

管线钢管

API SPECIFICATION 5L
第 46 版，2018 年 4 月

API 会标纲要生效日期：2019 年 5 月 1 日

勘误表，2018 年 5 月 1 日



签发日期：2018 年 5 月

受影响出版物：API Specification 5L，*管线钢管*，第 46 版，2018 年 4 月

勘误表 1

第 60 页，表 22：

该表的前五行如下所示：红色方框框起来的单元格包含更新的值：

114.3 (4.500) 至 <141.3 (5.563)	≥ 12.6 (0.495)	11.3 (0.445) 至 <12.6 (0.495)	10.9 (0.429) 至 <11.3 (0.445)	10.1 (0.396) 至 <10.9 (0.429)
141.3 (5.563) 至 <168.3 (6.625)	≥ 11.9 (0.469)	9.8 (0.387) 至 <11.9 (0.469)	9.4 (0.370) 至 <9.8 (0.387)	8.6 (0.338) 至 <9.4 (0.370)
168.3 (6.625) 至 <219.1 (8.625)	≥ 11.7 (0.460)	9.2 (0.361) 至 <11.7 (0.460)	8.5 (0.333) 至 <9.2 (0.361)	7.6 (0.301) 至 <3.6 (0.333)
219.1 (8.625) 至 <273.1 (10.750)	≥ 11.4 (0.449)	8.9 (0.350) 至 <11.4 (0.449)	8.1 (0.317) 至 <8.9 (0.350)	6.5 (0.257) 至 <8.1 (0.317)
273.1 (10.750) 至 <323.9 (12.750)	≥ 11.2 (0.442)	8.7 (0.343) 至 <11.2 (0.442)	7.9 (0.310) 至 <8.7 (0.343)	6.2 (0.245) 至 <7.9 (0.310)

特别说明

API 出版物只能针对一些共性问题。有关特殊问题，宜查阅地方、州和联邦的法律法规。

API 或 API 的任何雇员、分包商、顾问、委员会或其他受托人，均不担保也不承诺（无论明指还是暗示）本标准中所包含的信息的准确性、完整性和适用性，对于本标准中所披露的任何信息的使用及其后果，也不承担任何义务和责任。API 或 API 的任何雇员、分包商、顾问或其他受托人，也不承诺本标准的使用不会侵犯其他人的专有权利。

任何愿意使用 API 出版物的人都可以任意使用。API 已经尽了一切努力来保证这些出版物中所含数据的准确性与可靠性；然而，关于本标准 API 不做任何承诺、担保或保证，在此明确声明，由于使用本标准而造成的任何损失，或者因本标准与当地法规有冲突而造成违法，API 将不承担任何义务和责任。

出版 API 标准是为了使公众能够更方便地获取已经证实的、良好的工程与操作惯例。但至于何时何地应当使用这些出版物，仍需要用户依据自身的实践经验做出明智的判断。API 标准的制定和出版，无意以任何方式限制任何人使用任何其他操作惯例。

任何按照 API 标准的会标使用要求标志其设备和材料的制造商，对于其产品符合相关 API 标准，负有全部责任。API 不承诺、担保或保证这些产品实际上确实符合该项 API 标准。

分类范围可根据任意特定情况所涉及的位置、条件、设备和材料发生变化。本标准的使用者应咨询拥有管辖权的权威机构。

本标准的使用者不宜仅依赖本文件包含的信息。使用本书包含信息时应进行充分的商业、科学、工程和安全评估。

在健康安全风险及预防措施方面，雇主、制造商和供应商应适当的警示和培训自己的员工和其他相关人员，并为这些人员配备适用的防护设备。API 不会代替他们承担此类责任，也不会代替他们承担遵守当地法规的其他责任。

对于特殊材料和特定条件的安全健康信息和正确的预防措施，应向雇主、材料制造商或者供应商索要，或者参考材料安全数据单。

保留所有权利。未经出版商事先书面许可，不得复制、翻译、存储在检索系统中、或以任何方式（电子、机械、影印、录音或其他方式）传输本文档的任何部分。联系出版商，API Publishing Services，地址：1220 L Street, NW, Washington, DC 20005。

Copyright © 2018 美国石油学会

前言

API 出版物中的任何内容，都不能解释为（以暗示或其他方式）赋予任何人制造、销售或使用专利权所涵盖的任何方法、仪器或产品的权力。出版物中的任何内容也不能解释为担保任何人侵犯专利权而不承担责任。应：本标准中，“应”表示最低要求以符合本规范。

用于表达本规范规定的言语形式如下：

—术语“应”表示最低要求以符合本标准；

—术语“宜”表示推荐或建议的作法，并非要求以符合本标准；

—术语“可能”用于表达许可或可选的规定；

—术语“可以”用于表达可能性或能力。

信息性要素一如标准中所使用的，“信息性”指的是识别文档、介绍其内容并解释其背景、发展及其与其他文档的关系的要素，或提供旨在协助理解或使用该文档的附加信息的要素。

规范性要素一如标准中所使用的，“规范性”指的是用于描述文件范围的要素，并作为本标准所要求的补充条款。

本文件是按照 API 标准化工作程序制定的，该程序保证了制定过程的透明度和广泛参与；本文件被 认定为 API 标准。关于本标准内容解释方面的有关问题，或者关于标准制定程序方面的看法和问题，应以书面形式提交给美国石油学会标准部主任，地址：1220 L Street, N.W., Washington, D.C. 20005。如果需要复制或翻译本标准的全部或部分内容，也与标准部主任联系。

通常，API 标准最长每隔 5 年就要复审一次，复审的结果是修订、确认或撤销。该五年复审周期可以延期一次，但延期最长不超过 2 年。出版的状态可以从 API 标准部门得知，电话（202）6828000。API 的出版物和材料目录由 API 每年公布一次，地址：1220 L Street, N.W., Washington, D.C.20005。

欢迎用户提出修订建议，这类建议应提交给 API 标准部，地址：1220 L Street, NW., Washington, DC. 20005，或发送电子邮件：standards@api.org。

目次

管线钢管 1

1 范围 1

1.1 覆盖范围 1

1.2 API 会标的使用 1

2 规范性引用 1

3 术语、定义、符号和缩略词 4

3.1 术语和定义 4

3.2 符号 11

3.3 缩略语 12

4 符合性 13

4.1 计量单位 13

4.2 圆整 14

5 对本规范的符合性 14

5.1 质量 14

5.2 其他术语和定义 14

5.3 引用附录 14

6 钢管等级和钢级和交货状态 15

6.1 钢管等级和钢级 15

6.2 交货状态 16

7 购方需提供的资料 17

7.1 一般信息 17

7.2 附加信息 17

8 制造 21

8.1 制造工艺 21

8.2 需要工艺确认的工序 22

8.3 原料 23

8.4 定位焊缝 24

8.5 组合焊 (COW) 管焊缝 24

8.6 埋弧焊 (SAW) 管焊缝 24

8.7 双缝钢管焊缝 25

8.8 电焊 (EW) 和激光焊 (LW) 管焊缝处理 25

8.9 冷定径和冷扩径 25

8.10 钢带(卷)/钢板对头焊缝 25

8.11 对接管 26

8.12 热处理 26

8.13 追溯性 26

9 验收标准 26

9.1 总则 26

9.2 化学成分 26

9.3 拉伸性能 30

9.4 静水压试验 32

9.5	弯曲试验	32
9.6	压扁试验	32
9.7	导向弯曲试验	32
9.8	PSL2 钢管 CVN 冲击试验	33
9.9	PSL2 焊管的 DWT 试验	34
9.10	表面状况, 缺欠和缺陷	35
9.11	尺寸、质量和偏差	36
9.12	管端加工	41
9.13	焊缝偏差	43
9.14	质量偏差	46
9.15	PSL2 钢管的焊接性	47
10	检验	47
10.1	检验类型和检验文件	47
10.2	特定检验	48
11	标记	76
11.1	总则	76
11.2	钢管标志	77
11.3	接箍标志	79
11.4	多钢级钢管的标志	79
11.5	螺纹标识和证明	80
11.6	钢管加工厂标志	80
12	涂层和螺纹保护器	80
12.1	涂层和内衬	80
12.2	螺纹保护器	81
13	记录保存	81
14	钢管装载	82
附录 A	(资料性附录) API 会标纲要 许可证持有者对 API 会标的使用	83
A.1	范围	83
A.2	规范性引用	83
A.3	API 会标纲要: 许可证持有者职责	84
A.4	产品标记要求	85
A.5	API 会标纲要: 不符合报告	86
Annex B	(规范性附录) PSL 2 钢管制造工艺评定	87
B.1	简介	87
B.2	由购方提供的附加信息	87
B.3	制造工艺特性	87
B.4	检验和试验计划的特性	90
B.5	制造工艺评定试验	90
Annex C	(规范性附录) 表面缺欠和缺陷的处理	92
C.1	表面缺欠处理	92
C.2	可修整表面缺陷的处理	92
C.3	不可修整表面缺陷的处理	92
C.4	缺陷补焊	92
Annex D	(规范性附录) 补焊工艺	94
D.1	总则	94

D.2	补焊工艺评定.....	94
D.3	焊工操作评定.....	99
Annex E	(规范性附录) 针对不要求满足附录 H、J 或 N 要求的钢管的无损检验.....	101
E.1	人员资质评定.....	101
E.2	检验标准.....	101
E.3	检验方法.....	101
E.4	焊缝的射线检验.....	103
E.5	超声检验和电磁检验.....	106
E.6	磁粉检验.....	111
E.7	剩磁.....	111
E.8	电焊 (EW)、埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管管体分层缺欠.....	112
E.9	钢带/钢板边缘或电焊 (EW)、埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管焊缝附近分层缺欠.....	112
E.10	含有缺陷管子的处置.....	112
Annex F	(规范性附录) 接箍要求 (仅对 PSL 1)	113
F.1	材料.....	113
F.2	尺寸.....	113
F.3	检验.....	113
Annex G	(规范性附录) 抗延性断裂扩展的 PSL 2 钢管.....	116
G.1	简介.....	116
G.2	由购方提供的附加信息.....	116
G.3	验收标准.....	116
G.4	试验频次.....	117
G.5	钢管标志和检验文件.....	117
G.6	确定陆上埋地输气管线 CVN 吸收能值的指南.....	117
G.7	EPRG (欧洲管线研究机构) 准则 — 方法 1.....	117
G.8	Battelle 简化公式 — 方法 2.....	121
G.9	Battelle 双曲线法 — 方法 3.....	122
G.10	AISI 法 — 方法 4.....	122
G.11	全尺寸爆破试验 — 方法 5.....	122
Annex H	(规范性附录) 酸性服役条件 PSL2 钢管的订购.....	123
H.1	简介.....	123
H.2	由购方提供的附加信息.....	123
H.3	制造.....	124
H.4	验收标准.....	125
H.5	表面状况、缺欠和缺陷.....	129
H.6	高频焊 (HFW) 管焊缝毛刺.....	130
H.7	检验.....	130
H.8	钢管标志.....	133
Annex I	(规范性附录) TFL 油管的订购.....	137
I.1	简介.....	137
I.2	由购方提供的附加信息.....	137
I.3	尺寸和等级.....	137
I.4	长度和对接管.....	137
I.5	通径试验.....	137
I.6	静水压试验.....	137
I.7	钢管标志.....	137
Annex J	(规范性附录) 海上服役条件 PSL2 钢管的订购.....	139

J.1	简介	139
J.2	由购方提供的附加信息	139
J.3	制造	140
J.4	验收标准	141
J.5	表面状况、缺欠和缺陷	144
J.6	直径、壁厚、长度和直度偏差	145
J.7	焊缝偏差	147
J.8	检验	148
J.9	钢管标志	153
Annex K	(规范性附录) 酸性服役、海上服役条件、和/或需要纵向塑性应变能力的钢管的无损检测	154
K.1	简介	154
K.2	无损检验一般要求和验收标准	154
K.3	无缝 (SMLS) 无损检验	155
K.4	高频焊接 (HFW) 无损检验	156
K.5	高频焊接 (HFW) 无损检验	157
Annex L	(资料性附录) 钢牌号	159
Annex M	(资料性附录) 对接管规格	161
M.1	方法和评定	161
M.2	工艺试验	161
M.3	工艺和检验	161
M.4	标记	162
M.5	无损检验	162
M.6	补焊	162
Annex N	(规范性附录) 订购用于需要纵向塑性应变能力的应用的 PSL 2 钢管	163
N.1	总则	163
N.2	由购方提供的附加信息	163
N.3	制造	164
N.4	验收标准	165
N.5	其他表面缺欠	167
N.6	直径、壁厚和直度偏差	168
N.7	焊缝偏差 (钢带/钢板的错边)	171
N.8	检验	171
N.9	钢管标志	176
Annex O	(资料性附录) API 许可证持有者的会标使用的附加信息	179
O.1	产品标志要求	179
Annex P	(资料性附录) 加工有螺纹和带接箍钢管公式及导向弯曲和 CVN 试样的背景公式	181
P.1	简介	181
P.2	计算加工有螺纹和带接箍钢管质量	181
P.3	加工端计算质量	182
P.4	无特殊倒角接箍质量	183
P.5	接箍压力性能	184
P.6	带螺纹和接箍管子的静水压试验压力	188
P.7	导向弯曲试验背景	188
P.8	CVN 试样尺寸背景	189
	参考文献	192
	图	

图 1—全长直度测量	40
图 2— 端部直度测量	41
图 3—使用固定正方形测量值时的参考	43
图 4—焊缝尺寸偏差	43
图 5— 试块和试样的方向和位置	52
图 6 — 压扁试验	53
图 7—夏比试验试样位置	58
图 8—导向弯曲试验试样	60
图 9 — 导向弯曲试验弯模	66
图 C.1—焊缝修补后的清除坑（仅对 PSL2）	93
图 D.1—导向弯曲试验试样	98
图 F.1—管线钢管和接箍	115
图 H.1 — 硬度试验位置	134
图 J.1 — 硬度试验位置	152
图 M.1—管段识别标记顺序示例	162
图 N.1 — 硬度试验位置	177
图 P.1 — 加工有螺纹和带接箍钢管	182
图 P.2 — 钢管接箍	183
图 P.3—标准夏比 V 型缺口试样的最小壁厚确定	189
图 P.4—锥形 CVN 试样的最小壁厚确定	190
表	
表 1 — 钢管等级和钢级，可接收的交货状态	16
表 2— 可接受的钢管制造工艺和产品规范水平	21
表 3— 可接受的 PSL2 钢管的制造工序	22
表 4— $t \leq 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in.) 的 PSL1 钢管化学成分	27
表 5— $t \leq 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in.) 的 PSL2 钢管化学成分	28

表 6 — PSL1 钢管拉伸试验要求.....	30
表 7 — PSL2 钢管拉伸试验要求.....	30
表 8 — PSL2 钢管管体的 CVN 吸收能要求	34
表 9 — 允许规定外径和规定壁厚.....	37
表 10 — 直径和不圆度偏差.....	38
表 11 — 壁厚偏差	39
表 12 — 非定尺长度钢管偏差	40
表 13 — SMLS 管最大内锥角.....	42
表 14 — SAW 和 COW 管最大允许错边.....	45
表 15 — EW 和 LW 管最大允许刮槽深度.....	45
表 16 — SAW 和 COW 管最大允许焊缝高度（除管端外）	46
表 17 — PSL1 钢管检验频次	49
表 18 — PSL2 钢管检验频次	50
表 19 — PSL 1 钢管力学性能试验各试块试样数量、方向和位置	54
表 20 — PSL 2 钢管力学性能试验各试块试样数量、方向和位置	55
表 21 — 钢管尺寸和横向拉伸试验圆棒试样直径关系	56
表 22 — PSL2 钢管尺寸和要求的冲击试验试样间的关系.....	59
表 23 — 导向弯曲试验应变值	67
表 24 — 薄壁螺纹钢试验压力.....	69
表 25 — 厚壁螺纹钢试验压力.....	70
表 26 — 用于确定 S 的规定最小屈服强度百分数	71
表 27 — 涂料颜色	79
表 D.1—导向弯曲试验弯模尺寸	99
表 E.1 — 钢管焊缝无损检验.....	102
表 E.2 — SMLS 管管体无损检验.....	102
表 E.3—射线检验用 ISO 线型像质计 (IQI)	104

表 E.4—射线检验用 ASTM 线型像质计 (IQI).....	104
表 E.5条形夹渣型缺欠.....	105
表 E.6 — 圆形夹渣型和气孔型缺欠.....	106
表 E.7 — 对比标样	108
表 E.8 — 验收极限	110
表 F.1—接箍尺寸、质量和偏差	114
表 G.1—设计系数为 0.625 的最小 CVN 吸收能要求	119
表 G.2—设计系数为 0.72 的最小 CVN 吸收能要求	120
表 G.3—设计系数为 0.80 的最小 CVN 吸收能要求	121
表 H.1— $t \leq 25.0$ mm (0.984 in.) 的 PSL1 钢管化学成分	127
表 H.2—拉伸试验要求	128
表 H.3 — 检验频次.....	130
表 H.4 — 硬度试验各试块试样数量、方向和位置.....	131
表 I.1 — TFL 钢管尺寸、单位长度质量和试验压力	138
表 I.2 — 通径规尺寸	138
表 J.1 — $t \leq 25.0$ mm (0.984 in.) 的 PSL1 钢管化学成分	143
表 J.2—拉伸试验要求	144
表 J.3—直径和不圆度偏差	146
表 J.4 — 壁厚偏差	147
表 J.5 — SAW 管最大允许错边	148
表 J.6 — 检验频次	149
表 J.7 — 机械试验各试块试样数量、方向和位置	150
表 K.1 — 分层缺欠的验收标准.....	156
表 L.1—欧洲使用的钢牌号（钢号）对照表	160
表 N.1— $t \leq 25.0$ mm (0.984 in.) 的 钢管的化学成分	166
表 N.2—直径和不圆度偏差	169

表 N.3 — 壁厚偏差.....	170
表 N.4 — 无缝钢管管端的偏心距	170
表 N.5 — SAW 管最大允许错边	171
表 N.6 — 检验频次.....	172
表 N.7 — 机械试验各试块试样数量、方向和位置.....	174

简介

本规范以 API Spec 5L 第 45 版为基础。

在本标准起草过程中，技术委员会保留了管线钢管的两个基本级别的标准技术要求，并表示为两个产品规范等级（PSL 1 和 PSL 2）。等级 PSL1 提供了标准的管线钢管质量水平。PSL2 包括增加的化学成分、缺口韧性、强度性能和补充无损检测的强制性要求。并对仅适于 PSL1 或仅适于 PSL2 的要求作了标记。没有指出适用于某个特定 PSL 水平的要求，则对 PSL1 和 PSL2 同样适用。

技术委员会也承认，在石油和天然气工业实际工作中，经常要为各种特殊用途规定附加要求。为了适应这种需要，本标准提供了特殊用途的各种选用附加要求，如下所列：

- 订购需要进行制造工艺评定的 PSL2 钢管（附录 B），附录 B 中的一些要求已被加严，以包括原料制造、管线钢管制造以及产品试验和检验关键环节的验证要求；
- 订购用于输气管线的具有抗延性断裂扩展的 PSL2 钢管（附录 G）；
- 订购用于酸性服役条件的 PSL2 钢管（附录 H）；
- 订购用于“直通过油管”的钢管（附录 I）；
- 订购用于海洋服役条件的 PSL2 钢管（附录 J）。

本标准加入下列新附录：

- 订购用于需要纵向塑性应变能力的应用的 PSL 2 钢管（附录 N）。

仅当订货合同规定了这些附录的要求时，这些附录才适用。

当订购的钢管用于两种或多种用途时，钢管要能够满足各种特殊用途的多个附录的要求。在这种情况下，由于使用一个以上用于特殊用途的附录而产生技术争议时，应采用适用于预期服役条件的最苛刻要求。

本规范不提供何时必须规定上述附加要求的指导。相反，对于一个特定的合同而言，根据预期用途和设计要求来规定附加要求是购方的责任。

本标准已考虑了应用广泛的传统符号（指力学或物理性能或它们的数值、尺寸或试验参数）和公式格式，这些传统形式的符号和公式常常与其他广泛应用的标准、规范和表示其起源的原始研究工作有着紧密的联系。为避免引起混淆，一些符号和公式，最具体地说，在 9.2、表 F.1 和附录 P 中的符号和公式仍保持传统形式。对修改的符号已给予关注，以确保代替传统符号的新符号被充分并清楚定义。

管线钢管

1 范围

1.1 覆盖范围

本标准规定了石油天然气工业管线输送系统用无缝管和焊管的制造要求，包括两种产品规范水平（PSL1 和 PSL2）。

本规范不适用于铸铁管。

1.2 API 会标的使用

如果产品是在经美国石油学会 (API) 许可的工厂制造的，并且计划带有 API 会标，则附录 A 的要求适用。

2 规范性引用

下列文件为本标准使用中不可或缺的。对于标注日期的引用，仅引用的版本适用。对于不标注日期的引用文件，其最新版本适用（包括任何增补或勘误部分）。

API Recommended Practice 5A3，套管、油管和管线钢管用螺纹脂的推荐作法

API Recommended Practice 5L3，管线钢管落锤撕裂试验推荐作法

API Specification 5B，套管、有关和管线钢管螺纹的螺纹加工、螺纹测量和螺纹检查

API Standard 5T1，缺欠术语

ASNT SNT-TC-1A¹，SNT-TC-1A 无损检测推荐作法

ASTM A370²，钢制品机械性能标准试验方法和定义

ASTM A435，钢板直射法超声检验规范

ASTM A578，特殊用途用普通钢板和复合钢板直射法超声检验标准规范

ASTM A751，钢制品化学分析的标准测试方法、作法和术语

ASTM A941，钢、不锈钢、相关合金和铁基合金有关的术语

ASTM A956，钢产品里氏硬度标准试验方法

ASTM A1038，超声波接触阻抗法便携式硬度仪测试硬度的标准作法

ASTM E18，金属材料洛氏硬度和洛氏表面硬度标准试验方法

¹ 美国无损检测学会，1711 Arlingate Lane, Columbus, Ohio 43228, <https://www.asnt.org>.

