和方形箱形截面内的有效合成弯曲应力可以记录为

$$f_b = \sqrt{f_{by}^2 + f_{bz}^2}$$

对于轴向和弯曲组合应力，应满足以下公式的要求：

$$\left[\frac{\text{Acting } V_p}{\text{allow } V_p} \right]_{\text{axial}}^{1.75} + \left[\frac{\text{acting } V_p}{\text{allow } V_p} \right]_{\text{bending}} \leq 1.0$$

(2) LRFD 格式（记作系数的负载最高至极限条件 — 参见 2.20.5）

出现主要构件内塑料弦杆壁断裂的分支构件的负载由以下方式推导：

轴向负载: $P_u \sin \theta = t_c^2 F_{yo} [6 \pi \beta Q_f] Q_f$

其中, 阻力系数 $\Phi = 0.8$ 。

计算 Q_f 时, $\overline{U}^2$ 应重新定义为 $(P_c / A F_{yo})^2 + (M_c / S F_{yo})^2$, 其中 P_c 和 M_c 是系数化的弦杆负载和力矩, A 是面积, S 是断面系数。

这些负载同样需要遵循以下弦杆材料剪切强度限制:

$$P_u \sin \theta \leq \pi d_b t_c F_{yo} / \sqrt{3}$$

$$M_u \sin \theta \leq d_b^2 t_c F_{yo} / \sqrt{3}$$

$\Phi = 0.95$

其中

t_c = 弦杆壁厚度

d_b = 分支构件直径和其他术语已在 2.24.1.1 (1) 中详细规定。

轴向负载 P 和弯曲力矩 M 的组合极限状态由以下方式推导:

$$(P/P_u)^{1.75} + M/M_u \leq 1.0$$

2.25.1.2 整体破裂。管状连接中主要构件的强度和稳定性 (带有加固材料) 应借助符合适用设计标准的可用科技进行调查。整体破裂在交叉连接和承受超载的连接中尤其严重 [参见图 2.14 (G) 和图 (J)]。这些连接可以通过增加主要构件的厚度或通过使用隔膜、环或轴环加固。

(1) 对于未加固的圆周交叉连接, 由于存在压缩分支构件轴向负载 P , 容许横向弦杆负载不会超过

$$P \sin \theta = t_c^2 F_y (1.9 + 7.2 \beta) Q_\beta Q_f$$

(2) 对于通过“连接点加厚段”加固已增加厚度 t_c 和长度 L 的圆周交叉连接, 容许分支轴向负载 P 可以用作

$$P = P_{(1)} + [P_{(2)} - P_{(1)}] L / 2.5D \quad \text{当 } L < 2.5/D \text{ 时}$$

$$P = P_{(2)} \quad \text{当 } L \geq 2.5/D \text{ 时}$$

其中, $P_{(1)}$ 通过在 (1) 内的等式中使用标称主要构件厚度算得; 而 $P_{(2)}$ 通过在相同等式中使用连接点加厚段厚度算得。

最终极限状态可以记作 1.8 乘以上述 ASD 容许值, 其中 $\Phi = 0.8$ 。

(3) 对于须符合 2.25.1.1 中局部剪切规定要求的主要构件厚度至少超出连接分支构件焊缝 $D/4$ 的圆周 K 形连接, 无需检查整体破裂。

2.25.1.3 负载的不均匀分布 (焊缝尺寸)

(1) 由于表面负载正常的主要构件和承受平行于其表面的薄膜应力的分支构件拥有不同的相对挠性, 所以焊缝中负载的传递非常不均匀; 连接达到设计负载之前, 预计可能会出现局部屈服。为了防止焊缝的“开裂”或渐进式断裂和保证接头的延展性能, 简单 T 形、Y 形

或 K 形连接中的最小焊缝在最终断裂强度下应可以显示支撑部件屈服强度和主要构件局部强度（抗冲切力）二者的较小者。角焊缝和 PJP 坡口焊缝的最终断裂强度应计算为 2.67 乘以基本容许应力（适用于 60 ksi [415 MPa] 或 70 ksi [485 MPa] 拉伸强度）或 2.2 乘以基本容许应力（适用于更高的强度等级）。最终抗冲切力应为 1.8 乘以 2.25.1.1 中规定的容许 V_p 。

(2) 匹配材料（表 3.1）已使用时，可以借助图 3.8 (CJP) 和图 12.4 (PJP) 中的预评定接头详图假定符合该要求。

(3) 符合以下喉要求时，焊缝的兼容强度也可以借助图 2 中的预评定角焊缝详图假定：

(a) $E = 0.7 t_b$ ，适用于用过匹配焊缝（归类强度 $F_{EXX} = 70 \text{ ksi [485 MPa]}$ ）连接的低碳钢圆周钢管 ($F_y \leq 40 \text{ ksi [280 MPa]}$) 的弹性工作应力设计

(b) $E = 1.0 t_b$ ，适用于焊缝满足表 3.1 中匹配强度要求的低碳钢圆周或箱形连接 ($F_y \leq 40 \text{ ksi [280 MPa]}$) 的最终强度设计 (LRFD)。

(c) $E = t_c$ 或 $1.07 t_b$ 中较小者，适用于其他所有情况

(4) 对于为了匹配连接强度而小于图 3.2 中规定尺寸但仅可以承受设计负载的角焊缝，其尺寸应适用于 2.24.3 中规定的所算应力的以下倍数，从而承受不均匀分布的负载：

	<u>ASD</u>	<u>LRFD</u>
E60XX 和 E70XX —	1.35	1.5
更高强度 —	1.6	1.8

2.25.1.4 过渡。应检查下方并未排除的扩头连接和管道尺寸过渡，查看是否出现由过渡方向改变产生的局部应力（参见表 2.7 中的注释 d）。例外情况，适用于静态负载：

D/t 小于 30 的圆周管，以及

过渡坡度小于 1:4。

2.25.1.5 其他结构形式和负载

(1) 经常使用术语“T、Y 和 K 形连接”来描述分支构件在结构点被焊接至主部件或弦杆的管状连接。此外，还在 2.25.1.1 和 2.25.1.2 中规定了交叉 (X-) 连接（也称为双 T）的特定标准。N 形连接是一种特殊的 K 形连接，其中，一个分支垂直于弦杆；相同的标准适用（参见多平面连接注释）。

(2) 连接分类如 T 形、Y 形、K 形或交叉形连接根据各个负载情况的负载模式应适用于单独分支构件。被视为一个 K 形连接，分支构件内的抗冲负载应主要通过接头侧相同平面内其他支架上的负载平衡。在 T 形和 Y 形连接中，抗冲负载通过反作用力的作用成为弦杆内的剪切力。在交叉连接中，抗冲负载通过弦杆传递至相反侧的支架。对于承受如 K 形连接部分负载以及如 T 形、Y 形和交叉连接部分负载的分支构件，根据各个部分在总体内的份额插入或使用计算的 α （参见备注）。

(3) 对于多平面连接，附录 T 中规定的 α 计算值可用于预估各种分支构件负载对于主要椭圆部件的有利影响和不利影响。然而，对于在临近平面负载情况类似的连接，例如三角支架中的成对 TT 和 KK 形连接，不得使承受力增加至超过相应单平面连接的承受力。

2.25.1.6 交叠连接。负载通过共同焊缝从一个分支构件直接转移至另一个分支构件的交叠连接应包含以下检查项目：

(1) 垂直于主要构件轴的容许单个部件负载成分应记作 $P_{\perp} = (V_p t_c l_1) + (2V_w t_w l_2)$ ，其中 V_p 是 2.25.1.1 中规定的抗冲切力，且

t_c = 主要构件厚度

l_1 = 分支构件上与主要构件相接触之部分的焊缝实际长度

V_p = 主要构件如 K 形连接的容许抗冲切力 ($\alpha = 1.0$)

V_w = 分支构件之间焊缝的容许剪切应力 (表 2.6)

t_w' = 焊缝尺寸 (有效焊缝) 或较薄分支构件的厚度 t_b 中较小的一个

l_2 = 搭接焊缝的投影弦杆长度 (一侧)，垂直于主要构件测量。

图 2.18 对这些术语加以说明。

最终极限状态可以记作 1.8 乘以上述 ASD 容许值，其中 $\Phi = 0.8$ 。

(2) 平行于主要构件轴的容许组合负载成分不得超过 $V_w t_w \sum l_1$ ，其中 $\sum l_1$ 等于与主要构件接触的所有支架的焊缝实际长度的总和。

(3) 推荐重叠部分的所占比率应至少为有效 $P_{\perp}$ 的 50%。在任何情况下，分支构件的壁厚均不得超过主要构件的壁厚。

(4) 不同分支构件承受显著不同的负载时，或者一个分支构件的壁厚大于另外一个分支构件的壁厚时，后者以上两种情况同时出现，较厚或负载更重的分支构件最好应为贯穿部件，其周边应完全焊接至主要构件。

(5) 组合区域上的横向净负载应符合 2.25.1.1 和 2.25.1.2 中规定的要求。

(6) 角焊缝的最小焊缝尺寸应提供 $1.0 t_b$ 的有效焊缝 (适用于 $F_y < 40 \text{ ksi [280 MPa]}$ 的情况) 和 $1.2 t_b$ 的有效焊缝 (适用于 $F_y > 40 \text{ ksi [280 MPa]}$ 的情况)。

2.25.2 箱形 T 形、Y 形和 K 形连接 (参见 2.27.1.1)。 本章节中规定的标准均采用极限负载形式，已去除安全系数。全部设定了 LRFD 阻力系数。对于 ASD，容许承受力应为已除以安全系数 $1.44/\Phi$ 的极限承受力。应根据调节设计规范选择负载和负载系数；参见 2.6.5 和 2.21.5。应检查接头是否出现以下各种断裂模式。

这些标准用于连接分支构件负载主要为轴向负载的平面桁架内壁厚均匀的箱形型材。如果使用紧凑的型材、可延展的材料和强度一致的焊缝，次要分支构件弯曲可以忽略不计。(次要弯曲是由于接头变形或全三角桁架的旋转导致的弯曲。由施加的负载、未支撑框架的侧倾等造成的分支构件弯曲不得忽略，应在设计中加以考虑 (参见 2.25.2.5)。

本章节中的标准遵循图 2.19 中描述的限制。

2.25.2.1 局部断裂。 出现主要构件内塑料弦杆壁断裂的分支构件的轴向负载 P_u 由以下方式推导：

$$P_u \sin \theta = F_{yo} t_c^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{(1-\beta)}} \right] Q_f$$

对于 $0.25 \leq \beta < 0.85$ 且 $\Phi = 1.0$ 的交叉、T 形和 Y 形连接。

$$\text{同时, } P_u \sin \theta = F_{yo} t_c^2 [9.8 \beta_{\text{eff}} \sqrt{\gamma}] Q_f$$

$$\Phi = 0.9$$

对于间隙 K 形和 N 形连接，至少

$$\beta_{\text{eff}} \geq 0.1 + \frac{\gamma}{50} \text{ and } g/D = \zeta \geq 0.5 (1-\beta)$$

其中 F_{yo} 是主要构件的规定最小屈服强度， t_c 是弦杆壁厚， γ 是 $D/2t_c$ (D = 弦杆面宽度)； β 、 η 、 θ 和 ζ 是图 2.14 (M) 和图 C-2.26 中规定的连接拓扑参数；(β_{eff} 是下文规定的等效值 β)； $Q_f = 1.3-0.4\bar{U}/\beta$ ($Q_f \leq 1.0$)； U 为弦杆利用率时，使用 $Q_f = 1.0$ (用于张紧的弦杆)。

$$\bar{U} = \left| \frac{f_a}{F_{yo}} \right| + \left| \frac{f_b}{F_{yo}} \right|$$

$$\beta_{\text{eff}} = (b_{\text{compression branch}} + a_{\text{compression branch}} + b_{\text{tension branch}} + a_{\text{tension branch}})/4D$$

这些负载同样需要遵循以下弦杆材料剪切强度限制

$$P_u \sin \theta = (F_{yo}/\sqrt{3}) t_c D [2\eta + 2\beta_{\text{cop}}]$$

对于 $\beta > 0.85$ 且 $\Phi = 0.95$ 的交叉、T 形和 Y 形连接，和

$$P_u \sin \theta = (F_{yo}/\sqrt{3}) t_c D [2\eta + \beta_{\text{cop}} + \beta_{\text{gap}}]$$

对于 $\beta \geq 0.1 + \gamma/50$ 且 $\Phi = 0.95$ 的间隙 K 形和 N 形连接（如果分支构件为正方形且宽度相同），其中

$\beta_{\text{gap}} = \beta$ ，适用于 $\zeta \leq 1.5 (1-\beta)$ 的 K 形和 N 形连接

$\beta_{\text{gap}} = \beta_{\text{eop}}$ 适用于其他所有连接

β_{eop} (外部有效抗冲) = $5\beta/\gamma$

但是不大于 β

2.25.2.2 整体破裂。管状连接中主要构件的强度和稳定性（带有加固材料）应借助符合适用设计标准的可用科技进行调查。

(1) 整体破裂在交叉连接和承受超载的连接中尤其严重。这些连接可以通过增加主要构件的厚度或通过使用隔膜、角撑板或轴环加固。

对于未加固的匹配箱形连接，由于分支轴向负载而产生的垂直于主要构件（弦杆）的极限负载 P 应限定为：

$$P_u \sin \theta = 2t_c F_{yo}(a_x + 5 t_c)$$

$\Phi = 1.0$ ，适用于拉伸负载，

$\Phi = 0.8$ ，适用于压缩力。

以及

$$P_u \sin \theta = \frac{47 t_c^3}{H - 4t_c} \sqrt{EF_{yo}}(Q_f)$$

$\Phi = 0.8$ ，适用于交叉接头，端柱反应等，承受压缩力， $E =$ 弹性模数
或

$$P_u \sin \theta = 1.5 t_c^2 [1 + 3a_x/H] \sqrt{EF_{y0}} (Q_f)$$

$\Phi = 0.75$ ，适用于其他所有压缩分支负载

(2) 对于间隙 K 形和 N 形连接，应检查承受间隙区域横向负载的主要构件的梁剪切力准确性，这包括与轴向弦杆力的相互作用。在步进箱形连接中，如果 $\beta + \eta \leq H/D$ (H 是桁架平面中主要构件的高度) 且 $\bar{U} \leq 0.44$ ，则无须进行该项检查。

2.25.2.3 负载的不均匀分布（有效宽度）。由于表面负载正常的主要构件和承受平行于其表面的薄膜应力的分支构件拥有不同的相对挠性，所以焊缝中负载的传递非常不均匀；连接达到设计负载之前，预计可能会出现局部屈服。为了防止渐进性破坏并保证接头的塑性性能，必须对分支构件和焊缝二者作如下校核。

(1) 分支构件校核。对于所有有间隔的 K 和 N 形连接以及 $\beta > 0.85$ 时的其他形式连接，必须校核分支构件的有效宽度轴向能力 P_u 。（注意，如果分支构件为正方形和相等宽度时，则不必作此校核。）

$$P_u = F_y t_b [2a + b_{gap} + b_{coi} - 4t_b]$$

$\Phi = 0.95$

其中

F_y = 分支构件最小的规定屈服强度

t_b = 分支构件的壁厚

a, b = 分支构件尺寸 [见图 2.14 (B)]

$b_{gap} = b$ ，用于 K 和 N 形连接， $\zeta \leq 1.5(1-\beta)$

$b_{gap} = b_{coi}$ ，用于其他所有连接

$$b_{coi} = \left(\frac{5b}{\gamma\tau} \right) \frac{F_{y0}}{F_y} \leq b$$

注：假定 $\tau \leq 1.0$ 和 $F_y \leq F_{y0}$ 。

(2) 焊缝校核。简单的 T、Y 或 K 形连接中的最小焊缝必须能够发挥连接的极限断裂强度能力，改善分支构件屈服强度或主构件局部强度二者中的较小值。

当使用匹配材料（表 3.1）时，可以假定图 3.6 的免除评定接头的细节（完全熔透和部分熔透）可以满足这些要求。

(3) 角焊缝必须按 2.24.5 所述进行校核。

2.25.2.4 交叠连接。搭接接头减少了主构件中的设计问题，那是由于直接从一根分支构件传递大部分横向荷载给其他分支构件（见图 2.20）。

本节的判断准则适用于符合下述限制的静荷载连接：

(1) 较大、较厚的分支构件为贯穿的构件。

(2) $\beta \geq 0.25$.

(3) 交叠分支构件为贯穿分支构件尺寸的 0.75~1.0 倍，且其侧面至少有 25% 交叠于贯穿的分支构件。

(4) 两分支构件有相同的屈服强度。

(5) 所有分支构件与弦杆为坚实方管，且对于分支构件，宽度/厚度 ≤ 35 ，对于主构件，该比值 ≤ 40 。

必须进行以下校核：

(1) 对交叠管的轴向承载能力 P_u ，用 $\Phi=0.95$

当交叠部分为 25%~50% 时， $P_u = F_y t_b [QOL (2a - 4t_b) + b_{eo} + b_{et}]$ ，

其中交叠部分 %

$$QOL = \frac{\% \text{ overlap}}{50\%}$$

$$P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + b_{eo} + b_{et}]$$

适用于交叠部分为 50% 至 80% 时。

$$P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + b + b_{et}]$$

适用于交叠部分为 80% 至 100% 时。

$$P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + 2b_{et}]$$

适用于交叠部分为 100% 时

其中 b_{eo} 为焊于主弦杆的面的有效宽，

$$b_{eo} = \frac{(5b)F_{yo}}{\gamma(\tau)F_v} \leq b$$

B_{et} 为焊于贯穿支撑的面的有效宽度。

$$b_{et} = \frac{5b}{\gamma_t \tau_t} \leq b$$

γ_t = 贯穿支撑的 $b/(2t_b)$

$\tau_t = t_{\text{交叠}}/t_{\text{贯穿}}$

其他术语按前述定义。

(2) 在结合投影上的净横向荷载，按 T 或 Y 形节点的情况处理。

(3) 对超过 100% 的交叠连接，必须校核纵向剪切荷载，仅考虑贯穿分支构件投影的侧壁有效。

2.25.2.5 弯曲。由于施加的荷载、悬臂梁、无支撑框架的侧倾等导致的主要弯曲力矩 M ，设计时必须作为一个附加的轴向荷载 P 予以考虑：

$$P = \frac{M}{JD \sin \theta}$$

作为较为理性分析代替（见条文说明），对平面内弯曲可取 JD 为 $\eta D/4$ ，对平面外

弯曲则为 $\beta D/4$ 。轴向荷载、平面内弯曲和平面外弯曲的作用必须考虑叠加性。以分支构件的投影处为力矩的作用点。

2.25.2.6 其他结构形式。以坚实的圆管作支管与方截面主管构成的十字、T、Y、有间隔 K 和有间隔 N 形节点，可取 2.25.2.1 和 2.25.2.2 给定能力值的 78.5% 进行设计，并用支管直径 d_b 取代每一方程式中的方管尺寸“a”和“b”（限于 $0.4 \leq \beta \leq 0.8$ 的坚实截面）。

2.26 厚度过渡

不同材料厚度或尺寸、轴线对齐的主要构件的受拉对接接头必须通过斜面过渡，斜度不大于 1:2.5 这种过渡必须用斜切厚件、焊缝作成斜面或两种方法兼用来作成（见图 2.21）。

2.27 材料限制

管材连接容易产生在设计负载下的可以导致局部屈服和塑性变形的局部应力集中。在使用寿命期间，特别在动负载条件下，周期负载可以引发疲劳裂纹，造成对钢材塑性有追加的要求。这些要求对于为冲剪力负载而设计的厚壁接头套筒特别严格（参见备注 C-2.27.2.2）。

2.27.1 限制

2.27.1.1 屈服强度。关于管材焊接连接的设计条款 2.25 不宜用于最小规定屈服强度 F_y 超过 60 ksi [415 MPa] 的圆管或最小规定屈服强度 F_y 超过 52 ksi [360 MPa] 的箱形截面管材。

2.27.1.2 降低的有效屈服强度。在管材连接设计中必须使用降低的有效屈服强度作为 F_{yo} ，对 F_{yo} 的限制如下：

- (1) 对于圆管，为规定的最低拉伸强度的 2/3（参见表 2.10 中的注释）。
- (2) 对于矩形管，为规定的最低拉伸强度的 4/5（参见图 2.19）。

2.27.1.3 方管 T 形、Y 形和 K 形连接。设计者应当重视对方管 T 形、Y 形和 K 形连接所用钢材的特殊要求。

2.27.1.4 ASTM A500 警告。按本技术规定制造的产品可能不适合用作焊接结构等的动荷载构件，该场合低温缺口韧性可能是重要的。如果这一产品用于管材 T、Y 和 K 形节点，则可能要作专门调研或热处理。

2.27.2 管材的母材缺口韧性

2.27.2.1 CVN 试验要求。必须要求受拉的焊接管材构件能证明在下列条件下 CVN 试验吸收功在 70°F 时为 20 ft·lb（20°C 时 27J）：

- (1) 母材最小规定屈服强度 ≥ 40 ksi [280 MPa] 且厚度 ≥ 2 in. [50 mm]。

CVN 试验必须符合 ASTM A673 的要求（频率 H，炉批号）。本小节的意图为，一受拉构件定义为因设计荷载而具有大于 10 ksi [70 MPa] 拉伸应力的构件。

2.27.2.2 LAST 要求。按周期或疲劳荷载要求设计（例如 T、Y 和 K 形节点中的套管）必须证明在下列条件下其 CVN 试验吸收功在最低预期工作温度（LAST）时为 20ft·lb (27 J)：

- (1) 母材厚度 ≥ 2 in. [50mm]。(2) 母材厚度 ≥ 1 in. [25mm]，其规定屈服强度 ≥ 50 ksi [345MPa]。

当不规定 LAST、或结构不受周期或疲劳荷载的管辖时，试验时温度必须不高于 40°F

[4°C]。CVN 试验必须作为正式供货态管材技术条件，并按 ASTM A673 频率 H（炉批）的要求试验。

2.27.2.3 选择用缺口韧性。当合同文本规定时，必须实施备用缺口韧性要求。条文说明给设计者提供了辅助指导。在计划与设计的早期阶段，由于涉及与结构的超静定有关的临界状态，应当考虑韧性。

表 2.1 熔敷填平的喇叭形坡口焊缝的有效尺寸（见 2.4.1.4）		
焊接工艺	喇叭形坡口焊缝	喇叭 V 形坡口焊缝
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：R=外侧表面半径。

表 2.1 Z 缺失尺寸（非管材）（见 2.4.3.3）						
二面角 Ψ	焊接位置—V 或 OH			焊接位置—H 或 F		
	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力 ^a	与母材相同	必须使用匹配的填充金属 ^b
垂直于有效面积的压力	与母材相同	可用同等强度级别的填充金属或低一个等级 (10ksi) [70MPa] 强度的填充金属
平行于焊缝轴线的拉伸或压缩应力 ^c	不作为焊接接头设计考虑	可用同等强度级别的填充金属或低强度匹配的填充金属
有效面积上的剪力	$0.30 \times$ 填充金属标称拉伸强度，母材上的剪应力严禁超过 $0.40 \times$ 母材屈服强度者除外	
PJP 坡口焊缝		
垂直于有效面积的拉应力	$0.30 \times$ 填充金属的拉伸强度级别	可用同等强度级别的填充金属或低强度匹配的填充金属
垂直于设计承载的接头焊缝的有效面积的压应力	$0.9 \times$ 填充金属的拉伸强度级别，但不大于 $0.9 \times$ 所连接母材的屈服强度	
垂直于设计不承载的接头焊缝的有效面积的压应力	$0.75 \times$ 填充金属的拉伸强度级别	
平行于焊缝轴线的拉伸或压缩应力 ^c	不作为焊接接头设计考虑	
平行于有效面积轴线的剪应力	$0.30 \times$ 填充金属标称拉伸强度，母材上的剪应力严禁超过 $0.40 \times$ 母材屈服强度者除外	

角焊缝

在有效面积或焊缝上的剪力	0.30× 填充金属标称拉伸强度级别，但下述情况除外：母材净截面剪切应力严禁超过 0.40× 母材的屈服强度 ^{d,e}	可用同等强度级别的填充金属或低强度匹配的填充金属
平行于焊缝轴线的拉伸或压缩应力 ^c	不作为焊接接头设计考虑	

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 × 填充金属的拉伸强度级别	可用同等强度级别的填充金属或低强度匹配的填充金属

^a 关于有效面积定义，见 2.4。

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

^c 联接组装部件组件的角焊缝和坡口焊缝，允许作这样的设计：在平行于焊缝轴线的连接组件中不考虑是拉伸应力和压缩压力，虽然垂直于焊缝轴线的焊缝面积可以包括在部件的横截面面积中。

^d 对于 0.40 × 母材屈服点的母材中应力的限定不应用于图示焊脚上的应力；然而，必须进行校核以保证如下要求：连接的强度不因围绕连接的净面积的母材厚度而受限制，特别在一板材元件的相对侧的一对角焊缝的情况中。

^e 供选择，见 2.6.4.2、2.6.4.3 和 2.6.4.4。应用上述注 d。

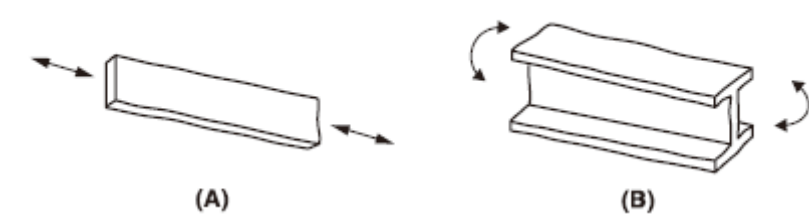
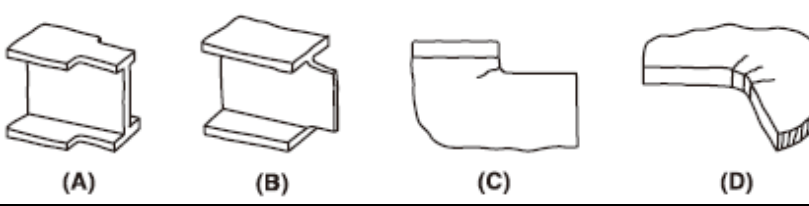
^f 连接的强度还应受限于连接周围周长区域上较薄母材的扯下负载承受力。

表 2.4
斜加载角焊缝的等效强度系数（参见 2.6.4.4）

被分析元件的负载角	负载角：适用于具有最低变形承受力的焊接件						
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	0.883	
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：具有最低变形承受力的焊接件将成为负载角最大的焊接件。允许邻近负载角之间的线性切入。

表 2.5
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

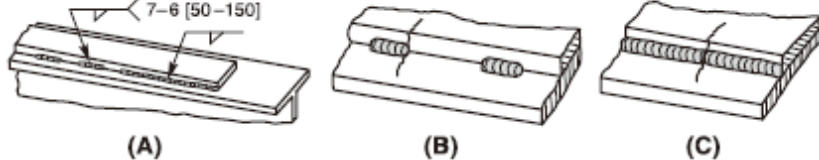
说明	应力类别	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例
第1 部分 — 离开任何焊接的普通材料					
1.1 除无涂层的耐候钢外的母材，其为轧制或具平整表面，以及轧制或火焰切割边缘，ANSI 粗糙度 1000 或更低，且无内凹拐角。	A	250×10^8	24 [166]	离开所有焊缝或结构连接处	1.1/1.2 
1.2 无镀层耐候钢母材，其为轧制或具平整表面，以及轧制或火焰切割边缘，ANSI 粗糙度 1000 或更低。	B	120×10^8	16 [110]	离开所有焊缝或结构连接处	
1.3 除焊缝穿越孔外，火焰切割的内凹拐角，切割符合 2.17.5 要求，ANSI 粗糙度 1000 或更低。	B	120×10^8	16 [110]	按内凹拐角表面的不规则情况而定	1.3 
1.4 符合 2.17.5 和 5.17.1 要求的焊缝穿越孔	C	44×10^8	10 [69]	按焊缝穿越孔内凹拐角表面的不规则情况而定	1.4 

第 2 部分 — 材料用机械紧固方法连接 — 不采用^a

(续)

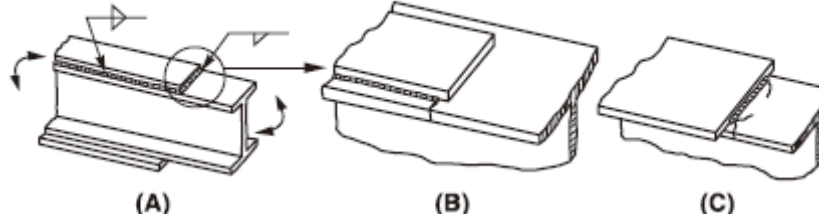
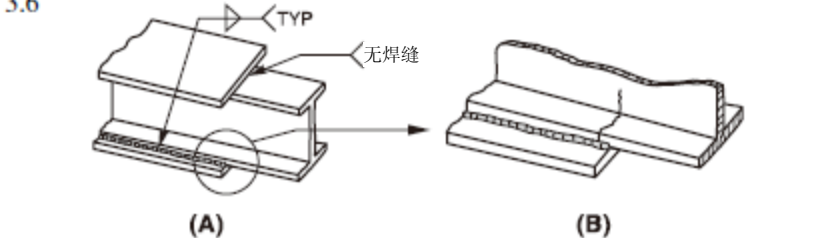
表 2.5 (续)
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

说明	应力类别	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例
第3 部分 — 焊接接头连接的组装部件					
3.1 在无组装附件的部件中的母材和焊缝金属, 用连续、纵向并经背面清根而焊接的 CJP 坡口焊缝, 或用连续角焊缝焊接。	B	120×10^8	16 [110]	不在焊缝端部, 在焊缝表面或内部缺陷处	3.1 (A) (B) (C)
3.2 在无组装附件的构件中的母材和焊缝金属, 构件用板材或型材, 用背部衬垫且焊后不除去此衬垫的连续纵向 CJP 坡口焊缝, 或连续 PJP 焊缝焊接。	B'	61×10^8	12 [83]	在焊缝 (包括连接衬垫的焊缝) 表面或内部缺陷处	3.2 (A) (B)
3.3 在组装部件中, 焊缝穿越孔处纵向角焊缝端部的母材和焊缝金属。	D	22×10^8	7 [48]	从焊缝端部进入腹板或翼缘板中	3.3 (A) (B)

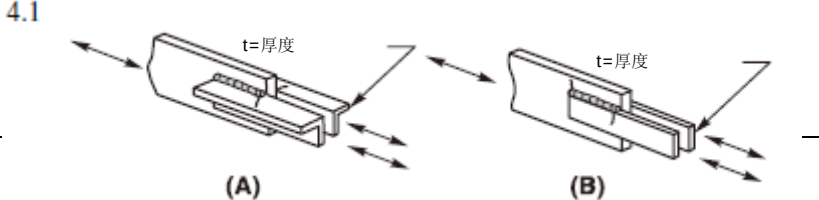
3.4 在纵向断续角焊缝的焊缝段端部的母材。	E	11×10^8	4.5 [31]	在被连接的材料中，任何焊缝熔敷的开始或停止部位	3.4 

(续)

表 2.5 (续)
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

说明	应力类别	常数 c_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例
3.5 非全长焊接的盖板端部的母材，盖板宽度窄于翼缘板，且端部为直角或削斜并在盖板横向端部有或没有焊缝；或盖板宽于翼缘板且有端部焊缝。 翼缘板厚度 ≤ 0.8 in. [20mm] 翼缘板厚度 > 0.8 in. [20mm]	E E'	11×10^8 3.9×10^8	4.5 [31] 2.6 [18]	端部焊缝焊趾处的翼缘板中，或纵向焊缝末端的翼缘板中，或带有宽盖板的翼缘板的棱边	3.5 
3.6 盖板宽度大于翼缘板、而非全长焊接、而且横向端部无焊缝，此盖板端部的母材。	E'	3.9×10^8	2.6 [18]	盖板焊缝端部的翼缘板棱边	3.6 

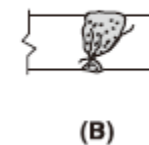
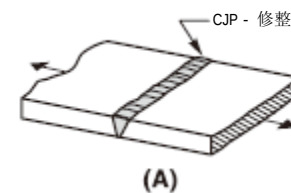
第4 部分 — 纵向角焊缝连接

4.1 端部以纵向焊接连接，轴向荷载的部件接合处的母材。焊缝长度必须与平衡焊缝应力的每一轴线成比例。 $t \leq 0.8$ in [20 mm]	E E'	11×10^8 3.9×10^8	4.5 [31] 2.6 [18]	从任何焊缝端部起裂延伸至母材	4.1 

t > 0.8 in [20 mm]					

第5 部分 — 垂直于应力方向的焊接接头

5.1 轧制或焊制的横断面由 CJP 坡口焊缝拼接，此拼接处内部或邻近的母材和焊缝金属，拼接焊缝基本上平行于应力方向打磨。	B	120 x10 ⁸	16 [110]	从焊缝金属内部缺陷起裂， 或沿熔合面起裂	5.1



(续)

表 2.5 (续)
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

说明	应力类别	常数 C_f	阈值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例
5.2 CJP 坡口焊缝拼接缝中或其邻近的母材和填充金属中，厚度或宽度作成不大于 1: 2.5 的过渡斜率，焊缝基本上平行于此过渡处的应力方向打磨。 $F_y < 90 \text{ ksi [620 MPa]}$ $F_y \geq 90 \text{ ksi [620 MPa]}$	B B'	120×10^8 61×10^8	16 [110] 12 [83]	焊缝金属内部缺陷处，或沿熔合面的内部缺陷，或当 $F_y \geq 90 \text{ ksi [620 MPa]}$ 时在开始过渡的地方	5.2
5.3 $F_y \geq 90 \text{ ksi [620 MPa]}$ 的母材以及 CJP 坡口焊缝中或其邻近处，宽度过渡处半径 $\geq 2 \text{ ft [600 mm]}$，而坡口焊缝端部为切点，打磨拼接焊缝基本上平行于宽度过渡处的应力方向。	B	120×10^8	16 [110]	填充金属内部缺陷处，或沿熔合面的缺陷处	5.3
5.4 CJP、T 形或角接头焊趾内或其邻近处的母材和填充金属，这些接头采用可拆的衬垫或拼接，当焊缝余高不去除时，厚度上用或不用不大于 1: 2.5 斜率进行过渡。	C	44×10^8	10 [69]	从焊缝焊趾的表面缺陷开始延伸入母材，或沿熔合面扩展	5.4

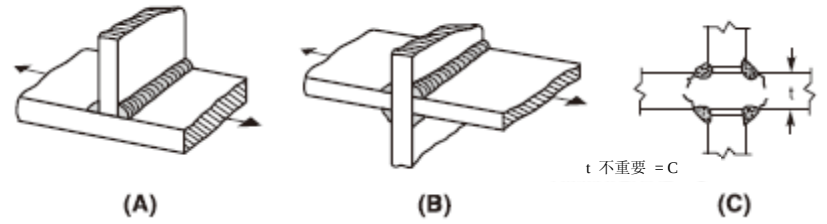
(续)

表格 2.5 (续)
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

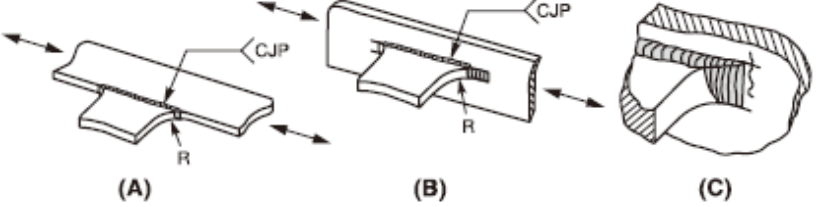
说明	应力类别	常数 C_f	临界值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例
5.4.1 不去除衬垫的 CJP 坡口焊缝的对接拼缝中或其邻近处的母材和填充金属。坡口内的定位焊缝 坡口外的以及距母材边缘不小于 1/2 in [12 mm] 处的定位焊缝。	D E'	22×10^8 11×10^8	7 [48] 4.5 [31]	坡口焊缝的焊趾或连接衬垫的焊缝的焊趾	5.4.1
5.5 PJP 对接、T 形或角接头焊接而受拉伸荷载板材元件的横向端部连接处的母材和填充，接头焊缝有余高，或有角焊缝外形。FSR 必须为焊趾裂纹或根部裂纹应力范围中较小者。 焊趾引发裂纹 焊缝根部引发裂纹	C C'	44×10^8 公式 (4)	10 [69] 无	焊趾处的缺陷引发，延伸至母材，或由于拉应力的原因，从根部引发，延伸，然后穿过焊缝	5.5
5.6 在板的相对两边用一对角焊缝连接的、受拉伸荷载板材元件的、横向端部连接处的母材和焊缝金属。FSR 必须为焊趾裂纹或根部裂纹应力范围中较小者。 焊趾引发裂纹 焊缝根部引发裂纹	C C''	44×10^8 公式 (5)	10 [69] 无	焊趾处的缺陷引发，延伸至母材，或由于拉应力的原因，从根部引发，延伸，然后穿过焊缝	5.6

(接下页)

表格 2.5 (续)
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

说明	应力类别	常数 C_f	临界值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例
5.7 横向角焊缝的焊趾处受拉荷载板材元件的母材, 以及邻近焊接横向加劲肋的大梁及轧制梁的腹板或翼缘板上的焊趾处母材。	C	44×10^8	10 [69]	角焊缝趾部几何形状缺陷处引发向母材延伸	5.7 

第 6 部分 — 焊接的横向连接部件处的母材

6.1 仅承受纵向荷载, 用 CJP 坡口焊缝进行附件连接处的母材, 连接细部呈半径为 R 的过渡, 且焊缝端部打磨光滑。 $R \geq 24 \text{ in [600 mm]}$ $24 \text{ in [600 mm]} > R \geq 6 \text{ in [150 mm]}$ $6 \text{ in [150 mm]} > R > 2 \text{ in [50 mm]}$ $2 \text{ in [50 mm]} > R$	B C D E	120×10^8 44×10^8 22×10^8 11×10^8	16 [110] 10 [69] 7 [48] 4.5 [31]	在部件边缘近半径相切点	6.1 

(接下页)

表格 2.5 (续)
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

说明	应力类别	常数 C_f	临界值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例

6.2 承受横向荷载、有或没有纵向荷载，用 CJP 坡口焊缝进行的等厚度附件连接处的母材，连接细部呈半径为 R 的过渡，且焊缝端部打磨光滑。

当去除焊缝余高时：

$R \geq 24$ in [600 mm]
 24 in [600 mm] $> R \geq 6$ in [150 mm]
 6 in [150 mm] $> R > 2$ in [50 mm]
 2 in [50 mm] $> R$

当不去除焊缝余高时：

$R \geq 24$ in [600 mm]
 24 in [150 mm] $> R \geq 6$ in [150 mm]
 6 in [600 mm] $> R > 2$ in [50 mm]
 2 in [50 mm] $> R$

B
C
D
E

120×10^8
 44×10^8
 22×10^8
 11×10^8

16 [110]
 10 [69]
 7 [48]
 4.5 [31]

在靠近半径切点处，或在焊缝内，或在熔合线，或部件，或附件上

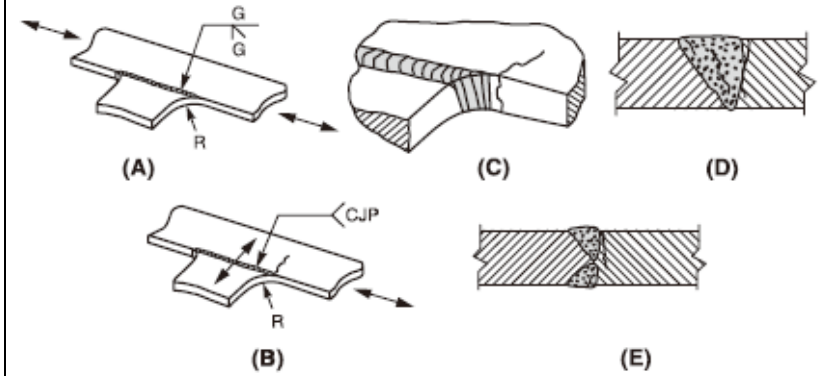
C
C
D
E

44×10^8
 44×10^8
 22×10^8
 11×10^8

10 [69]
 10 [69]
 7 [48]
 4.5 [31]

或沿部件边的焊趾处，或沿附件边的焊缝趾部

6.2



6.3 承受横向荷载、有或没有纵向荷载，用 CJP 坡口焊缝进行的不等厚度附件连接处的母材，连接细部呈半径为 R 的过渡，且焊缝端部打磨光滑。

当去除焊缝余高时：

$R > 2$ in [50 mm]
 $R \leq 2$ in [50 mm]

当不去除焊缝余高时：

Any radius

D
E

22×10^8
 11×10^8

.07 [48]
 4.5 [31]

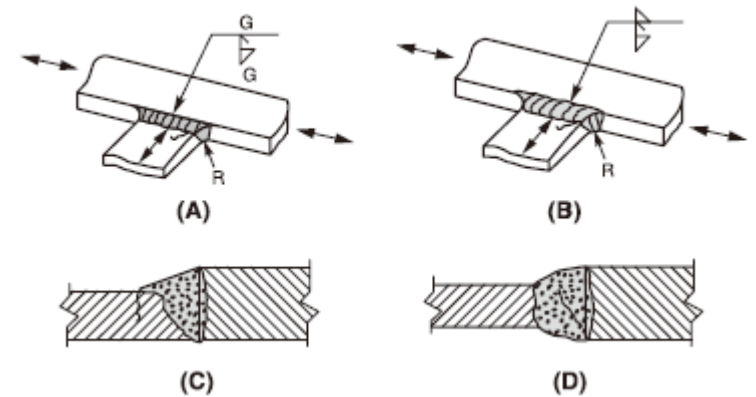
沿较薄材料的焊缝的趾部

E

11×10^8

4.5 [31]

6.3



(接下页)

表格 2.5 (续)
 疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

说明	应力类别	常数 c_f	临界值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例

6.4 在横向连接处，承受纵向应力的母材，有或没有横向应力，用平行于应力方向的角焊缝或 PJP 坡口焊缝连接附件，连接细部呈半径为 R 的过渡，且焊缝端部打磨光滑。

$$R > 2 \text{ in } [50 \text{ mm}]$$

$$R < 2 \text{ in } [50 \text{ mm}]$$

D
E

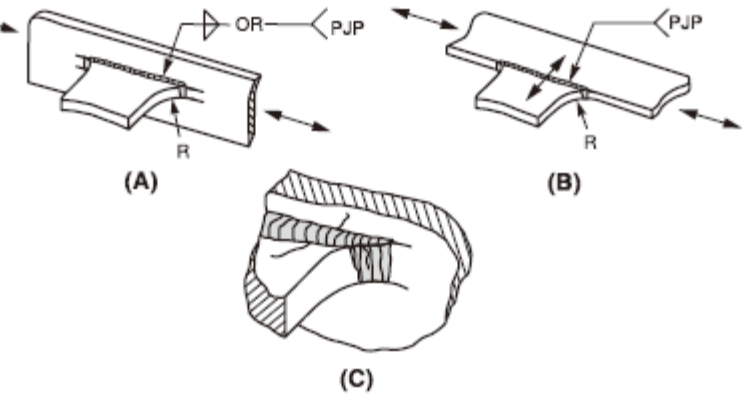
$$22 \times 10^8$$

$$11 \times 10^8$$

7 [48]
4.5 [31]

在焊缝端部，或从焊缝趾部向部件延伸

6.4



第 7 部分 — 短附件^b处的母材

7.1 由平行或垂直于应力方向的角焊缝连接的附加处承受纵向荷载的母材，该附件处无过渡半径，而在应力方向上附件长度半径为 a ，垂直于该构件表面的附加高度为 b ：

$$a < 2 \text{ in } [50 \text{ mm}]$$

$$2 \text{ in } [50 \text{ mm}] \leq a \leq 12b \text{ or } 4 \text{ in } [100 \text{ mm}]$$

$$a > 12b \text{ or } 4 \text{ in } [100 \text{ mm}] \text{ when } b \text{ is } \leq 1 \text{ in } [25 \text{ mm}]$$

$$a > 12b \text{ or } 4 \text{ in } [100 \text{ mm}] \text{ when } b \text{ is } > 1 \text{ in } [25 \text{ mm}]$$

C

$$44 \times 10^8$$

10 [69]

D

$$22 \times 10^8$$

7 [48]

E

$$11 \times 10^8$$

4.5 [31]

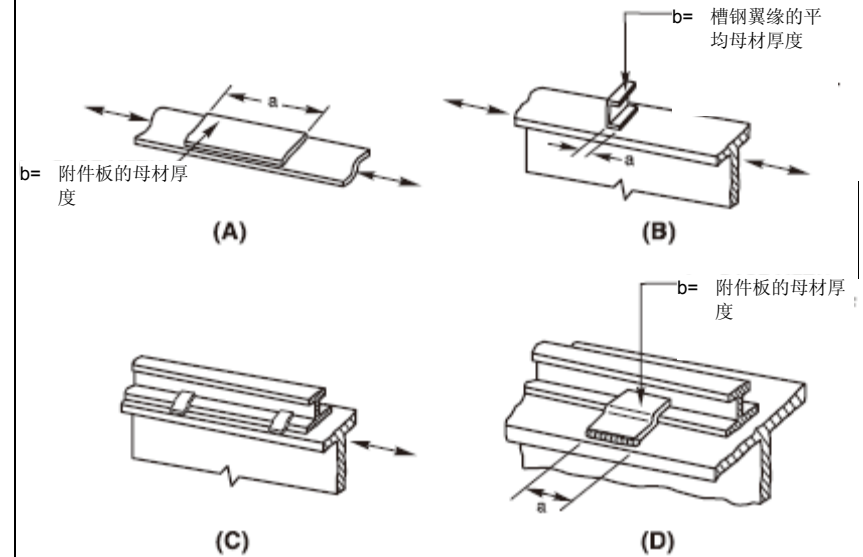
E'

$$3.9 \times 10^8$$

2.6 [18]

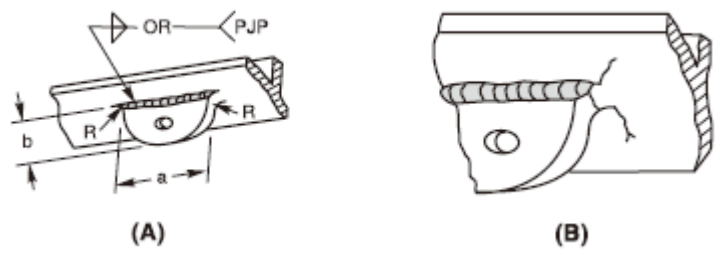
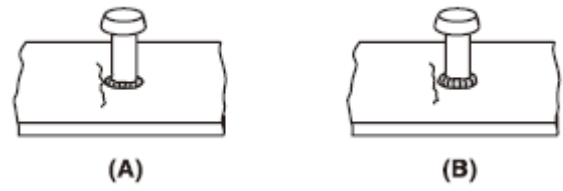
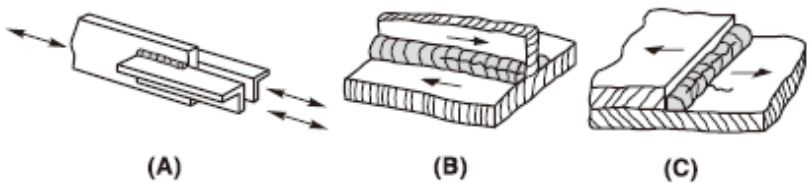
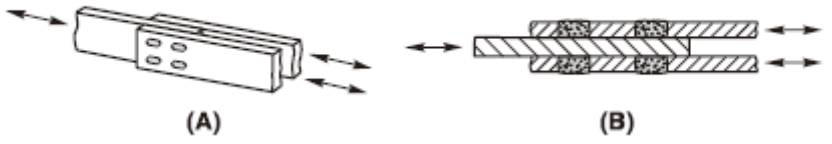
在焊缝端部的部件中

7.1



(接下页)

表格 2.5 (续)
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

说明	应力类别	常数 C_f	临界值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例
7.2 在附件连接处承受纵向应力，用角焊缝或 PJP 坡口焊缝进行连接的母材，在附件上有或没有横向荷载，连接细部呈半径为 R 的过渡，且焊缝端部打磨光滑。 $R > 2$ in [50mm] $R < 2$ in [50mm]	D E	22×10^8 11×10^8	7 [48] 4.5 [31]	在焊缝端部向构件延伸	7.2  (A) (B)
第 8 部分 — 其他					
8.1 用角焊缝或电弧螺柱焊接的螺柱型抗剪附件处的母材。	C	44×10^8	10 [69]	母材上的焊缝趾部	8.1  (A) (B)
8.2 对连接或断续的、纵向或横向角焊缝的焊缝厚度的剪切，包括孔内或槽内角焊缝。	F	150×10^8 公式 (3)	8 [55]	在焊缝厚度处	8.2  (A) (B) (C)
8.3 塞焊缝或槽焊缝处的母材。	E	11×10^8	4.5 [31]	母材上的焊缝端部	8.3  (A) (B)

(接下页)

表格 2.5 (续)
疲劳应力设计参数 (见 2.14.1)

说明	应力类别	常数 C_f	临界值 F_{TH} ksi [MPa]	可能引发裂纹点	图例
8.4 对塞焊缝或槽焊缝的剪切。	F	150×10^8 (公式 3)	8 [55]	在贴合面上	 (A)

8.5 8.5仅论及机械紧固连接而不适用于 D1.1。

^a AWS D1.1/D1.1M:2010 仅论及焊接细节。为保持连贯性并便于与其他相关技术规范相互参照, 本表未采用 第 2 部分 — 用机械紧固方法连接的材料和 8.5 的说明。^b 此处使用的“附件 (Attachment)”一词, 定义为焊接到一构件上的任一钢的零件, 就是由于其存在且有其荷载的独立性, 所以会引起构件内应力流的不连续性并从而降低了疲劳抗力。

表 2.6
管材连接焊缝的许用应力 (见 2.21.3)

焊缝类型	管材应用	应力类型	许用应力设计 (ASD)	荷载和抗力系数设计 (LRFD)		要求的填充金属强度等级 ^a
			许用应力	抗力系数 Φ	公称强度	
CJP 焊缝	纵向对接接头 (纵缝)	平行于焊缝轴线的拉应力或压应力 ^b	与母材相同 ^c	0.9	$0.6 F_y$	可用等强度或低强度匹配的填充金属
		横向或扭转剪应力	母材 $0.40 F_y$ 填充金属 $0.3 F_{EXX}$	0.9 0.8	$0.6 F_y$ $0.6 F_{EXX}$	
	环形对接接头 (环缝)	垂直于有效面积的压应力 ^b	与母材相同	0.9	F_y	必须使用匹配的填充金属
		作用于有效面积的剪应力		母材 0.9 焊缝金属 0.8	$0.6 F_y$ $0.6 F_{HXX}$	
		垂直于有效面积的拉应力		0.9	F_y	
	设计用于诸如疲劳的临界荷载的结构中的 T、Y 或 K 形节点的焊接接头, 通常要求接头完全熔透焊缝。	作用于邻近焊缝的母材且符合图 3.6 和图 3.8 至 3.10 中详图的拉伸、压缩或剪切应力 (无衬垫仅从外面施焊的管材焊缝)	与母材相同或受节点几何形状限制 (见有关 ASD 的 2.25 条款)	与母材相同或受节点几何形状限制 (见有关 LRFD 的 2.25 条款)		必须使用匹配的填充金属
		作用于坡口焊缝的有效面积上的拉				

		伸、压缩或剪切应力，从两面施焊，或用衬垫焊接。				
角焊缝	组装的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	可用等强度或低强度匹配的填充金属
		作用于有效面积的剪应力	$0.30 F_{EXX}^c$	0.75	$0.6 F_{EXX}$	
	环形搭接接头中 T、Y 或 K 形节点的接头以及接于管材的附件接头	作用于有效焊缝厚度的剪应力（不考虑荷载方向）（见 2.24 和 2.25.1.3）	$0.30 F_{EXX}$ 或受节点几何形状限制（见 2.25）	0.75	$0.6 F_{EXX}$	可用等强度或低强度匹配的填充金属 ^d
				或受节点几何形状限制（见有关 LRFD 的 2.25 条款）		

(接下页)

表 2.6 (续)
管材连接焊缝的许用应力 (见 2.21.3)

焊缝类型	管材应用	应力类型		许用应力设计 (ASD)	荷载和抗力系数设计 (LRFD)		要求的填充填充金属强度等级 ^a
				许用应力	抗力系数 Φ	公称强度	
塞焊缝和槽焊缝	平行于贴合表面的剪应力（作用于有效面积）			母材 $0.40 F_y$ 填充金属 $0.3 F_{EXX}$	不适用		可用等强度或低强度匹配的填充金属
PJP 焊缝	管材构件的纵缝	平行于焊缝轴线的拉应力或压应力 ^b		与母材相同 ^c	0.9	F_y	可用等强度或低强度匹配的填充金属
	传递荷载的环向和纵向接头	垂直于有效面积的压应力	不设计接头承压	$0.50 F_{EXX}$ — 除此之外邻近的母材的应力严禁超过 $0.60 F_y$	0.9	F_y	可用等强度或低强度匹配的填充金属
			设计接头承压	与母材相同			
		作用于有效面积的剪应力		$0.30 F_{EXX}$ 。除此之外邻近的母材的应力严禁超过 $0.50 F_y$ （拉伸）或 $0.40 F_y$ （剪切）	0.75	$0.6 F_{EXX}$	可用等强度或低强度匹配的填充金属
		作用于有效面积的拉应力			母材 0.9 填充金属 0.8	F_y $0.6 F_{EXX}$	
	普通结构的 T、Y 或 K 形节点	当应力作用于有效焊缝厚度，通过焊缝传递荷载（见 2.24 和 2.25.1.3）		$0.30 F_{EXX}$ 或受节点几何形状的限制（见 2.25）而邻近的母材的应力严禁超过 $0.50 F_y$ （拉伸和压缩），或 $0.40 F_y$ （剪切）	母材 0.9 填充金属 0.8	F_y $0.6 F_{EXX}$	必须使用匹配的填充金属
					或受节点几何形状限制（见有关 LRFD 的 2.25 条款）		

^a 等强度匹配填充金属见表 3.1。^b 除邻近的母材上剪应力严禁超过 $0.40 F_y$ （LRFD；见剪切）以外，允许横向或扭转剪应力不超过填充金属的最低规定拉伸强度的 0.30 倍。^c 除了在连接区域，不考虑平行于拉伸或压缩部件纵轴的坡口焊缝和角焊缝传递应力，因此，无论焊条（填充金属）是什么级别，该坡口焊缝和角焊缝可以采取与母材中相同的应力。在应用 2.25.1 条款的场合，连接区域内主要部件的焊缝必须是等强度匹配填充金属的 CJP 坡口焊缝，关于匹配按表 3.1 的规定。^d 见 2.25.1.3。^e 代替方法，请参见 2.6.4.2 和 2.6.4.3。

表 2.7
圆截面材料不同类型和部位的应力类别（见 2.21.6.2）

应力类别	状况	应力种类 ^a
A	普通无焊缝管材	TCBR
B	有纵缝管材	TCBR
B	对焊拼接，接头完全熔透坡口焊缝，焊缝打磨平齐，并用 RT 或 UT 检测（R 级）。	TCBR
B	有连续焊接纵向加劲材的部件	TCBR
C ₁	对焊拼接，接头完全熔透坡口焊缝，焊态	TCBR
C ₂	有横向（环形）加劲材的部件	TCBR
D	有卡箍、托架等各式附件的部件	TCBR
D	有接头完全熔透焊缝的十字形和 T 形接头（管材连接处者除外）	TCBR
DT	设计成符合图 3.8~3.10 要求、具有接头完全熔透焊缝的、简单 T、Y 或 K 形节点的连接（包括如下交叠连接：在此连接中，每一交接部位的主要部件符合冲击剪切要求）（见备注 b）	分支部件为 TCBR （注：主要部件必须分别按 K ₁ 或 K ₂ 类校核）
E	具有接头部分熔透坡口焊缝或角焊缝的平衡十字形和 T 形节点（不包括管材连接）	部件为 TCBR；焊缝也必须按 F 类校核
E	双复板、盖板、纵向加劲材、节点板等终止处的部件（不包括管材连接）	部件为 TCBR；焊缝也必须按 F 类校核
ET	具有接头部分熔透坡口焊缝或角焊缝的简单 T、Y 和 K 形节点；还有如下复合的管材连接：在此连接中，主要部件冲击剪切能力不能承受全部荷载，而依靠交叠（负偏心）、节点板、环形加劲材等传递荷载（见注 b）	分支部件为 TCBR （注：简单 T、Y 或 K 形节点中的主要部件必须分别按 K ₁ 或 K ₂ 类校核；焊缝也必须按 FT 类和 2.25.1 要求校核）
F	盖板或双复板上的端部焊缝；节点板、加劲材等上的焊缝	焊缝中的剪应力
F	用角焊缝或接头部分熔透坡口焊缝焊接的、承受拉伸或弯曲荷载的十字形和 T 形接头（不包括管材连接）	焊缝中的剪应力（不管荷载的方向如何）（见 2.24）
FT	用角焊缝或接头部分熔透坡口焊缝焊接的、承受拉伸或弯曲荷载的简单 T 形、Y 形或 K 形节点	焊缝中的剪应力（不管荷载的方向如何）
X ₂	简单 T 形、Y 形和 K 形节点处的相交部件，任何下述连接：该连接的合适与否依靠对精确比例的模型作试验或依靠理论分析（例如有限元）来确定	在连接相交部件的焊缝趾部、相交部件外表面上的、局部热应力或应变的总数值最大范围 — 在模型或原型的连接进行精心调整后测量或用最好的适用理论进行计算

（接下页）

表 2.7（续）
圆截面材料不同类型和部位的应力类别（见 2.21.6.2）

应力类别	状况	应力种类 ^a
X ₁	同 X ₂ ，但按 2.21.6.6 和 2.21.6.7 改善焊缝外形	同 X ₂
X ₂	无加强的锥体和筒体交接	角度变化处的局部热应力：按备注 d 计算
K ₂	如下的简单 T、Y 和 K 形节点：该节点中主要部件的伽马比率 R/t _c 不超过 24（见备注 c）	主要部件的冲击剪切应力：按备注 e 计算
K ₁	同 K ₂ ，按 2.21.6.6 和 2.21.6.7 所述改善焊缝外形	

^a T：拉伸，C：压缩，B：弯曲，R：可逆 — 即标称轴向应力和弯曲应力的数值总范围。

^b 根据“典型的”连接几何形状绘制的经验曲线（图 2.13）；如果实际应力集中系数或局部热应变已知，则优先选用曲线 X₁ 或 X₂。

^c 根据伽马比率 (R/t_c) 在 (18~24) 范围内进行的试验所绘制的经验曲线 (图 2.13)；曲线安全侧用于重荷载弦杆 (低 R/t_c)；对于 $R/t_c > 24$ 的弦杆，根据下述公式按比例降低许用应力：

$$\text{许用疲劳应力} = \left(\frac{24}{R/t_c} \right)^{0.7}$$

从曲线 K 查找的应力

如果实际应力集中系数或局部热应变已知，则优先选用曲线 X_1 或 X_2 。

$$SCF = \frac{1}{\cos \Psi} + 1.17 \tan \bar{\Psi} \sqrt{Y_b}$$

^d 应力集中系数

其中

$\bar{\Psi}$ = 过渡区的变化角度

Y_b = 过渡区管材半径与壁厚比率

^e 冲剪应力周期范围由下式给定：

$$V_p = \tau \sin \theta [\alpha f_a + \sqrt{(0.67 f_{by})^2 + (1.5 f_{bz})^2}]$$

其中

τ 和 θ 为图 2.14 所定义，而

f_a = 轴向荷载标称支管应力的周期范围。

f_b = 平面内弯曲应力的周期范围。

f_{by} = 平面外弯曲应力的周期范围。

f_{bz} = 平面外弯曲应力的周期范围。

α 如表 2.10 所规定。

表 2.8
疲劳类别对焊缝尺寸或厚度以及焊缝形状的限定（管材连接）（见 2.21.6.7）

焊缝形状	等级 I	等级 II
	限定分支部件厚度类别 X_1 , K_1 , DT in [mm]	限定分支部件厚度类别 X_2 , K_2 in [mm]
标准平焊缝形状 (图 3.8)	0.375 [10]	0.625 [16]
有焊趾的角焊缝形状 (图 3.9)	0.625 [16]	1.50 [38] 受压静荷载者不限定厚度
下凹形状，焊态 (图 3.10)，焊后按 2.21.6.6 (1) 要求进行试验	1.00 [25]	不限定
下凹平滑形状 (图 3.10)，且按 2.21.6.6 (2) 的要求对焊缝充分打磨	不限定	—

表 2.9
用于计算免除评定的接头部分熔透 (PJP) T、Y 和 K 形节点
最小角焊尺寸的折减尺寸 Z（见 2.24.2.1）

坡口角度 Φ	焊接位置：V or OH			焊接位置：H or F		
	焊接方法	Z (in)	Z (mm)	焊接方法	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
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	0	0
	GMAW-S	0	0	GMAW-S	0	0
$60^\circ > \Phi \geq 45^\circ$	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

	GMAW-S	1/8	3	GMAW-S	1/8	3
45° > Φ ≥ 30°	SMAW	1/4	6	SMAW	1/4	6
	FCAW-S	1/4	6	FCAW-S	1/8	3
	FCAW-G	3/8	In	FCAW-G	1/4	6
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	1/4	6
	GMAW-S	3/8	in	GMAW-S	1/4	6

表 2.10

有关连接强度的术语（圆截面）（见 2.25.1.1）

分支部件几何形状与荷载的修正值 Q_q	$Q_q = \left(\frac{1.7}{\alpha} + \frac{0.18}{\beta} \right) Q_\beta^{0.7(\alpha-1)}$	轴向荷载（见备注 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	$Q_\beta = 1.0$	For $\beta < 0.6$
	$Q_\beta = \frac{0.3}{\beta(1-0.833\beta)}$	For $\beta > 0.6$
弦杆	$\alpha = 1.0 + 0.7 g/d_b$	有间隙的 K 形节点的轴向荷载，该节点的所有部件处于同一平面内并且横向施于主部件的荷载基本平衡（见备注 a）
椭圆	$1.0 \leq \alpha < 1.7$	
参数	$\alpha = 1.7$ $\alpha = 2.4$	用于 T 和 Y 形节点上的轴向荷载 用于十字形节点的轴向荷载
a (Q_q 所需要)	$\alpha = 0.67$ $\alpha = 1.5$	用于平面内弯曲（见备注 c） 用于平面外弯曲（见备注 c）
主要部件应力相互作用术语 Q_f （见备注 b 和 c）	$Q_f = 1.0 - \lambda \gamma \bar{U}^2$ $\lambda = 0.030$ $\lambda = 0.044$ $\lambda = 0.018$	用于分支部件的轴向荷载 用于分支部件的平面内弯曲 用于分支部件的平面外弯曲

^a 间隙 g 的定义见图 2.14 (E)、(F) 和 (H)； d_t 为分支部件直径。

^b $\bar{U}$ 为所研究的连接处的主要部件中纵向压缩应力（轴向、弯曲）的利用率（实际值和许用值之比）。

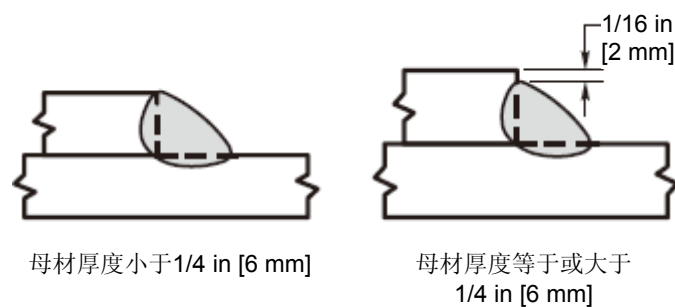
$$\bar{U}^2 = \left(\frac{f_a}{0.6F_{yo}} \right)^2 + \left(\frac{f_b}{0.6F_{yo}} \right)^2$$

^c 对于平面内弯曲和平面外弯曲的组合情况， α 和 λ 用插入值

^d 对于总体毁坏（横向压力）亦见 2.25.1.2。

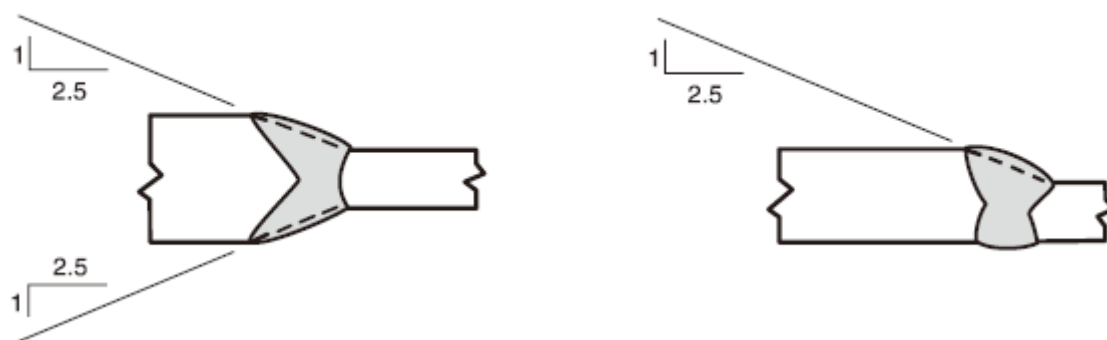
注：

1. γ , β 系图 2.14 (M) 所定义的几何形状参数。
2. F_{yo} = 主要部件弦杆的规定最小屈服强度，但不超过拉伸强度的 2/3。

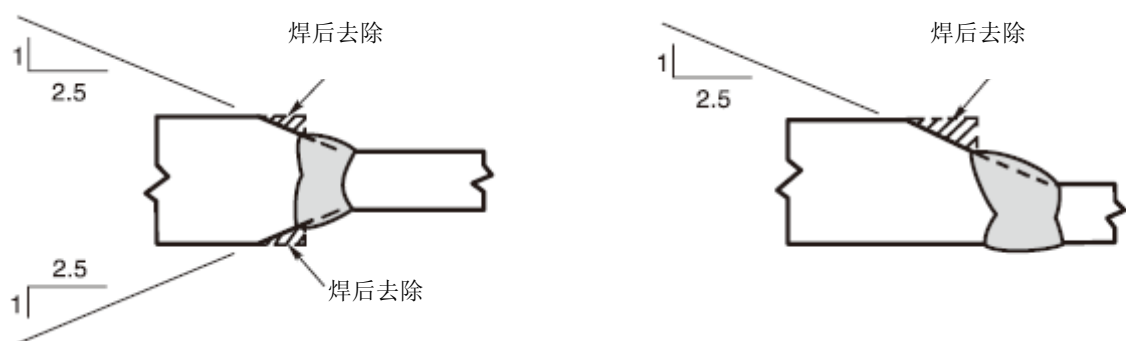


沿材料边缘角焊缝的最大细部尺寸

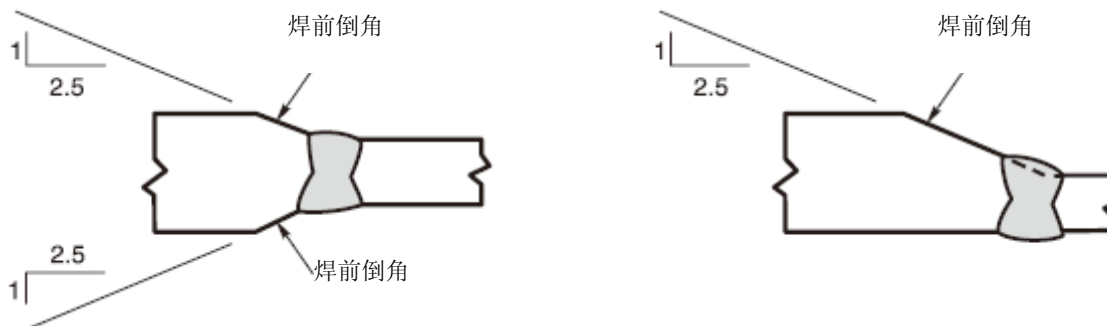
图 2.1 — 搭接接头中沿边缘的最大角焊缝尺寸（见 2.4.2.9）



(A) 将焊缝表面作成斜面过渡



(B) 将焊缝表面作成斜面并将母材倒角过渡



(C) 将较厚母材倒角过渡

中心线对齐（特别适用于腹板）

偏移对齐（特别适用于翼缘板）

图 2.2 — 不同厚度部件中对接接头的过渡（周期荷载非管材）（参见 2.17.1.1）

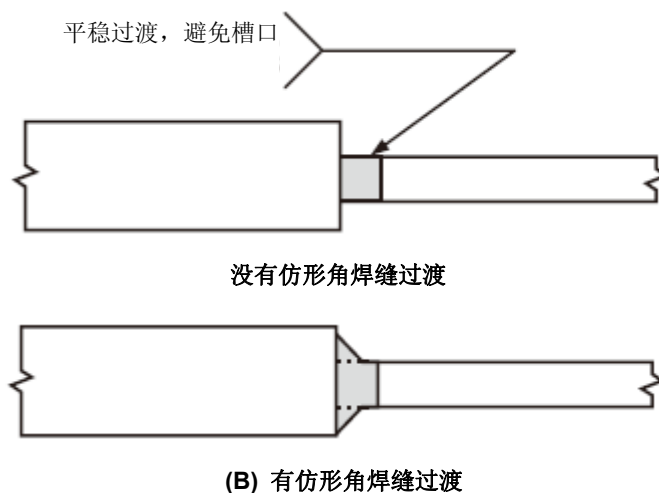
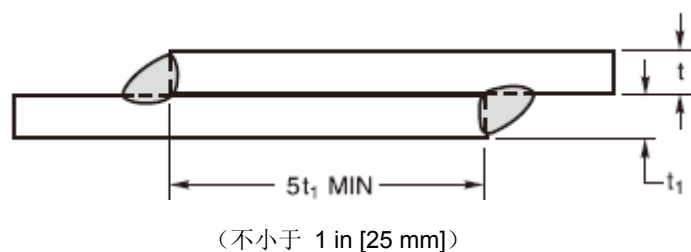


图 2.3 — 厚度的过渡（静荷载非管材）（见 2.7.5 和 2.8.1）



注: t = 较厚部件, t_1 = 较薄部件。

图 2.4 — 横向荷载角焊缝（见2.9.1.2）

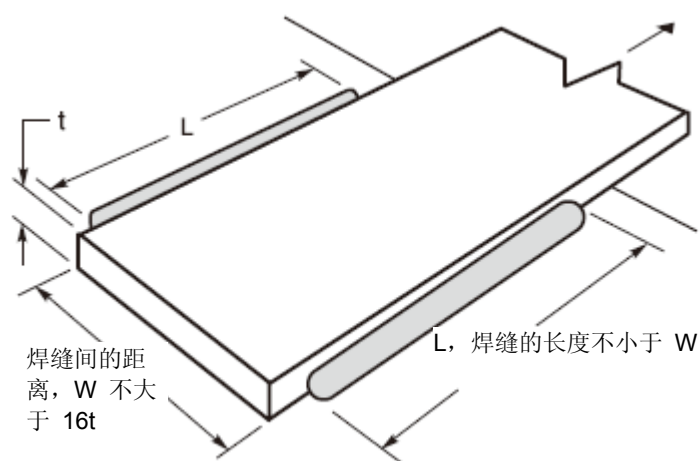


图 2.5 — 板材或扁钢部件端部纵向角焊缝的最小长度（见 2.8.2）

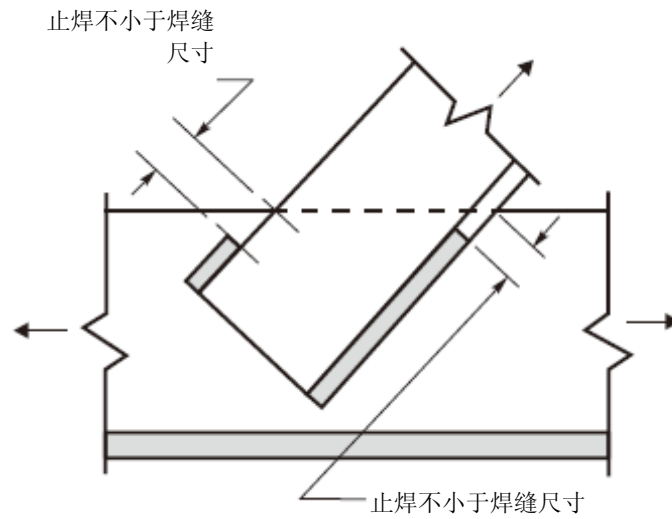
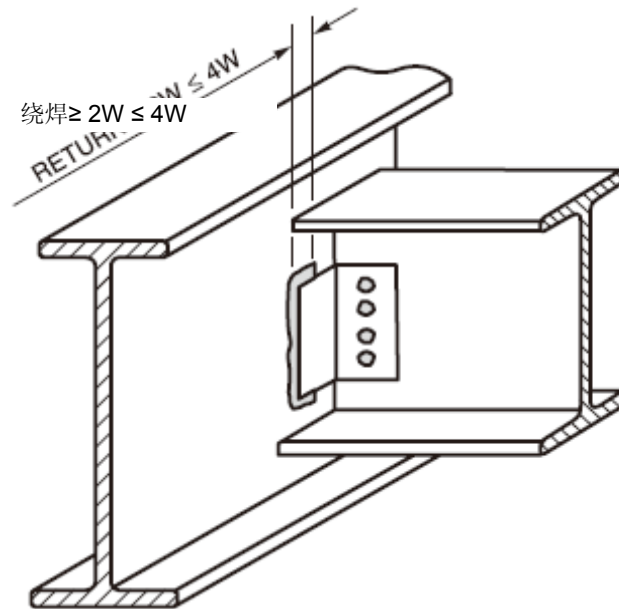


图 2.6 — 靠近受拉伸边缘的焊缝的末端（见 2.9.3.2）



注：W = 标称焊缝尺寸

图 2.7 — 柔性连接处的端部绕焊（见 2.9.3.3）

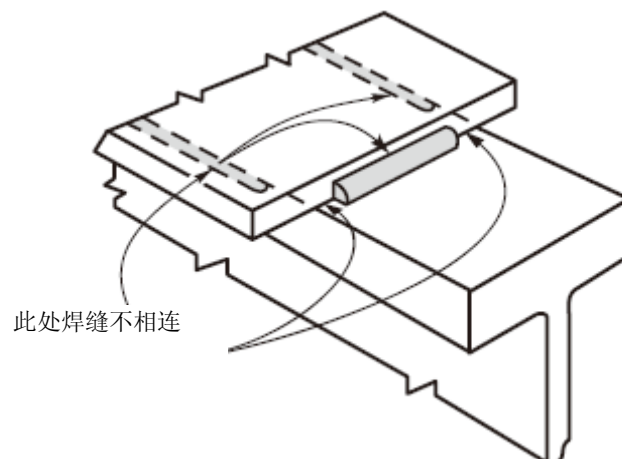
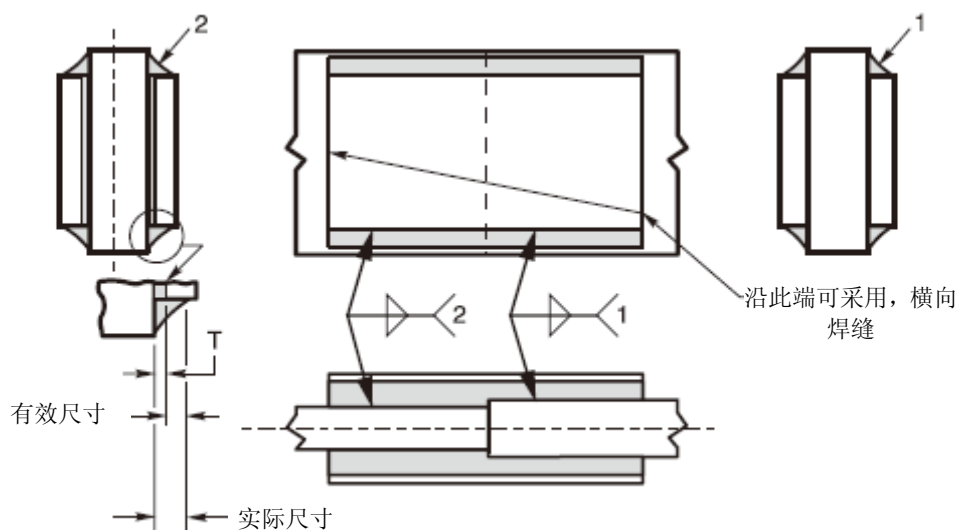
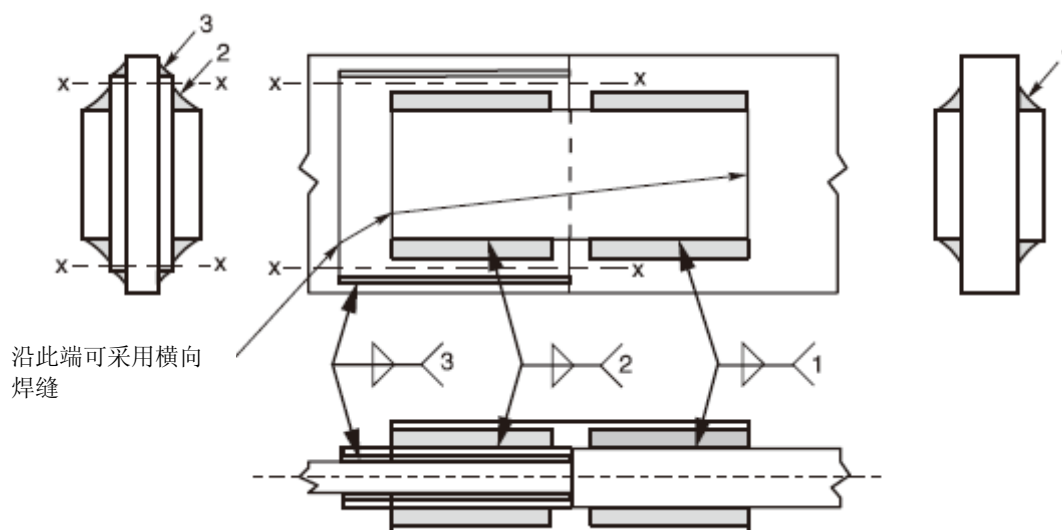


图 2.8 — 共同接触面相对两侧的角焊缝（见 2.9.3.5）



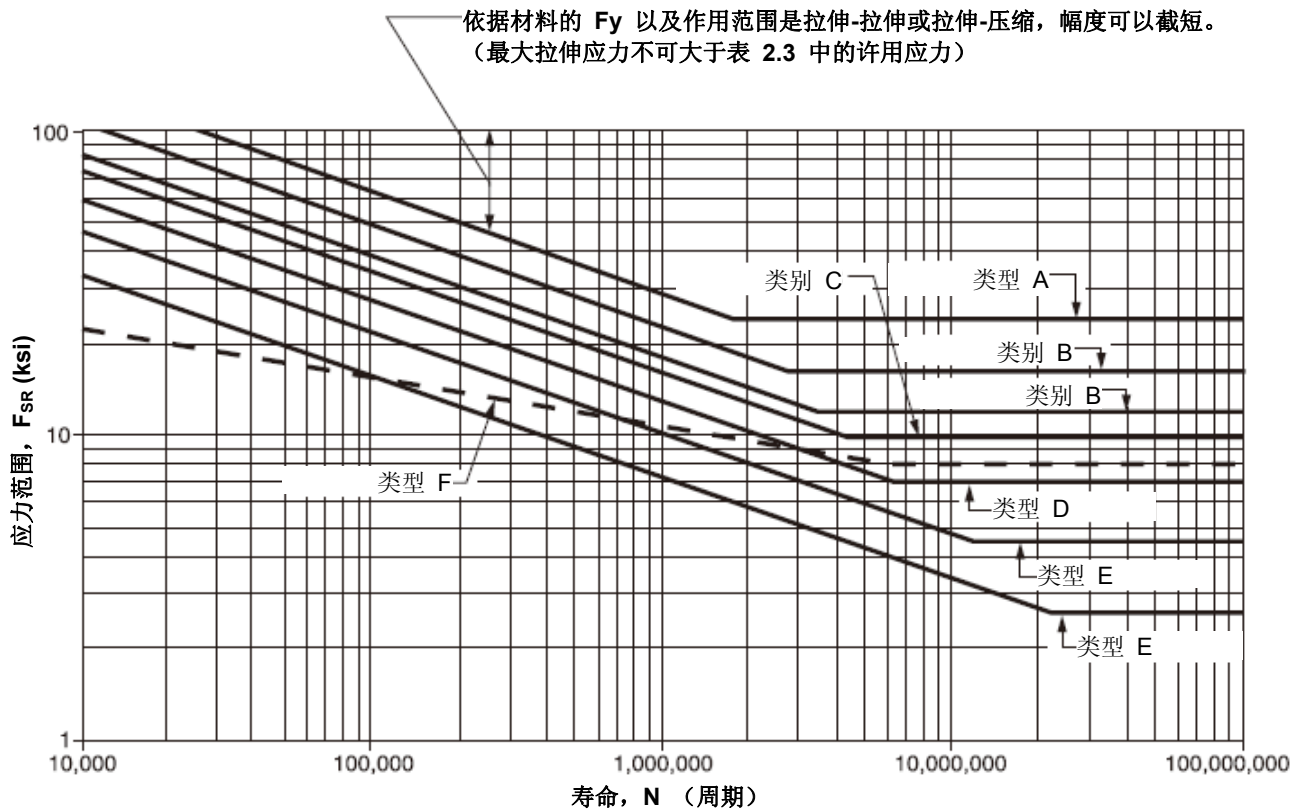
注：除了焊缝 2 的尺寸必须为它的有效尺寸加上填充板厚度 T 以外，焊缝 2 的有效面积必须等于焊缝 1 的有效面积。

图 2.9 — 拼接接头中的薄填充板（见 2.11.1）

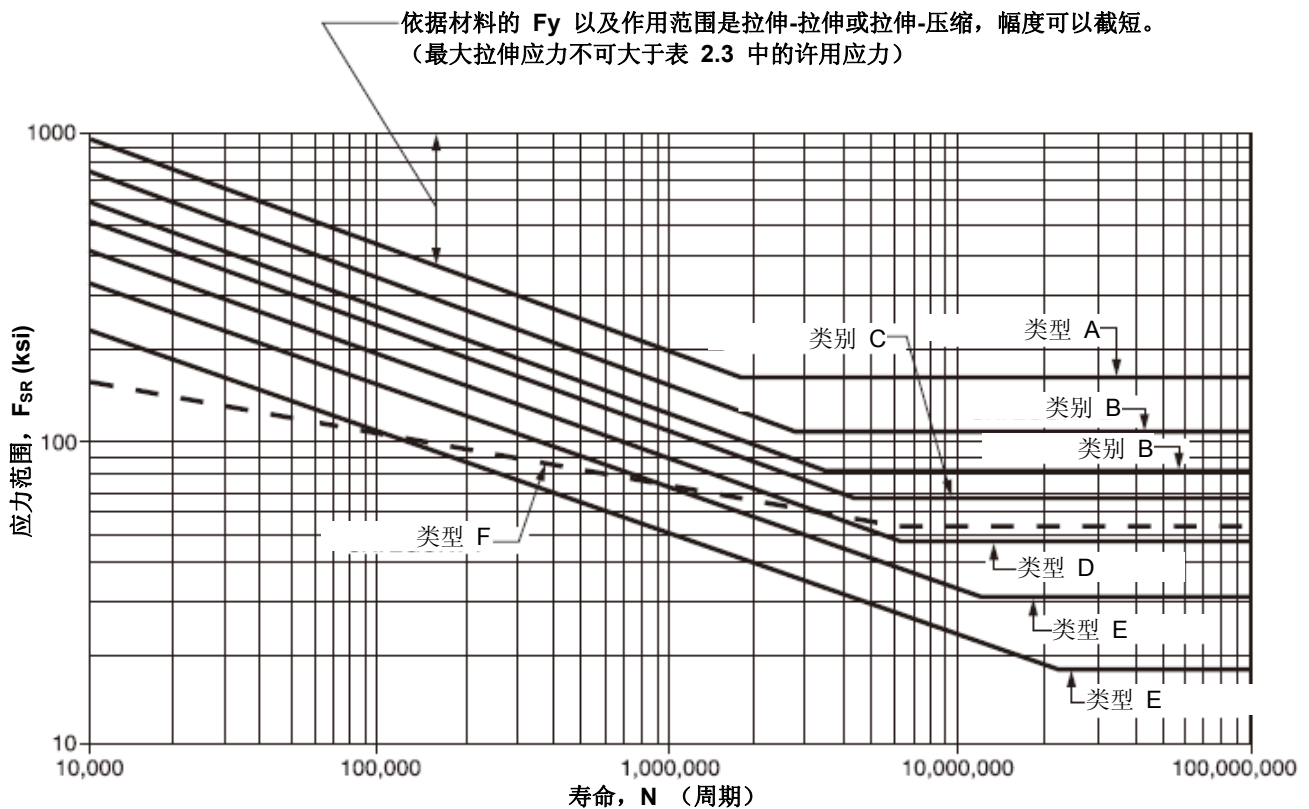


注：焊缝 1、2 和 3 的有效面积必须足够传递设计应力，并且焊缝 1 和 2 的长度必须足够长，以避免过大剪应力沿平面 $x-x$ 加在填充板上

图 2.10 — 拼接接头中的厚填充板（见 2.11.2）



(A) 美国惯用制单位



(B) 公制单位

图 2.11 — 在非管材连接中周期地施加荷载(疲劳)的许用应力范围(表 2.5 的图示)

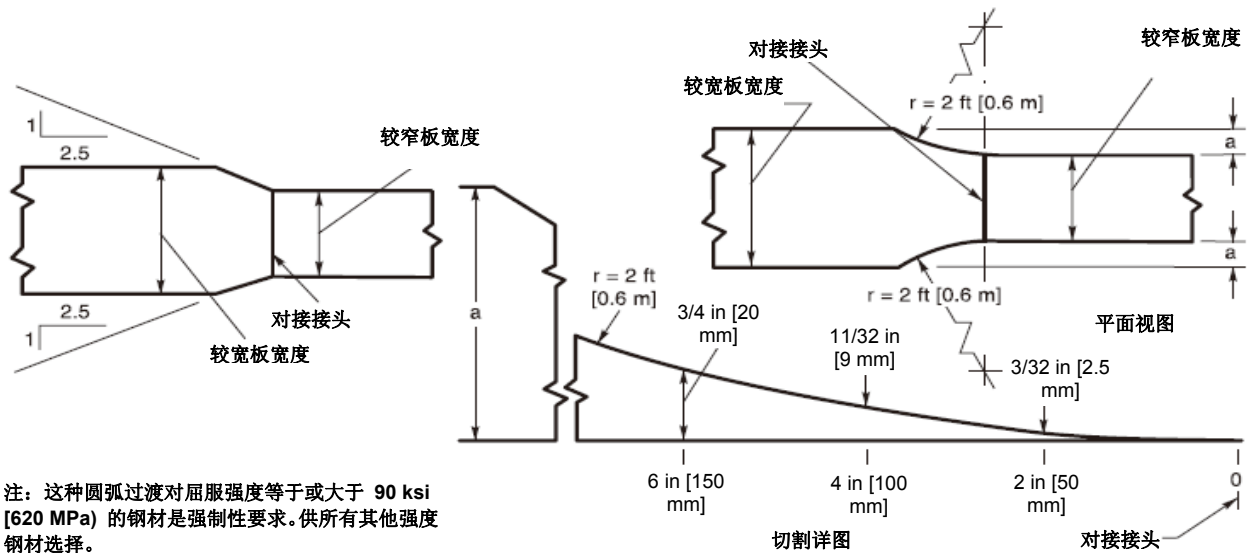


图 2.12 — 宽度的过渡（周期荷载非管材结构）（见 2.17.1.2）

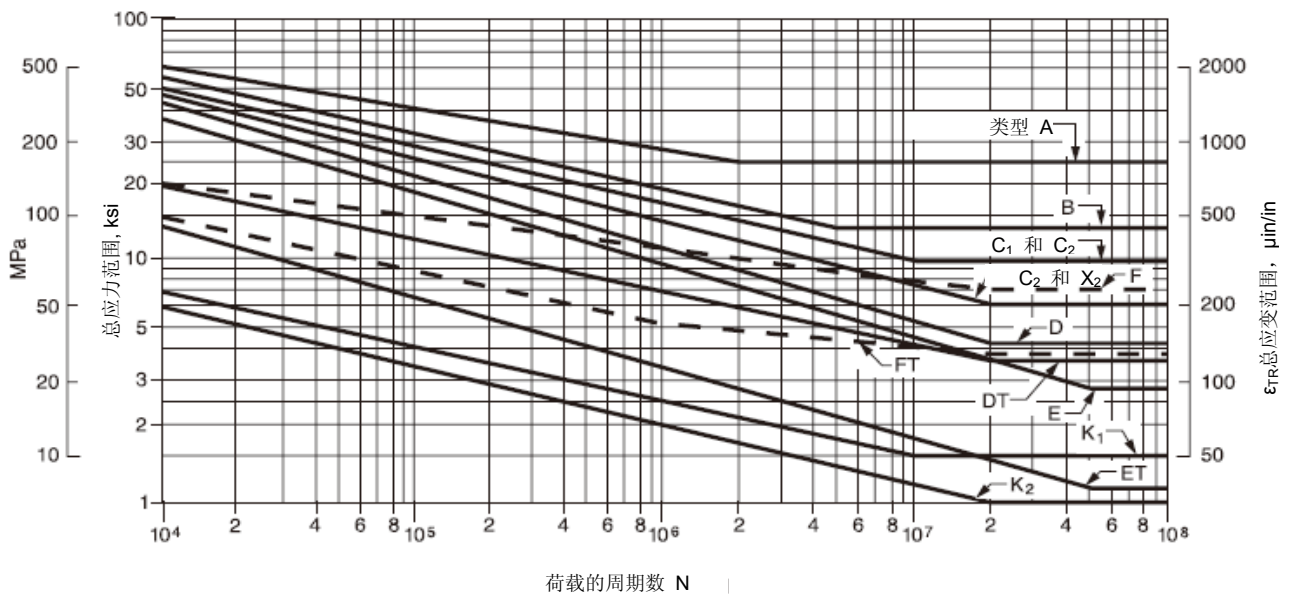
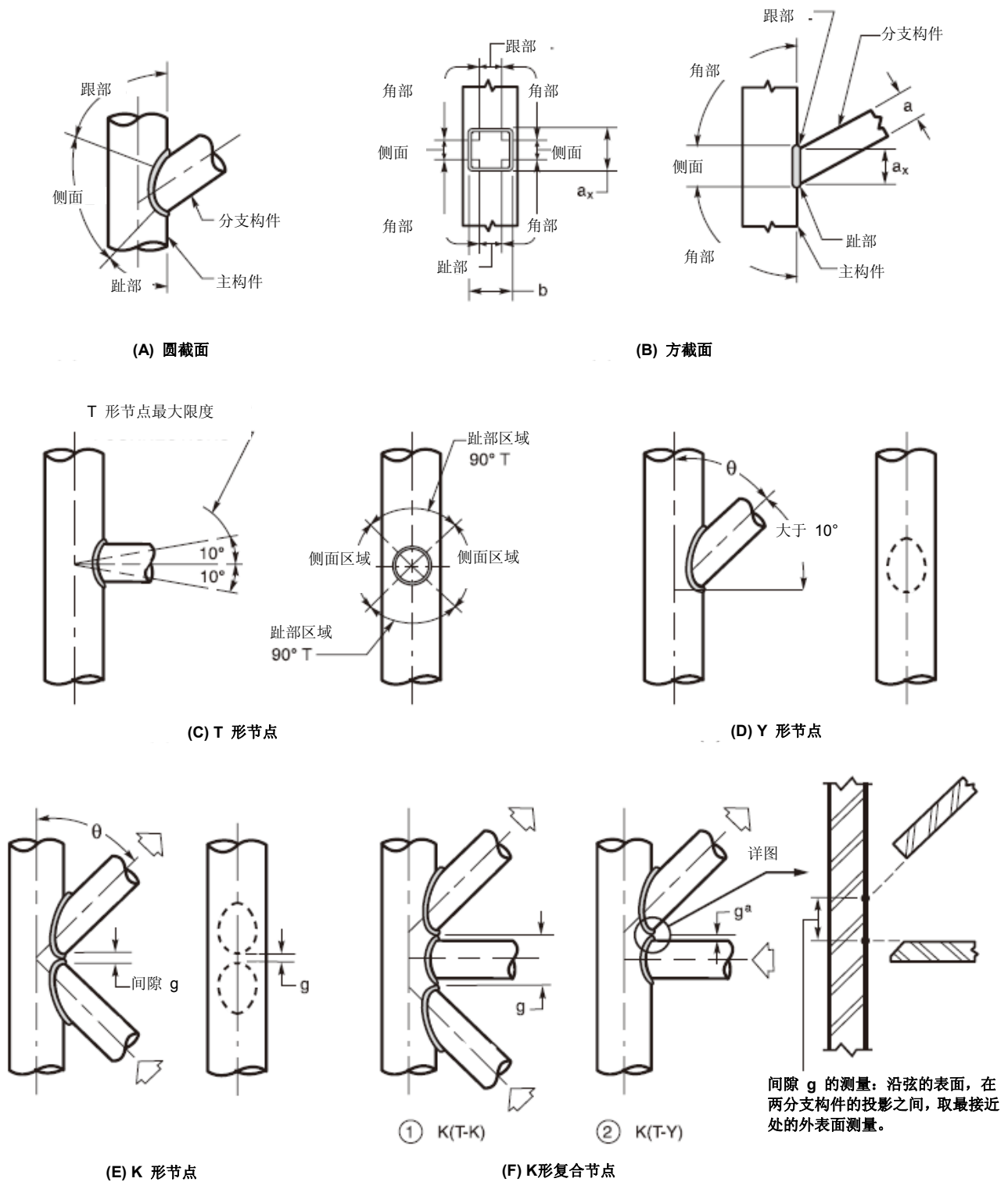
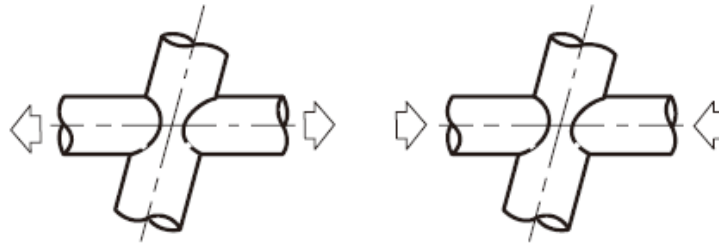


图 2.13 — 各种应力类别的许用疲劳应力和应变范围（见表 2.7），大气中使用的冗余管材结构（见 2.21.6.3）

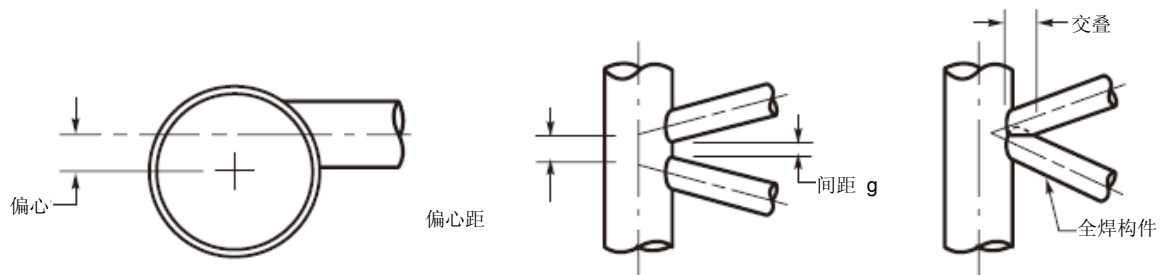


^a 有关间隙是在荷载基本平衡的两支撑之间的间距。(2)型也可看做为 N 形节点。

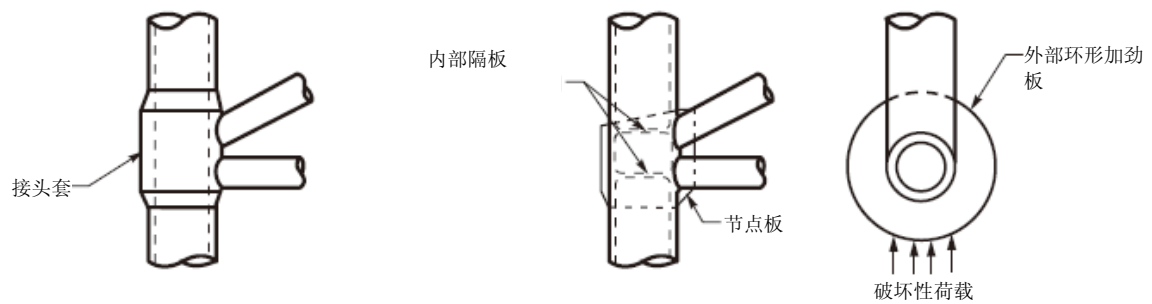
图 2.14 — 管材连接的部件 (见 2.22)



(G) 十字形节点

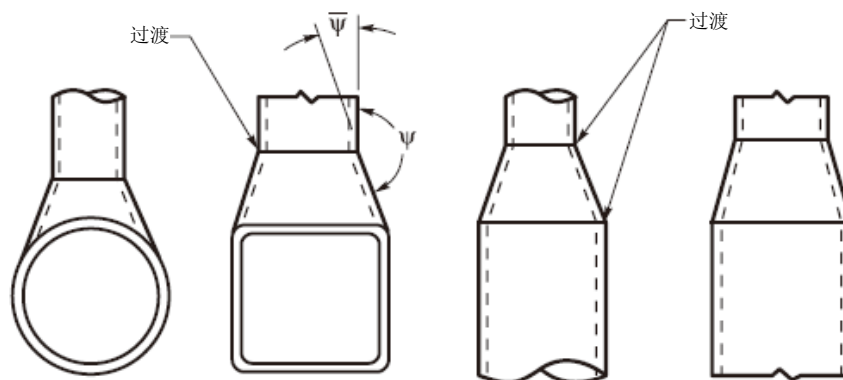


(H) 偏离中心的节点



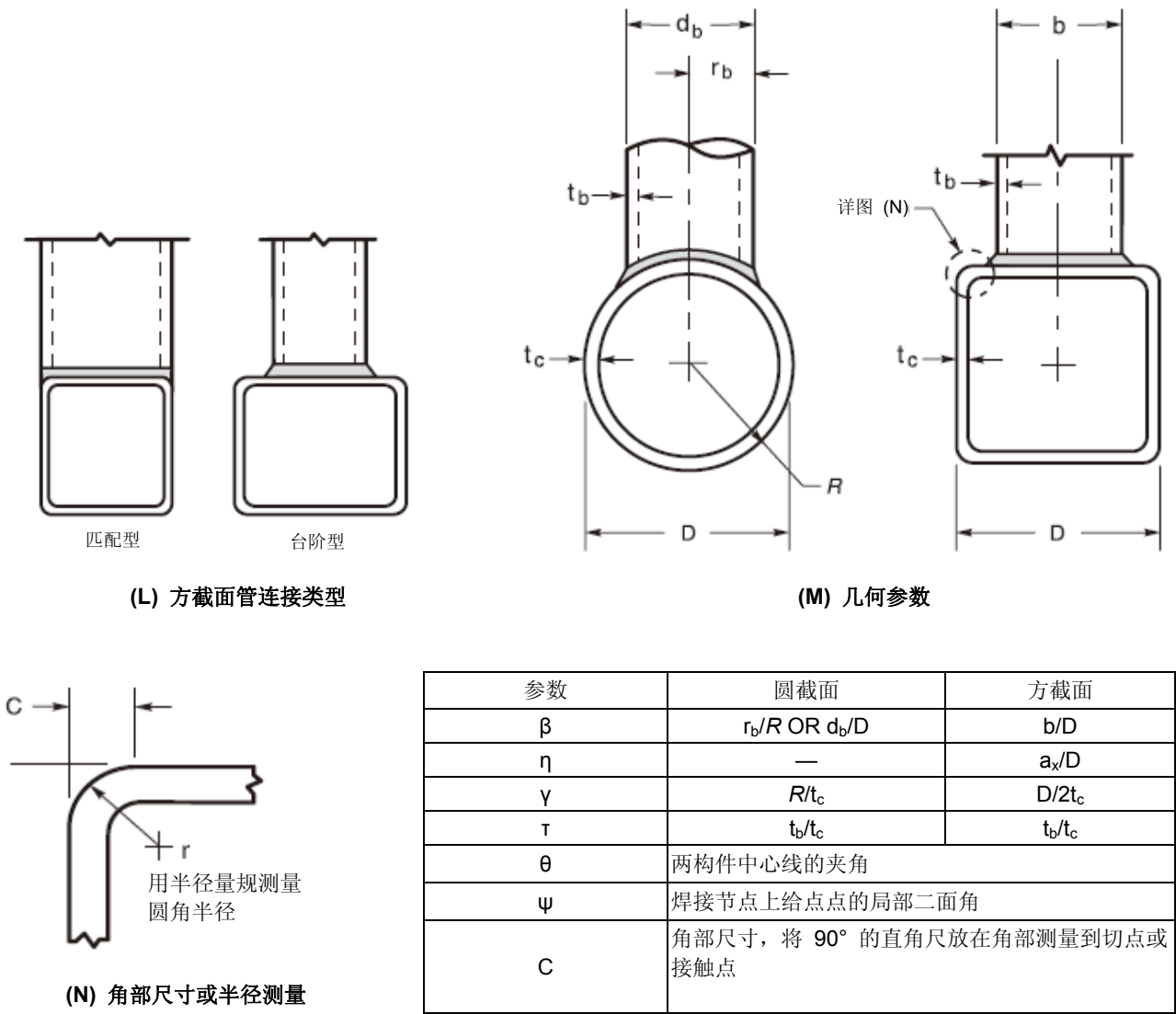
(I) 简单管材连接

(J) 具有复合加劲板的节点示例



(K) 喇叭形连接与过渡

图 2.14 (续) — 管材连接的部件 (见 2.22)



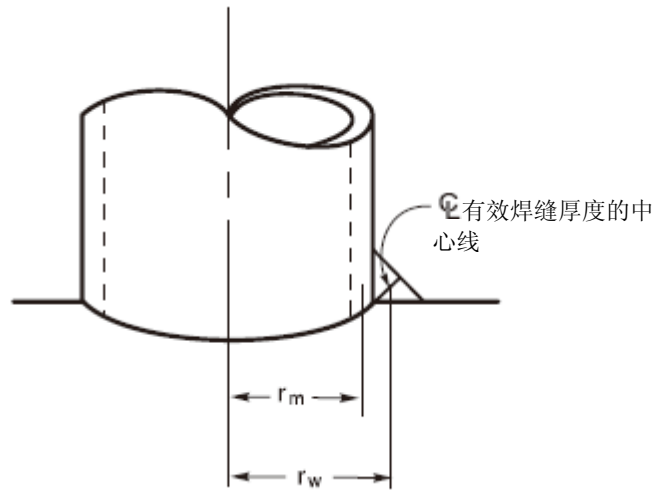


图 2.16 — 管材 T、Y 和 K 形节点的角焊缝半径（见 2.24.3）

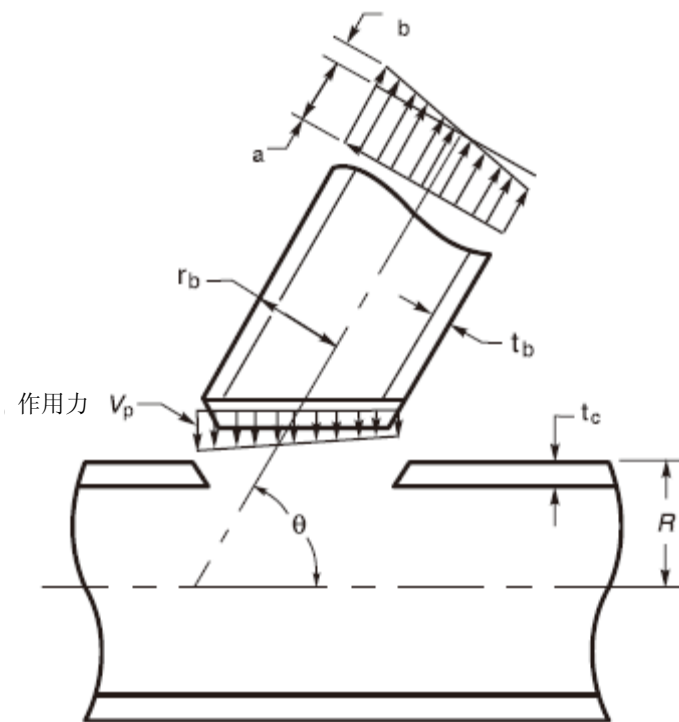


图 2.17 — 冲击剪切应力（见 2.25.1.1）

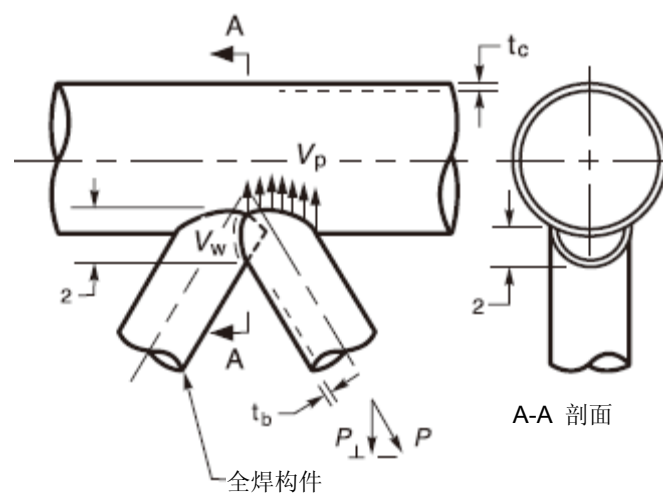
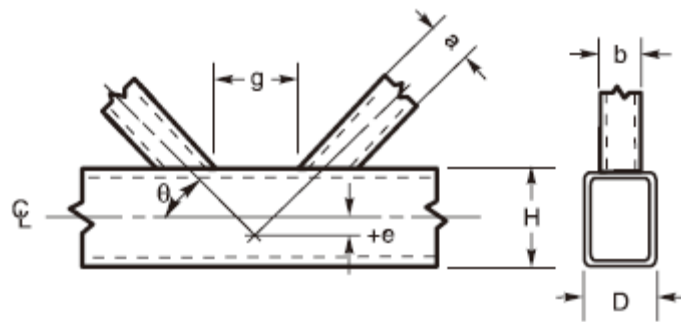


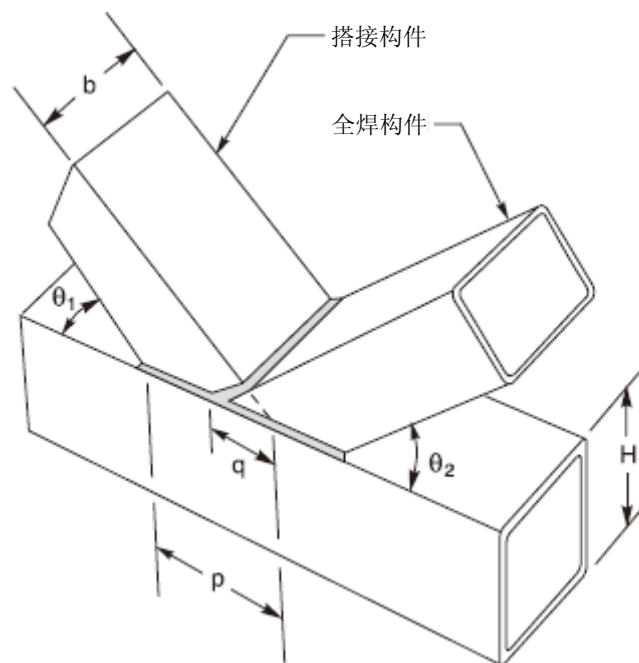
图 2.18 — 交叠节点详图 (见 2.25.1.6)



注:

1. $-0.55H \leq e \leq 0.25H$
2. $\theta \geq 30^\circ$
3. H/t_c 和 $D/t_c \leq 35$ (交叠的 K 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 2.19 — 方截面管 T、Y 和 K 形节点限制 (见 2.25.2)



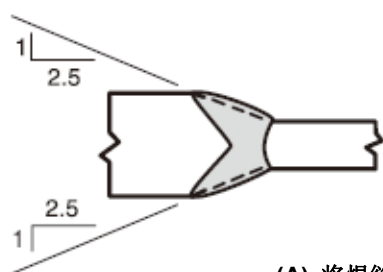
$$\text{交叠比例} = \frac{q}{p} \times 100\%$$

图 2.20 — 交叠的 K 形节点 (见 2.25.2.4)

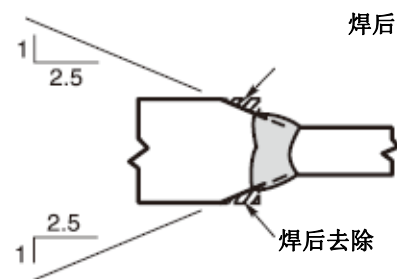
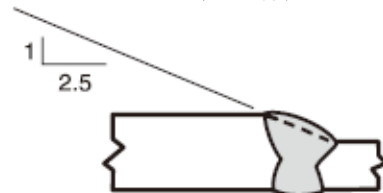
双面焊接

中心线对齐

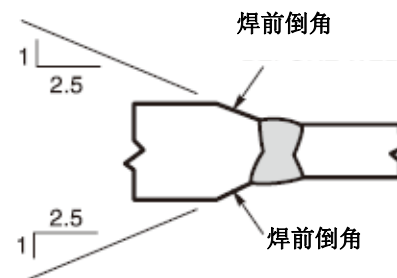
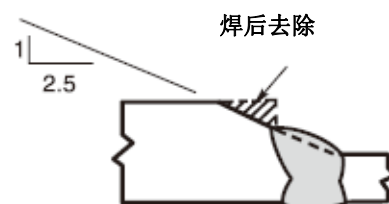
偏心对齐



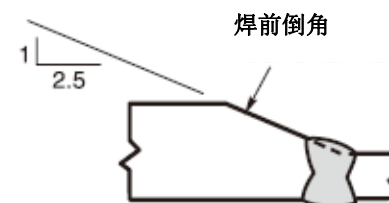
(A) 将焊缝表面作成斜面过渡



(B) 将焊缝表面作成斜面并将母材倒角过渡



(C) 将较厚母材倒角过渡



单面焊接

管材外径

优先考虑内径相同

不要钱斜形过渡焊缝的最大半径差为 1/8 in [3 mm]



(A)



(B)

堆焊后再制备坡口面

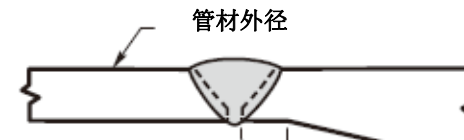


(C) 用斜形焊缝过渡

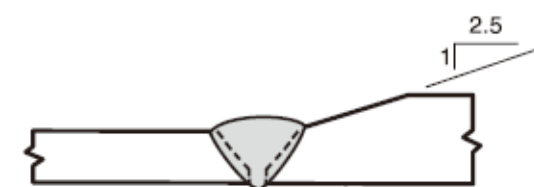
焊前机器加工、打磨或用热切割切割光滑



(D) 将较厚管材作成斜形过渡



(E) 将较厚管材作成平直形和斜形过渡



优先考虑内径相同

(F) 将较厚管材外部作成斜坡过渡

注:

1. 坡口可为任何许可或通过鉴定的类型和详情。
2. 显示的过渡坡度为最大允许值。
3. 在 (B)、(D) 和 (E) 中, 坡口可为任何许可或通过鉴定的类型和详情。显示的过渡坡度为最大允许值。

图 2.21 — 不等壁厚部件对接接头的厚度过渡 (管材) (见 2.26)

3. WPS 的免除评定

3.1 适用范围

焊接工艺规程 (WPS) 的免除评定必须定义为免除本规范第 4 章所要求的 WPS 的评定测试。所有免除评定的 WPS 必须书面成文。必须符合第 3 章所有适用条款的要求, WPS 才能免除评定。不符合第 3 章要求的 WPS, 可按第 4 章要求通过试验进行评定。为使用方便, 附录 Q 列举了 WPS 免除评定的条款, 这些条款应被列入制作者或承包商的焊接方案中。

按免除评定的 WPS 操作的焊工、自动焊工和定位焊工必须按第 4 章 C 进行资格评定。

3.2 焊接方法

3.2.1 免除评定的焊接方法。药皮焊条电弧焊 (SMAW)、埋弧焊 (SAW)、气体保护熔化极电弧焊 (GMAW) (短路过渡 GMAW-S 除外), 和药芯焊丝电弧焊 (FCAW) 的 WPS, 只要符合第 3 章所有条款的要求, 必须视为免除评定, 无需进行该焊接方法的 WPS 评定试验而认可使用。对于 WPS 免除评定来说, 必须符合第 3 章所有适用条款的规定。(见 3.1)

3.2.2 规范认可的焊接方法。电渣焊 (ESW)、电气立焊 (EGW)、气体保护钨极氩弧焊 (GTAW) 和气体保护熔化极电弧焊 (短路过渡) (GMAW-S) 方法可以应用, 但是 WPS 要符合第 4 章的要求评定合格。注意表 4.5 中有关 GMAW 基本变速的限制也适用于 GMAW-S。

3.2.3 其他焊接方法。3.2.1 和 3.2.2 未包括的其他焊接方法, 如果按第 4 章 规定采取适用的试验进行 WPS 的评定合格, 则可以应用。

3.2.4 FCAW 和 GMAW 电源。按免除评定的 WPS 实施的 FCAW 和 GMAW 必须采用恒压 (CV) 电源。

3.3 母材/填充金属组合

只有列入表 3.1 的母材和填充金属可以用于 WPS 的免除评定。(表 3.1 所列母材和填充金属的评定, 以及未列入该表的母材和填充金属的评定见 4.2.1。)

下列母材和填充金属的强度关系必须与表 3.1 结合使用, 以决定究竟是等强度匹配填充金属还是低强度匹配填充金属。

匹配关系	母材	要求匹配的填充金属
等强度匹配	同一钢材之间或任一钢材与同组另一钢材之间	同一组别所列的任何填充金属
	任一组别的钢材与另一组别的钢材之间	任一强度组别所列的全部填充金属。【药皮焊条电弧焊 (SMAW) 所用焊条为低氢类】
低强度匹配	任何钢材与任何其他组别钢材之间	任何列于较低强度组别的填充金属。【药皮焊条电弧焊 (SMAW) 所用焊条为低氢类】

注：决定填充金属是等强度匹配或低强度匹配母材金属见表 2.3 或表 2.6。

3.4 工程师对辅助附件的认可

未列入表中的、用于辅助附件的材料，其钢材的化学成分在表 3.1 所列范围之内，经工程师批准，可以用于 WPS 的免除评定。填充金属和最低预热温度，根据类似的材料强度和化学成分，必须符合 3.5 的要求。

3.5 最低预热温度和道间温度要求

预热温度和道间温度必须要有效防止产生裂纹。对于列入本规范的钢材，必须利用表 3.2 来确定最低预热温度和道间温度。

3.5.1 母材金属/厚度组合。表 3.2 系按钢材组别和厚度确定最低预热温度和道间温度，对这些具有不同最低预热温度要求的母材构成的接头施加的最低预热温度或道间温度，必须取最低预热温度中的最高值。

3.5.2 补充的 SAW 预热温度和道间温度。必须按照表 3.2 要求选用平行焊丝或多丝埋弧焊的预热温度和道间温度。对于单道坡口焊缝或角焊缝来说，可以结合待焊金属和相关的热量输出，并经工程师认可，来确定预热温度和道间温度，该温度要可以有效降低母材热影响区 (HAZ) 的硬度，使得规定的最低抗拉强度不超过 60 ksi [415 MPa] 的母材的热影响区维氏硬度值小于 225，规定的最低抗拉强度大于 60 ksi [415 MPa] 但不超过 70 ksi [485 MPa] 的母材的热影响区维氏硬度值小于 280。

注：维氏硬度值必须按 ASTM E 92 确定。如果使用另一种硬度方式，那么必须根据 ASTM E 140 确定当量硬度值，且必须按照适用的 ASTM 技术规范进行测试。

3.5.2.1 硬度要求。测定热影响区硬度应如下进行：

(1) 样品试件的初始宏观腐蚀横截面。

(2) 作业过程中的构件表面。硬度测试前必须打磨该表面：

(a) 这种热影响区的硬度测定次数为：在每 50 英尺（15 米）的坡口焊缝或成对角焊缝的接头中，较厚金属焊件必须至少有一个测试区域。

(b) 工艺已经确定并且工程师同意不再测定硬度后，可停止硬度测定。

3.6 WPS 变素的限制

所有采用的免除评定的焊接工艺规程 (WPS) 必须由制造厂、制作者或承包商编制成书面免除评定的 WPS，且必须被授权人使用或检查。书面的 WPS 可采用便利的格式（见附录 N 示例）。书面 WPS 中应详细说明表 3.8 阐明的焊接参数，变素和限制必须在该范围内。这些基本变素的改变如果超出表 3.8 的规定，那么应要求重新编制或修改 WPS 免除评定，或者要求根据第 4 章使 WPS 符合规范。

3.6.1 WPS 的组合。已评定合格的 WPS 与免除评定的 WPS 可以组合使用而不必评定该组合体，但适用于每一种焊接方法的基本参数变化的限定要得以遵守。

3.7 WPS 要求概述

免除评定的 WPS 必须符合表 3.7 的所有要求。

3.7.1 向上立焊要求。立焊位置的所有焊道必须由下向上进行焊接，下述情况除外：

(1) 修补咬边时可以向下立焊，但需按表 3.2 规定进行预热，预热温度不得低于 70°F [20°C]。

(2) 焊接管材时，立焊可以由下向上或由上向下，但是焊工必须通过所焊方向的资格评定。

3.7.2 焊道宽度、深度限制。每一条焊道的焊缝金属横截面，无论是深度还是最大宽度，均严禁超过此焊道表面的宽度（见图 3.1）。

3.7.3 耐候钢要求。对于裸露的、光秃的、未涂漆的应用耐候钢，要求焊接金属具有类似于木材的抗大气腐蚀特性和颜色，所用焊条或焊丝—焊剂组配必须符合表 3.3 的要求。

这一要求允许如下例外：

3.7.3.1 单道坡口焊缝。可以使用表 3.1 中第 II 组母材所用的任何一种填充金属完成单焊道或每面一单焊道的坡口焊缝。

3.7.3.2 单道角焊缝。可以使用表 3.1 中第 II 组母材所用的任何一种填充金属完成不大于下列尺寸的单道角焊缝。

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 和下面其中一条：

(1) 每条适用的 AWS A5 规范下，保护气体用于焊条分类。

(2) 焊条制造商推荐的与特殊焊条一同使用的保护气体。这样的推荐应经由试验支持，在符合适用的 AWS A5 规范下，证明焊条和保护气体组合完全符合焊条类别的所有机械和化学性能要求。应提供该试验文件，以便工程师或检验员的需要。

3.8 平行焊丝或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本也可以用 GMAW 施焊，随后续以平行焊丝或多丝埋弧焊，但是 GMAW 要符合本章的要求，并且 GMAW 的电弧与随后的 SAW 电弧之间的间距不得超过 15 in [380 mm]。

3.9 角焊缝要求

最小角焊缝尺寸见表 5.8。

3.9.1 细则（非管材）。对于免除评定的角焊缝的限制参见图 2.1 和图 2.4。

3.9.2 细则（管材）。就免除评定而言，用角焊缝焊接的观察连接必须符合下述条款要求：

(1) 免除评定的 WPS。SMAW、GMAW 或 FCAW 焊接方法可以不经图 3.2 中详细的 WPS 评定试验而进行角焊缝管材连接（相关限定请参见 2.24.1.2）。这些详细要求也适用于按照 4.13.4.3 评定的 GMAW-S。

(2) 免除评定的搭接接头角焊接细节见图 2.15。

3.9.3 斜 T 形接头。斜 T 形接头应符合图 3.11 的要求。

3.9.3.1 二面角限制。斜 T 形接头二面角为大于 100° 的钝角一侧必须按照图 3.11 的详图 C 制作，以便安置所需尺寸的焊缝。按照图 3.11 详图 C 进行切削或打磨等的金属总

量不应大于需要达到的焊缝尺寸 (W) 所允许值。

3.9.3.2 斜 T 形接头的最小焊缝尺寸。对于斜 T 形接头, 图 3.11 中的详图 A、B 和 C 的最小焊缝尺寸必须符合表 5.8 的规定。

3.10 赛焊缝和槽焊缝要求

2.4.5.1、2.4.5.2、2.4.5.4 和 2.10.4 列出了由 SMAW、CMAW (不包括短路过渡) 或 FCAW 焊接方法所焊的赛焊和槽焊的详细要求, 并且, 如果符合 5.25 技术条款的要求, 则可不进行第 4 章 规定的 WPS 评定而被采用。

3.11 PJP 和 CJP 坡口焊缝的通用要求

3.11.1 FCAW/GMAW 采用 SMAW 接头 SMAW 所用免除评定的接头坡口制备细则可用于 GMAW 或 FCAW 的免除评定。

3.11.2 角接接头制备。如果坡口的基本形状不变, 且留有足够的边缘距离以保持焊接操作而不过分熔化, 那么角接接头外侧坡口可在任一构件上加工, 也可在两构件上都加工。

3.11.3 根部间隙。接头根部间隙可在 3.12.3 和 3.13.1 所述范围内变化。然而, 当 FCAW、GMAW 和 SAW 使用自动或机械方法焊接时, 根部间隙最大差值 (装配时最大间隙与最小间隙差值) 不超过 1/8 in[3 mm]。当差值超过 1/8 in[3 mm] 时, 必须在自动或机械施焊前进行局部修整。

3.12 PJP 要求

PJP 坡口焊缝必须按图 3.3 规定的接头详图制作。必须采用 3.12.3 规定的尺寸限定。

3.12.1 定义。除 3.13.5 及图 3.4 (B-L1-S) 以外, 仅从一面施焊而背部无钢材衬垫的坡口焊缝, 一节从两面施焊但背面不清根的坡口焊缝, 均视为接头部分熔透 (PJP) 坡口焊接。

3.12.2 焊缝尺寸。免除评定的接头部分熔透坡口的焊缝尺寸 (E) 必须如图 3.3 所示, 该图提出了用于焊接制作的特定焊接方法、接头代号、坡口角度和焊接位置。

3.12.2.1 免除评定的焊缝尺寸

(1) PJP 的单面或双面的 V 形, 单边 V 形、J 形和 U 形坡口焊缝的最小焊缝尺寸, 即类型 2 至 类型 9, 必须如表 3.4 所示。母材必须有足够厚度以能体现所选的接头详图的要求, 符合 3.12.3 提出的变化范围和表 3.4 的要求。

(2) 严禁限制母材的最大厚度。

(3) PJP 的方形坡口焊缝 B-P1 和喇叭形坡口焊缝 BTC-P10 和 B-P11 的最小焊缝尺寸必须根据图 3.3 计算。

(4) 施工图或加工详图必须规定设计坡口深度 “S” 以适合按 3.12.2 要求的焊缝尺寸 “(E)”。(注意本要求严禁用于 B-P1、BTC-P10 和 B-P11 详图。)

3.12.3 接头尺寸

(1) 3.12 中规定的坡口焊缝尺寸可以在设计或草图的基础上改变, 但是要在图 3.3 中 “规格” 列所示公差的限定之内。

(2) 图 3.3 的装配公差可以用于标注详图尺寸。然而, 装配用公差不能免除使用者需符合 3.12.2.1 对最小焊缝尺寸的要求。

(3) J 形和 U 形坡口可在装配前或在装配后制备。

3.12.4 详细要求（管材）。符合免除评定要求的管材接头的部分熔透坡口焊缝细则必须符合以下条款：

(1) 除 T、Y 和 K 形节点之外的管材接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝，当其能够适用且符合图 3.3 中规定的所有接头尺寸的限定时，可以不作 WPS 评定试验。

(2) 管材接头部分熔透 (PJP) 的 T、Y 和 K 形节点，当能够适用且又符合图 3.5 中规定的所有接头尺寸限定，并且只使用 SMAW、GMAW 或 FCAW 方法时，可不作 WPS 评定试验。这些详细要求也适用于按照 4.13.4.3 评定的 GMAW-S。

3.12.4.1 相配的方管连接。在这些接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的连接中，角部尺寸和主管半径的细则如图 3.5 所示。角焊缝可用于趾部和跟部区域（见图 3.2）。如果角部尺寸或主管半径分别或同时小于图 3.5 所示，则必须焊接一个侧面细部的样品接头并切开以核实其焊缝尺寸。试件焊缝必须应在横焊位置施焊。如果支管为图 3.6 所示的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝那样开有坡口，则可不限定在横焊位置施焊。

3.13 CJP 坡口焊缝要求

接头完全熔透 (CJP) 的坡口焊缝可以不进行第 4 章所规定的 WPS 评定试验而实施，其详细要求见图 3.4，且遵循 3.13.1 条款的限定。

3.13.1 接头尺寸。3.13 中规定的坡口焊缝尺寸可以在设计或草图的基础上改变，但是要在图 3.4 中“规格”列所示公差限定之内。图 3.4 的装配公差可以用于标注详图尺寸。

3.13.2 衬垫。免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝仅从一侧完成，（除了允许的管状结构）必须使用钢衬垫。如果符合第 4 章 条款，5.10 中所列的其他衬垫也可使用。

3.13.3 双面坡口制备。J 和 U 形坡口以及背面已部分施焊的双面 V 形和双面单边削斜坡口的另一面可在装配前或装配后制备。在背部清根后，已部分施焊的双面 V 形和双面单边削斜坡口的另一面应当在根部有类似于免除评定的 U 形或 J 形接头的形状。

3.13.4 管材对接接头。管材坡口焊缝若要免除评定，必须满足下列条件：

(1) 免除评定的 WPS。除了 SAW 只对直径大于或等于 24 in [600 mm] 的管材接头可免除评定者外，在那些可能从两面焊接或使用衬垫的单面焊接的场合，凡是符合第 3 章要求免除评定的任何 WPS 和坡口细节均可应用。焊接接头详细要求必须符合第 3 章的规定。

(2) 非免除评定接头细则。无衬垫仅从一侧施焊的对接接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝不能免除评定（见 4.13.2）。

3.13.5 管材的 T、Y 和 K 形节点。本小节所述系圆形管材的 T、Y 和 K 形节点、无衬垫只从一侧施焊的接头完全熔透的坡口焊缝详细要求。适用于细则 A、B、C 和 D 的圆周情况如图 3.6 和图 3.7 所示，其对应的局部二面角 $[\Psi]$ 范围见表 3.5 的规定。

表 3.6 和图 3.8 规定了包括坡口角度在内的接头尺寸。当选择随厚度而变的剖面形状（与设计中所用的疲劳范畴一致）时，必须遵循 2.21.6.7 的准则。因较厚截面的需要可选择的剖面的形状如图 3.9 所示。如无特殊的疲劳要求，这些剖面形状适用于支管厚度超过 5/8 in [16 mm] 的情况。

符合 2.21.6.6 和 2.21.6.7 要求的改善的焊缝剖面形状如图 3.10 所示。如无特殊的疲劳要求，这些剖面形状适用于支管厚度超过 1-1/2 in [38 mm] 的情况（静态受压荷载不作要求）。

图 3.6 进一步描述了方截面管材的 T、Y 和 K 形节点完全熔透坡口焊缝的免除评定的详细要求。上述要求受 3.13.4 节的限制。

注：参见条文说明中关于选择合适剖面形状的工程指南。

接头尺寸和坡口角度严禁超出表 3.6 所列以及图 3.6、图 3.8 至图 3.10 所示的规定范围。除非另标尺寸，接头钝边应为零。作为详图可以标注其超过零或者规定尺寸，但是不大于 1/16 in [2 mm]。当小于规定尺寸时，可不标注。

3.13.5.1 接头细节。3.13.5 描述了管材 T、Y 和 K 形节点的接头完全熔透坡口焊缝的细节。这些细节是为 SMAW 和 FCAW 免除评定。这些详细要求也适用于按照 4.13.4.3 评定的 GMAW-S。

3.14 焊后热处理

焊后热处理 (PWHT) 必须免除评定的条件是：经工程师同意且必须符合下述条件：

- (1) 母材的规定最低屈服强度严禁超过 50 ksi [345 MPa]。
- (2) 母材严禁经淬火和回火 (Q&T)、淬火和自回火 (Q&ST)、控轧控冷 (TMCP) 或作冷处理以达到更高的力学性能（例如：ASTM A 500 某级别的管材）。
- (3) 对母材热影响区 (HAZ) 或焊缝金属的缺口应没有韧性试验要求。
- (4) 必须有数据证实在焊后热处理条件下，焊缝金属必须有足够的强度和塑性（例如：能从 AWS A5.X 填充金属技术条件和等级或从填充金属制造商处得到相关资料）。
- (5) 焊后热处理的实施必须符合 5.8 的规定。

表 3.1
免除评定的等强度匹配的母材—填充金属组合（见 3.3）

组别	钢材技术要求					填充金属要求			
	钢材规格	最低屈服点/强度		拉伸强度范围		焊接方法	AWS 焊条技术		
		ksi	MPa	ksi	MPa		条件	焊条类别	
I	ASTM A 36	(≤3/4 in [20mm])	36	250	58-80	400-550	SMAW	A5.1	E60XX. E70XX
	ASTM A 53	B 级	35	240	最小 60	最小 415			
	ASTM A 106	B 级	35	240	最小 60	最小 415			
	ASTM A 131	A、B、CS、D、DS、E级	34	235	58-75	400-520	SAW	A5.5 ^C	E70XX-X
	ASTM A 139	B 级	35	240	最小 60	最小 415			
	ASTM A 381	Y 35 级	35	240	最小 60	最小 415			
	ASTM A 500	A 级	33	230	最小 45	最小 310		A5.17	F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX. F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
		B 级	42	290	最小 58	最小 400			
		C 级	46	315	最小 62	最小 425			
	ASTM A 501		36	250	最小 58	最小 400		A5.23 ^C	F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
	ASTM A 516	55 级	30	205	55-75	380-515			
		60 级	32	220	60-80	415-550			
	ASTM A 524	I 级	35	240	60-85	415-586	GMAW		
		11 级	30	205	55-80	380-550			
	ASTM A 573	65 级	35	240	65-77	450-530		A5.28 ^C	ER70S-XXX. E70C-XXX
		58 级	32	220	58-71	400-490			
	ASTM A 709	36 级 (≤3/4 in [210 mm])	36	250	58-80	400-550	FCAW		
	ASTM A 1008 SS	30 级	30	205	最小 45	最小 310			
		33 级, 1 类	33	230	最小 48	最小 330			
		40 级, 1 类	40	275	最小 52	最小 360			
	ASTM A 1011 SS	30 级	30	205	最小 49	最小 340			
		33 级	33	230	最小 52	最小 360			
		36 级, 1 类	36	250	最小 53	最小 365			
		40 级	40	275	最小 55	最小 380			
		45 级	-5	310	最小 60	最小 410			
	API 5L	B 级	35	241	60	414	A5.29 ^C	E6XTX-X, E6XTX-XC. E6XT-XM, E7XTX-X. E7XTX-XC, E7XTX-XM	
		X42 级	42	290	60	414			
	ABS	A、B、D、CS 级	34	235	58-75	400-520			
		E ^b 级	34	235	58-75	400-520			

(接下页)

表 3.1 (续)
免除评定的等强度匹配的母材—填充金属组合 (见 3.3)

组别	钢材技术要求					填充金属要求		
	钢材规格	最低屈服点/强度		拉伸强度范围		AWS 焊条技术		
		ksi	MPa	ksi	MPa	焊接方法	条件	焊条类别
II	ASTM A 36 ($>3/4$ in [20mm])	36	250	58-80	400-550	SMAW	A5.1	E7015, E7016, E7018, E7028
	ASTM A 131 AH32、DH32、EH32 级	46	315	64-85	440-590			
	ASTM A 131 AH36、DH36、EH36 级	51	355	71-90	490-620			
	ASTM A 441	40-50	275-345	60-70	415-485		A5.5 ^C	E7015-X, E7016-X, E7018-X
	ASTM A 516 65 级	35	240	65-85	450-585			
	ASTM A 516 70 级	38	260	70-90	485-620			
	ASTM A 529 50 级	50	345	70-100	485-690	SAW	A5.17	F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
	ASTM A 529 55 级	55	380	70-100	485-690			
	ASTM A 537 1 类	45-50	310-345	65-90	450-620			
	ASTM A 572 42 级	42	290	最小 60	最小 415		A5.23 ^C	F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
	ASTM A 572 50 级	50	345	最小 65	最小 450			
	ASTM A 572 55 级	55	380	最小 70	最小 485			
	ASTM A 588 ^b (4 in 1100 mm) 及以下	50	345	最小 70	最小 485	GMAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (有 -GS 尾标焊条除外)
	ASTM A 595 A 级	55	380	最小 65	最小 450			
	ASTM A 595 B 和 C 级	60	410	最小 70	最小 480			
	ASTM A 606 ^b	45-50	310-340	最小 65	最小 450		A5.28 ^C	ER70S-XXX, E70C-XXX
	ASTM A 618 Lb、II、III 级	46-50	315-345	最小 65	最小 450			
	ASTM A 633 A 级	42	290	63-83	430-570	FCAW	A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (有-2C、 -2M、-3、-10、-13、-14和 -GS 尾标焊 条除外, 以及对于厚度大于1/2 in. [12mm] 时有 -II 尾标者除外)
	ASTM A 633 C 和 D 级	50	345	70-90	485-620			
	ASTM A 709 (2-1/2 in (65 mm) 及以下)	36	250	58-80	400-550			
	ASTM A 709 36 级 ($\leq 3/4$ in [20 mm])	50	345	最小 65	最小 450		A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (有-2C、 -2M、-3、-10、-13、-14和 -GS 尾标焊 条除外, 以及对于厚度大于1/2 in. [12mm] 时有 -II 尾标者除外)
	ASTM A 709 50 级	50	345	最小 70	最小 485			
	ASTM A 709 50W ^b 级	50-65	345-450	最小 65	最小 450			
	ASTM A 709 50S 级	50	345	最小 70	最小 485	A5.20	A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (有-2C、 -2M、-3、-10、-13、-14和 -GS 尾标焊 条除外, 以及对于厚度大于1/2 in. [12mm] 时有 -II 尾标者除外)
	ASTM A 709 HPS 50 W ^b 级	50	345	最小 70	最小 485			
	ASTM A 710 A 级, 2类 >2 in [50 mm]	50-55	345-380	60-65	415-450			
	ASTM A 808 (2-1/2 in (65 mm) 及以下)	42	290	最小 60	最小 415			

	ASTM A 913	50 级	50	345	最小 65	最小 450	A5.29 ^C	E7XTX-X, E7XTX-XC, E7XTX-XM
	ASTM A 992		50-65	345-450	最小 65	最小 450		
	ASTM A 1008 HSLAS	45 级, 1 类	45	310	最小 60	最小 410		
		45 级, 2 类	45	310	最小 55	最小 380		
		50 级, 1 类	50	340	最小 65	最小 450		
		50 级, 2 类	50	340	最小 60	最小 410		
		55 级, 1 类	55	380	最小 70	最小 480		
		55 级, 2 类	55	380	最小 65	最小 450		
	ASTM A 1008 HSLAS-F	50 级	50	340	最小 60	最小 410		

(接下页)

表 3.1 (续)
免除评定的等强度匹配的母材—填充金属组合 (见 3.3)

组别	钢材技术要求						填充金属要求		
	钢材规格		最低屈服点/强度		拉伸强度范围		AWS 焊条技术条件		
			ksi	MPa	ksi	MPa	焊接方法	件	焊条类别
II	ASTMA 1011 HSLAS	45 级, 1 类	45	310	最小 60	最小 410	SMAW	A5.1	E7015, E7016, E7018, E7028
		45 级, 2 类	45	310	最小 55	最小 380			
		50 级, 1 类	50	340	最小 65	最小 450			
		50 级, 2 类	50	340	最小 60	最小 410			
		55 级, 1 类	55	380	最小 70	最小 480			
		55 级, 2 类	55	380	最小 65	最小 450			
	ASTMA 1011 HSLAS-F	50 级	50	340	最小 60	最小 410	SAW	A5.17 A5.23 ^C	F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
	ASTMA 1011 SS	50 级	50	340	最小 65	最小 450			
	ASTMA 1018 HSLAS	55 级	55	380	最小 70	最小 480			
		45 级, 1 类	45	310	最小 60	最小 410			
		45 级, 2 类	45	310	最小 55	最小 380			
		50 级, 1 类	50	340	最小 65	最小 450			
	ASTMA 1018 HSLAS-F ASTMA 1018 SS	50 级, 2 类	50	340	最小 60	最小 410	GMAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC E70C-XM（有 -GS 尾标焊条除外）
		55 级, 1 类	55	380	最小 70	最小 480			
		55 级, 2 类	55	380	最小 65	最小 450			
50 级		50	340	最小 60	最小 410				
30 级		30	205	最小 49	最小 340				
	33 级	33	230	最小 52	最小 360		A5.28 ^C	ER70S-XXX. E70C-XXX	

AWS D1.1/D1.1M:2010

API 2H	36 级	36	250	最小 53	最小 365	FCAW	A5.20	E7XT-X、E7XT-XC、E7XT-XM (有-2C、-2M、-3、-10、-13、-14和 -GS 尾标焊条除外, 以及对于厚度大于1/2 in. [12 mm] 时有- 11 尾标者除外)
	40 级	40	275	最小 55	最小 380			
	42 级	42	<u>289</u>	<u>62-82</u>	<u>427-565</u>			
	50 级	50	345	<u>70-90</u>	<u>483-620</u>			
API 2MT1	50 级	50	345	65-90	488-620			
API 2W	42 级	42-67	290-462	最小 62	最小 427			
	50 级	50-75	345-517	最小 65	最小 448			
	50T 级	50-80	345-552	最小 70	最小 483			
API 2Y	42 级	42-67	290-462	最小 62	最小 427		A5.29 ^C	E7XTX-X, E7XTX-XC, E7XTX-XM
	50 级	50-75	345-517	最小 65	最小 448			
	50T 级	50-80	345-552	最小 70	最小 483			
API 5L	X52 级	52	<u>359</u>	最小 66	最小 455			
ABS	AH32、DH32、EH32 级	<u>46</u>	315	<u>64-85</u>	<u>440-590</u>			
	AH 36、DH 36、EH 36 ^b 级	51	<u>355</u>	71-90	490-620			

(接下页)

表 3.1 (续)
免除评定的等强度匹配的母材—填充金属组合 (见 3.3)

组别	钢材技术要求						填充金属要求		
	钢材规格	最低屈服点/强度		拉伸强度范围			AWS 焊条技术		
		ksi	MPa	ksi	MPa		焊接方法	条件	焊条类别
III	API 2W	60 级	60-90	414-621	最小 75	最小 517	SMAW	A5.5 ^C	E8015-X, E8016-X, E8018-X
	API 2Y	60 级	60-90	414-621	最小 75	最小 517			
	ASTM A 537	2 ^b 类	46-60	315-415	<u>70-100</u>	<u>485-690</u>			
	ASTM A 572	60 级	60	415	最小 75	最小 520	SAW	A5.23 ^C	F8XX-EXXX-XX, F8XX-ECXXX-XX
	ASTM A 633	65 级	65	450	最小 80	最小 550			
	ASTM A 710	E ^b 级	55-60	380-415	75-100	515-690			
		A 级, 2类≤ 2 in [50 mm]	60-65	415-450	最小 72	最小 495	GMAW	A5.28 ^C	ER80S-XXX, E80C-XXX
	ASTM A 710	A 级, 3类> 2 in [50 mm]	60-65	415-450	<u>70-75</u>	<u>485-515</u>			
	ASTM A 913 ^S	60 级	60	415	最小 75	最小 520			
		65 级	65	450	最小 80	最小 550	FCAW	A5.29 ^C	E8XTX-X, E8XTX-XC. E8XTX-XM
	ASTM A 1018 HSLAS	60 级, 2 类	60	<u>410</u>	最小 70	最小 480			
		70 级, 2 类	70	480	最小 80	最小 550			
	ASTM A 1018 HSLAS-F	60 级, 2 类	60	<u>410</u>	最小 70	最小 480			

70 级, 2 类		70	480	最小 80	最小 550			
IV	ASTM A 709 ASTM A 852	HPS70W 级	70 70	485 485	85-110 90-110	585-760 620-760	SMAW	A5.5 ^c E9015-X, E9016-X, E9018-X, E9018M
							SAW	A5.23 ^c F9XX-EXXX-XX, F9XX-ECXXX-XX
							GMAW	A5.28 ^c ER90S-XXX, E90C-XXX
							FCAW	A5.29 ^c E9XTX-X, E9XTX-XC, E9XTX-XM

^a 5.7 条款的热量输出的限定严禁用于 ASTM A913 的 60 或 65 级钢。

^b 为匹配母材的缺口韧性（用于冲击荷载或低温），或为耐大气腐蚀与风化，可用专门的焊接材料和 WPS（例如 E80XX-X 低合金钢焊条）（见 3.7.3）。

^c 在 AWS A5.5、A5.23、A5.28 或 A5.29 中，合金组的 B3、B3L、B4、B4L、B5、B5L、B6、B6L、B7、B7L、B8、B8L、B9、E9015-C5L、E9015-D1、E9018-D1、E9018-D3 或任何 BXH 级的填充金属，在用于焊态条件下是不免除评定的。

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：(1) 与较高强度母材匹配者，或 (2) 与较低强度母材匹配并产生低氢熔敷金属者。预热必须符合较高强度组别钢材的要求。
2. 按照所用钢材匹配 API 标准 2B（加工的管材）。
3. 要进行应力释放的焊缝，熔敷的焊缝金属含钒（V）量严禁超过 0.05%。
4. 关于匹配填充金属的容许应力要求，见表 2.3 和 2.6。
5. 填充金属的性能已转移到资料性附录 V 中。
6. 可以使用 AWS A5M（公制单位）焊条代替 AWS A5（美国惯用单位）的相同类别的焊条。
7. 特定组别的任何类别的焊条（丝）（位于右侧）可用于焊接该组别中的任何母材（位于左侧）。

表 3.2
免除评定的最低预热 I 和道间温度 (见 3.5)

类别	钢材规格	焊接方法	焊接处最厚部件的厚度		最低预热和道间温度	
			in	mm	°F	°C
A	ASTM A 36 ASTM A 53 B 级 ASTM A 106 B 级 ASTM A 131 A, B, CS, D, DS, E 级 ASTM A 139 B 级 ASTM A 381 Y35 级 ASTM A 500 A 级 B 级 C 级	SMAW 非低氢焊条	1/8~≤3/4	3~≤20	32 ^a	0 ^a
	ASTM A 501 ASTM A 516		>3/4~≤1-1/2	>20~≤38	150	65
	ASTM A 524 I 和 II 级		>1-1/2~≤2-1/2	>38~≤65	225	110
	ASTM A 573 65 级		>2-1/2	>65	300	150
	ASTM A 709 36 级					
	ASTM A 1008 SS 30 级					
	33 级, 1 类					
	40 级, 1 类					
	ASTM A 1011 SS 30 级, 33 级					
	API5L ABS 36 级, 1 类					
	40 级					
	45 级					
B	50 级	SMAW 低氢焊条	1/8~≤3/4	3~≤20	32 ^a	0 ^a
	55 级		>3/4~≤1-1/2	>20~≤38	50	10
	B 级		>1-1/2~≤2-1/2	>38~≤65	150	65
	X42 级		>2-1/2	>65	225	110
	A, B, D, CS, DS 级					
	E 级					
	ASTM A 36 B 级	SAW, GMAW. FCAW	1/8~≤3/4	3~≤20	32 ^a	0 ^a
	ASTM A 53 B 级		>3/4~≤1-1/2	>20~≤38	50	10
	ASTM A 106 A、B 级		>1-1/2~≤2-1/2	>38~≤65	150	65
	CS, D, DS, E 级		>2-1/2	>65	225	110
	AH 32 和 36					
	DH 32 和 36					
	EH 32 和 36					
	ASTM A 139 B 级					
	ASTM A 381 Y35 级					
	ASTM A 441 A 级					
	ASTM A 500 B 级					
	C 级					
B	ASTM A 501 55 和 60 级	SAW, GMAW. FCAW	1/8~≤3/4	3~≤20	32 ^a	0 ^a
	ASTM A 516 65 和 70 级		>3/4~≤1-1/2	>20~≤38	50	10
	ASTM A 524 1 和 11 级		>1-1/2~≤2-1/2	>38~≤65	150	65
	ASTM A 529 50 和 55 级		>2-1/2	>65	225	110
	ASTM A 537 等级 1 和 2					
	ASTM A 572 42, 50, 55 级					

(续)

表 3.2 (续)

免除评定的最低预热 I 和道间温度 (见 3.5)

[illegible]

(续)

表 3.2 (续)
免除评定的最低预热 I 和道间温度 (见 3.5)

类别	钢材规格	焊接方法	焊接处最厚部件的厚度		最低预热和道间温度	
			in	mm	°F	°C
C	ASTM A 572 60, 65 级 ASTM A 633 E 级 ASTM A 913 ^b 60, 65 级 ASTM A 710 A 级, 等级 2 (≤2 in [50 mm])	SMAW 低氢焊条 SAW, GMAW, FCAW	1/8~≤3/4	3~≤20	50	10
	ASTM A 710 A 级, 等级 3 (>2 in [50mm]) HPS70W 级		>3/4~≤1-1/2	>20~≤38 >38~≤65	150 225	65 110
	ASTM A 709 ^c ASTM A 852 ^c ASTM A 1018 HSLAS ASTM A 1018 HSLAS-F		>1-1/2~≤2-1/2			
	API 2W 60 级 API2Y 60 级 API 5L X52 级		>2-1/2	>65	300	150
D	ASTM A 710 A 级 (全部等级) ASTM A 913 ^b 50, 60, 65 级	当按 AWS A4.3 规定试验时, SMAW、SAW、GMAW 和 FCAW 用的焊条或焊丝-焊剂组合能够达到最大氢扩散含量为 8 ml/100 g (H8) 的熔敷的焊缝金属	所有厚度 ≥ 1/8 in [3 mm]		32 ^a	0 ^a

^a 当母材温度低于 32°F [0°C] 时, 必须要将母材预热到最低 70°F [20°C], 且必须在焊接过程中保持这一最低道间温度。

^b 5.7 条款的线能量的限定禁用于 ASTM A 913 钢。

^c 对于 ASTM A 709 HPS70W 级钢和 ASTM A 852 钢, 厚度为 1-1/2 in [40 mm] 者, 最高预热温度和道间温度严禁超过 400°F [200°C]。厚度更大者, 严禁超过 450°F [230°C]。

注:

1. 平行焊丝或多丝埋弧焊的预热温度的修改, 见 3.5.2。
2. 周围环境与母材温度要求见 5.12.2 和 5.6。
3. ASTM A 570 和 ASTM A 607 已删除。

表 3.3 (见 3.7.3)
外露、无蔽复的耐候钢所用填充金属的要求

焊接方法	AWS 填充金属规范	认可的焊条 ^a
SMAW	A5.5	熔敷金属符合 A5.5 B2L, CI, CIL, C2, C2L, C3 或 WX 化学成分的所有焊条。
SAW	A5.23	熔敷金属符合 A5.23 Ni1, Ni2, Ni3, Ni4 或 WX 化学成分的所有焊丝-焊剂组合。
FCAW	A5.29	熔敷金属符合 A5.29 B2L, K2, Nil, Ni2, Ni3, Ni4 或 WX 化学成分的所有焊丝。
GMAW	A5.28	符合 A5.28 B2L, G ^a , Ni 1, Ni2, Ni3 填充金属化学成分要求的所有焊丝。

^a 熔敷金属必须具有和本表任何一种焊缝金属相同的化学成分。

注:

1. 填充金属除了本表所列的成分要求外,还必须符合表 3.1 的要求。允许使用 AWS 填充金属规定中次高抗拉强度的同类型填充金属。
2. 复合的(金属芯)焊丝按如下规定标号: SAW: 在字母 "E" 和 "X" 之间插入字母 "C", 如 E7AX-ECXXX-Nil。
GMAW: 用字母 "C" 代替 "S", 取消字母 "R", 如 E80C-Nil。

表3.4
免除评定的接头部分熔透的最小焊缝尺寸 (E)
(见 3.12.2.1)

母材厚度 (T) ^a	最小焊缝尺寸 ^b	
	in	mm
178 [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]~≤1-1/2 [38]	5/16	8
>1-1/2 [38]~≤2-1/4 [57]	3/8	10
>2-1/4 [57]~≤6 [150]	1/2	12
> 6 [150]	5/8	16

^a 对于不按 4.J4.4 计算而预热的非低氢方法, T 等于连接的较厚件厚度, 必须采用单道焊缝。对于按 4.8.4 所述以防止裂纹的低氢和非低氢方法, T 等于连接的较薄件厚度; 不要求单道焊。

^b 焊缝尺寸不需要超过连接的较薄件厚度的情况除外。

表 3.5
免除评定的 T、Y 和 K 形管材节点的接头完全熔透 (CJP) 细节 (见 3.13.5 和图 3.7)

细节	局部二面角 ψ 适用范围
A	180°~135°
B	150°~50°
C	75°~30°
D	40°~15°

} 坡口角度在 30° 以下不免除评定

注:

1. 连接的具体部位适用的接头细节 (A、B、C 或 D) 由局部二面角 ψ 决定, 二面角 ψ 沿支管圆周连续变化。
2. 细节 A、B、C 或 D 所列的角度和尺寸范围包括最大允许公差。
3. 局部二面角的定义见附录 K。

表3.6
用 SMAW、GMAW-S 和 FCAW 方法焊接的管材 T、Y 和 K 形节点的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝免除评定接头尺寸和坡口角度 (见 3.13.5)

	细节 A $\psi = 180^\circ-135^\circ$	细节 B $\psi = 150^\circ-50^\circ$	细节 C $\psi = 75^\circ - 30^\circ$ ^b	细节 D $\psi = 40^\circ-15^\circ$ ^b
端部坡口制备 (ω)				
最大		90° ^a	(注 a)	
最小		10° 或 $\psi > 105^\circ$ 时 45°	10°	

	FCAW-S SMAW ^d	GMAW-S FCAW-G ^e	FCAW-S SMAW ^d	GMAW-S FCAW-G ^e	(注 c) W 最大	Φ
装配或根部间隙 (R) 最大	3/16 in [5 mm]	3/16 in [5 mm]	1/4 in [6 mm]	Φ > 45° 1/4 in (6 mm) Φ ≤ 45° 5/16 in [8 mm]	FCAW-S SMAW (1) { 1/8 in [3 mm] 3/16 in [5 mm]	25°-40° 15°-25°
最小	1/16 in [2 mm] Φ > 90° 时 无最小值	1/16 in [2 mm] Φ > 120° 时 无最小值	1/16 in [2 mm]	1/16 in [2 mm]	GMAW-S FCAW-G (2) { 1/8 in [3 mm] 1/4 in [6 mm] 3/8 in [10 mm] 1/2 in [12 mm]	30°-40° 25°-30° 20°-25° 15°-20°
坡口角度 Φ 最大	90°		当 Ψ ≤ 105° 时 60°		40°; 较大二面角时用 细节 B	
最小	45°		37-1/2°; 较小二面角时用细 节 C		1/2 Ψ	
完工焊缝 t _w	≥ t _b		当 Ψ > 90° 时 ≥ t _b 当 Ψ < 90° 时 ≥ t _b /sin		≥ t _b /sin Ψ 但不需超过 1.75 t _b	≥ 2 t _b
L	≥ t _b /sin Ψ 但不需超过 1.75 t _b				可以堆焊焊缝以满足 这一项要求	

^a 或者按所需的 Φ 值实施。

^b 坡口角度 (Φ) 小于 30° 时, 不免除评定。

^c 在坡口宽度 (W) 足以保证完好焊接之前, 初始的打底焊道不在要求之内; 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。

注:

1. GMAW-S 见 4.13.4.3。这些细节不用于 GMAW (射流过渡)。

2. 最小标准剖面形状 (有限厚度) 见图 3.8。

3. 可选用的趾部角焊剖面形状见图 3.9。

4. 改善的剖面形状见图 3.10 (见 2.21.6.6 和 2.21.6.7)。

表 3.7
免除评定的 WPS 要求^f (见 3.7)

变素	位置	焊缝类型	SMAW	SAW ^d			GMAW/ FCAW ^g
				单丝	平行双丝	多丝	
最大焊条 （丝）直径	平	角焊缝 ^a	5/16 in [8.0 mm]	1/4 in [6.4 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	角焊缝	1/4 in [6.4 mm]	1/4 in [6.4 mm]			1/8 in [3.2 mm]
		坡口焊缝	3/16 in [4.8 mm]	需 WPS 评定试验			
	立	所有	3/16 in [4.8 mm] ^b				3/32 in [2.4 mm]
	仰	所有	3/16 in [4.8 mm] ^b				5/64 in [2.0 mm]
最大电流	所有	角焊缝	在填充金属制造 商推荐的操作范 围内	1000A	1200A	无限制	在填充金属制造 商推荐的操作范 围内
	所有	有间隙根部焊道		600A	700A		
					900A		
					1200A		
				盖面焊道		无限制	

最大根部焊道厚度 ^d	平	所有	3/8 in [10 mm]	无限制			3/8 in [10 mm]
	横		5/16 in [8 mm]				5/16 in [8 mm]
	立		1/2 in [12 mm]				1/2 in [12 mm]
	仰		5/16 in [8 mm]				5/16 in [8 mm]
最大填充焊道厚度	所有	所有	3/16 in [5 mm]	1/4 in [6 mm]	无限制		1/4 in [6 mm]
最大单道角焊缝尺寸 ^c	平	角焊缝	3/8 in [10 mm]	无限制			1/2 in [12 mm]
	横		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		1/2 in [12 mm]				1/2 in [12 mm]
	仰		5/16 in [8 mm]				5/16 in [8 mm]
最大单道焊焊层宽度	所有（指 GMAW/ FCAW）平和横（指 SAW）	根部间隙 > 1/2 in [12 mm], 或		错层	横向移动焊丝或错层	错层	错层
		宽度 w 的任何焊层		如果 w > 5/8 in [16 mm]	如果 w>5/8 in [16 mm], 焊丝串列而错层	如果 w > 1 in [25 mm], 错层	（注 e）

^a 根部焊道除外。

^b 用 EXX14 和低氢焊条时为 5/32 in [4.0 mm]。

^c 关于焊接部涂漆及裸露的 ASTM A 588 钢的要求, 见 3.7.3。

^d 关于宽度-深度限制, 见 3.7.2。

^e 在平、横或仰位置的的非管材接头, 当层宽 $w > 5/8$ in [16 mm] 时用错层焊。非管材的立焊位置或管材平焊、横焊、立焊和仰焊位置, 当宽度 $w > 1$ in [25 mm] 时, 用错层焊。

^f 阴影区域表示不适用。

^g GMAW-S 严禁免除评定。

表 3.8
免除评定的 WPS 变量

免除评定的 WPS 变量	焊接方法			
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW
概述				
1) 焊接方法的变更 ^a	X	X	X	X
2) 焊接位置的变更	X	X	X	X
母材				
3) 母材组号的变更（参见表 3.1）	X	X	X	X
4) 母材预热类别的变更（参见表 3.2）	X	X	X	X
填充金属				
5) 焊条类别的变更	X	X	X	X
6) 焊条/焊剂类别的变更		X		
7) 焊条标称直径的变更	X	X	X	X
8) 焊条数量的变更		X		
工艺参数				
9) 安培数的变更		增减幅度 > 10%	增减幅度 > 10%	增减幅度 > 10%
10) 电流（交流或直流）类型或电极的变更	X	X	X	X
11) 过渡形式的变更			X	
12) 电压的变更		增减幅度 >	增减幅度 >	增减幅度 >

		15%	15%	15%
13) 送丝速度的变更 (如果安培数不受控)		增减幅度 > 10%	增减幅度 > 10%	增减幅度 > 10%
14) 移动速度的变更		增减幅度 > 25%	增减幅度 > 25%	增减幅度 > 25%

保护气体

15) 保护气体标称成分的变更			X	X (仅用于 FCAW-G)
16) 保护气体流速降低			>25%	> 25% (仅用于 FCAW-G)
17) 气体流速升高			>50%	> 50% (仅用于 FCAW-G)

表 3.8 (续)
免除评定的 WPS 变量

免除评定的 WPS 变量	焊接方法			
	SfMIAW	SAW	GMAW	FCAW
SAW 参数				
18) 电弧纵向间隔的变更		> 10% 或 1/8 in [3 mm], 取数值较大者		
19) 电弧横向间隔的变更		> 10% 或 1/8 in [3 mm], 取数值较大者		
20) 平行焊条的角定向变更		增减 > 10°		
21) 机械化或自动化 SAW 中的电极角度变更		增减 > 10°		
22) 机械化或自动化 SAW 中的电极垂直于移动方向的角度变更		增减 > 15°		
焊接详情				
23) 焊缝成型的变更 (如对 CJP 坡口焊缝进行角焊等)	X	X	X	X
24) 坡口焊缝详情的变更, 如图 3.3 或 3.4 所示	X	X	X	X
热				
25) PWHT 的变更 (增加、删除) ^a	X	X	X	X

^a 若此变量发生变化, 则需要单独的 WPS。

注: "X" 表示对该焊接方法适用; 阴影块表示不适用。

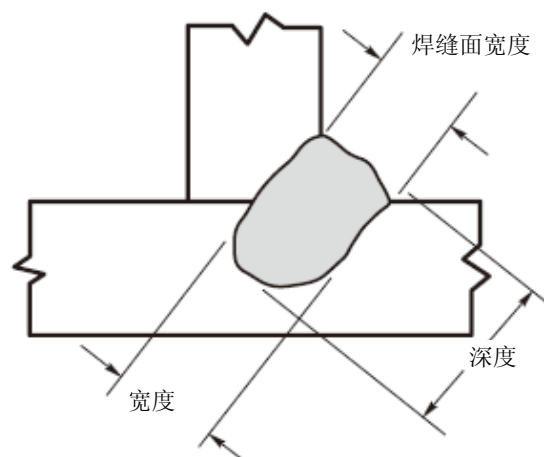
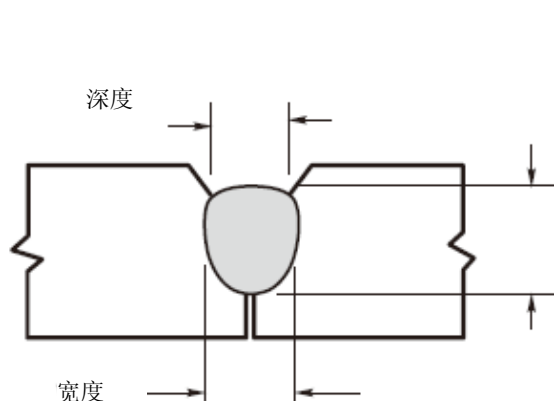
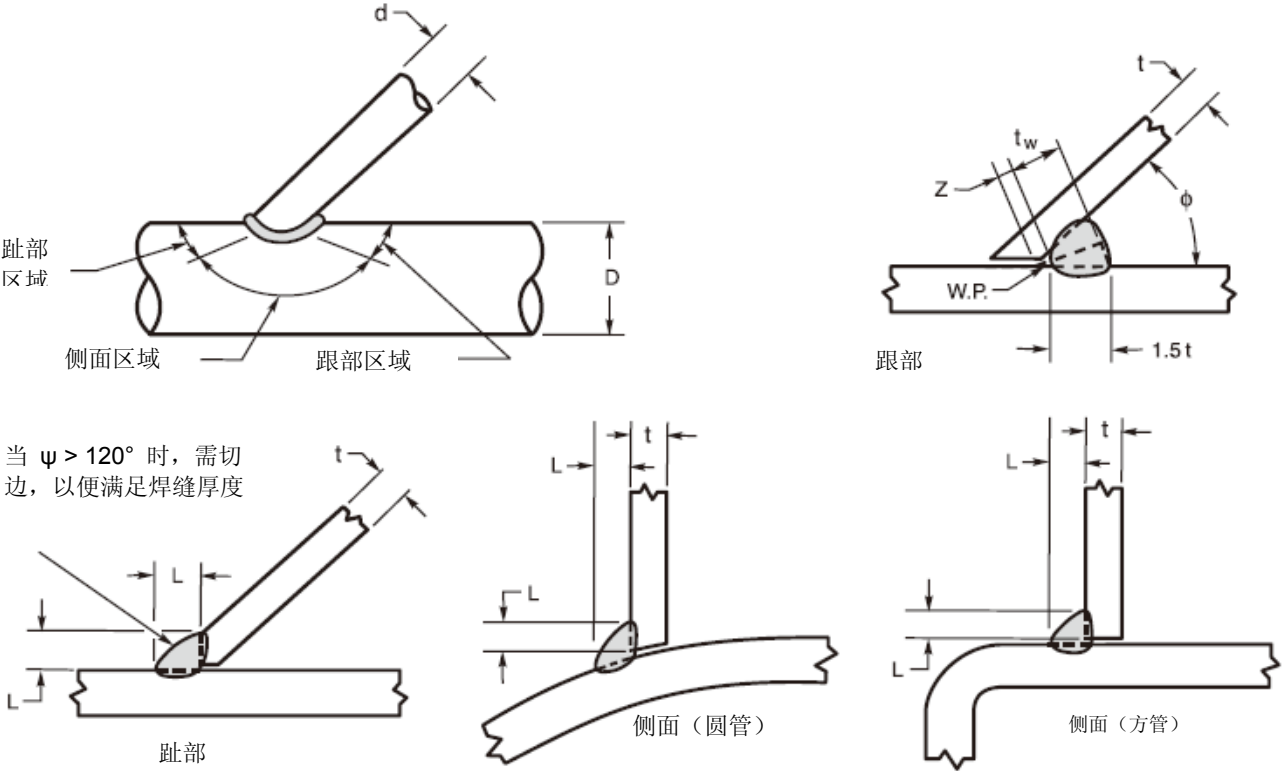


图 3.1— 深度和宽度超过焊缝面宽度的焊道（见 3.7.2）



	最小 L 用于		
	E = 0.7t	E = t	E = 1.07t
跟部 < 60°	1.5t	1.5t	1.5t 或 1.4t + Z 之较大值
侧面 ≤ 100°	t	1.4t	1.5t
侧面 100-110°	1.1t	1.6t	1.75t
侧面 110-120°	1.2t	1.8t	2.0t
趾部 > 120°	t 斜面	1.4t 斜面	整个斜面 60-90° 坡口

- 注:
1. t = 较薄件厚度。
 2. L = 最小尺寸（除了 36 ksi [250 MPa] 母材与 70 ksi [485 MPa] 焊条组合的情况，可以要求增加焊缝尺寸，见 2.25.1.3）。
 3. 跟部间隙 0 in ~ 3/16 in [5 mm]（见 5.22）。
 4. 当 $\phi < 30^\circ$ 时，不得免除评定。 $\phi < 60^\circ$ 时，采用表 2.9 的 Z 折减尺寸。见表 4.10 焊工位置评定要求。
 5. 对 $\beta = d/D$ 的限定，见 2.24.1.2。
 6. Ψ = 二面角。

图 3.2— SMAW、GMAW 和 FCAW 方法施焊的、免除评定的角焊缝管材接头（见 3.9.2）

图 3.3 和 3.4 的符号说明

接头类型符号 B — 对接接头 C — 角接头 T — T 形接头 BC — 对接或角接头 TC — T 形或角接头 BTC — 对接、T 形或角接头	焊接方法 SMAW — 药皮焊条手工电弧焊 GMAW — 气体保护熔化极电弧焊 FCAW — 药芯焊丝电弧焊 SAW — 埋弧焊
	焊接位置 F — 平 H — 横 V — 立 OH — 仰

焊缝类型符号

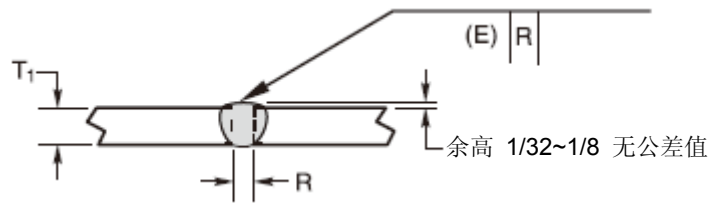
1 — 方形坡口 2 — 单面 V 形坡口 3 — 双面 V 形坡口 4 — 单斜面坡口 5 — 双斜面坡口 6 — 单面 U 形坡口 7 — 双面 U 形坡口 8 — 单面 J 形坡口 9 — 双面 J 形坡口 10 — 喇叭斜面坡口 11 — 喇叭 V 形坡口	尺寸 R = 根部间隙 α, β = 坡口角度 f = 钝边 r = J 形或 U- 形坡口圆角半径 S, S ₁ , S ₂ = 接头部分熔透坡口焊缝的坡口深度 E, E ₁ , E ₂ = 分别对应于 S、S ₁ 、S ₂ 的接头部分熔透坡口焊缝的焊缝尺寸
焊接方法符号（非药皮焊条电弧焊时） S — SAW G — GMAW F — FCAW	接头标号 小写字母，例如 a、b、c 等，用来区分那些在其他地方有相同标号的接头。

图 3.3 和 3.4 的注解

- ^a GMAW-S 和 GTAW 不免除评定。
- ^b 接头必须仅从一面施焊。
- ^c 这些接头用于周期荷载时只允许在横焊位置施焊（见 2.18.2）。
- ^d 焊接背面焊缝前清根至完好金属。
- ^e 适用 SMAW 的接头细节可用于 GMAW（GMAW-S 除外）和 FCAW。
- ^f 表 3.4 所示的最小焊缝尺寸 (E)，在图上规定为 S。
- ^g 如果角焊缝用来加强静载结构的角接或 T 形接头的坡口焊缝，则该角焊缝尺寸必须等于 T1/4，但不必超过 3/8 in [10 mm]。周期荷载结构的角接和 T 形接头的坡口焊缝必须用角焊缝来加强，其尺寸等于 T1/4，但不必超过 3/8 in [10 mm]。
- ^h 双面坡口焊缝可有不等坡口深度，但较浅坡口深度严禁小于连接的较薄件厚度的四分之一。
- ⁱ 双面坡口焊缝可有不等坡口深度，如果这些符合注 f 之限定的话。焊缝尺寸 (E) 也分别对应每一坡口深度。
- ^j 接头中两部件的方位可在下述范围内变化，对接接头：135°~180°；角接接头：45°~135°；T 形接头：45°~90°。
- ^k 角接接头外侧坡口，如不改变坡口基本形状，则可在一块板上加工，也可在两块板上加工，且留有足够边缘距离，以保持焊接操作而不过分熔化边缘。
- ^l 焊缝尺寸 (E) 以焊成德接头齐平为准。
- ^m 对于矩形管的喇叭-V 形坡口焊缝和单边喇叭形坡口，r 必须为壁厚的 2 倍。
- ⁿ 对于不同半径 r 的喇叭-V 形坡口焊缝，必须采用较小的 r。

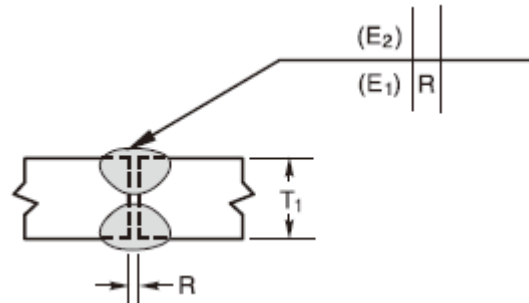
见 77 页注

方形坡口焊缝 (1)
对接接头 (B)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P1a	1/8	—	R = 0 到 1/16	+1/16, -0	±1/16	所有	T ₁ - 1/32	b
	B-P1c	1/4 最大	—	R = T ₁ /2 最小	+1/16, -0	±1/16	所有	T ₁ /2	b
GMAW FCAW	B-P1a-GF	1/8	—	R = 0 到 1/16	+1/16, -0	±1/16	所有	T ₁ - 1/32	b, e
	B-P1c-GF	1/4 最大	—	R = T ₁ /2 最小	+1/16, -0	±1/16	所有	T ₁ /2	b, e

方形坡口焊缝 (1)
对接接头 (B)

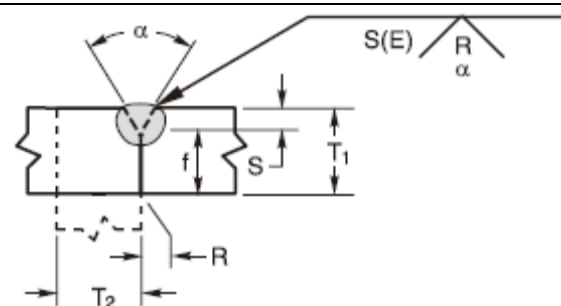


焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊 接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P1D	1 /4 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16,-0	±1/16	所有	$\frac{3T_1}{4}$	
GMAW FCAW	B-P1D-GF	1 /4 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16,-0	±1/16	所有	$\frac{3T_1}{4}$	e

图 3.3— 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)

见 77 页注

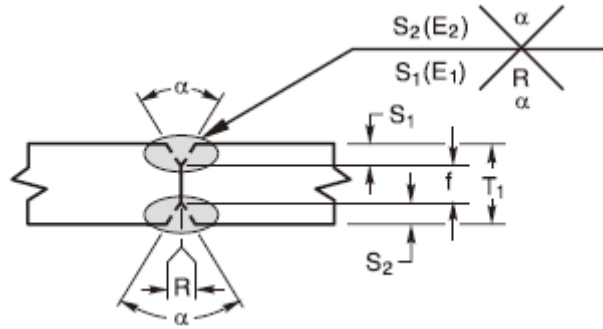
单面 V 形坡口焊缝 (2)
对接接头 (B)
角接头 (C)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	焊缝尺寸 (E)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	BC-P2	1/4 最小	U	R = 0	+1/16, -0	+1/8, -1/16	所有	S	b. e. f. j

				$f = 1/32$ 最小 $\alpha = 60^\circ$	$+U, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$			
GMAW FCAW	BC-P2-GF	1/4 最小	U	$R = 0$ $f = 1/8$ 最小 $\alpha = 60^\circ$	$+1/16, -0$ $+U, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/8, -1/16$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	所有	S	a, b, f, j
SAW	BC-P2-S	7/16 最小	u	$R = 0$ $t = 1/4$ 最小 $\alpha = 60^\circ$	± 0 $+U, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -0$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	F	s	b, f, j

双面 V 形坡口焊缝 (3)
对接接头 (B)

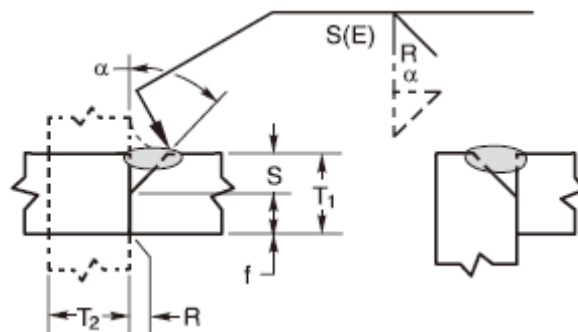


焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P3	1/2 最小	—	R = 0 t= 1/8 最小 α = 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	所有	S ₁ +S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P3-GF	1/2 最小	—	R = 0 t= 1/8 最小 α = 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	所有	S ₁ +S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P3-S	3/4 最小	—	R = 0 t= 1/4 最小 α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	-1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	f, i, j

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)

见 77 页注

单面削斜坡口焊缝 (4)
对接接头 (B)
T 形接头 (T)
角接接头 (C)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0 f = 1/8 最小 α = 45°	+1/16, -0 +U -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	所有	S -1/8	b, e, f, g, j, k
GMAW	BTC-P4-GF	1/4 最小	U	R = 0	+1/16, -0	+1/8, -1/16	F, H	S	a, b, f,

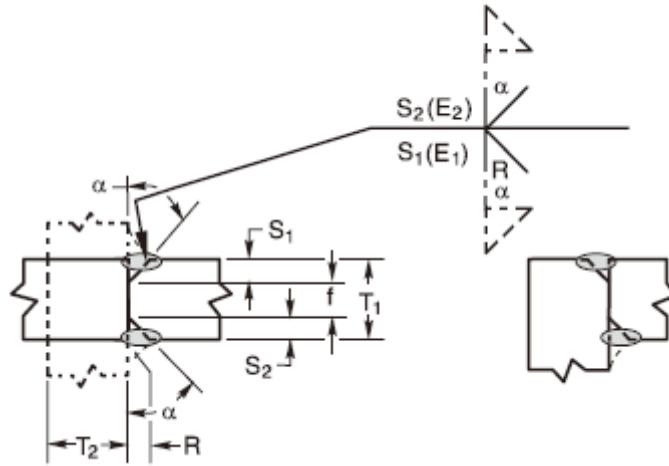
FCAW				$f = 1/8$ 最小 $\alpha = 45^\circ$	$+U -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	V, OH	S -1/8	g, j, k
SAW	TC-P4-S	7/16 最小	U	$R = 0$ $f = 1/4$ 最小 $\alpha = 60^\circ$	± 0 $+U, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -0$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	F	S	b, f, g, j, k

双面削斜坡口焊缝 (5)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	BTC-P5	5/16 最小	U	R = 0 f = 1/8 最小 α = 45°	+1/16, -0 +U -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂ -1/4	e, f, g, i, j, k
GMAW FCAW	BTC-P5-GF	1/2 最小	U	R = 0 f = 1/8 最小 α = 45°	+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	U	R = 0 f = 1/4 最小 α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k

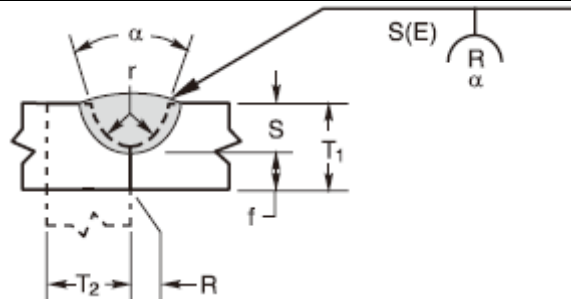
图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)

见 77 页注

单面 U 形坡口焊缝 (6)

对接接头 (B)

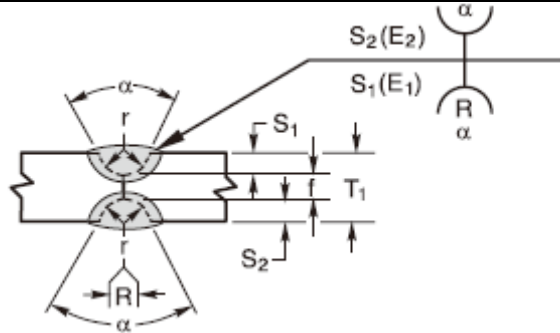
角接头 (C)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	焊缝尺寸 (E)	注
				根部间隙 钝边 斜面半径 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	BC-P6	1/4 最小	U	R = 0 f = 1/32 最小 r = 1/4	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16	所有	S	b, e, f, j

				$\alpha = 45^\circ$	$+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$			
GMAW FCAW	BC-P6-GF	1/4 最小	U	$R = 0$ $f = 1/8$ 最小 $r = 1/4$ $\alpha = 20^\circ$	$+1/16, -0$ $+U, -0$ $+1/4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/8, -1/16$ $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	所有	S	a, b, f, j
SAW	BC-P6-S	7/16 最小	U	$R = 0$ $f = 1/4$ 最小 $r = 1/4$ $\alpha = 20^\circ$	± 0 $+U, -0$ $+1/4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -0$ $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	F	S	b, f, j

双面 U 形坡口焊缝 (7)
对接接头 (B)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 斜面半径 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P7	1/2 最小	—	R = 0 f = 1/8 最小 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°	所有	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P7-GF	1/2 最小	—	R = 0 f = 1/8 最小 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°	所有	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P7-S	3/4 最小	—	R = 0 f = 1/4 最小 r = 1/4 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, i, j

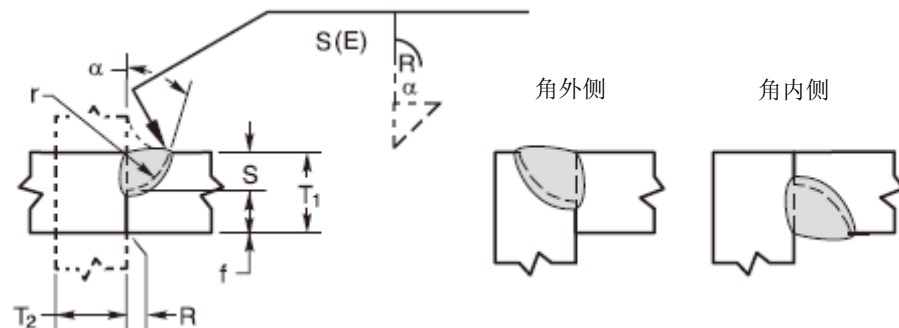
图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)

单面 J 形坡口焊缝 (8)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接接头 (C)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接 位置	焊缝尺寸 (E)	注	
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 斜面半径 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)				装配用 (见 3.12.3)

SMAW	B-P8	1/4 最小	—	R = 0 f = 1/8 最小 r = 3/8 $\alpha = 30^\circ$	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ +10°, -5°	所有	S	e, f, g, j, k
	TC-P8	1/4 最小	U	R = 0 f = 1/8 最小 r = 3/8 $\alpha oc = 30^\circ$ $\alpha ic = 45^\circ$	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ +10°, -5° +10°, -5°	所有	S	e, f, g, j, k
GMAW FCAW	B-P8-GF	1/4 最小	—	R = 0 f = 1/8 最小 r = 3/8 $\alpha = 30^\circ$	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ +10°, -5°	所有	S	a, f, g, j, k
	TC-P8-GF	1/4 最小	U	R = 0 f = 1/8 最小 r = 3/8 $\alpha oc = 30^\circ$ $\alpha ic = 45^\circ$	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ +10°, -5° +10°, -5°	所有	S	a, f, g, j, k
SAW	B-P8-S	7/16 最小	—	R = 0 f = 1/4 最小 r = 1/2 $\alpha = 20^\circ$	± 0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ +10°, -5°	F	S	f, g, j, k
	TC-P8-S	7/16 最小	U	R = 0 f = 1/4 最小 r = 1/2 $\alpha oc = 20^\circ$ $\alpha ic = 45^\circ$	± 0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/16, -0 $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ +10°, -5° +10°, -5°	F	S	f, g, j, k

* αoc = 角外侧坡口角度** αic = 角内侧坡口角度

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)

见 77 页注

双面 J 形坡口焊缝 (9)
 对接接头 (B)
 T 形接头 (T)
 角接头 (C)

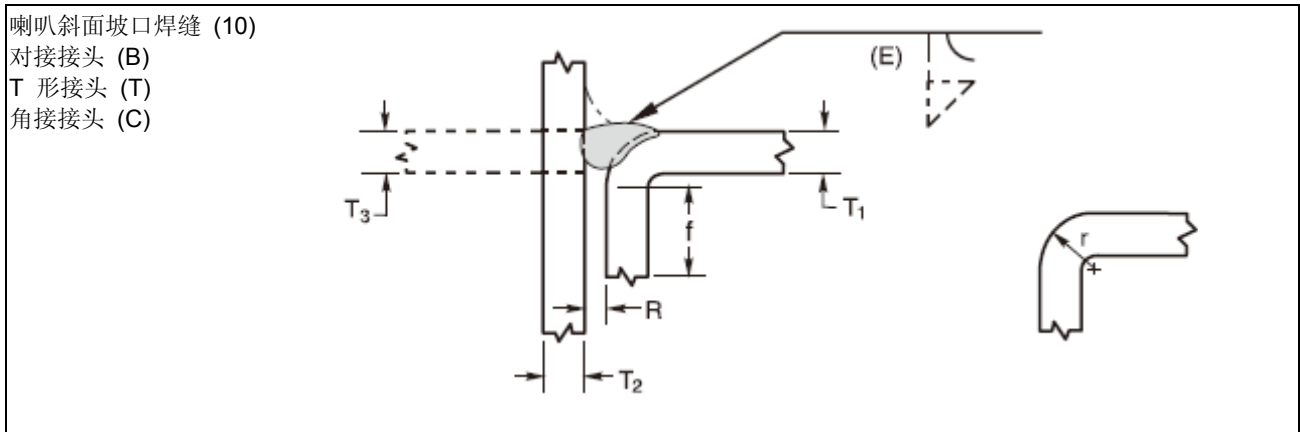
焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注		
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 斜面半径 坡口角度	公差					
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)				
SMAW	B-P9	1/2 最小	—	R = 0 f = 1/8 最小 r = 3/8 α = 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	e, f, g, i, j, k	
	TC-P9	1/2 最小	U	R = 0 f = 1/8 最小	+1/16, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 ±1/16	所有	S ₁ + S ₂	e, f, g, i, j, k	

				$r = 3/8$ $\alpha_{oc} = 30^\circ$ ^{**} $\alpha_{ic} = 45^\circ$ ^{***}	$+1/4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$ $+10^\circ, -0^\circ$	$\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$ $+10^\circ, -5^\circ$			
GMAW FCAW	B-P9-GF	1/2 最小	—	$R = 0$ $f = 1/8$ 最小 $r = 3/8$ $\alpha = 30^\circ$	$+1/16, -0$ $+U, -0$ $+1/4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/8, -1/16$ $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	所有	$S_1 + S_2$	a, f, g, i, j, k
	TC-P9-GF	1/2 最小	U	$R = 0$ $f = 1/8$ 最小 $r = 3/8$ $\alpha_{oc} = 30^\circ$ ^{**} $\alpha_{ic} = 45^\circ$ ^{***}	± 0 $+U, -0$ $+1/4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -0$ $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$ $+10^\circ, -5^\circ$	所有	$S_1 + S_2$	a, f, g, i, j, k
SAW	B-P9-S	3/4 最小	—	$R = 0$ $f = 1/4$ 最小 $r = 1/2$ $\alpha = 20^\circ$	± 0 $+U, -0$ $+1/4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -0$ $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$	F	$S_1 + S_2$	f, g, i, j, k
	TC-P9-S	3/4 最小	U	$R = 0$ $f = 1/4$ 最小 $r = 1/2$ $\alpha_{oc} = 20^\circ$ ^{**} $\alpha_{ic} = 45^\circ$ ^{***}	± 0 $+U, -0$ $+1/4, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+1/16, -0$ $\pm 1/16$ $\pm 1/16$ $+10^\circ, -5^\circ$ $+10^\circ, -5^\circ$	F	$S_1 + S_2$	f, g, i, j, k