² ASTM International（美国试验与材料协会），West Conshohocken, Pennsylvania 19428, <https://www.astm.org>.

ASTM E92, 金属材料维氏硬度和努氏硬度标准试验方法

ASTM E94, 射线检验标准指南

ASTM E110, 便携式硬度仪测试金属材料压痕硬度的标准方法

ASTM E114, 接触式超声脉冲回波直射法检验的标准作法

ASTM E164, 焊接件的接触式超声检测标准作法

ASTM E165, 液体渗透标准试验方法

ASTM E213, 金属管超声检验标准作法

ASTM E273, 焊管焊接区域超声检测标准作法

ASTM E309, 钢管产品磁饱和涡流检验方法

ASTM E570, 铁磁性钢管产品漏磁检测方法

ASTM E587, 接触式超声斜射法检测标准作法

ASTM E709, 磁粉检验标准指南

ASTM E747, 射线检验用线型像质计 (IQI) 的设计、制造和材料组分类标准作法

ASTM E1806, 钢铁化学成分检验用试样的取样方法

ASTM E1815-08, 工业射线检验胶片系统分类的标准试验方法

ASTM E1820, 断裂韧性测量的标准试验方法

ASTM E2033, 计算机射线检测标准作法 (光敏发光法)

ASTM E2698, 用数字检测器阵列进行射线检测的标准作法

ASTM G39, 弯曲梁应力腐蚀试验试样制备和使用的标准方法

BS 7448-1³, 断裂韧性试验—确定金属材料 K_{Ic} 、临界 $CTOD$ 、临界 J 值的方法

EN 10168⁴, 钢产品—检验文件—信息和描述表

EN 10204:2004, 金属产品—检查文件类型

ISO 148-1⁵, 金属材料—夏比摆锤冲击试验—第 1 部分: 试验方法

³BSI, 389 Chiswick High Road, London, W4 4AL, United Kingdom, <https://www.bsigroup.com>。

⁴ 欧洲标准化委员会 (CEN), 管理中心, 地址: Rue de la Science 23, B - 1040 Brussels, Belgium, <https://www.cen.eu>。

ISO 404, 钢和钢产品—一般交货技术条件

ISO 2566-1, 钢—伸长率换算—第1部分: 碳钢和低合金钢

ISO 4885, 钢铁产品—热处理—词汇

ISO 5173, 第3版 金属材料焊缝破坏性试验—弯曲试验

ISO 6506 (全部), 金属材料—布氏硬度试验

ISO 6507 (全部), 金属材料—维氏硬度试验

ISO 6508 (全部), 金属材料—洛氏硬度试验

ISO 6892-1, 金属材料—拉伸试验—第1部分: 环境温度试验方法

ISO 6929, 钢产品—定义和分类

ISO 7539-2, 金属和合金腐蚀—应力腐蚀试验—第2部分: 弯梁试样制备和使用

ISO 8491, 金属材料—管(全截面)—弯曲试验

ISO 8492, 金属材料—管—压扁试验

ISO 8501-1, 涂料和相关产品涂敷前钢基体的准备—表面清洁度的目视评定—第1部分: 未涂敷钢基底和涂敷前全面清理后钢基底的锈蚀程度和准备等级

ISO 9712, 无损检测—人员资质和评定

ISO 9769, 钢和铁—可采用的分析方法的评述 ISO 10474:1991, 产品—检验文件

ISO 10893-2, 钢管无损检测—第2部分: 缺陷探测用无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管的自动涡流检测

ISO 10893-3, 钢管无损检测—第3部分: 用于纵向和/或横向缺欠探测的无缝和焊接(埋弧焊除外)磁铁钢管的自动全外围漏磁检测

ISO 10893-4, 钢管无损检测—第4部分: 表面缺欠检测用无缝和焊接钢管的液体渗透检验

ISO 10893-5, 钢管无损检测—第5部分: 表面缺欠检测用无缝和焊接钢管的磁粉检验

ISO 10893-6, 钢管无损检测—第6部分: 焊接钢管焊缝缺欠的射线检测

ISO 10893-7, 钢管无损检测—第7部分: 焊接钢管焊缝缺欠的射线数字射线检测

ISO 10893-8, 钢管无损检测—第8部分: 分层缺欠检测用无缝和焊接钢管的自动超声检测

ISO 10893-9, 钢管无损检测—第9部分: 焊接钢管制造用钢带/钢板分层缺欠的自动超声检测

ISO 10893-10, 钢管无损检测—第10部分: 用于纵向和/或横向缺欠探测的无缝钢管和焊接(埋弧焊除外)钢管的自动全外围超声检测

ISO 10893-11, 钢管无损检测—第11部分: 用于纵向和/或横向缺欠探测的无缝和焊接钢管的自动超声检测

⁵国际标准化组织, 地址: Chemin de Blandonnet 8, CP 401, 1214 Vernier, Geneva, Switzerland, www.iso.org。

ISO 10893-12, 钢管无损检测—第 12 部分: 无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管的自动全外围超声厚度检测

ISO 11484, 承压钢管—无损检测(NDT)人员的资格及鉴定

ISO 11699-1:2008, 无损检测—工业射线检验胶片—第 1 部分: 工业射线检验胶片系统分类

ISO 12135, 金属材料—准静态断裂韧度的统一试验方法

ISO 12737, 金属材料—平面应变断裂韧性的测定

ISO 13678, 石油和天然气工业—套管、油管和管线钢管螺纹脂的评估和试验

ISO 14284, 钢和铁—化学成分试验试样的取样和制备

ISO 15653, 金属材料—准静态断裂韧度的测定的试验方法

ISO 19232-1:2004, 无损检测—射线照相底片像质—第 1 部分: 线型像质计—像质指数的测定

ISO 80000-1:2009/Cor 1:2011, 量和单位—第 1 部分: 总则

NACE TM0177⁶, 金属在 H₂S 环境中抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂的实验室试验

NACE TM0284, 标准试验方法—管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评估

3 术语、定义、符号和缩略词

3.1 术语和定义

下列术语和定义应适用于本规范。

3.1.1

依照协议

由制造商和购方双方协商形成的要求, 且已在订货合同中注明。

注 例如 7.2 a) 包括的条款。

3.1.2

轧制状态

未进行任何特殊轧制和/或热处理的交付状态。

3.1.3

钢带(卷)/钢板对头 焊缝

将钢带(卷)或钢板端部连接在一起的焊缝。

3.1.4

冷扩径钢管

指在工厂环境温度下, 用内部扩张机械装置, 或将钢管置于封闭模中, 通过内部静水压压力使整根钢管外径或周向尺寸获得永久增加的钢管。

⁶ NACE International (美国腐蚀工程师协会), 15835 Park Ten Place, Houston, Texas 77084, <https://www.nace.org>。

3.1.5

冷定径钢管

指在工厂环境温度下，成型（包括 EW 定径）后，整根或部分长度钢管外径或周向尺寸获得永久增加或永久减少的钢管。

3.1.6

冷精整

永久应变大于 1.5 % 的冷加工操作（通常为冷拔）。注 该永久应变量通常将冷精整与冷扩径和冷定径区分出来。

3.1.7

冷成型

不用加热将钢带或钢板成型为钢管的工艺。

3.1.8

连续炉焊

CW

通过在炉子里加热钢带且用机械力将成型的边缘压在一起，形成接缝的工艺。期间连续不断地将钢带卷连接在一起，持续地为焊机提供钢带。

3.1.9

COW 管

组合焊管

采用熔化极气体保护焊和埋弧焊组合工艺制造的带有一或两条直焊缝或一条螺旋焊缝的钢管产品，在焊接过程中，熔化极气体保护焊缝未完全被埋弧焊道熔化。

3.1.10

COWH 管

螺旋缝组合焊管

采用熔化极气体保护焊和埋弧焊组合工艺制造的带有一条螺旋焊缝的钢管产品，在焊接过程中，熔化极气体保护焊缝未完全被埋弧焊道熔化。

3.1.11

COWL 管

直缝组合焊管

采用熔化极气体保护焊和埋弧焊组合工艺制造的带有一或两条直焊缝的钢管产品，在焊接过程中，熔化极气体保护焊缝未完全被埋弧焊道熔化。

3.1.12

COW 焊缝

组合焊缝

采用熔化极气体保护焊和埋弧焊组合工艺焊成的直焊缝或螺旋焊缝，在焊接过程中，熔化极气体保护焊缝未完全被埋弧焊道熔化。

3.1.13

CW 管

连续炉焊管

采用连续炉焊工艺制造的带有一条直焊缝的钢管产品。

3.1.14

子带（卷）

通过切、割、或剪的方式从母带（卷）上截取的钢带（卷）的一部分，该母带（卷）可用于制造单根或多根钢管。

3.1.15

子板

通过切、割、或剪的方式从母板上截取的钢带（卷）的一部分，该母板可用于制造单根或多根钢管。

3.1.16

缺陷

尺寸和/或分布密度超出本规范规定的验收标准的缺欠。

3.1.17

电焊管

EW 管

采用低频或高频电焊工艺制造的带有一条直焊缝的钢管产品。

3.1.18

电焊缝

EW 焊缝

采用电焊工艺焊成的直焊缝。

3.1.19

电焊

EW

通过电阻焊形成焊缝的工艺。其待焊边缘通过机械加压焊接在一起，焊接热量由感应或传导电流的电阻产生。

3.1.20

药芯焊丝电弧焊

利用管状金属电极中的药芯提供保护，借助该连续填充金属电极与工件之间的电弧热，使金属结合的焊接工艺。

注 在某些情况下，需要用外部提供的气体或混合气体获得补充保护。

3.1.21

熔化极气体保护焊

GMAW

通过连续自消耗的电极与工件之间一个或多个电弧进行加热，从而形成金属结合的一种焊接工艺，由外部提供的气体或混合气体对电弧和熔化金属进行保护。

注 不用加压且填充金属来自电极。

3.1.22

热

一次熔炼工艺一次循环所生产的金属。

3.1.23

高频焊管

HFW 管

采用频率等于或大于 70 kHz 的焊接电流焊接成的 EW 管。

3.1.24

如果有协议

经制造商和购方双方协商，在订购合同中注明的已确定要求或比已确定要求更严格的要求。

注 例如包含在 7.2 c) 中的相关条款。

3.1.25

缺欠

用本规范所述的检查方法检验出来的产品壁厚内部或表面的不连续或不规则。

3.1.26

指示

通过无损检验获得的证据。

3.1.27

检验

测量、检查、试验、称重或测定产品的一个或多个特性的活动，并将这些活动的结果与规定要求进行对比，以确定符合性。

3.1.28

设备校准

将无损检验设备调整到规定参照值的活动。

3.1.29

接头

制造商将两根或三根单根管用接箍连接或焊接而形成的钢管。

3.1.30

钢包精炼

浇铸前进行的首次炼钢过程后的二次炼钢工艺，通过脱气，脱硫及去除非金属夹杂物，并控制夹杂物的形状等多种方法提高钢的质量。

3.1.31

分层

内部金属分离形成的片层，通常与钢管表面平行。

3.1.32

激光焊管

LW 管

采用激光焊焊接工艺制造的带有一条直焊缝的钢管产品。

3.1.33

激光焊

LW

采用激光束小孔焊接技术使待焊边缘的金属熔化，并使其焊接在一起的工艺。待焊边缘是否预热均可。采用外部提供的气体或混合气体进行保护。

3.1.34

低频焊管

LFW 管

采用频率小于 70 kHz 的焊接电流焊接成的电焊（EW）管。

3.1.35

制造厂

根据本规范的要求，负责生产产品且对产品做标志的工厂、公司或社团。

注 如适用，制造商也可是钢管制造厂、加工方、接箍或螺纹的加工厂。

3.1.36

母带（卷）

采用单个再热钢坯加工的热轧钢带（卷），可用来生产单根或多根钢管。

3.1.37

母板

采用单个再热钢坯加工的热轧钢板，可用来生产单根或多根钢管。

3.1.38

无损检验

无损检测

NDT

采用本规范规定的射线、超声或其他方法而使缺欠能显现出来的检验，该检验方法不对材料组织产生干涉、施加应力、破坏。

3.1.39

正火成型

钢管的交货状态，形成于成型过程，在此过程中最终变形在一定的温度范围内进行，使材料的状态与经正火处理后材料的状态相当，使得在随后进行的任何正火中，仍能满足规定力学性能 要求。

3.1.40

正火轧制

钢管的交货状态，形成于轧制过程，在此过程中最终变形在一定的温度范围内进行，使材料的状态与经正火处理后材料的状态相当，使得在随后进行的任何正火中，仍能满足规定力学性能 要求。

3.1.41

管体

对于无缝管，指整根钢管。

3.1.42

管体

对于焊管，指不包括焊缝和热影响区的整根钢管。

3.1.43

钢管等级

表明钢管强度水平的名称。

注 同一等级的钢管可能具有不同的化学成分和/或不同的热处理状态。

3.1.44

制管厂

运营制管设施的厂商、公司或集团公司。

3.1.45

加工厂

对制管厂生产的钢管进行热处理加工的工厂、公司或社团。

3.1.46

产品分析

钢管、钢板或钢带（卷）的化学分析。

3.1.47

购方

负责确定产品订货要求且为所购产品付款的一方。

3.1.48

淬火加回火

由淬火硬化和随后进行的回火组成的热处理工艺。

3.1.49

试块

为制取一个或多个试样，从待检验产品上截取的足够数量的材料。

3.1.50

SAW 管

埋弧焊管

采用埋弧焊接工艺制造的带有一条或两条直焊缝，或一条螺旋焊缝的钢管。

3.1.51

螺旋缝埋弧焊（SAWH）管

螺旋缝埋弧焊管

采用埋弧焊接工艺制造的带有一条螺旋焊缝的钢管。

3.1.52

直缝埋弧焊（SAWL）管

直缝埋弧焊管

采用埋弧焊接工艺制造的带有一条或两条直焊缝的钢管。

3.1.53

埋弧焊（SAW）缝

埋弧焊缝

采用埋弧焊接工艺焊成的直焊缝或螺旋焊缝。

3.1.54

无缝管

无缝（SMLS）管

采用热成型工艺制造的不带焊缝的钢管，在热成型后，可以进行冷定径或冷精整，以获得需要的外形、尺寸及性能。

3.1.55

服役条件

由购方在订货合同中规定的钢管使用条件。

注 在本规范中，术语“酸性服役”和“海上服役”指服役条件。

3.1.56

焊条电弧焊（SMAW）

SMAW

利用包覆金属电极与工件之间的电弧热加热电极和工件，使金属熔融结合的焊接工艺，电极包覆物的分解物为电弧和熔融金属提供保护。

注 不需加压，分解物来自金属电极。

3.1.57

埋弧焊

SAW

通过一个或数个裸金属自耗电电极与工件之间的一个或数个电弧，对电极与工件加热而产生金属熔融结合的焊接工艺。由一层粒状焊剂为电弧和熔融金属提供保护。

注 不需加压，且填充金属部分或全部从电极获得。

3.1.58

定位焊缝

在最终焊接前，用来保持对接边缘对齐的间断或连续的焊缝。

3.1.59

试样

具有规定尺寸的试块的一部分，经机加工或非机加工方法，使其满足试验所要求的条件。

3.1.60

试验批

采用同一熔炼炉，在相同钢管制造条件下，通过相同制管工艺，所用钢带（卷）/钢板采用相同热轧工艺（适用于焊管），制成的相同规定外径和规定壁厚的规定数量的钢管。

3.1.61

热机械成型

处理无法达到或重现的某些性能。形变后进行冷却，有可能会增加冷却速率，进行或不进行包括自回火的回火处理。

警示—随后温度高于 580 ° C (1075° F) 的加热会降低钢管强度值。

3.1.62

热机械轧制

钢管的交货状态来源于热机械轧制的钢带（卷）或钢板，在此过程中最终变形在一定的温度范围内进行，使材料具有单独采用热处理无法获得或重现的某些性能，形变后进行冷却，有可能会增加冷却速率，进行或不进行包括自回火的回火处理。

警示—随后温度高于 580 ° C (1075° F) 的加热会降低钢管强度值。

3.1.63

咬边

焊缝金属在邻近焊趾的母材上形成的凹槽和未充满。

3.1.64

除另有协议外

使用的要求，除制造商和购方双方协商有替代要求并在订货合同中规定外。

注 例如 7.2 b) 和 7.2 c) 包括的相关条款。

3.1.65

焊管

连续炉焊 (CW) 管、螺旋缝组合焊 (COWH) 管、直缝组合焊 (COWL) 管、电焊 (EW) 管、高频焊 (HFW) 管、低频焊 (LFW) 管、激光焊 (LW) 管、螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 管或直缝埋弧焊 (SAWL) 管

3.2 符号

a	钢带 (卷) / 钢板对头焊缝的长度
A_f	断裂后的延伸率, 以百分数表示, 且圆整到最邻近的百分数
A_{gb}	导向弯曲试验弯模/弯辊的直径宽度, 用 mm (in) 表示
A_I	钢管内径横截面积, mm (in); 管壁的横截面积, 用 mm ² (in ²) 表示
A_R	端部密封柱塞的横截面积, 用 mm ² (in ²) 表示
A_{xc}	适用的拉伸试验试样的横截面积, 用 mm ² (in ²) 表示
b	承载面的规定宽度, 用 mm (in) 表示
B	导向弯曲试验模壁或支架之间的距离, 用 mm (in) 表示
C	常数, 取决于使用的单位制
CE_{IIW}	碳当量, 采用国际焊接学会公式确定
CE_{Pcm}	碳当量, 采用 Ito-Bessyo 碳当量公式的化学部分确定
d	钢管的计算内径, 用 mm (in) 表示
D_a	定径后制造商的设计外径, 用 mm (in) 表示
D_b	定径后制造商的设计外径, 用 mm (in) 表示
D	钢管规定外径, 用 mm (in) 表示
Δ	从外径的切线到外径表面与冲击试样端部交点的距离, 用 mm (in) 表示
δ	机加工深度, 从钢管外径表面到试样长度中部的距离, 用 mm (in) 表示
f	频率, 单位为 Hz (每秒的周期数)。
K_V	全尺寸夏比 V 型缺口吸收能, 用 J (英尺磅力表示)
L	钢管长度, 用 m (ft) 表示
N_L	规定最小长度, 接箍尺寸, 用 mm (in) 表示
P	静水压试验压力, 用 MPa (psi) 表示
P_R	端部密封柱塞内压, 用 MPa (psi) 表示
Q	接箍尺寸规定的凹槽直径, 用 mm (in) 表示

r	半径, 用 mm (in) 表示
r_a	导向弯曲试验阳模半径, 用 mm (in) 表示
r_b	导向弯曲试验阴模半径, 用 mm (in) 表示
r_o	半径, 用 mm (in) 表示
R_m	抗拉强度, 用 MPa (psi) 表示
$R_{p0.2}$	屈服强度 (0.2 %非比例延伸), 用 MPa (psi) 表示
$R_{t0.5}$	屈服强度 (0.5 %总延伸), 用 MPa (psi) 表示
s_r	定径率
S	静水压试验环向应力, 用 MPa (psi) 表示
t	钢管规定壁厚, 用 mm (in) 表示
$t_{\min}$	钢管最小允许壁厚, 用 mm (in) 表示
U	规定最小抗拉强度, 用 MPa (psi) 表示
U_{EL}	统一伸长率, 以百分比 (%) 表示
V_t	横向超声速率, 以 m/s (ft/s) 表示
W	规定外径接箍尺寸, 用 mm (in) 表示
ε	应变
λ	波长, 用 m (ft) 表示
ρ_l	平端钢管单位长度质量, 用 kg/m (lb/ft) 表示
σ_h	管线钢管设计环向应力, 用 MPa (psi) 表示

3.3 缩略语

API	美国石油学会
AISI	美国钢铁协会
COW	制造时, 对钢管实施的组合焊接工艺
COWH	制造时, 对钢管实施的组合螺旋焊接工艺
COWL	制造时, 对钢管实施的组合直缝焊接工艺
CTOD	裂纹尖端张开位移
CVN	夏比 V 型缺口
CW	制造时, 对钢管实施的连续焊接工艺
DWT	落锤撕裂
EDI	电子数据交换
EPRG	欧洲管道研究小组

EW	制造时，对钢管实施的电阻焊或电感应焊接工艺
GMAW	熔化极气体保护焊
HAZ	热影响区
HBW	采用钨类硬质合金球压头的布氏硬度
HFW	制造时，对钢管实施的高频电焊工艺
HIC	氢致开裂
HRC	洛氏硬度，C 标尺
HV	维氏硬度
IQI	像质计
LFW	制造时，对钢管实施的低频电焊工艺
LW	制造时，对钢管实施的激光焊接工艺
MT	磁粉检测
NDT	无损检测
PSL	产品规范等级
PT	渗透检测
SAW	制造时，对钢管实施的埋弧焊接工艺
SAWH	制造时，对钢管实施的螺旋埋弧焊接工艺
SAWL	制造时，对钢管实施的直缝埋弧焊接工艺
SI	国际单位制
SMAW	制造时，对钢管实施的焊条电弧焊
SMLS	无缝管
SSC	硫化物应力开裂
SWC	阶梯开裂
TFL	直通过油管
USC	美国惯用
UT	超声检测
WPQT/PQR	焊接工艺评定试验记录
WPS	焊接工艺规范

4 符合性

4.1 计量单位

在本规范中，数据是以国际 (SI) 单位制和美国惯用 (USC) 单位制两种单位制表示的。对于特定的订货批，只应使用一种单位制表示数据，不应兼有用另一种单位制表示的数据。用 SI 单位制和 USC 单位制表示的数据不应同时出现在同一检验文件或同一要求的钢管标志中。

在产品依据要求使用某一种测量单位制（USC 或 SI）对产品进行试验和验证，随后发出的 检验文件中报告的数据用其他替代测量单位制的情况下，检验文件中应有说明，以指出文件现有 数据是从原检验所使用的测量单位制换算而来。

对于钢管数据、图和供应尺寸，购方应规定是采用国际单位制（SI），还是采用美国惯用单位制（USC）。SI 数据单的使用表明应使用 SI 单位制。USC 数据单的使用表明应使用 USC 单位制。