* α_{oc} = 角外侧坡口角度** α_{ic} = 角内侧坡口角度

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)

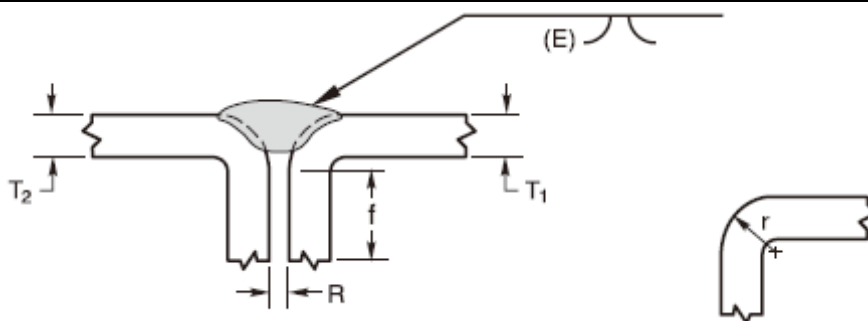
见 77 页注



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)			坡口准备		允许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注	
		T ₁	T ₂	T ₃	根部间隙 钝边 弯曲半径	公差				
						零件图用 (见 3.12.3)				装配用 (见 3.12.3)
SMAW FCAW-S	BTC-P10	3/16 最小	U	T ₁ 最小	R = 0 f = 3/16 最小 $r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	所有	5/16 r	e, g, j, l
GMAW FCAW-G	BTC-P10-G F	3/16 最小	U	T ₁ 最小	R = 0 f = 3/16 最小 $r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	所有	5/8 r	a, g, j, l, m
SAW	B-P10-S	1/2 最小	N/A	1/2 最小	R = 0 f = 1/2 最小 $r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	±0 +U, -0 +U, -0	+1/16, -0 +U, -1/16 +U, -0	F	5/16 r	g, j, l, m

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)

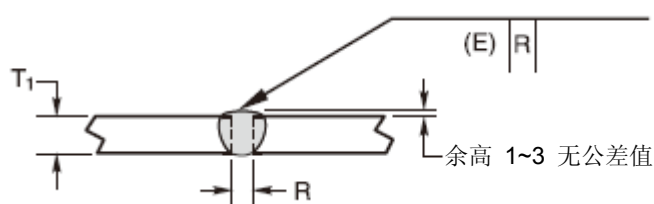
见 77 页注

喇叭 V 形坡口焊缝 (11)
对接接头 (B)

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注	
				根部间隙 钝边 弯曲半径	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.12.3)				装配用 (见 3.12.3)
SMAW FCAW-S	B-P11	3/16 最小	T ₁ 最小	R = 0 f = 3/16 最小 $r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	所有	5/8 r	e, j, l, m, n
GMAW FCAW-G	B-P11-GF	3/16 最小	T ₁ 最小	R = 0 f = 3/16 最小 $r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	所有	3/4 r	a, j, l, m, n
SAW	B-P11-S	1/2 最小	T ₁ 最小	R = 0 f = 1/2 最小 $r = \frac{3T_1}{2}$ 最小	±0 +U, -0 +U, -0	+1/16, -0 +U, -1/16 +U, -0	F	1/2 r	j, l, m, n

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为英寸)

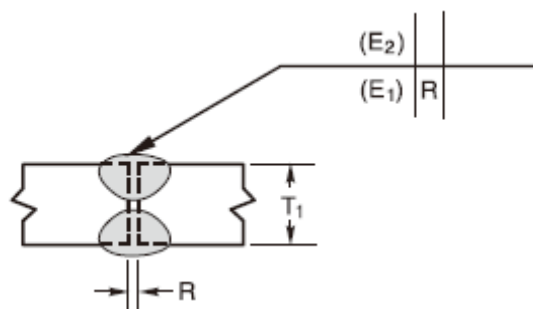
见 77 页注

方形坡口焊缝 (1)
对接接头 (B)

所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P1a	3	—	R = 0 to 2	+2, -0	±2	所有	T ₁ - 1	b
	B-P1c	6 最大	—	R = $\frac{T_1}{2}$ 最小	+2, -0	±2	所有	$\frac{T_1}{2}$	b
GMAW FCAW	B-P1a-GF	3	—	R = 0 to 2	+2, -0	±2	所有	T ₁ - 1	b, e
	B-P1c-GF	6 最大	—	R = $\frac{T_1}{2}$ 最小	+2, -0	±2	所有	$\frac{T_1}{2}$	b, e

方形坡口焊缝 (1)
对接接头 (B)



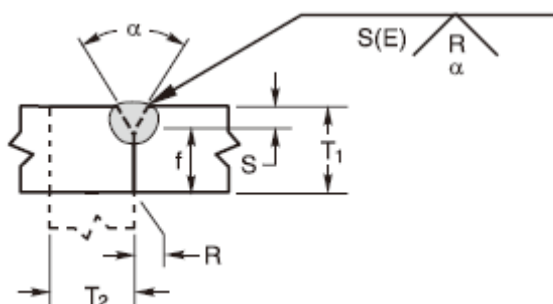
$E_1 + E_2$ 不得超过 $\frac{3T_1}{4}$
所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P1b	6 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, −0	±2	所有	$\frac{3T_1}{4}$	
GMAW FCAW	B-P1b-GF	6 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, −0	±2	所有	$\frac{3T_1}{4}$	e

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为毫米)

见 77 页注

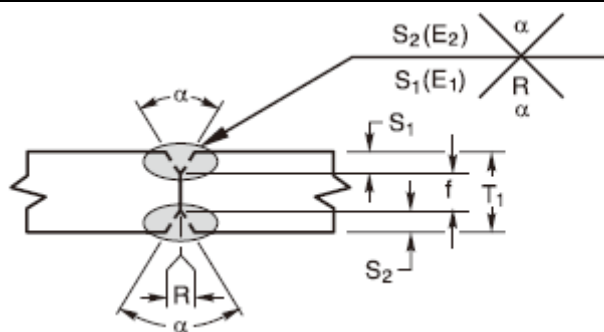
单面 V 形坡口焊缝 (2)
对接接头 (B)
角接头 (C)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	BC-P2	6 最小	U	R = 0 f = 1 最小 α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	所有	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P2-GF	6 最小	U	R = 0 f = 3 最小 α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	所有	S	a, b, f, j
SAW	BC-P2-S	最小值 11	U	R = 0 f = 6 最小 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)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P3	12 最小	—	R = 0 f = 3 最小 α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P3-GF	12 最小	—	R = 0 f = 3 最小 α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P3-S	20 最小	—	R = 0 f = 6 最小 α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, i, j

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为毫米)

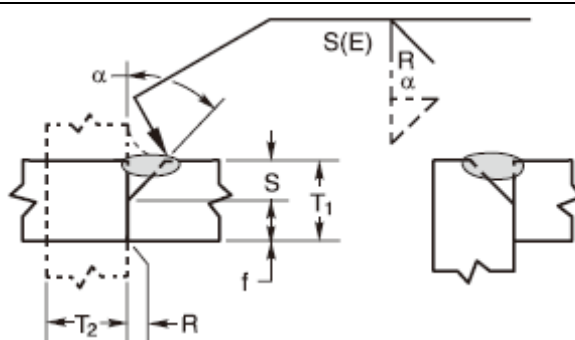
见 77 页注

单面削斜坡口焊缝 (4)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接接头 (C)



所有尺寸单位: mm

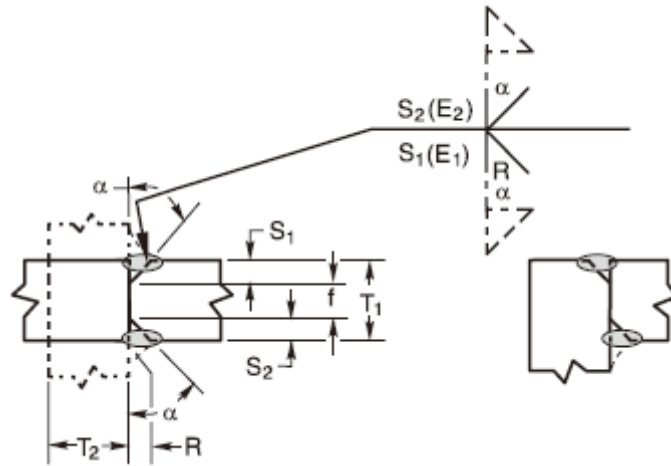
焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0 f = 3 最小 α = 45°	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	所有	S -3	b, e, f, g, j, k
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	6 最小	U	R = 0 f = 3 最小 α = 45°	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+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	U	R = 0 f = 6 最小 α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S	b, f, g, j, k

双面削斜坡口焊缝 (5)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T1	T2		零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	BTC-P5	8 最小	U	R = 0 f = 3 最小 α = 45°	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂ -6	e, f, g, i, j, k
GMAW FCAW	BTC-P5-GF	12 最小	U	R = 0 f = 3 最小 α = 45°	+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	U	R = 0 f = 6 最小 α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k

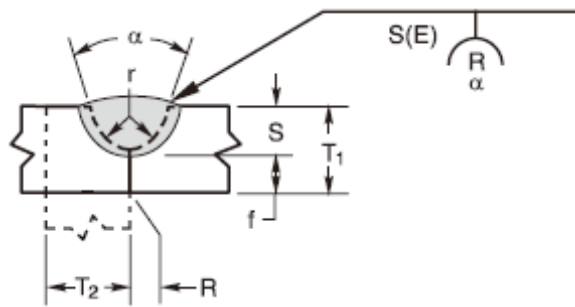
图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为毫米)

见 77 页注

单面 U 形坡口焊缝 (6)

对接接头 (B)

角接头 (C)

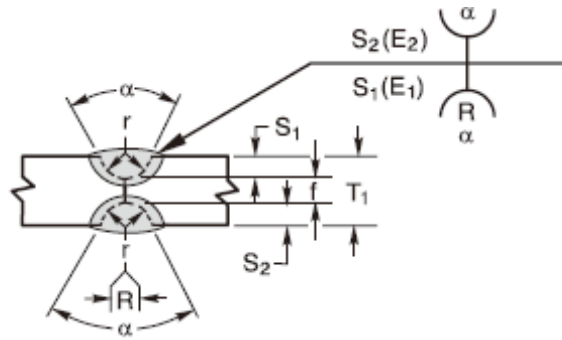


所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	焊缝尺寸 (E)	注
				根部间隙 钝边 斜面半径 坡口角度	公差				
		T1	T2		零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	BC-P6	6 最小	U	R = 0 f = 1 最小 r = 6 α = 45°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	所有	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P6-GF	6 最小	U	R = 0 f = 3 最小 r = 6 α = 20°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	所有	S	a, b, f, j

SAW	BC-P6-S	11 最小	U	R = 0 f = 6 最小 r = 6 $\alpha = 20^\circ$	± 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)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 斜面半径 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P7	12 最小	—	R = 0 f = 3 最小 r = 6 α = 45°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P7-GF	12 最小	—	R = 0 f = 3 最小 r = 6 α = 20°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P7-S	20 最小	—	R = 0 f = 6 最小 r = 6 α = 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, i, j

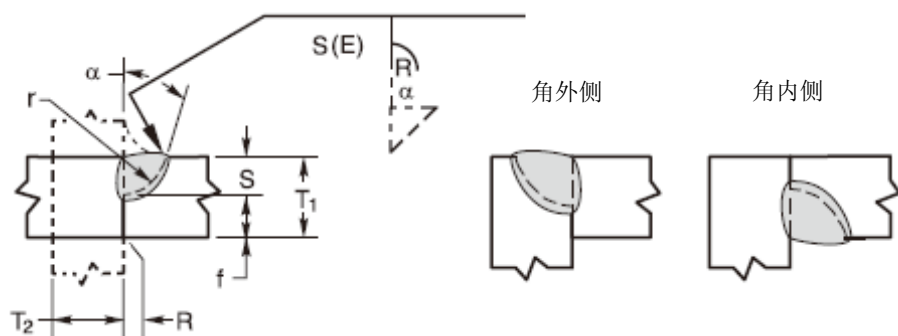
图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为毫米)

单面 J 形坡口焊缝 (8)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接接头 (C)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	焊缝尺寸 (E)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 斜面半径 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P8	6 最小	—	R = 0 f = 3 最小 r = 10	+2, -0 +U, -0 +6, -0	+3, -2 ±2 ±2	所有	S	e, f, g, j, k

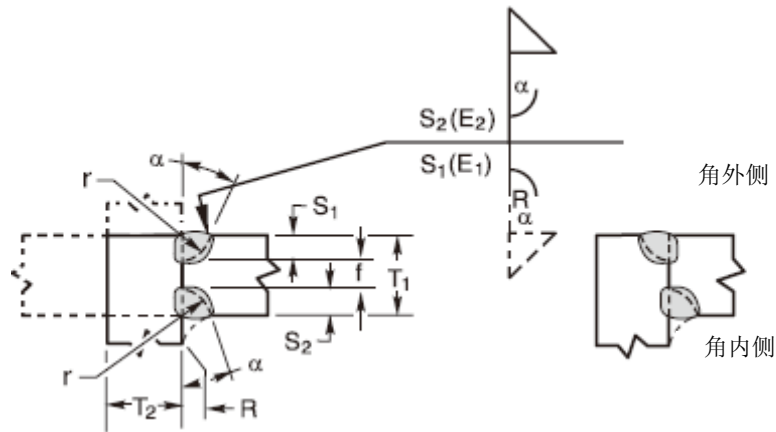
				$\alpha = 30^\circ$	$+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$			
	TC-P8	6 最小	U	R = 0 f = 3 最小 r = 10 $\alpha_{oc} = 30^\circ$ $\alpha_{ic} = 45^\circ$	+2, -0 +U, -0 +6, -0 $+10^\circ, -0^\circ$ $+10^\circ, -0^\circ$	+3, -2 ± 2 ± 2 $+10^\circ, -5^\circ$ $+10^\circ, -5^\circ$	所有	S	e, f, g, j, k
GMAW FCAW	B-P8-GF	6 最小	—	R = 0 f = 3 最小 r = 10 $\alpha = 30^\circ$	+2, -0 +U, -0 +6, -0 $+10^\circ, -0^\circ$	+3, -2 ± 2 ± 2 $+10^\circ, -5^\circ$	所有	S	a, f, g, j, k
	TC-P8-GF	6 最小	U	R = 0 f = 3 最小 r = 10 $\alpha_{oc} = 30^\circ$ $\alpha_{ic} = 45^\circ$	+2, -0 +U, -0 +6, -0 $+10^\circ, -0^\circ$ $+10^\circ, -0^\circ$	+3, -2 ± 2 ± 2 $+10^\circ, -5^\circ$ $+10^\circ, -5^\circ$	所有	S	a, f, g, j, k
SAW	B-P8-S	11 最小	—	R = 0 f = 6 最小 r = 12 $\alpha = 20^\circ$	± 0 +U, -0 +6, -0 $+10^\circ, -0^\circ$	+2, -0 ± 2 ± 2 $+10^\circ, -5^\circ$	F	S	f, g, j, k
	TC-P8-S	11 最小	U	R = 0 f = 6 最小 r = 12 $\alpha_{oc} = 20^\circ$ $\alpha_{ic} = 45^\circ$	± 0 +U, -0 +6, -0 $+10^\circ, -0^\circ$ $+10^\circ, -0^\circ$	+2, -0 ± 2 ± 2 $+10^\circ, -5^\circ$ $+10^\circ, -5^\circ$	F	S	f, g, j, k

* α_{oc} = 角外侧坡口角度** α_{ic} = 角内侧坡口角度

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为毫米)

见 77 页注

双面 J 形坡口焊缝 (9)
对接接头 (B)
T 形接头 (T)
角接接头 (C)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	总焊缝尺寸 (E ₁ + E ₂)	注
				根部间隙 钝边 斜面半径 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW	B-P9	12 最小	—	R = 0 f = 3 最小 r = 10 α = 30°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	e, f, g, i, j, k
	TC-P9	12 最小	U	R = 0 f = 3 最小 r = 10 α _{oc} = 30°* α _{ic} = 45°**	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	e, f, g, i, j, k

GMAW FCAW	B-P9-GF	6 最小	—	R = 0 f = 3 最小 r = 10 $\alpha = 30^\circ$	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ± 2 ± 2 +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	a, f, g, i, j, k
	TC-P9-GF	6 最小	U	R = 0 f = 3 最小 r = 10 $\alpha_{oc} = 30^\circ$ $\alpha_{ic} = 45^\circ$	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ± 2 ± 2 +10°, -5° +10°, -5°	所有	S ₁ + S ₂	a, f, g, i, j, k
SAW	B-P9-S	20 最小	—	R = 0 f = 6 最小 r = 12 $\alpha = 20^\circ$	± 0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ± 2 ± 2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k
	TC-P9-S	20 最小	U	R = 0 f = 6 最小 r = 12 $\alpha_{oc} = 20^\circ$ $\alpha_{ic} = 45^\circ$	± 0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ± 2 ± 2 +10°, -5° +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k

* α_{oc} = 角外侧坡口角度** α_{ic} = 角内侧坡口角度

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为毫米)

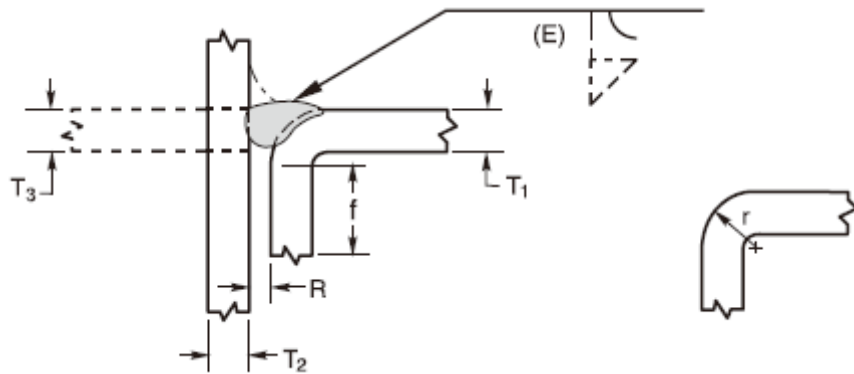
见 77 页注

喇叭斜面坡口焊缝 (10)

对接接头 (B)

T 形接头 (T)

角接头 (C)

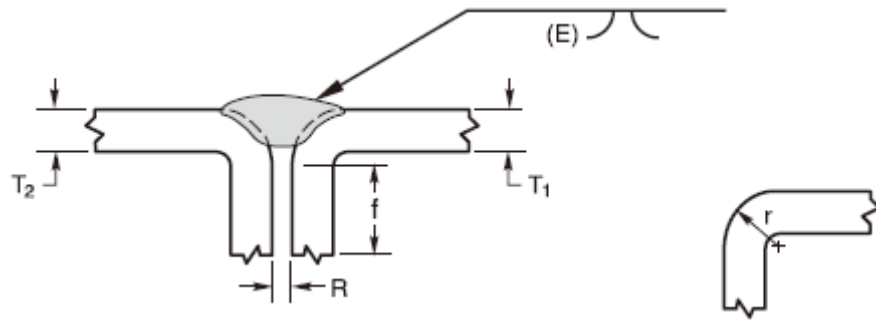


所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)			坡口准备			允许的焊接 位置	焊缝尺寸 (E)	注
		T ₁	T ₂	T ₃	根部间隙 钝边 弯曲半径	公差				
						零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW FCAW-S	BTC-P10	5 最小	U	T1 最小	R = 0 f = 5 最小 $\frac{3T_1}{2}$ 最小 r = $\frac{3T_1}{2}$ 最小	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	所有	5/16 r	e, g, j, l
GMAW FCAW-G	BTC-P10-G F	5 最小	U	T1 最小	R = 0 f = 5 最小 $\frac{3T_1}{2}$ 最小 r = $\frac{3T_1}{2}$ 最小	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	所有	5/8 r	a, g, j, l, m
SAW	B-P10-S	12 最小	12 最小	不适用	R = 0 f = 12 最小 $\frac{3T_1}{2}$ 最小 r = $\frac{3T_1}{2}$ 最小	±0 +U, -0 +U, -0	+2, -0 +U, -2 +U, -0	F	5/16 r	g, j, l, m

图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为毫米)

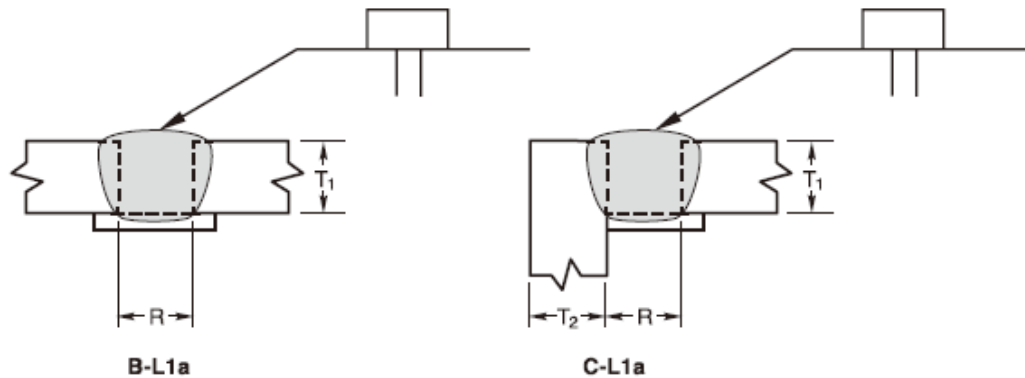
见 77 页注

喇叭 V 形坡口焊缝 (11)
对接接头 (B)

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	焊缝尺寸 (E)	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 弯曲半径	公差				
					零件图用 (见 3.12.3)	装配用 (见 3.12.3)			
SMAW FCAW-S	B-P11	5 最小	T1 最小	R = 0 f = 5 最小 $\frac{3T_1}{2}$ r = $\frac{3T_1}{2}$ 最小	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	所有	5/8 r	e, j, l, m, n
GMAW FCAW-G	B-P11-GF	5 最小	T1 最小	R = 0 f = 5 最小 $\frac{3T_1}{2}$ r = $\frac{3T_1}{2}$ 最小	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	所有	3/4 r	a, j, l, m, n
SAW	B-P11-S	12 最小	T1 最小	R = 0 f = 12 最小 $\frac{3T_1}{2}$ r = $\frac{3T_1}{2}$ 最小	±0 +U, -0 +U, -0	+2, -0 +U, -2 +U, -0	F	1/2 r	j, l, m, n

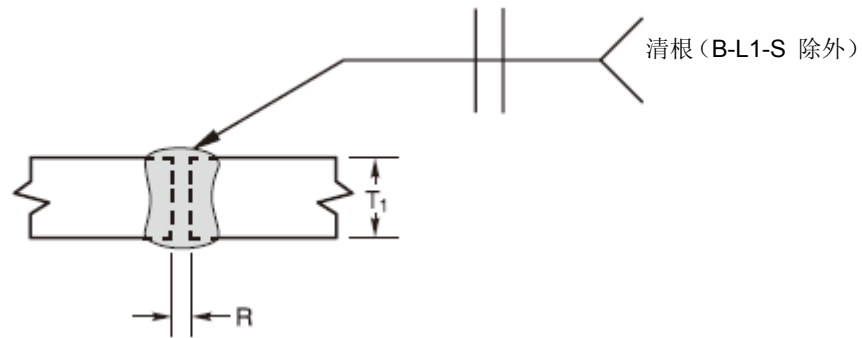
图 3.3 (续) — 免除评定的接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.12) (单位为毫米)

见 77 页注

方形坡口焊缝 (1)
对接接头 (B)
角接头 (C)

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-L1a	1/4 最大	—	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	所有	—	e, j
	C-L1a	1/4 最大	U	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	所有	—	e, j
FCAW GMAW	B-L1a-GF	3/8 最大	—	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	所有	不要求	a, j

方形坡口焊缝 (1)
对接接头 (B)

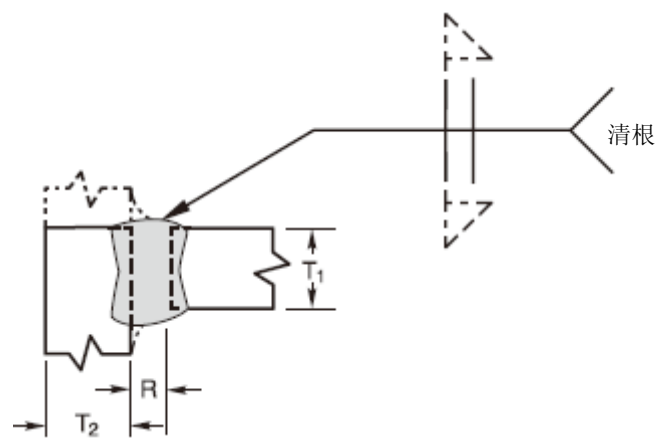


焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
				根部间隙	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-L1b	1 /4 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0	+1/16, -1/8	所有	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-L1b-GF	3 /8 最大	—	R = 0 到 1/8	+1/16, -0	+1/16, -1/8	所有	不要求	a, d, j
SAW	B-L1-S	3 /8 最大	—	R = 0	±0	+1/16, -0	F	—	j
SAW	B-L1a-S	5 /8 最大	—	R = 0	±0	+1/16, -0	F	—	d, j

图 3.4— 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

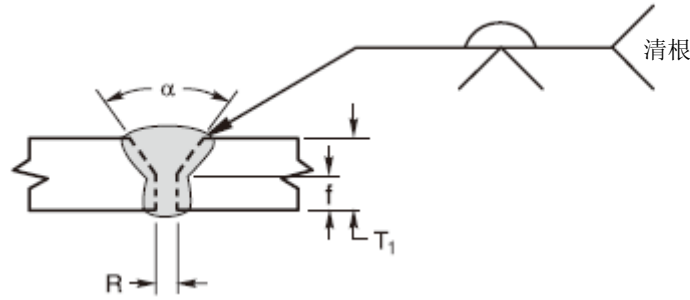
见 77 页注

方形坡口焊缝 (1)
T 形接头 (T)
角接头 (C)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	TC-L1b	1/4 最大	U	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0	+1/16, -1/8	所有	—	d, e, g
GMAW FCAW	TC-L1-GF	3/8 最大	U	R = 0 到 1/8	+1/16, -0	+1/16, -1/8	所有	不要求	a, d, g
SAW	TC-L1-S	3/8 最大	U	R = 0	±0	+1/16, -0	F	—	d, g

单面 V 形坡口焊缝 (2)
对接接头 (B)

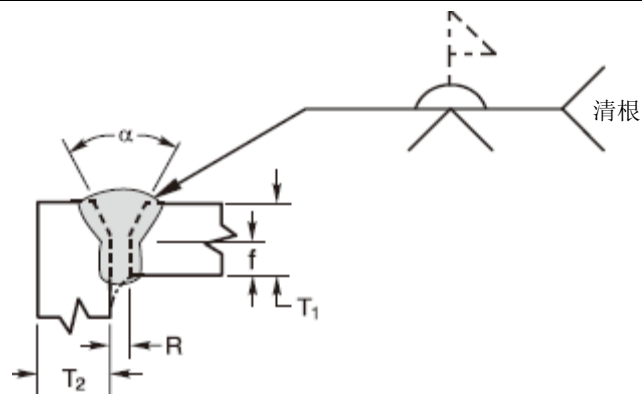


焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-U2	U	—	R = 0 到 1/8 f = 0 到 1/8 α = 60°	+1/16, −0 +1/16, −0 +10°, −0°	+1/16, −1/8 无限制 +10°, −5°	所有	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	—	R = 0 到 1/8 f = 0 到 1/8 α = 60°	+1/16, −0 +1/16, −0 +10°, −0°	+1/16, −1/8 无限制 +10°, −5°	所有	不要求	a, d, j
SAW	B-L2c-S	大于 1/2 到等 于 1	—	R = 0 f = 1/4 最大 α = 60°	R = ±0 f = +0, −f α = +10°, −0°	+1/16, −0 ±1/16 +10°, −5°	F	—	d, j
		大于 1 到等 于 1-1/2	—	R = 0 f = 1/2 最大 α = 60°					
		大于 1-1/2 到 等于 2	—	R = 0 f = 5/8 最大 α = 60°					

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

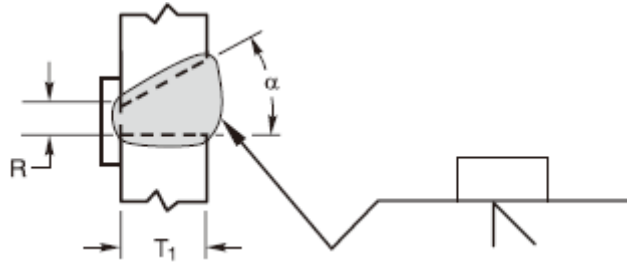
单面 V 形坡口焊缝 (2)
角接头 (C)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	C-U2	U	U	R = 0 到 1/8 f = 0 到 1/8 α = 60°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 无限制 +10°, -5°	所有	—	d, e, g, j
GMAW	C-U2-GF	U	U	R = 0 到 1/8	+1/16, -0	+1/16, -1/8	所有	不要求	a, d, g, j

				S1 见上表: $S_2 = T_1 - (S_1 + f)$			

单面削斜坡口焊缝 (4)
对接接头 (B)



公差

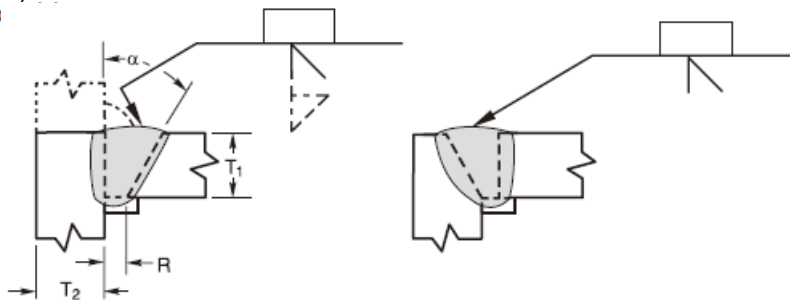
零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)
$R = +1/16, -0$	$+1/4, -1/16$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	B-U4a	U	—	$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$	所有	—	c, e, j
				$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	所有	—	c, e, j
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	$R = 3/16$	$\alpha = 30^\circ$	所有	要求进行	a, c, j
				$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$	所有	不要求	a, c, j
				$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	F, H	不要求	a, c, j
SAW	B-U4a-S	U	—	$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	F	—	c, j
				$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$			

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

单面削斜坡口焊缝 (4)
T 形接头 (T)
角接接头 (C)

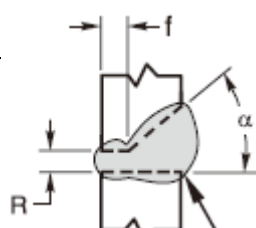


公差

零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)
$R = +1/16, -0$	$+1/4, -1/16$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	TC-U4a	U	U	$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$	所有	—	e, g, j, k
				$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U4a-GF	U	U	$R = 3/16$	$\alpha = 30^\circ$	所有	要求进行	a, g, j, k
				$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	F	不要求	a, g, j, k
				$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$	所有	不要求	a, g, j, k
SAW	TC-U4a-S	U	U	$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	F	—	g, j, k
				$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$			

单面削斜坡口焊缝 (4)
对接接头 (B)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
					零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-U4b	U	—	R = 0 到 1/8 f = 0 到 1/8 α = 45°	+1/16, −0 +1/16, −0 +10°, −0°	+1/16, −1/8 无限制 10°, −5°	所有	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U4b-GF	U	—		所有	不要求	a, c, d, j		
SAW	B-U4b-S	U	—	R = 0 f = 1/4 最大 α = 60°	±0 +0, −1/8 +10°, −0°	+1/4, −0 ±1/16 10°, −5°	F	—	c, d, j

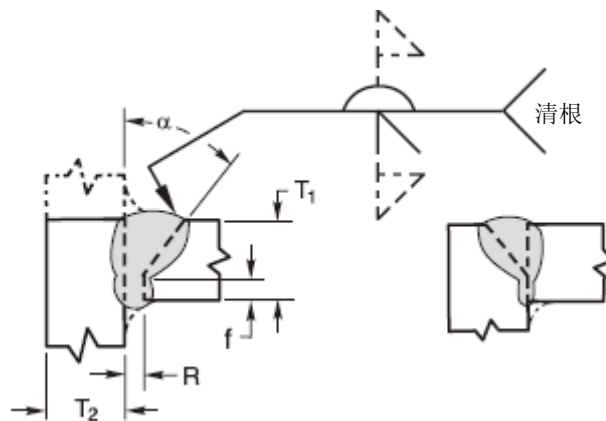
图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

单面削斜坡口焊缝 (4)

T 形接头 (T)

角接头 (C)

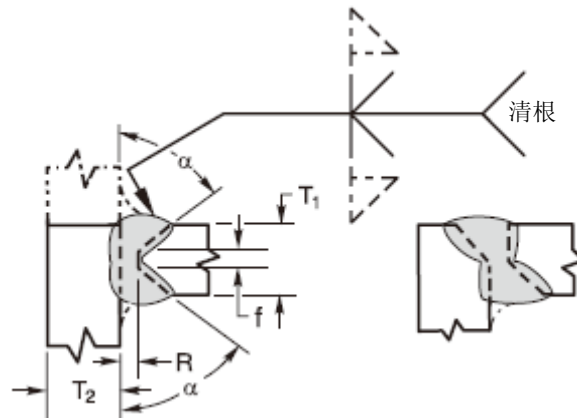


焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0 到 1/8 f = 0 到 1/8 α = 45°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 无限制 10°, -5°	所有	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	U	U		所有	不要求	a, d, g, j, k		
SAW	TC-U4b-S	U	U	R = 0 f = 1/4 最大 α = 60°	±0 +0, -1/8 +10°, -0°	+1/4, -0 ±1/16 10°, -5°	F	—	d, g, j, k

双面削斜坡口焊缝 (5)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0 到 1/8 f = 0 到 1/8 α = 45°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 无限制 +10°, -5°	所有	—	d, e, g, h, j, k
GMAW FCAW	TC-U5-GF	U	U		所有	不要求	a, d, g, h, j, k		
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0 f = 1/4 最大 α = 60°	±0 +0, -3/16 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	—	d, g, h, j, k

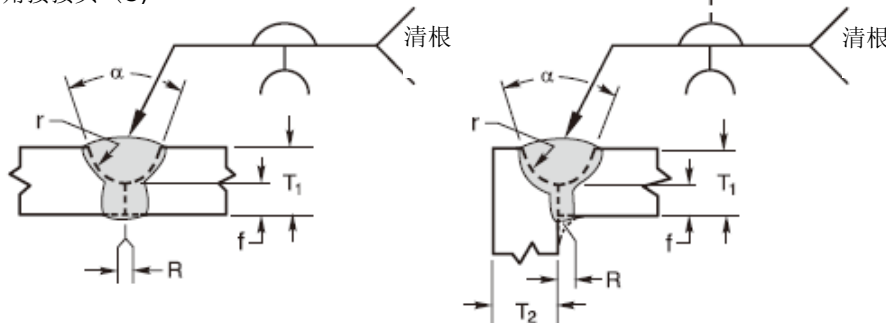
图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

单面 U 形坡口焊缝 (6)

对接接头 (B)

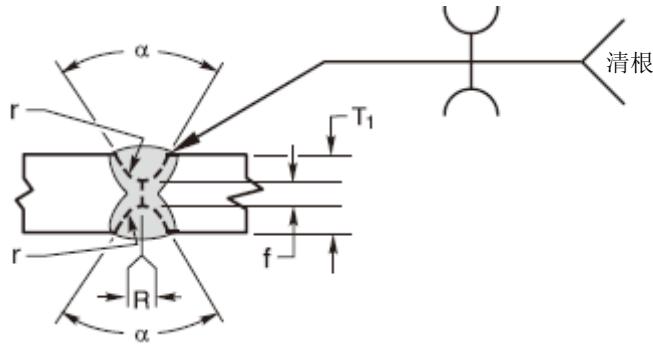
角接头 (C)



公差	
零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)
R = +1/16, -0	+1/16, -1/8
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = ±1/16	无限制
r = +1/8, -0	+1/8, -0

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备				允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	斜面半径			
SMAW	B-U6	U	—	R = 0 到 1/8	α = 45°	f = 1/8	r = 1/4	所有	—	d, e, j
				R = 0 到 1/8	α = 20°	f = 1/8	r = 1/4	F, OH	—	d, e, j
	C-U6	U	U	R = 0 到 1/8	α = 45°	f = 1/8	r = 1/4	所有	—	d, e, g, j
				R = 0 到 1/8	α = 20°	f = 1/8	r = 1/4	F, OH	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	B-U6-GF	U	—	R = 0 到 1/8	α = 20°	f = 1/8	r = 1/4	所有	不要求	a, d, j
	C-U6-GF	U	U	R = 0 到 1/8	α = 20°	f = 1/8	r = 1/4	所有	不要求	a, d, g, j

双面 U 形坡口焊缝 (7)
对接接头 (B)



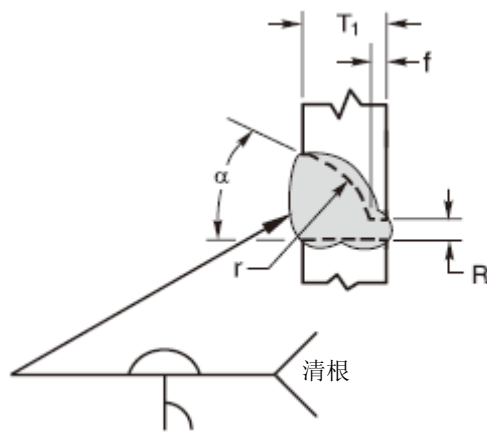
公差	
零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)
用于 B-U7 和 B-U7-GF	
$R = +1/16, -0$	$+1/16, -1/8$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +1/16, -0$	无限制
$r = +1/4, -0$	$\pm 1/16$
用于 B-U7-S	
$R = +0$	$+1/16, -0$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +0, -1/4$	$\pm 1/16$
$r = +1/4, -0$	$\pm 1/16$

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备				允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	斜面半径			
SMAW	B-U7	U	—	R = 0 到 1/8	$\alpha = 45^\circ$	f = 1/8	r = 1/4	所有	—	d, e, h, j
				R = 0 到 1/8	$\alpha = 20^\circ$	f = 1/8	r = 1/4	F, OH	—	d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U7-GF	U	—	R = 0 到 1/8	$\alpha = 20^\circ$	f = 1/8	r = 1/4	所有	不要求	a, d, j, h
SAW	B-U7-S	U	—	R = 0	$\alpha = 20^\circ$	f = 1/4 最大	r = 1/4	F	—	d, h, j

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

单面 J 形坡口焊缝 (8)
对接接头 (B)



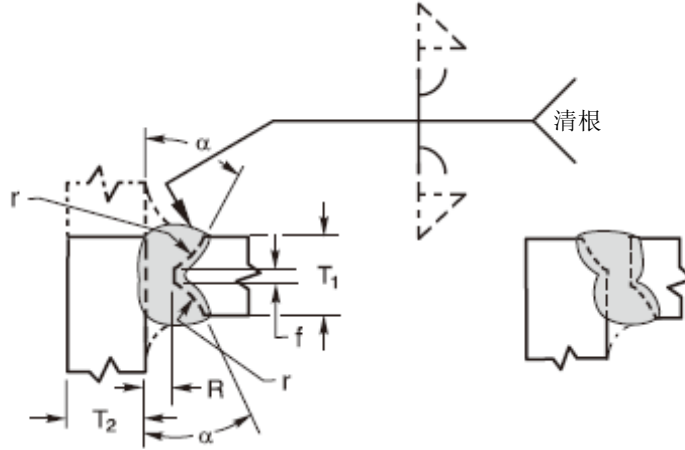
公差	
零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)
B-U8 和 B-U8-GF	
$R = +1/16, -0$	$+1/16, -1/8$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +1/8, -0$	无限制
$r = +1/4, -0$	$\pm 1/16$
B-U8-S	
$R = \pm 0$	$+1/4, -0$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +0, -1/8$	$\pm 1/16$
$r = +1/4, -0$	$\pm 1/16$

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备				允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	斜面半径			
SMAW	B-U8	U	—	R = 0 到 1/8	$\alpha = 45^\circ$	f = 1/8	r = 3/8	所有	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U8-GF	U	—	R = 0 到 1/8	$\alpha = 30^\circ$	f = 1/8	r = 3/8	所有	不要求	a, c, d, j
SAW	B-U8-S	U	—	R = 0	$\alpha = 45^\circ$	f = 1/4 最大	r = 3/8	F	—	c, d, j

双面 J 形坡口焊缝 (9)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



公差

零件图用
(见 3.13.1)零件图用
(见 3.13.1) $R = +1/16, -0$ $+1/16, -1/8$ $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$ $+10^\circ, -5^\circ$ $f = +1/16, -0$

无限制

 $r = 1/8, -0$ $\pm 1/16$

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备				允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	Bevel Radius			
SMAW	TC-U9a	U	U	R = 0 到 1/8	$\alpha = 45^\circ$	f = 1/8	r = 3/8	所有	—	d, e, g, h, j, k
				R = 0 到 1/8	$\alpha = 30^\circ$	f = 1/8	r = 3/8	F, OH	—	d, e, g, h, k
GMAW FCAW	TC-U9a-GF	U	U	R = 0 到 1/8	$\alpha = 30^\circ$	f = 1/8	r = 3/8	所有	不要求	a, d, g, h, j, k

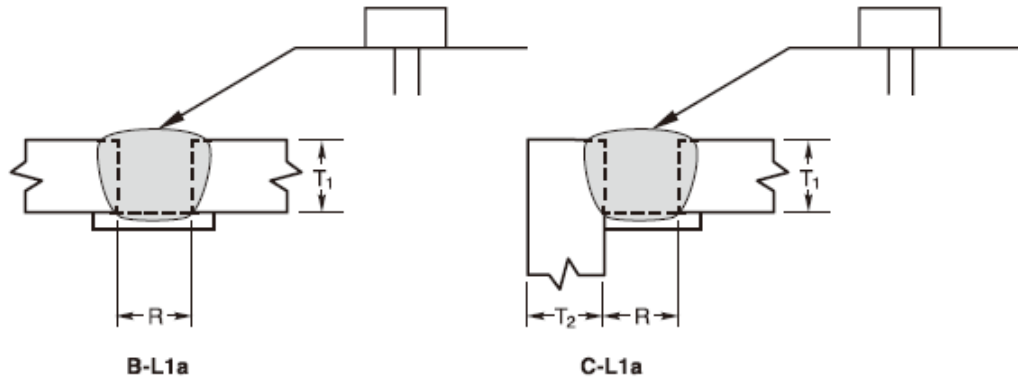
图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

方形坡口焊缝 (1)

对接接头 (B)

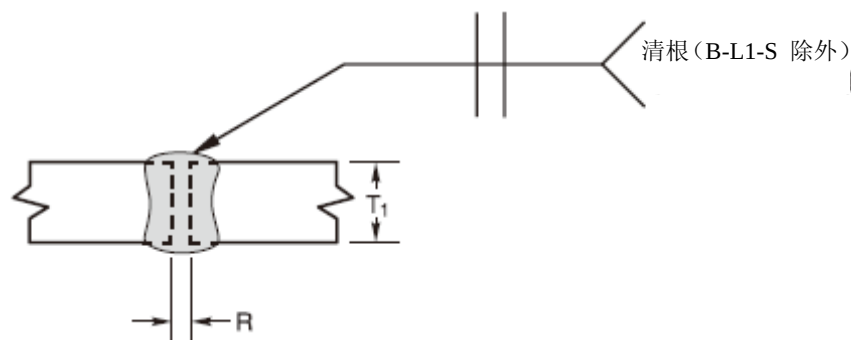
角接头 (C)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
				根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-L1a	6 最大	—	R = T1	+2, -0	+6, -2	所有	—	e, j
	C-L1a	6 最大	U	R = T1	+2, -0	+6, -2	所有	—	e, j
FCAW GMAW	B-L1a-GF	10 最大	—	R = T1	+2, -0	+6, -2	所有	不要求	a, j

方形坡口焊缝 (1)
对接接头 (B)



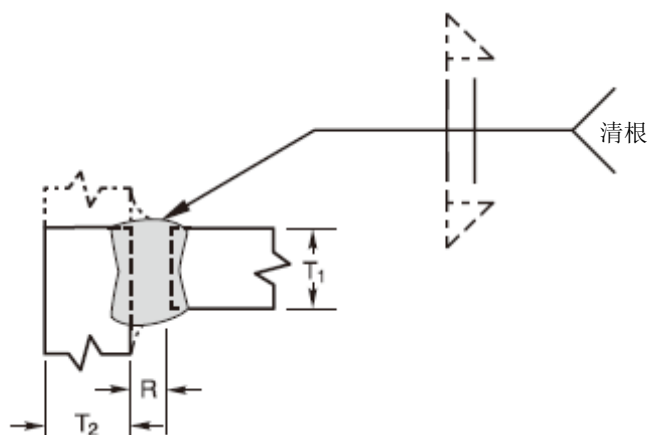
所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-L1b	6 最大	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, −0	+2, −3	所有	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-L1b-GF	10 最大	—	R = 0 到 3	+2, −0	+2, −3	所有	不要求	a, d, j
SAW	B-L1-S	10 最大	—	R = 0	±0	+2, −0	F	—	j
SAW	B-L1a-S	16 最大	—	R = 0	±0	+2, −0	F	—	d, j

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

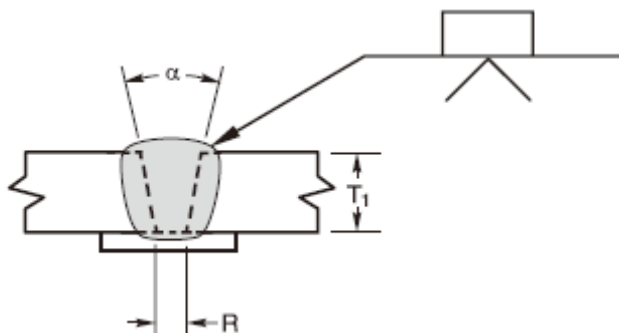
方形坡口焊缝 (1)
T 形接头 (T)
角接接头 (C)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	公差				
					零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)			
SMAW	TC-L1b	6 最大	U	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, −0	+2, −3	所有	—	d, e, g
GMAW FCAW	TC-L1-GF	10 最大	U	R = 0 到 3	+2, −0	+2, −3	所有	不要求	a, d, g
SAW	TC-L1-S	10 最大	U	R = 0	±0	+2, −0	F	—	d, g

对接接头 (B)



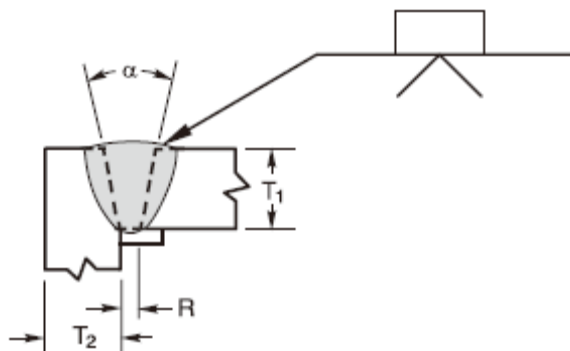
所有尺寸单位: mm

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

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	所有	—	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	要求进行	a, j
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	不要求	a, j
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	F, V, OH	不要求	a, j
SAW	B-L2a-S	50 最大	—	R = 6	$\alpha = 30^\circ$	F	—	j
SAW	B-U2-S	U	—	R = 16	$\alpha = 20^\circ$	F	—	j

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

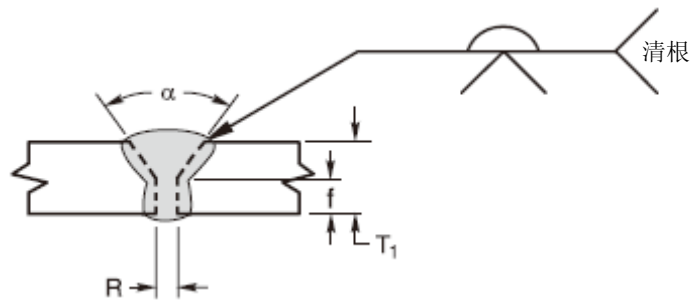
单面 V 形坡口焊缝 (2)
角接头 (C)

所有尺寸单位: mm

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

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	C-U2a	U	U	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	所有	—	e, j
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, j
				R = 12	$\alpha = 20^\circ$	F, V, OH	—	e, j
GMAW FCAW	C-U2a-GF	U	U	R = 5	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	要求进行	a
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	不要求	a, j
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	F, V, OH	不要求	a, j
SAW	C-L2a-S	50 最大	U	R = 6	$\alpha = 30^\circ$	F	—	j
SAW	C-U2-S	U	U	R = 16	$\alpha = 20^\circ$	F	—	j

单面 V 形坡口焊缝 (2)
对接接头 (B)



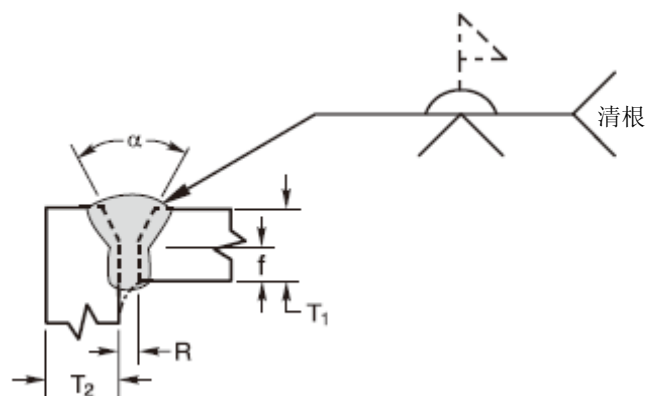
所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-U2	U	—	R = 0 到 3 f = 0 到 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 无限制 +10°, -5°	所有	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	—	R = 0 到 3 f = 0 到 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 无限制 +10°, -5°	所有	不要求	a, d, j
SAW	B-L2c-S	Over 12 到 25	—	R = 0 f = 6 最大 α = 60°	R = ±0 f = +0, -f α = +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	—	d, j
		Over 25 到 38	—	R = 0 f = 12 最大 α = 60°					
		Over 38 到 50	—	R = 0 f = 16 最大 α = 60°					

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

单面 V 形坡口焊缝 (2)
角接接头 (C)

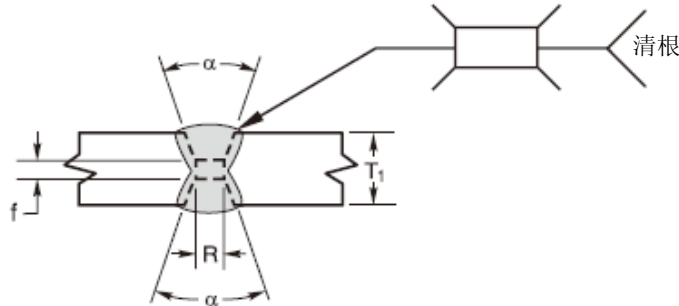


所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	C-U2	U	U	R = 0 到 3 f = 0 到 3	+2, -0 +2, -0	+2, -3 无限制	所有	—	d, e, g, j

				$\alpha = 60^\circ$	$+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$			
GMAW FCAW	C-U2-GF	U	U	$R = 0$ 到 3 $f = 0$ 到 3 $\alpha = 60^\circ$	$+2, -0$ $+2, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+2, -3$ 无限制 $+10^\circ, -5^\circ$	所有	不要求	a, d, g, j
SAW	C-U2b-S	U	U	$R = 0$ 到 3 $f = 6$ 最大 $\alpha = 60^\circ$	± 0 $+0, -6$ $+10^\circ, -0^\circ$	$+2, -0$ ± 2 $+10^\circ, -5^\circ$	F	—	d, g, j

双面 V 形坡口焊缝 (3)
对接接头 (B)



公差

零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)
$R = \pm 0$	$+6, -0$
$f = \pm 0$	$+2, -0$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

Spacer	SAW	± 0	$+2, -0$
	SMAW	± 0	$+3, -0$

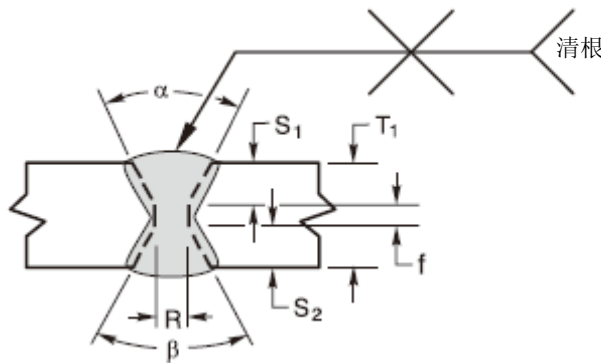
所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用 保护气体	注
		T_1	T_2	根部间隙	钝边	坡口角度			
SMAW	B-U3a	U 嵌条 = $1/8 \times R$	—	$R = 6$	$f = 0$ 到 3	$\alpha = 45^\circ$	所有	—	d, e, h, j
				$R = 10$	$f = 0$ 到 3	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	
				$R = 12$	$f = 0$ 到 3	$\alpha = 20^\circ$	F, V, OH	—	
SAW	B-U3a-S	U 嵌条 = $1/4 \times R$	—	$R = 16$	$f = 0$ 到 6	$\alpha = 20^\circ$	F	—	d, h, j

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

双面 V 形坡口焊缝 (3)
对接接头 (B)



仅用于 B-U3c-S

T1		S1
大于	小于等于	
50	60	35
60	80	45
80	90	55
90	100	60
100	120	70
120	140	80
140	160	95

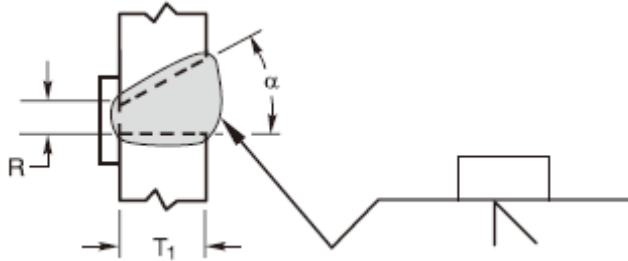
$T_1 > 160$ 或 $T_1 \leq 50$
 $S_1 = 2/3 (T_1 - 6)$

所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-U3b	U	—	R = 0 到 3 f = 0 到 3	+2, -0 +2, -0	+2, -3 无限制	所有	—	d, e, h, j
GMAW	B-U3-GF						所有	不要求	a, d, h, j

FCAW				$\alpha = \beta = 60^\circ$	$+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$			
SAW	B-U3c-S	U	—	$R = 0$	$+2, -0$	$+2, -0$	F	—	d, h, j
				$f = 6$ 最小	$+6, -0$	$+6, -0$			
				$\alpha = \beta = 60^\circ$	$+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$			
				S1 见上表: S2 = T1 - (S1 + f)					

单面削斜坡口焊缝 (4)
对接接头 (B)



公差

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

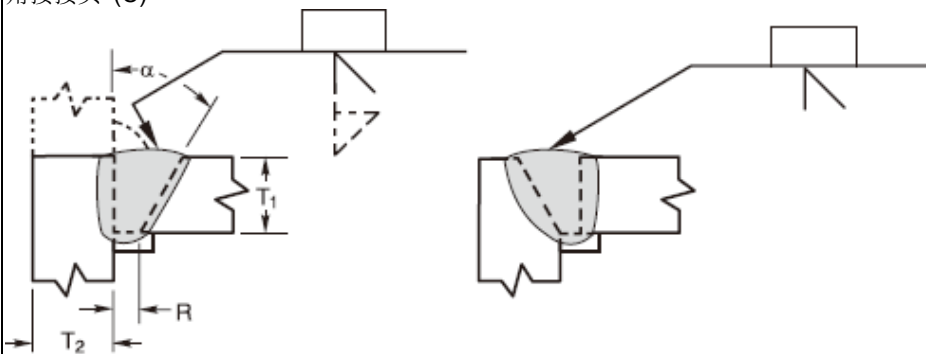
所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	B-U4a	U	—	$R = 6$	$\alpha = 45^\circ$	所有	—	c, e, j
				$R = 10$	$\alpha = 30^\circ$	所有	—	c, e, j
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	$R = 5$	$\alpha = 30^\circ$	所有	要求进行	a, c, j
				$R = 6$	$\alpha = 45^\circ$	所有	不要求	a, c, j
				$R = 10$	$\alpha = 30^\circ$	F, H	不要求	a, c, j
SAW	B-U4a-S	U	—	$R = 10$	$\alpha = 30^\circ$	F	—	c, j
				$R = 6$	$\alpha = 45^\circ$			

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

单面削斜坡口焊缝 (4)
T 形接头 (T)
角接头 (C)



公差

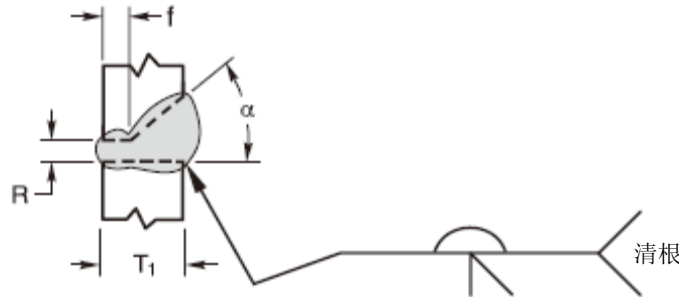
零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)
$R = +2, -0$	$+6, -2$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备		允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度			
SMAW	TC-U4a	U	U	$R = 6$	$\alpha = 45^\circ$	所有	—	e, g, j, k
				$R = 10$	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, g, j, k
GMAW	TC-U4a-GF	U	U	$R = 5$	$\alpha = 30^\circ$	所有	要求进行	a, g, j, k

FCAW				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F	不要求	a, g, j, k
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	所有	不要求	a, g, j, k
SAW	TC-U4a-S	U	U	R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F	—	g, j, k
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$			

单面削斜坡口焊缝 (4)
对接接头 (B)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注 T ₁
					公差				
		T ₁	T ₂		根部间隙	零件图用 (见 3.13.1)			
SMAW	B-U4b	U	—	R = 0 到 3 f = 0 到 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 无限制 10°, -5°	所有	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U4b-GF	U	—				所有	不要求	a, c, d, j
SAW	B-U4b-S	U	—	R = 0 f = 6 最大 α = 60°	±0 +0, -3 +10°, -0°	+6, -0 ±2 10°, -5°	F	—	c, d, j

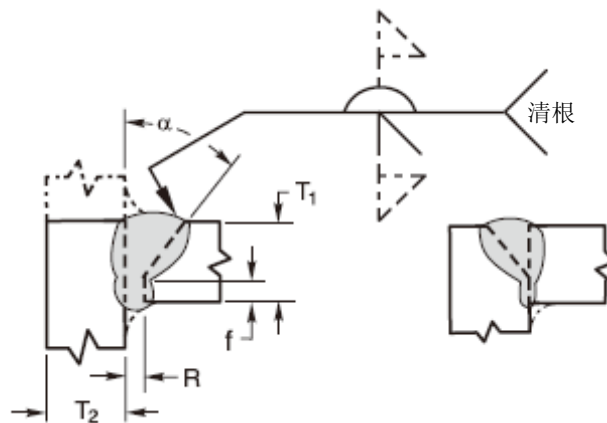
图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

单面削斜坡口焊缝 (4)

T 形接头 (T)

角接接头 (C)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0 到 3 f = 0 到 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 无限制 10°, -5°	所有	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	U	U				所有	不要求	a, d, g, j, k
SAW	TC-U4b-S	U	U	R = 0	±0	+6, -0	F	—	d, g, j, k

				$f = 6$ 最大 $\alpha = 60^\circ$	$+0, -3$ $+10^\circ, -0^\circ$	± 2 $10^\circ, -5^\circ$			

双面削斜坡口焊缝 (5)
对接接头 (B)
T 形接头 (T)

公差		
零件图用 (见 3.13.1)		零件图用 (见 3.13.1)
R = ±0		+6, −0
f = +2, −0		±2
α = +10°, −0°		+10°, −5°
嵌条	+2, −0	+3, −0

所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用 保护气体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	钝边	坡口角度			
SMAW	B-U5b	U 嵌条 = 1/8 × R	—	R = 6	f = 0 到 3	α = 45°	所有	—	c, d, e, h, j
	TC-U5a	U 嵌条 = 1/4 × R	U	R = 6	f = 0 到 3	α = 45°	所有	—	d, e, g, h, j, k
				R = 10	f = 0 到 3	α = 30°	F, OH	—	d, e, g, h, j, k

图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

双面削斜坡口焊缝 (5)
对接接头 (B)

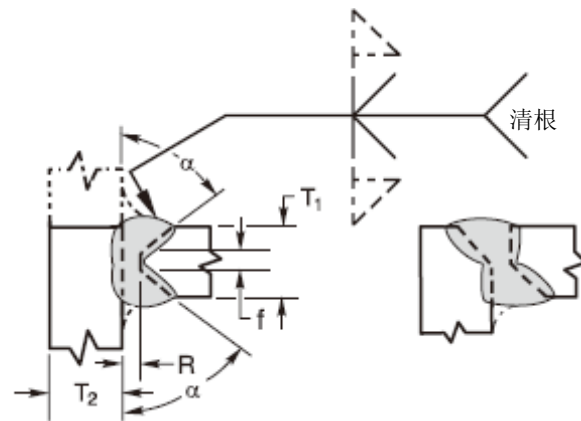
所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接位置	FCAW 用保护气体	注			
		T ₁	T ₂	根部间隙 钝边 坡口角度	公差							
					零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)						
SMAW	B-U5a	U	—	R = 0 到 3 f = 0 到 3 $\alpha = 45^\circ$ $\beta = 0^\circ$ 到 15°	+2, -0 +2, -0 $\alpha + \beta = +10^\circ, -0^\circ$	+2, -3 无限制 $\alpha + \beta = +10^\circ, -5^\circ$	所有	—	c, d, e, h, j			
GMAW FCAW	B-U5-GF	U	—	R = 0 到 3 f = 0 到 3 $\alpha = 45^\circ$ $\beta = 0^\circ$ 到 15°	+2, -0 +2, -0 $\alpha + \beta = +10^\circ, -0^\circ$	+2, -3 无限制 $\alpha + \beta = +10^\circ, -5^\circ$	所有	不要求	a, c, d, h, j			

双面斜斜坡口焊缝 (5)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备			允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
				根部间隙 钝边 坡口角度	公差				
		T ₁	T ₂		零件图用 (见 3.13.1)	装配用 (见 3.13.1)			
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0 到 3 f = 0 到 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 无限制 +10°, -5°	所有	—	d, e, g, h, j, k
GMAW FCAW	TC-U5-GF	U	U				所有	不要求	a, d, g, h, j, k
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0 f = 6 最大 α = 60°	±0 +0, -5 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	—	d, g, h, j, k

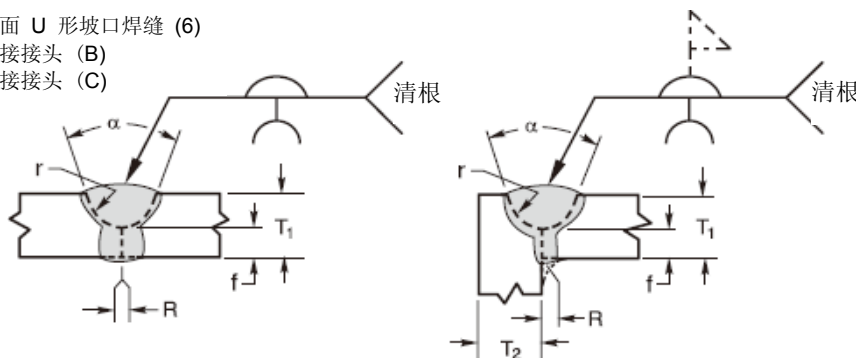
图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)

见 77 页注

单面 U 形坡口焊缝 (6)

对接接头 (B)

角接头 (C)



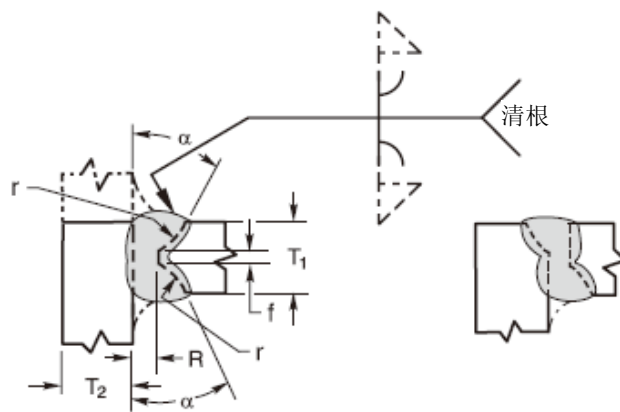
所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备				允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	斜面半径			
SMAW	B-U6	U	—	R = 0 到 3	α = 45°	f = 3	r = 6	所有	—	d, e, j
				R = 0 到 3	α = 20°	f = 3	r = 6	F, OH	—	d, e, j
	C-U6	U	U	R = 0 到 3	α = 45°	f = 3	r = 6	所有	—	d, e, g, j
				R = 0 到 3	α = 20°	f = 3	r = 6	F, OH	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	B-U6-GF	U	—	R = 0 到 3	α = 20°	f = 3	r = 6	所有	不要求	a, d, j
	C-U6-GF	U	U	R = 0 到 3	α = 20°	f = 3	r = 6	所有	不要求	a, d, g, j

双面 J 形坡口焊缝 (9)

T 形接头 (T)

角接头 (C)



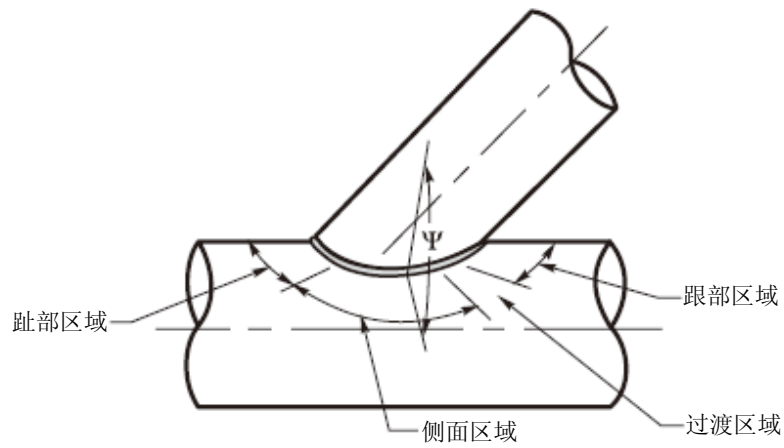
公差

零件图用 (见 3.13.1)	零件图用 (见 3.13.1)
$R = +2, -0$	$+2, -3$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +2, -0$	无限制
$r = 3, -0$	± 2

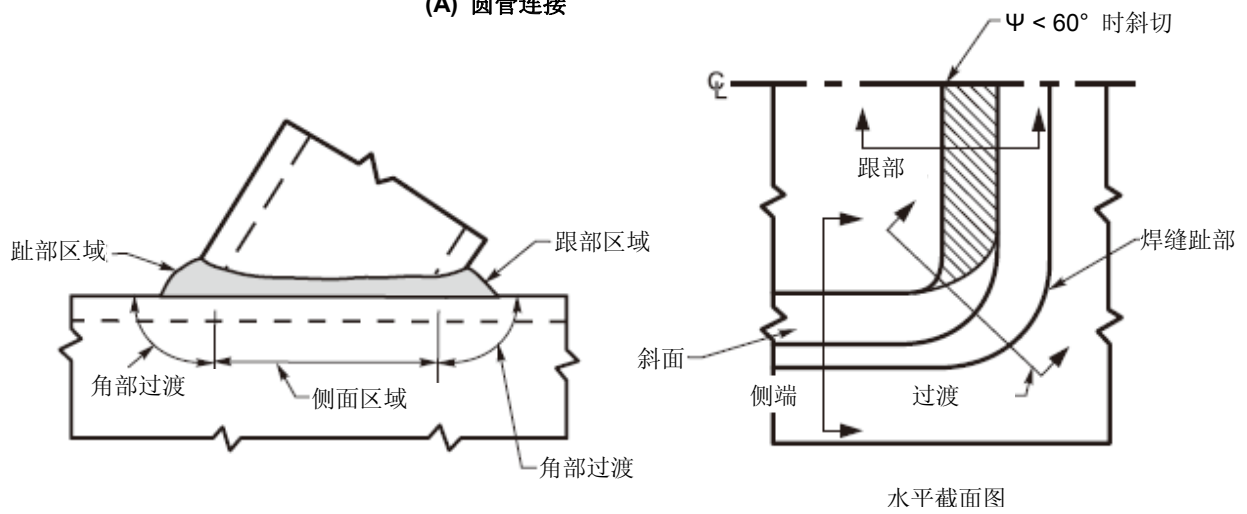
所有尺寸单位: mm

焊接方法	接头标号	母材厚度 (U = 无限制)		坡口准备				允许的焊接 位置	FCAW 用保护气 体	注
		T ₁	T ₂	根部间隙	坡口角度	钝边	斜面半径			
SMAW	TC-U9a	U	U	R = 0 到 3	$\alpha = 45^\circ$	f = 3	r = 10	所有	—	d, e, g, h, j, k
				R = 0 到 3	$\alpha = 30^\circ$	f = 3	r = 10	F, OH	—	d, e, g, h, j, k
GMAW FCAW	TC-U9a-GF	U	U	R = 0 到 3	$\alpha = 30^\circ$	f = 3	r = 10	所有	不要求	a, d, g, h, j, k

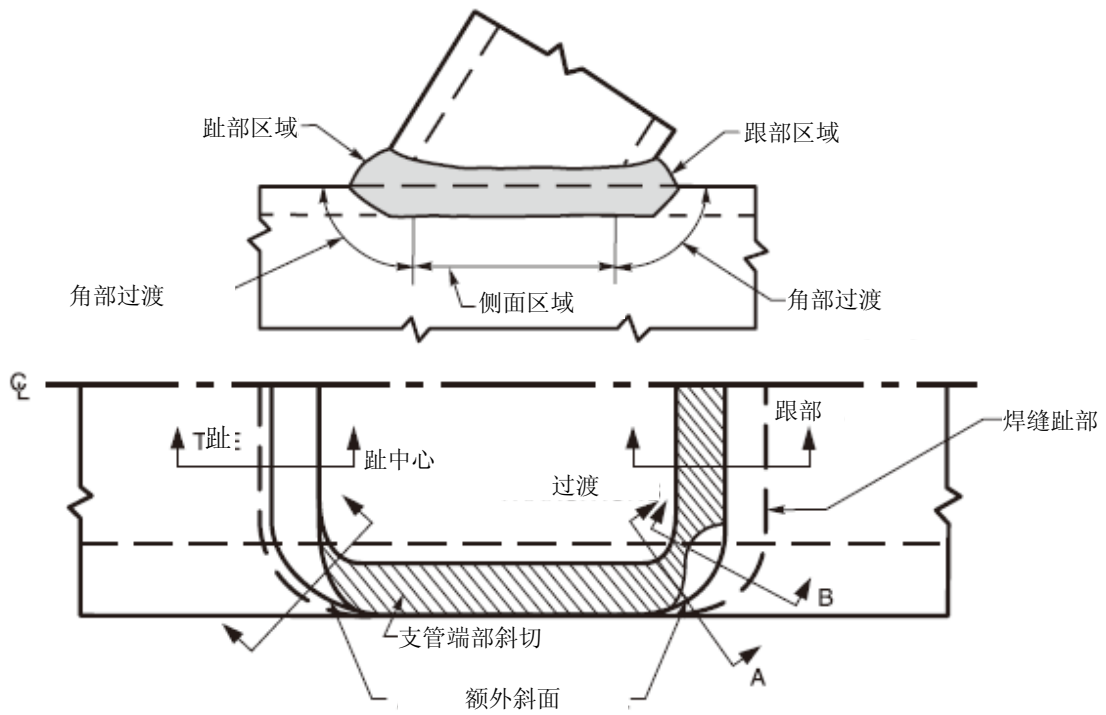
图 3.4 (续) — 免除评定的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的接头细节 (见 3.13) (单位为英寸)



(A) 圆管连接



(B) 方管连接截面图



(C) 相配的方管连接

图 3.5— 免除评定的管材 T、Y 和 K 形节点的部分熔透 (PJP) 接头详细要求 (见 3.12.4)

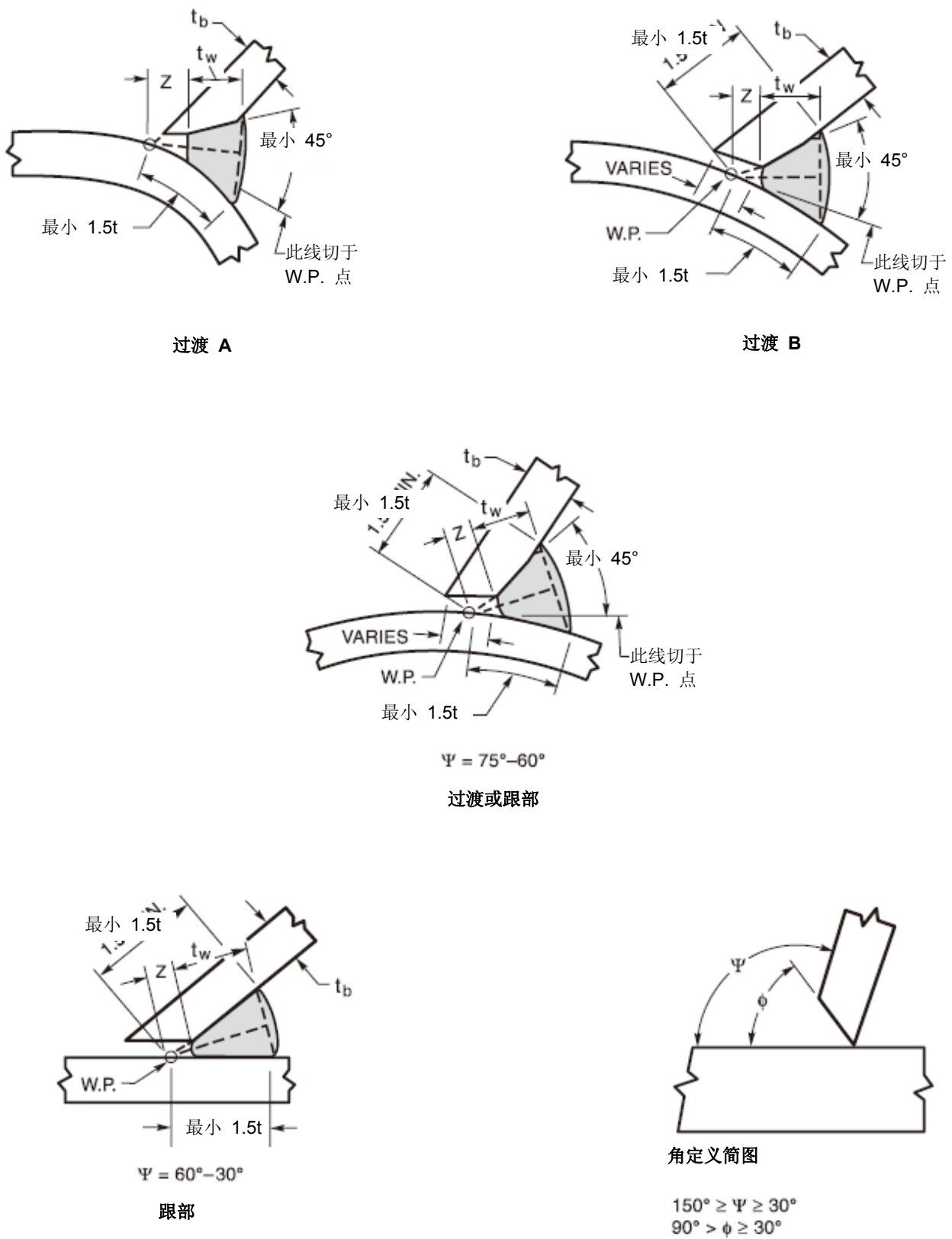
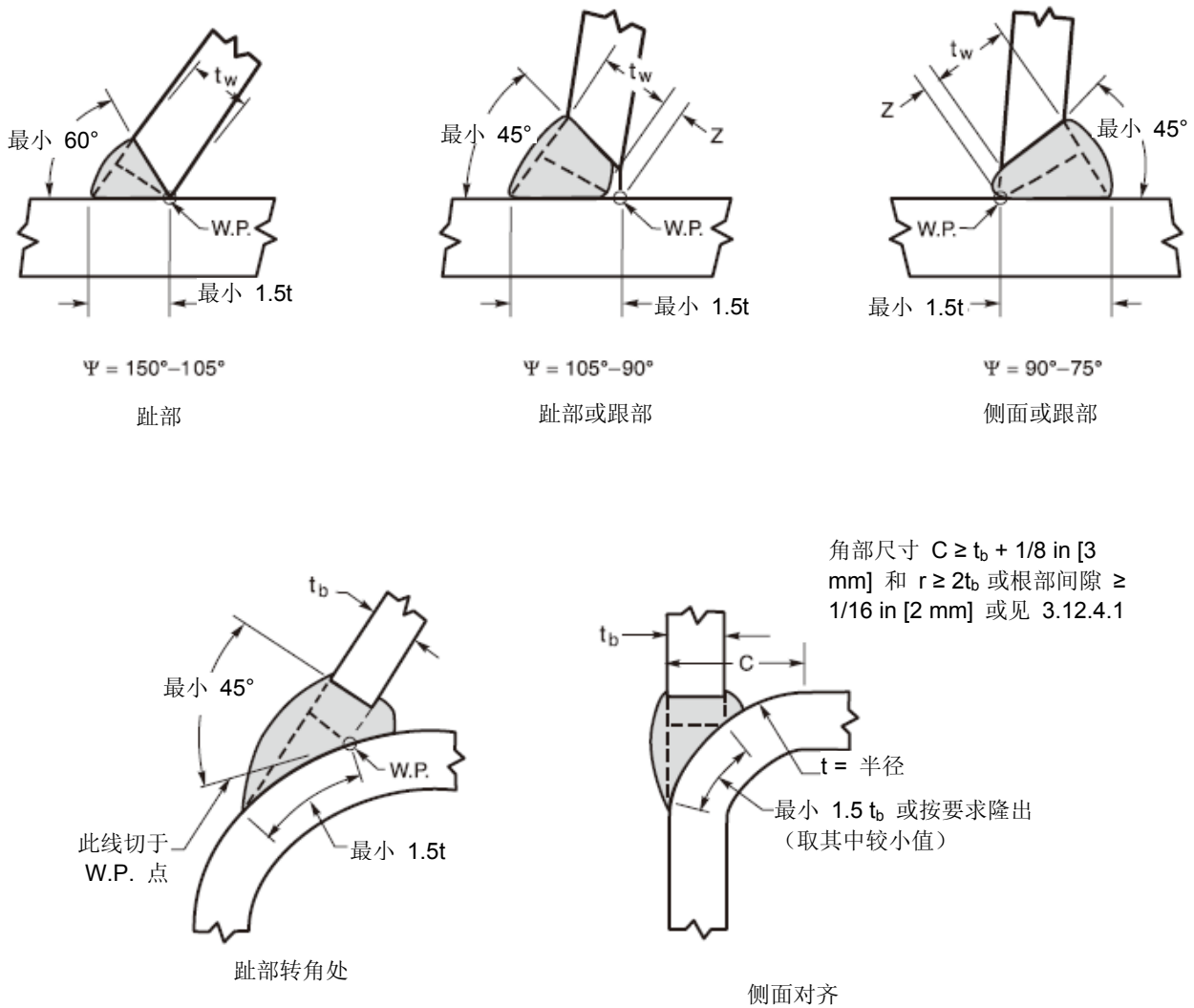


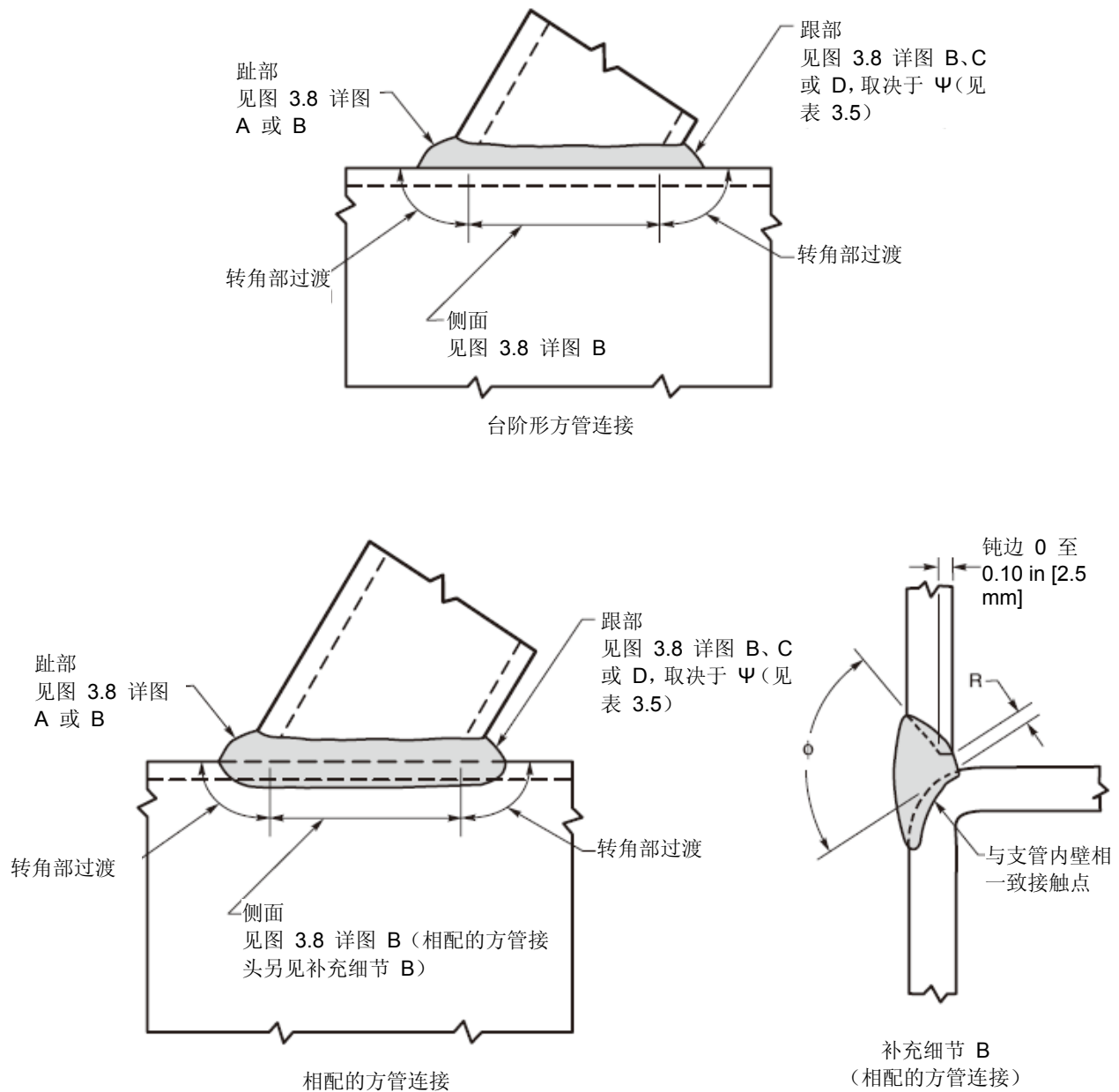
图 3.5 (续) — 免除评定的管材 T、Y 和 K 形节点的部分熔透接头 (PJP) 详细要求 (见 3.12.4)



注:

1. t = 较薄截面厚度。
2. 除过渡区域或跟部区外，其余部位削斜到边缘。
3. 根部间隙: 0 in 至 $3/16$ in [5 mm]。
4. 30° 以下不免除评定。
5. 焊缝尺寸 (有效焊缝厚度) $tw \geq t$; Z 折减尺寸如表 2.9 所示。
6. 如图示，焊脚尺寸小于 $1.5t$ 时，必须按 2.25.1.3 计算。
7. 方管截面角部过渡区的接头制备必须作成从一零件光滑过渡到另一零件。所有焊缝的起点与终点都要在平坦部位，转角部位必须连续焊接，且焊缝必须饱满。
8. 局部二面角 Ψ 的定义见附录 K。
9. W.P. = 着力点。

图 3.5 (续) — 免除评定的管材 T, Y 和 K 形节点的部分熔透接头 (PJP) 详细要求 (见 3.12.4)



注:

1. 图 3.8 的详图 A、B、C、D 和表 3.6 的所有注释均适用于本图。
2. 转角部焊缝的接头制备必须作成从一零件光滑过渡到另一零件。焊接所有焊接电弧的起点与终点都要在平坦部位，转角部位必须连续焊接，且焊缝必须饱满。
3. 对应于板厚的相关要求参见图 3.8，包括图 3.9 和 3.10（见 2.21.6.7）。

图 3.6 — 免除评定的管材 T、Y 和 K 形节点的 CJP 详细要求（见 3.13.5）

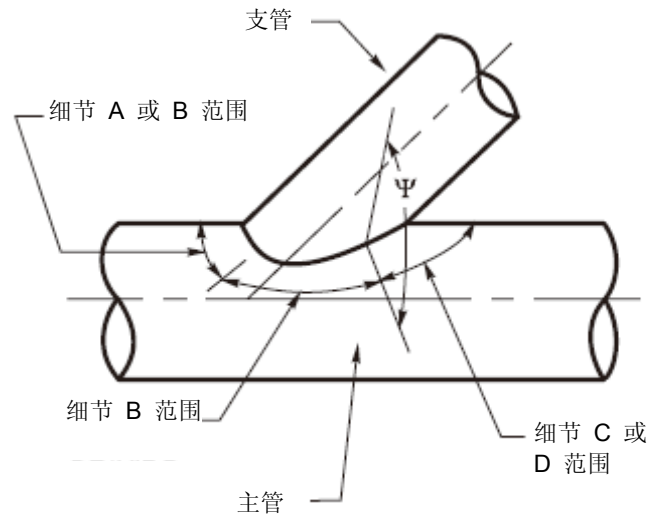
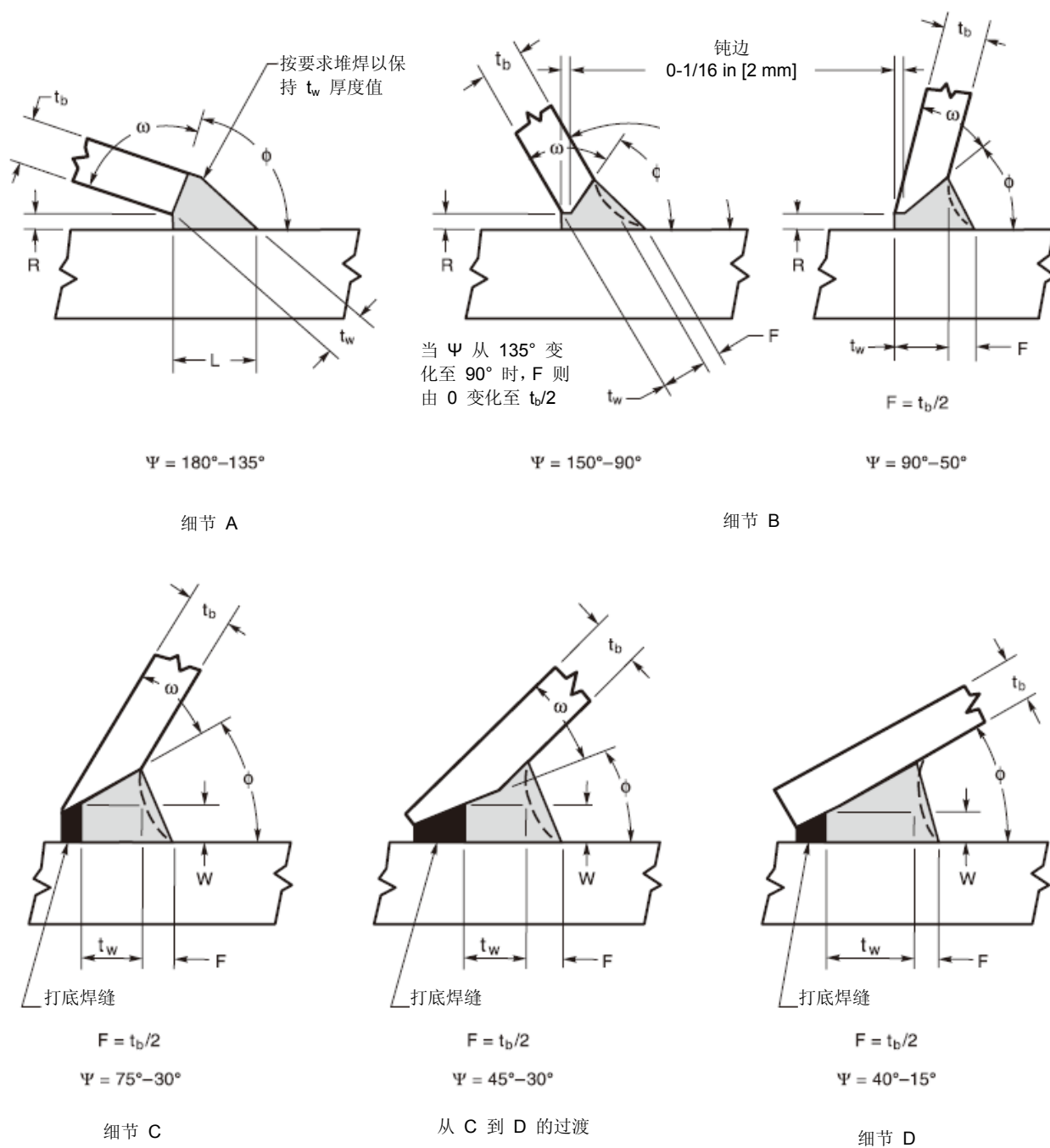


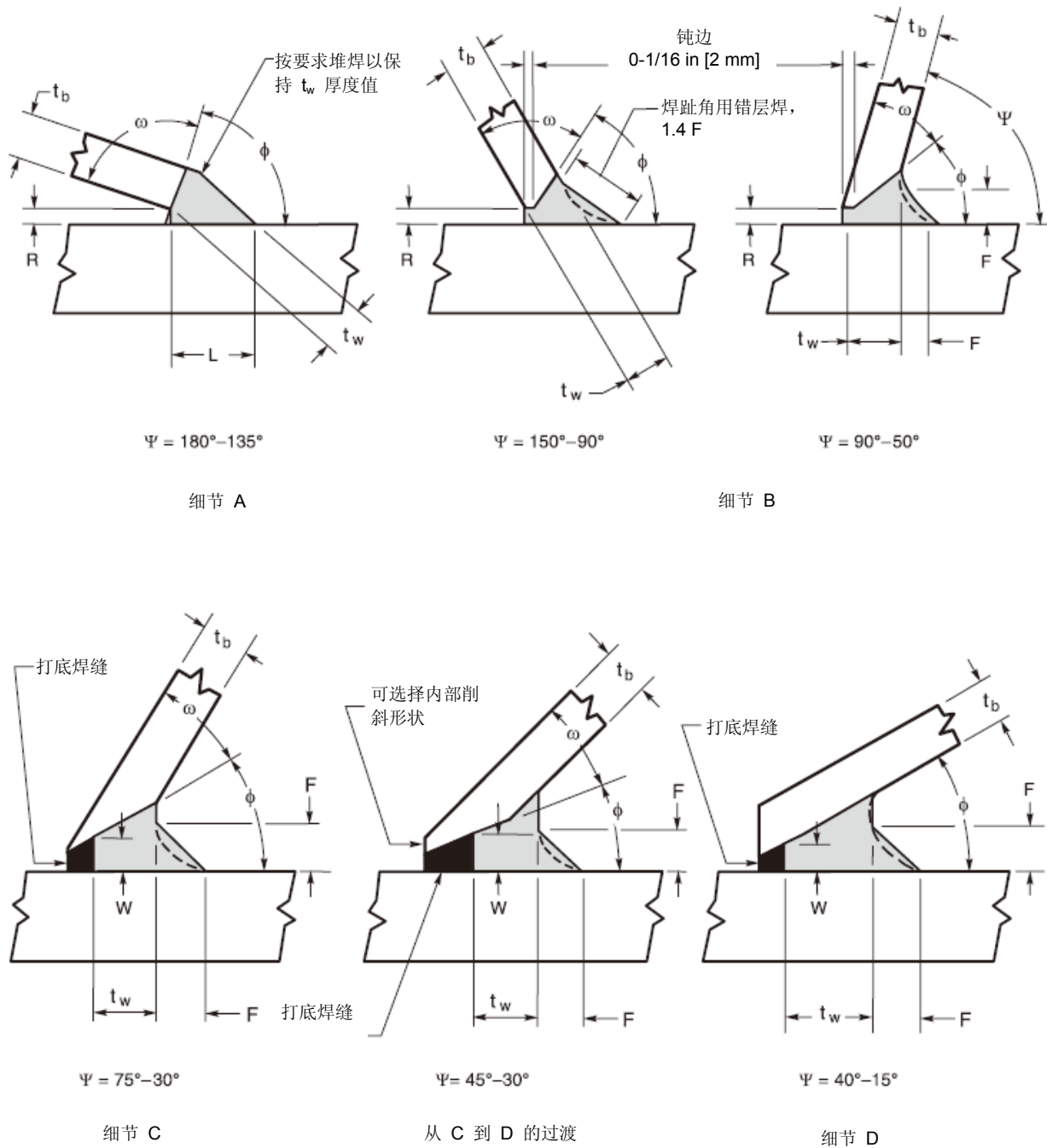
图 3.7 — 免除评定的 T, Y 和 K 形管材节点的 CJP 定义和细节选择 (见 3.13.5 和表 3.5)



注:

1. 尺寸 t_w 、 L 、 R 、 W 、 ω 、 ϕ , 见表 3.6。
2. 最小标准平直状焊缝剖面形状如实线所示。
3. 虚线所示的下凹状剖面形状也可采用。
4. 焊缝隆起, 焊瘤等按 5.24 的要求处理。
5. 支管厚度 t_b 必须符合 2.21.6.7 的限定。

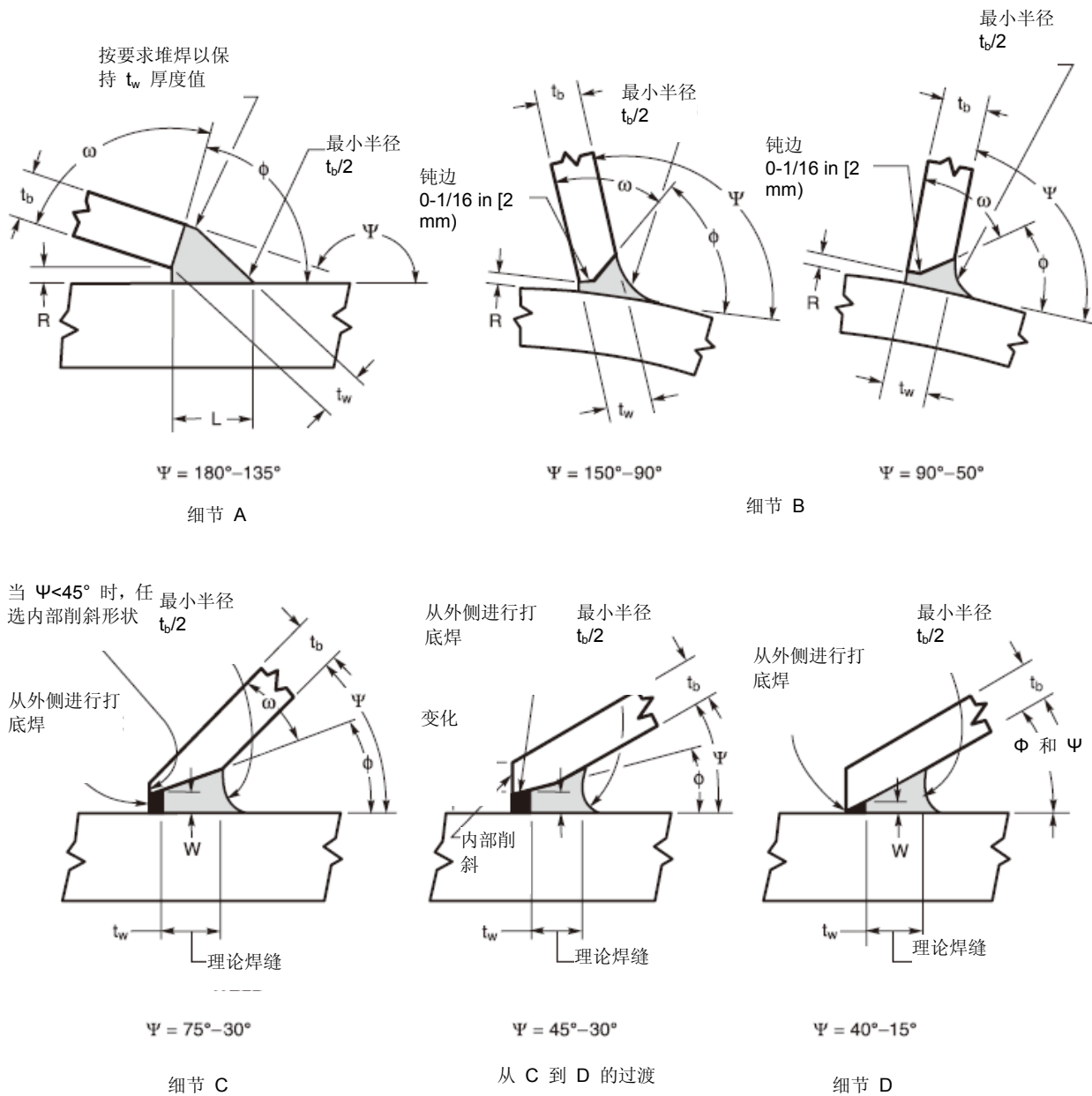
图 3.8 — 管材 T、Y 和 K 形节点的 CJP 焊缝的免除评定细节 — 有限厚度的标准平面状剖面形状 (见 3.13.5)



注:

1. 简图说明了趾部具有角焊缝的可选用的标准剖面形状。
2. 厚度 t_b 的适用范围见 2.21.6.7。
3. 最小角焊缝尺寸 $F = t_b/2$, 同时要符合表 5.8 的限定。
4. 尺寸 t_w 、 L 、 R 、 W 、 ω 、 ϕ , 见表 3.6。
5. 焊缝凸度和焊瘤按 5.24 的要求处理。
6. 虚线所示的下凹状剖面形状也可采用。

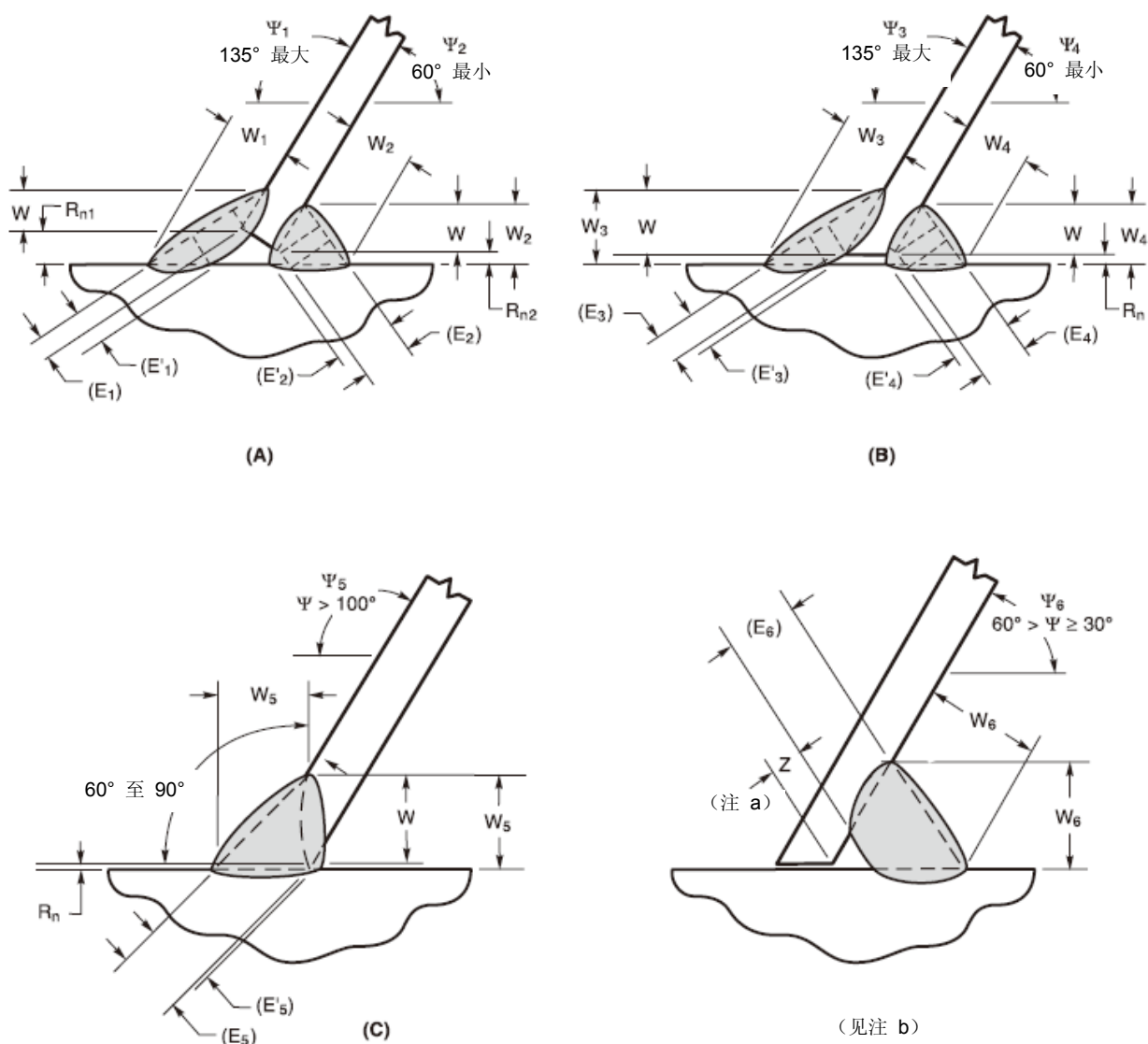
图 3.9 — 管材 T、Y 和 K 形节点的 CJP 焊缝的免除评定细节 — 中等厚度有趾部角焊缝的剖面形状 (见 3.13.5)



注:

1. 本图说明了如 2.21.6.6 (1) 的焊态的和 2.21.6.6 (2) 对焊缝充分打磨后的已改善的焊缝剖面形状。
2. 对厚截面或用于重要的疲劳状态时的要求, 见 2.21.6.7。
3. 尺寸 t_b 、 L 、 R 、 W 、 ω 、 ϕ , 见表 3.6。

图 3.10 — 管材 T、Y 和 K 形节点的 CJP 焊缝的免除评定细节 — 对厚截面或有疲劳要求时改善的下凹形剖面形状 (见 3.13.5)



^a 详图 (D)。采用表 2.2 的折减尺寸 Z ，以确定有效焊缝厚度。

^b 当角度小于 30° 时，详图 (D) 不得免除评定。焊工的资格评定，见表 4.10。

注：

1. (E_n) , (E'_n) = 有效焊缝厚度，取决于根部间隙数值 (R_n) （见 5.22.1）。 (n) 分别代表 1 至 5。
2. t = 较薄件厚度。
3. GMAW-S 或 GTAW 不免除评定。

图 3.11 — 免除评定的斜 T 形接头细节（非管材）（见 3.9.3）

4. 评定

4.1 范围

焊接工艺规程 (WPS) 和焊接人员资格的评定试验要求如下:

A 部分 — 通用要求。这一部分包括 WPS 和焊接人员资格这两部分的通用要求。

B 部分 — 焊接工艺规程 (WPS)。这一部分包括焊接工艺规程 (WPS) 的评定, 而不按第 3 章中对 WPS 进行的免除评定分类。

C 部分 — 资格评定。这一部分包括按规范要求进行的资格评定试验, 以确定焊工、焊机操作工或定位焊工加工完好焊缝的能力。

D 部分 — CVN 试验要求。这一部分包括合同文件中所规定的 CVN 试验的通用要求和程序。

A 部分 通用要求

4.2 概述

本章阐述了焊接工艺规程 (WPS) 和焊接人员 (定义为焊工、焊机操作工和定位焊工) 资格的评定试验要求。

4.2.1 焊接工艺规程 (WPS)。除了符合第 3 章免除评定的 WPS 之外, 产品焊接所用的 WPS 必须按第 4 章 B 部份进行评定。以前的 WPS 评定有正式的文件证实可予以采用。

4.2.1.1 评定责任。每一制造商或承包商必须进行本规范要求的试验以评定 WPS。一个公司根据本规范的条款评定 WPS 并已形成适当文件, 当后来由于自愿或与母公司合并而更名, 则在 WPS 文件中可以应用新的名称, 而用老的公司名称继续保持该评定 PQR 记录。

4.2.1.2 按其他标准的 WPS 评定。按其他标准所进行的评定合格与否系工程师的责任, 要根据特定的结构或工作条件或同时考虑两者而履行。如此, 则关于标准焊接工艺规程的 AWS B2.1-X-XXX 系列可以被接受而用于本规范。

4.2.1.3 CVN 试验要求。如合同文件要求, 则 CVN 试验必须将其包括在 WPS 评定中。CVN 试验、要求和程序必须符合本章 D 部分, 或合同文件的规定。

4.2.2 焊接人员的资格评定。按本规范要求雇用的焊工、焊机操作工和定位焊工, 并且使用弧保护焊接 SMAW、SAW、GMAW、GTAW、FCAW、ESW 或 EGW 方法, 必须为已按本章 C 部分所述用适当试验通过了资格评定的人员 (见条文说明)。

4.2.2.1 以前的资格评定。经过工程师同意, 已有适当文件证实以前已通过资格评定试验的焊工、自动焊工和定位焊工可以承认。按其他标准进行资格评定, 是工程师的责任, 要根据特定的结构或工作条件或同时考虑两者而履行。

4.2.2.2 评定责任。不论焊工、焊机操作工和定位焊工的资格评定是由制造商、承包商还是由一独立试验机构执行, 每一制造商或承包商都必须对此评定负责。

4.2.3 有效期

4.2.3.1 焊工和焊机操作工。按本规范规定所作的焊工和焊机操作工的评定必须被视为无限期有效，但有下列情况之一则失效：(1) 该焊工或焊机操作工停止其已获资格评定焊接方法的操作达 6 个月以上；或 (2) 因一些特定理由而对该焊工或焊机操作工的能力产生疑问（见 4.33.1）。

4.2.3.2 定位焊工。定位焊工如果通过了 C 部分所述的考核或通过了焊工评定所要求的考核，则必须认为其在已评定考核的位置和方法上能够无限期合格地进行定位焊操作，除非因一些特定理由对该定位焊工的能力产生怀疑（见 4.33.2）。。

4.3 WPS 评定和焊接人员资格评定的通用要求

4.3.1 按早期版本的评定。执行并符合当时有效的 AWS D1.1 或 AWS D1.0 或 AWS D2.0 的较早版本的要求的评定仍然有效，并可使用。严禁使用较早版本代替现行版本进行新的评定，合同规定采用较早版本的情况除外。

4.3.2 时效。如用于评定试验的焊缝金属所对应的填充金属技术条件获得许可，则完全焊好的评定试验的试样可作 200°F 至 220°F [95°C 至 105°C]、48 ± 2 小时的时效处理。

4.3.3 记录。试验结果的记录必须由制造商或承包商保存，并必须具备授权机构的检查使用。

4.3.4 焊缝位置。按图 4.1 和 4.2 所示，所有焊缝必须分类为：平焊缝 (F)，横焊缝 (H)，立焊缝 (V) 和仰焊缝 (OH)。

试验组装件位置如下：

- (1) 图 4.3（板材坡口焊缝）
- (2) 图 4.4（管材坡口焊缝）
- (3) 图 4.5（板材角焊缝）
- (4) 图 4.6（管材角焊缝）

B 部分 焊接工艺规程 (WPS)

4.4 评定覆盖的产品焊接位置

由 WPS 评定覆盖的产品焊接位置必须符合表 4.1 的要求。

4.5 评定试验的类型

对于给定厚度、给定直径、或两者均给定情况下，为评定一种 WPS 而要求的试验类型和数量必须符合表 4.2 (CJP)、表 4.3 (PJP) 或表 4.4 (角焊缝) 的规定。各无损检测 (NDT) 和力学性能试验的详细要求见下述各小节：

- (1) 目视检查（见 4.9.1）
- (2) 无损检测 (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) 缩减断面拉伸（见 4.9.3.4）
- (5) 全焊缝金属拉伸（见 4.9.3.6）
- (6) 宏观腐蚀（见 4.9.4）

4.6 WPS 评定的焊缝类型

为了进行 WPS 评定，焊缝类型必须作如下分类：

- (1) 非管材连接的 CJP 坡口焊缝（见 4.10）
- (2) 非管材连接的 PJP 坡口焊缝（见 4.11）
- (3) 管材和非管材连接的角焊缝（见 4.12）
- (4) 管材连接的 CJP 坡口焊缝（见 4.13）
- (5) 管材 T、Y 和 K 形节点和对接接头的 PJP 坡口焊缝（见 4.14）
- (6) 管材和非管材连接的塞焊缝和槽焊缝（见 4.15）

4.7 WPS 准备

制造商或承包商必须准备一份书面的 WPS，其中规定如 4.8 所述的所有基本参数。这些 WPS 参数的规定值必须来自工艺评定记录 (PQR)，此记录乃是成功进行 WPS 评定的书面证据。

4.8 基本参数

4.8.1 SMAW、SAW、GMAW、GTAW 和 FCAW。基本参数的变化如超出表 4.5 和表 4.6（当规定进行 CVN 试验时）中 SMAW、SAW、GMAW、GTAW 和 FCAW 等焊接方法的 PQR 的限制，则必须对 WPS 重作评定（见 4.2.1.3）。

4.8.2 ESW 和 EGW。表 4.7 列出了 EGW 和 ESW 方法需要重作 WPS 评定的 PQR 基本参数改变的范围。

4.8.3 母材评定。采用表 3.1 的母材作所要求的 WPS 评定，其覆盖了表 4.8 规定范围的其他组别母材。采用未列于表 3.1 或表 4.9 的母材的 WPS 必须按第 4 章要求进行评定。使用未列入的母材必须得到工程师的批准。

使用表 4.9 中的钢材的 WPS 必须认为它也覆盖符合表 4.8 规定的表 3.1 或表 4.9 的钢材。表 4.9 包括对 ASTM A514, A517, A709 的 100 和 100W 级钢、ASTM A710 A 级等级 1 和 3) 钢，以及 ASTM A 871 60 和 65 级钢的强度匹配的填充金属的推荐，以及对最低预热和道间温度的推荐。

4.8.4 预热和道间温度。最低预热和道间温度应在表 3.1 所示钢材成份的基础上确定。另外，诸如附录 I 所提供的、认可的推算或指导的方法或其他方法可以采用。如果工程师批准，并经 WPS 试验评定，则低于表 3.2 所要求的、或低于按附录 I 计算的预热和道间温度，也可以采用。

附录 I 的方法建立在试验室裂纹试验的基础上，且推算的预热温度可能高于表 3.2 所示的最低预热温度。在那些由于化学成份、拘束、含氢水平或低的焊接热输入而增加裂纹危险性，从而可能值得使用较高预热温度的场合，附录 I 可能是有价值的。另外，附录 I 可能有助于划定这样的条件，即在这种条件下氢裂纹不大可能发生，以及表 3.2 的最低要求可以安全地放松。

4.9 评定 WPS 的试验方法和合格判据

符合 4.9.2 要求焊成的试验组装件必须按照图 4.7 至 4.11 中适用的图形将试板、试管进行切割加工而制备试样。试样必须按图 4.12、4.13、4.14 和 4.18 中的适用要求制备以提供试验。

4.9.1 焊缝的目检。坡口焊缝和角焊缝（不包括引弧板）的评定，其目检合格的鉴定必须符合以下适用的要求：

4.9.1.1 坡口焊缝的目检。坡口焊缝必须符合以下要求：

- (1) 不论裂纹的尺寸大小如何，任何裂纹都不合格。
- (2) 所有弧坑必须填满至焊缝的整个横截面。
- (3) 焊缝的余高严禁超过 $1/8\text{in.}[3\text{mm}]$ 。焊缝的剖面形状必须符合图 5.4 的要求，且必须完全熔合。
- (4) 咬边严禁超过 $1/32\text{ in }[1\text{ mm}]$ 。
- (5) 必须检查 CJP 坡口焊缝的根部，严禁有任何裂纹、不完全熔合，或不充分熔透。
- (6) 对于不用衬垫并仅从一面焊接的 CJP 坡口焊缝，根部的凹陷或熔塌必须符合下述要求：
 - (a) 如果总焊缝厚度等于或大于母材，则允许的最大根部凹陷为 $1/16\text{ in }[2\text{ mm}]$ 。
 - (b) 除管材的 T、Y 和 K 形节点的熔穿不作限制外，允许的最大熔塌为 $1/8\text{in.}[3\text{mm}]$ 。

4.9.1.2 角焊缝的目检。角焊缝必须符合以下要求：

- (1) 不论裂纹的尺寸大小如何，任何裂纹都不合格。
- (2) 所有弧坑必须填满至焊缝的整个横截面。
- (3) 角焊缝的焊脚尺寸严禁小于所要求的焊脚尺寸。
- (4) 焊缝的剖面形状必须符合图 5.4 的要求。
- (5) 母材的咬边严禁超过 $1/32\text{ in }[1\text{ mm}]$ 。

4.9.2 NDT。制备力学试验的试样以前，必须对评定试验的试板、试管作无损检测以证实焊缝完好，要求如下：

4.9.2.1 RT 或 UT。进行射线检测 (RT) 或超声波检测 (UT) 。必须按第 6 章 E 或 F 部分对试板中整个焊缝长度作检查，每一端弃去的长度除外；而对试管，则必须按第 6 章，C 部分检测已完工的整个环焊缝周长。

4.9.2.2 RT 或 UT 合格判据。经 RT 和 UT 检测后，评定合格的焊缝必须符合第 6 章 C 部分的要求。

4.9.3 力学试验。力学试验要求应如下所述：

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 4.12，侧面弯曲试样见图 4.13）。每一试样必须置于弯曲试验夹具中进行弯曲，夹具需符合图 4.15 至 4.17 所示的要求，或者实际上符合该图要求，而最大弯曲半径不得超过规定。可用任何方便的方法使压头向夹具模腔中压下。

必须将试样放于夹具的模腔之上，焊缝置于模腔跨距中点。放置正面弯曲试样必须使焊缝正面朝向模腔豁口。根部弯曲试样和角焊缝致密性试样则使焊缝根部朝向模腔豁口。而侧面弯曲试样必须将试样显示较大缺陷（如果有缺陷的话）的侧面朝向模腔豁口。

必须使压头对试样加力使其进入模腔，直至变成 U 形。试验后，焊缝和热影响区必须在试样居中部位且完全在试样弯曲区内。当用卷弯夹具试验时，必须夹紧试样一端使其在弯

曲时不致滑动。试验后，焊缝和热影响区必须完全在试样弯曲区内。必须在外滚筒从起点移动 180° 后才能从夹具中取出试样。

4.9.3.2 纵向弯曲试样。当结合的材料在力学弯曲性能上明显不同，例如两种母材之间或母材与焊缝金属之间存在这种明显差异时，可用纵向弯曲试验（面弯和根弯）代替横向的面弯和根弯试验。符合 4.9.2 要求焊成的试验组装件必须按照图 4.10 至 4.11 中适用情况切割试板来制作试样。用于纵向弯曲的试样则必须如图 4.12 制作。

4.9.3.3 弯曲试验合格判据。应对弯曲试样的凸面进行目检，检查其不连续性（缺陷）。合格试样表面的缺陷严禁超过下述尺寸：

(1) 表面任何方向上 1/8 in [3 mm]

(2) 所有超过 1/32 in [1 mm] 但小于或等于 1/8 in [3 mm] 的缺陷，将其各自最大尺寸总加起来为 3/8 in [10 mm]

(3) 最大角部裂纹 1/4 in [6 mm]，如角部裂纹由可见夹渣或其他熔化型缺陷所致，则裂纹最大值必须只能为 1/8 in [3 mm]

角裂纹超过 1/4 in [6 mm] 而并无夹渣或其他熔化型缺陷的试样必须摒弃，并必须从原焊件上另取试样重作弯曲试验。

4.9.3.4 缩减断面拉伸试样（见图 4.14）。试验前，必须测量试样缩减断面处的最小宽度和相应厚度。试样必须在拉伸载荷下破断，并必须测定最大荷载。横截面的面积必须由宽度乘以厚度求得。拉伸强度必须为最大荷载除以横截面积所得之商。

4.9.3.5 缩减断面拉伸试验合格判据。拉伸强度严禁小于所用母材的规定拉伸强度范围的最低值。

4.9.3.6 全焊缝金属拉伸试样（见图 4.18）。试样必须按 ASTM A 370，*钢材产品的力学试验*的规定进行试验。

4.9.4 宏观腐蚀试验。制备焊缝试样必须使其光洁以适于作宏观腐蚀试验。必须使用适当的溶液进行腐蚀使焊缝呈现清晰的轮廓。

4.9.4.1 宏观腐蚀试验合格判据。目检时，评定合格的宏观腐蚀试样应符合以下要：

(1) PJP 坡口焊缝：实际焊缝尺寸必须等于或大于规定的焊缝尺寸，(E)。

(2) 角焊缝必须熔合至接头根部，但不必超过。

(3) 最小焊脚尺寸必须符合规定的角焊缝尺寸。

(4) PJP 坡口焊缝和角焊缝必须做到：

(a) 无裂纹

(b) 相邻焊层之间以及焊缝金属与母材之间完全熔合

(c) 焊缝轮廓形状符合规定的细节要求，而绝无 5.24 禁止的偏差

(d) 无超过 1/32 in [1 mm] 的咬边

4.9.5 重新试验。如果所有被试验试样中任何一个不符合试验要求，则需从相同的 WPS 评定材料上切取两个该试验项目的试样进行重新试验。这两个试样的试验结果都应符合要求。对于厚度超过 1-1/2 in [38 mm] 的材料，一个试样不合格，则必须从试验材料的另外两个部位制取试样，进行项目全部试样的试验。

4.10 非管材连接的 CJP 坡口焊缝

非管材连接的 CJP 坡口焊缝的 WPS 评定要求，见表 4.2 (1)。适用试板，见图 4.9 – 4.11。

4.10.1.1 角接或 T 型接头。角接或 T 形接头坡口焊缝的试样必须为对接接头，它应具有结构中角接或 T 型接头相同的坡口形状，但坡口深度不需超过 1 in [25 mm]。

4.11 非管材连接的 PJP 坡口焊缝

4.11.1 试验的试样类型和数量。评定 WPS 而必须进行试验的试样类型和数量如表 4.3 所示。必须采用结构中所用的坡口设计型式和 WPS 制作焊接试板，但坡口深度不需超过 1 in [25 mm]。对于下述要求的宏观腐蚀试验，可用表 3.1 的 I、II 和 III 组的任一钢材来评定那些组别中任何钢材或任何钢材组合的焊缝的尺寸。如果 PJP 坡口焊缝用于角接或 T 形接头，则必须在对接接头的坡口面平面上设置临时限位板以模仿 T 形接头形状。这一试板焊缝必须作下述试验：

4.11.2 用宏观腐蚀验证焊缝尺寸。对于所有方面都要第 4 章要求的 WPS，必须制备 3 个宏观符合腐蚀的横断面试样以证实焊缝符合指定的焊缝尺寸（根据 WPS 的要求）。

4.11.3 用宏观腐蚀验证 CJP 坡口焊缝的 WPS。当 CJP 坡口焊缝的 WPS 已评定合格且用于 PJP 坡口焊缝的焊接条件时，需要 3 个宏观腐蚀的横断面试样以验证达到了指定的最小焊缝尺寸的要求。

4.11.4 用宏观腐蚀验证其他的 WPS。如 WPS 不涉及 4.11.2 或 4.11.3 的要求，或者焊接条件不符合免除评定的状态，或者这些情况尚未在接头完全熔透的对接焊缝上使用和试验，那么必须制备一接头试样，且首先要加工宏观腐蚀试样，以确定接头的焊缝尺寸。然后，机加工除去接头底部的多余材料而至焊缝尺寸的厚度。必须按 CJP 坡口焊缝的要求，制备拉伸和弯曲试样，并进行试验（见 4.10）。

4.11.5 喇叭形坡口焊缝。对于被评定的喇叭形坡口焊缝的有效焊缝尺寸按如下所述要求确定：

- (1) 当工程师要求时，必须使用试验断面来验证有效焊缝尺寸能够稳定地获得。
- (2) 在给定的一套 WPS 条件下，如承包商证实在稳定的生产中所得有效焊缝尺寸大于表 2.1 中的规定值，则承包商可以通过评定来确立这一更大的有效焊缝尺寸。
- (3) 按 (2) 所要求的评定，必须是在焊缝长度的中间部位和两端、垂直于转角构件的轴线切取断面。这样的断面试样，必须为承包商在结构中所使用的、有代表性材料尺寸的若干组合，或根据工程师的要求而定。

4.12 管材和非管材连接的角焊缝

4.12.1 试样的类型和数量。除第 4 章允许的以外，必须进行试验以评定单道和/或多道角焊缝 WPS 的试样类型和数量如表 4.4 所示。评定试验可以是既适用于单道角焊缝，也适用于多道角焊缝，或适用于二者。

4.12.2 角焊缝试验。图 4.19 所示板材或图 4.20 所示管材（详图 A 或详图 B）的角焊缝焊接的 T 形接头必须按结构中所用的每一种 WPS 和位置制备。试验要求为结构中所用的一最大尺寸单道角焊缝和一最小尺寸多道角焊缝。这两种角焊缝试验可合并单个的焊接构件或总成中，或者单独地进行合格评定。每个焊件必须根据适合的情况按图 4.19 或图 4.20 所示部位垂直于焊接方向进行切割。代表每一块一个面的这些试样必须有一个宏观腐

蚀试样，且必须按 4.9.4 要求进行试验。

4.12.3 焊接材料验证试验。关于焊接 4.12.2 规定的角焊缝试板或试管，如果打算采用的焊接材料和打算使用的 WPS，二者都既不是免除评定的，也未按第 4 章要求评定合格，亦即：

(1) 如所用焊接材料不符合第 3 章免除评定的条款，并且，

(2) 如果采用打算使用的焊接材料的 WPS 尚未由承包商按 4.10 或 4.11 予以制定，那么，必须焊接一个 CJP 坡口焊缝的试板，以评定准备采用的焊接材料和 WPS 的组合情况。

试板必须按如下要求焊接：

(1) 试板必须有图 4.21 所示的坡口形状（图 4.22 用于 SAW），用钢衬垫。

(2) 试板必须在 1G（平焊）位置焊接。

(3) 试板必须有足够长度，以切取图 4.23 所要求和取向的试样。

(4) 电流、电压、焊接速度和气体流量等焊接试验规范必须尽量接近实际产品角焊缝焊接时的情况。

根据这些条件所制订的、产品角焊缝焊接所依据的 WPS，基本参数的变化应按 4.8 要求为准。

焊接试板必须作如下试验：

(1) 必须如图 4.23 所示，从试板上取 2 个侧弯（图 4.13）试样和 1 个全焊缝金属拉伸（图 4.18）。

(2) 弯曲试样必须按 4.9.3.1 的要求进行试验。试验结果必须符合 4.9.3.3 的要求。

(3) 拉伸试样必须按 4.9.3.6 的要求进行试验。试验结果用以确定焊接材料的强度水平，它必须符合表 2.3 的或被焊母材强度水平的要求。

4.13 管材连接的 CJP 坡口焊缝

CJP 坡口焊缝必须作如下分类：

(1) 用衬垫或背部清根的 CJP 对接接头（见 4.13.1）。

(2) 无衬垫仅从一面施焊的 CJP 对接接头（见 4.13.2）。

(3) 用衬垫或背部清根的 T、Y、K 形节点（见 4.13.3）。

(4) 无衬垫仅从一面施焊的 T、Y、K 形节点（见 4.13.4）。

4.13.1 用衬垫或背部清根的 CJP 对接接头。必须按图 4.25 (A)（背部清根）或图 4.25 (B)（用衬垫）所示详图评定使用衬垫或背部清根的 WPS。

4.13.2 无衬垫仅从一面施焊的 CJP 对接接头。必须按图 4.25 (A) 所示接头详图评定无衬垫仅从一面施焊的 WPS。

4.13.3 用衬垫或背部清根的 T、Y 或 K 形节点。用于有衬垫或背部清根的管材 T、Y 或 K 形节点的 WPS 必须使用下述条件进行评定：

(1) 从表 4.2 (2) 中选择适当的公称管材公称外径 (OD)，并且

(2) 按图 4.25 (B) 所示的接头详图, 或者

(3) 对公称外径等于或大于 24 in [600 mm] 的管材, 按 4.9 的要求用图 4.25 (B) 所示接头详图的板材。

4.13.4 无衬垫仅从一面施焊的 T、Y 或 K 形节点。当要求评定时, 无衬垫仅从一面施焊的 T、Y 或 K 形节点的 WPS 必须按以下要求:

4.13.4.1 不符合免除评定条件的 WPS。如果一份 WPS 基本参数超出免除评定的范围, 则 CJP 的管材坡口焊缝的评定必须要求如下:

(1) 按照图 4.27 对外径等于或大于 4 in [100 mm] 圆管进行评定, 或按图 4.27 和图 4.29 对矩形管进行评定。按照图 4.28 对外径小于 4 in [100 mm] 圆管进行评定, 或按图 4.28 和图 4.29 对矩形进行评定。

(2) 制备一个接头试样或管材实样模型。此试样或管材实样模型必须为下述每一种情况至少提供一个宏观腐蚀试验断面:

(a) 最大坡口深度与最小坡口角度的组合坡口, 或所使用的坡口基本参数的组合: 焊件在立焊位置施焊。

(b) 所使用的最窄的根部间隙配以 37.5° 的坡口角度: 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) 所使用的最宽的根部间隙配以 37.5° 的坡口角度: 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) 仅用于相配的方管箱形连接。将所用最小的坡口角度、转角部尺寸和转角半径加以组合: 一个试验焊件在横焊位置施焊。

(3) 必须对上述 (1) 和 (2) 中要求的宏观腐蚀试样作缺陷检查, 试样必须:

(a) 无裂纹

(b) 相邻焊层之间以及焊缝金属与母材之间完全熔合

(c) 焊缝的细节符合规定的详细要求, 没有 5.24 所禁止的偏差情况

(d) 咬边不超过 6.9 规定的数值。

(e) 对等于或大于 $1/32$ in [1 mm] 的气孔, 累积严禁超过 $1/4$ in [6mm]

(f) 无聚集的夹渣, 其最大尺寸总和严禁超过 $1/4$ in [6 mm]

不符合 (a) ~ (f) 要求的试样必须视为不合格; (b) ~ (f) 的要求不适用于封底焊缝。

4.13.4.2 二面角小于 30° 的 T、Y 或 K 形节点中 CJP 坡口焊缝的 WPS。必须使用 4.13.4.1 (2) (a) 所述的试样接头。必须从这种试样切取 3 个宏观腐蚀断面, 并必须符合 4.13.4.1 (3) 的要求, 且必须达到所需的理论上的焊缝尺寸 (留有余量用于按一定折扣的封底焊缝的余量, 如图 3.8 到 3.10 中的详图 C 和 D 所示) (接头试样详图见图 4.26)。

4.13.4.3 使用气体保护熔化极电弧焊 — 短路过渡 (GMAW—S) 的 T、Y 或 K 形节点的 CJP 坡口焊缝的 WPS。使用气体保护熔化极电弧焊 (短路过渡) 的 T、Y 或 K 形节点, 在按 3.13.5 的规定焊接标准形状接头前, 必须遵照第 4 章要求进行评定。待焊的试验接头必须包括图 4.27 所示要求: 37.5° 单边削斜坡口, 偏移的根部和限位圈。

4.13.4.4 要求 CVN 韧性的焊件。在要求按 2.27.2.2 进行夏比试验的管材连接接头套

管中，必须对连接支管 0.5D 之内的对接接头（纵缝或环缝）进行 WPS 评定，以证明在 LAST（最低预期工作温度）或 0°F [-18°C]（取两者中之较低值）温度下，焊缝金属夏比 V 形缺口吸收能量为 20 ft·lb [27 J]。如果要采用的焊接材料的 AWS 技术规定不包括这一要求，或者产品焊接超出了过去试验的覆盖范围，例如 AWS 填充金属技术规定的试验范围，那么，在进行 WPS 评定中，必须按本章 D 部分的规定进行焊缝金属的夏比试验。

4.14 管材 T、Y 或 K 形节点和对接接头的 PJP 焊缝

当 T、Y 或 K 形节点或对接接头中规定采用 PJP 的坡口焊缝时，必须遵照表 4.3 要求进行评定。

4.15 管材和非管材连接中的塞焊缝和槽焊缝

当规定使用塞焊缝的槽焊缝时，WPS 的评定必须遵照 4.30 的要求进行。

4.16 需要评定的焊接方法

4.16.1 ESW、EGW、GTAW 和 GMAW—S。可以使用电渣焊 (ESW)，气电焊 (EGW)，气体保护钨极电弧焊 (GTAW) 和气体保护熔化极电弧焊（短路过渡）(GMAW—S) 等焊接方法，但要遵照第 4 章的要求进行 WPS 评定。注意表 4.5 中对 GMAW 基本参数的限制必须也适用于 GMAW—S。

4.16.2 其他焊接方法。可以使用未列入 3.2.1 和 4.16.1 的其他焊接方法，但 WPS 需经试验进行评定。适用于每一焊接方法的基本参数的限定必须由开发该 WPS 的承包商确定，并经工程师批准。基本参数范围必须根据该焊接方法经验的文件证明来确定，或必须进行一系列的试验来确定基本参数限度。超出如此制订的基本参数界限的任何变化都必须重新评定。

4.17 WPS 要求 (GTAW)

使用前，承包商必须准备 WPS，并按第 4 章要求评定每一份 WPS。

4.18 WPS 要求 (ESW/EGW)

使用前，承包商必须按第 4 章的要求对每一种采用的焊接方法的每份 WPS 进行准备和评定。WPS 必须包括接头详图、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的自动控制功能的话）、摆动（横摆速度，长度和停顿时间）、包括气体流量和露点或焊剂类型等保护的方式、成形模块类型、焊后热处理（如果使用的话）、以及其他相关资料。

4.18.1 以前的评定。以前评定的 WPS 可以采用，但需有合适的文件，并且该 WPS 经工程师批准。

4.18.2 全焊缝金属拉伸试验要求。当依照 WPS 要求焊接时，在该焊接方法使用前，承包商必须根据第 4 章规定进行试验，以证实每一种保护与填充金属的组合所得的焊缝金属，具有最新版 AWS A5.25 电渣焊用碳钢与低合金钢焊丝和焊剂技术规定、或最新版 AWS A5.26 气电焊用碳钢和低合金钢焊丝技术规范所要求的力学性能。

C 部分 资格评定

4.19 概述

本规范所要求的资格评定试验系专门制订的试验，用以评定焊工、焊机操作工或定位焊

工加工完好焊缝的能力。本评定试验并不打算用作实际结构的焊接或定位焊的指南。实际结构必须按 WPS 执行。

4.19.1 评定覆盖的产品焊接位置

4.19.1.1 焊工和焊机操作工。经评定的焊工和焊机操作工的产品焊接位置必须遵照表 4.10 执行。

4.19.1.2 定位焊工。定位焊工必须以所需进行定位焊接的每一种位置焊一试板进行评定。

4.19.2 评定覆盖的产品厚度和直径

4.19.2.1 焊工或焊机操作工。进行了资格评定的焊工或焊机操作工覆盖的产品焊接的厚度和直径的范围必须符合表 4.11 的规定。

4.19.2.2 定位焊工。定位焊工必须取得产品厚度大于或等于 1/8 in [3 mm] 以及所有管材直径的定位焊资格。

4.19.3 通过 WPS 评定进行焊工和焊机操作工的评定。焊工或焊机操作工也可因焊接一块满意的用于 WPS 评定的试板或试管满足条款 4.9 的要求而通过其资格评定。由此而获得资格的焊工或焊机操作工应符合 4.19.1 和 4.19.2 的要求。

4.20 要求的评定试验类型

4.20.1 焊工和焊机操作工。适用于焊工和焊机操作工资格评定所要求的评定试验类型和数量必须符合表 4.11 规定。各无损检测 (NDT) 和力学性能试验的详细要求见下述各小节：

- (1) 目检 (见 4.9.1) (用 WPS 要求)
- (2) 面弯、根弯和侧弯 (见 4.9.3.1) (用 WPS 要求)
- (3) 宏观腐蚀 (见 4.31.2)
- (4) 角焊缝破断 (见 4.31.4)

4.20.1.1 用射线探伤 (RT) 代替导向弯曲试验。除用 GMAW—S 焊接的接头外，可以对焊工或焊机操作工的资格评定试板或试管进行射线检查，以代替进行 4.20.1 (2) 规定的弯曲试验 (见 4.31.3 关于 RT 的要求)。

对产品坡口焊缝起始段 15 in [380 mm] 的射线检查，可以代替对评定试板的力学性能试验或 RT 的检查，以评定焊机操作工。评定的材料厚度范围必须如表 4.11 所示。

4.20.1.2 导向弯曲试验。必须根据适用情况，分别按照 4.21、4.30、4.31、4.32、4.33 和 4.34 所示用于焊工评定的、或者图 4.22、4.33 或 4.36 所示用于焊机操作工评定的要求，切割试板或试管，制备力学性能试样。这些试样的横断面必须接近于矩形，以便根据需要按图 4.12、4.13、4.14 或 4.18 制备试样，用于试验。

4.20.2 定位焊工。定位焊工必须如图 4.39 所示在角焊缝破断试样上，焊接一段长约 2 in [50 mm]、最大尺寸约 1/4 in [6 mm] 的定位焊缝。

4.20.2.1 评定范围。必须认为角焊缝破断试验合格的定位焊工，对于其定位焊接评定时所用焊接方法和位置的各种类型的接头，具有合格的资格 (不用衬垫、仅从一面施焊的 CJP 坡口焊缝，例如对接接头和 T、Y 和 K 形节点的情况除外)。上述例外情况的定位焊接必须由经所用焊接方法和位置进行焊接而充分评定合格的焊工来执行。

4.21 焊工和焊机操作工资格评定的焊缝类型

用作焊工和焊机操作工资格评定的焊缝类型必须分类如下：

- (1) 非管材连接的 CJP 坡口焊缝（见 4.24）
- (2) 非管材连接的 PJP 坡口焊缝（见 4.25）
- (3) 非管材连接的角焊缝（见 4.26）
- (4) 管材连接的 CJP 坡口焊缝（见 4.27）
- (5) 管材连接的 PJP 坡口焊缝（见 4.28）
- (6) 管材连接的角焊缝（见 4.29）
- (7) 管材和非管材连接的塞焊缝和槽焊缝（见 4.30）

4.22 焊接人员资格评定表格的准备

焊接人员必须遵循适合于所要求的评定试验的 WPS。除 4.23 的资格评定基本参数以外，还必须实施 4.8 的全部 WPS 基本参数的限定。焊接人员资格评定记录 (WPQR) 必须作为一份书面证明，并必须列举表 4.12 的所有适用的基本参数。建议采用的表格参见附录 N。

4.23 基本参数

如果焊工、焊机操作工或定位焊工在资格评定时超出表 4.12 的基本参数限定范围，则必须重新评定。

4.24 非管材连接的 CJP 坡口焊缝

非管材连接的焊工或焊机操作工资格评定的位置要求见表 4.10。注意其中使用衬垫的接头评定也覆盖了背部清根并从该侧施焊的产品焊接接头。

4.24.1 焊工评定试板。下述图号适用于焊工资格评定中对位置和厚度的要求。

- (1) 图 4.21 — 所有位置 — 厚度无限定
- (2) 图 4.30 — 横焊位置 — 厚度无限定
- (3) 图 4.31 — 所有位置 — 限定厚度
- (4) 图 4.32 — 横焊位置 — 限定厚度

4.24.2 焊机操作工资格评定试板

4.24.2.1 除 EGW、ESW 和塞焊缝以外。不用气电焊 (EGW) 或电渣焊 (ESW) 或塞焊进行焊机操作工资格评定的试板必须符合图 4.22 的要求。这就是按被试的焊接方法和位置在不限厚度材料上对焊机操作工进行坡口焊缝和角焊缝的资格评定。

4.24.2.2 对于 ESW 和 EGW。ESW 或 EGW 的焊机操作工评定试板，必须由焊接的一个接头组成，接头为结构中所用的最大厚度的材料，但试验焊缝的材料厚度不需要超过 1-1/2 in [38 mm]（见图 4.35）。如果材料厚度为 1-1/2 in [38 mm]，则无需用更薄的板材进行试验。此试验合格被认为焊机操作工使用该焊接方法和所试焊接位置、在不限厚度的材料上完成坡口焊缝和角焊缝的资格合格。

4.25 非管材连接的 PJP 坡口焊缝

对 CJP 坡口焊缝的评定也覆盖所有 PJP 坡口焊缝的资格评定。

4.26 非管材连接的角焊缝

对 CJP 坡口焊缝的评定也覆盖角焊缝的资格评定。不过，仅需进行角焊缝评定的场合，见表 4.11。

4.27 管材连接的 CJP 坡口焊缝

焊工或焊机操作工的资格评定试验必须使用下述详图：

- (1) 管材中使用衬垫或背部清根的 CJP 坡口对接接头。用图 4.24 (B)
- (2) 无衬垫或不进行背部清根的 CJP 坡口对接接头。用图 4.24 (A)。
- (3) 使用衬垫的 CJP 坡口对接接头或方管 T、Y 和 K 形节点。用图 4.24 (B) [圆管 (任何直径) 板材或方管]。
- (4) 使用衬垫仅从一面施焊的 CJP 坡口圆管 T、Y 和 K 形节点。对于合适直径的圆管，用图 4.24 (B)。
- (5) 无衬垫仅从一面施焊的圆管 CJP 坡口 T、Y 和 K 形节点。公称管径 ≥ 6 in [150 mm] 的用图 4.27，公称管径 ≤ 4 in [100 mm] 的用图 4.28。
- (6) 无衬垫或不进行背部清根仅从一面施焊的矩形管 CJP 坡口 T、Y 和 K 形节点。可作如下选择：
 - (a) 圆管 (任何直径) 见图 4.27，或矩形管加上图 4.29。
 - (b) 矩形管见图 4.27，另从图 4.29 所示部位切取宏观腐蚀试样。

经试验组装件的直径和厚度评定所覆盖的产品直径和厚度范围，见表 4.11。

4.27.1 其他接头细则或 WPS。对那些接头细则、WPS 或假设完好焊缝的深度比此处所述更为困难的情况，每一焊工必须进行如 4.13.4.2 规定的试验，另加 6GR 试验 (图 4.28 或 4.29)。试验必须为立焊位置。

4.28 管材连接的 PJP 坡口角焊缝

管材连接的 CJP 坡口焊缝的资格评定也覆盖所有 PJP 坡口焊缝的资格评定。

4.29 管材连接的角焊缝

角焊缝资格评定要求见表 4.11。

4.30 管材和非管材连接中的塞焊缝和槽焊缝

管材或非管材连接的 CJP 坡口焊缝的资格评定也覆盖所有塞焊缝和槽焊缝的资格评定。

仅进行塞焊缝和槽焊缝的资格评定见表 4.10。焊接接头必须由在 $3/8$ in [10 mm] 厚的板材上开直径为 $3/4$ in [20 mm] 的孔、与最小厚度为 $3/8$ in [10 mm] 的垫板所组成 (见图 4.38)。

4.31 焊工和焊机操作工资格评定的试验方法和合格准则

4.31.1 目检。合格准则见 4.9.1。

4.31.2 宏观腐蚀试验。宏观腐蚀试样必须抛光，以适合于宏观腐蚀检查。必须使用适当的溶液进行腐蚀使焊缝呈现清晰的轮廓。

4.31.2.1 塞焊缝和角焊缝宏观腐蚀试验。宏观腐蚀的面必须光滑，以便腐蚀。

(1) 塞焊缝宏观腐蚀试验必须从试验接头上切取，按：

(a) 焊工资格评定 — 图 4.38

(b) 焊机操作工资格评定 — 图 4.38

(2) 角焊缝宏观腐蚀试样必须从试验接头上切取，按：

(a) 焊工资格评定 — 图 4.37

(b) 焊机操作工资格评定 — 图 4.37

4.31.2.2 T、Y 和 K 形节点的宏观腐蚀试验。如图 4.29 所示的方管 T、Y 和 K 形节点的角部宏观腐蚀试验接头必须有 4 个从焊缝角部切取的宏观腐蚀试样，切取位置见图 4.29。每个角部试样的一个面必须光滑便于腐蚀。如果评定试验的焊工用方管试样作 6GR 位置焊接（如图 4.28），则可类似于图形 4.29 从该 6GR 位置的试件上切取 4 个所需的角部宏观腐蚀试样。每个角部试样的一个面必须光滑便于腐蚀。

4.31.2.3 宏观腐蚀试验合格判据。目检时，评定合格的宏观腐蚀试样应符合以下要：

(1) 角焊缝必须熔合至接头根部，但不必超过。

(2) 最小焊脚尺寸必须符合规定的角焊缝尺寸。

(3) 角焊缝和如图 4.29 所示的方管 T、Y 和 K 形节点的角部宏观腐蚀试验接头必须满足下述要求：

(a) 无裂纹

(b) 相邻焊层之间以及焊缝金属与母材之间完全熔合

(c) 焊缝轮廓形状符合指定的详图要求，而绝无 5.24 所不允许的偏差

(d) 无超过 $1/32$ in [1 mm] 的咬边

(e) 对等于或大于 $1/32$ in [1 mm] 的气孔，累积严禁超过 $1/4$ in [6mm]

(f) 无聚集的夹渣，其最大尺寸总和严禁超过 $1/4$ in [4 mm]

(4) 赛焊缝必须做到：

(a) 无裂纹

(b) 与背部垫板以及与孔的边缘完全熔合。

(c) 可见夹渣总累积长度不超过 $1/4$ in [6 mm]

4.31.3 RT。如果用 RT 代替规定的弯曲试验，则不需为 RT 而打磨焊缝余高或另外使其光滑，除非这种表面不平整或它与母材的交界使射线照相片中有争议的焊缝缺陷变得模糊不清。如因射线照相而将衬垫除去，则必须打磨焊缝根部使得与母材平齐（见 5.24.3.1）。

4.31.3.1 RT 检测工艺和技术。射线照相的步骤和技术必须符合第 6 章 E 部分的要求。对焊工资格评定，需从试板所检查的焊缝的每一端去掉 $1-1/4$ in [32mm]，而对焊机操作工的（资格）评定，则从试板长度的每端去掉 3 in [75mm]。直径等于或大于 4 in [100mm] 的焊

接试管的射线照相必须至少为园周环焊缝的一半，其取样包括所有焊接位置。（例如，在 5G，6G 或 6GR 位置焊接的试验圆管或方管。必须对从顶部中心线至底部中心线的任何一侧进行检查。）直径小于 4 in [100 mm] 的焊接试管（圆管或方管）必须 100% 进行射线照相。

4.31.3.2 射线检测合格判据。射线照相评定合格的焊缝必须符合 6.12.2 的要求，但 6.12.2.2 的条款必须除外。

4.31.4 角焊缝破断试验。必须对角焊缝的全长作目检，然后对 6 in [150 mm]长的试样（见图 4.37）或管材角焊缝组装件的 1/4 段加载，加载必须使焊缝的根部处于受拉状态。必须至少 1 个焊接引弧处和停弧处位于试样内。必须增加荷载或反复加载，直至试样破裂或发生弯曲而试样变成扁平状。

4.31.4.1 角焊缝破断合格判据。至于破断试验之前目检合格，焊缝必须外观匀称，严禁有焊瘤、裂纹、以及超过 6.9 所允许的咬边。焊缝表面严禁有可见气孔。

破断试样符合以下情况则必须认为试验合格：

- (1) 试样发生弯曲而成扁平状，或
- (2) 如角焊缝破裂，则破裂面呈现直至接头根部完全熔合，并无最大尺寸超过 3/32 in [2.5 mm] 的夹渣或气孔，且
- (3) 在试样 6 in [150 mm] 长范围内，全部最大尺寸夹渣和气孔的总和严禁超过 3/8 in [10 mm]。

4.31.5 根部弯曲、正面弯曲和侧面弯曲试样。试验合格准则见 4.9.3.3。

4.32 定位焊工资格评定的试验方法和合格准则

必须如图 4.35 所示对试样加力直至出现破裂。可以任何方便的方式施力。可以通过目检，检查焊缝表面和破断表面的缺陷。

4.32.1 外观合格判据。定位焊缝必须外观匀称，严禁有焊瘤、裂纹和超过 1/32 in [1 mm] 的咬边。定位焊缝表面不得有看得见的气孔。

4.32.2 破坏性试验合格判据。定位焊缝的破裂表面必须呈现焊缝熔合至根部，但无需超过，并且严禁有与母材不完全熔合的情况或任何最大尺寸超过 3/32 in [2.5 mm] 的夹渣或气孔。

4.33 重新试验

当焊工、焊机操作工或定位焊工有一项资格评定试验不及格，或因特定原因怀疑其焊接工作能力，或超过评定的有效期，都必须作下述处理：

4.33.1 焊工和焊机操作工重新评定试验要求

4.33.1.1 立即重新试验。焊工或焊机操作工资格评定不及格的每一种类型或位置都可以焊接 2 个试样立即重新试验。所有重新试验的试样必须符合规定的全部要求。

4.33.1.2 经过进一步培训或实习后重新试验。如果证实某焊工或焊机操作工已经进一步培训或实习，可重新进行资格评定试验。不及格的或受怀疑的类型和位置必须作完全的重新试验。

4.33.1.3 资格评定有效期过期后的重新试验。当焊工或焊机操作工资格评定的有效期已过，必须重作评定试验。焊工可以选择 3/8 in [10 mm] 的厚度，用以评定任何产品焊接中厚度等于或大于 1/8 in [3 mm] 情况。

4.33.1.4 例外 — 重新评定试验不及格。重新评定试验不及格后，严禁立即重新试验。必须按 4.33.1.2 要求进一步培训和实习后才能再作重新评定试验。

4.33.2 定位焊工重新评定试验要求

4.33.2.1 不经补充培训重新评定试验。在评定试验不及格而未能通过试验要求的情况下，定位焊工可以不经另外的培训而重作一次评定试验。

4.33.2.2 经过进一步培训或实习后重新试验。如果定位焊工已经进一步培训或实习，可作重新评定试验。重新评定试验必须是完整的。

D 部分

CVN 试验的要求

4.34 概述

4.34.1 本章的 CVN 试验要求和试验工艺，仅当符合本规范 5.26.5 (3) [d] 和 4.2.1.3 的合同文件和本规范的表 3.1 的规定时才适用。而本章的要求未述及母材的 CVN 试验，那是假定在那些要求进行 WPS 的 CVN 试验的场合，母材是适用的。

4.34.2 CVN 试样必须进行机械加工，并按下述标准进行试验：*ASTM E 23 金属材料缺口试样冲击试验标准方法，A 型夏比（简支梁）冲击试样，或 ASTM A370 钢制产品的力学性能试验的标准试验方法和规定，或 AWS B4.0 焊缝的力学性能试验标准方法。*

4.35 试验部位

4.35.1 除非合同图纸有规定外，单独 CVN 试样的试验部位必须如图 4.40 和表 4.14 所示。

4.35.2 所有 CVN 试样缺口的定位必须按图 4.40 所示，首先从试验焊缝的适当深度机械加工取样。试样应稍微长些，以便对缺口精确定位。其次，应当用弱酸譬如 5% 硝酸酒精溶液腐蚀棒料，以显露焊缝熔合区和热影响区 (HAZ) 的位置。然后必须在试样中确定缺口中心线的位置，如图 4.40 所示。

4.36 CVN 试验

4.36.1 从单一试验部位截取 CVN 试样的数目有如下两种选择方案：

方案 A — 3 个试样

方案 B — 5 个试样

4.36.2 CVN 试样必须从用以测焊接接头其他性能的同一焊接试件上以机械加工办法取样（见图 4.7、4.8、4.10 或 4.11）。当焊接试件的尺寸不够满足所有力学性能试样的要求时，必须制作补充的焊接试件。CVN 试样必须从机械加工取拉伸试样的焊接试件上以机械加工办法取样。

4.36.3 当要求进行 CVN 试验，要求提供已满足了 CVN 试验以及评定的 WPS 的 PQR。应准备一份新的 PQR，如果已存在 PQR，且满足 CVN 试验以外的所有要求，仅仅必须制备一块足够提供所需 CVN 试样的补充焊件。应采用如下的 WPS 焊接完整或部分（如上文所注）进行焊接：符合最初“试验”WPS（如适用）以及表 4.1、4.2 和 4.5 的限定，另外加上仅适用于 CVN 试验的那些补充基本参数（表 4.6）。必须准备一份新的或修订的 PQR，并有一份新的或修订的书面 WPS 以适应 CVN 试验的评定参数。

4.36.4 除非在合同文件中另有规定，否则试样的纵向中心线必须垂直于焊缝轴线，并且缺口基线必须垂直于表面。

4.36.5 当试验材料厚度 $\geq 7/16$ in [11 mm] 时，必须采用标准的 10×10 mm 试样。当试验材料厚度小于 $7/16$ in [11 mm] 或由于焊件形状的缘故而不可能截取标准试样时，则必须使用小尺寸试样。当需要用小尺寸试样时，试样必须加工成如表 4.15 所示尺寸中的一种。（注：必须从评定试件中用机械加工方法尽可能地取最大尺寸的试样。）

4.36.6 CVN 试验温度必须在合同文件中规定。

4.36.7 当需要小尺寸试样、以及当穿过试样缺口的宽度小于母材厚度的 80% 时，试验温度必须按表 4.15 降低，合同文件另有规定者除外。

4.37 试验要求

4.37.1 除另有规定外，最低规定屈服强度 ≤ 50 ksi [345 MPa] 的母材间焊缝的试验要求，严禁低于表 4.14 的最低要求。对最低规定屈服强度 > 50 ksi [345 MPa] 的母材间焊缝的试验要求，必须在合同文件中规定。这些要求可以包括、但不限于：吸收的能量，塑性断口百分比和侧向膨胀值。

4.37.2 每一试验的合格判据必须在合同、图纸或技术条件中规定，并且必须由下述要求组成：

- (1) 最小单个值 — 严禁任何一试样的值低于此值，
- (2) 最小平均值 — 三个试样的算术平均值必须等于或超过此值。

除在合同、图纸或技术条件中另有规定，4.37.1 所述最低规定屈服强度 ≤ 50 ksi [345 MPa] 的母材间焊缝的 CVN 试验的验收合格值，按表 4.14 所示。

4.37.3 如果选择方案 B（见 4.36.1），则最高值和最低值的试样必须弃去，留下 3 个试样用以评定。对于方案 A 和方案 B 留下的 3 个试样这两种情况都是：3 个数值中之 2 个必须等于或超过规定的最小平均值。3 个数值之 1 可以低于规定的最低平均值，但不得低于规定的最低单个值，并且 3 个数值的平均值严禁低于规定的最低平均值。

4.38 重新试验

4.38.1 当不符合 4.37.2 和 4.37.3 的要求时，可以重新进行一次试验。留下的 3 个试样的每一单个值必须等于或超过规定的最低平均值。重新试验的试样必须取自原焊接试件。如果不能从这些焊接试件中取得试样，则必须制作新的焊件且必须进行本规范所要求的所有力学性能试验。

4.39 报告

4.39.1 本规范、合同文件或技术条件要求的所有 CVN 试验测量值必须记录在 PQR 上。

表 4.1

焊接工艺规程 (WPS) 评定 — 用板材、圆管和方管试验进行评定所覆盖的产品焊接位置 (见 4.4)

评定试验		所覆盖的产品板材焊接				所覆盖的产品圆管焊接					所覆盖的产品方管焊接				
	焊缝类型	位置	坡口焊缝 CJP	坡口焊缝 PJP	角焊缝 ⁱ	对接接头		T、Y、K 形节点		角焊缝 ⁱ	对接接头		T、Y、K 形节点		角焊缝 ⁱ
						CJP	PJP	CJP	PJP		CJP	PJP	CJP	PJP	
板材	CJP 坡口 ^a	1G 2G 3G 4G	F F, H V OH	F F, H V OH	F F, H V OH	F ^b (F, H) ^b V ^b OH ^b	F ^b (F, H) ^b V ^b OH ^b			F F, H V OH	F F, H V OH	F F, H V OH			F F, H V OH
	角焊缝 ^a	1F 2F 3F 4F			F F, H V OH					F F, H V OH					F F, H V OH
	塞焊/槽焊	仅覆盖试验位置的塞焊/槽焊													
管材	CJP 坡口	1G, 旋转 2G 5G (2G + 5G) 6G 6GR	F F, H F, V, OH 全部 全部 全部 ^d	F F, H F, V, OH 全部 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部 全部	F ^c (F, H) ^c (F, V, OH) 全部 ^c 全部 ^c 全部 ^d	F F, H F, V, OH 全部 全部 全部	全部 ^e	F F, H F, V, OH 全部 ^g 全部 ^g 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部 全部	F ^c (F, H) ^c (F, V, OH) 全部 ^c 全部 ^c 全部 ^d	F F, H F, V, OH 全部 全部 全部	全部 ^f	F F, H F, V, OH 全部 ^{g, h} 全部 ^{g, h} 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部 全部
	角焊缝	1F, 旋转 2F 2F, 旋转 4F 5F			F F, H F, H F, H, OH 全部					F F, H F, H F, H, OH 全部					F F, H F, H F, H, OH 全部

CJP — 接头完全熔透

PJP — 接头部分熔透

^a 对焊接轴线基本上为直线的情况进行评定, 包括沿平行于圆管轴线的直线的焊接。^b 对公称管材外径等于或大于 24 in [600 mm] 的圆周焊缝进行评定。^c 无衬垫或背面不清根的产品对接接头需要评定试验接头详情如图 4.25 (A) 所示。^d 限于免除评定的接头细节 (见 3.12 或 3.13)。^e 指产品中符合图 3.8, 图 3.9 或图 3.10 并符合表 3.6 的 T、Y 和 K 形节点的完全熔透接头, 用图 4.27 所示细节进行评定试验。生产中其它接头形式的评定试验见 4.13.4.1。^f 指产品中符合图 3.6 和表 3.6 的 T、Y 和 K 形节点的完全熔透接头, 用图 4.27 和图 4.29 所示细节进行评定试验, 或者用图 4.27 接头形式进行试验, 并从图 4.29 所示的角部切取宏观腐蚀试样。生产中其它接头形式的评定试验见 4.13.4.1。^g 指产品中符合图 3.5 的 T、Y 和 K 形节点的部分熔透接头, 用图 4.25 (A) 或图 4.25 (B) 所示细节进行评定试验。

- ^h 用于匹配的方管连接中方管棱角半径小于管壁厚的 2 倍的情况，见 3.12.4.1。
- ⁱ 产品中 T、Y 或 K 形节点的角焊缝必须符合图 3.2。WPS 评定必须符合 4.12。

表 4.2

WPS 评定 — CJP 坡口焊缝：试样的数量与类别以及评定所覆盖的厚度与直径范围（见 4.5）（单位：英寸）

1. 板材试验^{a, b}

试板公称厚度 (T), 英寸	试样数量				评定所覆盖的板材或管材公称厚度 ^{c, d} , 英寸	
	缩减断面拉伸试样 (见图 4.14)	根部弯曲 (见图 4.12)	正面弯曲 (见图 4.12)	侧面弯曲 (见图 4.13)	最小值	最大值
$1/8 \leq T \leq 3/8$	2	2	2	(注 i)	1/8	2T
$3/8 < T < 1$	2	—	—	4	1/8	2T
1 及以上	2	—	—	4	1/8	无限制

2. 管材试验^{a, g}

	管材公称尺寸 或直径, 英寸	公称壁厚 T, 英寸	试样数量				评定所覆盖的 公称管材直 径, 英寸	评定所覆盖的板材 或管材公称壁厚 ^{c, d} , 英寸	
			缩减断面拉 伸试样 (见 图 4.14)	根部弯曲 (见图 4.12)	正面弯曲 (见图 4.12)	侧面弯曲 (见图 4.13)		最小值	最大值
工件尺寸 试管	< 24	1/8 ≤ T ≤ 3/8	2	2	2	(注 i)	≥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	无限制
	≥ 24	1/8 ≤ T ≤ 3/8	2	2	2	(注 i)	≥试管直径	1/8	2T
		3/8 < T < 3/4	2	—	—	4	24 及以上	T/2	2T
		T ≥ 3/4	2	—	—	4	24 及以上	3/8	无限制
标准试管	2 in Sch. 80 或 3 in Sch. 40		2	2	2	—	3/4 至 4	1/8	3/4
	6 in Sch. 120 或 8 in Sch. 80		2	—	—	4	4 及以上	3/16	无限制

3. ESW 和 EGW 试验^{a, h}

试板公称厚度 T	试样数量				评定所覆盖的板材公称厚度	
	缩减断面拉伸试样 (见图 4.14)	全焊缝金属拉伸试样 (见图 4.18)	侧面弯曲 (见图 4.13)	CVN 试验	最小值	最大值
T	2	1	4	(注 f)	0.5T	1.1T

^a 所有试板或试管焊缝必须经目检（见 4.9.1），并作 NDT（见 4.9.2）。每一被评定的位置必须有一试板或一试管。

^b 试板要求见图 4.10 和图 4.11。

^c 对背部不清根的平头坡口焊缝，被评定所覆盖的最大厚度必须限制为试板厚度。

^d 任何厚度或直径的 CJP 坡口焊缝的评定所覆盖的范围包括任何尺寸的角焊缝或任何厚度或直径的 PJP 坡口焊缝（见 4.11.3）。

^e 对任何管子直径的评定覆盖所有方管截面宽度和高度。

^f 如有规定，则冲击试验必须符合第 4 章 D 部分的要求。

^g 评定管子对接接头和 T、Y、K 形节点所要求的坡口细节见表 4.1。

^h 试板要求见图 4.9。

ⁱ 对于 3/8 in 板厚或壁厚，可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。

表 4.2 (续)

WPS 评定 — CJP 坡口焊缝:

试样的数量与类别以及评定所覆盖的厚度与直径范围 (见 4.5) (单位: mm)

1. 板材试验^{a, b}

	试板公称厚度 (T), mm	试样数量				评定所覆盖的板材或管材公称厚度 ^{c, d} , mm	
		缩减断面拉伸试样 (见图 4.14)	根部弯曲 (见图 4.12)	正面弯曲 (见图 4.12)	侧面弯曲 (见图 4.13)	Min.	Max.
	3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(注 i)	3	2T
	10 < T < 25	2	—	—	4	3	2T
	25 及以上	2	—	—	4	3	无限制

2. 管材试验^{a, g}

	管材公称尺寸或直径, mm	公称壁厚 T, mm	试样数量				评定所覆盖的公称管材直径, mm	评定所覆盖的板材或管材壁厚 ^{c, d} , mm	
			缩减断面拉伸试样 (见图 4.14)	根部弯曲 (见图 4.12)	正面弯曲 (见图 4.12)	侧面弯曲 (见图 4.13)		最小值	最大值
工件尺寸 试管	< 600	3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(注 i)	≥ 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	无限制
	≥ 600	3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(注 i)	≥ 试管直径	3	2T
		10 < T < 20	2	—	—	4	600 及以上	T/2	2T
		T ≥ 20	2	—	—	4	600 及以上	10	无限制
标准试管	50 mm OD × 6 mm WT 或 75 mm OD × 6 mm WT		2	2	2	—	20 至 100	3	20
	150 mm OD × 14 mm WT 或 200 mm OD × 12 mm WT		2	—	—	4	100 及以上	5	无限制

3. ESW 和 EGW 试验^{a, h}

	试板公称厚度	试样数量				评定所覆盖的板材公称厚度	
		缩减断面拉伸试样 (见图 4.14)	全焊缝金属拉伸试样 (见图 4.18)	侧面弯曲 (见图 4.13)	CVN 试验	最小值	最大值
	T	2	1	4	(注 f)	0.5T	1.1T

^a 所有试板或试管焊缝必须经目检 (见 4.9.1), 并作 NDT (见 4.9.2)。每一被评定的位置必须有一试板或一试管。^b 试板要求见图 4.10 和图 4.11。^c 对背部不清根的平头坡口焊缝, 被评定所覆盖的最大厚度必须限制为试板厚度。^d 任何厚度或直径的 CJP 坡口焊缝的评定所覆盖的范围包括任何尺寸的角焊缝或任何厚度或直径的 PJP 坡口焊缝 (见 4.11.3)。^e 对任何管子直径的评定覆盖所有方管截面宽度和高度。^f 如有规定, 则冲击试验必须符合第 4 章 D 部分的要求。^g 评定管子对接接头和 T、Y、K 形节点所要求的坡口细节见表 4.1。^h 试板要求见图 4.9。ⁱ 对于 10 mm 板厚或壁厚, 可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。

表 4.3

试样的数量和类型以及评定所覆盖的厚度范围 — 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}					覆盖范围 ^{c, d}		
	检查焊缝尺寸 (E) 的宏观腐蚀 4.11.2 4.11.3 4.H.4	缩减断面 拉伸试样 (见图 4.14)	根部弯曲 (见图 4.12)	正面弯曲 (见图 4.12)	侧面弯曲 (见图 4.13)	坡口深度	板材或管材的公称厚度, 单位 [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]	无限制

基本要求

- ^a 要求每一位置必须取一块试板或一件试管 (试板见图 4.10 或 4.11)。评定按生产中 PJP 坡口细节进行。所有试板或试管必须目检 (见 4.9.1)。
- ^b 如将 PJP 单面单边 V 形 (∠形) 或单面 J 形坡口焊缝用于 T 形接头, 或者用两面单边 V 形或两面 J 形坡口焊缝用于角接头, 则对接接头必须在未作坡口处理的接头平面中设置一临时限位板, 以模仿 T 形接头形状。
- ^c 见表 4.2 关于管材直径的评定要求。
- ^d 任何 PJP 焊缝的评定必须覆盖任何厚度的任何角焊缝尺寸。

表 4.4

试样的数量与类型和评定所覆盖的厚度范围 — WPS 评定; 角焊缝 (见 4.12.1)

试样	角焊缝尺寸	按 WPS 要求的焊缝数量	要求的试样 ^b			覆盖的尺寸	
			宏观腐蚀 4.11.1 4.8.4	全焊缝金属拉伸试样 (见图 4.18)	侧面弯曲 (见图 4.13)	板材/管材厚度 ^a	角焊缝尺寸
板材 T 形接头 (图 4.19)	单道焊, 结构中所用的最大尺寸	每一位置用一条焊缝	3 个面	—	—	无限制	等于或小于所试的最大单道焊道的尺寸
	多道焊, 结构中所用的最大尺寸	每一位置用一条焊缝	3 个面	—	—	无限制	等于或大于所试的最大多道焊道的尺寸
管材 T 形接头 ^c (图 4.20)	单道焊, 结构中所用的最大尺寸	每一位置用一条焊缝 (见表 4.1)	3 个面 (对 4F 和 5F 需 4 个面)	—	—	无限制	等于或小于所试的最大单道焊道的尺寸
	多道焊, 结构中所用的最大尺寸	每一位置用一条焊缝 (见表 4.1)	3 个面 (对 4F 和 5F 需 4 个面)	—	—	无限制	等于或大于所试的最大多道焊道的尺寸
坡口焊接试验 ^d (图 4.23)	—	1G 位置用一条焊缝	—	1	2	评定上述 T 形接头试验所用的焊接材料	

^a 被评定的最小厚度为 1/8 in [3 mm]。^b 所有焊成的试管和试板必须按 4.9.1 要求目检。^c 对管材直径的评定见表 4.2 (2)。^d 当所用焊接材料不符合第 3 章免除评定的条款要求, 并且承包商对计划采用的焊接材料尚未按 4.10 或 4.11.1 要求通过 WPS 评定时, 则必须按 4.9 要求焊接一块 CJP 坡口焊缝试板。

表 4.5

SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 方法需要作 WPS 评定的 PQR 基本参数改变范围（见 4.8.1）

需重作评定的 PQR 基本参数的改变	焊接方法				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
填充金属					
1) 增加填充金属强度级别	X		X	X	
2) SMAW 所用焊条由低氢改为非低氢	X				
3) 从一种焊丝或焊剂—焊丝级别变为任其他的焊丝或焊剂—焊丝级别 ^a		X		X	X
4) 将一种焊丝（条）或焊剂—焊丝级别 ^a 改为不属于右侧有关规定者：	AWS A5.1 或 A5.5	AWS A5.17 或 A5.23	AWS A5.18 或 A5.28	AWS A5.20 或 A5.29	AWS A5.18 或 A5.28
5) 添加或取消填充金属					X
6) 送丝由冷丝改为热丝，或相反					X
7) 另加或取消补充的粉状或粒状的填充金属或剪断的焊丝		X			
8) 增加补充的粉状或粒状填充金属或焊丝的量		X			
9) 如果焊缝金属的合金含量主要取决于补充的粉状填充金属，则导致含有重要合金元素的熔敷金属不符合 WPS 化学成分要求时的 WPS 任何变化		X			
10) 填充金属公称直径的变化：	增加值 > 1/32 in [0.8 mm]	任何增加 ^b	任何增加或减少	任何增加	增加值或减少值 > 1/16 in [1.6 mm]
11) 焊丝数目的变化		X	X	X	X
工艺参数					
12) 焊条（丝）每一种直径所用电流值的变化：	超出制造商推荐范围	增减或减少值 > 10%	增减或减少值 > 10%	增减或减少值 > 10%	增减或减少值 > 25%
13) 电流类型（交流或直流）或极性（指直流时焊条为正极或负极）	X	X	X	X	X
14) 熔滴过渡模式的变化			X		
15) 从恒压到横流的变化			X	X	
16) 每一种直径焊丝所用电压的变化：		增减或减少值 > 7%	增减或减少值 > 7%	增减或减少值 > 7%	
17) 每一种焊丝直径的送丝速度增加或降低（如果不由电流值控制）：		> 10%	> 10%	> 10%	

(续)

表 4.5 (续)

SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 方法需要作 WPS 评定的 PQR 基本参数改变范围（见 4.8.1）

需重作评定的 PQR 基本参数的改变	焊接方法				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
工艺参数 (续)					
18) 焊接速度的变化：		增减或减少值 > 15%	增减或减少值 > 25%	增减或减少值 > 25%	增减或减少值 > 50%
保护气体					

19) 从一种单一保护气体改为另一种单一保护气体或混合气体,或改变混合气体组成百分比,或取消保护气体			X	X	X
20) 改变气体流量:			增加值 > 50% 减少值 > 20%	增加值 > 50% 减少值 > 20%	增加值 > 50% 减少值 > 20%
21) 保护气体的改变超出有关规定:			AWS A5.18 或 A5.28	AWS A5.20 或 A5.29	
SAW 参数					
22) 电弧纵向间距变化大于 10% 或 1/8 in [3 mm] (取其中较大值)		X			
23) 电弧横向间距变化大于 10% 或 1/8 in [3 mm] (取其中较大值)		X			
24) 平行焊丝中任一焊丝角度增大或减少 10° 以上		X			
25) 在机械或自动埋弧焊接 (SAW) 中,焊丝角度增大或减少 3° 以上		X			
26) 在机械或自动埋弧焊接 (SAW) 中,焊丝在垂直于焊接行走方向上的角度增大或减少 5° 以上		X			
概述					
27) 改变了未按表 4.1 通过评定的位置	X	X	X	X	X
28) 改变了未按表 4.2 通过评定的直径或厚度 (或两者兼有)	X	X	X	X	X
29) 改变了未列入 PQR 范围的或未按表 4.8 通过评定的母材或组合母材。	X	X	X	X	X
30) 立焊: 任何焊道由向上立焊改为向下立焊,或相反	X		X	X	X

(续)

表 4.5 (续)

SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW 方法需要作 WPS 评定的 PQR 基本参数改变范围 (见 4.8.1)

需重作评定的 PQR 基本参数的改变	焊接方法				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
概述 (续)					
31) 改变坡口类型 (例如: 单面 V 形坡口改为双 V 形坡口)。任何 CJP 坡口焊缝的评定覆盖根据 3.12 或 3.13 所要求的任何坡口细节的情况除外。	X	X	X	X	X
32) 任何类型的坡口改变为 I 形坡口或相反。	X	X	X	X	X
33) 任何超出 3.12、3.13、3.13.5、5.22.4.1 或 5.22.4.2 所规定的公差, 包括: a) 减少坡口角度 b) 减少根部间隙 c) 增加钝边	X	X	X	X	X
34) 取消衬垫或背部清根	X	X	X	X	X
35) 降低预热温度 ^d :	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 100°F [55°C]
36) 降低道间温度 ^d :	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 100°F [55°C]
37) 增加或取消焊后处理 (PWHT)	X	X	X	X	X

- a 允许不经 WPS 重新评定而降低填充金属强度水平。
- b 对于使用合金焊剂的 WPS，焊丝直径的任何增大或减小均必须重新评定 WPS。
- c 所有尺寸角焊缝的焊接速度可根据最大的单道焊角焊缝和最小的多道角焊缝评定试验决定。
- d 如果满足 5.6 条款的要求，而且随后焊接的母材温度肯定不低于 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 同级别的 AWS A5M（国际单位制）焊条（丝）可以代替 AWS A5（美国惯用单位制）的焊条（丝）级别。
- 注：“x”表示对该焊接方法适用；阴影块表示不适用。

表 4.6

要求 CVN 试验而需重作 WPS 评定的 PQR 补充基本参数的变化 — 适用于 SMAW、SAW、GMAW、FCAW 和 GTAW

参数	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
母材					
1) 组别变化	X	X	X	X	X
2) 覆盖的最小厚度为 T 或 5/8 in [16 mm]，取其中较小值，T 小于 1/4 in [6 mm] 的情况除外，这种情况覆盖的最小厚度为 1/8 in [3 mm]	X	X	X	X	X
填充金属					
3) AWS A5.X 等级改变，或者焊缝金属或填充金属未被 A5.X 技术条件包括。	X	X	X	X	X
4) 焊剂/焊丝等级改变，或下述两种改变之一：焊丝或焊剂的商品名称未被 — AWS 技术条件分级，或改变一种破碎焊剂。		X			
5) 焊丝制造商改变，或制造商改变了焊丝商标或类型				X	
位置					
6) 焊接位置改为向上立焊。一向上立焊 (3G) 的试验覆盖所有位置和向下立焊。	X		X	X	X
预热/道间温度					
7) 已评定的最高道间温度增加值大于 100°F [56°C]	X	X	X	X	X
焊后热处理					
8) 改变焊后热处理 (PWHT) 的温度和/或时间范围。PQR 试验只允许在焊后热处理温度下，在 80% 的范围内改变时间。在焊后热处理温度下的 PWHT 总时间可应用在一次热循环中	X	X	X	X	X
电气特性					
9) 热输入或单位焊缝长度内熔敷的焊缝金属的体积超过评定范围，而焊后进行细晶奥氏体化热处理的情况除外。其量度可按下述二公式之一进行： a) 热输入 (J/in) = (电压 × 电流 × 60) / (焊接速度 (in/min)) b) 焊缝金属体积 — 焊条（丝）的每单位长度内焊道尺寸增大或焊道长度减少	X	X	X	X	X
其他参数					
10) 在立焊位置，直线运行改为摆动	X	X	X	X	X
11) 每一面多道焊改为每一面单道焊	X	X	X	X	X
12) 对于机械化焊接或自动焊接，摆动变化超过 ±20%		X	X	X	X

表 4.7

电渣焊 (ESW) 或气电焊 (EGW) 需重作 WPS 评定的 PQR 基本参数变化 (见 4.8.2)

需重作评定的 PQR 基本参数的改变	由 WPS 试验而重作评定	由射线 (RT) 和超声波检测 (UT ^a) 而重作评定
填充金属		
1) “显著”改变填充金属或熔化咀金属的成分	X	

滑块（成形块）（固定式或移动式）		
2) 金属滑块改为非金属滑块，或相反		X
3) 从熔化型变为非熔化型，或相反		X
4) 实心非熔化型滑块的任何横断面尺寸或面积减少 25% 以上		X
5) 设计上将实心非熔化型滑块改为水冷型滑块，或相反	X	
填充金属摆动		
6) 横向摆动的速度变化 > 10 ipm (4 mm/s)		X
7) 横向摆动的停顿时间变化 >2 秒，（因接头间隙变化而必须补偿者除外）。		X
8) 横向摆动长度变化超过 1/8 in [3 mm]，填充金属接近于滑块		X
填充金属添加物		
9) 熔化咀金属芯横截面积变化 > 30%	X	
10) 焊剂系统变化，即：药芯，磁性焊丝，外加焊剂，等	X	
11) 焊剂成分（包括熔化咀涂层）的变化	X	
12) 焊剂装载量变化 > 30%		X
焊丝/填充金属直径		
13) 直径增加或减小值 > 1/32 in [1 mm]		X
14) 使用的焊丝数改变	X	
焊丝电流		
15) 电流值增加或减少 > 20%	X	
16) 电流类型（交流或直流）或极性改变		X
电弧电压		
17) 电压值增加或减少 > 10%		X
焊接过程特征		
18) 改为与其他焊接方法结合使用	X	
19) 单道焊改为多道焊，或相反	X	
20) 恒流改为恒压，或相反		X
送丝速度		
21) 送丝速度值增大或减少 > 40%	X	
焊接速度		
22) 焊接速度增大或减少（如果无弧长或熔敷速度自动控制功能）>20%（因接头间隙变化而必须补偿者除外）		

(续)

表 4.7 (续)		
电渣焊 (ESW) 或气电焊 (EGW) 需重作 WPS 评定的 PQR 基本参数变化 (见 4.8.2)		
需重作评定的 PQR 基本参数的改变	由 WPS 试验而重作评定	由射线 (RT) 和超声波检测 (UT ^a) 而重作评定
焊丝保护 (仅 EGW 适用)		
23) 保护气中任何一种组成物的成分改变，大于总流量的 5%	X	
24) 保护气总流量增大或减少 > 25%		X
焊接位置		
25) 立焊角度变化 > 10°		X
坡口类型		
26) 横截面积增加 (非 I 型坡口)	X	
27) 横截面积减少 (非 I 型坡口)		X
28) PQR 中接头厚度 T 变化超出 0.5T – 1.1T 的限定	X	

29) 在 I 型坡口接头中, 根部间隙的增大或减少值 > 1/4 in [6 mm]		X
焊后热处理		
30) 改变焊后热处理	X	

^a 必须根据适用情况, 按照第 6 章 E 或 F 部分的要求进行检验。

注: “X” 表示适用于重新评定; 阴影块表示不适用。

表 4.8
PQR 覆盖的表 3.1、表 4.9 和未列入的钢 (见 4.8.3)

PQR 母材	PQR 容许的 WPS 母材组别的组合
任何 I 组钢与任何 I 组钢	任何 I 组钢与任何 I 组钢
任何 II 组钢与任何 II 组钢	任何 I 组钢与任何 I 组钢 任何 II 组钢与任何 I 组钢 任何 II 组钢与任何 II 组钢
任何特定的 III 组钢或表 4.9 钢与任何 I 组钢	被试验的特定的 PQR III 组或表 4.9 钢与任何 I 组钢
任何特定的 III 组钢或表 4.9 钢与任何 II 组钢	被试验的特定的 PQR III 组或表 4.9 钢与任何 I 组或 II 组钢
任何 III 组钢与同钢材或与任何其他 III 组钢 或 任何 IV 组钢与同种钢材或与任何其他 IV 组钢 或 任何表 4.9 钢与同钢材或与任何表 4.9 其他钢	钢材必须与 PQR 中所列者属于相同材料技术条件、级别/类型和最低屈服强度
III, IV 组钢与表 4.9 钢的任何组合	仅为 PQR 所列钢材的特定组合
任何未列入的钢与任何未列入的钢或与任何列于表 3.1 的钢, 或与表 4.9 的钢	仅为 PQR 所列钢材的特定组合

注:

1. 组别 I 至 IV, 见表 3.1。
2. 当钢材技术条件容许时, 可以随金属厚度的增加而屈服强度降低。

表 4.9
要求按第 4 章进行评定的、规范认可的母材和填充金属

母材					等强度匹配的填充金属			母材 厚度, T		最低预热和道 间温度	
规格	最小屈服点/强度		拉伸强度范围		焊接方 法	AWS 焊丝规格	焊条分类	in	mm	°F	°C
	ksi	MPa	ksi	MPa							
ASTM A 871 60, 65 级	60	415	75 min.	520 min.	SMAW	A5.5	E8015-X, E8016-X, E8018-X				
	65	450	80 min.	550 min.	SAW	A5.23	F8XX-EXXX-XX, F8XX-ECXXX-XX				
					GMAW	A5.28	ER80S-XXX, E80C-XXX				
					FCAW	A5.29	E8XTX-X, E8XTX-XC, E8XTX-XM				
ASTM A 514 (大于 2-1/2 in [65 mm])	90	620	100 – 130	690 – 895	SMAW	A5.5	E10015-X, E10016-X, E10018-X, E10018M	≤3/4	≤20	50	10
ASTM A 709 100, 100W 级 (大于 2-1/2 in 至 4 in [65 至 100 mm])	90	620	100 – 130	690 – 895	SAW	A5.23	F10XX-EXXX-XX, F10XX-ECXXX-XX	>3/4 ~ 1-1/2	>20 ~ 38	125	50
ASTM A 710 A 级, 1 类 ≤ 3/4 in [20 mm]	80 – 85	550 – 585	大于等于 90	大于等于 620	GMAW	A5.28	ER100S-XXX, E100C-XXX	>1-1/2 ~ 2-1/2	>38 ~ 65 >65	175	80
ASTM A 710 A 级, 3 类 ≤ 2 in [50 mm]	75 – 80	515 – 550	大于等于 85	大于等于 585	FCAW	A5.29	E10XTX-XC, E10XTX-XM	>2-1/2		225	110
ASTM A 514 (小于等于 2-1/2 in [65 mm])	100	690	110 – 130	760 – 895	SMAW	A5.5	E11015-X, E11016-X, E11018-X, E11018M				
ASTM A 517	90 – 100	620 – 690	105 – 135	725 – 930	SAW	A5.23	F11XX-EXXX-XX, F11XX-ECXXX-XX				
ASTM A 709 100, 100W 级 (小于等于 2-1/2 in [65 mm])	100	690	110 – 130	760 – 895	GMAW	A5.28	ER110S-XXX, E110C-XXX				
					FCAW	A5.29	E11XTX-XC, E11XTX-XM				

(续)

表 4.9 (续)
要求按第 4 章进行评定的、规范认可的母材和填充金属

母材					等强度匹配的填充金属			母材 厚度, T		最低预热和道 间温度	
规格	最小屈服点/强度		拉伸强度范围		焊接方法	AWS 焊丝规格	焊条分类	in	mm	°F	°C
	ksi	MPa	ksi	MPa							
ASTM A 1043/A 1043M 36, 50 级	36 – 52	250 – 360	大于等于 58	大于等于 400	SMAW	A5.1	E7015, E7016, E7018, E7028				
	50 – 65	345 – 450	大于等于 65	大于等于 450		A5.5	E7015-X, E7016-X, E7018-X				
					SAW	A5.17	F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX				
						A5.23	F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX	≤3/4	≤20	50	10
					GMAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (不包括后缀为 GS 的焊丝)	>3/4 ~ 1-1/2	>20 ~ 38	125	50
						A5.28	ER70S-XXX, E70C-XXX	>1-1/2 ~ 2-1/2	>38 ~ 65	175	80
					FCAW	A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (不包括 后缀为 -2C、-2M、-3、-10、-13、-14 和 -GS 的焊丝, 且当厚度大于 1/2 in [12 mm] 时, 不包括后缀为 -11 的焊丝)	>2-1/2	>65	225	110
						A5.29	E7XTX-X, E7XTX-XC, E7XTX-XM				

注:

1. 当焊缝要作应力释放时, 熔敷的焊缝金属含钒量严禁超过 0.05% (见 5.8)。
2. 当合同规定或工作技术条件要求时, 按第 4 章 D 部分进行的夏比 V 形缺口试验, 熔敷的焊缝金属必须具有最低夏比 V 形缺口能量 20 ft•lbs [0°F] ([27.1 J][20°C])。
3. 对 ASTM A514、A517 和 A709 100 和 100W 级钢, 最高预热和道间温度严禁超过 400°F [200°C] (板厚≤1-1/2 in [38 mm]), 及严禁超过 450°F [230°C] (板厚> 1-1/2 in [38 mm])。
4. 填充金属的性能已被移至资料性附录 V。
5. 同级别的 AWS A5M (国际单位制) 焊条 (丝) 可以代替 AWS A5 (美国惯用单位制) 的焊条 (丝) 级别。

表 4.10

焊工和焊机操作工资格评定 — 用板材、圆管和方管试验进行评定所覆盖的产品焊接位置 (见 4.19.1)^j

评定试验			所覆盖的产品板材焊接			所覆盖的产品圆管焊接					所覆盖的产品方管焊接				
焊缝类型	位置 ^a	坡口 CJP	坡口 PJP	角焊缝	对接接头		T、Y、K 形节点		角焊缝	对接接头		T、Y、K 形节点		角焊缝	
					CJP	PJP	CJP	PJP		CJP	PJP	CJP	PJP		
板材	坡口焊缝 _b	1G 2G 3G 4G 3G + 4G	F F, H F, H, V F, OH 全部	F F, H F, H, V F, OH 全部	(F, H) ^h (F, H) ^h (F, H, V) ^h (F, H _h , OH) 全部 ^h	F ^c (F, H) ^c (F, H, V) ^c (F, OH) ^c 全部 ^c	F ^c (F, H) ^c (F, H, V) ^c (F, OH) ^c 全部 ^c		F ^{c,e} (F, H) ^{c,e} (F, H, V) ^{c,e} (F, OH) ^{c,e} 全部 ^{c,e}	(F, H) ^h (F, H) ^h (F, H, V) ^h (F, H _h , OH) 全部 ^h	F ^d (F, H) ^d (F, H, V) ^d (F, OH) ^d 全部 ^d	F F, H F, H, V F, OH 全部		F ^e (F, H) ^e (F, H, V) ^e (F, OH) ^e 全部 ^e	(F, H) ^h (F, H) ^h (F, H, V) ^h (F, H _h , OH) 全部 ^h
	角焊缝	1F 2F 3F 4F 3F + 4F			F _h (F, H) _h (F, H, V) _h (F, H, OH) _h 全部 ^h					F _h (F, H) _h (F, H, V) _h (F, H, OH) _h 全部 ^h					F _h (F, H) _h (F, H, V) _h (F, H, OH) _h 全部 ^h
	塞焊	仅覆盖试验位置的塞焊和槽焊													
管材	坡口焊缝 _b (圆管或方管)	1G 旋转 ⁱ 2G ⁱ 5G ⁱ 6G ⁱ (2G + 5G) ⁱ	F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部	(F, H) ^h (F, H) ^h (F, V _h , OH) 全部 ^h 全部 ^h	F ^f (F, H) ^f (F, V, OH) ^f 全部 ^f 全部 ^f	F ^f (F, H) ^f (F, V, OH) ^f 全部 ^f 全部 ^f		F ^{e,f} (F, H) ^{e,f} (F, V _{e,f} , OH) 全部 ^{e,f} 全部 ^{e,f}	(F, H) ^h (F, H) ^h (F, V _h , OH) 全部 ^h 全部 ^h	F F, H F, V, OH 全部 全部	F F, H F, V, OH 全部 全部		F ^e (F, H) ^e (F, V _e , OH) 全部 ^e 全部 ^e	(F, H) ^h (F, H) ^h (F, V _h , OH) 全部 ^h 全部 ^h
		6GR (图 4.27)	全部	全部	全部 ^h	全部 ^{d,f}	全部 ^f	全部 ^{e,f}	全部 ^{e,f}	全部 ^h	全部 ^d	全部		全部 ^e	全部 ^h
		6GR (图 4.27 和 4.29)	全部	全部	全部 ^h	全部 ^{d,f}	全部 ^f	全部 ^{e,f}	全部 ^{e,f}	全部 ^h	全部 ^d	全部	全部 ^{e,g}	全部 ^e	全部 ^h
	管材角焊缝	1F, 旋转 2F 2F, 旋转 4F 5F			F ^h (F, H) _h (F, H) _h (F, H _h , OH) 全部 ^h					F ^h (F, H) _h (F, H) _h (F, H _h , OH) 全部 ^h					F ^h (F, H) _h (F, H) _h (F, H _h , OH) 全部 ^h

CJP — 接头完全熔透；PJP — 接头部分熔透

^a 见图 4.3、4.4、4.5 和 4.6。^b 对坡口焊缝的评定必须也覆盖所指试验位置的塞焊缝和槽焊缝。^c 仅覆盖使用衬垫、背部清根、或二者兼有的直径等于或大于 24 in [600 mm] 的管子。^d 不覆盖无衬垫仅从一面施焊、或不清根而从两面施焊的接头。

- e 不覆盖坡口角度小于 30° 的焊缝（见 4.13.4.2）。
- f 用方管的评定（图 4.27）也覆盖直径大于 24 in [600 mm] 的圆管的焊接。
- g 用圆管或方管进行 6GR 评定（图 4.27）。如果按图 4.27 用方管，宏观腐蚀试验可在试样的转角部位进行（类似于图 4.29）。
- h 对板材接头和管材 T、Y、K 形节点的二面角的限制见 4.25 和 4.28。
- i 对无衬垫或背部不清根产品接头焊接的评定必须采用图 4.24 (A) 的接头细节。而对用衬垫或背部清根的产品焊接，则可用图 4.24 (A)，也可用图 4.24 (B) 的接头细节进行评定。
- j 电渣焊 (ESW) 和气电焊 (EGW) 操作工的评定仅适用于所试验的位置。

表 4.11
焊工和焊机操作工资格评定 — 试样数量和类型以及覆盖的厚度和直径范围
(尺寸单位: 英寸) (见 4.19.2.1)

(1) 板材试验			试样数量 ^a				覆盖的尺寸					
产品坡口或塞焊焊缝			面弯 ^b (图 4.12)	根弯 ^b (图 4.12)	侧弯 ^b (图 4.13)	宏观 腐蚀	评定所覆盖的板材或管 材公称厚度, 英寸					
试验焊缝的类型 (合适的图)	试板公称 厚度 (T), 英寸						最小值	最大值				
坡口(图 4.31 或 4.32)	3/8		1	1	(注 c)	—	1/8	3/4, 最大 ^d				
坡口(图 4.21、4.22 或 4.30)	$3/8 < T < 1$		—	—	2	—	1/8	2T, 最大 ^d				
坡口(图 4.21、4.22 或 4.30)	等于或大于 1		—	—	2	—	1/8	无限制 ^d				
塞焊(图 4.38)	3/8		—	—	—	2	1/8	无限制				
产品角焊缝 (T 形接头或斜 T 形接头)			试样数量 ^a				覆盖的尺寸					
试验焊缝的类型 (合适的图)	试板公称 厚度 (T), 英寸		角焊 缝破 断	宏观 腐蚀	侧弯 ^b	根弯 ^b	面弯 ^b	评定所覆盖的板材公称厚 度, 英寸		覆盖的二面角角度 ^h		
								最小值	最大值	最小值	最大值	
坡口(图 4.31 或 4.32)	3/8		—	—	(注 c)	1	1	1/8	无限制	30°	无限制	
坡口(图 4.31 或 4.32)	$3/8 < T < 1$		—	—	2	—	—	1/8	无限制	30°	无限制	
坡口(图 4.21、4.22 或 4.30)	≥ 1		—	—	2	—	—	1/8	无限制	30°	无限制	
角焊缝选择 1 (图 4.37)	1/2		1	1	—	—	—	1/8	无限制	60°	135°	
角焊缝选择 2 (图 4.33)	3/8		—	—	—	2	—	1/8	无限制	60°	135°	
角焊缝选择 3 (图 4.20) [任何直径管材]	$> 1/8$		—	1	—	—	—	1/8	无限制	30°	无限制	
(2) 管材试验 ^f			试样数量 ^a								评定所覆盖的板材或 管材公称壁厚 ^d , 英寸	
产品 CJP 坡口对接接头			仅 1G 和 2G 位置			仅 5G、6G 和 6GR 位置			评定所覆盖的板材或 管材公称尺寸, 英寸			
试验焊缝的 类型	试管公称尺 寸, 英寸	试板公称 厚度, 英寸	面弯 ^b	根弯 ^b	侧弯 ^b	面弯 ^b	根弯 ^b	侧弯 ^b	最小值	最大值	最小值	最大值
坡口	≤ 4	无限制	1	1	(注 c)	2	2	(注 c)	3/4	4	1/8	3/4
坡口	> 4	$\leq 3/8$	1	1	(注 c)	2	2	(注 c)	(注 e)	无限制	1/8	3/4
坡口	> 4	$> 3/8$	—	—	2	—	—	4	(注 e)	无限制	3/16	无限制

(续)

表 4.11 (续)
焊工和焊机操作工资格评定 — 试样数量和类型以及覆盖的厚度和直径范围
(尺寸单位: 英寸) (见 4.19.2.1)

(2) 管材试验 ^f (续)			试样数量 ^a		覆盖的尺寸							
产品 T、Y 或 K 形连接 CJP 坡口焊缝					评定所覆盖的板材或管材公称尺寸, 英寸		评定所覆盖的管壁或板材公称厚度 ^d , 英寸		覆盖的二面角角度 ^h			
试验焊缝的类型	试管公称尺寸, 英寸	试板公称厚度, 英寸	侧弯 ^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 (图 4.27)	≥ 6 O.D.	≥ 1/2	4	—	4	无限制	3/16	无限制	30°	无限制		
圆管坡口 (图 4.28)	< 4 O.D.	≥ 0.203	注 i	—	3/4	< 4	1/8	无限制	30°	无限制		
方管坡口 (图 4.29)	无限制	≥ 1/2	4	4	无限制 (仅为方管)	无限制 (仅为方管)	3/16	无限制	30°	无限制		
产品 T、Y 或 K 形连接角焊缝		试样数量 ^a					覆盖的尺寸					
试验焊缝的类型	试管的公称尺寸, D	试板公称厚度, 英寸	角焊缝破断	宏观腐蚀	根弯 ^b	面弯 ^b	评定所覆盖的板材或管材公称尺寸, 英寸		评定所覆盖的管壁或板材公称厚度		覆盖的二面角角度 ^h	
							最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值
5G 位置 (坡口)	无限制	≥ 1/8	—	—	2 (注 c)	2 (注 c)	(注 e)	无限制	1/8 (注 d)	无限制 (注 d)	30°	无限制
选择 1 — 角焊缝 (图 4.37) ^g	—	≥ 1/2	1	1	—	—	24	无限制	1/8	无限制	60°	无限制
选择 2 — 角焊缝 (图 4.33) ^g	—	3/8	—	—	2	—	24	无限制	1/8	无限制	60°	无限制
选择 3 — 角焊缝 (图 4.20)	无限制	≥ 1/8	—	1	—	—	D	无限制	1/8	无限制	30°	无限制
(3) 电渣焊和气电焊试验												
产品板材坡口试验					试样数量 ^a		评定所覆盖的板材公称厚度, 英寸					
试验焊缝的类型		试板公称厚度 (T) , 英寸			侧弯 ^b (见图 4.13)		最小值		最大值			
坡口 (图 4.36)		< 1-1/2			2		1/8		T			
		1-1/2			2		1/8		无限制			

^a 所有焊缝必须目检 (见 4.31.1)。除有注明外, 每一试验位置需一试管或试板。

^b 试板或试管可以用射线检查代替弯曲试验 (见 4.20.1.1)。

^c 对于 3/8 in 板厚或壁厚, 可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。

^d 也覆盖任何厚度的板材或管材的任何角焊缝或 PJP 焊缝尺寸的焊接。

^e 覆盖的最小管材尺寸为试验管材直径的一半或 4 in, 取其中之较大值。

^f 适用坡口细节见表 4.10。

^g 需两件试板, 每一件都要符合规定的试样要求。必须一件在 3F 位置焊接, 而另一件在 4F 位置焊接。

^h 对二面角 <30°者, 见 4.27.1。

ⁱ 两个根弯和两个面弯。

表 4.11 (续)

焊工和焊机操作工资格评定 — 试样数量和类型以及覆盖的厚度和直径范围 (尺寸单位: mm) (见 4.19.2.1)

(1) 板材试验			试样数量 ^a				覆盖的尺寸					
产品坡口或塞焊焊缝		试板公称厚度 (T) , mm	面弯 ^b (图 4.12)	根弯 ^b (图 4.12)	侧弯 ^b (图 4.13)	宏观腐蚀	评定所覆盖的板材或管 材公称厚度, mm					
							最小值	最大值				
试验焊缝的类型 (合适 的图)												
坡口(图 4.31 或 4.32)		10	1	1	(注 c)	—	3	20, 最大 ^d				
坡口(图 4.21、4.22 或 4.30)		10 < T < 25	—	—	2	—	3	2T, 最大 ^d				
坡口(图 4.21、4.22 或 4.30)		等于或大于 25	—	—	2	—	3	无限制 ^d				
塞焊(图 4.38)		10	—	—	—	2	3	无限制				
产品角焊缝 (T 形接头或斜 T 形接头)			试样数量 ^a				覆盖的尺寸		覆盖的二面角角 度 ^h			
试验焊缝的类型 (合适的图)	试板公称厚 度 (T) , mm	角焊 缝破 断	宏观腐 蚀	侧弯 ^b	根弯 ^b	面弯 ^b	评定所覆盖的板材公称厚 度, mm					
							最小值	最大值	最小值	最大值		
坡口(图 4.31 或 4.32)	10	—	—	(注 c)	1	1	3	无限制	30°	无限制		
坡口(图 4.31 或 4.32)	10 < T < 25	—	—	2	—	—	3	无限制	30°	无限制		
坡口(图 4.21、4.22 或 4.30)	≥ 25	—	—	2	—	—	3	无限制	30°	无限制		
角焊缝选择 1 (图 4.37)	12	1	1	— _—	—	—	3	无限制	60°	135°		
角焊缝选择 2 (图 4.33)	10	—	—	—	2	—	3	无限制	60°	135°		
角焊缝选择 3 (图 4.20) [任何直径管材]	> 3	—	1	—	—	—	3	无限制	30°	无限制		
(2) 管材试验 ^e			试样数量 ^a						评定所覆盖的板 材或管材公称壁 厚 ^d , mm			
产品 CJP 坡口对接接头			仅 1G 和 2G 位置			仅 5G、6G 和 6GR 位置					评定所覆盖的板材或 管材公称尺寸, mm	
试验焊缝的 类型	试管的公称 尺寸, mm	试板公称厚 度, mm	面弯 ^b	根弯 ^b	侧弯 ^b	面弯 ^b	根弯 ^b	侧弯 ^b	最小值	最大值	最小值	最大值
坡口	≤ 100	无限制	1	1	(注 c)	2	2	(注 c)	20	100	3	20
坡口	> 100	≤ 10	1	1	(注 c)	2	2	(注 c)	(注 e)	无限制	3	20
坡口	> 100	> 10	—	—	2	—	—	4	(注 e)	无限制	5	无限制

(续)

表 4.11 (续)
焊工和焊机操作工资格评定 — 试样数量和类型以及覆盖的厚度和直径范围
(尺寸单位: mm) (见 4.19.2.1)

(2) 管材试验 ^f (续)												
产品 T、Y 或 K 形连接 CJP 坡口焊缝			试样数量 ^a		覆盖的尺寸							
					评定所覆盖的板材或管材公称尺寸, mm		评定所覆盖的管壁或板材公称厚度, mm		覆盖的二面角角度 ^h			
试验焊缝的类型	试管的公称尺寸, mm	试板公称厚度, mm	侧弯 ^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 (图 4.27)	≥ 150 O.D.	≥ 12	4	—	100	无限制	5	无限制	30°	无限制		
圆管坡口 (图 4.28)	< 100 O.D.	≥ 5	注 i	—	20	< 100	3	无限制	30°	无限制		
方管坡口 (图 4.29)	无限制	≥ 12	4	4	无限制 (仅为方管)	无限制 (仅为方管)	5	无限制	30°	无限制		
产品 T、Y 或 K 形连接角焊缝			试样数量 ^a				覆盖的尺寸					
试验焊缝的类型	试管的公称尺寸, D	试板公称厚度, mm	角焊缝破断	宏观腐蚀	根弯 ^b	面弯 ^b	评定所覆盖的板材或管材公称尺寸, mm		评定所覆盖的管壁或板材公称厚度, mm		覆盖的二面角角度 ^h	
							最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值
5G 位置 (坡口)	无限制	≥ 3	—	—	2 (注 c)	2 (注 c)	(注 e)	无限制	3 (注 d)	无限制 (注 d)	30°	无限制
选择 1 — 角焊缝 (图 4.37) ^g	—	≥ 12	1	1	—	—	600	无限制	3	无限制	60°	无限制
选择 2 — 角焊缝 (图 4.33) ^g	—	10	—	—	2	—	600	无限制	3	无限制	60°	无限制
选择 3 — 角焊缝 (图 4.20)	无限制	≥ 3	—	1	—	—	D	无限制	3	无限制	30°	无限制
(3) 电渣焊和气电焊试验												
产品板材坡口试验				试样数量 ^a			评定所覆盖的板材公称厚度, mm					
试验焊缝的类型	试板公称厚度 (T) , mm			侧弯 ^b (见图 4.13)			最小值		最大值			
	< 38			2			3		T			
	38			2			3		无限制			

^a 所有焊缝必须目检 (见 4.31.1)。除有注明外, 每一试验位置需一试管或试板。

^b 试板或试管可以用射线检查代替弯曲试验 (见 4.20.1.1)。

^c 对于 10 mm 板厚或壁厚, 可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。

^d 也覆盖任何厚度的板材或管材的任何角焊缝或 PJP 焊缝尺寸的焊接。

^e 覆盖的最小管材尺寸为试验管材直径的一半或 100 mm, 取其中之较大值。

^f 适用坡口细节见表 4.10。

^g 需两件试板, 每一件都要符合规定的试样要求。必须一件在 3F 位置焊接, 而另一件在 4F 位置焊接。

^h 对二面角 <30°者, 见 4.27.1。

ⁱ 两个根弯和两个面弯。

表 4.12
焊接人员资格评定中基本参数的改变需重作评定的情况（见 4.23）

需重作评定的 WPQR 中基本参数改变的内容	焊接人员		
	焊工 ^b	焊机操作工 ^{b, c}	定位焊工
(1) 未评定过的焊接方法（GMAW-S 可看作独立的方法）	X	X	X
(2) 所用 SMAW 焊条 F 序号（见表 4.13）大于 WPQR 中所用焊条 F 序号。	X		X
(3) 未覆盖的位置	X	X	X
(4) 未覆盖的直径或厚度	X	X	
(5) 未覆盖的立焊的施焊方向（向上或向下）	X		
(6) 取消衬垫（如在 WPQR 试验中使用了衬垫）	X	X	
(7) 使用多丝（如在 WPQR 试验中使用单丝），但反之不然。		X ^a	

^a 不适用于 ESW 或 EGW。

^b 焊工用 SAW、GMAW、FCAW 或 GTAW 所作的资格评定必须被认为是使用同样焊接方法进行了焊机操作工的评定，但要受到焊工基本参数的限定。

^c 如表 4.11 所示坡口焊缝评定覆盖 WPQR 的焊接位置和厚度范围的槽焊。

注：

1. “X”表示适用于焊接人员资格评定；阴影块表示不适用。

2. WPQR = 焊接人员资格评定记录。

表 4.13
焊条等级的组别
（见表 4.12）

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

注：表中等级代号中所用的字母“XX”代表焊条不同的强度级别（60[415]，70[485]，80[550]，90[620]，100[690]，110[760]，和120[830]）。

表 4.14
CVN 试验要求（见 4.36）

焊接方法 ^a	试验部位	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]	剪切面积最 小平均百分 比，%	横向膨胀最 小平均值， Mils/mm
SMAW	焊缝金属	3	（注 c）	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(Note f)	(Note f)
GTAW	熔合线	3	（注 c）	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(Note f)	(Note f)
GMAW	+1 mm							
SAW	熔合线	3	（注 c）	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(Note f)	(Note f)
ESW	+1 mm							
EGW	熔合线	3	（注 c）	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(Note f)	(Note f)
FCAW-S	+1 mm							
FCAW-G								

^a 结合 FCAW-S 和其他焊接方法的 WPS 必须进行规定的试验以保证在两种熔敷的焊缝金属交界面处符合 CVN 试验判据要求。

^b 替代的试样数允许每试验部位取 5 个试样。其中最高值和最低值必须弃去，以便将焊缝和 HAZ 的 CVN 试验的某些

离散度降至最低限度。

- c 必须在合同文件或技术条件中规定试验温度。当要求小尺寸试样、且横过缺口的试样宽度小于母材厚度的 80% 时，则试验温度必须按表 4.15 降低。
- d 当试验材料为 7/16 in [11 mm] 或更厚时，必须用正规尺寸试样。当试验材料厚度小于 7/16 in [11 mm]、或当焊件几何形状限制了正规尺寸试样的截取时，必须使用小尺寸试样。
- e 适用于最低规定屈服强度 (SMYS) 50 ksi [345 MPa] 的母材间的焊缝。最低规定屈服强度超过 50 ksi [345 MPa] 的材料之间的焊缝的合格判据必须在合同文件或技术条件中规定。
- f 当在合同文件或技术文件中规定时，必须记录剪切面积百分比和侧向膨胀的数值。

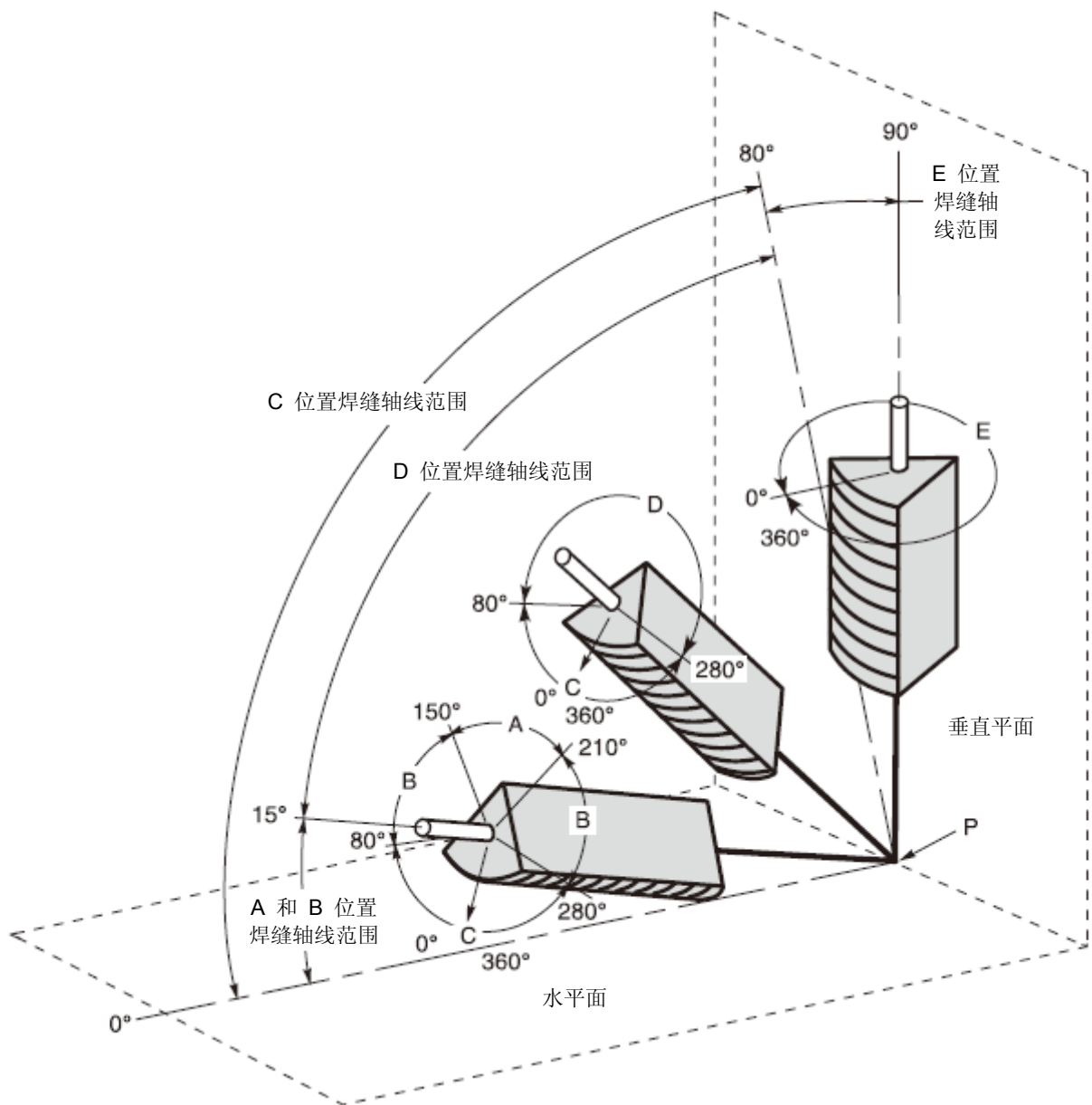
表 4.15
CVN 试验温度降低值 (见 4.36.5)
用于当横过缺口处的宽度小于母材厚度 80% 的小尺寸 CVN 试样

试样尺寸 mm	低于规定试验温度的试验温度降低值	
	°F	°C
10 × 10	0	0
10 × 9	0	0
10 × 8	0	0
10 × 7.5	5	2.8
10 × 7	8	4.5
10 × 6.7	10	5.6
10 × 6	15	8.4
10 × 5	20	11.1
10 × 4	30	16.8
10 × 3.3	35	19.4
10 × 3	40	22.4
10 × 2.5	50	27.8

示例：如果设计图纸或技术条件表明 CVN 试验必须在 32°F [0°C] 进行，且使用 10 mm × 5 mm 小尺寸试样时，实际试验温度则为 12°F [-11°C]。

注：用于小尺寸试样的最小合格能量值的降低量必须按 ASTM A 370a-97 表 9 确定。

坡口焊缝位置表			
位置	图中代号	轴线倾角	面旋转角
平	A	0° 至 15°	150° 至 210°
横	E	0° 至 15°	80° 至 150° 210° 至 280°
仰	C	0° 至 80°	0° 至 80° 280° 至 360°
立	D E	15° 至 80° 80° 至 90°	80° 至 280° 0° 至 360°



- 注：
- 1. 水平参照面总是位于所考虑焊缝的下方。
 - 2. 轴线倾角系由水平参照面向垂直参照面进行测量。
 - 3. 面旋转角由一根垂直于焊缝理论面的直线决定，焊缝理论面通过焊缝轴线。面旋转角的参照位置 (0°) 一律位于轴线倾角增加的反向一侧。当向 P 点观察时，焊缝面旋转角系由参照位置 (0°) 按顺时针方向测量。

图 4.1—坡口焊缝位置（见 4.3.4）

角焊缝位置表			
位置	图中代号	轴线倾角	面旋转角
平	A	0° 至 15°	150° 至 210°
横	E	0° 至 15°	125° 至 150° 210° 至 235°
仰	C	0° 至 80°	0° 至 125° 235° 至 360°
立	D E	15° 至 80°	125° 至 235°

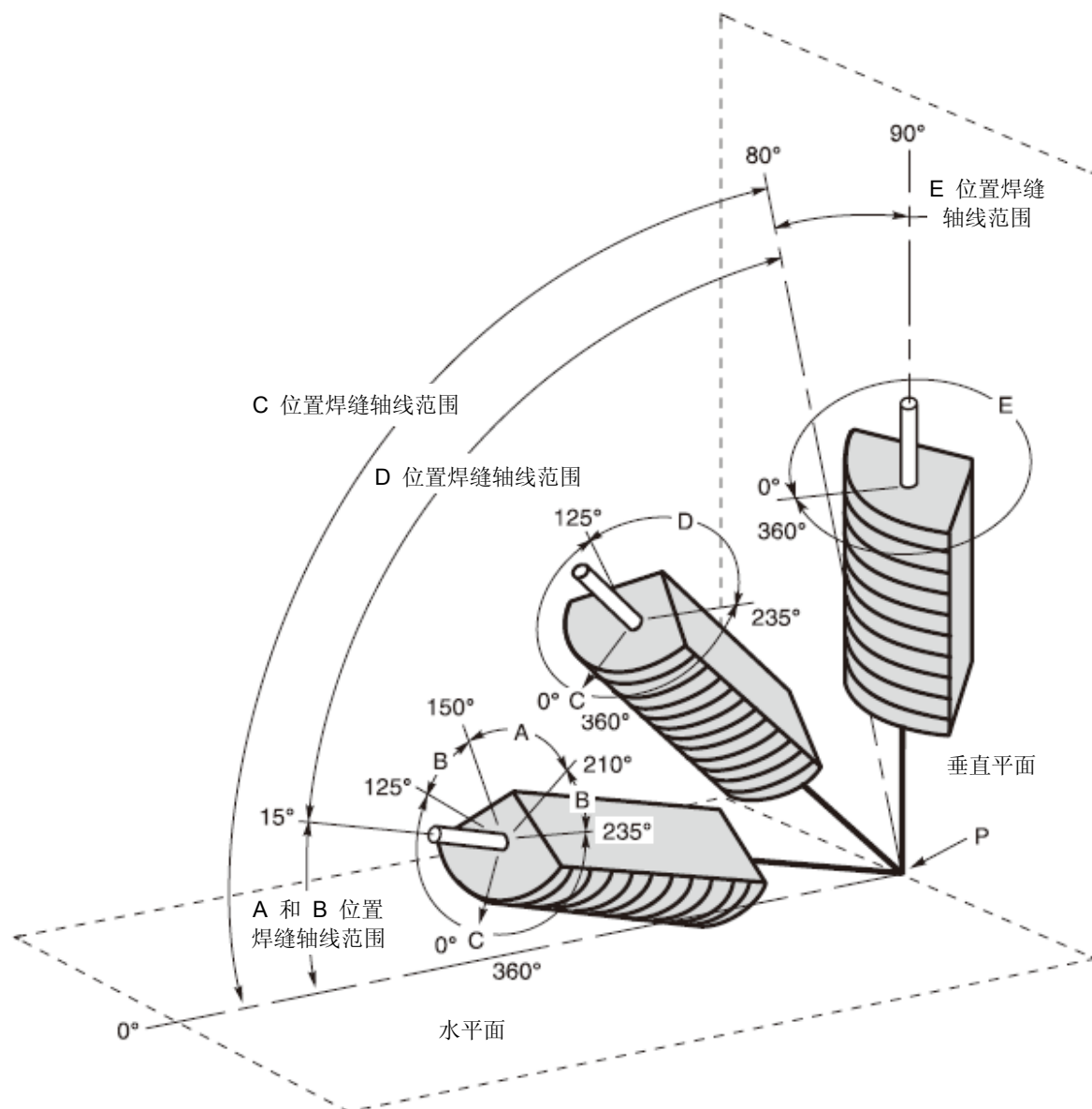
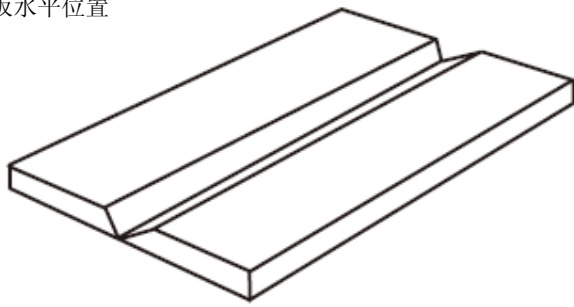
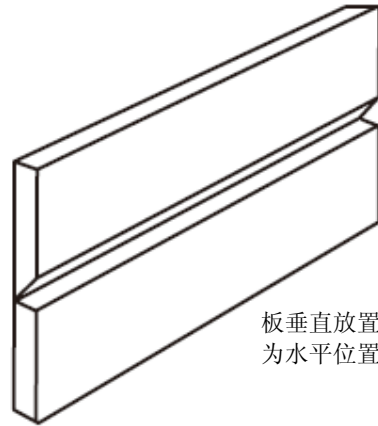


图 4.2—角焊缝位置 (见 4.3.4)

板水平位置



(A) 平焊试验位置 1G



板垂直放置；焊缝轴线
为水平位置

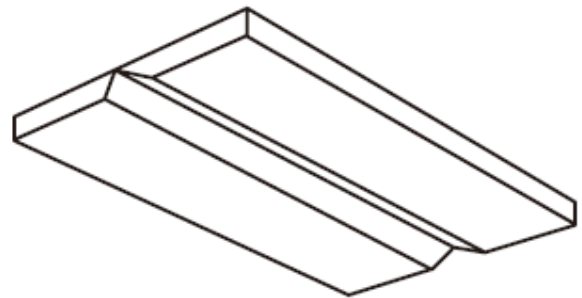
(B) 横焊试验位置 2G



板垂直放置；焊缝轴线
为垂直位置

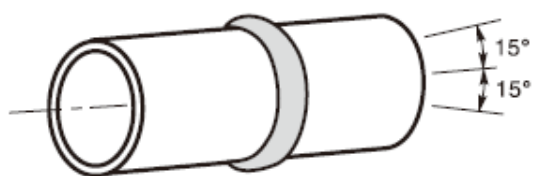
(C) 立焊试验位置 3G

板水平位置



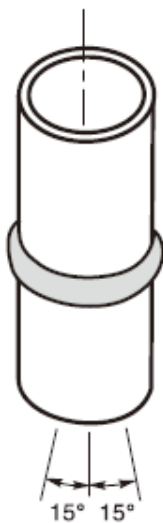
(D) 仰焊试验位置 4G

图 4.3—坡口焊缝试板位置（见 4.3.4）



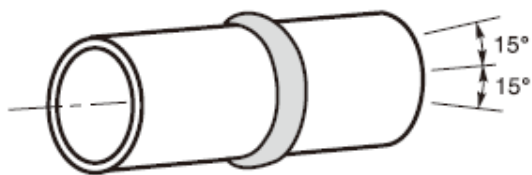
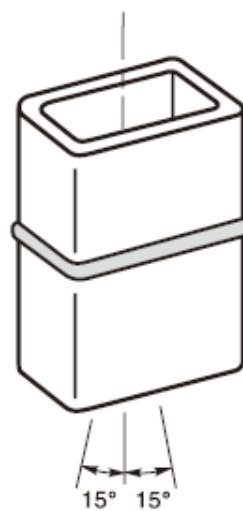
管水平放置, 转动。平焊位置施焊 ($\pm 15^\circ$)。
在顶部或顶部近处熔敷填充金属

(A) 平焊试验位置 1G (转动)

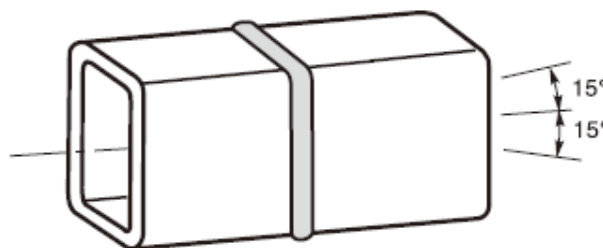


管垂直放置, 焊接时不转动。横焊位置施焊 ($\pm 15^\circ$)。

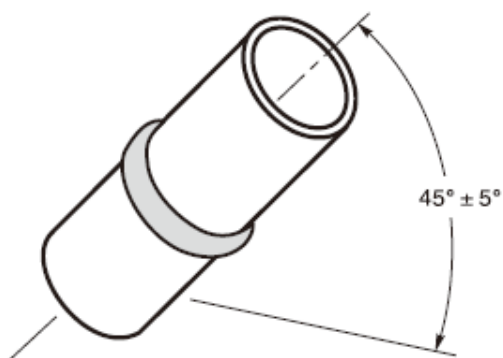
(B) 横焊试验位置 2G



管水平放置并固定 ($\pm 15^\circ$)，焊接时不转动。平焊、立焊和仰焊位置施焊。



(C) 复合施焊位置试验位置 5G

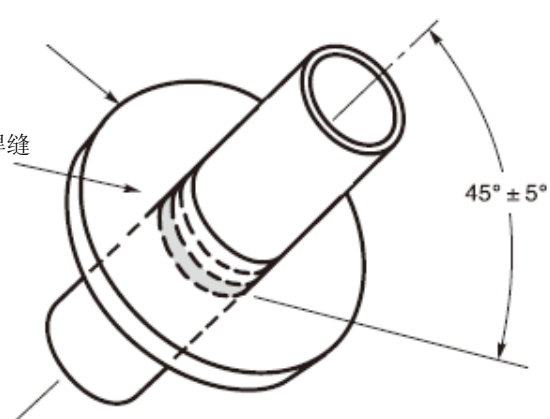


管倾斜固定 ($45^\circ \pm 5^\circ$)，焊接时不旋转。

(D) 复合施焊位置试验位置 6G

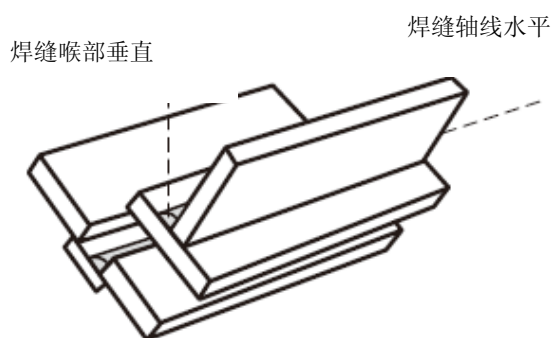
限位圆盘

试验焊缝

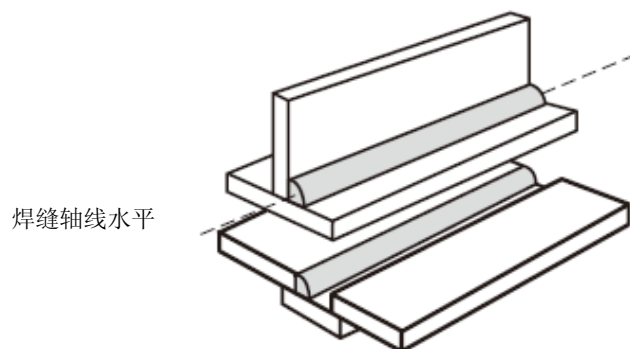


(E) 带限位的复合施焊位置试验位置 6GR(T、Y 或 K 形节点)

图 4.4 — 管材坡口焊缝试验位置 (见 4.3.4)

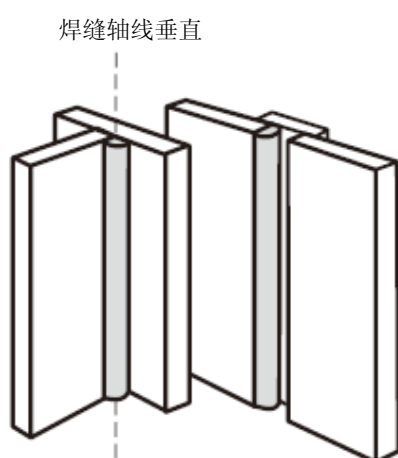


(A) 平焊试验位置 1F

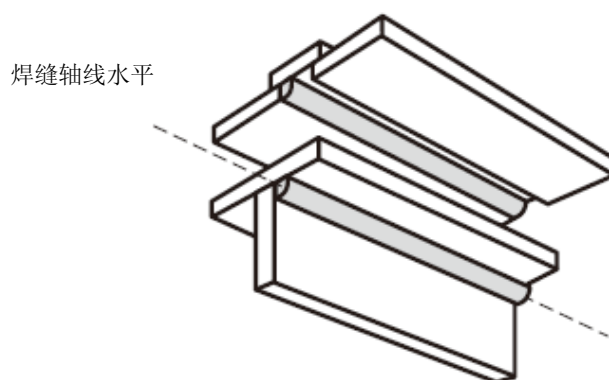


注：一块板必须水平放置。

(B) 横焊试验位置 2F



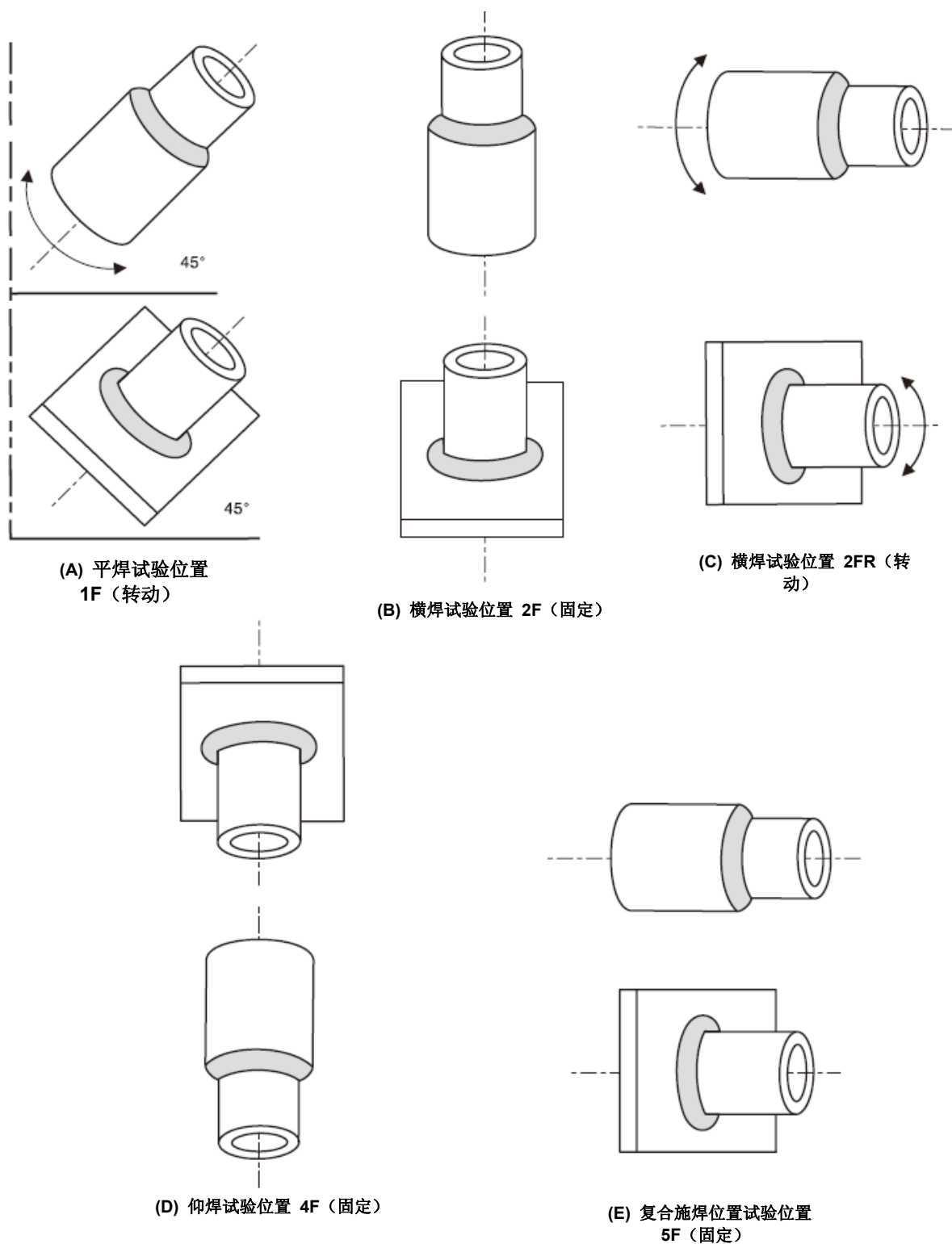
(C) 立焊试验位置 3F



注：一块板必须水平放置。

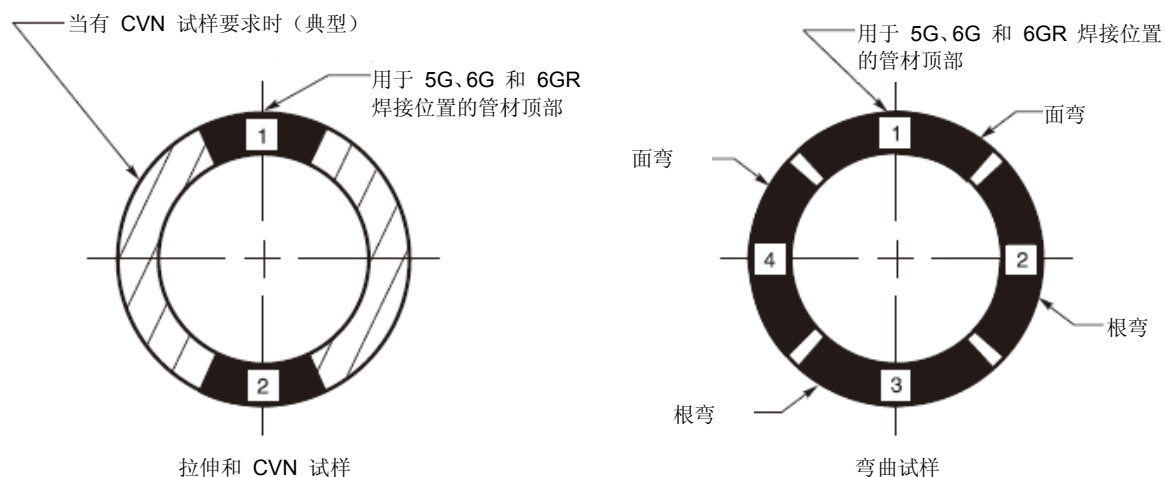
(D) 仰焊试验位置 4F

图 4.5 — 板材角焊缝试验位置（见 4.3.4）

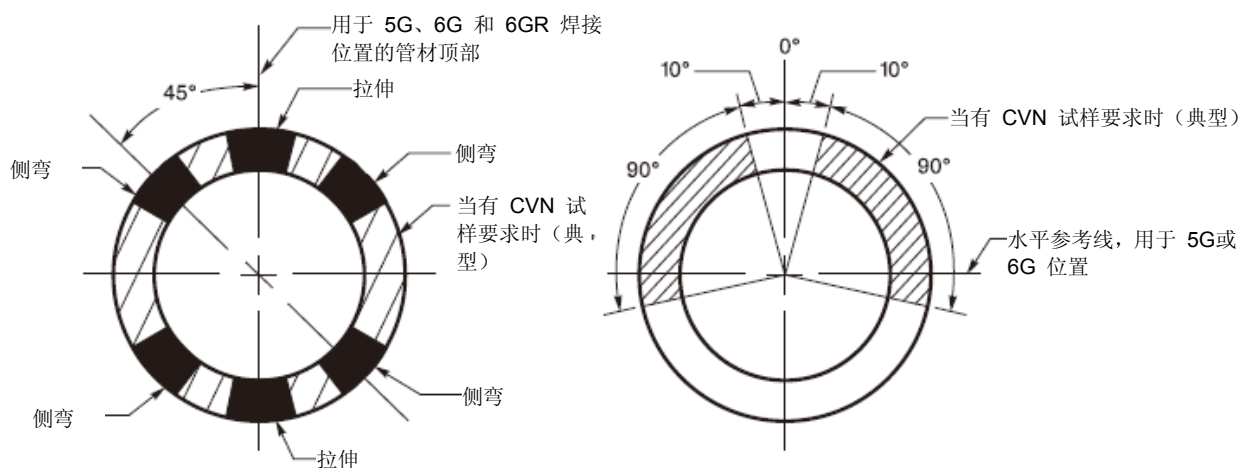


从 AWS A3.0M/A3.0:2010 复制,《标准焊接术语和定义》,包括粘接法、铜焊、软钎焊、热切割和热喷涂等术语。图 B.20, Miami: 美国焊接协会,

图 4.6 — 管材角焊缝试验位置 (见 4.3.4)



详图 A — 直径为 2 in 或 3 in [直径为 50 mm 或 75 mm]



详图 B — 直径为 6 in 或 8 in [直径为 150 mm 或 200 mm]

详图 C — 当需要时, 用于工作尺寸管的 CVN 试样部位

注: 当合同或技术条件规定进行 CVN 试验时, 可采用相同的复制试验管件或大尺寸工作管件。

图 4.7 — 焊接试管上的试样位置 (见 4.9)

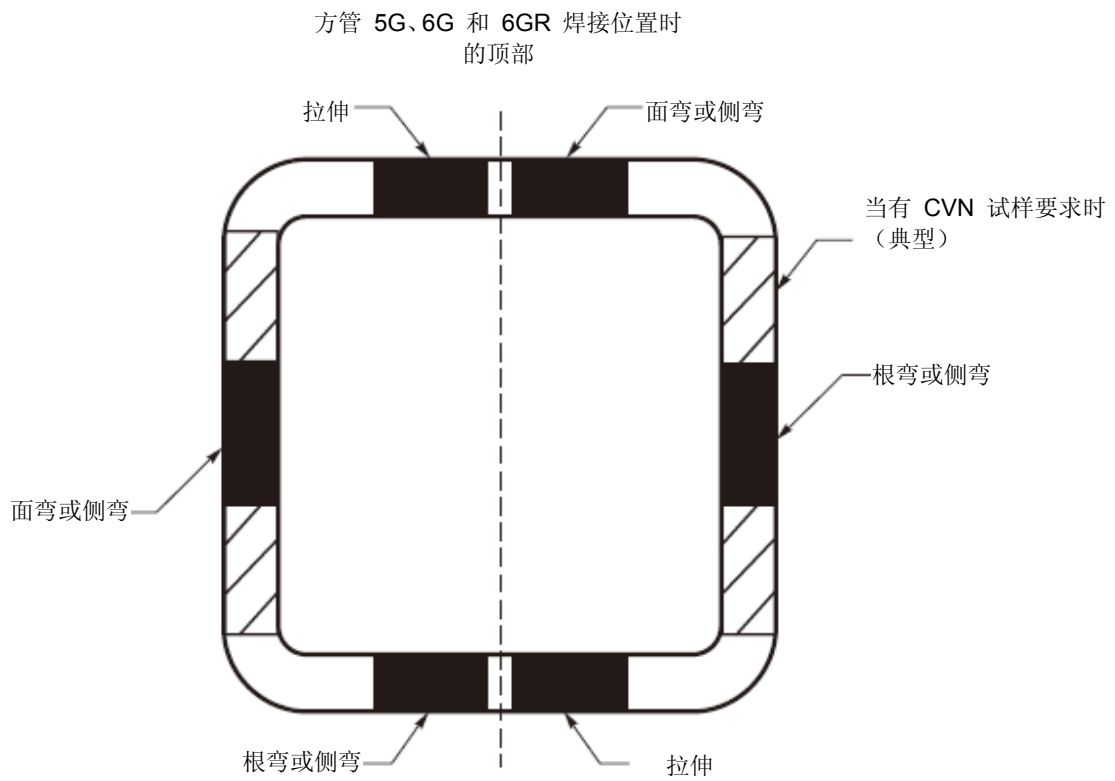
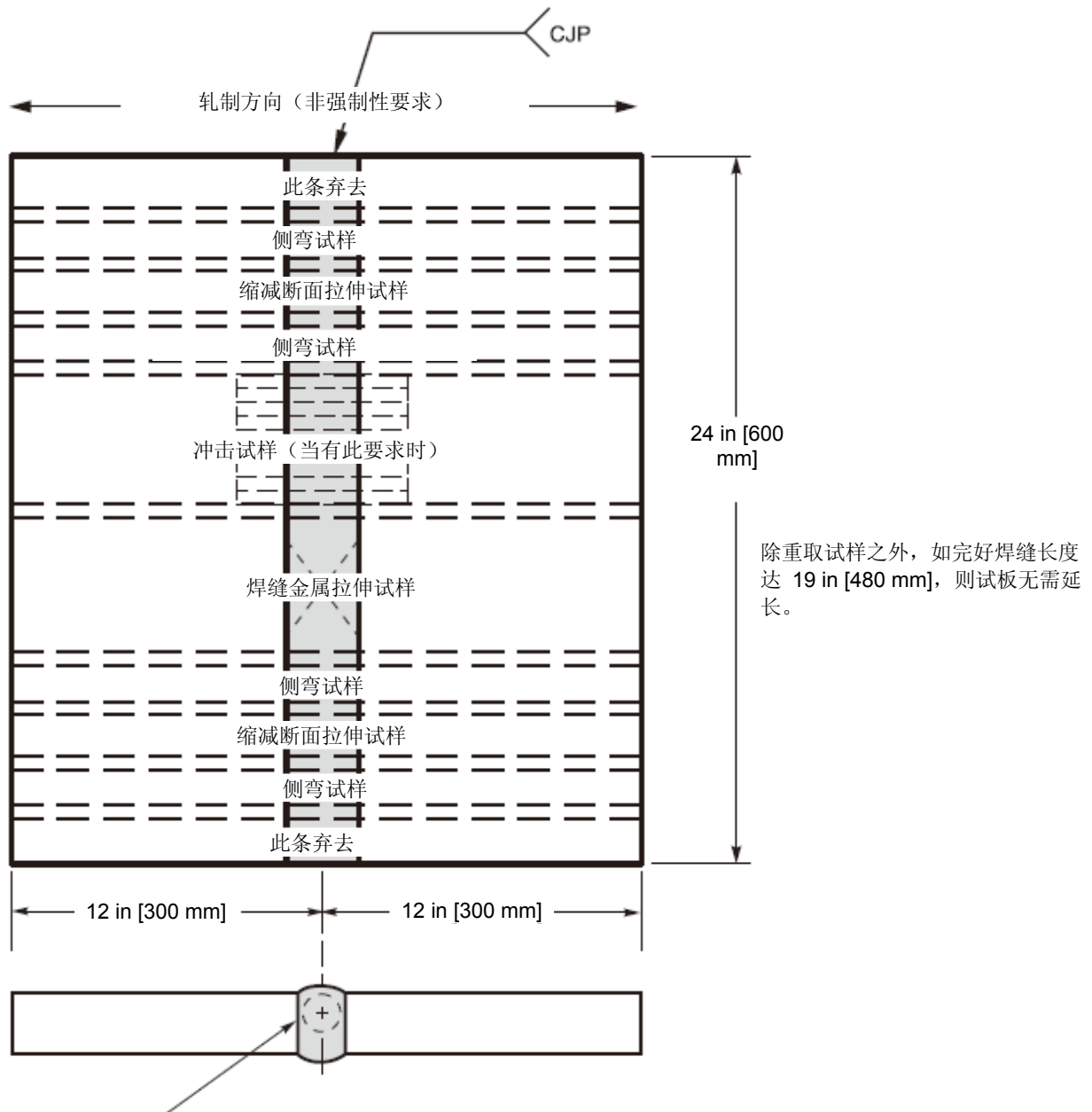


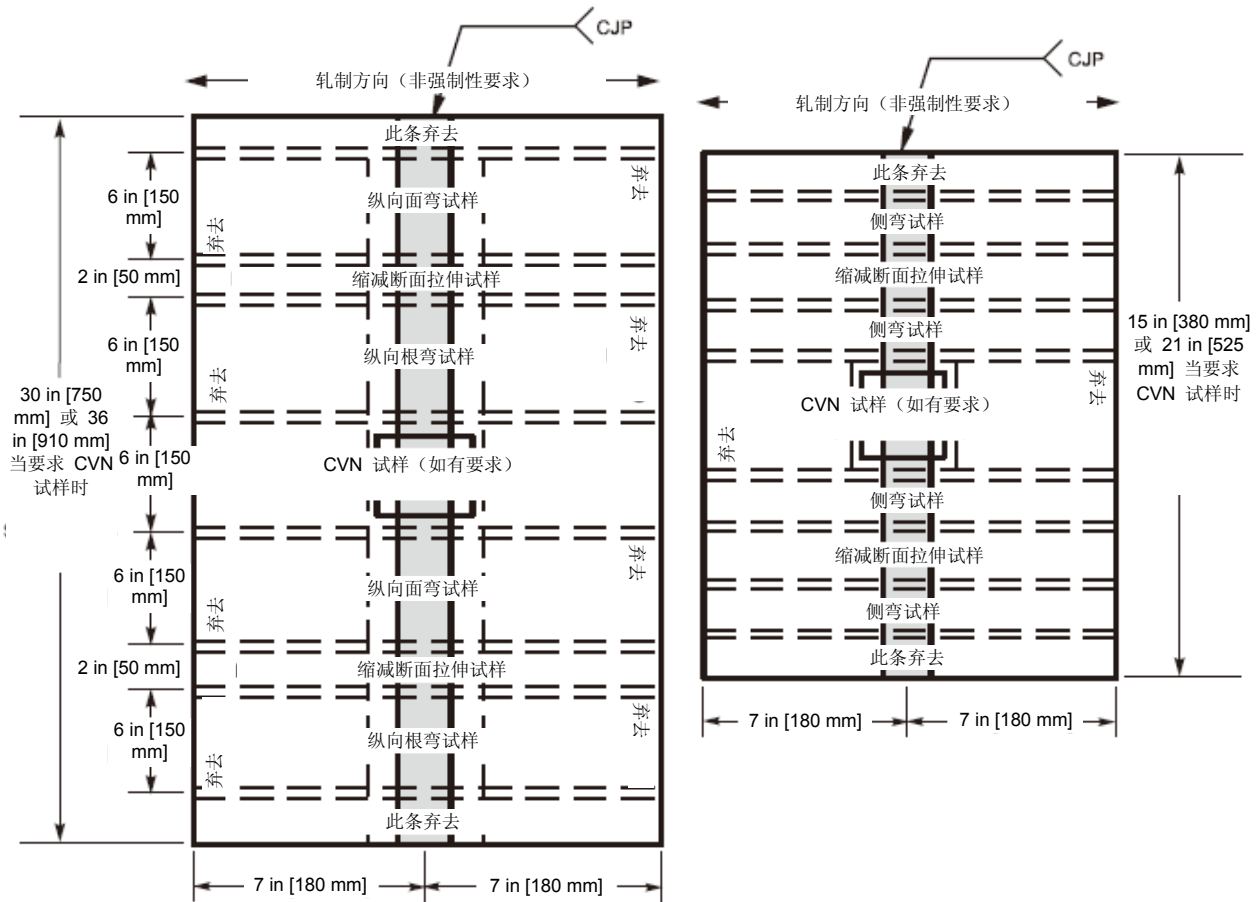
图 4.8 — 焊接方管上的试样位置 (见 4.9)



注:

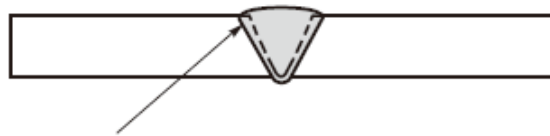
1. 此处所示坡口形状仅用于对本图的说明。试板的坡口形状必须符合正待评定的用于生产的坡口形状。
2. 当要求 CVN 试样时, 要求见第四章 D 部分。
3. 所有尺寸为最小值。

图 4.9 — WPS 评定用: ESW 和 EGW 的焊接试板上的试样位置 (见 4.9)



(1) 纵向弯曲试样

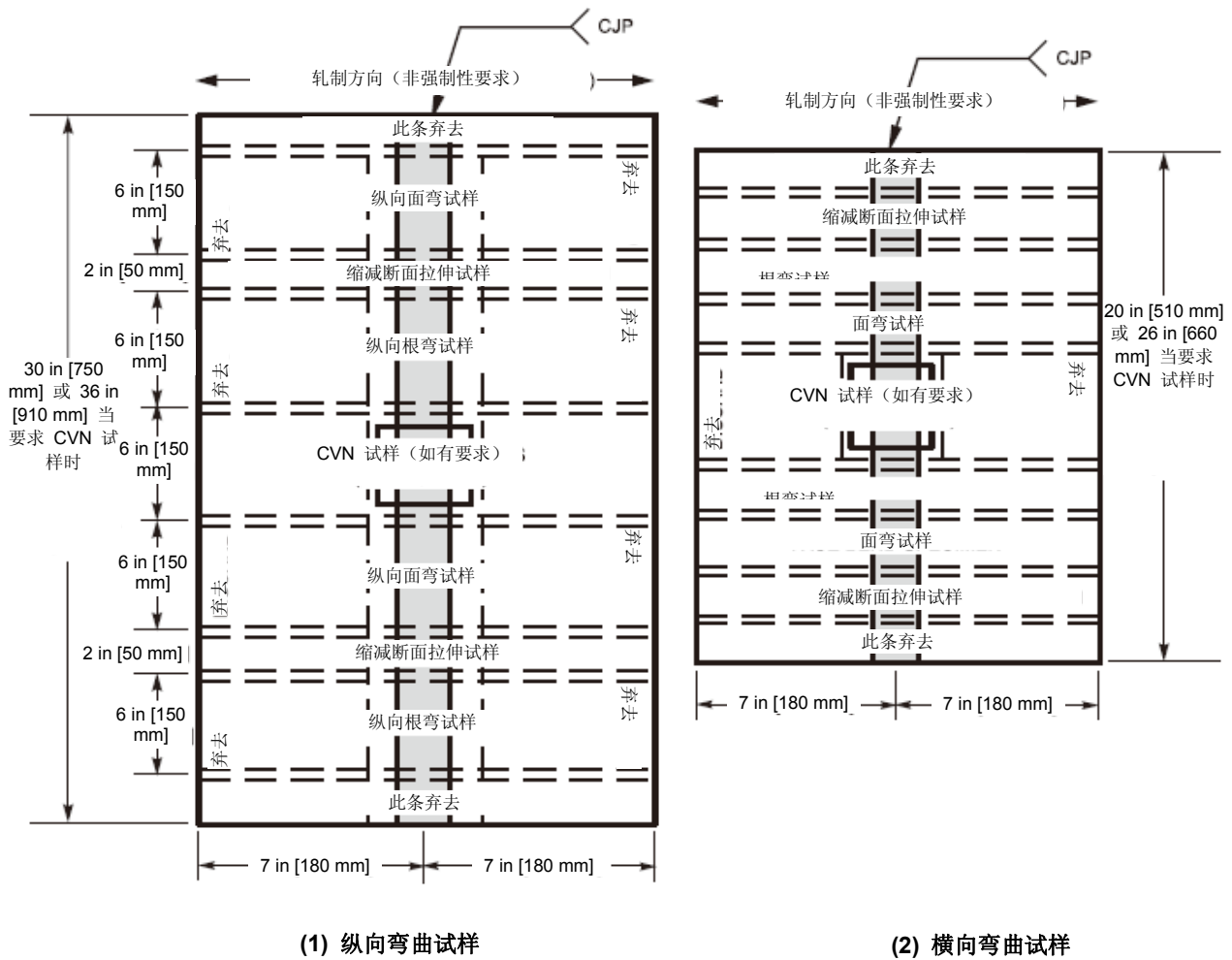
(2) 横向弯曲试样



注:

1. 此处所示坡口形状仅用于对本图的说明。试板的坡口形状必须符合正待评定的用于生产的坡口形状。
2. 当要求 CVN 试验时，试验必须从图 4.40 所示部位截取。
3. 所有尺寸为最小值。

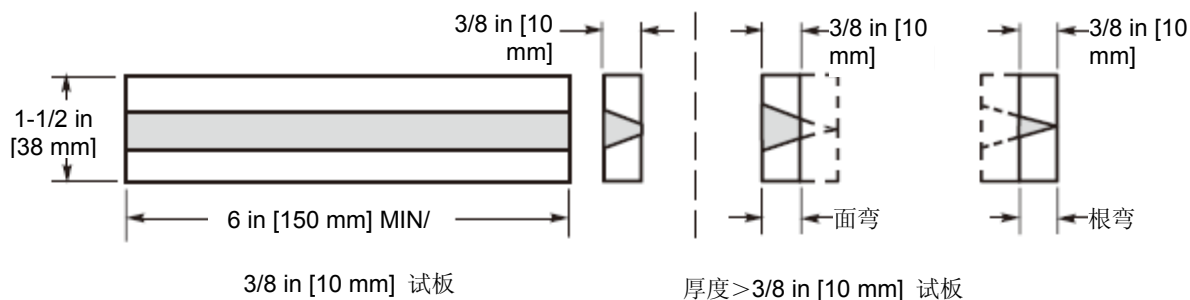
图 4.10 — WPS 评定用：厚度超过 3/8 in [10 mm] 的焊接试板上的试样位置（见 4.9）



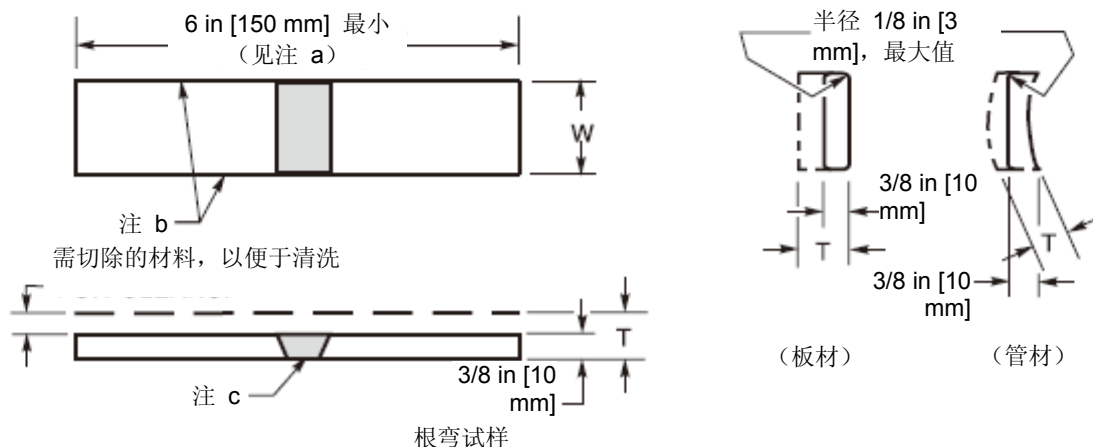
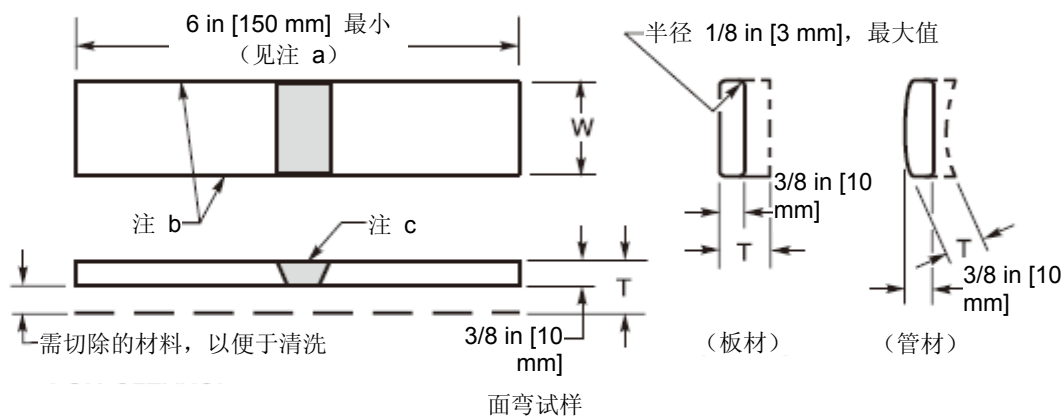
注:

1. 此处所示坡口形状仅用于对本图的说明。试板的坡口形状必须符合正待评定的用于生产的坡口形状。
2. 当要求 CVN 试验时，试验必须从图 4.40 所示部位截取。
3. 所有尺寸为最小值。
4. 对于 3/8 in [10 mm] 板厚，可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。试板长度和试样部位见图 4.10 (2)。

图 4.11 — WPS 评定用：厚度等于或小于 3/8 in [10 mm] 的焊接试板上的试样位置
(见 4.9)



(1) 纵向弯曲试样



(2) 横向弯曲试样

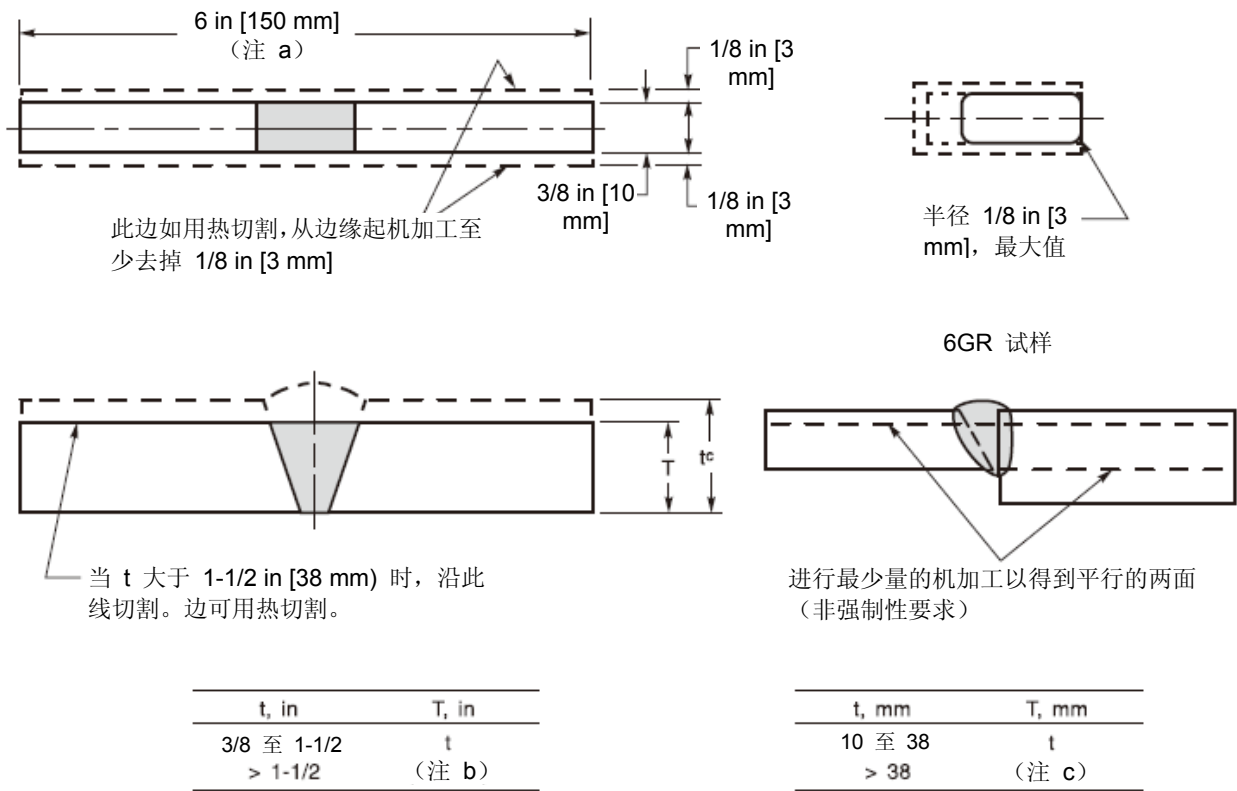
尺寸	
试验焊件	试样宽度 (W), mm
板材	1-1/2 [40]
直径 ≤ 4 in [100 mm] 试验管材	1 [25]
直径 ≥ 4 in [100 mm] 试验管材	1-1/2 [40]

- 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，试样应更长。
- b 此边可热切割而成，用或不用机加工均可。
- c 如有焊缝余高或衬垫，必须除去，使与试样表面平齐（见 5.24.3.1 和 5.24.3.2）。如采用凹形衬垫，可用机加工除去衬垫，加工量不超过凹槽深；在这种情况下，完工试样的厚度必须为上述规定的厚度。切割的表面必须光滑且平行。

注:

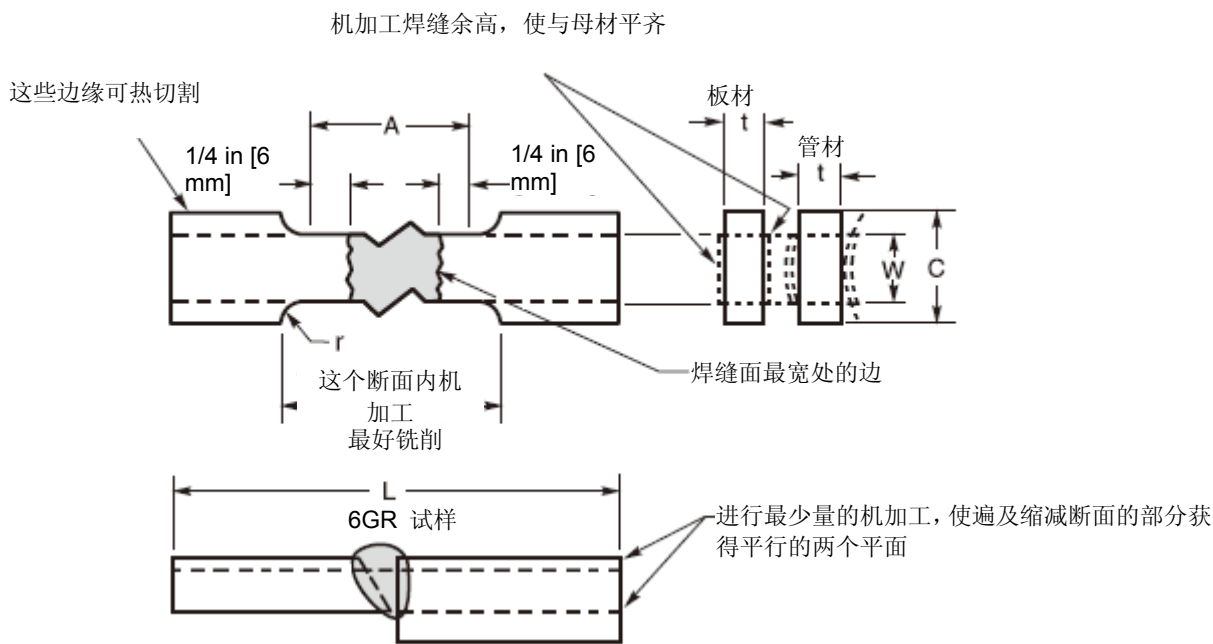
1. T = 板材或管材厚度。
2. 当试板厚度小于 $3/8$ in [10 mm] 时, 面弯和根弯试样采用公称厚度。

图 4.12 – 面弯和根弯试样（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, 试样应更长。
- b 对厚度超过 1-1/2 in [38 mm] 的试板, 可将试样切割成大致相等的板条, 其 T 在 3/4 in [20 mm] 和 1-1/2 in [38 mm] 之间, 并对每根板条作试验。
- c t = 板材或管材厚度。

图 4.13 — 侧弯试样 (见 4.9.3.1)



尺寸 in. [mm]			
焊接试板标称厚度, Tp			焊接试管
Tp ≤ 1 in [25 mm]	1 in [25 mm] < Tp < 1-1/2 in [38 mm]	Tp ≥ 1-1/2 in [38 mm]	直径 2 in [50] 直径 6 in [150]

	[38 mm]			mm] 和 3 in [75 mm]	mm] 和 8 in [200 mm] 或者 更大的工件管材
A — 缩减断面的长度	焊缝最宽处的宽度 + 1/2 in [12 mm], 2-1/4 in [60 mm] min.			焊缝最宽处的宽度 + 1/2 in [12 mm], 2-1/4 in [60 mm] min.	
L — 总长最小值 ^a	按试验设备要求			按试验设备要求	
W — 缩减断面处宽度 ^{b, c}	3/4 in [20 mm] min.	3/4 in [20 mm] min.	3/4 in [20 mm] min.	1/2 ± 0.01 (12 ± 0.025)	3/4 in [20 mm] min.
C — 夹紧段宽度 ^{c, d}	W + 1/2 in [12 mm] min.	W + 1/2 in [12 mm] min.	W + 1/2 in [12 mm] min.	W + 1/2 in [12 mm] min.	W + 1/2 in [12 mm] min.
T — 试样厚度 ^{e, f}	Tp	Tp	Tp/n (注 f)	在长度 A 范围内两平行平面的最大可能的厚度	
r — 圆角半径最小值	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, 称心的情况是夹持段足够长, 以使试样伸进夹头中的长度为夹持头长度的 2/3 或更长。

^b 缩减断面的两个端部的宽度差严禁大于 0.004 in [0.102 mm]。或者宽度同时由两端向中部逐渐减少, 但任何一个端部的宽度严禁比中部的宽度大 0.015 in [0.381 mm]。

^c 如有需要, W 和 C 的宽度可以更窄些。在这种情况下, 缩减断面的宽度应为被试材料所允许的宽度。如果材料宽度小于 W, 则试样在全长范围内可两边平行。

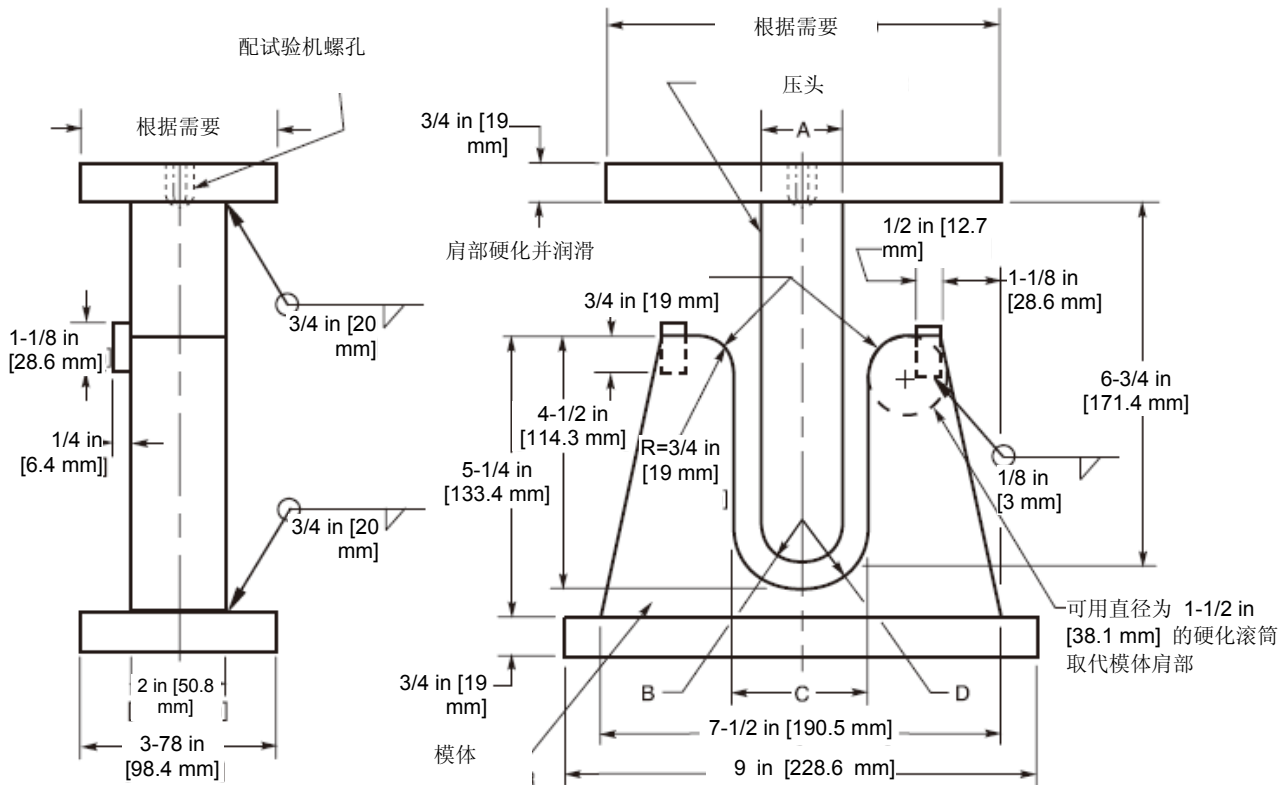
^d 对标准板型试样, 试样的端部必须对称于缩减断面的中心线, 偏差在 1/4 in [6 mm] 以内。

^e 尺寸 t 为试样厚度, 按适用的材料技术规范而定。除产品技术规定所允许以外, 宽度为 1-1/2 in [38 mm] 的试样的最小公称厚度必须为 3/16 in [5 mm]。

^f 对于厚度超过 1-1/2 in [38 mm] 的试板, 可将试样切割成大致相等的板条。每一根板条的厚度必须至少为 3/4 in [20 mm]。每一板条的试验结果必须符合最低要求。

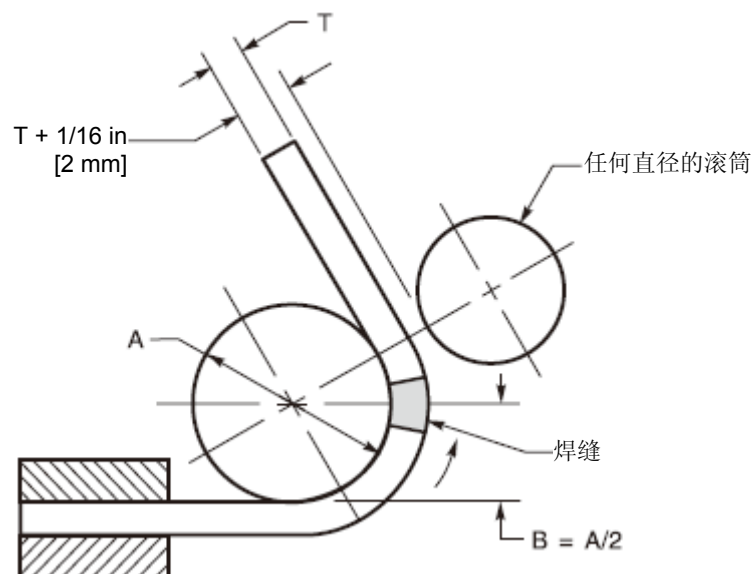
注: 由于一些拉力试验机能力所限, 当工程师批准时, 可以使用表 4.9 钢的代替的试样尺寸。

图 4.14 — 缩减断面拉伸试样 (见 4.9.3.4)



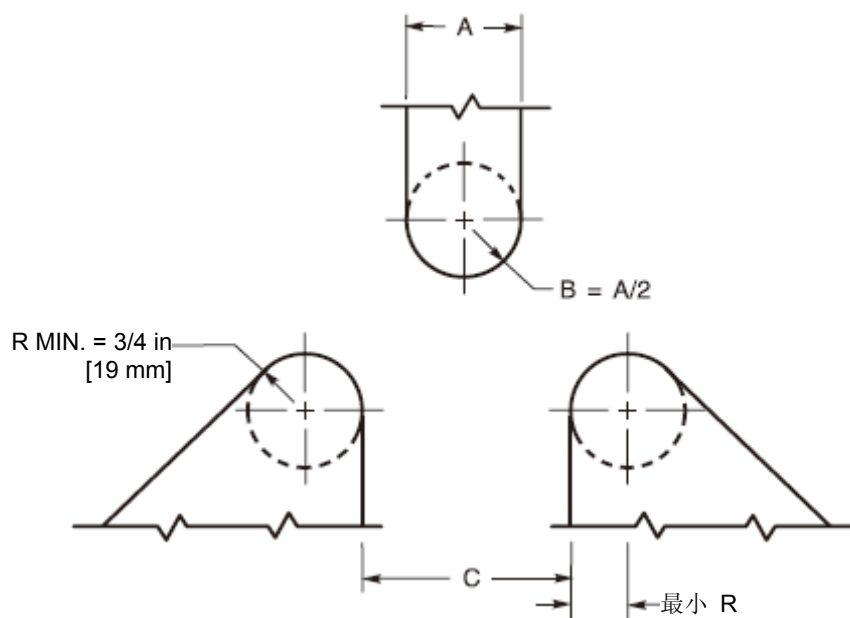
注：压头和模腔内表面必须机械精加工。

图 4.15 — 导向式弯曲试验装置（见 4.9.3）



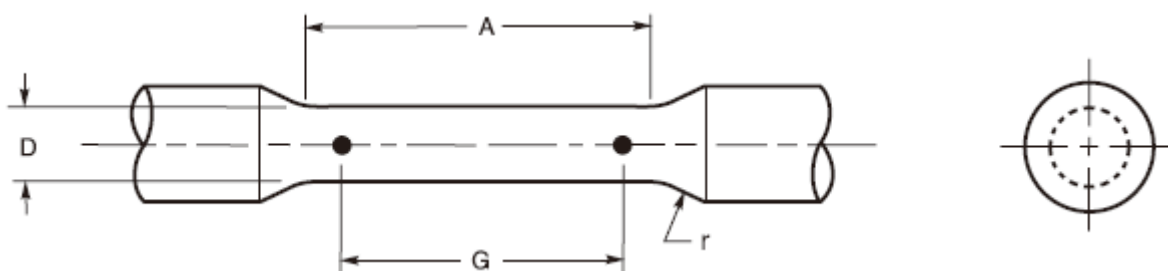
规定或实际的母材屈服强度， ksi [MPa]	A in	B in	A mm	B mm
≤ 50 [345]	1-1/2	3/4	38.1	19.0
> 50 [345] ~ < 90 [620]	2	1	50.8	25.4
> 90 [620]	2-1/2	1-1/4	63.5	31.8

图 4.16 — 可选用的卷绕式导向弯曲试验装置（见 4.9.3）



规定或实际的母材屈服强度， 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 4.17 — 可选用的配备滚筒的导向弯曲试验装置（试样从底部顶出）（见 4.9.3）



尺寸, 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	0.350 in 圆形	0.250 in 圆形
G — 标距	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 — 圆角半径最小值	3/8	1/4	3/16
A — 缩截断面长度最小值（注 b）	2-1/4	1-3/4	1-1/4

尺寸（公制按 ASTM E 8M）

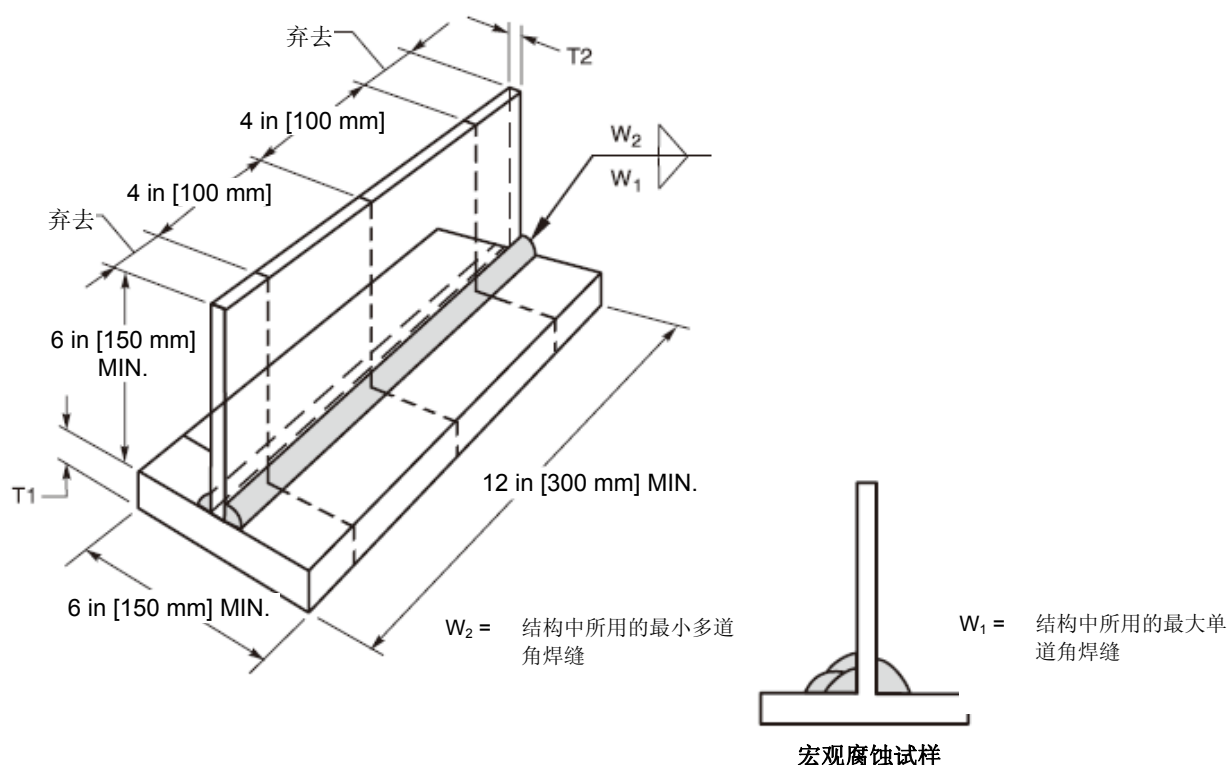
公称直径	标准试样	与标准试样成比例的小尺寸试样	
	12.5 mm 圆形	9 mm 圆形	6 mm 圆形
G — 标距	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1
D — 直径（注 a），mm	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1
r — 圆角半径最小值，mm	1C	B	6
A — 缩截断面长度最小值，mm（注 b）	75	54	36

^a 縮減断面段可以由兩端向中間呈平緩的斜坡，兩端直徑大於中間部位直徑不超過 1%（控制尺寸）。

b 若需要，缩减断面段的长度可以加长，以适应任何适于测量标距的伸长仪。测量伸长率用的基准标记仍应按指定的标距安排。

注: 标距和小圆角必须如图所示, 而两端可为适应于试验机夹具的任何形状, 但必须使荷载呈轴向。如端部由楔式夹钳夹持, 最好使夹持部分足够长, 以便试样伸进夹钳中的长度为夹钳长度的 $2/3$ 或更长。

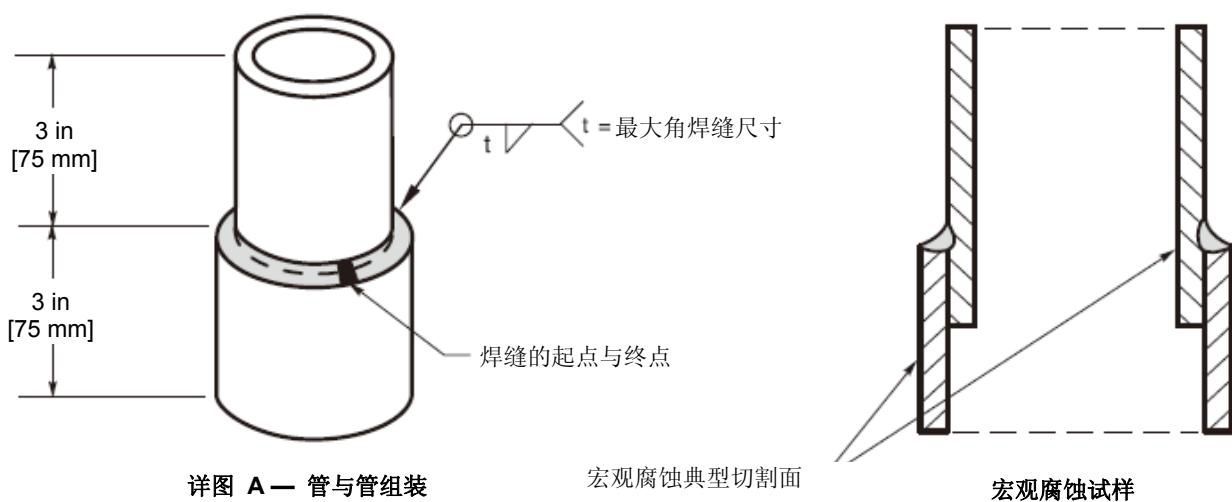
图 4.18 — 全焊缝金属拉伸试样 (见 4.9.3.6)



英寸			毫米		
焊缝尺寸	T1 最小	T2 最小	焊缝尺寸	T1 最小	T2 最小
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	B	25	8
3/8	1	3/8	10	25	10
1/2	1	1/2	-2	25	12
5/8	1	5/8	-6	25	16
3/4	1	3/4	20	25	20
>3/4	1	1	>20	25	25

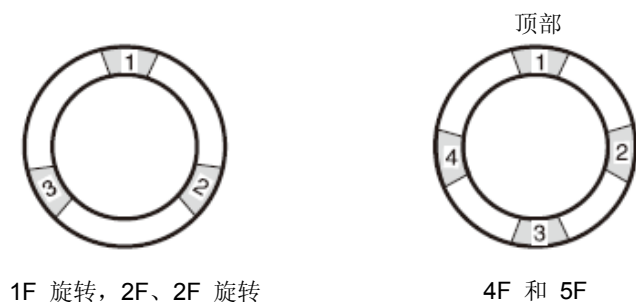
注：如生产中所用的最大板材厚度小于表中所示值，可用生产中的最厚的板替代 T1 和 T2。

图 4.19 — 角焊缝完好性试验 — WPS 评定用 (见 4.12.2)

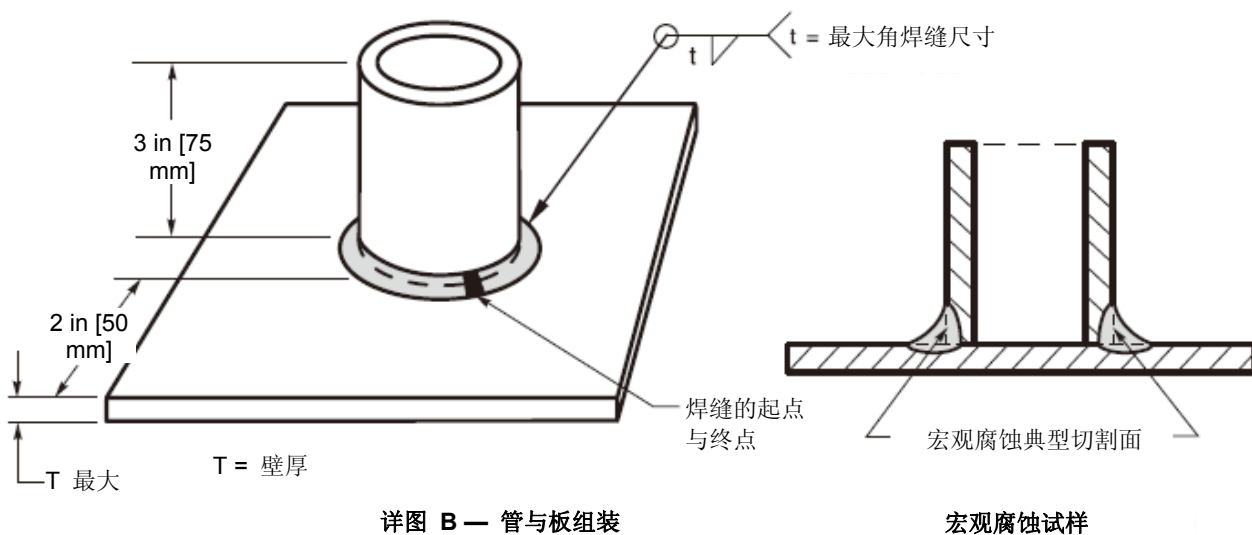


注:

1. 有关位置要求, 参见表 4.1。
2. 管壁必须有足够厚度以防焊穿。



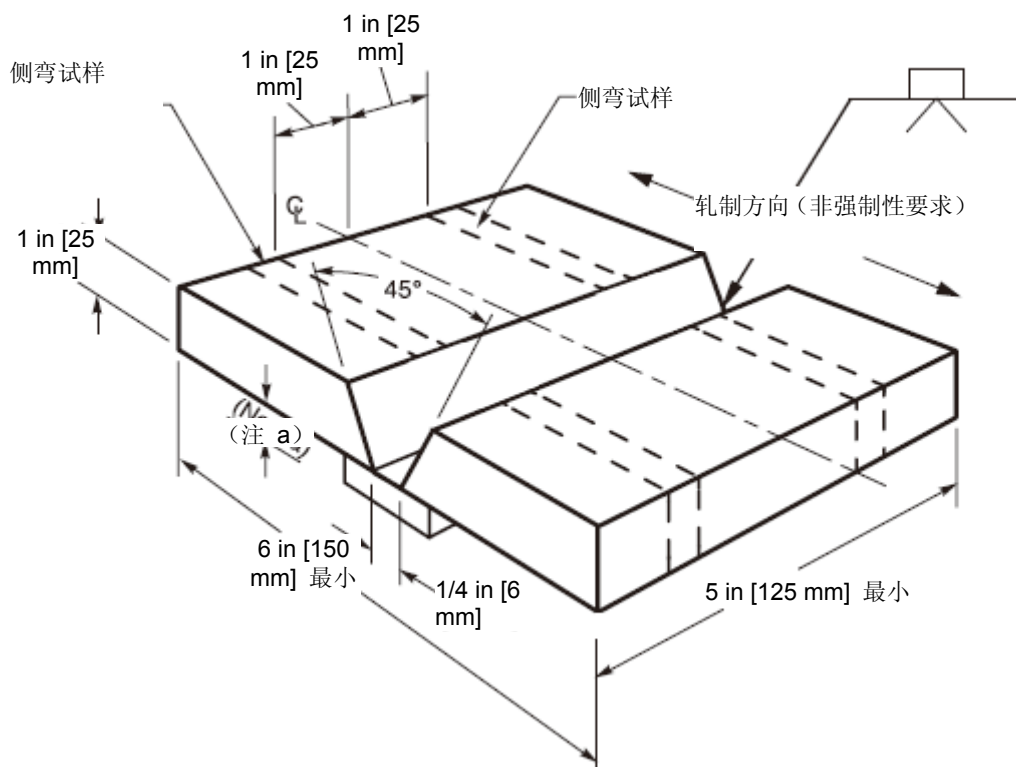
被焊管材上的试样部位 — WPS 评定



注:

1. 有关位置要求, 参见表 4.1。
2. 管壁必须有足够厚度以防焊穿。
3. 所有尺寸为最小值。

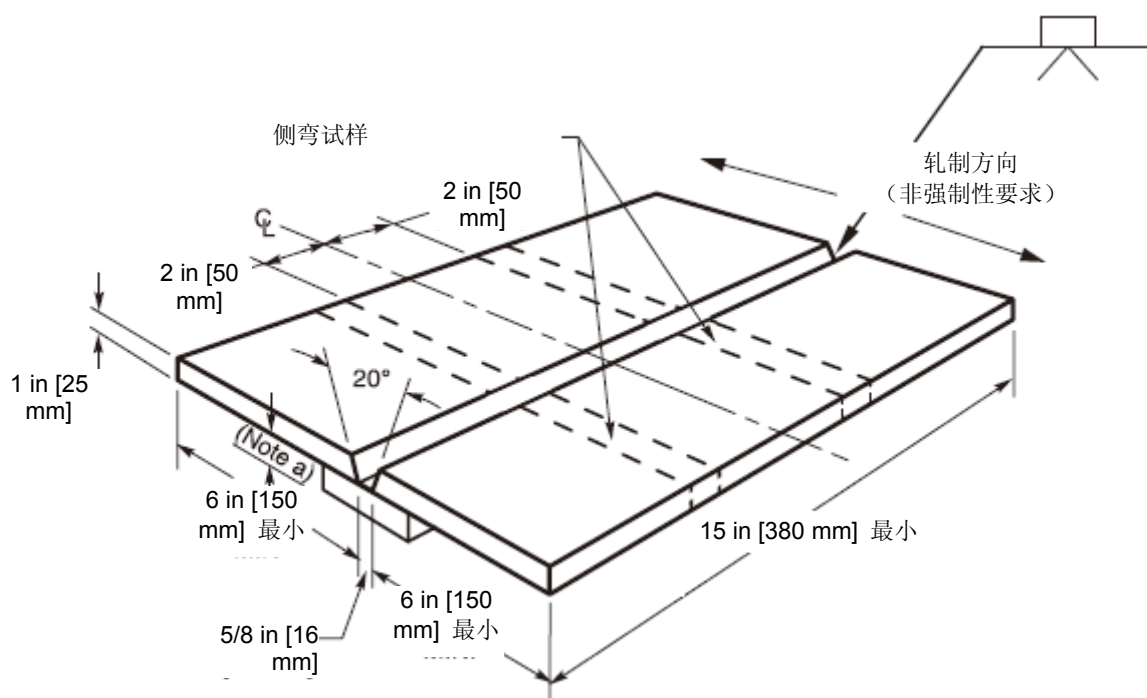
图 4.20 — 管材焊缝完好性试验 — WPS 评定用 (见 4.12.2)



^a 衬垫厚度最小为 1/4 in [6 mm]，最大为 3/8 in [10 mm]；若衬垫没有因为射线照相检测而被拆除，衬垫宽度最小为 3 in [75 mm]，否则应为最小 1 in [25 mm]。

注：如用射线检测，则检测区内必须无定位焊缝。

图 4.21 — 不限制厚度的试验板材 — 焊工资格评定用（见 4.24.1）



^a 衬垫板厚度必须：最小为 3/8 in [10 mm]，最大为 1/2 in [12 mm]；如射线检测时不除去衬垫板，衬垫板最小宽度必须为 3 in [75 mm]，否则最小宽度为 1-1/2 in [40 mm]。

注：

1. 如用射线检测，则检测区内必须无定位焊缝。
2. 可用已评定合格的 WPS 的接头形状代替本图所示的坡口形状。

图 4.22 — 无限定厚度的试板 — 焊机操作工资格评定用（见 4.24.2）

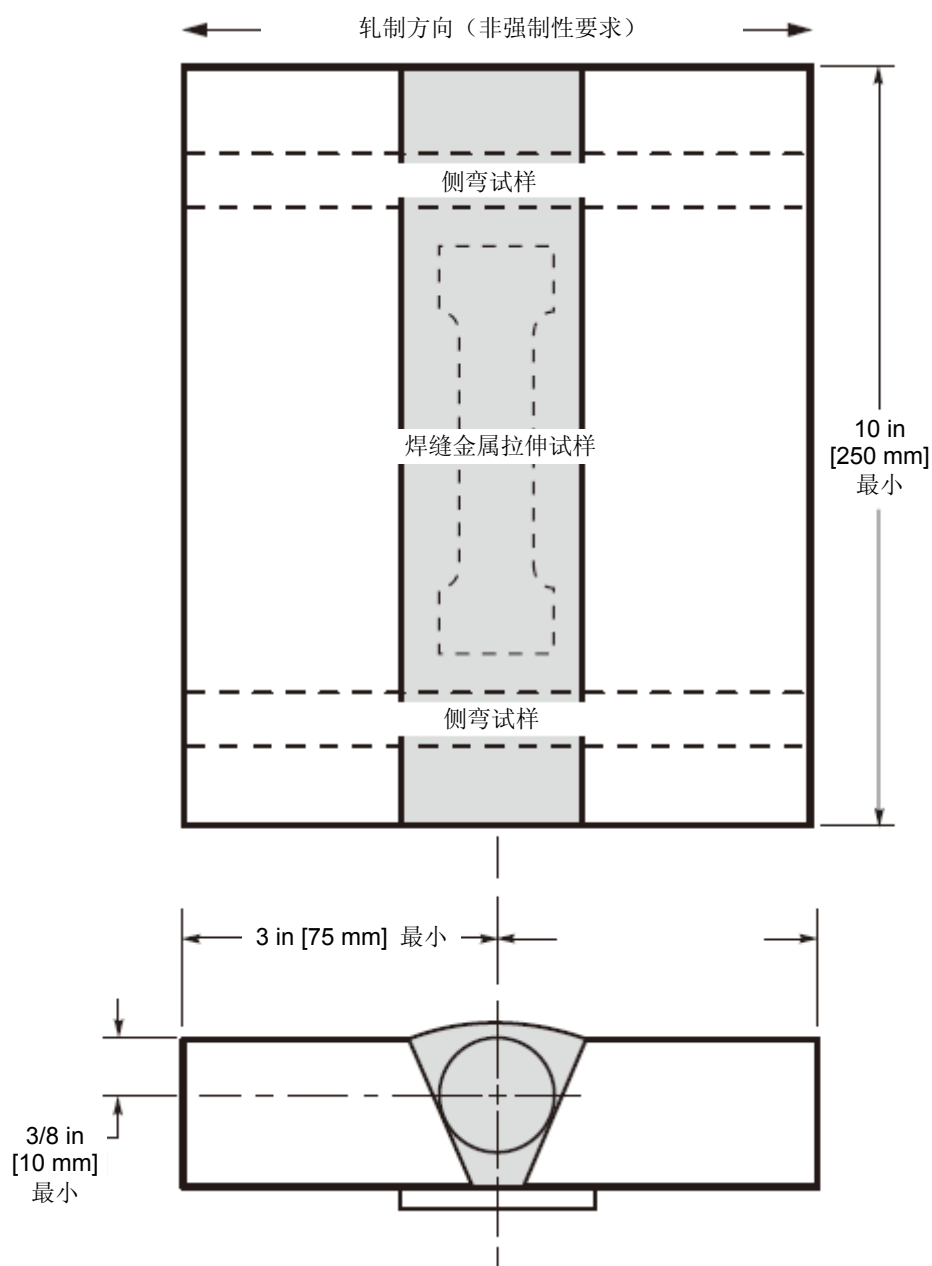
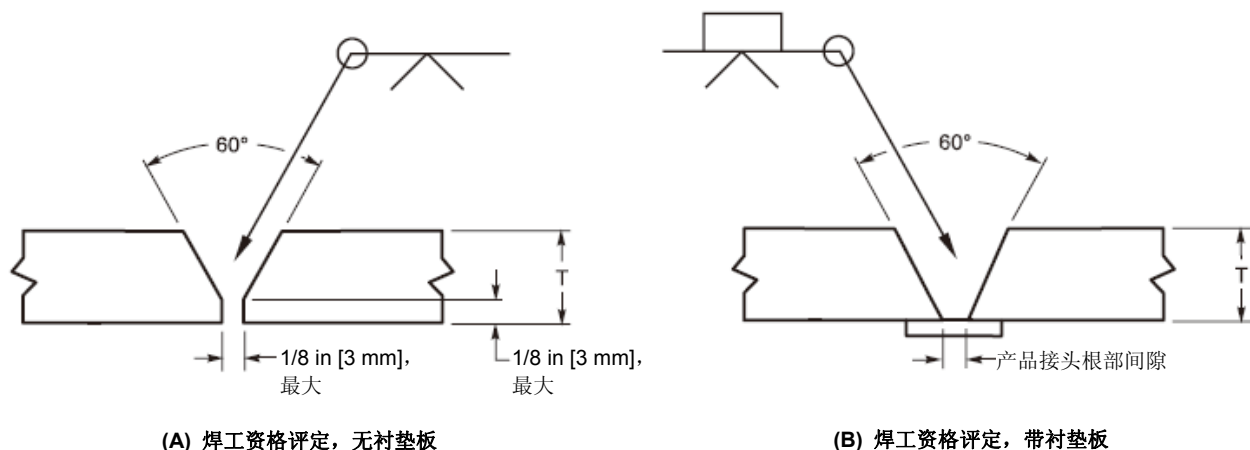


图 4.23 — 厚度 1 in. [25mm] 焊接试板上的试样位置 — 角焊缝 WPS 评定时验证焊接耗材用（见 4.12.3）



注: T = 评定的圆管或方管壁厚

图 4.24 — 管材对接接头—焊工资格评定用和不用衬垫板 (见 4.27)

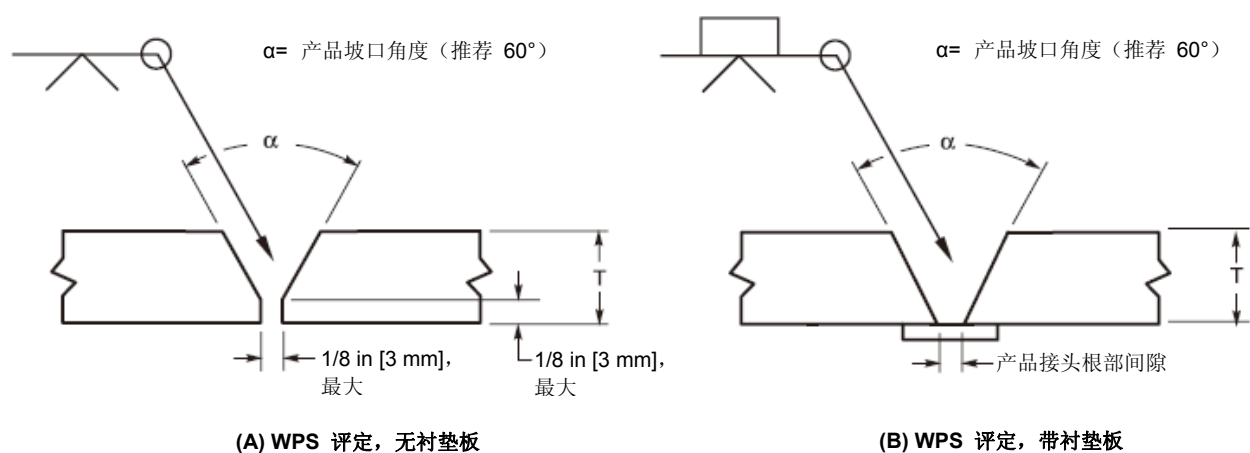


图 4.25 — 管材对接接头 — WPS 评定用和不用衬垫板 (见 4.13.1 和 4.13.2)

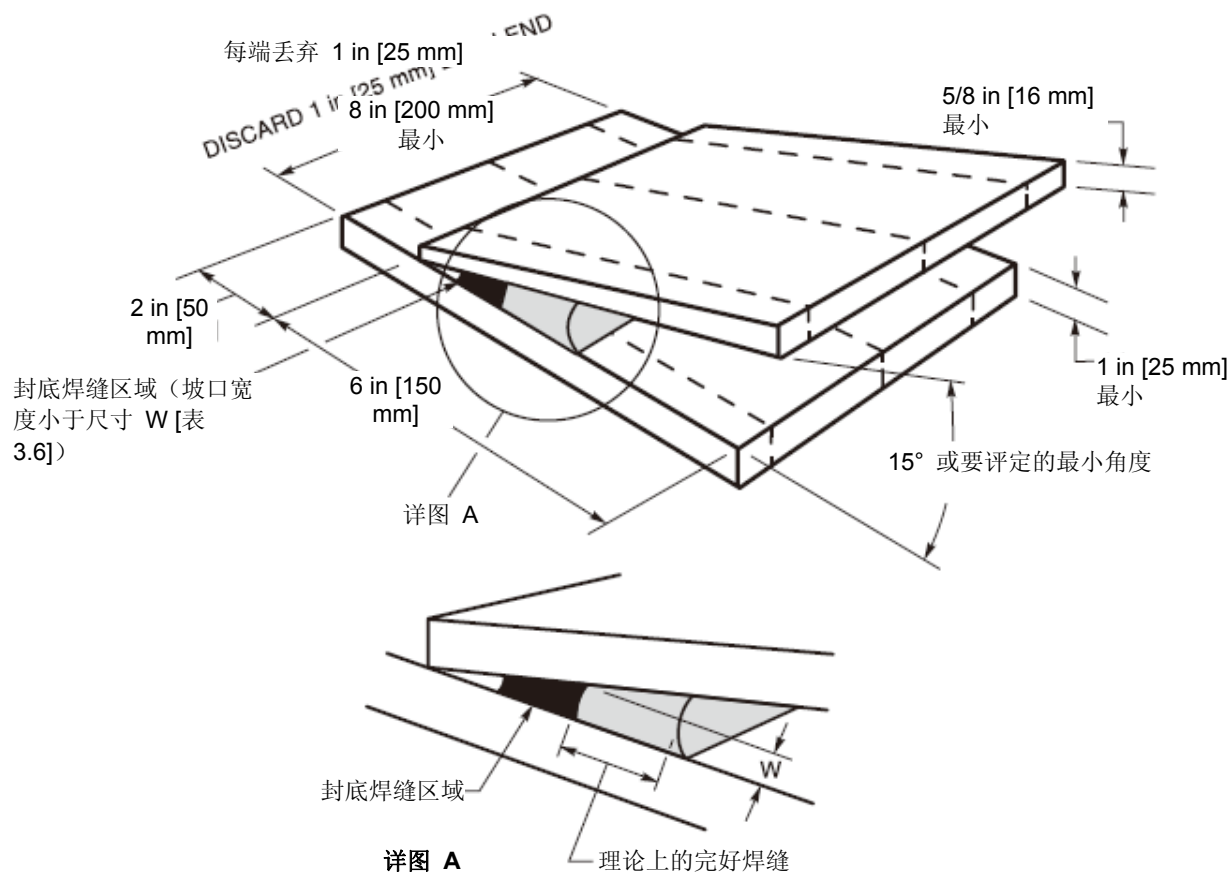


图 4.26 — 锐角根部试验 (未表明拘束) (见 4.13.4.2)

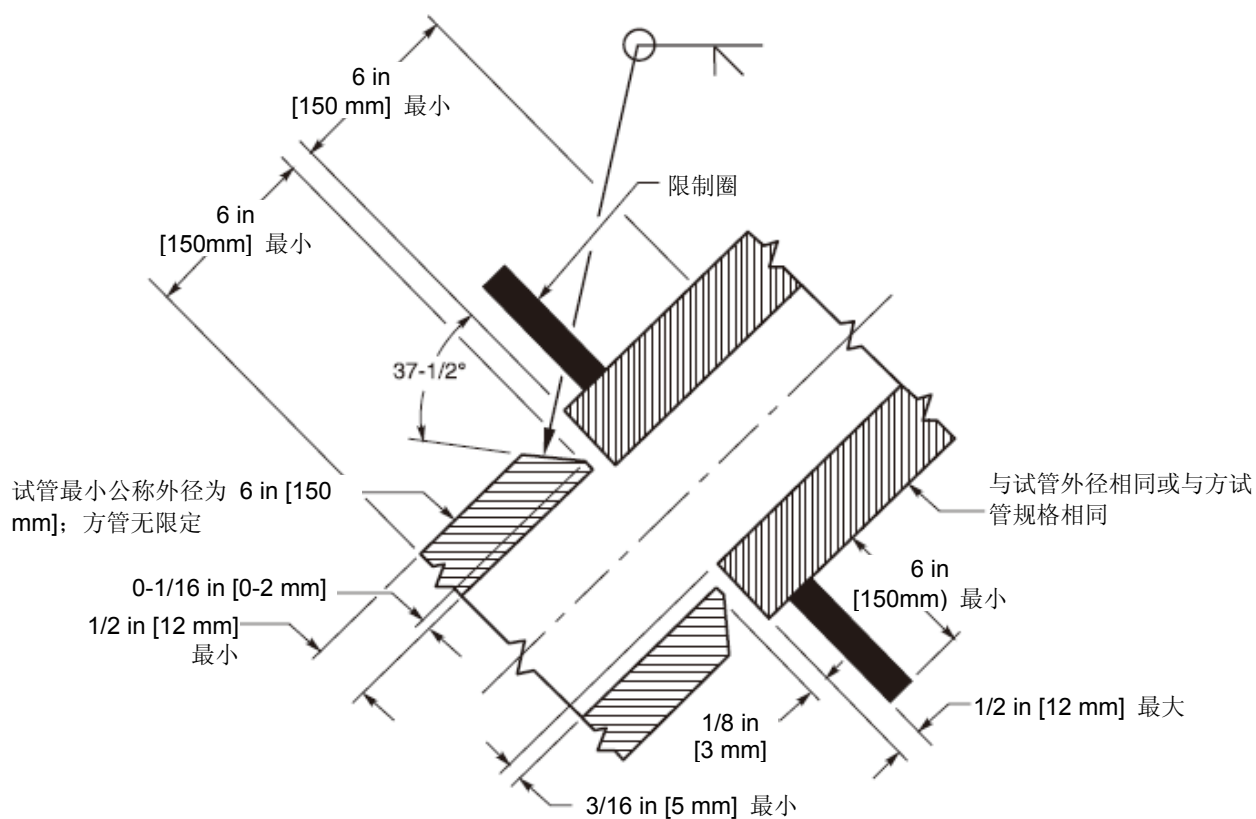


图 4.27 — 圆管或方管 (外径 6 in [150 mm]) 的 T、Y 和 K 形节点的 (无衬垫板) 试验

接头 — 焊工资格评定和 WPS 评定用 (见 4.13.4.1 和 4.27)

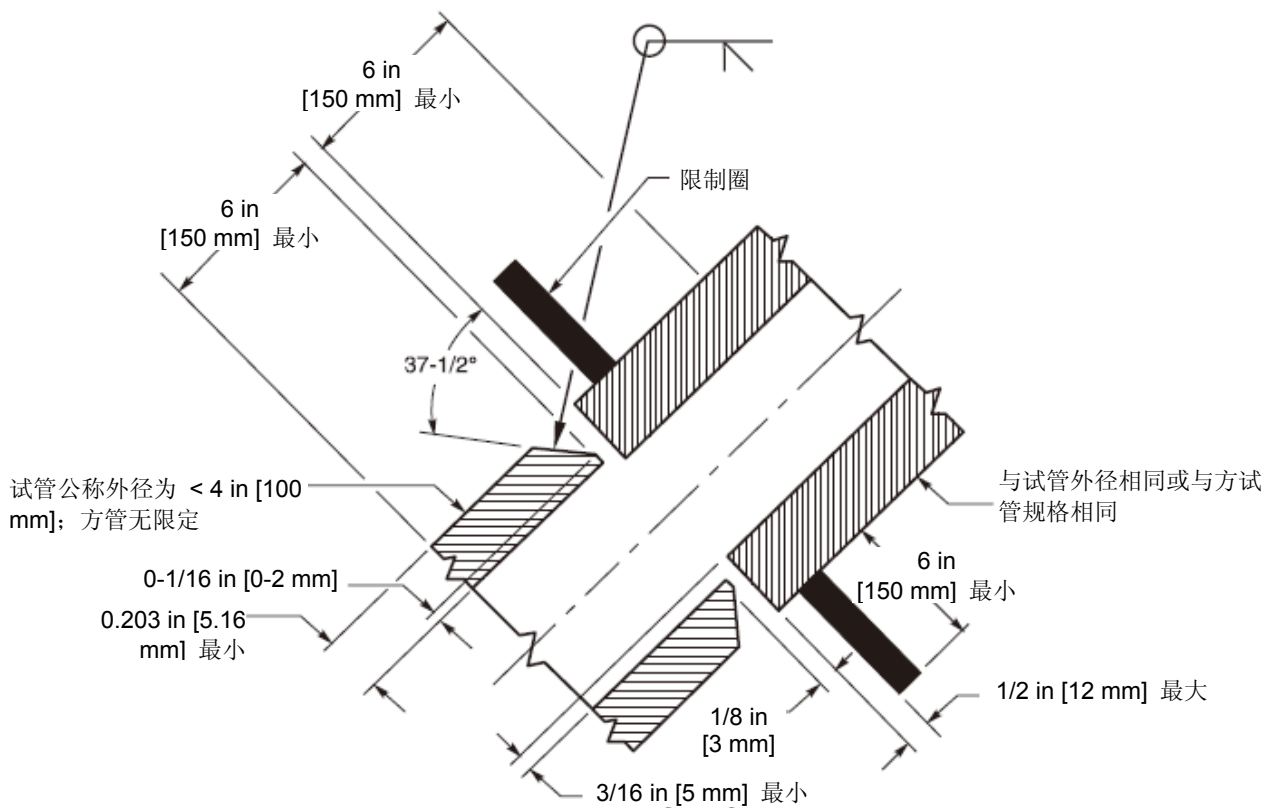


图 4.28 — 圆管或方管 (外径 < 4 in [100 mm]) 的 T、Y 和 K 形节点的 (无衬垫板) 试验接头 — 焊工资格评定和 WPS 评定用 (见 4.13.4.1 和 4.27)

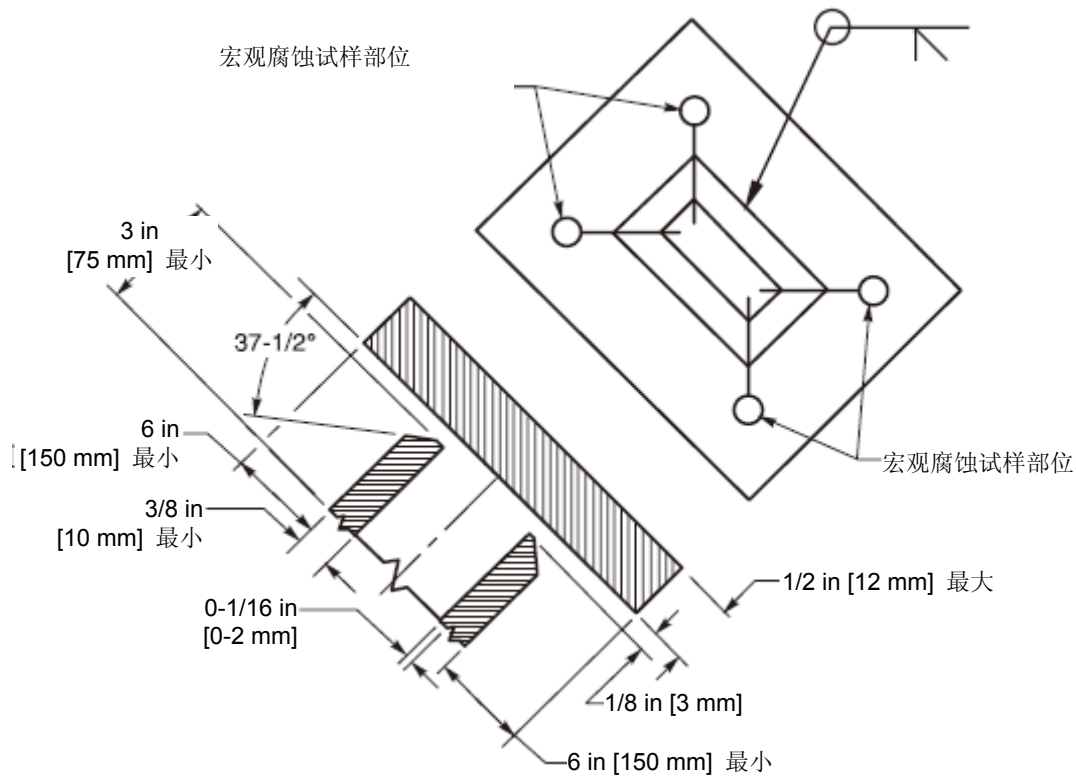
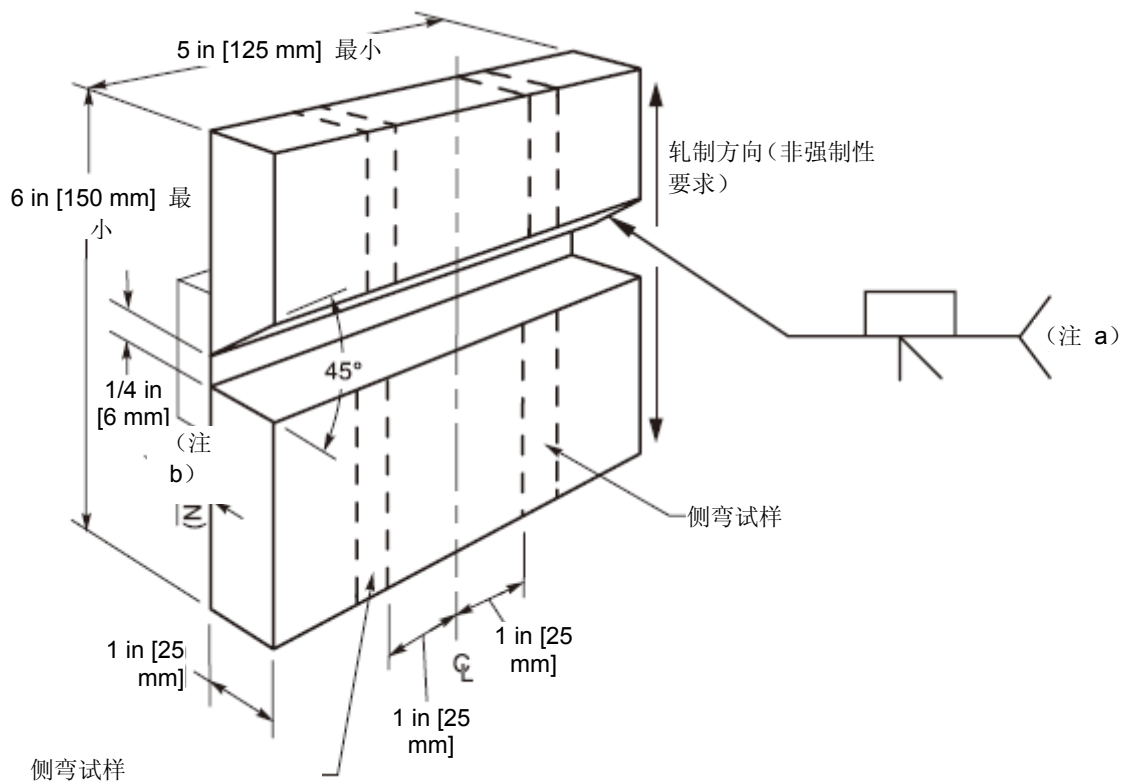
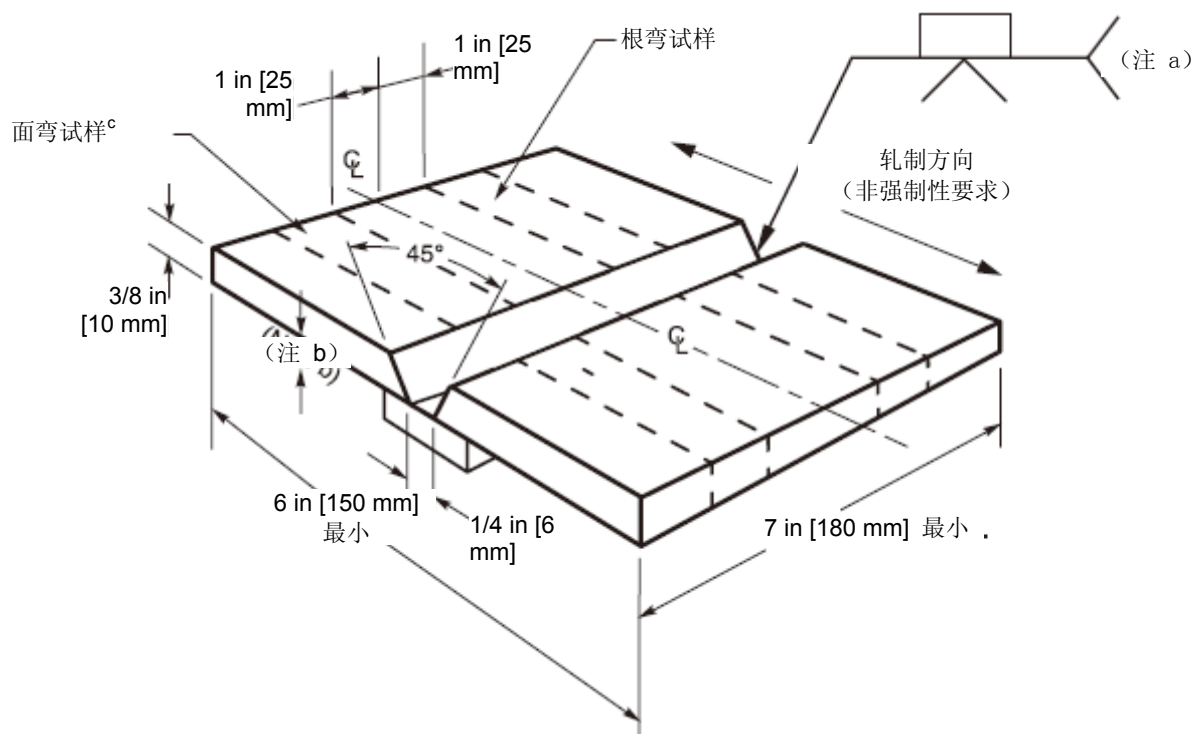


图 4.29 — CJP 坡口焊缝方管 T、Y 和 K 形节点的无衬垫角部宏观腐蚀试验接头 — 焊工资格评定和 WPS 评定用 (见 4.13.4.1 和 4.27)



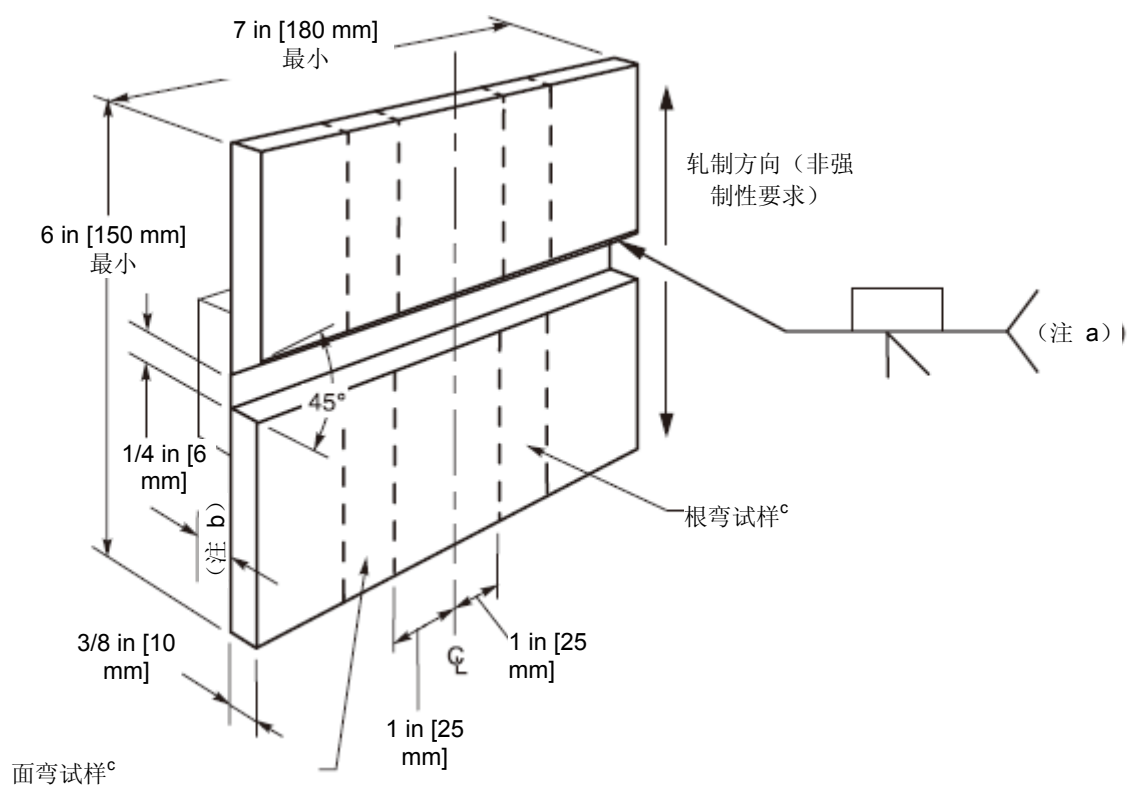
- a 如用射线检测，则检测区内必须无定位焊缝。
- b 衬垫厚度最小为 1/4 in [6 mm]，最大为 3/8 in [10 mm]；若衬垫没有因为射线照相检测而被拆除，衬垫宽度最小为 3 in [75 mm]，否则应为最小 1 in [25 mm]。

图 4.30 — 可选择的厚度不限定的横焊位置试板 — 焊工资格评定用 (见 4.24.1)



- a 如用射线检测，则检测区内必须无定位焊缝。
- b 衬垫厚度最小为 1/4 in [6 mm]，最大为 3/8 in [10 mm]；若衬垫没有因为射线照相检测而被拆除，衬垫宽度最小为 3 in [75 mm]，否则应为最小 1 in [25 mm]。
- c 对于 3/8 in [10 mm] 板厚，可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。

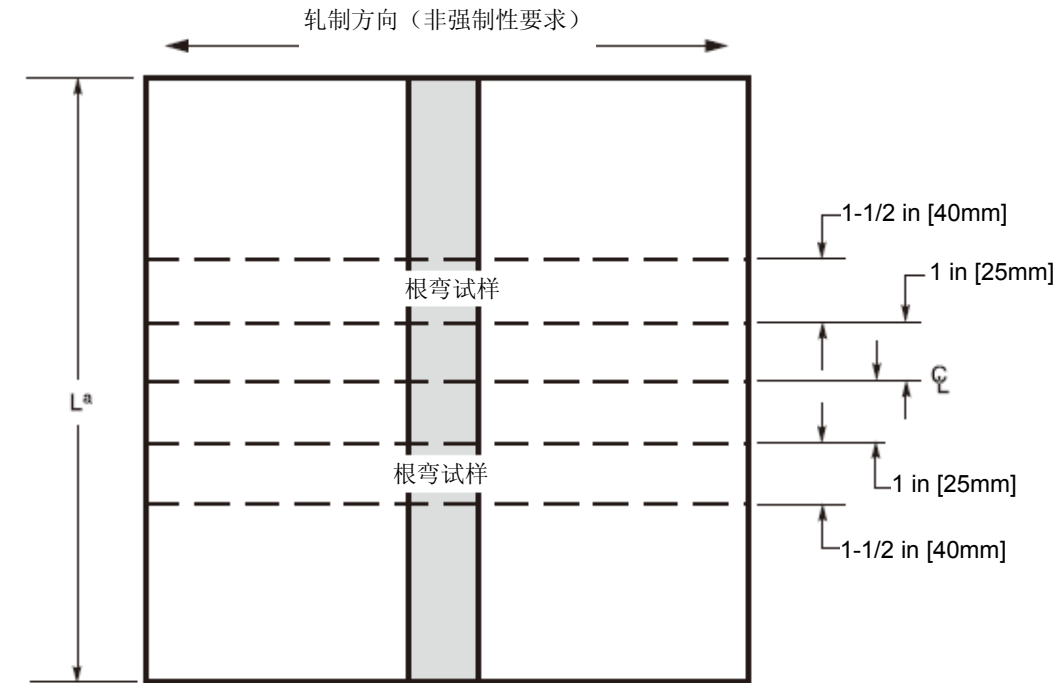
图 4.31 — 用于所有位置的限定厚度的试板 — 焊工资格评定用（见 4.24.1）



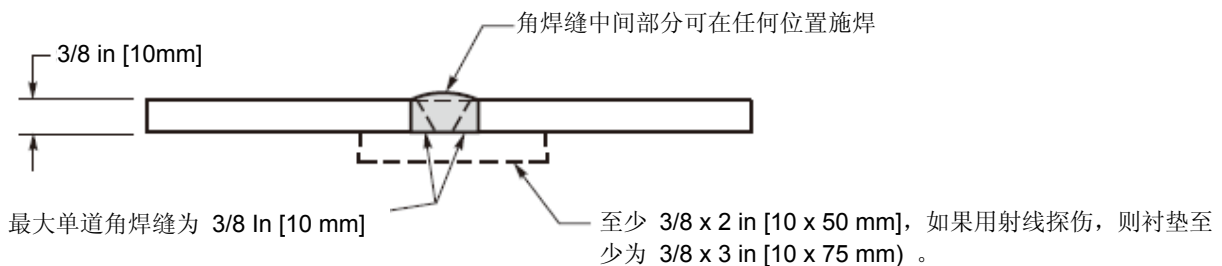
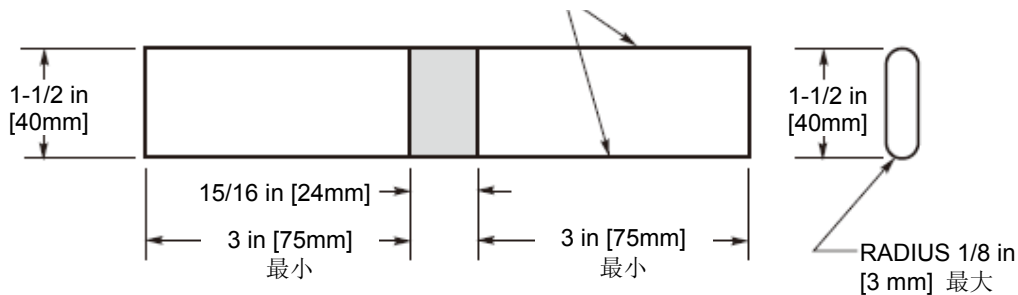
- a 如用射线检测，则检测区内必须无定位焊缝。

- b 衬垫厚度最小为 $1/4$ in [6 mm]，最大为 $3/8$ in [10 mm]；若衬垫没有因为射线照相检测而被拆除，衬垫宽度最小为 3 in [75 mm]，否则应为最小 1 in [25 mm]。
- c 对于 $3/8$ in [10 mm] 板厚，可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。

图 4.32 — 可选择的限制厚度的横焊位置试板 — 焊工资格评定用（见 4.24.1）



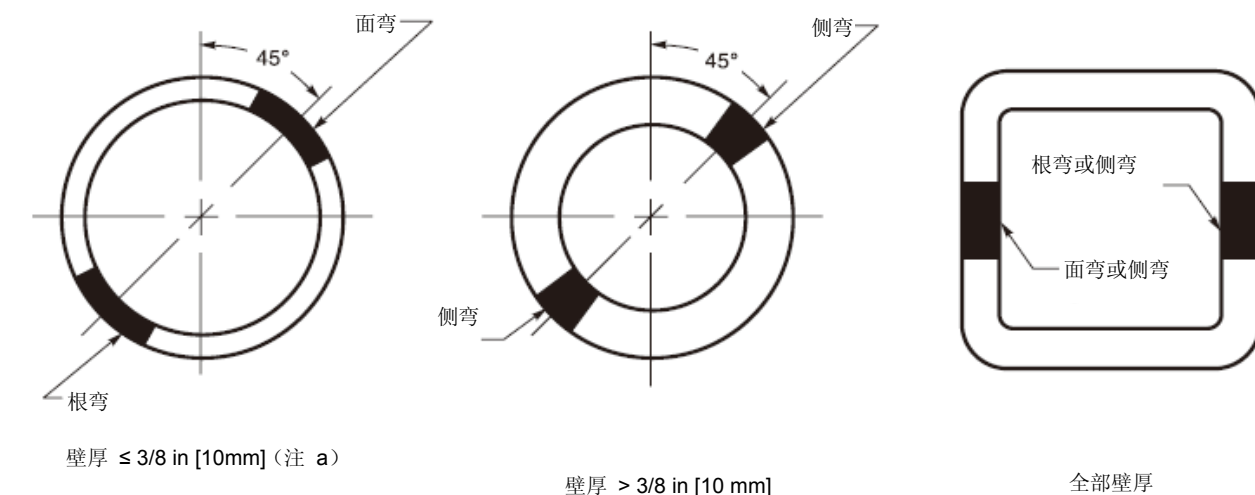
这些边可以热切割，并作机械加工或不机械加工



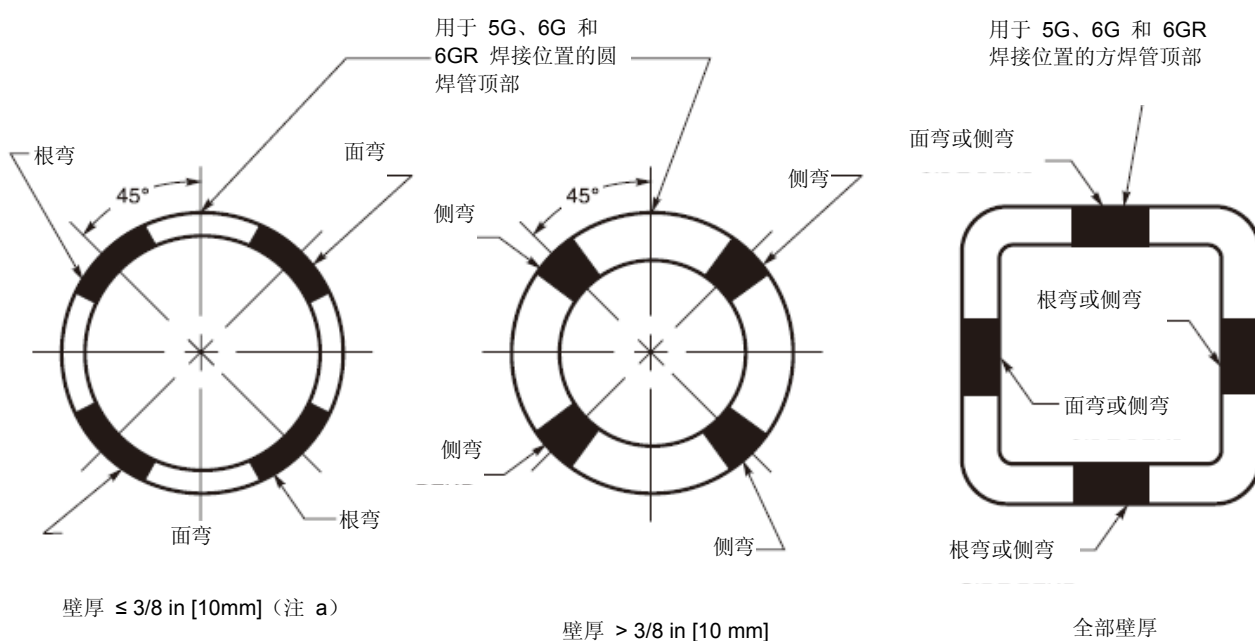
衬垫必须紧贴母材，必须去除焊缝余高和衬垫，去除后的表面与母材齐平（见 5.24.4.1）。可用热切割去除衬垫的大部分。但至少留下 $1/8$ in [3 mm] 的厚度用机加工或打磨法清除。

^a 用于焊工资格评定时, L 最小为 7 in. [175mm]; 用于焊机操作工资格评定时, L 最小为 15 in. [380mm]。

图 4.33 — 角焊缝根部弯曲试验板材 — 焊工和焊机操作工资格评定用 — 选择之二 (见 4.29 或 4.26)



1G 和 2G 位置试样



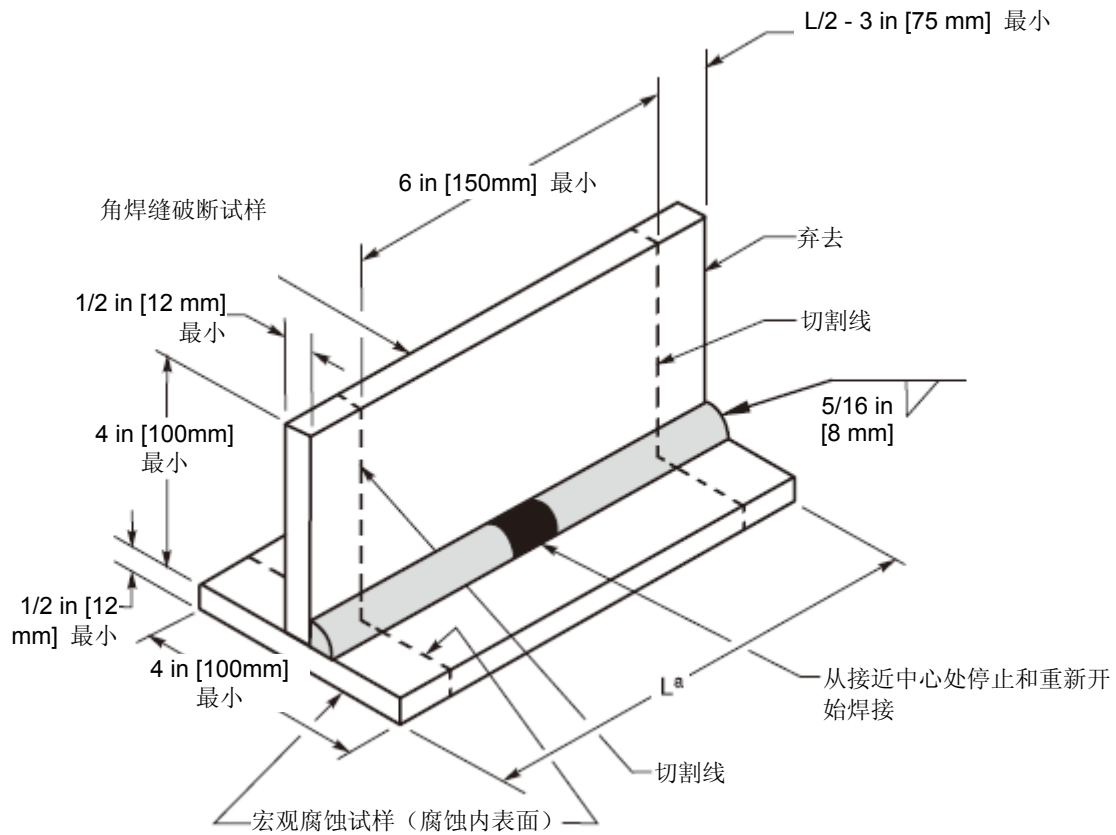
5G、6G 和 6GR 位置试样

^a 对于 $3/8$ in [10 mm] 壁厚, 可用侧弯试验代替每一个所要求的面弯和根弯试验。

图 4.34 — 圆焊管或方焊管上试样部位 — 焊工资格评定 (见 4.20.1.2)

^c 如果接头有足够长度，能提供 17 in [430 mm] 长的完好焊缝，则试板无需加长。

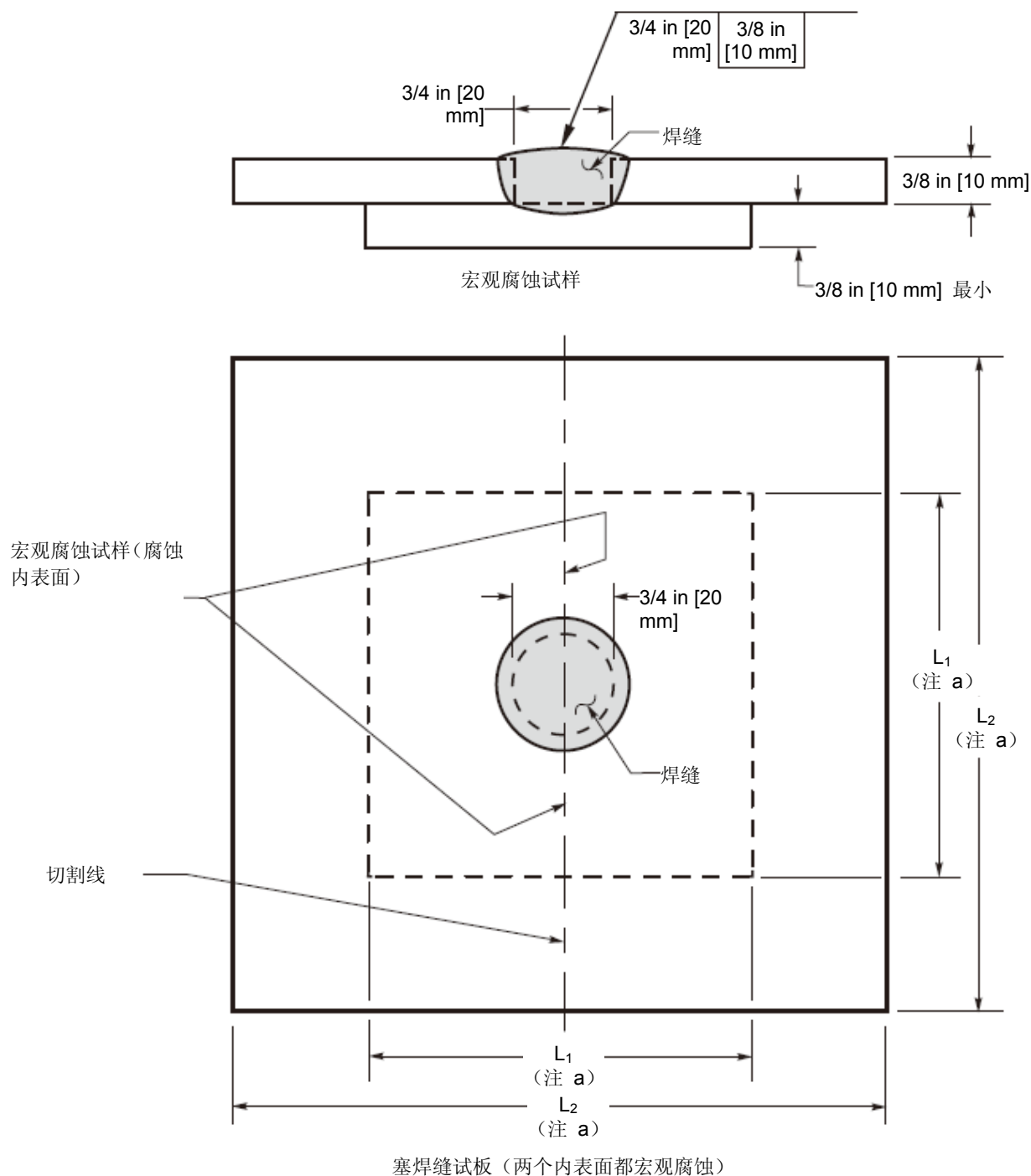
图4.36 — 电渣焊和气电焊对接接头 — 自动焊工资格评定用（见 4.24.2）



^a 用于焊工资格评定时，L 最小为 8 in [200 mm]；用于焊机操作工资格评定时，L 最小为 15 in [380 mm]。

^b 两端之任一端可用作宏观腐蚀试样。另一端可弃去。

图 4.37 — 角焊缝破断和宏观腐蚀试板 — 焊工和焊机操作工资格评定用 — 选择之一（见 4.29 或 4.26）



^a L₁ 用于焊工资格评定, 最小为 2 in [50 mm]; 用于焊机操作工资格评定, L₁ 最小为 3 in [75 mm]; L₂ 用于焊工资格评定, 最小为 3 in [75 mm]; 用于焊机操作工资格评定, L₂ 最小为 5 in [125 mm]。

图4.38 — 塞焊缝宏观腐蚀试板 — 焊工或焊机操作工资格评定 (见 4.15) 和 WPS 评定用 (见 4.30)

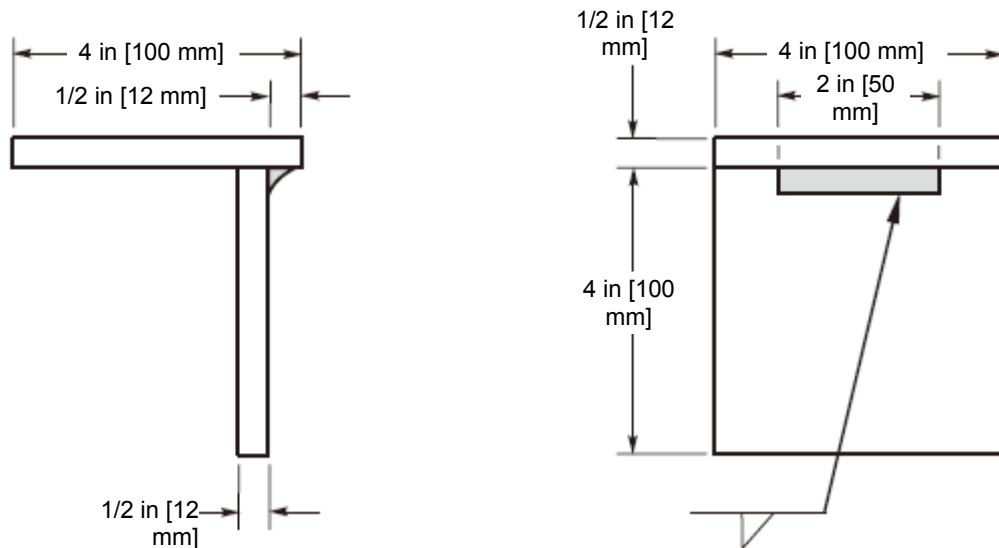


图 4.39 — 角焊缝破断试样 — 定位焊工资格评定用（见 4.20.2）

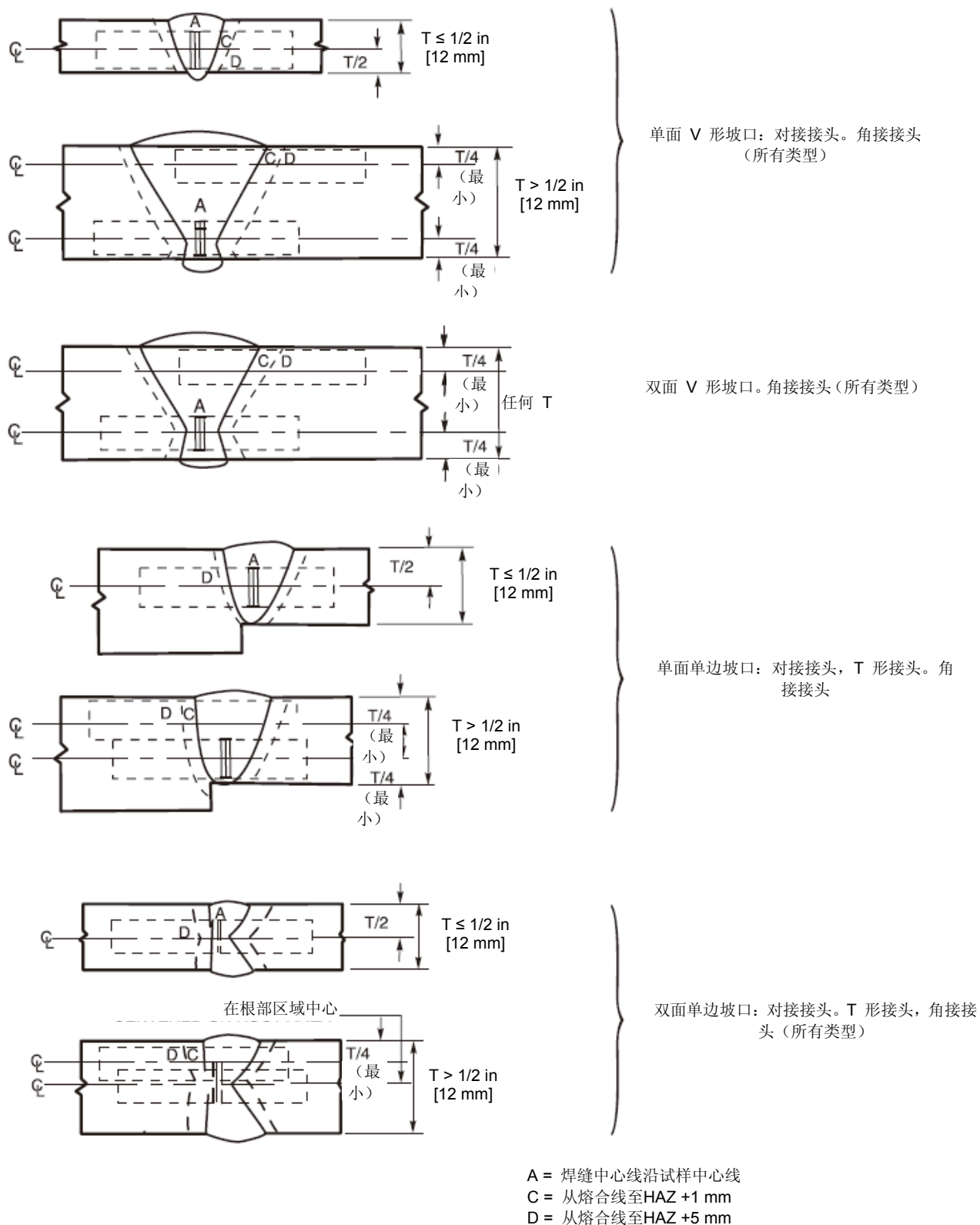


图 4.40 — CVN 试样部位 (见 4.35.1)

5. 制造

5.1 范围

由本规范认可的任何方法生产的焊接组件和结构的制作和安装，必须遵守本章所有适用条款（见 3.2 和 4.15）。

5.2 母材

5.2.1 规定的母材。合同文本必须指定所用母材的规格和类别。当结构用到焊接时，无论何处都应尽可能采用列于表 3.1 或表 4.9 中的认可的母材。

5.2.2 引弧板、引出板、衬垫和嵌条的母材

5.2.2.1 引弧板、引出板。焊接所用焊缝引弧板、引出板必须符合下述要求：

(1) 当用于表 3.1 或表 4.9 所示的认可钢材的焊接时，引弧板、引出板可为表 3.1 或表 4.9 中的任何钢材。

(2) 当用于按 4.8.3 要求评定了的钢材的焊接时，引弧板、引出板可为：

(a) 该种已评定的钢材，或

(b) 列于表 3.1 或表 4.9 中的任何钢材。

5.2.2.2 衬垫和架子棒材。用作衬垫和架子棒材的钢材必须符合 5.2.2.1 或 ASTM A 109 T3 和 T4 的要求，而最低屈服强度为 100 ksi [690 MPa] 的钢材作衬垫必须仅用于最低屈服强度为 100 ksi [690 MPa] 的钢材的焊接。

5.2.2.3 嵌条。使用的嵌条必须与母材相同。

5.3 焊接材料和焊条的要求

5.3.1 概述

5.3.1.1 焊条或焊条-焊剂组合的证明书。如果工程师要求，承包商或制造商必须提供焊条或焊条-焊剂组合符合要求的证明书。

5.3.1.2 类别的适配性。焊条类别和规格、电弧长度、电压以及电流必须适合于所焊材料的厚度、坡口类型、焊接位置和伴随作业所出现的其他情况。焊接电流值必须在焊丝制造商推荐的范围之内。

5.3.1.3 保护气体。用作保护的气体或混合气体必须符合 AWS A5.32 焊接保护气体技术条件的要求。如工程师要求，承包商或制造商必须提供气体制造商的证明书以证实该气体或混合气体符合 AWS A5.32 露点的要求。如气体在焊接现场混合，则必须使用合适的仪器使气体按比例混合均匀。气体的百分比率必须符合 WPS 的要求。

5.3.1.4 贮存。从原包装中取出的焊接材料必须受到妥善保护和保存以保证焊接性能不受影响。

5.3.1.5 状态。焊条应保持干燥并处于适合使用的状态。

5.3.2 SMAW 焊条。药皮焊条手工电弧焊 (SMAW) 的焊条必须符合最新版 AWS A5.1/A5.1M 保护金属电弧焊用碳钢焊条规范或 AWS A5.5/A5.5M 保护金属电弧焊用低合金钢焊条规范的要求。

5.3.2.1 低氢焊条贮存条件。所有符合 AWS A5.1 和 AWS A5.5 要求的所有焊条采购时必须处于密封容器中或者在使用前用户必须按 5.3.2.4 要求烘焙。在打开密封容器后，必须立即将焊条存放于烘箱中在至少 250°F [120°C] 保温下贮存。焊条必须进行再烘焙的次数严禁多于一次。已受潮的焊条不得使用。

5.3.2.2 认可的暴露大气时间。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，焊条暴露于大气中的时间小于表 5.1 A 栏中规定的具体焊条类别的暴露时间，适用时，包括带有选用补充标号的焊条。暴露在大气中时间少于表 5.1 中 A 栏允许时间的焊条应重新放入保存烘箱，在至少 250°F [120°C] min 的温度下烘焙；在 250°F [120°C] min 下至少烘焙四小时后可重新发放使用。

5.3.2.3 由试验确定的暴露于大气中的时间变通值。如果试验确定了暴露于大气的最大时间容许值，则可使用表 5.1 B 栏中的大气暴露时间变通值。试验必须符合 AWS A5.5 的要求，按每一焊条类别和每一焊条制造商的焊条进行试验。这种试验必须证实未超过 AWS A5.5 规定的最大含水量。另外，E70XX 或 E70XX-X (AWS A5.1 或 A5.5) 低氢焊条药皮必须限制最大含水量使其不超过重量的 0.4%。在相对湿度—温度综合考虑的情况下，不论是超过试验过程中空气的相对湿度，还是超过其空气含水量，这些焊条都严禁使用。

为了正确使用这一条款，可参看附录 F 温度—含水量曲线及其示例。必须使用附录 F 所示曲线或任何标准的湿度图线来确定温度—相对湿度的限度。

5.3.2.4 焊条烘焙。暴露于大气中的时间超过表 5.1 容许值的焊条必须按如下要求烘焙：

(1) 所有符合 AWS A5.1 的低氢药皮焊条都必须在 500°F 至 800°F [260°C 和 430°C] 的条件下烘焙至少两小时，或

(2) 所有符合 AWS A5.5 的低氢药皮焊条都必须在 700°F 至 800°F [370°C 和 430°C] 的条件下烘焙至少一小时。

所有焊条必须置于合适的烘箱中，其温度不超过它最终烘焙温度的一半，至少一个半小时之后才能升温到最终烘焙温度。最终烘焙时间必须在烘箱达到最终烘焙温度后开始计算。

5.3.2.5 用于 ASTM A 514 或 A 517 钢的焊条限制。当用于焊接 ASTM A 514 或 A 517 钢时，除 E7018M 和 E70XXH4R 以外，任何级别低于 E100XX-X 的焊条，不管是否包装于密封容器中，使用前都必须在 700°F~800°F [370°C~430°C] 之间的温度下烘焙至少 1 小时。

5.3.3 SAW 焊条和焊剂。埋弧焊 (SAW) 操作可为一根或多根单焊条、一对平行焊条或多根平行焊条、或单焊条与平行焊条组合的方式。电弧之间的间隔必须如此：前导电弧产生的覆盖于焊缝金属上的焊渣，不得冷却到妨碍后续焊条良好熔敷的地步。多焊条埋弧焊可用于焊接任何坡口焊缝或角焊缝。

5.3.3.1 焊条-焊丝组合要求。用于钢材埋弧焊的裸焊条和焊剂的组合必须符合最新版 AWS A5.17 埋弧焊用碳钢焊条和焊剂技术条件或最新版 AWS A5.23 埋弧焊用低合金钢焊条和焊剂技术条件。

5.3.3.2 焊剂状态。用于 SAW 的焊剂必须干燥且未受污物、轧制氧化皮或其他外来物的污染。所有焊剂均应按包采购，可在正常条件下储存至少六个月且不会影响其焊接性能或焊接特性。破损包装内的焊剂须弃用或在使用前在最低 500°F [260°C] 温度下干燥一小时。打开包装后焊剂必须立即放入发放系统，如使用已打开包装的焊剂，最上层 1 英寸厚的焊剂必须废弃。已受潮的焊剂不得使用。

5.3.3.3 焊剂的回收。焊接过程中未熔化的埋弧焊焊剂可以用真空装置、收集盘、扫集或其他方法回收再使用。焊接制造商必须有收集未熔化焊剂、加入新焊剂、并用这两种焊剂混合物进行焊接的系统，以使焊接溶池处的焊剂成分和粒度大小的分布相对不变。

5.3.3.4 破碎焊渣。破碎的焊渣可以使用，但需有其独有的标记，即破碎者的名称和商标。此外，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，必须根据 AWS A5.01 的程序 I 进行试验，并由承包商或破碎者在适用情况下按照 AWS A5.17 或 A5.23 进行分类。

5.3.4 GMAW/FCAW 焊条。用于 GMAW 和 FCAW 的焊条，适用时必须符合 5.3.4.1 或 5.3.4.2 的要求。

5.3.4.1 焊缝金属屈服强度不大于 60 ksi [415 MPa]。用于生产焊缝金属最低规定屈服强度等于或小于 60 ksi [415 MPa] 的焊条，适用时必须符合最新版本的标准 AWS A5.18/A5.18M 气体保护金属弧焊用碳钢焊条规范，或 AWS A5.20/A5.20M 药芯焊丝弧焊用碳钢焊条规范。

5.3.4.2 焊缝金属屈服强度大于 60 ksi [415 MPa]。用于生产焊缝金属最低规定屈服强度大于 60 ksi [415 MPa] 的焊条，适用时必须符合最新版本的标准 AWS A5.28/A5.28M 气体保护金属弧焊用低合金钢焊条规范，或 AWS A5.29/A5.29M 药芯焊丝弧焊用低合金钢焊条规范。

5.3.5 GTAW

5.3.5.1 钨极。焊接电流必须与电极的直径以及型号或类别协调。钨极必须符合 AWS A5.12 电弧焊焊接和切割用钨和钨合金电极的技术条件。

5.3.5.2 填充金属。填充金属必须符合最新版的 AWS A5.18 或 AWS A5.28 和 AWS A5.30 熔化填充丝的技术条件。

5.4 ESW 和 EGW 方法

5.4.1 焊接方法限制。ESW 和 EGW 方法严禁允许用于 A 710 钢外，必须限制用于表 3.1 组别 I、II 和 III 类钢。

5.4.2 焊丝和导管的状态。焊丝与熔化导管必须干燥、清洁，处于使用状态。

5.4.3 焊剂状态。电渣焊剂须干燥且未受灰尘、轧屑、油脂或其他杂质污染。所有焊剂均应按包采购，可在正常条件下储存至少六个月且不会影响其焊接性能或焊接特性。破损包装内的焊剂须弃用或使用前在最低 250°F [120°C] 温度下干燥一小时。已受潮的焊剂不得使用。

5.4.4 焊接开始与停止。为了焊缝金属与接头破口面完全熔合，焊接必须在累积了足够热量的状态下才能开始。在焊接接头内任一点停止焊接足够长时间以至于焊渣或熔池开始凝固时，可在此重新开始焊接直至完成焊缝。但重新开始焊缝每侧最少 6 in [150 mm] 范围内要进行超声波检测，并且除非接头几何形状不允许，否则还要用射线检测予以核实。必须对所有这类重焊位置做好记录并报告工程师。

5.4.5 预热。由于这些焊接方法的高热量输入特性，通常不要求预热。然而严禁焊接处母材温度低于 32°F [0°C] 时进行焊接。

5.4.6 返修。焊缝若有第 6 条 C 部分不允许的缺陷，则必须按 5.26 使用经过评定的焊接工艺进行返修，否则整个焊缝都应全部除去并重焊。

5.4.7 耐候钢要求。用于裸露而不涂漆的场合的 ASTM A 588 钢电渣和气电焊，要求焊缝金属具有类似于母材的抗大气腐蚀性能和着色特性，焊丝—焊剂组合必须符合 4.18.2 要求，而填充金属化学成分必须符合表 3.3 的要求。

5.5 WPS 参数

焊接参数必须与书面 WPS 的要求相符（见附录 N，示例于 N-1）。每一焊道与相邻母材完全熔合，且焊趾处无凹陷或过分的咬边。必须避免初始焊道过分下凹，以防由于拘束而接头根部开裂。必须通知所有焊工、自动焊工和定位焊工如何正确应用 WPS，并在焊接中遵循适用的 WPS。

5.6 预热和道间温度

如要求，母材必须预热至不低于 WPS 中所列的最低温度。（见 3.5 免除评定的 WPS 限定和表 4.5 经评定的 WPS 基本参数限定）。对于母材的组合，必须将最低预热温度中的最高值作为最低预热温度。

在焊接过程中必须保持这一预热温度和所有随后的最低道间温度，预热范围是在焊接点周围所有方向上不得小于焊件的最大厚度值，但不得小于 3 in [75 mm]。

除 WPS 指明另有要求外，最低道间温度必须与预热温度相等。

预热温度和道间温度必须在每一焊道即将引弧施焊前加以核对。

5.7 调质钢的焊接热输入控制

焊接调制钢时，线能量必须接合所要求的最高预热和道间温度予以限制。这种考虑必须包括公有构件的两侧同时焊接产生的额外热输入。上述限定必须符合厂商的推荐。调制钢不允许进行氧气气刨。

5.8 消除应力热处理

合同图纸要求时，必须对焊接的装配件进行消除应力热处理。当需要保持尺寸公差时，必须考虑消除应力后的最后机加工要求。

5.8.1 要求。消除应力处理必须符合下列要求：

(1) 焊件放入炉中时，炉温严禁超过 600°F [315°C]。

(2) 在 600°F [315°C] 以上，加热速率严禁大于每小时 400°F [204°C] 除以较厚部件的最大厚度 (in.) 所得值，但不得大于 400°F [204°C] /小时。在 600°F [315°C] 以上，加热速率 (°C/hr) 严禁超过 5600 除以最大金属厚度 (mm) 所得值，但不得大于 428°F/小时 [220°C/小时]。加热期间，加热部件各部位温差，在任何一段 15 ft [5 m] 距离内严禁大于 250°F [140°C]。加热和冷却的速率不需要低于每小时 100°F [55°C]。不过在任何情况下，考虑到密封炉腔和复杂结构，可以降低加热或冷却的速率，以免由于过大的温度梯变而结构损坏。

(3) 调制钢达到最高温度 1100 °F [600 °C] 后，或其他钢达到 1100°F [600°C]~1200°F [650 °C] 之间的平均温度后，必须根据焊缝厚度将焊件保温，保温时间严禁少于表 5.2 的规定。如为尺寸稳定而作消除应力热处理，保温时间必须根据较厚部件的厚度确定，不得少于表 5.2 的规定。保温期间，正在热处理的装配件上的各部位，最高温度和最低温度之差严禁大于 150°F [85°C]。

(4) 在 600°F [315°C] 以上温度进行冷却，必须在封闭的炉中或冷却室中进行，冷却速

率不大于每小时 500°F [260°C] 除以较厚部件的最大厚度 (in.) 的所得值, 但任何情况下都不得大于每小时 500°F [260°C]。从 600°F [315°C], 焊件可在静止空气中冷却。

5.8.2 变通的 PWHT。当不能按 5.8.1 规定的温度实现焊后热处理 (PWHT) 时, 作为变通的方法, 焊接的装配件可以在较低温度下用更长的时间 (如表 5.3 所给定) 消除应力。

5.8.3 不推荐进行焊后热处理的钢。ASTM A 514、ASTM A 517、ASTM A 709 级 和 100 (690) 级、100W (690W) 级、以及 ASTM A 710 钢的焊件通常不推荐进行消除应力处理。对于焊接在机加工时必须保持尺寸稳定、或者可能发生应力腐蚀情况, 消除应力也许是必要的, 但这唯独都不是 ASTM A 514、ASTM A 517、ASTM A 709 级 和 100 (690) 级、100W (690W) 级、以及 ASTM A 710 钢焊件所具备的条件。不过缺口韧性试验结果表明, 焊后热处理 (PWHT) 实际上会削弱焊缝金属和热影响区的韧性, 并有时在焊接热影响区的粗晶区中间出现晶间裂纹。

5.9 衬垫、背部保护气体或嵌条

CJP 坡口焊缝可以用或不用背部保护气体、衬垫或溶化性嵌条来完成, 也可以在反面焊缝施焊前对最初焊缝的根部刨槽、凿铲或用其他方法清理到完好的金属为止。

5.10 沉淀

有坡口焊缝或角焊缝的根部可用铜、焊剂、玻璃纤维带、陶瓷、铁粉或类似材料作衬垫以防熔穿。如用 SMAW, 也可用低氢焊条进行根部封底焊, 或用其他电弧焊接方法封底。钢衬垫必须符合以下要求:

5.10.1 熔合。使用熔结金属衬垫的坡口焊必须使焊缝金属完全熔合于衬垫上。

5.10.2 全长衬垫。除非下文允许, 否则钢衬垫在整个焊缝长度内必须连续。钢衬垫内的所有接头必须为符合本规范第 5 条所有要求的接头完全熔透 (CJP) 对接焊缝。

对于静荷载应用, 闭口截面焊缝终端衬垫, 如空心结构型材 (HSS), 允许用一或两块组合支撑, 拥有未加固的不连续性, 必须符合以下条件:

- (1) 闭口截面标称壁厚不超过 5/8 in [16 mm]。
- (2) 闭口截面外径不超过 64 in [163 mm]。
- (3) 衬垫横向于闭口截面纵轴。
- (4) 闭口截面中的断开不超过 1/4 in [6 mm]。
- (5) 具有不连续衬垫的焊缝不会比其他连接类型的 HSS 直径或大断面尺寸更近。
- (6) 衬垫中的中断不得位于角落中。

对于静荷载箱柱, CJP 角焊中、现场拼接和接点构造中允许存在不连续的衬垫。在其他闭合截面中, 只要工程师批准, 也允许存在不连续的衬垫。

5.10.3 衬垫厚度。如果衬垫为防止熔穿而必须有足够厚度, 则建议衬垫最小公称厚度如下表所示:

焊接方法	最小厚度	
	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

注：如果暴露的内表面上没有熔化的痕迹，合用的商品钢衬垫可以用作管子的衬垫。

5.10.4 周期载荷的非管材连接。对于承受周期载荷的结构，与计算应力方向横交的焊缝的钢衬垫必须去除，并必须将接头打磨或修整平滑。焊缝钢衬垫与计算应力方向平行或不承受计算应力，则无需除去，除非工程师另有规定。

5.10.4.1 外部附着衬垫。在周期载荷结构中，纵向焊缝的钢衬垫在结构外部焊着于母材时，必须沿衬垫长度连续焊接。

5.10.5 静荷载连接。静荷载结构（管材与非管材）的焊缝钢衬垫不需在全长范围内焊接，也无需除去，工程师另有规定时除外。

5.11 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，均必须能使指定人员遵守本规范规定的工艺并得到要求的结果。

5.12 焊接环境

5.12.1 最大风速。GMAW、GTAW、EGW 或 FCAW-G，除非另有防风屏蔽措施保护焊缝，否则严禁在鼓风或有风情况下操作。这种防风屏蔽物必须适合于降低风速的材料和形状制造，使焊接处附近最大风速降低为每小时五英里 [每小时八千米]。

5.12.2 最低周围温度。严禁在下述情况下焊接：

- (1) 周围温度低于 0°F [-20°C]
- (2) 焊件表面潮湿或暴露于雨、雪中，或
- (3) 高的风速，或
- (4) 在焊接人员暴露于险恶条件下。

注：0°F 并不意味着周围环境的温度，而是指紧靠焊接处的温度。附近环境温度可低于 0°F [-20°C]，但围绕被焊区的加热装置或屏蔽物，能使临近焊件处的温度保持在 0°F [-20°C] 或更高。

5.13 符合设计要求

焊缝尺寸和长度除了符合表 6.1 要求外，严禁小于设计要求和详图的规定。没有工程师的统一，严禁改变焊缝位置。

5.14 最小角焊缝尺寸

除用以加强坡口焊缝的角焊缝外，最小角焊缝尺寸必须如表 5.8 中所示。除非设计图规定较大尺寸的焊缝，否则在所有情况下必须应用最小角焊缝尺寸。

5.15 母材的制备

母材上待敷焊缝金属的表面应平滑、均匀且无毛刺、撕开、裂纹或其他将对焊缝质量或强度产生不利影响的缺陷。此外，待焊接表面与邻近焊缝的表面必须没有疏松或厚的氧化皮、焊渣、锈、潮气、油脂或其他妨碍正常焊接或产生有害烟雾的外来物质。钢丝刷用力清除不

掉的轧制氧化皮、薄防锈涂层或者防飞溅涂料可以保留，但下述情况除外：周期荷载结构中的大梁，其翼缘板和腹板连接焊接待焊处的表面必须清除所有轧制氧化皮。

5.15.1 轧制引起的缺陷。轧制引起的缺陷 肉眼观察到的切割表面缺陷的允许限度和修理必须遵守表 5.4 规定，表中缺陷长度是材料切割表面上的目检缺陷长度，而深度则为缺陷从切割表面向材料内部延伸的距离。所有焊接返修必须遵照本规范进行。清除缺陷可以从母材的任一表面进行。除非得到工程师同意，否则合计的焊接严禁超过返修的钢板表面长度的 20%。

5.15.1.1 合格准则。切割面上发现的长度和深度超过 1 in. [25mm] 的缺陷，必须按下述方法处理。

(1) 在完成接头前，观察到如同图 5.1 中 W、X 或 Y 类的缺陷时，必须用超声波测定其尺寸和形状。当按 ASTM A 435 关于钢板直波束超声检查的规定进行测试时，缺陷的面积必须由底面回波的总损失面积来决定。

(2) 对于 W、X、或 Y 类缺陷，其面积（或集聚的缺陷面积总和）严禁超过被切割材料面积（长度乘以宽度）的 4%，否则不合格，但下述情况例外：当在垂直于被切割材料长度方向测量时，如果任一横截面上不连续性（缺陷）的长度或多个不连续性（缺陷）的总宽度超过切割材料宽度的 20%，则必须按超出 20% 的那个百分数，从以上所允许合格的、那个占被切割材料面积的 4% 中扣除。（例如，不连续性（缺陷）为被切割材料宽度的 30%，则不连续性（缺陷）面积不得超过被切割材料面积的 3.6%。）材料切割表面上的缺陷必须用铲凿、刨槽或打磨方法除去，清除的深度在缺陷与表面相交处应达 1 in. [25mm] 以上，并用低氢焊接方法进行分段多层补焊，至少开始的四层厚度不超过 1/8 in. [3mm]。

(3) 如果在接头完工后发现 Z 类缺陷而并不超过 5.15.1.1 (2) 的容许面积，并且在切割的母材表面上测量时，确定其离开焊缝面为 1 in. [25mm] 或更大时，则严禁要求对该缺陷进行修补。如果 Z 类不连续性（缺陷）距离焊缝面小于 1 in [25 mm]，则必须用铲凿、刨槽、气碳或等离子弧刨、切割或打磨等方法进行清除，使其距离焊缝熔合区域 1 in [25 mm]。必须用低氢焊接方法进行分段多层补焊，至少开始的四层厚度不超过 1/8 in [3mm]。

(4) 如 W、X、Y 或 Z 类缺陷的面积超过 5.15.1.1 (2) 的容许范围，则被切割材料或构件必须拒收并替换，或按工程师的意见返修。

5.15.1.2 返修 在返修和确定切割表面上肉眼观察到的轧制引起的缺陷的限度时，被清除的金属量必须为清除缺陷所必要的最低或者不超过表 5.4 所限的最低量。不过，如果需要焊接返修，则需清除足够的母材以便于焊接。切割面可与轧制方向任何角度。所有缺陷的焊接返修必须做到：

(1) 对返修区域进行适当制备。

(2) 用认可的低氢方法焊接，并符合本规范的使用条款。

(3) 打磨已完成的返修焊缝，使它光滑并与邻近的母材表面平齐而有精细修整（见 5.24.3.1）。

注：在施加拉伸载荷于材料板厚方向的情况下，5.15.1.2 的要求可能是不适当的。

5.15.2 接头准备。机加工、热切割、刨槽（包括等离子弧切割和刨槽）、铲凿或打磨都可用作接头准备的加工，或用以除去不合格的工作物或金属，但氧气刨槽严禁用于调质钢和正火钢。

5.15.3 材料修整。对于周期荷载结构，如果要求有一满意的焊接边缘以得到能承受计算应力的焊缝，则材料厚于下列规定时必须修整：

- (1) 厚度大于 1/2 in. [12mm] 的剪切材料。
- (2) 厚度大于 3/8 in. [10mm] 的钢板被滚压的边缘（非通常的轧制钢板）。
- (3) 厚度大于 5/8 in. [16mm] 的角钢或轧制型材的趾部（非宽翼缘型材）。
- (4) 厚度大于 1 in. [25mm] 通常轧钢板或宽翼缘型材的翼缘边。
- (5) 对接接头的准备必须符合详图的要求。

5.15.4 热切割方法。电弧切割与刨槽（包括等离子弧切割和刨槽）方法以及氧气切割方法已为本规范认可用于材料的准备、切割或修整。这些方法的使用必须符合第 5 条相应的要求

5.15.4.1 其他方法。在本规范的指导下可以使用其他热切割和刨槽方法，但承包商需向工程师证明有能力成功地应用该方法。

5.15.4.2 外形准确度。如果有把握得到无裂纹和缺口的光滑而规则的表面，以及使用机械导轨而得到准确的外形，则钢材和焊缝金属可用热切割。对周期荷载结构，必须在工程师许可后才可徒手热切割。

5.15.4.3 粗糙度要求。热切割时，必须注意调节和操作设备，以免离开规定的路线而切割超过（或未达到）切割线的范围。切割表面评估的参考标准应为 AWS C4.1-77 氧气切割表面描述标准及氧气切割表面粗糙度量规中所含的粗糙度量规。热切割表面的粗糙度应通过视觉评估，将切割表面与粗糙度量规上展示的粗糙度量规之间进行比较。表面粗糙度不得大于量规 3 中所展示的表面粗糙度，但以下情况例外：不承受计算应力的构件终端、处理厚度不超过 2 in [50 mm] 的边梁、4 in 到 8 in [100 mm to 200 mm] 之间的材料，表面粗糙度不得超过量规 2 所展示的粗糙度。

5.15.4.4 凹槽或缺口限制。粗糙度超过以上数值，以及其他良好表面上深度不大于 3/16 in [5 mm] 的缺口或凹槽，均必须用机械加工或打磨方法消除。深度超过 3/16 in. [5mm]的缺口或凹槽，如果标称横截面积的减少不大于 2%，则可打磨修正。经打磨或机加工的表面必须以不超过 1/10 的坡度向原表面过渡。切割表面和临近边缘必须无挂渣。经工程师同意，热切割表面偶有的缺口或凹槽可用焊接返修。

5.16 凹角

被割材料的凹角处必须作成一半径不小于 1 in. [25mm] 的逐渐过渡形状，除非凹角连接材料和梁开槽。相邻切割表面相遇必须无偏移，或无超过切点的切割。如有必要，内凹角热切割后可再作打磨，以符合 5.15.4.3 的表面要求。

5.17 焊缝穿越孔、梁开槽以及连接材料

连接材料中的焊缝穿越孔、梁开槽以及切割表面不得有缺口。连接材料中的梁开槽和切割表面不得有尖锐凹角。焊接穿越孔应提供一个平滑过渡，不会超过切点的切割，并符合 5.15.4.3 的表面要求。

5.17.1 焊接穿越孔尺寸。所有焊接穿越孔从焊缝接口边缘在内表面的制备起算的长度，应不低于被开孔材料厚度的 1-1/2 倍。穿越孔的最小厚度应为开孔材料的厚度，但不低于 3/4 in [19 mm]，高度也不需要超过 2 in [50 mm]。穿越孔应详细说明，为焊接衬垫提供所需空间，为焊接提供适当的访问。

5.17.1.1 轧制型材中的焊接穿越孔。腹板边缘应从边缘表面向穿越孔的内凹表面倾斜或弯曲。焊接穿越孔的任何角落的半径都不得低于 $3/8$ in [9 mm]。

5.17.1.2 组合型材中的焊接穿越孔。对于焊接穿越孔是在型材焊接之后打孔的组合型材，腹板的边缘因从边缘表面向穿越孔内凹表面进行倾斜或弯曲。焊接穿越孔的任何角落的半径都不得低于 $3/8$ in [9 mm]。对于焊接穿越孔是在型材焊接之后打孔的组合型材，穿越孔可能停止与边缘垂直，前提是焊缝在距离穿越孔至少等于焊缝的尺寸之外就终止了。严禁角焊缝穿过焊缝穿越孔而包角（见图 5.2）。

5.17.2 镀锌型材。镀锌型材中的焊接穿越孔和梁开槽，都应打磨成光亮金属。如果焊接穿越孔和梁开槽的曲线过度部分系预先钻成或锯成的孔，则该穿越孔或梁开槽的该部分不需要打磨。

5.17.3 重型型材。对于边缘厚度大于 2 in [50 mm] 的轧制型材以及板材厚度大于 2 in [50 mm] 的焊接型材，穿越孔内部弯曲为热切割，从切割曲线的区域开始延伸 3 in [75 mm]，在热切割之前施加最小预热温度 150°F [66°C]。对于重型型材，梁开槽和焊接穿越孔的热切割表面应打磨到有金属光泽，在拼接焊缝前且用磁粉或者色渗透法进行检查。其他型材上的焊接穿越孔和梁的开槽口不必打磨，也不用着色渗透或磁粉检查。

5.18 定位焊缝和结构辅助焊缝

5.18.1 通用要求

(1) 定位焊缝和结构辅助焊缝必须用合格的或免除评定的焊接工艺规程或有资格的人员执行。

(2) 不混熔于最终焊缝的定位焊缝和不清楚掉的结构辅助焊缝，必须符合目检要求后构件才能接受。

5.18.2 例外情况。

允许采用定位焊缝和结构辅助焊缝，下述情况除外：

(1) 周期载荷结构的拉伸区域，除 2.17.2 条允许的外，不应有部混熔于最终焊缝的定位焊缝，也不应有结构辅助焊缝。梁或大梁的拉伸翼缘板外的腹板深度 $1/6$ 以外的位置，被认为在拉伸区域之外。

(2) 用规定屈服强度大于 70 ksi [485 MPa] 的调质钢制造的构件上，最终焊缝外的定位焊缝和结构辅助焊缝必须要求工程师批准。

5.18.3 清除。除了 5.18.2 所述位置外，不混熔于最终焊缝的定位焊缝和结构辅助焊缝，当工程师要求时都应该加以清除。

5.18.4 额外的定位焊要求

(1) 混熔于最终焊缝的定位焊缝，必须用符合最终焊缝要求的焊条施焊。在混熔前这些定位焊缝必须打扫清洁。

(2) 为了混熔入最终焊缝，多道定位焊缝端部必须成阶梯状，或用其他方法制备。

(3) 定位焊缝混熔入最终焊缝而要求用缺口韧性评定的，或者要求用缺口韧性分级的填充金属施焊的最终焊缝，必须用兼容的填充金属施焊。

5.18.5 混溶入 SAW 焊缝的定位焊缝的附加要求。除了 5.18.4 的要求外，下述要求适用。

(1) 被连续的 SAW 焊缝重新熔合的单道定位焊缝不要求预热。这是 5.18.1 的评定要

求的一个例外。

(2) 角焊缝的定位焊缝不应超过 $3/8$ in [10 mm], 且不应在焊缝表面外观产生不良变化。

(3) 对于要求特别的根部熔深的接头的根部的定位焊缝, 不应该造成熔深的减少。

(4) 在正式焊接前, 不符合 (2) 和 (3) 要求的定位焊缝, 应该用适当的手段消除或减小其尺寸。

(5) 在采用低氢焊条的 SMAW、GMAW 或 FCAW-G 时, 对带有厚度小于 $5/16$ in [8 mm] 的钢衬垫的接头的根部定位焊缝, 必须去除或使之在接头的全长上连续。