4.2 圆整

除本规范规定外，为了确定与规定要求的一致性，应根据 ISO 80000-1:2009/Cor 1:2011，附录 B，规则 A，把观测值或计算数值圆整到用于表示极限值的最右边数位的最邻近单位数值。

注 使用本条款时，ASTM E29-04^[1]的圆整方法与 ISO 80000-1: 2009/Cor 1:2011，附录 B，规则 A 相同。

5 对本规范的符合性

5.1 质量

应运行文件化的质量体系，以助于(产品)符合本规范的要求。

注 1 质量体系文件不要求获得第三方认证机构认证；为满足本规范的要求，只有书面质量体系的制定和采用是必要的。API 遵从负责质量管理人员的专业意见，以制定或批准能反映各公司需求的最佳体系。

注 2 在建立适合的质量体系过程中，现存的许多质量管理体系都可为相关人员提供指导，这些体系有包含石油天然气行业特殊规定的 ISO/TS 29001^[2] 和 API Q1^[3] 规范，或者包含质量管理体系审核总要求的 ISO 9001^[4]。本注所列内容并不详尽，仅提供相关信息。

合同可以规定制造厂应对产品与本规范所有适用要求的符合性负责，其中可能包括允许购方进行必要调查的条款，以确保制造厂符合要求，并拒收任何不符合要求的材料。

5.2 其他术语和定义

下列术语和定义（3.1 中给出的除外）应适用于本标准：

- a) 钢产品 ISO 6929 或 ASTM A941；
- b) 缺欠术语 API 5T1；
- c) 取样方法、检验和检验文件类型 ISO 404、ISO 10474 或 ASTM A370 中适用者。

5.3 引用附录

有关管线钢管制造的其他要求或信息，请参阅下文：

- PSL 2 制造工艺评定，见附录 B（规范性附录）；
- 处理表面缺欠和缺陷，见附录 C（规范性附录）；
- 补焊工艺，见附录 D（规范性附录）；
- 非酸性服役或海上服役或非纵向塑性应变能力无损检测（NDT），见附录 E（规范性附录）；

- PSL 1 接箍要求, 见附录 F (规范性附录);
- PSL 2 延性断裂扩展, 见附录 G (规范性附录);
- 酸性服役条件 PSL 2 钢管, 见附录 H (规范性附录);
- 直通过油管 (TFL) 的钢管, 见附录 I (规范性附录);
- 海上服役条件 PSL 2 钢管, 见附录 J (规范性附录);
- 酸性服役、海上服役或纵向塑性应变能力无损检测 (NDT), 见附录 K (规范性附录);
- 钢牌号, 见 L (资料性附录);
- 焊接对管, 见附录 M (规范性附录);
- 纵向塑性应变能力 PSL 2 钢管, 见附录 N (规范性附录);
- 会标许可证持有者附加信息 (除附录 A 外), 见附录 O (资料性附录);
- 钢管、导向弯曲和夏比 V 型缺口 (CVN) 试样公式, 见附录 P (资料性附录)。

6 钢管等级和钢级和交货状态

6.1 钢管等级和钢级

6.1.1 PSL 1 钢管的钢管等级与钢级 (用钢名表示) 相同, 且应符合表 1 规定。钢管等级由字母或字母与数字混排的牌号构成, 以识别钢管的强度水平, 而且其与钢的化学成分有关。

注 1 钢级 A 和钢级 B 牌号中不包括规定最小屈服强度; 然而, 其他牌号中的数字部分对应于 SI 单位制的规定最小屈服强度; 或 USC 单位制用 1000 psi 表示的向上圆整的规定最小屈服强度。

注 2 下缀 P 表明钢含有规定含量的磷。

6.1.2 PSL 2 钢管的钢管等级应符合表 1 规定。钢管等级由字母或字母与数字混排的牌号构成, 以识别钢管的强度水平。钢名 (表示为钢级) 与钢的化学成分有关, 其词尾的单个字母 (R、N、Q 或 M) 表示钢管的交货状态 (见表 3)。

注 1 钢级 B 牌号中不包括规定最小屈服强度的参考值; 然而, 其他牌号中的数字部分对应于 SI 单位制或 USC 单位制的规定最小屈服强度。

注 2 酸性服役条件见 H.4.1.1。

注 3 海上服役条件见 J.4.1.1。

注 4 要求纵向塑性应变能力的钢管, 见 N.4.1.1。

6.1.3 除欧洲钢名外, 其他使用到的钢级牌号 (钢号) 在表 L.1 中给出。表 L.1 列出了欧洲使用的其他钢牌号 (钢号) 的指南。

6.2 交货状态

6.2.1 对每一个订货批，除订货合同中规定了特定的交货状态外，PSL 1 钢管的交货状态应由制造商选择。表 1 给出了 PSL 1 和 PSL 2 钢管的交货状态，表 3 给出了 PSL 2 钢管的附加信息。

6.2.2 对 PSL 2 钢管，交货状态应符合订货合同对钢名的规定。

表 1 — 钢管等级和钢级，可接收的交货状态

PSL	交货状态	钢管等级/钢级 ^{a,b}
PSL 1	轧制、正火轧制、正火或正火成型	L175 或 A25
		L175P 或 A25P
		L210 或 A
	轧制、正火轧制、热机械轧制、热机械成型、正火成型、正火、正火加 回火；或如有协议，仅适用于 SMLS 管的淬火加回火	L245 或 B
	轧制、正火轧制、热机械轧制、热机械成型、正火成型、正火、正火加 回火或淬火加回火	L290 或 X42
		L320 或 X46
		L360 或 X52
		L390 或 X56
		L415 或 X60
		L450 或 X65
		L485 或 X70
PSL 2	轧制状态	L245R 或 BR
		L290R 或 X42R
	正火轧制、正火成型、正火或正火加回火	L245N 或 BN
		L290N 或 X42N
		L320N 或 X46N
		L360N 或 X52N
		L390N 或 X56N
		L415N 或 X60N
	淬火加回火	L245Q 或 BQ
		L290Q 或 X42Q
		L320Q 或 X46Q
		L360Q 或 X52Q
		L390Q 或 X56Q
		L415Q 或 X60Q
		L450Q 或 X65Q
		L485Q 或 X70Q
		L555Q 或 X80Q
		L625Q 或 X90Q ^c
		L690Q 或 X100Q ^c
PSL 2	热机械轧制或热机械成型	L245M 或 BM
		L290M 或 X42M
		L320M 或 X46M
		L360M 或 X52M
		L390M 或 X56M
		L415M 或 X60M
		L450M 或 X65M
		L485M 或 X70M
		L555M 或 X80M
	热机械轧制	L625M 或 X90M
		L690M 或 X100M
		L830M 或 X120M

- a 对于中间钢级，钢级应为下列格式之一：(1)字母 L 后跟随规定最小屈服强度，单位 MPa，对于 PSL2 钢管，表示交货状态的字母（R、N、Q 或 M）与上面格式一致。(2)字母 X 后面的两或三位数字是规定最小屈服强度（单位 1000 psi，向下圆整到最邻近的整数），对 PSL2 钢管，表示交货状态的字母（R、N、Q 或 M）与上面格式一致。
- b PSL2 的钢级后缀（R、N、Q 或 M）属于钢级的一部分。
- c 仅适用于无缝管。

7 购方需提供的资料

7.1 一般信息

订购合同中应包括下列信息：

- a) 数量（即钢管的总质量或总长度）；
- b) 规范水平 PSL（1 或 2）；
- c) 钢管类型（见表 2）；
- d) 依据 API 5L；
- e) 钢级（见 6.1、H 4.1.1 或 J.4.1.1，选适用者）；
- f) 外径和壁厚（见 9.11.1.2）；
- g) 长度和长度类型（非定尺或定尺）（见 9.11.1.3、9.11.3.3 和表 12）；
- h) 确认个别附录的适用性。

7.2 附加信息

订货合同应指出下列哪些条款适用于特定订货批：

- a) 如适用，需强制进行协商的条款：
 - 1) 钢管中间钢级的指定[见表 1，脚注 a）]；
 - 2) 中间钢级的化学成分（见 9.2.1 和 9.2.2）；
 - 3) $t > 25.0 \text{ mm}$ （0.984 in）钢管的化学成分（见 9.2.3）；
 - 4) L415N/X60N 钢级 PSL2 钢管的碳当量限制（见表 5）；
 - 5) L555 Q/X80Q、L625Q/X90Q 和 L690Q/X100Q 钢级 PSL2 钢管的碳当量限制（见表 5）；
 - 6) $t > 20.0 \text{ mm}$ （0.787 in）PSL2 无缝（SMLS）管的碳当量限制[见表 5，脚注 a）]；
 - 7) $D > 1422 \text{ mm}$ （56.000 in）钢管的直径和不圆度偏差（见表 10）；
 - 8) $t > 25.0 \text{ mm}$ （0.984 in）无缝（SMLS）管的管端直径和不圆度偏差[见表 10，脚注 b）]；
 - 9) 适用于对接管焊缝的标准（见 M.1.4）；

b) 除另有协议外, 采用已规定条款;

- 1) 冷扩径钢管的定径率范围 (见 8.9.2);
- 2) 定径率公式 (见 8.9.3);
- 3) PSL1 钢管的化学成分限制[见表 4, 脚注 c)、e) 和 f)];
- 4) PSL2 钢管的化学成分限制[见表 5, 脚注 c)、e)、f)、g)、h)、i)、k) 和 l)];
- 5) L625Q/X90Q、L690/X100 和 L830/X120 钢级的屈强比[见表 7、脚注 g 和 h 或表 J.2, 脚注 h 和 i];
- 6) 夏比冲击剪切面积的评估和报告(见 9.8.2.3);
- 7) 非定尺钢管的长度偏差[见 9.11.3.3 a)];
- 8) 螺纹脂的类型 (见 9.12.2.4);
- 9) 端面的类型 (见 9.12.5.1 或 9.12.5.2);
- 10) 适用于夏比冲击试验的国际标准 (见 10.2.3.3、10.2.4.3、D.2.3.4.2 和 D.2.3.4.3);
- 11) 产品分析方法 (见 10.2.4.1);
- 12) $D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 钢管直径测量的替代方法 (见 10.2.8.1);
- 13) 对接管焊接类型 (见 M.1.2);
- 14) 直缝钢管对接时, 直焊缝错开的环向间距 (见 M.3.5);
- 15) 冷扩径管的补焊 (见 E.3.1);
- 16) IQI 的替代类型 (见 E.4.3.1);

c) 如果有协议, 采用协议条款:

- 1) 交货状态 (见 6.2 和表 1);
- 2) 淬火加回火 PSL1 L245/B 级无缝 (SMLS) 管的供应 (见表 1);
- 3) 中间钢级的供应[见表 2, 脚注 a)];
- 4) 双缝 SAWL (直缝埋弧焊) 管的供应[见表 2, 脚注 c)];
- 5) PSL1 钢管规定焊缝热处理的替代方法 (见 8.8.1);
- 6) 管端带有钢带 (卷) /钢板对头焊缝的螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 管的供应 (见 8.10.3);
- 7) 对接管的供应 (见 8.11);
- 8) 试验温度低于 0°C (32°F) 的 CVN 冲击试验 (见 9.8.2.1、9.8.2.2 和 9.8.3);
- 9) $D < 508 \text{ mm}$ (20.000 in) PSL2 焊管管体 CVN 冲击试验断口剪切面积 (见 9.8.2.2 和表 18);
- 10) PSL2 高频焊 (HFW) 管直焊缝 CVN 冲击试验 (见 9.8.3 和表 18);

- 11) $D \geq 508$ mm (20.000 in) PSL2 焊管管体 DWT 试验 (见 9.9.1 和表 18) ;
- 12) 试验温度低于 0°C (32°F) 的 DWT 试验 (见 9.9.1) ;
- 13) 2 或 3 根短管对接而成的名义长度为 12 m (40 ft) 或 24 m (80 ft) 的对接管各占 的比率[见 9.11.3.3.c)、d) 和 e)];
- 14)
- 15) 特殊坡口形状 (见 9.12.5.3) ;
- 16) 埋弧焊 (SAW) 或组合焊 (COW) 管管端外焊缝修磨[见 9.13.2.2 e)];
- 17) PSL2 钢管焊接性数据或试验 (见 9.15) ;
- 18) PSL1 钢管检验文件类型 (见 10.1.2.1) ;
- 19) PSL1 钢管制造信息 (见 10.1.2.2) ;
- 20) PSL2 钢管检验文件的替代类型 (见 10.1.3.1) ;
- 21) 非冷扩径无缝 (SMLS) 管采用横向试样进行拉伸试验 (见表 20, 脚注 c) ;
- 22) 采用胀环试验检测横向屈服强度[见 10.2.3.2, 表 19 脚注 c) , 和表 20 脚注 d)];
- 23) 采用替代方法进行宏观检验 (见 10.2.5.2) ;
- 24) 电焊 (EW) 和激光焊 (LW) 管生产期间的硬度试验 (见 10.2.5.3) ;
- 25) 加工有螺纹和带接箍钢管静水压试验的特定条件 (见 10.2.6.1) ;
- 26) 可替代的静水压试验压力 (见表 26) ;
- 27) 采用最小允许壁厚计算静水压试验压力 (见 10.2.6.7) ;
- 28) 测定钢管外径的特殊方法 (见 10.2.8.1) ;
- 29) 采用内径测量法测定非扩径管和 $D \geq 219.1$ mm (8.625 in) 扩径管的直径和不圆度 [见 10.2.8.3 和表 10, 脚注 c)];
- 30) 测定钢管其他尺寸采用的特殊方法 (见 10.2.8.7) ;
- 31) 接箍模版漆印标志 (见 11.1.2) ;
- 32) 购方规定附加标志 (见 11.1.4) ;
- 33) 双单位标记[见 11.2.1 e)];
- 34) 钢管的特定标志表面或位置 [见 11.2.3 b) 和 11.2.7 b)] ;
- 35) 钢管的钢模冲印或振动刻蚀标志 (见 11.2.4) ;
- 36) 钢管标志的替代位置 (见 11.2.5) ;

- 37) 钢管长度标志位置的替代形式 (见 11.2.7 a) ;
- 38) 钢管的颜色标识 (见 11.2.8) ;
- 39) 多钢级标志 (见 11.4.1) ;
- 40) 临时外涂层 (见 12.1.2) ;
- 41) 特殊涂层 (见 12.1.3) ;
- 42) 内衬 (见 12.1.4) ;
- 43) PSL2 钢管制造工艺评定, 此种情况下, 应符合附录 B (见 B.1.1) ;
- 44) 埋弧焊 (SAW) 焊缝或钢带 (卷) /钢板对头焊缝的射线检验 (见表 E.1) ;
- 45) PSL1 无缝 (SMLS) 管的无损检验 (见 E.3.1.2) ;
- 46) 电焊 (EW) 焊缝静水压试验后的无损检测 (NDT) [见 E.3.1.3 b)];
- 47) 焊管管端分层缺欠的超声检验 (见 E.3.2.3) ;
- 48) 无缝 (SMLS) 管管端分层缺欠的超声检验 (见 E.3.3.2) ;
- 49) 按照 E.4 进行的射线检验;
- 50) 超声对比标样中钻孔与刻槽的使用 (见表 E.7) ;
- 51) 组合焊 (COW) 焊缝替代复检方法 (见 E.5.5.5) ;
- 52) 电焊 (EW)、埋弧焊 (SAW) 或组合焊 (COW) 管管体分层缺欠的超声检验 (见 E.8) ;
- 53) 钢带(卷)/钢板边缘或电焊 (EW)、埋弧焊 (SAW) 或组合焊 (COW) 管焊缝分层 缺欠的超声检验 (见 E.9) ;
- 54) $D \geq 355.6 \text{ mm}$ (14.000 in) 钢管焊接接箍的供应 (见 F.1.4) ;
- 55) 按附录 G 订购 PSL2 钢管的情况下, 购方应规定每个试验的冲击韧性试验温度、 最小能量值和合同要求的最小平均能量值 (见 G.2.) ;
- 56) 酸性服役条件下 PSL2 钢管, 在此种情况下, 应符合附录 H 要求 (见 H.2.) ;
- 57) 直通过油 (TFL) 管, 此种情况下应符合附录 I 要求 (见 I.2.) ;
- 58) 海上服役条件用钢管, 此种情况下, 应符合附录 J 要求 (见 J.2.) ;
- 59) 纵向塑性应变能力钢管, 此种情况下, 应在规定时符合附录 N (see N.2);
- 60) 其他任何附加或更严格的要求;
- 61) API 会标的使用, 此种情况下, 应符合附录 A 和附录 O。

8 制造

8.1 制造工艺

按本规范供应的钢管应按照表 2 和表 3 的适用要求和规定进行制造。

表 2— 可接受的钢管制造工艺和产品规范水平

钢管或管端类型	PSL1 钢管等级 ^a					PSL2 钢管等级 ^a		
	L175 或 A25 ^b	L175P 或 A25P ^b	L210 或 A	L245 或 B	L290~L485 或 X42~X70	L245~L555 或 B~X80	> L555~L690 或 X80~X100	>L690~L830 或 X100~X120
钢管类型								
SMLS	X	X	X	X	X	X	X	—
CW	X	X	—	—	—	—	—	—
LFW	X	—	X	X	X	—	—	—
HFW	X	—	X	X	X	X	—	—
LW	—	—	—	—	X	—	—	—
SAWL ^c	—	—	X	X	X	X	X	X
SAWH ^d	—	—	X	X	X	X	X	X
COWL ^c	—	—	X	X	X	X	—	—
COWH ^d	—	—	X	X	X	X	—	—
管端类型								
承口端 ^e	X	—	X	X	X	—	—	—
平端	X	—	X	X	X	X	X	X
特殊接箍平端	X	—	X	X	—	—	—	—
螺纹端 ^f	X	X	X	X	—	—	—	—
^a 如果有协议, 可采用中间钢级, 但限于高于 L290 或 X42 的钢级。 ^b 钢级为 L175、L175P、A25 和 A25P, 但限于 $D \leq 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 的钢管。 ^c 如果有协议可采用双缝管, 但限于 $D \geq 914 \text{ mm}$ (36.000 in) 的钢管。 ^d 限于 $D \geq 114.3 \text{ mm}$ (4.500 in) 螺旋缝钢管。 ^e 限于 $D \leq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 且 $t \leq 3.6 \text{ mm}$ (0.141 in) 承口端钢管。 ^f 螺纹端钢管限于 $D \leq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 的 SMLS 和直缝焊管。								

表 3— 可接受的 PSL2 钢管的制造工序

钢管类型	原料	钢管成型	钢管热处理	交货状态
SMLS	钢锭、初轧坯或方坯	轧制状态	—	R
		正火成型	—	N
		热成型	正火	N
			淬火加回火	Q
		热成型和冷精整	正火	N
			淬火加回火	Q
HFW	正火轧制钢带（卷）	冷成型	仅对焊缝区热处理 ^a	N
	热机械轧制钢带（卷）	冷成型	仅对焊缝区热处理 ^a	M
			焊缝区热处理 ^a 和整根钢管的应力释放	M
	轧制状态或热机械轧制钢带（卷）	冷成型	正火	N
		冷成型，随后在受控温度下热减径，产生正火状态	淬火加回火	Q
			—	N
SAW 或 COW 管	正火或正火轧制钢带（卷）或钢板	冷成型	—	N
	轧制状态、热机械轧制、正火轧制或正火	冷成型	正火	N
	热机械轧制钢带（卷）或钢板	冷成型	—	M
	淬火加回火钢板	冷成型	—	Q
	轧制态、热机械轧制、正火轧制或正火态钢带（卷）或钢板	冷成型	淬火加回火	Q
	轧制态、热机械轧制、正火轧制或正火态钢带（卷）或钢板	正火成型	—	N

^a 适用的热处理见 8.8。

8.2 需要工艺确认的工序

应对钢管制造过程中进行的最终操作进行工序确认，最终操作是指对产品属性符合本规范要求（化学成分和尺寸除外）产生影响的操作。

要求确认的工序如下所示：

a) 无缝钢管，轧制态：

最终再加热和热定径或热张力减径；如适用，墩粗、冷精整；

- b) 无缝钢管，热处理态：热处理；
- c) 电焊钢管，轧制态：定径和焊接；如适用，焊缝热处理和墩粗；
- d) 无缝钢管，热处理态：焊接和全管体热处理；
- e) SAW 和 COW 钢管，非扩径：钢管成型、焊接、补焊，如适用，热处理；
- f) SAW 和 COW 钢管，扩径：钢管成型、焊接、补焊、扩径

8.3 原料

8.3.1 钢厂与轧制工厂应建立文件化的质量管理体系。

注 1 质量体系文件不要求获得第三方认证机构认证。为满足本规范的要求，只有书面质量管理体系的制定和采用是必要的。API 遵从负责质量管理人员的专业意见，以制定或批准能反映各公司需求的最佳体系。

注 2 在建立适合的质量体系过程中，现存的许多质量管理体系都可为相关人员提供指导，这些体系有包含 石油天然气行业特殊规定的 ISO/TS 29001 和 API Q1 规范，或者包含质量管理体系审核总要求的 ISO 9001。本注所列内容并不详尽，仅提供相关信息。

8.3.2 制造钢管用原料的钢锭、初轧坯、方坯、钢带（卷）或钢板，应由下列工艺制成：

- a) 吹氧碱性转炉工艺，
- b) 电炉冶炼工艺，或
- c) 结合钢包精炼工艺的平炉炼钢法。

8.3.3 PSL2 钢管的原料应为细晶粒镇静钢。

8.3.4 用于制造 PSL2 钢管的钢带（卷）或钢板不应带有任何补焊焊缝。

8.3.5 用于制造螺旋缝钢管的钢带（卷）或钢板的宽度不应小于钢管规定外径的 0.8 倍，且不应大于钢管规定外径的 3 倍。

8.3.6 任何污染焊接坡口和周围区域的润滑剂，均应在实施直缝埋弧焊（SAWL）或直缝组合焊（COWL）管直缝焊接之前，或应在实施螺旋缝埋弧焊（SAWH）管或螺旋缝组合焊（COWH）管螺旋缝焊接之前清除干净。