5.19 组装部件拱度

5.19.1 拱度。组装梁边缘和大梁的腹板边缘必须切割成规定拱度, 并考虑由切割和焊接的收缩而有适当的余量。不过, 对规定拱度允差的适度偏离可小心加热予以矫正。

5.19.2 矫正。矫正调质钢部件的拱度超差必须事先得到工程师同意。

5.20 周期载荷结构的拼接

两轧制梁断面之间或者两组装大梁断面之间的拼接必须最好在单一的横向平面内进行。在组装大梁中的腹板和翼缘板相互连接之前, 先进行腹板和翼缘板的工厂拼接, 拼接可以在一横向平面内或多个横向平面内定位, 但必须遵守通用技术条件的疲劳应力条款。

5.21 变形和收缩的控制

5.21.1 工艺和顺序。在结构或组合构件的装配和进行部件连接时, 以及将加强部件焊于构件时, 采用的工艺与顺序必须使变形与收缩最小。

5.21.2 编排顺序。在可行情况下, 所有焊缝必须编排顺序, 使得焊接过程中施加的热量平衡。

5.21.3 承包商责任。对于可以预计会过多地收缩或变形的构件或结构, 承包商工程师必须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。在某些构件或结构中, 收缩或变形可能有明显影响时, 则在焊接之前, 必须将该构件和结构焊接顺序和变形控制方案作为资料和说明提交工程师。

5.21.4 焊缝走向。在构件上焊接时通常的行进方向, 必须是从部件彼此间相对固定处朝向具有更大的相对运动自由度之处。

5.21.5 最小拘束。装配件中, 应该先焊预计有较大收缩量的接头, 后焊预计收缩量较小的接头。还应该在尽可能小的拘束下焊接。

5.21.6 局部装配件拼接。盖板梁或组装构件的每一个组件, 必须在该组件焊到其他组件以前完成全部的工厂施焊拼接。长的大梁或大梁分段可通过焊接局部装配件来制作, 但每一局部装配件的制作都要按 5.21.6 要求进行。不论是在工厂还是在工地, 在进行这些局部装配件的拼接时, 焊接顺序应在腹板和翼缘板的焊缝之间做到合理平衡, 既对构件的长轴平衡, 又对构件的短轴平衡。

5.21.7 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, 严禁接头冷却到规定的最低预热温度以下, 直至接头完成或已熔敷了足够焊缝而确保无裂纹为止。

5.22 接头尺寸公差

5.22.1 角焊缝装配。通过角焊缝连接的部件应尽可能贴得紧密。根部间隙严禁超过 $3/16$

in. [5mm]，只有厚度等于或大于 3 in. [75mm] 的型材或板材、如果在矫直后和装配中、根部间隙不能足够靠近以符合这一公差的情况除外。在这种情况下，如采用合适的衬垫，可采用最大根部间隙 5/16 in. [8mm]。衬垫可以由焊剂、玻璃纤维带、铁粉或类似材料制成，或者是熔敷合适填充金属的低氢方法的焊缝。如果间隙超过 1/16 in. [2mm]，则角焊缝焊脚尺寸必须按根部间隙值而增加，否则承包商必须证明已达到所要求的焊缝有效厚度。

5.22.1.1 贴合面。塞焊、槽焊和安放在衬垫上的对接接头，其贴合面之间的分离严禁超过 1/16 in [2 mm]。轧制型材矫直后仍不平整、而不能在上述限度内接触时，为使材料符合上述限制而采用的必要方法必须得到工程师的认可。除按图纸规定、或按工程师的特别认可以及执行 2.14 条款要求外，禁止使用填充板材

5.22.2 PJP 坡口焊缝的组装。平行于构件长度用 PJP 坡口焊缝连接的部件必须尽可能紧贴。根部间隙严禁超过 3/16 in. [5mm]，只有厚度等于或大于 3 in. [75mm]的型材或板材、如果在矫直后和装配中、根部间隙不能足够靠近以符合这一公差的情况除外。在这种情况下，如果使用合适的衬垫且最终焊缝符合焊缝尺寸的要求，则最大根部间隙可为 5/16 in. [8mm]。承载接头的公差必须符合所用合同的规定。

5.22.3 对接接头的校直（对准）。以对焊接头的方式连接的部件必须仔细对准。如果校直之中因偏心而弯曲部件，造成对其强力地约束，则相对于理论校直线的偏离值严禁超过连接的较薄件厚度 10%，或 1/8 in. [3mm]，取两者中之较小值。在纠正这种不准直情况时，严禁拉动零件使形成一个大于 1/2 in [12 mm] : 12 in. [300mm] 的斜率。除非图纸上另有说明，否则必须根据零件的中心线测量偏离值。

5.22.3.1 圆周焊缝对齐（管材）。用圆周焊缝连接的两相邻管材必须仔细对齐。相邻两环缝的距离严禁小于一个管子的直径或 3 ft [1m]，取两者中之小值。除非经用户或承包商同意，管子的任何 10 ft [3m] 区间严禁有两条以上的环焊缝。环缝对接处相邻边缘的径向偏差严禁超过 0.2 t [t 为较薄者的壁厚]，且最大容许偏差必须为 1/4 in. [6mm]，任何偏差超过 1/8 in. [3mm] 时要从两面施焊。但如果工程师批准，每一环缝上可有一个局部区域偏差达 0.3t，最大为 3/8 in. [10mm]，但这种局部区域的长度需在 8t 以内。这种区域必须加填充金属并作成 4:1 的过渡，加入填充金属可以连同焊缝的施焊一起进行。半径相差超过这一限定时必须按 5.22.3 予以纠正。相邻两管的纵向焊缝必须至少错开 90°，小于 90°要得到业主和制造商的同意

5.22.4 坡口尺寸

5.22.4.1 非管材横断面的变化。不包括 ESW 和 EGW，而且 5.22.4.3 关于根部间隙超过图 5.3 容许值的情况除外，坡口焊接头的横断面尺寸如不同于详图所示尺寸而超过这些公差规定则必须提交工程师认可或作改正。

5.22.4.2 管材横断面的变化。坡口焊接接头的横断面尺寸不同于详图所示时，必须按 5.22.4.1 处理，下述情况除外：

(1) T、Y 和 K 形连接的公差包括在 3.13.5 给定的范围内。

(2) 表 5.5 所示公差仅适用于无衬垫、单面焊对接接头的接头完全熔透 (CJP) 管材坡口焊的焊缝。

5.22.4.3 纠正。根部间隙大于 5.22.4.1 的允许值、但不大于较薄件厚度的 2 倍或 3/4 in. [20mm]（取两者中小值），可在部件焊接连接之前用焊接的方法予以纠正，以达到合适的尺寸。

5.22.4.4 工程师认可。超过 5.22.4.3 容许范围的根部间隙，只有得到工程师认可，才可用焊接方法修正。

5.22.5 刨槽坡口。刨槽加工的坡口必须基本上符合图 3.3 和 3.4 规定的坡口形状尺寸以及 3.12.3 和 3.13.1 条款的要求。必须继续保持这种形状达到根部。

5.22.6 对齐方法。待焊构件必须正确对齐并用螺栓、夹角钳、楔块、拉索、撑杆和其他适当装置定位，或用定位焊缝定位，直到焊完为止。建议尽量采用夹具和定位装置。对翘曲和收缩必须由适当的余量。

5.23 焊接结构部件的尺寸公差

焊接结构部件的尺寸必须符合以下公差要求：(1) 控制该项工作的通用规定，和 (2) 5.23.1~5.23.12 的专用尺寸公差。（注：管柱看作受压管件）

5.23.1 柱和桁架的直线度。对于焊接的柱和主桁架构件，不管其横截面如何，容许的直线度最大变化值应该如下：

当长度 <30 ft [9m] 时：

为 $1/8 \text{ in} \times (\text{总长的英尺数}/10)$

或 $1 \text{ mm} \times \text{总长的米数}$

当 $30 \text{ ft} [9\text{m}] \leq \text{长度} \leq 45 \text{ ft} [15\text{m}]$ 时：为 $3/8 \text{ in} [10 \text{ mm}]$

当长度 >45 ft [15m] 时，为

$3/8 \text{ in} + 1/8 \text{ in} \times (\text{总长的英尺数}-45) / 10$

$10 \text{ mm} + 3 \text{ mm} \times (\text{总长的米数}-15) / 3$

5.23.2 梁和大梁的直线度（无拱度规定）。对于焊接的梁或大梁，不管其横截面如何，在无规定拱度时，直线度的最大偏差必须为：

$1/8 \text{ in} \times (\text{总长的英尺数}/10)$

或 $1 \text{ mm} \times \text{总长的米数}$

5.23.3 梁和大梁的拱度（典型大梁）。对于焊接的梁或大梁，除了未曾设计混凝土拱腋而顶部翼缘板埋入混凝土者以外，不管其横截面如何，工厂总装件（供工地拼接而钻孔，或准备进行工地焊接拼接）拱度的容许变化值为：

跨距中心： $-0, +1-1/2 \text{ in} [40 \text{ mm}]$ 跨距 $\geq 100 \text{ ft} [30 \text{ m}]$

$-0, +3/4 \text{ in} [20 \text{ mm}]$ 跨距 $< 100 \text{ ft} [30 \text{ m}]$

支点处： 0 端部支点

$\pm 1/8 \text{ in} [3 \text{ mm}]$ 内部支点

中间各点处： $-0, + \frac{4(a)b(1-a/S)}{S}$

其中

a = 从检查点至最近支点的距离，ft [m]

S = 跨距长度，ft [m]

$b = 1\text{-}1/2$ in [40 mm] 跨距 ≥ 100 ft [30 m]

$b = 3/4$ in [20 mm] 跨距 < 100 ft [30 m]

见表 5.6 表列数据。

5.23.4 梁的大梁拱度（无设计混凝土拱腋）。对无设计混凝土拱腋而顶部翼缘板埋入混凝土的部件，工厂装配（钻孔用于工地拼接或准备用于工地的焊接拼接）偏离要求拱度的最大偏差必须为：

跨距中心： $\pm 3/4$ in [20 mm] 跨距 ≥ 100 ft [30 m]

$\pm 3/8$ in [10 mm] 跨距 < 100 ft [30 m]

支点处： 0 端部支点

$\pm 1/8$ in [3 mm] 内部支点

中间各点处： $\pm \frac{4(a)b(1-a/S)}{S}$

其中 a 和 S 定义如前述

$b = 3/4$ in [20 mm] 跨距 ≥ 100 ft [30 m]

$b = 3/8$ in [10 mm] 跨距 < 100 ft [30 m]

见表 5.7 表列数据。

无论详图中拱度如何表示，容许偏差的符号习惯是：正号 (+) 为超过图示的拱度形状，负号 (-) 为低于图示的拱度形状。这些条款也适用于非工地拼接的或工厂组装的单个构件。拱度必须在无负荷状态下测量。

5.23.5 梁和大梁的旁弯。偏离平直度或偏离规定的旁弯的最大偏差，在中点处的值必须为：

$\pm 1/8$ in $\times$ （总长的英尺数/10）

或 ± 1 mm $\times$ 总长的米数

前提是部件具有足够的侧向柔性，可以允许附加隔板、横向框架及侧向支撑等而不损坏结构部件或其附件。

5.23.6 腹板平正度的偏差

5.23.6.1 测量。梁腹板平正度的偏差这样确定：在平行于公称腹板平面的一个平面上，安放条笔直的边（直尺规），此直边长度大于最小节距尺寸。测量从实际腹板中心线到这一直边的偏离值。测量必须在安装前进行，见条文说明。

5.23.6.2 静荷载非管材结构。高度为 D 、厚度为 t 的腹板，其最小节距尺寸为 d ，节距间受加劲材或翼缘板、或两者所包围，则腹板的平正度变化值严禁超过下述规定：

腹板两面都有中间加劲材：

当 $D/t < 150$ 时，最大偏差为 $d/100$

当 $D/t \geq 150$ 时，最大偏差为 $d/80$

腹板仅单面有中间加劲材时：

当 $D/t < 100$ 时, 最大偏差为 $d/100$

当 $D/t \geq 100$ 时, 最大偏差为 $d/67$

无中间加劲材:

当 $D/t \geq 100$ 时, 最大偏差为 $d/150$

(见附录 D 表格)

5.23.6.3 周期荷载非管材结构。高度为 D 、厚度为 t 的腹板, 其最小节距尺寸为 d , 节距间受加劲材或翼缘板、或两者所包围, 则腹板的平正度变化值严禁超过下述规定:

腹板两面都有中间加劲材:

内部大梁:

当 $D/t < 150$ 时, 最大偏差为 $d/115$

当 $D/t \geq 150$ 时, 最大偏差为 $d/92$

挑口装饰大梁:

当 $D/t < 150$ 时, 最大偏差为 $d/130$

当 $D/t \geq 150$ 时, 最大偏差为 $d/105$

腹板仅单面有中间加劲材时:

内部大梁:

当 $D/t < 100$ 时, 最大偏差为 $d/100$

当 $D/t \geq 100$ 时, 最大偏差为 $d/67$

挑口装饰大梁:

当 $D/t < 100$ 时, 最大偏差为 $d/120$

当 $D/t \geq 100$ 时, 最大偏差为 $d/80$

无中间加劲材: 最大偏差为 $D/150$

(见附录 E 表格)

5.23.6.4 过量变形。还是对于工地螺栓拼接所用的模板, 如果在已钻孔、或已局部冲孔和铰孔的大梁的端部, 出现腹板变形 2 倍于 5.23.6.2 或 5.23.6.3 的容许值时, 只要当用螺栓拼接后, 腹板呈正常的尺寸公差, 则必须认为符合要求。

5.23.6.5 建筑上的考虑。如果出于建筑上的考虑、要求公差较之 5.23.6.2 或 5.23.6.3 的规定更为严格, 则必须在招标文件中明确提出。

5.23.7 腹板中心线和翼缘板中心线间的变化值。对于组装的 H 或 I 型构件, 腹板中心线与翼缘板中心线之间的容许变化值, 在他们的接触表面处严禁超过 $1/4$ in. [6mm]。

5.23.8 翼缘板翘曲和倾斜。对于焊接梁或大梁, 其翼缘板的翘曲和倾斜必须由下述测量方法确定: 在腹板中心线与翼缘板外表面相交处, 通过该交点作一垂直于腹板平面的法线, 测量翼缘板趾部距离该直线的偏离值。严禁此偏差超过翼缘板总宽度的 1% 或 $1/4$ in. [6mm], 取两者中较大值, 但毗连的部件的对接焊接头必须满足 5.22.3 的要求者除外。

5.23.9 高度变化值。对于焊接梁和大梁, 在腹板中心线处测量的偏离规定高度的最大容

许值必须为：

腹板高度 ≤ 36 in. [1m]	$\pm 1/8$ in [3 mm]
36 in. [1m] < 腹板高度 ≤ 72 in. [2m]	$\pm 3/16$ in [5 mm]
腹板高度 > 72 in. [2m]	+ 5/16 in [8 mm] - 3/16 in [5 mm]

5.23.10 荷载的点支承。承载加劲材的支承端必须与腹板相适应，并且加劲材承载横断面积的至少 75% 必须与翼缘板内表面成直角。翼缘板的外表面抵着钢基础或基座支承时，必须与腹板和加劲材的 75% 投影面积有着不大于 0.010 in. [0.25mm] 的配合，余下 25% 投影面积下的配合不超过 1/32 in [1 mm]。无加劲材的大梁必须支承在翼缘板外表面上的腹板投影面积上，接触间隙在 0.010 in [0.25mm] 以内，且在支承长度范围内腹板与翼缘板间的夹角不超过 90°。见条文说明。

5.23.11 加劲材公差

5.23.11.1 中间加劲材的配合 凡规定中间加劲材紧配合之处，必须规定加劲材与翼缘板之间容许间隙不大于 1/16 in. [2mm]。

5.23.11.2 中间加劲材的配合。中间加劲材的直线度偏差严禁超过：大梁高度 ≤ 6 ft [1.8m] 时，直线度偏差 $\leq 1/2$ in. [12mm]；大梁高度 > 6 ft [1.8m] 时，直线度偏差 $\leq 3/4$ in. [20mm]，应适当关注伸入加劲材形成框架的构件。

5.23.11.3 承载加劲材的直线度和定位。承载加劲材的直线度偏差严禁超过：大梁高度 ≤ 6 ft [1.8m] 直线度偏差 $\leq 1/4$ in. [6mm]；大梁高度 > 6 ft [1.8m] 直线度偏差 $\leq 1/2$ in. [12mm]。加劲材的实际中心线偏离理论中心线必须在加劲材的厚度范围内。

5.23.12 其他尺寸公差。箱形构件的扭曲以及 5.23 未包括的构件的其他尺寸公差必须单独确定，要适当关注安装要求并征得承包商和业主双方的同意。

5.24 焊缝剖面外形

所有焊缝必须符合表 6.1 的目检合格判据，并且除了 5.24.1、5.24.2 及 5.24.3 所允许的以外，严禁有裂纹、焊瘤和图 5.4、表 5.9 和表 5.10 中禁止的不合格剖面缺陷。

5.24.1 角焊缝。角焊缝表面可以稍稍凸起、平坦或稍稍下凹，如图 5.4 所示以及表 6.1 所允许的。

5.24.2 断续角焊缝的例外。除了规范所容许的咬边以外，图 5.4 所示的剖面形状的要求不适用于超出断续角焊缝有效长度以外的端部。

5.24.3 坡口焊缝。坡口焊余高应符合表 5.9、表 5.10 以及以下条款。焊缝应逐渐过渡到基材金属表面平面。

5.24.3.1 平齐表面。要求平齐的对接焊缝必须经加工，且不使较薄母材厚度或焊接金属厚度减薄 1/32 in. [1mm] 以上。留下的余高高度不得超过 1/32 in [1 mm]，并且应平滑地与母材表面融合，且过渡区域无咬边。但是，当焊缝成为贴合面或接触面的一部分时，必须将余高去除。

5.24.3.2 精修方法与数值。需精加工的表面，粗糙度数值（见 ASME B46.1）严禁超过 250 微英寸 [6.3 微米]。可以使用铲凿与刨槽，前提是随后要进行打磨或加加工。对于周期载荷结构，精加工到 125 microinches [3.2 micrometers] 的表面，必须沿着主应力的方向进行

精修加工表面。精加工到小于 125 microinches [3.2 micrometers] 者，可沿任何方向作精修加工。

5.24.4 架子棒材。架子棒材应符合 5.10.1 到 5.10.5 的要求。架子棒材应留在适当的地方用作静荷载组件。

5.25 塞焊和槽焊技术

5.25.1 塞焊。当使用 SMAW、GMAW (GMAW-S 除外) 或 FCAW 时，塞焊缝的技术应如下：

5.25.1.1 平焊位置。对于平焊位置的塞焊，每一焊道必须环绕接头根部熔敷，然后沿螺旋形途径向孔的中心熔敷，就这样在接头根部和底部熔化并熔敷一层焊缝金属。然后，将电弧提至孔的内壁周边并重复上述过程，熔化与熔敷后续各层，以充填该孔直到所需深度。覆盖于焊缝的熔渣应保持熔融状态直至焊缝完成。如发生断弧或焊渣冷却，则必须将焊渣完全清除后再焊。

5.25.1.2 立焊位置。对于立焊位置的塞焊，在所开孔的底边处接头根部引弧，并由此向上焊接，使内层板的面与开孔板的边熔合。在所开孔的顶部停弧，清除焊渣，然后在孔的对边重复上述过程。清除焊渣后，应该类似地熔敷其他焊层，以充填该孔直径所需的深度。

5.25.1.3 仰焊位置。对于仰焊位置的塞焊，其过程与平焊位置相同，但在熔敷每一连续焊道后应让焊渣冷却并应完全清除，直至充填该孔达所需深度。

5.25.2 槽焊。必须使用类似于 5.25.1 规定的塞焊技术进行槽焊，例外情况是：如果槽孔长度超过其宽度的 3 倍，或者槽孔扩展到部件边缘，则适用 5.25.1.3 的技术。

5.26 返修

焊缝金属或部分母材的清除可用机加工、打磨、铲凿或刨槽的方法进行。清除必须这样：不在邻近焊缝金属或母材上造成缺口或槽痕。调质钢上严禁使用氧气刨槽。切除不合格的焊缝部分时，不能同时切除母材。

焊接直接必须彻底清洁表面。对于任何尺寸的不足必须熔敷焊缝金属加以补偿。

5.26.1 承包商选择。除了 5.26.3 要求的修正外，制造商可选择对不合格的焊缝进行修理或者切除并更换整个焊缝。被修理或更换的焊缝应该用原有方法进行试验，并采用同样的技术和质量验收标准。如果承包商选择返修焊缝，必须按如下要求进行：

5.26.1.1 焊瘤、过分凸起或余高过大。必须清除过量的焊缝金属。

5.26.1.2 过份的焊缝凹陷或弧坑，焊缝尺寸不足，咬边。必须对表面进行准备（见 5.30）并熔敷补充的焊缝金属。

5.26.1.3 不完全熔合，过量的焊缝气孔或夹渣。必须清除不合格部分（见 5.26）。

5.26.1.4 焊缝或母材的裂纹。必须用酸蚀、磁粉检查、着色渗透检查或其他可靠的方法确定裂纹的范围；还必须清除裂纹和超出裂纹每一端的 2 in. [50mm] 的完好金属并重焊。

5.26.2 局部加热返修的温度限制。因焊接而变形的构件必须采用机械方法或作一定程度的局部加热来矫直。用认可方法测量加热范围的温度，对于调质钢严禁超过 1100°F [600°C]，其他钢严禁超过 1200°F [650°C]。除了和热处理一起使用的机械方法产生的应力外，受热部件不应受任何残余应力和其他外力的作用。

5.26.3 工程师认可。母材的返修（除 5.15 要求的以外）、重要的或延迟裂纹的返修、

对有内部缺陷的电渣焊缝和气电焊缝的返修、或由于修改设计而对缺损处进行补偿返修，必须事先得到工程师的同意。割开焊接构件前必须通知工程师。

5.26.4 难以返修的不合格焊缝。如果出现了不合格的焊缝后所采取的措施使得焊缝不可修理，或产生了使不合格焊缝的修理工作危险或无效的新情况，那么应在修理前通过清除焊缝或构件或同时清除两者的方法恢复原来的状态。如果不进行这一工作，则必须按照得到认可的修改设计实施追加的工作来补偿该缺陷。

5.26.5 开错孔位的母材的焊接修复。除了由于结构或其他原因必须焊接修复外，开错位置的冲孔或钻孔可以保留孔洞或以螺栓填满。当开错孔位的母材采用焊接修复时，应遵循下述要求：

(1) 如果承包商有并采用返修的 WPS，则不承受周期拉应力的母材可用焊接返修。当合同文本对于承受压应力或拉应力的有坡口焊缝规定需作无损检测时，则返修焊缝的完好性必须由合适的无损检测方法进行检查。

(2) 承受周期拉应力的母材可用焊接修复，但要求：

(a) 工程师同意焊接返修并认可返修的 WPS。

(b) 工作中遵循返修 WPS，且修复母材的完好性由无损检测方法证实，所用的无损检测方法为合同文本中规定用于检查承受拉应力有坡口焊缝的方法，或为工程师认可的方法。

(3) 当使用焊接方法修复调质钢母材上的孔洞时，除 (1) 和 (2) 外，还要附加下述要求：

(a) 必须使用合适的填充金属、线能量和焊后热处理（当需要焊后热处理时）。

(b) 必须采用返修 WPS 制作样品焊件。

(c) 样品焊件的射线检测必须能证实该焊缝的完好性符合 6.12.2.1 的要求。

(d) 必须从样品焊件取试样作下述试验：1 个缩减断面拉伸试验[焊缝金属]，2 个侧弯试验（焊缝金属）和热影响区（粗晶区），3 个夏比 V 形缺口冲击试验，以证明返修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 条 D 部分）。

(4) 焊缝表面必须按 5.24.3.1 的规定修整加工。

5.27 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，以防止开裂或变形、或同时防止两者。除了 2.21.6.6 (3) 允许的情况外，严禁对焊缝根部、表面焊层或焊缝边的母材进行锤击。要注意防止焊缝和母材的上出现焊瘤或开裂。

5.27.1 工具。使用手工除渣锤、凿子和其他轻型震动工具去除焊渣和飞溅不视为锤击处理。

5.28 捻缝（凿密）

捻缝（凿密）系采用机械方法使焊缝和母材表面塑性变形，以使缺陷封闭或隐没。对规定的最低屈服强度大于 50ksi [345MPa] 的母材禁止捻缝（凿密）。

对规定的最低屈服强度等于或小于 50 ksi [345MPa] 的母材，可进行捻缝（凿密），但要：

(1) 所有的检验已经完成且验收合格。

(2) 有必要进行捻缝（凿密）以防止涂敷（保护层）失败。

(3) 捻缝（凿密）的技术和限制获得工程师同意。

5.29 电弧击伤

在母材的永久焊缝区域外应避免有引弧。由引弧导致的裂纹或瑕疵应打磨光滑并检验以确保金属质量。

5.30 焊缝清理

5.30.1 过程中清理。在焊接覆盖前道熔敷金属以前，必须清除所有焊渣，同时焊缝及邻近的母材必须擦刷或用其他合适的方法清理干净。这一要求不仅必须实施于逐次的焊层，而且必须实施于逐次的焊道以及任何中断焊接对弧坑区域的清理。但按照 5.25 要求进行的塞焊和槽焊必须不受此限制。

5.30.2 完工焊缝的清理。必须清除所有完工焊缝的焊渣，并必须将焊缝及邻近的母材刷干净或用其他适当方法清理。清理后仍牢固粘附的飞溅残余物允许留存，为了无损检测而必须清除者除外。直到焊接工作已经完成并且焊缝验收合格为止，严禁焊接接头涂漆。

5.31 焊缝引弧板和引出板（见 5.2.2）

5.31.1 焊缝引弧板和引出板的使用。必须以一种能确保焊接质量的方法在接头末端结束焊接。只要需要，就必须设置对齐的焊缝引弧板、引出板，为准备焊接的接头提供一个延长段。

5.31.2 静荷载非管材结构焊缝引弧板和引出板的拆除。对于静荷载非管材结构，焊缝引、熄弧板不用拆除，工程师要求者除外。

5.31.3 周期荷载非管材结构焊缝引弧板和引出板的拆除。对于周期荷载非管材结构，焊缝的引、熄弧板必须在焊缝完成并冷却后拆除，并且必须使焊缝两端光滑而与相邻接的部件平齐。

5.31.4 已焊的对接接头端部。已焊的对接接头端部要求平齐者必须修整，但不要使其宽度比详图要求的宽度或者提供的实际宽度（取其中较大值）减少 1/8 in. [3mm] 以上，或者不要在每一端留下超过 1/8 in. [3mm] 的余高。已焊的对接接头的端部必须作成不超过 1/10 的斜率。

表 5.1
低氢焊条允许暴露于大气的時間（见 5.3.2.2 和 5.3.2.3）

焊条	A（小时）	B（小时）
<u>A5.1</u>		
E70XX	≤4	4<t≤10
E70XXR	≤9	
E70XXHZR	≤9	
E7018M	≤9	
<u>A5.5</u>		
E70XX-X	≤4	4<t≤10
E80XX-X	≤2	
E90XX-X	≤1	
E100XX-X	≤1/2	
E110XX-X	≤1/2	1<t≤5
		1/2<t≤4
		1/2<t≤4

注:

1. A 栏: 焊条在大气中暴露的时间超过表中规定的时间时, 必须在使用前再干燥。
2. B 栏: 焊条在大气中暴露的时间超过试验确定的时间时, 必须在使用前再干燥。
3. 焊条必须配给并保存于小筒中或其他小敞口容器内。不强
制使用加热容器。
4. 选用的补充标号 R, 表明系下列低氢焊条: 它经过焊条
药皮暴露于潮湿环境 9 小时的含水量试验, 符合 AWS
A5.1/A5.1M, 焊条电弧焊用碳钢焊条规范允许的最大值。

表 5.2
最少保温时间 (见 5.8.1)

≤1/4 in [6 mm]	> 1/4 in [6 mm]~≤2 in [50 mm]	> 2 in [50 mm]
15 min.	每增加 1/4 in [6 mm] 需 要15分钟	厚度超过 2 in. [50mm] 后, 每增加 1 in.[25mm] 要增 加2小时15分钟

表 5.3
变通的消除应力热处理 (见 5.8.2)

低于最小规定温度的温度减量		降低温度后的最小 保温时间每 in. [25mm] 厚度的小 时数
Δ°F	Δ°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理 (见 5.15.1)

缺陷说明	需要的修理
任何缺陷长度 ≤ 1 in [25 mm]	不修理, 不作探查
任何缺陷长度 > 1 in [25 mm], 深度 ≤ 1/8 in [3 mm]	不修理, 但要探查深度 ^a
任何缺陷长度 > 1 in [25 mm], 1/8 in [3 mm]≤ 深度 ≤ 1/4 in [6 mm]	清除, 无需焊接
任何缺陷长度 > 1 in [25 mm], 1/4 in [3 mm]≤ 深度 ≤ 1 in [25 mm]	完全清除并焊接。
任何缺陷长度 > 1 in [25 mm], 深度 > 1 in [3 mm]	参见 5.15.1.1

^a 在有问题的切割边缘, 取 10% 的不连续性 (缺陷) 进行打磨以确定深度。如果被探查的任一缺陷其深度超过 1/8 in [3 mm], 则在该切割边缘内的所有长度超过 1 in [25 mm] 的缺陷都必须进行打磨以确定深度。如果在被抽检的 10% 的缺陷中, 没有一处缺陷深度超过 1/8 in [3 mm], 则该切割边缘上其余缺陷都不需要探查。

表 5.5
管材接头根部间隙公差 (见 5.22.4.2)

	接头钝边		无钢衬垫的接头根部间隙		接头坡口角度
	in	mm	in	mm	度
SMAW	±1/16	±2	±1/16	±2	±5
GMAW	±1/16	±2	±1/16	±2	±5
FCAW	±1/32	±1	±1/16	±2	±5

注：根部间隙大于上述公差规定、但不大于较薄管材的壁厚时，可在部件焊接之前进行堆焊使之符合尺寸要求。

表 5.6
典型大梁的拱度公差 (见 5.23.3)

拱度公差 (in.)					
跨距 \ a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
≥ 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 (mm)					
跨距 \ a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
≥ 30m	14	25	34	38	40
< 30m	7	13	17	19	20

表 5.7
未曾设计混凝土拱腋的大梁的拱度公差
(见 5.23.4)

拱度公差 (in.)					
跨距 \ a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
≥ 100 ft	1/4	1/2	5/8	3/4	3/4
< 100 ft	1/8	1/4	5/16	3/8	3/8
拱度公差 (mm)					
跨距 \ a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
>30m	7	13	17	19	20
< 30 m	4	6	8	10	10

表 5.8
最小角焊缝尺寸 (见 5.14)

角焊缝的最小尺寸 ^b			
母材厚度 (T) ^a			
in	mm	in	mm
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 (注 c)	3 (注 c)
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6
3/4 < T	20 < T	5/16	8

^a 对未按 4.8.4 条款要求进行计算预热的非低氢焊接方法，T 等于所连接部件中较厚件的厚度；必须使用单道焊缝。

对于按 4.8.4 所述以防止裂纹的低氢和非低氢方法，T 等于连接的较薄件厚度；不要求单道焊。

^b 焊缝尺寸不需要超过较薄件厚度的情况除外。

^c 周期荷载结构的最小尺寸为 3/16 in. [5mm]。

表 5.9
焊接外形^a (见 5.24)

焊缝类型	接头类型					
	对接接头	角在内	角在外	T 形接头	搭接接头	与架子棒材对接
坡口 (CJP 或 PJP)	图 5.4A	图 5.4B ^b	图 5.4c	图 5.4D ^b	N/A	图 5.4G
	时间表 A	时间表 B	时间表 A	时间表 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	时间表 C	时间表 C 或 D ^d	时间表 C	时间表 C	N/A

^a 时间表 A 到 D 在表 5.10 中给出。

^b 对于设计所需的加强角焊缝, 外形限制分别适用于各焊缝、对接接头、角焊缝。

^c 使用架子棒材的焊缝, 以及不规则厚度棒材之间的焊缝都不受到 R 和 C 限制。

^d 时间表 C 和 D 的适用条件见图 5.4F。

表 5.10
焊接外形时间表 (见 5.24)

时间表 A	(t=与 CJP 连接的较厚板材的厚度; t=PJP 焊喉尺寸)				
	t	R min.	R max.		
	≤ 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		
时间表 B	(t=与 CJP 连接的较厚板材的厚度; t=PJP 焊喉尺寸; C = 允许凹度或凸度)				
	t	R min.	R max.	C min.	C max.
	< 1 in [25 mm]	0	unlimited	0	1/8 in [3 mm]
	≥ 1 in [25 mm]	0	unlimited	0	3/16 in [5 mm]
时间表 C	(W = 焊面或单个表面焊道宽度; C = 允许凸度)				
	W	C min.	C max. ^b		
	≤ 5/16 in [8 mm]	0	1/16 in [2 mm]		
	> 5/16 in [8 mm], < 1 in [25 mm]	0	1/8 in [3 mm]		
	≥ 1 in [25 mm]	0	3/16 in [5 mm]		
时间表 D	(t = 暴露的边缘尺寸较薄部位的厚度, 见图 5.4F)				
	t	C min.	C max.		
	T 的任何值	0	t/2		

^a 对于周期载荷结构, 厚度 > 2 in [50 mm] 材料的 R max. 为 3/16 in [5 mm]。

^b C 不得超过 R。

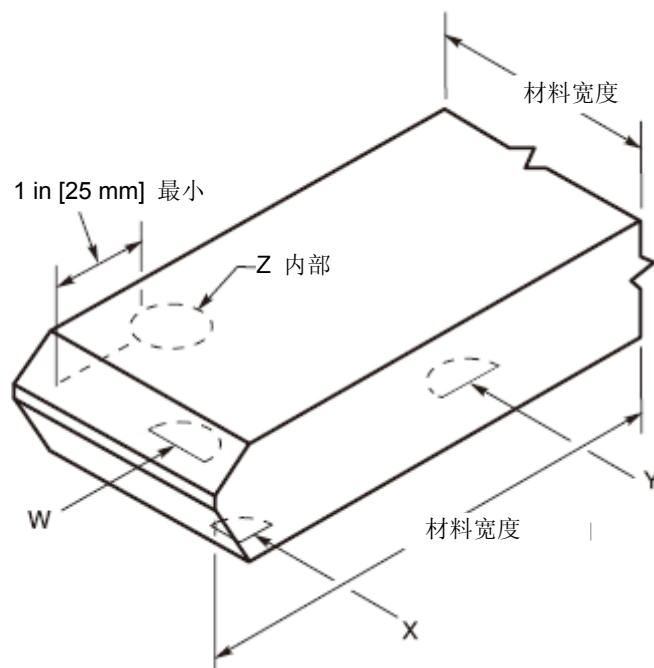
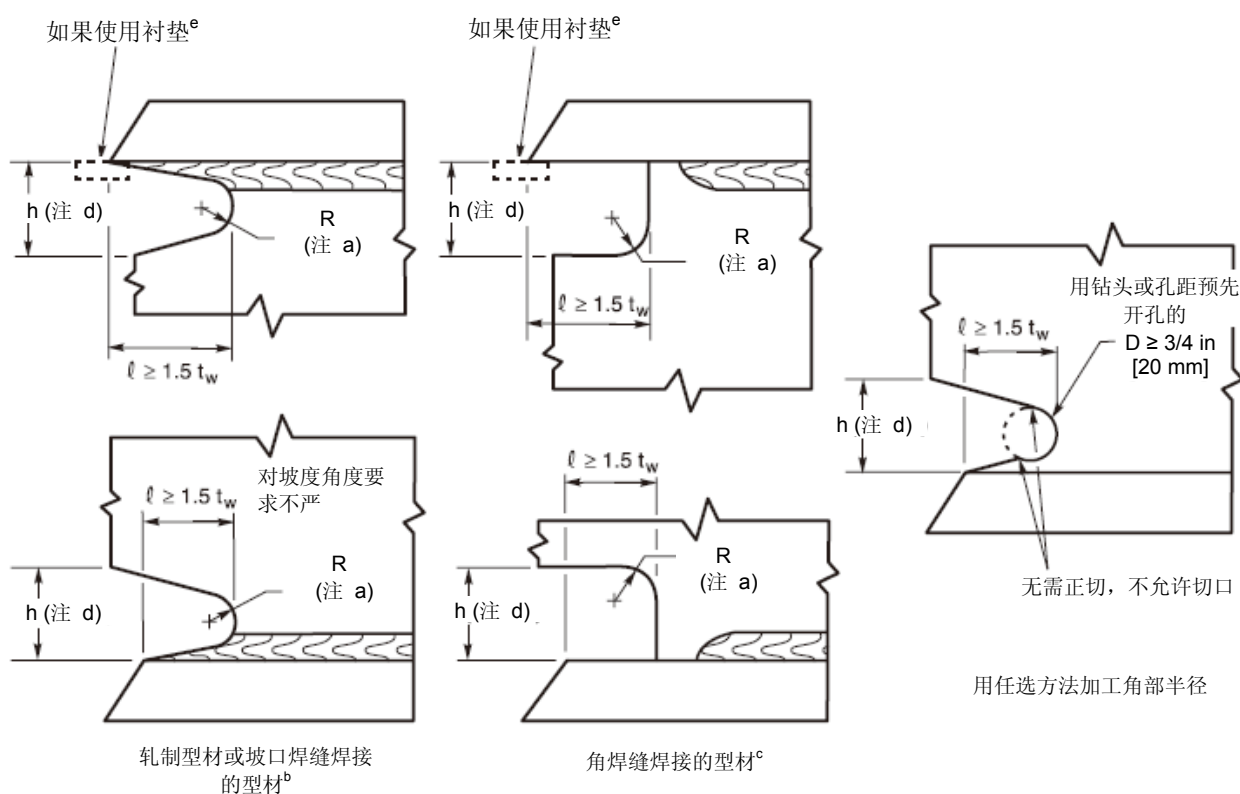


图 5.1 — 材料切割边缘缺陷 (见 5.15.1.1)



^a 圆角半径必须光滑而无缺口: $R \geq 3/8$ in. [10mm] (典型为 $1/2$ in. [12mm])。

^b 在腹板焊于翼缘板后开穿越孔。

^c 在腹板焊于翼缘板前开穿越孔。焊缝不得穿过该孔而包角。

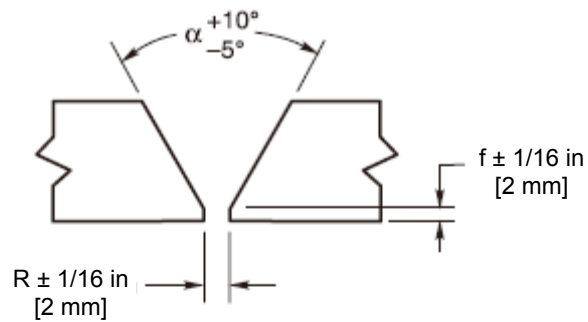
^d $h_{min} = 3/4$ in [20mm] 或 t_w (腹板厚度), 取较大值, 最小值不得超过 2 in [50 mm]。

^e 这些是用钢衬垫并从一面进行焊接的典型接头详图。还应考虑其他接头详图。

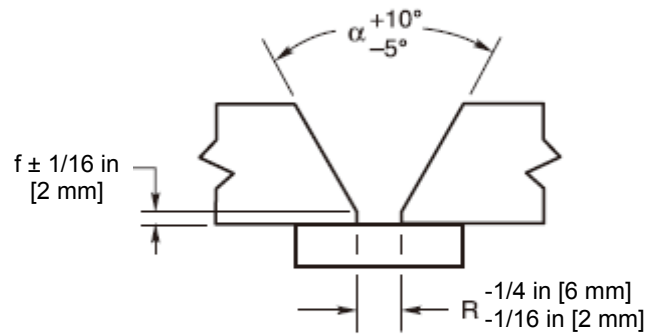
注: 对于翼缘板厚度大于 2 in. [50mm] 的轧制型钢以及腹板材料厚度大于 $1-1/2$ in. [40mm] 的焊接组合型材, 在热切割之

前预热至 150°F [65°C]，在拼接腹板和翼缘板的坡口焊缝之前打磨穿越孔的热切割边缘，并作磁粉或着色渗透法的检查。

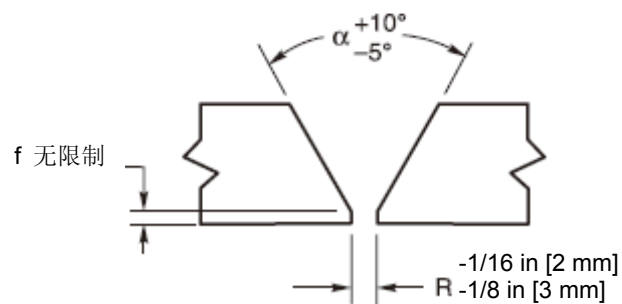
图 5.2 — 焊缝穿越孔几何形状（参见 5.17.1）



(A) 衬垫坡口焊缝—背面不清根



(B) 有衬垫坡口焊缝—背面不清根

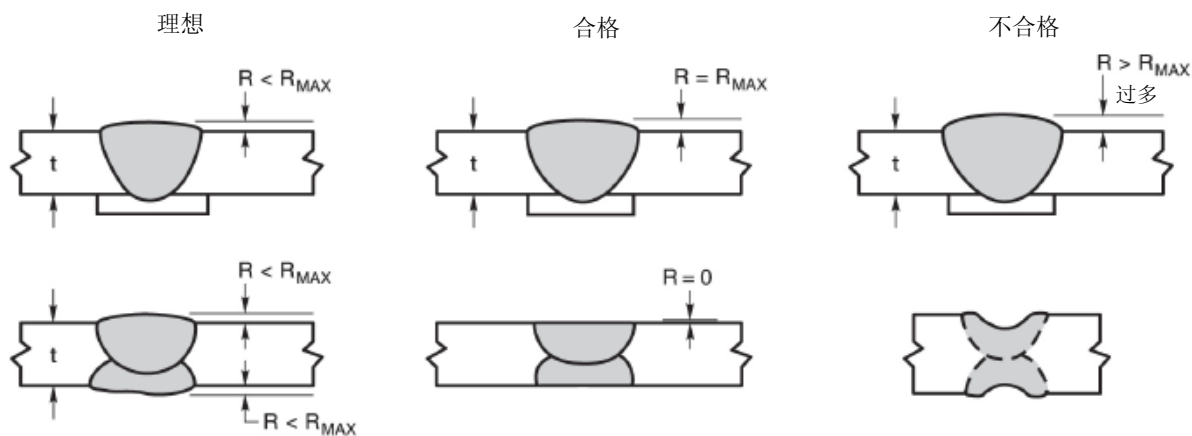


(C) 无衬垫坡口焊缝—背面清根

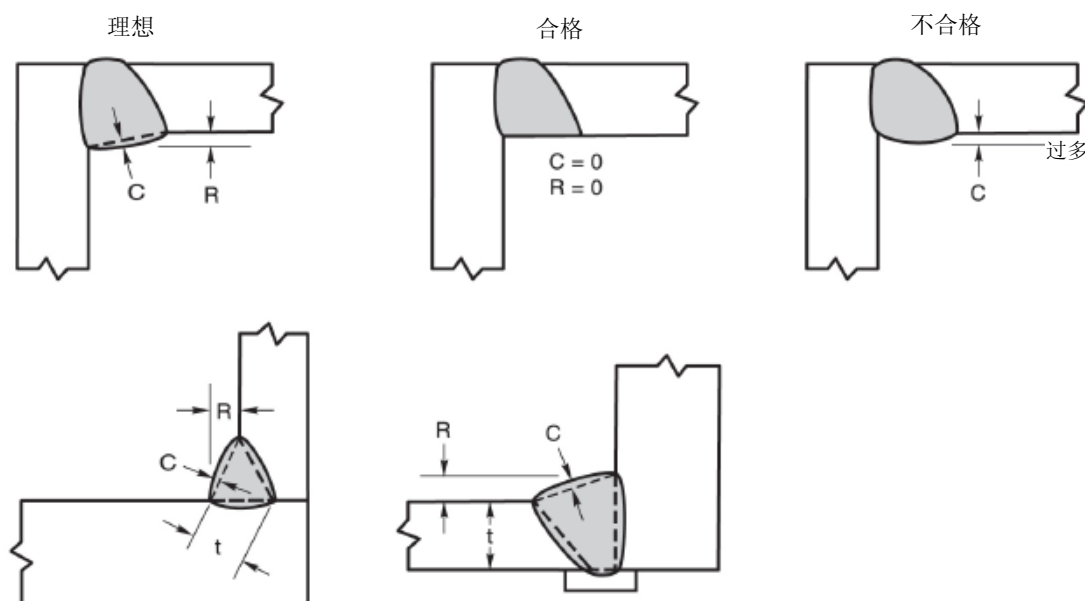
		背面不清根		背面清根	
		in	mm	in	mm
(1)	接头钝边	±1/16	2	无限制	
(2)	无衬垫接头根部间隙	±1/16	2	+1/16 -1/8	2 3
	有衬垫接头根部间隙	+1/4 -1/16	6 2	不适用	
(3)	接头坡口角度	+10° -5°		+10° -5°	

注：见 5.22.4.2 关于无衬垫单面施焊的 CJP 管材坡口焊缝的公差。

图 5.3 — 坡口焊接接头组装时的加工公差（见 5.22.4.1）

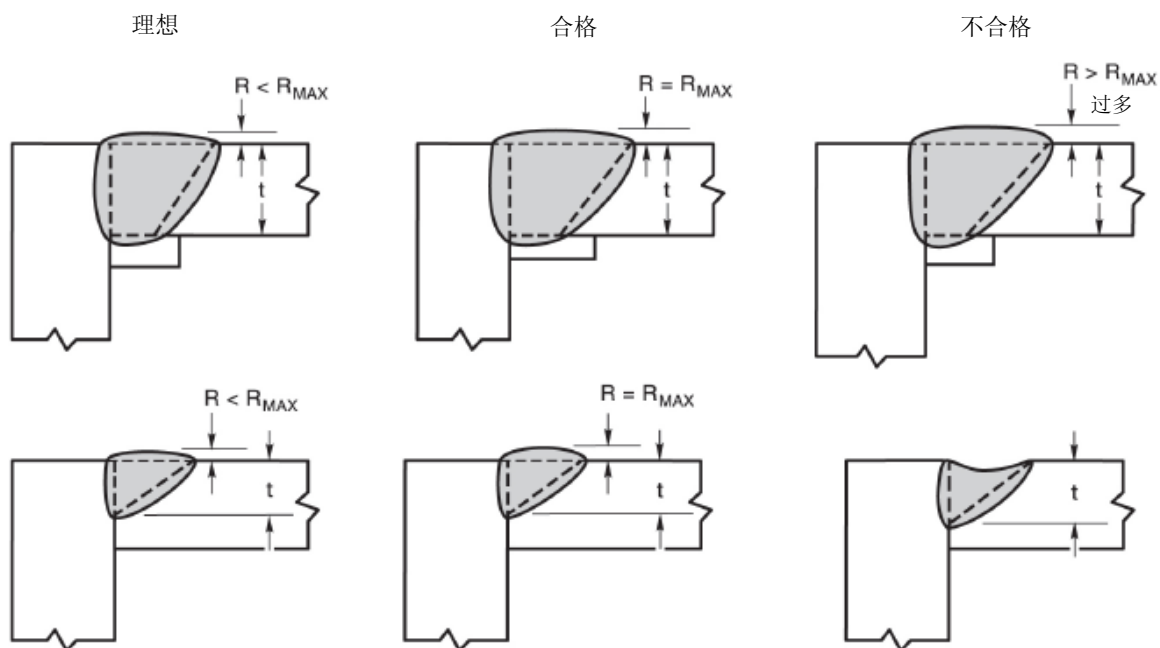


(A) 对接接头焊缝形状

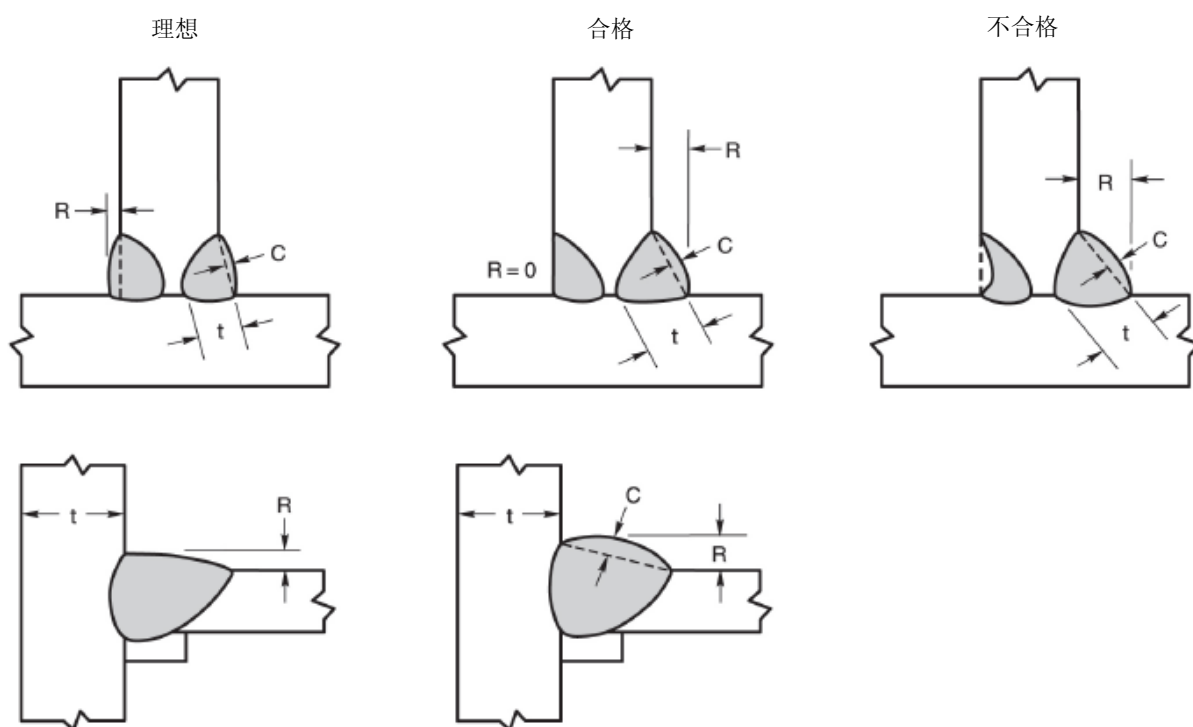


(B) 内角接头坡口焊缝形状

图 5.4 — 合格和不合格焊缝剖面形状（见表 5.9 和 5.10）

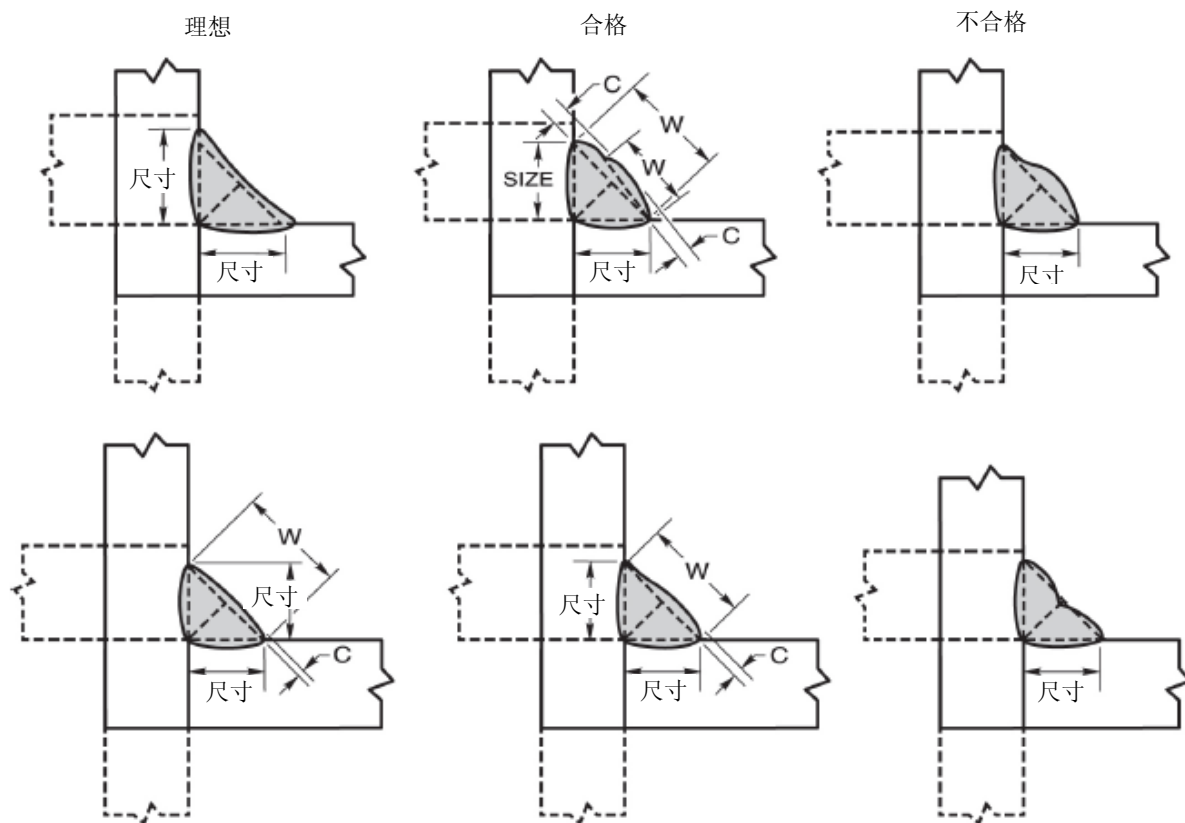


(C) 外角接头坡口焊缝剖面形状

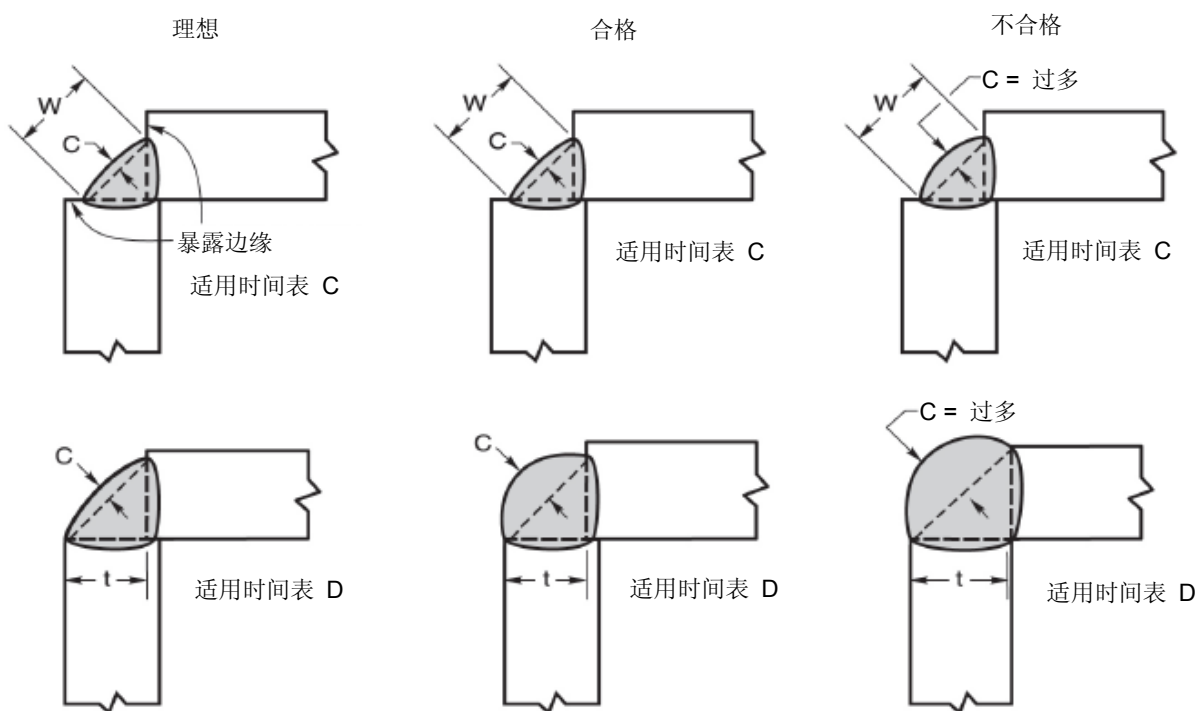


(D) 中间接头破口焊缝剖面形状

图 5.4 (续) — 焊缝剖面形状 (见表 5.9 和 5.10)

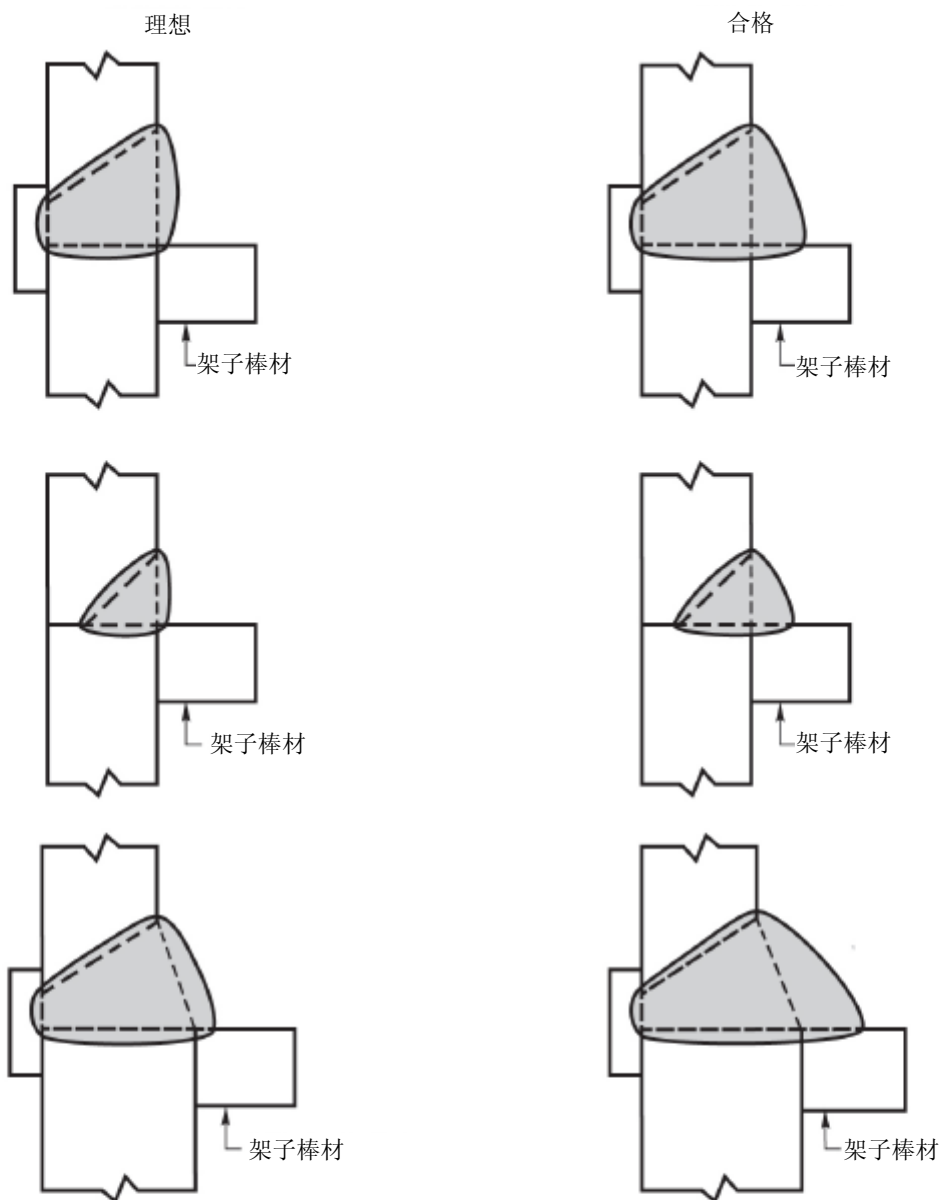


(E) 内角接头、搭接接头、丁字接头的角焊缝剖面形状

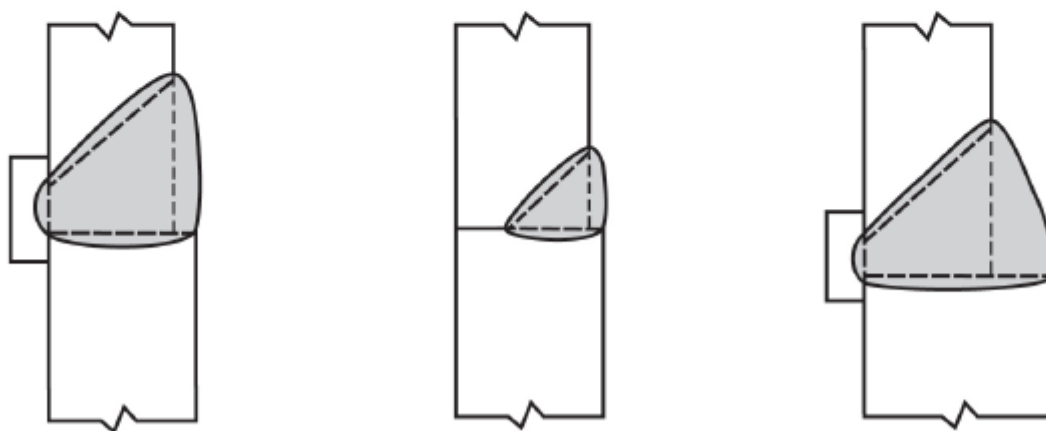


(F) 外角接头角焊缝剖面形状

图 5.4 (续) — 焊缝剖面形状 (见表 5.9 和 5.10)



(G) 典型架子棒材详图



(H) 不规则厚度之间对接焊缝的典型剖面形状

图 5.4 (续) — 焊缝剖面形状 (见表 5.9 和 5.10)

6. 检验

A 通用要求

6.1 适用范围

第 6 章包括对检验人员的资格评定与职责的所有要求，缺陷的验收准则，以及无损检测 (NDT) 工艺。

6.1.1 提供给投标者的资料。当要求作目检以外的无损检测 (NDT) 时，必须在提供给投标者的资料中作此说明。这一资料必须标明被检查焊缝的种类、每一种类检查的范围和检测的方法。

6.1.2 检验和合同条款。从规范的角度来说，制造/安装检验与测试、和监造检验与测试是两种不同的功能。

6.1.2.1 承包商检验。这种类型的检验和测试必须在装配之前、装配过程之中、和焊接过程之中以及焊接之后进行，以确保材料和加工质量符合合同文本的要求。制造/安装检验和测试是承包商的责任，除非合同文件中另作规定。

6.1.2.2 监造检验。这类检验和测试必须及时执行并必须将结果报告给业主和承包商以免延误工作。监造检验和测试是业主的权利，业主可以行使这种权利，或在合同中提出放弃独立的监造，或者约定检验和监造两者均必须由承包商完成。

6.1.3 检验员类别定义

6.1.3.1 承包商检验员。这种检验员是代理承包商而为承包商利益工作的正式指派人员，并代表承包商处理合同文本范围内所有检验和质量方面的事务。

6.1.3.2 监理检验员。这种检验员为业主或工程师的代理人、为业主或工程师利益工作的正式人员，并代表业主或工程师处理合同文本范围内的所有检验和质量方面的事务。

6.1.3.3 检验员。当使用检验员这一术语而没有按上述特定的检验员类别进一步限时，它等同于其责任在 6.1.2 中所述范围内的承包商检验员和监理检验员这两类。

6.1.4 检验人员资格评定的要求

6.1.4.1 资格评定的根据。对材料和加工质量有验收和拒收责任的检验员必须具有确认的资格。此检验员资格评定必须根据证明文件。如果工程师选择规定检验员资格评定的根据，则必须在合同文件中明确。

可获承认的资格评定的根据必须按如下规定：

(1) 符合 AWS QC1 *焊接检验员资格评定和证书的标准和指南*规定的、由 AWS 认证的、当前或以前的焊接检验员证书 (CWI)：或者

(2) 加拿大焊接局 (CWB) 颁发的、符合加拿大标准协会 (CSA) W178.2 *焊接检验员资格评定*、当前或以前的资格证明：或者

(3) 在金属制造、检验和测试方面经过培训或有这方面经历、或两者都有的个人，能够胜任检验工作。

6.1.4.2 有效期限。只要检验员仍旧从事焊接钢制品制作方面的检验工作，必须认为检验员资格无限有效，除非有特定理由怀疑该检验员的能力。

6.1.4.3 助理检验员。助理检查员可辅助检验员，其可在检验员的监督下进行特定的检验工作。应通过培训和经验确保辅助检验员的资质，使其能够进行为其分配的特定工作。检验员应定期（一般是每天）监督辅助检验员进行的工作。

6.1.4.4 视力测试。检验员和助理检验员必须通过裸视或带校正视力镜片的测试，以证明其在 12~17 in [300 ~430 mm] 距离上有 Jaeger J-2 级 的近距离视力敏锐度。所有检验人员的视力测试应该每三年进行一次，必要时也可少于三年。

6.1.4.5 验证的权力。工程师应有验证检验员资格的权力。

6.1.5 检验员的责任。检验员必须查明所有的焊接制造和安装符合合同文件的要求。

6.1.6 向检验员提供的项目。应向检查员提供全套的详细图纸，标明要焊接的焊缝尺寸、长度、类型和位置。还必须向检验员提供合同文件中规定的与产品的制造或安装、或两者兼有的有关的质量和材料要求。

6.1.7 通知检验员。必须在需要检验和监造的作业开始之前通知检验员。

6.2 材料和设备的检验

承包商检验员应该确保只有符合本规范要求的材料和设备才被使用。

6.3 WPS 的检验

6.3.1 免除评定的 WPS。承包商检验员必须确保用于施工的所有免除评定的 WPS 符合第 3 章、第 5 章和合同文件的要求。

6.3.2 经试验评定的 WPS。承包商检验员必须确保所有经试验评定的 WPS 符合第 4 章、第 5 章和合同文件的要求。

6.3.3 生产中的 WPS。承包商检验员必须证实所有焊接操作是按符合本规范和合同文件要求的 WPS 进行的。

6.4 焊工、焊机操作工、定位焊工的资格评定检验

6.4.1 资格确定。检验员必须只允许按照第 4 章要求通过资格评定的焊工、焊机操作工和定位焊工进行焊接操作，或必须确保每一焊工、焊机操作工或定位焊工以前已经在其他认可的监督下证明这种资格并由工程师按 4.2.2.1 批准。

6.4.2 根据工作质量重新评定。当焊工、自动焊工或定位焊工的工作质量表现出低于本规范的要求时，监造检验员可以要求焊工、自动焊工或定位焊工通过一种简单的测试（例如，角焊缝破断试验），或按按本规范第 4 章的要求进行完整的资格重新评定，来证明其具有加工完好焊缝的能力。

6.4.3 合格证失效后重新评定。任何已经取得合格资格的焊工或焊机操作工，在其评定合格的焊接方法中已中断操作六个月以上，则检验员必须要求他们重新进行资格评定（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。监造检验员应切实查明所有焊缝的尺寸、长度和位置均符合本规范和设计详图的要求，决无未经工程师同意而增加的未规定的焊缝。

6.5.2 检查范围。检验员必须每隔一段适当的时间就要观察接头的准备、装配的实践、焊接技术以及每个焊工、自动焊工和定位焊工的操作，以确保它们均符合本规范的有关要求。

6.5.3 检查程度。检验员必须检查所进行的工作以确保满足本规范的要求。经工程师认可，允许采用其他不同于本规范规定的验收判据。焊缝的尺寸和外形应使用合适的量具测量。焊缝和母材上的裂纹以及其他不连续性（缺陷）的视觉检验应采用强光、放大镜以及其他有助于这种检验的手段。

6.5.4 检验完毕后的检验员标记。已经检验和验收的各个部件和接头，检验员必须作明显的标记或其他记录方法以便识别。可以采用经双方同意的任何记录方法。未经工程师的同意，不允许在承受周期荷载的构件上打钢印标记。

6.5.5 记录的保存。检验员必须保存所有焊工、自动焊工和定位焊工的资格评定记录，保存所有 WPS 评定和其他试验的记录，以及其他可能需要的这类资料。

B

承包商的责任

6.6 承包商的职责

6.6.1 承包商责任。承包商必须负责目视检验，并必须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。承包商必须根据检验员的要求，按照合同文本的内容来、纠正材料和工艺方面的不足之处。

6.6.3 工程判断。如果焊件有缺点或为重新施焊以清除该缺点而使母材受到损伤，当工程师判定保留此类损伤与合同文件的要求不符时，承包商必须将其除去并更换受损的母材，或者必须在工程师批准的情况下对不足之处进行弥补。

6.6.4 除目检外规定的 NDT。当提供给投标者的资料中规定了除目检外的 NDT 时，承包商必须负责保证所有的焊缝满足第 6 章 C 部分的质量要求。

6.6.5 除目检外未规定 NDT。如果原合同未规定作除目检外的 NDT，但随后业主要求这样做时，承包商必须完成任何所要求的检测或必须根据 6.14 规定完成一切检测。业主必须承担所有费用，包括搬运、表面准备，无损检测以及除 6.9 节所列项目以外的不连续性的返修，按适当情况办理。然而，如果这种检测发现有作弊的意图或严重违反本规范规定时，则承包商必须承担修理费用。

C

验收判据

6.7 适用范围

C 部分述及管材连接以及静荷载和周期荷载的非管材连接的目检和 NDT 的验收判据，检查的范围和验收判据必须根据提供给投标者的资料在合同文本中规定。

6.8 工程师对选用验收判据的认可

本规范的基本前提是提供适用于任何情况的总体规定。制造与规范中规定的焊缝不同的焊缝之验收标准应允许用于特定装置，其前提是由提议者编制适当文件并经工程师批准。其他验收标准应基于利用过去经验、实验证据或考虑材料类型、运行负载影响和环境因素而进行的工程分析之运行适用性评估。

6.9 目检

所有焊缝必须目检，且如满足表 6.1 所列的条件即必须认为合格。

6.10 PT 与 MT

除进行目检外还需进行磁粉检测和液体渗透检测的焊缝，必须在目检合格要求的基础上进行评定。两种检测必须符合 6.14.4 或 6.14.5 的适用条款的要求。

6.11 NDT

除 6.18 的内容外，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，均必须符合第 6 章的规定。验收判据必须按本章的规定。需作无损检测的焊缝必须先按 6.9 规定目检合格。

根据 6.10、6.11、6.12.1 和 6.13.3 要求作无损检测的焊缝，可以在完工焊缝冷却至环境温度后立即开始检测。对 ASTM A514、A517 钢和 A709 100 及 100W 级钢，则规定必须在焊缝完工后至少 48 小时才能按对这些钢的验收判据作无损检测。

6.11.1 管材连接要求。对无衬垫、从一面焊接的 CJP 坡口接焊缝，对完工的管材产品焊缝的全长必须用射线或超声波检测进行检查。验收判据必须符合 6.12.1 或 6.13.3 中适用者。

6.12 RT

经射线检测不符合 C 部分的要求或不符合 6.8 的选用验收判据的焊缝，必须按 5.26 要求返修。除裂纹以外的不连续性必须按条状或块状进行评价。无论不连续性是何类型，条状不连续性的长度应超过其宽度 3 倍。块状不连续性的长度不大于其宽度的 3 倍，其形状可能是圆形，或呈不规则形状，还可能存在拖尾。

6.12.1 静荷载非管材和静荷载或周期荷载的管材连接的不连续性的合格判据。除目测检查外，需经射线照相试验的焊接应严禁出现裂纹，且经射线照相试验后，如果存在所列的任何一种类型的不连续性，则将判定该焊接不合格。图 6.1 中对于焊缝尺寸 (E) 为 1-1/8 in [30 mm] 的焊缝给出的限定，对于所有大于 1-1/8 in [30 mm] 的焊缝均适用。

(1) 条状不连续性超过图 6.1 规定的最大尺寸。

(2) 不连续性之间距小于图 6.1 所容许的最小间距。

(3) 块状不连续性大于 E/3 的最大尺寸，但不超过 1/4 in. [6 mm]。然而，当厚度大于 2 in. [50 mm] 时，块状的最大指示尺寸可为 3/8 in. [10 mm]。块状不连续性的最小间距大于或等于 3/32 in. [2.5mm] 的这类不连续性，其到达一个合格的条状或块状不连续性、或到达一条相交焊缝的边缘或端部的最小距离，必须为所考虑的较大不连续性的最大尺寸的 3 倍。

(4) 在一焊缝与另一焊缝或一自由边（即越过此边再无材料延伸存在）的交接处，可接受的不连续性应该符合图 6.1 中案例 I-IV 的限制。

(5) 孤立的，形似块状的一簇不连续性，其组成的每一不连续性的最大尺寸的总长超过图 6.1 所允许的单个最大尺寸。其距离另外一簇、或另一条状或块状不连续性或相交焊缝的边缘或端部的距离，必须为所考虑的不连续性中较大者最大尺寸的 3 倍。

(6) 在任何 1 in. [25mm] 长的线性焊接内，小于 3/32 in. [2.5 mm] 的不连续性中，每一较大尺寸的单个不连续性的总长不得超过 2E/3 或 3/8 in. [10 mm]（取其小值）。此项要求不受上述 (1)、(2) 和 (3) 要求的约束。

(7) 在任何 $6E$ 长度范围内, 成行不连续性最大尺寸的总长应超过 E 。当受检焊接的长度小于 $6E$ 时, 容许的最大尺寸总和必须按比例减小。

6.12.2 周期载荷非管材连接的不连续性的合格判据。除目检外还需经射线检测的焊缝严禁有裂纹, 且经射线检测而如果具有 6.12.2.1, 6.12.2.2 和 6.12.2.3 所列的任何一种类型的不连续性, 则必须判定焊缝不合格。图 6.2 和 6.3 中对于焊缝尺寸 (E) 为 $1\text{-}1/2\text{ in [38 mm]}$ 的焊缝给出的限定, 对于所有大于 $1\text{-}1/2\text{ in [38 mm]}$ 的焊缝均适用。

6.12.2.1 受拉周期载荷下的非管材连接

(1) 不连续性超过图 6.2 的最大尺寸。

(2) 不连续性之间距小于图 6.2 所容许的最小间距。

(3) 在一焊缝与另一焊缝或一自由边 (即越过此边再无材料延伸存在) 的交接处, 可接受的不连续性应该符合图 6.2 中案例 I-IV 的限制。

(4) 孤立的, 形似块状的一簇不连续性, 其组成的每一不连续性的最大尺寸的总长超过图 6.2 所允许的单个最大尺寸。其距离另外一簇、或另一条状或块状不连续性或相交焊接的边缘或端部的距离, 必须为所考虑的不连续性中较大者最大尺寸的 3 倍。

(5) 在任何 1 in. [25mm] 长的线性焊接内, 小于 $3/32\text{ in. [2.5 mm]}$ 的不连续性中, 每一较大尺寸的单个不连续性的总长不得超过 $2E/3$ 或 $3/8\text{ in. [10 mm]}$ (取其小值)。此项要求不受上述 (1)、(2) 和 (3) 要求的约束。

(6) 在任何 $6E$ 长度范围内, 成行不连续性最大尺寸的总长应超过 E 。当受检焊接的长度小于 $6E$ 时, 容许的最大尺寸总和必须按比例减小。

6.12.2.2 受压周期载荷下的非管材连接

(1) 不连续性超过图 6.3 的最大尺寸。

(2) 不连续性之间距小于图 6.3 所容许的最小间距。

(3) 在一焊缝与另一焊缝或一自由边 (即越过此边再无材料延伸存在) 的交接处, 可接受的不连续性应该符合图 6.3 中案例 I-V 的限制。

(4) 孤立的, 形似块状的一簇不连续性, 其组成的每一不连续性的最大尺寸的总长超过图 6.3 所允许的单个最大尺寸。其距离另外一簇、或另一条状或块状不连续性或相交焊接的边缘或端部的距离, 必须为所考虑的不连续性中较大者最大尺寸的 3 倍。

(5) 在任何 1 in. [25mm] 长的线性焊接内, 小于 $3/32\text{ in. [2.5 mm]}$ 的不连续性中, 每一较大尺寸的单个不连续性的总长不得超过 $2E/3$ 或 $3/8\text{ in. [10 mm]}$ (取其小值)。此项要求不受上述 (1)、(2) 和 (3) 要求的约束。

(6) 在任何 $6E$ 长度范围内, 成行不连续性最大尺寸的总长应超过 E 。当受检焊接的长度小于 $6E$ 时, 容许的最大尺寸总和必须按比例减小。

6.12.2.3 小于 $1/16\text{ in [2 mm]}$ 的不连续性。除了 6.12.2.1 和 6.12.2.2 的要求之外, 对于最大尺寸小于 $1/16\text{ in. [2mm]}$ 的不连续性, 如果在任何 1 in. 长度的焊缝内, 不连续性的最大尺寸的总和超过 $3/8\text{ in. [10mm]}$, 则应该判为不合格。

6.13 UT

6.13.1 静荷载非管材连接的合格判据。除目检外还须进行 UT 的焊缝的合格判据必须符合表 6.2 要求。对于 CJP 的腹板和翼缘板的焊缝, 如用除扫查方式“E” (见 6.32.2.2) 以

外的扫查动作进行探测来决定焊缝合格与否，可在焊缝厚度等于实际腹板厚度加上 1 in. [25mm]的基础上予以判断。用扫查方式“E”对不连续性进行探测必须根据实际腹板厚度用表 6.2 的验收判据予以评判。当 CJP 的腹板与翼缘板的连接焊缝系承受垂直于焊缝的计算拉应力时，此焊缝应在设计图上标明并必须符合表 6.2 的要求。评估超声波检测的焊缝，其依据是不连续性对超声的反射正比于它对焊缝完整性的影响。当探头移向和离开不连续性（扫查动作“b”）时，仍留在显示屏上的不连续性指示可能表明其为贯穿焊缝厚度尺寸的严重的平面型不连续性。

由于大多数临界不连续性的主反射面与声波束的垂线呈 20°（对 70°探头）至 45°（对 45°探头）的最小取向，所以振幅测定值（dB 测定值）作为判断依据不太可靠。当在扫查灵敏度范围内显示平面特征时，则必须使用其他手段更详细地评判不连续性（例如，另一种超声技术，射线照相，打磨或刨槽以进行目检等）。

6.13.2 周期荷载非管材连接的合格判据。除目检外还须进行 UT 的焊缝的合格判据必须符合下述要求：

- (1) 在任何荷载情况下都承受拉应力的焊缝必须符合表 6.3 的要求。
- (2) 承受压应力的焊缝必须符合表 6.2 的要求。

6.13.2.1 指示。评估超声波检测的焊缝，其依据是不连续性对超声的反射正比于它对焊缝完整性的影响。当探头移向和离开不连续性（扫查动作“b”）时，仍留在显示屏上的不连续性指示可能表明其为贯穿焊缝厚度尺寸的严重的平面型不连续性。由于这类不连续性相对于声波束的取向偏离了垂直方向，因而，不可能以 dB 额定值直接、明确地作出接头焊缝完好性的评判。当在扫查灵敏度范围内显示平面特征时，则必须使用其他手段更详细地评判不连续性（例如，另一种超声技术，射线照相，打磨或刨槽以进行目检等）。

6.13.2.2 扫查。接头完全熔透 (CJP) 的腹板与翼缘板的连接焊缝必须符合表 6.2 的要求，且其合格与否，可在等于实际腹板厚度的焊缝厚度加上 1 in. [25mm] 的基础上用除扫查方式“E”（见 6.32.2.2）以外的扫查动作予以判断。用扫查方式“E”检测出的不连续性必须根据实际腹板厚度用 6.13.2 的标准予以评判。当这样的腹板和翼缘板的连接焊缝承受垂直于焊缝的计算拉应力时，此焊缝必须在设计图上标明并必须符合表 6.3 的要求。

6.13.3 管材连接的合格判据。超声波检测的合格判据必须按合同文本所提供。R 级或 X 级，或两者兼有，可作为参考内容列入。6.13.1 给出的以波幅为基础的合格判据也可用于直径等于或大于 24 in. [600mm] 的管材的对接坡口焊缝，但需遵从第 6 章 F 部分的所有有关条款的要求。不过，这些波幅验收判据严禁用于 T、Y 和 K 形的管子连接。

6.13.3.1 R 级（适用于以 UT 代替 RT 的情况）。只有标准灵敏度水平（适当考虑到 6.27.6）一半 (6 dB) 或一半以下波幅的所有指示均必须忽略不计。超过这一忽略不计水平的指示必须按如下要求判断：

- (1) 不超过标准灵敏度水平、间距为 1 in. [25mm]的、孤立的、随机散布的点状反射体必须判为合格。更大的反射体则必须作为线性反射体予以判定。
- (2) 联成一串的点状反射体必须作为线性反射体予以判定。
- (3) 当成簇的点状反射体的密度大于每平方英寸 [645 平方毫米] 1 个、且指示超过了可忽略不计的水平（投影面积垂直于作用应力的方向，在整个 6 in. [150mm]长焊缝范围内取平均值）时，必须拒收。
- (4) 长度（范围）超过图 6.4 的限制的线性或平面性反射，必须拒收。另外，根部反射

体严禁超过 X 级的限制。

6.13.3.2 X 级（以经验为基础、合理为目的的验收判据，用于 T、Y 和 K 形节点、有缺口韧性要求的超静定结构焊接件）。只有标准灵敏度水平（适当考虑到 6.27.6）一半（6 dB）或一半以下波幅的所有指示均必须忽略不计。超过这一忽略不计水平的指示必须按如下要求判断：

(1) 除以下限制范围内的线性或平面的任何指示是合格的以外，点状反射体必须按 R 级中所述判定。

(2) 线性和平面的反射体必须用波束边界技术进行判定，这些反射体的尺寸超过图 6.5 的限制则必须拒收。根部区域必须规定在理论焊缝的根部 $1/4$ in. [6mm] 或 $tw/4$ （取较大值）的范围内，如图 3.8 所示。

D NDT 工艺

6.14 工艺

本规范所述无损检测 (NDT) 工艺已使用多年，并且对焊缝完好性提供了合理的保证；然而看起来有些规范使用者不正确地认为每一种方法都能检测所有不合格的不连续性。规范使用者应当熟谙每一种所用的无损检测方法的局限性，尤其是无法探测并确定具有特定危害性取向的平面不连续性。（在 AWS B1.10，*焊缝无损检测指南* 的最新版中阐明了每一种方法的局限性及补充使用）。

6.14.1 RT. 当使用射线照相检测时，其工艺和技术必须符合本章 E 部分的要求。

6.14.2 射线成像系统。当使用射线成像系统进行检验时，其工艺和技术必须符合本章 G 部分的要求。

6.14.3 UT. 当使用超声波检测时，其工艺和技术必须符合本章 F 部分的要求。

6.14.4 MT. 当使用磁粉检测时，其工艺和技术必须符合 ASTM E 709 的规定，而合格标准则必须符合本规范第 6 章 C 部分的要求，取其适用者。

6.14.5 PT. 当探测表面开口的不连续性时，可以使用着色渗透检测。必须将 ASTM E 165 中规定的标准方法用于着色渗透检测，而合格标准应符合本规范第 6 章 C 部分适用规定的要求。

6.14.6 人员资格评定

6.14.6.1 ASNT 要求。无损检测人员（不包括目检）的资格评定必须符合美国无损检测学会推荐作法（规程）SNT-TC-1A 现行版本的要求。执行 NDT 的个人必须经如下资格评定：

(1) NDT II 级，或

(2) NDT I 级但在 NDT II 级人员指导下

6.14.6.2 证书。I 和 II 级人员应由 III 级人员进行认证，III 级人员应 (1) 通过 ASNT 认证，或 (2) 具有相关教育、培训和经验，并通过 SNT-TC-1A 规定的笔试。

6.14.6.3 QC1 要求的免除。符合 6.14.6 条款要求从事无损检测的人员不必按 AWS QC1 条款要求进行资格评定和取得证书。

6.15 检测范围

提供给投标者的资料必须清晰地规定待查焊缝的无损检测范围（类型、范围或部位）。

6.15.1 完全检测。除规定作局部检测或抽检外，按照合同技术规定要求检测的焊缝接头必须全长度检测。

6.15.2 局部检测。当规定作局部检测时，必须在合同文本中清晰地标明待检测的焊缝部位和长度，或者待检测焊缝的类别。

6.15.3 抽检。当规定作抽检时，必须在提供给投标者的资料中包括下述要求：在焊缝的规定长度内或者标明的一段焊缝上，每一标明范围的待检测焊接接头上确定检测部位数目。每一抽检应至少包括 4 in [100 mm] 长的焊缝。当抽检显示有需作返修的不合格不连续性时，必须仔细检查这些不连续性的范围。还必须在离开原抽检不合格的部位的不同焊段上另处增加 2 个抽检部位。增加的抽检位置必须由承包商和监造检验员共同商定。

如果增加的两抽检部位中有一个显示有需要返修的缺陷，则必须对原抽检部位所代表的整个焊段进行检测。如焊缝包括一个以上的焊段，则必须对每一焊段增加二个抽检部位进行检测，其位置亦由承包商与监造检验员商定，并按上述说明处理。

6.15.4 相关资料。在作检测前，必须向 NDT 人员提供、或使他们有途径得到有关焊缝接头的几何形状、材料厚度和用以制作该焊件的焊接方法等相关资料。并必须向 NDT 人员通报任何后续的焊缝返修的情况。

E

射线照相检测 (RT)

6.16 对接接头坡口焊缝的 RT

6.16.1 工艺和标准。如果按照 6.14 提出的合同文件要求作焊缝的射线照相检测，则必须使用 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 X 射线源或 γ 射线源对板材、型材和棒材对接接头坡口焊缝的检测。检测方法必须符合 ASTM E 94 射线照相检测推荐标准方法、ASTM E 142 射线照相检测质量控制标准方法、ASTM E 747 使用线型像质计的射线照相检测质量控制和 ASTM E 1032 焊件射线照相检测的规定。

6.16.2 变更。检测工艺、设备和验收标准中的变更可由承包商和业主商定。这些变更包括下述内容（但不仅限于此）：角焊缝、T 形和角拉接焊缝的射线照相检测：射线源到底片距离的改变；使用非通用的底片；非通用孔型像质计和线型像质计 (IQI) 的应用（包括底片侧 IQI）；射线照相检测 6 in. [150mm] 以上厚度用的底片类型、黑度，以及曝光、显影及读片技术的变更。

6.17 RT 工艺

6.17.1 工艺。工艺 射线照相必须用单一 X 或 γ 射线源拍摄。射线照相灵敏度的识别必须以孔型像质计或线型像质计 (IQI) 的成像为基础。射线照相技术和设备必须有足够的灵敏度，以达到如 6.17.7、表 6.4 和、表 6.5、图 6.6 和图 6.7 所述、清晰地显示出所要求的孔型像质计和主孔轮廓、或者线型像质计的线。标记的字母和数字必须清晰地显示在射线照相底片上。

6.17.2 安全要求。射线照相工作必须符合所有适用的安全要求。

6.17.3 除去余高。当合同文本要求除去焊缝余高时，必须按 5.24.3.1 所述打磨焊缝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使射线照相上的不连续性模糊不清，

否则其它焊缝是不必为了射线照相检测而打磨或使它具有光滑表面的。

6.17.3.1 引弧板、引出板。除非工程师同意，否则焊缝引、熄弧板必须在射线照相检测前除去。

6.17.3.2 钢衬垫。5.10 或合同文本的其他条款要求使用的钢衬垫必须除去，表面必须在射线照相前打磨齐平。打磨必须按 5.24.3.1 所述要求。

6.17.3.3 余高。当焊缝余高、或衬垫、或两者都不除去时，或线型像质计不以另外的方式放置，则必须在孔型像质计或线型像质计下放置钢质补偿垫片，使得孔型像质计与底片之间的钢质被偿垫片的总厚度大致等于包括余高和衬垫板厚度在内的焊缝的平均厚度，补偿垫片至少要比所用孔型像质计或线型像质计的三个边超出 1/8 in. [3mm]。

6.17.4 射线照相胶片。射线照相胶片必须符合 ASTM E 94 所述要求。必须按 ASTM E 94 所述使用铅箔增感屏，严禁用萤光增感屏。

6.17.5 技术。必须使用单一放射源进行射线照相，射线源要按实际情况尽量靠近对准焊缝待检验部位的长度和宽度的中心。

6.17.5.1 几何不清晰度。 γ 射线源（不论其尺寸如何）必须符合 ASME 锅炉和压力容器规范 第 V 卷中条款 2 的几何不清晰度的规定。

6.17.5.2 放射源至工件的距离。放射源至工件的距离严禁小于在单平面上曝光的底片总长度。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制。放射源至工件的距离严禁小于焊缝厚度加上余高和衬垫板（如果用衬垫板）的 7 倍，且穿透被检验焊缝的射线与焊缝表面的垂线所成角度严禁大于 26.5°。

6.17.6 射线源。如有足够的穿透能力，则最大峰值电压为 600 KVP 的 X 射线机和铯 137 可用作所有射线照相检测的射线源。钴-60 必须仅在钢板厚度超过 2-1/2 in. [65mm] 时用作射线照相检测的射线源。其他射线源得到工程师批准可以使用。

6.17.7 IQI 的选用和放置。必须按表 6.6 所示选用 IQI 并将其置于待作射线照相的焊缝上。当采用一次照射对完整的环形管道焊接进行射线照相，并且辐射源位于曲率中心时，应至少使用三个平均分布的孔型像质计。在像质计的选择中，不应将钢衬垫视为焊接或焊接加强结构的一部分。

6.17.8 技术。必须使用能在受检接头规定界限内提供完全而连续检验的方法进行焊接接头射线照相及为胶片作记号。接头界线必须清晰地显示在射线照相上。短胶片、短增感屏、由于散乱射线而造成的过分缺边、或者任何其他使焊缝总长度的一部分模糊不清的处置，都必定使射线照片不合格。

6.17.8.1 胶片长度。胶片必须有足够长度，并且其放置必须超出焊缝投影边至少 1/2 in. [12mm]。

6.17.8.2 胶片搭接。长度超过 14 in. [350mm] 的焊缝的射线照相，可以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。必须符合 6.17.5 的要求。

6.17.8.3 背散性。为检验背散射，必须将一个高 1/2 in. [12mm] 厚 1/16 in. [2mm] 的铅字“B”放在每一底片暗盒的背面。如在射线底片上出现“B”的图像，则必须判定该射线底片不合格。

6.17.9 胶片宽度。底片必须有足够宽度，以拍摄包括热影响区在内的焊接接头的所有部

分，且必须另外有足够的地方放置所需的孔型像质计或线型像质计及底片记号，而不至侵犯射线照相需要关注的范围。

6.17.10 射线照相的质量。所有射线照相必须没有机械、化学或其他损伤，以免掩盖或混淆了射线照相上需要关注部位的不连续性。这样的损伤包括（但不限于）以下方面：

- (1) 产生灰雾；
- (2) 诸如条纹、水迹或化学污染等处理过程的缺陷；
- (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虚假显示。

6.17.11 黑度限定。对于单一胶片检视，光线透射过胶片上所置孔型像质计和检验部位图像时，如采用的是 X 射线源，则最小黑度必须为 1.8，如采用的是 γ 射线源，最小黑度必须为 2.0。对于双底片曝光的复合检视，最小黑度必须为 2.6。复合组的每一射线照相底片的最小黑度必须为 1.3。不论是单底片检视还是复合检视，最大黑度都必须为 4.0。

6.17.11.1 H 和 D 黑度。测定的黑度必须为 H 和 D 黑度（射线照相底片的黑度），它是对胶片变黑程度的量度，表达为：

$$D = \log I_0/I$$

其中：

D = H 和 D（射线照相底片的）黑度

I_0 = 入射底片的光强度，以及

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位置进行射线照相、且较厚件厚度与较薄件厚度之比等于或大于 3 时，曝光的射线照相的胶片，在单底片上较薄截面处的黑度应为 3.0～4.0。当做到这一点时，则必须放弃 6.17.11 的最小黑度要求，除非合同文本上另有规定。

6.17.12 识别记号。在每一次进行射线照相部位的钢材上必须放置一个射线照相识别记号和二个部位识别记号。一个相应的射线照相识别记号和两个部位识别记号，都必须显示在射线照相底片上，这必须用铅制号码、或字母或两者都用来做到，使之与钢材上的每一个识别记号和部位记号相同，以保证射线照相与受检焊缝相互一一对应。另外的识别信息可预先印在距焊缝边缘不小于 3/4 in. [20mm] 处，或必须在钢材上放置铅字使得拍摄到底片上。若合适的话，底片上显示的信息必须包括业主合同识别记号、射线检测公司的开头字母、制造厂的开头字母、车间加工单号、底片识别标记、日期和焊缝返修号。

6.17.13 边块。当对厚度大于 1/2 in. [12mm] 的对接焊缝进行射线检测时，必须使用边块。边块必须有足够长度，其每一端超出焊缝中心线的最小距离等于焊缝厚度，但不得小于 2 in. [50mm]，且其厚度必须等于或大于焊缝厚度。边块的最小宽度必须等于焊缝厚度的一半，但不得小于 1 in. [25mm]。边块必须与待作射线照相的钢板的焊缝中心对齐，边块在规定的最小长度范围内与钢板间的间隔不得大于 1/16 in. [2mm]。边块必须用能使射线照相清楚的钢材制作，表面必须有 ANSI 125μin. [3μm] 的光洁度或更光洁（见图 6.12）。

6.18 管材连接 RT 补充要求

6.18.1 对接环缝坡口焊缝。用来拍摄对接环缝的射线照相技术必须能覆盖整个环缝。使

用的技术必须最好为单壁透照/单壁成像。因操作可达性或管材尺寸限制时，可使用双壁透照/单壁成像或双壁透照/双壁成像。

6.18.1.1 单壁透照/单壁成像。射线源置于管子内部，而胶片贴于管的外壁（见图 6.13）。如果满足射线源到物体距离的要求，可作全景曝光；如要求不能满足，则必须最少作 3 次曝光。像质计可作选择并置于该受检管子的射线源侧。如果不可行，则可以置于受检管子的胶片侧。

6.18.1.2 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单壁曝光，则可将射线源置于管子外侧而胶片贴在管子相对一面的外壁（见图 6.14）。最少需作三次曝光以覆盖全部环缝。像质计可作选择并置于该受检管子的胶片侧。

6.18.1.3 双壁透照/双壁成像。如果管子外径为 3-1/2 in. [90mm]或更小时，射线源侧和胶片侧的焊缝均可被投影到胶片上，且此两管壁的成像均可作判断焊缝合格与否之用。射线源偏离管壁放置的距离应至少为管外径的 7 倍。射线束必须偏离焊缝中心线的平面，使其有足够的角度以使射线源侧焊缝与胶片侧焊缝成像分开。两受检区域严禁重叠。至少作两次互成 90° 的曝光（见图 6.15）。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，则必须至少作三次互成 60° 的曝光（见图 6.16）。使用上述两种技术时，IQI 必须置于受检管子的射线源侧。

6.19 射线照片的检查、报告和处理

6.19.1 承包商准备的设备。承包商必须配备可适当调节光强的底片观察器（观片灯），它具有局部观察和掩光局部观察的功能。观片灯必须具有调节受检验部位大小的功能。观片灯还必须具有适当观察 H 和 D4.0 黑度底片的足够强度。应在柔和的光线下观察底片。

6.19.2 报告。在业已经受射线照相检测的焊缝验收前，承包商为业主所作的所有射线照相（包括返修前的不合格射线照相在内）和说明报告必须提交给监造检验员。

6.19.3 记录保存。承包商为业主所作的焊缝射线照相检测的整套射线照相，包括返修前不合格焊缝的任何射线照相，完工时必须提交给业主。当发生下列情况时，承包商将停止履行保存射线照片的义务：(1) 已将整套射线照相底片提交给业主，(2) 承包商完成工作满一年，并已事先书面通知业主。

F

坡口焊缝的超声波检测 (UT)

6.20 通用要求

6.20.1 工艺和标准。工艺和标准 F 部分规定的工艺与标准适用于指导按本规范 6.14 的要求、对厚度在 5/16 in. [8mm] 和 8 in. [200mm] 之间、包括这两个厚度在内的坡口焊缝和热影响区进行的超声波检测。对厚度小于 5/16 in. [8mm]或大于 8 in. [200mm]的情况，检测必须按附录 S 执行。严禁用这些工艺和标准检测管材 T, Y 或 K 形节点。

6.20.2 变更。附录 S 是对坡口焊缝进行超声波检测的选用技术的示例。在第 6 章 F 部分中未包括的检测工艺、设备和合格标准的变更，可以在工程师批准后使用。这样的变更包括其他的厚度、焊缝几何形状、换能器尺寸、频率、耦合剂、涂漆表面、检测技术等。这些经同意的变更应记在合同记录中。

6.20.3 管状气孔。建议用射线照相作为超声检测的补充手段，以检验在电渣焊和气电焊焊缝中可能存在的管状气孔。

6.20.4 母材。这些工艺不打算用于母材采购的检测。但是，与焊接有关的、在邻近（焊缝的）母材中出现的、按本规范条款为不合格的不连续性（开裂、层状撕裂、分层等），应报告工程师处理。

6.21 资格评定要求

为了满足 6.14.6 的要求，必须对超声检测人员进行一次专门的操作考试，内容必须以本规范要求为基础。这一考试应要求超声波试验人员证明其具有应用本规范规定准确探测和处理缺陷的能力。

6.22 UT 设备

6.22.1 设备要求。超声仪器必须为脉冲反射式探伤仪，配用振荡频率为 1~6MHz 的换能器。显示必须为整流的视频扫描的“A”型显示。

6.22.2 水平线性。检测仪器的水平线性必须按 6.30.1 在检测所用的全声程距离内进行鉴定。

6.22.3 检测仪器要求。检测仪器必须带有内部稳定装置，使得温升后当额定供电电压变化 15%、或在使用电池情况下整个充电使用寿命时间内，响应变化不大于 $\pm 1\text{dB}$ 。应安装一个报警器或仪表，以便在电池耗尽而导致仪器切断之前，发出电池电压下降的信号。

6.22.4 检测仪器的校准。检测仪器必须有校准用增益（衰减）控制器，它应至少在 60dB 的整个范围内每档 1 dB 或 2 dB 间断可调。增益控制装置的精确度应为 $\pm 1\text{dB}$ 范围内。鉴定程序必须按 6.24.2 和 6.30.2 所述。

6.22.5 显示范围。仪器显示的动态范围必须做到 1dB 幅度的变化容易察觉并显示。

6.22.6 直射波束（纵波）探头。直射波束（纵波）探头换能器必须有一不小于 $1/2\text{ in.}^2$ [323mm^2] 又不大于 1 in.^2 [645mm^2] 的工作面积。换能器必须为圆形或方形。换能器必须能分辨 6.29.1.3 所述的三种反射波。

6.22.7 斜射波束探头。斜射波束探头应由换能器和一个斜射楔块组成。它可由两个单独元件组成，也可以是一个组合体。

6.22.7.1 频率。换能器的频率必须在 2~2.5MHz 之间（包括 2、2.5MHz）。

6.22.7.2 换能器尺寸。换能器晶体形状必须为正方形或矩形，宽度为 $5/8\sim 1\text{ in.}$ [$15\sim 25\text{mm}$]，高度为 $5/8\text{ in.} \sim 13/16\text{ in.}$ [$15\sim 20\text{mm}$]（见图 6.17）。最大宽高比为 1.2:1.0，最小宽高比为 1.0:1.0。

6.22.7.3 角度。探头必须在检测材料内产生一声束，其角度如 6.29.2.2 所述，为 70° 、 60° 或 45° 中一个合适角度 $\pm 2^\circ$ 。

6.22.7.4 记号。每一探头必须有清晰记号标明换能器频率、额定折射角和入射点。入射点定位方法如 6.29.2.1 所述。

6.22.7.5 内部反射。探头的最大容许内部反射必须如 6.24.3 所述。

6.22.7.6 前沿距离。探头的尺寸必须符合：从探头的前沿到入射点的距离严禁超过 1 in [25mm]。

6.22.7.7 IIW 试块。用 IIW 对比试块进行鉴定的方法必须符合 6.29.2.6 和图 6.18 所示要求。

6.23 参考标准

6.23.1 IIW 标准。图 6.19 所示国际焊接学会 (IIW) 超声对比试块可作为距离校准和灵敏度校准的标准。前提是试块包含如图 6.19 中所示直径为 0.060 in [1.5 mm] 的孔, 以及图 6.23 的距离、分辨率、角度验证功能(位置 A 到位置 G)。IIW 试块应符合 ASTM E 164。如果检测/探头组合的对比灵敏度调节到 IIW 试块的等量值, 则其他便携式试块也可应用。(见附录 H 示例)

6.23.2 禁止使用的反射体。严禁使用“端角”反射体来进行校准。

6.23.3 分辨力要求。探头与检测仪的组合必须分辨出 RC 分辨力对比试块上的三个孔, 如图 6.20 所示。探头位置见 6.29.2.5 规定。分辨力必须根据仪器控制处于正常试验状态下、以及孔的反射指示在萤光屏中等高度进行估算。分辨能力必须至少能区分来自三个孔的指示峰值。严禁使用 RC 分辨力对比试块进行校准。每一仪器探头(底板和换能器)的组合必须在其初次使用前就要进行检验。每一探头和 UT 装置一经组合就必须进行校验。如果保存的文件记录下述项目, 则这一校验无需再次进行:

- (1) UT 机器的制造、型号和系列号。
- (2) 探头的制造商、类型、尺寸、角度和系列号。
- (3) 校验日期和技术员姓名。

6.24 设备鉴定

6.24.1 水平线性。在仪器每使用两个月后, 必须对检测仪器需用的每一距离范围的水平线性重作鉴定。鉴定方法必须按 6.30.1 进行(见附录 H 备用方法)。

6.24.2 增益控制。仪器的增益(衰减器)控制必须满足 6.22.4 的要求, 并必须每隔两个月按 6.30.2 的要求校准一次。如可证实至少等效于 6.30.2 要求, 则选用的方法可用作校准的增益控制(衰减器)的鉴定。

6.24.3 内部反射。按 6.30.3 规定, 仪器最多使用 40 小时, 就必须对每一探头的最大内部反射进行校验。

6.24.4 斜射波束探头。每一斜射波束探头必须在每使用 8 小时后用认可的校准块进行检验, 以确定接触面是否平整, 声波入射点是否正确, 以及波束角度是否在 6.29.2.1 和 6.29.2.2 规定的 $\pm 2^\circ$ 的公差范围内。应对不满足上述要求的探头进行校准或更换。

6.25 检测时的校准

6.25.1 衰减控制状态。所有的校准与检测必须在关闭衰减(限幅或抑制)控制状态下进行。衰减(限幅与抑制)控制的使用可能改变仪器的波幅线性和导致检测结果无效。

6.25.2 技术。灵敏度和水平扫描(距离)的校准必须由超声波检测人员就要在对每一焊缝检测之前、并在检测部位进行。

6.25.3 重新校准。因检测人员变换, 或最多每隔 2 小时, 或仪器电路有下述任何一种形式的干扰, 都必须重新校准:

- (1) 更换换能器;
- (2) 更换电池;
- (3) 更换电输出端;

- (4) 更换同轴电缆；
- (5) 电源中断（故障）。

6.25.4 母材的直射波束检测。母材直射波束检测的校准必须将探头置于母材的 A 面并按下述要求进行：

6.25.4.1 扫描线。必须将距离校准的水平扫描线调节到显示至少等于两部板厚的量值。

6.25.4.2 灵敏度。必须在无缺陷指示部位调节灵敏度，以使从钢板远边的第一底面回波达到全屏高度的 50%~75%。

6.25.5 斜射波束检测校准。斜射波束检测校准必须按如下要求进行（见附录 H, H2.4 备用办法）。

6.25.5.1 水平扫描线。水平扫描线必须按 6.23.1 规定用 IIW 试块或代用试块进行调节，使其显示实际的声程距离。距离校准必须采用显示屏上 5 in. [125mm] 刻度或 10 in. [250mm] 刻度中较为适当的一种。然而，如果这种设定中任何一种由于接头的轮廓形状或厚度妨碍了对焊缝的充分检验，则距离校准必须根据需要，使用 15 in. 或 20 in. [400 或 500mm] 的刻度。探头位置见 6.29.2.3 中所述。

注：所有萤光屏指示的水平位置只取轨迹线左侧起点水平基线的位置。

6.25.5.2 零对比基准。用于不连续性评定（超声波检测报告的“b”项，见附录 M，表格 M-11）的零对比基准灵敏度，系由调节探伤仪的校准的增益控制（衰减器）来达到，调节应符合 6.22 的要求，使得最大水平轨迹偏移 [用校准的增益控制（衰减器）调节到水平基准线高度] 显示在屏高的 40~60% 之间，符合 6.29.2.4 的要求。

6.26 检测工艺

6.26.1 “X”轴。必须将伤定位用的“X”轴标记于焊件检测面上，方向与焊缝轴线平行。其与焊缝轴线的垂直距离取决于详图的尺寸，且通常落在对接接头焊缝的中心线上；而对 T 形和角接接头焊缝而言，“X”轴总是落在这些焊缝的连接构件的靠近面上（C 面的相对面）。

6.26.2 “Y”轴。“Y”轴连同缝标记号码必须清晰地标注在经受超声检测的焊缝旁的母材上。这种标注的目的在于：

- (1) 焊缝标记；
- (2) A 面标记；
- (3) 距离测量和离开“X”轴的方向（+ 或 -）；
- (4) 从焊缝的端部或边缘的定位测量。

6.26.3 清洁处理。所有探头接触的表面必须无焊接飞溅、污物、脂类、油类（用作耦合剂的油除外）、油漆和松散氧化皮，且必须有一容许紧密耦合的外形。

6.26.4 耦合剂。在探头和待检测材料之间必须使用耦合剂。耦合剂必须是甘油或具有适当稠度的纤维素胶与水的混合物。如需要可以加增湿剂。在校准块上可用轻机油作耦合剂。

6.26.5 检测范围。检测焊缝时，超声波必须扫经母材，必须对整个母材进行有无层状缺陷反射的检验，检验用直射波束探头，它需符合 6.22.6 的要求，校准按 6.25.4 的要求进行。如在任何区域发现底面回波消失，或者在某一位置有一等于或大于原底回波高度的指示，且其影响正常的焊缝扫查过程，则必须确定其尺寸、部位和离 A 面的深度，并记录在超声波检测报告上，同时，必须使用另一种焊缝扫查方法进行检测。

6.26.5.1 反射体尺寸。反射体尺寸的评估方法必须按 6.31.1 进行。

6.26.5.2 不可达性。如果按照表 6.7 的要求进行检测、而由于如 6.26.5 所述有层状缺陷、部分焊缝不可达时，为得到全部焊缝的检测结果，必须使用下述一种或几种选用方法进行检测：

- (1) 必须按 5.24.3.1 要求将焊缝表面打磨平齐；
- (2) 必须从 A 面和 B 面进行检测；
- (3) 必须使用其他探头角度。

6.26.6 焊缝检测。必须使用符合 6.22.7 要求的斜射波束探头、按 6.25.5 要求校准的仪器、使用表 6.7 所示的角度检测焊缝。随后的校准以及检测过程中，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。衰减（抑制或限幅）控制必须关闭。按表 6.2 或 6.3 进行焊缝扫查时，灵敏度必须比基准水平有所提高。

6.26.6.1 扫查。检测角度和扫查方法必须符合表 6.7 所示要求。

6.26.6.2 对接接头。所有对接焊缝必须从焊缝轴线的两侧检测。角接接头和 T 型接头必须基本上仅从焊缝轴线的一侧检测。所有焊缝的检测必须使用适用的扫查方式，或在必要时使用图 6.21 所示的方式，纵向和横向的伤都要探测。无论什么地方实际情况如何，最低限度要有意做到：检测焊缝的声波在两相交方向上通过所有受检焊缝与热影响区的整个体积。

6.26.6.3 最大指示。当在萤光屏上出现不连续性指示时，必须对来自不连续性的可达最大指标进行调节，使得显示器上产生水平对比基准轨迹的偏离。这一调节必须用校准的增益控制（衰减器）进行，并且仪器的分贝值读数必须作为检测报告中的“指示基准 a”，用来计算“指示额定值 d”（附录 M，表格 M-11）。

6.26.6.4 衰减系数。检测报告上的“衰减系数 C”可由声程距离减去 1 in. [25mm] 所得差值乘以余项 2 得出（美国惯用单位制），国际标准制则为 0.08。这一系数必须圆整到最接近的整数 dB 值。根据四舍五入的办法，必须将小于 1/2 dB 的小数值舍去而成为较低的整数 dB 值，等于或大于 1/2 dB 的小数值进位而成为较高的 dB 整数值。

6.26.6.5 指示额定值。在 UT 报告（附录 M，表格 M-11）中的“指示额定值 d”表示衰减经修正后指示值与基准值之间的分贝值的代数差，表达如下：

仪器为 dB 增益状态：

$$a - b - c = d$$

仪器为 dB 衰减状态：

$$b - a - c = d$$

6.26.7 不连续性的长度。不连续性的长度必须按 6.31.2 规定的方法决定。

6.26.8 合格与拒收的根据。每一焊缝不连续性合格与否必须依其指示额定值与长度而定，视适用情况如系静荷载结构则用表 6.2，如系周期荷载结构则用表 6.3。除了在合同文本中被指定为“临界断裂”的焊缝、其合格的额定值在 6 dB 以内（包括 6 dB）、最小的不合格的额定值必须记录在检测报告上以外，仅需在检测报告上记录不合格的不连续性。

6.26.9 不合格部位的标记。每个不合格的不连续性都必须用标记在焊缝上标明，直接在不连续性上面标出其全长。它距离表面的深度和指示额定值必须注明在附近的母材上。

6.26.10 返修。由超声波检测发现的不合格焊缝必须使用本规范 5.26 所容许的方法返修。返修过的区域必须经超声波重新检测并将结果记入原报告（如可行），或另附报告。

6.26.11 再检测报告。返修后重新检测的焊缝区域的评价必须在报告表格上另列新的一行。如使用原报告表格，则必须在原报告中项目序号前冠以 R1, R2, ...Rn。如另附报告表格，则必须在报告序号前冠以 R。

6.26.12 钢衬垫。带钢衬垫的 CJP 坡口焊缝的 UT 必须执行这样的 UT 工艺：即它能辨别由母材-衬垫界面导致的可能的反射（见条文说明 C-6.26.12 对包含钢衬垫的坡口焊缝进行扫查的补充指导）。

6.27 管材 T、Y 和 K 形节点的 UT

6.27.1 工艺。所有 UT 必须按书面工艺规程执行，这种成文的工艺规程由单独取证的 SNT-TC-1A III 级水平、并在管材结构的 UT 方面有经验人员编写或批准。工艺规程必须以本节和第六章 F 部分适用条款的要求为基础。工艺规程必须至少包含下述有关 UT 方法和技术的內容：

(1) 待检测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）。常规的技术通常限于下述情况：直径 $\geq 12\text{-}3/4\text{ in. [325mm]}$ ，厚度 $\geq 1/2\text{ in. [12mm]}$ ，局部二面角 $\geq 30^\circ$ 。对于比这些尺寸更小情况的特殊技术也可应用，但需要按本处所述要求进行评定。

(2) 每一种类型和尺寸的焊缝的验收判据；

(3) UT 仪器设备的类型（制造厂和型号）；

(4) 换能器（探头）的频率、有效工作区尺寸和形状、波束角度以及斜探头上楔块的形式。换能器的工作频率高达 6MHz、尺寸小到 $1/4\text{ in. [6mm]}$ 、以及按规定形状不同时的工艺可以使用，但需按本处规定进行过评定。

(5) 表面准备情况与耦合剂（使用耦合剂的场合）；

(6) 校准试块和参考反射体的类型；

(7) 校准的方法和对距离（扫描）、垂直线性、波束扩散、角度、灵敏度和分辨率的要求精度；

(8) 上述 (7) 各项重新校准的周期；

(9) 测定母材声学连续性的方法（见 6.27.4）及确定作为局部二面角与厚度的函数的几何形状；

(10) 扫查方式与灵敏度（见 6.27.5）；

(11) 表面曲率和粗糙度的传输修正量（使用波幅法，见 6.27.3）；

(12) 确定有效波束角（在曲面材料中）、查明根部区域及伤（不连续性）部位的方法；

(13) 确定不连续性长度和高度的方法；

(14) 挖凿及返修时核查缺陷的方法。

6.27.2 人员。当要检验 T、Y 和 K 形连接时，除了 6.14.6 的人员资格要求外，还必须要求操作者证实其已具备应用专门技术从事此类检验的能力。为此目的，必须使用适合的已经评定和批准的工艺、在焊缝模拟样板上进行操作考核，样板需代表待检验焊缝的类型，包括生产中遇到的、有代表性的、二面角和厚度的范围。每一模拟样板必须有自然形成或人

为的不连续性，这些不连续性要产生如此效果：超声指示有高于也有低于认可工艺规程中规定的合格条件。

判断操作考核的成绩必须以超声操作人员确定每一个不连续性尺寸和等级的能力为依据，包括确定每一焊件合格与否的准确性，以及精确地确定不合格不连续性沿焊缝长度和在焊缝横截面内部的位置。必须至少有 70% 不合格的不连续性被正确地判定为不合格。不连续性有其最大容许尺寸，对于在静定结构上的工作，必须对超过此最大容许尺寸一倍的、或波幅超过 6 dB 的每一个不连续性进行定位并作出报告。

6.27.3 校准。UT 设备鉴定和校准方法必须符合认可的工艺要求和第六章 F 部分的规定，但下述情况除外：

6.27.3.1 量程。作为最低限度，量程（距离）的校准必须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所述，将量程调节到体现声程、表面距离、或者接触表面下的等量深度的任何一种，沿仪器的水平刻度显示。

6.27.3.2 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必须为：基准灵敏度+距离波幅修正量+传输修正量。在每一待检测接头上必须至少要作一次这样的校准；例外的情况是：对于尺寸和形状相同的接头反复检测时，可采用 6.25.3 规定的频度进行校准。

(1) 基准灵敏度。按 6.25（或 6.29）所述，从 IIW 标准试块（或可得到同样基准校准灵敏度的其他试块）上直径 0.060 in. [1.5mm] 的小孔处得到的最大反射波，由此获得的荧屏基准线高度即为基准灵敏度。

(2) 距离幅度修正。灵敏度水平必须用距离波幅校正曲线、电子装置或 6.26.6.4 所述办法这三种之一进行调节，对在整个使用声程范围内的衰减作出修正。如用高频换能器，则必须考虑较大的衰减。传输修正可用于穿透致密漆层厚度不超过 10 mils [0.25mm] 时的超声波检测。

6.27.4 母材检查。要作超声波扫查的整个区域必须采用纵波技术进行检验，以探测是否有层状反射体，这种层状反射体会妨碍预期的定向的声波传播。存在层状反射体的所有区域必须在作焊缝检验前作好标记，并继而为检测这一区域的焊缝而选择探头角度和扫查技术。母材不连续性超过 5.15.1.1 的限制时必须报告工程师。

6.27.5 焊缝扫查。必须从支管表面进行 T、Y 和 K 形节点的焊缝扫查（见图 6.22）。所有检验必须尽可能使用一次波法和二次波法。初始扫查时，灵敏度必须比 6.27.3 规定的最大声程的灵敏度高出 12 dB。指示的评估必须以标准灵敏度为基准。

6.27.6 最佳角度。在对接接头坡口焊缝根部区域或沿所有焊缝熔合面发现的指示，必须使用 70°、60°或 45°探头角度中的任何一种作进一步检测评估，所选角度为最接近垂直于预期的熔合面。

6.27.7 不连续性评估。不连续性必须采用波束边界法和波幅技术综合评估。其尺寸必须以长度和高度（深度）或振幅中适用者表示。波幅必须为“标准校准”的相对值。另外，当换能器集中在反射体的圆弧作摆动时，注意波幅的变化，必须据此将不连续性分成线状的、平面状的和球状的。不但必须确定不连续性沿焊缝轴线与事先设定的参照点的相对位置，而且要确定其在焊缝横截面内部的位置。

6.27.8 报告

6.27.8.1 表格。超声波技术员必须在检验时填写一份报告表格，清楚地标明检验工作的内部与部位。对于发现有值得注意的指示的每条焊缝，必须书写详细的报告和简图，标明每

一个不连续性沿焊缝轴线的位置、在焊缝横截面内的部位、尺寸（或指示额定值）、范围、方向和类别。

6.27.8.2 作出报告的不连续性。当有规定时，也必须报告接近不合格尺寸的不连续性，尤其是一些在评定上有所怀疑的不连续性。

6.27.8.3 未完成的检验。在报告上也必须注明做不到完全检验的部位，且说明没有完成检验的理由。

6.27.8.4 标记。除非另有规定，否则也必须确确实实地在工件上做好参照点位置以及不合格不连续性的部位和范围的标记。

6.28 报告的编制和处理

6.28.1 报告的内容。UT 操作者必须在检验时填写一份报告表格，明确标明检验工作的内容与部位。对于合格焊缝的报告表格，仅需包括证实焊缝合格的足够的资料、操作者（签名），以及焊缝合格的结论。

这种表格样张见附录 M 表格 M-11。

6.28.2 原始检验报告。承包商为业主作超声检测的焊缝进行验收之前，所有与焊缝有关的报告表格，包括列有返修前不合格质量的内容，必须提交检验员。

6.28.3 完工报告。承包商为业主作的焊缝超声检测的全套完工报告表格，包括列有返修前不合格质量的内容，必须于完工后交付业主。当 (1) 整套超声波检测报告已经提交给业主，或 (2) 制造商完成工作满一年，并有业主事先书面通知时，必须确认制造商不再负有保存超声波检测报告的责任。

6.29 用 IIW 或其他批准的对比试块校准 UT 设备（附录H）

见 6.23 以及图 6.19、6.20 和 6.23。

6.29.1 纵波型

6.29.1.1 距离校准。有关选用方法见附录 H, H1。

(1) 换能器必须置于 IIW 试块上 G 位置。

(2) 调节仪器必须使荧光屏上在 1 in. [公制试块 25mm]、2 in. [公制试块 50mm]、3 in. [公制试块 75mm]、4 in. [公制试块 100mm] 等处产生指示。

6.29.1.2 波幅。有关选用方法见附录 H, H1.2。(1) 换能器必须置于 IIW 试块上 G 位置。(2) 必须调整增益，直到第一次底部反射的最大指示达到屏幕高度的 50~75%。

6.29.1.3 分辨力

(1) 换能器必须置于 IIW 试块上 F 位置。

(2) 换能器和仪器必须分辨出所有三个距离。

6.29.1.4 水平线性鉴定。鉴定方法必须按 6.24.1 规定。

6.29.1.5 增益控制（衰减器）鉴定。

鉴定方法必须按 6.24.2 的规定，或 6.24.2 规定的选用方法。

6.29.2 剪切波型（横波）

6.29.2.1 入射点。换能器声波进入点（入射点）的定位与检验必须按如下方法进行：

(1) 换能器必须置于 IIW 试块上 D 位置。

(2) 必须移动换能器，直到从圆弧上得到最大信号。换能器上对准校准块上半径线的点即为声波进入点（见附录 H，H2.1 有关选用方法）。

6.29.2.2 角度。换能器声束折射角度必须采用下述程序之一进行校核或测定：

(1) 角度为 $40^\circ \sim 60^\circ$ 的换能器必须置于 IIW 试块 B 位置， $60^\circ \sim 70^\circ$ 的换能器置于 IIW 试块 C 位置；（见图 6.23）。

(2) 必须将换能器在选定探头的角度指示线位置前后移动，直至从曲面处得到的信号达到最大值。必须将换能器上的入射点与校准试块上的角度标记作比较（公差： $\pm 2^\circ$ ）（见附录 H，H2.2 有关选用方法）。

6.29.2.3 距离校准方法。换能器必须置于 IIW 试块上 D 位置（任何角度）。然后必须调节仪器，使在屏幕上得到 4 in. [公制试块为 100mm] 和 8 in. [公制试块为 200mm] 或 9 in. [公制试块为 225mm] 的指示。（见附录 H，H2.3 有关选用方法）

6.29.2.4 波幅或灵敏度校准方法。将换能器放在 IIW 试块上 A 位置（任何角度）。然后调节从 0.060 in. [1.59mm] 小孔来的信号，当达到最大值时，即得到水平基准线高度指示。（见附录 H，H2.4 有关选用方法）。所得到的最大分贝值读数必须按 6.23.1 所述用作检测报告上“基准值，b”读数（见附录 M，表格 M-11）。

6.29.2.5 分辨力

(1) 换能器必须置于分辨力试块 RC 上， 70° 角的置于 Q 位置， 60° 角的置于 R 位置， 45° 角的置于 S 位置；

(2) 换能器和仪器必须能分辨出 3 个检测孔，至少区分出来自 3 个孔的指示的峰值。

6.29.2.6 探头前沿距离。探头前缘与 IIW 试块边缘之间最小的容许距离必须如下（见图 6.18）：

70° 换能器，X = 2 in. [50mm]

60° 换能器，X = 1-7/16 in. [37mm]

45° 换能器，X = 1 in. [25mm]

6.30 设备鉴定程序

6.30.1 水平线性鉴定程序。注：由于本评定程序用直射波束探头进行，其产生的纵波声速几乎是切变波（横波）声速的 2 倍，因此，在使用这一程序时，量程必须约为所用横波距离量程的 2 倍。

示例：切变波时屏幕校准为 10 in. [250mm]，而采用本鉴定程序时，需要约 20 in. [500mm] 的屏幕校准。

必须将下述程序用于仪器鉴定：（见附录 H，H3 有关选用方法）

(1) 按 6.22.6 的要求将直射波束探头耦合于 IIW 或 DS 试块上 G、T 或 U 位置（见图 6.23），必须在进行鉴定的量程内得到 5 个底面回波。

(2) 通过距离校准和零位延迟，将第一个和第五个底面回波调整至适当位置。

(3) 通过增益或衰减控制将每一回波指示调到基准线，检验水平位置。

(4) 每一个居中脉冲峰迹偏移位置必须准确，偏差在屏幕宽度的 2% 以内。

6.30.2 dB 精度

6.30.2.1 程序。注：为了使指示高度的读数达到所需的精度 ($\pm 1\%$)，必须将屏幕水平中点处的高度以 2% 间隔，或带有数字幅度读出的仪器以 2.5% 的间隔作垂直分度。其高度必须为屏幕高度的 60% 至 100%。通过使用有刻度的透明纸可能实现上述目标。如果将这一透明纸用作超声波装置的固定组成部分，则务必避免因之使正规性检测显示变得模糊不清。

(1) 必须按 6.22.6 的要求将直射波束探头耦合于 DS 试块（如图 6.20 所示）T 位置（如图 6.23 所示）。

(2) 必须调节距离校准，使第一个 2 in. [50mm] 底面回波指示（下简称指示）位于水平方向的屏中央。

(3) 必须调节校准增益或衰减控制，使指示正好位于或略高于屏高的 40%。

(4) 必须将探头向 U 位置移动，见图 6.23，使指示准确达到屏高的 40%。

(5) 必须通过校准增益或衰减控制将波幅增加 6 dB。从理论上说，指示水平应正好位于屏高的 80%。

(6) dB 读数和第 (5) 步骤中的实际屏幕高度百分数必须分别记入验证报告中“a”栏和“b”栏第一行（见附录 M，表格 M-8）。

(7) 必须将探头向 U 位置移动，见图 6.23，使指示准确达到屏高的 40%。

(8) 重复第 5 步的操作。

(9) 重复第 6 步的操作，但数据应记入附录 M 表格 M-8 的下一行中。

(10) 依次重复第 7、8 和 9 步的操作，直至达到增益控制（衰减器）的全部量程（最小值为 60 dB）。

(11) 必须将“a”和“b”栏的数据代入 6.30.2.2 的公式或 6.30.2.3 所述的诺模图，以计算修正的 dB 值。

(12) 必须将第 11 步中的 dB 修正值记入“c”栏中。

(13) 用“a”项数值减去“c”项数值，然后将差值记入“d”栏，用作 dB 误差。

注：这些数值可以是正值，也可以是负值，须按照正负记入表格。例如，表格 M-8、M-9 和 M-10 应用参见附录 M。

(14) 必须将包括显示于表格 M-8 的最小等量值在内的数据填入表格，并按照该表说明对装置做出评价。

(15) 表格 M-9 提供了一种相对简便的方法，以评价项目 (14) 中所包含的数据。评价说明在 (16) 至 (18) 中给出。

(16) 必须将“e”列（表格 O-8）中的 dB 数据用作垂直方向的 X 坐标，将“a”列（表格 M-8）中的 dB 读数用作水平方向的 Y 坐标，以便绘制表格 M-9 中的 dB 曲线。

(17) 由 dB 读数差代表的最大横坐标长度，其内接于一高度示值为 2 dB 的矩形中的那部分，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) 可以使用不符合最小量程要求的仪器，前提条件是计算出校正系数，用作在仪器

合格线性量程以外的缺陷评定，或者在设备合格的垂直线性量程以内进行焊缝检测和缺陷评定。

注：dB 误差值（“d”列）可用作校正系数值。

6.30.2.2 分贝公式。使用下列公式计算分贝值：

$$dB_2 - dB_1 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1}$$

$$dB_2 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1} + dB_1$$

与附录 M 表格 M-8 有关，dB1 = “a”栏

dB₁ = Row “a”

dB₂ = Row “c”

%₁ = Row “b”

%₂ = 如表格 M-8 的规定

6.30.2.3 附录 M。下列注释可用于附录 M 表格 M-10 中的诺模图：

- (1) a、b、c、d 和 e 栏参见附录 M 表格 M-8 中的鉴定图表。
- (2) A、B 和 C 刻度尺参见附录 M 表格 M-10 中的诺模图。
- (3) 刻度尺 C 上的零点必须预先设定为所需数值，此数值应与仪器设定值对应，即：0、10、20、30 等。

6.30.2.4 程序。下列程序用于附录 M 表格 M-10 中的诺模图：

- (1) 找出 C 标尺上对应于“a”栏的分贝值读数的点，找出 A 标尺寸对应于“b”栏的相应百分数的点，在这两点间连直线。
- (2) 将步骤 1 所得直线与支点线 B 交叉的那点用作第二根直线的支点。
- (3) 从 A 标尺上平均百分数点作直线通过步骤 (2) 所得之支点，并必须延长至 dB 标尺 C 上。
- (4) C 刻度上的点即为用于 C 栏的 dB 的修正值。

6.30.2.5 诺模图。诺模图使用示例，见附录 M，表格 M-10。

6.30.3 内部反射检验程序。

- (1) 按照 6.25.5 的规定校准设备。
- (2) 从校准试块上移除探头，而不对设备作任何调节。
- (3) 增加校准增益或衰减值，使之高出基准水平 20 Db。
- (4) 在屏幕上超过 1/2 in [12 mm] 声程和基准高度以上的区域，必须无任何指示。

6.31 不连续性尺寸评估程序

6.31.1 直射波束（纵波）检测。层状不连续性的尺寸并不总是容易确定的，特别是那些小于换能器尺寸的层状不连续性。当不连续性大于换能器时，底面回波完全消失，且波幅下降 6 dB，用换能器中心线所对应处常常可以确定为不连续性的边缘。然而，要对小于换能器

尺寸的反射体进行大致尺寸的评估，还必须使用按照 6.25.4 要求校准的设备从不连续性外开始，然后将换能器朝不连续性部位移动，直到在屏幕上出现指示。此时探头的前端所处的那点即为不连续性的边缘。

6.31.2 斜射波束（剪切波）检测。必须用下述方法来确定 dB 值比 D 级指示更为严重的那些指示的长度。这一指示的长度必须这样来确定：在指示额定波幅下降 50%（6 dB）而低于适用的伤等级额定值的情况下，测量换能器中心线间的距离。这一长度必须记入检测报告“不连续性长度”的项内。根据伤的波幅，这一程序必须反复用于决定 A 级、B 级和 C 级伤的长度。

6.32 扫查方式（见图 6.21）

6.32.1 纵向不连续性

6.32.1.1 扫查动作 A。转动角度 $\alpha=10^\circ$

6.32.1.2 扫查动作 B。扫查距离 b 必须覆盖要检测的该段焊缝长度

6.32.1.3 扫查动作 C。步进距离 C 必须大致为换能器宽度的一半。

注：动作 A、B 和 C 可综合为一个扫查方式。

6.32.2 横向不连续性

6.32.2.1 打磨的焊缝。当焊缝打磨齐平时用扫查方式 D。

6.32.2.2 未磨平焊缝。当焊缝余高未打磨齐平时，用扫查方式 E。最大扫查角度 $e = 15^\circ$ 。

注：扫查方式必须覆盖全部焊缝截面。

6.32.3 ESW 或 EGW 焊缝（附加的扫查方式）。用扫查方式 E，探头转动角度 $e = 45^\circ \sim 60^\circ$ 。

注：扫查方式必须覆盖全部焊缝截面。

6.33 dB 精度鉴定示例

附录 M 举例说明了表格 M-8、M-9 和 M-10 的使用，为条款 6.30.2 的典型应用作了解答。

G

其他检查方法

6.34 一般要求

这一部分包括本规范第六章 D、E 或 F 部分未述及的 NDT 方法。在 G 部分提出的 NDT 方法，可以用来替代第 6 章中 D、E 或 F 部分所勾划的方法，但工艺、工艺和人员资格评定的标准，以及验收判据要书面成文，并经工程师批准。

6.35 实时射线成像系统

可以使用不同于射线照相的电离性辐射方法，例如包括实时成像系统的电子成像来检查焊缝。在监控设备（用于验收和拒收）和记录工具上看到的焊接检验的敏感度应不低于射线照相法所要求的敏感度。

6.35.1 工艺。书面程序应包含下述基本参数：

- (1) 包括制造商、构造、型号和系列号的专用设备证明书；

- (2) 其中建立每一种参数组合的专用辐射和成像控制装置；
- (3) 焊接的厚度范围；
- (4) 焊接接头类型；
- (5) 扫查速度；
- (6) 辐射源至焊缝距离；
- (7) 成像转换屏至焊缝距离；
- (8) X 射线穿过焊缝的角度（与法线的夹角）；
- (9) IQI 位置（辐射源侧或者成像屏屏）；
- (10) 存储媒体的类型（磁带录像、静物摄影底片、电影摄影底片或其他合格媒体）；
- (11) 计算机增强（如果使用）；
- (12) 辐射束的宽度；
- (13) 如与本规范不同，需附指示特性记录和合格判据。

6.35.2 IQI. 必须按 B 部分所述使用线型 IQI。像质计的位置应按照 B 部分内容中的规定以便进行静态检验。在运转检验中，像质计的位置如下所示：

- (1) 在检测区两端各放置二个 IQI，并且跟踪动态检验；

(2) 在动态受检件每一端放置一个 IQI，并且当动态检验时任何两个 IQI 之间的距离不得大于 10 英尺[3m]。

6.36 先进的超声系统

先进的超声系统包括但不限于以下所述：多探头，多通道系统，自动检查，时间渡域衍射法（time-of-flight diffraction [TOFD]），和相控阵系统。

6.36.1 工艺。书面程序应包含下述基本参数：

- (1) 包括制造商、构造、型号和系列号的专用设备证明书；
- (2) 探头的类型，包括尺寸、形状和角度—对于相控阵；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) 其中建立每一种参数组合的扫查控制装置；
- (4) 采用工艺标准或工艺例证的、用于设备和探头的调整和校准；
- (5) 焊接的厚度范围；
- (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) 存储媒体的类型（录像、计算机辅助，或其他合格的媒体）；
- (12) 以计算机为基础的增强（如果使用）；

(13) 以计算机软件编码（如果使用）；

(14) 如与本规范不同，需附指示特性记录和合格判据。

6.37 补充要求

6.37.1 工艺评定。必须对该种 NDT 方法（系统）和存储媒体进行试验而评定其工艺，以建立并记录所有基本参数和状态。评定试验必须这样组成：确定每一种组合的基本参数或参数范围能够提供最低的灵敏度要求。试验结果必须于生产检查中要用的存储媒体上。程序应由具备 ASNT SNT-TC-1A, III 级（参见 6.37.2）的人员批准。

6.37.2 人员资格评定。除了 6.14.6 的人员资格评定外，还必须按以下要求对检测人员进行评定：

(1) III 级 — 应在使用相同或相似设备和程序检验焊接结构或不锈钢管道方面至少有六个月的经验。

(2) I 和 II 级水平 — 必须经上述 III 级水平人员进行资格评定，并在使用相同或类似设备与规程、检验金属材料结构或管材的焊缝方面至少有三个月的经历。资格评定必须由书面考试和用以证明操作能力的操作考试组成，操作考试必须使用生产中检查焊缝所用的设备和规程。

6.37.3 图像增强。如果所要求的最低灵敏度和表征缺陷特征的精度得以保持的话，则为了改善记录图像并得到附加信息，记录图像的计算机增强必须是合意的。计算机增强的图像必须清楚地标明已使用了增强并标记了增强工艺。

6.37.4 记录—射线成像检查。对焊缝作验收或拒收用的射线成像检查，必须记录在合格的存储媒体上。被记录的图像应为动态或静态图像，无论哪种图像都可用于验收或拒收焊接。一份书面的记录数据应包括记录的图像，并至少提供以下信息：

(1) 被检验焊接的标识和说明

(2) 运用的程序

(3) 使用的设备

(4) 记录于存储媒体的焊缝所在部位

(5) 检测结果，包括不合格焊接和修理工作一览表以及记录工具内部的焊接、修理位置

表 6.1
目检验收标准（见 6.9）

不连续性类型和检验的验收判据	静荷载非管 材连接	周期荷载非 管材连接	管材连接（所 有荷载）
(1) 禁止裂纹 不论其尺寸或部位，任何裂纹都不合格。	X	X	X
(2) 焊缝/母材的熔合。 焊缝的相邻焊层之间及焊缝金属与母材之间必须完全熔合。	X	X	X
(3) 弧坑横截面 除了超出断续角焊缝有效长度的端部外，所有弧坑必须填焊至规定的焊缝尺寸。	X	X	X
(4) 焊缝形状 焊缝型面必须满足条款 5.24 中的要求。	X	X	X
(5) 检验的时间 当整条焊缝冷却至环境温度后，便可以立即开始对各种钢材的焊缝进行目测检查。	X	X	X

对 ASTM A514、A517 钢和 A709 100 及 100W 级钢，则规定必须在焊缝完工后至少 48 小时才能按对这些钢的验收判据作无损检测。

(6) 焊缝尺寸不足

任何连续角焊缝的尺寸当其小于规定的公称尺寸 (L) 而符合下述规定数值 (U)，则可不补偿：

L, 规定的公称焊缝尺寸, in [mm]	U, 在 L 的基础上允许的减小量, in [mm]
$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]
$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]
$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]

在所有情况下，焊缝尺寸不足的部分严禁超过焊缝长度的 10%。大梁腹板和翼缘板连接的焊缝上，在梁的两端、长度等于两倍翼缘板宽度的范围内严禁焊缝尺寸不足。

(7) 咬边

(A) 厚度小于 1 in. [25mm] 的材料上的咬边严禁超过 1/32 in. [1mm]，但允许下述例外：在任何 12 in. [300mm] 长度范围内任何累积长度到 2 in. [50mm] 的咬边严禁超过 1/16 in. [2mm]。厚度等于或大于 1 in. [25mm] 的材料，任何长度焊缝的咬边严禁超过 1/16 in. [2mm]。

(B) 主要构件中，在任何设计荷载情况下，焊缝与拉应力成横向关系时，咬边深度严禁大于 0.01 in. [0.25mm]。在其他所有情况下，咬边深度不得超过 1/32 in. [1mm]。

(8) 气孔

(A) 与计算拉伸应力成横向关系的对接接头完全熔透坡口焊缝处，严禁出现可见管状孔隙。在所有其它坡口焊接中，直径大于或等于 1/32 in. [1 mm] 的可见管状孔隙的总和，在任意焊接上的线性英寸不得超过 3/8 in. [10 mm]，并且焊接在任意 12 in. [300 mm] 长度范围内，其可见管状孔隙的总和不得超过 3/4 in. [20 mm]。

(B) 角焊缝中管状孔隙的出现频率不得超过每 4 in. [100 mm] 焊缝长度上出现一个，而且最大直径不得超过 3/32 in. [2.5 mm]。除外事项：对于加强板角焊缝，管状孔隙的直径总和，在任意焊接上的线性英寸不得超过 3/8 in. [10 mm]，并且焊接在任意 12 in. [300 mm] 长度范围内，其管状孔隙的直径总和不得超过 3/4 in. [20 mm]。

(C) 与计算拉伸应力成横向关系的对接接头完全熔透坡口焊缝处，严禁出现可见管状孔隙。对于所有其他坡口焊缝，管状气孔的出现频率为每 4 in. [100mm] 长度内严禁超过一个，且最大气孔直径严禁超过 3/32 in. [2.5mm]。

注：“X”意指所适合的连接类型；空白即为此栏不适用。

表 6.2

UT 合格 — 拒收标准（静荷载非管材连接）（见 6.13.1 及 C-6.26.6）

不连续性严重等级	焊缝尺寸（单位为 [mm]）和探头角度										
	5/16 ~ 3/4 [8–20]	> 3/4 ~ 1-1/2 [20–38]	> 1-1/2 t ~ 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 ~ 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 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3
D 级	≥+8	≥+5	≥+3	≥+6	≥+8	≥+3	≥+3	≥+5	≥+3	≥+3	≥+4

^a 对接接头焊缝尺寸必须为所连接的两个部件中较薄者的公称厚度。

注：

- B 级和 C 级缺陷应至少隔开 2L（L 为缺陷较大者的长度），但下述情况除外：当两个或更多个此类缺陷不是隔开至少 2L，而是这些缺陷的联合长度与它们之间的总和等于或小于 B 级或 C 级规定的缺陷最大容许长度时，则这种缺陷必须被视为单个的合格缺陷。
- B 级和 C 级缺陷距离承受主要拉应力的焊缝端部的长度严禁小于 2L（L 为缺陷长度）。
- 如果接头完全熔透（CJP）的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”

检测出的不连续性，必须要比6.26.6.5 所述高出4 dB 灵敏度的额定指示值进行判断（从指示额定值“d”中减去4 dB）。

如果这一接头焊缝系背部清根至完好金属以清除钝边并且用 MT 证实钝边已被清除，则严禁应用本要求。

4. ESW 或 EGW：当以“扫查水平”探查的不连续性超过 2 in. [50mm] 长度时，必须考虑其为管状气孔，并必须进一步用射线照相进行判断。
5. 对移动探头而留在屏上的指示，参见 6.13.1。

A 级（大缺陷）
任何这类指示应拒收（不论其长度如何）。

B 级（中缺陷）
任何长度大于 3/4 英寸 [20 mm] 的这类指示应拒收。

C 级（小缺陷）
任何长度大于 2 英寸 [50 mm] 的这类指示应拒收。

D 级（细小缺陷）
任何这类指示，不论其在焊缝中的长度或部位，应判定合格。

扫查水平	
声程 ^b 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 该栏指声程距离，而不是材料厚度。

表 6.3
UT 合格 — 拒收标准（周期荷载非管材连接）（见 6.13.2 及 C-6.26.6）

	焊缝尺寸 ^a （单位为 [mm]）和探头角度									
	5/16 ~ 3/4 18-201	>3/4 ~ 1-1/2 [20-38]	>1-1/2 ~ 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 ~ 4 [65-100]			> 4 ~ 8 [100-200]	
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60° 45°
不连续性严重等级	≤+ 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 对接接头焊缝尺寸必须为所连接的两个部件中较薄者的公称厚度。

注：

1. B 级和 C 级缺陷应至少隔开 2L（L 为缺陷较大者的长度），但下述情况除外：当两个或更多个此类缺陷不是隔开至少 2L，而是这些缺陷的联合长度与它们之间的总和等于或小于 B 级或 C 级规定的缺陷最大容许长度时，则这种缺陷必须被视为单个的合格缺陷。
2. B 级和 C 级缺陷距离承受主要拉应力的焊缝端部的长度严禁小于 2L（L 为缺陷长度）。
3. 如果接头完全熔透（CJP）的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”检测出的不连续性，必须要比 6.26.6.5 所述高出 4 dB 灵敏度的额定指示值进行判断（从指示额定值“d”中减去 4 dB）。如果这一接头焊缝系背部清根至完好金属以清除钝边并且用 MT 证实钝边已被清除，则严禁应用本要求。
4. 对移动探头而留在屏上的指示，参见 6.13.2.1。

A 级（大缺陷）

任何这类指示应拒收（不论其长度如何）。

B 级（中缺陷）

任何长度大于 3/4 英寸 [20 mm] 的这类指示应拒收。

C 级（小缺陷）

在焊缝厚度中部一半范围内、任何长度大于 2 in. [50mm] 的这类指示、或在焊缝厚度的顶部或底部 1/4 范围内长度大于 3/4 in [20 mm] 的这类知识，均必须拒收。

D 级（细小缺陷）

任何这类指示，不论其在焊缝中的长度或部位，应判定合格。

扫查水平

声程 ^b 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 该栏指声程距离，而不是材料厚度。

表 6.4
孔型像质计 (IQI) 要求 (见 6.17.1)

标称材料厚度 ^a 范围, in	标称材料厚度 ^a 范围, mm	射线源侧		胶片侧	
		名称	主孔	名称	主孔
≤0.25.	≤6 .	10	4T	7	4T
>0.25 ~ ≤0.375	>6~≤10	12	4T	10	4T
>0.375 ~ ≤0.50	>10~≤12	15	4T	12	4T
>0.50 ~ ≤0.625	>12~≤16	15	4T	12	4T
>0.625 ~ ≤0.75	>16~≤20	17	4T	15	4T
>0.75 ~ ≤0.875	>20~≤22	20	4T	17	4T
>0.875 ~ ≤1.00	>22~≤25	20	4T	17	4T
>1.00 ~ ≤1.25	>25~≤32	25	4T	20	4T
>1.25 ~ ≤1.50	>32~≤38	30	2T	25	2T
>1.50 ~ ≤2.00	>38~≤50	35	2T	30	2T
>2.00 ~ ≤2.50	>50~≤65	40	2T	35	2T
>2.50 ~ ≤3.00	>65~≤75	45	2T	40	2T
>3.00 ~ ≤4.00	>75~≤100	50	2T	45	2T
>4.00 ~ ≤6.00	>100~≤150	60	2T	50	2T
>6.00 ~ ≤8.00	>150~≤200	80	2T	60	2T

^a 单壁射线检测厚度 (对于管件)。

^b 仅适用于管件结构。

表 6.5
线型像质计 (IQI) 要求 (见 6.17.1)

标称材料厚度 ^a 范围, in	标称材料厚度 ^a 范围, mm	射线源一侧最大线径		胶片侧 ^b 电线直径的最大值	
		in	mm	in	mm
≤0.25	≤6	0.010	0.25	0.008	0.20
>0.25 ~ ≤0.375	>6 ~ ≤10	0.013	0.33	0.010	0.25
>0.375 ~ ≤0.625	>10 ~ ≤16	0.016	0.41	0.013	0.33
>0.625 ~ ≤0.75	>16 ~ ≤20	0.020	0.51	0.016	0.41
>0.75 ~ ≤1.50	>20 ~ ≤38	0.025	0.63	0.020	0.51
>1.50 ~ ≤2.00	>38 ~ ≤50	0.032	0.81	0.025	0.63
>2.00 ~ ≤2.50	>50 ~ ≤65	0.040	1.02	0.032	0.81
>2.50 ~ ≤4.00	>65 ~ ≤100	0.050	1.27	0.040	1.02
>4.00 ~ ≤6.00	>100 ~ ≤150	0.063	1.60	0.050	1.27
>6.00 ~ ≤8.00	>150 ~ ≤200	0.100	2.54	0.063	1.60

^a 单壁射线检测厚度 (对于管件)。

^b 仅适用于管件结构。

表 6.6
IQI 的选择和放置 (见 6.17.7)

IQI 的类型	等厚 T ≥ 10 in. [250 mm] L		等厚 T < 10 in. [250 mm] L		不等厚 T ≥ 10 in. [250 mm] L		不等厚 T < 10 in. [250 mm] L	
	孔型	线型	孔型	线型	孔型	线型	孔型	线型
IQI 号								
非管件	2	2	1	1	3	2	2	1
管环缝	3	3	3	3	3	3	3	3
ASTM 标准选择	E 1025	E 747	E 1025	E 747	E 1025	E 747	E 1025	E 747
表格	6.4	6.5	6.4	6.5	6.4	6.5	6.4	6.5
图表	6.8		6.9		6.10		6.11	

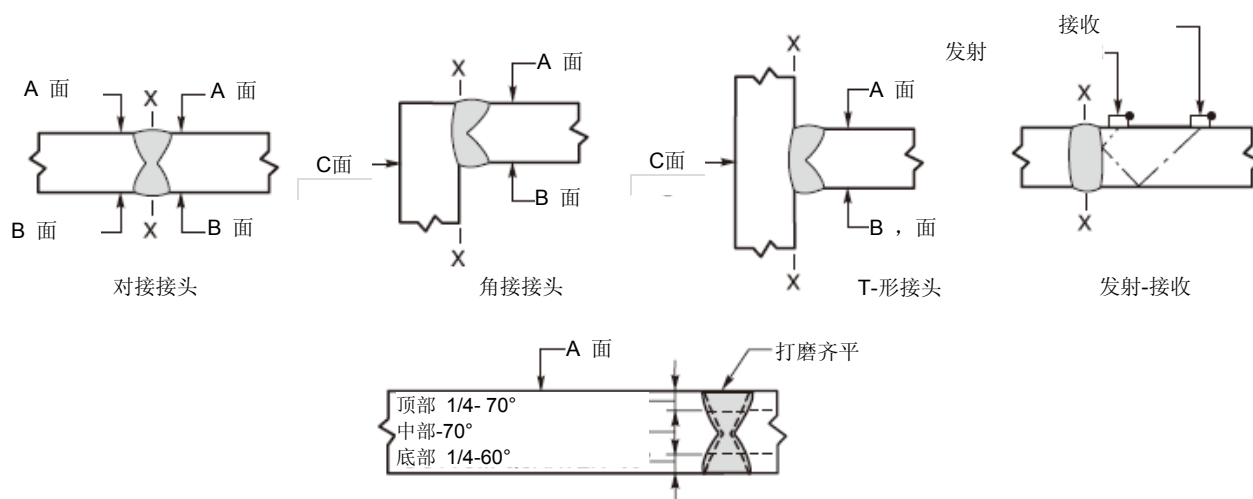
T = 公称的母材厚度 (图中的T1 和T2)。

L = 每一射线照片中相关区域的焊接长度。

注： 当按6.17.3.3 在孔型像质计下使用补偿片时，T 值可以增大，以补偿容许的焊缝余高的厚度。

表 6.7
检测角度 (见 6.26.5.2)

工艺卡																		
材料厚度 in [mm]																		
应用	5/16 [8]		> 1-1/2 [38]		> 1-3/4 [45]		> 2-1/2 [60]		> 3-1/2 [90]		> 4-1/2 [110]		> 5 [130]		> 6-1/2 [160]		> 7 [180]	
	1-1/2 [38]	1-3/4 [45]	2-1/2 [60]	3-1/2 [90]	4-1/2 [110]	5 [130]	6-1/2 [160]	7 [180]	8 [200]									
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
对接	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	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	—	—
气电焊和 电渣焊	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. 除本表有规定外, 所有检验必须从 A 面并用一次波法进行。
2. 对于带有衬垫(合同不要求除去)的单面坡口接头焊缝的根部区域, 只要可能, 就必须用一次波法并在 A 面上进行检测, A 面即为衬垫所在面的对面。(为了彻底扫查焊缝根部, 也许有必要打磨焊缝面或从另外的焊缝面进行检测。)
3. 只有为了符合本表的规定、或当必须检测表面未经打磨的不可达焊缝、或因焊件其他部份的干扰、或为满足 6.26.6.2 的要求时, 才必须用二次或三次波法进行检测。
4. 只有因厚度或几何形状之故而妨碍了用一次波法或二次波法对全部的焊缝区域和热影响区进行扫查时, 才必须使用最大的三次波法。
5. 关于周期荷载结构中的受拉焊缝, 其厚度的顶部 1/4 必须从 B 面向 A 面用一次波法进行检测, 厚度的底部 1/4 必须用一次波法从 A 面向 B 面检测。也就是说, 厚度顶部的 1/4 既可以从 A 面用二次波法, 也可以从 B 面用一次波法进行检测, 由承包商自行选择, 合同文本另有规定除外。
6. 采用 1G, 6, 8, 9, 12, 14, 或 15 的方式之前, 指定的焊缝表面必须打磨平齐。两连接构件的 A 面必须处于同一平面。

(参见下一页图例)

表 6.7 (续)
检测角度 (见 6.26.5.2)

图例:	
X	— 从“C”面检验。
G	— 焊缝打磨平齐。
O	— 不要求。
A 面	— 材料上的扫查开始面 (T 形和角接接头见上图)。
B 面	— “A”面的对面 (同一块板上)。
C 面	— 在 T 型或角接接头所连接构件焊缝的相对面。
*	— 只有从表中第一栏中选取一项基本方法作搜索扫查、发现在焊缝金属和母材界面处有不连续性的基准高度指示时, 才作此项检测。
**	— 用 15 in. [400mm] 或 20 in. [500mm] 屏幕距离校准。
P	— 只有对材料厚度的中间一半处的不连续性作进一步评估时才必须用这种发 — 收方式, 此时只可使用相同技术规格的 45° 或 70° 的换能器, 且均面向焊缝。(为控制定位, 换能器必须置于夹具中 — 见图)。发 — 收方式的常规波幅校准只对一个探头进行。当接通双探头作发 — 收检验时, 应保证这一校准并不作为仪器参数而变化。
F	— 必须选用 70°、60° 或 45° 换能器之一对焊缝金属 — 母材界面指示作一步评估 — 以声程最接近垂直有疑问的熔合面为准进行选用。

工艺符号说明

焊缝厚度区域			
No.	顶部 1/4	中部 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° GA	70°	60°
7	60° B	70°	60°
8	70° GA	60°	60°
9	70° GA	60°	45°
10	60° B	60°	60°
11	45° B	70°**	45°
12	70° GA	45°	70° GB
13	45° B	45°	45°
14	70° GA	45°	45°
15	70° GA	70° AB	70° GB

图 6.1, 6.2 和 6.3 的符号说明

不连续性 (缺陷) 的尺寸

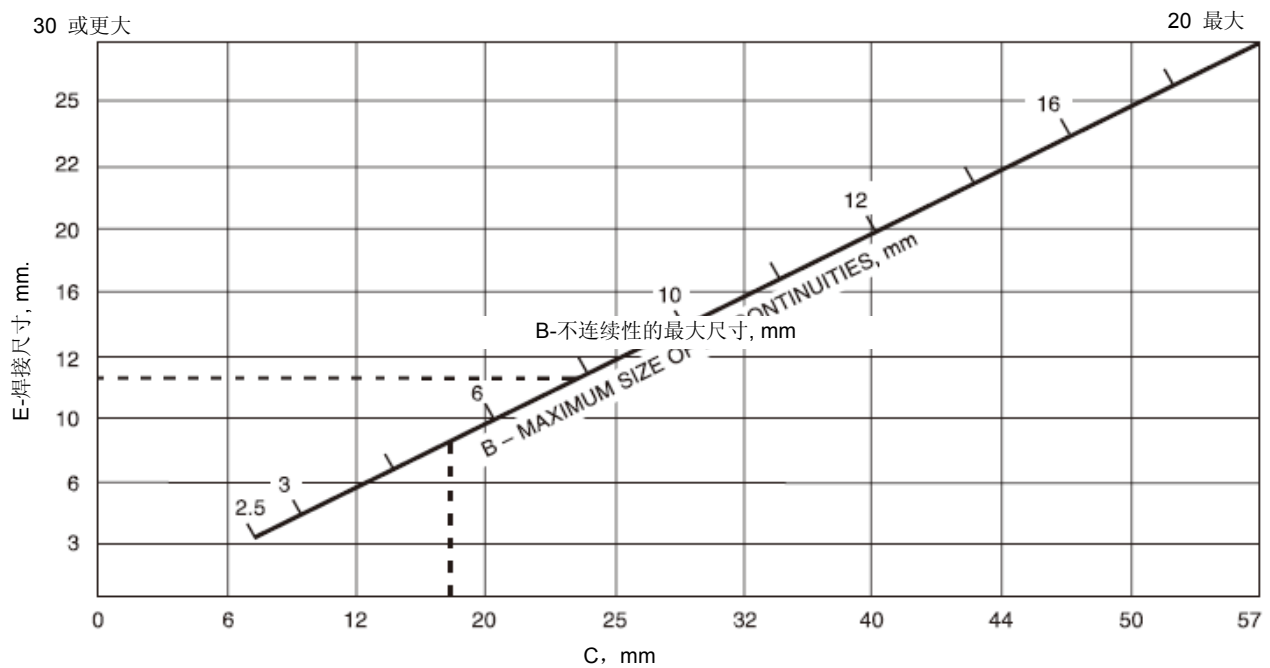
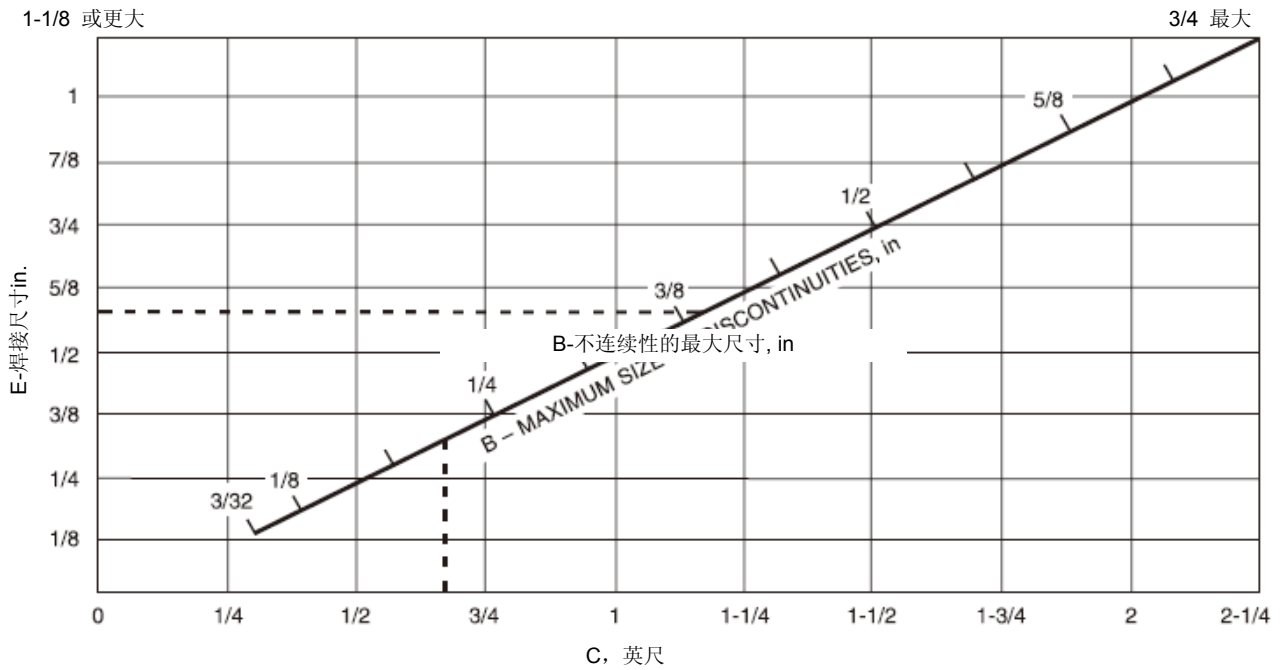
- B = 射线照相不连续性 (缺陷) 的最大可容许尺寸。
 L = 射线照相不连续性 (缺陷) 的最大尺寸。
 L' = 相邻不连续性 (缺陷) 的最大尺寸。
 C = 沿孔隙或熔焊型不连续性 (取决于较大的不连续性缺陷) 边缘之间的纵轴或与相交焊接一边的纵轴测量所得的最小间隙。
 C₁ = 平行于焊缝纵轴测量所得的板材或管材自由边相邻最近或环形焊缝纵向焊缝交叉部分相邻最近的不连续性 (缺陷) 之间的最小可容许距离。
 W = 相邻不连续性 (缺陷) 中的最小尺寸。

材料尺寸

- E = 焊缝尺寸。
 T = CJP 坡口焊缝的板材或管材厚度。

不连续性 (缺陷) 的定义

- 条状不连续性的最大尺寸 (L) 应高于最小尺寸的 3 倍。
- 块状不连续性的最大尺寸 (L) 应小于或等于最小尺寸的 3 倍。
- 簇群应定义为一组不对齐的、尺寸不可验收的独立相邻不连续性 (缺陷), 间隔小于最大独立相邻不连续性 (缺陷) (L') 的最小可容许 (C), 但是簇群中所有不连续性 (缺陷) 的最大尺寸 (L) 总和等于或小于最大可容许独立不连续性 (缺陷) 尺寸 (B)。这些簇群应视为用于评估最小间距的尺寸为 L 的独立不连续性 (缺陷)。
- 成一行的不连续性必须有大约排成一行的每一不连续性的长轴。



注:

1. 从 E 作水平投影至 B, 以确定不连续性的最大容许尺寸 (任何接头或焊缝尺寸)。
2. 从 B 作垂直投影至 C, 以确定不连续性 (尺寸大于或等于 3/32 in. [2.5mm]) 的边缘之间最小容许间距。
3. 相关定义, 参见 246 页的符号说明。

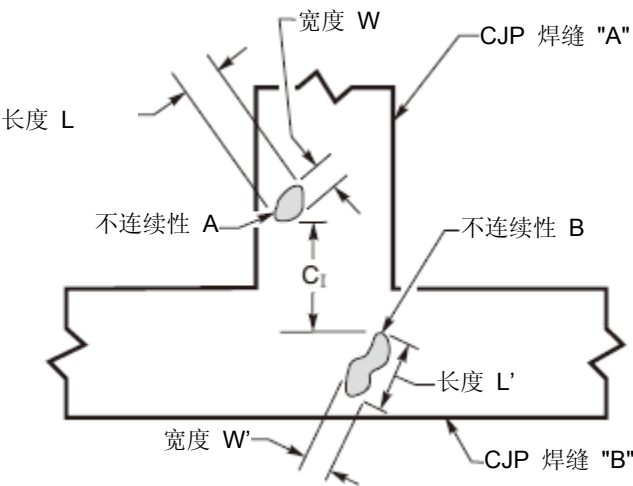
图 6.1 — 静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载的管材连接中不连续性的合格判据 (见 6.12.1)

图 6.1、案例 I, II, III, 和 IV 的图注

不连续性缺陷 A = 焊缝 A 处的环形或条状不连续性缺陷
不连续性缺陷 B = 焊缝 B 处的环形或条状不连续性缺陷

L 和 W = 不连续性缺陷 A 的最大尺寸和最小尺寸
L' 和 W' = 不连续性缺陷 B 的最大尺寸和最小尺寸

E = 焊接尺寸
C₁ = 相邻最近不连续性缺陷边缘之间平行于焊缝 A 纵轴的最短距离



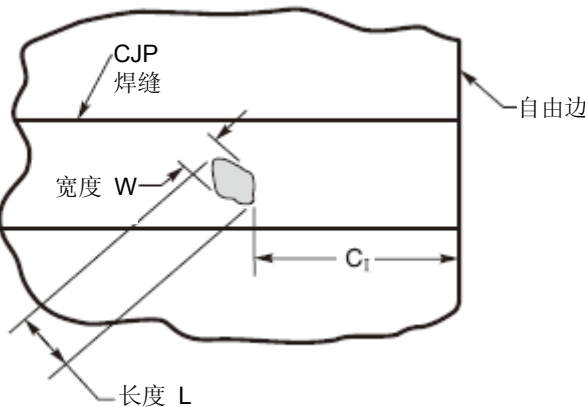
案例 I 不连续性（缺陷）限制^a

不连续性（缺陷）尺寸	限制	条件
L	$< E/3, \leq 1/4 \text{ in [6 mm]}$	$E \leq 2 \text{ in [50 mm]}$
	$\leq 3/8 \text{ in [10 mm]}$	$E > 2 \text{ in [50 mm]}$
C ₁	$\geq 3L$	(A) 一处环形不连续性（缺陷），其他未环形或条状 ^a (B) $L \geq 3/32 \text{ in [2.5 mm]}$

^a 条状不连续性既可在焊缝 A 内，也可在焊缝 B 内，此处图示的目的，是指出条状不连续性 B 在焊缝 B 内。

案例 I – 焊缝交叉处不连续性

图 6.1(续) — 静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载的管材连接中不连续性的合格判据(见 6.12.1)



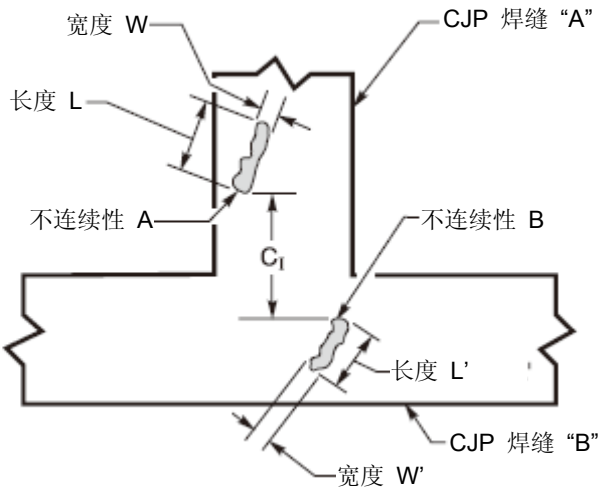
案例 II 不连续性限制

不连续性（缺陷）	限制	条件

尺寸		
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	$\geq 3L$	$L \geq 3/32 \text{ in } [2.5 \text{ mm}]$

案例 II 靠近 CJP 坡口焊缝自由边的不连续性

图 6.1(续)— 静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载的管材连接中不连续性的合格判据(见 6.12.1)

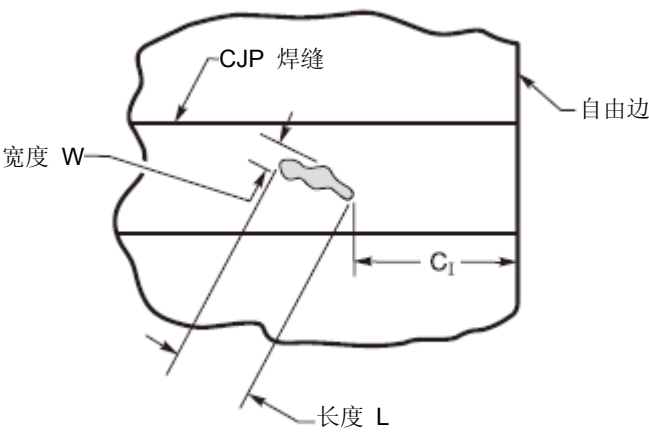


案例 III 不连续性限制

不连续性 (缺陷) 尺寸	限制	条件
L	$\leq 2E/3$	$L/W > 3W$
C_1	$\geq 3L$ 或 $2E$ (取决于较大者)	$L \geq 3/32 \text{ in } [2.5 \text{ mm}]$

案例 III – 焊缝交叉处不连续性

图 6.1(续)— 静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载的管材连接中不连续性的合格判据(见 6.12.1)



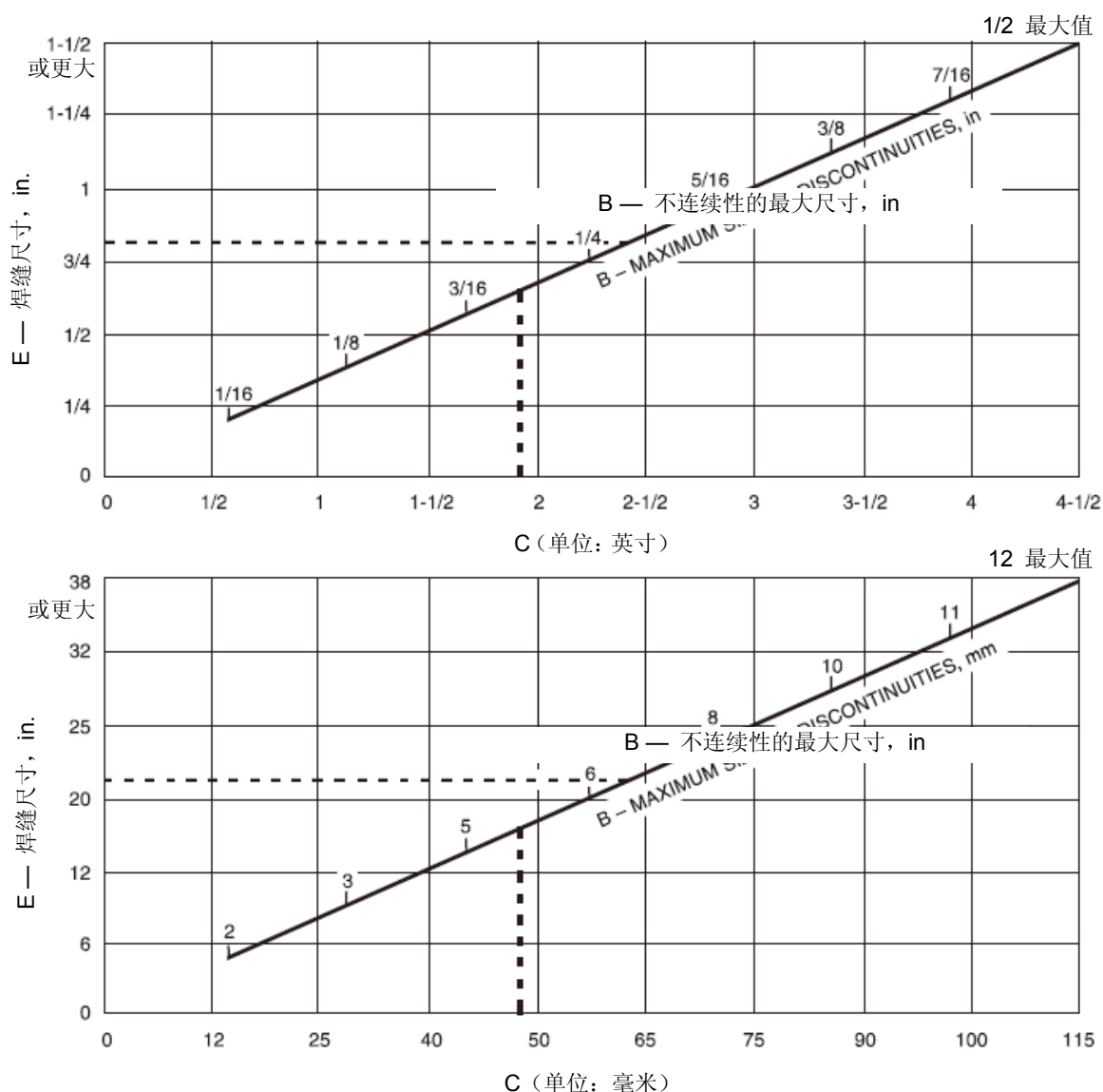
案例 IV 不连续性限制

不连续性 (缺陷) 尺寸	限制	条件

L	$\leq 2E/3$	$L/W > 3$
C_1	$\geq 3L$ 或 $2E$ (取决于较大者)	$L \geq 3/32$ in [2.5 mm]

案例 IV 靠近 CJP 坡口焊缝自由边处的不连续性

图 6.1(续)— 静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载的管材连接中不连续性的合格判据(见 6.12.1)



注:

1. 从 E 作水平投影至 B, 以确定不连续性的最大容许尺寸 (任何接头或焊缝尺寸)。
2. 从 B 作垂直投影至 C, 以确定任何尺寸的两个不连续性的边缘之间最小容许差距。
3. 相关定义, 参见 246 页的符号说明。

图 6.2 — 周期荷载非管材连接拉伸应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.1)

图 6.2 中案例 I, II, III 和 IV 的图注

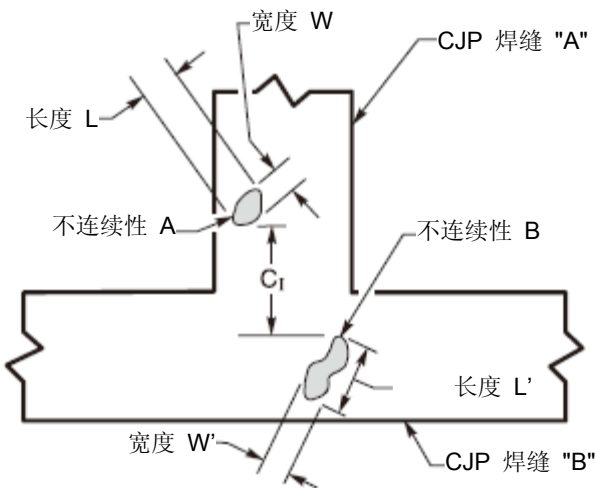
不连续性缺陷 A = 焊缝 A 处的环形或条状不连续性缺陷
不连续性缺陷 B = 焊缝 B 处的环形或条状不连续性缺陷

L 和 W = 不连续性缺陷 A 的最大尺寸和最小尺寸

L' 和 W' = 不连续性缺陷 B 的最大尺寸和最小尺寸

E = 焊接尺寸

C_I = 最近的不连续性缺边到平行于焊缝 A 轴线的最短距离



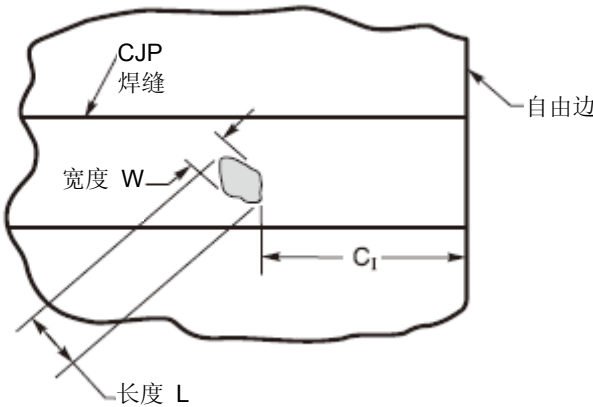
案例 I 不连续性限制^a

不连续性尺寸	限制	条件
L	见图 6.2 曲线 (B 的尺寸)	$L \geq 1/16 \text{ in } [2 \text{ mm}]$
C ₁	见图 6.2 曲线 (C 的尺寸)	--

^a 条状不连续性既可在焊缝 A 内,也可在焊缝 B 内,此处图示的目的,是指出条状不连续性 B 在焊缝 B 内。

案例 I – 焊缝交叉处不连续性

图 6.2 (续) — 周期荷载非管材连接拉伸应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.1)

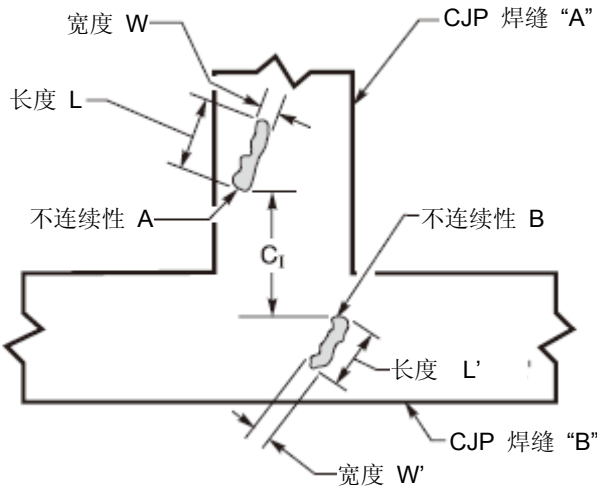


案例 II 不连续性限制

不连续性尺寸	限制	条件
L	见图 6.2 曲线 (B 的尺寸)	$L \geq 1/16 \text{ in } [2 \text{ mm}]$
C ₁	见图 6.2 曲线 (C 的尺寸)	--

案例 II — 靠近 CJP 坡口焊缝自由边的不连续性

图 6.2 (续) — 周期荷载非管材连接拉伸应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.1)

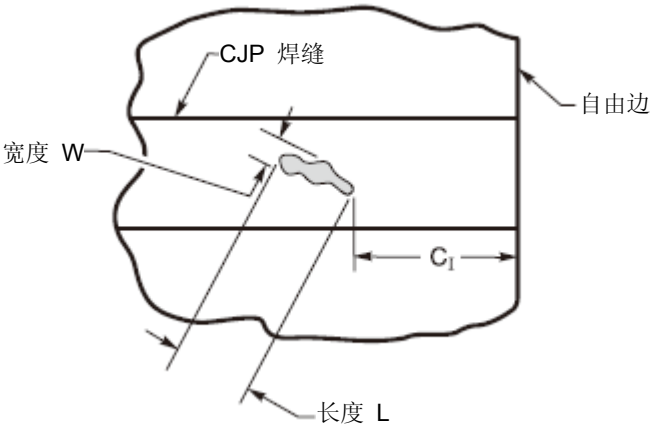


案例 III 不连续性限制

不连续性尺寸	限制	条件
L	见图 6.2 曲线 (B 的尺寸)	$L \geq 1/16 \text{ in } [2 \text{ mm}]$
C ₁	见图 6.2 曲线 (C 的尺寸)	--

案例 III – 焊缝交叉处不连续性

图 6.2 (续) — 周期荷载非管材连接拉伸应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.1)

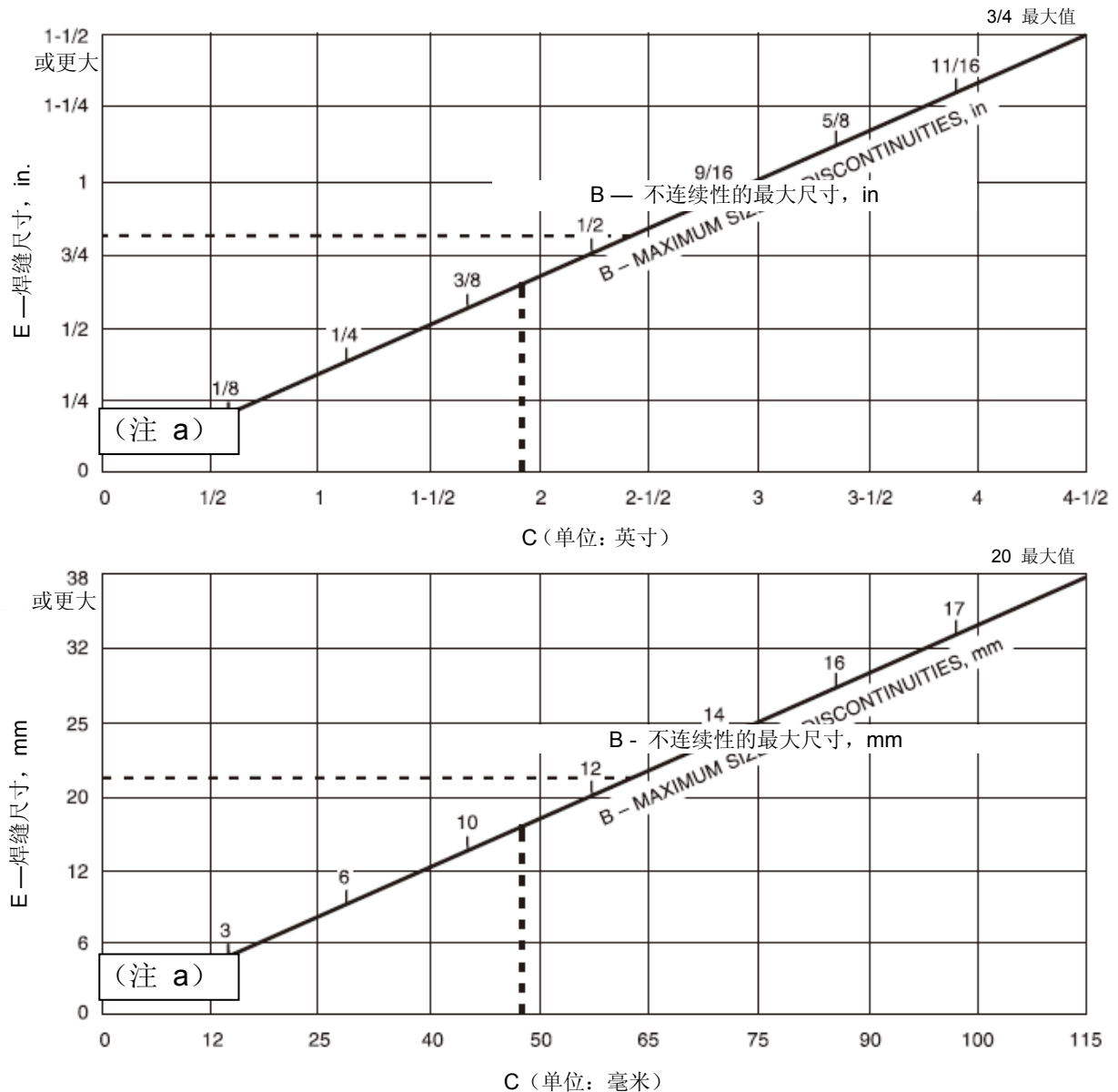


案例 IV 不连续性限制

不连续性尺寸	限制	条件
L	见图 6.2 曲线 (B 的尺寸)	$L \geq 1/16 \text{ in } [2 \text{ mm}]$
C ₁	见图 6.2 曲线 (C 的尺寸)	--

案例 IV 靠近 CJP 坡口焊缝自由边处的不连续性

图 6.2 (续) — 周期荷载非管材连接拉伸应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.1)



- ^a 距板材一边该距离内的不连续性（缺陷）的最大尺寸应为 1/8 英寸 [3 mm]，但是 1/8 英寸 [3 mm] 的不连续性（缺陷）距离该边应为 1/4 英寸 [6 mm] 或以上。从板边缘到此距离内、尺寸小于 1/8 in.[3mm] 的不连续性的总长不得超过 3/16 in.[5mm]。除非不连续性（缺陷）距离小于 2L（L 为较大不连续性缺陷的长度），否则 1/16 英寸 [2 mm] 至小于 1/8 英寸 [3 mm] 的不连续性（缺陷）不得限制于其他位置；在这种情况下，不连续性（缺陷）应测量为等于不连续性（缺陷）和间距总长的长度，并按本图进行评估。

注：

1. 从 E 作水平投影至 B，以确定不连续性的最大容许尺寸（任何接头或焊缝尺寸）。
2. 从 B 作垂直投影至 C，以确定任何尺寸的两个不连续性的边缘之间最小容许差距。
3. 相关定义，参见 246 页的符号说明。

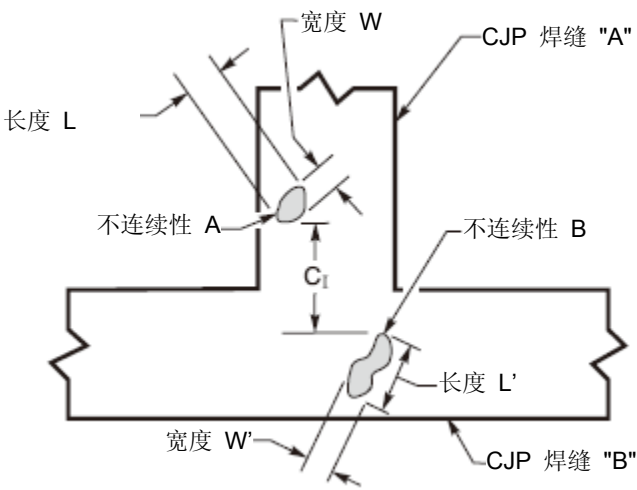
图 6.3 — 周期荷载非管材连接受压应力下不连续性的合格判据（气孔和熔合型不连续性的限制）（见 6.12.2.2）

图 6.3 中案例 I, II, III 和 IV 的图注

不连续性缺陷 A = 焊缝 A 处的环形或条状不连续性缺陷
不连续性缺陷 B = 焊缝 B 处的环形或条状不连续性缺陷

L 和 W = 不连续性缺陷 A 的最大尺寸和最小尺寸
L' 和 W' = 不连续性缺陷 B 的最大尺寸和最小尺寸

E = 焊接尺寸
 C_I = 最近的不连续性缺边到平行于焊缝 A 轴线的最短距离



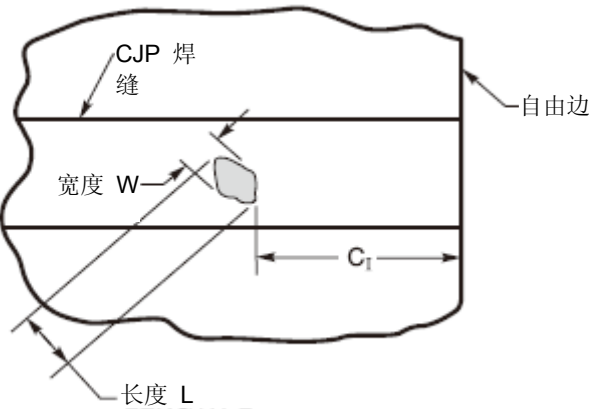
案例 I 不连续性限制^a

不连续性尺寸	限制	条件
L	见图 6.3 曲线 (B 的尺寸)	$L \geq 1/8 \text{ in } [3 \text{ mm}]$
C_I	见图 6.3 曲线 (C 的尺寸)	$C_I \geq 2L \text{ 或 } 2L'$, 取大者

^a 条状不连续性既可在焊缝 A 内, 也可在焊缝 B 内, 此处图示的目的, 是指出条状不连续性 B 在焊缝 B 内。

案例 I – 焊缝交叉处不连续性

图 6.3 (续) — 周期荷载非管材连接受压应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.2)

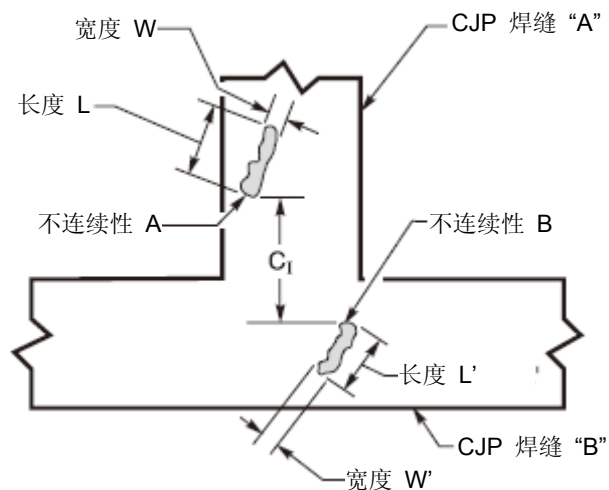


案例 II 不连续性限制

不连续性尺寸	限制	条件
L	见图 6.3 曲线 (B 的尺寸)	$L \geq 1/8 \text{ in } [3 \text{ mm}]$
C_I	见图 6.3 曲线 (C 的尺寸)	$C_I \geq 5/8 \text{ in } [16 \text{ mm}]$

案例 II — 靠近 CJP 坡口焊缝自由边的不连续性

图 6.3 (续) — 周期荷载非管材连接受压应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.2)

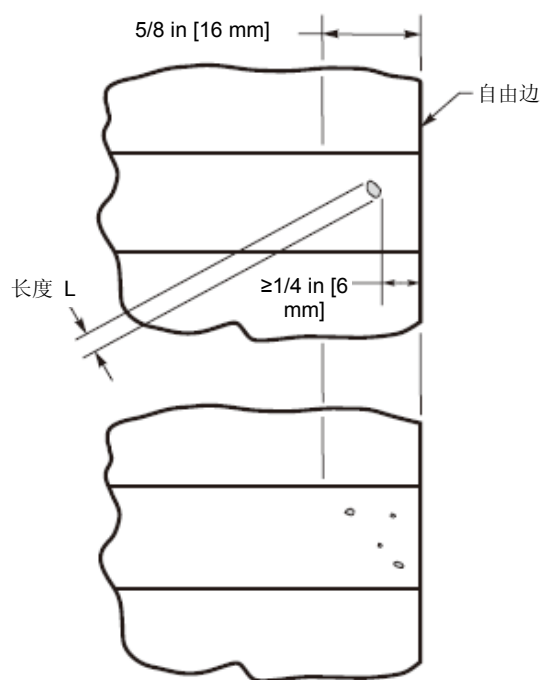


案例 III 不连续性限制

不连续性尺寸	限制	条件
L	见图 6.3 曲线 (B 的尺寸)	$L \geq 1/8 \text{ in } [3 \text{ mm}]$
C_I	见图 6.3 曲线 (C 的尺寸)	$C_I \geq 2L \text{ 或 } 2L'$, 取大者

案例 III - 焊缝交叉处不连续性

图 6.3 (续) — 周期荷载非管材连接受压应力下不连续性的合格判据 (气孔和熔合型不连续性的限制) (见 6.12.2.2)

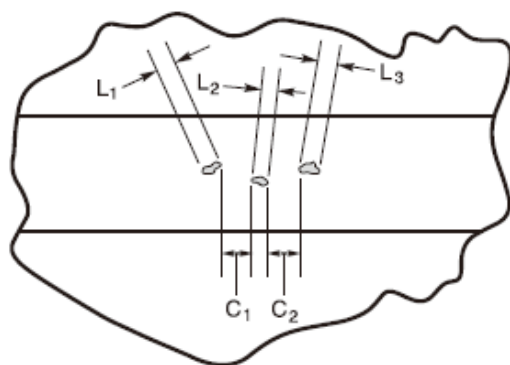


(A) 从自由边到 $1/8$ in [3 mm] 不连续性的最小尺寸

(B) 所有最大不连续性尺寸的和（每个都小于 $1/8$ in [3 mm]），应该等于或小于 $3/16$ in [5 mm]。

注：不连续性之间的尺寸 $\geq 2L$ （ L 为任何两者中之较大者）

案例 IV — 靠近自由边 $5/8$ in. [16mm] 内的不连续性



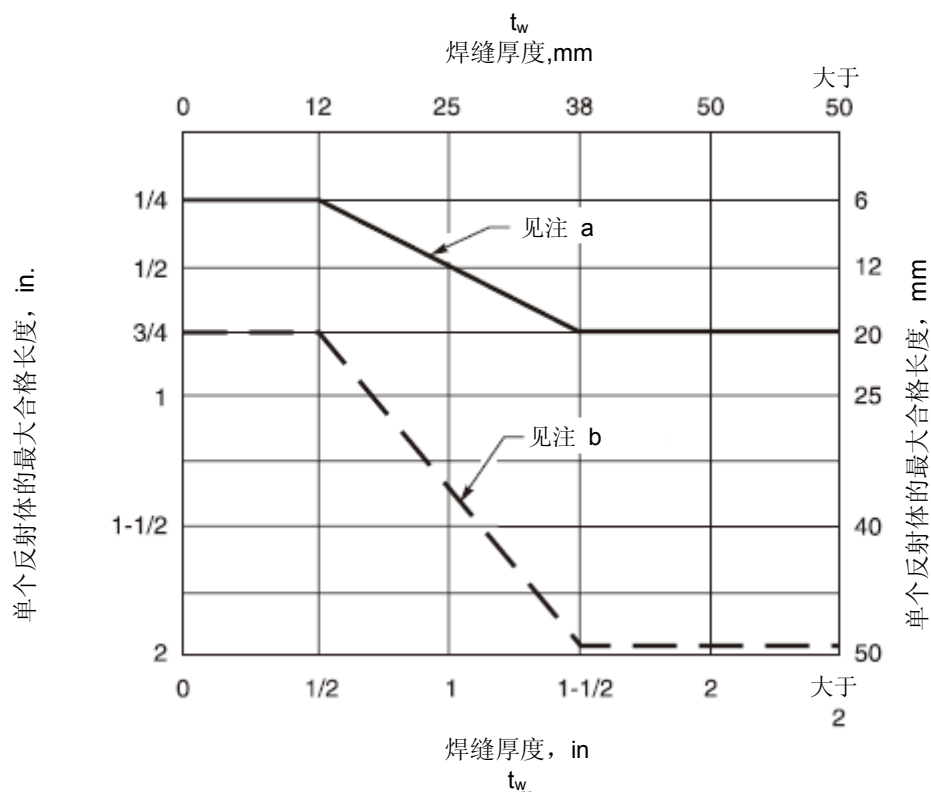
(A) 有 L 尺寸都大于 $1/16$ in [2 mm] 但都小于 $1/8$ in [3 mm]

(B) 如果 $C1$ 小于 $L1$ 和 $L2$ 中的较大者，而 $C2$ 小于 $L2$ 和 $L3$ 中的较大者，则求和 $L1 + L2 + L3 + C1 + C2$ 并按单个不连续性处理

注：上图所示焊缝仅用于解释。这些限制适用于一切位置或焊缝交会处。不连续性的数量也仅仅是为了解释。

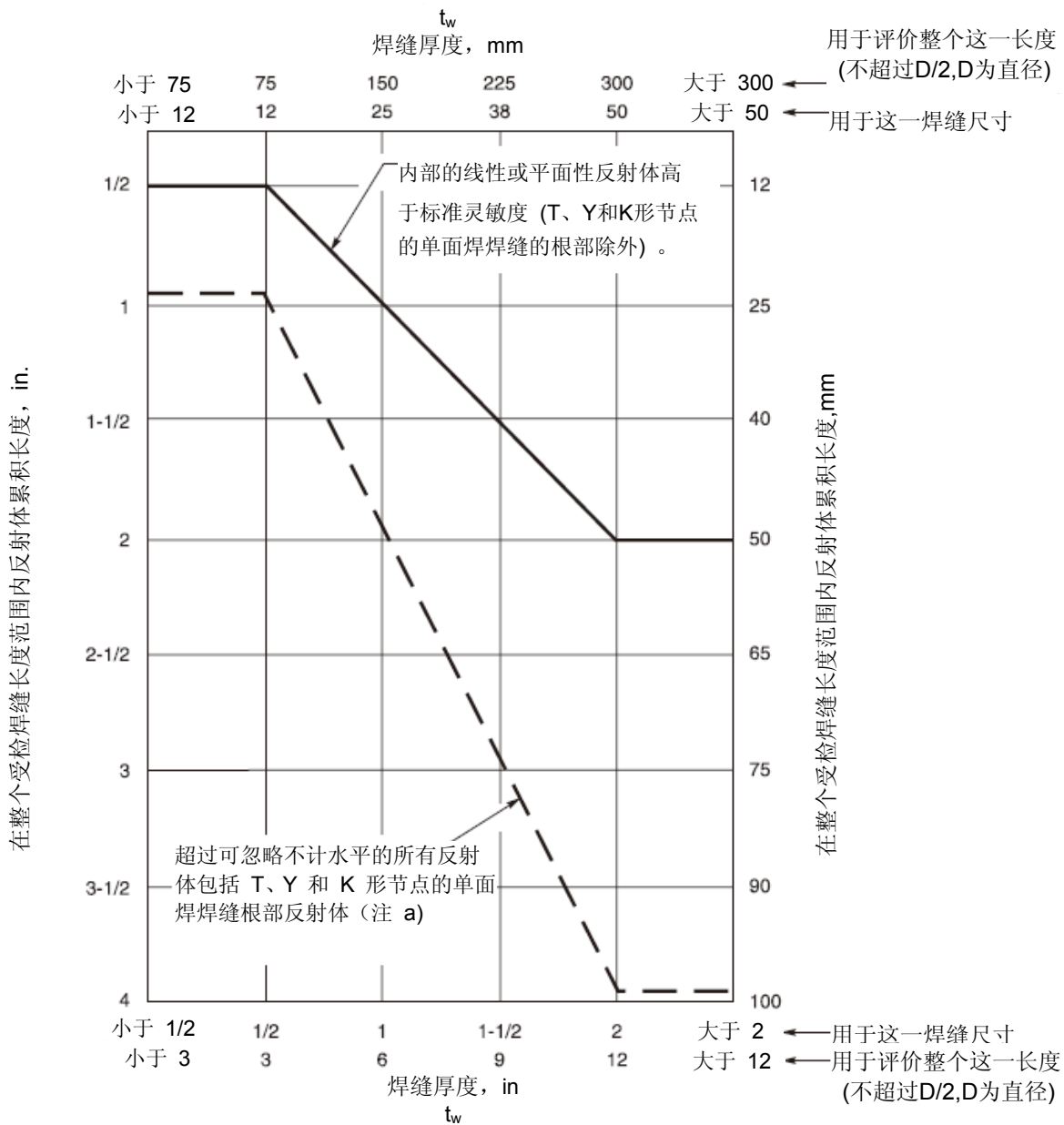
案例 V — 焊缝中任何位置的间距小于 $2L$ 的不连续性 (对单个伤用图 6.3 中曲线 “B” 的尺寸)

图 6.3 （续）— 周期荷载非管材连接受压应力下不连续性的合格判据（气孔和熔合型不连续性的限制）（见 6.12.2.2）



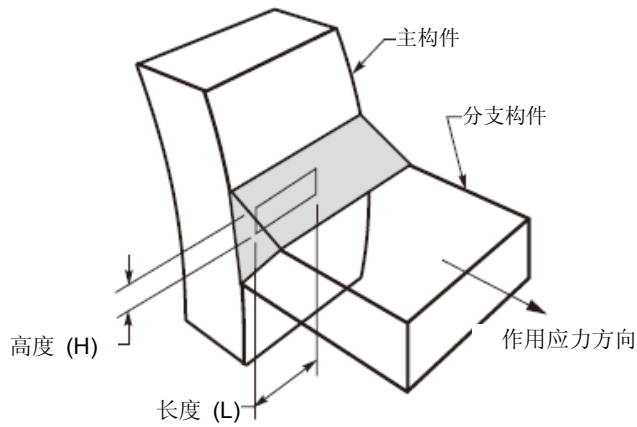
- ^a 内部的线性或平面的反射体高于标准灵敏度 (T、Y 和 K 形连接的单面焊焊缝根部除外 [见图 6.5])。
- ^b 细小的反射体(高于可忽略不计水平直至并包括标准灵敏度) (T、Y 和 K 形连接的单面焊焊缝的根部除外 [见图 6.5])。相邻的反射体，其间隔小于它们的平均长度者，必须按连续的不连续性处理。

图 6.4 – R 级指示 (见 6.13.3.1)

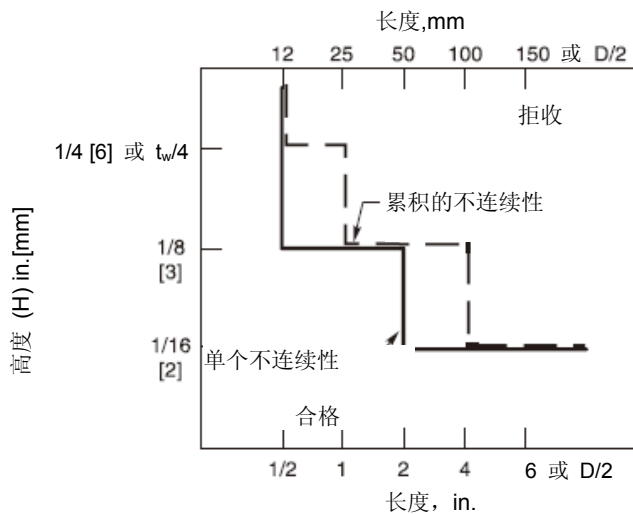


^a 在焊缝的理论尺寸 (图 3.8、3.9、和 3.10 中的“ t_w ”或“L”尺寸) 之外的根部不连续性忽略不计。

图 6.4 (续) - R 级指示 (见 6.13.3.1)



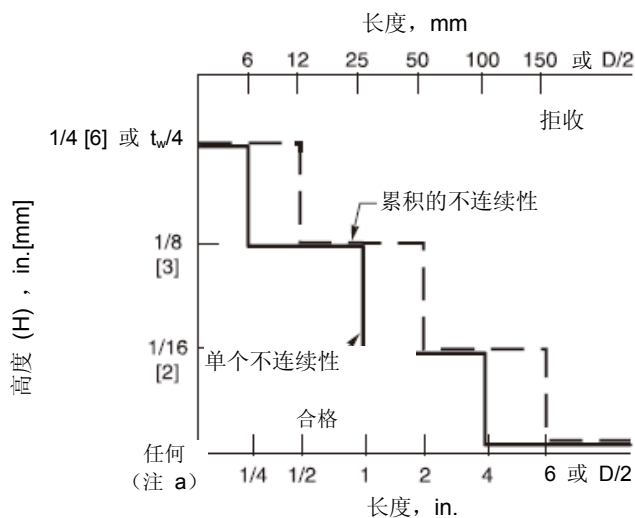
指示的不连续性全部包容在矩形内, L 和 H 为此矩形的长和高。



T、Y 和 K 形节点的根部不连续性

注:

1. 用于管材 T、Y 和 K 形节点的无衬垫仅从一面施焊的完全熔透 (CJP) 焊缝。
2. 在图 3.8、3.9、和 3.10 的详图 C 和 D 中, 根部封底焊缝中的不连续性可忽略不计。

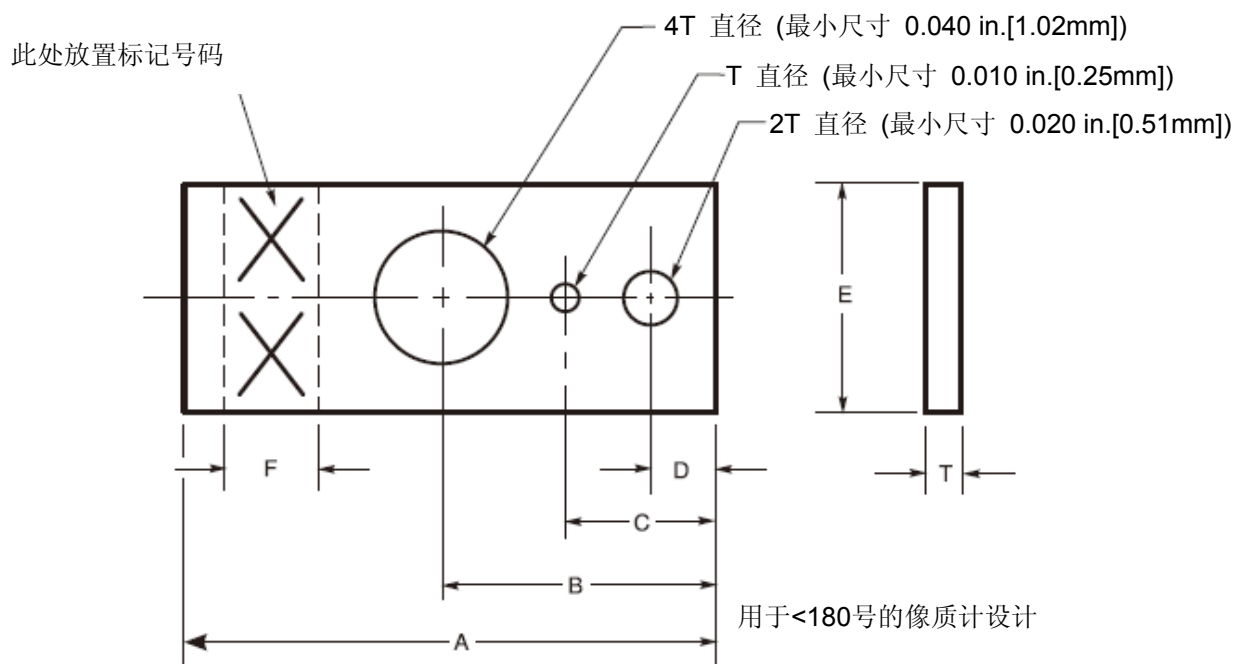


内部反射体和所有其他焊缝

^a 低于标准灵敏度的反射体 (见 6.13.3.2) 忽略不计。

注: 离外表面在 H 或 t/6 距离内的不连续性, 必须作为延伸至焊缝表面的不连续性测定其尺寸。

图 6.5 - X 级指示 (见 6.13.3.2)



像质计 (IQI) 尺寸表
(in)

编号 ^a	A	B	C	D	E	F	IQI 厚度和直径公差
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
80-179	2.250 ±0.030	1.375 ±0.030	0.750 ± 0.030	0.375 ±0.030	1.000 ±0.030	0.375 ± 0.030	±2.225

像质计 (IQI) 尺寸表 (mm)

编号 ^a	A	B	C	D	E	F	IQI 厚度和直径公差
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

^a 5 至 9 号像质计 (IQI) 不是 1T、2T 和 4T。

注：孔径必须准确，且垂直于 IQI 表面。请勿倾斜。

图 6.6 — 孔型像质计 (IQI) (见 6.17.1)

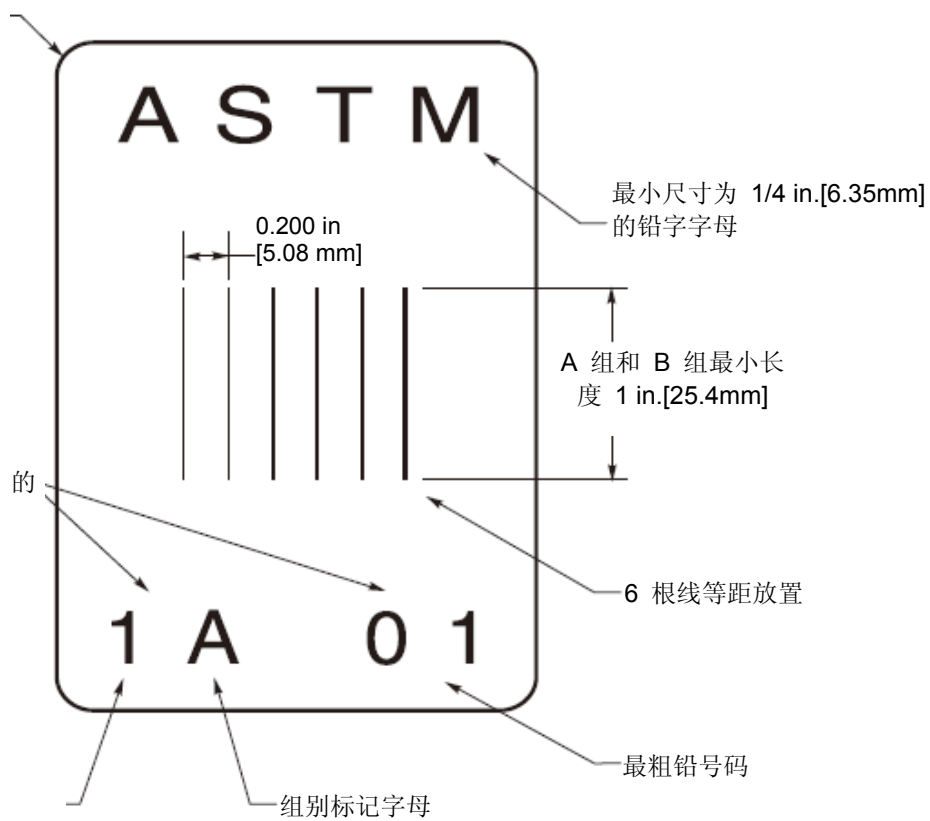
(再版获得美国试验和材料学会批准，版权。)

封装用两片透明乙烯塑料（最大厚度为 0.060 in.[1.52mm]）

A 组和 B 组,两线轴线间最小距离不小于线径的 3 倍,但不大于 0.200 in.[5.08mm]

最小尺寸为 1/4 in.[6.35mm] 的铅字母和号码

材料等级号



像质计（线型透度计）尺寸

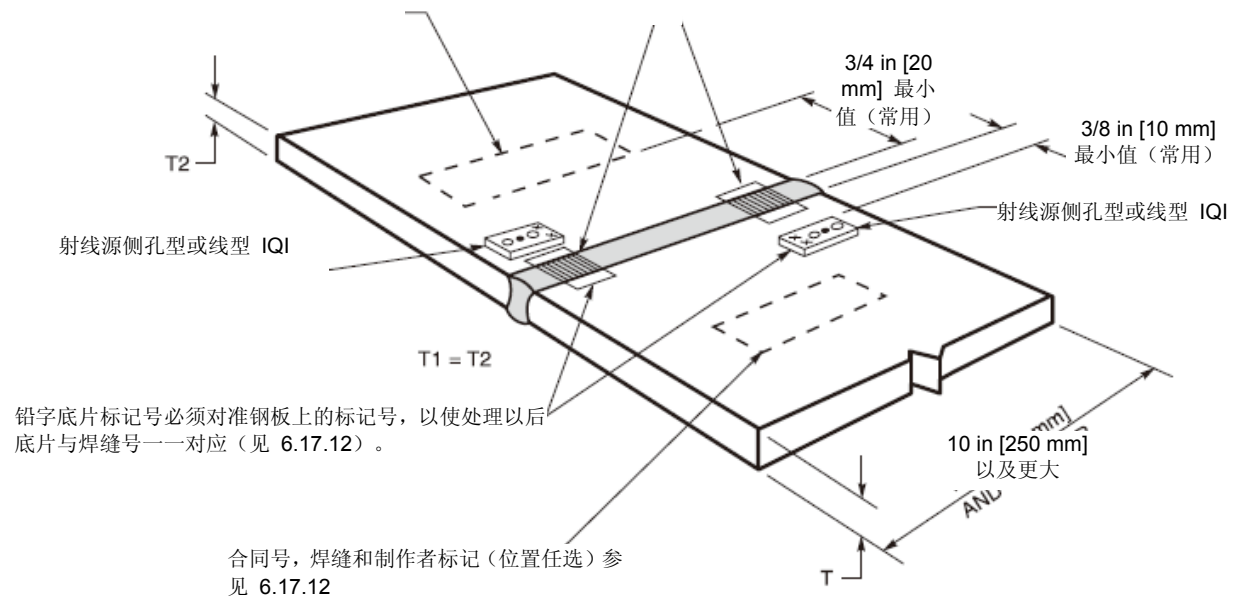
线径, in. [mm]			
A 组	B 组	C 组	D 组
0.0032 [0.08]	0.010 [0.25]	0.032 [0.81]	0.10 [2.5]
0.004 [0.1]	0.013 [0.33]	0.040 [1.02]	0.125 [3.2]
0.005 [0.13]	0.016 [0.4]	0.050 [1.27]	0.160 [4.06]
0.0063 [0.16]	0.020 [0.51]	0.063 [1.6]	0.20 [5.1]
0.008 [0.2]	0.025 [0.64]	0.080 [2.03]	0.25 [6.4]
0.010 [0.25]	0.032 [0.81]	0.100 [2.5]	0.32 [8]

图 6.7 — 线型像质计（见 6.17.1）

（再版获得美国试验和材料学会批准，版权。）

合同号, 焊缝和制作者标记 (位置任选)
参见 6.17.12

补充的线型 IQI (注 a)

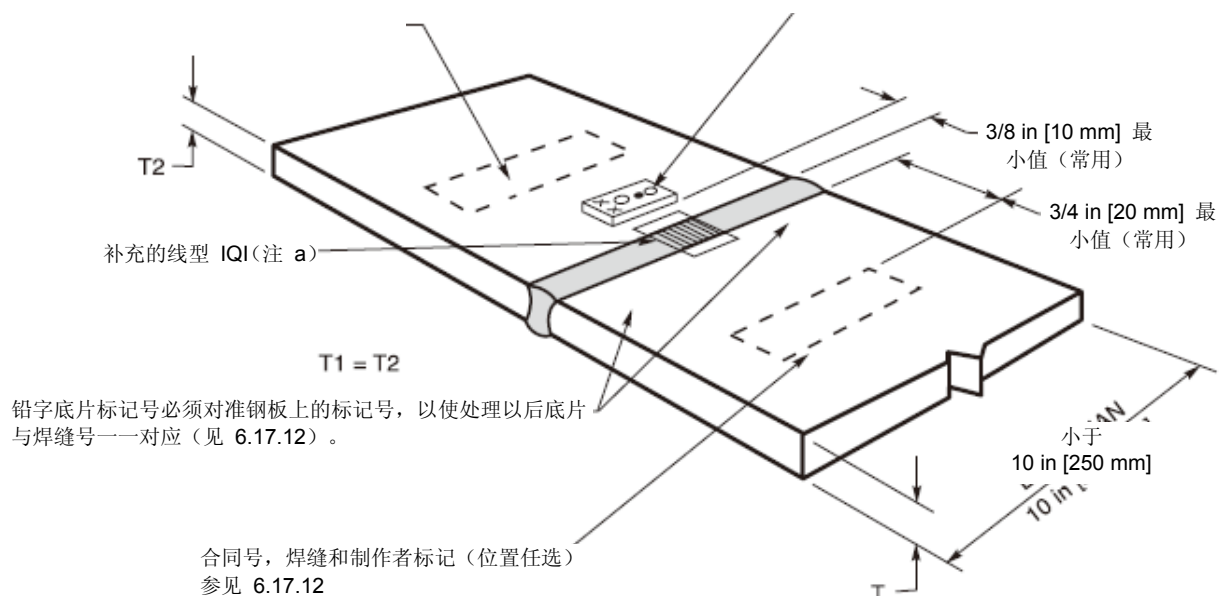


^a 经过工程师同意, 允许将射线源侧放置补充 IQI 的办法应用于管子射线照相检测和其他情况。

图 6.8 — 接头厚度大致相等而长度等于或大于 10 in. [250mm] 时 RT 的标记和孔型或线型 IQI 的放置部位 (见6.17.7)

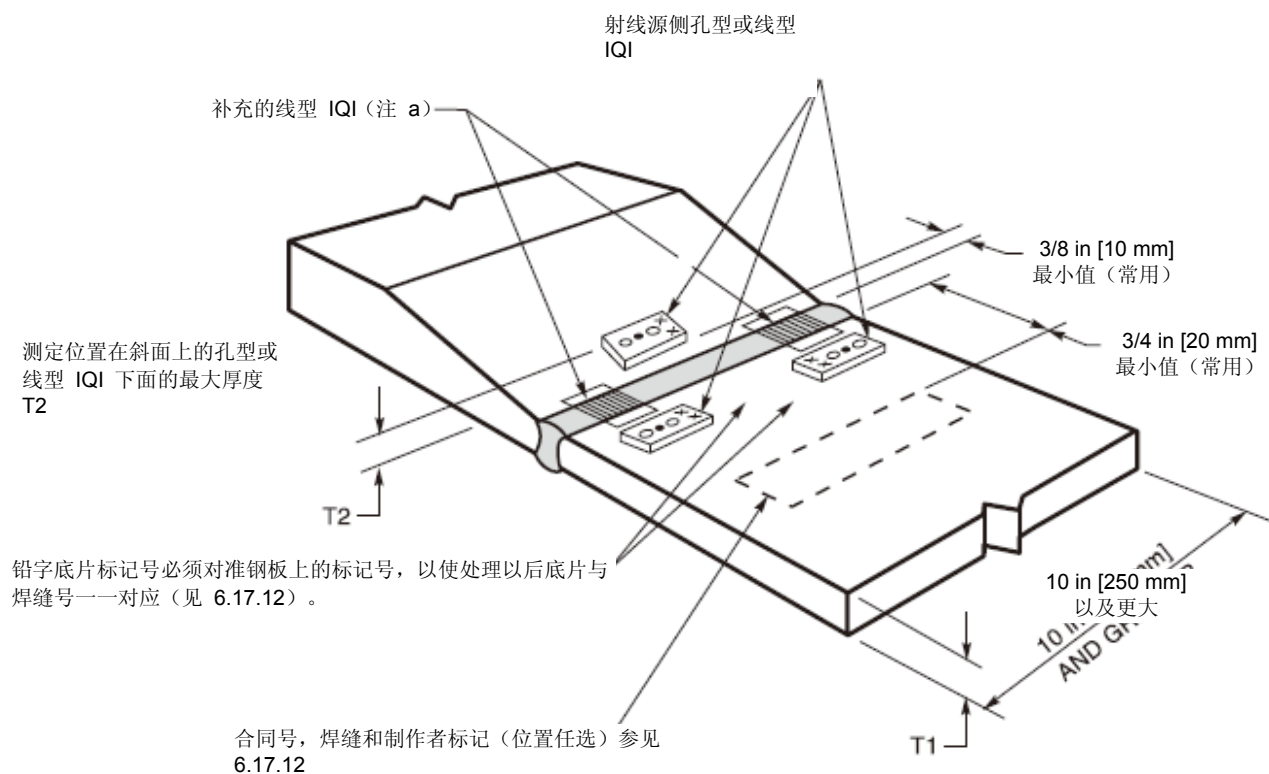
合同号, 焊缝和制作者标记 (位置任选) 参见 6.17.12

射线源侧的孔型或线型 IQI 可以沿接头任何部位和任何一侧放置



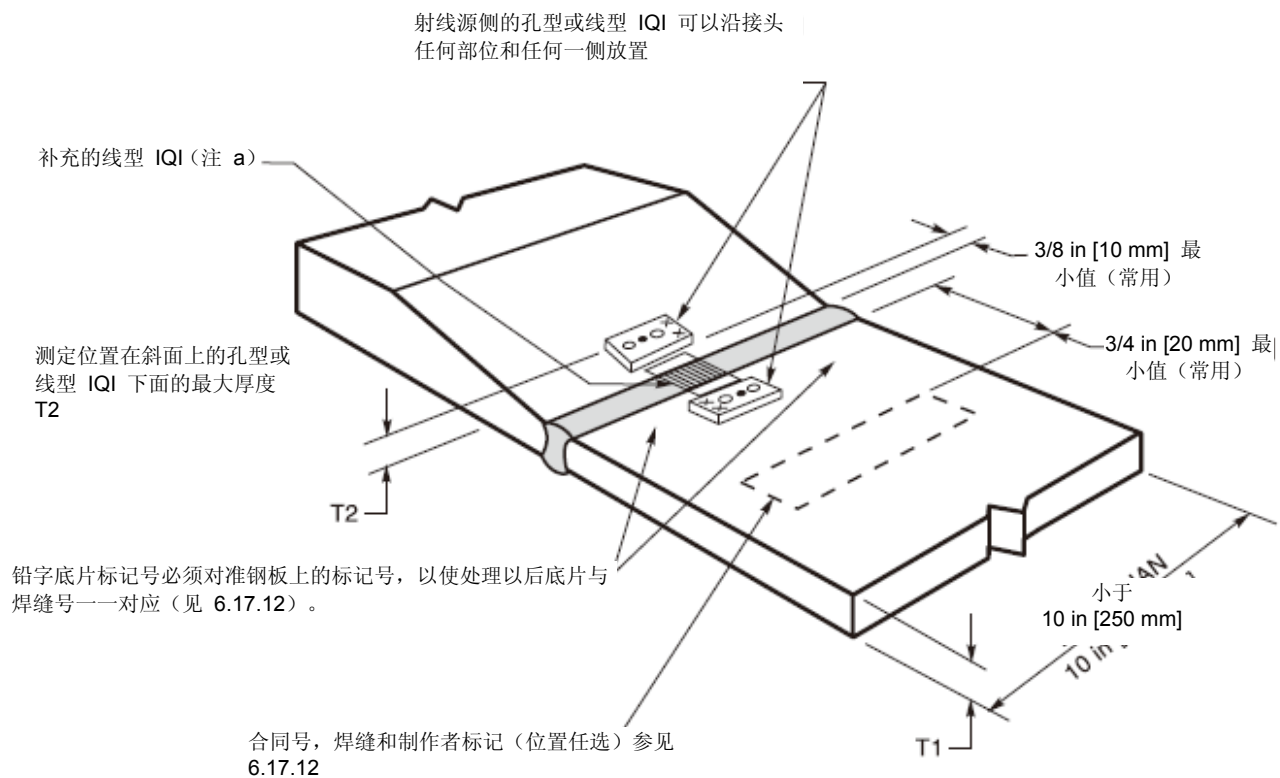
^a 经过工程师同意, 允许将射线源侧放置补充 IQI 的办法应用于管子射线照相检测和其他情况。

图 6.9 — 接头厚度大致相等而长度小于 10 in. [250mm] 时 RT 的标记和孔型或线型 IQI 的放置部位 (见 6.17.7)



^a 经过工程师同意, 允许将射线源侧放置补充 IQI 的办法应用于管子射线照相检测和其他情况。

图 6.10 — 过渡接头长度等于或大于 10 in. [250mm] 时 RT 的标记和孔型或线型 IQI 的放置部位 (见 6.17.7)



^a 经过工程师同意，允许将射线源侧放置补充 IQI 的办法应用于管子射线照相检测和其他情况。

图 6.11 — 过渡接头长度小于 10 in. [250mm] 时 RT 的标记和孔型或线型 IQI 的放置部位 (见 6.17.7)

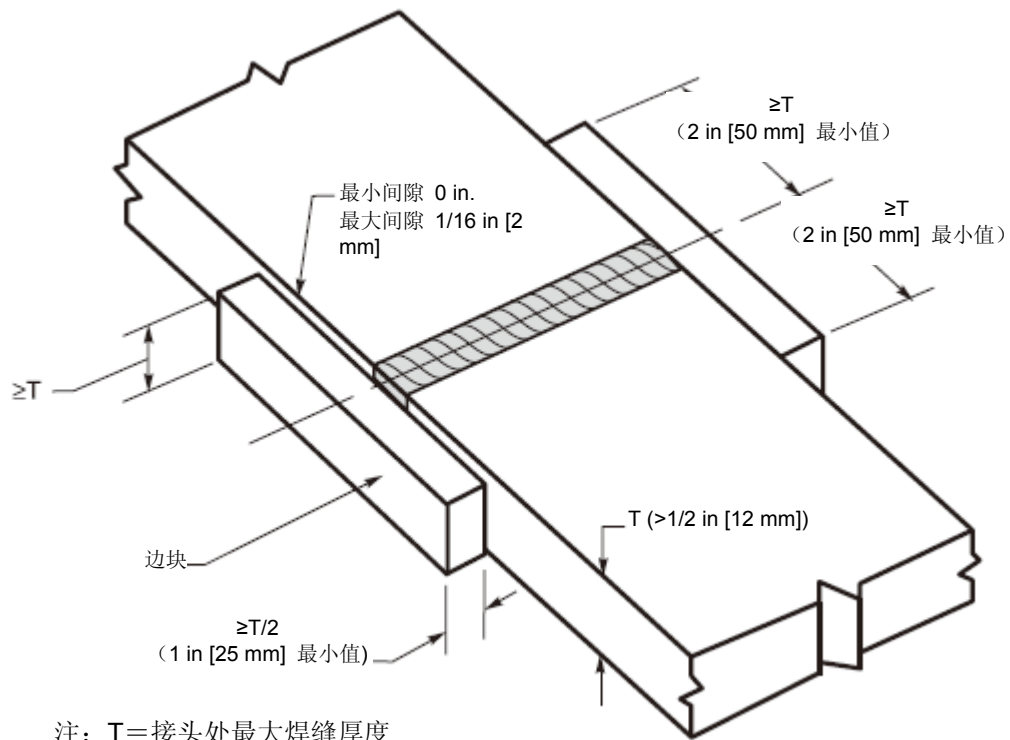


图 6.12 — RT 边块 (见 6.17.13)

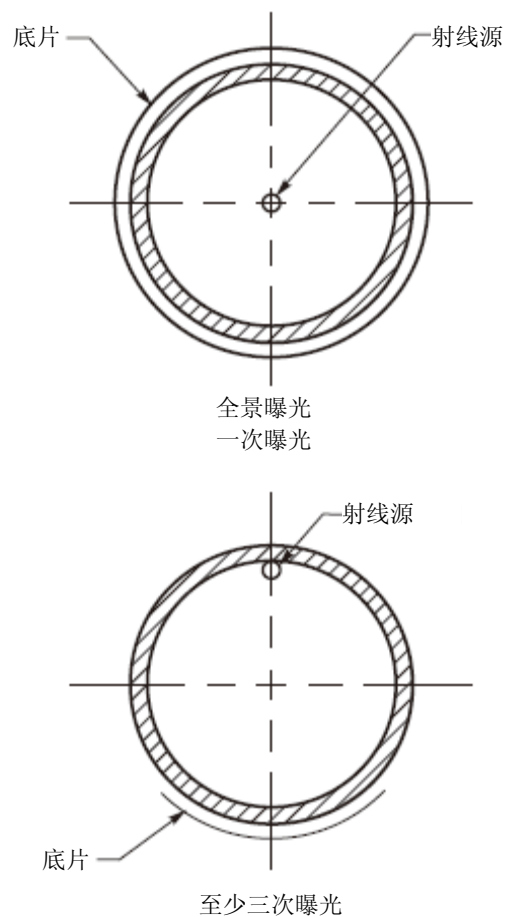


图 6.13 — 单壁透照—单壁成像 (见 6.18.1.1)

至少三次曝光

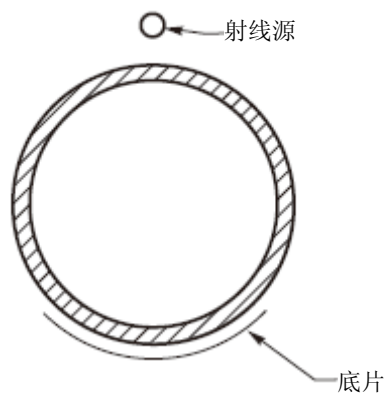


图 6.13 — 单壁透照—单壁成像 (见 6.18.1.1)

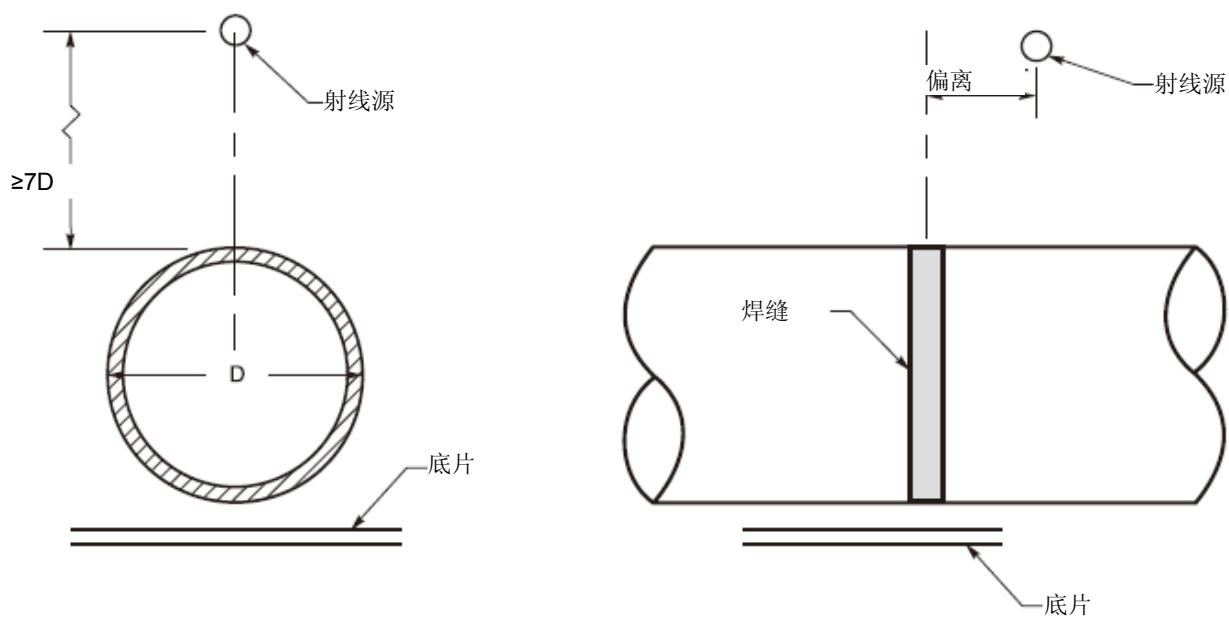


图 6.15 — 双壁透照—双壁（椭圆形）成像，最少二次曝光（见 6.18.1.3）

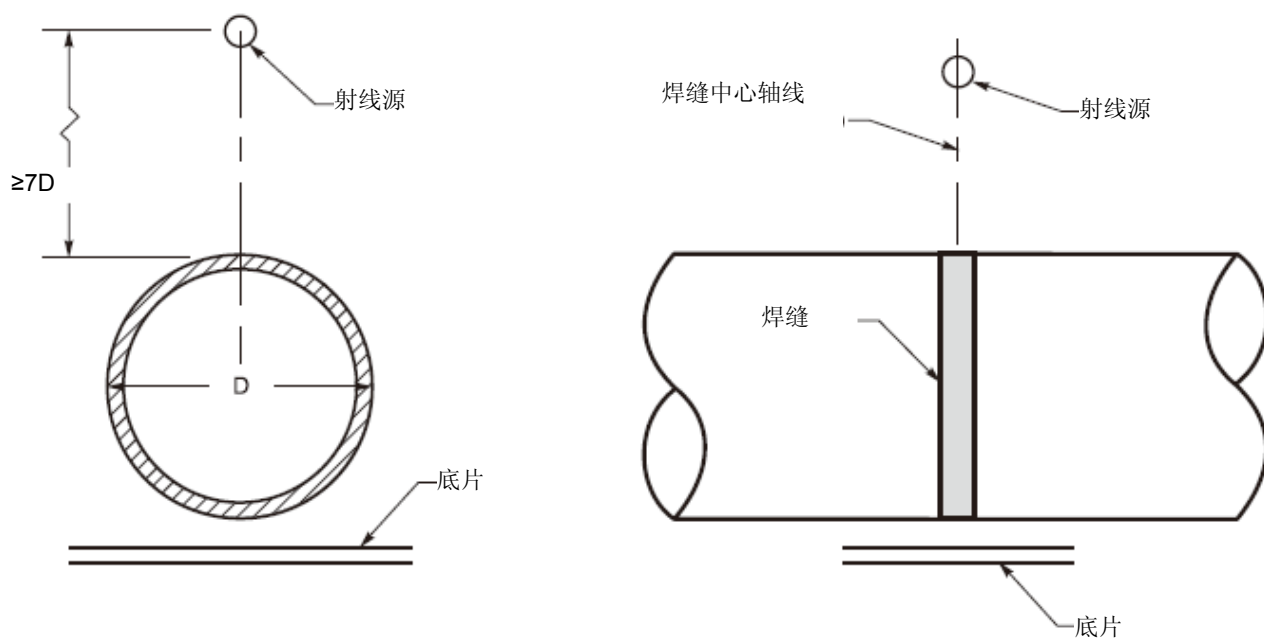


图 6.16 — 双壁透照—双壁成像，最少三次曝光（见 6.18.1.3）

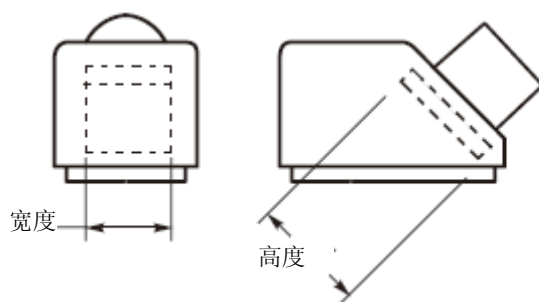


图 6.17 — 换能器晶体 (见 6.22.7.2)

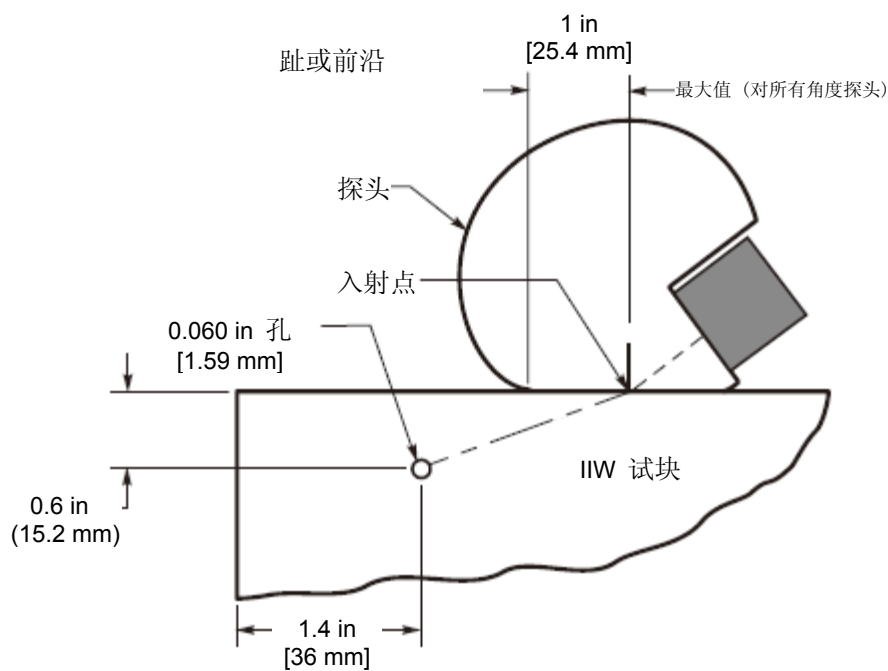
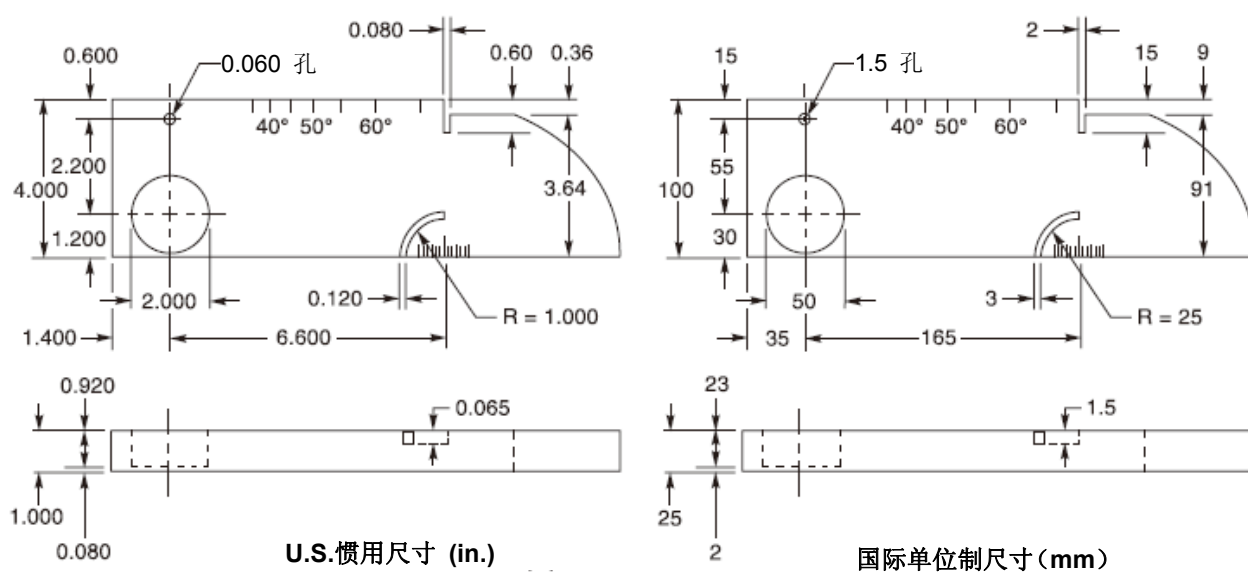


图 6.18 — 用 IIW 对比试块校准探头的方法 (见 6.22.7.7)



U.S.惯用尺寸 (in.)

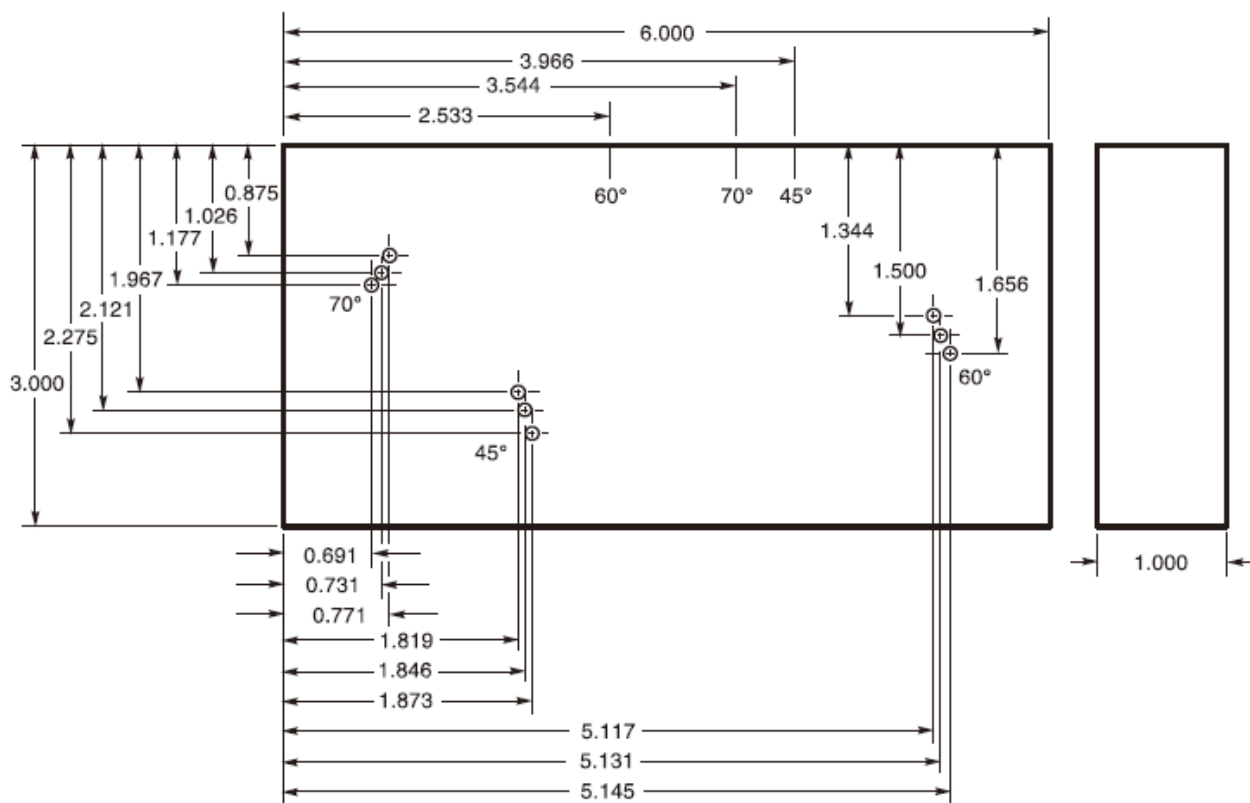
国际单位制尺寸 (mm)

注:

1. 对比或校准时有关各表面之间的尺寸允许误差必须在标示值 ± 0.005 in. [0.13 mm] 的范围内。

2. 接受并反射声波所有表面的最大粗糙度必须为 125 μin [3.17 μm] r.m.s.。
3. 所有材料必须为 ASTM A36 钢材或声学上等效的材料。
4. 所有孔的内壁必须光滑，且必须对材料表面钻成 90° 的孔。
5. 所有刻度线与标记必须在材料表面上加工成凹槽，以使标定线持久耐用。
6. 上述所注各条适用于图 6.19 和图 6.20。

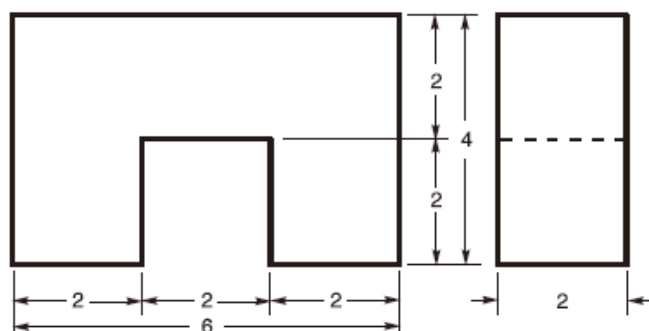
图 6.19 — 国际焊接学会 (IIW) 超声校准块 (见 6.23.1)



注：所有孔径为1/16 in.

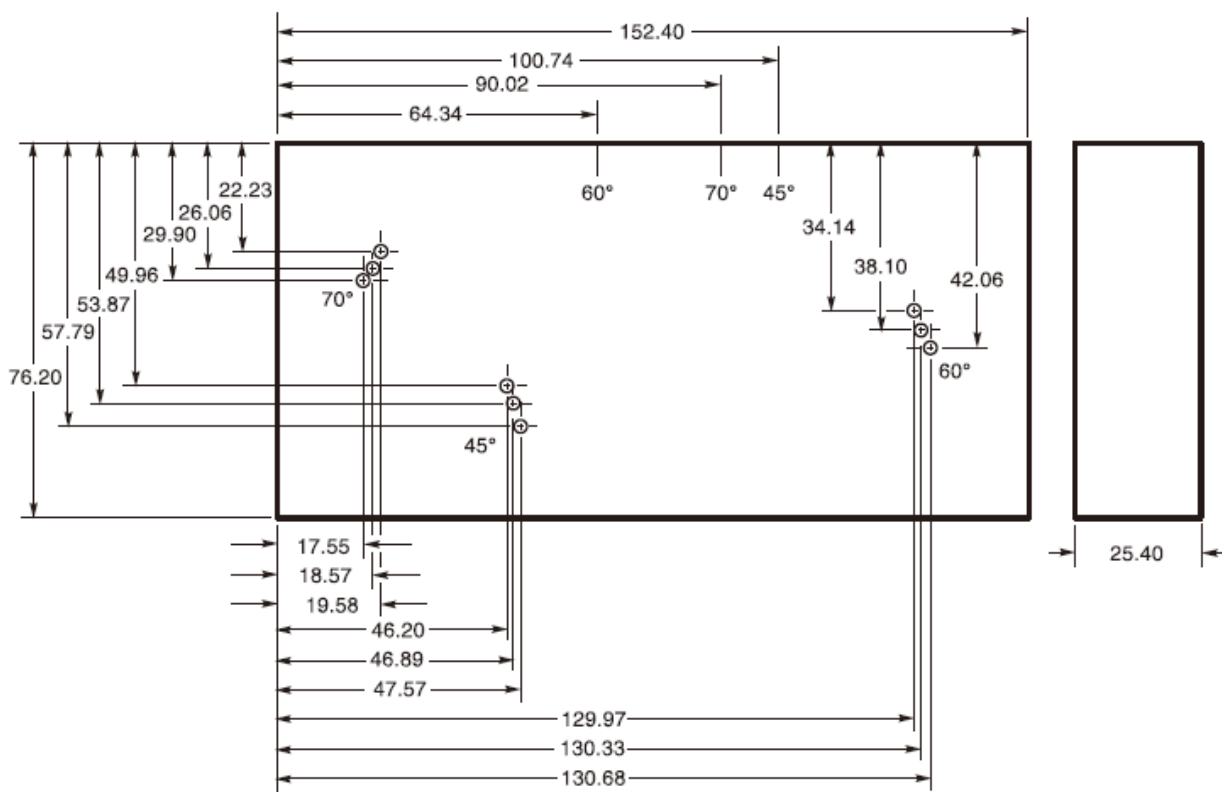
尺寸为英寸

RC - 分辨力对比试块



类型-距离和灵敏度对比试块

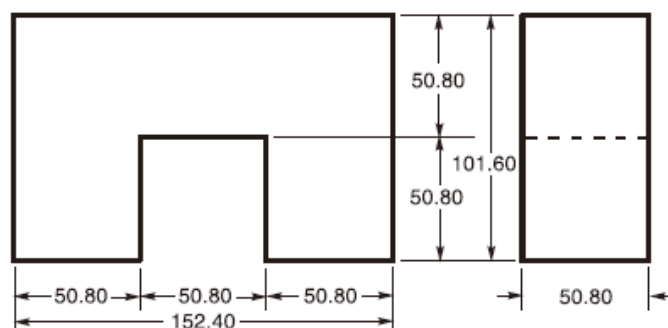
图 6.20 — 鉴定试块 (见 6.23.3)



注：所有孔径为1.59mm

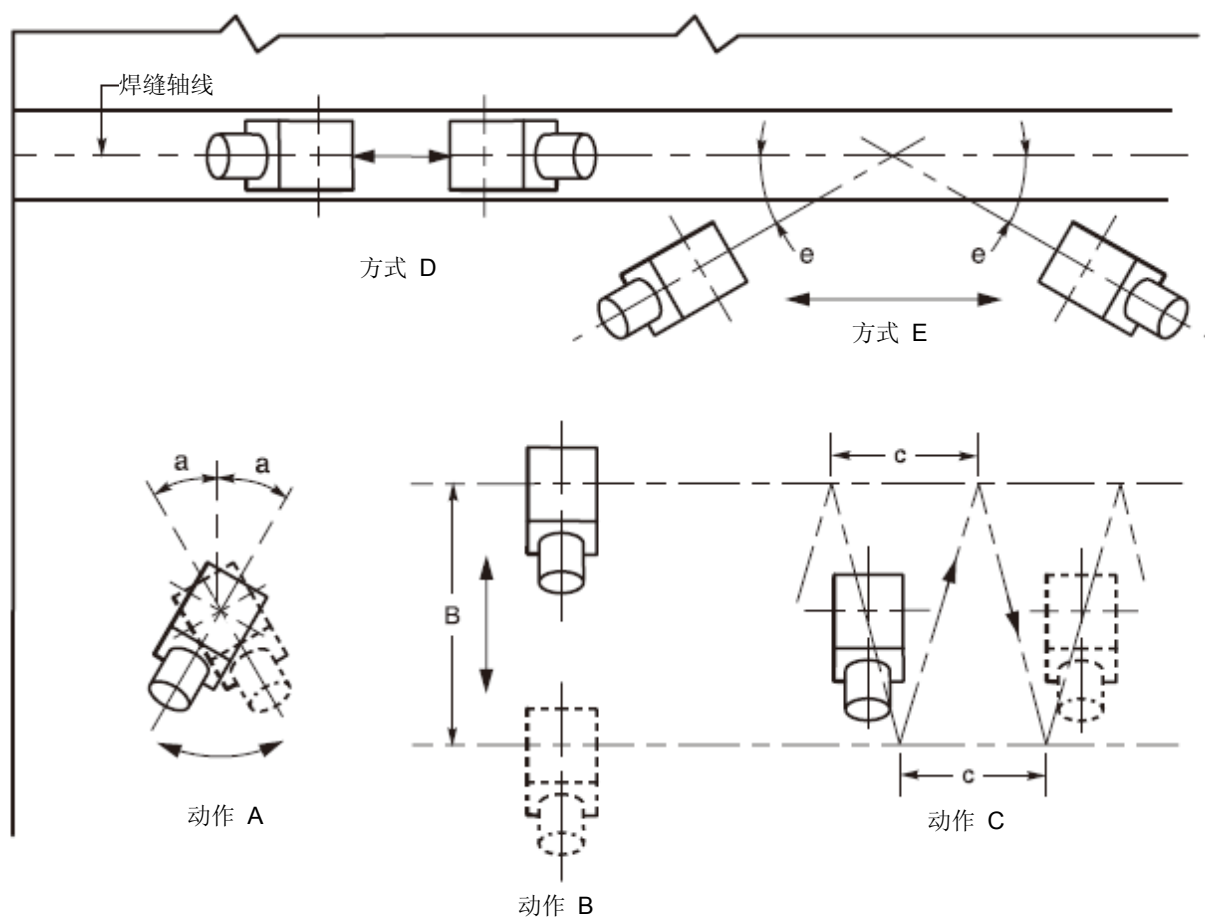
尺寸为毫米

RC-分辨率对比试块



类型-距离和灵敏度对比试块

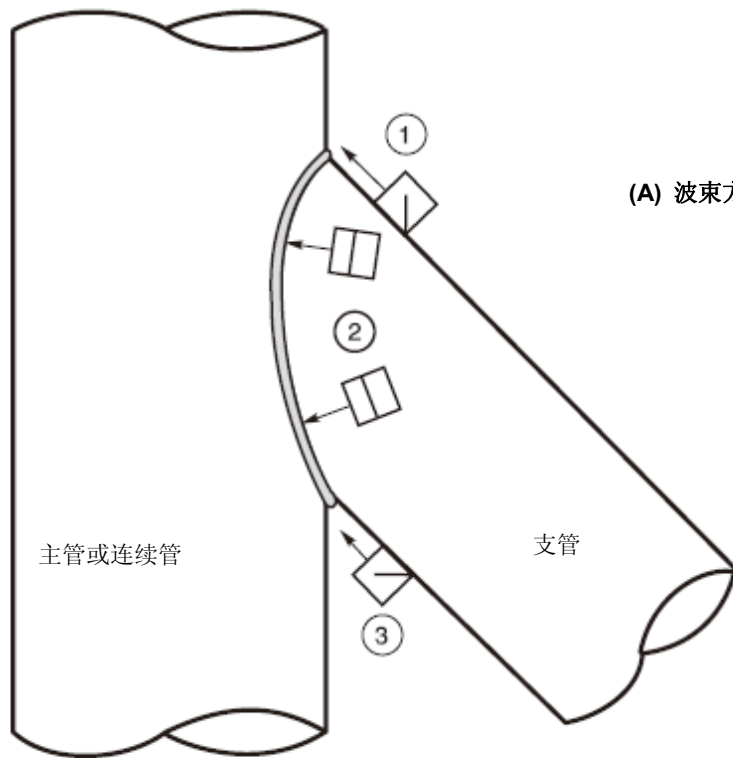
图 6.20 (续) — 鉴定试块 (见 6.23.3) (公制)



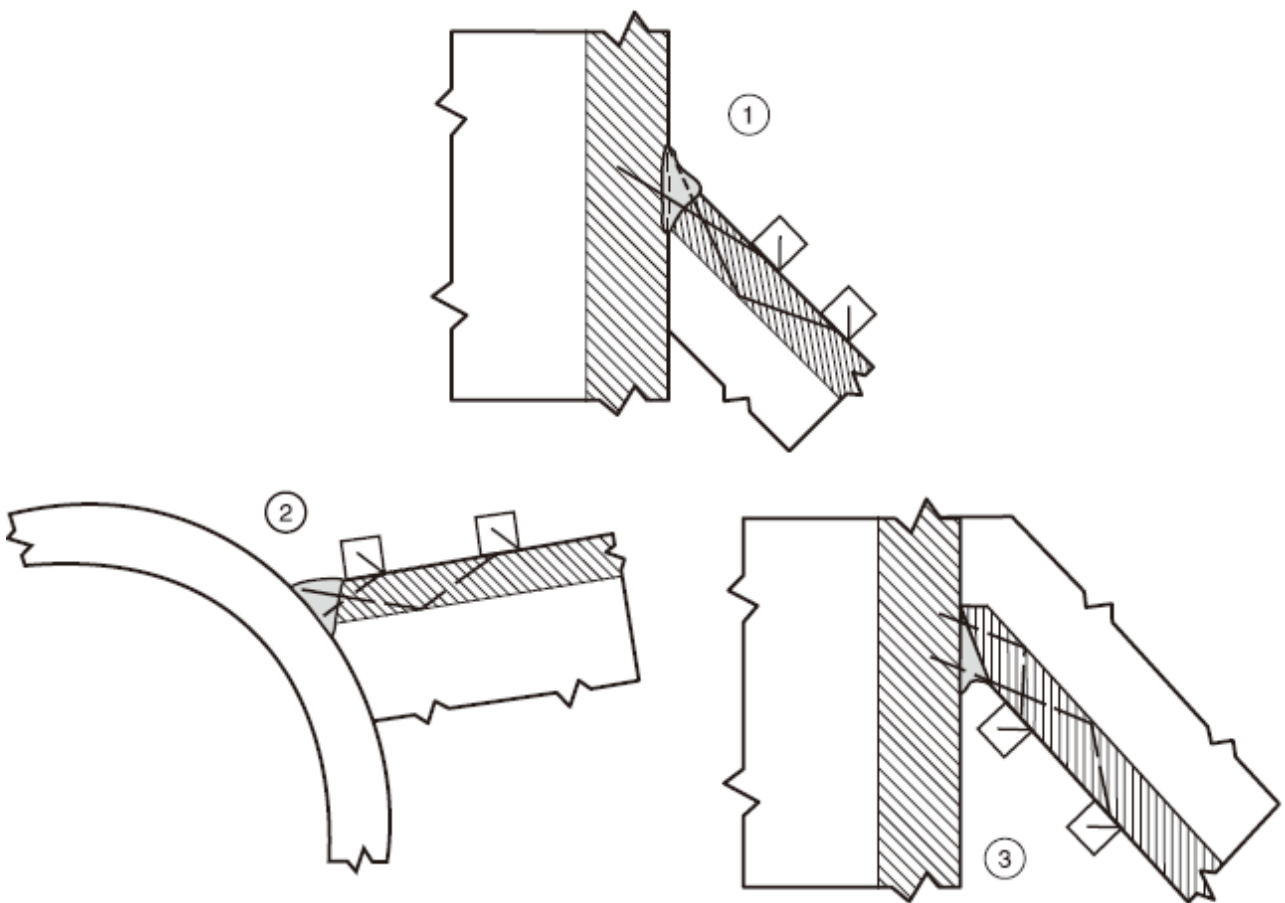
注:

1. 除方式 D 直接在焊缝轴线上操作外,其余检测方式都对称于焊缝轴线。
2. 必须从焊缝轴线的两边都进行检测, 只要该处可作机械处理。

图 6.21 — UT 扫查方式平面图 (见 6.32)



(A) 波束方向。保持波束垂直于焊缝。



(B) V形声程。当需要时用一次波法或多次波法且配合各种角度以覆盖包括根部区域在内的整个焊缝。

图 6.22 — 扫查技术 (见 6.27.5)

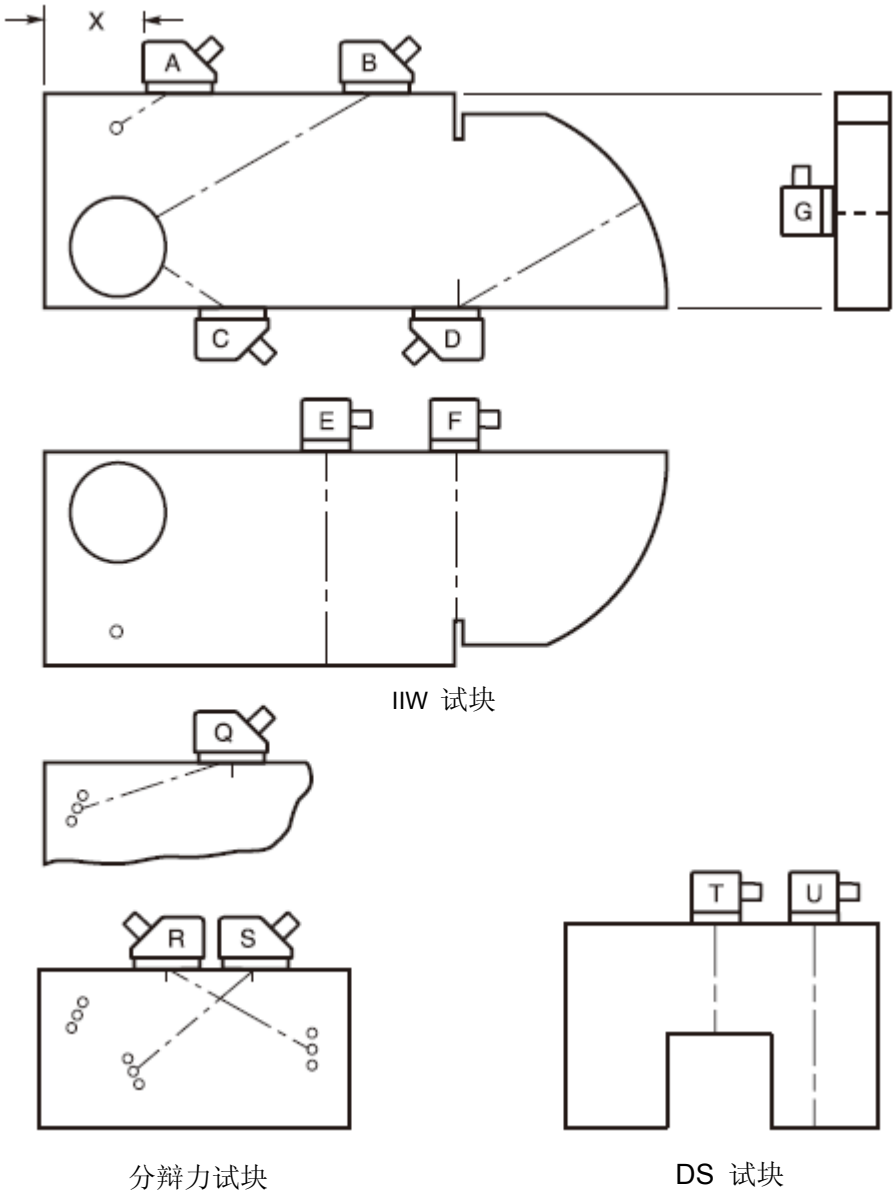


图 6.23 — 换能器位置（典型的）（见 6.29）

7. 螺柱焊接

7.1 范围

第 7 章包括将钢螺柱焊于钢材的一般要求，并规定了特定要求：

- (1) 钢螺柱的机械性能和材料要求以及螺柱基座的质量鉴定要求。
- (2) 应用鉴定试验、预生产测试、操作员资格鉴定、工艺。
- (3) 生产过程中螺柱焊接的作业、制造/安装和检查。
- (4) 螺柱制造商有关螺柱基座可焊性的证明。

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)。参见 C7.6.1 的指导。

7.2 一般要求

7.2.1 螺柱设计。螺柱必须合理设计，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、规范或特殊条款规定。有关头部突出型螺柱相关信息，可参见图 7.1。其余可供选择的头部轮廓形状可以采用，但要通过力学性能和埋置试验，以证实达到设计的足额的强度，并取得工程师的认可。

7.2.2 电弧罩。每个螺柱均应配备由热绝缘陶瓷或其他使用材料制成的电弧罩（包头）。

7.2.3 焊剂。对于每一之间大于等于 5/16 in. [8 mm] 的螺柱，应提供合适的脱氧电弧稳定焊剂进行焊接。对于直径小于 5/16 in. [8 mm] 的螺柱可使用也可不采用焊剂。

7.2.4 螺柱底座。需评定的螺柱底座，必须通过 7.9 中规定的试验。必须做到只有螺柱底座评定合格的螺柱才能使用。制造商应自费根据 7.9 对螺柱座进行质量鉴定。生产中使用的电弧罩应与质量鉴定试验中使用的相同，或者也可遵循制造商的建议。当工程师有所要求时，承包商应提供下列信息：

- (1) 螺柱和电弧罩的说明。
- (2) 制造商提供的证明，表示螺柱座满足 7.9 中的质量要求。
- (3) 评定试验数据

7.2.5 螺柱成品

7.2.5.1 成品必须由锻造、轧制或机加工制作。完工的螺柱必须具有相同的质量和均匀的状态，没有会影响焊接质量、预期应用适用性或螺柱在规定陶瓷电弧罩（陶瓷套圈）的匹配度的缺陷。这些缺陷包括重叠、缝隙、片状物、裂纹、扭曲、弯曲、螺纹缺陷、不连续性或杂质（参见 7.4.1 和 7.4.2）。

7.2.5.2 带头螺柱在螺柱头部容易开裂或断裂，该断裂由金属的径向分离造成（从螺柱头部向螺杆内部延伸，周边突然断开）。如果经目检，螺柱头部的径向裂纹或开裂尚未延伸到头部周边至柱体距离的一半，则严禁作为拒收的理由（参见图 C-7.1）。如果裂纹或开裂的数量或宽度不允许螺柱头插入焊接工具固定装置或导致螺柱头和固定装置之间的电弧影响固定装置的使用寿命或焊缝质量，则应拒收相应螺柱。

7.2.6 螺柱材料。螺柱必须由冷拔成形的棒材制成，它们要符合 ASTM A29 碳和合金热

锻圆钢标准技术规范，从 1010 到 1020 级的通用要求，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（螺柱）直接焊于母材时，严禁母材厚度薄于螺柱直径的 $1/3$ 。当焊接穿过盖板时，严禁螺柱直径大于母材厚度的 2.5 倍。任何情况下绝不允许螺柱通过两层以上的盖板进行焊接。

7.3 力学性能要求

7.3.1 标准的机械要求。螺柱力学性能必须由试验确定，至于是用冷加工后的钢材试验，还是用已完工的全直径的螺柱试验，由制造商选择。不论采用哪种方法，螺柱都必须满足表 7.1 中的标准性能要求。

7.3.2 试验。应根据 ASTM A 370 — 钢制品机械测试的标准试验方法和定义中的适用章节来确定螺柱的机械性能。将使用类似于图 7.2 中所示的典型试验固定装置。

7.3.3 工程师的要求。根据工程师的要求，承包商应完成下列工作：

- (1) 螺柱制造商应认证螺柱交付时满足条款 7.2 和 7.3 中的适用要求。
- (2) 提供螺柱制造商试验报告的副本，它包括条款 7.3 中要求交付的每一种直径规格，在厂内进行质量控制机械性能试验的最后全套内容。
- (3) 提供源自钢供应商的认证材料试验报告 (CMTR)，表明直径、化学特性和每一热传递等级。

7.3.4 缺少质量控制试验。当不能得到质量控制试验报告时，承包商必须对每一批号提供符合 7.2.6 的化学试验报告和符合 7.3 要求的力学性能试验报告。未鉴定和难以查明的螺柱严禁使用。

7.3.5 补充的螺柱。根据工程师要求，承包商有责任提供每一种类型和规格的补充螺柱，以核查 7.2 和 7.3 的要求。业主应自费进行试验。

7.4 工艺/制作

7.4.1 清洁度。进行焊接时，螺柱上不应出现锈迹、锈坑、污垢、油渍、水分或其他可能会对焊接操作产生不利影响的物质。

7.4.2 涂层限制。焊接前螺柱焊接端严禁涂漆、镀锌或镀镉。

7.4.3 母材准备。与螺柱焊接在一起的区域不应出现污垢、锈迹、水分、油漆或其他有害物质，以免影响获得令人满意的焊接结果或出现令人反感的气味。可通过刷洗、去除污垢、尖冲或打磨等方法对焊接区域进行清理。

7.4.4 潮气。电弧罩（包头）应保持干燥。任何表面上存在露水或雨水迹象的电弧罩需在使用前在 250°F (120°C) 温度条件下烘干两小时。

7.4.5 间隔要求。抗剪螺柱（B 型）彼此纵、横间距以及到梁或大梁翼缘板的边缘可偏离图纸所示的位置最大达 1 in. [25mm]。从螺柱焊接端的边缘到翼缘板边缘的最小距离必须为螺柱直径加 $1/8$ in. [3mm]，但最好不要小于 $1-1/2$ in. [40mm]。

7.4.6 电弧罩的去除。焊接完成后，对于需要埋入混凝土中的螺柱，需要去除电弧罩，如可行的话，所有其他螺柱的电弧罩均应全数去除。

7.4.7 验收标准。焊接后，螺柱应免于任何干扰其应有功能的不连续性或物质，且必须在整整 360° 范围内呈现飞边。不过，飞边的焊脚处未熔合与小的收缩龟裂应是允许的。图

5.4 所示角焊缝形状的要求不适用于自动定时螺柱焊接的飞边。

7.5 技术

7.5.1 自动机械化焊接。螺柱必须以自动定时螺柱焊设备焊接，设备与合适的直流电源连接，电极（螺柱）为负极。应根据过去的实践、或螺柱和焊接设备制造商的推荐，或综合这二者，将焊接电压、电流、时间和焊枪的升起与下降等设定至最佳状态。AWS C5.4 推荐的螺柱焊接实践也应用作技术指南。

7.5.2 各种类型的焊枪。如用同一电源操作两把或多把螺柱焊枪，这些焊枪必须联锁，使得某一时刻只有一把焊枪可以操作，从而一次焊接完成后，而另一次焊接开始前，电源已完全恢复原状。

7.5.3 焊枪运动。操作中，焊枪必须保持适当位置而不移动，直至焊缝金属凝固为止。

7.5.4 环境和母材的温度要求。母材温度低于 0°F [-18°C] 或其表面潮湿或暴露于雨雪中时，严禁焊接。当母材温度低 32°F [0°C] 时，必须按 7.7.1.3 和 7.7.1.4 规定的方法在每 100 个焊好的螺柱中取一个追加的螺柱进行试验，但试验角度约为 15° 的除外。这不包括在每次新生产周期开始或改变设定的参数时先焊的两只螺柱在内。设置包括螺柱焊枪、电源、螺柱直径、焊枪提升和下降、电焊引线总长，并且电流（安培）和时间的变化范围大于 ±5%。

7.5.5 FCAW、GMAW 和 SMAW 角焊缝选择。承包商可以选择免除评定的药芯焊丝电弧焊 (FCAW)，气体保护熔化极电弧焊 (GMAW) 或药皮焊条电弧焊 (SMAW) 方法焊接螺柱，但要满足下述要求：

7.5.5.1 表面。待焊表面与邻近焊缝的表面必须没有疏松或厚厚的氧化皮、焊渣、锈、水分、油脂和其他妨碍正常焊接或产生有害烟雾的外来物质。

7.5.5.2 螺柱端部。为了进行角焊缝连接，螺柱端部也必须清洁干净。

7.5.5.3 螺柱装配（角焊缝）。为了进行角焊缝连接，必须对螺柱底座进行加工，以便螺柱底座紧贴母材。

7.5.5.4 角焊缝的最小尺寸。当使用角焊缝时，最小角焊缝尺寸必须为表 5.8 或表 7.2 规定的较大值。

7.5.5.5 预热要求。焊着螺柱的母材必须按表 3.2 要求预热。

7.5.5.6 SMAW 焊条。用 SMAW 方法焊接螺柱时必须使用低氢焊条，除对直径等于或小于 7/16 in.[11.1mm] 的螺柱，在不方便的位置焊接，可用较小直径焊条外，都需使用直径为 5/32 或 3/16 in.[4.0 或 4.8mm] 的焊条。

7.5.5.7 目视检查。用 FCAW、GMAW 和 SMAW 方法焊接完成的螺柱，必须按 6.9 作目检。

7.6 螺柱应用评定要求

7.6.1 目的。在工厂或工地以平焊（向下）位置将螺柱焊于平面和水平表面上，可视为符合螺柱制造商的螺柱焊接端评定试验（见 7.9）而免除评定，且不需要作进一步应用试验。平焊位置的定义系指将螺柱焊于坡度在 0~15° 范围内的平面上。

本章要求试验的螺柱应用例子如下：

- (1) 螺柱焊于非平面的表面或以立焊位置或仰焊位置焊接于平面上。
- (2) 穿过盖板的螺柱焊接。试验必须在对结构中使用条件有代表性的材料上进行。

(3) 螺柱焊於表 3.1 所列 I 组或 II 组以外的钢材。

7.6.2 试验责任。承包商应负责试验的实施。试验可由承包商或螺柱用户、螺柱制造商或由涉及的所有当事人认同的另一试验机构进行。

7.6.3 试样制备

7.6.3.1 试样。可以使用 ASTM A36 钢母材或表 3.1 所列 I 组和 II 组钢母材制备试样，来评定涉及表 3.1 所列 I 组和 II 组材料的应用。

7.6.3.2 记录的资料。为评定表 3.1 所列 I 组和 II 组以外钢材的应用，试样材料必须为生产中所用的化学成分、力学性能和等级规格的钢材。

7.6.4 试样数量。必须使用各式直径，焊接位置及表面几何形状的推荐工艺和设置连续地焊接十个试样。

7.6.5 要求的试验。必须使用下列试验方法中的一个或几个对十个焊接试样进行试验：弯曲、扭转或拉伸。

7.6.6 试验方法

7.6.6.1 弯曲试验。焊接螺柱必须放在图 7.4 所示的典型试验夹具中，交替地进行正、反方向 30° 的弯曲，直至折裂为止。或者，也可以将螺柱从其原轴线起弯曲 90°。C 型螺柱，当弯曲 90° 时，必须在直径为螺柱直径 4 倍的短轴上弯曲。两种办法中无论哪一种，如果螺柱被弯成 90°，并且断裂发生在钢板或型材上，或者断在螺柱柱体上而不在焊缝上，均必须认为螺柱的应用评定合格。

7.6.6.2 扭转试验。必须利用扭转试验装置对螺柱进行扭转试验，该装置大体上如图 7.3 所示。如果所有试样经扭转破坏均没有在焊缝上出现破裂，那么则认为该螺柱应用合格。

7.6.6.3 拉伸试验。必须使用任何能够提供所需力量的机器对螺柱进行拉伸破坏试验。如果试样焊缝上未出现破裂，那么则认为该螺柱应用合格。

7.6.7 应用评定试验数据。应用评定试验数据应包括以下资料：

- (1) 显示螺柱和电弧防护罩形状和尺寸的图纸。
- (2) 螺柱和母材的完整说明以及电弧防护罩的说明（零件编号）。
- (3) 焊接位置和设置（电流、时间、提升）。

(4) 每一次评定必须作记录，并必须将之附于每一份合同。附录表 N-9 中有推荐用于非免除评定的 WPS/PQR 表格。

7.7 生产控制

7.7.1 生产前试验

7.7.1.1 开始轮班。在使用给定尺寸和类型的螺柱并用特定的装置进行生产性焊接前，以及每天或每班生产开始前，必须先对焊接的两个螺柱进行试验。可在与产品构件厚度和特性类似的材料上研究螺柱技术。如果无法满足实际产品厚度，则厚度范围可进行 $\pm 25\%$ 的变动。应将所有试验螺柱焊接在与产品构件要求位置相同的地方（平焊、立焊或仰焊）。

7.7.1.2 产品构件选择。除按条款 7.7.1.5 的要求使用单独的板材时外，试验螺柱可焊接在产品构件上，以代替与单独的材料进行焊接。

7.7.1.3 飞边要求。螺柱必须整个 360° 有飞边而没有进入螺柱焊接端的咬边迹象。

7.7.1.4 弯曲试验。除目测检查外，螺柱冷却后必须进行弯曲试验，可以锤击螺柱的非焊接端，也可将管子或其他适宜空心工具套在螺柱上，用人工或机械方法弯曲螺柱，使螺柱与原轴线呈约 30° 。当温度低于 50°F [10°C] 时，正确做法是必须连续缓慢地加载以对螺柱进行弯曲。对于有螺纹的螺柱，应使用图 7.3 中所示的扭转试验来代替弯曲试验。

7.7.1.5 故障事项。如果经目测检查试验螺柱没有 360° 的飞边，或者试验中任一螺柱在焊缝区断裂，则必须对工艺加以修正，并需要在单独的材料或产品构件上在焊接两个螺柱，根据条款 7.7.1.3 和 7.7.1.4 的要求进行试验。若两螺柱中任意一个不合格，则应在单独的板材上继续进行额外焊接直至两连续螺柱试验结果合格，不用再将生产螺柱焊接至构件上为止。

7.7.2 生产焊接。一旦生产焊接开始，如需对条款 7.7.1 中规定的焊接参数作任何改变，则必须按条款 7.7.1.3 和 7.7.1.4 的要求进行试验，直至合格后才能恢复生产焊接。

7.7.3 螺柱返修。生产中，如果焊接的螺柱不是 360° 全方位都存在飞边，那么承包商可选择进行修补，在缺少飞边处按照条款 7.5.5 要求补加最小的角焊缝。修补焊缝需至少超出需返修中断端 $3/8$ in. [10 mm]。

7.7.4 操作员资格鉴定。如按 7.7.1 要求进行的生产前试验合格，则也必须认为该螺柱焊工资格评定合格。如果焊工未参加按 7.7.1 要求进行的任何生产试验，则此焊工必须先焊两个螺柱按照 7.7.1.3 和 7.7.1.4 要求进行试验。该两个焊成的螺柱试验合格后，该焊工方可从事产品的螺柱焊接。

7.7.5 去除螺柱部位的返修。如果不合格螺柱已经从承受拉应力组件上除去，则必须将去除螺柱的部位修整光滑和平齐。如果在去除螺柱过程中该部位母材被拉出，则必须按照本规范要求使用低氢焊条采取 SMAW 方法填补凹坑，并将焊缝表面修整平齐。

在构件受压部位，如果螺柱断裂，且此断裂限于柱体或熔焊区，则可在每一不合格螺柱旁焊接一新螺柱，且不必进行修复和复原原先的焊接部位（见 7.4.5）。如果在去除螺柱时将母材拉出，则必须按受拉伸部位一样进行修复，但是凹坑深度小于 $1/8$ in. [3 mm] 或母材厚度的 7% 者除外，此时可以对此处进行打磨使其与附近的母材齐平，不必进行焊补。如果在去除部位重焊螺柱，则必须先修补母材，再焊接替换的螺柱。对于替换的螺柱，必须进行与原轴线呈约 15° 的弯曲试验，（有螺纹螺柱应进行扭转试验）。在完工的结构中，但凡暴露于视线之处，螺柱卸除部位均需要修正光滑且平齐。

7.8 制作和验证检验要求

7.8.1 目测检查。如果目测检查发现任一螺柱没有完整的 360° 飞边或者曾经进行过焊接修补，则必须对该螺柱作偏离原轴线 15° 的弯曲试验。有螺纹螺柱应进行扭转试验。弯曲方法必须符合条款 7.7.1.4 的规定。对于飞边不足 360° 的螺柱，必须向无飞边的相反方向进行弯曲。扭转试验必须符合图 7.3 中的规定。

7.8.2 附加试验。验证检查人员可以视情况需要选择适当数量的补加螺柱按条款 7.8.1 的规定进行试验。

7.8.3 弯曲螺柱验收标准。如果已弯曲的受剪螺柱（B 型）和变形的锚定螺柱（C 型）以及其他埋入混凝土中的螺柱（A 型）并无失效的迹象，则必须接受以使用并保留弯曲状态。当合同文件要求将弯曲试验的螺柱矫正时，操作都必须在不加热状态下进行，且在产品螺柱焊接工作完工之前进行。

7.8.4 扭转试验验收标准。有螺纹螺柱（A 型）依图 7.3 规定的试验荷载扭矩水平进行

扭转试验而未出现断裂迹象，则需认可该螺柱符合使用条件。

7.8.5 纠正措施。已经焊接的螺柱而不符合规范要求的，必须由承包商修理或更换。必要时承包商应该修改焊接工艺，确保随后的螺柱焊符合规范要求。

7.8.6 业主选择。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使用类型的螺柱，按 7.9 的程序对评定进行检查。

7.9 螺柱制造商的螺柱焊接端评定要求

7.9.1 目的。这些要求的目的是规定螺柱制造商为证明螺柱焊接端焊接性的试验。

7.9.2 试验责任。螺柱制造商应负责进行质量鉴定试验。这些试验也可由工程师满意的试验机构进行。该试验机构必须向螺柱制造商提交试验报告，报告内容为包括了 7.9.10 所列资料的全部试验方法和结果。

7.9.3 评定范围。螺柱焊接端的质量鉴定必须包括对相同几何形状、相同焊机、相同电弧防护罩、具有相同直径以及较小直径且差别小于 1/8 in. [3 mm] 的螺柱焊接端的鉴定。倘若此处所述的所有其他条款得以符合，一认可级别的 ASTM A29 钢的螺柱焊接端通过评定、符合标准的力学性能（见 7.3.1）时，则必须认为所有其他认可级别的 A 29 钢螺柱也通过了评定（见 7.2.6）。

7.9.4 合格期限。具有电弧防护套的某尺寸螺柱焊接端，一经鉴定合格，终生有效，除非螺柱制造商对影响螺柱焊接特性的螺柱焊接端的几何形状、材料、焊机或电弧防护套做出了更改。

7.9.5 试样制备

7.9.5.1 试样应该是这样制备：把具代表性的螺柱焊于合适的 ASTM A36 钢试板，或焊于表 3.1 或表 4.9 所列的任何其他材料的试板上。通过金属盖板而焊接的螺柱必须进行螺柱焊接端通过金属盖板的焊接评定试验，该盖板应是代表结构中使用的盖板，并按 ASTM A653 进行电镀，一层厚度盖板的镀层牌号为 G90，二层盖板的镀层牌号为 G60。当螺柱要穿过盖板焊接时，其焊接端的评定试验必须包括构造中所用的代表性的盖板。焊接必须在平焊位置（板材表面处于水平位置）进行。对于有螺纹螺柱的鉴定试验必须采用无螺纹坯料（无螺纹螺柱）进行。

7.9.5.2 焊接螺柱必须使用螺柱制造商推荐的电源、焊枪和自动控制设备进行。必须对每个试样的焊接电压、电流和时间（见 7.9.6）进行测量和记录。焊枪的提升和压低必须采用制造商推荐的最佳设置。

7.9.6 试样数量。

7.9.6.1 对于直径小于或等于 7/8 in. [22 mm] 的螺柱，必须以恒定的最佳时间以及比最佳电流大 10% 的电流连续焊接 30 个试样。对于直径大于 7/8 in. [22 mm] 的螺柱，则必须以恒定的最佳时间连续焊接 10 个试样。最佳电流和时间必须为制造商正式推荐用于产品焊接范围的中间值。

7.9.6.2 对于直径小于或等于 7/8 in. [22 mm] 的螺柱，必须以恒定的最佳时间以及比最佳电流大 10% 的电流连续焊接 30 个试样。对于直径大于 7/8 in. [22 mm] 的螺柱，必须以恒定的最佳时间以及比最佳电流小 5% 的电流连续焊接 10 个试样。

7.9.6.3 对于要通过金属盖板施焊的螺柱，焊接端直径的范围应该通过用制造商推荐的最佳电流和时间焊接 10 个螺柱以评定，并要遵循下列规定：

- (1) 通过一层 16 gage 厚的盖板进行焊接的最大和最小直径，盖板镀层牌号为 G90。
- (2) 通过二层 16 gage 厚的盖板进行焊接的最大和最小直径，盖板镀层牌号为 G60。
- (3) 通过一层厚度 18 gage 镀 G60 的盖板在一层厚度的 16 gage 镀 G60 的盖板之上进行焊接的最大和最小直径。
- (4) 通过二层厚度为 18 gage、均镀 G60 的盖板进行焊接的最大和最小直径。

通过二层 18 gage 厚度的镀 G60 的金属盖板的从最大到最小的直径范围的焊接评定试验，应该使通过一层或二层 18 gage 或厚度更小的金属盖板的焊接合格。

7.9.7 试验

7.9.7.1 拉伸试验。除了无头螺柱可以将其非焊接端夹持于拉伸试验机的钳口外，按 7.9.6.1 规定所焊接的十个试样和按 7.9.6.2 规定焊接的十个试样必须在类似于图 7.2 所示的夹具中经受拉伸试验。如果所有拉伸试样的拉伸强度等于或大于条款 7.3.1 规定的最小值，则应认为该螺柱焊接端满足要求。

7.9.7.2 弯曲试验（直径等于或小于 7/8 in. [22 mm] 的螺柱）。按照 7.9.6.1 规定所焊的二十个试样和按 7.9.6.2 规定所焊的二十个试样必须以偏离其原有轴线 30° 的正反方向交替进行弯曲试验，直至损坏为止。除直径小于 1/2 in. [12 mm] 的螺柱可以选用图 7.5 所示的装置进行弯曲试验外，其他螺柱都应在图 7.4 所示的装置中进行弯曲试验。对于所有弯曲试样，如果螺柱都断裂在板材或螺柱柱体上而不是在焊缝或热影响区，则应认为该螺柱焊接端合格。对于直径大于 7/8 in. [22 mm] 的螺柱，所有试样必须仅作拉伸试验。

7.9.7.3 通过盖板的焊缝试验。所有 10 个通过盖板焊接的螺柱试样的焊缝必须进行这样的弯曲试验：按图 7.4 所示弯曲试验装置，在相反方向各弯曲 30°；或作从原轴线弯曲 90°；或在一台能提供所需力量的机械上进行拉伸破坏试验。对于所用的任何试验方法，如果所有试样的断裂出现在试板材料上或螺柱柱体上，而不是在焊缝或热影响区（HAZ），则必须认为从最大到最小直径的直径范围内，通过盖板进行焊接的焊接端的评定试验已合格通过。

7.9.8 重新试验。在 7.9.7.2 的弯曲试验组中如果在一条焊缝或热影响区出现了断裂，或者在 7.9.7.1 拉伸试验组中任何螺柱的拉伸强度低于规定的最小值，则必须制作一个新的试验组重作试验（适用时按 7.9.6.1 或 7.9.6.2 所述）。如果又出现这样的断裂，则螺柱焊接端不合格。

7.9.9 合格。为了评定制造商的螺柱焊接端和电弧防护套组合是否合格，每组 30 支螺柱的每一支螺柱，通过试验或重新试验，都应该符合 7.9.7 的要求。一给定直径的螺柱焊接端评定合格，应该被认为是相同公称直径的螺柱焊接端评定合格（见 7.9.3，螺柱焊接端几何形状、材料、焊剂和电弧防护套）。

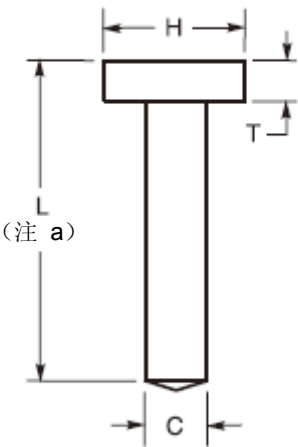
7.9.10 制造商的评定试验数据。试验数据应包括下列信息：

- (1) 注明形状和尺寸的图纸，包括螺柱的公差、电弧防护套和焊剂；
- (2) 螺柱所用材料的完整说明，包括焊剂的数量和类型，以及电弧防护套的说明；以及
- (3) 试验的鉴定结果。

表 7.1
螺柱机械性能要求 (见 7.3.1)

		A 型 ^a	B 型 ^b	C 型 ^c
拉伸强度	Psi (最小值)	61 000	65 000	80 000
	MPa (最小值)	420	450	552
屈服强度 (0.2% 位 移)	psi (最小值)	49 000	51000	—
	MPa (最小值)	340	350	—
(0.5% 位 移)	psi (最小值)	—	—	70 000
	MPa (最小值)	—	—	485
伸长率	% (标距 2in.) (最小 值)	17%	20%	—
	% (标距 5 倍直径) (最小值)	14%	15%	—
断面收缩率 % (最小值)		50%	50%	—

- ^a 用于复合梁的设计与构造的任何类型和规格的 A 型螺柱必须为一般性用途, 传递剪力的情况除外。
- ^b B 型螺柱必须为有突出头部、弯曲或其他形状者, 螺柱直径为 3/8 in. [10mm]、1/2in.[12mm]、5/8 in.[16mm]、3/4 in. [20mm]、7/8 in. [22mm]和 1 in. [25mm], 用作复合梁设计与混凝土锚具设计中的基本组件。
- ^c C 型螺柱必须由冷作变形钢棒材按照 ASTM A496 规定制成, 公称直径相当于普通线材的直径, 每英尺的重量与变形线材相同。ASTM A496 规定最大直径为 0.628 in. [16mm]。任何大于该直径的供货棒材必须具有与 ASTM A496 要求相同的、关于变形的物理特性。



^a 焊接前产品长度

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 至 7/16	6 至 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

标准尺寸, in.				
螺柱杆直径 (C)	长度公差 (L)	螺柱头直径	最小螺柱头长度 (T)	
3/8	$\frac{+0.010}{-0.010}$	$\pm 1/16$	$3/4 \pm 1/64$	9/32
1/2	$\frac{+0.010}{-0.010}$	$\pm 1/16$	$1 \pm 1/64$	9/32
5/8	$\frac{+0.010}{-0.010}$	$\pm 1/16$	$1-1/4 \pm 1/64$	9/32
3/4	$\frac{+0.015}{-0.015}$	$\pm 1/16$	$1-1/4 \pm 1/64$	3/8
7/8	$\frac{+0.015}{-0.015}$	$\pm 1/16$	$1-3/8 \pm 1/64$	3/8

1	$\begin{matrix} -0.015 \\ +0.020 \\ -0.020 \end{matrix}$	$\pm 1/16$	$1-5/8 \pm 1/64$	1/2
标准尺寸, mm				
10	$\begin{matrix} +0.25 \\ -0.25 \end{matrix}$	± 1.6	19 ± 0.40	7.1
13	$\begin{matrix} +0.25 \\ -0.25 \end{matrix}$	± 1.6	25 ± 0.40	7.1
16	$\begin{matrix} +0.25 \\ -0.25 \end{matrix}$	± 1.6	32 ± 0.40	7.1
19	$\begin{matrix} +0.40 \\ -0.40 \end{matrix}$	± 1.6	32 ± 0.40	9.b
22	$\begin{matrix} +0.40 \\ -0.40 \end{matrix}$	± 1.6	35 ± 0.40	9.b
25	$\begin{matrix} +0.40 \\ -0.40 \end{matrix}$	± 1.6	41 ± 0.40	12.7

图7.1 – 标准类型有头螺柱的尺寸和公差（见 7.2.1）

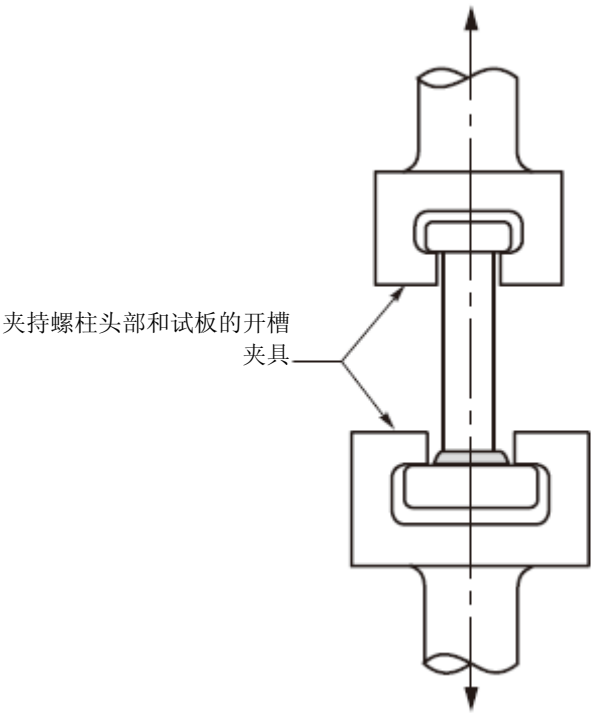
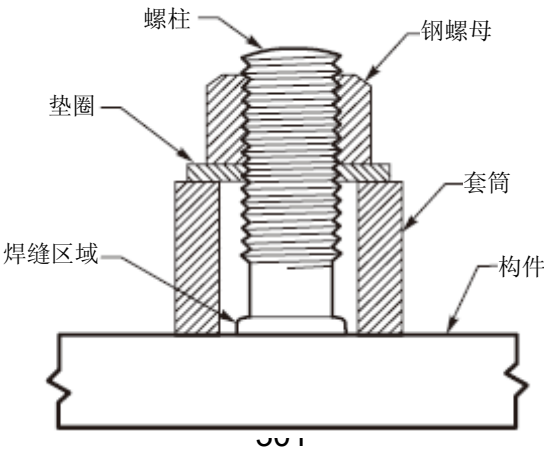


图 7.2 — 典型的拉伸试验夹具（见 7.3.2）



注：试验夹具详图尺寸应适合于螺柱的尺寸。螺柱的螺纹必须清洁，除从制造商那里来的符合“供货态”条件的切/冷成形润滑油残留物以外，不得有其他润滑油。

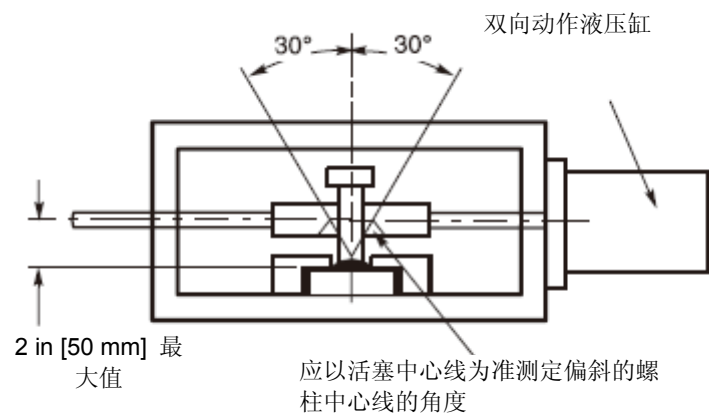
测试有螺纹螺柱的保证试验扭矩要求 ^a								
公称直径		M.E.T.A. ^b		螺纹		保证试验扭矩 ^c		
in	mm	in ²	mm ²	no./in	螺距-mm	系列	lb-ft	焦耳
0.236	M6	0.031	20.1		1.0	ISO-724	5.4	7.4
1/4	6.4	0.036	23.2	28		UNF	6.6	9.0
		0.032	20.6	20		UNC	5.9	7.8
5/16	7.9	0.058	37.4	24		UNF	13.3	18.1
		0.052	33.5	18		UNC	11.9	16.1
0.315	M8	0.057	36.6		1.25	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 49000psi [340MPa] 的 A 型有螺纹螺柱为依据。

^b 平均有效螺纹面积 (M.E.T.A.) 应为有效应力面积，它以在螺纹的较小直径与齿根直径当中取约等于中间值的平均直径为依据。

^c 对于供货无镀层螺柱，试验扭矩值系由 0.9 乘以公称螺柱直径乘以 0.2 摩擦系数乘以平均有效螺纹面积乘以最低屈服应力计算得到。有镀层、涂层或有油脂附着将会改变摩擦系数。

图7.3 — 扭矩试验设置和试验扭矩表（见 7.6.6.2）



- 注：
- 1. 夹具夹紧试样，螺柱作正反方向交替的 30°的弯曲。
 - 2. 可以用液压缸（图示）或用由拉伸试验机改装的夹具施加载荷。

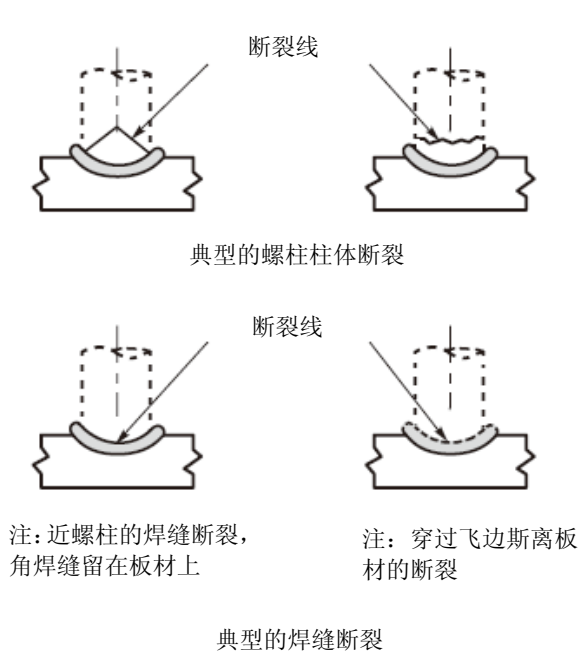


图 7.4 — 弯曲试验装置（见 7.9.7.2）

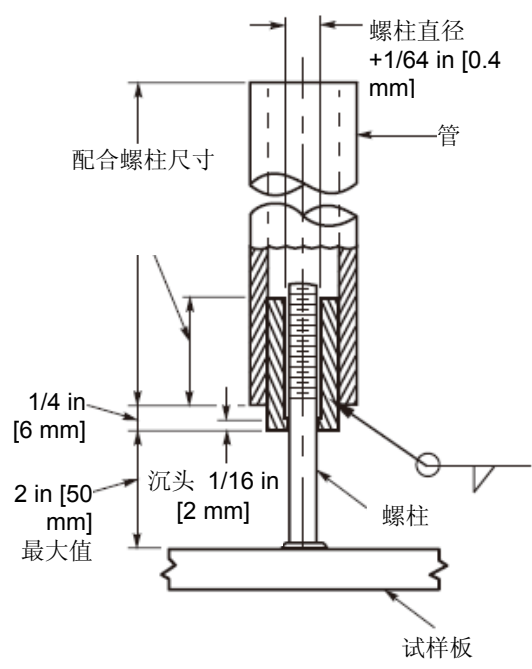


图 7.5 — 小螺柱鉴定试验用推荐装置形式（见 7.9.7.2）

8. 现有结构的补强与修理

8.1 概述

对现有结构的补强或修理应包括符合于工程师规定的设计要求的修改。工程师必须准备一份全面的工作计划。该计划必须包括（但不限于）下述内容：设计，工艺，检查和文件。除本章所作的更改外，本规范的所有条款同样适用于现有结构的补强与修理，包括变形构件的热矫直。

8.2 母材

8.2.1 调查。在准备用于补强与修理现有结构的图纸与技术条件之前，必须确定原有结构所用母材的类型，其根据或者来自现存的图纸、技术条件或有代表性母材试验。

8.2.2 焊接适用性。应确定母材对焊接的适用性（参见表 C-8.1，查看相应指南）。

8.2.3 其他母材。如果结构的母材不属表 3.1 所列范围，则工程师必须对选择填充金属和 WPS 给予特别关注。

8.3 补强和修理的设计

8.3.1 设计处理。设计应考虑适用的管辖该方面的规范条款和通用技术条件的其他部分。工程师必须规定检查的类型和范围，这种检查是确认那些为了达到可用的条件而要求补强或修理的现有情况所必须的。

8.3.2 应力分析。必须对补强或修理所影响的部位进行应力分析。必须确定所有现场的静荷载和动荷载情况下的应力水平。必须考虑构件在以往使用过程中可能遭受的累积损坏。

8.3.3 疲劳经历。承受周期荷载的构件必须按疲劳应力的要求设计。在设计中必须考虑以前的荷载经历。如果不知道荷载经历，则必须作估算。

8.3.4 修复或替换。必须决定是对已腐蚀或其他性质的受损部件作复原修理，还是更换整个构件。

8.3.5 操作中的荷载。工程师必须决定当进行加热、焊接或热切割时构件允许承载的程度。必要时必须减轻荷载。考虑到升高的温度将遍布横截面的各处，因此，必须审查构件的局部和整体的稳定性。

8.3.6 现有连接。必须对需要补强或修理的结构中现有的连接进行估算，以便进行恰如其分的设计与得到所需的加强。

8.3.7 现有紧固件的使用。当设计计算表明新的总荷载将造成铆钉或螺栓处于过度应力时，则铆钉或螺栓应仅承受静荷载。如果铆钉或螺栓由于单独静荷载而呈过度应力，或者铆钉或螺栓承受周期荷载，则必须增加足够的母材和焊接以承担总荷载。

8.4 疲劳寿命的延长

8.4.1 方法。当书面工艺已获工程师批准时，可以采用下述方法修整关键性的焊缝细节：

(1) 改善外形。使用碳化物砂轮打磨方法修整焊缝表面形状，使得母材到焊缝呈凹形的光滑过渡。

(2) 打磨焊趾。使用砂轮或笔状磨头打磨的方法仅仅修整焊缝趾部。

(3) 锤击。对焊缝表面喷丸，或锤击焊缝趾部。

(4) TIG 修整。利用 GTAW 的电弧热（不加填充金属）重熔现有焊缝，从而修整焊缝趾部外形。

(5) 打磨焊趾外加锤击。结合这两种方法，会得到累加的好处。

8.4.2 增加应力范围。工程师必须规定适当增加的许用应力的范围。

8.5 工艺和技术

8.5.1 母材状态。待修母材以及与新母材接触的原母材表面必须进行清理，除去脏物、锈和其他外来物质，按照 SSPC SP2（表面制备技术条件 #2 —— 手动工具清理）要求的漆层除外。这种表面需焊接的部份，必须彻底清除包括漆层在内的所有外来物质，范围为从焊缝根部起至少 2 in. [50mm]。

8.5.2 构件缺陷。当工程师要求时，待补强或修理的构件中不合格缺陷必须在热矫直、热弯曲或焊接之前进行修复。

8.5.3 焊缝修补。如焊缝需修补，必须按 5.26 适用条款进行。

8.5.4 厚度不足的母材。母材厚度不足因而不能得到所需的焊缝尺寸或不具备所必须的承载能力时，工程师必须作如下决定：(1) 堆焊焊缝金属以达到所需厚度，(2) 降低要求到现有母材厚度所能达到的能力，(3) 补加母材予以加强，或 (4) 除去原有母材，用厚度或强度满足要求的母材替换。

8.5.5 热矫直。采取热矫直或热弯曲方法时，在使用温度敏感粉笔或其他正确的方式测量加热部位的温度时，最高温度为：调质钢严禁超过 1100°F[600°C]，其他钢种严禁超过 1200°F[650°C]。钢材温度高于 600°F[315°C] 时，严禁加速冷却。

8.5.6 焊接顺序。在补强或修理构件中，采用补加母材或焊缝金属，或二种方法兼用时，焊接和焊缝顺序必须尽可能地使输入热量对中性轴平衡，把变形和残余应力降到最低程度。

8.6 质量

8.6.1 目检。受补强和修理作业影响的所有构件和焊缝必须按工程师的全面计划进行目检。

8.6.2 NDT。NDT 的方法、范围和合格判据必须在合同文本中规定。

附录

规范性资料

这些附录包含被看作为本标准的一部分的资料和要求。

- 附录 A 有效焊缝厚度
- 附录 B 斜 T 形接头中角焊缝的有效焊缝厚度
- 附录 D 大梁腹板的平整度 — 静荷载结构
- 附录 E 大梁腹板的平整度 — 周期荷载结构
- 附件 F 温度 - 湿度含量曲线图
- 附录 G 螺柱制造商的螺柱焊接端评定要求
- 附录 H 以其他认可的对比试块鉴定和校准 UT 探伤仪
- 附录 I 确定预热温度的一些可用方法的指南
- 附录 J 管材连接焊缝设计的符号

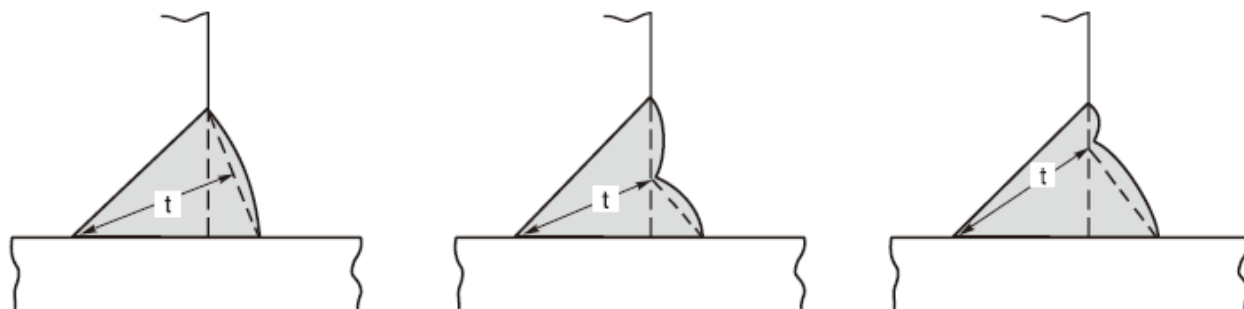
信息性资料

这些附录不被看作为本标准的一部分，仅作为资料提供。

- 附件 K 术语和定义
- 附件 L 技术条件的编写者指南
- 附录 M 超声设备的鉴定和检验表格
- 附录 N 焊接表格示例
- 附录 O 向结构焊接委员会进行技术查询的准备工作指南
- 附录 P 局部二面角
- 附录 Q 免除评定 WPS 的内容
- 附录 R 安全施工
- 附录 S 采取选用技术作焊缝超声波检测
- 附录 T 椭圆参数 α
- 附录 U 参考文件列表
- 附录 V 填充金属强度性能

附录 A（规范性附录） 有效焊缝厚度

本附录是标准 AWS D1.1/D1.1M:2010 *钢结构焊接规范*的一部分，还包括用于这一规范的强制性要求。



注：焊缝的有效焊缝厚度系指从接头的根部至焊缝面的最短距离，减或不减 $1/8$ in. [3mm]，撇开任何凸度不计。

附录 B（规范性附录）

斜 T 形接头中角焊缝的有效焊缝厚度

本附录是标准 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，还包括用于这一规范的强制性要求。

表 B.1 显示了 60° 至 135° 二面角范围内的等效焊脚尺寸因素，假设不存在焊缝根部间隙。当根部间隙等于或大于 $1/16$ in. [2mm] 但不超过 $3/16$ in. [5mm] 时，这一数值必须直接加到焊脚尺寸上。斜 T 形接头中要求的角焊缝焊脚尺寸，可按示例根据相符的二面角，利用等效的焊脚尺寸系数计算求得。

示例

（美国惯用制）

已知：斜 T 形接头，角度： 75° ，焊缝根部间隙： $1/16$ (0.063) in

要求：强度等同于尺寸为 $5/16$ (0.313) in 的 90° 填角焊缝

步骤：

- (1) 从表 B.1 中查得 75° 的系数：0.86
- (2) 无根部间隙情况下，斜 T 形接头等效焊脚尺寸：
 $w = 0.86 \times 0.313 = 0.269$ in
- (3) 带根部间隙：0.063 in
- (4) 要求的斜 T 形接头角焊缝焊脚尺寸
 $w: [(2) + (3)] = 0.332$ in
- (5) 舍入到实际尺寸：
 $w = 3/8$ in

示例

（国际单位制）

已知：斜 T 形接头，角度： 75° ；根部间隙：2mm

要求：强度等同于尺寸为 8 mm 的 90° 填角焊缝

步骤：

- (1) 从表 B.1 中查得 75° 的系数：0.86
- (2) 无根部间隙情况下，斜 T 形接头等效焊脚尺寸：
 $w = 0.86 \times 8 = 6.9$ mm
- (3) 带根部间隙：2 mm
- (4) 要求的斜 T 形接头角焊缝焊脚尺寸
 $w: [(2) + (3)] = 8.9$ mm
- (5) 舍入到实际尺寸：
 $w = 9.0$ mm

对于拥有相等测定焊脚 (W_n) 的角焊缝，从接头根部至图解的焊缝面的距离 (t_n) 可按下述计算：

焊缝根部间隙 $> 1/16$ in. [2 mm] 且 $\leq 3/16$ in. [5 mm] 时，使用

$$t_n = \frac{w_n - R_n}{2 \sin \frac{\Psi}{2}}$$

焊缝根部间隙 < 1/16 in. [2 mm] 时，使用

$$R_n = 0 \text{ and } t'_n = t_n$$

其中角焊缝测定焊脚 (W_n) 是焊缝表面距离相对焊趾的垂直距离，(R) 是零件之间的焊缝根部间隙（如果有，见图 3.11）。可接受的焊缝根部间隙如条款 5.22.1 所定义。

表 B.1
斜 T 形接头角焊缝等效焊脚尺寸系数

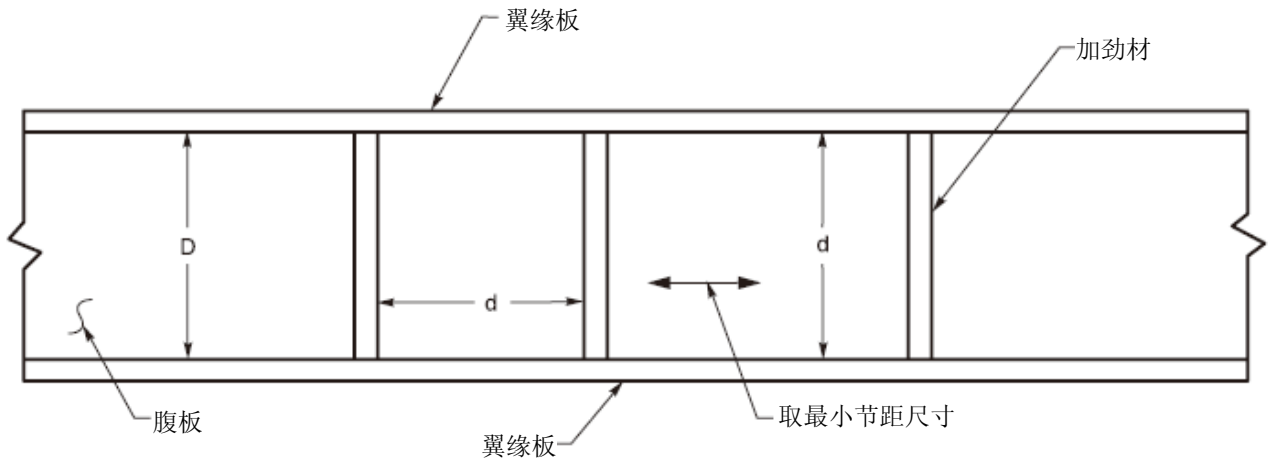
二面角 Ψ	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	95
可比的同强度角焊缝尺寸	0.71	0.76	0.81	0.86	0.91	0.96	1.00	1.03
二面角 Ψ	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°
可比的同强度角焊缝尺寸	1.08	1.12	1.16	1.19	1.23	1.25	1.28	1.31

附录 C

无附录 C。为了避免与注释条款之间出现潜在的混淆，此处省略了附录 C。

附录D（规范性附录）
大梁腹板的平整度 — 静荷载结构

本附录是标准 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，还包括用于这一规范的强制性要求。



注：

1. D = 腹板高度
2. d = 最小节距尺寸

表D.1
腹板两面都有中间加劲材

腹板厚度 in	腹板高度 in	最小节距尺寸 in													
5/16	小于 47	25	31	38	44	50									
	47 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
3/8	小于 56	25	31	38	44	50	56	63							
	56 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
7/16	小于 66	25	31	38	44	50	56	63	69						
	66 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1/2	小于 75	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81				
	75 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
9/16	小于 84	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88			
	84 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
5/8	小于 94	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94		
	94 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
		最大允许偏差, 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, 米													
8.0	小于 1.19	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27									
	1.19 及以上	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	小于 1.42	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60							
	1.42 及以上	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	小于 1.68	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60	1.75						
	1.68 及以上	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	小于 1.90	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60	1.75	1.90	2.06				
	1.90 及以上	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	小于 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 及以上	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	小于 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 及以上	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
		最大允许偏差, 毫米													
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：表中查不到的实际尺寸，使用时采用较高一级数值。

表 D.2
无中间加劲材

腹板厚度 in	腹板高度 in																
任意厚度	38	47	56	66	75	84	94	103	113	122	131	141	150	159	169	178	188
最大允许偏差, 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	1-1/8	1-3/16	1-1/4

腹板厚度 mm	腹板高度, 米																
任意厚度	0.97	1.19	1.42	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
	最大允许偏差, 毫米																
	6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	29	30	32

注: 表中查不到的实际尺寸, 使用时采用较高一级数值。

表 D.3
腹板仅单面有中间加劲材

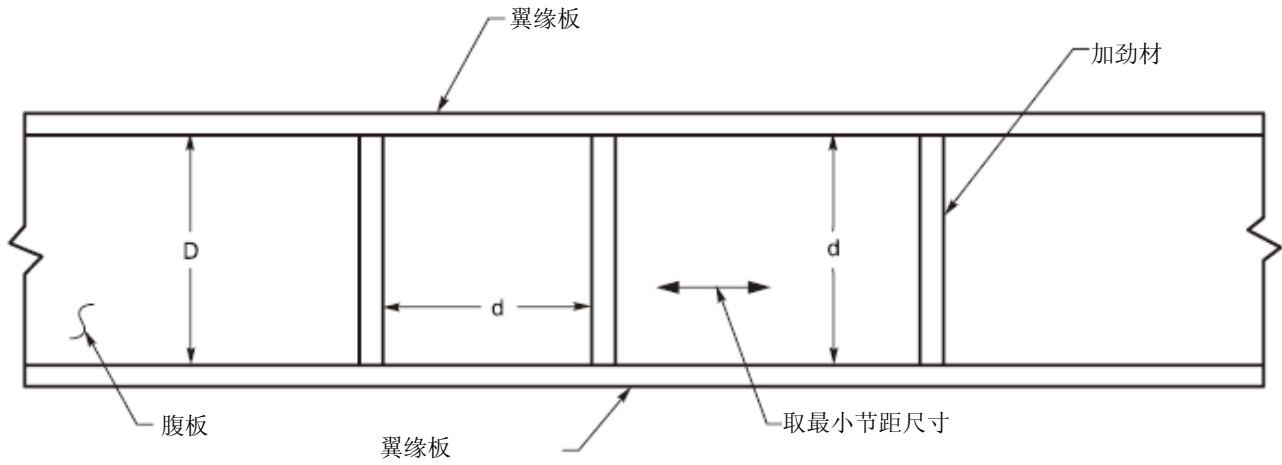
腹板厚度 in	腹板高度 in	最小节距尺寸 in														
5/16	小于 31 31 及以上	25 17	31 21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71	
3/8	小于 38 38 及以上	25 17	31 21	38 25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71	
7/16	小于 44 44 及以上	25 17	31 21	38 25	44 29	50 34	56 38	63 42	71 46	79 50	87 54	95 59	103 63	111 67	119 71	
1/2	小于 50 50 及以上	25 17	31 21	38 25	44 29	50 34	56 38	63 42	71 46	79 50	87 54	95 59	103 63	111 67	119 71	
9/16	小于 56 56 及以上	25 17	31 21	38 25	44 29	50 34	56 38	63 42	71 46	79 50	87 54	95 59	103 63	111 67	119 71	
5/8	小于 63 63 及以上	25 17	31 21	38 25	44 29	50 34	56 38	63 42	71 46	79 50	87 54	95 59	103 63	111 67	119 71	
		最大允许偏差, 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, 米														
8.0	小于 0.78 0.78 及以上	0.63 0.43	0.79 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	小于 0.97 0.97 及以上	0.63 0.43	0.79 0.53	0.97 0.63	1.12 0.74	1.27 0.86	1.42 0.97	1.57 1.07	1.72 1.17	1.87 1.27	2.02 1.37	2.17 1.50	2.32 1.60	2.47 1.70	2.62 1.80	
11.1	小于 1.12 1.12 及以上	0.63 0.43	0.79 0.53	0.97 0.63	1.12 0.74	1.27 0.86	1.42 0.97	1.57 1.07	1.72 1.17	1.87 1.27	2.02 1.37	2.17 1.50	2.32 1.60	2.47 1.70	2.62 1.80	
12.7	小于 1.27 1.27 及以上	0.63 0.43	0.79 0.53	0.97 0.63	1.12 0.74	1.27 0.86	1.42 0.97	1.57 1.07	1.72 1.17	1.87 1.27	2.02 1.37	2.17 1.50	2.32 1.60	2.47 1.70	2.62 1.80	
14.3	小于 1.42 1.42 及以上	0.63 0.43	0.79 0.53	0.97 0.63	1.12 0.74	1.27 0.86	1.42 0.97	1.57 1.07	1.72 1.17	1.87 1.27	2.02 1.37	2.17 1.50	2.32 1.60	2.47 1.70	2.62 1.80	
15.9	小于 1.60 1.60 及以上	0.63 0.43	0.79 0.53	0.97 0.63	1.12 0.74	1.27 0.86	1.42 0.97	1.57 1.07	1.72 1.17	1.87 1.27	2.02 1.37	2.17 1.50	2.32 1.60	2.47 1.70	2.62 1.80	
		最大允许偏差, 毫米														
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	

注: 表中查不到的实际尺寸, 使用时采用较高一级数值。

附录 E (标准性)

大梁2腹板的平正度 — 周期荷载结构

本附录是标准 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，还包括用于这一规范的强制性要求。



注:

1. D = 腹板高度
2. d = 最小节距尺寸

表 E.1
腹板两面都有中间加劲材，内部大梁

腹板厚度 in	腹板高度 in	最小节距尺寸 in													
5/16	小于 47	29	36	43	50										
	47 及以上	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
3/8	小于 56	29	36	43	50	58									
	56 及以上	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
7/16	小于 66	29	36	43	50	58	65								
	66 及以上	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
1/2	小于 75	29	36	43	50	58	65	72	79						
	75 及以上	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
9/16	小于 84	29	36	43	50	58	65	72	79	86					
	84 及以上	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
5/8	小于 94	29	36	43	50	58	65	72	79	86	93				
	94 及以上	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
最大允许偏差, 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, 米													
8.0	小于 1.19	0.74	0.91	1.09	1.27										
	1.19 及以上	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	小于 1.42	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47									
	1.42 及以上	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	小于 1.68	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47	1.65								
	1.68 及以上	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	小于 1.90	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47	1.65	1.83	2.00						
	1.90 及以上	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	小于 2.13	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47	1.65	1.83	2.00	2.18					
	2.13 及以上	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	小于 2.39	0.74	0.91	1.09	1.27	1.47	1.65	1.83	2.00	2.18	2.36				
	2.39 及以上	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
最大允许偏差, 毫米															
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：表中查不到的实际尺寸，使用时采用较高一级数值。

表 E.2
腹板仅单面有中间加劲材，挑口装饰梁

腹板厚度 in	腹板高度 in	最小节距尺寸 in													
5/16	小于 31	30	38												
	31 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
3/8	小于 38	30	38												
	38 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
7/16	小于 44	30	38	45											
	44 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1/2	小于 50	30	38	45											
	50 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
9/16	小于 56	30	38	45		60									
	56 及以上	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85

5/8	小于 63 63 及以上	30 20	38 25	45 30	53 35	60 40	68 45	50	55	60	65	70	75	80	85
最大允许偏差, 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, 米													
8.0	小于 0.78 0.78 及以上	0.76 0.51	0.97 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	小于 0.97 0.97 及以上	0.76 0.51	0.97 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	小于 1.12 1.12 及以上	0.76 0.51	0.97 0.63	1.14 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	小于 1.27 1.27 及以上	0.76 0.51	0.97 0.63	1.14 0.76	1.35 0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
14.3	小于 1.42 1.42 及以上	0.76 0.51	0.97 0.63	1.14 0.76	1.35 0.89	1.52 1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
15.9	小于 1.60 1.60 及以上	0.76 0.51	0.97 0.63	1.14 0.76	1.35 0.89	1.52 1.02	1.73 1.14	1.27	1.40	1.52	1.65	1.78	1.90	2.03	2.16
最大允许偏差, 毫米															
		6	8	10	11	i:	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注: 表中查不到的实际尺寸, 使用时采用较高一级数值。

表 E.3
腹板仅单面有中间加劲材, 内部梁

腹板厚度 in	腹板高度 in	最小节距尺寸 in													
5/16	小于 31 31 及以上	25 17	31 21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
3/8	小于 38 38 及以上	25 17	31 21	38 25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
7/16	小于 44 44 及以上	25 17	31 21	38 25	44 29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
1/2	小于 50 50 及以上	25 17	31 21	38 25	44 29	50 34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
9/16	小于 56 56 及以上	25 17	31 21	38 25	44 29	50 34	56 38	42	46	50	54	59	63	67	71
5/8	小于 63 63 及以上	25 17	31 21	38 25	44 29	50 34	56 38	63 42	46	50	54	59	63	67	71
最大允许偏差, 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, 米													
8.0	小于 0.78 0.78 及以上	0.63 0.43	0.79 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	小于 0.97 0.97 及以上	0.63 0.43	0.79 0.53	0.97 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	小于 1.12 1.12 及以上	0.63 0.43	0.79 0.53	0.97 0.63	1.12 0.74	0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
12.7	小于 1.27 1.27 及以上	0.63 0.43	0.79 0.53	0.97 0.63	1.12 0.74	1.27 0.86	0.97	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80
14.3	小于 1.42	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.07	1.17	1.27	1.37	1.50	1.60	1.70	1.80

	1.42 及以上	0.43	0.53	0.63	0.74	0.86	0.97								
15.9	小于 1.60	0.63	0.79	0.97	1.12	1.27	1.42	1.60							
	1.60 及以上	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
最大允许偏差, 毫米															
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：表中查不到的实际尺寸，使用时采用较高一级数值。

表 E.4
腹板两面都有中间加劲材，挑口装饰梁

腹板厚度 in	腹板高度 in	最小节距尺寸 in													
5/16	小于 47	33	41	49											
	47 及以上	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
3/8	小于 56	33	41	49	57										
	56 及以上	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
7/16	小于 66	33	41	49	57	65	73								
	66 及以上	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
1/2	小于 75	33	41	49	57	65	73	81							
	75 及以上	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
9/16	小于 84	33	41	49	57	65	73	81	89						
	84 及以上	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
5/8	小于 94	33	41	49	57	65	73	81	89	98					
	94 及以上	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112
最大允许偏差, 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, 米													
8.0	小于 1.19	0.84	1.04	1.24											
	1.19 及以上	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	小于 1.42	0.84	1.04	1.24	1.45										
	1.42 及以上	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	小于 1.68	0.84	1.04	1.24	1.45	1.65	1.85								
	1.68 及以上	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	小于 1.90	0.84	1.04	1.24	1.45	1.65	1.85	2.06							
	1.90 及以上	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	小于 2.13	0.84	1.04	1.24	1.45	1.65	1.85	2.06	2.26						
	2.13 及以上	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	小于 2.39	0.84	1.04	1.24	1.45	1.65	1.85	2.06	2.26	2.49					
	2.39 及以上	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
最大允许偏差, 毫米															
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

注：表中查不到的实际尺寸，使用时采用较高一级数值。

表 E.5
无中间加劲材、内部梁或挑口装饰梁

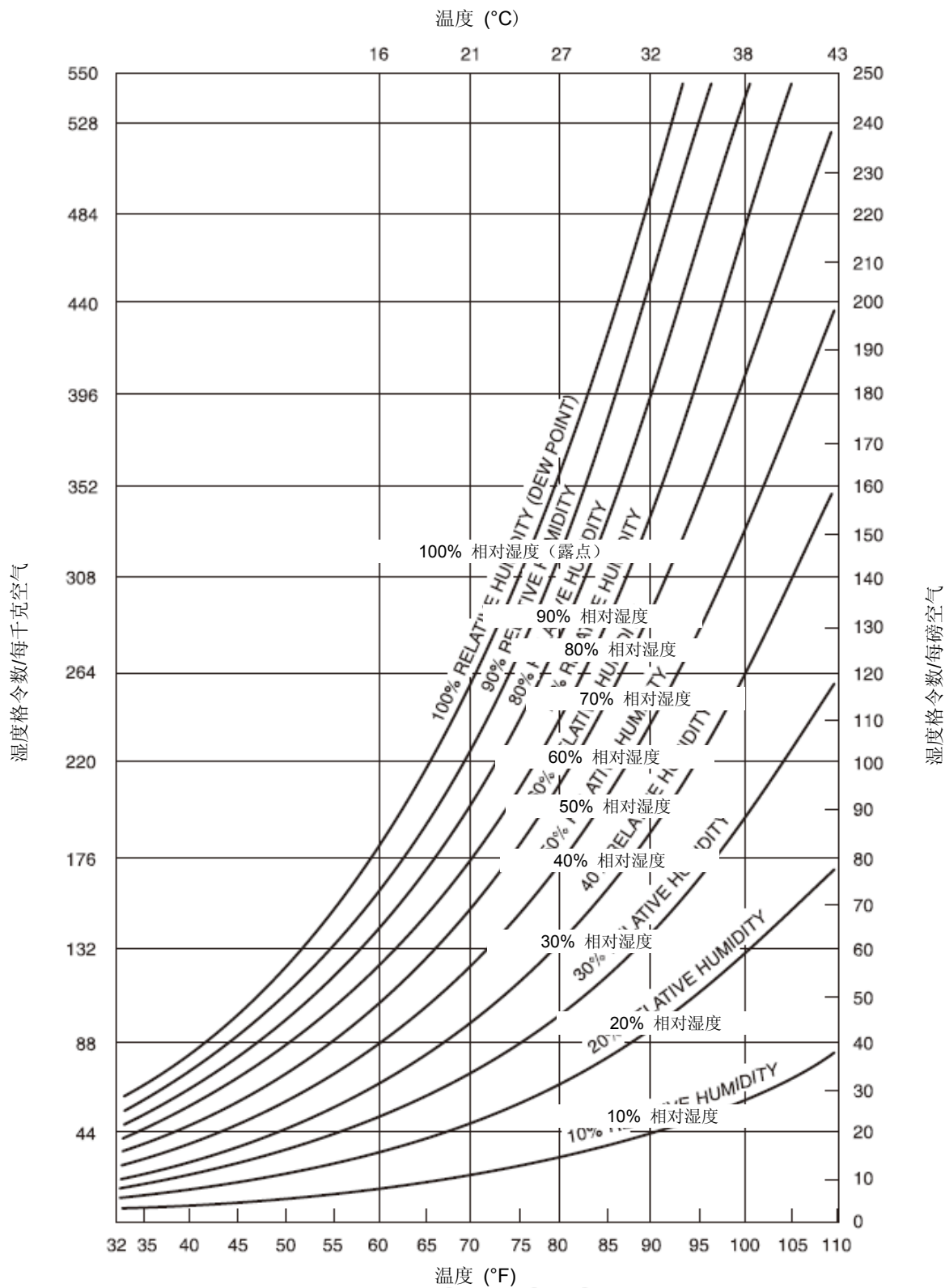
腹板厚度 in	腹板高度 in																
任意厚度	38	47	56	66	75	84	94	103	113	122	131	141	150	159	169	178	188
最大允许偏差, in.																	
	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16	1-1/8	1-3/16	1-1/4
														6		6	

腹板厚度 mm	腹板高度，米																	
	Any	0.97	1.19	1.42	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
最大允许偏差，毫米																		
	6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	29	30	32	

注：表中查不到的实际尺寸，使用时采用较高一级数值。

附录 F (标准性) 温度 — 湿度含量曲线图

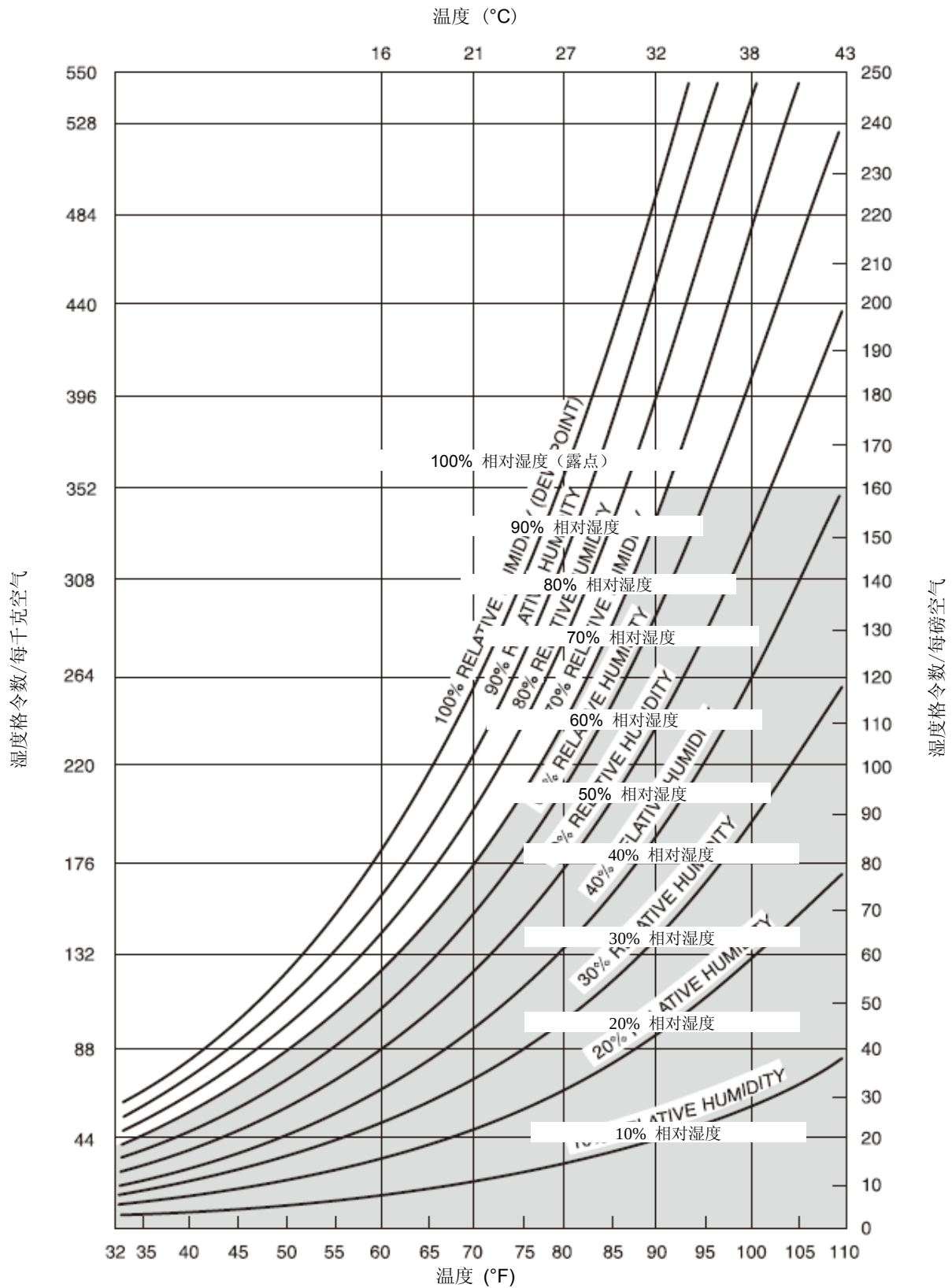
本附录是标准 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，还包括用于这一规范的强制性要求。



注:

1. 任何标准湿度图均可代替本图使用。
2. 使用本图以确定焊条暴露状况的实例参见图 F.2 。

图 F.1 — 温度 — 湿度曲线图结合试验计划用以确定低氢 SMAW 焊条在大气中的暴露时间（见 5.3.2.3）



示例：在 90°F [32°C] 和 70% 相对湿度 (RH) 测试的焊条可以在图中所示阴影区或条件下使用。在其他条件下使用需作附加试验。

图 F.2 — 应用温度 — 湿度曲线图确定低氢 SMAW 焊条在大气中暴露时间（见 5.3.2.3）

附录 G（标准性）
螺柱制造商的螺柱焊接端评定要求

AWS D1.1/D1.1M 标准上一版中所载的本附录的条款，已被移到本版的 7.9 条。

附录 H (标准性)

以其他认可的对比试块鉴定和校准 UT 探伤仪

(见图 H.1)

本附录是标准 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，还包括用于这一规范的强制性要求。

H1. 纵波型

H1.1 距离校准

H1.1.1 必须将换能器置于 DC 试块上的 H 位置或 DSC 试块上的 M 位置。

H1.1.2 调整仪器必须使荧光屏上 1 in [25 mm]、2 in [50 mm]、3 in [75 mm]、4 in [100 mm] 等处出现指示。

注：此方法用于 10 in [250 mm] 屏的校准，经修改后可校准 6.25.4.1 许可的其它距离。

H1.2 幅度。必须将换能器放在 H1.1 所述的位置，调整增益，见第一个回波的最大限度指示调到荧光屏高度的 50% ~ 75%。

H2. 剪切波型 (横波)

H2.1 核对探头的入射 (标志) 点位置

H2.1.1 必须将探头置于 DSC 试块上 J 或 L 位置，或 DC 试块上 I 位置。

H2.1.2 必须移动探头直至径向信号达到最大值。

H2.1.3 探头上与校准试块上刻线成直线的点就是入射点。

注：此入射点必须用于所有距离和角度的进一步校核。

H2.2 检查声路径角度

H2.2.1 必须将换能器置于下列位置：DSC 试块上 K 位置，检查 45° ~ 70° 角，SC 试块上 N 位置，检查 70° 角，SC 试块上 O 位置，检查 45° 角，SC 试块上 P 位置，检查 60° 角。

H2.2.2 必须在试块上表明换能器角度的刻线上往返移动换能器，使径向来的信号达到最大值。

H2.2.3 换能器上的入射点必须和校准试块上的角度标记进行比较 (公差 2°)。

H2.3 距离校准

H2.3.1 必须将换能器放在 DSC 试块上 L 位置 (图 H.1)，调整仪器，必须使荧光屏上 3 in [75 mm] 和 7 in [180 mm] 处出现指示。

H2.3.2 必须将换能器放在 DSC 试块上 J 位置 (任何角度)。调整仪器，必须使荧光屏上 1 in [25 mm]、5 in [125 mm]、9 in [230 mm] 处出现指示。

H2.3.3 必须将换能器放在 DC 试块上 I 位置 (任何角度)。调整仪器，必须使荧光屏上 1 in [25 mm]、2 in [50 mm]、3 in [75 mm]、4 in [100 mm] 等处出现指示。

注：此方法用于 10 in [250 mm] 屏的校准，经修改后可校准 6.25.5.1 许可的其它距离。

H2.4 幅度或灵敏度校准

H2.4.1 必须将换能器放在 DSC 试块上 L 位置(任何角度)。必须将来自 1/32 in [0.8 mm] 槽的最大信号调整到水平基准线高度。

H2.4.2 必须将换能器放在 SC 试块上如下位置:

70° 角: N

45° 角: O

60° 角: P

必须将来自 1/16 in [1.6 mm] 槽的最大信号调整到水平基准线高度。

H2.4.3 根据 6.23.1 的规定,必须将由 H2.4.1 或 H2.4.2 得到的分贝读书作为“基准值”“b”填写在探伤报告上(附录 M, 表格 M-11)。

H3. 水平线性校准方法

注: 由于本评定程序用直射波束探头进行, 其产生的纵波声速几乎是切变波(横波)声速的 2 倍, 因此, 在使用这一程序时, 量程必须约为所用横波距离量程的 2 倍。

H3.1 必须将符合 6.22.6 要求的直射波束探头耦合于下列位置:

IIW 试块: G (图 6.23)

DC 试块: H (图 H.1)

DSC 试块: M (图 H.1)

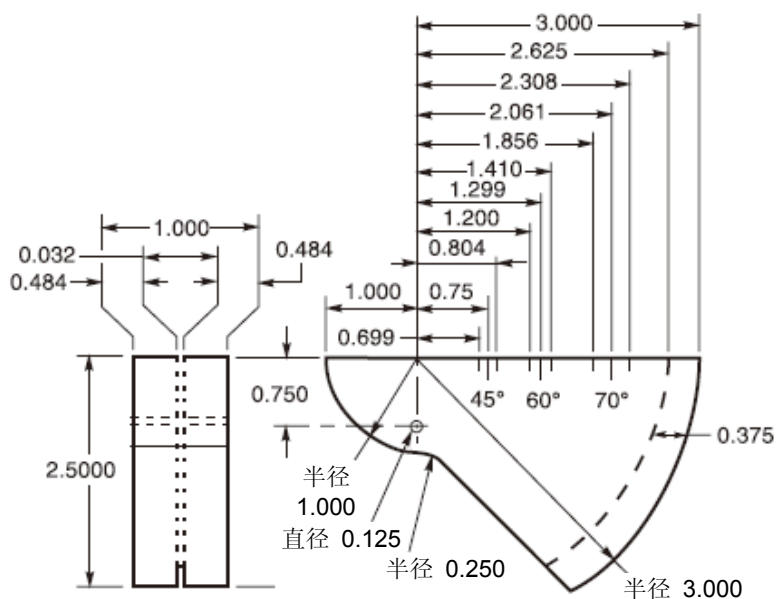
DS 试块: T 或 U (图 6.23)

H3.2 必须在鉴定范围内至少取得五个回波。

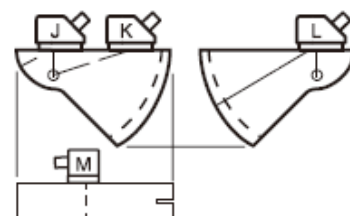
H3.3 必须使用距离校准和零位延迟, 将第一个和第五个底面回波调整至适当位置。

H3.4 通过增益或衰减控制将每一回波指示调到基准线, 检验水平位置。

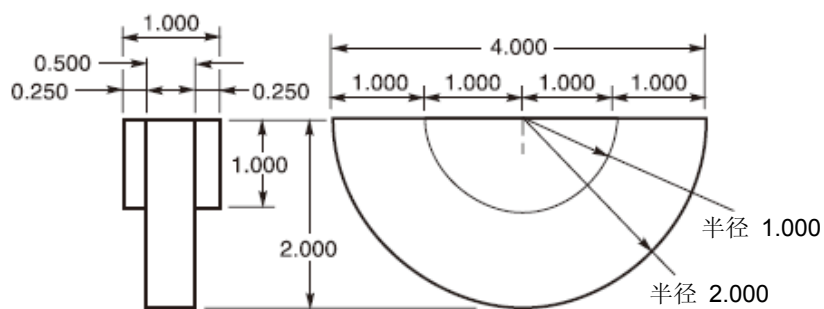
H3.5 每一个居中脉冲峰迹偏移位置必须准确, 偏差在屏幕宽度 $\pm 2\%$ 以内。



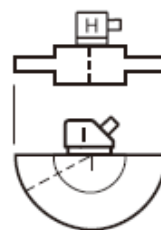
DSC 型 — 距离和灵敏度校准试块



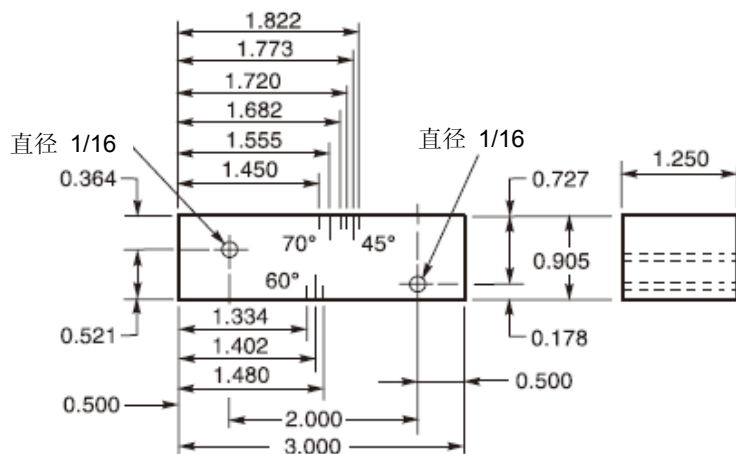
DSC 试块



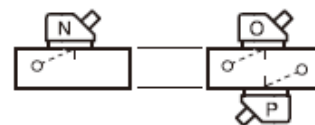
DC 型 — 距离对比试块



DC 试块



SC 型 — 灵敏度对比试块



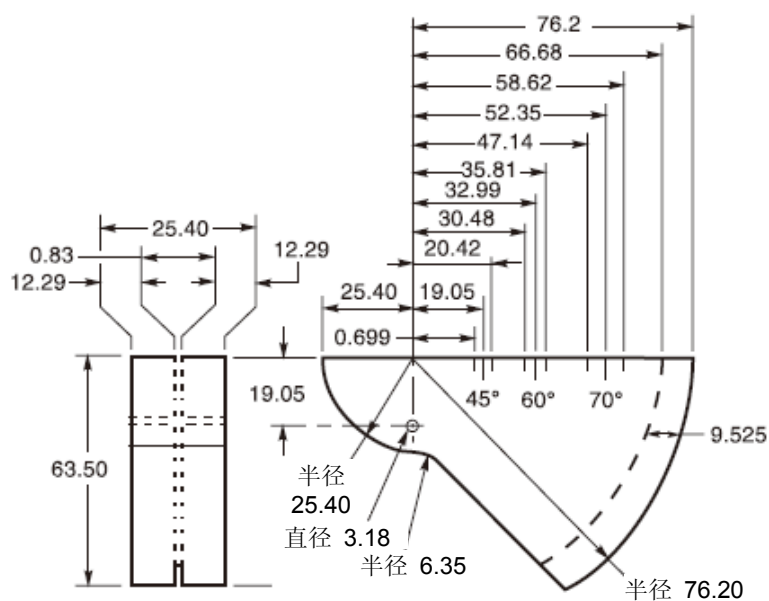
SC 试块

所有尺寸以英寸为单位

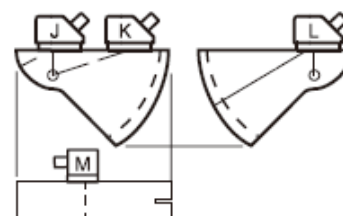
注:

1. 对比或校准时有关各表面之间的尺寸允许误差必须在标示值 ± 0.005 in 范围内。
2. 接受并反射声波所有表面的最大粗糙度必须为 $125 \mu\text{in r.m.s.}$ 。
3. 所有材料必须为 **ASTM A 36** 钢材或声学上等效的材料。
4. 所有孔的内壁必须光滑，且必须对材料表面钻成 90° 的孔。
5. 所有刻度线与标记必须在材料表面上加工成凹槽，以使标定线持久耐用。

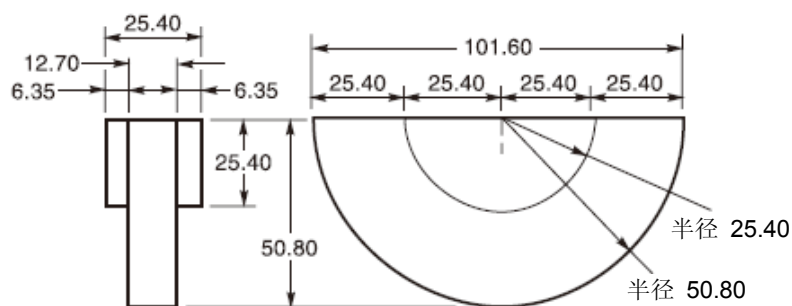
图 H.1— 其它认可的试块和典型的换能器位置 (见 H2.3.1)



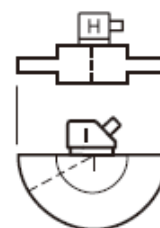
DSC 型 — 距离和灵敏度校准试块



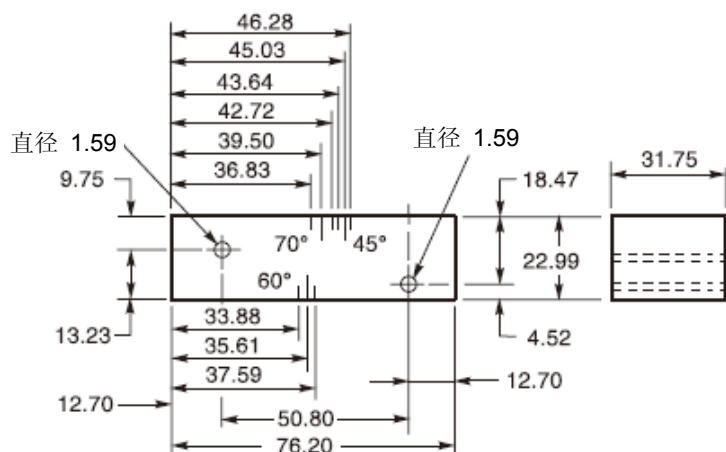
DSC 试块



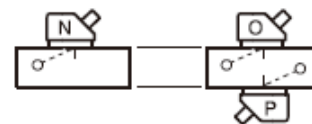
DC 型 — 距离对比试块



DC 试块



SC 型 — 灵敏度对比试块



SC 试块

所有尺寸以毫米为单位

注:

1. 对比或校准时有关各表面之间的尺寸允许误差必须在标示值 ± 0.13 mm 范围内。
2. 接受并反射声波所有表面的最大粗糙度必须为 $3.17 \mu\text{m r.m.s.}$
3. 所有材料必须为 ASTM A 36 钢材或声学上等效的材料。
4. 所有孔的内壁必须光滑, 且必须对材料表面钻成 90° 的孔。

5. 所有刻度线与标记必须在材料表面上加工成凹槽，以使标定线持久耐用。

图 H.1（续）— 其它认可的试块和典型的换能器位置（见 H2.3.1）（公制）

附录 I (标准性)

确定预热温度的可选用方法指南

本附录是标准 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，还包括用于这一规范的强制性要求。

11. 引言

本指南的目的是指出一些可供选用的方法，以确定焊接条件（主要是预热），来避免冷裂纹。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依据。没有一种方法用于所有情况下预测最佳条件都是有效的，但本指南着重考虑了表 3.2 的要求中明显没有包括的几个重要因素，诸如氢的含量和钢的化学成分。因此，本指南在说明表 3.2 的要求是否过于保守或者在某些情况下是否不符合需要的方面也许是由价值的。

用户可参阅条文说明，其中更详尽地介绍了引导所推荐的两种方法的科学和研究资料的背景。

当采用本指南作为表 3.2 的一种替代办法时，必须认真考虑所作的假设、所选的数值及以往的经验。

12. 方法

采用下列两种方法作为估计防止冷裂纹的焊接条件的基础：

- (1) 控制热影响区 (HAZ) 的硬度
- (2) 控制氢含量

13. HAZ 硬度控制

13.1 本指南有关使用这一方法的条款仅限于角焊缝。

13.2 本方法基于这种假设：只要热影响区的硬度保持在某个临界值下，就不会发生裂纹。将冷却速度控制在某一临界值以下即可达到这一目的，而冷却速度的临界值却取决于钢的淬硬性。焊接时钢的淬硬性与钢形成硬的热影响区的倾向有关，并且能以冷却速度为表征，而冷却速度是产生给定硬度的必要条件。所以，具有较高淬硬性的钢材与具有较低淬硬性的钢材相比，能够在较低冷却速度下产生硬的热影响区。

在技术文献中可以找到关于焊缝的冷却速率与钢材构件厚度、接头型式、焊接条件和变素之间关系的方程式和图表。

13.3 选择临界硬度值将取决于若干因素，诸如：钢材的类型，氢的含量，拘束度以及工作条件。角焊缝的实验室试验表明，如果 HAZ 的维氏硬度低于 350 HV，即使使用高氢焊条，HAZ 裂纹也不会发生。使用低氢焊条，则硬度达到 400 HV 也不会开裂。不过，在下述场合的使用中不可有如此高的硬度：存在增大应力腐蚀裂纹的危险性，或引发脆性破断或增大结构安全性和使用性的其它危险。

给定硬度值的临界冷却速度与钢材碳当量 (CE) 之间有近似关系（见图 I.2）。由于关系只是大致的，所以图 I.2 中的曲线，对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，特别是那些含钨（铌）的钢，较之图 I.2 所示可能更易淬硬，建议采用较低的硬度曲线。

13.4 虽然本方法能够用来确定预热温度，但其主要价值是确定能防止过分硬化所需的最小

线能量（因而是最小焊缝尺寸）。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

13.5 硬度法不考虑焊缝金属开裂的可能性。不过，根据经验，用此法确定的线能量对大多数角焊缝来说，通常已足够防止焊缝金属的开裂，只要焊条不是高强度的填充金属，而焊接方法通常为低氢型[例如低氢 (SMAW) 焊条、GMAW、FCAW、SAW] 即可。

13.6 因为本方法仅依赖于控制 HAZ 硬度，所以，很显然不考虑含氢量和拘束。

13.7 本方法不适用于调质钢[见 15.2 (3) 的限制]。

14. 控制氢含量

14.1 控制氢含量方法是基于这种假设：如果接头冷到大约 120°F [50°C] 以后，残留在接头中的平均含氢量不超过某一临界值，则不会产生裂纹，而氢含量的临界值取决于钢的化学成分和拘束。运用此法能够估算足以使氢扩散出接头所必须的预热温度。

14.2 本方法主要建立在有拘束的接头部分熔透 (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。本方法未用角焊缝作大量的试验；不过，由于考虑到拘束，所以也适当地适合于这种焊缝。

14.3 本控制氢含量方法需要确定拘束的程度及熔池中原来的含氢量。

在本指南中，拘束被分为高、中、低三级，且必须根据经验加以确定。

14.4 控制含氢量方法是以代表一条根据焊道的低线能量单焊道以及假定热影响区硬化为基础的。所以，本方法对淬硬性很高的高强度、低合金钢特别有用，在那些场合硬度控制法始终不适用。因此，由于假设了热影响区完全变硬，所以，对碳素钢来说，估计的预热温度也许太保守。

15. 方法的选择

15.1 建议将下列步骤作为指南，确定是选择硬度控制法还是氢含量控制法。

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 1.1 中的区域位置（见 16.1.1 有关取得化学成分的不同途径）。

15.2 每区的性能特征及推荐的做法如下：

(1) I 区。裂纹未必会出现，但在高氢含量或高拘束度的情况下也可能发生。使用控制氢含量方法来确定该区内钢材的预热温度。

(2) II 区。必须选用硬度控制法，并使用选定的硬度来确定无需预热的单道角焊缝的最小线能量。

若估出的线能量不实用，则用控制氢含量方法确定预热温度。

对于坡口焊缝，必须用控制氢含量方法来确定约热温度。

对于高碳钢，角焊缝和坡口焊缝这两种焊缝，也许都需要确定最小线能量以控制硬度和确定预热温度以控制氢含量。

(3) III 区。必须使用控制含氢量方法。在那些限制线能量以保持热影响区性能的场所（例

如某些调质钢），应采用控制含氢量的方法来确定预热温度。

I6. 细则指导

I6.1 硬度法

I6.1.1 必须按下式计算碳当量：

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

化学成分可取自：

- (1) 钢厂化验证明书
- (2) 典型产品化学成分（来自钢厂）
- (3) 技术规定中的化学成分表（用最大值）
- (4) 用户测试（化学分析）

I6.1.2 必须按照选定的最大热影响区硬度为 400 HV 或 350 HV 从图 I.2 中确定临界冷却速度。

I6.1.3 必须根据适当的“翼缘板”和“腹板”的厚度，从图 I.3 中选取合适的曲线并确定单道角焊缝的最小线能量。这种线能量适用于埋弧焊。

I6.1.4 对于其它的焊接方法，单道角焊缝最小线能量可以估算如下：按 I6.1.3 估计出用于埋弧焊 (SAW) 方法的线能量，再乘以下述系数：

焊接方法	系数
SAW	1
SMAW	1.50
GMAW, FCAW	1.25

I6.1.5 图 I.4 可用来确定角焊缝尺寸，角焊缝尺寸为线能量的函数。

I6.2 氢含量控制法

I6.2.1 化学成分参量 P_{cm} 值必须按下式计算：

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

化学成分必须按 I6.1.1 确定。

I6.2.2 含氢量必须按下述方法确定和解释：

(1) **H1 超低氢含量。**这些焊接材料为：使用 ISO 3690-1976 标准测定，扩散氢含量小于 5 ml/100g 熔敷金属；或根据 AWS A5.1 或 A5.5 要求，焊条药皮含水率不超过 0.2%。这种数据可由下述办法确定：将所用的焊接材料从包装或容器中取出后敞露防止一段预先打算的时间，适当考虑即将使用前的实际贮存条件，然后测试每一种型号、每一种商标或每一种焊丝/焊剂组合的焊接材料。可以采取下列措施来满足这一要求：

(a) 从密闭防潮容器中取出的低氢焊条，在 700°F – 800°F [370°–430°C] 烘焙 1 小时，取出后两小时内使用。

(b) GMAW 使用清洁的实芯焊丝。

(2) **H2 低氢含量**。这些焊接材料为：使用 ISO 3690-1976 标准测定，扩散氢含量小于 10 ml/100g 熔敷金属；或按 AWS A5.1 标准测定的焊条药皮含水率不超过 0.4%。这种数据可以通过测试所使用的每一种型号、每一种商标的焊条或者每一种焊丝/焊剂组合而获得。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 要求的密闭防潮容器中取出的低氢焊条，并在取出后四小时内使用。

(b) 使用干燥焊剂的 SAW。

(3) **H3 不控制含氢量**。不符合 H1 或 H2 要求的所有其它焊接材料。

16.2.3 必须根据表 I.1 确定敏感度指数分组。

16.2.4 最低的预热温度和道间温度。必须采用表 I.2 给出的最低预热温度和道间温度。表 I.2 给出了拘束的三个等级。所用的拘束等级必须根据 16.2.5 确定。

16.2.5 拘束度。属于不同拘束等级的焊缝类型分类应根据经验、工程判断、研究成果或计算确定。

三级拘束为：

(1) **低拘束**。这级拘束是指普通的角焊缝和坡口焊缝的接头，在接头中构件有适当的活动自由度。

(2) **中拘束**。这级拘束指如下切角焊缝和坡口焊缝的接头，由于构件已连接于结构产品，所有接头中活动自由度减少。

(3) **高拘束**。这级拘束是指如下焊缝：被连接的构件几乎没有活动自由度（例如返修焊缝，特别是在厚的材料中）。

表I.1

以含氢量“H”和化学成分参量 P_{cm} 为函数的敏感度指数分组（见 16.2.3）

含氢量 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 从 A 至 G 的敏感度指数分组，按注 b 所示公式，包括了化学成分参量 P_{cm} 和含氢量 H 的组合作用。

将已知 P_{cm} 值和下述 H 值 (ml/100g 焊缝金属) [见 16.2.2, (1), (2), (3)] 代入注 b 公式即可求得敏感度指数的精确数值：

$$H1=5; H2=10; H3=30.$$

为更加的方便，敏感度指数分组已用字母作了表格化处理，从 A 到 G 的每一字母都包括了敏感度指数的一小段范围，如下所述：

$$A = 3.0; B = 3.1-3.5; C = 3.6-4.0; D = 4.1-4.5; E = 4.6-5.0; F = 5.1-5.5; G = 5.6-7.0$$

表 I.2 中，将这些分组与拘束和厚度相结合，用以确定最小低预热温度和道间温度。

表 I.2
三个拘束等级的最低预热温度和道间温度
(见 16.2.4)

拘束等级	厚度 ^a in	最低预热和道间温度 (°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

(续)

^a 厚度为被焊的较厚部件厚度。

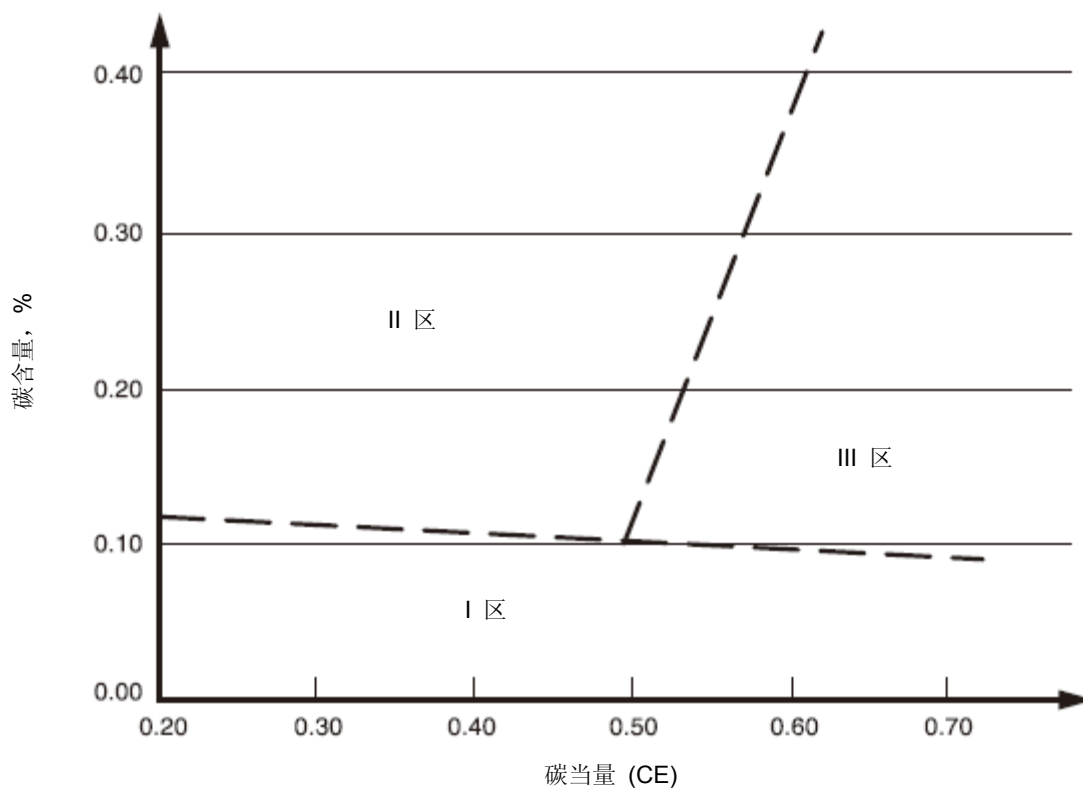
^b “<” 表明低于所示温度可以采用，以避免氢致裂纹。预热和道间温度两者既低于表中所列温度，又低于表 3.2 所列温度，则必须经试验作评定。

表 I.2 (续)
三个拘束等级的最低预热温度和道间温度
(见 16.2.4)

拘束等级	厚度 ^a mm	最低预热和道间温度 (°C) ^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

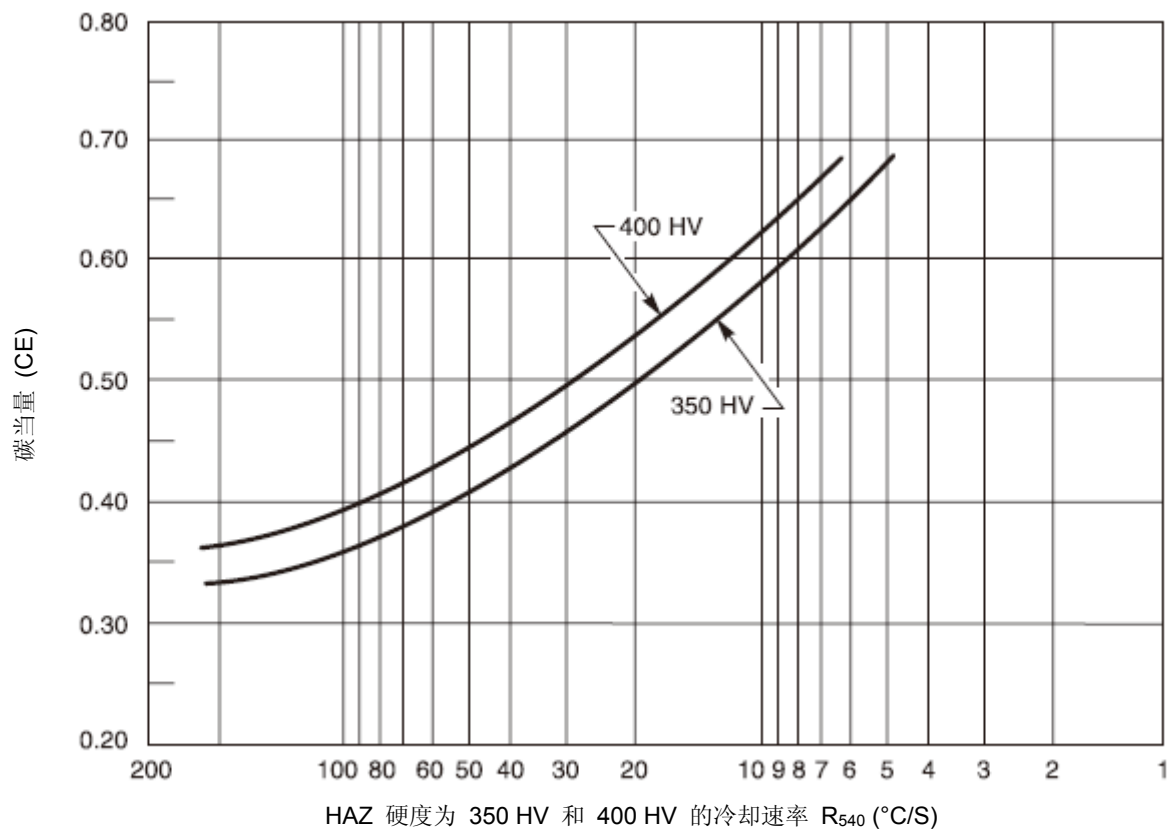
- a 厚度为被焊的较厚部件厚度。
- b “<” 表明低于所示温度可以采用，以避免氢致裂纹。预热和道间温度两者既低于表中所列温度，又低于表 3.2 所列温度，则必须经试验作评定。



注：

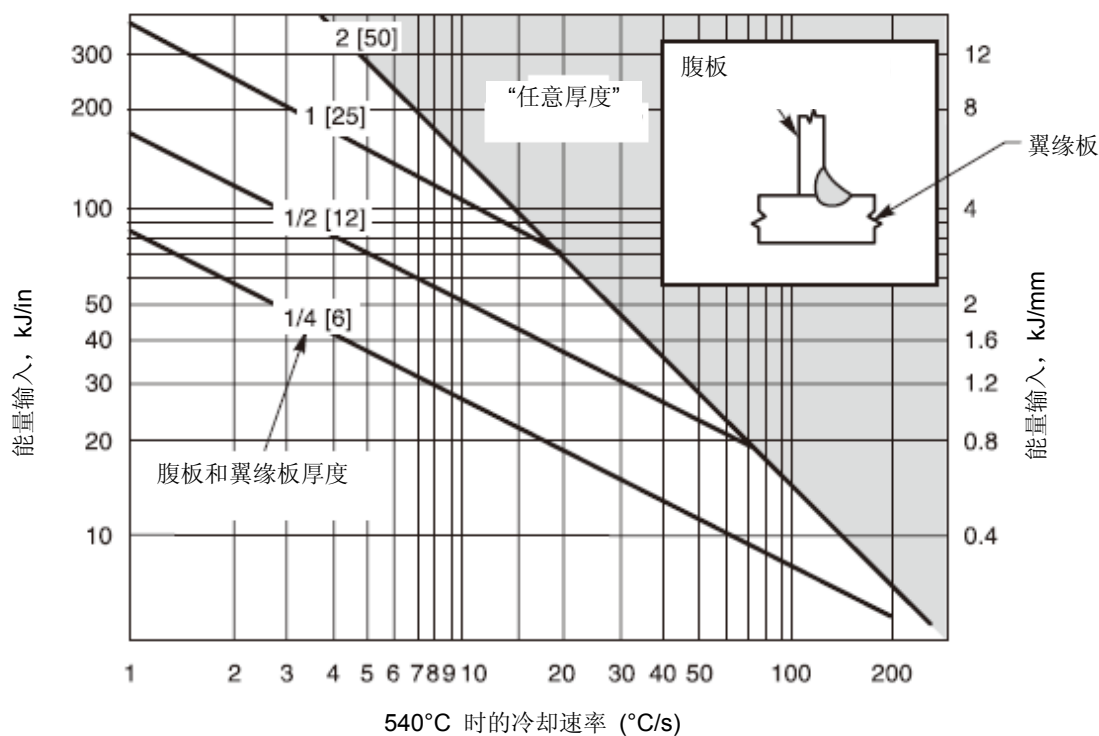
1. $CE = C + (Mn + Si) / 6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$.
2. 适用的区域特征见 I5.2 (1)、(2) 或 (3)。

图 I.1— 钢材的区域切分（见 I5.1）



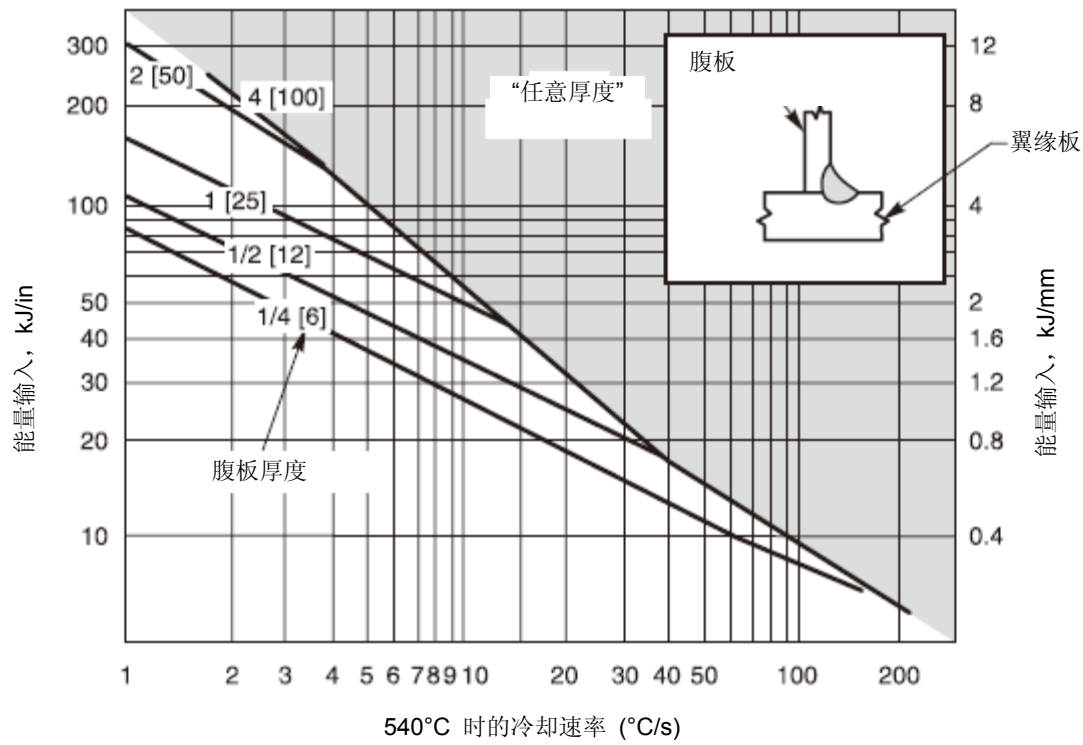
注: $\text{CE} = \text{C} + (\text{Mn} + \text{Si}) / 6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}) / 5 + (\text{Ni} + \text{Cu}) / 15$.