8.3.7 以 M（热机械轧制或热机械成型状态）交货的焊管，应定义和控制钢带（卷）/钢板轧制 过程中的重要变素（例如重新加热，轧制和冷却温度，时间与偏差），以确保整根管的力学性能一致，需考虑：

- a) 钢带（卷）/钢板特性与变化，
- b) 性能对轧制方法的敏感性；
- c) 合适的钢带（卷）/钢板切料距离，以及

d) 钢管成型时产生的的拉伸性能变化。

应以文件形式表明钢带（卷）/钢板轧制过程中重要变素的允许变化范围。

8.3.8 对于以 M 状态交货的焊管，钢带（卷）/钢板轧制方法预期获得与 8.3.7 一致结果的能力 应通过以下方式验证。

- a) 钢带（卷）/钢板和钢管制造试生产的典型值，或者钢带（卷）/钢板和/或钢管性能及加工的历史数据能表明，在轧制工艺文件所限定的允许范围内，能稳定获得所需钢管性能。
- b) 对于钢级高于 L360M/X52M 的钢管，钢管制造商应对钢带（卷）/钢板轧制厂进行或预先进行现场技术审核，并且定期进行现场或远程确认，所采用的轧制方法能够持续不断地获得理想预期结果。作为审核的一部分，钢带（卷）/钢板轧制方法确认标准应得到验证。

8.3.9 应通过书面方法对实际热轧工艺与制造商书面轧制限值的偏离进行评价，对于发生偏离时热轧的材料，应采用力学试验定义极限值，和/或对于发生偏离时的成型管材，将成型管材料指定为新的试验批进行评价。

8.4 定位焊缝

8.4.1 定位焊缝应采用如下焊接方法：

- a) 半自动埋弧焊，
- b) 电焊；
- c) 熔化极气体保护焊 (GMAW)，
- d) 药芯焊丝电弧焊，
- e) 采用低氢焊条的焊条电弧焊，或
- f) 激光焊。

8.4.2 定位焊缝应采：

- a) 熔化且与最终焊缝结合；
- b) 采用机加工方法去除；
- c) 按 C.2 处置。

8.5 组合焊 (COW) 管焊缝

组合焊 (COW) 管的焊缝在焊接过程中，第一道焊缝应是连续的，且采用熔化极气体保护电弧焊焊接，然后进行埋弧焊，在钢管内外表面至少各有一道埋弧焊缝，其中熔化极气体保护电弧焊焊道未完全被埋弧焊道熔化。

8.6 埋弧焊 (SAW) 管焊缝

埋弧焊 (SAW) 管焊缝在焊接过程中，在钢管内外表面至少各有一道埋弧焊焊缝。

8.7 双缝钢管焊缝

双缝钢管的焊缝应大约相隔 180°。

8.8 电焊 (EW) 和激光焊 (LW) 管焊缝处理

8.8.1 PSL1 电焊 (EW) 管

钢级高于 L290/X42 的钢管，除经过协议可采用替代热处理方法外，焊缝和热影响区 (HAZ) 应进行热处理，以模拟正火热处理。如采用了替代热处理方法，制造商应使用协商程序证实所选热处理方法的有效性。这些程序可包括，但不限于硬度试验、显微组织评估或力学试验。

钢级等于或低于 L290/X42 的钢管，应进行热处理，以模拟正火热处理，或者应采用没有残留未回火马氏体的方式对钢管进行处理。

8.8.2 激光焊 (LW) 管和 PSL2 高频焊 (HFW) 管

对于未进行淬火和回火处理的每个钢级，焊缝和热影响区应进行热处理，以模拟正火热处理。

8.9 冷定径和冷扩径

8.9.1 除 8.9.2 允许外，冷定径钢管的定径率不应大于 0.015，但以下情况除外：

- a) 钢管随后进行正火或淬火加回火；
- b) 整根冷定径钢管随后进行应力释放。

8.9.2 除另有协议外，冷扩径钢管的定径率不应小于 0.003 且不应大于 0.015。

8.9.3 除另有协议外，定径率 s_r 应采用公式 (1) 计算：

$$s_r = \frac{|D_a - D_b|}{D_b} \quad (1)$$

式中：

D_a 定径后制造商的设计外径，用 mm (in) 表示；

D_b 定径后制造商的设计外径，用 mm (in) 表示；

$|D_a - D_b|$ 指外径差的绝对值，用 mm (in) 表示。

8.10 钢带(卷)/钢板对头焊缝

8.10.1 成品直缝钢管上不应有钢带（卷）/钢板对头焊缝。

8.10.2 成品螺旋焊缝钢管上，钢带（卷）/钢板对头焊缝和螺旋焊缝的交点距管端至少 300 mm (12.0 in)。

8.10.3 如果有协议，只要钢带（卷）/钢板对头焊缝和螺旋焊缝在相应管端的环向间隔大于 150 mm (6.0 in)，螺旋焊缝钢管管端可带有钢带（卷）/钢板对头焊缝。

8.10.4 成品螺旋焊缝钢管上的钢带（卷）/钢板对头焊缝应：

- a) 采用埋弧焊或埋弧焊与熔化极气体保护电弧焊 (GMAW) 组合焊接方法焊接；
- b) 采用与螺旋焊缝相同的验收标准进行检验。

8.11 对接管

8.11.1 如果有协议，可供应对接管。

8.11.2 焊接对接管应符合附录 M 的要求。

8.11.3 制造对接管的钢管长度不应小于 1.5 m (5.0 ft)。

8.11.4 用于焊接对接管的各管段应检验合格（包括静水压试验），可用完整对接管的静水压试验代替。

8.12 热处理

应按照文件化程序进行热处理。

8.13 追溯性

8.13.1 对于 PSL1 钢管，制造商应建立并遵守文件化程序来保持：

- a) 熔炼炉标识，直到完成每一个相关化学分析试验，且试验结果符合规定的要求；
- b) 试验批标识，直到完成每一个相关力学试验，且试验结果符合规定的要求。

8.13.2 对于 PSL2 钢管，制造商应建立并遵守文件化程序，以保持这类钢管的熔炼炉标识和试验批标识。这些程序应提供方法以追溯相应试验批的任一根钢管及相关化学成分分析结果和力学试验结果。

9 验收标准

9.1 总则

9.1.1 通用交货技术条件应符合 ISO 404 的要求。

9.1.2 在未获得购方同意的情况下，不应采用 L415/X60 或更高钢级的钢管代替 L360/X52 或更低钢级的钢管。

9.2 化学成分

9.2.1 对于 $t \leq 25.0$ mm (0.984 in) PSL2 钢管，其标准钢级的化学成分应符合表 4 规定，中间钢级的化学成分应依照协议，但应与表 4 规定协调一致。

注 L175P/A25P 钢级是增磷钢，具有比 L175/A25 钢更好的螺纹加工性能，但更难弯曲。

9.2.2 对于 $t \leq 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in) PSL2 钢管，其标准钢级的化学成分应符合表 5 规定，中间 钢级的化学成分应依照协议，但应与表 5 规定协调一致。

9.2.3 $t > 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in) 的 PSL1 和 PSL2 钢管的化学成分应协商确定，根据表 4 和表 5 的化学成分要求修改为合适成分。

9.2.4 PSL 2 钢管产品分析的碳含量（质量百分数）等于或小于 0.12% 时，碳当量 CE_{Pcm} 应使用公式 (2) 确定：

$$CE_{Pcm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (2)$$

式中化学元素符号表示质量百分数（见表 5）。

如果 B 的熔炼分析结果小于 0.0005%，那么在产品分析中就无需包括 B 元素的分析，在碳 当量 CE_{Pcm} 计算中可将 B 含量视为零。

9.2.5 PSL 2 钢管产品分析的碳含量（质量百分数）大于 0.12% 时，碳当量 CE_{IIW} 应使用公式 (3) 确定：

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (3)$$

式中化学元素符号表示质量百分数（见表 5）。

表 4— $t \leq 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in.) 的 PSL1 钢管化学成分

钢级（钢名）	质量分数，基于熔炼分析和产品分析 ^{a,g}							
	%							
	C	Mn	P		S	V	Nb	Ti
	最大 ^b	最大 ^b	最小	最大	最大	最大	最大	最大
无缝管								
L175 或 A25	0.21	0.60	—	0.030	0.030	—	—	—
L175P 或 A25P	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030	—	—	—
L210 或 A	0.22	0.90	—	0.030	0.030	—	—	—
L245 或 B	0.28	1.20	—	0.030	0.030	c,d	c,d	d
L290 或 X42	0.28	1.30	—	0.030	0.030	d	d	d
L320 或 X46	0.28	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L360 或 X52	0.28	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L390 或 X56	0.28	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L415 或 X60	0.28 ^e	1.40 ^e	—	0.030	0.030	f	f	f
L450 或 X65	0.28 ^e	1.40 ^e	—	0.030	0.030	f	f	f
L485 或 X70	0.28 ^e	1.40 ^e	—	0.030	0.030	f	f	f

焊管								
L175 或 A25	0.21	0.60	—	0.030	0.030	—	—	—
L175P 或 A25P	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030	—	—	—
L210 或 A	0.22	0.90	—	0.030	0.030	—	—	—
L245 或 B	0.26	1.20	—	0.030	0.030	c,d	c,d	d
L290 或 X42	0.26	1.30	—	0.030	0.030	d	d	d
L320 或 X46	0.26	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L360 或 X52	0.26	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L390 或 X56	0.26	1.40	—	0.030	0.030	d	d	d
L415 或 X60	0.26 ^e	1.40 ^e	—	0.030	0.030	f	f	f
L450 或 X65	0.26 ^e	1.45 ^e	—	0.030	0.030	f	f	f
L485 或 X70	0.26 ^e	1.65 ^e	—	0.030	0.030	f	f	f
^a Cu ≤0.50 %; Ni ≤0.50 %; Cr ≤0.50 %; Mo ≤0.15 %。 ^b 碳含量比规定最大碳含量每减少 0.01 %，则允许锰含量比规定最大锰含量增加 0.05 %，对于钢级 ≥L245 或 B 但 ≤L360 或 X52 的钢级，最大锰含量为 1.65 %；对于钢级 >L360 或 X52 但 <L485 或 X70 的钢级，最大锰含量为 1.75 %；对于钢级 L485 或 X70 的钢级，最大锰含量为 2.00 %。 ^c 除另有协议外，Nb +V ≤0.06 %。 ^d Nb +V+ Ti ≤0.15 %。 ^e 除另有协议外。 ^f 除另有协议外，Nb +V+ Ti ≤0.15 %。 ^g 不允许有意添加硼，且残余硼 B ≤0.001 %。								

表 5— $t \leq 25.0$ mm (0.984 in.) 的 PSL2 钢管化学成分

钢级 (钢名)	质量分数，基于熔炼分析和产品分析 最大 %									碳当量 ^a 最大 %	
	C ^b	Si	Mn ^b	P	S	V	Nb	Ti	其他	CEIIW	CEPcm
无缝管和焊管											
L245R 或 BR	0.24	0.40	1.20	0.025	0.015	c	c	0.04	e,l	0.43	0.25
L290R 或 X42R	0.24	0.40	1.20	0.025	0.015	0.06	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
L245N 或 BN	0.24	0.40	1.20	0.025	0.015	c	c	0.04	e,l	0.43	0.25
L290N 或 X42N	0.24	0.40	1.20	0.025	0.015	0.06	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
L320N 或 X46N	0.24	0.40	1.40	0.025	0.015	0.07	0.05	0.04	d,e,l	0.43	0.25
L360N 或 X52N	0.24	0.45	1.40	0.025	0.015	0.10	0.05	0.04	d,e,l	0.43	0.25
L390N 或 X56N	0.24	0.45	1.40	0.025	0.015	0.10 ^f	0.05	0.04	d,e,l	0.43	0.25
L415N 或 X60N	0.24 ^f	0.45 ^f	1.40 ^f	0.025	0.015	0.10 ^f	0.05 ^f	0.04 ^f	g,h,i	依照协议	
L245Q 或 BQ	0.18	0.45	1.40	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
L290Q 或 X42Q	0.18	0.45	1.40	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
L320Q 或 X46Q	0.18	0.45	1.40	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
L360Q 或 X52Q	0.18	0.45	1.50	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
L390Q 或 X56Q	0.18	0.45	1.50	0.025	0.015	0.07	0.05	0.04	d,e,l	0.43	0.25
L415Q 或 X60Q	0.18 ^f	0.45 ^f	1.70 ^f	0.025	0.015	g	g	g	h,i	0.43	0.25
L450Q 或 X65Q	0.18 ^f	0.45 ^f	1.70 ^f	0.025	0.015	g	g	g	h,i	0.43	0.25
L485Q 或 X70Q	0.18 ^f	0.45 ^f	1.80 ^f	0.025	0.015	g	g	g	h,i	0.43	0.25
L555Q 或 X80Q	0.18 ^f	0.45 ^f	1.90 ^f	0.025	0.015	g	g	g	i,j	依照协议	

L625Q 或 X90Q	0.16 ^f	0.45 ^f	1.90	0.020	0.010	g	g	g	j,k	依照协议
L690Q 或 X100Q	0.16 ^f	0.45 ^f	1.90	0.020	0.010	g	g	g	j,k	依照协议
焊管										
L245M 或 BM	0.22	0.45	1.20	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43 0.25
L290M 或 X42M	0.22	0.45	1.30	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43 0.25
L320M 或 X46M	0.22	0.45	1.30	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43 0.25
L360M 或 X52M	0.22	0.45	1.40	0.025	0.015	d	d	d	e,l	0.43 0.25
L390M 或 X56M	0.22	0.45	1.40	0.025	0.015	d	d	d	e,l	0.43 0.25
L415M 或 X60M	0.12 ^f	0.45 ^f	1.60 ^f	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43 0.25
L450M 或 X65M	0.12 ^f	0.45 ^f	1.60 ^f	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43 0.25
L485M 或 X70M	0.12 ^f	0.45 ^f	1.70 ^f	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43 0.25
L555M 或 X80M	0.12 ^f	0.45 ^f	1.85 ^f	0.025	0.015	g	g	g	i,l	0.43 ^f 0.25
L625M 或 X90M	0.10	0.55 ^f	2.10 ^f	0.020	0.010	g	g	g	i,l	— 0.25
L690M 或 X100M	0.10	0.55 ^f	2.10 ^f	0.020	0.010	g	g	g	i,j	
L830M 或 X120M	0.10	0.55 ^f	2.10 ^f	0.020	0.010	g	g	g	i,j	
a 依据产品分析结果, t>20.0 mm (0.787 in) 无缝管, 碳当量的极限值应协商确定。碳含量大于 0.12% 使用 CEIIW, 碳含量小于等于 0.12% 使用 CEPcm。 b 碳含量比规定最大碳含量每减少 0.01 %, 则允许锰含量比规定最大锰含量高 0.05 %, 对于钢级≥L24 或 B 但≤L360 或 X52 最大锰含量不得超过 1.65 %; 对于钢级>L360 或 X52 但<L485 或 X70 最大锰含量不得超过 1.75 %; 对于钢级≥L485 或 X70 但≤L555 或 X80 最大锰含量不得超过 2.00 %, 对于钢级>L555 或 X80 最大锰含量不得超过 2.20 %。 c 除另有协议外, Nb +V≤0.06 %。 d Nb +V+ Ti≤0.15 %。 e 除另有协议外, Cu ≤0.50%, Ni≤0.30%, Cr≤0.30%, Mo≤0.15 %。 f 除另有协议外。 g 除另有协议外, Nb +V+ Ti≤0.15 %≤0.15%。 h 除另有协议外, Cu ≤0.50%, Ni≤0.50%, Cr≤0.50%, Mo≤0.50 %。 i 除另有协议外, Cu ≤0.50%, Ni≤1.00%, Cr≤0.50%, Mo≤0.50 %。 j B≤0.004 %。 k 除另有协议外, Cu ≤0.50%, Ni≤1.00%, Cr≤0.55%, Mo≤0.80%。 l 除适用脚注 j) 外的所有 PSL2 钢级适用下列内容。除另有协议外, 不允许有意添加硼, 残余 B≤0.001%。										

9.3 拉伸性能

9.3.1 PSL1 钢管的拉伸性能应符合表 6 要求。

9.3.2 PSL2 钢管的拉伸性能应符合表 7 要求。

表 6 — PSL1 钢管拉伸试验要求

钢管等级	无缝管和焊管管体			EW、LW、SAW 和 COW 管焊缝
	屈服强度 ^a	抗拉强度 ^a	伸长率 (50 mm 或 2 in.) Af	抗拉强度 ^b
	Rt0,5 MPa (psi)	Rm MPa (psi)	%	Rm MPa (psi)
	最小	最小	最小	最小
L175 或 A25	175 (25,400)	310 (45,000)	c	310 (45,000)
L175P 或 A25P	175 (25,400)	310 (45,000)	c	310 (45,000)
L210 或 A	210 (30,500)	335 (48,600)	c	335 (48,600)
L245 或 B	245 (35,500)	415 (60,200)	c	415 (60,200)
L290 或 X42	290 (42,100)	415 (60,200)	c	415 (60,200)
L320 或 X46	320 (46,400)	435 (63,100)	c	435 (63,100)
L360 或 X52	360 (52,200)	460 (66,700)	c	460 (66,700)
L390 或 X56	390 (56,600)	490 (71,100)	c	490 (71,100)
L415 或 X60	415 (60,200)	520 (75,400)	c	520 (75,400)
L450 或 X65	450 (65,300)	535 (77,600)	c	535 (77,600)
L485 或 X70	485 (70,300)	570 (82,700)	c	570 (82,700)
^a 对于中间钢级，管体规定最小抗拉强度和规定最小屈服强度差应为列表中与之邻近较高钢级的强度差。 ^b 对于中间钢级，其焊缝的规定最小抗拉强度应与按脚注 a)确定的管体抗拉强度相同。 ^c 应采用下列公式计算规定最小伸长率 Af，用百分数表示，且圆整到最邻近的百分位。 $A_f = C \frac{A_{xc}^{0.2}}{U^{0.9}}$ 式中： C 当采用 SI 单位制时，C 为 1940，当采用 USC 单位制时，C 为 625,000。 Axc 为适用的拉伸试样的横截面积，用 mm (in)，具体如下所示： 1) 圆棒试样：直径 12.7 mm (0.500 in)和 8.9 mm (0.350 in)的圆棒试样为 130 mm² (0.20 in.²)；直径 6.4 mm (0.250 in)的圆棒试样为 65 mm² (0.10 in.²)； 2) 全截面试样取 a) 485 mm² (0.75 in.²) 和 b)采用钢管规定外径和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小者，圆整到最邻近的 10 mm² (0.01 in.²)； 3) 板状试样取 a) 485 mm² (0.75 in.²) 和 b)采用钢管规定试样宽度和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小者，圆整到最邻近的 10 mm² (0.01 in.²)； U 规定最小抗拉强度，用 MPa (psi)表示。				

表 7 — PSL2 钢管拉伸试验要求

钢管等级	无缝管和焊管管体						HFW、SAW 和 COW 管 焊缝
	屈服强度 ^a		抗拉强度 ^a		屈强比 ^{a, c}	伸长率 (50 mm 或 2 in.) Af	抗拉强度 ^d
	Rt0.5 MPa (psi)		Rm MPa (psi)		Rt0.5/Rm	%	Rm MPa (psi)
	最小	最大	最小	最大	最大	最小	最小
L245R 或 BR L245N 或 BN L245Q 或 BQ L245M 或 BM	245 (35,500)	450 (65,300) ^e	415 (60,200)	655 (95,000)	0.93	f	415 (60,200)
L290R 或 X42R L290N 或 X42N L290Q 或 X42Q L290M 或 X42M	290 (42,100)	495 (71,800)	415 (60,200)		0.93	f	415 (60,200)
L320N 或 X46N L320Q 或 X46Q L320M 或 X46M	320 (46,400)	525 (76,100)	435 (63,100)	655 (95,000)	0.93	f	435 (63,100)
L360N 或 X52N L360Q 或 X52Q L360M 或 X52M	360 (52,200)	530 (76,900)	460 (66,700)	760 (110,200)	0.93	f	460 (66,700)
L390N 或 X56N L390Q 或 X56Q L390M 或 X56M	390 (56,600)	545 (79,000)	490 (71,100)	760 (110,200)	0.93	f	490 (71,100)
L415N 或 X60N L415Q 或 X60Q L415M 或 X60M	415 (60,200)	565 (81,900)	520 (75,400)	760 (110,200)	0.93	f	520 (75,400)
L450Q 或 X65Q L450M 或 X65M	450 (65,300)	600 (87,000)	535 (77,600)	760 (110,200)	0.93	f	535 (77,600)
L485Q 或 X70Q L485M 或 X70M	485 (70,300)	635 (92,100)	570 (82,700)	760 (110,200)	0.93	f	570 (82,700)
L555Q 或 X80Q L555M 或 X80M	555 (80,500)	705 (102,300)	625 (90,600)	825 (119,700)	0.93	f	625 (90,600)
L625M 或 X90M	625 (90,600)	775 (112,400)	695 (100,800)	915 (132,700)	0.95	f	695 (100,800)
L625Q 或 X90Q	625 (90,600)	775 (112,400)	695 (100,800)	915 (132,700)	0.97 ^g	f	—
L690M 或 X100M	690 ^b (100,100) ^b	840 ^b (121,800) ^b	760 (110,200)	990 (143,600)	0.97 ^h	f	760 (110,200)
L690Q 或 X100Q	690 ^b (100,100) ^b	840 ^b (121,800) ^b	760 (110,200)	990 (143,600)	0.97 ^h	f	—
L830M 或 X120M	830 ^b (120,400) ^b	1050 ^b (152,300) ^b	915 (132,700)	1145 (166,100)	0.99 ^h	f	915 (132,700)
^a 对于中间钢级，其规定最大屈服强度和规定最小屈服强度之差应与列表中之与之邻近较高钢级的强度之差相同，规定最小抗拉强度和规定最小屈服强度之差应与列表中之与之邻近较高钢级的强度之差相同。对低于 L320/X46 的中间钢级，其抗拉强度应≤655 Mpa (95000 psi)。对高于 L320/X46 而低于 L555/X80 的中间钢级，其抗拉强度应≤760 Mpa (110200 psi)。对高于 L555 或 X80 的中间钢级，其最大允许抗拉强度应由插入法获得。当采用 SI 单位制时，计算值应圆整到最邻近的 5 MPa。当采用 USC 单位制时，计算值应圆整到最邻近的 100 psi。 ^b 钢级> L625 或 X90 时，Rp0.2 适用。 ^c 此限制适用于 D> 323.9 mm (12.750 in) 的钢管。 ^d 对于中间钢级，其焊缝的规定最小抗拉强度应与按脚注 a)确定的管体抗拉强度相同。 ^e 对于要求纵向检验的钢管，其最大屈服强度应≤495 MPa (71,800 psi)。 ^f 规定最小伸长率 Af 应采用下列公式确定： $A_f = C \frac{A_{xc}^{0.2}}{U^{0.9}}$ 式中： C 当采用 SI 单位制时，C 为 1940，当采用 USC 单位制时，C 为 625,000。 Axc 为适用的拉伸试样的横截面积，用 mm (in)，具体如下所示： 1) 圆棒试样：直径 12.7 mm (0.500 in) 和 8.9 mm (0.350 in) 的圆棒试样为 130 mm ² (0.20 in. ²)；直径 6.4 mm (0.250 in) 的圆棒试样为 65 mm ² (0.10 in. ²)； 2) 全截面试样取 a) 485 mm ² (0.75 in. ²) 和 b) 采用钢管规定外径和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小者，圆整到最邻近的 10 mm ² (0.01 in. ²)； 3) 板状试样取 a) 485 mm ² (0.75 in. ²) 和 b) 采用钢管规定试样宽度和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小者，圆整到最邻近的 10 mm ² (0.01 in. ²)； U 规定最小抗拉强度，用 MPa (psi)表示。 ^g 经协商可规定较低的 Rt0.5/Rm 比值。 ^h 钢级> L625 或 X90 时，Rp0.2 /Rm 适用。经协商可规定较低的 Rp0.2 /Rm 比值。							

9.4 静水压试验

9.4.1 除 9.4.2 允许外，钢管应进行静水压试验，且在试验过程中焊缝或管体不应渗漏。

9.4.2 如果用来焊制对接管的管段在对接前已成功通过静水压试验，则对接管不需进行静水压试验。

9.5 弯曲试验

试样的任何部分不应出现裂纹，且焊缝不应出现开裂。

注 对于弯曲试验，焊缝包括熔合线每侧 6.4 mm (0.25 in) 的范围。

9.6 压扁试验

压扁试验的验收标准如下：

a) 钢级 $\geq$ L210 或 A 的电焊 (EW) 和 $D < 323.9$ mm (12.750 in.) 的激光焊 (LW) 管。

- 1) $t \geq 12.7$ mm (0.500 in) 且钢级 $\geq$ L415/X60 的钢管，在两平板间的距离小于钢管原始外径 (OD) 的 66 %之前，不应出现焊缝开裂。对钢级与规定壁厚组合的其他所有 钢管，两平板间的距离小于钢管原始外径 (OD) 的 50 %之前，不应出现焊缝开裂。
- 2) $D/t > 10$ 的钢管，在两平板间的距离小于钢管原始外径 (OD) 的 33 %之前，焊缝 之外的部位不应出现裂纹或断裂。
- 3) 在整个压扁试验过程中，钢管相对两壁接触之前，试样不应产生分层或过烧金属迹 象。

b) 钢级 L175、L175P、A25 或 A25P 的电焊 (EW) 和连续炉焊 (CW) 管：

- 1) 两平板间的距离小于钢管原始外径 (OD) 的 75 %之前，不应出现焊缝开裂。
- 2) 两平板间的距离小于钢管原始外径 (OD) 的 60 %之前，焊缝之外的部位不应出现裂 纹或断裂。

注 $D < 60.3$ mm (2.375 in) 的钢管，焊缝是指焊线两侧各 6.4 mm (0.25 in) 范围内的金属。 $D \geq 60.3$ mm (2.375 in) 的钢管，焊缝是指焊线两侧各 13 mm (0.5 in) 范围内的金属。

注 2 对于经过热减径的电焊 (EW) 管，在减径前进行压扁试验，压扁试验的原始外径由制造商确定。其他情况 下，原始外径为规定外径。

注 3 术语“焊缝开裂”包括压扁试验过程中任何可视的裂纹、断裂或撕裂，但不包括试样边缘的发纹。

9.7 导向弯曲试验

9.7.1 除 9.7.2 允许外，试样：

- a) 不应完全断裂；
- b) 在焊缝金属不应出现长度大于 3.2 mm (0.125 in) 且不考虑深度大小的裂纹或破裂；

- c) 在母材、HAZ 或熔合线上不应出现任何长度大于 3.2 mm (0.125 in) 或深度大于规定壁厚 12.5 % 的裂纹和破裂。

9.7.2 在试验过程中发源于试样边缘的裂纹，只要长度不超过 6.4 mm (0.250 in)，则不应作为拒收的原因。

9.8 PSL2 钢管 CVN 冲击试验

9.8.1 总则

9.8.1.1 采用小尺寸试样时，要求的最小平均（三个试样一组）吸收能应为全尺寸试样的规定吸收能与小尺寸试样规定宽度与全尺寸试样规定宽度的比值的乘积，计算结果圆整到最邻近的焦耳（英尺磅力）。

9.8.1.2 任何试样的单个试验值不应小于规定最小平均（同一组的三个试样）吸收能的 75 %。

9.8.1.3 在低于规定试验温度的温度下进行 CVN 冲击试验，如果在此低温下，试验吸收能和断口剪切面积满足相应要求，则应认为该试验结果合格。

9.8.2 管体拉伸试验

9.8.2.1 管体试验的最小平均（同一组的三个试样）吸收能应符合表 8 的规定，试样尺寸为全尺寸试样，试验温度 0 ° C (32 ° F)，或如果有协议可采用较低温度。

注 表 8 中规定的吸收能值为大多数管道设计提供了足够的启裂抗力。

9.8.2.2 如果有协议， $D \leq 508$ mm (20.000 in) 的焊管，试验温度为 0 ° C (32 ° F) 时，每个试验的最小平均（同一组的三个试样）剪切面积至少应为 85 %，或如果有协议还可采用更低试验温度。

注 该剪切面积足以保证在试验温度或高于试验温度时有足够延性断口。

9.8.2.3 除另有协议外，订货批未采用 9.8.2.2 规定时，应对进行过 CVN 试验的所有钢级和尺寸钢管的 CVN 试样的断口剪切面积进行评价并报告，以获得参考信息。

表 8 — PSL2 钢管管体的 CVN 吸收能要求

规定外径 D mm (in.)	全尺寸 CVN 吸收能 最小 K_v J (ft • lbf)						
	钢级						
	$\leq L415$ 或 $X60$	$>L415$ 或 $X60 \sim$ $\leq L450$ 或 $X65$	$>L450$ 或 $X65 \sim$ $\leq L485$ 或 $X70$	$>L485$ 或 $X70 \sim$ $\leq L555$ 或 $X80$	$>L555$ 或 $X80 \sim$ $\leq L625$ 或 $X90$	$>L625$ 或 $X90 \sim$ $\leq L690$ 或 $X100$	$>L690$ 或 $X100 \sim$ $\leq L830$ 或 $X120$
≤ 508 (20.000)	27 (20)	27 (20)	27 (20)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)
>508 (20.000) 至 762 (30.000)	27 (20)	27 (20)	27 (20)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)
>762 (30.000) 至 914 (36.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	54 (40)	54 (40)
>914 (36.000) 至 1219 (48.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	54 (40)	68 (50)
>1219 (48.000) 至 1422 (56.000)	40 (30)	54 (40)	54 (40)	54 (40)	54 (40)	68 (50)	81 (60)
>1422 (56.000) 至 2134 (84.000)	40 (30)	54 (40)	68 (50)	68 (50)	81 (60)	95 (70)	108 (80)

9.8.3 钢管焊缝和热影响区 (HAZ) 试验

试验温度 0 ° C (32 ° F)，试样尺寸为全尺寸试样时，每个钢管焊缝和 HAZ 试验的最小平均（同一组的三个试样）吸收能应为下列数值，或如果有协议可采用更低温度：

- $D < 1422$ mm (56.000 in) 且钢级 $\leq L555/X 80$ 的钢管为 27 J (20 ft.lbf)；
- $D \geq 1422$ mm (56.000 in) 的钢管为 40 J (30 ft.lbf) ；
- 钢级 $> L555/X 80$ 的钢管为 40 J (30 ft.lbf) 。

9.9 PSL2 焊管的 DWT 试验

9.9.1 在 0 ° C (32 ° F) 试验温度时，每个试验（同一组二个试样）的平均剪切面积应 $\geq 85\%$ ，如果有协议，可在较低温度下试验。对于壁厚 > 25.4 mm (1.000 in) 的钢管，DWT 试验的 验收要求应协商确定。

注 这样的剪切面积保证在试验温度或高于试验温度时有足够延性断口。

注 同时具有足够的剪切面积和足够的 CVN 吸收能是管体的一个基本特性，在输气管线中它能避免脆性断裂扩展，并控制延性断裂的扩展（见附录 G 和表 20）。

9.9.2 在低于规定温度的温度下进行 CVN 冲击试验，如果在此低温下，试验剪切面积满足相应 要求，则应认为该试验结果合格。

9.10 表面状况，缺欠和缺陷

9.10.1 总则

9.10.1.1 所有的成品钢管应无缺陷。

9.10.1.2 所有钢管应无裂纹、渗水和漏水。

9.10.1.3 采用无损检验方法检验的缺欠验收标准应符合附录 E 的要求。

9.10.2 咬边

埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管上的咬边应按照下列规定进行核查、分类和处置：

- a) 深度 $\leq 0.4 \text{ mm}$ (0.016 in) 的咬边应接收 (不考虑咬边长度)，并按 C.1 的要求进行处置。
- b) 深度 $> 0.4 \text{ mm}$ (0.016 in) 但 $\leq 0.8 \text{ mm}$ (0.031 in) 的咬边应接收，只要按照 C.2 的规定处置，并且：
 - 1) 单个长度 $\leq 0.5t$ ，
 - 2) 单个深度 $\leq 0.1t$ ，以及
 - 3) 在任意 300 mm (12.0 in) 长度的焊缝上，这样的咬边不超过两个。
- c) 超过 b) 规定的咬边应判为缺陷，且应按照 C.3 进行处置。

NOTE 咬边最好能够通过目视检查定位。

9.10.3 电弧烧伤

9.10.3.1 电弧烧伤应判为缺陷。

注 1 电弧烧伤是由电极或接地极与钢管表面的电弧引起的金属表面熔化，所形成的若干局部点状缺陷。

注 2 接触斑是电焊 (EW) 管焊线附近的断续性斑痕，是由供给焊接电流的电极和钢管表面之间的接触所引起的，接触斑应按照 9.10.7 的规定处置。

9.10.3.2 电弧烧伤应按照 C.2、C.3 b) 或 C.3 c) 的规定处置。若电弧烧伤形成的凹坑能彻底清理，并且使用 10 % 的过硫酸铵溶液或 5 % 的硝酸乙醇溶液检查损伤材料已被完全清除，可采用修磨法、铲除法或机加工方法清除电弧烧伤缺陷。

9.10.4 分层

扩展到钢管表面或坡口面上，且外观检查周向长度 $> 6.4 \text{ mm}$ (0.250 in) 的任何分层或夹杂应判为缺陷。有这种缺陷的钢管应被拒收或返切，直到管端上没有这样的分层或夹杂存在。

9.10.5 几何尺寸偏差

9.10.5.1 除摔坑外，由于钢管成型工艺或制造操作造成钢管实际轮廓相对于钢管正常圆柱轮廓的几何尺寸偏离 (如扁平块或噉嘴等)，其极端点与钢管正常轮廓延伸部分之间的距离，即深度超过 3.2 mm (0.125 in) 的应判为缺陷，且应按照 C.3 b) 或 C.3 c) 的规定处置。

9.10.5.2 摔坑在任何方向上的长度应 $\leq 0.5D$ ，且深度不应超过下列规定，摔坑深度指凹陷的最低点与钢管正常轮廓延伸部分之间的距离。

- a) 冷态成型并带有尖底划伤的摔坑，3.2 mm (0.125 in)；
- b) 其他摔坑，6.4 mm (0.250 in)。

超过规定极限值的摔坑应判为缺陷，且应按照 C.3 b) 或 C.3 c) 的规定处置。

9.10.6 硬块

在任何方向上尺寸大于 50 mm (2.0 in)，单点压痕的硬度值超过 35 HRC、345 HV10 或 327 HBW 应判为缺陷。包括此类缺陷的钢管应按 C.3 b) 或 C.3 c) 的规定处理。

9.10.7 其他表面缺欠

外观检查发现的其他表面缺欠应按照下列方法核查、分类及处置。

- a) 深度 $\leq 0.125t$ ，且不影响最小允许壁厚的缺欠应判定为可验收的缺欠，且应按 C.1 规定 处置。
- b) 深度 $> 0.125t$ ，且不影响最小允许壁厚的缺欠应判定为缺陷，且应按 C.2 规定采用修磨 法去除，或按 C.3 规定处置。
- c) 影响最小允许壁厚的缺欠应判定为缺陷，且应按 C.3 规定处置。

注 影响最小允许壁厚的缺欠是指表面缺欠下方的剩余壁厚小于最小允许壁厚的缺欠。

9.11 尺寸、质量和偏差

9.11.1 尺寸

9.11.1.1 T 钢管应按照订货合同规定的尺寸交货，且符合相应偏差。

9.11.1.2 规定外径和规定壁厚应符合表 9 规定的相应极限范围。

9.11.1.3 钢管应按照订货合同规定的非定尺长度或定尺长度交货。

9.11.2 单位长度质量

单位长度质量 ρ_1 应采用公式 (4) 计算，用千克每米 (磅每英尺) 表示：

$$\rho_1 = t(D-t) \times C \quad (4)$$

式中：

D 规定外径，用 mm (in) 表示；

t 规定壁厚，用 mm (in) 表示；

C 按照 SI 单位制计算时为 0.02466，按 USC 单位制计算时为 10.69。

对加工有螺纹和带接箍钢管，按照上述公式确定的质量应符合计算质量或修正计算质量，其 偏差应在 9.14 的规定范围内。

注 钢管的理论质量是钢管长度和钢管单位长度质量的乘积。

表 9 — 允许规定外径和规定壁厚

规定外径 D mm (in.)	规定壁厚 t mm (in.)	
	特薄规格 ^a	普通规格
≥ 10.3 (0.405) 至 < 13.7 (0.540)	—	≥ 1.7 (0.068) 至 2.4 (0.094)
≥ 13.7 (0.540) 至 < 17.1 (0.675)	—	≥ 2.2 (0.088) 至 3.0 (0.118)
≥ 17.1 (0.675) 至 < 21.3 (0.840)	—	≥ 2.3 (0.091) 至 3.2 (0.125)
≥ 21.3 (0.840) 至 < 26.7 (1.050)	—	≥ 2.1 (0.083) 至 7.5 (0.294)
≥ 26.7 (1.050) 至 < 33.4 (1.315)	—	≥ 2.1 (0.083) 至 7.8 (0.308)
≥ 33.4 (1.315) 至 < 48.3 (1.900)	—	≥ 2.1 (0.083) 至 10.0 (0.394)
≥ 48.3 (1.900) 至 < 60.3 (2.375)	—	≥ 2.1 (0.083) 至 12.5 (0.492)
≥ 60.3 (2.375) 至 < 73.0 (2.875)	≥ 2.1 (0.083) 至 3.6 (0.141)	> 3.6 (0.141) 至 ≤ 14.2 (0.559)
≥ 73.0 (2.875) 至 < 88.9 (3.500)	≥ 2.1 (0.083) 至 3.6 (0.141)	> 3.6 (0.141) 至 ≤ 20.0 (0.787)
≥ 88.9 (3.500) 至 < 101.6 (4.000)	≥ 2.1 (0.083) 至 4.0 (0.156)	> 4.0 (0.156) 至 ≤ 22.0 (0.866)
≥ 101.6 (4.000) 至 < 168.3 (6.625)	≥ 2.1 (0.083) 至 4.0 (0.156)	> 4.0 (0.156) 至 ≤ 25.0 (0.984)
≥ 168.3 (6.625) 至 < 219.1 (8.625)	≥ 2.1 (0.083) 至 4.0 (0.156)	> 4.0 (0.156) 至 ≤ 40.0 (1.575)
≥ 219.1 (8.625) 至 < 273.1 (10.750)	≥ 3.2 (0.125) 至 4.0 (0.156)	> 4.0 (0.156) 至 ≤ 40.0 (1.575)
≥ 273.1 (10.750) 至 < 323.9 (12.750)	≥ 3.6 (0.141) 至 5.2 (0.203)	> 5.2 (0.203) 至 ≤ 45.0 (1.771)
≥ 323.9 (12.750) 至 < 355.6 (14.000)	≥ 4.0 (0.156) 至 5.6 (0.219)	> 5.6 (0.219) 至 ≤ 45.0 (1.771)
≥ 355.6 (14.000) 至 < 457 (18.000)	≥ 4.5 (0.177) 至 7.1 (0.281)	> 7.1 (0.281) 至 ≤ 45.0 (1.771)
≥ 457 (18.000) 至 < 559 (22.000)	≥ 4.8 (0.188) 至 7.1 (0.281)	> 7.1 (0.281) 至 ≤ 45.0 (1.771)
≥ 559 (22.000) 至 < 711 (28.000)	≥ 5.6 (0.219) 至 7.1 (0.281)	> 7.1 (0.281) 至 ≤ 45.0 (1.771)
≥ 711 (28.000) 至 < 864 (34.000)	≥ 5.6 (0.219) 至 7.1 (0.281)	> 7.1 (0.281) 至 ≤ 52.0 (2.050)
≥ 864 (34.000) 至 < 965 (38.000)	—	≥ 5.6 (0.219) 至 52.0 (2.050)
≥ 965 (38.000) 至 < 1422 (56.000)	—	≥ 6.4 (0.250) 至 52.0 (2.050)
≥ 1422 (56.000) 至 < 1829 (72.000)	—	≥ 9.5 (0.375) 至 52.0 (2.050)
≥ 1829 (72.000) 至 < 2134 (84.000)	—	≥ 10.3 (0.406) 至 52.0 (2.050)
ISO 4200[7] 和 ASME B36.10M[8] 给出了钢管规定外径和规定壁厚的标准化数值。		
^a 具有规定外径和规定壁厚组合的钢管定义为特薄规格钢管；本表中给出的其它组合钢管定义为普通规格钢管。		

9.11.3 直径、壁厚、长度和直度偏差

9.11.3.1 除 C.2.3 允许外，直径和不圆度应在表 10 规定的偏差范围内。（见 10.2.8.2）

9.11.3.2 壁厚偏差应符合表 11 规定。

表10 — 直径和不圆度偏差

规定外径 <i>D</i> mm (in.)	直径偏差 ^d mm (in.)				不圆度偏差 mm (in.)	
	除管端外 ^a 的钢管		管端 ^{a,b,c}		除管端外 ^a 的钢管	管端 ^{a,b,c}
	无缝 (SMLS) 管	焊管	无缝 (SMLS) 管	焊管		
<60.3 (2.375)	− 0.8 (0.031) 至 + 0.4 (0.016)		-0.8 (0.031) 至 0.4 (0.016)		1.2 (0.048)	0.9 (0.036)
≥ 60.3 (2.375) 至 168.3 (6.625)	±0.0075 <i>D</i>		− 0.4 (0.016) 至 + 1.6 (0.063)		$\frac{D}{t} \leq 75$ 时 0.020 <i>D</i> ; 协议 $\frac{D}{t} > 75$ 时	时 0.015 <i>D</i> ; 协议 $\frac{D}{t} > 75$ 时
>168.3 (6.625) 至 610 (24.000)	±0.0075 <i>D</i>	±0.0075 <i>D</i> , 最大 为 ±3.2 (0.125)	±0.005 <i>D</i> , 最大为 ± 1.6 (0.063)		0.020 <i>D</i>	0.015 <i>D</i>
>610 (24.000) 至 1422 (56.000)	±0.01 <i>D</i>	±0.005 <i>D</i> , 最大为 ±4.0 (0.160)	±2.0 (0.079)	±1.6 (0.063)	时, 0.015 <i>D</i> , 最大为 15 (0.6) ; $\frac{D}{t} > 75$ 时协议	时 0.01 <i>D</i> , 最大为 13 (0.5); $\frac{D}{t} > 75$ 时协议
>1422 (56.000)	依照协议					
^a 管端包括钢管每个端头 100 mm (4.0 in)长度范围内的钢管。 ^b 对于无缝管, 这些偏差适用于 <i>t</i> ≤25.0 mm (0.984 in)的钢管, 对较大壁厚钢管的偏差应依照协议。 ^c 对于非扩径钢管和 <i>D</i> ≥219.1 mm (8.625 in) 的非扩径钢管, 直径和不圆度偏差可由计算内径(规定外径减去两倍的规定壁厚)或者测量内径确定, 而不采用规定外径(见 10.2.8.3)。 ^d 为确定直径对直径偏差的符合率, 钢管直径定义为在任一圆周平面的钢管周长除以 π 。						