图 I.2— 350 HV 和 400 HV 临界冷却速率 (见 I3.3)



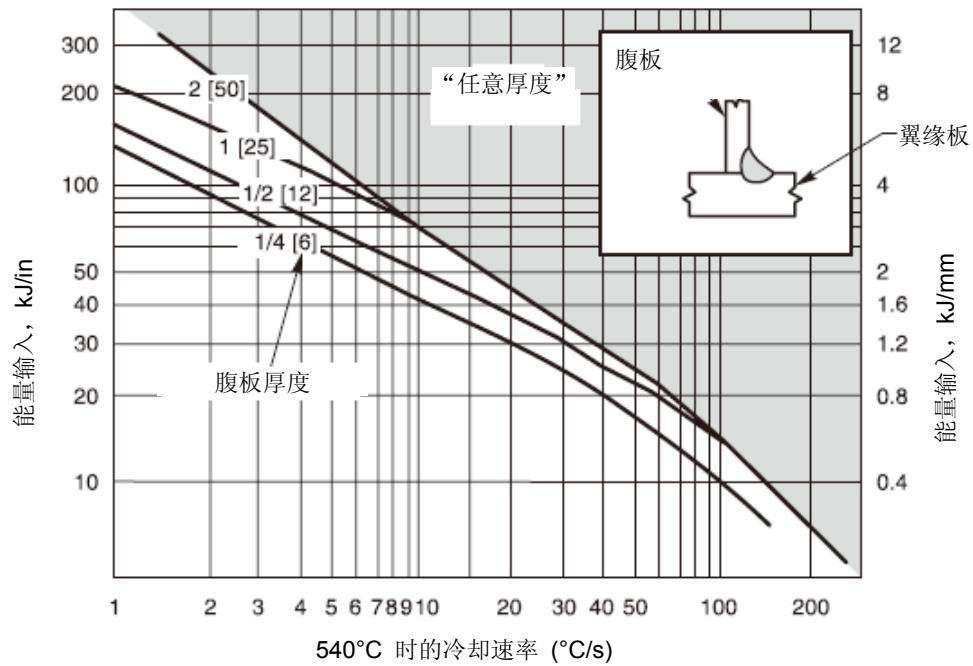
注: 由曲线所确定的能量输入不一定有适用性。因为某种组合的厚度会被熔穿。

(A) 腹板与翼缘板等厚的单道埋弧焊 (SAW) 角焊缝



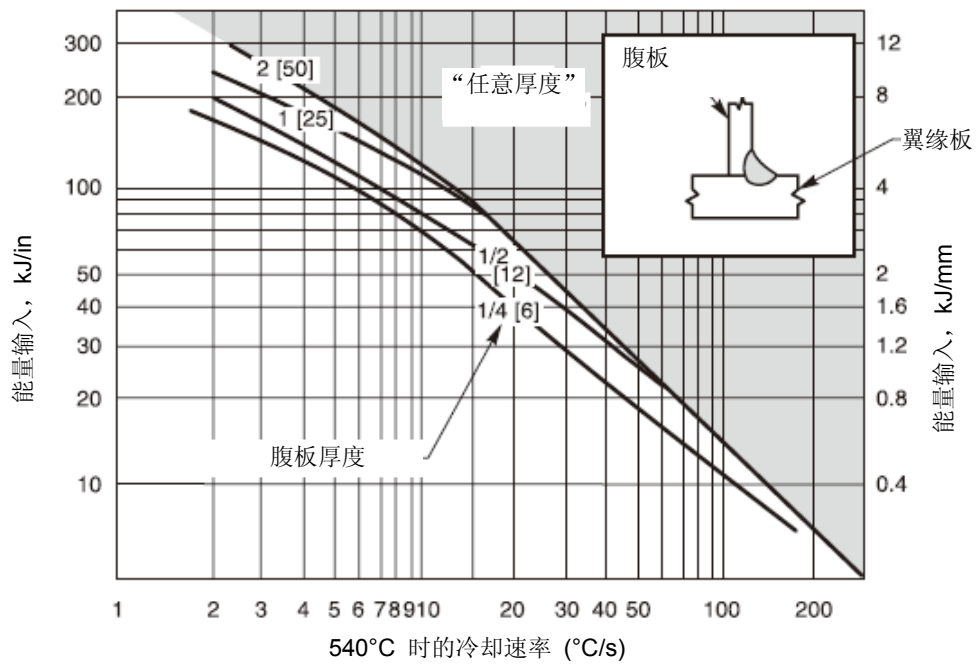
(B) 1/4 in [6 mm] 厚度翼缘板和不同厚度腹板的单道埋弧焊 (SAW) 角焊缝

图 I.3— 确定埋弧焊单道角焊缝的冷却速率曲线图 (见 I6.1.3)



注：由曲线所确定的能量输入不一定有适用性。因为某种组合的厚度会被熔穿。

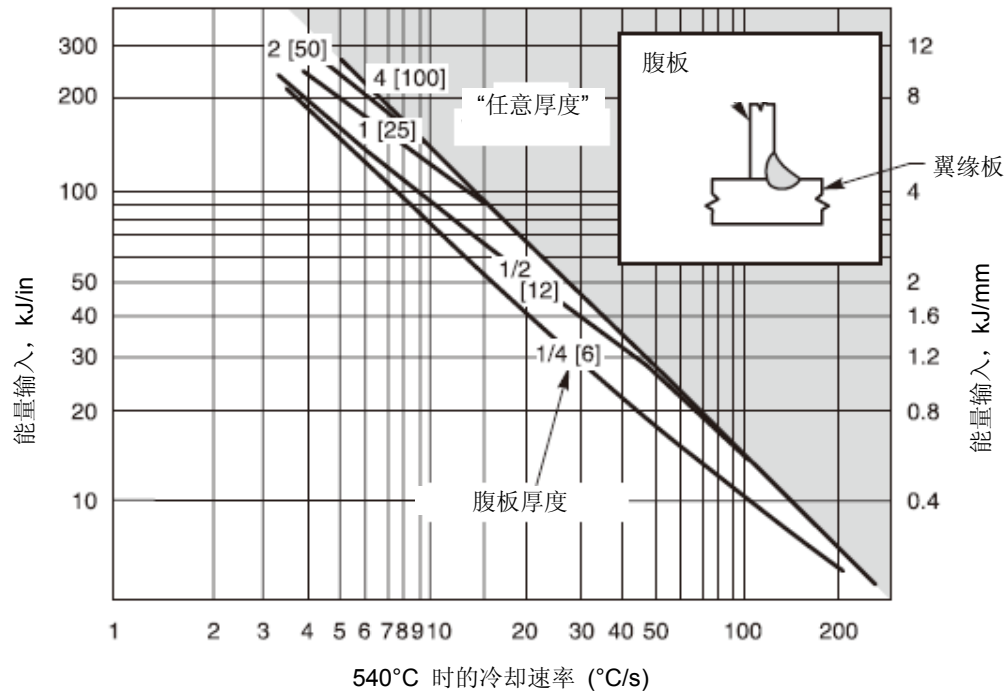
(C) 1/2 in [12 mm] 厚度翼缘板和不同厚度腹板的单道埋弧焊 (SAW) 角焊缝



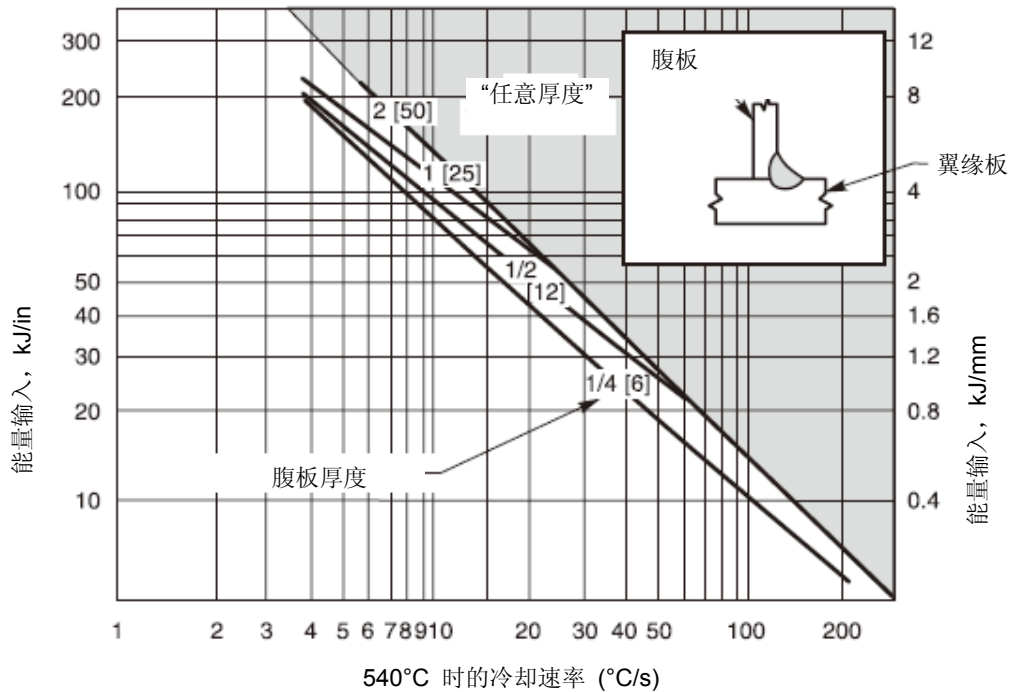
注：由曲线所确定的能量输入不一定有适用性。因为某种组合的厚度会被熔穿。

(D) 1 in [25 mm] 厚度翼缘板和不同厚度腹板的单道埋弧焊 (SAW) 角焊缝

图 I.3 (续) — 确定埋弧焊单道角焊缝的冷却速率曲线图 (见 I6.1.3)



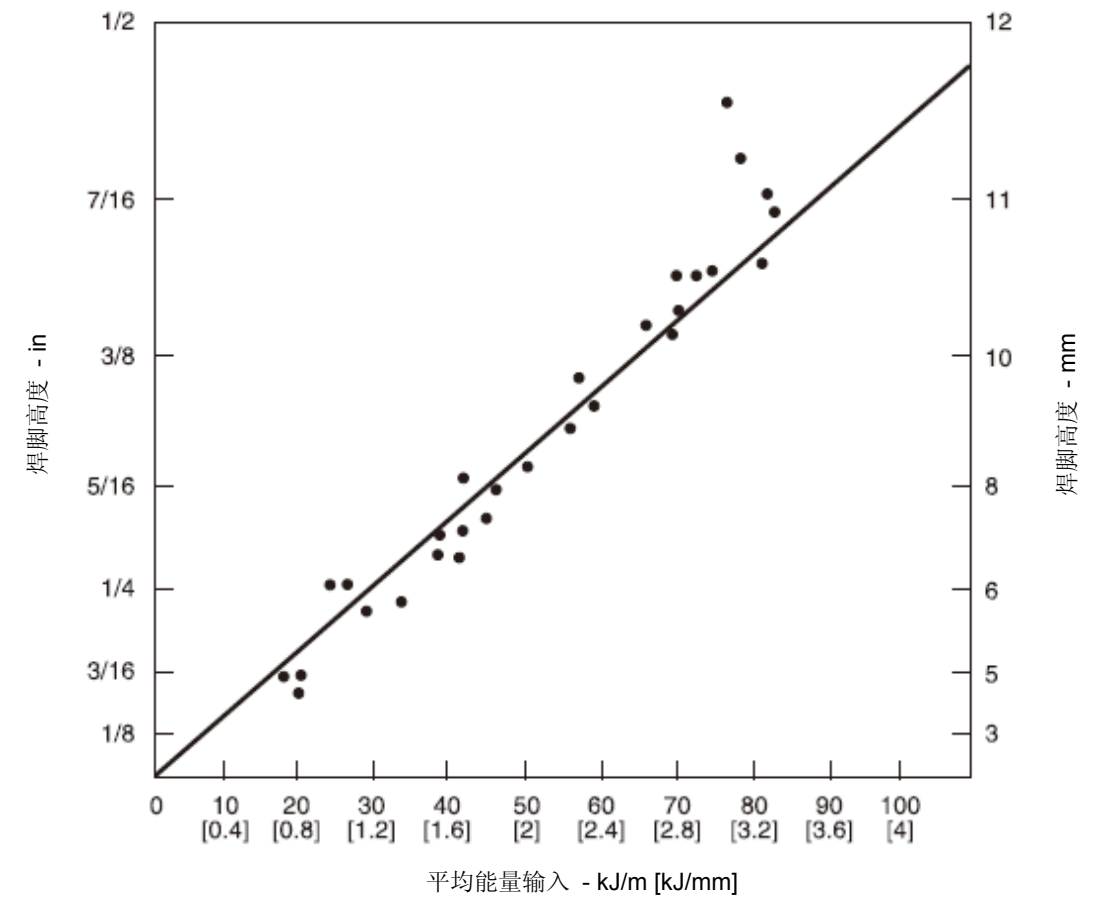
(E) 2 in [50 mm] 厚度翼缘板和不同厚度腹板的单道埋弧焊 (SAW) 角焊缝



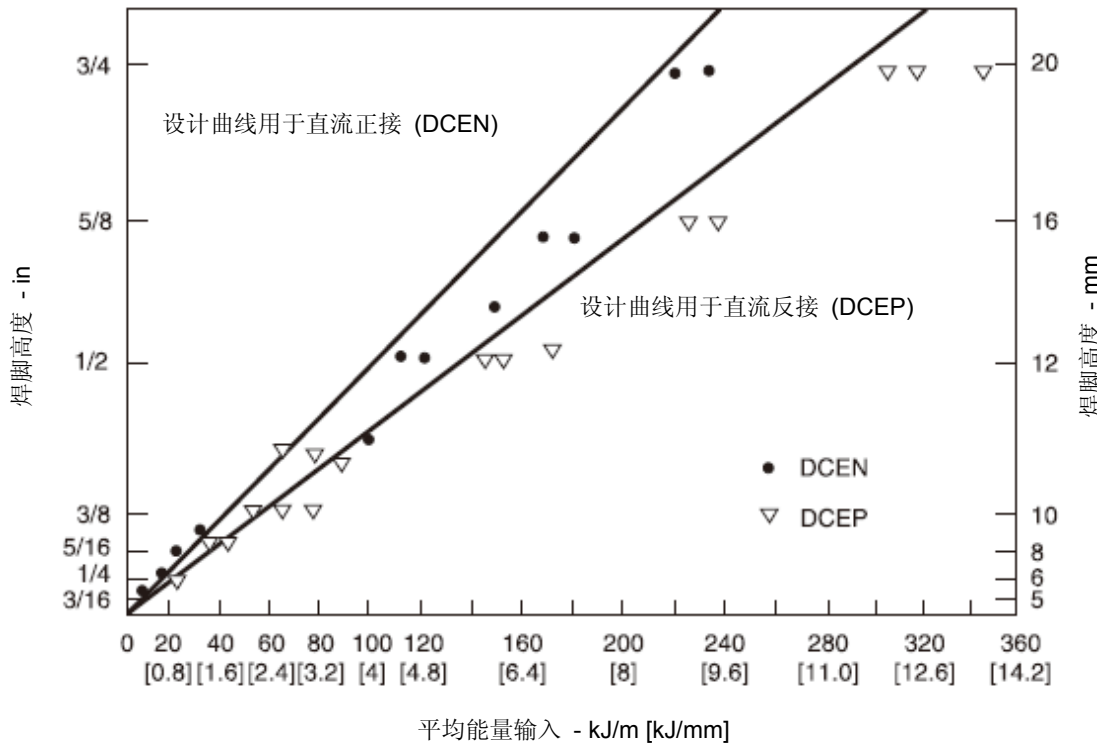
注：由曲线所确定的能量输入不一定有适用性。因为某种组合的厚度会被熔穿。

(F) 4 in [100 mm] 厚度翼缘板和不同厚度腹板的单道埋弧焊 (SAW) 角焊缝

图 I.3 (续) — 确定埋弧焊单道角焊缝的冷却速率曲线图 (见 I6.1.3)



(A) 气体保护金属电弧焊 (SMAW)



(B) 埋弧焊 (SAW)

图 I.4— 角焊缝尺寸和能量输入间的关系（见 I6.1.5）

附录 J (标准性)

管材连接焊缝设计的符号

本附录是标准 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，还包括用于这一规范的强制性要求。

用于第 2 章 D 部分的符号及含义如下：

符号	含义	符号	含义
α	(alpha) 弦杆椭圆参数	f_b	支构件弯曲应力
a	矩形空心截面产品的宽度	f_b	主构件弯曲应力
a_x	比值 $a/\sin \theta$	f_{by}	平面内弯曲标称应力
b	矩形管横向宽度	f_{bz}	平面外弯曲标称应力
$b_{ct} (b_{c(ov)})$	在穿透构件处的分支构件有效宽度	f_n	支构件标称应力
$b_{co} (b_c)$	弦杆上的分支构件管有效宽度	g	K 形节点的间隙
$b_{coi} (b_{cp})$	外部冲切的分支构件有效宽度	H	桁架平面内腹板高度 (箱形弦杆)
b_{gap}	K 形节点间隙处的有效宽度	γ	(gamma) 主构件柔性参数: R/t_c (圆形截面); $D/2 t_c$ (箱形截面)
β	(beta) 直径比 d_b/D r_b/R (圆形截面) b/D (箱形截面)	γ_b	管过渡部位半径与厚度之比
β_{gap}	K 形节点间隙处无量纲有效宽度	γ_t	穿入主构件的分支构件之 y (用于交叠连接)
β_{coi}	主构件中的 b_{coi} 与宽度的无量纲比值	ID	内径
β_{cop}	外部冲切的无量纲有效宽度	K-	连接配置
β_{eff}	K 形连接弦杆面可塑的有效 β 值	K_a	相对长度系数
c	角部尺寸	K_b	相对截面系数
D	主构件外径 OD (圆管) 或外宽 (箱形截面)	λ	(lambda) 相互作用敏感参数
D	累积疲劳损坏率 $\sum \frac{n}{N}$	L	接头套管长度
d_b	支管直径	LF	荷载系数 (在 LRFD 中荷载的部分安全系数)
η	(eta) 比值 a_x/D	l_1	分支构件与主构件接触处的实际焊缝长度
ϵ_{TR}	(epsilon) 总应变范围	l_2	交叠焊缝投影弦长 (一侧)
F	趾部角焊缝尺寸	M	施加的力矩
F_{EXX}	焊缝熔敷金属分类最小拉伸强度	M_c	弦杆中的力矩
F_y	母材屈服强度	M_u	极限力矩
F_{yo}	主构件屈服强度	n	所加荷载的周期
f_a	支构件轴向应力	N	在给定应力范围内的许用周期数
f_a	主构件轴向应力	OD	外径
		P	分支构件轴向荷载
符号	含义	符号	含义
P_c	弦杆的轴向荷载	t_b	分支构件壁厚度 用于标出接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝尺寸
P_u	极限荷载		分支构件壁厚用于标出

$P_{\perp}$	垂直于主构件轴线的单相构件荷载分量			接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝和角焊缝的尺寸的较薄构件的壁厚
ρ	交叠构件相贯线投影长度		t_c	主构件节点处套管壁厚度
q	交叠构件的重叠量		t_w	焊缝尺寸 (有效焊缝厚度)
Φ	(phi) 接头夹角		t'_w	如 2.24.1.6 中定义的 t_w
π	(pi) 圆的周长与直径之比 (圆周率)		τ	(tau) 分支构件与主构件相对厚度几何参数, 比值 t_b/t_c
Ψ	(psi) 局部二面角。见附录 K 定义		τ_l	$t_{overlap}/t_{thru}$ ($t_{交叠构件}/t_{穿入构件}$)
$\bar{\Psi}$	(psi bar) 在过渡区局部二面角角变位的补角	θ		(theta) 两构件轴线所夹之锐角 构件中心线之夹角 支撑构件相交轴线之夹角
Q_b	几何修正值			
Q_f	应力相互作用项			
Q_q	分支构件几何形状与荷载特性曲线修正值	$\bar{U}$		在主构件计算点的轴向应力和弯曲应力占许用应力的利用率
R	主管外半径			
R	根部间隙 (接头装配)	v_p		冲切剪应力
r	用半径量规测量的矩形空心管的角部半径	v_w		分支构件间焊缝的许用应力
r	相交线有效半径			
r_b	支管半径	x		代数变量 $\frac{1}{2\pi \sin \theta}$
r_m	焊缝有效焊缝厚度的平均半径			
SCF	应力集中系数	Y-		连接配置
Σl_i	(sigma) 实际焊缝长度之和	y		代数变量 $\frac{1}{3\pi} \cdot \frac{3-\beta^2}{2-\beta^2}$
T-	连接配置			
TCBR	受拉/受压货弯曲或兼有时的总公称应力范围管壁厚度	Z		Z 折减尺寸
t	分支构件壁厚度	ζ		(zeta) 间隙与 D 之比率

附录 K (信息性)

术语和定义

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

本术语表中的术语和定义分为以下三种：(1) 由 AWS“定义和代号委员会”汇编的常用焊接术语；(2) 由 AWS“结构焊接委员会”定义、只适用于超声波检测的术语，此类术语后注明 (UT)；(3) 其他前面冠以星号的术语，根据本规范有关内容予以定义。

本文件中使用以下术语和定义。

A

***合金焊剂。**焊接金属的合金含量主要取决于焊剂。

***全焊缝金属试样。**完全由焊缝金属组成的缩减断面试样。

***波幅长度的拒收基准 (UT)。**根据与焊缝尺寸有关的个中峰指示额定值而允许的不连续性的最大长度，如表 6.2 和 6.3 所示。

***斜角角度。**见斜角角度。

电弧刨槽。用电弧切割方法形成斜面或坡口的热刨槽。

焊后状态。焊后未经任何热处理、机械或化学处理的焊缝金属、焊接接头和焊件的状态。

***衰减 (UT)。**传播中的任何两点之间均会出现声能损失。这种损耗可能由于吸收、反射等引起。（本规范用切变波脉冲回波测试法，衰减系数在声道距离上最初一英寸之后为每英寸 2 dB）。

自动焊接。用设备进行的焊接，焊接中仅需偶然照看或根本无需照看，并且不需手工调节设备的控制。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。

***辅助附件。**用焊接办法附加于主要的承受应力部件上的部件或附件。这种部件可以或无需承受荷载。

焊缝轴线。参见焊缝轴线。

B

清根。从已焊接头焊缝根部一面清楚焊缝金属和母材金属，以便于接着从该面施焊时完全熔合和接头完全熔透。

衬垫。仅靠接头背面放置的、或者放置在电渣焊和气电焊焊缝两侧的材料或器件，用以承托和保持熔化的焊缝金属。焊接时，这种材料可以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。

背部焊道。背部焊缝的焊道。

衬环。环形衬垫，一般用于管材的焊接。

打底焊缝。焊缝形式的衬垫。

***打底焊缝（管子结构）。**仅从一面施焊的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的初始封焊焊道。用作后续焊道的衬垫，但不视为理论焊缝的一部分（图 3.8~ 图 3.10 中详图 C 和 D）。

背部焊缝。施焊于单面坡口焊缝背部的焊缝。

母材。被焊接、硬钎焊、软钎焊或切割的金属或合金。

坡口面角度。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。

箱形管。正方形或矩形横截面的管材产品。参见管状产品。

***支管交角 θ (管结构)。**支管中心线之间形成的锐角。

***建筑规范。**本规范中用到建筑规范这一术语时，指的是本规范适用的建筑法律或规定，或其他的建造条例。当缺少任何当地适用的建筑法律或规定，或其他建造条例时，则建议建造应符合美国钢结构学会 (AISC) 的建筑用结构钢设计、制作和安装的技术条件。

对接接头。对齐并大约在同一平面内的两构件间的接头。

对接焊缝。有关对接接头焊缝的非标准术语。见对接接头。

C

***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，但不完全覆盖。

***捻缝。**用机械方法使焊缝金属和母材表面塑性变形来封闭或掩盖缺陷。

完全熔合。遍及整个熔合面的以及所有相邻焊道间的熔合。

CJP (接头完全熔透)。坡口焊缝头根部的状态，焊缝金属熔透整个接头厚度。

***接头完全熔透坡口焊缝 (静荷载和周期荷载结构)。**从两面施焊或仅从一面在衬垫上施焊的坡口焊缝，在接头的整个厚度内焊缝金属与母材完全熔透并充分熔合。

***接头完全熔透坡口焊缝 (管结构)。**在接头的整个厚度内焊缝金属与母材完全熔透并充分熔合的坡口焊缝，或如图 2.21、4.26、3.6 至 3.10 的详图所示。当由于尺寸或形状，或同时由于这两者，而不能进入焊缝根部一侧，则允许不用衬垫仅从一侧施焊而制作接头完全熔透 (CJP) 管子坡口焊缝。

完全熔透。接头完全熔透的非标准术语。

结构辅助焊缝。为了在焊接件上附加一个或几个小件以便临时用于搬运、装载或在结构上工作而作的焊缝。

熔咀电渣焊。见 ESW。

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，焊缝完全环绕接头。

***合同文件。**由业主用合同规定的任何规范、技术条件、图纸或补充要求。

***承包商。**按照本规范的条款对制造、安装、生产或焊接负责的任何公司或代表公司的人。

***承包商检验员。**代表承包商就指定的合同文件和规范范围内所有检验和质量方面事务履行职责的正式指定人员。

角接接头。放置成约直角且相互形成 L 形的两构件间的接头。

***盖面焊道。**见盖面焊道。

CO₂ 焊接。用二氧化碳气体保护的气体保护熔化极电弧焊 (GMAW) 的非标准术语。

弧坑。焊道末端焊缝表面的凹陷。

***CVN。**夏比 V 形缺口。

D

***分贝 (dB) (UT)。**两个声能波幅或强度比的对数表达式。

***分贝额定值 (UT)。**参见首选条款指示额定值。

缺陷。本身的或通过积累的作用（比如整个裂缝长度）而产生的不连续性可以使零件或产品不能够达到最低的验收标准或规范。这一术语具有次品的明确含义。

缺陷焊缝。有一个或多个缺陷的焊缝。

***缺陷等级 (UT)。**参见指示等级。

***缺陷额定值 (UT)。**参见指示额定值。

熔深。在焊接时熔融金属从表面延伸到母材金属或先焊焊缝的深度。

***二面角。**参见局部二面角。

不连续性。材料特有的组织中断，例如缺少力学的、或冶金学的、或物理性能的均质性。不连续性不一定是缺陷。

俯焊。平焊位置的非标准术语。

***图纸。**指的是方案设计图、详图以及安装方案。

E

***边缘角（管结构）。**在为焊接而制备的削斜面 and 部件表面切线间所夹的锐角，在垂直于交线的平面内测量。所有削斜面都朝向支管外。

***焊缝有效长度。**存在焊缝适当比例横截面的长度。在曲线焊缝中，焊缝有效长度应沿着焊缝轴线进行测量。

EGW（气电焊）。一种电弧焊方法，它利用连续的填充金属焊丝和熔池之间产生的电弧、采用挡块约束熔融的焊缝金属，在接近于立焊的位置进行上升方式的焊接。可采用或不用外部供应的保护气体，但不施加压力。

ESW（电渣焊）。一种焊接方法，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。焊接熔池由这种熔渣保护，焊接进行时熔池沿接头整个横截面移动。焊接先由电弧加热焊剂开始。当电流在电极和工件之间流过时，由于焊剂的电阻而使焊剂保持熔融状态，熔融焊接是导电的，于是电弧熄灭。

熔咀电渣焊。电渣焊的一种形式，其填充金属为焊丝和导丝咀。

***端部烧焊。**角焊缝围绕部件转角部分的延续，作为该主要焊缝的延伸部分。

***工程师。**代表并以业主名义处理本规范范围内所有事宜的正式指定人员。

F

***疲劳。**这里所使用的“疲劳”，定义为在足够次数的应力波动后可能导致断裂的损坏。应力范围定义为这些波动的波峰至波谷的幅度。在应力相反变化的情况下，由于荷载条件的变化，应力范围必须按最大的重复拉应力和压应力的数值总和（代数差）来计算，或按给定的点相反方向剪应力的总和来计算。

贴合面。一构件与另一待接构件接触或非常接近的紧密贴合表面。

FCAW（药芯焊丝电弧焊）。在连续填充金属焊条与焊池之间使用电弧的电弧焊工艺。此法采用包含在管状焊丝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，但不加压力。

***FCAW-G（药芯焊丝电弧焊 — 气体保护）**。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（药芯焊丝电弧焊 — 自保护）**。药芯焊丝电弧焊的一种形式，其中保护仅由管状焊丝中包含的焊剂提供。

填充金属。制造焊接接头、硬钎焊接头或软钎焊接头过程中将添加的金属或合金。

角焊缝焊脚。接头焊根与角焊缝焊趾之间的距离。

喇叭形斜边坡口焊缝。由一曲坡面构件与另一平坡面构件之间形成的坡口焊缝。

***飞边**。从焊缝接头挤压出并形成于焊缝四周的材料。

平焊位置。从接头的上部进行焊接的焊接位置，这是焊缝轴线接近水平，焊缝表面也大约为水平面。

药芯焊丝电弧焊。见 FCAW。

熔化。填充金属和母材（基底）一起融化，或仅母材熔化而形成焊缝。

熔合型不连续性（缺陷）。表示夹渣、未焊透、未完成熔焊连接以及与熔融相关的类似不连续性缺陷。

熔化区。在焊缝横截面上确定的熔化过的母材区域。

G

气体保护熔化极电弧焊。见 GMAW。

***气泡**。气孔的非标准术语。

***几何不清晰度**。由于射线源规格、物体到胶片距离和射线源到物体距离的原因而造成的射线成像的模糊或清晰度不够。几何不清晰度可以通过下列数学表达式表示：

$$U_g = F (L_i - L_o) L_o$$

其中， U_g 表示几何不清晰度； F 表示焦点或者 γ 射线； L_i 表示射线源与胶片之间的距离； L_o 表示射线源与物体之间的距离。

气体保护熔化极电弧焊 (GMAW)。在连续填充金属焊条与焊池之间使用电弧的电弧焊工艺。此法使用外部供给的气体进行保护，但不加压力。

GMAW-S（气体保护熔化极电弧焊 — 短路电弧）。气体保护熔化极是弧焊的一种形式，其焊丝靠重复短路过程熔敷。

刨槽。见热刨槽。

坡口角度。两工件间坡口的整个夹角。

***坡口角度， Φ （管结构）**。在接头安装结束之后，确定将要使用填充金属填充的破口的相反面之间的角度。

坡口表面。包含在坡口中的接头部件的表面。

坡口焊缝。在工件之间坡口中形成的焊缝。

GTAW。气体钨极电弧焊。

H

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。

热影响区。见 HAZ。

水平固定位置（管焊接）。管接头的焊接位置。焊接时，管子轴线约呈水平，且管子不旋转。见图 4.1、4.2 和 4.4。

横焊位置，角焊缝。在约呈水平的表面的上册靠着约呈垂直的表面施焊（见图 4.1、4.2、4.3 和 4.5）。

***水平基准线 (UT) 。**靠近超声波检测仪器屏幕中心的一根水平线，所有回波据此调整得到分贝读数。

水平旋转位置（管焊接）。管接头的焊接位置。焊接时，管子轴线的呈水平，管子旋转，焊接在平焊位置进行（见图 4.1、4.2 和 4.4）。

***热点应变（管结构）。**应变的周期总范围。测量该应变应在焊接连接的最高应力集中点。当测量热点应变时，应采用足够小的应变片，以免陡峻梯度区域里的高、低应变受到平均。

I

***IQI（像质计）。**用其在射线照片上的成像以确定射线照片质量的装置。其既不用来评判不连续性尺寸，也不用以确定其验收限制。

像质计。见 IQI。

***指示 (UT) 。**显示于示波器上的信号，意味着被检测部分存在声波反射体。

***指示等级 (UT) 。**由某一焊缝缺陷产生相对于基线的高度指示值，经校准过的增益或衰减控制器而获得的读数。

***指示额定值 (UT) 。**按声波衰减修正后相对于零值基准线的分贝读数。

断续焊缝。被重复发生的未焊间隔阻断了连续性的焊缝。

道间温度。多道焊中，两焊道之间焊缝区域的温度。

J

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。。

接头熔深。焊缝金属从焊缝表面向接头内延伸的距离，不包括焊缝余高。

接头根部。待焊接接头部分，在该部分构件之间的距离最小。在横截面中，接头焊根可能会指一个点、一条线或一个区域。

***接头焊接工艺。**特定接头焊接过程中所使用的材料、详细方法和规程。

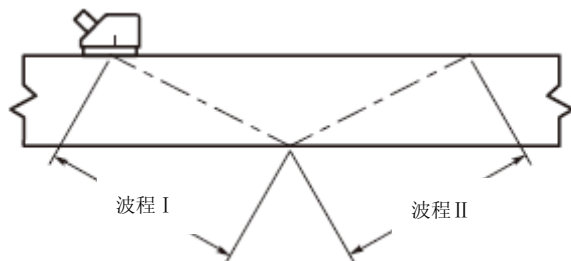
L

搭接接头。平行平面内两个重叠构件之间的接头。

***焊层。**焊缝金属的层或堆焊的材料。

焊层可以由一条焊道或多道边靠边的焊道组成。

***波程 (UT)。**在被正在试验的材料表面反射回来之前，剪力波在直线中传播的路线。见波程辨别简图。注：波程 I 加上焊脚 II 等于一条 V 形路线。



角焊缝焊脚。参见角焊缝焊脚。

***局部二面角， Ψ (管结构)。**在正在焊缝处焊接的管道的表面外切线之间和垂直于焊缝线的平面中测量该角。外部二面角，其中一个面向连接的局部横截面，这样相交的表面可以看作平面。

M

手动焊接。用手握持并操纵焊炬、焊枪或焊钳而进行的焊接。可以采用诸如部分运动装置和手工控制的焊接材料馈送装置等辅助设备。另请参见**自动焊接**、**机械焊接**和**半自动焊接**。

机械化方法 (XXXX-ME)。需要操作员通过视觉观察对设备进行手动调整的操作，采用机械装置控制的焊炬、焊枪或焊钳。参见**机械化焊接**。

机械化焊接 (W-ME)。参见**机械化方法**。

***MT。**磁粉检测。

N

***NDT。**无损检测。

***波程 (UT)。**参见**波程**。

***焊缝金属的公称拉伸强度。**由填充金属的分类数字所表示的焊缝金属的拉伸强度（如 E60XX 焊条的公称拉伸强度为 60 ksi [420 MPa]）。

O

***OEM (原始设备制造商)。**承担本规范指派给工程师的部分或所有责任的单一承包商。

仰焊位置。从接头下侧开始进行焊接的位置（参见图 4.1、4.2、4.3 和 4.5）。

焊瘤，熔焊。焊接金属伸出焊趾或焊根的部分。

***业主。**拥有本规范下生产的产品或结构组件法律所有权的个人或公司。

氧气切割 (OC)。借助氧气和高温母材的化学反应而切断或移去金属的一组热切割方法。所需温度可由来自电弧、氧气燃料火焰或其他能源的加热维持。

氧气刨槽。用氧气切割方法形成斜面或坡口的热刨槽。

P

***并联焊条**。参见 SAW。

接头部分熔透。参见 PJP。

焊道。参见焊道。

锤击。用冲击式打击对金属进行的机械加工。

***管**。根据管形产品规范生产或制造的圆形横截面的管形产品。参见管状产品。

***管状气孔 (ESW 和 EGW)**。长形孔隙，其主要尺寸大致平行于焊缝轴的方向。

***管状气孔 (一般)**。长形气孔，其主要尺寸大致垂直于焊缝表面的方向。当该孔隙延伸至焊缝表面时，其常被称为针孔。

PJP。接头完全熔透以外的接头熔透。

塞焊。在接头其中一个构件圆孔中形成的焊缝，将一个构件与另一个构件熔融在一起。角焊孔不得视为符合该定义。

气孔。凝固过程或热喷涂熔敷中由于气体停滞于某处而形成的空穴型不连续性。

定位焊缝。在置于特定位置以便形成焊缝的接头中形成的焊缝。

***焊后热处理**。焊接之后的任何热处理。

预热。焊接、硬钎焊、软钎焊、热喷涂或切割即将实施前对母材的加热。

预热温度 (焊接用)。即将开始焊接前环绕焊接点一定体母材的温度。在多道焊缝中，也指即将施焊第二或后续焊道前的温度。

***PT**。液体渗透检测。

***PWHT**。焊后热处理。

Q

评定。参见焊工资格评定和 WPS 评定。

R

随机顺序。纵向顺序上焊道系随机施焊而得。

***对比基准 (UT)**。从参考反射体获得的分贝读数用于水平基准线高度指示。

***参考反射体 (UT)**。国际焊接学会 (IIW) 标准试块或其他已批准的试块中包含的已知几何反射体。

焊缝余高。参见焊缝余高。

***分辨力 (UT)**。UT 设备能够从密集的反体中发出不同指示的能力。

钝边。在接头根部里面的那一部分坡口表面。

根部间隙 (root gap)。根部间隙 (root opening) 的非标准术语。

接头根部。参见接头焊根。

焊缝根部。参见焊根。

根部间隙。工件之间接头焊根分离。

***RT**。射线检测。

S

SAW（埋弧焊）。在一个裸金属焊条或多个焊条与焊池之间使用一个或多个电弧的电弧焊工艺。电弧和熔融金属将由工件上的一层颗粒状焊剂进行保护。本方法不采用压力，填充金属来自焊丝而有时有补充来源（焊棒，焊剂或金属颗粒）。

***单焊丝。**一根焊丝单独地连接于一个电源，该电源可以由一个或多个电源装置组成。

***并联焊条。**两根焊丝在电路上并联而各自连接于同一电源。这两根焊丝通常用一个焊丝进给器送给。规定的焊接电流为两根焊丝的电流总和。

***多焊丝。**两个或多个单焊丝或并联焊丝系统的组合。每个组成系统都可以有独立的电源及其自己的送丝机构。

***扫查水平 (UT) 。**扫查时所用的 dB 设定，如表 6.2 和 6.3 所述。

半自动焊。使用能够自动控制一种或多种焊接条件的设备进行的手动焊接。

***架子棒材。**用于支持存储在水平坡口焊缝接头中的多余焊接金属溢出的钢板、棒材或类似元件。

药皮焊条电弧焊。参见 SMAW。

保护气体。用以阻止或减少大气污染的保护性气体。

单面施焊接头。仅从一面焊接的接头。

焊缝尺寸。参见焊缝尺寸。

槽焊。在接头的一个构件的长孔中施焊、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。

SMAW（药皮焊条电弧焊）。一种电弧焊方法，利用药皮焊条和熔池之间产生的电弧进行焊接。其保护来自焊条药皮的分解，填充金属来自焊条，不施加压力。

***声程距离 (UT) 。**见声程距离。

***声程距离 (UT) 。**探测器试验材料接口和反射体之间的距离。沿着声束的中心线测量该距离。

飞溅。熔焊过程中排出的金属颗粒，将不会形成焊缝的任何部分。

窄焊道。焊接时无明显横向摆动的焊道类型。

***螺柱焊接端。**焊接端的双头螺栓尖端，包括焊剂和容器，与尖端相邻的双头螺栓体的长度为 1/8 in [3 mm]。

***螺柱焊 (SW) 。**一种电弧焊接方法。利用金属螺柱或类似部件与其他工件之间产生的电弧进行加热，使它们形成金属的结合。待连接表面进行适当加热后，在压力条件下将会聚在一起。在螺柱周围使用陶瓷套圈可能会提供部分保护。可能会或可能不会使用保护气体或熔剂。

埋弧焊。参见 SAW。

T

定位焊缝。一种焊缝，旨在确保焊件部件处于适当对准状态直至形成最终焊缝。

***定位焊工。**正式焊缝施焊前，为了将焊件的一些部件保持于对准合适的位置进行定位焊

的装配工或装配工指导下的人员。

***纵列焊丝焊接。**系指多根焊丝的集合排列，其电弧的排列平行于焊接方向。

热刨槽。热切割方法的一种形式，即用熔化或燃烧来完全清除要被移出去的那部分金属，以形成斜面或坡口。

角焊缝焊缝厚度。

实际焊缝厚度。焊件剖口与角焊缝表面之间的最短距离。

理论焊缝厚度。距离接头焊脚（垂直于最大直角三角形斜边）开端的距离，可铭刻在角焊缝横截面内。该尺寸以根部间隙等于零的假定为基础。

坡口焊缝的焊缝厚度。坡口焊缝尺寸的非标准术语。

T 形接头。二构件相互放置成接近直角而成 T 形的接头。

焊趾。参见焊趾。

***横向不连续性。**长的尺寸垂直于焊缝“X”轴的焊缝不连续性，见附录 M 表格 M-11。

***管形件。**管状产品（参见管）以及根据管状产品规范生产或制造的方形、矩形以及圆形中空截面形状的系列产品的统称。也称作空心结构型材 (HSS) 。

***管连接。**结构中包括两个或更多交叉构件而且其中至少有一个是管状构件的连接。

***管接头。**互相交叉的管状构件（交叉的另一构件可以是或不是管状）形成的接口之中的接头。

U

***不合格的不连续性。**参见缺陷。

咬边。熔成基底金属的坡口，与焊趾或焊根相邻，并且尚未使用焊接金属进行填充。

***UT。**超声检验。

V

***监造检验员。**在工程师规定的所有检验和质量事务上代理和代表业主的经正式指定的人员。

立焊位置。焊接点处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、4.2、4.3 和 4.5）。

***垂直位置（管焊接）。**以横焊位置进行焊接的管接头位置，焊接时管不旋转（见图 4.1、4.2 和 4.4）。

***V 形路径 (UT) 。**切变超声波束自探头与测试材料的界面，至测试材料的另一面并返回至原来表面所经过的距离。

W

摆动焊道。施焊时横向摆动的焊道类型。

焊缝。通过施加或不施加压力将材料加热至焊接温度或通过使用或不使用填充金属仅施加压力产生的金属或非金属局部聚结。

焊接性。材料经受焊接的能力，即能否在施加的制作条件下成为特定的、符合设计要求

的结构并圆满地完成预期的使用任务。

焊缝轴线。一条贯穿整个焊缝长度的线，与焊缝横截面垂直，位于焊缝横截面几何中心。

焊道。一次施焊形成的焊缝。见窄焊道和摆动焊道。

焊工。负责执行手动或半自动焊接操作的人员。

焊工证书。焊工加工的焊缝符合规定的焊工资格标准的书面证明。

焊工资格评定。证明焊工能够生产满足所述标准焊缝的过程。

焊缝面。进行焊接操作一侧的焊缝外露表面。

焊接。材料结合的方法，这种结合系在使用压力或不使用压力下将材料加热到焊接温度，或单用压力来实现，并且这一过程中使用或不使用填充材料。亦见最新版的 **AWS A3.0** 中的焊接和相关方法的总图表。

焊接机器。用于执行焊接操作的设备。例如，点焊机、电弧焊机和缝焊机。

焊接操作人员。操作适应控制、自动化、机械化或机器人的焊接设备的人员。

焊接顺序。焊件上焊缝的施焊次序。

焊道。沿接头进行单程的焊接。

一个施焊道只得到一个焊道或焊层。

焊缝余高。超出填满接头所需容量的那部分焊缝金属。

焊根。在横截面图上根据表面和母材表面相交的点。

焊缝尺寸。

角焊缝尺寸。对于拥有相同焊脚的角焊缝，最大等腰直角三角形的焊脚长度（可铭刻在角焊缝横截面内）。对于拥有不同焊脚的角焊缝，最大直角三角形的焊脚长度（可铭刻在角焊缝横截面内）。

注：当一构件与另一构件所成角度大于 105° 时，焊脚长度（尺寸）不如有效焊缝厚度重要，有效焊缝厚度为焊缝强度的控制因素。

坡口焊缝尺寸。坡口焊缝的接头熔深。

焊缝引、熄弧板。延伸超出接头的两端、用来开始或终止焊缝的附加材料。

焊趾。焊面和母材的接合处。

焊件。用焊接将组成构件连接起来的装配件。

WPS 评定。证明经特定工艺形成的焊缝能够满足指定标准的过程。

***WPS（焊接工艺规程）。**包括在焊接件生产中所有接头焊接工艺的详细的方法和实施。见接头焊接工艺。

附录 L（信息性） 规范编写者指南

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

合同文件关于所有焊接按 AWS D1.1“钢结构焊接规范”执行的陈述，仅包括指令性焊接要求。本规范的其它条款则是选用性的。只有规定时才应用这些条款。以下一些比较常用的选用条款和如何规定这些条款的示例。

选用条款	典型的技术规定
制作/安装检验[当不是承包商的责任时 (6.1.1)]	制作/安装检验由业主执行。 或 制作/安装检验由业主聘请的检测机构执行。 <i>注：当制作/安装检验由业主或业主聘请的检测机构执行，则必须明确这种检测范围内的全部细节。</i>
验证检验 (6.1.2)	验证检验 (6.1.2) 必须由承包商执行。 或 验证检验 (6.1.2) 由业主执行。 或 验证检验由业主聘请的检测机构执行。 或 放弃验证检验。
无损检测	无损检测总则： 每一种接头类型和应力类型（拉伸、压缩和剪切）明确所用（除 [6.14] 目检外）NDT 的类型、检验范围、采用的任何特殊技术和合格准则。随附具体示例（作示例解释而非建议）。工程师必须对每一种情况确定特定的要求。

（续）

选用条款	典型的技术规定
无损检测（续）	静荷载结构制作： 重要连接的拉伸对接接头坡口焊缝 — 最初四个接头的每一个接头焊缝作 25% UT，其余接头的每一个接头焊缝作 10% UT。合格准则 — 表 6.2。 角焊缝 — 用 MT 检验每一条焊缝的长度的 10%。合格准则 — 表 6.1。 周期荷载结构制作： 拉伸对接拼板 — 100% UT，或 100% RT — 合格准则 — UT: 6.13.2; RT: 6.12.2。 轴向荷载部件的完全熔透角接头焊缝： 拉伸应力 — 100% UT，扫查方式 D 或 E — 合格准则 — 表 6.3。 压缩应力 — 25% UT，扫查方式 A、B 或 C。合格准则 — 表 6.1。 角焊缝 — MT 检验每一条焊缝的长度的 10% — 合格准则 — 6.12.2。
(6.15.3)	或 按小于 100% 检验的焊缝有任何部分拒收时，必须对该焊缝作 100% 的检验。 或
(6.15.3)	对部分长度进行检验的焊缝有任何部分拒收时，必须对存在缺陷受检验长度焊缝的每一端进行检验。

附录 M（信息性） UT 设备的鉴定和检验表格

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 *钢结构焊接规范*的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

附录中包括使用 M-8、M-9 和 M-10 三种表格记录超声检测数据的举例。该三种表格的每个举例说明在超声检测焊缝中表格的使用方法。表格 M-11 用于报告焊缝的超声检测结果。

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_____ (先前已有的) _____ (经调整的)

补充说明

- 从最低的 dB 级开始, 此时由 DS 试块钢超过 2 英寸的界面可以获得显示器屏高 40% 的读数。加上 6dB 并记录这一 dB 读数于 "a" 行, 显示高度于 "b" 行, 且在表格曲线图上作为起始点。
- 在记录下这些数据于 "a"、"b" 行之后, 滑动换能器得到一个新的显示屏高 40% 的读数。不移动换能器, 加上 6 dB, 记录这一新的 dB 读数于相应的行中。在设备允许条件下多次重复这一步骤。
- 由 "b" 行求出屏幕值 % 数的平局值, 但要舍弃表中开头和最后各 3 各数据不用。将该百分比用作 %₂, 从而计算校正读数。
- 下列方程用来计算 "c" 行:

%₁ 为 "b" 行

%₂ 为 "b" 行的平均值

(不必顾及表格的首行和后面三行)。

$$dB_2 = 20 \times \log\left(\frac{\%_2}{\%_1}\right) + dB_1$$

dB₁ 为 "a" 行

dB₂ 为 "c" 行

- dB 误差 "d" 行系从 "a" 行值中减去 "c" 行值: (a - c = d)。
- 累计 dB 误差 "e" 行, 从最接近于 0.0 的 dB 误差 "d" 开始, 水平方向累加 dB 误差 "d" 值, 将部分和置于 "e" 行。
- 自 % 数平均值线向左、右水平移动, 找出跨距, 使其中最大和最小累加 dB 误差数值保持或低于 2 dB。数出水平移动的格数, 减去 1, 余数乘以 6。该 dB 值即为装置的合格范围。
- 为了用图示的方法确定合格范围, 表 M-8 应与表 M-9 共同使用。方法如下:
 - (1) 以垂直方向为累加 dB 误差 "e" 行值, 水平方向的偏移量为 "a" 行 dB 读数
 - (2) 经过这一系列点画出一根曲线。
 - (3) 在该曲线上垂直定位 2 dB 高水平窗, 从而使得最长部分完全包含在 2 dB 误差高度内。
 - (4) 该窗长度代表装置的合格 dB 范围。

行	项	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	dB 读数													
b	显示高度													
c	校正读数													

d	dB 误差													
e	累计 dB 误差													

精度要求：最小允许范围为_____。%₂（平均）_____ %

设备为：合格可使用_____不合格_____重新校准的预定日期_____

总评定范围_____dB 到 _____dB = _____dB 总误差_____dB（出自上表）

总评定范围_____dB 到 _____dB = _____dB 总误差_____dB（出自上表）

校准人_____ 基准_____ 区位_____

表 M-8

超声设备校准报告 — AWS

超声设备型号 USN-50 序列号 USN-50
 探头尺寸 1" ROUND 类型 SAB 频率 2.25 MHz
 校准日期 June 17J 1996 时间间隔 2 个月 方法 AWS 01.1
 试块编号 1234-5678 数据 XX (先前已有的) (经调整的)

补充说明

- 从最低的 dB 级开始, 此时由 DS 试块钢超过 2 英寸的界面可以获得显示器屏高 40% 的读数。加上 6dB 并记录这一 dB 读数于 "a" 行, 显示高度于 "b" 行, 且在表格曲线图上作为起始点。
- 在记录下这些数据于 "a"、"b" 行之后, 滑动换能器得到一个新的显示屏高 40% 的读数。不移动换能器, 加上 6 dB, 记录这一新的 dB 读数于相应的行中。在设备允许条件下多次重复这一步骤。
- 由 "b" 行求出屏幕值 % 数的平局值, 但要舍弃表中开头和最后各 3 各数据不用。将该百分比用作 %₂, 从而计算校正读数。
- 下列方程用来计算 "c" 行:

%₁ 为 "b" 行

%₂ 为 "b" 行的平均值 (不必顾及表格的首行和后面三行)。

$$dB_2 = 20 \times \log\left(\frac{\%_2}{\%_1}\right) + dB_1$$

dB₁ 为 "a" 行

dB₂ 为 "c" 行

- dB 误差 "d" 行系从 "a" 行值中减去 "c" 行值: $(a - c = d)$ 。
- 累计 dB 误差 "e" 行, 从最接近于 0.0 的 dB 误差 "d" 开始, 水平方向累加 dB 误差 "d" 值, 将部分和置于 "e" 行。
- 自 % 数平均值线向左、右水平移动, 找出跨距, 使其中最大和最小累加 dB 误差数值保持或低于 2 dB。数出水平移动的格数, 减去 1, 余数乘以 6。该 dB 值即为装置的合格范围。
- 为了用图示的方法确定合格范围, 表 M-8 应与表 M-9 共同使用。方法如下:
 - 以垂直方向为累加 dB 误差 "e" 行值, 水平方向的偏移量为 "a" 行 dB 读数
 - 经过这一系列点画出一根曲线。
 - 在该曲线上垂直定位 2 dB 高水平窗, 从而使得最长部分完全包含在 2 dB 误差高度内。
 - 该窗长度代表装置的合格 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	显示高度	69	75	75	77	77	77	77	78	77	78	79	80	81
c	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	累计 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：最小容许量程为 60 dB。%₂（平均）_____ %

设备为：合格可使用_____不合格_____重新校准的预定日期_____

总评定范围_____dB 到 _____dB = _____dB 总误差_____dB（出自上表）

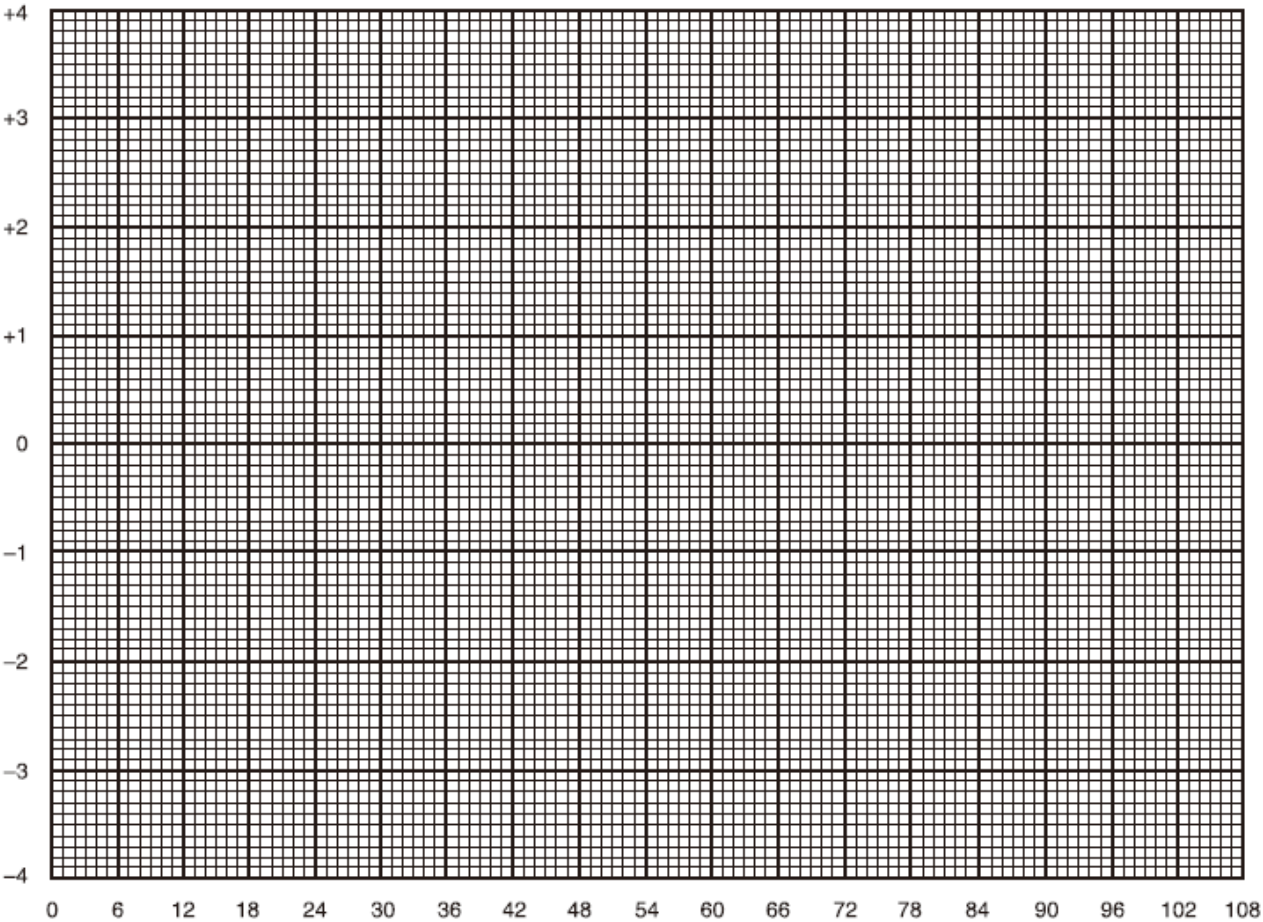
总评定范围_____dB 到 _____dB = _____dB 总误差_____dB（出自上表）

校准人_____基准_____区位_____

表 M-8

dB 精度评估

累计 dB 误差 e



dB 读数 a

dB 精度评估 — AWS

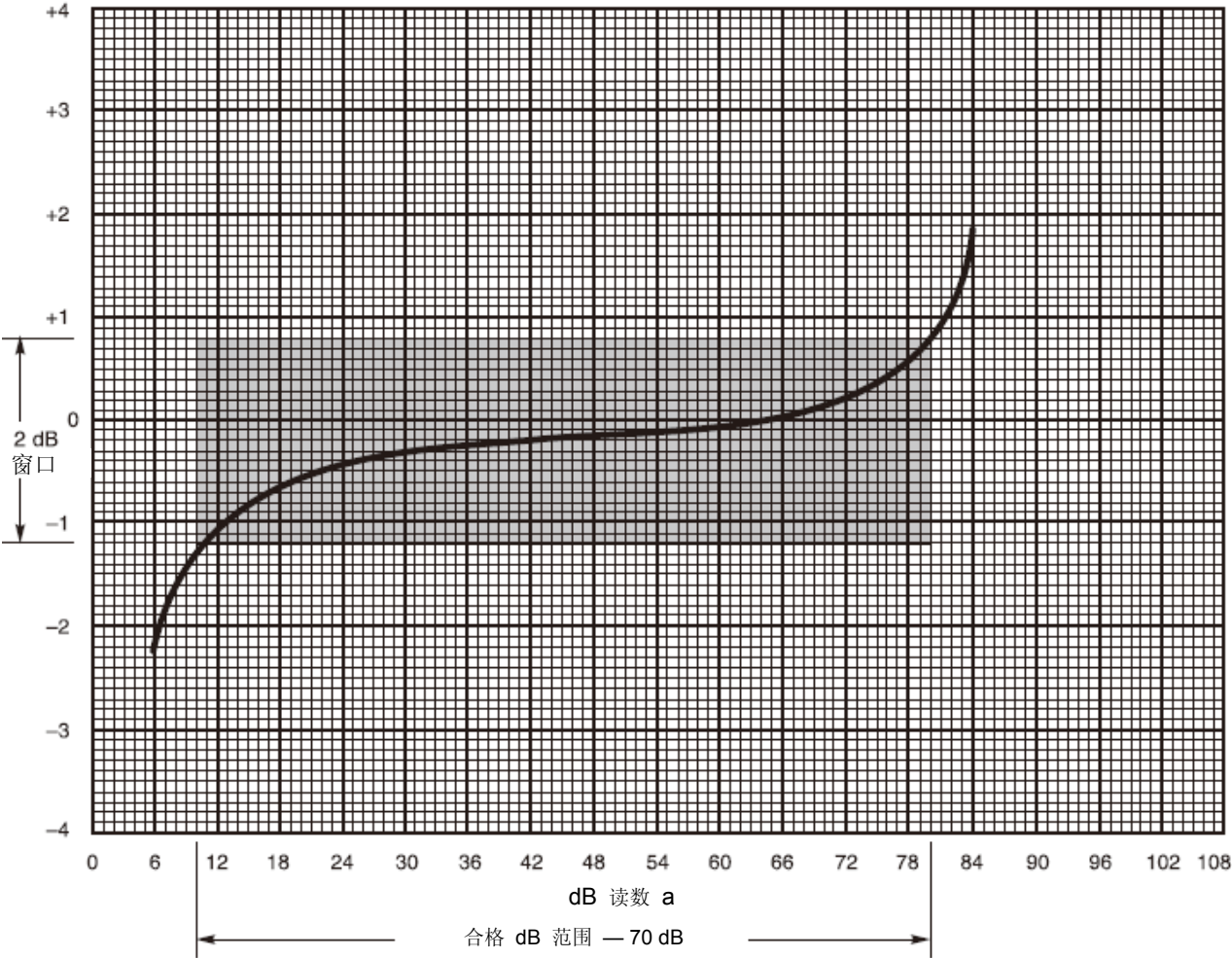
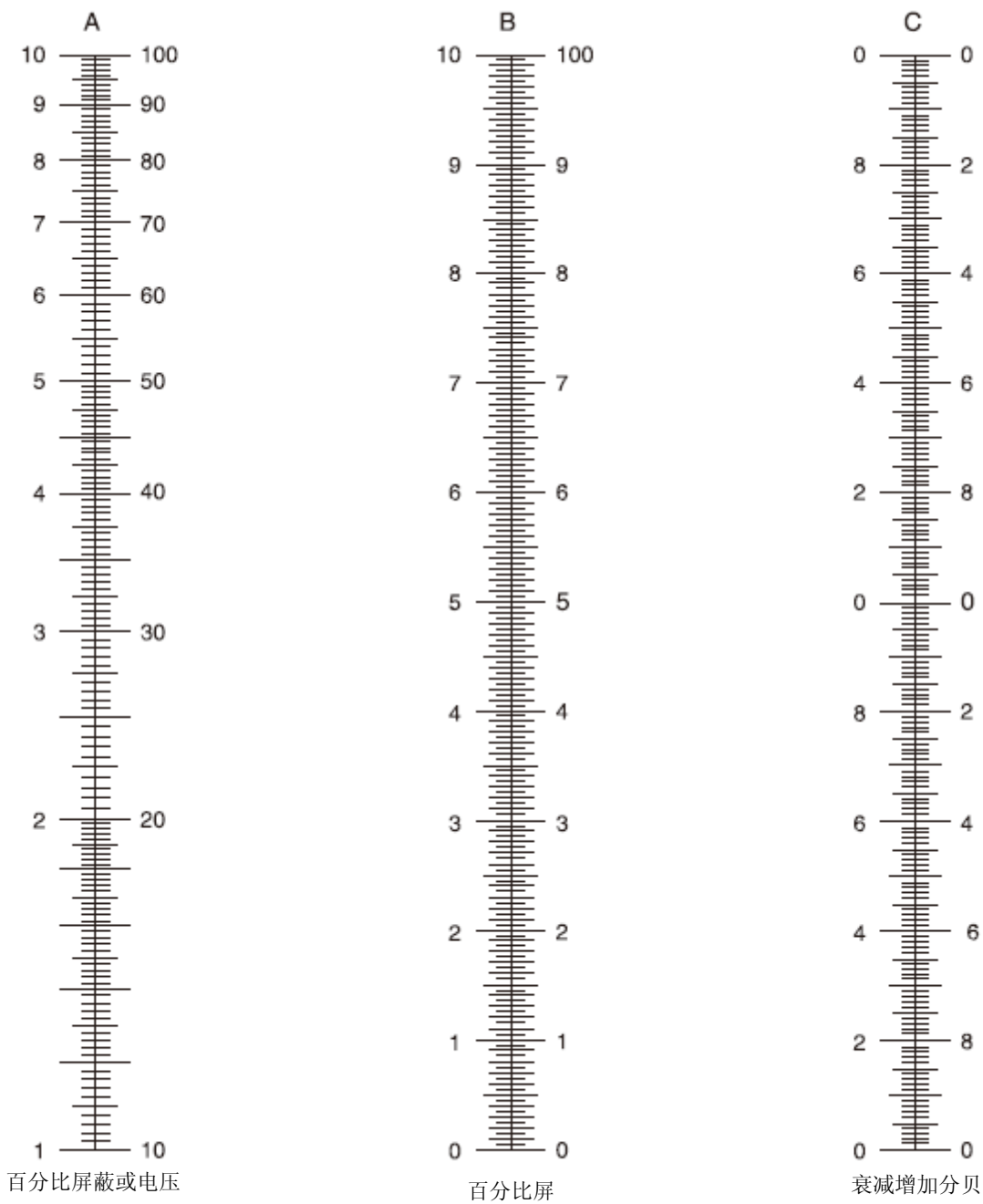


表 M-9 示例的曲线由表 M-8 计算得到。

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：用于表格 M-8 示例中的第一根线于本例中。

分贝（衰减或增加）值诺模图

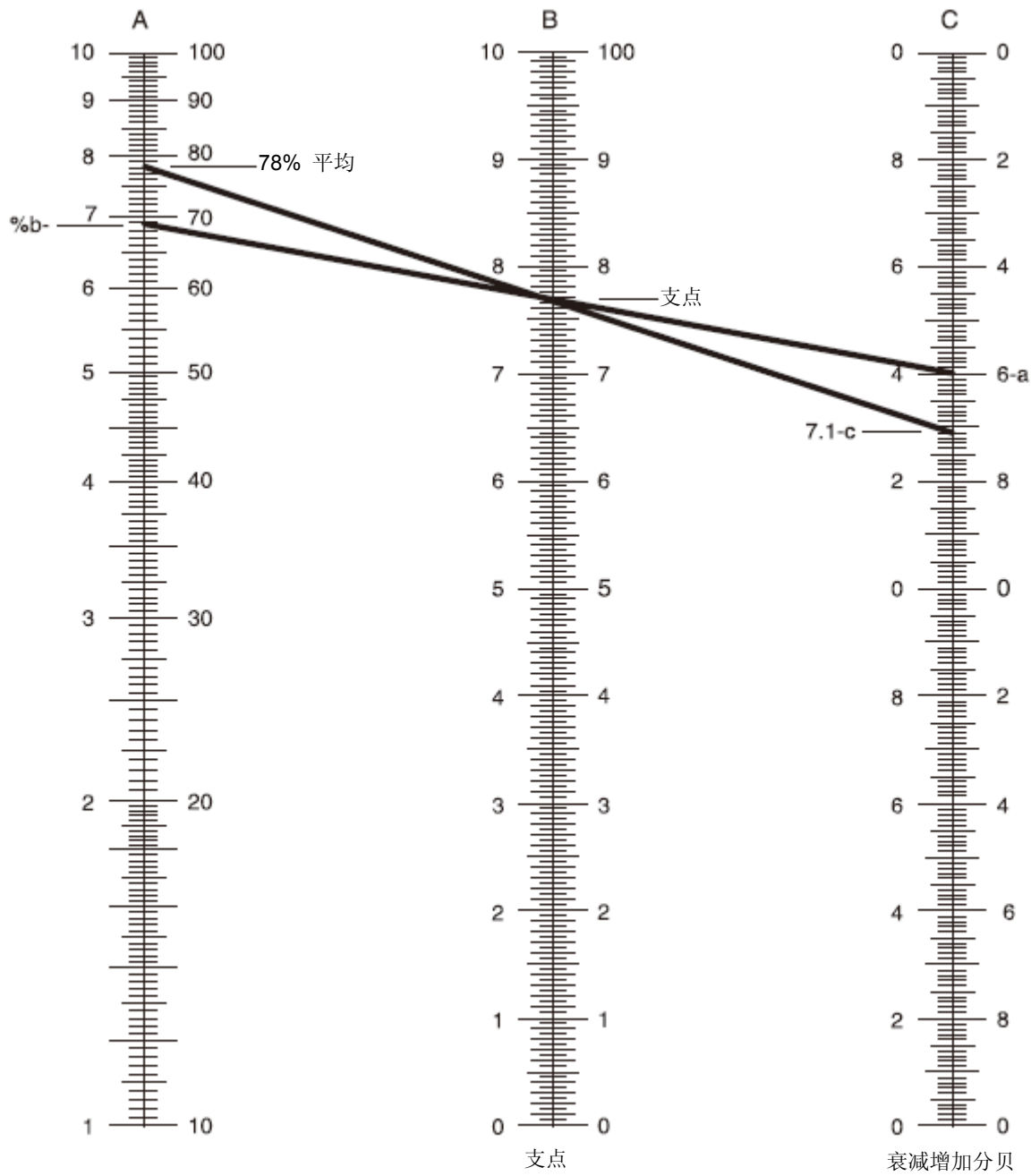


注：此诺模图用法见 6.30.2.3。

表 M-10

分贝（衰减或增加）值诺模图 — AWS

使用诺模图求解线 3 如下例所示。



使用诺模图的方法：

- 在“a”栏对刻度 C 适用的读数和“b”栏对刻度 A 适用的相对百分比之间延长一根直线。
- 将以上所得直线与支点线 B 交叉的那点用作第二根直线的支点线。
- 使源自刻度 A 上平均信号点的第二根直线延长通过第二步产生的支点，然后延长到 dB 刻度 C。
- C 刻度上的点指示“c”栏上所用的纠正值 dB。

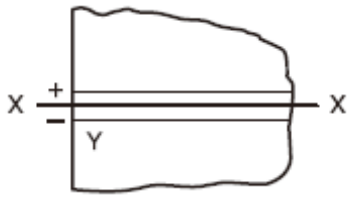
注：

1. 读数 6 dB 和刻度 69% 源自仪器读数，并且相应地变为 dB “b” 和 %1 “c”。
2. %2 是常量 78。

3. dB_2 (纠正过的 dB “d”) 等于 20 倍 X 记录 $(78/69) + 6$ 或 7.1。

焊缝 UT 报告

项目 _____ 报告编号 _____



焊缝标识 _____

材料厚度 _____

焊缝接头 AWS _____

焊接方法 _____

质量要求—剖面编号 _____

备注 _____

序号	指示号	换能器角度	检测面	波程 a	分贝				不连续性				不连续性评估	备注	
					指示值	对比值	衰减因数	指示额定值	长度	角距离（声程）	距“A”表面深度	距离			
												X			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															

我们在此署名声明，本记录中的陈述正确，并且根据 AWS D1.1/D1.1M，(_____) 钢结构焊接规范第 6 章 F 的要求制作焊缝并检测。

检测日期 _____ 制造商或承包商 _____

检验人 _____ 授权人 _____

注：本表适用于第 2 章 B 或 C（静荷或周期荷载非管材结构）。不 日期 _____

能用于管材结构（第 2 章 D）。

^a 使用波程 I、II 或 III。参见术语汇编（附录 M）。

注：

1. 若要获得额定值 “d”
 - ^a. 仪器采用增益控制时，使用公式 $a - b - c = d$ 。
 - ^b. 仪器采用减弱控制时，使用公式 $b - a - c = d$ 。
 - ^c. “d” 数字必须带正负号，除非 “d” 等于零。
2. 用距离 X 来表述焊缝不连续性在垂直于焊缝基线方向上的位置。除了为零，数字必须带有正负号。
3. 距 Y 来表述焊缝不连续性在平行于焊缝基线方向上的位置。这个数字以测量从焊缝的 Y 端到该部连续性始端的距离表示。
4. 对返修的焊缝区重新测试的评估，须在新的一行中填写。如使用原报告表格，则必须在原报告中项目序号前冠以 Rn。如果使用新表，则应在报告编号前加注 R 编号。

附录 N（资料性附录） 焊接表格示例

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

本附录包括结构焊接委员会已认可的六种表格，用以分别记录本规范要求的 WPS 评定、焊工评定、自动焊工评定和定位焊工评定的资料。同时也包括记录焊缝的无损检测结果的试验室报告表格。

建议将本规范要求的评定与 NDT 资料记录在这些表格或使用者已准备好的类似表格上。允许使用者根据自己的需要对表格作变动。

N1. WPS 表格 N-1（正面）和 N-1（反面）的使用说明

表格 N-1 既可以用来记录 WPS 资料也可以用来记录 PQR 的资料。使用者应在适当栏目中填写他们选择应用的内容，不适当的标题可空着不填。

焊接工艺规范和工艺评定记录必须由制造商或承包商授权的代表签署。

关于焊接工艺规范中的接头详细信息，可以使用可用的预评定接头详图的草图或参考资料（比如，B-U4a）。

N2. 免除评定

按第三章的所有条款，WPS 可以免除评定，在这种情况下，表格 N-1 仅有一页文件需要填写。

N3. 表格样张

随附已填写的 WPS 和 PQR 样张供参考之用。其中姓名是虚构的，所填试验数据并非来自任何实际试验，因此绝对不能采用。委员会诚信这些样张会帮助本规范的使用者编制出合格的文件。

N4. 试验评定

按第四章的条款，WPS 可用试验手段评定。在这种情况下，除了 WPS 外，还需要为之提供所依据的 PQR。用于 PQR 时，表格 N-1（正面）适当地改变标题便可再使用。同样，表格 N-1（背面）可用来记录试验结果和验证的书面说明。

对于 WPS，说明根据试验所允许的评定范围或说明基本参数合适的公差（如：250 安培 $\pm 10\%$ ）。

对于 PQR，应记录实际的接头细节和试验中所用的基本参数的数值。应附上关于试验材料的工厂试验报告的副本。此外，还可以附上试验实验室数据报告，以作为备用资料。

本规范中没有要求的条款内容是非强制性的；可是，其可能有利于装配设备或理解试验结果。

焊接工艺规程 (WPS) 是 ☐

免除评定_____试验评定_____

或工艺评定记录 (PQR) 是 ☐

公司名称_____
焊接方法_____
PQR 辅助文件号_____

使用的接头设计
类型:
单面焊缝☐ 双面焊缝☐
衬垫: 是☐ 否☐
衬垫材料:_____
根部间隙_____钝边尺寸_____
坡口角度:_____半径 (J-U) _____
背面清根: 是☐ 否☐ 方法_____

母材
材料规格_____
类型或级别_____
厚度: 坡口_____角焊缝_____
直径 (圆管) _____

填充金属
AWS 规定_____
AWS 类别_____

保护
焊剂_____气体_____
组分_____
焊条-焊剂 (等级) _____流率_____
气体喷嘴尺寸_____

预热
预热温度, 最低_____
道间温度, 最低_____最高_____

标识编号_____
修改_____日期_____修改人_____
批准人_____日期_____
类型-手工☐ 半自动☐
机械☐ 自动☐

位置
坡口位置: _____角焊缝: _____
立焊方向: 上行☐ 下行☐

电气特性_____

过渡模式 (GMAW) 短路☐
熔滴 ☐ 喷射 ☐

电流: 交流☐ 直流反接☐ 直流正接☐ 脉冲☐
电源: CC☐ CV☐
其他_____

钨电极焊条 (GTAW)
尺寸: _____
类型: _____

技术
直线或横向摆动焊道: _____
多焊道或单焊道 (每侧) _____
焊条数_____
焊条间距 纵向_____
横向_____
角度_____

导电咀到工件距离_____
锤击_____
道间清理: _____

焊后热处理
温度_____
时间_____

焊接工艺

焊道或焊 接层	方法	填充金属		电流		电压 (伏 特)	焊接速度	接头详图
		等级	直径	类型和极性	安倍数或送丝速 度			

表 N-1(正面)

焊接工艺规程 (WPS) 是 ☐

免除评定_____试验评定_____

或工艺评定记录 (PQR) 是 ☒

公司名称 <u>RED Inc.</u> 焊接方法 <u>FCAW</u> PQR 辅助文件号 <u>--</u>	标识编号 <u>PQR 231</u> 修改 <u>1</u> 日期 <u>87-1-12</u> 修改人 <u>W.Lye</u> 批准人 <u>J.Jones</u> 日期 <u>88-18-1</u> 类型-手工 ☐ 半自动 ☒ 机械 ☐ 自动 ☐
使用的接头设计 类型: <u>对接</u> 单面焊缝 ☒ 双面焊缝 ☐ 衬垫: 是 ☒ 否 ☐ 衬垫材料: <u>ASTM A 131A</u> 根部间隙 <u>1/4"</u> 钝边尺寸 <u>--</u> 坡口角度: <u>35°</u> 半径 (J-U) <u>--</u> 背面清根: 是 ☐ 否 ☒ 方法 <u>--</u>	位置 坡口位置: <u>4G</u> 角焊缝: <u>--</u> 立焊方向: 上行 ☐ 下行 ☐
母材 材料规格 <u>ASTM A 131</u> 类型或级别 <u>A</u> 厚度: 坡口 <u>1"</u> 角焊缝 <u>--</u> 直径 (圆管) <u>--</u>	电气特性 过渡模式 (GMAW) 短路 ☐ 熔滴 ☐ 喷射 ☐ 电流: 交流 ☐ 直流反接 ☒ 直流正接 ☐ 脉冲 ☐ 电源: CC ☐ CV ☐ 其他 _____ 钨电极焊条 (GTAW) 尺寸: _____ 类型: _____
填充金属 AWS 规定 <u>A5.20</u> AWS 类别 <u>E71T-1</u>	技术 直线或横向摆动焊道: <u>直线</u> 多焊道或单焊道 (每侧) <u>多焊道</u> 焊条数 <u>1</u> 焊条间距 纵向 <u>--</u> 横向 <u>--</u> 角度 <u>--</u> 导电咀到工件距离 <u>3-4/1"</u> 锤击 <u>无</u> 道间清理: <u>钢丝刷</u>
保护 焊剂 <u>--</u> 气体 <u>CO₂</u> 组分 <u>100% CO₂</u> 焊条-焊剂 (等级) <u>--</u> 流率 <u>45CFH</u> 气体喷嘴尺寸 <u>#4</u>	焊后热处理 温度 <u>N.A.</u> 时间 <u>--</u>
预热 预热温度, 最低 <u>75°F</u> (环境) 道间温度, 最低 <u>75°</u> 最高 <u>350°F</u>	

焊接工艺

焊道或焊接层	方法	填充金属		电流		电压 (伏特)	焊接速度	接头详图
		等级	直径	类型和极性	安培数或送丝速度			
1	FCAW	E71T-1	.045"	DC+	180	26	8	
2-8	"	"	"	"	200	27	10	
9-11	"	"	"	"	200	27	11	
12-15	"	"	"	"	200	27	9	
16	"	"	"	"	200	27	11	

表 N-1(正面)

焊接工艺规范 (WPS) 是 ☒免除评定_____试验评定 X 或工艺评定记录 (PQR) 是 ☐

公司名称 <u>RED Inc.</u>	标识编号 <u>PQR 231</u>
焊接方法 <u>FCAW</u>	修改 <u>1</u> 日期 <u>87-1-12</u> 修改人 <u>W.Lye</u>
PQR 辅助文件号 <u>PQR 231</u>	批准人 <u>J.Jones</u> 日期 <u>88-18-1</u>
使用的接头设计	类型-手工 ☐ 半自动 ☒
类型: <u>对接</u>	机械 ☐ 自动 ☐
单面焊缝 ☒ 双面焊缝 ☐	位置
衬垫: 是 ☒ 否 ☐	坡口位置: <u>O.E.</u> 角焊缝: <u>--</u>
衬垫材料: <u>ASTM A 131A</u>	立焊方向: 上行 ☐ 下行 ☐
根部间隙 <u>1/4"</u> 钝边尺寸 <u>--</u>	电气特性
坡口角度: <u>35°</u> 半径 (J-U) <u>--</u>	过渡模式 (GMAW) 短路 ☐
背面清根: 是 ☐ 否 ☒ 方法 <u>--</u>	熔滴 ☐ 喷射 ☐
母材	电流: 交流 ☐ 直流反接 ☒ 直流正接 ☐ 脉冲 ☐
材料规格 <u>ASTM A 131</u>	电源: CC ☐ CV ☐
类型或级别 <u>A</u>	其他 _____
厚度: 坡口 <u>3/4-1 1/2"</u> 角焊缝 <u>--</u>	钨电极焊条 (GTAW)
直径 (圆管) <u>--</u>	尺寸: _____
填充金属	类型: _____
AWS 规定 <u>A5.20</u>	技术
AWS 类别 <u>E71T-1</u>	直线或横向摆动焊道: <u>直线</u>
保护	多焊道或单焊道 (每侧) <u>多焊道</u>
焊剂 <u>--</u> 气体 <u>CO₂</u>	焊条数 <u>1</u>
组分 <u>100% CO₂</u>	焊条间距
焊条-焊剂 (等级) _____ 流率 <u>45-55CFH</u>	纵向 <u>--</u>
气体喷嘴尺寸 <u>#4</u>	横向 <u>--</u>
预热	角度 <u>--</u>
预热温度, 最低 <u>60°</u>	导电咀到工件距离 <u>1/2-1"</u>
道间温度, 最低 <u>60°</u> 最高 <u>350°F</u>	锤击 <u>无</u>
	道间清理: <u>钢丝刷</u>
	焊后热处理
	温度 <u>N.A.</u>
	时间 <u>N.A.</u>

焊接工艺

焊道或焊接层	方法	填充金属		电流		电压 (伏特)	焊接速度	接头详图
		等级	直径	类型和极性	安培数或送丝速度			
全部	FCAW	E71T-1	.045"	DC+	180-220A	25-26V	8-12 ipm	

表 N-1(正面)

工艺评定记录 (PQR) 编号 _____

试验结果

拉伸试验

试样编号	宽度	厚度	面积	极限拉伸负荷, lb	极限单位应力, psi	断裂特征和位置

导向弯曲试验

试样编号	弯曲类型	结果	备注

目视检查

外观 _____

咬边 _____

管状气孔 _____

凸度 _____

试验日期 _____

见证人 _____

射线-超声波检验

射线试验报告编号: _____ 结果 _____

UT 报告编号: _____ 结果 _____

角焊缝试验结果

最小尺寸多焊道 最大尺寸单焊道

宏观腐蚀 _____ 宏观腐蚀 _____
1. _____ 3. _____ 1. _____ 3. _____

2. _____ 2. _____

全焊缝金属拉伸试验

拉伸强度, psi _____

屈服点/强度, psi _____

2 英寸时伸长率, % _____

实验室试验号 _____

焊工姓名 _____

记时号 _____ 印章号 _____

进行试验的实验室 _____ 实验室

试验号 _____

经手人 _____

我们签字人, 证明本记录所载正确无误, 试验焊缝的制备、焊接和试验符合 AWS D1.1/D1.1M (____年版) 钢结构焊接规范第四章要求。

签名 _____

制造商或承包商

签署人 _____

职称 _____

日期 _____

工艺评定记录 (PQR) 编号 231

试验结果

拉伸试验

试样编号	宽度	厚度	面积	极限拉伸负荷, lb	极限单位应力, psi	断裂特征和位置
231-1	0.75"	1.00"	0.75"	52 500	70 000	易延展
231-3	0.75"	1.00"	0.75"	52 275	69 700	易延展

导向弯曲试验

试样编号	弯曲类型	结果	备注
231-2	侧弯	通过	
231-4	侧弯	通过	小间隙 (<1/16") 可接受
231-6	侧弯	通过	
231-5	侧弯	通过	

目视检查

外观 合格咬边 合格管状气孔 无凸度 无试验日期 2002-3-12见证人 D. Davis

其他试验

射线-超声波检验

射线试验报告编号: D231 结果 通过UT 报告编号: 结果

角焊缝试验结果

最小尺寸多焊道 最大尺寸单焊道

宏观腐蚀 宏观腐蚀 1. 3. 1. 3. 2. 2.

全焊缝金属拉伸试验

拉伸强度, psi 83,100屈服点/强度, psi 72,6002 英寸时伸长率, % 28实验室试验号 PW 231焊工姓名 w. T. Williams记时号 261 印章号 进行试验的实验室 RED Inc. & ABC Testing 实验室 试验号 PQR 231经手人 D. Miller

我们签字人, 证明本记录所载正确无误, 试验焊缝的制备、焊接和试验符合 AWS D1.1/D1.1M (2002年版) 钢结构焊接规范第四章要求。

签名 RED Inc.

制造商或承包商

签署人 R.M.Boncrack职称 质量控制经理日期 2002-15-12

电渣焊和气电焊的 WPS 评定试验记录

工艺规范

材料规格 _____
 焊接方法 _____
 焊接位置 _____
 填充金属规格 _____
 填充金属分类 _____
 填充金属 _____
 焊剂 _____
 保护气体 _____ 流率 _____
 气体露点 _____
 此次试验评定的厚度范围 _____
 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 _____
 导丝管组分 _____
 导丝管直径 _____
 垂直上升速度 _____
 横向长度 _____
 横向速度 _____
 停顿 _____
 成形模块类型 _____

目检 (表 6.1, 周期性荷载限制)

外观 _____
 咬边 _____
 管状孔隙 _____
 试验日期 _____
 见证人 _____

试验结果

缩减断面拉伸试验

抗拉强度, psi

1. _____
 2. _____

全焊缝金属拉伸试验

抗拉强度, psi

屈服点/强度, psi

2 in 时伸长率, %

侧弯试验

1. _____ 3. _____
 2. _____ 4. _____

射线-超声检查

射线试验报告编号

超声波试验报告编号

冲击试验

试样尺寸 _____ 试验温度 _____

Ft•lb: 1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____

5. _____ 6. _____ 平均 _____

高 _____ 低 _____

实验室试验编号 _____

焊接工艺

焊道编号	焊条尺寸	焊接电流		接头详图
		电流 (安培)	电压 (伏特)	

我们签字人, 证明本记录所载正确无误, 试验焊缝的制备、焊接和试验符合 AWS D1.1/D1.1M (____ 年版) 钢结构焊接规范第四章要求。

工艺号 _____ 制造商或承包商 _____

修改号 _____ 授权人 _____

表 N-3 _____ 日期 _____

焊工、自动焊工或定位焊工资格评定考试记录

焊工类型 _____
 姓名 _____ 标识编号 _____
 焊接工艺规程编号 _____ 修改 _____ 日期 _____

	用于评定的记录实际值	资格评定范围
变量		
方法/类型[表 4.12, 项目 (1)]		
焊条 (单或多) [表 4.12, 项目 (7)]		
电流 / 极性		
位置[表 4.12, 项目 (4)]		
焊接方向[表 4.12, 项目 (5)]		
衬垫 (有或无) [表 4.12, 项目 (6)]		
材料 / 规格	至	
母材		
厚度: (板材)		
坡口		
角焊缝		
厚度: (管材)		
坡口		
角焊缝		
直径: (圆管)		
坡口		
角焊缝		
填充金属 (表 4.12)		
规格编号		
等级		
F 编号[表 4.12, 项目 (2)]		
气体 / 焊剂类型 (表 4.12)		
其他		

目检 (4.9.1)					
合格 是或否					
导向弯曲试验结果 (4.31.5)					
类型	结果	类型	结果		
角焊缝试验结果 (4.31-2.3 和 4.31.4.1)					
外观 _____		角焊缝尺寸 _____			
断裂试验根部熔透 _____		宏观腐蚀 _____			
(描述试样任何裂缝或破裂的位置、性质以及尺寸。)					
检验人 _____			试验编号 _____		
组织 _____			日期 _____		
射线照相试验结果 (4.31.3.2)					
胶片标识号	结果	备注	胶片标识号	结果	备注

检验人_____ 试验编号_____

组织_____ 日期_____

我们签字人，证明本记录所载正确无误，试验焊缝的制备、焊接和试验符合 AWS D1.1/D1.1M（_____ 年版）*钢结构焊接规范*第四章要求。

制造商或承包商 _____ 授权人 _____

表 N-4_____ 日期 _____

焊缝射线照相检查报告

项目 _____
质量要求 — 章节号 _____
报告送交 _____

焊缝位置和识别略图

技术
射源 _____
胶片至射源的距离 _____
曝光时间 _____
屏 _____
胶片类型 _____

(填写所有受到射线探伤的接头的长度、宽度和厚度)

日期	焊缝标识	部位	判读		返修		备注
			合格	拒收	合格	拒收	

我们签字人，证明本记录所载正确无误，试验焊缝的制备、焊接和试验符合 AWS D1.1/D1.1M (____ 年版) 钢结构焊接规范要求。

射线照片拍摄人_____ 制造商或承包商_____

判读人_____ 授权人_____

试验日期_____ 日期 _____

表 N-7

焊缝磁粉检查报告

项目 _____

质量要求 — 章节号 _____

报告送交 _____

焊缝位置和识别略图

数量: _____ 总合格数: _____ 总拒收数: _____

日期	焊缝标识	检查区域		判读		返修		备注
		全部	特定	合格	拒收	合格	拒收	

检查前

表面准备: _____

设备

仪器制造厂: _____ 型号: _____ 序列号: _____

检验方法

☐干 ☐湿 ☐可见 ☐荧光

施加介质方法: _____

☐残留 ☐连续 ☐实际连续

☐交流 ☐直流 ☐半波

☐双圆棒电极 ☐轭 ☐电缆缠绕 ☐其他 _____
磁场方向: ☐圆周 ☐纵向

磁场强度: _____

(施加磁力的安匝数、磁场密度、磁化力、磁极数和持续时间)

检查后

消磁技术 (如有需要): _____

清理 (如有需要): _____ 标记方法: _____

我们签字人, 证明本记录所载正确无误, 试验焊缝的制备、焊接和试验符合 AWS D1.1/D1.1M (____ 年版) 钢结构焊接规范要求。

检验员 _____ 制造商或承包商 _____

级别 _____ 授权人 _____

试验日期 _____ 日期 _____

表 N-8

螺柱焊接应用评定试验数据（来自 7.6 节） 是□
试生产试验（根据 7.7.1 节） (WPS) 是□
或工艺评定记录 (PQR) 是 □
或焊工资格评定记录 (WQR) 是 □

公司名称 _____
操作者姓名 _____
试验编号 _____
焊接螺柱材料 _____
焊接螺柱尺寸和 PN# 制造商 _____

母材

规格 _____
合金和回火 _____
表面状况 HR□ CR□
涂层 _____
清理方法 _____
盖板规格 _____

母材形状

平□ 圆□ 管状□
角度□ 内部□ 外部□ 内半径□
厚度 _____

防护套筒

部件编号/制造商 _____
防护套筒说明 _____

设备数据

应用设置、电流和时间设置

品牌 _____ 型号 _____
螺柱枪：品牌 _____ 型号 _____
焊接时间，秒 _____
电流（安培） _____
极性：DCEN _____ DCEP _____
升高 _____
插入（突出） _____
焊接电缆尺寸 _____ 长度 _____
接地数（工件引线） _____
焊接位置
平（俯） □ 水平（侧） □ 角度（与垂线间度数） □ 仰

保护气体

保护气体/组分 _____
流率 _____

应用细节

焊接试验结果

螺柱号	目检验收	选 #1 弯曲试验	选 #2 拉伸试验	选 #3 扭矩试验*
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

10				

*注：扭矩试验仅靠螺纹紧固件即可。

机械试验单位 _____ 日期 _____
(公司)

我们签字人，证明本记录所载正确无误，试验焊缝的制备、焊接和试验符合 AWS D1.1/D1.1M (_____ 年版) 钢结构焊接规范第七章要求。

签字人 _____ 职称 _____ 日期 _____
(承包商/申请人/其他人)

表 N-9 公司 _____

附录 O（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:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

O1. 引言

美国焊接协会 (AWS) 理事会采取一项方针：所有 AWS 标准的正式解释按正规方式办理。依据此项方针，所有解释均由对标准负责的委员会作出。涉及解释的正式沟通系通过该委员会的 AWS 工作人员进行。这一方针要求所有希望得到解释的询问应提书面请求。这些请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，一些解释可能要相当的时间。

O2. 程序

所有询问必须直接送达：总经理

技术服务部

美国焊接学会

550 N.W. LeJeune Road

Miami, FL 33126

所有询问必须包含查询人姓名、地址和单位，并且必须提供足够的信息以使委员会完全明白询问的要点。如要点含糊不清，为弄清原委，这一询问将被退回。为提高受理效率，所有询问件应是打字的，并采用这里所用的格式。

O2.1 范围。每次询问必须只谈及规范一个单独条款，除非询问的要点包括两个或更多相关的条款。该条款必须在询问范围内作出标记。此外还需注明包含该条款的规范的版本或询问者所关心的版本。

O2.2 询问的目的。必须在询问的这一部分说明询问的目的。目的既可以是得到规范要求的解释，也可以是提出对规范特定条款的修改。

O2.3 询问的内容。询问应该简洁，但需完整，以使委员会迅速、全面地了解询问的要点。需要时应运用简图，且必须列举与询问有关的段落、图形和表格（或附录）。如果询问的要点是要求对规范的修改，则在询问件中必须提供这种修改的技术论证。

O2.4 拟推荐的答复。询问者应陈述所询问要点的条款的解释，作为拟推荐的答复，或者，如果询问者打算的话，则提出推荐修改的措词。

O3. 规范条款的解释

规范条款由结构焊接委员会作解释。委员会的秘书将所有询问提交给涉及各自分管规范的分委员会主席。分委员会评阅这一询问及关于回复的建议，以确定对询问应有的答复。分委员会拟定答复后，将询问和答复提交给全结构焊接委员会审阅和批准。在委员会批准后，解释就作为学会的正式解释，秘书将答复传送给询问者并交焊接杂志 (Welding Journal) 发表。

O4. 解释的公布

所有正式解释必须发表于焊接杂志 (Welding Journal) 并从 AWS 的网页上了解。

O5. 电话查询

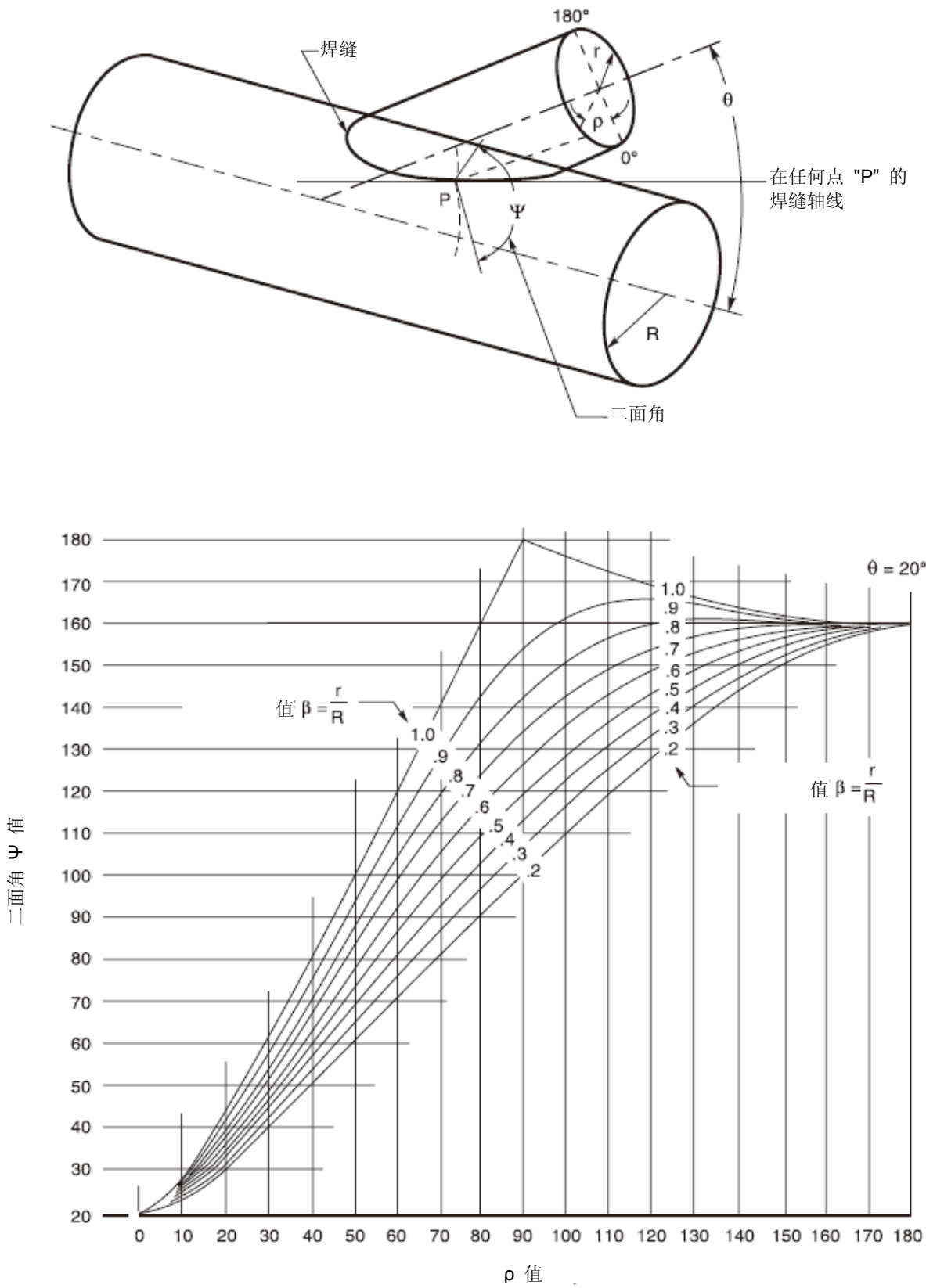
就有关结构焊接规范向 AWS 总部作电话询问应限于一般性的问题或直接与规范的使用有关的事情。AWS 理事会的方针要求所有 AWS 工作人员对有关 AWS 任何标准的正式解释的电话询问答以这种解释只能通过书面请求获取。总部工作人员不能提供咨询服务。不过，工作人员可向电话询问者转荐那些姓名刊登在 AWS 总部文件上的顾问中的任何人。

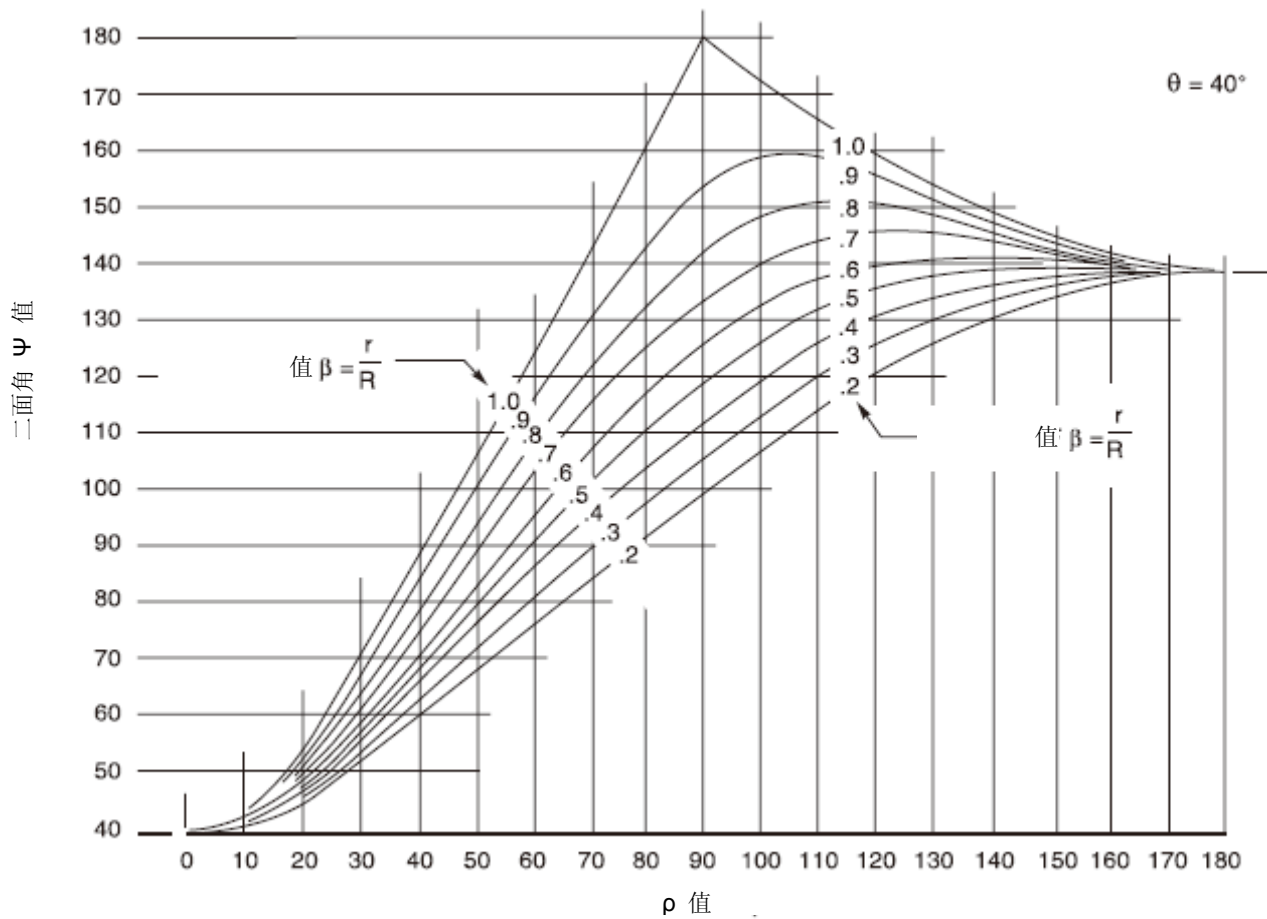
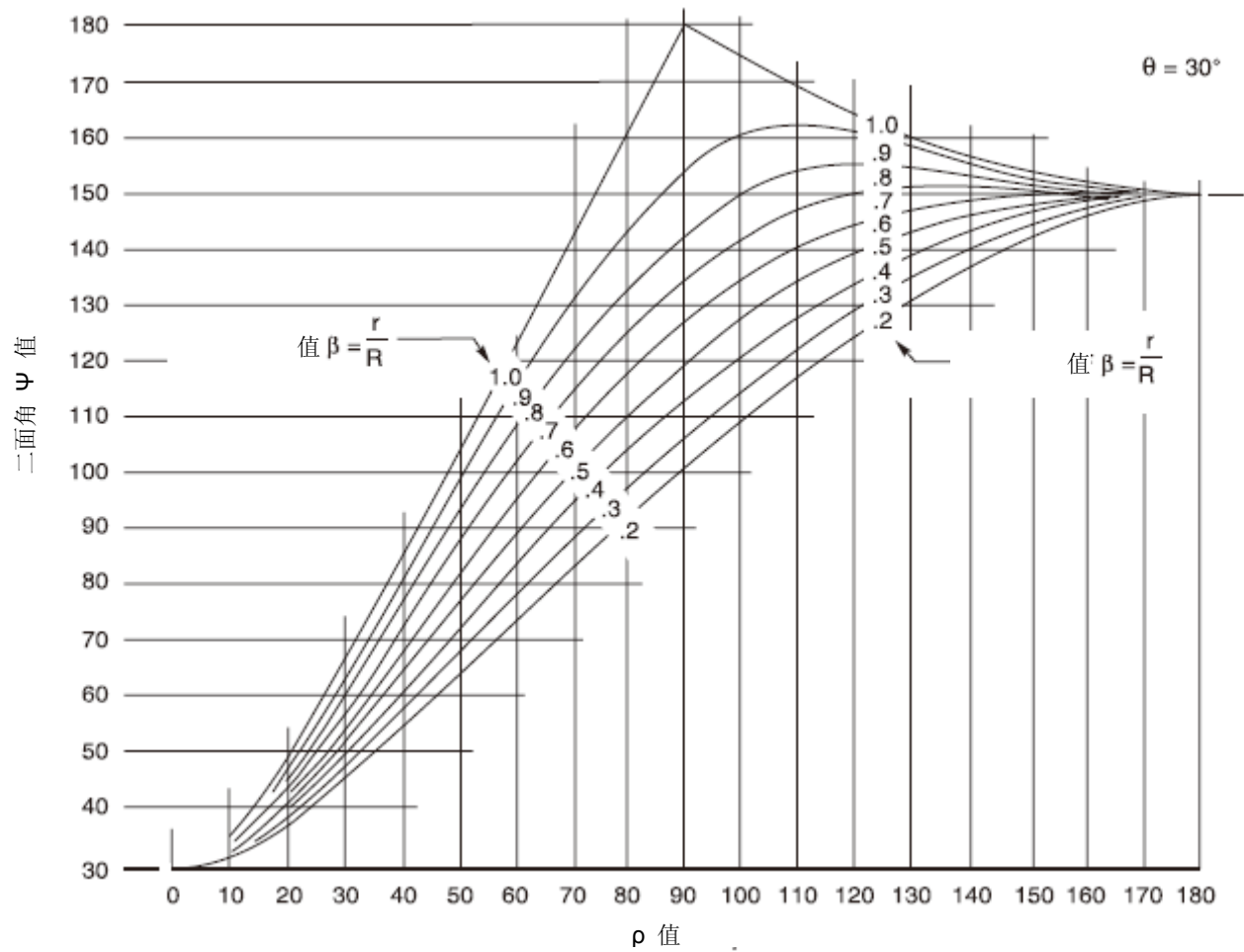
O6. 结构焊接委员会

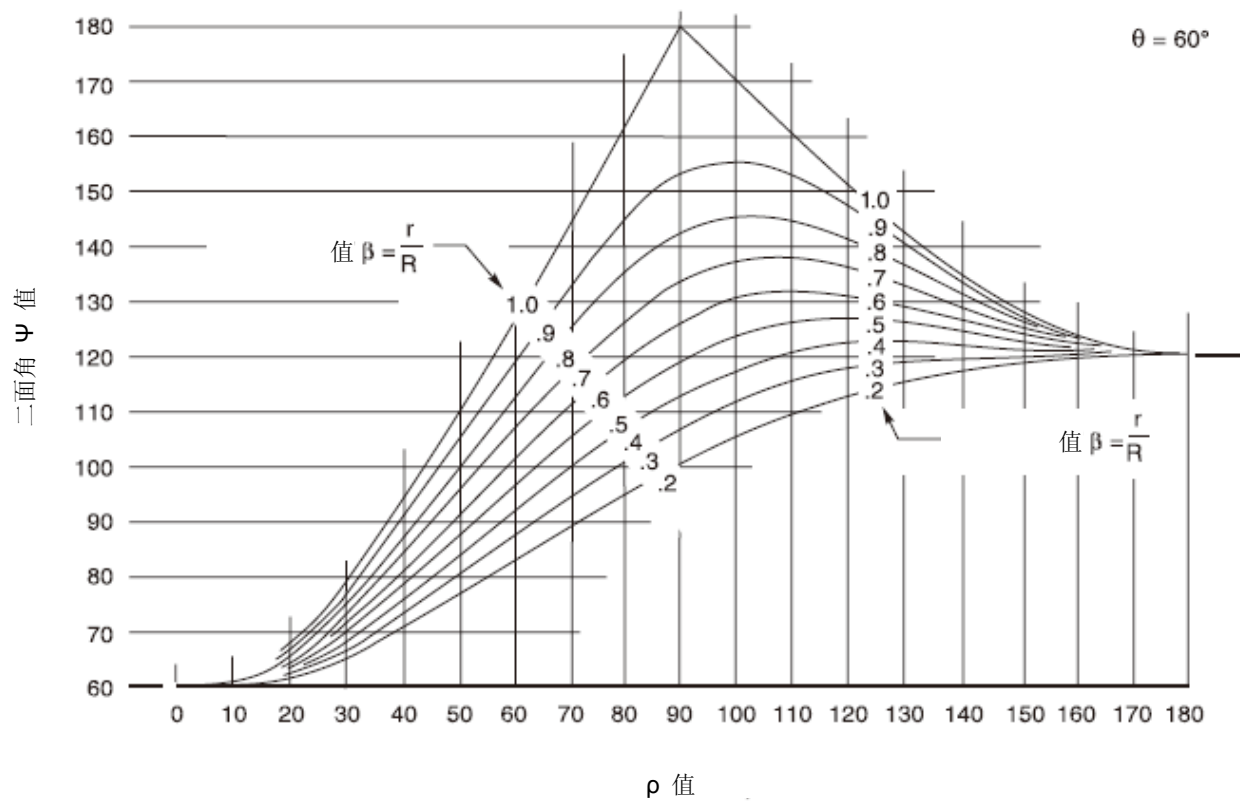
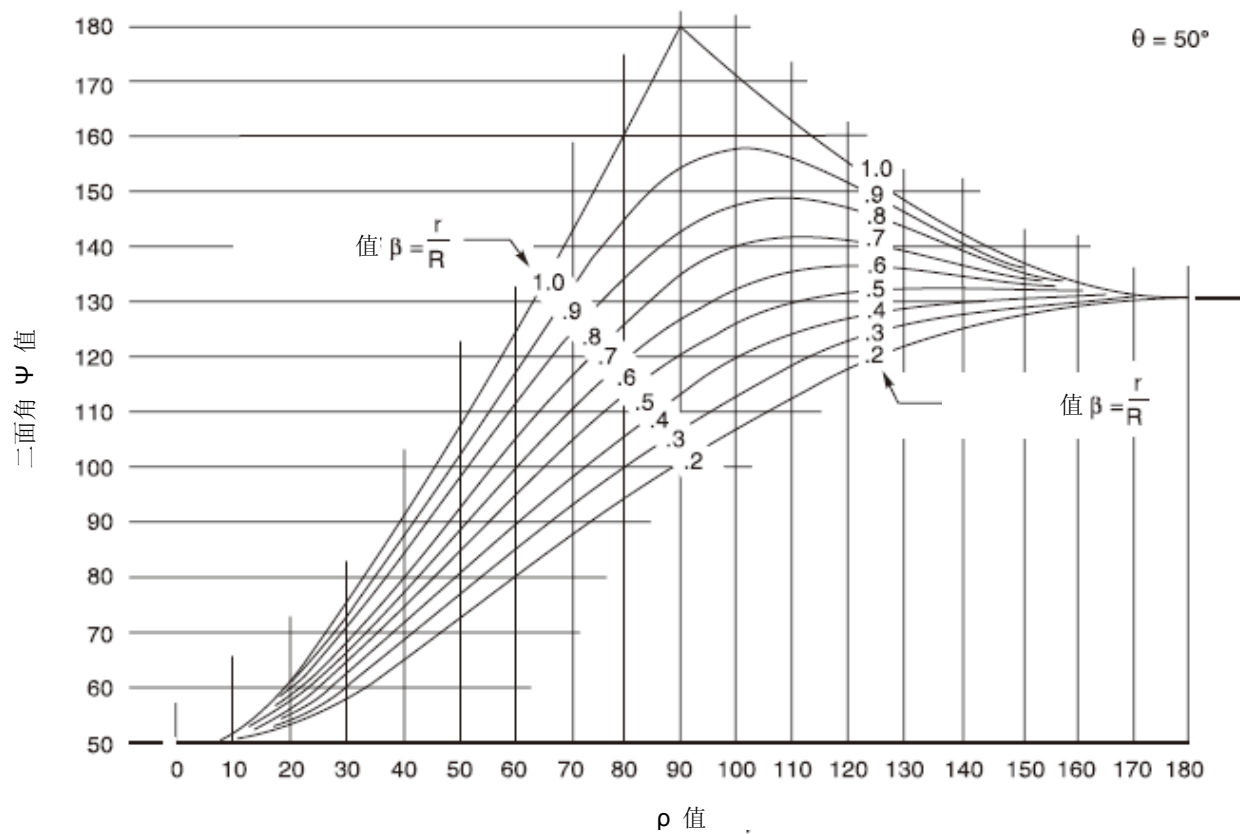
结构焊接委员会关于解释的工作严格限于对规范条款的解释，或在新资料数据和新技术的基础上考虑修订现有条款。无论是委员会还是 AWS 工作人员都不对下述方面的问题提供解释或咨询服务：(1) 具体的工程问题，或 (2) 将规范要求用于超出规范范围或规范不明确包括的制作事宜。遇到这种情况，询问者应向在其询问的特定领域内有经验可胜任的工程师寻求帮助。

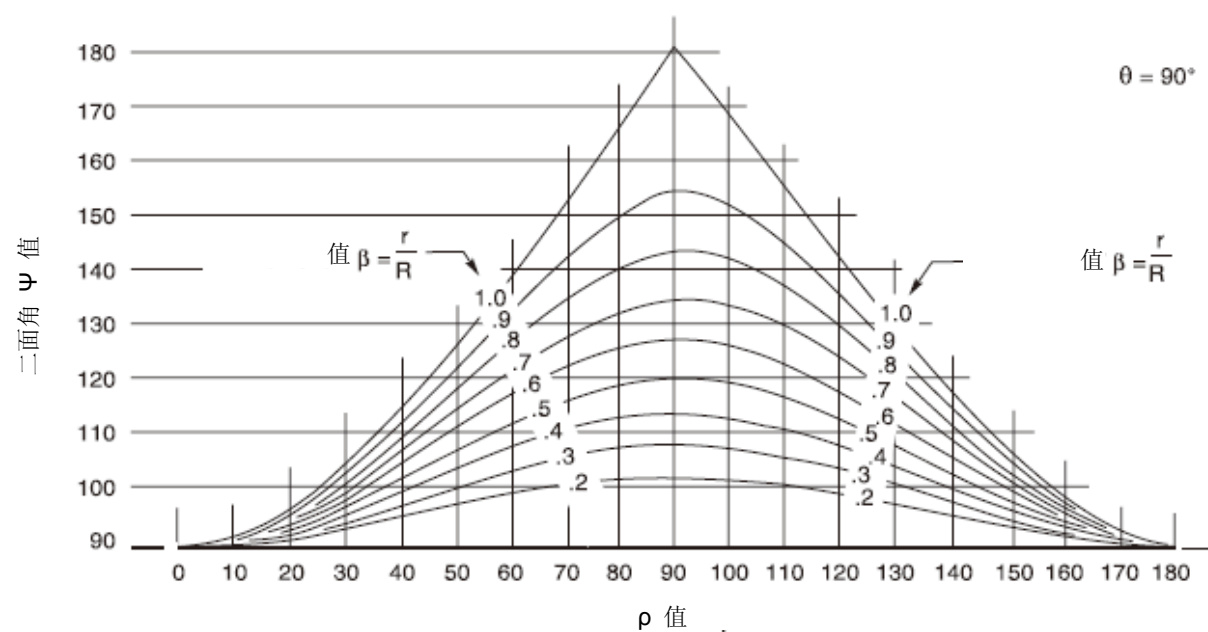
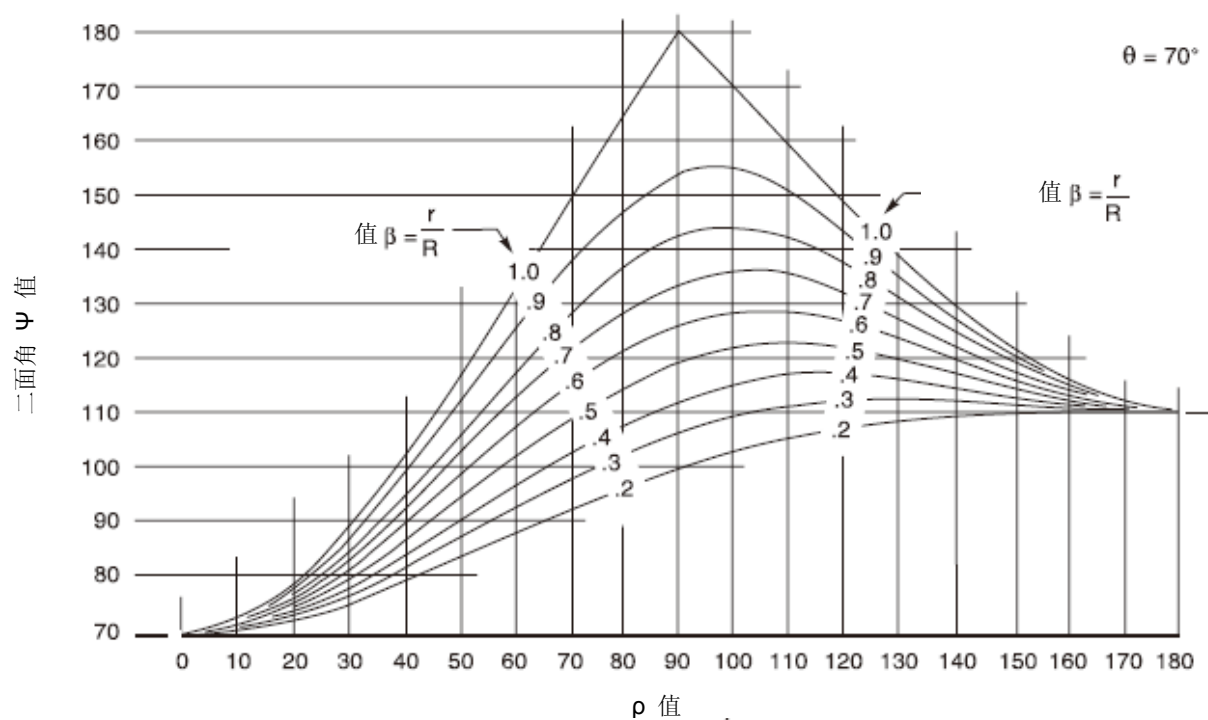
附录 P（资料性附录）
局部二面角

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。









附录 Q (资料性附录) 免除评定的 WPS 内容

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

免除评定的焊接要求 — 书面的 WPS，其上有下述适用于相关焊件的规范条款。除了要求书面 WPS 外，本规范对免除评定的焊接还规定有其他许多要求和限定。使用免除评定焊接的单位必须遵守所有相关要求。

WPS 的技术条件可以满足使用者的需要。诸如装配公差等可作参考。

- 1.2 限制
- 2.4.1.4 有效焊缝尺寸 (喇叭形坡口)
- 2.4.2.7 在搭接接头中的最大角焊缝尺寸
- 2.4.4.2 槽孔端部
- 2.4.3 斜 T 形接头 (所有条款)
- 3.2.1 免除评定的 (焊接) 方法
- 3.3 母材/填充金属组合
- 3.5 最低预热温度和道间温度要求 (所有条款)
- 3.6 WPS 变量的限制 (所有条款)
- 3.7 WPS 要求概述 (所有条款)
- 3.9.3 角焊缝要求 — 斜 T 型接头
- 3.10 塞焊和槽焊要求 (所有条款)
- 3.12 接头部分熔透 (PJP) 要求 (所有条款)
- 3.13 接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝要求

表 3.8 免除评定的 WPS 变量

- 5.2.2 引熄弧板、衬垫和嵌条的母材
- 5.3.1.2 焊接材料分类的适配性
- 5.3.2 SMAW 焊条
- 5.3.3 SAW 焊条和焊剂
- 5.3.4 GMAW/FCAW 焊条
- 5.5 WPS 变量
- 5.7 调质钢的线能量控制
- 5.10 衬垫 (所有条款)
- 5.14 最小角焊缝尺寸
- 5.15 母材的准备 (所有条款)
- 5.22.1.1 贴合表面

- 5.25 塞焊和槽焊技术（所有条款）
- 5.27 锤击（所有条款）
- 5.30.1 过程中清理
- 7.5.5 FCAW、GMAW 和 SMAW 角焊缝选择（所有条款）
- 7.7.5 去除部位的返修

附录 R（资料性附录） 安全实践

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 *钢结构焊接规范*的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

本附录包括各种电弧焊方法具有共性的许多安全基本要素。包括了与钢结构焊接有关的安全的许多方面，但不是所有方面。此处讨论可能发生的事故以及将人身伤害和财产损失减少到最低限度的实际操作。

R1. 电气危险

电击将产生致命危险。然而，电击可予以避免。不得触碰带电部件。应阅读和领会设备制造厂的说明及推荐的安全操作。电气设备的错误安装、不恰当的接地、不正确的操作及保养都是危险的根源。

应对所有电气设备和工件进行接地。对工件进行接地时，要求进行单独连接。工作电线不应误用作接地线。

为了防止电击，操作区域、设备和衣物应始终保持干燥。工作时应戴干的手套和穿橡胶底的鞋。焊工应站在一块干燥木板或绝缘平台上。

电缆和连接器应保持良好状态。不得使用磨损、受损或裸电缆。发生电击时，应立即切断电源。如果营救者到来必须使用不导电的材料把触电的人拖离。应召唤医生并持续进行人工呼吸直至呼吸恢复正常或医生到达为止。见参考资料 8、7 和 10。

R2. 烟尘和气体

许多焊接、切割和与之相关联的作业中，会产生对人体健康有害的烟尘及气体。

烟气及固体微粒来源于焊接材料、母材和母材上存有的涂层。气体是在焊接过程中产生的，也可能是焊接时辐射对周围环境产生的影响造成的。每个参与焊接作业的人应该知道这些烟尘及气体的影响。

过分暴露在烟尘及气体的影响范围内将对眼睛、皮肤及呼吸系统产生刺激，直至更为严重的并发症。这些症候可能立即发生，也可能在稍晚些时候发生。它们能够引起恶心、头疼、眩晕及金属烟尘所致的发烧。

应在电弧处设置足够的通风、排气，或两者兼有，使得呼吸区域和整个工作场所免遭烟尘和气体危害。

各种焊接方法产生的烟尘及气体的更详细资料，请阅参考资料 1、4 和 11。

R3. 噪声

过量的噪声对健康有害已被认识。暴露在过量噪声中会引起听觉的丧失。这种听觉丧失可能是全部或部分的，永久性的或暂时的。过大的噪声对听力有不利影响。同时也有证据表明，会影响人体的其他功能及人的行为。

可以采用耳罩或耳塞之类物件作为个人的防护措施。这些措施一般地只是在工程中对噪声控制不完全有效时才使用。见参考资料 1、5 和 11。

R4. 烫伤保护

焊接、切割或两者并用会产生熔化金属、火花、焊渣及灼热的工作表面。如不采取防护措施，可能造成烫伤事故。

工人应穿戴用防火材料制成的保护服装。不应穿着有翻边的长裤或有敞口袋的衣服，或者在衣服的某处能挂住熔化金属或火花的服装。工人应穿戴高帮鞋或皮绑腿及防火手套。裤脚应罩在高帮鞋之外。应该戴上保护面部、颈部和耳朵的头戴面罩或手持面罩，也应戴上头套以保护头部。

衣服上应无油脂。口袋中不得带有可燃物。如有可燃物飞溅在衣服上时，在带有明弧或火焰作业之前就应换穿清洁的阻燃防护服。

无论何时都应采取适当的眼部保护。还应戴上护目镜或等效的器件以进而保护眼睛。

当接触热的物品或操纵电气设备时，无论何时都应戴上绝缘手套。

更多有关个人防护的详细信息，应参见参考资料 2、3、8 和 11。

R5. 防火

焊接、切割或两者并用会产生熔化金属、火花、焊渣及灼热的工作表面。如不采取防护措施，要能会引起燃烧或爆炸。

在含有易燃的气体、蒸气、液体及粉尘的场所进行焊接或切割时，可能发生爆炸。因此，一切可燃的物料应从工作区内移走。尽可能将工作移至远离可燃物的地方进行。如果不可能，则将可燃物用阻燃材料加以覆盖。在工作区周围 35 ft [11 m] 半径以内的所有可燃物都应移开或加以安全保护。

不应在含有危险反应的或易燃的气体、蒸气、液体或粉尘的气氛中进行焊接或切割。不对装有未知物品或易燃物料的容器加热，因加热可能产生易燃的或易爆的蒸气。工作场所应装有适当的通风设施，以防止易燃的气体、蒸气及粉尘的积聚。容器加热之前，应洗涤清洁。

有关焊接、切割操作所致火险的详细资料参见 6、8、9 和 11。

R6. 辐射

焊接、切割及二者并用的作业，可能产生有害健康的辐射能。每人都应知道这种辐射能的影响。

辐射能可以是离子化的（如 X-射线）或非离子化的（如紫外线，可见光或红外线）。如果长时间曝露在辐射中，则可能产生各种影响，如皮肤灼伤及眼睛损伤。

有些焊接方法如电阻焊及冷压焊平常只产生数量可忽略的辐射能。但大部分的电弧焊及切割方法（使用正确的埋弧焊除外）、激光焊以及氧-乙炔焰的焊接、切割、硬钎焊或软钎焊，能够产生大量的非离子化辐射，因此防护措施是必要的。

有害辐射效应的防护方法有以下几种：

(1) 除透过焊接滤光玻璃外，不应直视焊接电弧（见参考资料 2）。透明的焊接屏不如焊接滤光玻璃，而更确切地说，用它是为了保护过路者不受难免的辐射伤害。

(2) 赤露的皮肤应当以规定的手套及衣服保护（参见资料 8）。

(3) 偶尔到焊接作业处的过路者应当用焊接屏、隔板或离开走道、通路有足够距离等方法予以保护。

(4) 已得到证实，带有侧边的防紫外线的安全眼镜，能够提供有益的保护而防止焊接产生的紫外线辐射。

参考资料

- (1) 美国政府工业卫生会议 (ACGIH)。在工作室环境中化学物质及物理试剂使用的限值。俄亥俄州辛辛那提：美国政府工业卫生会议 (ACGIH)。
- (2) 美国国家标准研究所。职业和教育中的眼睛和面部保护实施，ANSI Z87.1 纽约：美国国家标准研究所。
- (3) 美国国家标准研究所。人身保护——安全鞋类，ANSI Z41.1. 纽约：美国国家标准研究所。
- (4) 美国焊接学会。焊接环境中的烟尘及气体，AWS 报告。佛罗里达州迈阿密：美国焊接学会。
- (5) 美国焊接学会。手工电弧焊及切割过程中的声级测量方法，AWS F6.1。佛罗里达州迈阿密。美国焊接学会。
- (6) 美国焊接学会。为焊接和切割容器和管道作准备的推荐安全作法，AWS F4.1。佛罗里达州迈阿密：美国焊接学会。
- (7) 美国焊接学会。安全规程。（转载自焊接手册，第一卷第九版）。佛罗里达州迈阿密：美国焊接学会。
- (8) 美国焊接学会。焊接、切割和两者并施中的安全。ANSI Z49.1。佛罗里达州迈阿密：美国焊接学会。
- (9) 美国消防协会。使用切割和焊接方法时的防火，NFPA 标准 51B。马萨诸塞州昆西：美国消防协会。
- (10) 国家电气规程。NFPA 编号 70。马萨诸塞州昆西：美国消防协会。
- (11) 职业安全与健康管理局。联邦法规，标题 29，子标题 B，第 XVII 章，第 1910 部分：职业安全及健康标准。华盛顿特区：美国政府印刷办公室。

附录 S（资料性附录） 采取选用技术作焊缝超声波检测

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

S1. 概述

本附录的目的是介绍一些用于超声检测焊缝的选用技术。这些技术是在目前其他应用中得到证实的方法，但在本规范中未加详细述及。所介绍的这些选用技术要求是已经鉴定、有书面的工艺方法，经专门的超声操作人员的资格评定并有专门的校准方法，以便测量不连续性大小尺寸时获得所要求的精确度。采用本附录及由此产生和发展的工艺（包括可适用的验收条件在内）需要得到工程师的批准。

除非是合同文件中规定，否则，本附录是非指令性的。然而，当如此规定时，则此处所包含的全部要求（当适用时）视为强制性要求，除非合同文件中特别作出修改。

规范中适用的关于仪器和操作人员资格的要求（除这里作了修正的外），可用于补充本附录。不过，并不打算以这些技术去补充本规范的第六章中现有的要求，因为那里规定的工艺和技术是完善的，并且代表一种有别于此的焊缝超声检测方法。

A 部分 基本的超声波工艺

S2. 引言

A 部分中包括的基本超声波检测工艺、仪器设备及对操作人员的要求，对于保证在不连续性的评估及其尺寸的测定方面具有最大正确性，是必须的。这里述及的方法并不新颖。它们早已在其他工业，包括造船和海洋平台结构中使用 25 年了。虽然它们尚未被禁用过，但也未被编入美国焊接学会 (AWS) 的文件中并明确其是有效的。本章中所包含的某些方法已为美国石油学会的 API RP 2X 海洋平台结构制造的超声检测的推荐方法和超声技术人员资格鉴定指南所采纳。此外，也能从参考资料获得有用的信息。为了最大限度地检查、判定不连续性的尺寸，必须强调以下事项：必须书面提出超声波探伤工艺，并须经过鉴定：对 UT 技术人员特殊的要求，对仪器配置及校准的要求。AWS 承认超声波检测用于不连续性鉴别及尺寸确定存在着固有的局限性及不一致性。可得到的精确度须由 UT 技术人员使用恰当的工艺及设备进行校验核实。

工艺鉴定的结果应提交给工程师。AWS 对采用本文中述及的检测方法没有提出精度要求。

S3. UT 工艺

一切超声波检测必须按书面规定的方法进行，规定中至少应当包括下列超声波检测方法及相关检查技术的相关资料：

- (1) 受检焊缝接头形状的类型
- (2) 各种受检焊缝接头的验收条件（包括工程师不采用的第 6 章 C 部分中的验收条件时的附加条件）；
- (3) 超声波设备类型（制造商、型号和出厂编号）
- (4) 换能器的类型：包括频率、尺寸大小、形状、角度及楔块的类型（如与 6.22.6 或 6.22.7 中规定的楔块不同）；

- (5) 表面扫查准备及对耦合剂的要求
- (6) 带有合适参考反射体的校准试块的型号
- (7) 校准方法及校准的时间间隔
- (8) 对焊缝评估之前检查钢材分层的方法（如不同于 6.26.5 所述时）
- (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) 确定不连续性位置、高度、长度和幅度值的方法
- (12) 用于表面粗糙、表面涂层及局部屈曲的传输修正方法（若可用的话）
- (13) 核实整个检测精确度的方法。此方法可由其他人重新作超声波检测（仔细检查）、采用其他无损检查方法、宏观腐蚀试样、表面刨槽或其他经工程师同意的目视检查方法进行。
- (14) 关于检测的档案资料（包括任何已核对过的）的要求
- (15) 档案资料的保管要求。书面的工艺过程必须经焊缝实物试验鉴定，实物焊缝必须能代表生产制作中待检的焊缝。并应将它剖成截面，进行细致检验并将所得的数据记录下来，用以证实该工艺有令人满意的效果。工艺方法及所有的鉴定数据必须由一位人士批准，此人须按 ASNT SNT-TC-1A 获得超声探伤 III 级认可，且进而通过指定的、待检焊缝接头类型的实验考查。

S4. UT 操作人员和设备

除了 6.14.6、6.21 和 6.27.2 的要求之外，超声波操作人员必须证明具有使用书面工艺规程的能力，包括所有需要的专门技术，并且，当要求确定不连续性高度和长度时，必须具备这种能力并能精确地确定其尺寸。

超声波设备必须符合 6.22 的要求和本附录所规定的要求。当工程师批准，可以使用具有计算机操作、成像系统、机械化扫描和记录装置的选用设备。频率在 6MHz 以下、大小在 1/4 in [6 mm] 以上的任何形状的换能器（如果已列入工艺之中而又经过适当鉴定的），可以采用。

S5. 参考标准

标准反射体必须是一个钻在侧面的一个直径为 1.5mm 的孔或与其反射性能相同的物体。反射体可放置在任一设计的校准试块、焊缝实样或用户选择的实际生产的部件之中。反射体放置的方向及公差如图 S-1 中所示。图 S-2 所示为推荐使用的校准试块。图 S-3 所示为可备用的反射体。当放置在焊缝实样及产品焊件截面中时，反射体应位于难于对准声波束的地方，这样才能确保探测到所有的重要区域中的不连续性。

S6. 校准方法

这里叙述的校准方法被认为是满意而可接受的，可用来实现这些选用的超声检测工艺。本规范承认，个别用户有可能更倾向于使用其他校准方法。如采用别的校准方法，则结果至少应与本文推荐方法所得的结果相同。S5 中所述及的反射体应作为标准反射体，用于这里推荐的方法及其他可能采用的方法。

S6.1 标准灵敏度。标准灵敏度应是下列各项的总和：

- (1) 基准灵敏度。来自标准反射体的最大读数，加上

(2) 距离幅度修正。由代表最小、中等和最大受检深度的多个标准反射体的读数值来确定，加上

(3) 传输修正。因材料型号、形状及扫描表面状况的调整分析如下：

为了使灵敏度精度更加标准化，应进行传输修正。这样，在进行标准灵敏度校准时能够利用校准标准和校准块在声学属性、扫描表面和部件形状等方面的差异。在检查之前，首先应确定传输修正值。当材料的型号、形状、厚度和扫描表面发生变化时，预计因此产生的差值将超过原始值的 $\pm 25\%$ 。传输修正值应如图 S-4 那样确定。

S6.1.1 扫查灵敏度。扫查灵敏度应等于标准灵敏度加上 6~12 dB，或者根据需要以表面发射读数来核实透声性。读数值的评定应以标准灵敏度为参考，除非较高或较低灵敏度更适合于确定不连续性的最大尺寸（高度和长度），而不要求采用标准灵敏度。

S6.2 纵波

S6.2.1 深度（水平扫描）。应该用图 S-5 所示的多次反射所得的指示值，这些反射来自校准标准的厚度，或来自焊缝实样的、或产品焊件上的一个标准尺寸的区域。检验母材的夹层（不连续性）时，校准精度应处于其实际厚度的 $\pm 5\%$ 范围内；而确定不连续性尺寸（高度）和位置时，校准精度应处于其实际厚度的 $\pm 2\%$ 范围内。

S6.2.2 灵敏度校准（标准）。将探头放置于三个标准反射体中深度最小的一个反射体上方，以确保包括图 S.6 所示的整个受检厚度。记录下各反射体的最大读数 dB 值。绘制一条深度-幅度曲线 (DAC)，或采用电子学方法识别显示器上的读数位置。它们代表在不同受检厚度处的标准反射体。

S6.3 横波

S6.3.1 深度（水平扫描）。应使用经选择的标准反射体的读数值来，使得在按图 S-7 检验时达到采用的最大深度。精确度应处于 $\pm 1\%$ 的范围内，以便最精确地测量不连续性高度。如果受检的不连续性深度大于 1.5 in，应采用延迟技术，从而尽可能地获得最精确的不连续性深度（和高度）读数。

S6.3.2 灵敏度（标准）。应按照图 S-7 所示采用位于受检表面之下的最小、中间、及最大深度的标准反射体。读数值应为最大，并以绘出的 DAC 曲线或用电子学的方法来确定显示读数的位置，它们表示标准反射体在所选的不同深度处。DAC 曲线应根据传输修正的结果作调整。当要求得出实际的不连续性大小（高度及长度）时，这里述及的灵敏度校准方法不是主要的。在这种情况下，唯一要求就是检测时必须保持整个受检部位的灵敏度，从而发现所有的不连续性并进行适当评估。

S7. 扫查

扫查必须按 6.32 和 6.27.7 的规定。此外，对于上述规范的参考资料未包括的一些特殊应用，如实际可行，应采用图 S-8 中的扫查方法。

S8. 焊缝不连续性特征的鉴别方法

S8.1 应对焊缝不连续性的特征说明如下：(1) 球状（单个细孔、分布较广的多孔结构、非条状的夹渣）

(2) 柱状（条状夹渣、排成行的多孔结构、空心焊道）

(3) 平面状（未熔合、未熔透、裂缝）

S8.2 应采用下列方法确定不连续性的基本特征：

S8.2.1 球状。相等地向各个方向反射声波。当探头如图 S.9 所示绕球形不连续性移动时，指示读数基本上保持不变。

S8.2.2 柱状。声波在一个方向上反射后保持不变，但在其他方向上将发生变化。当探头在一个方向移动，指示数基本上保持不变，但在其他方向上移动时，指数读数将发生剧烈变动，见图 S.10。

S8.2.3 平面状。当声波在一个平面上反射时，仅在一个入射角上才能达到最大发射声波。指示读数随着探头移动角度变化而发生变化，如图 S.11 所示。从裂纹处探得的指示读数很典型地具有多个峰值，是由于这种不连续性常常带有很多小平面的结果。

S9. 确定焊缝不连续性尺寸与位置的方法

S9.1 校准。校准应按 S6 规定，以从表面算起的深度为依据。用本节所述的方法确定不连续性尺寸可具有能达到的最高精确度。但是须注意，像其他所有无损检测方法一样，超声波检测只能测出相对的不连续性尺寸。由于不连续性的方向和形状与无损检测方法的局限性相关，导致相对尺寸与实际尺寸之间存在较大偏差。

S9.2 高度。应采用以下方法来确定不连续性的高度（深度尺寸）：

S9.2.1 按照图 S-12 的 A，将探头在不连续性处来回移动，应使指示高度达到最大值。将指示高度调整至一个已知值（例如，显示屏全高 (FSH) 的 80%）。

S9.2.2 将探头朝向不连续性移动，直至指示高度持续快速地向底线下降。应记下在图 S-12 中位于 B 处指示的上升(前)沿在显示器水平基线标度尺上的位置。应采用 0.10 in [2.5 mm] 标度尺或公制尺。

S9.2.3 应将探头从不连续性处移开，直至指示高度开始迅速下降并继续向基线下降时为止。应记下图 S-12 中位于 C 处指示的上升沿在显示器水平基线标度尺上的位置。

S9.2.4 应求得 B 与 C 的差数以用来确定不连续性的高度。

S9.3 长度。应用下述方法确定不连续性的长度：

S9.3.1 按图 S-13 中的 A 所示，应通过变换探头决定最强指示值的平面及方向，来确定不连续性的取向。

S9.3.2 将探头移向不连续性的一端的同时，在显示器上应能保持看见部分指示，直至指示完全降至底线为止。探头应向不连续性来回移动，直至指示的高度达到如图 S-13 B 所示端部附近处原最大高度的 50%。应在扫查面或焊缝上的不连续性“端部”与探头最大指示记号成一直线的位置处作出标记。作这种标记应该用细线标记方法仔细地进行。

S9.3.3 应按图 S-13C 所示重复上述步骤定出不连续性另一端的位置，并应仔细地标记下来。

S9.3.4 按图 S-13 所示，应量出两个标记间的距离，即得出不连续性的长度。

S9.4 扫查表面下方的深度位置。当采用上述方法确定不连续性高度时，不连续性的深度位置可直接从显示器的水平基线标尺上读出。除另有规定外，填入报告单的位置应是所确定的最深点，以有助于实施切除。

S9.5 沿焊缝的长度位置。距一已知参考点的不连续性位置，可由测量此参考点到不连续性长度标记的距离来确定。除另有规定外，此测量方法应从不连续性开始处量起。

S10. 不连续性引起的问题

用超声检测作焊缝检验者应注意以下与焊缝不连续性特征相关的潜在的判读问题：

S10.1 不连续性类型。超声波对不连续性的灵敏度随它们的类型不同而变化。下表所列的相对灵敏度在评估不连续性时应予考虑。超声波检测技术人员可以改变超声波仪器的设置、探头的频率和尺寸、包括扫查图形及耦合剂在内的扫查方法等，来改变对于所有不连续性类型的灵敏度。

<u>不连续性的类型</u>	<u>超声波检测的相对灵敏度</u>
(1) 未熔合	最高
(2) 裂纹（表面）	.
(3) 未熔透	.
(4) 裂纹（表面下方）	.
(5) 夹渣（连续）	.
(6) 夹渣（分散）	.
(7) 气孔（管状）	.
(8) 气孔（密集）	.
(9) 气孔（分散）	最低

S10.2 不连续性的大类别可比较如下：

<u>不连续性的大类别</u>	<u>超声波检测的相对灵敏度</u>
(a) 平面状	最高
(b) 线状	.
(c) 球状	最低

注：上表假设的取向对检测及评估最有利。

S10.3 尺寸大小。不连续性的尺寸大小对正确的判读有影响。指示高度很大或很小的平面状不连续性比起中等高度的平面状不连续性，判读时精度要小。小的球状孔隙是难于确定其尺寸的，因为当声波束移动扫过它时反射面在迅速变化。

S10.4 取向。不连续性的取向会影响超声探伤灵敏度。因为灵敏度最高时为声波直接反射在探头上。与取向及不连续性类型相关的相对灵敏度与先前表中所列的相对灵敏度相反。超声波检测技术人员可以选择一个更近于垂直于不连续性平面和反射表面的声波束角度，来提高对不连续性取向的灵敏度。如声波束角度的选择能与焊缝的坡口角相匹配，则会提高对于平面状的及线状的不连续性的灵敏度，而这些不连续性很可能沿着该平面出现。

S10.5 位置。位于焊缝及其两侧母材中的不连续性会影响到探测能力及正确评估。。靠近表面的不连续性常常容易探测，但可能难于确定其尺寸大小。

S10.6 焊缝接头类型及坡口设计。焊缝的接头形式及坡口设计是影响超声波检测不连续性能力的重要因素。

下列诸设计因素可能会引起问题，宜考虑其可能的影响：

- (1) 衬垫
- (2) 坡口面角
- (3) 接头构件的交角
- (4) 部分焊透的焊缝
- (5) T 形焊缝
- (6) 管材构件
- (7) 焊缝的表面粗糙度及外形

S11. 不连续性幅度水平和焊缝等级的不连续性幅度水平

下列不连续性幅度水平应用于合格性评估：

<u>水平</u>	<u>说明</u>
1	等于或大于 SSL（参见图 S.14）
2	在 SSL 与 DRL 之间（参见图 S.14）
3	等于或小于 DRL（参见图 S.14）

SSL = 标准灵敏度级水平 — 见第 6 章。

DRL = 忽略不计水平 = 比 SSL 小 6 dB。

焊缝等级。下列焊缝等级应用于不连续性合格性评估：

<u>焊缝等级</u>	<u>说明</u>
S	静荷载结构
D	周期荷载结构
R	管材结构（代替 RT）
X	管材 T、Y、K 形节点

S12. 合格-拒收判据

S12.1 幅度。当幅度与长度成为主要因素但最大不连续性高度尚未知晓或未作规定时，应采用表 S.1 中的合格-拒收判据。

S12.2 尺寸大小。当最大的容许不连续性大小（高度及长度）已知并由工程师作了规定时，则应确定实际尺寸大小（高度及长度）与位置（深度及沿焊缝方向）并提出报告。最终评估和合格/拒收应由工程师决定。

S13. 报告的编制和处理

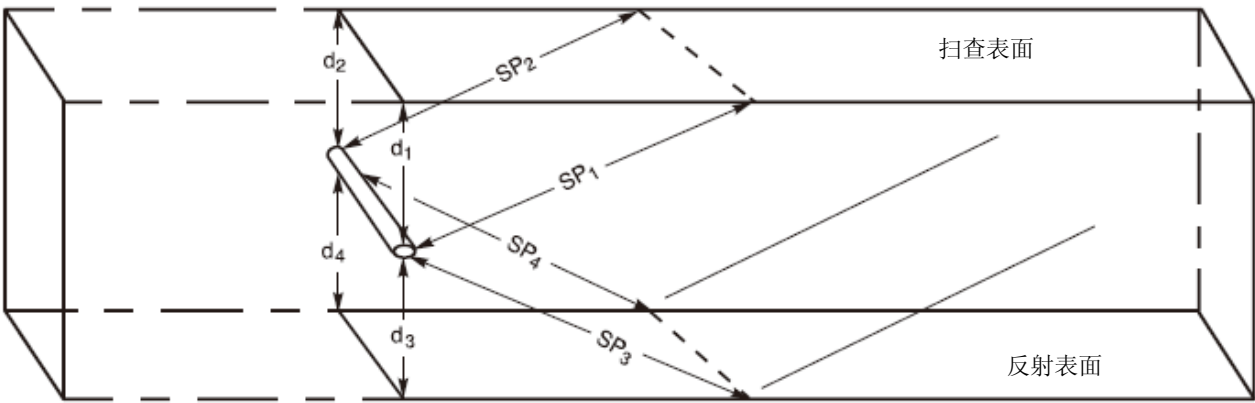
必须编写一份能清楚地辩明超声检测人员检测时的检测工作及检测区域的报告。报告至少应包括报告样本（图 S.15）中列出的内容。超声检测的不连续性鉴别和随后的分级与撰写报告应仅限于球状、柱状和平面状三类。

当按规定，不连续性接近于不合格尺寸时，特别是那些在评估时存在一些疑问的，也应写入报告之中。

由承包商为业主进行 UT 检测的一条焊缝被判合格之前，所有关于焊缝的报告表格，包括返修之前为质量不合格的，应在工程完成时就提交给业主。当承包商 (1) 向业主提交了一套完整的报告；或 (2) 承包商在工程已完成整一年之后，如果事先给业主书面通知，他们保留 UT 报告的责任就应宣告结束。

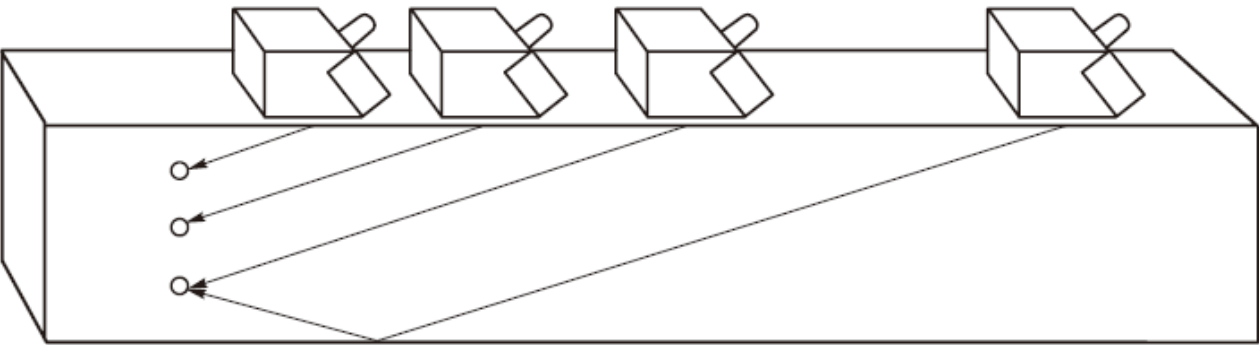
表 S.1
合格-拒收判据（见 S12.1）

所得的最大不连续性振幅级	根据焊接级别划分不连续性的最大长度			
	静荷载	周期性荷载	管材等级 R	管件等级 X
1 级 — 大于等于 SSL（参见 S6.1 和 图 S.14）	大于 SSL 5dB 以上：都不合格 大于 SSL 以上 0~5dB：SSL = 3/4 in [20 mm]	大于 SSL 5dB 以上：都不合格 大于 SSL 以上 0~5dB：SSL = 1/2 in [12 mm]	见图 6.4	见图 6.5（利用高度）
2 级 — 处于 SSL 与 DRL 之间（参见图 S.14）	2 in [50 mm]	焊缝中部 1/2 = 2 in [50 mm] 焊接顶部和底部的 1/4 = 3/4 in [20 mm]	见图 6.4	见图 6.5（利用高度）
3 级 — 小于等于 DRL（参见图 S.14）	不必考虑（其时由工程师规定，作为资料记录）			



- 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. 上述公差应认为是恰当的。在任何情况下反射体的放置方式应能使反射及超声指示取值最大。（此注是对附录 S 中所有注的通用说明）

图 S.1 — 标准对比反射体（参见 S5）



注：尺寸要求应与探头所需的声程距离相适应。

图 S.2 — 校准的校准试块（参见 S5）

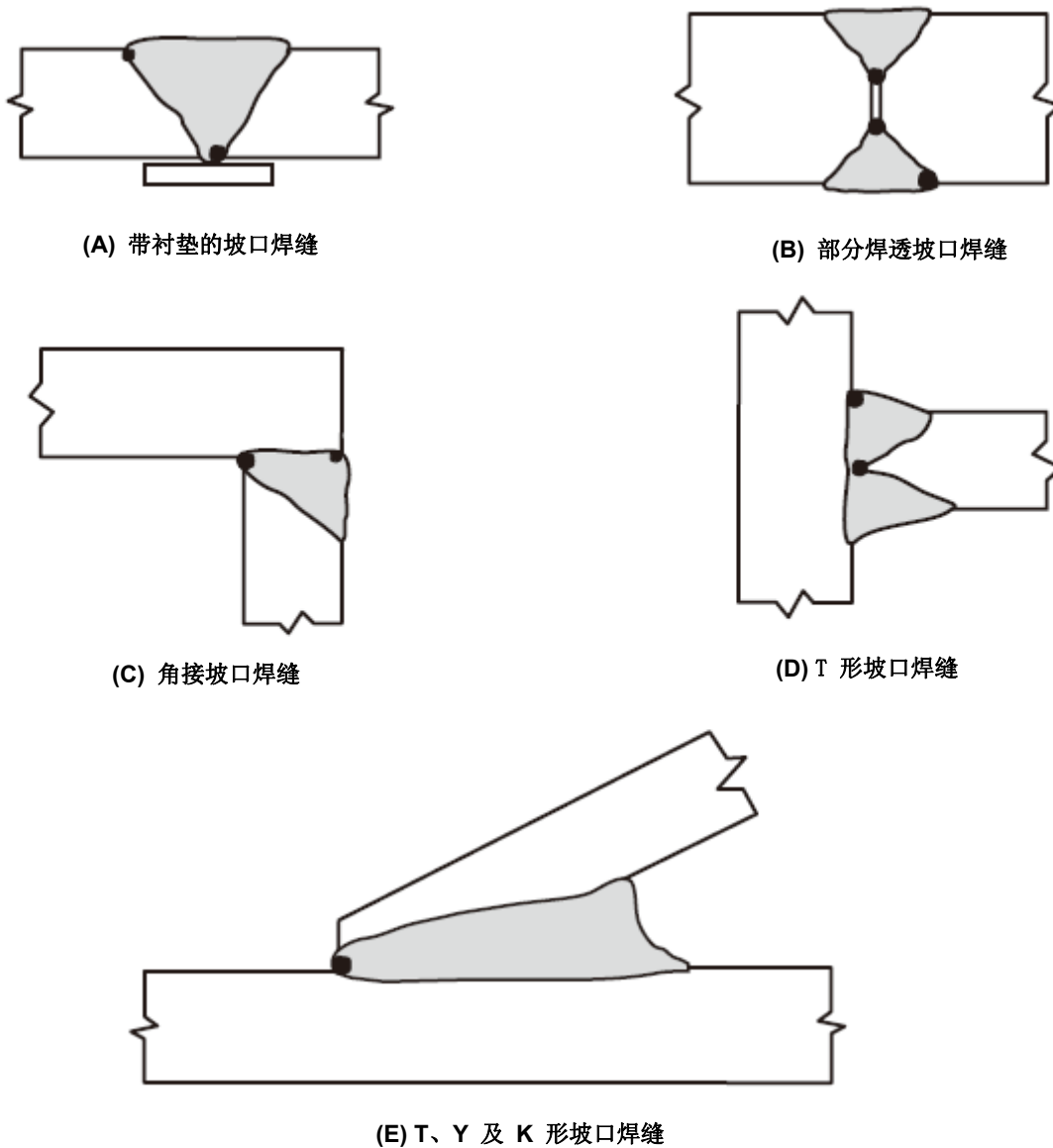
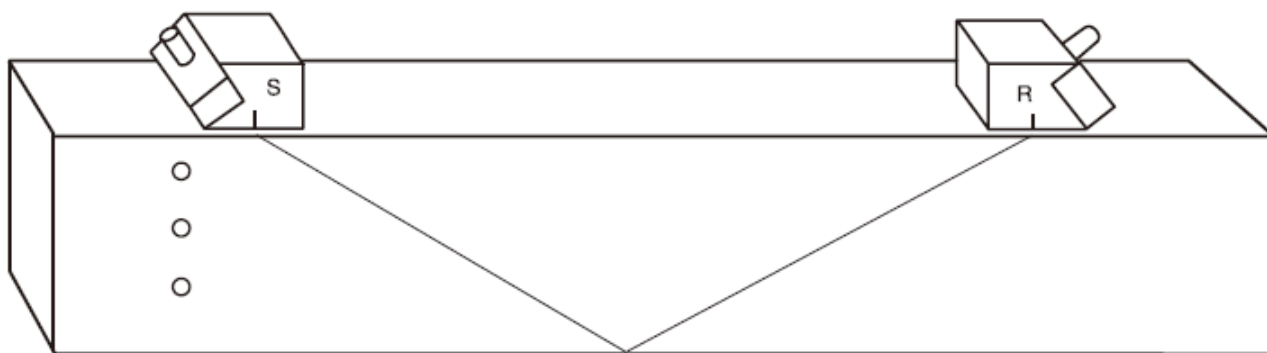


图 S-3 — 典型的标准反射体（位于焊缝实样和产品焊缝中）（见S5）



程序：

1. 将两个相似的斜射波束探头放在校准试块或待用的实样上，位置如图。
2. 采用穿越传输方法，使得所得的读数值成为最大，并获得读数值 的 dB 值。

- 3. 将两个相同的探头传输给待检部分，并面对一定的方向。在此方向上，按上述，从至少三个部位进行扫查并获得读数的 dB 值。
- 4. 在校准试块或实样、与待检部分获得的数值的平均值之间，求得 dB 数的差值，应予记录并用于调整标准灵敏度。

图 S.4 — 传输修正（参见 S6.1）

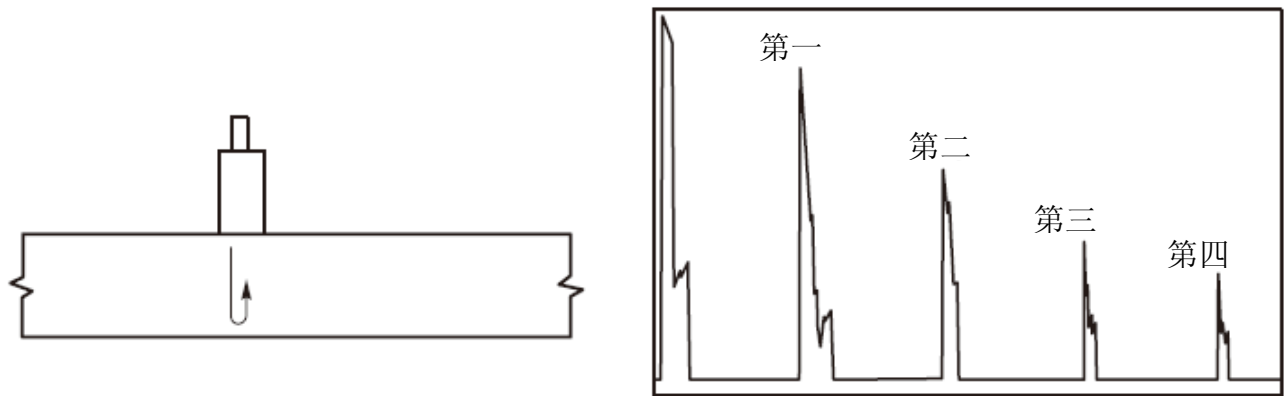


图 S.5 — 纵波深度（水平扫描校准）（参见 S6.2.1）

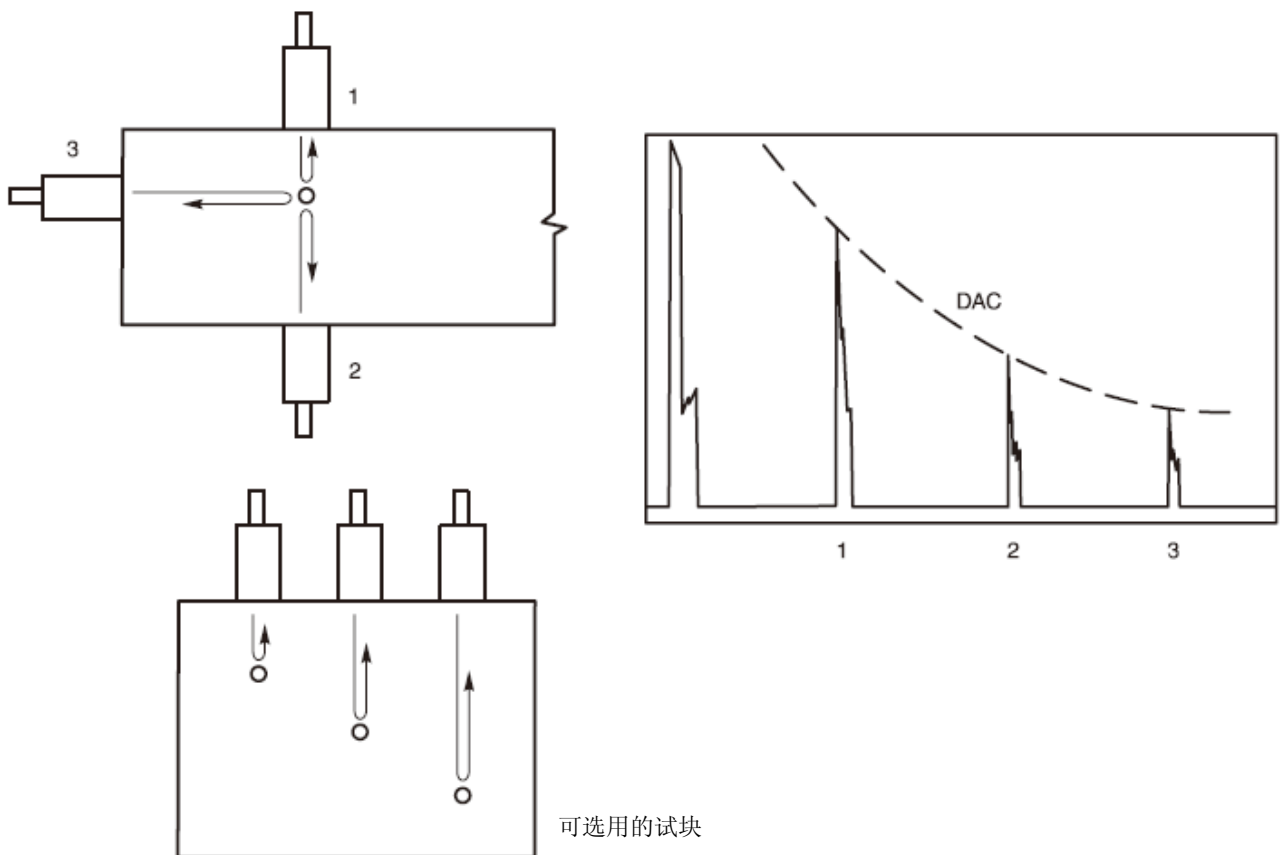


图 S.6 — 纵波灵敏度校准（参见 S6.2.2）

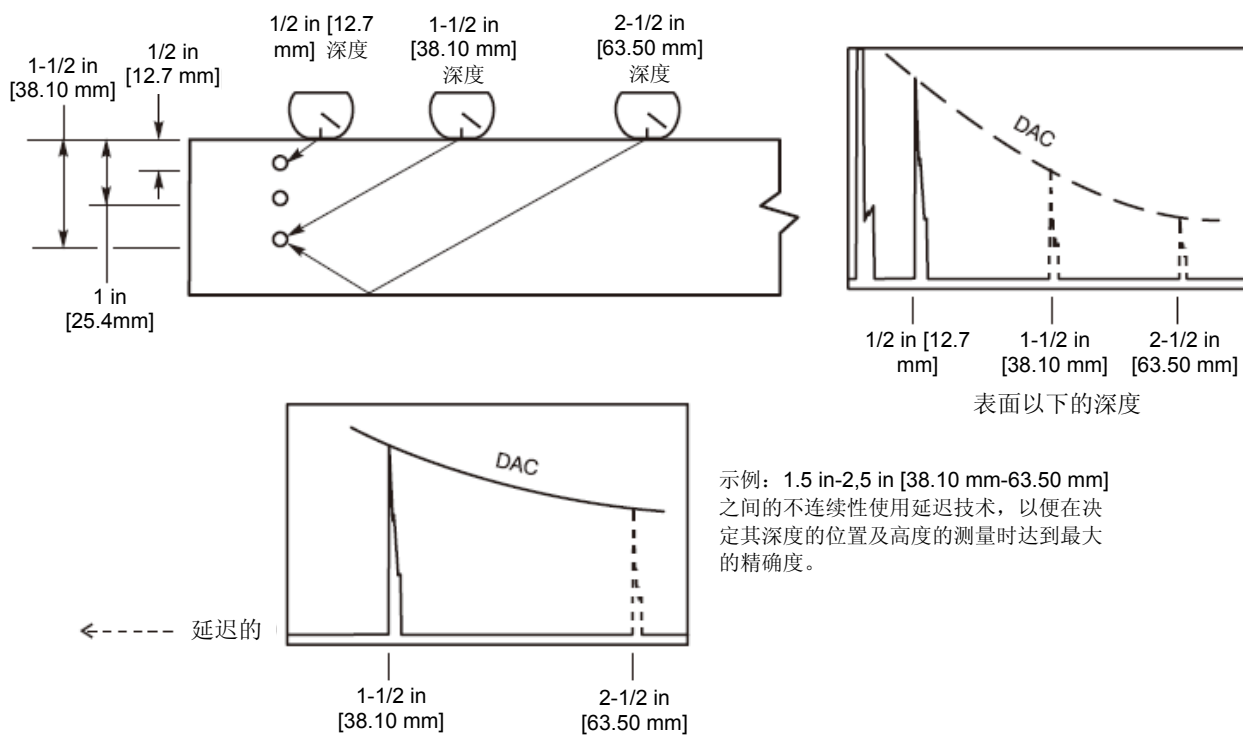
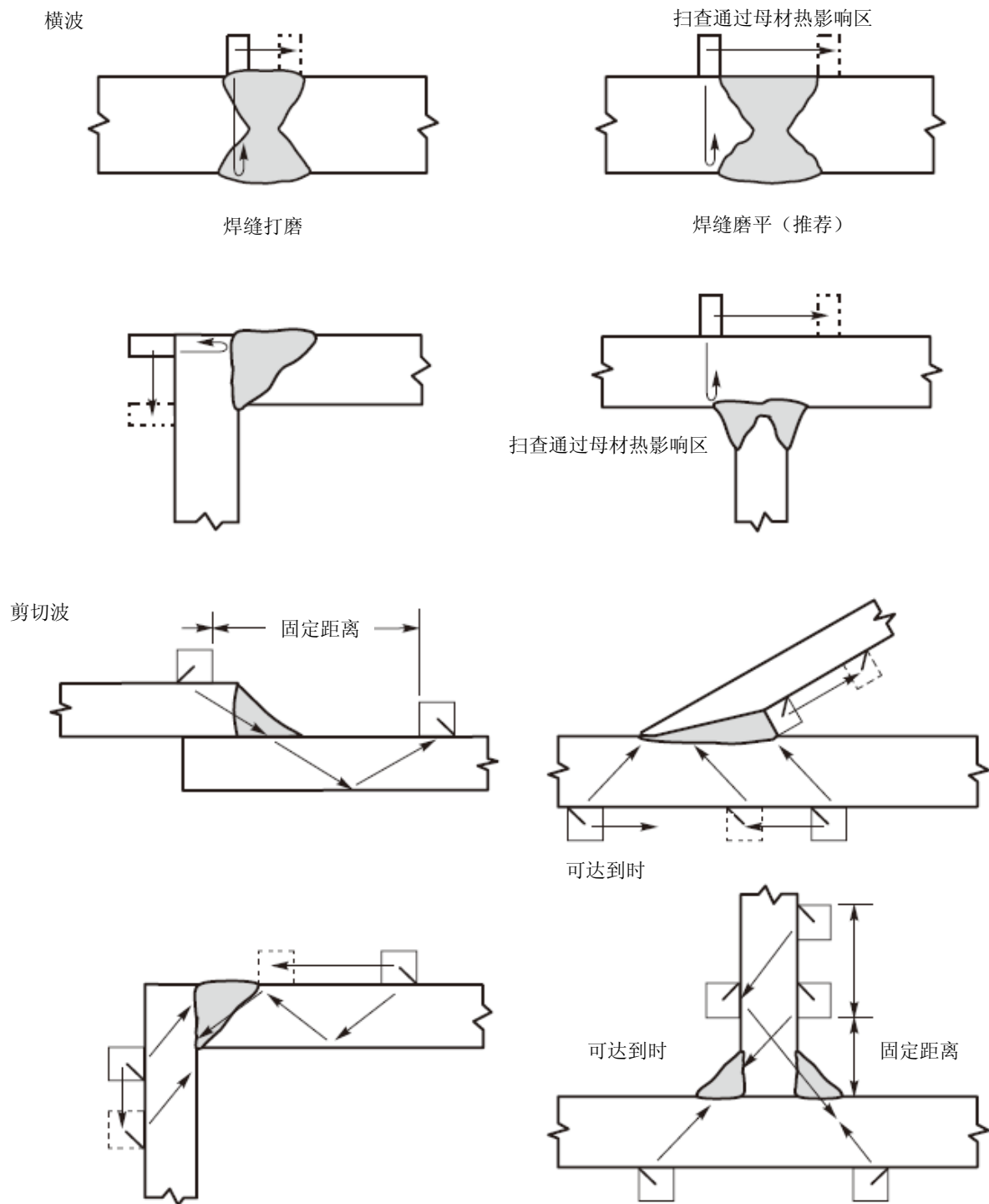


图 S-7 — 横波距离和灵敏度校准（参见 S6.3.1）



注:

1. 表示扫查, 否则当沿焊缝扫查时探头应距焊缝为一固定距离。
2. 剖面扫查图示。假定扫查完全按焊缝长度进行, 至少应重叠 25% 以保证 100% 的覆盖。全部覆盖可能不需要图中所有的扫查位置。例中给出选用的位置是因不可达到妨碍了某些位置的使用。

图 S.8 — 扫描方法 (见 S7)

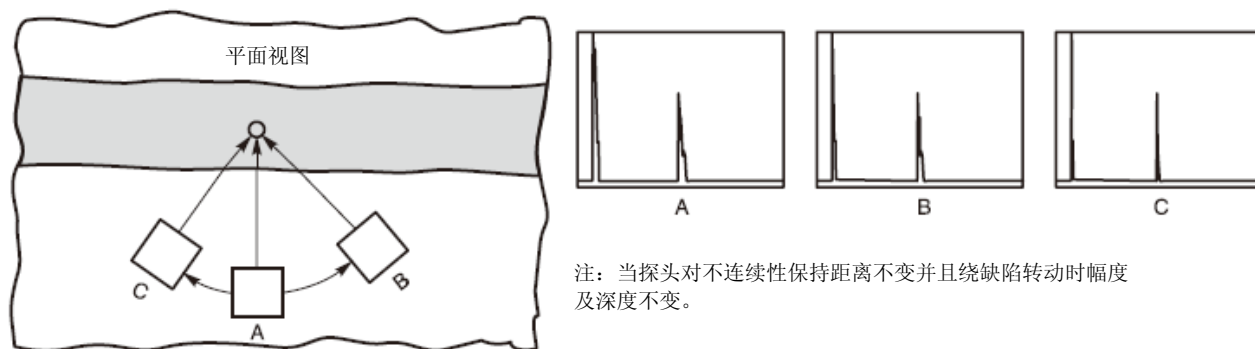


图 S.9 — 球形不连续性特性（参见 S8.2.1）

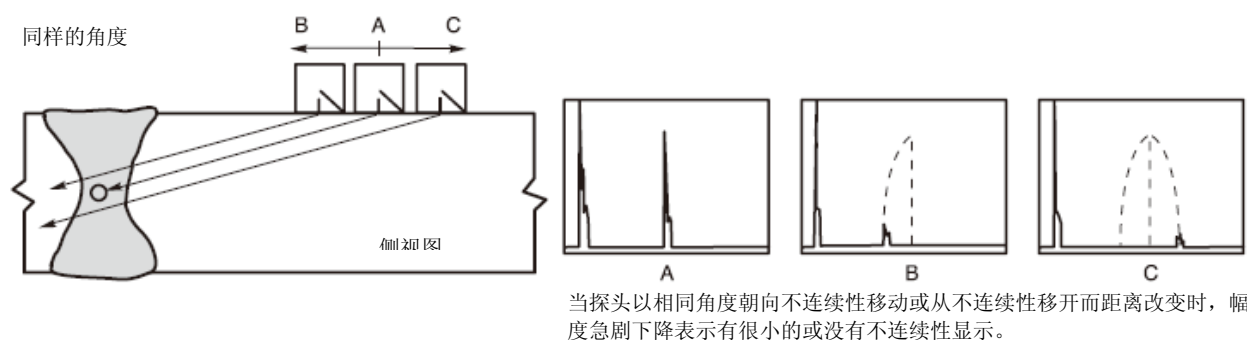
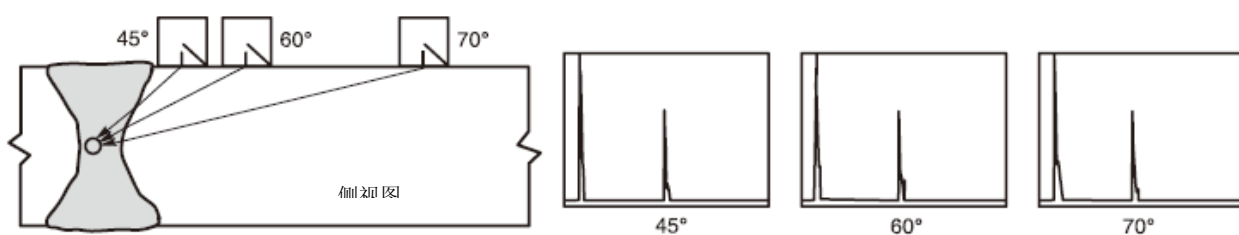
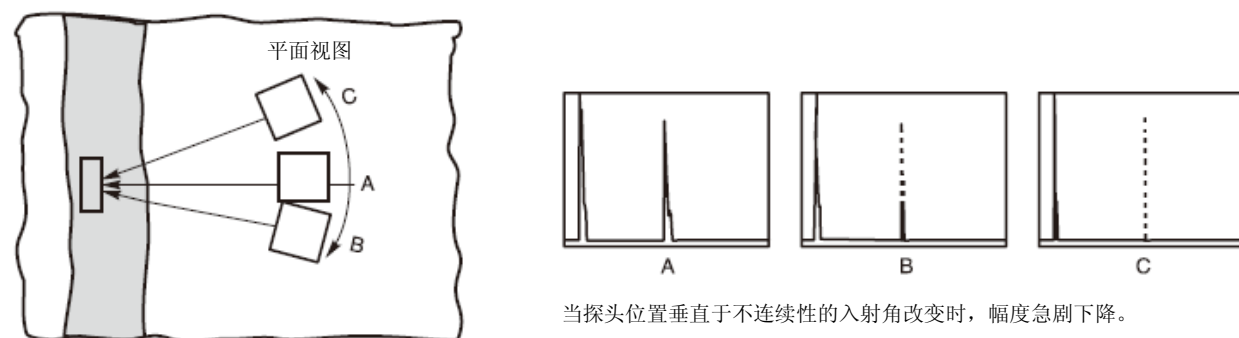


图 S.10 — 柱状不连续性特性（参见 S8.2.2）

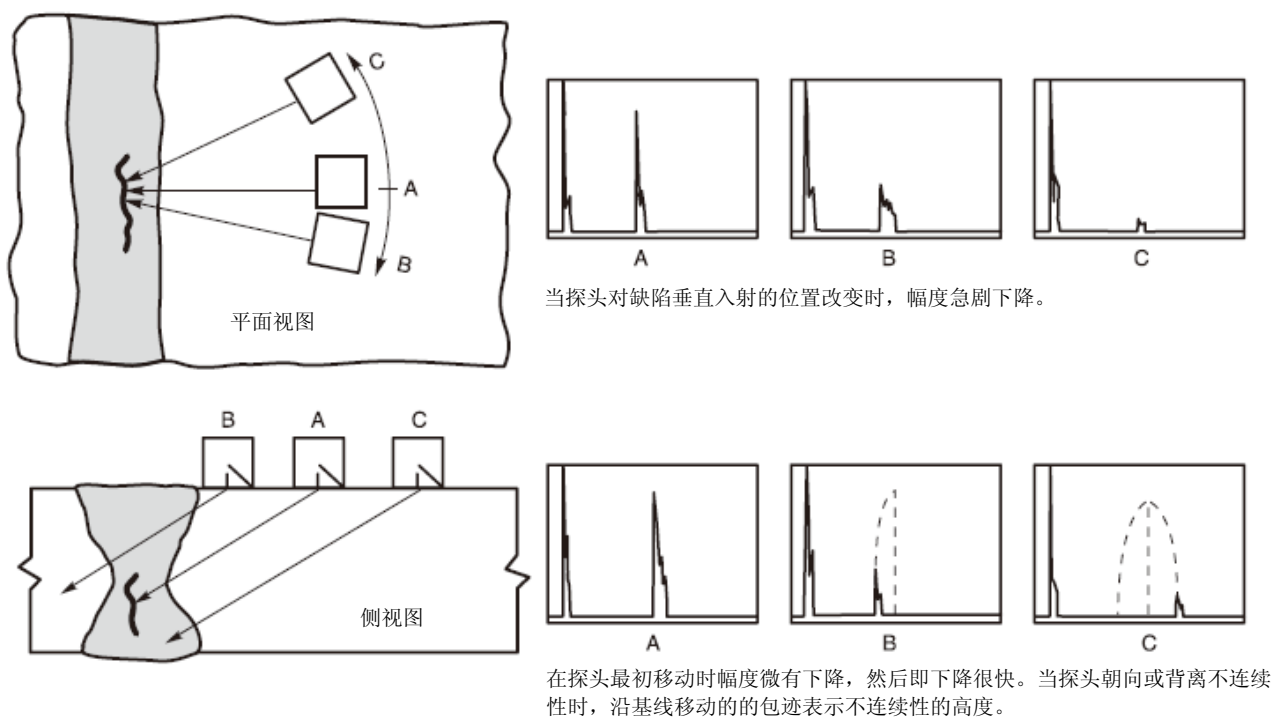
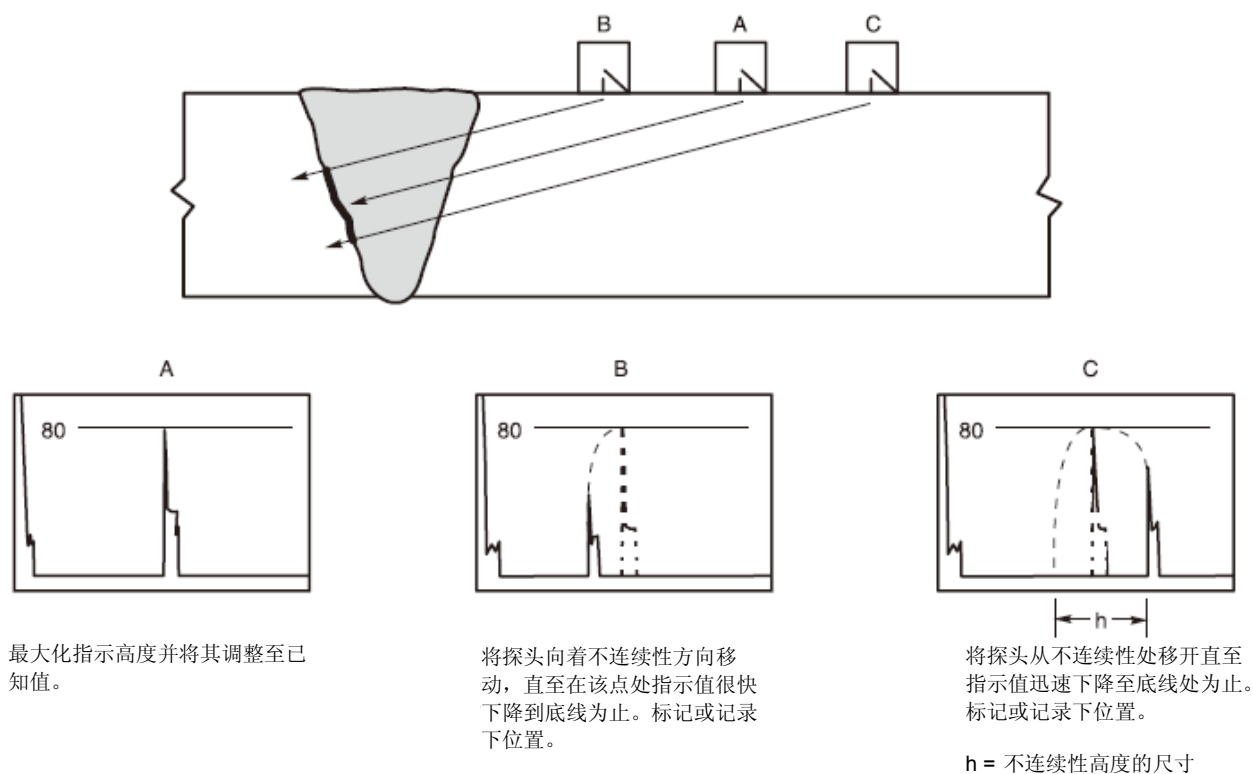


图 S.11 — 平面不连续性的特性（参见 S8.2.3）



不连续性的位置是从扫查表面算起测量。

图 S.12 — 不连续性高度的尺寸（参见 S9.2）

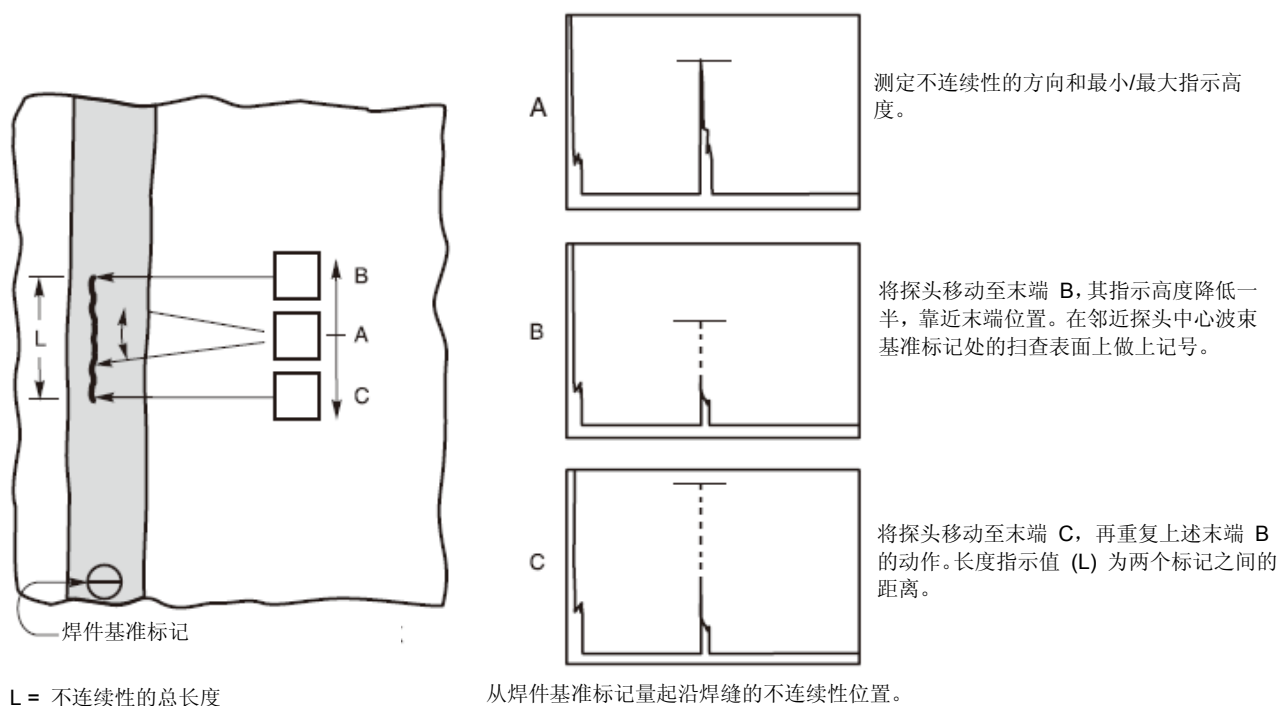
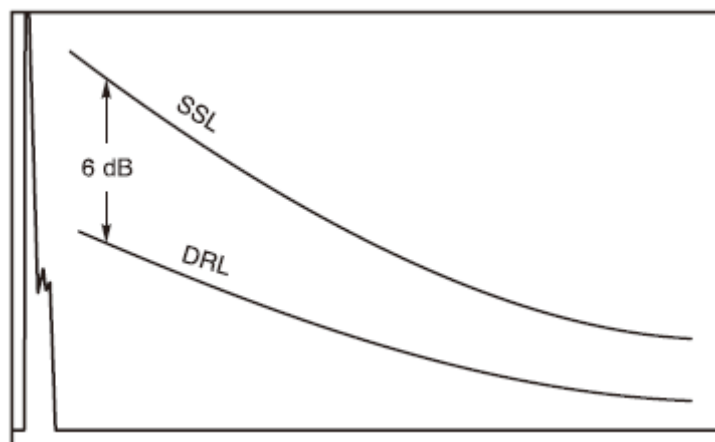


图 S.13 — 不连续性长度的尺寸 (参见 S9.3)



注：屏幕上可标出灵敏度校准时建立的 SSL 曲线，低于它 6 dB 的是 DRL 曲线。

图 S.14 — 显示屏幕标记 (见 S11)

项目 _____ 报告编号 _____

焊接标识 _____ 厚度 _____ 等级 _____

UT 工艺号 _____ 技术 _____

UT 仪器 _____

探头： 编号 _____ 角度 _____ 频率 _____ 尺寸 _____

结果（识别并说明每一不连续性）

编号	距 _____ 的位置	幅度水平	长度	高度	备注

简图（与上列每一不连续性相对应）

NDT 技术员 _____ 承包商 _____

检验日期 _____ 批准人 _____

批准日期 _____

图 S.15 — UT 报告（选用方法）（见 S13）

附录 T (信息性)

椭圆参数 α

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

图 T.1 给出了设计多平面管节点时构成弦杆椭圆参数 α 值的公式并对所用的各项作详细说明。得到的 α 值既适合静强度设计 (表 2.10)，也适用于冲击剪切方式的疲劳要求 (表 2.7, 注 e)。

对每一个进行冲击剪核准 (基准支撑) 的支管独立地计算 α 值，并且对每一种荷载情况，用在这一节点的所有支撑进行累加的方法计算每一次的 α 值。在累加中，余弦项表示作为环绕圆周的位置函数的支撑的影响，而指数衰减项表示当 L_1 增大时直观的影响随之减小；对于在此出现于分母中的基准支撑来说，这些项目都为数值 1。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。

对于手工计算，设计人员也许更喜欢用表 2.10 给出的一些 α 较简单的形式。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 (例如用于四根直支管立体四通式交叉接头的数值 3.8)，并且要求稍微随机分类的接头类型。对于荷载的样式归入介乎标准情况之间的一些接头 (例如，部分荷载为 K 形节点承受，而部分为 T 形节点承受)，则应用插入法决定 α 值。计算的 α 值会自动地满足这种情况。

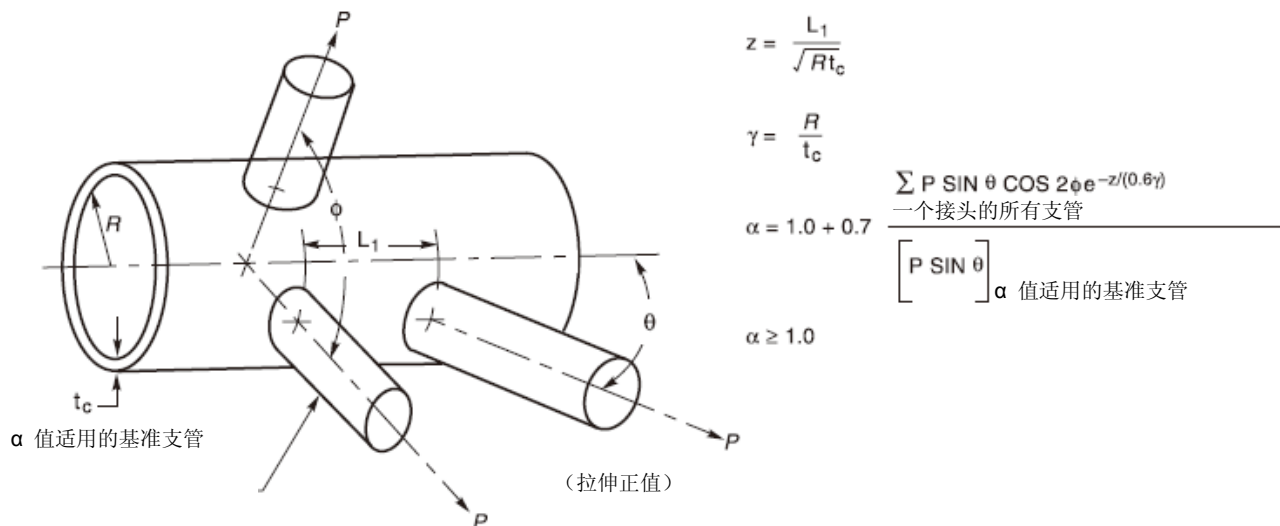


图 T.1 — 用于计算的 α 值术语的定义

附录 U (信息性) 参考文件清单

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

1. AWS D1.3/D1.3M:2008, 《薄钢板结构焊接规范》。
2. AWS A3.0, 《标准焊接术语和定义, 包括粘接法、铜焊、软钎焊、热切割和热喷涂等术语》。
3. AWS A2.4, 《焊接、铜焊和无损检测用标准符号》。
4. ANSI Z49.1, 《焊接、切割和相关工艺中的安全》。
5. ASTM A 6, 《轧制结构钢棒, 钢板, 钢塑形和防渗板桩一般要求标准规格》。
6. 《结构钢建筑物 AISC 负载和阻力因素设计规范》。
7. ASTM A 673, 《结构钢冲击测试取样程序规范》。
8. ASTM E 92, 《金属材料维氏硬度测试方法》。
9. ASTM E 140, 《金属硬度换算表》。
10. AWS D1.0, 《建筑结构焊接规范》。
11. AWS D2.0, 《公路和铁路桥梁焊接规范》。
12. ASTM A 370, 《钢产品机械测试》。
13. AWS A5.25/A5.25M-97 (R2009), 《电渣焊用低合金碳钢焊条和焊剂规范》。
14. AWS A5.26/A5.26M-97 (R2009), 《气电焊用低合金碳钢焊条和焊剂规范》。
15. AWS A5.1/A5.1M:2004, 《药皮焊条电弧焊用碳钢焊条规范》。
16. AWS A5.5/A5.5M:2006, 《药皮焊条电弧焊用低合金钢焊条规范》。
17. AWS A5.17/A5.17M-97 (R2007), 《埋弧焊用碳钢焊条和焊剂规范》。
18. AWS A5.23/A5.23M:2007, 《埋弧焊用低合金钢焊条和焊剂规范》。
19. AWS A5.01M/A5.01:2008 (ISO 14344:2002 MOD), 《消耗材料采购指南 — 焊接和相关工艺 — 焊剂和保护气体电气焊接工艺》。
20. AWS A5.18/A5.18M:2005, 《气体保护电弧焊用碳钢焊条和焊棒规范》。
21. AWS A5.20/A5.20M:2005, 《药芯焊丝弧焊用碳钢焊条规范》。
22. AWS A5.28/A5.28M:2005, 《气体保护电弧焊用低合金钢填充金属规范》。
23. AWS A5.29/A5.29M:2010, 《药芯焊丝弧焊用低合金钢焊条规范》。
24. AWS A5.12M/A5.12:2009 (ISO 6848:2004 MOD), 《电弧焊和切割用钨和氧化钨焊条规范》。
25. AWS A5.30/A5.30M:2007, 《熔化填充丝规范》。
26. AWS A5.32/A5.32M-97 (R2007), 《焊接保护气体规范》。
27. ASTM A 435, 《钢板直射束超声波检测规范》。
28. ASME B46.1, 《表面构造 (表面粗糙度, 波纹度和表层)》。

29. AWS C4.1-77 (R2010), 《氧气切割表面描述标准及氧气切割表面粗糙度量规》。
30. AWS QC1:2007, 《焊接检验员的 AWS 认证标准》。
31. 加拿大标准协会 (CSA) 标准 W178.2, 《焊接检验员认证》。
32. AWS B1.10M/B1.10:2009, 《焊缝无损检测指南》。
33. ASTM E 709, 《磁粉检查指南》。
34. ASTM E 165, 《液体渗透检查试验方法》。
35. 美国无损试验协会, 《推荐规程 SNT-TC-1A》。
36. ASTM E 94, 《射线照相试验标准推荐规程》。
37. ASTM E 142, 《射线照相检查质量标准控制方法》。
38. ASTM E 747, 《采用有线透度计的射线照相检测质量控制》。
39. ASTM E 1032, 《焊接件射线照相检测》。
40. 《ASME 锅炉和压力容器规范》, 第 V 章, 第 2 条。
41. 国际焊接学会 (IIW) 超声波参考试块。
42. ASTM A 108, 《钢条、碳、冷加工、标准质量等级规范》。
43. AWS C5.4-93, 《螺柱焊建议操作规程》。
44. AWS 《焊接手册》, 第 1 卷, 第 9 版, 第 13 章。
45. ASTM E 23, 《金属材料的切口棒材冲击试验的标准试验方法, A 型夏比 (简支梁) 冲击试样》。
46. 表 3.1 和表 4.9 中所列的所有 ASTM 母材均在 ASTM 01.04 《钢材 — 结构、增强、压力容器铁路》ASTM 01.03《钢材 — 板钢、薄板钢、条钢和钢丝; 不锈钢条》以及 ASTM 01.01 《钢材 — 管道、导管、配件》中列出。
47. API 2W, 《海上结构钢板规范, 采用热机械控制工艺生产》。
48. API 2Y, 《海上结构用钢板淬火和回火规范》。
49. AWS D1.6/D1.6M:2007, 《不锈钢结构焊接规范》。

附录 V（信息性） 填充金属强度性能

本附录不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 钢结构焊接规范的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

本附录包含的数据系转录 A5 规范的适当内容。所示数值仅作参考，为了达到公称拉伸强度和公称屈服强度，也许不得不控制焊接方法的其它参数。（更多的具体说明，见适用的 AWS A5 填充金属规范）。

AWS A5.1/A5.1M，药皮焊条电弧焊用碳钢焊条规范^{ab}

AWS 分类		拉伸强度		0.2% 偏移时的屈服强度		4 倍直径的伸长率， %
A5.1	A5.1M	A5.1 <ksi)	A5.1M(MPa)	A5.1 (ksi)	A5.1M(MPa)	
E6010	E4310	60	430	48	330	TI
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	1r
E7027	E4927	70	490	58	400	22
E7028	E4928	70	490	58	400	22
E7048	E4948	70	490	58	400	22
E7018M	E4918M	加注解	加注解	53-72 ^e	370-500 ^e	24

^a 要求是在有时效的焊态条件下。

^b 单一值为最小值。

^c 从标号为 E7024-1 [E4924-1] 的焊条得来的焊缝金属必须有最小为 22% 的伸长率。

^d 这种焊缝金属的公称拉伸强度为 70 ksi [490 MPa]。

^e 对于 3/32 in [2.4 mm] 的焊条，最大屈服强度为 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		拉伸强度		0.2% 偏移时的屈服强度		伸长率	焊后状态 ^c
A5.5	A5.5M	ksi	MPa	ksi	MPa	百分比	
E7010-PI	E4910-P1	70	490	60	415	22	AW
E7010-AI	E4910-AI	70	490	57	390	22	PWHT
E7010-G	E4910-G	70	490	57	390	22	AW 或 PWHT
E7011-AI	E4911-AI	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-AI	E4920-AI	70	490	57	390	22	PWHT
E7020-G	E4920-G	70	490	57	390	22	AW or PWHT
E7027-AI	E4927-AI	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 to 80 ^d	470 to 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 to 80 ^d	470 to 550 ^d	24	AW
E8018-C4	E5518-C4	80	550	67	460	19	AW
E8018-NM1	E5518-NM1	80	550	67	460	19	AW
<i>E8018-P2</i>	<i>E5518-P2</i>	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
<i>E8045-P2</i>	<i>E5545-P2</i>	80	550	67	460	19	AW
<i>E9010-P1</i>	<i>E6210-P1</i>	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

(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		拉伸强度		0.2% 偏移时的屈服强度		伸长率	焊后状态 ^c
A5.5	A5.5M	ksi	MPa	ksi	MPa	百分比	
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 至 90 ^d	540 至 620 ^d	24	AW
<i>E9018-P2</i>	<i>E6218-P2</i>	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
<i>E9045-P2</i>	<i>E6245-P2</i>	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 or 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 至 100 ^d	610 至 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
<i>E10045-P2</i>	<i>E6945-P2</i>	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 至 110 ^d	680 至 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 至 120 ^d	745 至 830 ^d	18	AW
E12018M1	E8318M1	120	830	108 至 120 ^d	745 至 830 ^d	18	AW

^a 除非另有规定, 单一值为最小值。

^b 本表中所用后缀字母“X”表示该后缀(A1、B1、B2等)仅在焊后热处理(PWHT)条件下试验。

^c “AW”表示 焊态下, 可时效可不时效, 由制造商选择。“PWHT”表示焊后热处理。

^d 对于 3/32 in [2.5 mm] 的焊条, 屈服强度的上限可以比指示值高 5 ksi [35 MPa]。

AWS A5.17/A5.17M, 埋弧焊用碳钢焊条和焊剂规范

焊剂-焊条类别 ^a		抗拉强度	屈服强度 ^b	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 当被分类的焊剂是粉碎的焊渣或粉碎的焊渣与新焊剂的混合物时, 字母“S”将会出现在字母“F”之后, 作为其类别名称的一部分。当被分类的焊条是合成或符合焊条时, 字母“C”将会在字母“E”之后出现作为类别名称的一部分。本表中不同位置上使用的字母“X”分别代表热处理状态、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% 偏离时的数值, 伸长率为 2 in [51 mm] 标称长度时的数值。

A5.18/A5.18M. 气体保护焊用碳钢焊条规范

AWS 分类 ^a		保护气体	拉伸强度 (最小)		屈服强度 ^b (最小)		伸长率 % (最小)
A5.18	A5.18M		psi	MPa	psi	MPa	
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% 氩/其余为 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-GSC(X)	E48C-GS(X)	d	70 000	480	未规定		未规定

^a 显示在分类编码最后的字母 X, 代表的是一个“C”或“M”字母, 它们对应于焊条分类用的保护气体。用“C”字表示 100% CO₂ 保护 (AWS A5.32 中的 SG-C 级); 用字母“M”表示 75-80% 氩和其余为 CO₂ (AWS A5.32 中的 SG-AC-Y 级, 其中 Y 为 20 至 25)。对于 E70C-G [E48C-G] 和 E70C-GS [E48C-GS], 最后的“C”或“M”可省略。

^b 屈服强度为 0.2% 偏离时的数值, 伸长率为 2 in [50 mm] 标称长度时的数值。

^c CO₂ = 二氧化碳保护气体 (AWS A5.32 的分级 SG-C)。分类中用 CO₂ 不能解释为排除使用 Ar/CO₂ (AWS A5.32 的分级 SG-AC-Y) 或 Ar/O₂ (AWS A5.32 的分级 SG-AO-X) 这样的保护气体混合物。填充金属采用 Ar/O₂ 或 Ar/CO₂ 这样的保护气体混合物的试验, 可能导致焊缝金属有较高的强度与较低的伸长率。

^d 除非用后缀字母“C”或“M”指定, 保护气体由供需双方协商决定。

A5.20/A5.20M. 药芯焊条电弧焊用碳钢焊条规范

AWS 分类		拉伸强度	最小屈服强度 ^a	最小伸长率 ^b ,	最小 CVN 冲击能
A5.20	A5.20M	ksi [MPa]	ksi [MPa]	%	
E7XT-1C-1M	E49XT-1C.-1M	70-95 [490-670]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ -20°C]
E7XT-2C -2M ^C	E49XT-2C ^C , -2M ^C	70 [490] 最小	未规定	未规定	未规定
E7XT-3 ^C	E49XT-3 ^E	70 [490] 最小	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 @ 0°F [27 J @ -30°C]
E7XT-6	E49XT-6	70-95 [490-670]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ 0°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 @ 0°F [27 J @ -30°C]
E7XT-9C -9M	E49XT-9C -9M	70-95 [490-670]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ -30°C]
ETXT-10 ^C	E49XT-10 ^C	70 [490] 最小	未规定	No Specified	未规定
E7XT-11	E49XT-11	70-95 [490-670]	58 [390]	20 ^d	未规定
E7XT-12C.-12M	E49XT-12C.-12M	70-90 [490-620]	58 [390]	22	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ -30°C]
E6XT-13 ^C	E43XT-13 ^C	60 [430] 最小	未规定	未规定	未规定
E7XT-13 ^C	E49XT-13 ^C	70 [490] 最小	未规定	未规定	未规定
E7XT-14 ^C	E49XT-14 ^C	70 [490] 最小	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] 最小	未规定	未规定	未规定
E7XT-GS ^C	E49XT-GS ^C	70 [490] 最小	未规定	未规定	未规定

^a 屈服强度为 0.2% 偏离时的数值。

^b 在 2 in [50 mm] 标度长度时, 当采用 0.500 in [12.5 mm] 公称直径的拉伸试样时, 标度长度与直径之比采用 4:1。

^c 这些类型打算用于单道焊缝, 不用于多道焊缝, 只规定了拉伸强度。

^d 在 1 in [25 mm] 标度长度时, 当 0.250 in [6.5 mm] 公称直径的拉伸试样被采用时, 对于 E7XT-11[E49XT-11] 类型的焊条, 允许 0.045 in [1.2 mm] 和更小的尺寸。

AWS A5.23/A5.23M，埋弧焊用低合金钢焊条和焊剂规范；

焊剂-焊条类别 ^a		抗拉强度 ^b psi [MPa]	屈服强度 ^b (0.2% 偏离) psi [MPa]	伸长率 ^b (%)
A5.23	A5.23M			
多道焊用类别				
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
两道焊用类别				
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 当被分类的焊剂是粉碎的焊渣或粉碎的焊渣与新焊剂的混合物时，字母“S”将会出现在字母“F”之后，作为其类别名称的一部分。当被分类的焊条是合成或符合焊条时，字母“C”将会在字母“E”之后出现作为类别名称的一部分。对于两道用类别，字母“G”将会出现在冲击编码之后（直接在连字号之前），以表示用于该类别的母材不是 AWS A5.23/A5.23M 中规定的一种母材，而是供需双方协商一致的一种不同的钢材。本表中不同位置上使用的字母“X”分别代表热处理状态、焊缝金属的韧性和焊接金属的分类。
- ^b 对于多道（焊缝用焊条）类别，表列的屈服强度和伸长率（2 in [50 mm] 标定长度）的要求是最低要求。对于两道（焊缝用焊条）类别，表列的屈服强度和伸长率（1 in [25 mm] 标定长度）的要求都是最低要求。
- ^c 对于 F11XX-EXX-XX、F11XX-ECXX-XX、F12XX-EXX-XX、F12XX-ECXX-XX、F13XX-EXX-XX 以及 F13XX-ECXX-XX [F76-EXX-XX、F76-ECXX-XX、F83XX-EXX-XX、F83XX-ECXX-XX、F90XX-EXX-XX 和 F90XX-ECXX-XX] 几个类别，伸长率可以减小一个百分点，焊缝金属在它们的拉伸强度范围上部的 25% 以内。

AWS A5.28/A5.28M, 气体保护电弧焊用低合金钢焊条和焊棒规范								
AWS 分类		保护气体 ^a	拉伸强度 (最小)		屈服强度 ^b (最小)		伸长率 ^b % (最小)	测试条件
A5.28	A5.28M		psi	MPa	psi	MPa		
ER70S-B2L E70C-B2L ER70S-A1	ER49S-B2L E49C-B2L ER49S-A1	氩/1 – 5% 氧 (SG-AO-1 级至 SG-AO-5 级)	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 E80C-B6	ER55S-B6 E55C-B6		80 000	550	68 000	470	17	
ER80S-B8 E80C-B8	ER55S-B8 E55C-B8		80 000	550	68 000	470	17	
ER90S-B9 E90C-B9	ER62S-B9 E62C-B9		90 000	620	60 000	410	16	
ER70C-Ni2	E49C-Ni2	氩/1 – 5% 氧 (SG-AO-1 级至 SG-AO-5 级)	70 000	490	58 000	400	24	PWHT
ER80S-Ni1 E80C-Ni1	ER55S-Ni1 E55C-Ni1		80 000	550	68 000	470	24	焊后状态
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	二氧化碳 (SG-C 级)	80 000	550	68 000	470	17	焊后状态
ER90S-D2 E90C-D2	ER62S-D2 E62C-D2	氩/1 – 5% 氧 (SG-AO-1 级至 SG-AO-5 级)	90 000	620	78 000	540	17	
ER100S-1	ER69S-1	氩 / 2% 氧 (SG-AO-2 级)	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/5 – 25% 二氧 化碳 (SG-AC5 级 至 SG-AC-25 级)	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	

(续)

AWS A5.28/A5.28M, 气体保护电弧焊用低合金钢焊条和焊棒规范 (续)

AWS 分类		保护气体 ^a	拉伸强度 (最小)		屈服强度 ^b (最小)		伸长率 ^b % (最小)	测试条件
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 因分级目的而采用特殊的保护气体, 不能解释为限制其他气体混合物的使用。采用其他气体混合物的填充金属试验, 例如氩/氧或氩/二氧化碳, 可能导致焊缝金属有不同的强度和伸长率。

^b 屈服强度为 0.2% 偏离时的数值, 伸长率为 2 in [51 mm] 标称长度时的数值。

^c 保护气体应该由供需双方协商决定。

^d 未作规定 (由供需双方协商决定)。

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}			拉伸强度 ksi [MPa]	屈服强度 ksi [MPa]	最小伸长率 %	最小 CVN 冲击能
A5.29	A5.29M	焊缝状态 ^c				
E7XT5-A1C, -A1M	E49XT5-A1C, -A1M	PWHT	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT1-A1C, -A1M	E55XT1-A1C, -A1M	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	未规定
E8XT1-B1C, -B1M, -B1LC, -B1LM	E55XT1-B1C, -B1M, -B1LC, -B1LM	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	未规定
E8XT1-B2C, -B2M, -B2HC, -B2HM, -B2LC, -B2LM	E55XT1-B2C, -B2M, -B2HC, -B2HM, -B2LC, -B2LM	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	未规定
E8XT5-B2C, -B2M, -B2LC, -B2LM	E55XT5-B2C, -B2M, -B2LC, -B2LM					
E9XT1-B3C, -B3M, -B3LC, -B3LM, -B3HC, -B3HM	E62XT1-B3C, -B3M, -B3LC, -B3LM, -B3HC, -B3HM	PWHT	90–110 [620–760]	78 [540] 最小	17	未规定
E9XT5-B3C, -B3M	E62XT5-B3C, -B3M					
E10XT1-B3C, -B3M	E69XT1-B3C, -B3M	PWHT	100–120 [690–830]	88 [610] 最小	16	未规定
E8XT1-B6C,d -B6M,d -B6LC,d -B6LM,d	E55XT1-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	未规定
E8XT5-B6C,d -B6M,d -B6LC,d -B6LMd	E55XT5-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM					
E8XT1-B8C,d -B8M,d -B8LC,d -B8LMd	E55XT1-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	未规定
E8XT5-B8C,d -B8M,d -B8LC,d -B8LMd	E55XT5-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM					
E9XT1-B9C, -B9M	E62XT1-B9C, -B9M	PWHT	90–120 [620–830]	78 [540] 最小	16	未规定
E6XT1-Ni1C, -Ni1M	E43XT1-Ni1C, -Ni1M	AW	60–80 [430–550]	50 [340] 最小	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT6-Ni1	E49XT6-Ni1	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT8-Ni1	E49XT8-Ni1	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT1-Ni1C, -Ni1M	E55XT1-Ni1C, -Ni1M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT5-Ni1C, -Ni1M	E55XT5-Ni1C, -Ni1M	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E7XT8-Ni2	E49XT8-Ni2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT8-Ni2	E55XT8-Ni2	AW	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT1-Ni2C, -Ni2M	E55XT1-Ni2C, -Ni2M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E8XT5-Ni2C,e -Ni2Me	E55XT5-Ni2C,e -Ni2Me	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	20 ft·lbf @ –75°F [27 J @ –60°C]
E9XT1-Ni2C, -Ni2M	E62XT1-Ni2C, -Ni2M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] 最小	17	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E8XT5-Ni3C,e -Ni3Me	E55XT5-Ni3C,e -Ni3Me	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	20 ft·lbf @ –100°F [27 J @ –70°C]
E9XT5-Ni3C,e -Ni3Me	E62XT5-Ni3C,e -Ni3Me	PWHT	90–110 [620–760]	78 [540] 最小	17	20 ft·lbf @ –100°F [27 J @ –70°C]

(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}		焊缝状态 ^c	拉伸强度 ksi [MPa]	屈服强度 ksi [MPa]	最小伸长率 %	最小 CVN 冲击能
A5.29	A5.29M					
E8XT11-Ni3	E55XT11-Ni3	AW	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E9XT1-D1C, -D1M	E62XT1-D1C, -D1M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] 最小	17	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E9XT5-D2C, -D2M	E62XT5-D2C, -D2M	PWHT	90–110 [620–760]	78 [540] 最小	17	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E10XT5-D2C, -D2M	E69XT5-D2C, -D2M	PWHT	100–120 [690–830]	88 [610] 最小	16	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E9XT1-D3C, -D3M	E62XT1-D3C, -D3M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] 最小	17	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E8XT5-K1C, -K1M	E55XT5-K1C, -K1M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] 最小	19	20 ft·lbf @ –40°F [27 J @ –40°C]
E7XT7-K2	E49XT7-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT4-K2	E49XT4-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E7XT8-K2	E49XT8-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT11-K2	E49XT11-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	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] 最小	19	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E9XT1-K2C, -K2M	E62XT1-K2C, -K2M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] 最小	17	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E9XT5-K2C, -K2M	E62XT5-K2C, -K2M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] 最小	17	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E10XT1-K3C, -K3M	E69XT1-K3C, -K3M	AW	100–120 [690–830]	88 [610] 最小	16	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E10XT5-K3C, -K3M	E69XT5-K3C, -K3M	AW	100–120 [690–830]	88 [610] 最小	16	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E11XT1-K3C, -K3M	E76XT1-K3C, -K3M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] 最小	15	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E11XT5-K3C, -K3M	E76XT5-K3C, -K3M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] 最小	15	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E11XT1-K4C, -K4M	E76XT1-K4C, -K4M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] 最小	15	20 ft·lbf @ 0°F [27 J @ –20°C]
E11XT5-K4C, -K4M	E76XT5-K4C, -K4M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] 最小	15	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E12XT5-K4C, -K4M	E83XT5-K4C, -K4M	AW	120–140 [830–970]	108 [745] 最小	14	20 ft·lbf @ –60°F [27 J @ –50°C]
E12XT1-K5C, -K5M	E83XT1-K5C, -K5M	AW	120–140 [830–970]	108 [745] 最小	14	未规定
E7XT5-K6C, -K6M	E49XT5-K6C, -K6M	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ –75°F [27 J @ –60°C]
E6XT8-K6	E43XT8-K6	AW	60–80 [430–550]	50 [340] 最小	22	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]
E7XT8-K6	E49XT8-K6	AW	70–90 [490–620]	58 [400] 最小	20	20 ft·lbf @ –20°F [27 J @ –30°C]

(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}		焊缝状态 ^c	拉伸强度 ksi [MPa]	屈服强度 ksi [MPa]	最小伸长率 %	最小 CVN 冲击能
A5.29	A5.29M					
E10XT1-K7C, -K7M	E69XT1-K7C, -K7M	AW	100-120 [690-830]	88 [610] 最小	16	20 ft-lbf @ -60°F [27 J @ -50°C]
E9XT8-K8	E62XT8-K8	AW	90-110 [620-760]	78 [540] 最小	17	20 ft-lbf @ -20°F [27 J @ -30°C]
E10XT1-K9C, -K9M	E69XT1-K9C, -K9M	AW	100-120 [690-830] ^g	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] 最小	19	20 ft-lbf @ -20°F [27 J @ -30°C]
EXXTX-G, ^g -GC, ^g -GM ^g	EXXTX-G, ^g -GQ ^g -GM ^g	焊缝熔滴成分、试验状态（AW 或 PWHT）和夏比 V 形缺口冲击特性根据供需双方之间的协议确定。拉伸试验、取样位置、焊渣系统和保护气体的要求，如果有要求的话，则应符合所用数字表示的内容。				
EXXTG-X ^g	EXXTG-X ^g	焊渣系统、保护气体（如适用）、试验状态（AW 或 PWHT）和夏比 V 形缺口冲击特性根据供需双方之间的协议确定。拉伸试验、取样位置和焊缝熔滴成分则应符合所用数字表示的要求。				
EXXTG-G ^g	EXXTG-G ^g	焊渣系统、保护气体（如适用）、试验状态（AW 或 PWHT）、夏比 V 形缺口冲击特性和焊缝熔滴成分根据供需双方之间的协议确定。拉伸试验和取样位置则应符合所用数字表示的要求。				

^b 防止在代码位置上的字母“G”表示，那些特性已由供需双方协商一致。

^c AW = 焊态。PWHT = 焊后热处理。

^d 这些焊条目前在 AWS A5.22-95 中被分类为 E502TX-X 或 E505TX-X。在下次修订 A5.22 时，它们将会被去掉，不会列入本规范中。

^e PWHT 温度超过 1150°F [620°C] 将会减少 CVN 冲击韧性。

^f 对于这个类别 (E10XT1-K9C, -K9M [E69XT1-K9C, -K9M])，所示拉伸强度范围不是必要条件，它是一个近似值。

^g 焊条 EXXTX-G, -GC, -GM [EXXTX-G, -GC, -GM]; EXXTG-X 和 EXXTG-G [EXXTG-X 和 EXXTG-G] 的拉伸强度、屈服强度和伸长率的要求，与本表中其他类别（但不包括 E10XT1-K9C, -K9M [E69XT1-K9C, -K9M] 类别）的具有相同拉伸强度编码的焊条的指标相同。

钢结构焊接规范的条文说明

第 17 版

编制方：AWS D1 结构焊接委员会

指导方：AWS 技术活动委员会

批准方：AWS 董事会

前言

本前言不是 AWS D1.1/D1.1M:2010 *钢结构焊接规范* 条文说明的一部分，仅作为资料包含在规范之中。

本 AWS D1.1/D1.1M:2010 注解的编制便于更好理解该规范在钢结构焊接中的应用。

本规范以说明的形式编制，无法提供背景材料或讨论结构焊接委员会计划；本注解旨在弥补这一需求。

规范要求的应用和澄清建议具体在新版或修订章节（变更较大）中强调。

自从规范第一版发行以来，直接提供给美国焊接学会和结构钢委员会的要求表明了该规范中的部分要求难以理解或不够详细，其他部分则未予以更新。

应该承认规范的基本前提是制定通用的条款以应用于任何情况，并为实施工程评判留有足够的余地。

得到承认的另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，但它们所依据的是正确可靠的工程实践。

委员会因而确信条文说明是进行阐述和恰当解释规范要求的最合适的手段。显然，条文说明的篇幅长短与其内容相比，必然受到一定限制。

条文说明并不打算提供规范发展的历史背景，也不企图提供委员会回顾在系统制定规范条款过程中研究和探索的详细梗概。

本规范一般不述及诸如荷载和应力计算以及均衡结构的承载构件及其相互连接这类设计上的考虑。它们由其他的部分承担：普通建筑规范、桥梁技术条件或其他类似文件。

作为例外，本规范的确提供了焊缝的许用应力、适用于周期荷载结构和管结构焊缝的疲劳条款以及管材连接的强度限制。这些条款与焊接连接的特定性能有关。

委员会已经努力提出一个在语言、体裁和涵盖范围等方面适合于钢结构焊接的有用的文件。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。规范收编了考虑公众安全所必须的焊接规章的条款。

委员会建议业主或业主代表遵从本条文说明将规范应用于焊接结构。该注解不计划补充规范要求，但仅提供有用的规范说明和应用文件；其规定均不具有约束力。

结构钢委员会计划定期对该注解进行修订，确保规范变更注解能及时提供给用户。通过该方式，此注解将使用与其绑定的《钢结构焊接规范》同步更新。

条文说明中的变更，已通过加下划线的方式指示出来。图表的修改则在页边用竖线标明。

钢结构焊接规范的条文说明

C-1. 一般要求

本规范的使用者可能注意到没有附录 C。这是有意为之，目的是避免与使用“C-”来确定文本、表格和图（构成条文说明）的注释参考资料相混淆。确定规范文本条文说明相对简单和直接。如果存在规范文本说明，例如规范的子条款 4.5.1，您可以在条款 C-4 中将其确定，并标注为 C-4.5.1。其中，“C-”表示它是说明性文件，“4.5.1”确定说明在规范中涉及的部分。同样，C-表 6.1 表示表 6.1 中的说明，而 C-图 5.4 表示图 5.4 的说明。如果一个规范子条款、表格或图不包含与其相关的说明，则说明中不会设有该规范部分的标识部分。因此，通读说明时，看起来编号似乎有误和有所缺失。例如，您可能依次看到以下三个包含说明的章节：C-3.1.1、C-3.1.2 和 C-3.1.4。您可能发现在该排序中未出现 C-3.1.3。这并非排印错误，而是表明规范的子条款 3.1.3 内并不存在说明。说明中单独设有表格和图。这些表格和图采用略微不同的确定方式，请注意不要将其与规范表格和图的说明相混淆。例如，条款 C-6 的第一个提供说明的表格标注为“表 C-6.1”。须注意“C-”并非位于“表”之前，而位于“表”之后。“C-表 6.1”是规范中表 6.1 的说明；“表 C-6.1”是条款 C-6 中的第一个说明性表格。以上方法同样适用于图的标注，例如“C-图 5.1”和“图 C-5.1”。

C-1.1 范围

钢结构焊接规范，下称规范，规定了钢结构制造中对焊接的要求。它是对钢结构设计和制造所用的通用规范或技术条件的赠予。

当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而对规范作任何修改，则应征得业主和承包商的同意并在合同中明确。

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、业务执照、专业领域或其他这样的尺度给工程师下定义。本规范不规定对工程师的资格或能力的考试。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，其个人能胜任并有能力履行这些职责。适用的建筑规范可能包括工程师须满足的要求。这些要求包括，但不限于：遵守地方权限的法律和指导工程实践的规章。

C-1.3.3.1 承包商检验员。在本规范的以前版本中，“制作 — 安装检验员”术语是指检查承包商工作的个人。承包商检验员的特定的责任在 6.1 中作了规定。在某些工业领域，这可以被称为“质量控制”或“QC 检验”。

C-1.3.3.2 监造检验员。监造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、以及何时需要监造检验，从而规定检验员的责任。在某些工业领域，这一类检验被称为“质量保证”或“QA 检验”。建筑规范可能规定监造检验要求。工程师应在合同文件中确定这些要求。

C-1.3.3.3 检验员（泛指）。当使用“检验员”这一词汇而无“承包商”或“监造”修饰时，则这种条款等同地适用于两种类型的检验员（见 6.1.4 举例）。

C-1.3.4 OEM（最初设备制造商）。由本规范管辖的主要工业和应用典型地包含了独立的实体、适合广大类别的承包商和工程师。就本规范的某些应用而言，一个实体起了工程师和承包商两者的作用。在本规范中，这被称为最初设备制造商（OEM）。例如，有金属建造系统，装备的滑道和平台，材料储存系统，输送塔，指示灯杆和标志牌结构。对这些情况，合

同文件应规定如何对待这各种各样的责任。根据定义，本规范将工程师的作用从承包商的作用中分离出来，而将这些归类为 OEM 用途。其可能的安排有很多，但下述通常的类别引出了 OEM 应用的许多例子：

- OEM1 — OEM 承包“全套承包产品”的责任，而业主不涉及工程和检验。
- OEM2 — OEM 提供承包产品，但业主派出其自己的监造检验员，该检验员向业主报告其检查结果。
- OEM3 — 本规范规定的工程师的责任由 OEM 和业主的工程师双方承担。

为了讲述以上每一种情况，下面包含一些可能的合同用语示例。应审阅这些术语，从而确定他们适用于特定的情况。

关于 OEM1 的用语例句：

“必须应用 D1.1。承包商的工程师必须承担 1.3.1 中规定的工程师的责任。严禁允许工程师偏离在 1.4.1 中规定的规范要求。”

关于 OEM2 的用语例句：

“必须应用 D1.1。承包商的工程师必须承担 1.3.1 中规定的工程师的责任，而例外的是，条款 6 中的“工程师”必须意指“业主”。监造检验必须由业主确定，且监造检验员必须向业主报告结果。另外，承包商工程师做出的需要改变为 1.4.1 规定的规范的决定，则必须提交业主批准。

关于 OEM3 的用语例句：

因为变更的数目太大，所以此处不提供特定的建议用语。鼓励使用者查阅每一种提到工程师的情况以及每一种情况是如何处理的。作为一个例子，条款 1、2 和 6 的内容可指定给业主工程师，而条款 3、4、5 和 7 则指定给承包商的工程师。

C-1.3.6.2 宜。“宜”条款是劝告的意思（举 5.29 为例 — 应避免弧击，但不是禁止）。不过，如果出现弧击，则“应”（即要求）清除。

某些规范条款是提供给承包商的选择性条款，举 5.27 为例，其中允许 [可以] 锤击，但不要求 [应] 在中间焊层上锤击。

C-1.3.6.3 可以。某些规范条款不是指令性的，除非工程师在合同文件中对之有要求。

C-1.4 责任

C-1.4.1 工程师的责任。工程师有责任在合同准备阶段向业主或承包授权人就规范符合特定结构的特殊要求的适用性方面进行介绍。工程师可以改变任何规范要求，但这种改变的根据应充分地用文件证明，并要考虑利用过去的经验、实验证据或工程分析提供服务的适用性以及考虑材料类型、荷载作用和环境因素。

在项目进行过程中，为了项目的利益，工程师可以不时建议对规范条款作补充改动。这种改动应当用文件记录。根据合同关系的这种作用应在涉及的当事人之间决定。

涉及到与承包合同有关修正规范的通常的例子包括：项目中意想不到的困难的解决，次要的不合格部分的对待，以及处理具体的违反规范规定的争端。

例如，对整个项目而言，适当地考虑到使用要求，接受一个次要的不合格部分，要比强制修补使其完全符合规范而导致并不希望的最终产品，更为值得。

规范的基本前提是提供一般的适用大多数情况的规定。对不同于规范中规定的合格判据也可用于产品焊缝，但这种替换的合格判据应有根据，诸如以往的经验、实验证据或工程分析。

颁发合同之后，工程师可以改变规范中的要求，但这种改变应当用文件证明，并在涉及的当事人之间达成协议。如没有与合同条款可能产生的抵触，工程师不能在合同颁发之后单方面修改或改变任何规范规定。这些类型的修改应该在涉及的当事人之间互相达成协议，以便令人满意地处理意料不到的情况。

工程师要确定对特别的焊接装配的特别的接头细节的适用性。经试验而评定合格的特定接头细节以及预评定合格的接头细节，可能不适用于所有荷载条件或约束条件。应考虑钢材厚度方向的性质，层状撕裂的可能性，连接部件的尺寸和比例，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指令性的。这是规范要求合同文件中作这种处理的。

C-1.4.1(2) 工程师有权力和责任确定：对于具体的对象采用什么 NDT（如果有要求）。工程师应当考虑失效的结果，检验方法对涉及到的具体焊缝的适用性，以及考虑到规定的 NDT 方法的局限性和该 NDT 的适用范围。

C-1.4.1(3) 本规范不要求监造检验，如果采用监造检验，则由工程师规定的规范管辖监造检验（见 6.1.2.2）。工程师可以选择不用监造检验，仅在制作的某部分用监造检验，或者用监造检验全部取代承包商检验。然而，当工程师选择排除承包商检验时，则工程师应该意识到：这里有大量的指定给承包商检验员的责任，其中包括在传统意义上可能不认为是监造检验的部分（见 6.1.2.1、6.2、6.3、6.5 和 6.9）。这些工作对控制焊缝质量是重要的。不应当设想：NDT，不论范围多么大的 NDT，将能抵消对这些控制作用的需求。

C-1.4.1(5) 本规范不强制对焊缝金属、母材和/或 HAZ 的缺口韧性要求。必要时，由合同文件中规定的规范确定这种要求。

C-1.4.1(6) 本规范包含了用于静荷载和周期荷载的非管材应用条款。它们对制作的（合格）判据不同，因此，由合同文件中规定的规范要求适用的钢材类型和荷载条件。

C-1.4.1(7) 工程师应负责规定本规范中无需描述的其他制造和检测要求。由于工况的缘故，诸如：结构的极端的操作温度（既包括热也包括冷）和独特的材料制作要求等，这些补充的要求可能是必要的。

C-1.4.1(8) 对于 OEM 应用情况（见 1.3.4），工程师的部分责任由承包商履行。本规范要求合同文件规定这些责任（见 C1.3.4）。

C-1.4.2 承包商的责任。在 1.4.2 中的简略说明强调了承包商责任的主要范围，那是不完全的。承包商的责任包含于整个规范中。

C-1.4.3 监造检验。在 1.4.3 中的简略说明强调了各种检验员责任的主要范围，那是不完全的。条款 6 强调了特定的责任。

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，使用者会发现：跟在美国惯用单位制尺寸后面的括号 [] 内，是国际单位制（米制）尺寸。国际单位制是美国惯用单位制的近似转换；那就是根据一个转换系数，使用相对地接近有理数的转换方法，使得国际单位制 SI 数值，圆满地转为一个个近似转换值。例如：1/2 英寸 (in.)

的近似转换值是 12mm，而精确转换值是 12.7mm。类似地，一英寸的近似转换值是 25mm，而精确转换值是 25.4mm。在美国惯用单位制和国际单位制之间硬要找出并选择公差是不适当；每一单位制的体系应以一整体使用，并且所使用的体系应与施工图使用者相同。就 WPS 而言，不应该要求制作者对 PQR 的单位制再作改变。不过，WPS 却应该选择合适的单位制。

C-2. 焊接连接的设计

C-2.3 合同计划和技术要求

C-2.3.2 缺口韧性要求。缺口韧性是一种材料性能，它提供了对材料脆性断裂敏感性的度量。CVN 试验是度量缺口韧性的最通用的方法。其他方法可以采用，并用也许更可信，但它们也更复杂和昂贵。更精确的韧性度量并未得到证明，除非设计中采用断裂力学的方法。

对韧性的要求取决于荷载类型、加载速率、温度和其他因素。在对焊接接头确定 CVN 试验要求时，可能也要考虑超静定性和断裂的结果。许多应用情况不要求度量缺口韧性。在那些要求最低 CVN 试验值的应用场合，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。许多填充金属等级提供了 CVN 试验判据。用于结构领域的大多数填充金属不作 CVN 试验值的试验。另一些填充金属进行 CVN 试验值的试验并用于结构，最常见的为符合 -20°F 或 0°F 时的 20 ft·lbs [-29° 或 -18°C 时 27 J]。在比较严格的情况下，进行的 WPS 评定能满足 CVN 试验值的要求。应当认识到，填充金属的 CVN 试验判据或 WPS 评定的 CVN 试验判据与材料的脆性断裂敏感性有关，而非产品接头材料性能的精确度量。大多数 CVN 试验要求的目的是要提供一些保证，既在结构工作温度下材料不处于缺口韧性的下限（台）。

已对结构的型材和板材作了调研，CVN 试验值归纳为在 40°F [4°C] 时为 15 ft·lbs [20 J] 或更高。这些调研是应钢厂生产者要求而进行，以表明大多数建筑应用情况下母材的 CVN 试验是不必要的（见参考文献 30）。4.8.1、C-2.5.2.2、C-4.13.4.4 和第 4 章 D 部分包括了 CVN 试验值的资料（又见“结构中的断裂和疲劳控制”，Barsom&Rolfe）。

C-2.3.4 焊缝尺寸和长度。准备合同设计图的工程师在不知焊接方法和焊接位置的情况下不能规定坡口的深度“S”。本规范是明确的，在 PJP 坡口焊缝的设计图上仅仅规定了焊缝尺寸“(E)”（见 2.3.5.1）。这就允许承包商在施工图上标示制备的坡口深度而加工焊缝尺寸，当然这与承包商选择的焊接方法和焊接位置有关。

根部的熔透性一般取决于与根部间隙、焊接位置和焊接方法有关联的坡口根部的角度。对于单边削斜和 V 形坡口焊缝，这些因素决定了免除评定的 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，对于作业实践来说，角焊缝的焊脚尺寸是更为实用而能够测量尺寸。当连接的零件角度为 $80^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 时，取 90° 角焊缝的焊喉尺寸为有效尺寸，并且在合同文件和施工图上用焊脚尺寸标志。

在重要的斜 T 形接头的锐角侧[见图 3.11(A)、(B) 和 (C)]，焊脚尺寸和有效焊缝厚度间的关系是复杂的。当零件间角度小于 80° 或大于 100° 时，合同文件标明要求的有效焊缝厚度以规定设计条件，而施工图纸则标明所要求的焊脚尺寸以达到规定的有效焊缝厚度。

当锐角角度为 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 时，有效焊缝尺寸取决于 Z 折减[见图 3.11(D)]，而其又取决于焊接方法和焊接位置。在合同文件上为了符合设计条件而仅规定所要求的有效焊缝厚度，

能够使制作者采用适合于他的装备和实践的焊接方法，并用适当的 WPS 和施工图上的符号表示他的意向和说明。

C-2.3.5.4 免除评定的细节尺寸。在 C-3.2.1 中对于接头免除评定的背景和基础作了说明。设计者和详图制订者应该注意到接头几何形状的免除评定的基础是下述情况得到符合要求的证实：接头的形状、间隙、焊接位置，并且便于已评定合格的焊工在两块板件间的接头中施焊，而将完好的焊缝金属充分地熔合于母材。对特殊应用情况下的特殊接头的适用性具有重要性的其他设计考虑，不是免除评定情况的一部分。这些考虑包括下述情况，但不必限于这些情况：

- (1) 被连接母材的刚性强加于焊缝收缩而导致的拘束的影响，
- (2) 引起层状撕裂的潜在可能，它由于拘束状态下大的焊缝熔敷量使得母材厚度方向产生应力，
- (3) 限制了焊工进入接头使焊条合适地定位和操作，这由于附近的母材但并非接头的一部分而造成障碍，
- (4) 焊缝相交处存在两向或三向应力的可能，
- (5) 限制了进行可靠的 UT 或 RT 检验，
- (6) 焊缝收缩引起残余拉伸应力的影响，
- (7) 超过需要的过大焊缝导致变形的影响。

C-2.4 有效面积

C-2.4.1.4 喇叭形坡口焊缝的有效尺寸。矩形中空结构的截面可能得到的不是 90° 角度的成形。支持表 2.1 的研究解释了这一实践，并发现 $2t$ 是可以接受的。

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荷载构件的端部时，该焊缝称为“端部荷载焊缝”。这种焊缝的典型例子包括、但不限于以下情况：轴向荷载部件端部的纵向焊接的搭接接头、连接承压加劲材的焊缝、根据拉应力场作用设计的、将横向加劲材连接于大梁腹板的焊缝，以及类似情况。不考虑端部受荷载的纵向荷载角焊缝的典型例子包括、但不限定于下述情况：连接板材或型材构成组合横截面的焊缝，其中剪力施加于焊缝应力的每一长度增量，而焊缝应力取决于沿部件长度的剪切荷载的分布；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是均匀的，亦即尽管荷载事实上平行于焊缝轴线，但该焊缝并非端部荷载焊缝。该二者无论哪一种情况都不对下述焊缝给予折减系数：即根据传统的梁剪切设计的、将加劲材连系于腹板的焊缝，因为加劲材和焊缝不承受计算的轴向应力，而仅仅用于保持腹板平直。

沿着承受端部荷载的角焊缝长度的应力分布很不均匀，它取决于纵向角焊缝的刚性以及与该角焊缝有关的被连接母材的刚性这二者之间的复杂关系。超过某长度，则非保守地假设：整个焊缝总长度的平均应力可以作为等于满值许用应力取值。经验已经表明，当焊缝长度大约等于焊缝尺寸的 100 倍或更小时，可采用有效长度等于实际长度。对于焊缝长度大于焊缝尺寸 100 倍的情况，有效长度应按小于实际长度取值。2.4.2.5 中规定的折减系数 β ，是欧洲规范 3 的等量值（美国单位和名词），它是一个简化成指数公式的近似值，是在欧洲进行许多年有限元研究和试验而开发的。此判据结合下述二方面考虑而得：焊脚尺寸小于 $1/4$ in [6 mm] 的角焊缝的极限强度；对焊脚尺寸 $\geq 1/4$ in [6mm] 的角焊缝而端部偏差稍微小于 $1/32$ in [1mm] 的使用可靠性极限的判断。数学上，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意味着有效长度达到最大值；因此一条端部荷载角焊缝的

最大有效长度取焊脚尺寸的 180 倍。

C-2.6 应力

C-2.6.1 计算应力。与许用应力相比较的计算应力是公称应力，而非“热过点”应力，前一种应力由适当的分析方法确定，后者也许是由使用大约细于一个发状根的网格的有限元分析方法确定。一些合适的在应用中的设计规范要求：某些接头由设计确定，不仅根据所加荷载所得的计算力，并且根据部件强度的某一最小百分比值，而不管施加于这一接头的力的大小如何。这种要求的例子能够在 AISC 技术规定中找到。

C-2.6.2 偏心引起的计算应力。试验表明，相对于单角钢、或双角钢、或类似型式的部件的中性轴平衡地布置的焊缝，并不增加承载能力。因此，允许使用不平衡焊缝。应当注意，不存在撕裂问题时，不必要端部绕焊（见图 C-2.1）。

C-2.6.4 许用焊缝金属应力。构成本规范关于焊缝中应力的基本原理可援引以下原则加以说明：

(1) 接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的焊缝金属，在其承受垂直于有效面积的拉伸应力时，应当具有与母材十分接近的力学性能。这实际上提供了一种未缩小截面的几乎均匀的焊接件，因此所用的与组成的部件成比例的应力可以用于焊缝金属或其相邻部份。对于其他方向荷载引起的应力，可以使用较低强度的焊缝金属，但应满足强度要求。

(2) 对于角焊缝和接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝，设计人员在选择焊缝金属的力学性能方面与所连接的构件相比较有较大的灵活性。大多数情况下，这些焊缝传递的力小于构件的能力。这类焊缝与所传递的力成比例。如果焊缝面积足够承受给定的力，则可以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，这种选择可能是可取的。

等于焊条等级所表示的填充金属拉伸强度 0.3 倍的、作用于角焊缝焊缝厚度的工作应力，已由试验（参考资料 31）表明：在工作荷载条件下，对于平行于焊缝纵轴的剪力，安全系数为 2.2；对于垂直于焊缝轴的力，安全系数为 4.6。这就是表 2.3 所列数值的依据。

(3) 作用于角焊缝有效焊缝厚度的应力始终视为剪切力。虽然角焊缝承受垂直于其纵向轴线的荷载的破坏抗力强于承受平行于该轴线者，但在表 2.3 中对角焊缝承受垂直于其纵向轴线荷载时也并未规定更高的承载能力。

斜交于焊缝轴线的、允许角焊缝更高许用应力的替用判据在 2.6.4.2 中作了规定。

(4) 任何焊缝的承载能力由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 C2.2。

(a) 1-1 平面中的剪切能力可由材料 “A” 的许用剪切应力决定。

(b) 2-2 平面中的剪切能力可由焊缝金属的许用剪切应力决定。

(c) 3-3 平面中的剪切能力可由材料 “B” 的许用剪切应力决定。

C-2.6.4.2 可替换的许用角焊缝应力。人们长期以来已经认识到：角焊缝元的强度和变形行为与力和角焊缝元轴线所成角度 θ 有关。承受横向荷载的角焊缝比承受纵向荷载角焊缝的强度约大 50%。反之，已经知道：承受横向荷载角焊缝断裂前比承受纵向荷载角焊缝的抗畸变能力小。按照在 1968 年 10 月焊接杂志研究增刊 (Welding Journal Research Supplement) 中 Higgins 和 Preece 的试验，为简易起见，以及因为处理纵向荷载和横向荷载之间相互作用的方法不适用，所以本规范中将角焊缝的许用应力限定为 $0.3 F_{EXX}$ 。

这一数值的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。相同的基本判据依然适用，然而，本规范现在提供了选择的余地，对于与荷载角度形成特定数值而根据此值计算的角焊缝，有更高的许用应力。

一单角焊缝元在各种各样角度应用荷载下的极限剪切强度，最初是从 Butler 1972 年对 E60 焊条进行的荷载—变形关系的研究中得到。E70 焊条的曲线是由 Lesik 1990 年得到。焊缝的强度和变形行为取决于角度 θ 。而角度由基本力的合力与焊缝元的轴线构成（见图 C-2.3）。取自 Lesik 的角焊缝实际荷载变形关系如图 C-2.4 所示。

焊缝极限应力 F_v 的公式如下：

$$F_v = 0.852 (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta) F_{EXX}$$

由于对纵向荷载焊缝 ($\theta = 0^\circ$) 的许用应力限定为 $0.3 F_{EXX}$ ，所以试验结果表明：2.6.4.2 和 2.6.4.3 中的公式提供了一个比通常接受的数值 2 更大的安全系数。

C-2.6.4.3 瞬时旋转中心。当一组焊缝被施以不通过该组重心的外部荷载而受剪切时，此荷载是偏心的，并有使焊缝连接的部件间产生相对旋转和位移的倾向。产生旋转倾向所围绕的点称作瞬时旋转中心。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的变形。可以设想每一单位焊缝元的单独的抗力作用于一直线，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，将满足静力学的三个平面态方程式 ($\Sigma x, \Sigma y, \Sigma M$)。Tide（参考资料 29）给出了包括例举的难题在内的方法的充分的解释。数字技术，例如由 Brandt（参考资料 26）提出的，已用来定位受收敛公差支配的瞬时旋转中心。为了排除可能的计算困难，焊缝元的最大变形限定为 $0.17W$ 的下限值。为了设计方便，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 28）由经验推导出的多项式。

C-2.6.4.4 集中荷载焊缝组。一条在其纵向轴的横向上荷载的焊缝，与沿纵向荷载相比，有较高的荷载能力但有较低的变形能力。因此，当在不同角度荷载的焊缝们合成一个单一的焊缝组时，设计者必须计算它们的相对变形能力以确保整个焊缝组有应变协调性。2.6.4.3 中的程序用来计算应变兼容性。

自从我们介绍了 2.6.4.2 中的方程（它给出了一条直线的角焊缝在平面内通过其重心荷载的强度： $F_v = 0.3 F_{EXX} [1 + 0.5 \sin^{1.5}(\theta)]$ ）后，许多工程师已经简单地对一个焊缝组中增加了单条线焊缝的能力，而忽视了荷载-变形的兼容性。这是不可思议的作法。

集中地但又倾斜地荷载的焊缝组的设计，除了执行图 C-2.5 已证明了的 2.6.4.4 中的公式外，可以用图 C-2.6 — 荷载-变形曲线来绘图完成。例如，要找出图 C-2.5 所示的集中荷载焊缝组的强度，首先要确定变形能力最受限制的焊缝元。在本例中它是横向荷载焊缝。从破裂点画一条垂直线，其余焊缝元的强度是增加或是减少就可确定。

C-2.7 接头结构和细节

C-2.7.1 综合考虑。细则既要给予充分的方便以熔敷焊缝金属，又应使会阻止塑性行为的拘束最小，避免焊接过度集中。

C-2.7.3 承受厚度方向荷载的母材。通过轧制以生产用于钢结构的型材和板材，会使母材在不同的正交方向上具有不同的力学性能。这使得设计者、细节拟订者和制作者有必要认识到，潜在地存在着层状结构和/或层状撕裂的危险而影响完工接头的完整性，特别当涉及厚

的母材时。

层状结构不因焊接而产生。它们是钢材制造方法带来的。当层状平面平行于应力场、即纵向或横向产生应力时，通常不影响母材的强度。在传递厚度方向力的 T 形和角接接头情况下，层状结构会直接影响母材的能力。

如果发生层状撕裂，则通常是在高的拘束条件下大的焊缝金属熔敷量收缩的结果。当焊缝尺寸小于大约 $3/4 \sim 1$ in. [20~25mm] 时，很少出现层状撕裂。层状撕裂很少发生于角焊缝情况。没有对热固化焊缝金属的收缩予以拘束就不会发生层状撕裂；然而，在大的焊缝里，熔敷于焊缝根部区域已凝固的初始焊道，会对其后续熔敷的焊道的拉伸收缩应变产生一个内在的刚性毗连区域。

由于层状撕裂因凝固的焊缝金属的收缩而引起，而这种收缩被迫在一个短的度量长度内去适应局部的平衡收缩拘束力，所以，母材中的单位厚度方向的应变能够大于屈服点应变许多倍。层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。由于在接头内部或其极靠近处的压缩和拉伸应力是自平衡的，并且由于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小小一部份，所以外部施加的荷载不会引发层状撕裂，不过，如果焊接已经引发了层状撕裂，则业已存在的层状撕裂可能扩展。

T 形和角接接头的设计和细节制订决定了是会增加抑或降低层状撕裂潜在危险的条件，并且导致焊件制作是一直地向前运行，还是困难地进行，甚至实际上不可能进行。因此，对作业组、设计者、细节制订者、制造者和焊工的所有成员的每一部分予以关注，对于将层状撕裂的潜在危险降至最低限度，是必要的。

规范不规定确定的规则来保证不出现层状撕裂，因此，本条文说明只打算提供对起因的理解，并且提供将发生的可能性降到最低限度的手段方面的指导。试验和经验已经证实下述的预防措施能最大限度地降到撕裂的危险：

(1) 母材厚度和焊缝尺寸应充分满足设计要求。然而，宁可在低于规范许用应力的基础上设计接头，也不作一种保守设计，从而导致拘束增大，焊缝尺寸和收缩应变增大。因此，这种习惯性做法增加而非减少了层状撕裂的潜在危险。

(2) 当焊接大的 T 形和角接接头时采用低氢焊条。对于引发层状撕裂而言，并不认为吸收氢是主要起因，但任何情况下，在大的接头（纵向、横向或厚度方向）采用低氢焊条将氢致冷裂纹的倾向降到最低程度都是良好的习惯。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，在母材要受到厚度方向应力的面上预先堆焊一层厚度约 $1/8$ in.~ $3/16$ in. [3mm~5mm] 的焊道，可以减少层状撕裂的可能性。这种预先堆焊层，在最剧烈的焊缝收缩应变的部位，提供了具有铸造晶粒组织的韧性焊缝金属而取代了纤维状的各向异性的轧制钢材晶粒组织。

(4) 在大的接头中，按照如下情况安排焊道：即在母材表面熔敷的焊道而产生厚度方向应力之前，建立母材在纵向方向上承受应力的表面。这一程序使得焊缝收缩的重要部份在没有拘束的情况下发生。

(5) 角接接头中，在做得到的地方，接头制备时应在承受厚度方向应力的母材上削斜而形成这样的结果：焊缝金属熔合于母材的平面与母材厚度平面形成可行的最大角度。

(6) 双面 V 形和双面单边削斜接头需要的熔敷量，大大少于单面 V 形和单面单边削斜的接头，因此，焊缝收缩量大约减少一半。只要可行，采用这样的接头可能会有帮助。

(7) 在包括不同厚度母材的几种接头的焊件中，较大的接头应先焊，以使可能涉及最大焊缝收缩量的焊接熔敷金属，可以在可能是最低拘束条件下完成。较小的接头，虽然在较高的拘束条件下焊接，但只有少量的焊缝收缩。

(8) 在大焊缝要将厚度方向的应力传递给一些部件的区域，应在布置时进行检查，以保证接头焊缝的收缩不在预先存在层状结构或大的夹杂物的母材上施加厚度方向的应变（见 ASTM A578）。

(9) 已证明对中间焊道进行适当锤击，可减少层状撕裂的潜在危险。不应当锤击根部焊道，以免在根部初始的薄焊道内可能产生裂纹，这种裂纹可能未被觉察并继而穿过接头扩展。应当使圆端工具以足够的力量锤击中间焊道，使得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交叠。不应锤击盖面焊道。

(10) 避免使用过强度填充金属。

(11) 当可行时，使用低硫 ($< 0.006\%$) 母材或者已改进厚度方向性能的母材。

(12) 接头已冷却到环境温度后，应当使用 RT 或 UT 检查关键性的接头。

(13) 如果检查出微小的不连续性，工程师应作仔细评估：这些不连续性能否保留不予修补，而不危及使用时的适用性和结构完整性。刨槽和修补焊接将会增加额外的加热和冷却循环，并且在拘束条件下的焊缝收缩很可能要比接头原来焊接条件下者更恶劣。修补操作可能导致更为有害的情况。

(14) 当确定了层状撕裂并且认为修补可行时，在没有首先检查 WPS 和检查验明这种不满意后果的原因之前，不应着手修补。一份特定的 WPS 或者对接头细节的更改，也许是必要的。

C-2.7.4 焊缝的组合。熔敷于坡口焊缝之上的角焊缝并不直接增加接头的有效焊缝厚度；因此，接头的强度不能取坡口焊缝和角焊缝强度的代数和。

C-2.7.5 对接、角接和 T 形接头表面轮廓修整。在 T 形接头和角接头中，在连接不等宽和不等厚部件的对接接头中，加强与轮廓修整的角焊缝是有益的。它们使角焊缝对将存在于截面几何形状 90° 变化处的应力集中减少烈度。

C-2.7.6 焊缝穿越孔。对于每一种应用情况，焊缝穿越孔既非需要，甚至也不是所希望的。然而，认识到这一点是重要的：即在宽翼缘的翼缘中的横向接头、H 形钢和类似的横截面中的横向接头，没有采用焊缝穿越孔制造的话，则不能作为免除评定的 CJP 坡口焊接的接头。这是确实的，因为免除评定的 CJP 坡口焊接接头仅限定于图 3.4 所示简单的板材零件对简单的板材零件的情况。决定采用免除评定的 CJP 接头，或是采用没有焊缝穿越孔的非免除评定的接头，取决于几个因素的考虑，它包括、但不局限于以下情况：

(1) 被连接的部件的尺寸。

(2) 该接头是工厂制作还是现场制作，即：部件焊接是否可翻转位置，这样可以避免仰焊，并使加强角焊缝可以容易地在峰值应力集中的部位熔敷。

(3) 焊缝收缩的拘束的变化和由于所连接的部件的几何形状而引起沿横向接头长度的施加应力的分布。例如：在柱的翼缘板中心线区域内的、由于柱的腹板而有的高拘束，与远离中心线的低拘束相比，引起了焊接残余应力和施加的应力，而在梁的翼缘板的中部难以施焊的区域明显地达到峰值。

(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

小的不连续性的数量，而无焊缝穿越孔这种大的不连续性，是否会提供更高强度的接头。例如：端部板重要连续的试验 (Murray 1996) 已经表明，梁的端部和端部板的接头无焊缝穿越孔，但在腹板与翼缘板的这个连接部位有未经修补的不连续性，却比采用焊缝穿越孔且带有较少的内部不连续性的类似连接有较高强度。

研究、思考和创造性正致力于对梁与柱重要连接的焊接进行细节的改进。应该考虑，在可行的场合采用替代的接头设计和细节以保证使用强度和合适性。工程评价是需要的。

当要求焊缝穿越孔时，采用 5.17 的最低要求。为良好工艺和完好焊缝提供净空的最低要求的尺寸，对于被连接构件的最后截面性能，可能具有重要的作用。

C-2.7.7 焊缝带铆钉或螺栓。本规范以前的一些版本中，当接缝被设计且螺栓以临界滑动连接安装，允许焊缝与高强度螺栓分担载荷。这种使用的限制提供在结构连接研究会的规范 (RCSC 规范) — 使用 ASTM A 325 或 A 490 螺栓的结构接头技术条件之中。根据 Kulak 和 Grondin 的研究 (见文章：结合螺栓与焊缝的接头的强度；Geoffrey L. Kulak 和 Gilbert Y. Grondin；工程杂志，2003 年第二季度，第 89 页)，2000 版的 RCSC 规范把这个允许撤销了，且 RCSC 规范没有提供指导原则。

美国钢结构学会 (AISC) 2005 年 3 月出的钢结构建筑物规范的 J1.8 章，提供了螺栓与焊缝间分担载荷的新的指导原则。除了螺栓是安装在与载荷方向是横向的标准孔或短槽的剪切连接中可被认为与纵向荷载角焊缝分担载荷外，螺栓不宜被认为是与焊缝结合分担载荷。在这样的连接中，螺栓的可利用强度不宜取得大于连接中的承载型螺栓的可利用强度的 50%。当横向角焊缝与螺栓结合使用时，焊缝破裂时的变形几乎没有螺栓剪切强度孕育起来。

C-2.8 接头结构和细节 — 坡口焊缝

C-2.8.1 厚度过渡和宽度过渡。在拉伸应用中，受力构件材料的厚度或宽度有变化或两者均有变化处存在着应力集中，其严重程度取决于变化的急剧程度，应力集中系数在 1 到 3 之间。在静荷载应用中，当提供一个没有缺口的过渡时，这种几何形状的变化没有结构上的重要意义。对诸如长跨度桁架的轴向对准拉弦杆的对接拼接接头、要考虑低温脆裂的接头、或其他高应力或工作环境严酷的场合中的静荷载应用中，工程师宜考虑采用增加轮廓修整角焊缝或其他细节以改善应力流的连续性。疲劳条款对周期荷载结构的几何不连续的影响作了规定，应予遵守。

C-2.9 接头结构和细节 — 角焊缝接头

C-2.9.1.1 横向角焊缝。除非如详图 A 所示，施加拘束力 R，否则，由于承受横向荷载的角焊缝焊接的搭接接头具有偏心距，所以施加的力倾向于张开接头而在焊缝根部产生撕开作用，见图 C-2.7 详图 B。本规范要求用双角焊缝或其他方法预防这种作用模式。

C-2.9.2 纵向角焊缝。在构件端部仅仅由纵向角焊缝作力的传递会引起被称为切变惯性的作用，它处于下列的过渡区内：剪应力沿部件的边缘集中的接头处向部件中的应力可以被视为均匀通过横截面的部位。与横截面形状有关的纵向焊缝的布置影响到部件的设计，也影响到连接的强度。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 的要求既保证了充分的连接、也保证了连接零件。对于其他横截面，连接部件的有效面积取决于端部连接焊缝的安排；因此，应当参考有关部件和结构设计的适用的技术条件。

C-2.9.3.1 角焊缝终止 — 一般规定。大多数情况下，角焊缝是否在部件的端部或侧面终止，对于接头工作的适用性没有影响，所以，这是一个不成问题的事实；然而，在各自情况下，终止的状态是重要的。已对不同情况规定了独立的合理规则。

C-2.9.3.2 受拉搭接接头。当两部件连成接头，其中一连接部件延伸而超出另一部件的边缘或端部时，在承受计算拉应力的零件边缘中避免缺口是重要的。用以避免关键部位此类缺口的良好做法是：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，防止缺口。

C-2.9.3.3 最大端部绕焊长度。对于构架角钢和简单端板的连接而言，部件设计中设想的连接柔性是重要的，试验已经表明，连接的静态强度不决定于有或没有端部绕焊。因此，沿着连接角钢的伸出肢的焊缝（通常为立焊缝）可以未达到端部而停止，或一直焊到角钢的顶部和底部的最末端，或沿水平端部稍作绕焊。不过，如果采用绕焊，为了不损害连接的柔性，对绕焊长度作一定限制是重要的。

C-2.9.3.4 横向加劲材焊缝。经验已表明，当加劲材不焊于翼缘板时，加劲材和腹板的连接焊缝停止在离开腹板和翼缘板的连接焊缝的焊趾一小段距离处，是重要的。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材焊缝终止处和腹板—翼缘板焊缝的焊趾之间，在极短尺度的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。这种不焊接长度严禁大于腹板厚度的 6 倍，以避免柱在腹板无加劲材部位翘曲。

C-2.9.3.5 公共平面的相对两侧。打算将两接触部件间共同平面的对边熔敷的两条角焊缝连接到一起，可能会导致缺口，或掩盖了弊脚的装配。

C-2.12 组合构件

C-2.12.2.1 一般规定。不论为保证零件动作协调而对充分焊接的要求如何，总是要规定断续角焊缝的最大间距，以保证接头紧密性，此种接头将允许涂漆以封掉接头的未焊部份，以及挡住接头的两条焊缝间母材的难看的“绉缝”，这就采用封闭在建造物内的办法保护接头，以防腐蚀。

C-2.12.2.2 受压部件。连接承受压力的部件外侧板的断续角焊缝的间距的判据是从经典的弹性板翘曲理论推导得出的，并且与 AISC《结构钢建筑物的设计、制造和安装技术规定》提出的判据相一致。

C-2.12.2.3 不涂漆耐候钢。对于将暴露于大气腐蚀的不涂漆耐候钢，根据经验和试验，需要较紧密的间隔以阻止两零件之间堆积腐蚀产物，这些零件间堆积的腐蚀产物会引起两焊缝之间形成难看的“绉缝”，并且是引发裂纹的潜在危险。

C-2.13 概述

C-2.13.1 适用性。本规范 C 部份的条款适应用于在应力的弹性范围内，承受活荷载“施加-去除-再施加”许多次循环的结构和焊件。这种类型的荷载通常被称为高周疲劳。本规范允许的最大设计计算应力在 $0.60F_y$ 范围内，或在类似地引用其他标准允许的规范或技术条件的范围内。因此，与活荷载的施加和移动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用以限制规范本条款的适用性范围，但它们确实建立了应该被承认的正常的界限。

对于建筑结构，通常不要求疲劳抗力设计；然而，涉及可能促使裂纹引发和疲劳裂纹扩展的周期荷载的情况还是存在，它包括、但不一定局限于下述情况：

- (1) 支撑起重设备的部件。
- (2) 支撑滚动运输荷载的部件。

(3) 承受引起谐振的风力的部件。

(4) 往复式机械的支架。

以实用性的观点提出一些看法，例如，如果由于全负荷活荷载周期性的施加和移去，一比较敏感的焊接细部（部份长度盖板的末端）被连接的母材的应力限度为 30 ksi [210 MPa]，则预计的疲劳失效寿命为 36,000 周期数（每天 4 次达 25 年）。对同样的细部，如果应力的限度小于 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，或者发生的应力的限度小于应力限度阈值，则无需关切疲劳。

C-2.14 限定

C-2.14.2 低周疲劳。由于地震荷载涉及到高应力的比较低的周数而属于非弹性范围，信赖本规范的 C 部份的规定而用于地震荷载的设计，是不适当的。

C-2.14.4 超静定 — 静定部件。判别超静定和静定构件和零件之间的差别的概念并不根据任何给定的部件或零件的疲劳行为上的任何差异，而是根据失效的后果。在正式通过 AASHTO/AWS D1.5 之前，AASHTO 技术条件规定了对断裂临界部件的判据，它包括了特殊的母材和检验要求，降低的许用应力范围曲线，见 D1.1 第 9 章（1996 版中止）。指定用于静定结构的降低的许用应力范围曲线，被专断地将疲劳应力范围限定为超静定部件和零件的应力范围曲线的大约 80% 而作推导。随着 AASHTO/AWS D1.5 的采用，已不再参考 AWS D1.1 规范第 9 章（1996 版中止）的许用应力以及应力和应力范围，而转向 AASHTO 设计技术条件。接着，在 AASHTO 范围内决定，除特殊母材和检验要求外，规定许用应力范围仅为疲劳零件试验数据的平均值减去 2 的标准偏差曲线的 80%，从而构成双重保守性。因此，在关于桥梁设计的现行 AASHTO LRFD 技术条件中，在已经保留特殊母材和检验要求的同时，删除了用于静定部件和零件设计的降低的许用应力范围。

C-2.15 应力计算

C-2.15.1 弹性分析 包括在表 2.5 中的判据是根据所代表的典型情况的全尺寸试样的疲劳试验得出的。按应力类别计及了局部几何应力集中地影响。

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) 到 (4) 和图 2.11 中的图示规定的应力范围——周期寿命曲线判据是通过由 National Cooperative Highway Research Program 发起的研究而开发的，该项目就实际零件进行研究，它结合了现实的几何不连续性，不适当地放大计算应力以考虑缺口效应。这一研究以 102 和 147 研究报告“Effects of Weldments on Strength of Beams”和“Strength of Steel Beams With Welded Stiffeners and Attachments”。美国及其它国家根据其它实际细节所做的后续研究支持表格 2.5 中所包含、但不属于 NCHRP 试验项目的示例。

当一板材单件由一条横向 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，且承受周期施加的荷载时，横向焊缝的焊趾通常是引发裂纹进入被连接母材的关键部位。这一部位引发裂纹的临界应力范围，对于每一种接头类型是相同的，并且可以由公式 (2) 和 C 类判据来确定。另一方面，如果横向焊缝是部分接头熔透焊缝或是一对角焊缝，则必须考虑从焊缝的根部引发裂纹、同时又必须考虑如果荷载传递给母材而母材承受弯曲的拉伸应力，而从反面的焊趾引发裂纹的潜在危险。适用于裂纹从根部引发的接头的最大应力范围这样决定：适用于裂纹从焊趾引发的许多应力范围判据乘以一缩减系数。在包含于公式 (4) 的缩减系数中，接头的未焊厚度与板材厚度之比的相对尺寸是基本参数。对于在板的相对两侧的一对角焊缝的情况， $2a/tp$ 为一单位，并且折算系数公式简化为公式 (5)（见参考

资料 32)。

C-2.17 施工设计、制作和安装

C-2.17.6 角焊缝终端。在角焊缝焊接的角钢支架、角钢梁座、框架角钢以及类似的连接处，施加的荷载倾向于分离连接的部件、并在焊缝的根部施加一撬动的拉伸应力时，则焊缝要求绕焊，以保护焊缝开始处的根部不致引发裂纹。

C-2.20 概述（管材连接）

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化而来。如同桥梁，这些结构承受中等程度的周期荷载。这些管型焊接结构像传统建筑结构一样，它们在一定程度上是超静定的，孤立的接头损坏而不危及整个结构。D 部分第 2 条的要求的目的是普遍适用于多种多样的管型结构。

C-2.21 许用应力（管材）

处理管状截面许多应力的这一部分，既包括对正方形截面管与矩形截面管的要求，也是对圆管的要求。

在常用的管材连接形式中，焊缝本身可能不是限制接头能力的因素。诸如局部破坏（冲切剪力）、主构件的整体毁坏和层状撕裂的限制在此作了讨论，因为这些内容在其他规范中未予足够的涵盖。

C-2.21.1 母材应力 对直径/厚度比率和宽度/厚度比率的限制视应用情况而定。参考表格 C-2.1，左手侧安排的是 AWS D1.1 规范所包括的连接设计。最初的三行属于实用简化设计法则的粗而短的构件；超出这些限制，必须进行规范规定的比较详细的计算。

关于设计在不同程度塑性下抵抗局部翘曲的构件的限制，则如右手侧所示。这些是 API、AISC 和 AISI 要求的混合物。自然，决定设计技术条件的要求在这里应优先考虑。

C-2.21.3 焊缝应力。焊缝的许用单位应力如表格 2.6 所示。此表时一中合并和浓缩的形式，表中列举了管材连接的每一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级别也作了规定。此表与表 2.3 表达形式相同。

C-2.21.6.2 疲劳应力类别 疲劳应力类别的依据可从参考资料 1 中获得。

这些系从圆截面管的资料推导而来，而对方管截面仅作近似指导。

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）相一致，应力类别和疲劳曲线已作了修改。

早期曲线中大部分的斜线部分已予保留。按 API，曲线 X 和曲线 K 的每一条已被分为二条曲线。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，而下一条曲线则为近年来所作不控制焊缝剖面形状的大批量试验的结果。在说明后者的情况时，美国规范的早期版本强调焊缝剖面形状，而推荐的英国（参考资料 12）则强调厚度的作用。现行的假设是：焊缝剖面形状和尺寸的作用这两者对推断疲劳行为都是重要的，而且他们是相互关联的。这也是设计与焊接不能分开的领域，2.21.6.7 制定了有一致性、作为厚度函数的、一套实施控制“标准”焊缝剖面形状和选择疲劳类别的有关内容。在 2.21.6.6 中，在将锤击作为改善疲劳的可采用方法的同时，还讨论了改善的剖面形状与打磨。

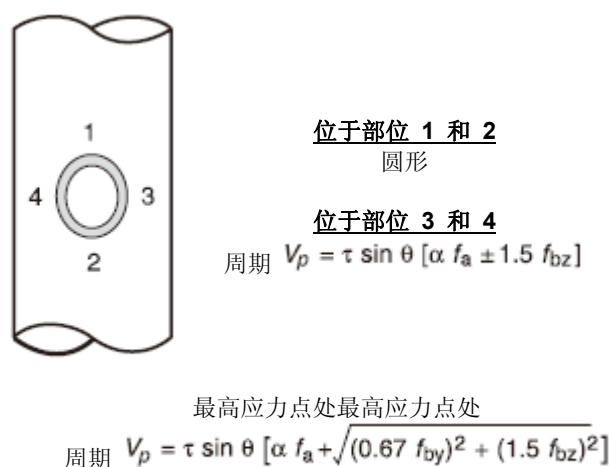
大部分曲线的耐疲劳极限已超过传统的 200 万次周期数。历史资料在这一领域提供不了很多的指导，而来自较大量焊接试样的较多的近期资料却清楚地表明斜线部分应予延续。截止点与承受周期荷载的结构及耐大气设施所采用的截止点一致。对于海洋环境下的随机荷

载, API 采用的截止点为 200 百万次; 不过, AWS 不必要采用。

当考虑 2.21.6.5 条款规定时, 可以与修改了的截止点一起, 使用单独一套曲线, 既用于超静定结构又用于静定结构。

对于类别 K (K 形连接的冲切剪力), 经验设计曲线是根据包括支管中的轴向荷载的试验推导出来的。根据总体静态考虑 (2.25.1.1 中作用的 V_p) 和几何形状 (2.24.3) 所确立的冲切剪力公式, 并不始终与已知的、关于各种模式的荷载对局部热点应力的影响方面相互一致, 尤其在包括弯曲应力的情况下更是如此。由于不包括一些相关参数 (例如: 支管间的间距), 下述的简化近似法对于 $0.3 \leq \beta \leq 0.7$ 的典型连接更为合适。

在这些公式中, 公称支构件应力 f_a , f_{by} , f_{bz} 对应于 C-2.8 所示的几种模式的荷载。附于 f_a 的系数 α 已被引用, 而将前面的曲线 K 和 T 结合为单一曲线。图 C-2.12 对其它术语加以说明。



C-2.21.6.3 基本许用应力限制 疲劳数据呈现出很大的离散型。画出的设计曲线落在数据点的 95% 的安全侧。AWS 设计评判准则适合于超静定的保险结构, 在这种结构中, 单个的连接局部疲劳破坏不会引起结构立即毁坏。对那种仅有的一次失效便会引起灾难性后果的关键构件, 按 2.21.6.4 规定的累积疲劳损坏率 D 必须限制为一个分数值 (即 $1/3$), 成为增大的安全系数。这种说法时假定: 在用于疲劳分析的施加的应用荷载范围内没有保守的倾向和隐含的安全系数 (许多规范有这种倾向)。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, 包括对随机荷载和腐蚀环境下的高周期疲劳来说也许是适当的修改。

C-2.21.6.6 疲劳特性改善 焊态接头的抗疲劳性能可通过下述方法改善: 降低焊缝趾部的缺口效应或降低残余拉应力, 这两者都不包括在设计者使用的实测的热点应变范围之内。按照参考资料 11 的讨论改善焊接接头疲劳性能的各种方法如下: 改善焊态焊缝的剖面形状 (包括使用专门焊缝趾部形成光滑过渡的焊条), 对焊缝轮廓充分打磨, 焊缝趾部打磨, 焊缝趾部重熔 (GTAW 方法修整或等离子弧修整), 锤击和喷丸处理。

早期规定 (并非广泛使用) 的海洋平台工业改善焊缝剖面形状的实践如图 C-2.9 所示。所期望的焊缝剖面形状为凹形, 其最小半径为支管壁厚的一半, 并与邻近母材光顺熔合。

要达到期望的焊缝剖面形状, 一半要求选择湿润或成形特性良好的焊接材料, 同时, 施焊者还需是盖面焊的专家, 他精通所遇到的各种位置和几何形状、直线施焊盖面技术。要做到这一点的困难经常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, 大多数为目检, 使用判定轮廓线情况的园盘检测。如果在所期望焊缝的剖面形状上有缺口, 在它

和规定半径的圆盘之间能插进 0.04 in [1 mm] 的钢丝，则不管这缺口是在焊趾处还是在焊道之间，都不合格。

AWS D1.1 的早期版本较少由严格的焊缝剖面形状要求。令人惊讶的是，随着构件厚度的增加而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。最近，欧洲的研究指出，早期的 D1.1 在区分符合 AWS 疲劳分类 X1 要求的连接管材的焊缝与那些达不到要求的焊缝方面，是不充分的（参考资料 11 和 12）。

在证实老的判断形状要求不适用于厚大断面情况同时，缺口应力分析与断裂力学研究也指出：图 C-2.9 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-2.9 也建议使用轻微的打磨来修正焊趾缺陷，例如过深的缺口或咬边。一旦打磨开始，应当注意使允许的缺口深度减少到 0.01 in [0.25 mm]；打磨平各独立焊道的顶部而留下各焊道间尖锐的沟槽，即使它符合圆盘检测的条文，但对改善疲劳性能的作用很小。

因为焊缝的趾部常有微观裂纹或裂纹状的缺陷，因此有必要使用 MT 以确保这些缺陷已被消除。审慎地进行打磨以消除 MT 检查出的这类缺陷的现象，经常进行这项工作将之作为检查的一部分，也会改善焊缝的剖面形状。

视情况而定，打磨整个焊缝使成光顺的剖面形状也许比较省钱而有效。对于控制焊态的焊缝剖面形状而言，这样做就会避免上述的使用特殊焊接技术、剖面形状检查、修正打磨和 MT。对于多道不凹形盖面焊的管材连接，焊道间的缺口会引发疲劳裂纹；这里单独打磨焊趾就不像许多研究所采用的平焊位置角焊缝那样有效。

焊缝趾部重熔的技术能够改善焊趾处缺口的几何形状，并已被实验室试验表明能改善焊接连接的疲劳性能。然而，除非细心地控制，否则加热和冷却的快速循环会产生不合格的热影响区硬化，而在侵蚀环境中（例如海水）易于产生应力腐蚀裂纹。

使用圆头工具锤击也能改善焊缝趾部几何形状，它在焊缝表层原可能引发疲劳裂纹处附加产生了残余压应力。但母材的过分变形会由于邻近的后道焊缝的焊接而使母材产生应变脆化的敏感性。同时，会使表面焊层模糊不清，甚至使原先存在的裂纹湮没，因此就要使用 MT。喷丸锤击在变形方面作用不大，而且在改变几何形状方面的效果也差。

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。再有，除最大型截面以外，3.13.5 所述的“标准”焊缝剖面形状能够满足疲劳等级 X1、K1 和 DT 的要求。

C-2.21.6.7 尺寸和剖面形状效应 在焊接连接疲劳性能有害尺寸的影响已有充分的资料记载（既有新近的参考资料 11、12 和 13，也有较早的资料）。对于焊趾有尖锐部分的焊接接头，按比例增大焊缝尺寸和缺口尺寸将降低疲劳性能。如在应用中超过资料规定的尺寸，在设计时应考虑尺寸的影响。参考资料 12 认为疲劳强度的降低正比于

$$\left[\frac{(\text{size})}{(\text{size limit})} \right]^{-0.25}$$

其它权威文献（参考资料 14）表明尺寸的影响较为缓和，指数约为 -0.10。

在焊接面形状充分打磨的情况下，对尺寸影响起主要作用的几何缺口的影响是不存在的，对于那种在临近母材处光顺熔合的剖面形状，几何缺口的影响也是相对微弱的（疲劳等级 B 和 C1）。出去以英寸表示的尺寸已作了数值归整处理外，大多数其他类别疲劳等级的尺寸限制（超出这一限制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。

对疲劳等级 X2、K2 和 DT 的限制反映了这一事实；这些 S-N 曲线已经绘于近来大规模试验数值的下方。

参考资料 13 讨论了在各种水平的疲劳性能情况下与焊缝剖面形状有关的尺寸影响的作用。2.21.6.7 提及的 T、Y 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，尺寸影响（降低疲劳性能）将会起作用。符合 2.21.6.6(1) 要求的、“改善”的焊缝剖面形状会使缺口影响在广大的厚度范围内保持不变，因而缓和了尺寸影响。焊缝表面充分打磨而呈光滑状态的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，如果锤击时唯一采取的措施，则可以预料尺寸影响简直会很快显示出来；然而如果锤击作为剖面形状控制的附加手段，则不会引起尺寸影响的恶化。

因为设计规则部分地根据拉断试验的结果，所以，尺寸影响也许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、Y 和 K 形连接，推荐选用等级 I 而不用允许较大缺口的等级 II。

C-3. 焊接工艺规程 (WPS) 的免除评定

C-3.2 焊接方法

C-3.2.1 免除评定的焊接方法。某些药皮焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护熔化极电弧焊（焊丝熔滴短路过渡除外）和药芯焊丝电弧焊的 WPS 连同一些相关类型的接头已经过彻底地试验，并且经长期使用证实其性能良好。这些 WPS 和接头被称为免除评定，可以不经试验或评定而采用（见第 4 章）。

第 3 章给出了免除评定的条款，其中包括 WPS、具体的、有关的预热、填充金属、焊条尺寸以及其他恰当的要求。对管材结构免除评定接头的补充要求也列于第 3 章中。

采用免除评定的接头和 WPS 并不一定能确保焊缝质量。仍然需要具有制作能力，连同有效而懂行的焊接监督，才得以保证始终如一地加工出良好的焊缝。

本规范不禁止使用任何其他焊接方法。同时，既不对任何其他接头类型强加限制，也不对任何焊接方法强加任何工艺性的约束。它规定承包商按本规范的要求，对这些接头、施焊方法和 WPS 评定合格后，再予认可（见第 4 章）。

短路过渡是 GMAW-S（气体保护熔化极电弧焊—短路过渡）的一种金属过渡形式，在这种过渡过程中，从焊条上熔下来的材料在反复短路过程中熔敷到焊缝中。

短路电弧焊是 GMAW 中使用最小的焊接电流并配以相应的焊条直径的方法。钢焊条代表性的电流范围如表 C-3.1 所示。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 多次稳定的速率接触熔池。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。当焊线一接触焊缝金属，电流就增加。如图 C-3.1 所示中 E 点所示，如未形成电弧，电流会持续增大。电流增大率必须足以维持熔化的焊丝端部熔滴完成过渡。不过，此过程也不应太快，那样会由于填充金属的熔滴在过渡中的分裂引起飞溅。电流的增大率可以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这两者。电源的开路电压必须足够低，以使电弧不能在现有焊接条件下维持。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。会有飞溅。它通常或者由于焊条熔化尖端上的气体逸出而引起，或由作用于熔融的焊条端部的电磁力所引起。

C-3.2.4 恒压 (CV) 电源的电压-电流关系是：电流变化大而电弧电压变化小。恒流 (CC) 电源的电压-电流关系则是电流变化小而电弧电压变化大。一般来说，FCAW 和 GMAW 使用 CV 输出可得到最佳焊接效果。如果按照第 4 章经过试验而评定 WPS，则 CC 电源可用于 FCAW 或 GMAW。

C-3.3 母材/填充金属组合

列于表 3.1 注 c 中的带标号填充金属经 1275°F 或 1350°F [690°C 或 730°C] 的焊后热处理后，可达到该等级的拉伸强度。它们焊态的拉伸强度可以超过 100 ksi [690 MPa]。

用于免除评定的接头、匹配已认可母材的焊条和焊条—焊剂组合列于表 3.1 匹配的填充金属要求栏中。在此表中，各组别技术规格的钢材与具有类似拉伸强度等级的填充金属相匹配。在涉及具有不同拉伸强度母材的接头中，如果较高强度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，不过焊条需是低氢型的。

C-3.5 最低预热温度和道间温度要求

进行加热直至达到并保持某一最低温度的原则是用以控制焊缝金属及其邻近母材的冷却速度。较高的温度可使氢较快扩散且减少冷裂的倾向。可对整个部件或仅对待焊接头邻近部位的金属进行预热（见表 3.2）。在给定成套焊接条件下，未经预热的焊缝的冷却速度将高于预热的焊缝者。预热温度越高，冷却速度越低。当冷却足够缓慢时，则将有效地减少硬化与裂纹倾向。

对调质钢而言，不希望慢速冷却，且钢厂也不予推荐。

应该强调的是，表 3.2 列举的温度为最低温度，而预热和道间温度必须足够高方能保证焊缝良好。为了降低冷却速度以得到无裂纹、塑性好的接头所需的预热量将取决于：

- (1) 环境温度
- (2) 电弧热
- (3) 接头的热散失
- (4) 钢的化学成分（焊接性）
- (5) 熔敷的焊缝金属的氢含量
- (6) 接头拘束程度

第 1 点上述已作考虑。

第 2 点本规范目前未作考虑。

第 3 点部分地体现在材料厚度中。第 4 点间接地体现于钢材级别标号中。

第 5 点目前分别根据非低氢焊接方法或低氢焊接方法表述。

第 6 点最不明确，仅在表 3.2 的条款中认识到一般的情况。

根据这些因素，不应当认为表 3.2 的要求是全面的，因而强调预热和道间温度为最低温度就更为必要。

调质钢的预热应小心，热量输入严禁超过钢厂的推荐值（见 5.7）。

C-3.6 WPS 变量的限制

虽然免除评定的 WPS 免做试验，但规范强调要求承包商准备一份书面的、制作中使用的 WPS。此文件记录所用材料和焊接变量，以表明 WPS 符合免除评定状态的要求。

规范的意图是使焊工、自动焊工、定位焊工和检验人员接触书面的免除评定的 WPS。规范要求书面的免除评定的 WPS 上明确规定四种关键性的变量，在其限制的范围内为规定的执行者提供有针对性的指导。电流、电压、焊接速度和保护气体，其按照适用情况的允许范围与那些在规范 4.7 中评定合格的 WPS 的容许值相同。对这四种变量的限制是足够保守的，因此允许对其数值进行取整。

C-3.7 WPS 的一般要求

C-3.7.2 焊道宽度/深度比的限制。焊核或焊道形状是影响焊缝裂纹的重要因素。由于母材的冷却作用，熔融的焊缝金属的凝固沿焊缝金属的边缘开始，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通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，焊缝表面可能凝固。如果这一情况发生，则作用于仍然热的、半液态的焊缝中央或芯部的收缩力会导致中心裂纹并发展，如图 C-3.2(A) 和 (B) 所示。这种裂纹可能会扩展而贯穿焊缝的纵向全长，在焊缝表面可能看得见或看不见。如图 C-3.2(C) 所示，当两电弧彼此直接相对同时焊接接头两面的角焊缝时，也会发生这种情况。

鉴于上述情况，表 3.7 要求熔敷于每一焊道的焊缝金属的截面积，其深度或最大宽度都严禁超过焊道表面的宽度。图 3.1 也对此作了说明。最好对焊缝试样取剖面并腐蚀以测量焊道尺寸。

C-3.7.3 耐候钢要求。这一节是对裸露、不涂漆耐候钢的要求，这里要求焊缝金属也具有与母材相似的抗大气腐蚀性能和色泽特征。表 3.3 规定的填充金属系用于符合这种要求的情况。如这些钢的焊接用于其他场合，则表 3.1 规定的焊条，焊条—焊剂组合或焊缝金属的等级也可满足要求。

对耐候钢（用于裸露情况）的焊接，当施焊一定尺寸的单道角焊缝（与焊接方法有关）时，允许使用表 3.3 以外的填充金属，如 3.7.3 所述。这里，填充金属—母材混合物形成焊缝金属的色泽和抗大气腐蚀性能，应与母材相似。

在多道焊焊缝中，除最后两焊层外，可用表 3.1 所列填充金属熔敷接头。最后的表面两焊层和焊缝端部必须使用表 3.3 规定的填充金属。

C 表 3.7 根部焊道最大厚度（变量）。根部焊道的厚度，可以从板的公称厚度，或双面接头制备的坡口深度，减去未填充的深度而测得。

C 表 3.7 填充焊道最大厚度（变量）。填充焊道的厚度，可以从上一次熔积的焊道/焊层到板面的深度减去新焊道/焊层到板面的未填充深度而测得。穿透入前一焊道/焊层的部分不计入厚度的一部分。

C 表 3.7 电的限制。试验证实，在坡口根部的角度和能够使用的、而又不产生裂纹倾向的焊缝剖面（如图 C-3.2 所示）的最大电流这二者之间存在着一种经验关系。在这些情况下，仅对免除评定的无衬垫单边削斜或 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，它们形成具有裂纹倾向的焊核的可能性很小。然而在这一点上，规范未将 V 形坡口与 J 形和 U 形坡口区别对待。它规定表 3.7 的要求适用于所有坡口。由于 J 形和 U 形坡口较少使用，所以这一要求看来并非没有道理。

按经验关系，合格的电流安培数约为坡口夹角度数的 10 倍。这基本上适用于免除评定的无衬垫的单边削斜或 V 形坡口接头。由于这种免除评定的接头的夹角为 60°，规范允许的最大电流为 600A；对于 90° 的角焊缝，最大允许电流为 1000A。这种限制仅用于使接头的两部熔合的焊道，盖面焊道除外。

C 表 3.7 对多丝埋弧焊 (SAW) 的要求。当在纵向一前一后地使用气体保护熔化极电弧焊加上埋弧焊（见表 3.7）进行焊接时，要求在气体保护熔化极电弧与前导的埋弧间的最大间隔为 15 in [380 mm]，以维持第一个电弧的预热效果，使随后的主焊缝由其余两个熔敷率高的埋弧焊电弧所熔敷。较小间隔也为第一焊道的重熔提供了较好的条件。

C 表 3.7 对 GMAW/FCAW 要求。当使用免除评定的 WPS 时，这一节提供了有关气体保护熔化极电弧焊和药芯焊丝电弧焊工艺的要求。

应对焊接处的气体保护予以防风的保护，以防止气体保护的中断而使焊缝受到大气污染。

免除评定的条款仅适用于气体保护熔化极电弧焊的金属熔敷的喷射过渡和粗滴过渡方

式。短路过渡的气体保护熔化极电弧焊不免除评定，必须按第 4 章要求评定。经验表明，这种金属过渡方式常常熔透和熔合不足。通常，这种不可靠的共同理由是每单位长度熔敷焊缝金属的热量较低，造成母材熔化甚少或不熔化。因此，当使用短路过渡气体保护熔化极电弧焊时，要求每一使用者证明其选择的 WPS 具有加工完好焊缝的能力。

C 表 3.8 免除评定的 WPS 变量

(1) 表 3.8 的用途。该注释提供免除评定的 WPS 的表 3.8 应用的说明和示例。表 3.8 包含在 2010 版的 D1.1 中，消除了使用者把表 4.5 用于免除评定的 WPS 的需要。表 3.8 确定了免除评定的 WPS 中必须包含的内容。表 4.5 中列出的某些变量不适用于免除评定的 WPS。表 3.8 中的“X”表明该变量有变化，或该变量指示范围之外的变化，需要进行新的免除评定的 WPS。

(2) 从哪儿获取值。免除评定的 WPS 中确定的电流（或馈线速度，若电流不受控制）、电压和焊接速度需满足表 3.7 的条件，适合材料厚度和焊接位置，并且能够满足该规范的质量要求。满足这些规定的特定值或值范围可以列在免除评定的 WPS 上。

(3) 哪些变量组合可以列在单一 WPS 上。对于一个 WPS，允许把多个变量组合列在单一 WPS 上。例如，不需要为 WPS 适用的每个钢种编制单独的 WPS。例如，单一 WPS 可以列出 A36、A53 和 A106，因为这些都属于组 I 钢种（参见表 3.1）。另外，只要其他焊接变量（例如，焊条类型）适用于列出的所有钢种，A 131 和 A 572 50 级也可以列在上述 WPS 上，即使这些钢种属于组 II。

(4) 可以对一个免除评定的 WPS 进行的更改。编制免除评定的 WPS 后，可以在表 3.8 中规定的限制范围内对 WPS 进行更改。例如，如果初始 WPS 仅列出 E7016 且承包商希望使用 E7018，那么需要根据表 3.8 项目 5 修改初始 WPS，以反映使用 E7018 的可接受性。把 E7018 添加到 WPS 之前，使用该焊条是不允许的，即使根据表 3.1，该焊条是免除评定的填充金属。不过，单一 WPS 可以列出 E7016 和 E7018，只要两者同样适用于应用。尽管进行此类更改是书面工作，无需进行评定 WPS 所要求的重新试验，但是要注意，对 WPS 进行的此类更改很可能需要重新提交修订后的 WPS。

承包商在单一 WPS 中包含可以使用同一个免除评定 WPS 的一系列条件通常是十分有利的（例如，多个钢种，或参考表 3.1 组编号），这样可以尽可能减少书面工作量。但是，许可条件的范围必须在表 3.8 和其他规范要求的限制范围内。范围较广的 WPS 可能妨碍对焊工和检查员进行明确沟通。

(5) 需要新的或修改的免除评定 WPS 的更改。如果现有的免除评定 WPS 列出了 $300A \pm 30A$ 的电流范围且承包商希望使用 400A 的电流，需要修改 WPS，以反映使用该较高电流的可接受性，因为该电流超出表 3.8 项目 9 允许的范围。同时，若使用该较高电流，还需要调整焊接速度值或范围，以满足表 3.7 的要求。可以对现有 WPS 进行修改，添加使焊接能够满足该规范要求但是使用较高电流范围的新变量组合。

(6) 需要经过评定 WPS 的更改。对 WPS 进行的某些更改可能导致 WPS 超过免除评定的范围。例如，如果免除评定 WPS 的焊接过程是 GMAW，其变量导致进行喷射过渡，在免除评定 WPS 中添加导致进行短路过渡的变量是不可接受的。但是，可以根据第 4 章通过试验确定这些参数的合格性。

C-3.10 塞焊缝和槽焊缝要求

使用表 3.1 或表 4.9 所列的材料、以 5.25 规定的技术焊接的、符合 2.5 的尺寸要求的塞焊缝和槽焊缝，被认为符合免除评定的要求，可以无需进行接头的焊接工艺评定试验而

使用。

C-3.11 PJP 和 CJP 坡口焊缝的共同要求

C-3.11.2 角接接头制备。如图 C-3.3 所示，对于角接接头中所有单边削斜和 J 形坡口焊缝，规范容许在一个构件或两个构件上制备坡口，这两种方法择一。

这一条款是因考虑层状撕裂而引起的，允许在接头的竖直构件上全部或部分地制备坡口。这样制备的坡口减少了因焊缝冷却收缩而引起的残余拉应力，这种应力在单独的竖直平面内、以贯穿厚度的方向起作用，如图 3.3, 3.4 和 3.11 中图解的免除评定的角接接头所示。因此，规范现在所允许的坡口制备使这些接头降低了层状撕裂的可能性。然而，必须保留一些未加工的厚度“a”（如图 C-3.3 所示），以免竖直板顶角部熔塌。在两个构件上制作坡口（角度 β ）是容易作到这一点的。

C-3.13 CJP 坡口焊缝的要求

C-3.13.1 接头尺寸。在接头坡口制备后，双面焊接接头的另一面，由于背部清根方法的固有局限性，其形状不可能精确地与图 3.4 中免除评定的焊接接头所示的简图一样。可能出现 U 形和 J 形与 V 形和单边削斜形状结合的情况。这种状况是可接受的。

C 图 3.3 半喇叭形坡口焊接接头的有效焊缝尺寸。已用 ASTM A 500 冷成型材料（“c”尺寸与 T_1 一样小，公称半径为 $2t$ ）进行了试验。随着半径的增加，“c”尺寸也会增加。

角部弯曲部分可能不是一个与边相切的圆的四分之一。角部尺寸“c”可以小于角部半径。

C-3.14 焊后热处理

历史上，D1.1 关于焊后热处理 (PWHT) 的要求很大程度上根据 ASME 规范中关于普通碳-锰钢的制作经验而定。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[例如添加铌 (Nb) 和钒 (V)]钢。这些更新的钢可以轧制状态或热处理状态供货，例如淬火和回火 (Q&T)、淬火和自回火 (QST) 或热-机械控制加工 (TMCP)，以获得更高的屈服强度。通常，添加铌 (Nb) 和钒 (V) 钢不用于压力容器，并且，当有夹杂物时，含量往往被限制于低值。压力容器钢中的例外是 SA-737，它按钢的级别添加 (Nb) 或 V。至少已有 7 个焊接研究协会 (WRC) 的公报刊载了关于 PWHT 和微合金化钢材的题目。以下为这些结论的简要概括：

(1) 轧制态或正火态的碳锰钢和低合金钢（屈服强度 ≤ 50 ksi [345 MPa] 的 PWHT（在 1150°F [620°C] 下几小时）无害于强度。不管温度或持续时间如何，PWHT 降低 (Nb) 或 V 微合金化母材及热影响区的缺口韧性。韧性的降低变化严重，可能影响或可能不影响工作的适用性。

(2) 用 Q&T、QST 或 TMCP 等工艺制造的钢材需要根据专门的材料和工艺开发 PWHT。PWHT 可能降低强度和缺口韧性。PWHT 的灵敏性很大程度地依赖于化学成分。一些日本数据表明，对于某些 TMCP 钢来说，1025°F [550°C] 也许是较为合适的 PWHT 温度。最佳的 PWHT 温度系根据特定的化学成分、强度和缺口韧性要求而定。

(3) ASTM A 710 A 级、时效硬化的 Ni、Cu、Cr、Mo、Cb(Nb) 钢，在 PWHT 时对 HAZ 部位的开裂是敏感的。对于 B 级和 C 级钢还未作研究。ASTM A 514/A 517 钢的某些级别对于 PWHT 是勉强的，因为它们塑性低，以及 PWHT 过程中可能 HAZ 开裂，还因为损失强度和韧性。某些技术条件对一些钢材的 PWHT 作了专门限制，诸如 ASTM A 913 钢，或者“用淬火和自回火工艺 (QST) 生产的高强度低合金钢型材”，这种 QST 钢型材严禁在超过 1100°F [600°F] 温度条件下成形和进行焊后热处理。关于 TMCP 钢的 API 海洋平台结

构技术条件 2W 钢和关于 Q&T 钢的该技术条件 2Y 都有类似的对“制作后加热”的预警，要仔细进行 PWHT。

C-3 参考资料

1. Stout, R. D. “压力容器焊后热处理”。WRC 公报 302(1), 1985 年 2 月。
2. Shinohe, N., Sekizawa, M., 和 Pense, A. W. “ASTM A 737 B 级和 C 级微合金化钢的长期应力消除效应”。WRC 公报 322(4), 1987 年 4 月。
3. Konkol, P. J. “结构钢焊件性能的长期焊后热处理”。WRC 公报 330(2), 1988 年 1 月。
4. Pense, A. W. “A 588 钢板和焊件的机械性能表征”。WRC 公报 332(2), 1988 年 4 月。
5. 日本压力容器研究委员会, “500 N/mm² TMCP 等级钢材 PWHT 行为特征”。WRC 公报 371, 1992 年 4 月。
6. Xu, P., Somers, B. R. 和 Pense, A. W. “压力容器钢材的钒和铈添加”。WRC 公报 395, 1994 年 9 月。
7. Spaeder Jr., C. E. 和 Doty, W. D. “ASME 焊后热处理惯例：解释性报告”。WRC 公报 407(2), 1995 年 12 月。

表 C-3.1
钢材进行 GMAW-S 焊接的典型电流范围

焊条直径		焊接电流, A (焊条正极)			
		平焊和横焊位置		立焊和仰焊位置	
in	mm	最小	最大	最小	最大
0.030	0.8	50	150	50	125
0.035	0.9	75	175	75	150
0.045	1.2	100	225	100	175

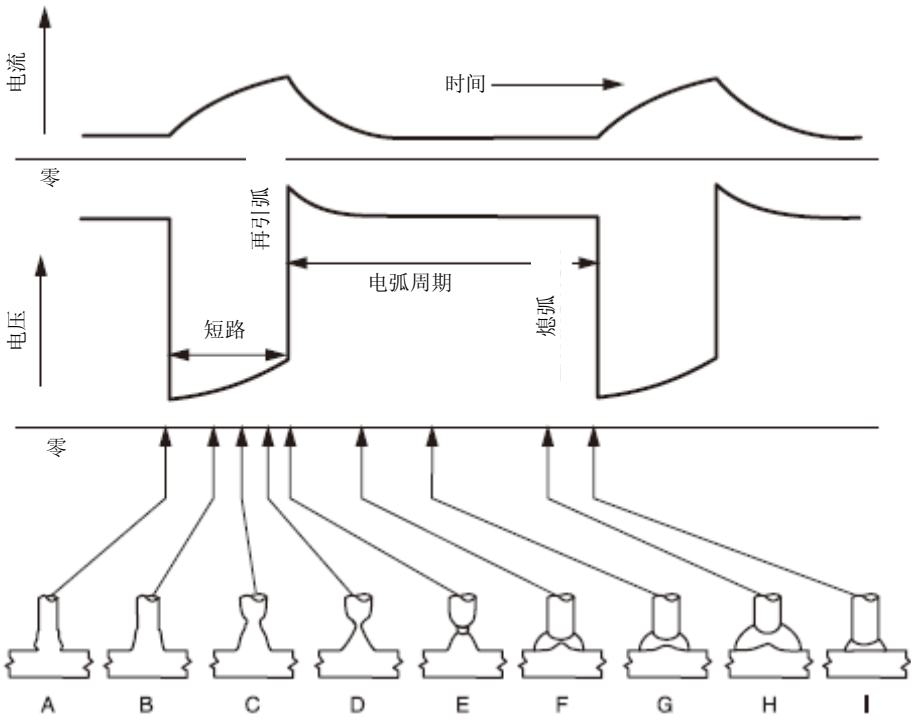


图 C-3.1 — GMAW-S 熔滴过渡波形图和示意图

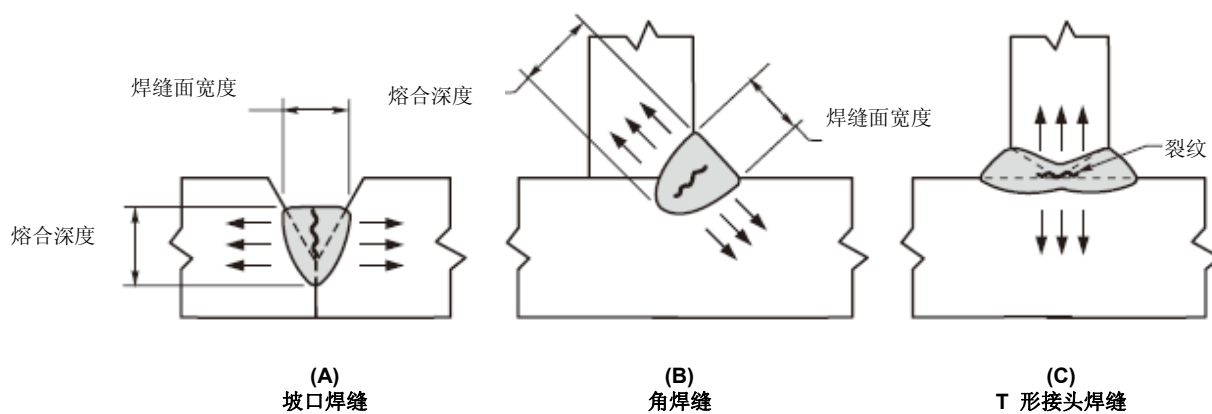


图 C-3.2 — 中心线裂纹示例 (见 C-3.7.2)

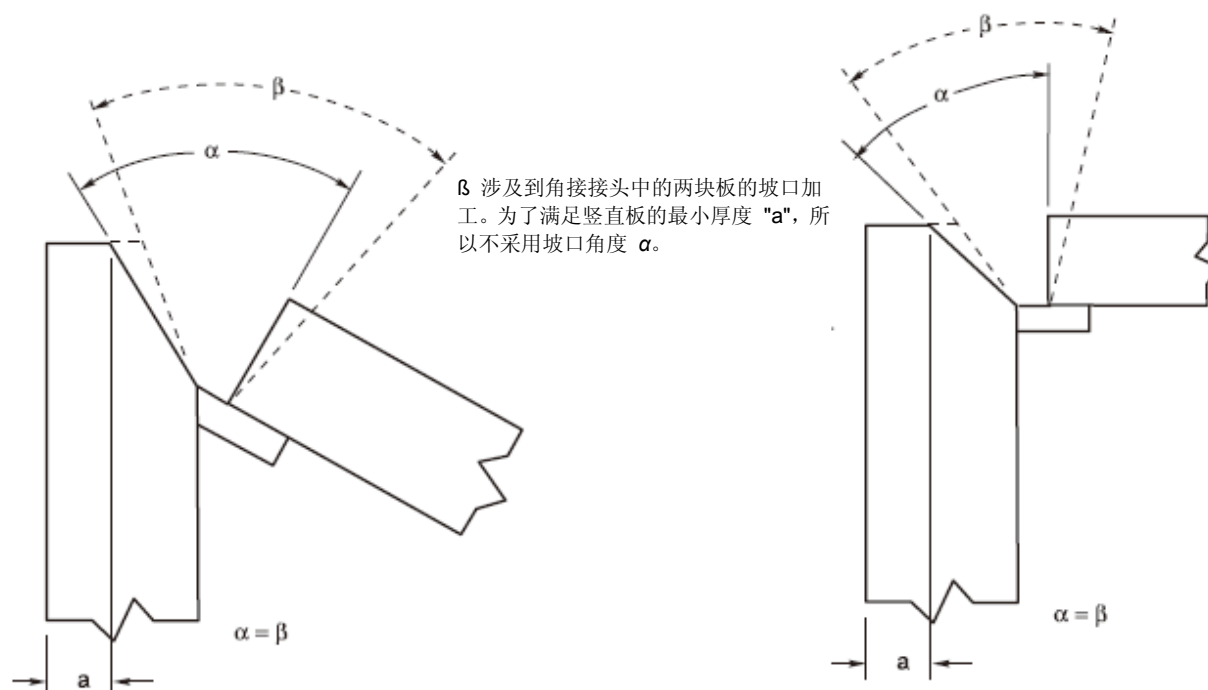


图 C-3.3 — 免除评定的角接头可供选用的坡口制备详图 (见 C-3.11.2)

C-4. 评定

A 部分 通用要求

C-4.2 概述

C-4.2.1.1 评定责任。所有承包商必须对他们的完工产品负责。因此，他们有责任遵守本规范关于 WPS 的评定要求。对于承包商按照本规范的要求而实施的、正规编制成文件的 WPS，本规范推荐工程师根据合同认可这样的文件。

C-4.2.2 焊接人员的资格评定。评定试验专门用以确定焊工、自动焊工和定位焊工遵循 WPS 加工完好焊缝的能力。规范并不认为任何顺利通过评定试验者可以对付在焊接加工中碰到的业已经过评定的所有情况。重要的是焊工、自动焊工和定位焊工应对不同条件作相应训练。

理想情况是，焊接调质高强度钢的焊工、自动焊工和定位焊工应当具有焊接这种母材的经验。作为这种经验的替代，承包商应当保证其人员接受有关这种钢焊接的教育与训练。还要进一步建议的是：其他人员，例如在制作中进行调质高强度钢的装配和热切割人员，也应该有经验或在热切割操作开始之前接受过教育与培训。

C-4.2.2.1 以前的资格评定。对焊工和焊机操作工的评定，其他标准与 D1.1 有类似、或甚至相同的那些要求。如果根据这些替代的试验对他/她的技能的评价基本上和本规范规定的试验相同，则本条款允许工程师接受其他的评定试验。例如：不但 ASME 规范，而且 AWS B2.1 焊接工艺和资格评定，都可以在这样的条件下用来对焊接人员进行评定。其他的 D1 标准，如 D1.2、D1.3、D1.4、D1.5 和 D1.6，可以用于类似情况。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、以及这些差异重大时，则工程师的责任就是：根据特定结构、工作状况或两者兼具的条件，确定这些资格评定是否合格。

C-4.2.3.1 有效期 — 焊工和自动焊工。本节规定焊工资格评定的有效期。下列情况资格评定失效：(1) 焊工最后一次使用此焊接方法起已超过六个月，或 (2) 由于特定理由焊工的能力受到怀疑。对于 (1)，只需用厚度为 3/8 in [10 mm] 的板材或管材，或两者兼有，进行重新评定试验。如果该焊工的评定试验失败，那末，必须遵循第 4 章 C 部分关于焊接人员资格评定的要求重新进行评定。对于 (2)，必须在第 4 章 C 部分关于资格评定的要求范围之内进行试验。

C-4.3 WPS 和焊接人员资格评定的通用要求

C-4.3.4 试验焊缝位置。本节规定用于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，对所有 WPS 来说，位置都是一个基本变量。必须对制作中所用的每一种位置进行每一种工艺的评定。评定试验焊缝位置和形状与覆盖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，重要的是对结构建造中要遇到的焊缝进行试验和评估。作为评定程序的一部分，这将确保所有必要的焊接位置都经过试验。

B 部分 WPS 评定

C-4.5 评定试验的类型

表 4.2 概括了评定试样的数量和类型、以及所覆盖的厚度范围的要求。等于或超过 1 in [25 mm] 的试板厚度覆盖了任何厚度的工艺的评定。1 in [25 mm] 的厚度已证明一般能反映焊缝金属的化学成分、线能量和预热温度对焊缝金属和热影响区的影响。虽然钢板的力学性能随轧制方向有明显变化，且能影响试验结果，但在 1988 年版本中还是将“轧制方向”作为

非强制性术语。例如，除非使用横向轧制法，否则钢板的拉伸强度和冲击韧性常常是纵向的大于横向的。类似地，简图中所示的轧制方向弯曲试验常常能提供较好的弯曲试验结果。在某些应用中要求提供韧性试验结果，应在试验结果上注明轧制方向。

C 表 4.2 WPS 评定 — 接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝；试样的数量和类型以及所评定的厚度和直径范围。管材的 WPS 评定包括大尺寸直径管材工件的状况。其意图是对自动焊方法（例如埋弧焊）焊接的大直径管进行 WPS 评定，并且可以适用于能够在大直径管（不包括 8 in [200 mm] Sch. 120 管）上使用的任何焊接方法。

C-4.7 WPS 准备

书面的 WPS 和 PQR 可以采用任何适用的表格（见附录 N 示例）。

C-4.8 基本变量

本规范允许对评定 WPS 所用的变量有某种程度的偏离。但变量偏离影响到材料的力学性能或化学成分、或焊件的完好性时，不重新评定是不允许的。后面的变量可归入基本变量。母材的基本变量列于 4.8.3。焊接方法的基本变量列于 4.8.1。试验焊缝的位置列于 4.3.4。这些变量的改变如超出各相应条款所允许的变化，则需重作 WPS 评定。类似地，变量变化超出 4.8.2 所示时仅需使用射线或超声波检测重作评定。

这些基本变量应在 WPS 文件中规定，且在施焊制作中得到遵守。

表 4.6 列举了 PQR 评定的补充基本变量要求，其中 CVN 试验由合同文件所要求。表 4.6 的要求是补充表 4.5 的基本变量的要求。对于无 CVN 试验的工艺评定，表 4.5 的基本变量要求应当完全满足，而进一步要求 CVN 试验的 PQR 应完全满足表 4.6 的基本变量要求。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 条基本变量消除了在所有位置上进行 CVN 试验的要求，但不改变表 4.5 关于焊接位置的要求。按照表 4.5，对于强度和完好性的所有 WPS 评定要求仍然需要。

C-4.8.1 SMAW、SAW、GMAW、GTAW 和 FCAW。焊接速度影响线能量、焊缝冷却速度和焊缝冶金，这些对于热影响区 (HAZ)、对于断裂韧性的控制以及对于调质钢的焊接都是重要的。为了避免不完全熔合与夹渣，选择适当的焊接速度也是必要的。

焊丝外伸长度或导电咀到工件的距离是重要的焊接变量，它不但影响电流大小还影响过渡模式。使用恒压电源而设定送丝速度时，较长的焊丝外伸长度使得焊接电流减少。这会减小熔透深度和线能量而导致熔合型的不连续性。较短的外伸长度使得焊接电流增加。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。控制焊条外伸长度与控制其他焊接变量同样重要。

利用送丝速度、焊丝外伸长度和电弧长度、或者电压，可以控制半自动焊接过程。对于机械操作，焊条外伸长度可预先测量，而对于手工焊接则目测估计。在圆管（或方管）材料上产品结构焊接并不一定意味着管材的焊接就此完成。很明显，沿圆管周长的焊接和沿平行于管的轴线（中心线）的焊接是不同的。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。显然，沿平行于管材轴线地直线进行焊接的技巧与笔直地焊接钢板轧制型材的技巧毫无二致；因此，管材产品结构的限制不适用于直线焊接的情况。参考图 C-4.1。

C-4.9 WPS 评定的试验方法和合格判据

C-4.9.2 NDT。不论用何种方法焊接，在力学性能试验之前，所有 WPS 评定试板或试管都需进行射线或超声波检测，以确定焊缝完好。另外，无损检测减少了费用和延误，这是

因为它避免了对存在本规范禁止的缺陷的焊缝进行机加工和试验。

C-4.9.3.2 纵向弯曲试样。本节制定了纵弯试验的条款，它适用于弯曲力学性能明显不同的材料的组合。

C-4.9.3.3 弯曲试验合格评判判据。对弯曲试验合格性的新的更确切的措辞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。增加了关于表示总量的陈述，以限制缺陷的累积总量。

增加了对源于角部撕裂的最大限制值，以阻止角部裂纹可能扩展而穿过半个试样的情况，而按以前的评判准则会判为合格。

C-4.11 非管材连接的 PJP 坡口焊缝

C-4.11.1 试验的试样类型和数量。这一节论及关于接头部分熔透 (PJP) 坡口焊缝的评定要求，承包商要求对它们评定是因为构造中所用的接头设计和 WPS 不符合 3.1 条款关于免除评定状态的要求，或者是建议用一特定的接头设计将已经评定的、制作完全熔透焊缝的 WPS 用作部分熔透焊缝。目的是利用建议的、用于结构的接头设计和焊接工艺去确定制作的焊缝尺寸。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 评定仅要求宏观腐蚀试样。达不到 4.11.4 条款评判要求的 WPS 需要进行附加试验，这些试验要求如表 4.3 所示。

C-4.12 管材和非管材连接的角焊缝

C-4.12.1 试样类型和数量 — 角焊缝。当采用单道角焊缝时，需要一条如图 4.19 和图 4.20 所示的一条试验焊缝，它用最大尺寸单道角焊缝焊接。如仅要求多道角焊缝，则需要一条试验焊缝，如图 4.19 和 4.20 所示，用所采用的最小尺寸的多道角焊缝焊接。这些试验中的每一个都被用来评估要求最严重的状态。

C-4.13 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在常规板材和宽翼缘板构造上的焊接。环绕接头焊接时，位置常常连续变化；在 T、Y 和 K 形节点中，接头几何形状也变化。焊缝的根部常常难以施焊；并且，背部衬垫的使用也会受环境限制（例如，以管材作的管道，或者 T、Y 和 K 形连接的复杂几何形状）。但是，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，而这照例是与接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝联系在一起的。为满足这些要求，已经研究出一套专门用于管材结构的、关于 WPS 和焊工资格评定以及关于免除评定接头细节的做法。这些条款是对本规范其他条款的补充。

一些特殊的管材应用中规定，允许接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝不用背部衬垫、仅从外部施焊者为：

(1) **管材对接接头。**在对接接头中，常规条款禁止将仅从一面进行焊接的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝用于周期荷载结构和静载结果。但它们广泛地用于压力管道。现在，在管材结构中允许使用这种方法，但需要符合 4.13.2 的所有特定条款的规定。

(2) **T、Y 和 K 形节点。**在 3.13.5 中阐述了对圆管和方管连接的免除评定的接头的细则。其应用场合与要求的 WPS 评定和焊工考试要求列于表 4.2。这些要求进一步论述如下。

因为要在管材 T、Y 和 K 形节点上成功地完成（仅从一面焊接的）接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝需要特殊的技艺，因此始终要对焊工所使用的焊接方法进行 6GR 水平的资格评定

(见 4.27)。而且当使用的坡口角度小于 30° 时, 还要求每一焊工按 4.13.4.2 规定进行锐角接头试样的考试。

如果 T、Y 和 K 形节点的坡口细节不同于 3.13.5 免除评定的细节, 或怀疑坡口细节是否符合 WPS 要求时, 则需要按 4.13.4.1 所述制作一实物模型或接头试样, 以核实工艺。

由于有接头设计以外的一些基本变量, 可能要进行附加的 WPS 评定试验。这样包括(但不限于)以下情况:

(a) 使用免除评定范围以外的焊接方法(例如: 短路过渡的 GMAW)。

(b) 使用免除评定范围以外的母材或焊接材料(例如: 使用特许钢材或对厚的材料根部焊道使用的非低氢焊接材料)。

(c) 使用免除评定范围以外的焊接条件(例如: 电流、电压、预热、焊接速度和移动方向)。

(d) 满足特殊用户的试验要求(例如: 冲击试验)。

采用方管截面、单面焊接的 T、Y 和 K 形节点时, 对于接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的评定需作附加试验, 如表 4.1 中所述和图 4.29 所示。在这种试验中, 焊工演示其环绕方管构件角部熔敷完好焊缝的技艺。对于角焊缝与部分熔透坡口焊缝, 不需要宏观腐蚀试验(见条文说明 C-4.27 的进一步讨论)。

在这些试验中, 为了模仿根部状态以下 T、Y 和 K 形节点中难以接近之处, 使用了图 4.27 和 4.29 所示的接头形状。然后按表 4.2 制备用于力学性能试验的常规试样。

对 T、Y 和 K 形节点的部分熔透焊缝也作了规定。它们可由具有 2G 加 5G 位置通过用常用管材资格评定的焊工完成。这在那些不容易得到 6GR 位置资格评定的焊工的地方可能是有好处的。虽然, 许用疲劳强度低一些, 但这种接头的静载强度几乎与完全熔透焊缝者相同, 尤其在用 E70 填充金属焊接低碳钢的地方。

用角焊缝焊接的 T、Y 和 K 形节点甚至可以由资格评定级别更低的焊工完成。不过, 不能认为它们与被连接构件的强度匹配, 而必须由设计者既按照 2.25.2.3、2.21.6、2.24.1 又按照 2.25.1 和 2.25.2 的要求对具体施加的荷载进行校核。

C-4.13.4 无衬垫仅从一面施焊的 T、Y 或 K 形节点。在认真遵守规定的条件(见图 3.6 和图 3.8—3.10)下, 规范允许不用背部衬垫仅从一面施焊完成管材 T、Y 和 K 形节点中的接头完全熔透 (CJP) 焊缝。难于接近的部位和复杂的几何形状使常规技术无法应用。需要焊工有很高水平的技术(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 2.24 和 2.21.6 的限制连接的断面强度相等。

焊接 T、Y 和 K 形节点时, 随着围绕接头的前进, 焊缝几何形状与位置连续变化。图 3.6 和图 3.8—3.10 所示的细节, 系由全位置药皮焊条手工电弧焊 (SMAW) 和快速凝固的短路过渡气体保护电弧焊 (GMAW—S) 的经验发展起来的。这些细节也可用于具有相似快速凝固特性的药芯焊丝电弧焊方法。对于 GMAW 方法, 为了适应焊枪的导电咀, 更宽的坡口(和更宽的根部间隙)是必要的。虽然 GMAW 的短路过渡是不免除评定的, 但接头细节仍适用于这种 GMAW 工艺。

在许多应用中, 特别是小管子情况, 3.12.4 规定的部分熔透焊缝完全满足要求。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要求的不太严格却对工作有显著的经济意义。由于非常大的管子可进入内部施焊, 所以常规的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的双面

焊是可行的。

在提高了疲劳性能（与接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝有联系）的场合，当其应用于 T、Y 和 K 形节点时，规范早在 C-2.21.6.7 中提到过一套“标准”焊缝剖面形状。一旦学会，就应成为焊工所遵循的焊接厚板的自然行为。它们是从下述经验发展而来的。

对于非常薄的管材连接，扁平的焊缝剖面形状（图 3.8）代表了岸用小管材连接中通常能得到的剖面形状。它们也类似于从某些缩尺模型上得到的剖面形状，这些模型被用来开发历史性的疲劳数据库。这里整个的盖面焊缝为单道焊，需要时也带摆动。使用 E6010 焊条，技艺较高的盖面专家能焊成这种下凹的剖面形状，且与邻近母材呈光滑熔合过渡。这看来已是失传的技艺，因为随着高强度钢和较重型截面的出现，需要低氢焊条；而随着高熔敷率的使用，需要半自动焊接方法。

对于更大的厚度，需要时应在焊缝趾部增焊一条角焊缝，以限制焊缝趾部的缺口效应，使之具有 45° 角焊缝的效果（见图 3.9）。这些角焊缝的尺寸应与支构件的厚度成比例，以形成接近于下凹的焊缝形状。不过，我们也受到约束，因为需要保持角焊缝的最小尺寸，以免在焊缝趾部的热影响区产生危险的高硬度（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）。这一可更改的“标准”剖面形状易于使焊工们知晓，并使他们在焊接位置不正时，要比早期版本规范中所示理想化的下凹剖面形状更易于实现。形成的焊缝剖面形状非常像在早期墨西哥湾海上平台上看到的那种，经几十年使用，其疲劳性能已符合 X1、K1 和 DT 类别。

对于支构件厚度超过 0.625 in [16 mm]（典型的弦管厚度超过 1.25 in [32 mm] 的情况，设计人员无疲劳的历史资料可查询，也无早期墨西哥湾平台的经验借鉴。

如果焊缝剖面形状不能进一步改善，则厚度尺寸增大的影响开始显现，疲劳性能将会向较低的疲劳类型 X2 和 K2 下滑。最近欧洲大规格试验的限度为支管厚度 .5 in [38 mm] 弦管厚度 3 in [75 mm]，如果有尖锐缺口的焊缝剖面形状按比例地增大甚至更大，则可以预料有害的尺寸影响也越大（性能低于 X2 和 K2）。图 3.10 描述了向邻近母材平滑过渡的下凹形焊缝剖面形状，它减轻了缺口的影响，并且改善了大型截面的疲劳性能。

第 4 章 B 部分关于 WPS 评定所规定的标准化管材对接接头试样，用于确定 WPS 和材料的冶金性能的完好性是令人满意的。它们不能包括 T、Y 和 K 形节点结构中遇到的、几何形状和位置连续改变的整个范围。

3.13.5 所述的免除评定的接头细则系建立在与实物相同尺寸的、下述连接的模型经验基础上：该连接常常暴露标准试样不能显示出来的实际问题。不免除评定的焊接方法的评定以及基本变量超出免除评定范围的 WPS 的评定要符合 4.13.4.1 条款的规定。该条款规定了接头试样和管材模型的试验。用于方形截面的 WPS 可以以有关焊接位置和适配性的、板材或管材二者之一的试验为基础。当考虑用 T、Y 和 K 形节点的方形截面的模型试验时，应采用方管进行。

坡口角度小于 30° 的节点应按 4.13.4.2 所述作补充试验。

C-4.13.4.4 要求缺口韧性的焊件。焊缝金属和热影响区的韧性应以与母材韧性要求相同的工程需要为基础。然而，如果仅单独增加韧性来防止断裂，实际上是不值得的。疲劳裂纹、氢致冷裂纹和凝固热裂纹也必须处理。规范的其他部分，通过设计、评定、技术和检验的要求，论及到这些其他的难题。缺口韧性只是帮助我们面对这个不完全的答案。

焊缝金属。要求缺口韧性的母材与性能一致的填充金属相连接。为匹配列于表 C-2.4 – C-2.6 中各种类别钢材的性能，推荐使用表 C-4.1 的试验温度和最小能量值。当要求进行试

验以评定 WPS 时（即当工艺不免除评定时，当类似的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变量范围时），评定应包括对熔敷态的焊缝金属夏比 V 形缺口冲击试验。试样应从试验焊缝上切取，并按第 4 章 D 部分冲击试验要求进行冲击试验。单个试样（三个试样中的一个）能量值可以低于 5 ft·lb [7 J] 而不必重新试验。

因为 AWS 的 WPS 主要考虑拉伸强度和焊缝完好性（不太强调断裂韧性），因此考虑增加对断裂有影响的基本变量是适当的，例如，特定牌号的焊丝-焊剂组合，和限制 SAW 焊接材料在按 AWS 等级实际测试的范围之内。注意，对于等级 A 的钢材，规定的能量水平高于 AWS 等级，将要求经过试验以评定所有的 WPS，它们不具备免除评定的状态。

CVN 试验是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，但当它与排除焊缝区域缺陷的无损检测的决定性程序一起使用时，这种冲击已经是并且继续是断裂安全性的合理的度量。。此处再次推荐这一方法是建立在实践的基础上，亦即结构处于中等温度环境下（例如 40°F [4°C] 的海水中暴露于 14°F [-10°C] 的空气中）通常具有良好的断裂表现。对于或多或少的恶劣环境，冲击试验温度应依据当地的温度重新考虑。

对于关键的焊接连接，适于进行技术上更精确的 CTOD 试验。CTOD 试验是用足尺的原型厚度的样品，在代表工程实际的现实温度和应变速率的条件下，进行试验。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，所需要的 CTOD 与预期的应力水平（包括残余应力）和缺陷尺寸有关。

有代表性的 CTOD 值为：从 40°F [4°C] 时 0.004 in. [0.10mm] 到 14°F [-10°C] 时 0.015 in. [0.38mm]。要达到更高的韧性也许会要求对焊接方法所称心的其他特性进行某些困难的权衡，例如，用下坡焊的低线能量和高度精致的焊层，换得上坡道无夹渣和更大的熔深。

HAZ。除了焊缝金属韧性外，应对热影响区 (HAZ) 的性能控制有所考虑。虽然焊接热循环有时改善低韧性的轧制态母材，但这一区域的韧性常会降低。焊道下氢致裂纹常发生在热影响区。管材焊接节点的许多早期失效涉及到断裂，这种断裂要么起源于 HAZ 中，要么穿过 HAZ 而扩展，并常在承受有效的疲劳荷载之前发生。

第 4 章 D 部分给出了对样品的焊缝金属和 HAZ 两者的要求，还包括合同文件中载明的夏比能量值和温度。根据经验可知表 C-4.2 中 HAZ 的平均值能够达到，允许单个试样（三个试样中的一个）的能量值低于 5 ft·lb [7 J] 而无需重新试验。

如果提高组件性能的重要性，应对 HAZ 规定更低的试验温度（意味着更有约束性的 WPS），以使其更加紧密地匹配邻近的焊缝金属和母材的性能，而不致成为这一系统中潜在的薄弱的一环。用户也许希望 HAZ 的取样比第 4 章 D 部分要求的单组夏比试样范围更大，例如，离熔合线 0.4mm、2mm 和 5mm 处取样。（这些尺寸可随线能量而改变。）在更大范围内取样，则增加了发现具有低韧性值的局部脆性区的可能性。

HAZ 的韧性既取决于焊接变素，也取决于钢材。处理这一问题的更好的代用办法就是对钢材的可焊性进行预先评定。条文说明 C-2 的参考资料 25 认真研究出既应用 CTOD、又采用夏比试验的预先评定的工艺。这种预先评定试验目前被用作对高性能钢（例如 API 技术规范 2W 和 2Y 钢）的补充要求，并被某些制造商承认作为要求。

小心：本规范第 4 章允许通过对一种 50 ksi [345 MPa] 钢的试验以评定其他 50 ksi [345 MPa] 级和级别更低的钢。因此，选择 API-2H-50-Z 钢（含硫量很低，具有 200 ft·lb [270 J] 的上平台夏比冲击值）用作评定试板，即使施焊中采用高线能量与高道间温度，事实上都能保证满足 HAZ CVN 25 ft·lb [34 J] 冲击值的要求。没有一个更好的方法能够根据这

一试验结果去推断普通的 A572 50 级钢预期能再现 HAZ 的冲击能量，或者对 API-2H-50-Z 试验呈 8:1 变坏的试验结果。因此，如果 HAZ 韧性值是由焊接工艺评定 (WPS) 试验而得到的话，应考虑按不同钢材级别、不同厚度范围和不同的加工途径分别进行夏比试验。

局部脆化区 (LBZ)。在焊接热影响区内可能存在局部脆化区域。在一定条件下，这些脆化区可能是有害的。工程师应考虑 LBZ 的危险，并决定应在采取什么对策以限制 LBZ 的范围和它们对结构性能的影响。海洋平台实践中的一些对策和缓解情况如下：

- (1) 采用有中等抗裂能力的钢材，例如在 NRL 落锤试验中不破裂（小伤）的钢材
- (2) 对 42 ksi 至 50 ksi [290 至 345MPa] 的常规正火碳锰钢采取过强度匹配和应变硬化，其中焊缝和热影响区屈服强度高于邻近母材，迫使塑性应变向别处扩展
- (3) 管材的焊接接头中疲劳裂纹长大而达到相当大的尺寸之前已形成向外超出 HAZ 的趋势（假设其避免了连接套管焊缝与支管接触处不利的相切）
- (4) 焊接工艺中对焊层厚度实行免除评定的限制，这种限制和遵守线能量的限值一起，促进了热影响区内晶粒细化，并使 LBZ 范围减至最小
- (5) 改变化学成分，例如，减少钒和氮含量，增加钛含量

C-4.16 需要评定的焊接方法

本规范并未将焊接局限于 3.1 节所述免除评定的 WPS 范围内。当其他 WPS 和新观念变得合用时，只要按第 4 章 B 部分所述要求进行评定，就允许使用。如果承包商以前已评定的 WPS 符合第 4 章 B 部分的所有要求，结构焊接委员会建议工程师接受以前试验的正式成文资料，而不再要求进行试验。正式文件意味着承包商已经遵守第 4 章 B 部分的要求，并且评定试验的结果记录在合适的表格中，如附录 N 所示。在使用附录 N 的表格时，应提供所有基本系数和完成的评定试验的结果等合适的资料。

这是适用于任何情况的一般规定。工程师还负责根据特定结构和使用情况，接受符合其他标准的评定。结构焊接委员会不对按任何其他焊接标准进行的评定表示意见。

C-4.18 WPS 要求 (ESW/EGW)

电渣焊 (ESW) 和气电焊 (EGW) 的方法、工艺和接头细节，本规范都未给予免除评定的地位。WPS 必须遵守第 4 章的要求，并且必须按第 4 章要求制定。由于这两种方法都有高的线能量从而会导致热影响区力学性能的严重恶化，因此其中任何一种方法均禁止用于调质钢的焊接。

C-4.18.2 全焊缝金属拉伸试验要求。每种焊接工艺的试验都有必要证实焊缝金属具有与母材相应的性能。全焊缝金属拉伸试样必须符合下述文件最新版规定的力学性能要求：AWS A5.25 关于电渣焊用碳钢和低合金钢焊丝和焊剂的技术要求，或 AWS A5.26 关于气电焊用碳钢和低合金钢焊丝的技术要求。

C 部分 技术鉴定

C-4.19 概述

焊工资格评定考试专门用于确认焊工对任何给定的试验接头具有加工完好焊缝的能力。在顺利完成资格评定考试后，应认为该焊工具有最起码合格的资格。

了解被焊材料有益于焊工制成完好焊件；因此，建议在焊接调质钢之前，向焊工介绍这

种材料的性能，或介绍已有的以前焊接特殊钢材的经验。

有时，承包商也有可能改进或增添新的控制设备。那么，以前资格评定合格的自动焊工就可能需要进行培训，以熟悉新设备。这里强调的是“培训”，而不是“重作资格评定”，因为在一块板材或一段管材上适当地熔敷几条焊道也许就足够了。意图是承包商能够训练自动焊工使用新设备进行焊接。

C-4.23 基本变量

规范根据一定的基本参数考虑焊工制作完好焊缝的能力，这些基本参数列于表 4.12。

C-表 4.10。在圆管（或方管）材料上产品结构焊接并不一定意味着管材的焊接就此完成。很明显，沿圆管周长的焊接和沿平行于管的轴线（中心线）的焊接是不同的。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。显然，沿平行于管材轴线地直线进行焊接的技巧与笔直地焊接钢板轧制型材的技巧毫无二致；因此，管材产品结构的限制不适用于直线焊接的情况。参考图 4.1。

允许用实际产品尺寸的圆管或方管对焊工进行资格评定，因为承包商并不总是能够得到表 4.12 规定的、有关焊工资格评定用的尺寸的管材。

C-表 4.13。SMAW 焊条分组与所需要的焊工技术有关。F 组标号允许焊工去使用表中所列数字序号较低的标号的焊条，但该焊工必须经某一组标号的焊条评定合格。例如，使用 E6010 焊条评定合格的焊工也具有使用 E6011 焊条的资格，使用分组标号 F3 评定合格的焊工可以使用分组标号 F2 和 F1 的焊条焊接，但没有使用分组标号 F4 焊条的资格。

C-4.27 管材连接的 CJP 坡口焊缝

用方管对焊工进行资格评定时，从平面部分切取试样进行的弯曲试验并不能评价焊工环绕比较陡变的转角处加工完好焊缝的能力。这些弯曲试验不能满足 T、Y 和 K 形节点的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的要求，因为这些节点的角部可能存在很大的应力。。当要求接头完全熔透 (CJP) 时，由于涉及到焊工证实他们焊接方管角部的技能，所以开发了图 4.29 的角部宏观腐蚀试验。

对于打算焊接方管 T、Y 和 K 形连接中的接头安全熔透 (CJP) 坡口焊缝的焊工，图 4.29 所示的角部宏观腐蚀试验是要求补充的技能测试。

对于这种情况，如果在按图 4.27 要求的圆管或方管上考试并已通过 6GR 焊工资格评定的焊工，如果符合表 4.10 和 4.13.4.2 的所有要求，则仅需通过图 4.29 要求的补充的角部宏观腐蚀试验即可。

如果承包商希望对没有 6GR 资格的焊工用方管进行 T、Y 和 K 形连接中的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的评定时，该焊工必须按照表 4.11 的限制、使用圆管或方管来焊接图 4.28 所示的 6GR 试件。另外，焊工必须成功地通过图 4.29 所示的角部宏观腐蚀试验。或者，作为一种选择，如果方形截面用于图 4.28，则从所焊试件上切取角部截面并作宏观腐蚀试验。

对圆管 2G 加上 5G 或 6G 的资格评定也适用于对方管对接接头的资格评定（适用性依据于厚度，但不考虑直径），但反之则不然。对于这些对接接头，图 4.29 的角部宏观腐蚀试验并不必要，因为所有产品接头都需按 6.11.1 要求作无损检测。

表 4.11 并不划分圆管与方管。为此作如下说明：

(1) 对圆管 6GR 的资格评定也适用于对方管的 T、Y 和 K 形节点和坡口焊缝的资格评定。

(2) 对圆管 5G 和 2G 的资格评定也适用于对方管的资格评定（适用性依据于厚度，但不考虑直径），但反之则不然。

(3) 对方管坡口焊缝的资格评定也适用于对板材的资格评定（如在本规范表 4.10 和 4.23 条款限制范围内，则反之亦然。）

(4) 用方管（对焊工进行资格）评定时，从平面部分切取试样进行的弯曲试验不能评价焊工环绕角部加工完好焊缝的能力。这些弯曲试验并不满足 T、Y 和 K 形节点的要求，因为在这些节点中，角部应力很大。在用方管进行 6GR 位置考试时，建议用射线照像法对角部进行评估。

表 C-4.1
CVN 试验值（参见 C-4.13.4.4）

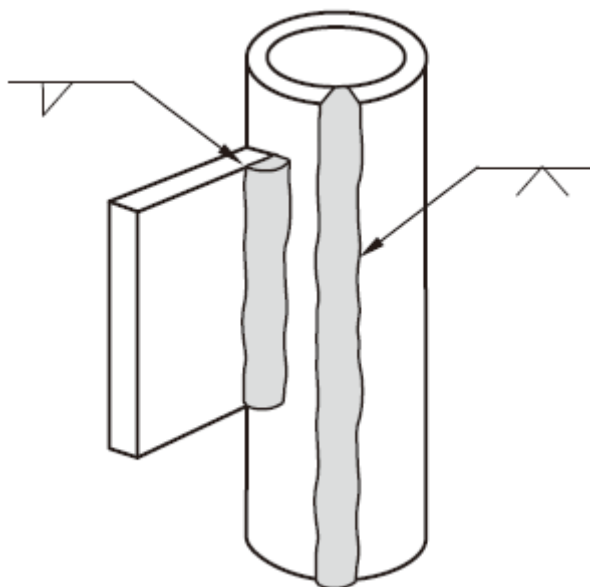
钢材分组	钢材等级	CVN 试验温度	焊缝金属平均值	
			1Mb	ft lb (焦耳)
I	C	0°F[–18°C]	20	[27]
I	B	0°F[–18°C]	20	[27]
I	A	–20°F [–29°C]	20	[27]
II	C	0°F[–18°C]	20	[27]
II	B	–20°F [–29°C]	20	[27]
II	A	–40°F [–40°C]	25	[34]
III	C	–20°F [–29°C]	20	[27]
III	B	–40°F [–40°C]	20	[27]
III	A	–40°F [–40°C]	30	[40]

IV 和 V 特别研究

注：规范的要求代表来自上述表格的最低共同水准。

表 C-4.2
HAZ CVN 试验值（参见 C-4.13.4.4）

钢材分组	钢材等级	CVN 试验温度	热影响区	
			ft lb	ft lb (焦耳)
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]



注：不要求进行管材焊接评定，而对于平焊、横焊、立焊和仰焊位置，用板材进行坡口焊缝和角焊缝的评定可以接受。

图 C-4.1 — 不需进行管材焊接评定的管材的焊接类型
(见表4.9)

C-5. 制造

C-5.1 范围

第 5 章中所含的验收条件是打算向那些在制作和安装中建立良好工艺的生产厂商、监造人员、工程师和焊工提出明确要求。遵守这些条件是能够达到的并且是被期望的。如果普遍地达不到这些工艺条件，就表示需要修改。

C-5.2 母材

ASTM A6 和 A20 技术条件提出了钢材交货要求，规定了尺寸公差，述及质量要求和轧制状态的类型。

用于结构的材料通常以轧制状态供货。工程师应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光洁的表面质量时，应在提供给投标者的资料中规定。

列于本规范表 3.1 和表 4.9 作为认可的钢材，不但适用于周期性荷载和静荷载的焊接结构，也同样适用于管结构。被列入的还有 ASTM、美国船检局 (ABS) 和美国石油学会 (API) 等技术条件中已用于管材结构的各类钢材。所有认可的钢材，可能按照本规范作了评定，或符合本规范免除评定条款制订工艺进行焊接，都被认为是可焊接的。规范认可的每一种钢材列于表 3.1 和表 4.9 中。

ASTM 技术条件中用于建筑结构的一些等级的结构钢已建立起完善的焊接工艺，这些钢材连同 ASTM 技术条件中所包含的其他类型很少应用、但适用于静荷载结构的钢材，列入了表 3.1 和表 4.9。ASTM A588, A514 和 A517 技术条件包含了一些级别，其化学成分适用于不涂漆或耐候条件。ASTM A618 钢具有较高强抗腐蚀能力。

通常认为适用于焊接周期荷载结构的结构钢已作为认可的钢材列入了表 3.1 和表 4.9 中。虽不常用但适用于周期荷载结构的其他 ASTM 钢种也列入其中作为认可钢材。符合这些补充的 ASTM 技术条件的 A500, A501 和 A618 的钢材，包括结构管材，以及 A516 和 A517 压力容器板材，都被认为是可焊接的，也和适用于周期荷载结构的认可钢材列入表中。

设计人员可采用列入了表 3.1 和表 4.9 的全部认可钢材，它们是可焊接的，其最低规定屈服强度为 30 ksi 至 100 ksi [210MPa 至 690MPa]，其中一些材料具有适用于低温的缺口韧性。

其它钢材，当其焊接性按第 4 章评定工艺要求评定合格后也可采用。

规范限制使用那些最低规定屈服强度不超过 100 ksi [690MPa] 的钢材。2.25.1 中的一些条款规定取决于钢的应变硬化的能力。

C-5.3 焊接材料和焊条的要求

C-5.3.1.3 露点/制造商证书。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] 露点可换算为约 128×10^6 (ppm) 体积的水蒸汽，或约 0.01% 的有效含水率。这一含水率看来很低，但是，当焊接温度下分解时，能使伴随焊丝产生的氢增加氢源。因此，强制性规定保护气体的露点为： -40°F [-40°C] 或更低。证实按 AWSA5.32 采购的保护气符合这一要求。

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。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，应严格遵守规范条款中关于低氢焊条搬运、贮存、干燥和使用的规定。

C-5.3.2.1 低氢焊条贮存条件。术语“低氢”广泛地用于焊接业，但是这个术语尚未在 AWS A3.0 这样的行业文献中正式定义，结果，这个术语已经产生了大量的混淆和误解。给这个进程进行一个简要的介绍可能是有益的。

氢致裂纹 (HIC) 现象通常与焊件中三个因素的同时交互作用相关：(1) 高的作用或残余应力，(2) 钢材中对于氢致裂纹 (HIC) 敏感的显微组织的出现，和 (3) 高浓度可扩散氢（原子氢）的出现。在焊接结构件场合，第一个因素通常是由所用的填充金属和母材的强度等级确定的。其余两个因素典型地是通过预热（促使较少的 HIC-敏感微观组织）和采用适当的焊接工艺与技术以减少氢来控制的。为了避免 HIC，有许多预热与氢控组合可以采用。例如，可扩散氢浓度的高等级，可以为预热和道间温度的高等级所容忍。相反，对于可扩散氢浓度的低等级，则可以使用低的预热和道间温度。

多年以来，电弧焊仅有的真正选择是药皮焊条电弧焊 (SMAW)。它使用纤维质或金红石焊条（例如 E6010）是对以前使用裸焊条的巨大进步，极大地减少了焊缝熔滴中的氢含量。然而，为焊缝质量提供这一改进的同一焊条涂料，它是通过在焊条涂层进行电弧分解时允许大量的氢进入焊接件来实现的。（进入焊缝中的氢的）数量是变化的，但每 100 克焊缝金属中 40 ml 至 80 ml 可扩散氢并不反常。这一高水平的可扩散氢是可接受的。当焊接限制在对 HIC 少敏感的低强度钢上时，无裂纹焊缝是可能的。对于较敏感的钢和较厚的钢，HIC 倾向用附加的预热和道间温度来加以克服。但是，HIC 总是一个平凡的出现，特别在较厚的焊件上，在那里不充分的预热和很高的残余应力使得裂纹几乎不可避免。

焊接行业为应对这一挑战采取了开发低氢涂料 SMAW 焊条的措施。这样的涂料以前和今天仍然有特别的焊条涂料允许的最大含水量极限。这样的焊条包括了 AWS A5.1 和 A5.5 的 E7015、E7016、E7018 和 E7028 类别。这些产品以“低氢焊条”而有名，即使这个术语尚未被 AWS 标准所定义。不过，这些“低氢焊条”与可选用的纤维质或金红石焊条的对比度倒是清楚的：用低氢涂料的焊条焊成的焊缝金属有充分低的氢含量。这使得“难焊钢材”可以少用或不用预热就能焊接，大大地减少了 HIC。后来开发的 GMAW 和 FCAW 半自动化方法，能使焊件如象采用低氢 SMAW 焊条同样的氢水平那样生产。但是，术语“低氢”不再用于这些焊接方法和它们的焊条（丝）。此后也不审查其氢最小化进程。为了掌握这些方法，术语如“低氢工艺”之类开始使用，但还没有正式定义。

什么数字实际上才能代表合适的“低氢”的大量争论仍在继续着。今天，实际焊缝金属中可扩散氢的含量已能够被测量，并典型地用单位 ml/100 g 表示焊缝金属中的氢含量。胜于争论“低氢”二字的定义，今天更普遍的是讨论这个测量单位里的氢含量。对于本规范规定的大多数典型行业应用而言，这些半自动化焊接方法，都将充分地提供低等级的氢引入，以防止 HIC。合同文件中对“低氢”焊条的规定，某些时候已被严格地解释为排除半自动焊接方法，代之以要求使用有低氢涂料的 SMAW 焊条。事实上，这种合同语言源自于 20 世纪 50 年代的思维模式，用以区分 SMAW 焊条中那些不能熔滴出低氢含量的焊缝金属的焊条。通常地，没有理由限制半自动化焊接方法的使用。进一步讲，规范 D1.1 对合格的填充金属、钢材和预热极限提供了必要的限制，通常没有必要在合同文件中对合格的填充金属增加额外的限制。对于预热和其他目标，规范 D1.1 把 GMAW、FCAW、SAW、GTAW、ESW 和 EGW 与“低氢”SMAW 作同样对待。

对碳钢低氢焊条，AWS A5.1/A5.1M 药皮焊条电弧焊用碳钢焊条的技术条件规定：按“接收状态，或者经改善状态”，除了 E7018M 以外，低氢焊条的水份限制为其药皮重量的 0.6%，而 E7018M 的水份限制为 0.1%。抗潮低氢焊条用了标志 R，规定水份限制为 0.3%。对于 AWS A5.5/A5.5M 药皮焊条电弧焊用低合金钢焊条技术条件中包括的合金钢低氢焊条，规定

了其制造完工状态的药皮最大含水量。E70XX-X 级焊条为 0.4%；E80XX-X 级焊条为 0.2%；E90XX-X、E100XX-X、E110XX-X 和 E120XX-X 级焊条的为 0.15%。

经验表明，焊条药皮含水量的上述规定，在某些使用 E90XX-X 以及更低级别焊条的场合还不够严格。低于 E100XX-X 级的焊条在焊接 ASTM A514 和 A517 高强度调质钢时，应有更严格的含水量要求。所有这类焊条在使用前都要在 700°F 至 800°F（370°C 至 430°C）温度条件下干燥。AWS A5.5 对低于 E90XX-X 级的焊条不规定含水量要低于 0.15%，但所要求的干燥至少要达到这种含水量。由于高强度钢和焊缝金属对氢致裂纹十分敏感，所以这种措施是必要的。

试验表明，代表某一给定 AWS 级别的各种牌号的焊条，其吸水率可能存在很大差异。一些焊条在标准的暴露时间内只吸收很少的潮气，而另一些焊条则吸潮很快。针对这种情况以及为保证能加工出完好焊缝，5.3.2.1 关于湿度控制的要求保守些是必要的。

焊条从贮存烘箱取出后使用的时间限制也许对某些使用者过于严格。低湿度区域内的吸潮率低于高湿度区域内的吸潮率。本规范考虑是最严重的情况。

C-5.3.3.1 焊丝 — 焊剂组合。如果遵守了 3.3 条款和表 3.1 的规定，则符合该技术条件中等级标号的焊丝和焊剂可免除评定地使用。承包商应遵循焊剂制造商的建议正确使用焊剂。

C-5.3.3.2 焊剂状态。本节的要求对于保证不因焊剂吸潮而将氢带入焊缝是必要的。凡因不适当贮存或包装损坏而对焊剂是否可用产生怀疑时，应将焊剂废弃或按制造商的推荐将焊剂烘干。

C-5.3.3.3 焊剂回收。关于通过真空回收系统回收未熔化焊剂，应分清是熔炼焊剂还是陶质焊剂。通常，熔炼焊剂回收时颗粒会变得比较粗大（特别是粒度小于 200 目者）。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大颗粒的比例。为补偿破碎的焊剂，在重新使用前需要增加至少 25% 的新鲜焊剂（虽然使用者通常增加 50%）。对这两种类别的焊剂，重要的是在回收焊剂前要分离出可能的金属夹杂（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。必须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 粉碎的焊渣。在埋弧焊过程中形成的焊渣不可能有与未使用过的（新鲜）焊剂相同的化学成分。其成分受原来焊剂的成分、母材和焊丝的成分以及焊接参数的影响。

虽然粉碎和再用一些埋弧焊渣作为焊剂是可行的，但不论多少新鲜焊剂加入在粉碎了的焊渣中，它会是一个新的化学成分不同的焊剂。这些能按 AWS A5.17 或 5.23 技术条件分类，但不应认为与新鲜焊剂相同。

C-5.3.4 GMAW/FCAW 焊条。对于 GMAW 和 FCAW，现在都有适用于低合金钢焊缝金属的 AWS 填充金属技术条件。当焊丝符合 AWS A5.28 气体保护电弧焊用低合金钢填充金属技术条件，或符合 AWS A5.29 药芯焊丝电弧焊用低合金钢焊丝技术条件要求时，可以与免除评定的工艺一起使用低合金钢焊丝。

C-5.4 ESW 和 EGW 方法

ESW 和 EGW 工艺已在 5.4 中详细说明，4.8.2 条款中列出这两种工艺的基本参数。

由于焊接参数会影响操作过程，而这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的能力，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 由于电渣焊和气电焊能够以很高的沉积速率将焊缝金属沉积到一个焊道里的厚板内，且很少会引起变形，电渣焊和气电焊工艺也是很有用的。电渣焊和气电焊工艺相对较高的线能量和相对较低的冷却速度能够在调制 (Q&T)、热机械控制工艺 (TMCP) 和沉淀硬化 (PH) 钢中生成带有软化热影响区域 (HAZ) 的焊缝。在这些焊缝的热影响区域，可能会出现断裂韧性降低的情况，如局部脆化区域 (LBZ)。

疲劳裂纹通常最先出现在焊趾位置，在这一位置往往会产生应力集中。疲劳裂纹增长进度与主主应力场垂直，与活荷载应力范围成函数关系。电渣焊和气电焊工艺焊缝中若存在较大面积的热影响区域或出现任意局部脆化区域，这都意味着在断裂韧性较低的区域，可能会存在更大的疲劳裂纹。此外，高荷载可能会在 HAZ 软化区域形成任意塑性应力。这两种因素，无论是单独作用，还是联合作用，都会增加脆性断裂的危险。采用电渣焊和气电焊工艺的坡口接头设计，由于其使得 HAZ 和 LBZ 垂直于拉伸应力，使得问题更为复杂。标准拉伸和弯曲试验工艺评定不会反映出这一情况。如果将这些问题应用于预期应用，则设计人员或工程师应考虑额外增加试验，如 CTOD（裂纹顶端张开位移）断裂韧性和疲劳试验。

鼓励希望使用这类工艺的工程师和承包商去研究与材料和工艺选择相关的潜在结果。ESW-NG，作为工艺的一种特定变体，具有较低的线能量，因此能够减小热影响区范围，并减小对热影响区缺口韧性的损伤。

C-5.5 WPS 变量

本规范的意图是使焊工、自动焊工和定位焊工能够正确使用 WPS。这可以通过经验、培训或指导（必要时）来实现和获得。

C-5.7 调质钢的热输入控制

调质钢焊缝热影响区 (HAZ) 的强度和韧性与冷却速度有关。与适用于其他钢材的原则相反，为了保持足够的强度与韧性，焊接热量需要相当快地散失。奥氏体化的热影响区的冷却速度必须足够快速，以保证在钢的显微组织中形成硬化组成。过热的调质钢以慢的速度冷却会妨碍形成硬化的显微组织。

用许多小焊缝熔敷，由于细化晶粒及下一焊道的回火作用而改善了焊缝的缺口韧性。横向摆动焊接，其焊接速度低而增加了线能量，因此不推荐采用。由于各种各样的调质钢最大热输入能量差异很大，所以应严格按照钢材生产商开发和推荐的热输入能量进行焊接。

C-5.8 消除应力热处理

本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：对于调质钢的焊接装配件最高加热至 1100°F [600°C]，对于其他钢，可加热至 1100°F 至 1200°F [600°C 至 650°C]。在这一温度下保温的时间按表 5.2 规定。5.8.2 中另一种方法是允许降低温度达到第一种方法中规定的最低温度以下，但增加保温时间。当焊接的装配件不能够在较高温度下进行焊后热处理时，采用后一种方法。这些温度都足够地低于导致金属性能变化的临界温度。

如果焊后热处理的目的是消除焊缝应力，则保温时间的依据为焊缝厚度，即使焊件的一些材料厚度大于焊缝厚度也如此。如果焊后热处理的目的是保持焊件在后续机加工中的尺寸稳定性，则保温时间依据焊件上最厚组件而确定。某些调质钢，如将其当作碳钢或低合金钢

进行消除应力热处理，则其显微组织可能发生不良变化，从而引起力学性能恶化，或产生裂纹，或两者兼具。这种钢材只应该在向钢材生产厂咨询之后才能消除应力热处理，并严格地按照他们的建议进行。

注意：必须考虑应力释放可能引起的变形。

C-5.10 衬垫

除管材结构允许的情况外，要求所有免除评定的、仅从一面焊接的、接头完全熔透（CJP）坡口焊缝，形成焊缝金属与钢衬垫完全熔合。其他如 5.22.1 条款所列衬垫，如果按第 4 章要求评定合格，也可使用。如使用钢衬垫，则必须在整个焊缝长度内连续（5.10.2 中提供的除外）。如钢衬垫不连续，则衬垫板未焊的对接接头可能成为引发裂纹的应力源。

C-5.10.2 全长衬垫。经验表明，钢衬垫的密贴装配而未曾焊接的平头对接接头构成了严重的缺口，当未熔合区域垂直于应力场时，这种类似裂纹的情况很可能会导致焊缝中的横向裂纹。这类裂纹在大多数情况下会扩展到母材中。

衬垫的不连续性在某些情况下是不可避免的，如当试样的几何结构要求不连续性时；对于某些难以接近的位置，也很难以执行衬垫焊接。与构件轴平行的焊接衬垫会对构件产生应力。当未焊接的不连续性与应力场垂直时，其会造成应力集中和缺陷。应力集中可能会引起断裂。残余应力和高限制周期性负载会增加这类断裂的危险。抗压应力可减小断裂的风险，除非在外加应力循环上有相反的应力。本规范允许在选择特定应用中或在工程师许可的应用中存在不连续性衬垫。

C-5.10.4 周期载荷的非管材连接。横过所承受的应力方向的钢衬垫形成一个应力集中点，并可能成为周期荷载结构中引发疲劳裂纹的源头。因此，5.10.4 条款要求在周期荷载结构中消除与计算应力方向呈横向的衬垫。

C-5.12 焊接环境

C-5.12.2 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，焊工不能焊出最好的焊缝。有关使用加热装置或屏蔽以保护焊工和正在焊接的部位、使其免受恶劣气候条件的影响，可参见 5.12.2。如果在这种装置或屏蔽中环境温度等于或大于 0°F [- 20°C]，则 5.12.2 中的禁止条款便不适用。在构造或屏蔽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-5.13 符合设计要求

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，可不作修整。打算从超出尺寸的焊缝去除多余的材料是没有意义的。足够的焊缝厚度尺寸以及符合 5.4 条款规定的焊缝剖面形状，应该为唯一的合格判据。

C-5.14 最小角焊缝尺寸

规范规定最小角焊缝尺寸系依据两个独立的考虑：

(1) 对于非低氢焊接方法，规定的最小尺寸旨在保证足够的线能量，以减小在热影响区或焊缝金属中产生裂纹的可能性。

(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减小开裂的可能性时，规定的最小尺寸是要与较薄的连接件（厚度）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，则采用此处最小角焊缝尺寸。

表 5.8 的目的进一步说明如下：根据表 3.2 可免除预热的、厚度等于和小于 3/4 英寸 [20 mm] 的母材。其角焊缝尺寸应该大于这些厚度所要求的最小尺寸，并且多道焊的每一焊道必须具有相同的线能量，其值按照表 5.8 要求的最小角焊缝的尺寸决定。

C-5.15 母材的制备

大梁腹板与翼缘板连接的焊缝通常是以较快焊接速度焊成的最小角焊缝；在厚的翼缘板上常常存在严重的轧制氧化皮，在这种情况下焊成的焊缝可能出现管状气孔。仅对大梁的这些腹板-翼缘板焊缝，完全清除轧制氧化皮的指令性要求适用。

在加劲材连接腹板的焊缝中，组成接头的较薄构件上的轻微轧制氧化皮减少了形成管状气孔的可能性。在柱中，腹板连接翼缘板的焊缝尺寸一般较大，多道焊的焊接速度相对较慢，在这种条件下，产生的气体也许在熔融金属凝固前有时间逸出。

当在焊缝处存在影响焊缝质量的缺陷时，要求承包商按 5.15.1.2 条款予以返修。

C-5.15.1.2 修补。在钢材的切割表面上看到的轧制引起的缺陷是由夹渣、高熔点夹杂物、脱氧产物或气孔引起的。切割表面缺陷的修补工艺对于厚度方向上承受拉力的材料可能还不充分。对其他方向的荷载，本节内容允许在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构件的承载能力一般无有害影响。使用者应注意：5.15.1.2 的修补工艺仅打算用来修整具有剪切或热切割边缘的材料。

C-5.15.2 接头制备。由于工艺过程中有很高的线能量，因此禁止在调质钢或正火钢上进行氧气刨槽（见 C-5.7）。

C-5.15.4.3 粗糙度要求。对超过表面粗糙度最大允许值的热切割表面可以返修。偶然的有限深度的缺口或凹槽也可作返修，更深的仅在同意后才能返修。深度的限制是委员会集体的意见，它反映了结构的要求以及承包商有代表性的工艺能力。

所谓“偶然的缺口或凹槽”，委员会不规定具体数值，这是设想：工程师最熟悉特定结构的情况，由他来判断是否合格比较好。工程师可进行选择，以确定关于偶然缺口和凹槽的合格判据。

C-5.16 内凹拐角

规定了内凹拐角的最小半径，以免受到应力集中地影响。本规范并未指定热轧钢管或焊接组合截面梁开槽拐角的最小半径，因为任何任意选定的最小半径都会扩展到梁角或翼缘板底部，在有些情况下，使得半径很难达到或不可能达到。此外，只有屈服应力才可容纳峰值应力，且任意颗粒尺寸半径的差异对弹性应力集中系数的大小影响不大。

对于周期荷载结构，静荷载和管材结构允许，并且一般要求，内凹拐角半径较小。对于一些标准的螺栓连接或铆接连接，这种较小的半径是必要的。

不合格的内凹拐角的举例见图 C-5.1。

C-5.17 焊缝穿越孔、梁开槽以及连接材料

C-5.17.1 焊接穿越孔尺寸。已凝固而仍为热态的焊缝金属当冷却到环境温度时明显收缩。当两个部件之间的大尺寸焊缝收缩而部件不能自由移动加以调节收缩变形时，会导致邻近焊缝的材料中产生应变，并能超过屈服点的应变值。在厚的材料中，焊缝不但在宽度和长度方向上，也在厚度方向上受到约束，产生的三向应力可能抑制了塑性钢材以塑性方式变形的能力。图 C-5.2 为形成开槽口的良好实例。

在这种状态下，脆性断裂的可能性增加。放宽焊缝穿越孔的尺寸，如图 5.2 所示，有助

于更减轻集中的焊缝收缩应变，避免在正交方向上焊缝密集，并提供足够的间距，可高质量地进行孔的制备，焊接，并易于检查。不推荐用焊接封堵焊缝穿越孔。如出于外形美观或防腐保护的理理由必须封闭焊缝穿越孔，用胶粘材料比焊接更可取。

C-5.17.2 镀锌型材和 C-5.17.3 重型型材。在切割重型型材槽口和穿越孔之前进行预热，及对即将镀锌的截面加以研磨的目的在于减少硬表面涂层的形成及裂纹形成的可能。

C-5.19 组装部件的拱度

热锻（也称火焰收缩）是用局部加热使构件变形。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，所用温度不超过 5.26.2 条款规定的最高温度。

C-5.22 接头尺寸公差

C-5.22.1 角焊缝装配。除了搭接接头和衬垫板条要求表面之间密合外，厚度不超过 3 英寸 [75mm] 的角焊缝装配的最大间隙为 3/16 英寸 [5mm]。材料厚度超过 3 英寸 [75mm] 的角焊缝装配最大间隙为 5/16 英寸 [8mm]。

因为轧制钢板的许用公差以及难以使得厚部件更贴近于直线，允许存在这些间隙是必要的。规范预先假定材料在装配前经过矫直，并在装配过程中应用外部加力机械迫使并保持材料成一直线。

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封闭。应当知道：当任何施加外力的千斤顶去除以后，将会有附加应力作用于焊缝。尺寸等于或大于 1/16 英寸 [2mm] 的任何间隙，都要求增大角焊缝尺寸，其增加值即为间隙量。

C-5.22.2 PJP 坡口焊缝装配。参见 C-5.22.1。

C-5.22.3 对接接头直线性。对于对接接头焊缝连接的对接部件，其运用直线性要求的典型示意图可参见图 C-5.3 和图 C-5.4。

C-5.22.4.2 管材横截面偏差。与第 2 章静荷载和非管材周期荷载要求相比，对于无衬垫仅从一面施焊的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝，要求更为严格的（管材横截面的）许用偏差。

C-5.22.4.3 纠正。宽于表 5.5 要求的根部间隙，可以在坡口面的一侧或两侧堆焊修正。在修正根部间隙时，用户有必要事先获得工程师的认可。只有在接头已经修正到符合规定的根部间隙公差后，才能施焊最终的焊缝，以保证最小的收缩量。

C-5.23 焊接构件的尺寸公差

C-5.23.2 和 C-5.23.3 梁和大梁直线度。焊接的组装构件的平直度允许偏差与 ASTM A6 中对热轧型材的要求相同。

C-5.23.4 梁和大梁拱度（无埋设于混凝土中的拱腋）。焊接梁或大梁的起拱是用以消除构件承受全部荷载后的下弯现象，或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，为一致起见，拱度的允许偏差系根据分布的、引起抛物线形状挠曲的荷载的、典型荷载情况而确定。

当对待装配构件钻孔以提供现场拼装、或准备现场拼焊时，要测量所呈现的容许偏差（参见图 C-5.6）。

当设计面板带灌注于混凝土中的拱腋时，假定设计拱腋为 2 英寸 [50mm]，对梁的跨度中央的公差为 1-1/2 英寸 [40mm]。其 1/2 英寸 [12mm] 的差值用于现场的偏差和其他偶发情况。

当承包商检查单个构件时，应当注意保证组装件符合公差的要求。

对规定的拱度有两套允许的公差。第一套用于所有的焊接梁和大梁，但那些顶部翼缘板埋进混凝土中而无设计的混凝土拱腋的构件除外。这里的拱度公差只为正值而不允许负公差。

第二套公差用于那些顶部翼缘板埋进混凝土中且无设计拱腋的焊接构件；允许的偏差既有正值也有负值。

C-5.23.6.1 测量。本规范对动荷载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。对挑口装饰大梁的公差要求较严仅是出于外观的考虑，因为结构上的要求没有差别。即便如此，对挑口装饰大梁的允许变形也多少引人注目，特别当构件涂以发光的面漆时。挑口装饰大梁的公差是要满足大多数要求。如果由于外观要求而需要更为严格的公差，应按 5.23.6.1 所述包含在合同文件中，但一定程度的变形是不可避免的。

确定大梁腹板平正度的偏差应作如下测量：测量从腹板的公称中心线至一直边的偏离值，此直边的长度大于最小的节距尺寸，并位于平行于腹板公称平面的平面上。测量必须在安装之前进行。按图 C-5.5 所示进行测量可决定偏差值。

C-5.23.6.2 静荷载非管材结构。两面有中间加劲材且承受动荷载的腹板平正度公差与桥梁的内部大梁者相同（参见 5.23.6.3）。当仅受静荷载时，公差可稍微放宽。就腹板仅一面有中间加劲材而言，其公差不论是对于周期荷载还是对于静荷载都一样，并且与桥梁内部大梁者相同。

注：关于建筑用结构钢的设计、制作和安装的 AISC 技术条件指出，5.23.6.2 条款给出的大梁腹板的平正度公差不需要用于静荷载大梁。

C-5.23.6.4 过量变形。如果现场螺栓拼接板的设置会使变形量减少到另一种允许值，则允许在大梁的端部节距中的腹板变形两倍于内部大梁或挑口装饰大梁的允许变形量。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拼装，而使螺栓拼板的变形减少至允许范围。

C-5.23.8 翼缘板翘曲和倾斜。测量焊接梁和大梁的翼缘板翘曲和倾斜的综合量 Δ 如图 C-5.7 所示。委员会认为，这一公差比 ASTM A6 技术条件的判据更易于使用，尽管这两种公差相当吻合。

由于敞开（非箱形）型材的扭转刚性很低，因此不规定扭转公差。在安装中与其他构件相互连接时，这种扭转就很容易地消除。箱形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 和 W 型材扭转刚性的 1000 倍。封闭箱形截面一旦焊好，如果不切开一角使之拆开并重焊，则其扭转很难矫正。由于因焊接而引起的扭转不能完全预测，且封闭箱形构件极难矫正，故应遵照下述要求：

(1) 设计中应体现恰如其分的条款的规定，以保证这种构件带有某种程度扭转时具有可靠的使用性能。

(2) 应当认识到将水泥放在这样的结构上时，部件的尺寸，扭曲的影响和使用这样的连接细节会很好地适应这种扭曲。

C-5.23.10 荷载点支承。图 C-5.8 说明了规范要求的应用。

C-5.23.12 其他尺寸容差。5.23 中规定的容差仅限于经常遇到的情况。应对 5.23 中没有的尺寸容差加以记录，这可以反映应用要求的结构或适用性。

C-5.24 焊缝剖面形状

规范的 1982 年版本改动了角焊缝凸度的要求：最大凸度的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道的宽度计算。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。以“焊缝面宽度”为依据的新公式与先前以“焊脚尺寸”为依据的公式对比，焊缝的凸度要求相同。

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。同时，在焊缝的始端和末端，这种内凹都使焊缝不能以完满的尺寸到达端部。因此，这两部分不能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。则应规定采用连续角焊缝，这通常会减少所要求的焊缝尺寸。

C-5.26 返修

C-5.26.1 承包商选择（返修）。规范允许承包商进行选择：是修补、还是去除不合格焊缝而重焊。规范不打算授权检查员规定返修的模式。

C-5.26.2 局部加热返修的温度限制。允许局部加热矫直构件。不过，加热必须小心，以免超过使钢的性能起不良影响的规定温度。调质钢加热不应超过 1100°F [600°C]，否则，冷却到室温时形成的不良显微组织可能使力学性能恶化。其他钢材加热不应超过 1200°F [650°C]，以免可能形成不良的组织转变产物或晶粒粗大，或两者兼而有之。然而，这些最高加热温度足够低于金属的下转变温度，从而允许测温方法的某些误差。

C-5.26.5 开错孔位的母材的焊接修复。本规范 5.25.1 所述塞焊技术不适用于修复开错位置的孔洞的母材整个截面。塞焊缝是打算将剪力从一个平面的表面传递到另一平面的表面，并不扩展到孔洞的整个横截面。焊补不合格孔洞的一个方法是：用与母材相同材料规格的钢衬垫塞填充孔中，深度为一半或不足一半，将母材凿开一船形长槽深至衬垫，然后用窄焊道技术焊补这一凹槽。此面焊毕，在另一面再开船形长槽，将临时衬垫完全消除，并用窄焊道技术完成焊补。

C-5.27 锤击

除 2.21.6.6(3) 规定的以外，严禁锤击焊缝表层，否则，对表面的机械作业会遮掩不合格的表面不连续性。基本类似的理由，在使用用于消除焊渣的轻型振动工具时也应谨慎。

C-5.28 捻缝（凿密）

由于会使缺陷模糊或封闭，规范历史上曾禁止焊缝或母材表面的任何塑性变形。然而，由于一些次要缺陷可能妨碍涂层系统的完整性，现在，在得到工程师批准后，可以对较软的焊缝或母材进行有限的捻缝（凿密）。

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，焊缝和母材的所有必要的检查应都已完成并合格。

C-5.29 引弧

引弧会导致加热和迅速冷却。当在待焊的焊缝区域外引发电弧时，可能导致硬化或局部裂纹，或可能成为引发断裂的潜在部位。

C-5.30 焊缝清理

为防止后续焊道夹渣和便于目检，强制性地规定必须将熔敷焊道上的焊渣除去。

C-5.31 焊缝引弧板，引出板

坡口焊缝的开始端或终止端，比焊缝其他部位更易于产生缺陷。这是由于电弧的引弧和

熄弧机理而产生的。因此，应当使用焊缝的引弧板（引出板），将其置于待焊的有效焊缝之外，在该处能按 5.31.2 或 5.31.3 的要求将引弧板、引出板除去。焊缝引弧板（引出板）也将有助于保证在整个规定长度内的焊缝完满的截面值。重要的是焊缝引弧板（引出板）的安装方式应能防止在引弧板（引出板）与构件连接部位形成裂纹。

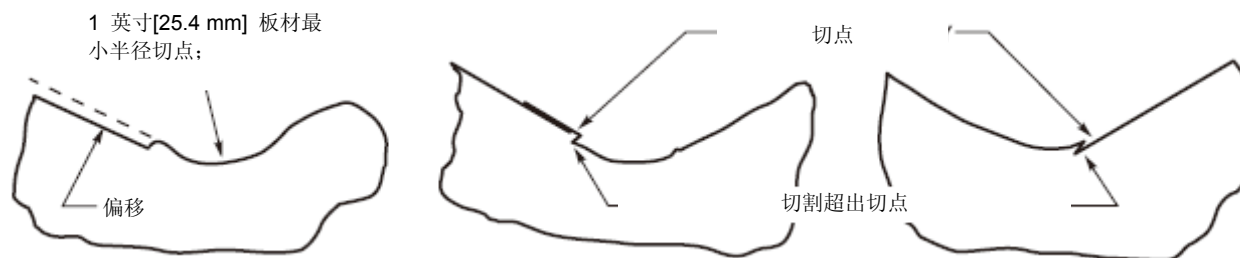


图 C-5.1 — 不合格内凹拐角的示例（参见 C-5.16）

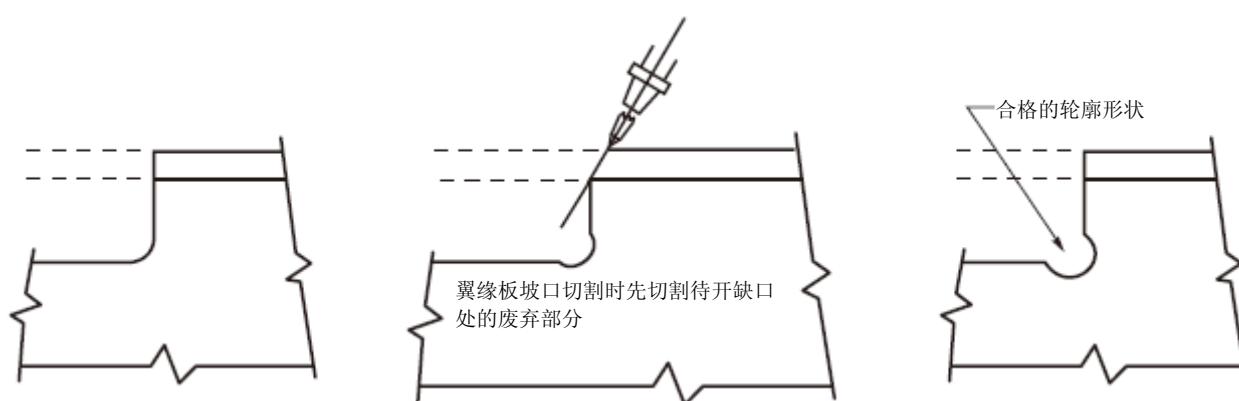
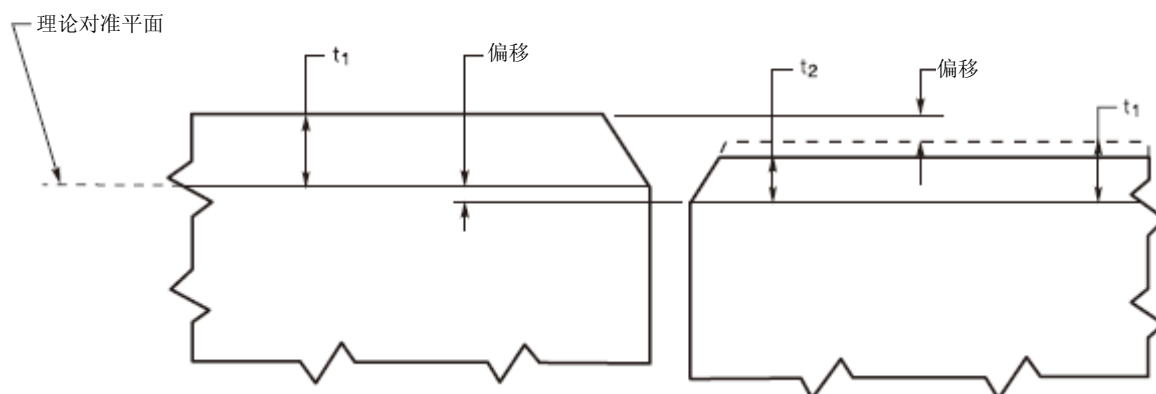


图 C-5.2 — 开槽口切割的良好实例（参见 C-5.16）

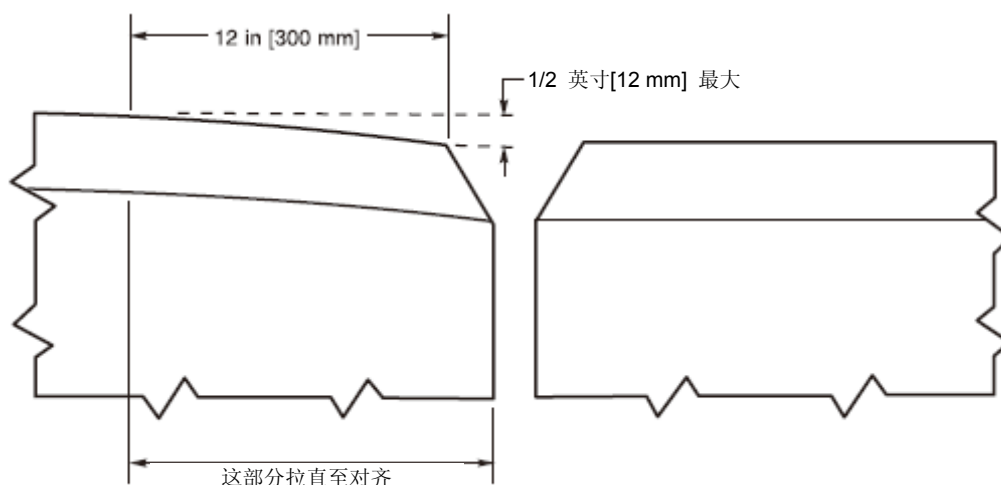
厚度相等时，对准的允许偏离为 $t_1/10$

厚度不等时，允许的对准偏离为 $t_2/10$



注：可允许对理论准直的偏离不超过连接的较薄件的 10%，但任何情况下不得大于 1/8 英寸 [3mm]。

图 C-5.3 — 对接构件允许的偏离（参见 C-5.22.3）



注：构件偏位超过允许值时进行的修正，过渡的坡度严禁大于 1/2 英寸[12mm]:12 英寸 [300mm]。

图 C-5.4 — 对未对准的构件的纠正（参见 C-5.22.3）

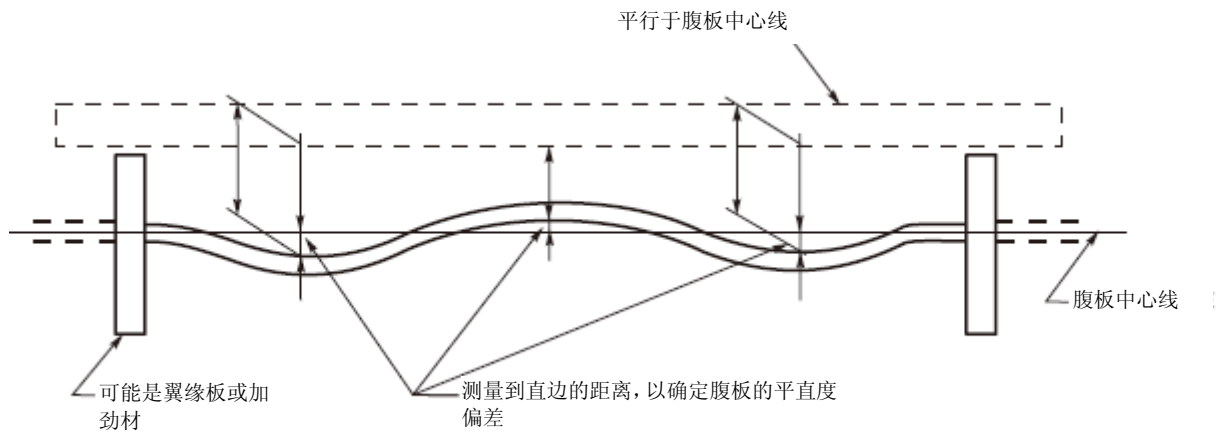
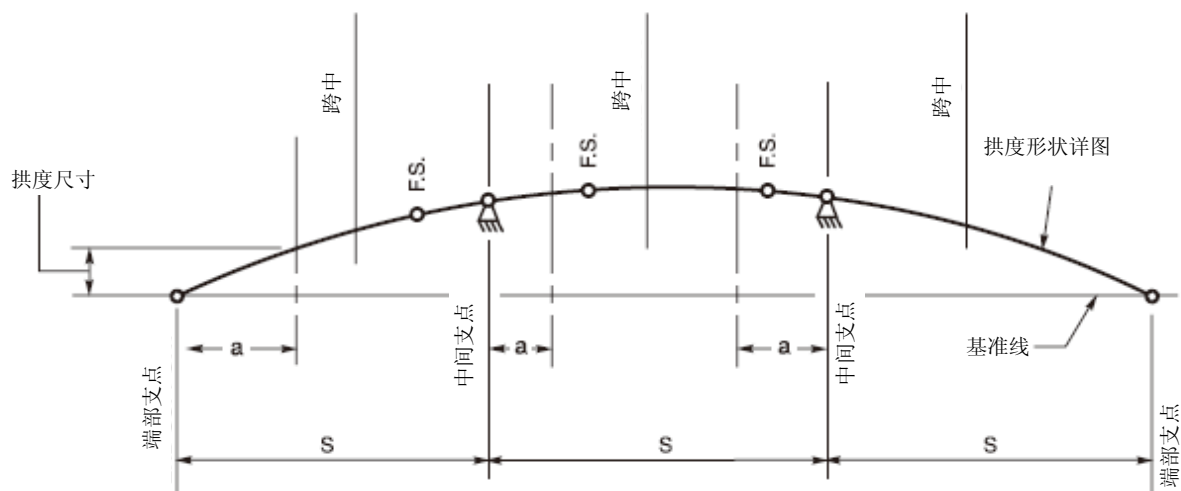
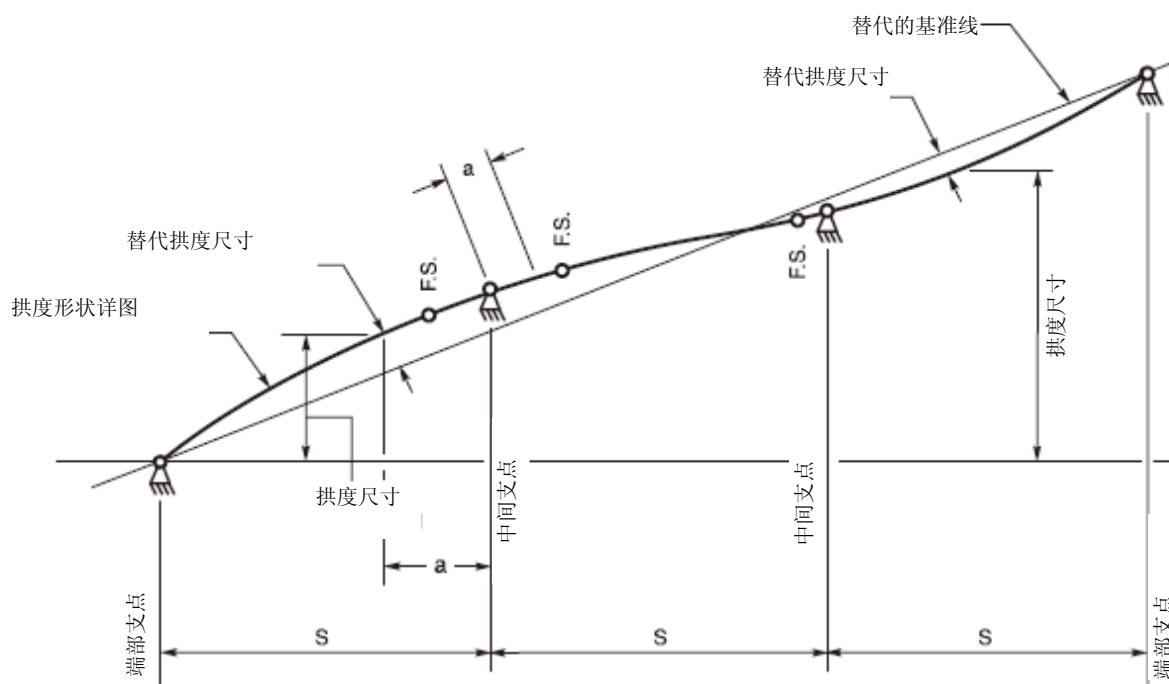


图 C-5.5 — 确定大梁腹板平正度偏差的典型方法



F.S. = 现场拼接

典型的大梁总成



有下弯曲线的典型大梁总成

注：正公差表示点在拱度形状详图上面。负公差表示点在拱度形状详图下面。

图 C-5.6 — 拱度测量方法的举例（参见 C-5.23.4）

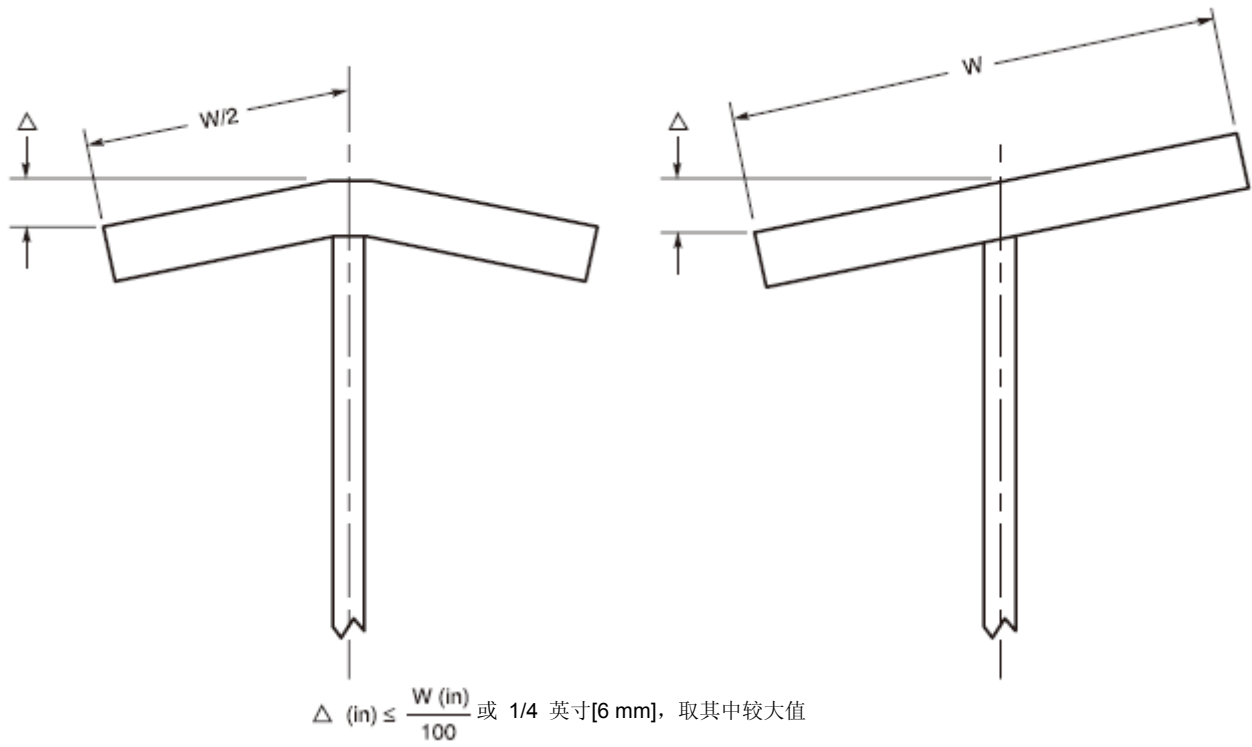


图 C-5.7 — 翼缘板翘曲和倾斜的测量（参见 C-5.23.8）

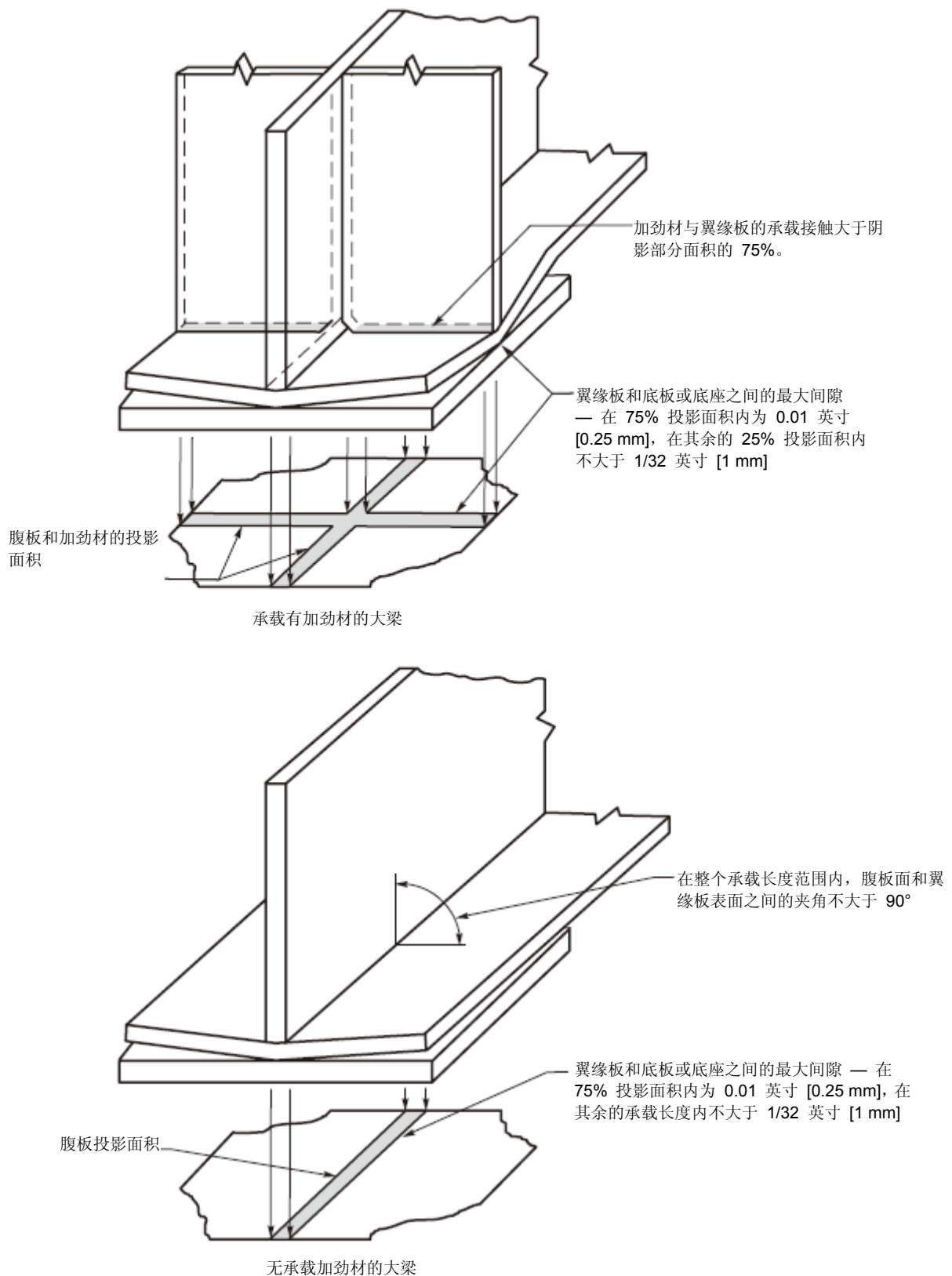


图 C-5.8 — 承载点的公差 (参见 C-5.23.10)

C-6. 检查

C-6.1 范围

规范的这一章曾经是大范围修订的主题，1980 年版的规范中曾第一次作出修订。修订的目的是为了明确以承包商、制造厂、安装单位为一方与以业主和工程师等为另一方的各自的责任。

修订内容对提供产品和服务方面有关合同责任的基本前提作了澄清。那些提出竞争投标或由于其他原因而成为合同一部分、按照本规范的条款为结构的焊件提供材料和工艺的人员，承担按合同文件的规定提供产品的责任，并对产品质量负全责。

本章中，*制造和安装检验*这一术语与验证检验有区别。在本章的原稿中，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为含义更广的术语所代替，以免在某些行业（例如核工业）中采用时引起含混。对本规范的某些使用者来说，质量保证的含义是指特定的任务和文件程序。使用更为概括的、更加强调及时检验的说法，是有好处的。承包商是唯一的对材料的订购、以及结构焊件的组装和焊接的负责人。而为了提高工程的质量，业主必须有计划地并及时地进行检验。

C-6.1.1 提供给投标者的资料。承包商事先知道哪些焊缝需经无损检测以及何种检测方法将要使用，是必不可少的。除非合同文件中另作规定，焊缝的质量合格评判准则即为第 6 章 C 部分所述。在合同文件中确切地写明哪条焊缝或指定焊缝的什么部分要以指定的方法检查，则是不必要的。可以对焊缝检测要求的总体说明作出规定（例如“所有角焊缝的 10% 长度必须作磁粉检测”或“大梁的受拉翼缘板的所有接头完全熔透 (CJP) 对接焊缝必须作射线照相”）。

如果受拉翼缘板对接接头焊缝的位置不是那么明显，则应在设计图中标示其部位。

当指定作抽样检查时（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哪些具体的焊缝或焊缝的哪些部分必须进行检验。如果实行随机检查或抽查，就应该有足够数目的随机测试，以提供焊接质量可靠的表征，这是基本前提。

用于静荷载结构、周期荷载结构和管件结构的合格评判是不同的。其每一种结构的合格评判准则之基本差别取决于静荷载和疲劳荷载的差别。

当预先估计到疲劳裂纹会增大时，焊缝合格的初始不连续尺寸必须较小。所有的合格评判准则是建立在焊件预期的工作寿命之内不致于焊缝断裂。

C-6.1.2 检验和合同条款。本条阐述承包商在制造和安装的检验和测试方面的责任，这基本上就是其他合同文件中所述的质量控制的责任。业主有权提出独立进行的检验，以核实产品是否符合规定的要求，但一般地说，这不是他的责任。这种质量保证的职能可由业主或其代表独立地完成，或者合同有规定时，业主也可放弃验证检验，或规定承包商必须同时执行检验与验证检验。当这样做时，质量控制和质量保证仍保持各自独立的功能。验证检验应由有关人员独立执行，其主要责任是质量保证而非生产。

C-6.1.3 检验员类别的确定。本条说明代表业主的检验员和代表承包商的检验员的不同之处。

C-6.1.5 检验员职责。本条要求检验员核实所有经过焊接的制造和安装工作是否符合合同文件要求。这不仅包括焊接，并且包括材料、组装、预热、无损检测，还包括规范及合同文件条款所规定的所有其他要求。