表 11 — 壁厚偏差

壁厚 t mm (in.)	偏差 ^a mm (in.)
无缝 (SMLS) 管 ^b	
≤ 4.0 (0.157)	+ 0.6 (0.024) - 0.5 (0.020)
> 4.0 (0.157) 至 < 25.0 (0.984)	+ 0.150 t - 0.125 t
≥ 25.0 (0.984)	+ 3.7 (0.146) 或 + 0.1 t , 取较大者 - 3.0 (0.120) 或 - 0.1 t , 取较大者
焊管 ^{c,d}	
≤ 5.0 (0.197)	± 0.5 (0.020)
> 5.0 (0.197) 至 < 15.0 (0.591)	$\pm 0.1t$
≥ 15.0 (0.591)	± 1.5 (0.060)
^a 如果订货合同规定的壁厚负偏差比本表规定的对应数值小, 则壁厚正偏差应增加, 以保证适当的偏差范围。 ^b 只要未超出钢管质量正偏差范围 (见 9.14), 对于 $D \geq 355.6$ mm (14.000 in) 且 $t \geq 25.0$ mm (0.984 in) 的钢管, 其局部壁厚偏差可超过壁厚正偏差 0.05 t 。 ^c 壁厚正偏差不适用于焊缝。 ^d 附加要求见 9.13.2。	

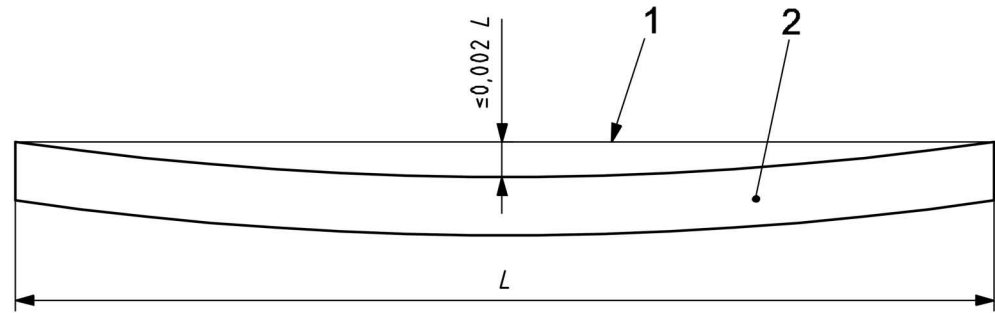
9.11.3.3 长度偏差应符合下列规定。

- 除另有协议外, 非定尺钢管应依照表 12 规定的长度范围交货。
- 按照定尺钢管交货的钢管其长度偏差应在 ± 500 mm (20 in) 范围内。
- 如果同意供应对接管, 最多可供应 5% 合同订购量的由 2 个管段焊接而成, 且长度 < 15.0 m (49.2 ft) 的对接管, 或依照协议确定对接管所占比例。
- 如果同意供应对接管, 可提供整批或任意比例合同订购量的由 2 个管段焊接而成的长度 ≥ 15.0 m (49.2 ft) 的对接管。
- 如果同意供应对接管, 最多可供应 5 % 合同订购量的由 3 个管段焊接而成的长度 ≥ 15.0 m (49.2 ft) 的对接管, 或依照协议确定对接管所占比例。

表 12 — 非定尺长度钢管偏差

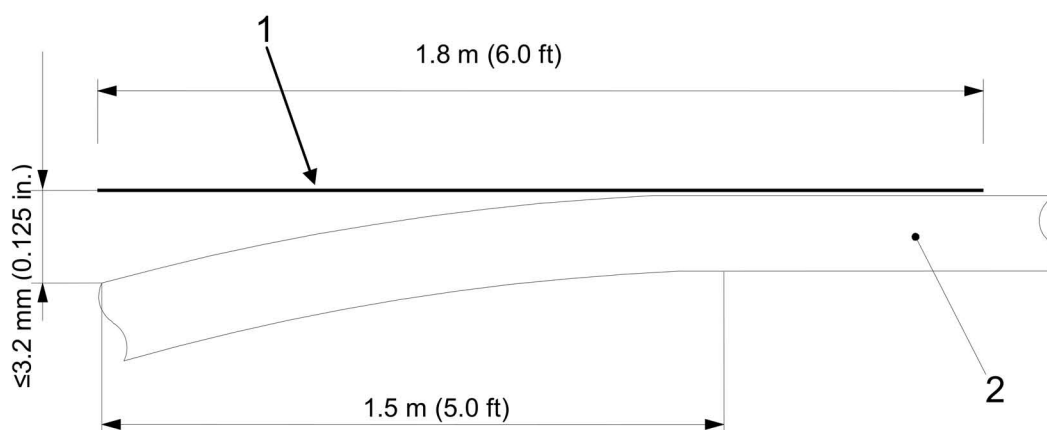
长度组别 m (ft)	最小长度 m (ft)	每订货批最 小平均长度 m (ft)	最大长度 m (ft)
加工有螺纹和带接箍钢管			
6 (20)	4.88 (16.0)	5.33 (17.5)	6.86 (22.5)
9 (30)	4.11 (13.5)	8.00 (26.2)	10.29 (33.8)
12 (40)	6.71 (22.0)	10.67 (35.0)	13.72 (45.0)
平端管			
6 (20)	2.74 (9.0)	5.33 (17.5)	6.86 (22.5)
9 (30)	4.11 (13.5)	8.00 (26.2)	10.29 (33.8)
12 (40)	4.27 (14.0)	10.67 (35.0)	13.72 (45.0)
15 (50)	5.33 (17.5)	13.35 (43.8)	16.76 (55.0)
18 (60)	6.40 (21.0)	16.00 (52.5)	19.81 (65.0)
24 (80)	8.53 (28.0)	21.34 (70.0)	25.91 (85.0)

- 9.11.3.4 直度偏差应符合下列要求。
- a) 钢管全长相对于直线的总偏离应 $\leq 0.2\%$ 的钢管长度，如图 1 所示。
 - b) 在每个管端 1.5 m (5.0 ft) 长度范围上相对于直线的局部偏离应 $\leq 3.2\text{ mm}$ (0.125 in)，如图 2 所示。



- 说明
- 1 绷绳或线
 - 2 管子

图 1—全长直度测量



说明

1 直线

2 管子

图 2— 端部直度测量

9.12 管端加工

9.12.1 总则

9.12.1.1 L175 P/A25 P 钢级的 PSL1 钢管应加工为螺纹端；除订货合同规定另一种管端加工类型（见表 2）外，其他钢级的 PSL 1 钢管应加工为平端。

9.12.1.2 PSL 2 钢管应以平端交货。

9.12.1.3 管端应无毛刺。

9.12.2 加工有螺纹的管端（仅对 PSL1）

9.12.2.1 加工有螺纹的管端应符合 API 5B 规定的螺纹加工、螺纹检验和量规要求。

9.12.2.2 每根加工有螺纹钢管的一端应带有符合附录 F 要求的接箍，而另一端应带有符合 12.2 要求的螺纹保护器。

9.12.2.3 接箍应手工拧紧在钢管上，或如果有协议时可采用机械拧紧。

注 “手工拧紧” 定义为拧紧到不采用扳手，接箍就不可能卸下的程度。控制上紧接箍的目的是便于管子使用前卸下接箍，以清洗和检查螺纹并涂上新的螺纹脂。已证实这种方法对防止螺纹处渗漏是必要的，特别对输气管线，因为制造长采用机械拧紧装配接箍，尽管在装配时具有防渗漏性能，然而经过运输、装卸和管线铺设后，并非总能保持其严密性。

9.12.2.4 装配接箍前，接箍或钢管啮合螺纹的表面均应涂上符合 API 5A3 或 ISO 13678 性能要求的螺纹脂。外露螺纹均应涂以同种螺纹脂或颜色明显不同的储存脂。除另有规定外，由制造商选择使用何种螺纹脂。无论使用哪种螺纹脂，均应涂在清洁、无潮气和无切削液的螺纹表面上。

9.12.3 承口端（仅适用于 PSL 1）

9.12.3.1 应根据订货合同要求的形式和尺寸，在钢管一端加工承口。

9.12.3.2 应对加工的承口进行外观检查，并符合 9.10 的要求。

9.12.4 特殊接箍用管端加工（仅适用于 PSL 1）

9.12.4.1 适用时，应按照订货合同要求的形式和尺寸，对与特殊接箍一起使用的钢管两端进行 加工。

9.12.4.2 为允许进行适当的上接箍操作，距钢管每端至少 200 mm (8.0 in) 范围内的钢管上应 完全没有压痕、突起和辊印。

9.12.5 平端

9.12.5.1 除另有协议外， $t \leq 3.2 \text{ mm}$ (0.125 in) 平端钢管的端面应切直。

9.12.5.2 除另有协议外， $t > 3.2 \text{ mm}$ (0.125 in) 平端钢管应加工焊接坡口。除 9.12.5.3 允许外，坡口角应为 30° ，偏差为 $^{+5^\circ}_{-0^\circ}$ ，以钢管轴线的垂线为基准测量，钝边尺寸应为 1.6 mm (0.063 in)，偏差为 $\pm 0.8 \text{ mm}$ (0.031 in)。

9.12.5.3 如果有协议，可加工其他形式的坡口，例如 ISO 6761[9] 规定的坡口。

9.12.5.4 如果对无缝（SMLS）管进行内表面加工或修磨，以纵向轴线为基准测量的内锥角不应超过表 13 给出的相应数值。

9.12.5.5 $D > 114.3 \text{ mm}$ (4.500 in) 的焊管去除内毛刺后，以纵向轴线为基准测量的内锥角 不应大于 7.0° 。

表 13 — SMLS 管最大内锥角

规定壁厚 t mm (in.)	最大内锥角 °
<10.5 (0.413)	7.0
10.5 (0.413) 至 < 14.0 (0.551)	9.5
14.0 (0.551) 至 < 17.0 (0.669)	11.0
≥ 17.0 (0.669)	14.0

9.12.6 端部方正度

9.12.6.1 端部方正度定义为与管道端部成直角。

9.12.6.1.1 对于外径大于等于 610 mm (24 in.) 的钢管，在距离管端最后 610 mm (24 in.) 处测量端部方正度。

9.12.6.1.2 对于外径小于 610 mm (24 in.) 的钢管，端部方正度在超过由制造厂在一个钢管直径和 610 mm (24 in.)之间选择一个的距离处测量。

9.12.6.2 端部方正度可以通过任何技术来测量，以正确地确定切斜。

如果使用固定正方形测量切斜，则管体支腿长度应为 9.12.6.1.1 或 9.12.6.1.2 或 305 mm (12 in.) 中规定的距离，以较大者为准。如图 3 所示，管端支腿长度至少应为所测量钢管外径的直径。

9.12.6.3 按照图 3 所示测量的切斜应 ≤ 1.6 mm (0.063 in)。切斜测量为钢管末端和钢管末端支腿之间的间隙。

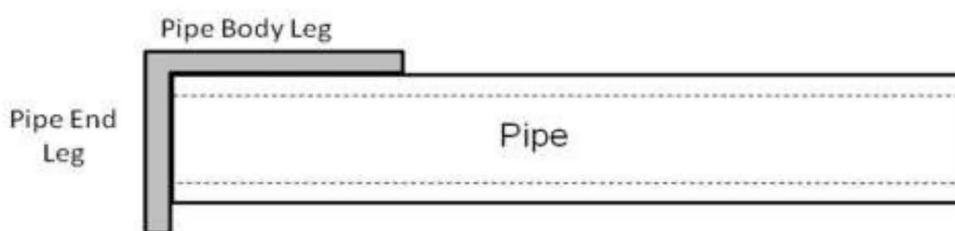


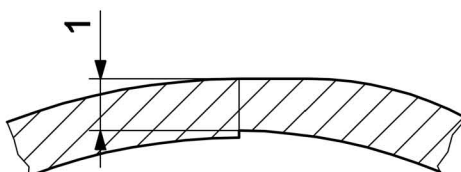
图 3—使用固定正方形测量值时的参考

9.13 焊缝偏差

9.13.1 钢带/钢板错边

对于电焊 (EW) 和激光焊 (LW) 管，错边[见图 4 a)]不应使得焊缝处剩余壁厚小于最小允许壁厚。

对于埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管，错边[见图 4 b) 或图 4 c) 中的适用情况]不应超过表 14 给出的相应数值。

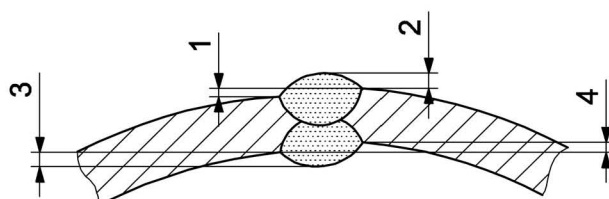


说明

1 焊缝剩余壁厚

a) EW 和 LW 管用钢带/钢板边缘错边

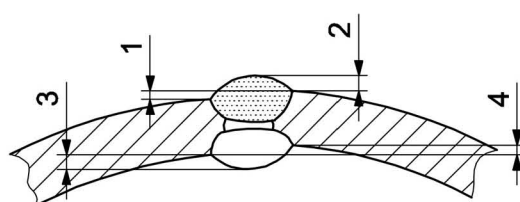
图 4—焊缝尺寸偏差



说明

- 1 外部错边
- 2 外焊缝高度
- 3 内焊缝高度
- 4 内部错边

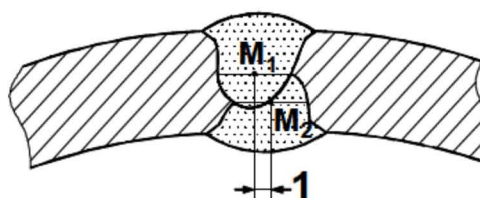
b) SAW 管钢带/钢板边缘错边和焊缝高度



说明

- 1 外部错边
- 2 外焊缝高度
- 3 内焊缝高度
- 4 内部错边

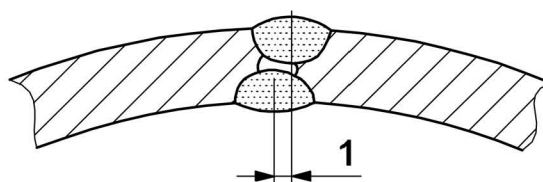
c) COW 管用钢带/钢板错边和焊缝高度



说明

M1、M2 分别为两条横穿熔敷焊道平行线的中点，该两线平行于钢管表面切线，并通过内外焊道熔合线的交点
1 偏移距离，分别通过点 M1 和点 M2，且垂直于钢管表面切线的两条线之间的距离

d) SAW 管焊缝焊偏



说明

- 1 偏焊

e) COW 管焊缝焊偏

图 4 — 焊缝尺寸偏差续

表 14 — SAW 和 COW 管最大允许错边

规定壁厚 t mm (in.)	允许最大错边 ^a mm (in.)
≤15.0 (0.590)	1.5 (0.060)
>15.0 (0.590) 至 25.0 (0.984)	0.1 t
>25.0 (0.984)	2.5 (0.098)
^a 这些要求同样适用于钢带/钢板对头焊缝。	

9.13.2 毛刺或焊缝高度

9.13.2.1 对于电焊 (EW) 和激光焊 (LW) 管, 下列要求适用。

- 外毛刺应去除到 (与母材) 基本平齐状态。
- 内毛刺不应超出钢管轮廓 1.5 mm (0.060 in)。
- 毛刺去除处的壁厚不应小于最小允许壁厚。
- 清除内毛刺所形成的刮槽深度不应超过表 15 的相应规定。

表 15 — EW 和 LW 管最大允许刮槽深度

规定壁厚 t mm (in.)	最大允许刮槽深度 ^a mm (in.)
≤4.0 (0.156)	0.10 t
>4.0 (0.156) 至 8.0 (0.312)	0.40 (0.016)
>8.0 (0.312)	0.05 t
^a 刮槽深度为距焊线约 25 mm (1 in) (或尽可能接近该测量值) 处测得的壁厚与刮槽处最小壁厚之差。	

9.13.2.2 对于埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管, 下列要求适用。

- 除咬边处外, 内外熔敷焊缝的顶部不应低于邻近钢管表面。
- 焊缝应与邻近钢管表面平滑过渡。
- 应采用修磨方法将钢管每端至少各 100 mm (4.0 in) 管端范围内的内焊缝余高去除, 使得修磨后的焊缝不高出邻近钢管表面 0.5 mm (0.020 in)。对于钢管其余部分内焊缝不应高出邻近钢管表面的相应数值 (见表 16)。
- 外焊缝不应高出邻近钢管表面的相应数值 (见表 16)。

- e) 如果有协议，应采用修磨方法将钢管每端至少各 150 mm（6.0 in）管端范围内的外焊缝余高去除，使得修磨后焊缝不高出邻近钢管表面 0.5 mm（0.020 in）。

表 16— SAW 和 COW 管最大允许焊缝高度（除管端外）

规定壁厚 t mm (in.)	焊缝高度 ^a mm (in.) 最大	
	内焊缝	外焊缝
≤ 13.0 (0.512)	3.5 (0.138)	3.5 (0.138)
>13.0 (0.512)	3.5 (0.138)	4.5 (0.177)
^a 由制造商选择，高于允许值的焊缝可修磨至可接收高度。		

9.13.3 埋弧焊 (SAW) 和 组合焊 (COW) 管的焊偏

偏移量在下述规定范围内且无损检测结果表明焊缝完全焊透和熔合，埋弧焊（SAW）管[见图 4 d)]和组合焊（COW）管[见图 4 e)]焊缝的焊偏不应成为拒收的理由。对于规定壁厚 $t \leq 20 \text{ mm}$ （0.8 in）的钢管，焊缝最大焊偏量不应超过 3 mm（0.1 in），对于规定壁厚 $t > 20 \text{ mm}$ （0.8 in）的钢管，焊缝最大焊偏量不应超过 4 mm（0.16 in）。

9.14 质量偏差

9.14.1 除 9.14.2 允许外，每根钢管的质量相对于其理论质量[理论质量按照钢管长度与钢管单位长度质量（见 9.11.2）的乘积确定]的偏离不应超过下列规定：

- a) 特薄规格钢管（见表 9）：

+10.0 %

-5.0 %

；
- b) L175、L175P、A25 和 A25P 钢级：

+10.0 %

-5.0 %

；
- c) 所有其他钢管：

+10.0 %

-3.5 %

。

9.14.2 如果订货合同规定的壁厚负偏差比表 11 给定的对应偏差小，则质量正偏差应增加一定的百分数，增加的百分数与壁厚负偏差的百分数相应减少量相等。

9.14.3 对于质量为 18 公吨（20 美吨）或以上的订货批，每个订货批的质量与其理论质量的偏离不应超出下列规定，理论质量按照订货批钢管的总长度与钢管单位长度质量的乘积确定（见 9.11.2）。

- a) L175、L175P、A25 和 A25P 钢级：

—3.5%；
- b) 所有其他钢管：

—1.75%。

9.15PSL2 钢管的焊接性

如果有协议，制造商应提供相关钢的焊接性数据，否则应进行焊接性试验，因此，订货合同 中应规定进行焊接性试验的细节和验收标准。

钢的化学成分要求，特别是 CE_{Pcm} 和 CE_{IIW} 极限值（见表 5、表 H.1 或表 J.1，选适用者）的选择应有利于焊接性；然而，宜考虑到在焊接过程中及焊后钢管性能不仅取决于钢的化学成分，而且取决于所使用的焊接材料、焊前的准备条件以及焊接的实施过程。

10 检验

10.1 检验类型和检验文件

10.1.1 总则

10.1.1.1 应按照 ISO 10474 的规定检验对订货合同的符合性进行查验。

注 1 ISO 10474 中，“特定检验”是指“特定的检验和试验”。

注 2 使用本条款时，EN 10204 与 ISO 10474 可达到相同目的。

注 3 用在 10.1.2 和 10.1.3 的术语“检验文件”均相同，可与术语“材料试验报告”互换使用。

10.1.1.2 检验文件应是打印格式或电子格式，电子格式文件作为 EDI 传输文件必须符合由购方 和制造商达成的任一 EDI 协议。

10.1.2 PSL1 钢管的检验文件

10.1.2.1 如果有协议，应发出符合 ISO 10474:1991 的 3.1.A、3.1.B 或 3.1.C 要求的检验证书，或应发出符合 EN 10204:2004 的 3.1 或 3.2 要求的检验证书。

10.1.2.2 如果有协议提供检验文件，适用时每个订货批应提供下列信息：

- a) 规定外径、规定壁厚、PSL、钢管类型、钢管等级和交货状态；
- b) 化学成分（熔炼分析和产品分析）；
- c) 拉伸试验结果和试样类型、尺寸、位置及方向；
- d) 规定最小静水压试验压力和规定稳压时间；
- e) 对于焊管，使用的焊缝无损检验方法（射线、超声或电磁）；使用的参考反射体或像质计的类型和尺寸；
- f) 对于无缝 (SMLS) 管，使用的无损检验方法（超声、电磁或磁粉）；使用的参考反射体的类型和尺寸；

- g) 对于电焊 (EW) 和激光焊 (LW) 管, 焊缝热处理的最低温度或未进行热处理时注明 “未进行热处理”;
- h) 订货合同中规定的任何补充试验的结果;
- i) 根据适用情况, 对接管、接箍和/或过出油管应满足附录 M、附录 F 和/或附录 I 要求的证明;
- j) 用于钢管制造、钢带 (卷) /钢板轧制以及炼钢工艺的设备名称及位置。

10.1.3 PSL2 钢管检验文件

10.1.3.1 制造商应发出符合 ISO 10474:1991 的 3.1.B 检验证书或符合 EN 10204:2004 的 3.1 检验证书。如果订货合同规定了另一种替换的方法, 制造商应发出符合 ISO 10474:1991 的 3.1.A 或 3.1.C 检验证书或符合 EN 10204:2004 的 3.2 检验证书。

10.1.3.2 适用时每个订货批应提供下列信息:

- a) 规定外径、规定壁厚、钢管等级、PSL、钢管类型和交货状态;
- b) 化学成分 (熔炼分析和产品分析) 和碳当量 (产品分析和验收标准);
- c) 拉伸试验结果和试样类型、尺寸、位置及方向;
- d) CVN 冲击试验结果; 试样尺寸、方向和位置; 试验温度和适用于特定尺寸试样的验收标准;
- e) 对于焊管, DWT 试验结果 (单次试验结果和平均试验结果);
- f) 规定最小静水压试验压力和规定稳压时间;
- g) 对于焊管, 使用的焊缝无损检验方法 (射线、超声或电磁); 使用的参考反射体或像质计的类型和尺寸;
- h) 对于无缝 (SMLS) 管, 使用的无损检验方法 (超声、电磁或磁粉); 使用的参考反射体的类型和尺寸;
- i) 对于高频焊 (HFW) 管, 焊缝热处理的最低温度;
- j) 根据适用情况, 对接管和/或过出油管应满足附录 M、附录 F 和/或附录 I 要求的证明;
- k) 用于钢管制造、钢带 (卷) /钢板轧制以及炼钢工艺的设备名称及位置;
- l) 订货合同中规定的任何补充试验的结果。

10.2 特定检验

10.2.1 检验频次

10.2.1.1 对于 PSL1 钢管, 检验频次应符合表 17 的规定。

10.2.1.2 对于 PSL2 钢管, 检验频次应符合表 18 的规定。

表 17 — PSL1 钢管检验频次

序号	检验类型	钢管类型	检验频次 ^a
1	熔炼分析	所有钢管	每熔炼炉的钢分析一次
2	产品分析	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	每熔炼炉的钢分析两次（取自隔开的产品上）
3	$D \leq 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 的 L175 或 A25 焊管管体拉伸试验	CW、LFW 或 HFW	不超过 25 公吨（28 美吨）的钢管为一试验批，每批一次
4	$D \leq 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 的 L175P 或 A25P 焊管管体拉伸试验	CW	不超过 25 公吨（28 美吨）的钢管为一试验批，每批一次
5	$D > 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 的 L175 或 A25 焊管管体拉伸试验	CW、LFW 或 HFW	不超过 50 公吨（55 美吨）的钢管为一试验批，每批一次
6	$D > 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 的 L175P 或 A25P 焊管管体拉伸试验	CW	不超过 50 公吨（55 美吨）的钢管为一试验批，每批一次
7	无缝钢管管体拉伸试验	SMLS	相同冷扩径率 ^a 钢管为一试验批，每批一次
8	钢级高于 L175 或 A25 的焊管管体拉伸试验	LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^a 钢管为一试验批，每批一次
9	$D \geq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 的焊管直焊缝或螺旋焊缝拉伸试验	LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 钢管为一试验批，每批一次
10	$D \geq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 的焊管用钢带(卷)/钢板对头焊缝拉伸试验	SAWH 或 COWH	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 每 50 个带钢带(卷)/钢板对头焊缝钢管为一试验批，每批至少一次
11	$D \leq 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 的 L175、L175P、A25 或 A25P 直缝焊管焊缝弯曲试验	CW、LFW、HFW	不超过 25 公吨（28 美吨）的钢管为一试验批，每批一次
12	48.3 mm (1.900 in) $< D \leq 60.3 \text{ mm}$ (2.375 in) 的 L175、L175P、A25 或 A25P 直缝焊管焊缝弯曲试验	CW、LFW、HFW	不超过 50 公吨（55 美吨）的钢管为一试验批，每批一次
13	焊管直焊缝或螺旋焊缝导向弯曲试验	SAW 或 COW	相同钢级不超过 50 根为一试验批，每批一次
14	焊管钢带（卷）/钢板对头焊缝导向弯曲试验	SAWH 或 COWH	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 每 50 个带钢带(卷)/钢板对头焊缝钢管为一试验批，每批至少一次
15	$D \geq 323.9 \text{ mm}$ (12.750 in)焊管直焊 缝导向弯曲试验	LW	相同钢级不超过 50 根为一试验批，每批一次
16	焊管压扁试验	CW、LFW、HFW 或 LW	如图 6 所示
17	冷成型焊管硬块硬度试验	LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	任何方向超过 50 mm (2.0 in) 的硬块
18	静水压试验	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	每根钢管
19	焊管直焊缝或螺旋焊缝宏观检验	SAW 或 COW	每工作班至少一次，该班钢管尺寸发生变化时加做一次；或者如果符合 10.2.5.2 要求，在每个规定外径和规定壁厚尺寸组合的钢管开始生产时做检验。
20	焊管直焊缝金相检验	LFW 或 HFW，全管 体正火钢管除外	每工作班至少一次，发生以下情况加做一次：每当钢管钢级、规定外径或规定壁厚发生变化时；每当热处理的条件发生较大的变化时
21	外观检查	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	除 10.2.7.2 允许外，检查每根钢管
22	钢管直径和不圆度	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	工作班每 4 小时至少进行一次，当工作班生产期间钢管尺寸发生变化时加做一次
23	壁厚测量值	所有钢管	每根钢管（见 10.2.8.5）
24	其他尺寸检验	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	随机检测，具体细节由制造商决定
25	$D \geq 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 钢管的称重	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	由制造商选择，每根或方便的钢管捆
26	$D \geq 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 钢管的称重	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	每根钢管
27	长度	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	逐根测量，下列情况除外：钢管长度误差一直保持在 30 mm (0.1 ft) 范围内时，不需逐根测量钢管长度，前提条件是每班每 4 小时至少验证一次长度测量精度。
28	无损检验	SMLS、CW、LFW、HFW、LW、SAW 或 COW	按照附录 E
^a 冷扩径率（适用时）由制造商指定，并使用扩径前外径或圆周长与扩径后外径或圆周长得出；冷扩径率增加或减少量超过 0.002 时，则要求建立一个新的试验批。 ^b 对于双缝管而言，代表试验批的所选钢管的两个直焊缝都应进行试验。 ^c 每个焊管机组生产的钢管每周至少应检验一次。 ^d 仅适用于含有钢带（卷）/钢板对头焊缝的成品螺旋焊管。 ^e “试验批”的定义见 3.3.60。			

表 18 — PSL2 钢管检验频次

序号	检验类型	钢管类型	检验频次 ^c
1	熔炼分析	所有钢管	每熔炼炉的钢分析一次
2	产品分析	SMLS、HFW、SAW 或 COW	每熔炼炉的钢分析两次（取自隔开的产品上）
3	$D \leq 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 钢管管体拉伸试验	SMLS、HFW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^a 不超过 400 根钢管为一试验批进行一次试验
4	$D > 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 且 $\leq 323.9 \text{ mm}$ (12.750 in) 钢管管体拉伸试验	SMLS、HFW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^a 不超过 200 根钢管为一试验批进行一次试验
5	$D > 323.9 \text{ mm}$ (12.750 in) 钢管管体拉伸试验	SMLS、HFW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^a 不超过 100 根钢管为一试验批进行一次试验
6	$D \geq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 且 $\leq 323.9 \text{ mm}$ (12.750 in) 直缝或螺旋缝焊管焊缝拉伸试验	HFW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 不超过 200 根钢管为一试验批，每批一次
7	$D > 323.9 \text{ mm}$ (12.750 in) 的焊管直焊缝或螺旋缝拉伸试验	HFW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 不超过 100 根钢管为一试验批，每批一次
8	$D \geq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 的焊管用钢带(卷)/钢板对头焊缝拉伸试验	SAWH 或 COWH	相同冷扩径率 ^{a,b,d} 每 50 个带钢带(卷)/钢板对头焊缝钢管为一试验批，每批至少一次
9	具有表 22 规定外径和规定壁厚钢管管体 CVN 冲击试验	SMLS、HFW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^a 钢管为一试验批，每批一次
10	如果有协议，具有表 22 规定外径和规定壁厚焊管直焊缝 CVN 冲击试验	HFW	相同冷扩径率 ^{a,b} 钢管为一试验批，每批一次
11	具有表 22 规定外径和规定壁厚焊管直焊缝或螺旋缝 CVN 冲击试验	SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 钢管为一试验批，每批一次
12	具有表 22 规定外径和规定壁厚焊管钢带(卷)/钢板对头焊缝 CVN 冲击试验	SAWH 或 COWH	相同冷扩径率 ^{a,b,d} 每 50 个带钢带(卷)/钢板对头焊缝钢管为一试验批，每批至少一次
13	如果有协议， $D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 焊管管体 DWT 试验	HFW、SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^a 钢管为一试验批，每批一次
14	焊管直焊缝或螺旋缝导向弯曲试验	SAW 或 COW	相同冷扩径率 ^a 不多于 50 根钢管为一试验批，每批一次
15	焊管钢带（卷）/钢板对头焊缝导向弯曲试验	SAWH 或 COWH	相同冷扩径率 ^{a,b,d} 每 50 个带钢带(卷)/钢板对头焊缝钢管为一试验批，每批至少一次
16	焊管压扁试验	HFW	如图 6 所示
17	冷成型焊管硬块硬度试验	HFW、SAW 或 COW	任何方向超过 50 mm (2.0 in) 的硬块
18	静水压试验	SMLS、HFW、SAW 或 COW	每根钢管
19	焊管直焊缝或螺旋缝宏观检验	SAW 或 COW	每工作班至少一次，该班钢管尺寸发生变化时加做一次；或者如果符合 10.2.5.3 或 10.2.5.4 要求，在每个规定外径和规定壁厚尺寸组合的钢管开始生产时做检验。
20	焊管直焊缝金相检验（或选择硬度试验代替金相检验）	HFW，全管体正火管除外	每工作班至少一次，发生以下情况加做一次：每当钢管钢级、规定外径或规定壁厚发生变化时；每当热处理的条件发生变化时
21	外观检查	SMLS、HFW、SAW 或 COW	除 10.2.7.2 允许外，检查每根钢管
22	钢管直径和不圆度	SMLS、HFW、SAW 或 COW	工作班每 4 小时至少进行一次，当工作班生产期间钢管尺寸发生变化时加做一次
23	壁厚测量值	所有钢管	每根钢管（见 10.2.8.5）
24	其他尺寸检验	SMLS、HFW、SAW 或 COW	随机检测，具体细节由制造商决定
25	$D \geq 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 钢管的称重	SMLS、HFW、SAW 或 COW	由制造商选择，每根或方便的钢管捆
26	$D \geq 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 钢管的称重	SMLS、HFW、SAW 或 COW	每根钢管
27	长度	SMLS、HFW、SAW 或 COW	逐根测量，下列情况除外：钢管长度误差一直保持在 30 mm (0.1 ft) 范围内时，不需逐根测量钢管长度，前提条件是每班每 4 小时至少验证一次长度测量精度
28	无损检验	SMLS、HFW、SAW 或 COW	按照附录 E

^a 冷扩径率（适用时）由制造商指定，并使用扩径前外径或圆周长与扩径后外径或圆周长得出；冷扩径率增加或减少量超过 0.002 时，则要求建立一个新的试验批。

^b 每个焊管机组生产的钢管每周应至少检验一次。

^c 对于双缝管，代表试验批钢管的两条焊缝都应进行试验。

^d 仅适用于含有钢带（卷）/钢板对头焊缝的成品螺旋焊管。

^e “试验批”的定义见 3.3.60。

10.2.2 产品分析的试块和试样

应按照 ISO 14284 或 ASTM E1806 进行试块的截取和试样的制备，试块应取自钢管、钢板或钢带（卷）。

10.2.3 力学性能试验的试块和试样

10.2.3.1 总则

对于拉伸试验、CVN 冲击试验、DWT 试验、弯曲试验、导向弯曲试验和压扁试验，应根据相应引用标准的要求进行试块的截取和试样的制备。

各类试验的试块和试样应取自图 5、图 6 所示位置以及表 19 或表 20 规定位置，并考虑 10.2.3.2 至 10.2.3.7 和 10.2.4 的补充要求。

第 9 节规定的任何力学性能试验，只要发现试样有加工缺陷或与相应力学性能试验无关的材料缺欠，无论是在试验前还是在试验后发现，均可将该试样作废，并从同一根钢管上另外取替代试样。

10.2.3.2 拉伸试验试样

代表钢管全壁厚的板状试样的截取应符合 ISO 6892-1 或 ASTM A370 要求，且按图 5 所示。应按照文件化的作法沿着钢带（卷）/钢板的长度方向选择标准的取样位置。

对于热加工和热处理无缝管，横向试样应为圆棒试样，且取自未压平的试块。

对于其他钢管，横向试样既可是板状试样也可是圆棒试样，板状试样应取自压平试块，而圆棒试样应取自未压平试块。

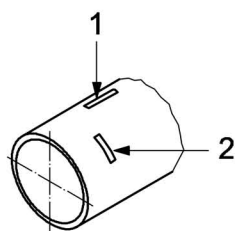
应按照文件化的程序将试样压平。

除制造商可选择使用相邻的较大直径试样外，横向拉伸试验的圆棒试样直径应符合表 21 的规定。对于壁厚 $\geq 19.0 \text{ mm}$ (0.748 in) 钢管的纵向拉伸试验，圆棒试样直径应为 12.7 mm (0.500 in)。

对于 $D < 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 的钢管试验，制造商可选择使用全截面纵向试样。

如果有协议，可使用胀环试样测定横向屈服强度。

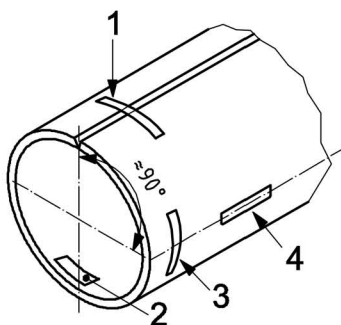
焊缝可磨平，局部缺欠可去除。



说明

- 1 L—纵向试块
- 2 T—横向试块

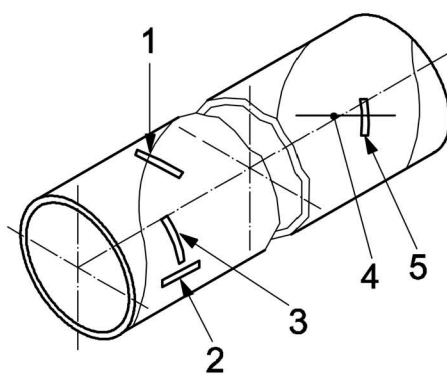
a) SMLS 管



说明

- 1 W—横向试块，中心在焊缝上
- 2 T180—横向试块，中心距直焊缝约 180°
- 3 T90—横向试块，中心距直焊缝约 90°
- 4 L90—纵向试块，中心距直焊缝约 90°

b) CW、LFW、HFW、LW、SAWL 和 COWL 管

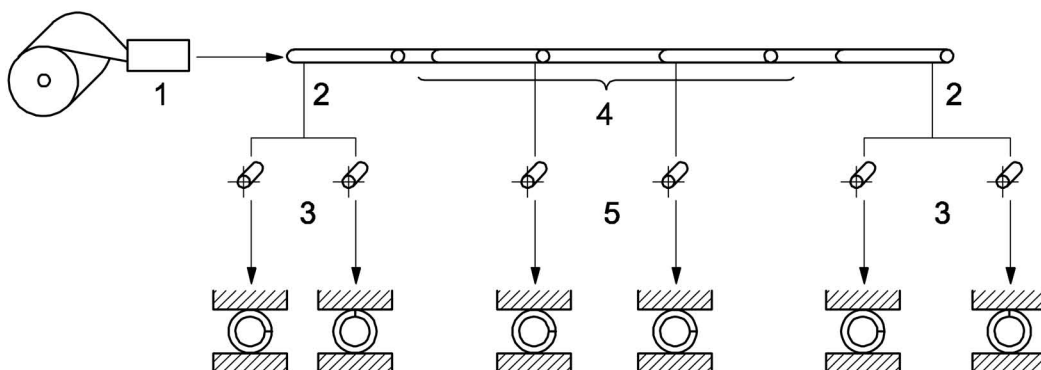


说明

- 1 W—焊缝横向试块，中心在螺旋焊缝上
- 2 L—纵向试块，沿钢管纵向试块中心距螺旋焊缝至少 $a/4$
- 3 T—横向试块，沿钢管纵向试块中心距螺旋焊缝至少 $a/4$
- 4 钢带(卷)/钢板对头焊缝，其中长度 a 为钢带(卷)/钢板的宽度
- 5 WS—焊缝横向试块，试块中心距螺旋焊缝和钢带(卷)/钢板对头焊缝的交点处至少 $a/4$

c) SAWH 和 COWH 管

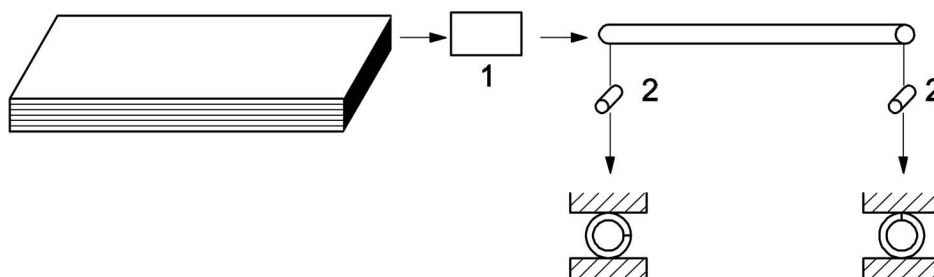
图 5— 试块和试样的方向和位置



说明

- 1 焊接
- 2 钢带（卷）端部
- 3 从每卷钢带端部取两个试样
- 4 停焊
- 5 两个试样，停焊点前后各取一个

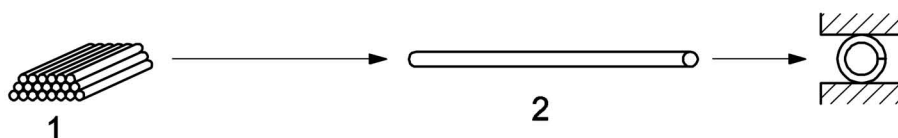
a) 钢级 $\geq$ L245 或 B 的 EW 管和 $D < 323.9 \text{ mm}$ (12.750 in) LW 管—非扩径、一带多根方式生产



说明

- 1 焊接
- 2 两个试样，钢管每端各取一个

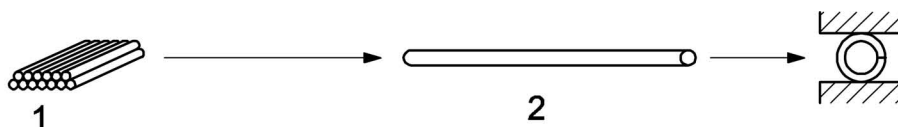
b) 钢级 $\geq$ L245 或 B 的 EW 管—非扩径、单根生产方式



说明

- 1 ≤ 50 公吨 (55 美吨) 钢管试验批
- 2 一个试样，取自钢管一端

c) $D \geq 73.0 \text{ mm}$ (2.875 in)，钢级为 L175、L175P、A25 或 A25P 的 CW 管和 EW 管



说明

- 1 ≤ 100 根的钢管试验批
- 2 一个试样，取自钢管一端

d) 钢级 $\geq$ L245 或 B 的 EW 管和 $D < 323.9 \text{ mm}$ (12.750 in) 的 LW 管—冷扩径

图 6—压扁试验

表 19 — PSL 1 钢管力学性能试验各试块试样数量、方向和位置

钢管类型	试块位置	试验类型	各试块试样的数量、方向和位置 ^a			
			规定外径 <i>D</i> mm (in.)			
			< 219.1 (8.625)	219.1 (8.625) 至 < 323.9 (12.750)	323.9 (12.750) 至 < 508 (20.000)	≥ 508 (20.000)
SMLS, 非冷扩径 [见图 5 a)]	管体	拉伸	1L ^b	1L	1L	1L
SMLS, 冷扩径 [见图 5 a)]	管体	拉伸	1L ^b	1T ^c	1T ^c	1T ^c
CW [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^b	—	—	—
	管体和焊缝	弯曲	1 ^e	—	—	—
	管体和焊缝	压扁	如图 6 所示			
LW [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^b	1T180 ^c	1T180 ^c	1T180 ^c
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	1W
	焊缝	导向弯曲	—	—	2W	2W
	管体和焊缝	压扁	如图 6 所示			
LFW 或 HFW [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^b	1T180 ^c	1T180 ^c	1T180 ^c
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	1W
	管体和焊缝	弯曲	1 ^e	—	—	—
	管体和焊缝	压扁	如图 6 所示			
SAWL 或 COWL [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^b	1T180 ^c	1T180 ^c	1T180 ^c
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	1W ^d
	焊缝	导向弯曲	2W	2W	2W	2W ^d
SAWH 或 COWH [见图 5 c)]	管体	拉伸	1L ^b	1T ^c	1T ^c	1T ^c
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	1W
	焊缝	导向弯曲	2W	2W	2W	2W
	钢带(卷)/钢板 对头焊缝	导向弯曲	2WS	2WS	2WS	2WS

^a 用于表示试块和试样的方向、位置的符号说明见图 5。

^b 由制造商选择可使用全截面纵向试样。

^c 如果有协议, 可根据 ASTM A370 要求, 用环形试样通过液压胀环试验测定横向屈服强度。

^d 对于双缝管, 代表试验批的钢管的两条直焊缝均应进行试验。

^e 试验限于 $D \leq 60.3$ mm (2.375 in) 的钢管。

表 20 — PSL 2 钢管力学性能试验各试块试样数量、方向和位置

钢管类型	试块位置	试验类型	各试块试样的数量、方向和位置 ^a			
			规定外径			
			<i>D</i> mm (in.)			
			< 219.1 (8.625)	219.1 (8.625) 至 < 323.9 (12.750)	323.9 (12.750) 至 < 508 (20.000)	≥ 508 (20.000)
SMLS, 非冷扩径 [见图 5 a)]	管体	拉伸	1L ^b	1L ^{c,d}	1L ^{c,d}	1L ^{c,d}
		CVN	3T	3T	3T	3T
SMLS, 冷扩径 [见图 5 a)]	管体	拉伸	1L ^b	1T ^d	1T ^d	1T ^d
		CVN	3T	3T	3T	3T
HFW [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^b	1T180 ^d	1T180 ^d	1T180 ^d
		CVN	3T90	3T90	3T90	3T90
		DWT	—	—	—	2T90
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	1W
		CVN	3W	3W	3W	3W
	管体和焊缝	压扁	如图 6 所示			
SAWL 或 COWL [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^b	1T180 ^d	1T180 ^d	1T180 ^d
		CVN	3T90	3T90	3T90	3T90
		DWT	—	—	—	2T90
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	1W ^e
		CVN	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	3W ^e 和 3HAZ ^e
		导向弯曲	2W ^f	2W ^f	2W ^f	2W ^{e,f}
SAWH 或 COWH [见图 5 c)]	管体	拉伸	1L ^b	1T ^d	1T ^d	1T ^d
		CVN	3T	3T	3T	3T
		DWT	—	—	—	2T
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	1W
		CVN	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ
		导向弯曲	2W ^f	2W ^f	2W ^f	2W ^f
	钢带(卷)/钢板 对头焊缝	拉伸	—	1WS	1WS	1WS
		CVN	3WS 和 3HAZ	3WS 和 3HAZ	3WS 和 3HAZ	3WS 和 3HAZ
		导向弯曲	2WS ^f	2WS ^f	2WS ^f	2WS ^f
^a 用于表示试样方向和位置的符号说明, 见图 5。						
^b 由制造商选择可使用全截面纵向试样。						
^c 如果有协议, 可使用横向试样。						
^d 如果有协议, 可根据 ASTM A370 要求, 用环形试样通过液压胀环试验测定横向屈服强度。						
^e 对于双缝管, 代表试验批的钢管的两条直焊缝均应进行试验。						
^{fe} <i>t</i> >19.0 mm (0.748 in) 的钢管, 试样可加工成厚度为 18.0 mm (0.709 in) 的矩形横截面 试样。						