C-6.1.6 向检验员提供的项目。检验员需有一整套经批准的图纸以便正常工作。仅提供给他们合同文件中讲述他们将要进行检验的产品的要求的一部分。合同文件中许多要处理的、与检验员责任无关的事项，这部分则无需提供。

C-6.1.7 通知检验员。在开始作业之前如果不通知检验员，他们就不能正常履行规范所要求的职责。

C-6.2 材料和设备的检验

本规范的规定是全面的。它要求检验材料，检查材料合格证和工厂试验报告。重要的是及时地检查，以免不合格材料混入工程之中。

C-6.3 WPS 评定的检查

本节的要求，包括第 4 章所要求的任一评定试验，应该在合同文件所要求的任何焊件开始任何焊接之前完成。评定应该始终在工作开始之前做好，但并不是在任何工作能够开始之前必须要完成所有的评定。

C-6.4 焊工、焊机操作工、定位焊工的资格评定检验

C-6.4.1 资格确认。检验员在项目的作业开始之前确认所有焊工都已经资格评定合格，这很重要。如果在开始焊接以后才发现焊工没有合格证，就可能导致焊件验收工作严重的延误。

C-6.4.2 根据工作质量重新评定。检验员必须经常对焊工、自动焊工和定位焊工所完成的焊缝质量进行评价。对焊出不合格焊缝的个别焊工应当就其遇到困难的那种焊缝进行试焊，直至合格为止。并非总是需要整套的重新评定。只有能焊出合格焊缝的有资格焊工才能从事焊接作业。

C-6.4.3 合格证书失效后重新评定。焊工如不能提供证据，证明他们不间断地使用其资格评定合格的焊接方法六个月以上，则必须经过合适的考试重新评定。由于现职的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，检验员定期评价每一焊工、自动焊工和定位焊工的焊缝质量是必不可少的。

C-6.5 作业检验和记录

除要求对每条焊缝作最终目检外，检验员必须每隔适当时间对作业进行检验，确保其符合规范有关章节的要求。这种以抽样为根据的检验必须在组装前、组装中和焊接中进行。检验员必须在工件上作记号或以其他记录方式区分工件最终合格与不合格。所用的标记方法不应有损于焊件。由于打钢印标记可能成裂纹的引发源，故不推荐在焊缝上打钢印。

C-6.6 承包商的义务

C-6.6.1 承包商的责任。承包商对其产品质量负责。他们必须进行必要范围的检验以保证产品符合规范要求，6.6.5 条规定的情况除外。

C-6.6.2 检验员要求。检验员，不论他是业主的代表还是承包商的雇员，如果现有材料或工艺有问题，承包商必须负责进行所有必要的修整。

C-6.6.4 除目检外规定的无损检测。如果提供给投标人的资料中规定用无损检测方法，承包商必须采取必要措施保证达到规范所规定的无损检测的验收条件。当没有规定目检之外的无损检测时，业主必须负责检测和表面准备工作的、再加上目检中确实难于发现的缺陷修理的、一切有关的费用。由于对应当能被查出的焊缝缺陷有规定，那些达不到合理质量标准的以及严重违反规范的含有缺陷的焊缝，承包商必须花钱按 5.26.1 条款返修或更换。

C 部分 验收标准

C-6.7 范围

对管材结构目检和射线照相检查焊缝质量的要求基本上与静荷载结构相同（见第 6 章 C 部分和条文说明）。射线照相法一般不能很成功地用于检验管材的 T-、Y- 和 K- 型节点的焊缝。

C-6.8 工程师对选用的验收判据的认可

第 5 章 *制造*中所规定的验收条件是以合格焊工所能达到的质量的内行评价为依据的。第 5 章中的这一验收条件不应视为适合于服役的界线。对服役分析的适用性将会导致对不适用于标准规范的工艺验收条件的广泛修改。而且在某些场合，验收条件会比一个合格焊工所指望并能做得到的更为宽松。一般说来，恰当的质量验收条件和偏离验收条件是否对产品有害应由工程师来决定。当修订得到认可后，作为焊缝的代用验收条件的适合的基础，无论是使用现代断裂力学技术评价其对服役的适用性进行评价，还是类似结构成功地服役经历或经验举证，都得到公认。

C-表 6.1 条目 8 — 管状气孔。表 6.1 包含了适用于冲击表面的管状气孔的目检验收条件，因为这种不连续性系肉眼能检测，并可能严重地减少承受荷载的焊缝的横截面积。其他形状的冲击表面的气孔并不如此严重地减少焊缝横截面积。（参见附录 K，了解关于管状气孔的定义）。

C-6.9 目检

本条款规定焊缝的目检是强制性的，并含有目检的验收条件。第 5 章的工艺要求同样要进行目检。在 1980 年版规范中修改了咬边的允许深度，更精确地反映了关于三种应力的允许的横截面减小百分数。此咬边值适用于基本上是静荷载的结构和单个构件。

用于周期荷载结构或管材结构的咬边值 (6.9) 仍未改变，且应规定用于承受周期荷载的结构和单个构件。

C-6.10 PT 和 MT

规范中磁粉法检验的验收条件是以实际不连续性大小，而不是以磁粉指示介质所示的不连续性的尺寸为依据。当用磁粉法显示表面不连续性时，验收必须依据直接目检和测量实际不连续性的大小。去掉指示介质后（包括需要时用放大镜）也无法目检不连续性的场合，必须以磁粉指示的大小和类型作为评估的依据。至于表面下的不连续性，因为无法看到，必须以不连续性指示的大小为依据予以评估。

规范不包括以染料渗出为依据的液体渗透检测的验收条件。当使用液体渗透检测法时，不连续性合格与否必须以去除指示介质后的目测为准。在去除指示介质后看不见不连续性（包括需要时用放大镜）的地方，评估必须以液体渗透剂指示的大小和类型为依据。当渗透剂渗出时观察渗透剂，将获得关于不连续性类型的有用信息。

C-6.11 无损检测

除在 6.11.1 中的规定外，用于无损检测的焊缝质量要求不是合同的一部分，除非在提供给投标人的资料中对无损检测有所规定，或随后成为合同的一部分。业主和承包商双方都应仔细留意 6.6.5 和 6.14.1 的规定。除目检要求之外，当指定无损检测时，采用 6.11, 6.12 和 6.13 的验收条件。ASTM A514 和 A517 高强度调质钢的验收条件以检验为依据，目检和无损检测至少在焊缝完成 48 小时后进行。由于已经焊接的高强度钢和焊缝金属对于氢脆

引起的延迟裂纹、应力断裂等敏感，所以十分有必要设置这种时间上的限制以确保检验过程中任何延迟裂纹有适当的机会被发现。

C-6.11.1 管材连接的要求。6.12.1 中的静荷载下的 RT 要求适用于留有（焊缝）补强的对接接头中的纵向坡口焊缝。对于周期性荷载，这与减少允许应力范围的类别 C 的细节相一致。如果焊缝补强被消除以提高疲劳性能，则对于 6.12.2 中升级的周期性荷载下的 RT 标准将一致。

当 UT 在对接接头纵向坡口焊缝中使用以作为 RT 的替代时，遵循以前章节的逻辑，非管材连接的标准典型地被使用。6.13.3 中等级 R 的管材连接的 UT 要求与 ASME VIII 卷中的要求是相似的，也可考虑用于纵向坡口焊缝。纵向坡口焊缝根部条件不够严格的规定，不适用于周期拉伸荷载下的圆周坡口焊缝。

由于几何形状复杂，RT 不适用于管子对管子的 T-、Y- 和 K- 形连接。6.13.3 中等级 X 的内部 UT 合格判据是适宜的，因为疲劳性能与补强留存的基本焊缝轮廓是相似的。当工程师规定了 2.21.6.6 中的表面轮廓改进以提高疲劳性能到表 2.8 中的 I 级水平时，对于等级 R 升级的内部检验标准可能也是适宜的。

参见 P. W. 马歇尔的文章“以经验为基础，以适用为目的，管子结构件超声波检验的拒收标准”，发表于 1982 年 5 月，美国亚特兰大，AWS/WRC/MI 年会，会议主题词是：焊接结构目的的适用性。（同样也在 1984 年国际焊接学会在波士顿的第二届国际管子构件焊接年会上发表）。

C-6.12 RT

C-6.12.2 周期荷载非管材连接的合格判据。除了超声检测外，无损检测合格判据分为如下三类：

(1) 在任何荷载条件下承受拉应力的坡口焊缝中，大于和等于 $1/16$ in [2 mm] 的不连续性如 6.12.2.1 和图 6.2 所规定。应注意图 6.2 中包括不连续性的允许尺寸和间距两种内容。

(2) 在仅承受压应力并在施工图上明确标明的坡口焊缝中，大于和等于 $1/8$ in [3 mm] 的不连续性，其质量要求在 6.12.2.2 和图 6.3 中规定。仅不连续性尺寸与图 6.2 有差别。进一步的限制在图 6.3 的注 (*) 中规定。

(3) 在承受拉力的构件中，小于 $1/16$ in [2 mm] 的不连续性可以与较大的不连续性同时存在，其位置或间距没有限制，但它们在焊缝中任何 1 英寸直线上最大尺寸之总和严禁超过 $3/8$ in [10 mm]。这些质量要求在 6.12.2.3 中规定。

C-6.13 UT

C-6.13.1 静荷载非管材连接的合格判据。在表 6.2 的注中最常被解释错误的关键的话为“...距传递主要拉应力的焊缝端部”。这一措词通常是指承受着由设计荷载施加的拉应力的坡口焊缝端部。这个拉应力必须与焊缝厚度方向垂直。当采用箱型柱时，箱型柱的外表面焊有抗弯矩连接构件，内侧焊有隔板，可通过箱型柱的构件传递主应力，抗弯矩板与箱型柱板的焊缝的端部应受到距离焊缝端部规定为 $2L$ 的限制，但箱体内部隔板上的焊缝则不受此限制。隔板焊缝的端部不传递主要的拉应力因为这个应力通过相邻的箱体构板件的宽度传递。

表 6.2 加上注，是因为本规范以前根据超声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也能合格。ESW 和 EGW 焊缝所特有的这些气体缺陷的形状比通常焊缝不连续性反射超声更少。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。这类不连续性容易用射线探伤方法进行估计，如果管状的或其他气体不连续性在扫查水平中被观察到，则推荐用射线方法。

例如，使用 70° 探头评价 2 in [50 mm] 厚的焊缝的验收条件，如表 C-6.1 所示。

C-6.13.2 周期荷载非管材连接的合格判据。见第 6 章 F 部分，规范提出适用于承受拉应力的焊缝的合格判据，它与只受压应力的焊缝者不同。只受压应力的坡口焊缝，并在设计中或施工图上注明的，要求符合表 6.2 的验收条件。在任何荷载条件下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中上明确注明的焊缝，要求符合表 6.3 的验收条件。它与表 6.2 相比，要比后者高出 6 dB。

C-6.13.3 管材连接的超声检测合格判据。在第 6 章中阐述的超声检测方法和合格判据，即 6.13.1 和 6.13.2，不适用于管材的 T-、Y- 和 K-形连接。它们的合格判据在 6.13.3 中阐明。合同文件中应说明测试的范围，适用哪一种合格判据（R 等级或 X 等级）以及应用的场合。由于管材 T-、Y- 和 K-形连接的几何形状复杂，所以例如第 6 章中那些标准化的逐步超声检测方法不能适用。只要确认下述的普遍的原理，任何种类设备和技术都能令人满意。

检查技术应该充分考虑到节点的几何形状。可以将局部理想化的焊缝部分简化为两块平板相联结，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；然后可以再引入曲率的影响作较小的修正。测绘标度板把超声束叠置在焊缝横截面的视图上很有效。检验应以局部焊缝轴而不是支管轴为参考。应该作出努力使每次声束取向都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。

用振幅校准来估计伤的大小应考虑声程的衰减，传输机理（以校正表面粗糙度和曲率的差别）和不连续性的取向（即表面的不连续性可以比内部同样大小的不连续性产生更大的回波）。传输修正在 C-2 的参考文献 10 的 3.6.5 节中叙述。

对于小直径（12 in [300 mm] 以下）或薄壁（1/2 in [12 mm] 以下）或两者兼有的情况，振幅校准越来越困难。在管材 T-、Y-和 K-连接的根部范围中，常常存在凸起的角反板射体，仅靠振幅不能对它们作出评估，在这种情况下，波束轮廓技术对于确定较大不连续性的尺寸很有用处。波束轮廓技术在 C-2 的参考文献 10 的 3.8.3.2 节中叙述。

应用超声检测合格判据时，应结合工程师的判断，并考虑下列因素：

(1) 对于具有仅从外部施焊的接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的管材 T-、Y- 和 K- 形连接（见图 3.6，图 3.8–3.10），其根部不连续性危害较小而修复却比焊缝的其他部位更困难。

(2) 应该认清：错判（超声检测的不连续性未在随后的返修中得到证实）和偶然地漏判不连续性这两者都可能发生。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。

D 部分 无损检测

C-6.14 工艺

要做到符合规范的要求，目检总是必要的。除了目检外，在本规范中提出了四种无损检测 (NDT) 方法：(1) 射线检测 (RT)，(2) 超声检测 (UT)，(3) 磁粉检测 (MT) 和 (4) 染色渗透检测 (PT)。

射线和超声检测用于探测表面和内部的不连续性。磁粉检测用于探测表面及近表面的不

连续性。而染色渗透检测则用于探测朝表面开口的不连续性。其他的 NDT 方法在业主和承包商之间意见一致的情况下也可以使用。

C-6.14.6 人员资格评定。仅限于那些通过 SNT-TC-1A NDT II 级考试的人员可以无需监督而执行无损检测任务。只要符合 NDT II 级要求, III 级人员也可以执行无损检测任务。NDT III 级的工程师和技术员通常是监督人, 不必自己投身于实际检测工作。由于对 NDT III 级的人员不进行资格评定考试, 所有按照本规范从事检测工作的人员必须通过 II 级资格评定, 这有专门的资格评定要求。

C-6.15 检测范围

按照本条文说明 A 中所述、将需要无损检测的接头在提交给投标人的资料中叙述清楚, 是很重要的。

C-6.15.3 抽样检测。假定在一次抽样检测中发现不合格的不连续性, 并在按要求追加的 X 射线照相抽样检测中的任何一处再次同样不合格, 则必须检测焊缝的其余部分, 以确定其余缺陷(如果存在的话)的范围。增加本小节是为了阐明部份检测的范围。在 1980 年以前的规范版本中, 对于因第一次抽样检测中探测到缺陷而追加检测、并就其程序要求坚持到底, 没有提出具体的步骤。

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(射线照相检测)。本节提出的工艺和标准主要用于周期荷载结构和静荷载结构中接头完全熔透 (CJP) 坡口焊缝的射线照相法检查。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考虑。在收编 ASTM 的一整套方法并利用 ASME 锅炉和压力容器规范中所叙述的步骤方面, 已经作出努力。

C-6.16.2 变更。由于本章没有规定适用于管材结构中焊缝的射线照相检测的方法, 故允许业主和承包商在取得一致的基础上作出变更。当使用射线照相法检测管材结构中的焊缝时, 必须符合 6.12.1 条款的要求。

C-6.17 RT 工艺

规定用单射线源发射检查射线, 以免照相成像的混淆或模糊。在规范的其他地方, 对源的尺寸施加了限制以保持几何轮廓清晰。射线照相灵敏度唯有按像质计(透度计)(IQI) 图像的质量来判断, ASTM 和 ASME 两者均如此。

C-6.17.2 安全要求。射线照相检测中使用的离子化辐射和化学物品会严重危及健康。必须遵守所有安全规章。

C-6.17.3 去除余高。当业主希望在准备射线检测的工作中将焊缝表面打磨平齐或其他办法使之平滑, 则应在合同文件中说明。业主与承包商应事先商定哪些焊缝表面的不平整可以不必打磨, 除非表面不平整干扰了射线照相的判读。在观察射线照片时, 如果缺少描述焊缝表面的资料, 要区分表面不连续性和内部不连续性就极为困难, 甚至常常是不可能的。当在射线照相之前就对焊缝表面的准备取得一致意见, 则通常能减少拒收和时间延误。

C-6.17.3.1 引弧板、引出板。通常在射线照相检测之前去除焊缝的引弧板、引出板, 这样射线照片就能体现出焊缝完工和使用状态。在连接焊缝引弧板、引出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。这些裂纹在最好的条件下也难以从射线底片上辨认。这就是在打算对焊接的交界处作射线照相之前有必要去除引弧板、引出板的理由(亦见

C-6.17.13)。

C-6.17.3.3 余高。当焊缝的余高、或衬垫、或两者没有去除时，需要在像质计 (IQI) 下面放置补偿垫片，这样，就可按曝光于检验射线的钢材平均总厚度（焊缝金属，衬垫，余高）评定 IQI 图像。

C-6.17.4 射线照相胶片。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。本条款提出对几何不清晰度的限制，几何不清晰引起射线照相图像失真和模糊。

C-6.17.5.2, C-6.17.5.3 源至受检物的距离和限制。这些条款系打算限制出现在射线照片中物体的几何失真。管材结构中全景曝光作为例外，这包括在本规范 6.18 中。

C-6.17.6 射线源。只要最大峰值 600KV 的 X 射线装置和铯 137 射线源，它们都有足够的穿透能力，并能产生和 6.17.7 中所述，以 IQI 图像为依据的合格的射线灵敏度，就可以用于所有射线照相探伤。由于钴 60 对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，不能认可作射线源。当钢材厚度超过 2-1/2 in [65 mm]，钴 60 由于其穿透能力强而常被推荐使用。应当注意保证：射线照相源的有效尺寸要足够小，以清除过度的几何不清晰度。

C-6.17.7 像质计 (IQI) 选择和放置。由于射线照相的灵敏度和射线照片合格与否是以所要求的像质计图像为准，所以要注意对所用像质计的制造和使用的说明。像质计放置在受检焊缝接头的胶片尽头处，预计该处在射线底片上因几何失真而出现感光度不足，如图 6.8–6.11 所示。

像质计可以只放在射线源的同一边，否则要经工程师同意。事先未取得工程师同意，在射线照相曝光时违规而没有把像质计放在源的一侧，所拍照片必须予以拒收。

C-6.17.8.3 背散射。后向散射的射线可能在射线照片上引起一片雾状和产生伪像。本节所述方法用来辨别背散射，从而可采取纠正的步骤。

C-6.17.9 胶片宽度。射线检测是用来检验所有焊缝区域。在焊缝金属或邻近热影响区中的缺陷都可能产生焊缝失效。胶片宽度必须足以检查焊缝接头的全部，并有足够的位置用于标记以识别焊缝。

C-6.17.10 射线照相的质量。具有适当的像质计灵敏度的优质的射线照片是恰当的射线照相检测的唯一表征。有缺点的射线照片将不被接受。

C-6.17.11.1 H 和 D 黑度。本款说明如何使用射线照相胶片的全部有用胶片黑度的范围。规范中已作出努力，当检验周期荷载结构和静荷载结构中常规要求的焊接接头时，避免造成多次曝光或采用多种曝光速度的胶片。

C-6.17.11.2 过渡。如图 2.6 和 2.7 中所示，这一节中所述的焊缝厚度过渡预计在 2-1/2 上以最大坡度 1 逐渐进行。

C-6.17.12 识别标记。这一节提出识别射线照片所需的全部信息，并同时规定射线照片与焊缝匹配的方法，这样，当需要修理焊缝时，就可以不致重复或不必要地挖得过大。必须使用照片识别标记和定位识别标记，为需要修理的缺陷定位，并以修理后的射线底片来证实不合格的缺陷业已返修。

C-6.17.13 边块。连接梁和大梁中一段厚翼缘板的那种翼缘板与翼缘板的对接焊接接头，在翼缘板边缘的焊缝端部，由于散射射线造成的几何失真和切口，射线照相特别困难。这些关键部位的焊缝缺陷按 6.12 的规定处理。

在厚度超过 1/2 in [12 mm] 的焊件上，利用靠近焊件端部边缘处的被钻的孔或铅质指示物，来证实这个边缘的主要部分被过渡曝光而不能显示，留下了显示不出缺陷的可能性。使用边块并和一个标准源成一直线，可以在板的边缘处的射线底片上显示出铅质指示物和所钻的孔。

C-6.19 射线照片的检查、报告和处理

C-6.19.1 承包商提供的设备。为了能够准确检读底片，需要具有定位读片能力和掩光读片能力的、适当而可变光强的照明源，使检读者眼睛不受来自射线照片非检查部分光的影响。光强可调能降低眼睛的疲劳并提高底片上缺陷清晰程度。审读范围内柔和的光能使审读人的眼睛看清射线照片上小的缺陷。在全黑的地方审读底片是不恰当的。因为来自底片上低黑度部分的强光与全黑之间反差太大，令人不舒服，失去审读的准确性。底片的黑度范围以 2.5~3.5 为宜，如 C-6.17.11.1 所述。读片装置必须有足够能力以专门照明黑度达 4.0 的射线照相底片。一般说来，在规范认可的黑度范围内，底片黑度越高，射线照相灵敏度越高。

C-6.19.2, C-6.19.3 报告及保存。在射线检验技术员和制造、安装检验员审阅并认可射线底片及其说明报告之后，必须将射线照相检测报告提交给监造检验员，他以业主代表的身份作独立的审阅。所有射线底片，包括那些返修之前显示质量不合格的底片，必须属于业主所有，合同文件另有规定者除外。承包商在未收到业主的书面通知前，严禁丢弃规范条款规定的射线底片和报告。

在 6.19.3 中使用的术语“一整套射线底片”含义是在整个射线照相检测中所要求的每次拍摄的一张合格底片。如果承包商为了自用在暗盒中装底片多于一张而取得份外的底片，或者为了避免延误而用额外曝光方法所得份外的底片，或上述二者兼有，则份外照片都属承包商所有，另有规定者除外。

F 部分 坡口焊缝的 UT

C-6.20 概述

C-6.20.1 UT 工艺和标准。超声检测 (UT) 条款作为测试焊件精确而直接的方法被写进规范。当测试特定的反射体时，这些条款用来确保测试结果的重复性。使用第 6 章 E 中的规定，可以满意地检测大多数坡口焊缝。

有关 T-、Y- 和 K- 形连接中的焊缝超声检测的条款可在 6.13.3 和 6.27 中找到。因为这些焊缝的几何形状复杂，所以详细的步骤没有包含在本规范的这一节中。这些焊接接头的超声检测工艺应得到工程师和承包商双方共同的认可。

角焊缝的超声检测没有包括在本规范中，因为不可能概括出简单而取得满意结果的步骤。采用专门技术，可以获得角焊中缺陷的位置、大小和取向的大量信息。角焊缝的尺寸越小，超声探伤的复杂性和局限性越大。当角焊缝尺寸小于 3/4 in [20 mm] 时通常需要全长小型探头作全面的探查。小型探头的频率应高于常规所需的公称频率 2.25MHz，以便控制声束的发散。这一频率的改变将同时影响用于读数值计算的每英寸 [25 mm] 2dB 的衰减因子。超声的规范条款的变动以工程师的同意为准。推荐的做法是：这种同意的细节以书面形式表达，以使所有方面都知道如何进行焊缝检测。

C-6.20.2 变更。在涂漆的表面上透过漆层的超声检测已改变了一个重要参数，需经工程

师批准。尽管规范禁止通过漆层作常规超声检测，但这绝不意味一个良好的、紧贴的、均匀的漆层会影响采用超声检测方法。当存在漆层时，应作测量，并写入报告之中。

在钢结构的常规制作中，所有焊缝应在涂漆之前检验并合格。大多数涉及涂漆表面的检测是在已经投入使用的构件上进行，在作常规检测前，应考虑被检测表面的状态。

C-6.20.3 管状气孔。规范推荐抽样射线照相作为 UT 的补充，用于检测材料厚度超过 2 in [50 mm] 的 ESW 和 EGW 的焊缝。这是因为以振幅为基础的 UT 对评估气孔无能为力。在这类焊缝中的管状气孔，虽然貌似园柱状，但通常贯穿其全长有一串分级的表面。这些分级表面的声反射性能一般不会像侧面钻的孔那样的直线反射体对超声作出响应，它本身是一个难以定量的不连续性。管状气孔常常像一连串单个的点反射体那样响应超声检测，仿佛从一串排成一行的球状反射体接收回波。这就导致低幅度响应的反射表面，反射了与这种特殊类型不连续性的长度和直径没有可靠关系的声波。

除了这一问题外，ESW 和 GEW 的焊缝中，中心部分的气孔往往可能被周围的其他气孔所掩盖。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 仅能有效地查出拦截声程的第一个主要反射体。有些不连续性可能为这种方式所遮掩；所有超声检测中均如此。

用于建筑结构的 ESW 和 EGW 焊缝中，可疑的管状气孔应该用射线照相检测来评估（见表 6.2 的注 4）。目前没有提及要根据表 6.3 中检测电渣焊焊缝和气电焊焊缝的要求进行补充的射线照相检测，因为现在还没有认可将电渣焊和气电焊用于受拉的焊缝。ESW 和 EGW 焊缝用超声检测时以高声级作扫描，从管状气孔处得到间歇性的响应。这表明应该如上所述采用 RT。

在 ESW 和 EGW 焊缝中使用 UT 的一发一收的技术检查不完全熔合，只是打算作为一种辅助检测，对在板材厚度中分处、沿原先坡口面的范围进行检测。这种检测按规定用来对这个区域、在一定扫描声级下出现于显示屏上、按指示额定值是合格的 UT 指示值作进一步评估。来自这样一个反射体的预期发 — 收幅度的响应非常之高，无需使用适当的幅度合格指标。然而，由于无其他代用的标准，所以必须使用这些分贝额定值。由于仅有一个特定的评估位置，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。

在检测材料厚度等于和小于 2-1/2 in [65 mm] 的 ESW 和 EGW 焊缝熔合表面时，主要使用 70° 探头是合适的，因为这样足以对合格指标作出恰当的判断。

C-6.22 UT 设备

超声探伤设备已立有标准，当按照本规范的要求使用时，能保证恰当的机械和电气性能。

6.22.1~6.22.5 包含了该类设备鉴定合格所必须具备的特性。6.23.1 提出对比的标准；6.24.1~6.24.4 涉及时间间隔的要求和适合 6.29 中使用对比试块的介绍；6.30 提出详细的鉴定步骤。应用实例见附录 M，表 M-8。

C-6.22.6 直射波束（纵波）探头。直射波束换能器的工作面积的尺寸限制没有改变，但是给出的大小为 1/2 in² [160 mm²] 和 1 in² [645 mm²] 已被误解为 1/2 in [12.7 mm] 平方和 1 in [25.4 mm] 平方。故分别改写为 1/2 in² 和 1 in²。

这些工作面积的要求写成现在这样以免混淆。

C-6.22.7.2 换能器尺寸。在限定参数范围内，制定了第 6 章的表 6.2 和 6.3。对第 6 章设备参数或工艺的修改，可能造成检测结果与预计结果大大不同。用户应注意，试验参数的任何改变（例如：换能器尺寸、角度、形状、频率、设备校准等）均可能使表 6.2 和表 6.3 的适用性无效。工程师只有在此类改变对认可条件的影响已确定的情况下，方可认可对试验

设备或工艺的修改。

C-6.23 参考标准

C-6.23.1 IIW 标准。规范不再要求 1 类 IIW UT 对比试块。可使用任意 IIW“类”试块。

图 6.19 中所示的标准在美国公认为 IIW 类对比试块。IIW 为国际焊接协会的首字母缩写词。该试块称为 IIW“类”对比试块，因为它是按照“真的”IIW 试块仿造而成，但是不符合 IIS/IIW-23-59 中的 IIW 要求。“真的”IIW 试块仅采用钢制成（精确地说，采用脱氧平炉或电炉钢，处于正火条件下的低碳钢，粒度为 McQuaid-Ehn #8），而 IIW“类”试块可采用市场上的多种材料制成。“真的”IIW 试块的尺寸采用公制单位，而 IIW“类”试块通常采用美国惯用单位。IIW“类”试块也可包括其他校准和对比特征，例如：缺口、圆形坡口以及 IIW 未规定的氧化皮。

C-图 6.19 本文所示的所有注释均与图 6.19 和附录 H 中的所有对比试块相关。

C-6.23.2 禁用的反射器。规范禁止校准中使用方角，因为从被称作“方角”的各种拐角处不能得到标准化振幅。影响振幅标准化的因素是拐角处的倒园角或切角的大小、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° 的探头时，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振幅波的模式转换。

C-6.24 设备评定

C-6.24.1 水平线性。已经删除用 ASTM E 317 考核水平线性，改用 6.30.1 中所列一步一步进行验证的方法。

C-6.24.2 增益控制。超声设备的垂直线性必须按 6.30.2 所述的方法每 2 个月校准一次，以验证其连续的精度。校验证书必须连同类似于附录 M 表 M-8 的表格中所列资料的使用方法一起保存（实例一并收入）。若采用另外的方法校准垂直线性，则必须小心。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-6.24.4 斜射波束探头校准。由于探头的接触表面磨损并引起定位精度降低，规范要求探头最多工作 8 小时便应校核其精度。此后每次这种时间间隔内探头精度校核的责任就由执行此项工作的人员承担。

C-6.25 测试的校准

C-6.25.4.1 扫描线。为了保证适当的距离校准，必须至少能显示两个板材厚度的指示值，因为在换能器晶体面到探头表面之间有延时而使得初始脉冲位置不准确。

C-6.25.5.1 水平扫描线。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。（可从工件上移开探头得到证实）。

注释已附于本条款之后以保证定位数据的重复性。

C-6.26 测试程序

C-6.26.4 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工作效果相同甚至更好。因为规范的篇幅所限，未能列出所有可能成为合格耦合剂材料的液体和油脂，

那不是本规范范围内的事。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，并得到工程师和 UT 操作员批准就可以在检验中使用。

如果由于校准时和实际检测时使用的耦合剂不同，而来自对比反射体的响应有差异，则应当进行测试来确定。任何可以测出的差别在不连续性评定时应考虑在内。

见附录 M 表 M-11 超声检测报告表的实例。

C-6.26.5 检测范围。探查母材层状反射体的条款不打算用于核定母材是否合格，而是确定母材接受这种指定的超声检测工艺是否合适。

C-6.26.5.1 反射体尺寸。评估层状结构大小的工艺现包括在 6.31.1 中。

C-6.26.5.2 不可达性。本款对磨平焊缝表面达到平齐的要求只有下述情况是必要的：当母材中有层状不连续性而禁止使用标准工艺进行检测时，为了对代用的 UT 工艺得到可达的几何形状。合同文件可能要求受拉的坡口焊缝的磨平齐，以改善疲劳性能和便于更精确地射线照相检测和超声检测。

C-表 6.7 建立工艺图的依据为：探头 70° 角能够最有利地探测和更精确地评估下述不连续性：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）。应该假定所有不连续性均有可能依此方向取向，因此尽可能采用 70° 角的探头。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。但是有某些接头的尺寸和形状需要更长的声程才能完整地检验焊缝。

表 6.7 附图说明中的 6、8、9、12、14 和 15（焊缝顶部 1/4 处标有 GA 或底部 1/4 处标有 GB）的检测工艺，要求对直接位于探头正下方的不连续性作判断。要是按此表的规定从 A 面和 B 面两边都对这些大焊缝进行检测，可以获得更精确的结果。

考虑到上述的各种因素后制定出工艺图。表 6.7 的注释规定：在周期荷载结构的受拉焊缝中的不连续性，严禁在直接正对探头下方进行判断。

规范对探头使用（频率、尺寸、角度）极为严格的要求是为了保持最佳状况能使结果具可重复性。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。而采用其他角度或焊缝面可能导致比规范规定的检查更为苛刻。

符号“P” 采用一发一收的检测方法不允许使用 60° 探头进行评价，因为波型转换可能引起高的能量损失。

C-6.26.6 焊缝检测。当要求按照表 6.2 和 6.3 择其适用者时，在检测声程最大情况下，扫描灵敏度至少要高于最大拒收水平 4dB。灵敏度增加，保证在扫查期中不会漏掉不合格的不连续性。表 6.2 和 6.3 要求的在高分贝水平下扫查，可能需要采用专门的扫查技术，该技术是在更小分贝水平下进行检测时使用的技术不同。务必注意声程决定扫查水平，而非材料厚度决定。例如，假设在一个周期荷载的非管材连接中 2 in [50 mm] 厚的焊缝接头处进行超声波检测（表 6.3）。利用表 6.7 程序 4，将焊缝分为三个单独的检测区域。这三个区域分别为焊缝厚度的顶部、中部和底部。顶部声程为 7 in 至 8 in [180 mm 至 200 mm]（利用 60 换能器在支脚 2 进行检测），中部声程为 1-1/2 in 至 4-3/8 in [38 mm 至 111 mm]，底部声程为 4-3/8 in 至 5-7/8 in [111 mm 至 150 mm]。表 6.3 所确定的扫查水平，为顶部 35 dB，中部 25 dB，底部 35 dB。为了最大程度减少在高分贝水平下进行扫描产生的相关问题，有必要采用多种措施进行检测，利用适用于每区域要求的声程的扫查水平对各区域（顶部、中部和底部）分别进行扫查。如果未采用要求的扫查水平，则可能产生严重的缺陷，而无法正常验收。

C-6.26.6.4 衰减系数。声传播的衰减率 2 dB/in (2 dB/25 mm)，不包括最初的 1 in [25 mm] 在内，它是由两个因素组合形成的：距离平方律和声能在被测材料中的衰减（吸收）。所用的声程是显示在屏上的尺寸。在整个计算中采取保留分数值或小数值的方法，将数值经舍取而进入最接近的 dB 值。在最后一步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-6.26.7 不连续性长度。所要求的 6dB 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 6dB 增益，然后重新扫描焊缝区域，直到不连续性的振幅指示值跌落回到基准线上。

当评估不连续性的长度、而沿其全长的反射率不相等时，其长度的估值可能有误。当移动探头而出现振幅的变化为 6dB、以及指示额定值大于较小反射体的指示额定值时，操作人员应将变化 ± 6 dB 的不连续性的每一部分作为单独的不连续性记录下来，再按照规范以长度、位置和间距为依据来确定其是否合格。

C-6.26.8 合格或拒收的根据。在规定的超声检测工艺中，评估不连续性的零基准是 IIW 超声对比试块中从 0.06 in [1.5 mm] 直径的孔反射的最大读数值。当实际检测时缝时，给出的是不同焊缝厚度的最低合格水平的 dB 数。表 6.2 中给出静荷载结构的最低合格水平，而表 6.3 中给出的是周期荷载的最低合格水平。一般说来指示额定值或合格水平越高，焊缝中垂直于施加应力的不连续性横截面积就越小。

比不合格值更敏感地高出 6dB 的指示额定值必须记录在焊缝检测报告上，并标以“断裂危险”，这样如以后再作检测，可以确定伤是否在增大。

合格 — 拒收的分界值在厚度为 5/16 in 至 3/4 in [8 mm 至 20 mm] 这一档已放宽了 2dB，因为觉得不必如此严格。

厚度范围大于 4 in 至 6 in [100 mm 至 150 mm] 和大于 6 in 至 8 in [150 mm 至 200 mm] 已合并在一起，并将不予关注的最大读数值增加 +3 dB。先前的要求允许某些不连续性的 UT 合格，随后发现那些是裂纹。

C-6.26.12 含有钢衬垫的坡口焊缝。由于在显示屏上产生伪指示，许多 UT 操作人员认为钢衬垫对坡口焊缝的有效 UT 是一个妨碍。然而，从钢衬垫来的反射可能被 UT 操作者用以证实超声波穿透了焊缝根部范围的整个横截面。钢衬垫指示以及在 UT 显示屏上无任何其他扫迹是焊缝无主要不连续性的证据。它也证明，在声波通过的焊缝区域无那些不连续性，而如果有不连续性，它将干扰声波的正常通路。声波能因衰减、反射或折射而干扰，以阻断声波返回到探头，从而导致一包含临界尺寸不连续性的焊缝合格。

复杂的焊接接头的 UT 能可靠并经济地进行。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测试的可靠性与经济性。

从钢衬垫来的伪指示由形状变化引起。以下的示例包括组合在一起的检测工艺和技术。

(1) T 形或角接接头

(a) 90° 二面角。倘若根部间隙和熔透深度如图示，则图 C-6.1 中钢衬垫端部将起一反射体 (“RB”) 的作用。“RB” 结果将形成一大约相当于在 “D” 点的焊接不连续性的声程距离。

解决技术：

1. 从 “C” 点用直线波 UT 来确定是否存在不连续性 “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：大多数焊接不连续性是并不相对均匀

的。

3. 从“B”点对焊缝进行评定以确定“D”是否存在。注：可能对“F”点要打磨平整，以保超声束覆盖到“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达到“RB”，从而确定“D”实际上存在或“RB”是指示起源。

6. 选择一处最大的缺陷（不连续性）额定值进行打磨探查或刨槽以确定“D”是否存在。

(b) **斜 T 形或角接接头**。因为二面角改变，因而 T 形接头的解释变得较为复杂。复杂性的增加是因为在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焊道下裂纹（“CU”）。

如图 C-6.2(B) 中所示，随着二面角大于 90° ，“RB”现和一夹渣（“D”）的声程距离相等。这些条件的分辨与 90° T 形或角接接头相同 [见 C-6.26.12(1)(a)]。

(2) 对接接头

(a) **衬垫和接头间脱开**。大多数通常的伪指示（“IS”）是由于连接接头的错边（装配质量弊脚）或两不同厚度板材连接而导致在钢衬垫和板材间贴合面的分离。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. 准确标记好指示部位（“L”）。
2. 从“A1”重复 UT 检测。
3. 从“A1”点检测而得到“L”指示证实在根部确实存在缺陷。
4. 从“A1”点检测不到“L”则是“IS”为反射源的证据。

(b) **表面形状和衬垫具有类似声程**。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处于相同的声程距离。图 C-6.4(A) 中的焊缝接头中焊缝底部足够大，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（读数）。

在图 C-6.4(B) 中，焊缝底部窄一些，且声波进入处离焊缝接头稍远了一些，它导致从焊缝余高（“WR”）的声波反射和大的指示（读数）。

UT 方法的这一情况，使 UT 操作人员面临着对指示的复杂的解释：(A) 和 (B) 的声程距离相同。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 WR”区域存在不连续性。
2. 对“WR”的任何指示有理由进行打磨检查，以明确地确定不连续性，并判断临界状态。
3. 如从“A.1”检测无任何指示，则再从“A”进行检测。
 - 确定从“WR”来的指示是焊缝余高，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“WR”，并当从“A”导入声波时用手指摸它。
 - 如果“WR”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：这

一技术最好在厚板上。声波倾向于充满薄板，它能影响 UT 操作人员判断由缺陷引起的指示。

4. 如果“WR”不是反射体，则如下所述，钢衬垫能作为反射源被验证：
 - 将探头放在“A.1”或(A)以得到最大的屏幕轨迹高度；
 - 计算从探头发射点到反射体的投射表面距离；
 - 计算焊缝相对侧，从探头开始（到得到屏幕最大高度的反射体）的尺寸，（该反射体）现为“L.”。
 - 测量从“L”到“WR”的尺寸——如果 UT 设备经精确校准，这一尺寸应为钢衬垫宽度。*注：这是重要的，即 UT 操作者具有关于所用钢衬垫的尺寸基本的根部间隙尺寸的知识，它排除了一些关于反射源的问题。*
5. 作为一般规则，如图(B)所示，按中心线(“CL”)将焊缝分为两部分是可取的：
 - 应从探头所在的焊缝的相同侧对反射体进行判断，以使伪指示最小。

(3) 密封焊钢衬垫。合同可以要求所有钢衬垫密封焊。密封的焊缝能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的切变波探头角度。

在图 C-6.5(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。通常，在钢衬垫端部，“B”至“B.1”部位导致声波进入钢衬垫，并且，或者像“RB”指示返回，或者如“A.1”那样完全不返回。

在图 C-6.5(B) 中，存在相同的状态，即当声波在“B”处进入钢衬垫并且继续传导通过衬垫条并进入垂直板材。如在屏幕上看到一指示，它很可能是伪指示。

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，将使困难降到最低程度。
2. 或者，如果上述 1. 的方法不可行，则减小探头角度。

C-6.27 管材 T-、Y- 和 K- 形节点的 UT

本节的 UT 要求阐述了适用于检验管材结构、特别是 T、Y 和 K 形节点检验的技术。当反射体超出波束边界范围时，用小于波束高度（见图 6.5）的条状反射体尺寸(H)来判定高度的准确性，要比确定长度的精确性小得很多，因此要求更加注意对工艺的评定与审批，更加注意对超声操作人员的训练与认可。

这一节阐述对工艺、人员及其资格评定的要求。它很大程度上是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的。这些在 C-2 的参考文献 10 中有详细叙述。

表 C-6.1
关于2 in [50 mm] 焊缝的超声波检测验收条件, 70° 探头 (见 C-6.13.1)

指示额定值	不连续性严重等级
-2 或更小	A 类 (大不连续性) 不论长度, 无条件地不合格
-1 或 0	B 类 (中不连续性) ^a 如果长度 $\leq 3/4$ in [20 mm], 合格 如果长度 $> 3/4$ in [20 mm], 不合格
+1 或 +2	C 类 (小不连续性) ^a 如果长度 < 2 in [50 mm], 合格 长度 > 2 in [50 mm], 不合格
+3 或更大	D 类 (微小不连续性) 不限长度和位置, 合格

^a B 类和 C 类不连续性的间距、或 B 类、C 类不连续性与焊缝端部的间距, 必须至少是 2L, 除非焊缝的端部不承受主要拉应力, 例如箱体内隔板的转角处。(L 为两个不连续性中较长的长度, 或一个按其焊缝端部关系而评定的不连续性的长)。可以要求将相邻不连续性联合起来的长度按照单一不连续性的长度测量 (见表 6.2 的注)。

注:

1. 对周期荷载结构, 表 6.3 要求比 D 类更严格, 长度超过 $3/4$ in [20 mm] 的不连续性, 仅允许存在于焊缝厚度的中分处。第 2 章 C 中不是这样要求的。
2. 见 6.26.6.5 和附录 M, 表 M-11, 焊缝的超声检测报告。

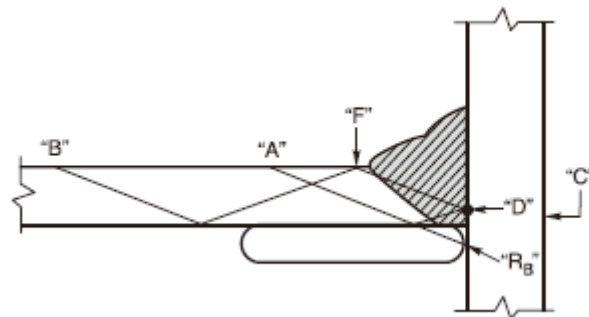
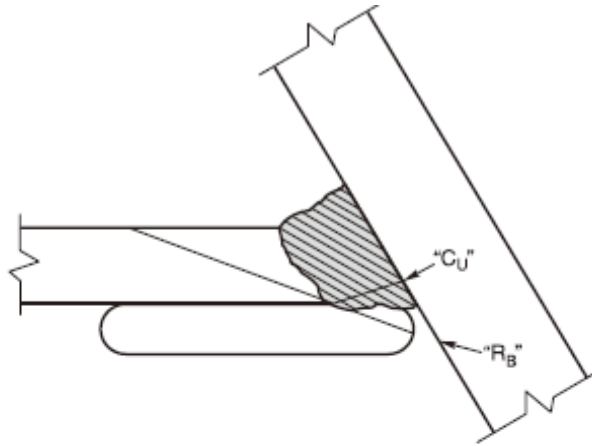
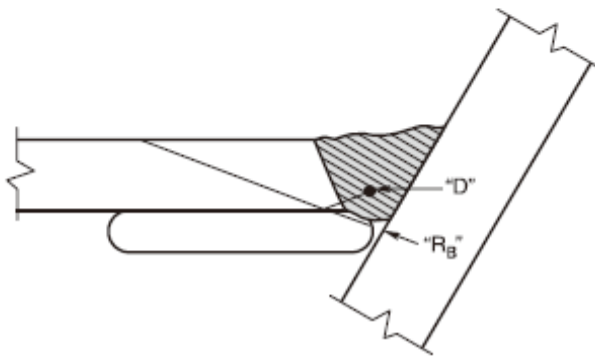


图 C-6.1 — 用钢衬垫的 90° T 形或角接接头



(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

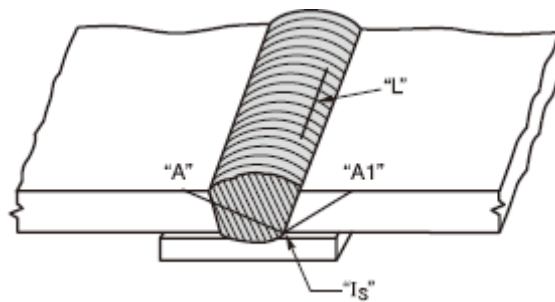
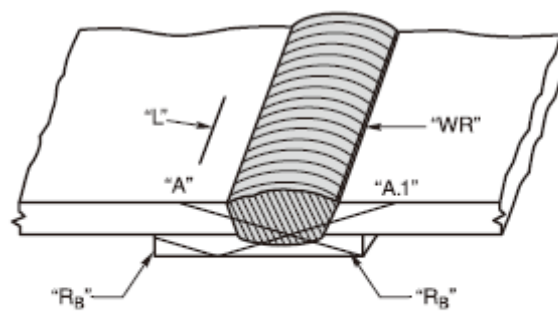
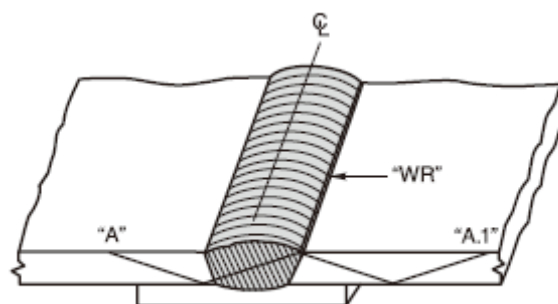


图 C-6.3 — 衬垫和接头分离的对接接头

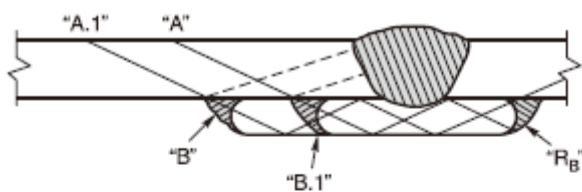


(A) 宽的根部间隙

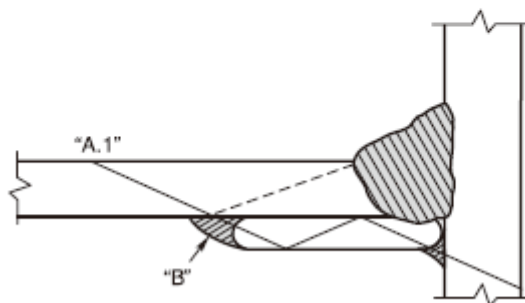


(B) 较小的根部间隙

图 C-6.4 — 用钢衬垫的对接接头的根部间隙的影响

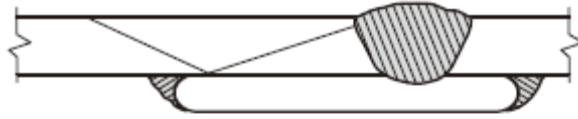


(A) 对接接头

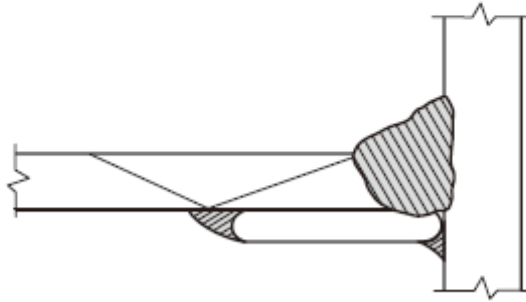


(B) T 形接头

图 C-6.5 — 密封焊接钢衬垫的扫查

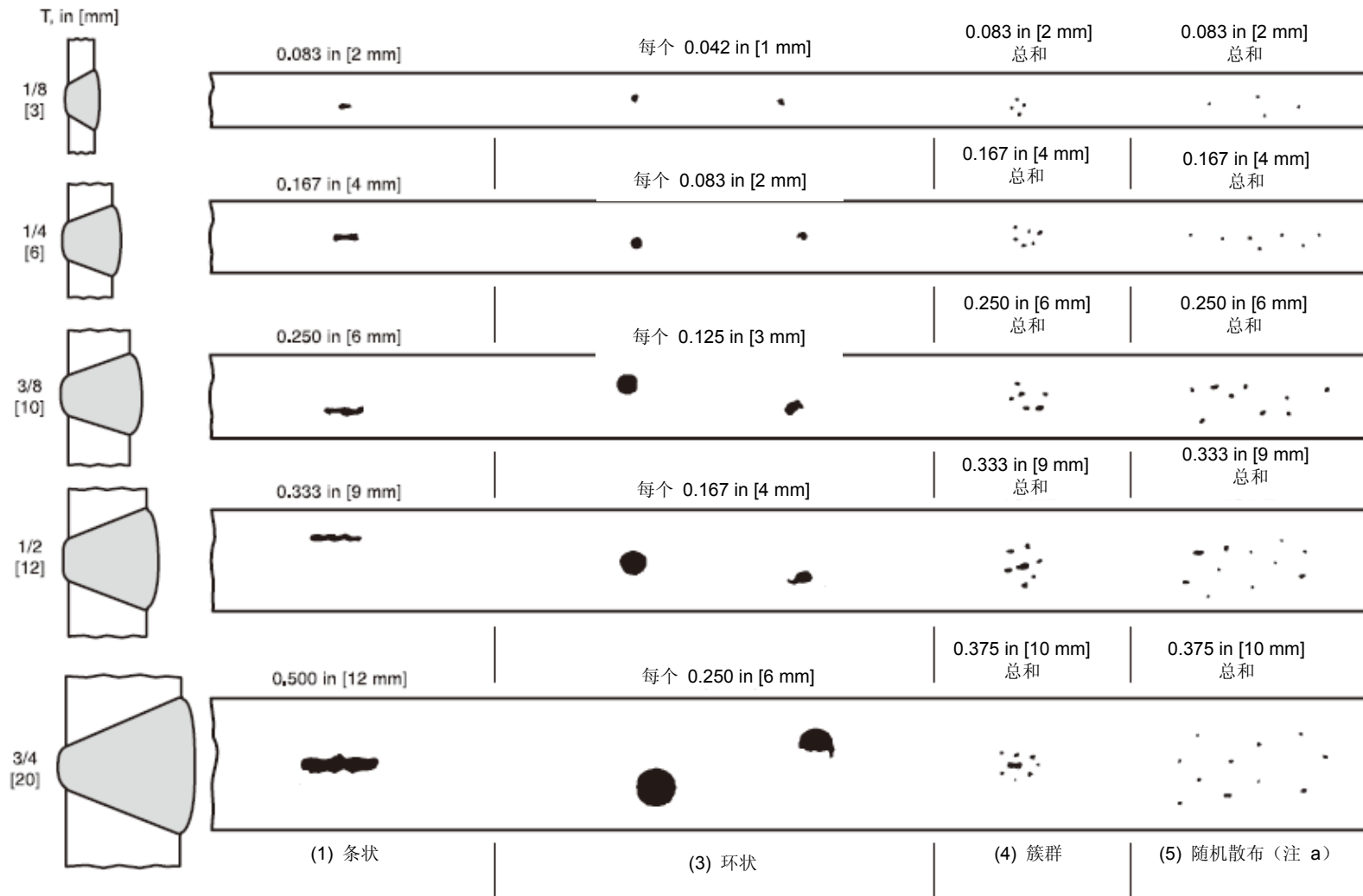


(A) 对接接头



(B) T 形接头

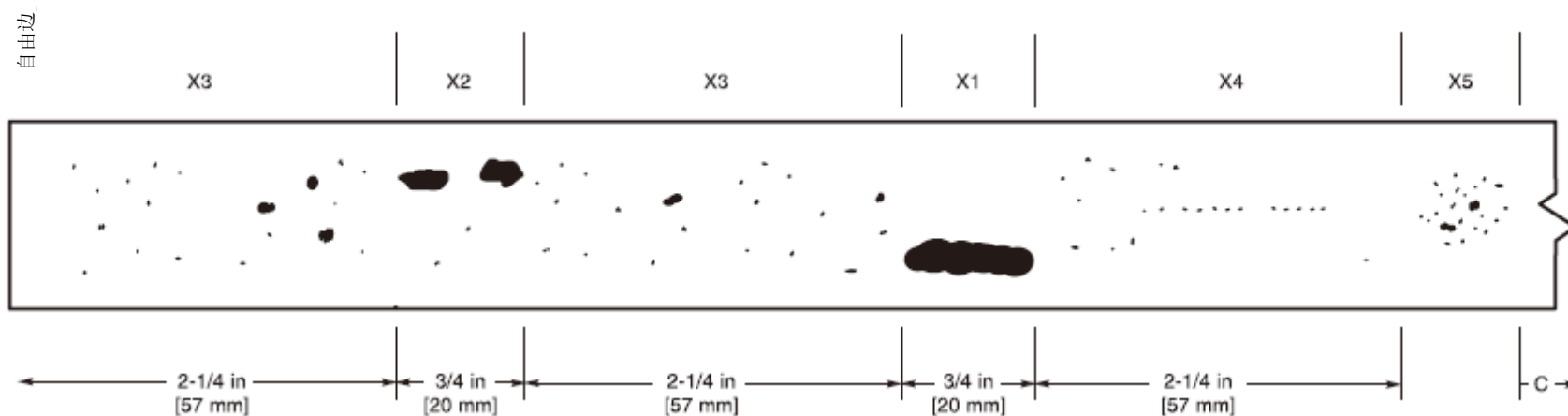
图 C-6.6 — 密封焊接钢衬垫扫查的分辨力



典型焊缝横截面

^a与 (1) 和 (3) 无关。虽本图未予表示,但也可以与 (1) 或 (3) 组合。

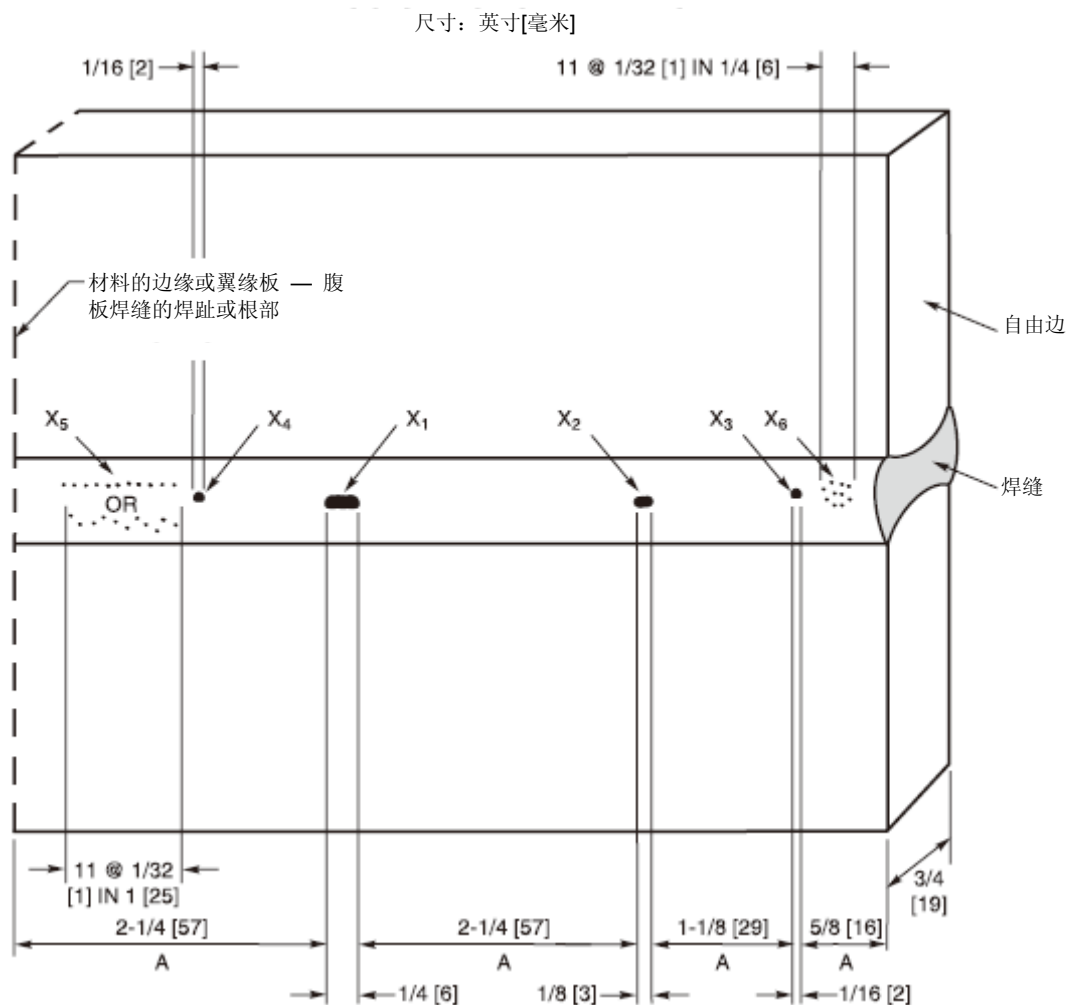
图 C-6.7 — 静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载管材连接的不连续性合格判据图解 (见 6.12.1)



注:

1. C—两个等于或大于 $3/32$ in [2.5 mm] 的不连续性（按图 6.1）的边缘间容许的最小间距。以相邻不连续性中较大者为准。
2. X1—接头厚度为 $1-1/8$ in [30 mm] 的最大容许条状不连续性（见图 6.1）。
3. X2—根据图 6.1 的要求，在一容许的长度内的多个不连续性可作为单个不连续性处理。
4. X3-X4—小于 $3/32$ in [2.5 mm] 的块状不连续性。
5. X5—簇中的块状不连续性。对于这种一簇中所有气孔具有 $3/4$ in [20 mm] 最大尺寸的一簇不连续性，必须按图 6.1 中要求 $3/4$ in [20 mm] 长不连续性相同间距来处理。
6. 说明：图示的块状和条状不连续性是合格的。所有不连续性均应位于尺寸限制范围内，并满足不连续性或焊缝端部之间的最小间隙要求。

图 C-6.8 — $1-1/8$ in [30 mm] 以上的静荷载非管材连接和静荷载或周期荷载管材连接的，典型的随机分布不连续性的合格判据图解（见 6.12.1）



注：

1. A—在 2 个大于或等于 $1/16$ in [2 mm] 的气孔边缘之间或熔合型不连续性边缘之间允许的最小间距。以相邻不连续性之较大者为准。
2. X1—在厚度为 $3/4$ in [20 mm] 接头允许的最大气孔或熔合型不连续性（见图 6.2）。
3. X2, X3, X4—气孔或熔合型不连续性等于或大于 $1/16$ in [2 mm]，但小于厚度为 $3/4$ in [20 mm] 接头所允许的最大值。
4. X5, X6—小于 $1/16$ in [2 mm] 的气孔或熔合型不连续性。
5. 气孔或熔合型不连续性 X4，它是在这种不连续性的边缘之间所允许的最小间距之内，因此必须判为不合格（见 6.12.2.1 和图 6.2）。其余焊缝必须判为合格。
6. 所示的不连续性大小假定是其最大尺寸。

图 C-6.9 — 周期荷载非管材受拉连接的不连续性合格判据图解（见 6.12.2.1）

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一种独特的焊接方法，它不仅弧长和焊接时间自动控制，并且适于进行有效的生产证明试验。一旦设备调整合适，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。好几百万螺柱已经成功地应用。此外，当螺柱焊是在表 3.1 所列 I 组和 II 组材料以上以平焊位置（向下）进行时，不需要正式的工艺评定。按 7.6 条款应用评定要求发展的工艺是上述的一种例外。因之构成了不同于本规范的其他已认可焊接方法的基本变化，所以螺柱焊另辟为第 7 章。

条款内容如下：

- (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（基本变素）以及对操作人员及应用进行评定的试验
- (3) 为检验需要进行的试验。

C-7.2 一般要求

一般要求规定了螺柱尺寸，说明了使用的电弧护罩和稳弧剂。这些螺柱焊接端的总成必须由制造商按本规范 7.9 条的规定予以评定。

C-7.2.5 螺柱成品。抗剪螺柱或紧固螺柱的头部易发生裂纹或开裂，这是指同一回事。裂纹或开裂表示螺柱头部由于金属的径向分开而沿周边开裂。这样的开裂对有头螺柱的结构强度、抗腐蚀或其他有作用的要求并无不利影响。

下文列出了计算裂纹长度或开裂的典型示例：

0.5 in [13 mm] 有头支座

H- 头部直径 = 1.0 in [25 mm]

C- 轴部直径 = 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扩充为表述螺柱的三种强度级别。A 型系较低强度级别，用于一般用途的螺柱；B 型为较高强度级别，用作复合梁设计和构造的基本组件。B 型螺柱约绝大多数用于公路桥梁的复合构造。

C-7.4 工艺

为了生产完好质量的螺柱，需要几项有关清洁的条款。新的重点是螺柱的保管。B 型螺柱用作公路桥梁和建筑的复合梁构造的必要组件。C 型螺柱通常用作埋设于钢筋混凝土构造中的连接件。

C-7.4.6 和 C-7.4.7 清除电弧防护罩。这些章节清楚地要求应用者应清除用过的电弧防护罩并作目检。有效的判断应是在螺柱刚一焊完立即进行检查以免设备失灵而焊出大量有缺

陷的螺柱。

环绕螺柱焊接端挤出的金属按本规范附录 K 的定义称为飞边。它不是通常电弧焊接所形成的角焊缝。挤出的金属超出了强度需要的焊缝，但不是有害的，相反，对于产生良好焊缝是必不可少的。这种环绕着已焊螺柱的过剩熔化金属受到电弧防护圈的限制，有助于螺柱焊着端的整个横断面处于有把握的良好熔合。螺柱焊缝飞边可以在垂直边上有不熔合，在水平边上有焊瘤；并且可以有偶然的细小收缩裂纹或其他缺陷，这些常常在焊缝飞边的顶部形成，其方向对于螺柱轴线来说，基本上为径向或纵向，或二者皆有。在飞边垂直焊脚上的这种不熔合以及细小的收缩裂纹是合格的。

C-7.5 技术

C-7.5.1 自动机械化焊接。技术条款包括对设备和初始调试的要求。

C-7.5.5 FCAW、GMAW 和 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 的方法以角焊缝形式焊接螺柱。为了这种应用，焊工宜按第 4 章通过资格评定。这种选择也包括仅对现场有限数量的螺柱的焊接。显然，承包商作出这种选择是出于经济上的考虑。为确保最低线能量，应结合表 3.2 的预热要求来规定焊条直径。

用自动定时焊接设备或用药皮焊条电弧焊角焊缝焊接的螺柱都可视为免除工艺评定进行的焊接。

C-7.6 螺柱应用评定要求

在垂直表面上进行螺柱焊可以要求改进的电弧保护罩，在非平坦表面上焊接时，也可要求改进的电弧保护罩。由于螺柱制造商进行的螺柱焊接端的评定并不包括这种情况和其他特殊情况，承包商宜负责完成这些试验。试验数据的作用与其他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，这些试验是根据在用的、特定的螺柱焊装置和工艺进行的合格生产前试验。

C-7.6.1 目的。在那些实施应用评定要求的地方，特殊条件已从考虑改进的电弧防护罩和焊接位置扩大到包括螺柱穿过盖板的焊缝以及表 3.1 第 I 或 II 组以外的钢材用于焊接的螺柱。

已增加了焊缝穿过盖板的应用的要求，因为仅仅与生产现场相关联的一些问题并不涉及螺柱制造商的螺柱焊接端的评定。这些问题包括（但不限于下述内容）：盖板装配、天气条件、钢梁上翼缘板厚度和可能的涂层、盖板涂层厚度和盖板层数。建议应用评定宜在工作现场作，评定要如同现场一样，使用相同的焊接设备、操作人员、材料、涂层厚度以及梁的状态。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，以评定每一项目的作业。这种最恶劣情况的焊接变素不必用于该项目的每一个螺柱，所用设备应当经过用于最恶劣情况的考验。操作者应作资格评定，要建立现场的 PQR/WQR 记录，并且要能够将 7.7.1 的生产前试验用于其他装置和生产周期。

如果以前所作的穿透盖板焊接的应用试验包括新的工作情况，推荐工程师认可这种确当的文件证明。

对 I 组或 II 组以外的钢材所作的试验可作提示，有助于工程师对每一种这样的应用作评估。

表 3.1 所列 III 组的大多数钢材和表 4.9 所列钢材系热处理钢种，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。例如，薄的调质钢板材可能会降低拉伸强度，而厚

的调质钢则更可能降低焊接螺柱热影响区的缺口韧性。工程师特别应当对承受周期拉伸应力或反向应力的构件中焊接的螺柱进行评估。应用试验将只要证明螺柱本身连同所用的金属是合格的。

C-7.7 生产控制

每天生产最先焊的两个螺柱或下述诸项之一有任何改变时，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%。对这些术语不熟悉的使用者可参阅最新版的 AWS C5.4，*螺柱焊规程*。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。将某些螺柱和母材在温度低于 50°F [10°C] 时进行弯曲，会引起不足以通过锤击试验的韧性下降。

C-7.8 制作和验证检验要求

除施工者的目检和弯曲试验外，检验员需进行目检和弯曲试验。

C-7.8.2 和 C-7.8.4 附加试验。规范规定了监造检验员试验补加螺柱的条款。在那些螺柱焊缝失效率高的场合，根据工程师的判断，必须要求承包商纠正，返修费用由承包商承担。

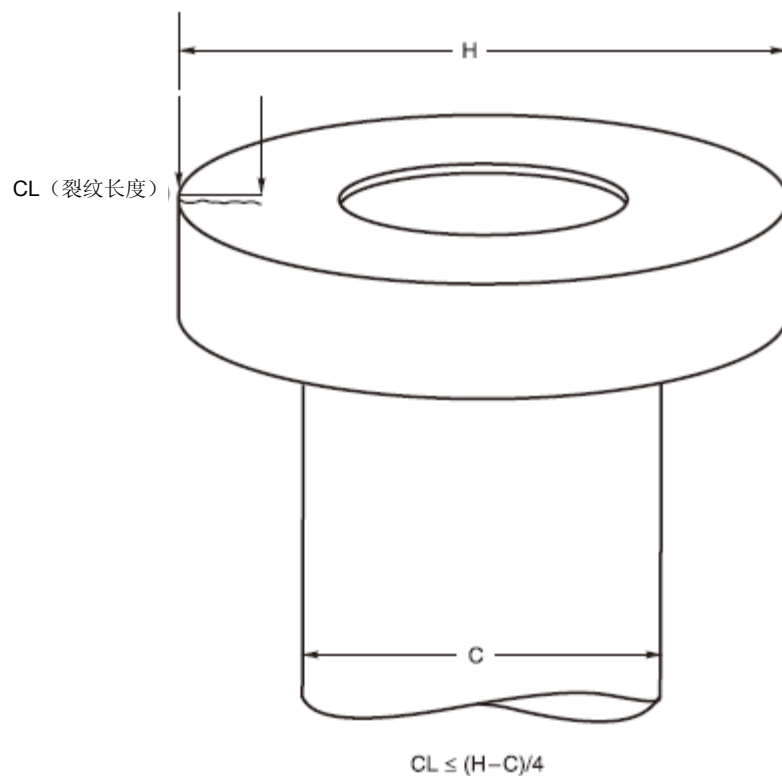


图 C-7.1 — 有头螺柱头部中容许缺陷

C-8. 现有结构的补强与修理

C-8.1 概述

对于钢制构件的补强、修理和热矫直有许多通用的技术和工艺，对此，第 8 章已作了说明，其中包括热矫直，亦即整修钢制构件的一种形式。

本规范的和第 8 章并不打算代替 ASTM A6 适用于整修新钢材的条款，只是对现有结构中构件的补强与修理提出推荐作法。

C-8.2 母材

C-8.2.1 调研。在现有设备的补强、修理和热矫直中，第一位的基本要求就是材料的鉴别。

弄清现有结构钢材的焊接性是头等重要的事情。它与材料的力学性能一起，是确定安全完善的焊接工艺的基本资料。只有真实的数据才对可靠的成本估算有用。可焊性差会使成本高而不经济，工程师应考虑其他的连接方法。

从现有结构截取代表性试样进行试验可能发现力学性能有变异。也可进行硬度测试，以估算材料的拉伸性能。

如果必须测定材料的化学成份，则可取的做法是从较厚的材料取试样，这会最大程度地显示材料的化学成份。

在不了解材料焊接性的情况下，不管母材是否适于焊接，参考资料 1 和 2 都为作出初步决定提供了简单而价廉的技术示例。

低熔化温度母材的元素，诸如硫、磷、铜、锡、铅和锌，能导致凝固裂纹或“热”裂纹。利用不取决于熔深以得到强度的低杂质的焊接工艺和接头细节有助于减少热裂趋向。较高的含碳量伴以较高合金含量，不论是有意还是无意加入，都增加了钢的可淬硬性和增加了与氢有关的裂纹或“冷”裂纹的倾向。低氢操作，较高的预热和道间温度，还有后热操作，都降低冷裂倾向。材料可以包括从易于焊接到不具有焊接性的范围。对相对焊接性进行研究是重要的（见参考资料 3、5 和 6）。

C-8.2.2 焊接的合适性。在本规范的正文中没有不锈钢、锻铁和铸铁焊接的内容。然而，在旧时结构的修理中有时会遇到这些材料。如表 C-8.1 所示，由于先天的焊接困难，在每一种情况下，都需要有焊接工艺规程 (WPS) 和有资格的焊接监督。参考资料 3 和 4 可作不锈钢焊接指南，参考资料 5 可作锻铁（熟铁）焊接指南。参考资料 3、4、5 和 6 可作铸铁焊接指南。

C-8.3 补强和修理的设计

C-8.3.1 设计处理。特别要强调对将要焊接和加热的部位进行检查。与任何一种作业有关的热膨胀能使已有裂纹向构件内进一步扩展。

C-8.3.3 疲劳经历。通常，在承受周期荷载结构中，无法得到关于过去使用情况的足够资料来估算其剩余的疲劳寿命。应根据任何一种可提供的荷载经历来对其剩余疲劳寿命作出保守估算。延续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 操作中带有荷载。现有结构的修理、补强和热矫直不同于新结构，因为这些操作可能必须在处于某些工作应力状态下的结构和结构元件上实施。

文献（参考资料 1、2、7、8、9、10、11 和 12）是关于结构构件在荷载状态下进行焊接的指南。必须根据自身特点估计每一种情况，且必须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所影响。由于拉伸和压缩残余力的抵销，残余应力不会导致构件抗挠能力数量级的降低。如果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的翘曲，因此受压构件对于残余应力的分布更敏感。对称于中性轴平衡的火焰加热或焊接，可以基本上避免这类问题。不管应力情况如何，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。焊缝与过度应力铆钉或螺栓组合连接的改型措施比 2.7.3 的规定受到更大的限制，而 2.7.3 条款是在改型时处理无过度应力部件的连接（见参考资料 22）。

C-8.4 疲劳寿命的延长

C-8.4.1 疲劳寿命的延长。如实施得当，下述整修方法可用来延长现有结构的疲劳寿命，特别是施加的应力垂直于焊件轴线的情况。下列技术延长疲劳寿命是仅根据疲劳失效缘于焊趾的观点。疲劳裂纹源于焊缝其他部位的可能性，例如裂纹源于焊缝根部，是不应忽视的。典型的应用包括疲劳裂纹的返修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的研究证明，除了气体保护钨极氩弧焊 (GTAW) 以外，沿着所有电弧焊接方法的全部焊趾都有一条尖锐的微观焊渣侵入线。然而，也发现所有焊接方法均生成程度不等的趾部咬边，即使有理想的焊缝剖面形状也如此（图 C-8.1）。其实际含义是：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，或两种形态兼呈。正常的检验方法不能探测到这些缺陷，它们是现有焊接技术任何情况下都难避免的缺陷（见参考资料 28, 32 [第 1 章和第 2 章]和 33）。

在普通材料中，疲劳寿命消耗于裂纹的起裂和扩展。不过，必须假定，类似裂纹的缺陷业已在焊接件中存在。因此，仅是裂纹的扩展消耗了焊缝的疲劳寿命。这连同处于或靠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（见图 C-8.2）。

修整焊缝趾部能延长疲劳寿命。除去这种小的业已存在的缺陷，或者使其尖锐的开口变钝（图 C-8.5）。打磨趾部或用 TIG 方法修整，重建了裂纹起裂前的状态，因而延长了疲劳寿命。锤击产生了压应力，从而延缓了裂纹扩展的速率。效果良好的焊缝横断面形状减轻了几何形状的应力集中，因而也提高了整个接头疲劳裂纹的抗力。当这些业已存在的趾部缺陷垂直于施加的应力时，延长疲劳寿命的方法最能收效（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必须符合 2.21.6.6, 2.21.6.7 以及条文说明中的相应章节 C-2.21.6.6 和 C-2.21.6.7 的要求。符合图 3.10 所示的合格焊缝形状可用下述方法实现：(1) 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 提供了精确的外形尺度。有关焊缝尺寸或厚度以及焊缝形状的疲劳种类限制必须符合表 2.8 等级 I 的标准。

(2) 焊缝趾部打磨必须沿焊趾中心线进行，管材接头（T、Y 和 K 型）和非管材接头都如此。推荐的工具包括带有碳化钨磨头的高速砂轮机。磨头端部半径必须按表 C-8.2 根据板材厚度确定。这些半径系推荐的最小尺寸，大一些的尺寸可以证明更有利。

打磨的深度必须如下：最小深度为低于板材表面 0.03 in – 0.04 in [0.8 mm – 1.0 mm]，或约为低于最深咬边底部 0.02 in – 0.03 in [0.5 mm – 0.8 mm]，从而使打磨总深度最大值达

1/16 in [2 mm]，或者为板厚的 5%，取上述情况中之较大值。磨头轴线必须与母材构成大约 45° 角（见图 C-8.3）。磨头轴线与移动方向的最大夹角必须为 45°，以确保打磨痕迹近似垂直于焊趾线（平行于应力方向）。承受纵向应力的焊缝的端部需特别小心打磨的有效性（见图 C-8.6）。完工的打磨槽道应当光亮，以获得良好的表面光洁度。对任何余留的咬边或其他缺陷应当目检和采用 MT 或 PT 检查（见参考资料 28、29、32 [第 2 章]、34 和 37）。

(3) 锤击的方法应用于屈服强度不超过 115ksi [800 MPa] 及厚度不小于 3/8 in [10 mm] 的钢材。钢锤锤头的端部必须接近半球状，其直径在 1/4 in 和 1/2 in [6 mm 和 12 mm] 之间。击痕必须以焊趾为中心，使得每一边的金属（焊缝金属与母材两者）都变形，形成光滑的表面而无明显的孤立的击痕。钢锤应与钢板表面成 45° 角，大约垂直于移动方向。低碳钢（屈服强度不超过 36 ksi [250 MPa]）上的击痕应当深约在 0.02 in [0.5 mm]；中等强度钢（屈服强度在 36 ksi 和 65 ksi [250 MPa 和 450 MPa] 之间）上的击痕约深 0.01 in [0.25 mm]；而高强度钢（屈服强度在 65 ksi 和 115 ksi [450 MPa 和 800 MPa] 之间）上的击痕约深 0.004 in [0.1 mm]（见图 C-8.7）。这些深度约需 4 次锤击。锤击前必须对焊缝进行目检，并用 MT 或 PT 进行检查（见参考资料 28、29、32 [第 2 章]、34 和 36）。

锤击的好处源于产生压缩残余应力；因此，确保在锤击后不作任何引起应力释放的处理（例如，焊后热处理）是关键。亦即，当焊接接头“处于适当位置”只承受自重荷载时才可实施锤击。

(4) GTAW (TIG) 修整是在不加填充金属情况下沿着趾重熔现有焊缝金属约达 1/16 in [2 mm] 的深度。焊缝表面必须无锈、渣和轧制氧化磷片。电极端部必须尖锐而洁净。其尖端必须位于在水平方向上离开焊趾 0.02 in 至 0.06 in [0.5 mm 至 1.5 mm]（见图 C-8.8）。在热影响区韧性可能发生问题的场合，可以使用改进技术，即施加二次回火重熔焊道（见参考资料 28、32 [第 2 和第 4 章]和 35）。

(5) 打磨焊趾继以锤击可以抑制疲劳裂纹的起裂和裂纹扩展的速率。因此，对于关键性的接头，这种组合处理提供了优良的疲劳失效抗力。锤击前，必须对焊缝表面进行目检并用 MT 检查表面缺陷。锤击过程中，每一道锤击以后都要进行目检（见参考资料 30、31 和 34）。

C-8.4.2 增加应力范围。打磨焊趾、锤击或用 GTAW (TIG) 方法修整可以增加周期荷载接头的许用应力范围，即沿 S-N 设计曲线乘以系数 1.3，这相当于周期寿命提高到 2.2 倍，S/N 斜率约 1/3。不过，打磨焊趾和锤击的效果可以叠加。对于高周 ($N = 10^7$) 可以允许应力范围乘以系数 1.5，但对于低周 ($N = 10^4$) 则系数减为 1.0（没有好处）。对于非管材接头，改进系数不应超过最高的焊态疲劳设计等级。

T、Y 和 K 形节点的管状截面已在 2.21.6.6 和 2.21.6.7 中讨论（见参考资料 28、29、30、32、34、35 和 36）。

注：Lehigh University（里海大学）关于有焊接盖板的梁的现行研究提出：正如过去的试验所表明，延长（疲劳寿命）技术（特别是锤击）对这种接头无效。

C-8.5 工艺和技术

C-8.5.2 部件缺陷。在已存在裂纹的情况下进行焊接或对钢材加热会导致裂纹扩展，这是由于裂纹尖端可能已有应力。因此坚决建议：在加热或焊接以前必须除去任何类似裂纹的缺陷。在裂纹终端钻孔或打磨除去裂纹可以防止裂纹扩展。参考资料 23 和 26 对许多常见修理情况提供了指导。返修现有焊缝的工艺也必须符合 5.26 条款关于返修新焊缝的规定。

C-8.5.4 母材厚度不足。使得截面减小的腐蚀或磨损可以减少部件厚度而低于所要求足够的焊缝尺寸。如果整个断面厚度足以承受荷载，则可对断面薄的边缘进行堆焊。

腐蚀或磨损会减少部件厚度而低于承受荷载的要求。类似地，增加荷载也可以要求补加构件厚度。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是无效的。加强构件最好是另加板材或类似的附件。

C-8.5.5 热矫直。钢制构件热矫直需要各种加热程序图。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。实际作业还需操作者的经验。

限制（包括重要的安全因素）的重点为钢材能够加热到的温度，以免在随后冷却至环境温度时钢中可能的冶金变化。钢材的化学成分和先前的回火支配着临界温度。

钢材从高温快速冷却到大约 600°F [315°C] 是不可取的，因为会发生不良的冶金转变（见 5.8 关于这一问题更详细的讨论）。

参考资料 20（AASHTO 第 II 部分 11.4.12.2.3 条款）也视 600°F [315°C] 为临界温度。此外，参考资料 21 表明：在这一温度，钢材的弹性模量和屈服点并不比环境温度时的这二者显著降低。

在通用技术条件其他部分，有关钢材适当级别和厚度的冷却速率已有推荐。可考虑水雾、湿布或鼓风加速冷却，但仅当钢材温度低于 600°F [315°C] 时才可使用。

C-8.5.6 焊接顺序。应调节焊接程序，使得在给定材料厚度和几何形状的条件下，对处于应力状态的构件横断面而言，单位焊缝长度的总热量输入能够将温度等温线保持于较狭小的范围。

C-8.6 质量

按照适当的工作条件，工程师确定检验和无损检测的等级。建议合同文本的要求与本规范第 6 章的条款相适应。

应考虑对受到焊接或矫直加热影响的铆钉和螺栓进行检查。

C-8 参考资料

1. Blodgett, O. W. *焊接结构的设计*，第 12 次印刷。Cleveland, OH: James F. Lincoln 电弧焊基金，1982 年。

2. Ricker, D. T. “对现有钢结构的现场焊接。”*工程学报* 25(1): 伊利诺伊州，芝加哥。美国钢结构学会 1988。

3. 美国焊接协会。*焊接手册*，第 4 卷，佛罗里达州，迈阿密：美国焊接协会，1982 年。

4. 林肯电弧焊。*电弧焊规程手册*，第 12 版。Cleveland, OH: James F. Lincoln 电弧焊基金，1973 年 6 月。

5. Jefferson, T. B. 和 Woods, G. *金属及其焊接方法*，第 2 版。Cleveland, OH: W. E. 出版，James F. Lincoln 电弧焊基金，1972 年。

6. 美国焊接协会，*铸铁焊接指南*，AWS D11.2.佛罗里达州，迈阿密：美国焊接协会，1989 年。

7. Nagaraja Rao, N. R. 和 Tall, L. “负载条件下补强的圆柱。”*焊接学报*，第 42 卷，研究补遗卷 177-s，1963 年 4 月。

8. Shanafelt, G. O. 和 Horn, W. B. “受损钢桥梁构件的评估和修理指南。”*报告编号 271*。华盛顿特区：美国国家公路合作研究项目，美国交通运输研究委员会，1984 年 6 月。

9. Tide, R. H. R.“现有钢结构补强的基本注意事项。”美国工程师教育学会以及操作人员会议会议记录，伊利诺伊州，芝加哥，洛杉矶，新奥尔良：美国钢结构学会，1987 年 4 月。
10. Tide, R. H. R.“生产对局部应力条件的影响。”ASCE 第七次结构和环太平洋沿岸地区工程会议会议记录，加利福尼亚州，旧金山。纽约，纽约州：美国土木工程师协会，1989 年 5 月。
11. Marzouk, H. and Mohan, S.“负载条件下宽翼缘圆柱的加强。”加拿大土木工程期刊 17(5)，1990 年 10 月。加拿大，安大略省，渥太华：加拿大土木工程师协会。
12. Tide, R. H. R.“补强钢结构件以及焊接的影响。”工程学报 27(4)：1990。
13. Stitt, J. R.“焊接大结构件期间的变形控制。”论文 844B，航空运输和空间会议。纽约，纽约州：美国汽车工程师学会和美国机械工程师学会，1964 年。
14. Holt, Richard E.“火焰弯曲的主要概念。”焊接学报，1971 年 6 月。
15. 美国钢铁公司。连续热弯横梁的制造辅助方法，ADUSS 88-5538-01，宾夕法尼亚州，匹兹堡：美国钢铁公司，1972 年 4 月。
16. Stewart, J. P. 火焰矫直技术，LaSalle, QUE，1981 年。
17. Roeder, C. W.“热致变形的实验研究。”结构工程学报 112(ST10) 1986 年。纽约，纽约州：美国土木工程师协会。
18. Avent, R. R.“钢材的热矫直：从艺术到科学。”美国国家钢结构会议会议记录，佛罗里达州，迈阿密滩。伊利诺伊州，芝加哥。美国钢结构学会，1988 年 6 月。
19. 美国土木工程师协会。钢材塑料设计，指南和注释。纽约，纽约州：ASCE，1971 年。
20. 美国国家公路与运输协会。公路桥梁标准规范，第 15 版。华盛顿特区：AASHTO，1992 年。
21. 美国钢铁公司。钢结构设计手册，ADUSS 27-3400-04。宾夕法尼亚州，匹兹堡：美国钢铁公司，1981 年 1 月。
22. Jarosch, K. H. 和 Bowman, M.D.“螺栓和焊缝并用的拉伸对接接头。”工程学报 23(1)，1986 年。
23. Fisher, J. W. 钢桥梁的疲劳和断裂。纽约，纽约州：约翰威立国际出版公司，1984 年。
24. Fisher, J. W. 桥梁疲劳指南 — 设计和细节。伊利诺伊州，芝加哥。美国钢结构学会，1977 年。
25. 《世界焊接》。“钢结构修理和/或矫直的建议”26(11/12)，英国。
26. Haagenzen, P. J.“增强焊接接头的疲劳性能”，国际海上焊接结构会议的记录。英国，伦敦，1982 年 11 月。
27. Maddox, S. J. 通过喷丸硬化处理，角焊缝疲劳强度的增强方面。英国，剑桥：英国焊接研究所，1985 年。
28. Maddox, S. J.，焊接结构的疲劳强度，第二版。Abington Publishing，1992 年。
29. Haagenzen, P. J. IIW DOC. XIII-WG2-22-93，维修方法和寿命延长，1993 年。
30. Haagenzen, P. J. 打磨和喷丸硬化处理对焊接 T 形接头的疲劳强度的影响。IIW Doc. XIII-1510-93. 1993.

31. Haagenzen, P. J., *通过打磨和喷丸硬化处理进行的寿命延长和维修*, IIW Doc. XIII-1511-93, 1993.
32. 英国焊接研究所。*增强焊接接头的疲劳性能*。英国，剑桥：英国焊接研究所，1983 年。
Maddox, S. J., 第 1 章“焊接接头疲劳简介”
Booth, G. S., 第 2 章“疲劳强度增强技术的审核”
Woodley, C. C., 第 4 章“焊趾打磨的实际应用”
Haagenzen, P. J., 第 5 章“TIG 修整对钢结构焊件的疲劳性能和硬度的影响”
33. Maddox, S. J. “国际上就焊接结构疲劳所做出的努力。”焊接与金属装配，1992 年 12 月。
34. 委员会 IIW 工作组 2 — *通过锤击或毛边打磨进行的焊趾增强的技术，建议的 IIW 规范*，1993 年。
35. Takenouchi 等，*疲劳受损公路桥梁通过 TIG 修整，维修焊缝的疲劳性能*，IIW Doc. XIII-1509-93。日本，1993 年。
36. Welsch, W. “喷丸硬化处理延长疲劳寿命。”焊接设计与制造，1990 年 9 月。
37. Connect, No. 12, 英国焊接研究所，英国，剑桥（摘自于 AWS 焊接手册，1991 年 2 月 12 日）。
38. CETIM/机械工业技术中心。*通过 TIG 或等离子修整，增强焊接接头的疲劳强度*。IIW Doc. XIII- WG2-10-91，1991 年。

表 C-8.1
焊接合适性指南（见 C-8.2.2）

结构种类	母材			
	ASTM、ABS 和 API 钢材（根据 3.3条款和表 3.1）	不连续、未知钢材、铸钢和不锈钢	锻铁（熟铁）	铸铁
静荷载或周期荷载非管 材，第2章，B部分	按第3章要求检查免除评定的情况。可以采用复合第3章要求的免除评定的WPS。	ASTM A7、A 373、A441- 用表3.1（第 II组）和第3章。其他见注a。	应用注 a 和注 b。	应用注 a 和注 b。
周期荷载，非管材，第2 章，C部分	按第3章要求检查免除评定的情况。可以采用复合第3章要求的免除评定的WPS。	ASTM A7、A 373、A441- 用表3.1（第 II组）和第3章。其他见注a。	应用注 a 和注 b。	不推荐
管材，第2章，D部分	可以采用复合第3章要求的免除评定的WPS。			
静荷载	按第3章要求检查免除评定的情况。	应用注 a。	应用注 a 和注 b。	应用注 a 和注 b。不推荐
周期荷载管材	按第3章要求检查免除评定的情况。	应用注 a。	应用注 a 和注 b。	不推荐

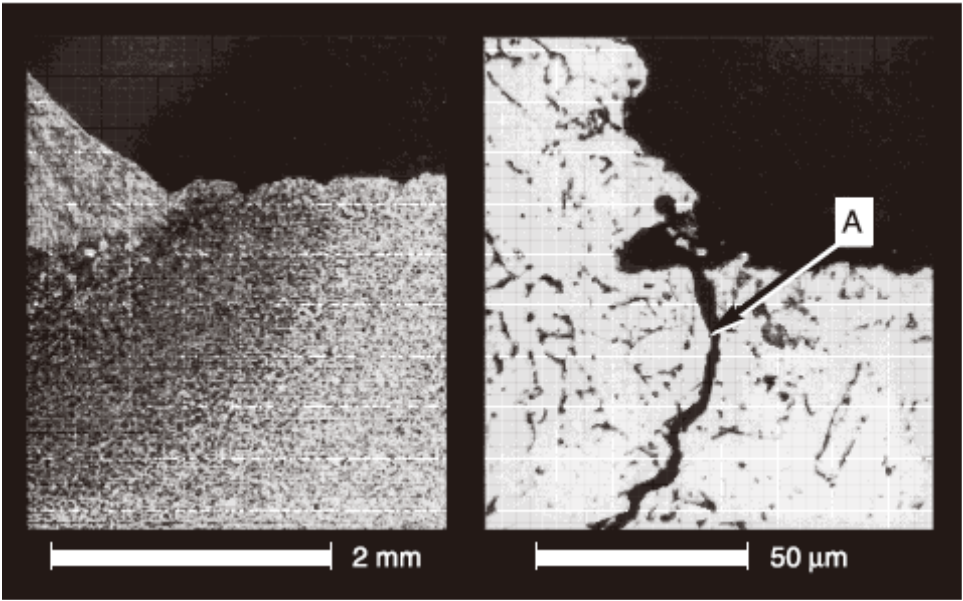
^a 确定焊接合适性：以前的满意的焊接实物可以为使用表 3.1（第II 组）填充金属提供根据。如无过去焊接实物，则制备样品并准备进行WPS 评定。如无法得到样品，则在结构上安全区域的适当位置进行焊接试验。

^b 确定焊接合适性的合格人员必须提供书面WPS 和监控焊接操作，所有这些均由工程师认可。

注：需要有工程师批准的书面焊接工艺规程（WPS）。

表 C-8.2
板材厚度与磨头半径的关系[见 C-8.41（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



英国焊接研究所提供，1980

注：焊趾处的微观侵入相当于也已存在的缺陷（见 C-8.4.1）。

图 C-8.1 — 微观侵入

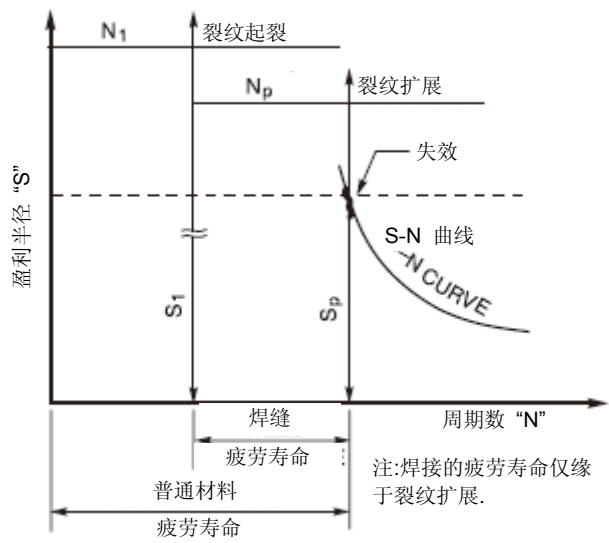


图 C-8.2 — 疲劳寿命（见 C-8.4.1）

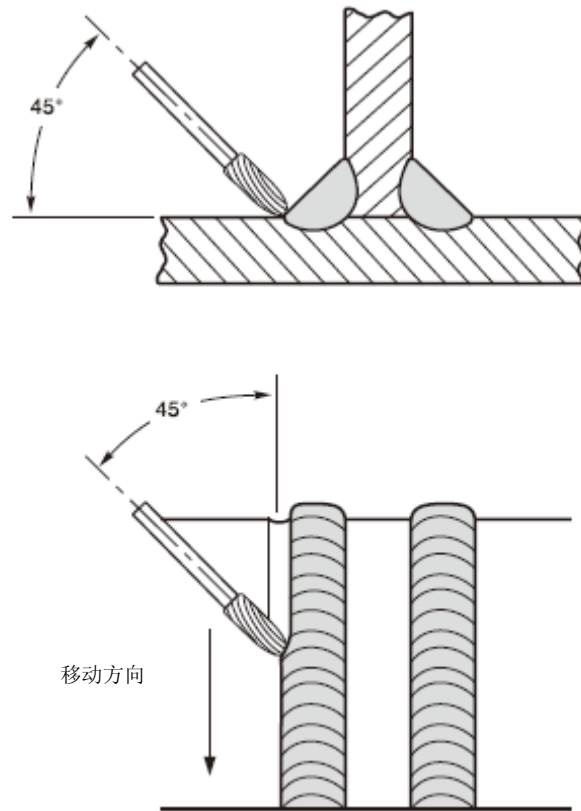


图 C-8.3 — 带磨头的砂轮机修整焊趾（见 C-8.4.1）

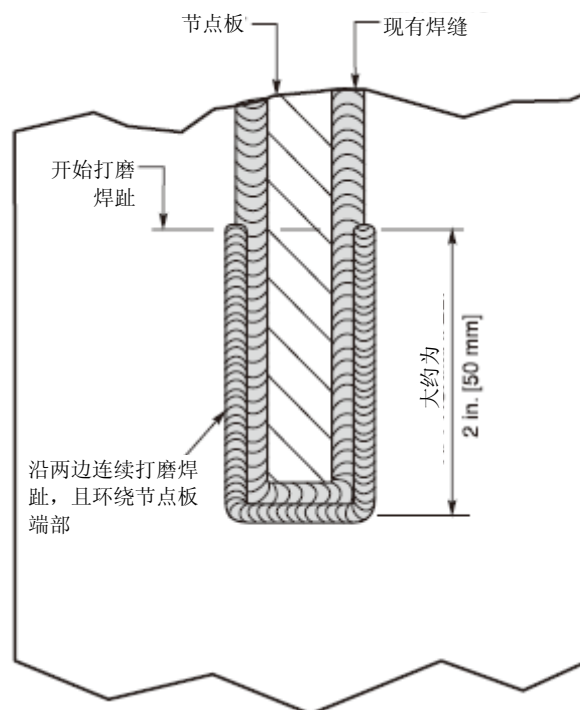


图 C-8.4 — 垂直于应力的焊趾修整（见 C-8.4.1）

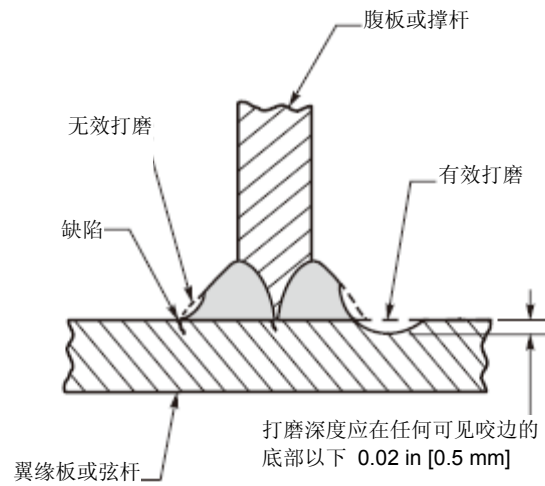


图 C — 8.5 — 有效的焊趾打磨（见 C-8.4.1）

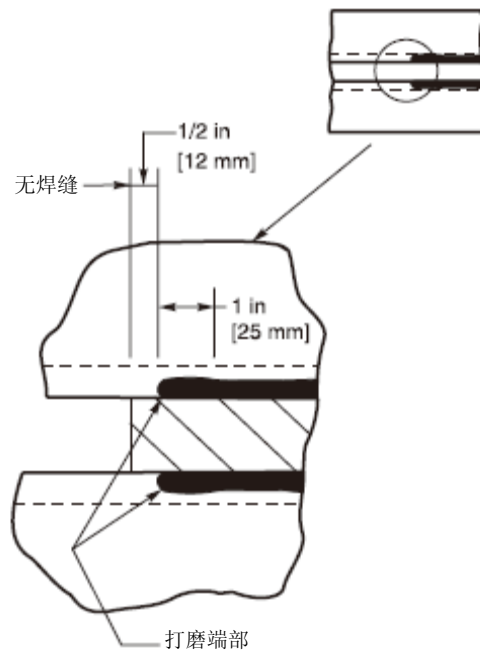


图 C-8.6 — 端部打磨[见 C-8.4.1(2)]

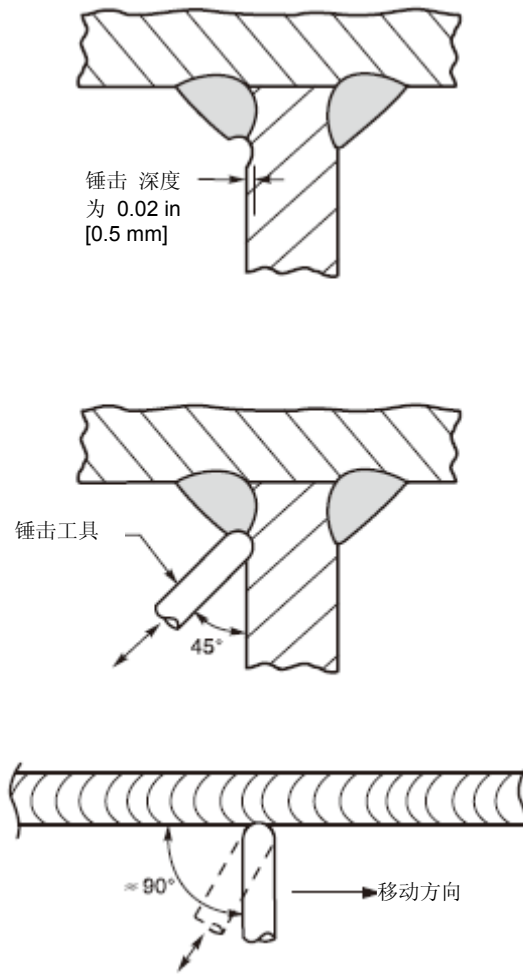


图 C-8.7 — 锤击[见 C-8.4.1 (3)]

(经由 S. Maddox. IIW. Com. XIII 提供)

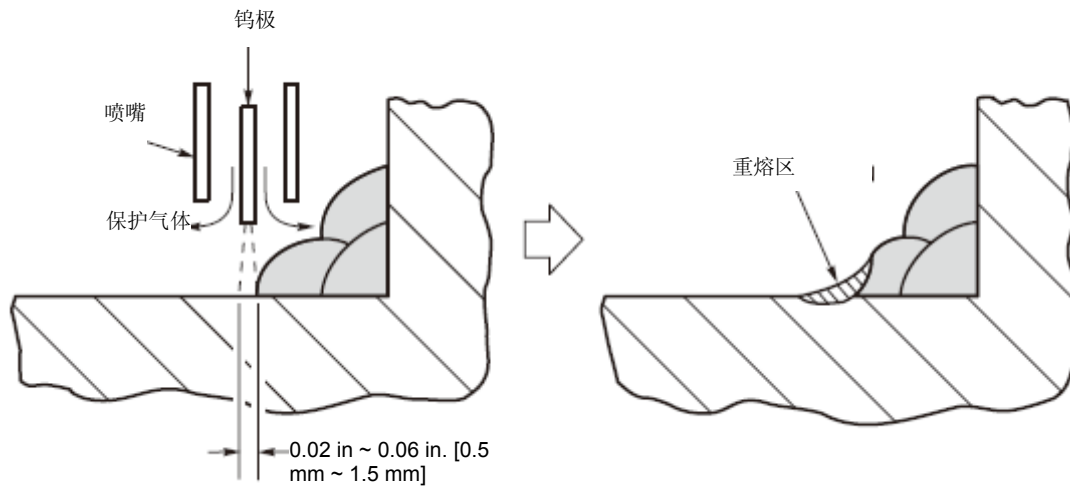


图 C-8.8 — 焊趾重熔[见 C-8.4.1(4)]

(经由 P Haagensen, IIW, Com.XIII 提供)

C-附录 I 关于确定预热温度的一些可用方法指南

预热—背景回顾与讨论

一般意见。氢致裂纹发生的可能性与许多因素有关。其中一些因素是总体的且可以界定的（例如化学成分及厚度），而另外一些因素是局部的（例如焊缝根部的几何形状细节，或某些化学元素的局部偏析），无法界定。

在某些情况下，这些因素可能处于支配地位，并且要理论上精确推测为了避免氢致裂纹而必须的预热条件，实质上是不可能的。这些情况必须利用经验去辨别并采用保守的工艺。然而，根据当前对氢致裂纹现象的认识，在大多数情况下，已能有效地预测防止氢致裂纹所需要的预热温度和其他焊接工艺细节，而且大多数情况下，无需过分保守。

当然从这一体系预测的预热温度必须与经验数据相结合。这就要求允许制造商根据与他们有关的一整套具体情况去优选预热条件。因此本指南所提供的预热温度是基于所焊钢板的化学成分，这种化学成分可以从钢厂的报告或通过化学成分分析确定，而不是对一种给定钢材的技术规格要求一定的预热温度。这样，制造商就可以根据其具体情况，选择较低的预热温度和较经济的焊接工艺。另一方面，对一些关键的接头，例如高拘束的接头，应该提供更好的指导，以使制造商能采取足够的预防措施。

预测预热的基础。研究表明产生氢致裂纹有以下四项基本先决条件：

- (1) 敏感的微观组织（硬度是敏感性的一个粗略的指标）；
- (2) 合适的可扩散氢含量；
- (3) 合适的拘束水平；
- (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，但这两项都具备对于产生氢致裂纹是必要的。防止氢致裂纹的实用方法，如预热，就是设法控制这些因素中的一项或几项。

过去，有两种不同的方法来预测预热温度。根据大量角焊缝的 CTS 裂纹试验，提出过一种基于热影响区临界硬度的方法（见参考文献 1 和 2）。通过控制焊缝的冷却速度，以使热影响区的硬度不超过临界值，从而可消除氢致裂纹的危险。

被认可的临界硬度可能是氢含量的函数。但这种方法并未弄清预热对于焊缝冷却过程中氢排出的作用；尽管在本指南中此法被推荐用于预估不预热焊接的最小线能量，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基于控制氢。为弄清低温时的冷却速度即 572 °F ~ 212 °F [300 °C ~ 100 °C] 的冷却速度的作用，已经通过高拘束的坡口焊缝试验（见文献 3）确立了临界冷却速度、化学成分及氢含量之间的经验关系。

另有一些研究人员利用简单的氢扩散模型提出了比较综合的模型（见文献 4、5、6）。氢含量通常只是其中一个对数项。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参数，可以认为它表示氢脆的敏感性。在一给定的拘束下，临界冷却时间与此参数之间存在一种关系。这就可以根据大量试验或经验为各种不同的约束度以及为其他类型的角焊缝指出界线（见文献 7）。在推广应用此方法时，必须假定具体的预热温度和冷却时间之间的关系。

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，知道这一点很重要。

通过在这些试验中是检查对接接头的根部单焊道。此处被认为是最重要的，常常用来确定预热温度；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。然而，对于一般应用场合，预热温度仍应由施焊根部焊道的要求来恰当地确定。基于这一理由，线能量在这种氢含量控制方法中作用不显著。

建议预热要求的范围。在建议用于预测预热温度的所有方法中一个重要特征被忽略，即焊缝金属的裂纹。假定都是：预热温度取决于热影响区开裂（因此取决于母材的成份），但是在某些情况下，特别是对现代高强度低合金钢，焊缝金属可能更加敏感。对此问题尚无充分研究资料可以列入本指南，遇到此情况时进行试验可能是必要的。

拘束

采用氢含量控制法来确定预热温度的主要问题在于选择拘束的量值。本指南考虑了 3 种约束量级。第 1 级为低拘束，认为它与厚度无关。低拘束相当于拘束度 K 值小于 1000N/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。中等拘束是根据拘束度值 $K = 150 \times \text{板厚 (mm)}$ ，它相当于已经报导过的大部分测定出的拘束度值。高拘束系根据拘束度值 $K = 400 \times \text{板厚 (mm)}$ ，表示严重的拘束。要注意，在中等拘束和高拘束的情况下，据认为，拘束随板厚的增加而加大。

必须说，拘束对所需的预热量有明显的影响。本规范表 3.2 中与预热有关的参数内容见该表下面的注 a。在那里仍可能还未将国际上关于预热的重要设想完全包括进去。

本指南提请用户注意，本规范提出三个通常所说的等级表述焊接接头的拘束状况。随着继续对参加或未参加一项工业生产监察计划的部分用户的密切关注，根据实践细节或结构的建造情况，终将拘束得以更精确地界定。

直到目前不能更明确地界定拘束，这一事实不应成为不关注拘束、不认清其重大影响以及不提出目前最好解决办法的充足理由。

注：一项由有关工业部门发起并监督的计划值得充分的考虑，这项计划设想一种有效并迅速交流经验的做法，以便能根据 3 种拘束分级对具体的结构细节和情况作最后的分类和列表。

从制作和工程实际中收集到的拘束数据，可能为更实际地评估拘束提供基础，也为根据指南的建议更可靠地确定预热温度提供基础。

除某些管材构造以外，对结构工程中焊接工艺评定的现行要求都依赖于用以“证明”预热的充分性的标准试验组装件，试验的接头与产品组装件的部件相同。有一点应该意识到，评定中是不考虑“拘束”的。改为使用“模拟的试验组装件接头”来进行评定，会得到更可靠的实际工作状态下的结果，另外还能收集到可靠的拘束数据。

线能量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的热影响区硬度方面是至关重要的，但规定焊缝尺寸却是更经常的实际做法。线能量与角焊缝尺寸（即焊脚长度）之间的关系并非唯一的，而是与焊接方法、极性及其它因素有关。有些工人提出，在冷却速度和熔化金属的总横截面积之间存在一定的关系。然而后者又难以测定，在实用上不能作为规定焊缝尺寸的恰当方法。

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焊脚长度的平方数与线能量的关系曲线。另一个信息来源于熔敷速度数据，即假设全部熔敷金属开成一个理想的角焊缝。在相同线能量情况下，结果根部有间隙，在相同线能量情况下，其焊脚长度要

比良好的无间隙装配情况下小些。表达这种结果的曲线如图 I.4 所示。

对于药皮中含有大量铁粉的手工药皮焊条，同样的线能量所生成的角焊缝尺寸较大。对于埋弧焊，焊丝的极性和焊丝的外伸长的影响要比想象的大得多。就焊接条件的常规实用范围而言，可以认为是一条单一的散布带。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

应该清楚的是，所建议的方法是以对所涉及的概念有良好的工程认识为先决条件，也是以正确评价基本因素的影响、以及基于预热方法理论的这些基本因素相互作用的影响为先决条件的。

在选择合适的硬度曲线时必须进行工程判断，而实际评价拘束等级必须是这种判断的一部分。

测量有效预热的方法仍然是一个独立的问题，需要各方不断的关注。

预热防止裂纹的有效性在很大程度上取决于预热的区域和所用的方法。

由于预热的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效果更好些。

没有必要改变表 3.2 的注 a 中预热为离开焊接点 3 in. [75mm]半径这一规定，因为其它作业已证实这一要求的有效性。

预热的方法（设备、气体）应该是另一项研究课题，制造商要怀有给他的经济性和有效性以回报的目的给予较大的投入。

C – 附录 I 参考资料

1. British Standards 5135-1974.
2. Coe, F. R. *Welding steels without hydrogen cracking*. Welding Institute of Canada, 1973.
3. Graville, B. A. "Determining requirements for preheat." *Technology Focus*. Welding Institute of Canada, October 1980.
4. Ito, F. and Bessyo, K. *A prediction of welding procedures to avoid HAZ cracking*. IIW document No. IX-631-69.
5. McParlan, M. and Graville, B. A. *Welding Journal* 55(4): p. 92-s. Res. Suppl., April 1976.
6. Suzuki, M. *Cold cracking and its prevention in steel welding*. IIW document No. IXC-1074-78.
7. Tersaki et al., Trans. JWS 10(1), April 1979.

索引

A

“A” 扫查 (UT), 6.22.1

验收标准, 5.15.1.1, 7.4.7

可选方法, 6.8

弯曲试验, 4.9.3.3, 4.31.4.1, C-4.9.3.3

角焊缝, 4.31.4.1

宏观腐蚀试验, 4.9.4.1, 4.31.2.3

MT, 6.10, 6.12.2

非管材结构, 6.11.2.1, 6.12.2, 6.13.1, 6.13.2

PT, 6.10, 6.11

缩减断面拉伸试验, 4.9.3.5

RT, 6.12, 6.12.1

螺柱焊, 7.7

点焊, 4.32

管材结构, 6.12.1, 6.13.3

UT, 6.13

目检, 4.9.1, 4.31.1, 6.9, 表 6.1

老化, 4.3.2

结构钢建筑物 *AISC* 负载和阻力因素设计规范, 2.21.5

对齐, 5.22

夹具和固定装置, 5.22.6

偏离, 5.22.6

对接接头中焊缝, 5.22.6, C-5.22.3

许用应力

ASD, 2.21.1, 2.25.1.6

母材, 2.6.3

限制, 2.21.6.3

焊缝金属, 2.6.4, 2.16.1, 2.21, 2.21.3, 2.24.3, 表 2.3, 2.6

全焊金属试验, 4.9.3.6, 4.18.2, 图 4.18, 4.23

α (椭圆参数), 2.25.1.5, 附录 T

斜射探头 (UT), 6.22.7

角状构件, 2.15.4
各向异性, 2.7.3
ANSI B46.1, 5.15.4.3
ANSI Z49.1, 1.7
防溅化合物, 5.15
批准, 1.5
电弧罩, 7.2.2, 7.4.4, 7.4.6, 7.9.3, 7.9.9, 7.9.10(1)
电弧击伤, 5.29, C-5.29
建筑上的考虑, 5.23.6.5
详细公差, 3.12.3, 3.13.1, 图 3.3, 3.4
ASME 锅炉和压力容器规范, 6.17.5.1
ASNT (美国无损检测协会), 6 脚注 1
ASNT 推荐规程 SNT-TC-1A, 6.14.6.1, 6.27.1
装配, 5.22.1, 5.22.4
助理检验员, 6.1.3.3
ASTM A 6, 5.17.3
ASTM A 370, 4.9.3.6
ASTM A 435, 5.15.1.1
ASTM A 673, 2.26.2.1
ASTM E 23, 4.34.2
ASTM E 94, 6.16.1, 6.17.4
ASTM E 142, 6.16.1
ASTM E 165, 6.14.6
ASTM E 709, 6.14.5
ASTM E 747, 6.17.7
ASTM E 1032, 6.16.1, 6.17.7
ASTM 母材, 表 3.1–3.3, 4.9
耐大气腐蚀性, 3.7.3, 表 3.1 (注)
暴露于大气中的时间, 5.3.2.2, 5.3.2.3
附件, 2.9.3.1
辅助, 3.4, 附录 K
衰减系数, 6.26.64

衰减, 见增益控制

AWS A2.4, 1.6

AWS A3.0, 1.3

AWS B1.10, *焊缝无损检测指南*, 6.14

AWS B4.0, 4.34.2

AWS D1.3, 1.2(2)

轴向对齐部件, 2.8.1

轴向负荷部件, 2.9.1.1

B

背面清根, 3.12.1, 表 4.5 (35)

切削, 5.15.2

打磨, 5.15.2

氧气刨槽, 5.15.2, 5.17

衬垫, 2.17.2, 2.18.1, 3.12.1, 5.2.2, 5.10, 5.22.2, 表 2.5, 图 3.4

UT, 6.26.12, C-6.26.12

衬垫, 移除, 5.10.5, 6.17.5

衬垫厚度, 5.10.3

背散性, 6.17.8.3

衬垫, 5.3.2.1, 5.3.2.2, 5.3.2.4, 5.3.2.5

母材 2.6.3, 3.3, 5.2, 8.2, 表 2.5, 3.1, 3.2, 4.9

填充金属组合, 3.3, 表 3.1, 4.9

检验, 5.15.1.2, C-5.15.1.2

限制 (管材), 2.27.1

限制 (通用), 1.1.1

缺口韧性 (管材,) 2.27.2, C-2.27.2

制备, 5.15

评定, 4.8.3, 表 4.8

移除, 5.26

修理, 5.19.1, 5.22.4.1, 5.26

规范, 2.21.1

应力, 2.6.3

表面, 5.15

热切割, 5.15.4
厚度, 3.5.1
韧性, 2.27.2
未编入册, 3.3, 4.8.3
底板, 2.7.2.1, 2.7.2.2
梁, 穿越孔, 5.17, 图 5.2
切屑瘤, 5.19.1
曲度, 5.23.3, C-5.23.3
开槽口, 5.17, 图 5.2
盖板, 表 2.5
梁 (续)
曲线, 5.23.5
深度, 5.23.9
拼接, 5.20
直线度, 5.23.1
加劲肋, 5.23.11
倾斜, 5.23.8, C-5.23.8
翘曲, 5.23.8, C-5.23.8
荷载的点支承, 5.23.10
承重加劲肋, 5.23.10, 5.23.11.3
公差, 5.22.2, 5.23.11
弯曲试验要求, 4.9.3.1, 4.9.3.2, 4.9.3.3
弯曲夹具, 4.9.3.1, 图 4.15 –4.17
弯曲试验, 螺柱焊, 7.6.6.1
投标人, 5.23.6.5, 6.14.1
开错位置的螺栓孔, 通过焊接修复, 5.26.5, C-5.26.5
螺栓, 2.7.7
箱形截面扭曲, C-5.23.8
箱形截面, 图 2.14
连接长度, 2.24.5
角半径, 2.24.1.2
缝隙连接, 2.21.2

匹配连接, 3.12.4.1

焊瘤, 2.21.2

箱形管设计规则, 2.25.2

支撑, 5.23.5

分支构件, 2.24.3, 2.24.5, 2.25.1.1, 2.25.1.2, 2.25.1.5, 2.25.2.3, 2.25.2.4

断裂试验, 角焊缝, 4.31.4

屈曲应力, 2.25.2.1

建筑规范, 附录 K

组合构件, 2.12.1, 5.19

断续焊缝, 2.12.2.1, 2.12.2.2

断裂, 7.25

对接接头, 2.24.3, 3.13.4, 4.13.1, 4.13.2, 4.14, 5.22.3, 图 3.3, 3.4, 4.24, 4.25

C

校准, UT, 6.25, 6.29, 附录 H

斜射波束, 6.25.5, 附录 H

试块 (IIW), 6.22.7.7, 图 6.20

dB 精确度, 6.30.2

设备, 6.22.1, 6.23.1, 6.29

水平线性, 6.30.1, 附录 H3

纵波型, 6.22.6, 6.29.1, 附录 H1

诺莫图, , 附录 M, 图 M.2

剪切波模型, 6.29.2, 附录 H2

曲度, 5.19.1, 5.23.2, 5.23.3

梁, 5.23.3, C-5.23.3

大梁, 5.23.3, C-5.23.3

侧廊, 图 C-5.6

调制钢, 5.19.2

公差, 表 5.6, 5.7

面焊道, 附录 K

碳当量, 附录 I, I5.1, I6.1.1, 表 I.1, 图 I.1, I.2

捻缝 (凿密), 5.28

重心载荷, 2.6.4.2

转动重心, 2.6.4.3

圆形剖面, 图 2.14

连接长度, 2.24.4

限制, 2.21.2

强度术语, 表 2.10

应力分类, 表 2.7

切削, 5.15.2

CJP 焊缝, 2.3.5.3, 2.3.5.4, 2.4.1.2, 2.7.2.2, 2.7.5, 2.8.2, 2.17.2.2, 2.18.4, 2.19, 2.24.2.2, 3.11, 3.13, 4.5.10.3, 4.6, 4.10, 4.11.4, 4.13, 4.21, 4.24, 4.26, 4.27, 6.26.12, 附录 K, C-2.6.4, C-2.16.2, C-4.13, C-4.13.4, C-4.27, C-6.26.12, 表 2.5–2.7, 3.5, 3.6, 4.1, 4.2, 4.5(32), 4.10, 4.11, 6.1–6.3, 图 3.4, 3.6–3.10, 4.9–4.11, 4.27–4.33, 6.6 (案例 I–IV), 6.8

清洁, 5.30, 7.4.1

焊接飞溅, 5.30.2

限幅控制 (UT), 6.25.1, 6.26.6

规范的解释, 前言, 附录 O

崩溃, 2.25.1.2, C-2.25.1.2

列, 直线度的偏差, 5.23.1

焊缝组合, 2.7.4

压缩构件验收, 6.12.2.2

组合, 2.12.2.2

列, 5.23

拼接, 2.7.2.2

应力, 6.12.2, 6.13.2, 表 2.3, 2.6

焊缝间距, 2.12.2.2

凹度, 4.9.1(5), 5.24.1, 5.26.1.2

恒定电压, 3.2.4, C-3.2.4

结构辅助焊缝, 5.18, 附录 K

焊接材料验证试验, 4.12.1.2, 4.12.3, 图 4.23

外形焊缝, 2.17.3

合同文件, 1.2(4), 1.3.3.1, 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, 2.8.4

承包商, 1.3.2, 4.2.1, 4.3.3, 4.7.4.7, 4.18.2, 5.3.1.1, 5.21.3, 5.22.3.1, 5.26.1, 6.6, 7.1, 7.2.6, 7.3.3, 7.5.5, 7.6.2, 7.6.6, 7.8.4, 7.8.5

承包商职责, 6.6

承包商检验员, 1.3.3.1, 附录 K, C-1.3.3.1

凸度, 2.25.1.6, 图 5.4

冷却速率, l, 图 l.2, l.3

开槽孔, 5.17

角接接头, 2.7.5, 2.17.3, 2.18.1, 3.11.2, 4.10.1.1, C-3.11.2

角形反射体 (禁用), 6.23.2, C-6.23.2

缺陷校正, 6.6.2

防腐, 2.14.3

盖板, 梁, 表 2.5

裂纹, 4.9.1, 4.9.3.3, 4.31.2.3, 4.32.1, 5.26.1.4, 5.26.3, 6.12.1, 6.12.2, 6.12.1, 表 6.1

凹痕, 4.9.1, 5.26.1.2, 表 6.1(3)

破碎的焊渣, 5.3.3.4, C-5.3.3.4

累积损坏, 2.21.6.4

CVN 试验, 1.4(5), 2.3.2, 2.27.2.1, 2.27.2.2, 2.27.2.1, 2.27.2.2, 4.2.1.3, 4.7.1, 4 D 部分, 5.26.5(3)[d], C-2.3.2, C-2.27.2.1, C-2.27.2.2, 表 4.6, 图 4.7—4.11

周期载荷, 2, C 部分, 2.20

应力范围, 2.16.2, 表 2.7, 图 2.11, 2.13

周期荷载结构, 2, C 部分

验收标准, 6.12.2, 6.13.2, C-6.12.2, C-6.13.2

许用应力, 2, B 部分, 表 2.3

衬垫, 5.2.2, 2.17.1(2)

梁, 盖板, 表 2.5

复合应力, 2.15.2

疲劳应力, 2.16.2, 5.20, 表 2.5

角焊缝, 2.17.6

大梁腹板的平直度, 5.23.6.3, 附录 E

大梁, 拼接, 5.20

提高的单位应力, 2.6.5

禁止的焊缝, 2.18

焊缝质量, 8.6, 附录 C

RT, 6.12.2, C-6.12.2

受拉构件, 6.13.2

过渡半径, 2.17.1.2

对接接头中厚度或宽度的过渡, 2.17.1

咬边, 表 6.1(7)

单位应力, 2.16.1, 表 2.3

UT, 6.13.2, C-6.13.2

目检, 6.9, 表 6.1

D

分贝计算公式, 6.30.2.2

工作中的缺陷, 6.6.2

定义, 1.3, 3.1, 3.12.1, 附录 K

延迟的检验, 6.11, 表 6.1

详细信息, 2.3.5.4, 2.3.5.5, 2.7.1, 3.13.5.1, 表 3.5, 图 3.3, 3.4

露点, 5.3.1.3, C-5.3.1.3

图示焊缝, 2.4.2.6, 2.4.2.7, 附录 A

横隔板, 2.12.2.2, 2.25.2.2, 表 2.5

冲压, 6.5.4

二面角, 2.4.3.1, 3.9.3.1, 附录 K, P, 表 2.2, 3.5

尺寸公差, 3.12.3, 3.13.1, 5.23.6.1, C-5.23.6.1, 图 3.3, 3.4

不连续性, 4.9.3.1, 4.31.3, 5.4.6, 5.24.3, 6.6.5, 6.11, 6.12, 6.13, 6.26.6.3, 6.26.8, 6.27.7, 6.27.8.2, 6.27.8.4, 6.32.1, 6.32.2, 7.4.7, 表 6.1

验收标准, 6.7, 6.9, 6.12, 6.12.1, 6.12.2, 6.12.1, 6.13.1, 6.13.2, 6.13.3, C-6.7, 表 6.1。

尺寸, 6.12.2.1, 6.12.2.2, 图 6.4–6.6, 6.8

延伸, 6.12.1(1)

同轴的, 6.12.1(6)

孤立的, 6.12.1(5)

长度, 6.31.2

修理, 5.15.1.2, 6.6.5, 6.26.10

圆形, 6.12.1(5)

不连续性尺寸评估 (UT), 6.31, 6.33

斜射波束检测, 6.31.2

直射波束检测, 6.31.1

射线照片的处理, 6.19.3

失真, 5.21, 5.23.6.4 矫直, 5.26.2

图纸, 2.3, 2.3.1, 2.3.5, 2.3.5.3, 2.4, 2.11.3, 2.17.6, 3.12.2.1, 5.18.1, 6.5.1, 7.2.1, 7.6.7

干燥

电弧罩, 7.4.4

电焊条, 5.3.2.4

焊剂, 5.3.3.2, C-5.3.3.2

烤箱, 5.3.2.4

E

离心率, 2.4.3.1, 2.6.2, 2.20.1, C-2.6.2

边块, 6.17.13, 图 6.15

边缘不连续性, 5.15.1.1, 图 5.1

焊缝有效厚度, 2.4.2.6, 2.4.2.10, 2.4.3.7, 也可参见有效焊缝尺寸

焊缝有效面积, 2.4.1.5, 2.4.2.10, 2.24.1.1, 2.24.2

焊缝有效长度, 2.4.1.1, 2.4.2.1, 2.4.2.2, 2.24.1.1

箱形, 2.24.5

圆形, 2.24.4

有效焊缝尺寸, 2.4.1.4

图示焊缝, 2.4.2.6, 2.4.2.7, 附录 A

有效宽度（箱形截面）, 2.25.2.3, 2.25.2.4, C-2.25.2.4

EGW（气电焊）, 3.2.2, 4.8.2, 4.21, 5.4

全焊缝金属张力试验, 4.18.2

CVN 试验, 4, D 部分

焊条, 4.18.2, 5.4.2

焊剂, 5.4.3

导管, 5.4.2

接头详图, 4.18, 图 4.9, 4.36

机械性能, 4.18.2

预热, 5.4.5

以前的评定, 4.18.1

资格评定, 4.16.1, 4.18

调制钢, 5.4.1

修理, 5.4.6

保护气体, 5.3.1.3

启动和停止, 5.4.4

防风, 5.12.1

WPS, 4.18, 5.4

WPS 评定, 基本参数, 4.8.2, 表 4.7

WPS 评定记录表格, 附录 N, 弹性分析, 2.15.1

焊条, 3.3, 3.7.3, 4.18, 5.3.2, 5.3.3, 5.3.4, 7.5.5, C-3.7.2, C-4.18, C-5.3.3, C-5.3.4, 表 3.1–3.3, 4.9

干燥, 5.3.2.1, C-5.3.2.1

EGW, 4.8.2, 表 4.7

ESW, 4.8.2, 表 4.7

FCAW, 5.3.4.1, 表 3.1–3.3

耐大气腐蚀性, 3.7.3, C-3.7.3, 表 3.3

GMAW, 5.3.4, C-5.3.4, 表 3.1–3.3

低氢, 5.3.2.4, 5.15.1.2, 7.5.5.2, 7.7.5, 表 3.1, 3.2

制造商证书, 5.3.1.1, 附录 G, I

SAW, 5.3.3.1, 表 3.1–3.3

SMAW, 5.3.2, 表 3.1–3.3

存储, 5.3.1.4, 5.3.2.4, 5.3.3.1

焊工资格评定组, 表 4.13

端部绕焊, 2.4.2.1, 2.9.3.3

线能, 附录 I, I.3, C-I3

工程师, 1.1, 1.5, 1.3.1, 1.3.3.2, 1.3.6.1, 1.4, 1.4.1, 1.4.3.2, 2.13.3, 3.2, 3.4, 4.2.1.2, 4.2.2.1, 4.16.2, 4.18.1, 5.3.1.1, 5.3.1.3, 5.10.4, 5.10.5, 5.15.1.1(4), 5.15.4.2, 5.18.1, 5.21.3, 5.22.1.1, 5.22.3.1, 5.22.4.1, 5.22.4.4, 5.26.3, 5.26.5(2), 6.5.3, 6.6.3, 6.8, 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, C-1.3.1, C-1.3.3, C-1.4.1, C-1.4.3.1

设备

危险, 1.7

UT, 6.22

焊缝, 5.11, 6.3, 7.2.1, 7.5.1

基本参数, 3.2.3, 3.6, 4.8, 表 4.5

EGW, 4.8.2, 表 4.7

ESW, 4.8.2, 表 4.7

FCAW, 表 4.6

GMAW, 表 4.6

SAW, 表 4.6

SMAW, 表 4.6

定位焊工资格评定, 4.3.2, 表 4.12

焊工, 4.3.2, 表 4.12

自动焊工, 4.3.2, 表 4.12

ESW (电渣焊), 3.2.2, 4.8.2, 4.21, 5.4

CVN 试验, 4, D 部分

焊条, 4.18.2, 5.4.2

焊剂, 5.4.3

导管, 5.4.2

接头详图, 4.18, 图 4.9, 4.36

以前的评定, 4.18.1

资格评定, 4.16.1, 4.18, C-4.18

调制钢, 5.4.1

启动和停止, 5.4.4

WPS, 4.18, 5.4, 表 4.7

WPS 试验记录表, 附录 N

现有结构, 8.5

设计, 8.3

疲劳应力, 8.4

活载荷, 8.3.2

材料, 8.2

修理, 8.3.4

铆钉或螺钉, 载荷, 8.3.7

增强, 8.3.6

工艺, 8.5

裸露情况, 3.7.3, 表 3.3

单壁成像 (RT), 6.18.1.1

双壁成像, 6.18.1.2, 6.18.1.3

延伸杆, 见焊缝引、熄弧板

视力测试, 6.1.4.4

F

制造者, 3.6, 5.3.1.3, 5.22.3.1, 6.17.12, 也参见承包商

面弯试验, 4.9.3.1, 4.9.3.3, C-4.9.3.3, 图 4.12
失效, 局部, 2.25.1, C-2.20
疲劳, 2.13.1, 2.13.3, 2.16.2, 2.20, 8.3.3, 8.4, 附录 K
许用应力, 2.21.6.3, 图 2.11, 2.13
疲劳, (续)
增长, 2.6.5, 2.21.6.4
性能改进, 2.21.6.6
类别, 3.13.5, 表 2.5, 2.8
关键部件, 2.21.6.5
累积损坏, 2.21.6.4
周期荷载结构, 2.16.2, 表 2.5
历史, 8.3.3
寿命延长, 8.4
荷载, 8.3.5
锤击, 2.21.6.6(3)
尺寸和剖面影响, 2.21.6.7
应力类别, 2.21.6.2, 表 2.7, 图 2.13
应力循环, 2.21.6.1
应力范围, 2.21.6.1, 图 2.11, 2.13
管材结构 2.21.6.6, 表 2.7, 2.8
贴合面, 2.4.5.3, 5.22.1, 5.24.3.2
FCAW (药芯焊丝电弧焊), 3.2.1, 3.10
衬垫, 5.10, C-5.10
焊条, 5.3.1.5, 5.3.4, 5.3.4.1
层厚度, 表 3.7
限制, 3.13, 3.2.4
电源, 3.2.4, C-3.2.4
免除评定的 WPS, 3, 3.2.4
防护, 5.12.1
保护气体, 5.3.1.3, C-5.3.1.3
WPS 资格评定, 4
基本参数, 表 4.5

FCAW-G, FCAW-S, 附录 K

套圈, 7.4.4

纤维应力, 2.21.3

现场焊接, 2.3.1

填充料 (非金属), C-5.28

填充金属

母材金属组合, 3.3, 表 3.1

切丝, 表 4.5(7)

焊条-焊剂, 3.3, 5.3.1.1

焊条, 3.3, 5.3, 表 3.1

颗粒, 表 4.5(8)

氢控制, 附录 I6.2

匹配要求, 3.3, 表 2.3, 2.6

粉状, 表 4.5(9)

属性, 附录 V

存储, 5.3.1.4, 5.3.2.1, C-5.3.2.1

强度水平匹配, 表 2.3

焊工组名称, 4.2.31, 4.23, C-4.23, 表 4.13

填充板, 2.11, 2.11.1, 2.11.2, 图 2.1, 2.9

角焊缝, 2.4.2

许用应力, 2.6.4.2, 2.6.4.3, 表 2.3, 2.6

沿一条边缘, 2.4.2.9, 图 2.1

装配公差, 5.22, 5.22.3.1

断裂试验, 4.12.2, 4.31.4, 4.31.4.1

接合 PJP 焊缝, 附录 A

凹度, 5.24.1

凸度, 5.24.1, 5.24.3, 图 5.4

曲线, 有效长度, 2.4.2.2

详图, 3.9.2, 图 2.1, 3.2

有效面积, 2.4.2.10, 2.24.1.1

有效长度, 2.4.2.1, 2.4.2.2

焊缝有效厚度, 附录 B

端部连接, 2.9.2, C-2.9.2
线能量, 附录 I, 表 I.2, 图 I.4
孔, 2.9.4
间歇, 2.4.2.4, 2.9.4, 2.9.5
中断, 2.9.3.2
搭接接头, 2.24.1.3, 图 2.4
纵向的, 2.9.2
宏观腐蚀试验, 4.9.4, 4.31.2
最大尺寸, 2.4.2.9, 图 2.1
公差, 5.13
最小尺寸, 2.18.3, 3.9, 3.9.3.2, 5.14, 7.5.5.4, 表 5.8
公差, 5.13
共用面的对边, 2.9.3.2, 图 2.8
管材位置, 4.3.4, 图 4.6
免除评定, 3.9, 3.13.5, 图 2.1, 3.11
剖面, 5.24
加强, 2.4.2.7, 2.7.4, 2.7.5, 附录 A
剪切应力, 2.6.4.1
插槽, 2.9.4
稳定性测试, 4.12.1.1, 图 4.19, 4.20
直的, 2.4.2.1
螺柱, 7.5.5.3, 7.5.5.4
焊端, 2.17.6
样板, 4.12.1, C-4.12.1
横向, 2.9.1.1
尺寸不足, 5.13, C-5.13
WPS 资格评定, 4.12
底片 (RT) 长度, 6.17.8.1
搭接暗盒, 6.17.8.2
宽度, 6.17.9
装配公差, 3.13.1, 5.22.4.1, 图 3.3, 3.4
喇叭形坡口焊缝, 2.4.1.4, 4.11.5, 表 2.1

平焊位置, 5.25.1.1, 图 4.1 – 4.6

荧光屏增感屏, 6.17.4

焊接, 5.4.3, 7.2.3

条件, 5.3.3.2, 5.4.3

包装损坏, 5.3.3.2

干燥, 5.3.3.2, 5.4.3

焊条组合, 5.3.3.1

熔化, 5.3.3.2

包装, 5.3.3.2, 5.4.3

回收, 5.3.3.3, C-5.3.3.3

埋弧焊接 (SAW), 5.3.3.2, 5.3.3.3

储存, 5.4.3

埋弧焊接 (SAW), 5.3.3.2, 5.3.3.3

雾化, 6.17.10

足迹 (管材连接), 2.24.3, 图 2.16

表格, 附录 L, M, N

G

增益控制 (衰减), 6.22.4, 6.24.2, 6.30.2.1

伽马射线, 6.17, C-6.17

间隙 (g), 2.21.2(2),(3), 2.23, 2.25.2.1, 2.25.2.2, 2.25.2.6, C-2.25.2.2, 表 2.10 (注 a), 图 2.14, 2.19

整体破裂

箱形, 2.25.2.2, C-2.25.2.2

圆形, 2.25.1.2, C-2.25.1.2

几何不清晰度, 6.17.5.1

大梁

曲度, 5.23.4, C-5.23.4

深度, 5.23.9

拼接, 5.21.6

加劲肋, 2.9.3.1

直线度, 5.23.2

倾斜, 5.23.8, C-5.23.8

翘曲, 5.23.8, C-5.23.8

腹板平正度, 5.23.6.3

环焊缝, 5.22.3.1

玻璃带, 5.10

GMAW (气体金属弧焊), 3.2.1, 3.10, 3.11.2, 4.13.4.3, 5.3.4, 5.14, C-5.14

衬垫, 5.10, C-5.10

电焊条, 5.3.4, 5.3.4.1, 5.3.4.2, C-5.3.4, 表 3.1

层厚度, 表 3.7

电源, 3.2.4, C-3.2.4

免除评定的 WPS, 3, 3.2.4

主要参数, 3.6, 3.2.4

电焊条属性, 5.3.4.1

防护, 5.12.1

根部焊道, 3.8.1

保护气体, 3.2.1, 3.9.2, 5.3.1.3, C-5.3.1.3

GMAW-S, 3.2.1, 3.9.2, 3.10, 3.11.2, 4.13.4.3, 4.16.1, 5.3.4, 5.14, C-3.2.1, C-5.14

刨槽, 5.15.2, 5.15.1.1(3)

清根, 5.15.4.4

润滑脂, 5.15

打磨, 5.15.2

坡口角度, 表 2.9, 图 3.3, 3.4

坡口管材试验焊缝, 4.5, 4.9.1, 4.27, C-4.27

坡口焊缝, 2.3.5, 2.4.1, 3.11

许用应力, 表 2.3, 2.6

衬垫, 2.27.2, 3.13.2, 5.2.2.2, 5.10.2, 5.10.3

斜角, 4.27, C-4.27

CJP, 3.12.4, 3.13, 3.13.1– 3.13.5, 4.5, 4.10, 4.13, 4.13.4.4, 6.11.1, C-4.5, C-4.13.4.4, 表 2.3, 2.6, 3.6

横断面, 5.22.4.2

详图, 2.3.5.3, 2.3.5.4, 图 3.3, 3.4, 4.21, 4.24, 5.17

尺寸公差, 3.12.3, 3.13.1, 5.22.4.1, 5.22.4.2

有效面积, 2.4.1.5

有效长度, 2.4.1.1, 2.24.2

有效焊缝尺寸, 2.4.1.2, 2.24.2, 表 2.1

限制, 3.13.1, 3.13.3

单面的, 2.18.1, 2.24.2.2

局部长度, 2.8.2

PJP, 2.4.1.3, 2.24.2.1, 4.11, 表 2.3, 2.6, 3.4, 图 3.3

免除评定, 3.12, 3.12.1– 3.12.4, 3.13, 4.13.4, C-4.13.4, 图 3.3, 3.4

剖面形状, 5.24.3, 图 5.4

尺寸和长度, 5.13, C-5.13

终端, 5.31, C-5.31

焊喉, 参见有效焊缝尺寸

管材, 2.24.2, 表 3.6

坡口焊缝试验板, 4.5, 4.33.2, C-4.5

GTAW (气体保护钨极弧焊), 3.12.2, 3.13, 4.1.2, 4.16.1, 4.17, 5.3.5.1, 5.3.5.2, 表 3.2, 3.3

焊条, 5.3.5.1, 5.3.5.2, 表 3.1

基本参数, 表 4.5

预热, 表 3.2

导向弯曲试验夹具, 4.9.3.1, 图 4.15 –4.17

导管, 5.4.2

角撑板, 2.25.2.2, 表 2.5

H

H & D 黑度, 6.17.11.1

锤击, 5.27.1

硬度, 3.5.2.1, 7.9.6.1, I3

HAZ (热影响区)

硬度控制, 附录 I3

硬度, 3.5.2.1

缺口韧性, C-4.13.4.4, 表 C-4.2

试验, 3.5.2.1, 4.9.3.1

危险物质, 1.7

线能量, 5.7, 表 4.6(9)

热处理, 5.8

密封容器, 5.3.2.2

孔型 IQI, 6.17.3.3, 6.17.7, 表 6.4, 图 6.9

设计, 6.17.7, C-6.17.7, 表 6.4

主孔尺寸, 表 6.4

位置, 6.17.7, 图 6.11–6.14

最短曝光时间, 6.18

所需数量, 6.17.7, 6.18

厚度, 6.17.3

孔, 进入, 2.7.6, 5.17, C-5.17

孔

批准的 WPS, 5.26.5(2)(b)

调制钢, 5.26.5(3)

通过焊接修复, 5.26.5, C-5.26.5

受到其他应力, 5.26.5(1)

受到拉伸应力, 5.26.5(2)

表面处理, 5.26.5(4)

所需的试验, 5.26.5(3)(d)

不合格的螺栓或冲孔外观, 5.26.5(1)

横焊位置, 2.18.2, 图 4.1–4.6

氢控制, 附录 I, I6.2

氢致裂纹, 附录 I

I

IIW UT 对比试块, 6.23.1, 6.29,, 图 6.22

识别标记, 6.5.4

平面内弯曲, 2.24.4, 2.25.2.5

过程中清理, 5.30.1

未充分熔透, 5.24

未完全熔合, 图 5.4

指示额定值, 6.26.6.5, 附录 M

检验, 6

设备, 6.3

疲劳, 2.19

通用, 6.1, 6.15

不完整, 6.27.8.3

材料, 6.2

MT, 6.10, 6.12.2, 6.14.4, C-6.10

NDT, 4.9.2.1, 4.9.2.2, 6.11, 6.14, C-6.11

人员, 6.14.7, C-6.14.7

管材, 4.9.1

PT, 6.10, 6.14.6, C-6.10

记录, 6.5

参考标准, 6.23

RT, 6, B 部分, 6.12, 6.12.2, 6.12.1, 6.18, C-6.12.2

具体要求, 2.3.5.6

螺钉, 7.1, 7.5, 7.8, 7.8.4

UT, 6, C 部分, 6.11, 6.13.3, 6.27, C-6.11

验证, 6.1.1, 6.14.1, C-6.14.1

目检, 4.9.1, 5.15.1.2, 6.5.3, 6.9, 7.5.5.7, 7.7.1.3, 7.7.1.4, 7.7.1.5, 7.8.1, C-6.9, 表 6.1

焊工资格评定, 6.4

工作, 6.5

WPS 资格评定, 6.3

检验员, 6, A 部分, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.28.1, 6.28.2, 7.8.2

助理检验员, 6.1.3.3

经认证的 AWS 焊接, 6.1.4.1(1)

加拿大 CSA/CWG, 6.1.4.1(2)

承包商的检验员, 1.3.3.1, 附录 K, C-1.3.3.1

制造/安装, 6.1.1, 6.1.2

合格焊缝的识别, 6.5.4

资格评定, 6.1.4

未更改, 1.3.3.3

验证, 1.3.3.2, 6.1.2, 6.6.2, 附录 K, C-1.3.3.2

视力要求, 6.1.4.4

嵌件, 5.9

断续焊缝, 2.4.2.4

层间温度, 3.5, 3.5.2, 4.8.4, 5.6, 5.21.7, 表 3.2

规范条款的解释, 前言, 附录 O

交叉长度, 2.24.4

IQI, 6.16.2, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.7, C-6.17.9, 表 6.4, 6.5, 图 6.9, 6.10

铀-192, 6.17.6

铁粉, 5.10

同位素辐射, 6.17.1

J

J 形坡口, 3.12.3, 图 3.3, 3.4

工件管材, 表 4.2, 4.11

接头焊根间隙, 3.11.3

接头

对接接头, 3.12.2.1, 3.13.4, 图 3.3, 3.4

接合角, 2.18.1(2)(b), 3.11.2, C-3.11.2

免除评定, 4.13.4, C-4.13.4, 图 3.3, 3.4

厚度和宽度的过渡, 2.7.1, 2.16.1, 4.13, C-4.13

K

K 形连接, 2.25.1.5, 2.25.2, 2.27.1.1, 表 2.7

L

层状撕裂, 2.7.3, C-2.7.3

层状反射体, 6.26.5

层压, 2.7.3, C-2.7.3

搭接接头, 2.9.1.1, 2.9.1.2, 2.9.2, 2.24.1.3, 图 2.4, 2.15

参数限制, WPS 资格评定, 4.8, C-4.8

ESW 和 EGW, 4.8.2, 5.4, 表 4.7

FCAW, 表 4.5

GMAW, 表 4.5

SAW, 表 4.5

SMAW, 表 4.5

参数限制, 定位焊工, 4.23

母材, 表 4.12

焊条, 表 4.12

位置, 表 4.12

焊接方法, 表 4.12

参数限制, 焊工资格评定, 4.22

母材, 表 4.12

焊条, 表 4.12

位置, 表 4.12

焊缝走向, 表 4.12

焊接方法, 表 4.12

参数限制, 自动焊工资格评定, 4.23

母材, 表 4.12

焊条, 表 4.12

位置, 表 4.12

焊缝走向, 表 4.12

焊接方法, 表 4.12

线性 (UT)

水平, 6.22.2, 6.24.1, 6.29.1.4, 6.30.1, H3

负载

不均匀分布, 2.25.2.3, C-2.25.2.3

负载和阻力因素设计 (LRFD), 2.21.1, 2.21.5, 2.24.3, 2.25.1.1

局部二面角, 参见二面角

局部断裂

箱形, 2.25.2.1, C-2.25.2.1

圆形, 2.25.1.1

纵向弯曲试样, 4.9.3.2, 图 4.12

低合金钢, 1.1.1(4)

低氢焊条, 3.3, 5.3.2.1, 5.15.4.4, 5.22.1, 7.5.5.2, 附录 F, I, 表 3.1, 3.2 (注 b), 5.1,
5.8

大气暴露, 5.3.2.2

条件, 5.3.2.1, 5.3.2.4

试验建立的条件, 5.3.2.3, 附录 F

再次干燥, 5.3.2.2

限制, 5.3.2.5

储存, 5.3.2.1, 5.3.2.4

最低预期工作温度 (LAST), 2.27.2.2, 4.13.4.4

润滑剂, 图 7.3

M

机加工, 5.15.2, 5.26, C-5.15.2

宏观腐蚀试验, 4.9.4, 4.11.2, 4.11.3, 4.11.4, 4.31.2, 4.31.2.1, 4.31.2.2, 4.31.2.3

宏观腐蚀试样, 3.5.2.1(1), 4.9.4, 4.31.2, 4.31.2.3(3), 图 4.29, 4.37, 4.38

制造商, 3.6, 4.2.1.1, 4.3.3

焊条认证, 5.3.1.1

职责, 4.2.1.1

保护气体认证, 5.3.1.3, C-5.3.1.3

螺柱认证, 6.2.7.1, 7.2, 7.3.3, C-7.1

胶类, C-5.28

匹配强度, 3.3, 表 2.3

材料限制, 2.26

宜(定义), 1.3.6.3

最大电流, 表 3.7

最大焊条直径, 表 3.7

最大填充焊道厚度, 表 3.7

最大根部焊道厚度, 表 3.7

最大单道焊焊层宽度, 表 3.7

平均有效螺纹面积, 图 7.3

机械测试, 4.9

熔融, 参见焊穿

焊穿, 4.9.11(6), 5.10, 5.10.3, 5.22.1, 图 4.20

金属芯焊条, 表 3.1, 3.3 (注 2)

试验方法, 4.9, 4.31, 4.32

轧制引起的层状缺陷, 5.15.1, 表 5.4

轧屑, 5.4.3, 5.15, 6.26.3, 7.4.3, 7.5.5.1, C-5.15

轧制接缝, 2.4.1.1

最小焊缝尺寸

填充, 2.4.2.8

偏差, 2.4.2.6, 3.9.3.2

未对准, 5.22.3, C-5.22.3

开错位置的孔, 5.26.5

模型, 4.13.4.1

MT (磁粉检测), 2.21.6.6, 6.10, C-6.10

样本格式, 试验报告格式, 附录 N, 格式 N-8

多电弧, 5.3.3

多焊条, 3.5.2, 表 3.7

多焊道, 4.12.2, 5.18.4

N

N 形连接, 2.24.5.1, 2.25.2.1

NDT (无损检测), 4.9.2.1, 4.9.2.2, 6, B 部分, C 部分, 6.11, 6.14, 8.6.2, C-4.9.2, C-6.11

MT, 6.14.5

人员资格评定, 6.14.6, 6.27.2

PT, 6.10, 6.14.6

RT, 6 Part B, 6.12.1, 6.14.2, 6.17, 6.18

UT, 6.13.1, 6.13.2, 6.14.4, 6.27, C-6.13.1

诺模图, UT 衰减, 附录 M, 格式 M-10

不合格, 6.6.5

未熔合, 参见不完全熔合

非冗余, 2.14.4

缺口, 5.15.4.2, 5.15.4.3, 5.15.4.4

缺口韧性, 2.3.2, 2.21.6.6, 4, D 部分, C-2.3.2, 表 4.6

母材, 2.27.2, C-2.27.2

焊缝金属, 4.13.4.4, C-4.13.4.4

O

OEM (原始设备制造商), 1.3.4, 附录 K, C-1.3.4

偏移, 5.22.3, 5.23.8

接触面的对边, 2.9.3.2, 图 2.8

可选的规范条款或要求, 6.1.1, 6.1.3, 6.7, 附录 L

振荡, 4.18, 表 4.7

平面外弯曲, 2.24.4, 2.25.2.5

椭圆参数 α , 附录 T

Overhead position, 5.25.1.3, Figs. 4.1–4.6

焊瘤, 2.9.1.2, 2.25.1.6, 2.25.2.4, 4.32.1, 5.4, 图 2.18, 2.20

业主, 1.3.5, 5.22.3.1, 6.6.5, 6.19.3, 6.28.2, 附录 K

氧气切割, 5.15.2, C-5.15.2

板材制备, 5.15.4.2

修理, 5.17

粗糙度, 5.15.2, C-5.15.2

氧气刨槽, 5.15.4.2, 5.17, 5.26, 8.5.5

金属切除, 5.26

调制钢上, 5.15.2, 5.26, 8.5.5

P

去漆, 5.15, 6.26.3, 8.5.1

平行焊条, 5.3.3

锤击, 2.21.6.6, 5.27

合格的锤击, 5.27, C-5.27

焊渣切除, 5.27.1

振动工具的使用, 5.27.1

透度计, 参见孔型或线型 IQI

性能资格评定, 4, C 部分, NDT 人员资格评定, 6.7, 6.27.2

管焊接

实际产品尺寸管材, 表 4.11

工艺鉴定试验样本, 4.9.2, C-4.9.2

检测位置, 图 4.4, 4.6

检测样本, 位置, 图 4.34

所需试验, 4.27, C-4.27

目检, 4.9.1

焊工资格评定, 4.21, 图 4.24–4.33

管状气孔, 表 6.1(8), 表 C-6.1

PJP 坡口焊缝, 2.3.4, 2.3.5.1, 2.3.5.3, 2.3.5.4, 2.4.1.3, 2.8.3, 2.24.2.1, 3.12, 4.6, 4.9.4.1, 4.11, 4.14, 4.21, 4.25, 4.28, 附录 K, C-2.6.4, C-2.16.2, 表 2.6, 2.7, 2.9, 3.4, 4.3, 图 3.3, 3.5

塑性形变, 5.28, C-5.28

塑性力矩, 2.21.4

板材评定试验样本, 4.9, 图 4.9–4.11

塞焊, 2.4.5.3, 2.7.4, 3.10, 表 4.10 注 c

许用应力, 表 2.3, 2.6

装配, 5.22.1

有效面积, 2.4.5.3

填充, 3.10.1

宏观腐蚀试验, 4.31.2.3

免除资格评定的尺寸, 2.10.3, 3.10

资格评定试验, 4.30, 图 4.38

调制钢, 2.10.4

尺寸, 3.10.1

间距, 2.10.1

应力, 表 2.3

制造工艺, 5.25.1

厚度, 3.10.1

孔隙, 6.12.2.1, 表 6.1

旋转的位置 1F, 表 4.1, 4.10

旋转的位置 2F, 表 4.1, 4.10

旋转的位置 1G, 表 4.1, 4.10

焊接位置, 4.2.3.2, 4.3.4, C-4.3.4

电源, 3.2.4

预热, 3.5, 3.5.1, 3.5.2, 4.8.4, 5.6, 附录 I, 注释附录 I, 表 3.2, I.2

对硬度的影响, 3.5.2, C-3.5

免除评定的接头详图, 2.3.5.4, 2.24.1.2, 3.9.2, 3.13.4, 图 3.3–3.6, 3.8–3.11

程序认证记录 (PQR), 4.7, 附录 N

方法, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3

剖面影响, 2.21.6.7

剖面, 焊缝, 2.21.6.2, 5.24, C-2.21.6.2, C-2.21.6.7, 图 5.4

焊缝走向, 3.7.1

禁用的焊缝接头, 2.18, 2.18.1–2.18.3

保护层, 5.15, 5.30.2, 7.4.1, C-5.15

PT, 6.10, 6.14.6, C-6.10

冲孔, 修理, 5.26.5

冲剪应力, 2.25.1

PWHT（焊后热处理），3.14, 5.8.2, 5.8.3, C-3.14

Q

资格评定，第 4 章

表格，附录 L,N

通用要求，4, A 部分

检验员，6.1

NDT, 6.14.6

免除评定的 WPS, 3.6

以前评定合格的 WPS, 4.2.1, C-4.16

记录，4.3.3

职责，4.2.2.2

重新检测，4.9.5, 4.33.2.1

螺柱应用，7.6

定位焊工，4.2.2, 4.32, C-4.2.2

UT 单位，附录 H

焊工，4, C 部分，4.2.2, C-4.2.2

自动焊工，4, D 部分，4.2.2, 7.7.4, C-4.2.2

WPS, 4, B 部分

焊缝质量，C-6.7

调制钢，2.10.4, 8.5.5, C-5.7

R

辐射图像，6.35

RT, 2.19, 4.9.2, 4.20.1.1, 4.31.3, 4.31.3.1, 4.31.3.2, 6, B 部分, 6.10, 6.12.2, 6.12.1, 6.14.2, 6.18, C-6.10, C-6.12.2

验收，6.12.1, 6.12.2.1, 6.12.2.2, 6.12.2.3, 6.12.3.2, 图 6.1, 6.4–6.6

背散射，6.17.8.3

条状不连续性，6.12.1, 图 6.1, 6.4–6.6

检测范围，6.15, C-6.15

部分检测，6.15.2

抽检，6.15.3, C-6.15.3

胶卷类型，6.17.4, C-6.17.4

胶卷宽度，6.17.9, C-6.17.9

伽马射线源，6.17.6, C-6.17.6

通用, 6.17.1, 6.17.8

孔型 IQI, 6.17.7, C-6.17.7, 图 6.10 – 6.14

IQI, 6.17.1, 6.17.7, C-4.3.4, C-6.17.7, 表 6.4, 6.5, 图 6.10 – 6.14

最低可接受图像标准, 图 6.2

最低曝光时间, 对接接头焊缝, 6.18

射线照片照明器, 6.19.1, C-6.19.1

安全性, 6.17.2

射线源位置, 6.17.2, C-6.17.2

射线源, 6.17.6, C-6.17.6

表面处理, 6.17.3

线型 IQI, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.9, 图 6.10 – 6.14

X 射线尺寸, 6.17.6, C-6.17.6

射线照片, 4.31.3, 4.31.3.7, 6.12.1, 6.12.2, 6.17, 6.17.5, 6.17.6, C-6.17, 图 6.2, 6.3

承包商职责, 6.19.2, C-6.19.2

黑度限定, 6.17.11, C-6.17.11

黑度测量, 6.17.11.2, C-6.17.11.2

处理, 6.19, C-6.19

几何不清晰度, 6.17.5.1, 附录 K

标记, 6.17.12

质量, 6.17.10

提交至业主, 6.19.3

射线照相, 6.17.2, 6.20.3, C-6.17.2, C-6.20.3

记录, 4.3.3

缩减断面拉伸试验, 4.9.3.4

验收标准, 4.9.3.5

试样, 图 4.14

冗余, 2.14.4, 6.13.3.2

凹角, 5.16, C-5.16

对比试块, UT IIW, 6.23.1, 图 6.22

其他批准的设计, 6.23.1, 附录 H, 图 6.23, H.1

参考标准, 1.9, 附录 U

增强, 2.12.2.1, 5.24.3, 5.24.3.1, 6.17.3, C-6.17.3

清除, 5.24.3.2, 6.17.3.3

未清除, 6.17.3.3, C-6.17.3.3

限幅控制 (UT), 6.25.1, 6.26.6, C-6.26.6

修理, 5.15.1.2, 5.15.2, 5.15.4.3, 5.17, 5.19.1, 5.22.4.1, 5.26.5, 6.26.10, C-5.15.2, C-5.15.4.3, C-5.17, C-5.19, C-5.26.5

裂纹修理, 5.26.1.4

现有结构的修理, 8

板材修理, 5.15.1.2, C-5.15.1.2

螺柱修理, 7.7.3, 7.7.5

报告格式, 附录 L,N

报告, 6.28, 附录 S, S13, C-6.19, 图 S.15

残余应力, 2.21.6.6

职责, 1.4, 2.13.3, C-1.4

用焊接进行修复, 孔, 5.26.5

拘束, 附录 I, I6.2.5, C-I2

重新检测, 4.9.5, 4.33

铆钉, 2.7.7

根部弯曲试验, 4.9.3.1, 4.9.3.3

钝边, 3.11.3, 5.22.4.2, C-5.22.4.2, 图 3.4

根部间隙, 2.4.3.7, 3.11.3, 5.22.4.2, C-5.22.4.2

组成, 5.22.4.1, 5.22.4.2

根部焊道, 3.8.1

RT 流程, 6.17

引出板, 参见引、熄弧板

防锈涂层, 5.15, C-5.15

S

安全与健康, 1.7, 6.17.2, 附录 R

接头试样, 4.13.4.3

报告样本格式, 附录 M 和 N

SAW (埋弧焊), 3.2.1, 3.8

焊条直径, 表 3.7

焊条与焊剂, 5.3.3

焊剂回收, 5.3.3.3, C-5.3.3.3

硬度试验, 3.5.2.1

层间温度, 3.5.2

层厚度, 表 3.7

限制, 3.13

宏观腐蚀试样, 3.5.2.1

最大电流, 表 3.7

多电弧, 3.5.2, 3.8, 表 3.7

多焊条, 5.3.3

定义, 附录 K

GMAW 根部焊道, 3.8.1

预热和层间温度的降低, 3.5.2

焊接电流限制, 表 3.7

焊层厚度, 表 3.7

平行焊条 5.3.3

定义, 附录 K

GMAW 根部焊道, 3.8.1

预热和层间温度的降低, 3.5.2

焊层厚度, 表 3.7

焊接电流限制, 表 3.7

预热, 3.5.2

预审合格的 WPS, 3

试样接头, 3.5.2.1

单焊条, 附录 K, 表 3.7

点焊, 5.18.3

WPS 合格鉴定, 4, B 部分

主要变量, 4.8

扫查, 6.27.5, 6.32, 图 6.24 和 6.25

次要弯曲, 2.25.2

断面模量, 2.25.1.1

灵敏度 (UT), 6.25.4.2, 6.27.3.2, H2.4

顺序, 5.21.3

应 (定义), 1.3.6.1

抗剪连接, 7.2.5, 图 7.1

剪切应力, 2.6.4.1

保护气体, 5.3.1.3, C-5.3.1.3, 表 4.5

防风, 5.12.1

工厂拼接, 5.21.6

现场焊接, 2.3.1

短路过渡, 参见 GMAW-S

宜(定义), 1.3.6.2

收缩, 5.21

因切割, 5.19.1, C-5.19

因焊接, 5.15.2, C-5.15.2

侧弯, 4.9.3.1

试样, 图 4.13

侧弯试验, 4.9.3.1, 4.9.3.3, 4.12.3, 4.20.1.2, 图 4.13 和 4.23

侧倾, 2.25.2

尺寸影响, 2.21.6.7, C-2.21.6.7

斜 T 形接头, 2.3.5.2, 2.4.2.6, 2.4.3.1, 2.4.3.7, 3.9.3, 3.9.3.1, 3.9.3.2, 附录 B, 表 2.2, 图 3.11

焊渣, 5.30

夹渣, 5.26.1.3

焊渣清除, 要求的, 5.30.2

清渣锤的使用, 5.27.1

振动工具的使用, 5.27.1

抗滑, 2.7.7

槽焊缝, 2.4.5.3, 2.7.4, 5.25.1.2, C-2.7.4, C-2.7.5

有效面积, 2.4.5.3

端部, 2.4.4.2

填充, 3.10.1

淬火和回火钢内, 2.10.4

操作员资格鉴定, 4.30

预鉴定合格尺寸, 2.10.3, 3.10

尺寸, 3.10.1

间距, 2.10.2

制造工艺, 5.25.2

厚度, 3.10.1

焊工资格鉴定, 4.19.3

SMAW (保护金属电弧焊), 3.2.1, 3.7.3.2, 3.10, 3.12, 3.13, 5.3.2, 5.14, 7.5.5, C-5.3.2, C-5.14

大气暴露, 3.2.1, 5.3.2.4, C-5.3.2.1

焊条, 5.3.2, C-5.3.2.1

基本参数, 表 4.5

层厚度, 表 3.7

最大角焊缝尺寸, 表 3.7

螺柱, 7.5.5

预审合格的 WPS, 3

根部焊道, 表 3.7

SNT-TC-1A 合格认证, 6.14.7, C-6.14.7

垫片, 5.2.2.3

飞溅, 5.30.2

特殊详图, 2.3.5.5

特殊检验要求, 2.3.5.6

拼接板, 2.11.2

拼接, 2.7.2.1, 2.7.2.2

错层, 表 3.7

抽检 (NDT), 6.15.3, C-6.15.3

不锈钢, 1.1.1(4)

标准计量单位, 1.8

静荷载结构, 2

容许应力, 2.6.4, 表 2.3

背部, 2.6.4.1

焊缝组合, 2.7.4

组合构件连接, 2.12.1

尺寸公差, 5.23.6.2

偏心率 2.6.2, C-2.6.2

大梁腹板的平直度, 5.23.6.1, 5.23.6.2, 附录 D

焊缝质量

验收标准 6.9, 6.13.1
提高的单位应力, C-6.9, C-6.11
MT, 6.10
PT, 6.10
RT, 6.12.1
UT, 6.13.1, C-6.13.1
目检, 6.9, C-6.9
垫片, 5.2.2
厚度过渡, 2.8.1, C-2.8.1
宽度过渡, 2.8.1
咬边, 表 6.1
腹板平正度, 梁, 附录 D
焊缝和铆钉, 螺栓, 2.7.7
淬火和回火钢, 5.17, 5.26.2, 8.5.5, C-5.17
弯度校正, 5.19.1
热输入控制, 5.7
氧气刨槽, 8.5.5, 5.7
加劲肋
轴承, 5.23.11.2, 5.23.11.3
中间, 5.23.11.1, 5.23.6.2
平直度, 5.23.11.2, 5.23.11.3
公差, 5.23.11
矫直, 5.26.2
平直度, 5.23.1, 5.23.11.2, C-5.23.2
现有结构的矫直, 8
基底金属, 8.2
设计, 8.3.1
应力分析, 8.3.2
焊接适用性, 8.2.2
屈曲应力, 2.25.2.1, C-2.25.2.1
应力消除, 5.8, C-5.8
变通温度, 5.8.2

冷却, 5.8.1

加热, 5.8.1

保持时间, 5.8, 表 5.2 和 5.3

淬火和回火钢, 5.8.1

温度, 5.8.1

纵梁焊道, 表 4.6(11)

螺柱验收, 7, 7.9

应用鉴定, 7.1, 7.6, C-7.1, C-7.6

基础鉴定, 7.2.4, 7.2.6, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.6.5, 7.6.6.3, 7.7.1.4, 7.7.1.5, 7.8,
7.9

认证, 7.3.3

裂缝, 7.2.5

盖板, C-7.6.1

说明, 7.3.1

设计, 7.2.1

角焊缝尺寸, 7.5.5.4, 表 7.2

修整, 7.2.5

飞边, 7.4.7, 脚注 27

螺柱长度, 7.2.1, 图 7.1

制造商, 7.1(3), 7.2.6(2), 7.6.2, 7.9

材料, 7.3.1

机械要求, 7.1, 7.3, 表 7.1

湿气, 7.4.1, 7.4.3

不免除评定, 7.6.1

油, 7.4.1, 7.4.4

清除, 7.7.5

锈, 7.4.1, 7.4.3

氧化皮, 7.4.1, 7.4.3

剪力连接件, 7.4.5, 7.8.3

标准型连接件, 7.2.1, 图 7.1

拉伸要求, 7.9.7.1, 表 7.1

扭矩试验, 7.6.6.2, 7.8.1, 图 7.3

A 型, 7.8.3

B 型, 7.4.5, 7.8.3

螺柱焊接, 7, 7.9

应用评定要求, 7.6

电弧罩, 7.2.2, 7.4.4, 7.4.6, 7.9.3, C-7.4.6

自动定时焊接设备, 7.2.1, 7.5.1, 7.5.2

破裂, 7.2.5

认证, 7.2.6(2)

盖板, 7.4.3

焊条直径, 7.5.5.6

角焊螺柱的制造和验证, 7.5.5

套圈, 7.2.2, 7.4.4, 7.4.6, 7.9.3

飞边, 7.4.7, 7.7.1.3, 7.7.1.5, 7.7.3, 7.8.1, C-7.4.6

焊剂, 7.2.3

一般要求, 7.2

检验, 7.5.5.7, 7.7.1.3, 7.7.1.4, 7.7.1.5, 7.8, C-7.7.1.4

检验要求, 7.8

螺柱长度, 7.2.1, 图 7.1

低氢焊条, 7.5.5.6

最小尺寸, 7.5.5.4, 表 7.2

湿气, 7.4.1, 7.4.4

操作员资格鉴定, 7.7.4

预热要求, 7.5.5.5

预鉴定程序, (SMAW, GMAW, FCAW), 7.5.5

预生产试验, 7.7.1

生产控制, 7.7

产品焊接, 7.7.2

剖面形状, 7.4.7, 脚注 28

修理, 7.7.3

锈, 7.4.1, 7.4.3

氧化皮, 7.4.1, 7.4.3

螺柱底座合格鉴定, 7.2.4, 7.2.6, 7.9

技术, 7.5

扭矩试验, 7.6.6.2, 7.8.1, 图 7.3

工艺, 7.4

子配件拼接, 5.21.6

表面处理, 5.15, 5.30, C-5.30

表面粗糙度, 5.24.3.1

表面粗糙度指南, 5.15.4.3

扫除 (制造), 5.23.5

扫除 (UT), 6.25.2

T

点焊焊工资格认证, 第 4 章, B 部分

基本参数, 4.23, 表 4.13

样品试验方法, 4.32

有效期, 4.2.3.2

重新试验 4.33.2.1

试验报告格式, 附录 N

试验样品, 4.20.2, 4.32, 图 4.34 和 4.39

试验, 4.32

点焊缝

最终焊缝内, 5.18.4

多焊道, 5.18.4

尺寸, 5.18.3

技术问询, ix, xi, 附录 O

伸缩管, 2.24.1.3

环境温度, 5.12.2

温度限制, 5.21.7

示温色笔, 8.5.5

受拉构件, 2.9.2

验收, 附录 C

组合, 2.12.2.1

断续焊缝, 2.12.2.1

修理, 5.15.1.2, C-5.15.1.2

应力, 2.6.4, 2.12.2.1, 6.1.2.1, 6.13.2, 表 2.3, 2.6

螺柱焊缝拉伸试验, 7.6.6.3

拉伸试验固定装置, 图 7.2

术语, 附录 K

试验机构, 4.2.2.2, 7.6.2, 7.9.2

焊接试验板

老化, 4.3.2

点焊焊工资格鉴定, 图 4.39

焊工资格评定, 图 4.21–4.25

焊接操作员资格鉴定, 7.7.4, 图 4.22 和 4.33

WPS 资格评定, 图 4.7 – 4.11

试验样品, 表 4.2, 4.11, 图 4.14–4.20, 4.29, 4.33

试验焊缝位置, 4.3.4, 图 4.1–4.6

热切割, 5.15.4.3

全厚度负载, 2.7.3

T 形接头, 2.7.5, 2.17.3

公差

校准, 5.23.9, 5.23.11

曲度, 5.23.3, C-5.23.4

尺寸, 3.13.1, 3.13.3, 5.22.4.1, C-3.13.1

平直度, 5.23.6.1, 5.23.6.2, 5.23.6.3, 6.17.3.2, C-6.17.3.2

偏移, 5.23.8

直线度偏差, 5.23.1, 5.23.2

翘曲, 5.23.8

扭矩试验, 7.6.6.2, 7.8.1, 图 7.3

换能器校准, 6.29

换能器规范, 6.22.6, 6.22.7, C-6.22.6

厚度或宽度过渡, 2.8.1, 2.26, 7.29, C-2.8.1, 图 2.2、2.3、2.12 和 2.21

横向弯曲试样, 4.9.3.1, 图 4.12

管材结构, 2, C 部分, 2.21, C-2.21

锐角根部试验, 4.13.4.2, 图 4.26

容许负载成分, 2.25.1

容许剪切应力, 2.25.1

容许应力设计 (ASD), 2.21.1, C-2.21.1
箱形, 2.25.2
圆周, 2.25.1
焊缝内容许应力, 2.21.3, C-2.20.3, 表 2.6
纤维应力, 2.21.4
容许单位应力, 2.21.4, 2.25
轴向负载, 2.24.4
弯曲, 2.24.4
箱形连接, 2.25.2, 3.13.5, C-2.25.2
箱形剖面构件, 2.9(B), 图 2.19
箱形剖面合格鉴定, 试样, 4.9, 图 4.8
箱形剖面强度, 2.25
圆周剖面, 图 2.14(A)
CJP, 3.13.5
破裂, 2.25.1.2
交叉接头, 2.25.2.1, 图 2.14(G)
超载, 2.25.2.2, C-2.25.2.2
焊接接头详图, 2.24.1.2, 图 3.2 – 3.8
尺寸公差, 5.22.4.2
管材结构, 续
有效角焊缝长度, 2.24.1.1
焊缝有效面积, 2.24.1.1
断裂, 2.25.1.1, C-2.25.1.1
疲劳, 2.21.6.6, 图 2.13
角焊缝, 2.24.1.2
详图, 2.24.1.1
角焊的, 3.12.4
管状 T 形、Y 形和 K 形连接的角焊缝, 2.24.1.2, 图 3.2
扩头连接, 2.25.1.4
坡口焊缝, 2.24.2
标识, 2.22, 图 2.14
检验, 表 6.1

箱形连接中的焊缝交接点长度, 2.24.5

T、Y、K 形连接内, 2.24.3

接头套管, 2.25.1.2

K 形连接, 2.25.2.2

交叠接头, 2.24.1.3

焊缝长度, 2.24.4

负载和阻力因素设计 (LRFD), 2.21.1, 2.21.5, C-2.25

箱形, 2.25.2, C-2.25.2, C-2.25.2.2, 表 2.6

圆周, C-2.25.1.3, 表 2.6

主要构件负载, 2.24.3, 2.25.2.1

模型, 4.13.4.1

管状结构 NDT, 6.11.1

RT, 6.12.1, 6.18, 图 6.16–6.19

UT, 6.13.3, 6.27, C-6.13.3, 图 6.25

缺口韧性

基底金属, 2.27.2, C-2.27.2

HAZ, C-4.13.4.4, 表 C-4.2

焊接金属, C-4.13.4.4, 表 2.9

交叠接头

箱形, 2.25.2.4, C-2.25.2.1, C-2.25.2.4, 图 2.20, C-2.6

圆周, 图 2.18

匹配箱形连接中的 PJP 坡口焊缝, 3.12.4.1

预审合格接头的详图, 4.13, 4.13.4, C-4.13.4, 表 3.6

流程与程序

T、Y 和 K 形连接 (小于 30°), 4.13.4.2

其他接头详图, 4.27.1

抗冲切力, 平面内弯曲, 2.24.3, 2.24.5.1

平面外弯曲, 2.24.4, 2.24.5.1

焊缝应力, 2.24.3

抗冲切力应力, 2.25.1.1, 2.25.1.5

作用 V_p , 2.25.1.1, 图 2.17

容许 V_p , 2.25.1.1

合格鉴定试验, 4.19.3, 表 4.10

RT, 6.18, 图 6.2, 6.3, 6.16–6.19

剪切面积, 7.8.3

连接强度限制, 2.25

符号, 2.23, 附件 J

T、Y 和 K 形连接, 2.24.2.2, 2.24.3, 2.24.4, 2.24.5.2, 2.25.1.2, 2.25.1.3, 2.25.1.5, 2.25.2, 2.25.2.6, 2.27.1.3, 3.12.4, 3.13.4, 3.13.5, 4.13.4, 4.13.4.1, 4.13.4.2, 4.14, 5.22.4.2, 6.27, 6.27.5, C-2.25.2, C-5.22.4.2, 表 2.6, 2.7, 3.5, 3.6, 4.8, 4.10 图 2.16, 2.19, 2.20, 3.5 – 3.10, 4.28, 4.29

试样合同鉴定, 4.9.2

负载转移, 2.25.2.3

过渡坡, 2.25.1.4

厚度过渡, 2.26, 5.22.3.1

过渡, 管尺寸, 2.25.1.4, 图 2.14(K)

T、Y 和 K 形连接中的管材坡口, 3.13.5

咬边, 表 6.1

基底金属单位应力, 2.21.1

焊缝单位应力, 2.21.3

UT, 6.27, 图 6.7, 6.8

WPS 鉴定试验, 4.13

从一侧焊接的对焊接头, 4.13.2

焊接箱形件的扭矩, C-5.23.4

Y 形连接, 请参见上述 T、Y 和 K 形连接

U

极限负载, 2.25.1.1

咬边, 4.9.1, 4.9.4.1, 4.31.4.1, 4.31.2.3, 4.32.1, 5.15.4.3, 5.26.1.2, 表 6.1, 图 5.4

欠匹配强度, 3.3

不均等厚度, 2.17.1, 图 2.2, 2.21

不均等宽度, 2.8.1, 2.17.1, 图 2.3

未列出的基底金属, 3.9.2

未列出的材料, 3.4

单位应力

基底金属, 2.6.3, 2.6.5, 2.15.2, 2.21.1

切力, 2.6.4.1
槽焊, 2.21.3, C-2.21.3
拉伸, 表 2.3, 2.6
焊缝, 2.21.3, C-2.21.3
开拉链式, 2.25.1.3, C-2.25.1.3
UT (超声波试验), 2.19, 6
验收标准, 6.13.1, 6.13.3, 表 6.3, 图 6.7, 6.8
衰减系数, 6.26.6.4
垫板, 6.26.12, C-6.26.12
基底金属不连续性, 6.20.4
校准, 6.23, 6.24, 6.25, 6.27.3, 6.29
斜波束校准, 6.25.5, 附录 H, H2
距离, 6.25.5.1
水平扫描, 6.25.5.1
零参考级灵敏度, 6.25.5.2
纵波型校准, 6.27.3.1, 6.29.1, 附录 H, H7
剪切波型的校准, 6.29.2, 附录 H, H2.9
振幅校准, 6.29.2.4, 附录 H, H1.2
前沿距离, 6.29.2.6
距离校准, 6.29.2.3, 附录 H2.3
分辨力, 6.29.2.5
声波进入点, 6.29.2.1
声程角度, 6.29.2.2
换能器位置, 附录 H, 图 6.23, H.1
直波束校准, 6.25.4
水平扫描, 6.25.2, 6.25.4.1, 6.25.5.1, C-6.25.4.1
灵敏度, 6.25.2
检测校准, 6.25
距离, 6.25.5.1
水平扫描, 6.25.5.1
零参考级灵敏度, 6.25.5.2
交叉方式, 6.26.6.2

不连续性，纵向的， 6.32.1
不连续性，纵向的， 6.32.2
不连续性长度确定， 6.26.7
不连续性尺寸评估方法， 6.31
斜射波束检测， 6.31.2
直射波束检测， 6.31.1
设备， 6.22
增益控制， 6.22.4
水平线性， 6.30.1
探头， 6.22.6， 6.22.7
设备鉴定， 6.24
校准试块， 6.24.4
dB 精确度， 6.30.2
增益控制， 6.24.2
水平线性， 6.24.1， 附录 H， H3
内部反射， 6.30.3
验证， 6.24.3
ESW 与 EGW， 6.20.3
示例， 6.33， 附录 M
检测范围， 6.20.1
坡口焊缝， 6.20
指示长度， 6.26.5
层状反射体， 6.27.4
纵波型校准， 6.29.1
诺模图， 6.30.2.4， 6.30.2.5， 附录 M， 表格 M-10
操作员要求， 6.27.2
人员资格评定， 6.14.7， 6.27.2， C-6.14.7
工艺， 6.26
工艺， 设备评定， 6.30， 附录 H， H3
水平线性， 6.30.1， 附录 H， H3
内部反射， 6.30.3
垂直线性， 6.30.2

工艺，不连续性尺寸评估，6.31

斜射波束检测，6.31.2

直射波束检测，6.31.1

评定试块，6.23.3，图 6.23

对比试块，IIW，6.22.7.7，6.23，6.23.1，图 6.21，6.22

资料，6.26.6.3，6.26.6.5，6.28.1

其他认可的试块，6.23.1，C-6.23.1，附录 H，图 H.1

报告，6.26.6.5，6.26.9，6.27.8，6.28，6.28.1，附录 N

废弃，6.28.3

反射体尺寸，6.26.5

修理，6.26.9

扫查方式，6.32，图 6.26

探头

振幅，6.30.2.4

斜波束，6.22.7，6.26.6，6.31.2

应用，C-6.19.5.2

前沿距离，6.29.2.6

尺寸，6.22.6，6.22.7.6，C-6.22.6

距离校准，6.25.5

分辨力，6.29.2.5

灵敏度，6.29.2.4

剪切波型，6.29

声波进入点，6.29.2.1

声程角度，6.30.2.2

直波束，6.22.5，6.22.6，6.31.1

抽样检测，6.15.3, C-6.15.3，C-6.20.3

检测角度，6.26.5.2，表 6.6

检测工艺，6.26，6.27.1，表 6.6

表面清洁度，6.20.3

耦合剂，6.26.4

不连续性评估，6.27.7

修理检测，6.26.9

厚度限定, 6.20.1

换能器位置, 6.29, 图 6.26

换能器大小, 6.22.6, 6.22.7.2, C-6.22.6

管材结构, 6.27

焊缝标识, 6.26.1, 6.26.2

超声检测 (UT) (代用方法), 6.20.1, 6.20.2, 附录 S

验收标准, S3(2), S12

振幅, S11, S12.1, 图 S-9~S-11, S-15

校准, S3 (7), S6, S9.1, 图 S.2, S.5, S.6

校准试块, S3 (6), S5, S6.1.3, 图 S.2

压缩波, S6.2

距离幅度修正 (DAC), S6.1.2, S6.2.2, S6.3.2, 图 S.6, S.7

不连续性, S3 (11), S5, S6.3, S11, S12, 图 S.15

圆柱形的, S8.1.2, S8.2.2, S10.2(b), 图 S.10

高度, S9.2, 图 S.12

长度, S9.3, 图 S.13

位置, S9.4, S9.5, S10.5

取向, S10.4

平面的, S8.1.3, S8.2.3, S10.2(a), 图 S.11

球形的, S8.1.1, S8.2.1, S10.2(C), 图 S.9

显示, S6.3.2, S9.2.3, S9.4, 图 S.5~S.7, S.12, S.14

文件编制要求, S3(14), S3(15)

设备, S3(3), S4

层状, S3(8)

III 级水平 (ASNT), S3(15)

操作员, S4

工艺, S2, S3, S4

报告, S13, 图 S.15

扫查, S3(5), S3(10), S7, 图 K-8

灵敏度, S3(10), S6.1, S6.1.1, S6.1.3, S6.2.2, S6.2.3, S11, 图 S.4, S.6, S.7, S.14

剪切波, S6.3

标准反射体, S5, S6.1.1, K6.1.2, S6.2.2, S6.3.1, S6.3.2, 图 S.1, S.3

换能器, S3(4), S4

转移修正, S3(12), S6.1.3, S6.3.2, 图 S.4

焊缝等级, S11

焊缝标记, S3(9), S9.3.2, S9.3.3, S9.3.4, S9.5, 图 S.13

UT 报告格式, 附录 M

V

监造（验证）检验, 6.1.1

监造（验证）检验员, 1.3.3.2, 附录 K, C-1.3.3.2

垂直位置, 图 4.1–4.6

预审合格, 3.7.1, 3.7.3

限制, 3.7.1

维氏硬度, 3.5.2.1

视力敏锐度, 6.1.4.4

目检, 4.9.1, 5.15.1.2, 6.5.3, 6.9, 7.5.5.7, 7.7.1.3, 7.7.1.4, 7.7.1.5, 7.8.1, C-5.15.1.2, C-6.9, C-7.7.1.4, 表 6.1

W

翘曲, 5.21, 5.23.8

耐候钢, 2.12.2.3, 3.7.3, 5.4.7, 表 2.5

摆动焊道, 表 4.6(11)

腹板与翼缘板的连接焊缝, 6.13.2.2

焊缝穿越孔, 2.7.6, 5.17, 表 2.5, 图 5.2

焊缝清洁, 5.30

完工焊缝, 5.30.2

过程中清理, 5.30.1

手动锤的使用, 5.27.1

轻型振动工具的使用, 5.27.1

焊缝长度, 2.3.4

焊缝金属清除, 5.26.4

焊缝外形, 5.24.1, 5.24.3, 5.24.3.2, 图 5.4

焊缝尺寸, 2.3.4

焊接飞溅物的清除, 5.30.2

焊缝试样, 4.5, C-4.5

焊缝开始和停止, 5.4.4

引弧板, 2.8.4, 5.2.2, 5.31, 5.31.2, 5.31.3, 6.17.3.1, C-6.17.3.1

焊缝厚度 (UT), 表 2.5, 6.2, 6.3

焊工资格认证, 4, C 部分

基本参数, 4.23, 表 4.12

角焊缝试验, 4.26, 4.29

坡口焊缝试验, 4.27

受限厚度, 4.24.1, 图 4.31, 4.32

试验方法, 4.31

试样数目, 4.19.2.1, 表 4.11

有效期, 4.2.3.1

管焊接试验, 4.25, 4.27, 4.28, 4.30

板, 4.24, 4.25, 4.26, 4.30, 图 4.21, 4.22, 4.30–4.32

位置, 4.19.1.1

产品焊接位置, 4.19.1.1, 表 4.10

记录, 4.3.3

重新试验, 4.33

T、Y、K 形连接, 表 4.11

试验结果, 4.20

弯曲试验, 4.20.1

焊工资格认证, 续

角焊缝断裂试验, 4.31.4

宏观腐蚀试验, 4.31.2.3

RT, 4.31.3.2

视觉, 4.9.1

试样, 4.20.1

位置, 管道和方管, 4.20.1.2, 图 4.34

准备, 4.20.1.2

所需试验, 4.5

管材对接, 4.13.1, 4.13.3, 4.27, 图 4.24, 4.25

焊工, 3.1, 4.1.2, 4.2.2.1, 4, C 部分, 6.4, 6.14.7

焊接

在低温下, 5.12.2, 7.5.4, C-5.12.2

设备, 5.11, 6.3

顺序, 5.21.2

焊接材料, 4.12.3

焊工资格评定, 4, D 部分, 7.7.4

基本参数, 4.23, 表 4.12

ESW/EGW 焊接试验, 4.24.2, 图 4.36

角焊缝试验, 4.29, 图 4.33, 4.37, 4.38

坡口焊缝试验, 4.24, 4.25, 4.27, 4.28

试验方法, 4.31

试样数目, 4.19.2.1, 表 4.11

有效期, 4.2.3.1

管焊缝试验, 图 4.33, 4.37

板焊缝试验, 图 4.22

塞焊缝, 4.30, 图 4.38

准备试样, 4.33

重新试验, 4.35

螺柱焊缝, 7.7.4

试验报告格式, 附录 N

规定的试验结果, 4.20

弯曲试验, 4.20.1

角焊缝断裂试验, 4.31.4

宏观腐蚀试验, 4.31.2.3

RT, 4.31.3.2

视觉, 4.9.1

试样, 4.20.1

焊工, 4, C 部分, 4.2.1.1, 4.2.2, 4.2.3.1, 5.21.2, 6.4, 7.7.4, C-4.2.2

焊接人员资格评定记录 (WPQR), 表 4.12

焊接人员, 4.2.2

焊接顺序, 5.21.2

焊接符号, 1.6, 2.3.5.3

焊缝

可接受性, 6.7, C-6.7

穿越孔几何形状, 图 5.2

可接近性, 5.26.4

面积, 2.4.1.5, 2.4.2.10

清洁, 5.30

图示, 附录 A

疲劳应力规定, 2.16.2, C-2.16.2, 表 2.5

长度, 2.3.4, 2.4.1.1

缺口韧性 (管材), 4.13.4.4, C-4.13.4.4

喷涂, 5.30.2

外形, 3.13.5, 5.24, 表 2.8

质量, 6.7

尺寸, 2.3.4, 2.4.1.2, 2.4.1.3, 2.4.1.4, 2.4.2.8, 2.4.2.9

尺寸, 2.25.1.3

应力, 2.24.3

表面, 5.24.3.1

临时, 5.18.1

终端, 2.9.3

风速, 5.12.1, 5.12.2

送丝速度, 表 4.5(16)

丝 IQI, 6.16.1, 6.16.2, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.7.7, 表 6.5, 图 6.10 – 6.14

工艺公差, 5.22.4.1, 图 5.3

WPS (焊接工艺规范), 3.6, 4.1, 4.2.1, 4.2.1.1, 4.2.1.2, 4.2.1.3, 4.7, 4.22, C-3.6

基本参数, 4.8.1, 4.8.2, 表 4.5, 4.7

合格评定, 4.4, 4.5, 4.11, 4.12.1, 表 4.1–4.4

试样表格, 附录 N

规定的特殊值, 4.7

WPS 合格鉴定, 4, B 部分

变量限制, 4.8, 表 4.5

记录, 4.3.3

重新试验, 4.9.5

试验焊缝位置, 4.3.4, C-4.3.4

试验, 4.5, C-4.5

卷绕式夹具, 4.9.3, 图 4.16

X

X 射线, 6.16.1, 6.17.1, 6.17.6, 6.17.11

Y

屈服线分析, C-2.25.2.1, 图 C-2.10

屈服强度, 2.27.1.1, 2.27.1.2, 附录 J

Z

Z 折减, 2.24.2.1, 表 2.2, 2.9