表 21 — 钢管尺寸和横向拉伸试验圆棒试样直径关系

规定外径 D mm (in.)	规定壁厚 t mm (in.)		
	标距长度内试样的规定直径 mm (in.)		
	12.7 (0.500)	8.9 (0.350)	6.4 (0.250) ^a
219.1 (8.625) 至 <273.1 (10.750)	—	≥28.1 (1.106)	< 28.1 (1.106)
273.1 (10.750) 至 <323.9 (12.750)	≥36.1 (1.421)	25.5 (1.004) 至 <36.1 (1.421)	< 25.5 (1.004)
323.9 (12.750) 至 <355.6 (14.000)	≥33.5 (1.319)	23.9 (0.941) 至 <33.5 (1.319)	< 23.9 (0.941)
355.6 (14.000) 至 <406.4 (16.000)	≥32.3 (1.272)	23.2 (0.913) 至 <32.3 (1.272)	< 23.2 (0.913)
406.4 (16.000) 至 <457 (18.000)	≥30.9 (1.217)	22.2 (0.874) 至 <30.9 (1.217)	< 22.2 (0.874)
457 (18.000) 至 <508 (20.000)	≥29.7 (1.169)	21.5 (0.846) 至 <29.7 (1.169)	< 21.5 (0.846)
508 (20.000) 至 <559 (22.000)	≥28.8 (1.134)	21.0 (0.827) 至 <28.8 (1.134)	< 21.0 (0.827)
559 (22.000) 至 <610 (24.000)	≥28.1 (1.106)	20.5 (0.807) 至 <28.1 (1.106)	< 20.5 (0.807)
610 (24.000) 至 <660 (26.000)	≥27.5 (1.083)	20.1 (0.791) 至 <27.5 (1.083)	< 20.1 (0.791)
660 (26.000) 至 <711 (28.000)	≥27.0 (1.063)	19.8 (0.780) 至 <27.0 (1.063)	< 19.8 (0.780)
711 (28.000) 至 <762 (30.000)	≥26.5 (1.043)	19.5 (0.768) 至 <26.5 (1.043)	< 19.5 (0.768)
762 (30.000) 至 <813 (32.000)	≥26.2 (1.031)	19.3 (0.760) 至 <26.2 (1.031)	< 19.3 (0.760)
813 (32.000) 至 <864 (34.000)	≥25.8 (1.016)	19.1 (0.753) 至 <25.8 (1.016)	< 19.1 (0.753)
864 (34.000) 至 <914 (36.000)	≥25.5 (1.004)	18.9 (0.744) 至 <25.5 (1.004)	< 18.9 (0.744)
914 (36.000) 至 <965 (38.000)	≥25.3 (0.996)	18.7 (0.736) 至 <25.3 (0.996)	< 18.7 (0.736)
965 (38.000) 至 <1016 (40.000)	≥25.1 (0.988)	18.6 (0.732) 至 <25.1 (0.988)	< 18.6 (0.732)
1016 (40.000) 至 <1067 (42.000)	≥24.9 (0.980)	18.5 (0.728) 至 <24.9 (0.980)	< 18.5 (0.728)
1067 (42.000) 至 <1118 (44.000)	≥24.7 (0.972)	18.3 (0.720) 至 <24.7 (0.972)	< 18.3 (0.720)
1118 (44.000) 至 <1168 (46.000)	≥24.5 (0.965)	18.2 (0.717) 至 <24.5 (0.965)	< 18.2 (0.717)
1168 (46.000) 至 <1219 (48.000)	≥24.4 (0.961)	18.1 (0.713) 至 <24.4 (0.961)	< 18.1 (0.713)
1219 (48.000) 至 <1321 (52.000)	≥24.2 (0.953)	18.1 (0.713) 至 <24.2 (0.953)	< 18.1 (0.713)
1321 (52.000) 至 <1422 (56.000)	≥24.0 (0.945)	17.9 (0.705) 至 <24.0 (0.945)	< 17.9 (0.705)
1422 (56.000) 至 <1524 (60.000)	≥23.8 (0.937)	17.8 (0.701) 至 <23.8 (0.937)	< 17.8 (0.701)
1524 (60.000) 至 <1626 (64.000)	≥23.6 (0.929)	17.6 (0.693) 至 <23.6 (0.929)	< 17.6 (0.693)
1626 (64.000) 至 <1727 (68.000)	≥23.4 (0.921)	17.5 (0.689) 至 <23.4 (0.921)	< 17.5 (0.689)
1727 (68.000) 至 <1829 (72.000)	≥23.3 (0.917)	17.4 (0.685) 至 <23.3 (0.917)	< 17.4 (0.685)
1829 (72.000) 至 <1930 (76.000)	≥23.1 (0.909)	17.4 (0.685) 至 <23.1 (0.909)	< 17.4 (0.685)
1930 (76.000) 至 < 2134 (84.000)	≥23.0 (0.906)	17.3 (0.681) 至 <23.0 (0.906)	< 17.3 (0.681)
≥ 2134 (84.000)	≥ 22.9 (0.902)	17.2 (0.677) 至 <22.9 (0.902)	< 17.2 (0.677)
^a 当钢管尺寸太小无法制取直径为 6.4 mm (0.250 in) 的试样时, 不应使用圆棒试样。			

10.2.3.3 CVN 冲击试验用试样

除在订货合同中规定 ISO 148-1 和要求的锤头半径（2 mm 或 8 mm）外，试样制备应符合 ASTM A370 的规定。缺口轴线应垂直于钢管表面。

对于钢管焊缝和 HAZ 的冲击试验，为确保缺口开在适当位置，开缺口前应对试样进行腐蚀。

制取埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管焊缝试样时，缺口的轴线应位于或尽可能接近图 7 所示的外焊缝中心线。取样应尽可能接近钢管的外径表面。

制取埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管热影响区 (HAZ) 试样时，缺口的轴线应尽可能接近图 7 所示的外焊缝熔合线。取样应尽可能接近钢管的外径表面。

制取高频焊 (HFW) 管焊缝试样时，缺口的轴线应位于或尽可能接近焊线。

如果吸收能预期会超过冲击试验机满刻度量程的 80 % 时，可采用邻近的较小尺寸试样，除此之外，试样的尺寸、方向和试样的来源应按照表 22 的规定。

注 表 22 未包含的规定外径和规定壁厚尺寸组合的钢管，不需进行 CVN 冲击试验。

10.2.3.4 DWT 试验试样

试样应按照 API 5L3 进行制备。

10.2.3.5 （全截面）弯曲试验试样

试样应按照 ISO 8491 或 ASTM A 370 进行制备。

10.2.3.6 导向弯曲试验试样

试样应按照 ISO 5173 或 ASTM A370 和图 8 进行制备。

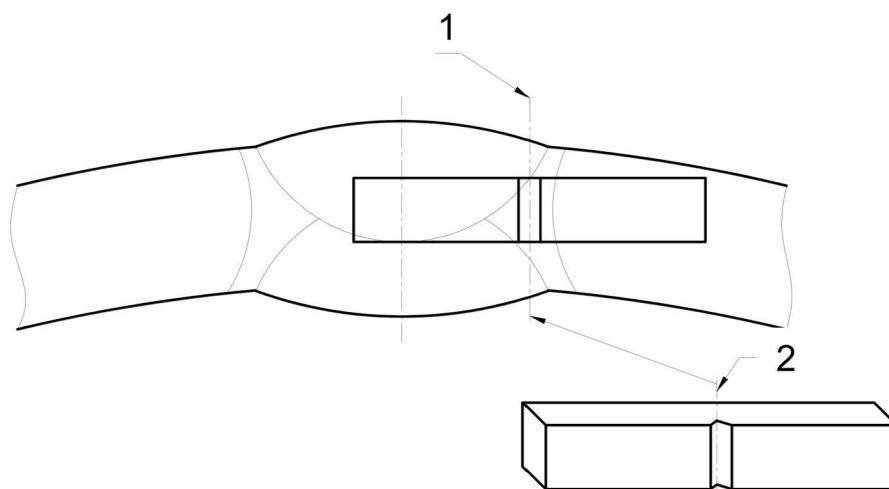
$t > 19.0 \text{ mm}$ (0.748 in) 的钢管，试样可加工成厚度为 18.0 mm (0.709 in) 的矩形横截面试样。 $t \leq 19.0 \text{ mm}$ (0.748 in) 的钢管，试样应为全壁厚弧面试样。

对于埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管，内外焊缝两面余高应去除。

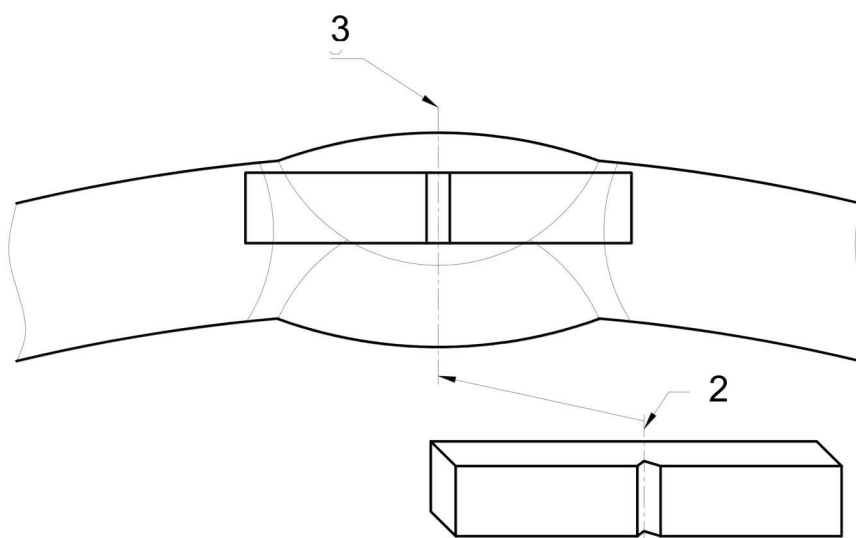
10.2.3.7 压扁试验试样

除每个压扁试样长度应 $\geq 60 \text{ mm}$ (2.5 in) 外，应按照 ISO 8492 或 ASTM A370 要求取样。

较小的表面缺欠可修磨去除。



a) 热影响区试样



b) 焊缝试样

说明

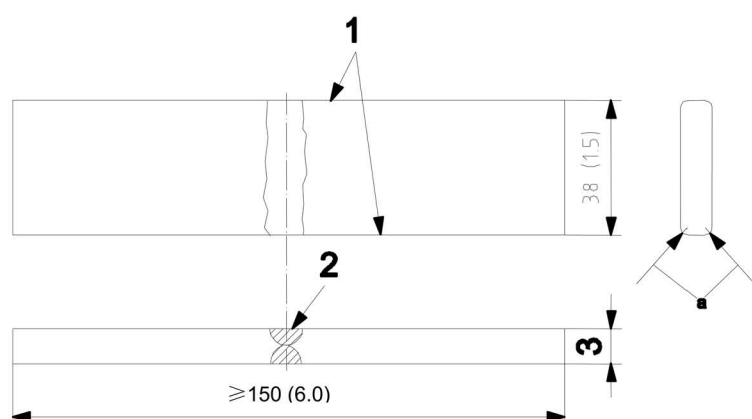
- 1 焊缝热影响区 (HAZ) 夏比冲击试样缺口取样部位—邻近熔合线
- 2 夏比冲击试样缺口中心线
- 3 焊缝夏比冲击试样缺口取样部位—处于或邻近外焊缝中心线

图 7—夏比试验试样位置

表 22 — PSL2 钢管尺寸和要求的冲击试验试样间的关系

规定外径 D mm (in.)	规定壁厚 t mm (in.)			
	CVN 试验试样尺寸、来源和方向			
	全尺寸 ^a	$\frac{3}{4}$ ^a	$\frac{2}{3}$ ^a	$\frac{1}{2}$ ^a
114.3 (4.500) 至 < 141.3 (5.563)	≥ 12.6 (0.495)	11.3 (0.445) 至 < 12.6 (0.495)	10.9 (0.429) 至 < 11.3 (0.445)	10.1 (0.396) 至 < 10.9 (0.429)
141.3 (5.563) 至 < 168.3 (6.625)	≥ 11.9 (0.469)	9.8 (0.387) 至 < 11.9 (0.469)	9.4 (0.370) 至 < 9.8 (0.387)	8.6 (0.338) 至 < 9.4 (0.370)
168.3 (6.625) 至 < 219.1 (8.625)	≥ 11.7 (0.460)	9.2 (0.361) 至 < 11.7 (0.460)	8.5 (0.333) 至 < 9.2 (0.361)	7.6 (0.301) 至 < 8.6 (0.333)
219.1 (8.625) 至 < 273.1 (10.750)	≥ 11.4 (0.449)	8.9 (0.350) 至 < 11.4 (0.449)	8.1 (0.317) 至 < 8.9 (0.350)	6.5 (0.257) 至 < 8.1 (0.317)
273.1 (10.750) 至 < 323.9 (12.750)	≥ 11.2 (0.442)	8.7 (0.343) 至 < 11.2 (0.442)	7.9 (0.310) 至 < 8.7 (0.343)	6.2 (0.245) 至 < 7.9 (0.310)
323.9 (12.750) 至 < 355.6 (14.000)	≥ 11.1 (0.438)	8.6 (0.339) 至 < 11.1 (0.438)	7.8 (0.306) 至 < 8.6 (0.339)	6.1 (0.241) 至 < 7.8 (0.306)
355.6 (14.000) 至 < 406.4 (16.000)	≥ 11.1 (0.436)	8.6 (0.337) 至 < 11.1 (0.436)	7.7 (0.304) 至 < 8.6 (0.337)	6.1 (0.239) 至 < 7.7 (0.304)
≥ 406.4 (16.000)	≥ 11.0 (0.433)	8.5 (0.334) 至 < 11.0 (0.433)	7.7 (0.301) 至 < 8.5 (0.334)	6.0 (0.236) 至 < 7.7 (0.301)
注 1 如表所示的横向试样尺寸限制是基于未压平、圆弧端试样。见 P.8。				
注 2 对于两个单位制，直接计算每个规定壁厚值（即，在单位制之间没有转换）。				
^a 取自未压平试块，横切钢管或焊缝轴向的试样，取适用者。				

尺寸单位为毫米（英寸）



说明

1 采用机加工或氧气切割方法，或结合两种方法加工的长边

2 焊缝

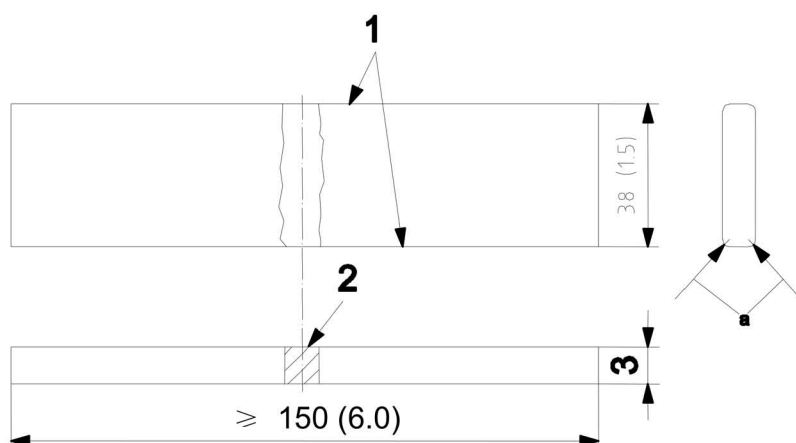
3 壁厚

a 半径 r 应 $\leq$ 1.6（0.063）。

a) SAW 和 COW 管

图 8—导向弯曲试验试样

尺寸单位为毫米（英寸）

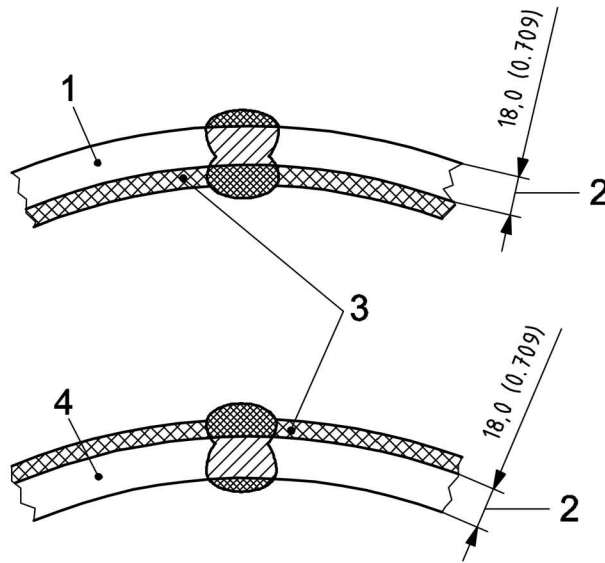


说明

- 1 采用机加工或氧气切割方法，或结合两种方法加工的长边
- 2 焊缝
- 3 壁厚
- a 半径 r 应 ≤ 1.6 (0.063)。

b) $D \geq 323.9 \text{ mm}$ (12.750 in) 的 LW 管

尺寸单位为毫米（英寸）



说明

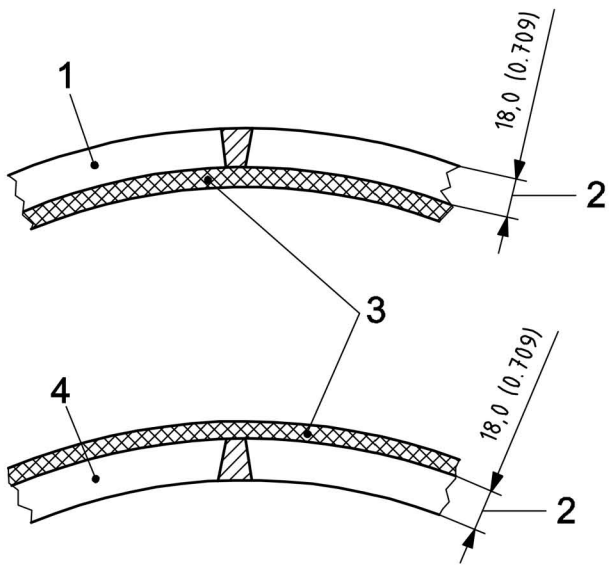
- 1 正弯试样
- 2 减薄壁厚
- 3 在压平前后去除的材料
- 4 反弯试样

应采用壁厚 $t=19.0\text{ mm}$ (0.748 in)的钢管所使用的弯模尺寸

c) 减薄壁厚试样 $t > 19.0\text{ mm}$ (0.748 in.)]SAW 和 COW 管选用

图 8 — 导向弯曲试验试样（续）

尺寸单位为毫米（英寸）



说明

- 1 正弯试样
- 2 减薄壁厚
- 3 在压平前或后去除的材料
- 4 反弯试样

应采用壁厚 $t=19.0\text{ mm}$ (0.748 in) 的钢管所使用的弯模尺寸

d) 减薄壁厚试样 [$t > 19.0\text{ mm}$ (0.748 in) LW 管选用]

图 8 — 导向弯曲试验试样（续）

10.2.4 试验方法

10.2.4.1 产品分析

除订货时另有协议外，由制造商决定选择适用的物理或化学分析方法进行产品分析测定。有争议时，应在双方同意的试验室进行分析试验。在此情况下，双方应协商确定分析方法，有可能时，参考 ISO 9769 或 ASTM A751。

注 ISO 9769 包括现有化学分析国际标准的一个列表，列出各种方法的应用和精确度情况。

10.2.4.2 拉伸试验

拉伸试验应按照 ISO 6892-1 或 ASTM A370 进行。

对于管体拉伸试验，应测定屈服强度、抗拉强度、屈强比（适用时）以及断裂后伸长率百分数。对于钢管焊缝拉伸试验，应进行抗拉强度的测定。

应报告标距长度为 50 mm (2 in) 试样的断裂后伸长率百分数。对于试样标距长度小于 50 mm (2 in) 的试样，应按照 ISO 2566-1 或 ASTM A370，将断裂后测得的伸长率转换为 50 mm (2 in) 长度上的伸长率。

10.2.4.3 CVN 冲击试验

除订货合同中规定 ISO 148-1 和锤头半径（2 mm 或 8 mm）外，夏比冲击试验应符合 ASTM A370 的要求。

10.2.4.4 DWT 试验

DWT 试验应符合 API 5L3 的要求。

10.2.4.5 全截面弯曲试验

弯曲试验应符合 ISO 8491 或 ASTM A370 的要求。

对于每个试验批，应将合适长度的全截面试样围绕直径不大于 $12D$ 的弯模冷弯至 90° 。

10.2.4.6 导向弯曲试验

导向弯曲试验应符合 ISO 5173 或 ASTM A370 的要求。

弯模直径 A_{gb} [用 mm (in) 表示] 不应大于用公式 (5) 确定的数值，计算结果圆整至最邻近的 1 mm (0.1 in)：

$$A_{gb} = \frac{1.15(D - 2t)}{\left(\varepsilon \frac{D}{t} - 2\varepsilon - 1\right)} - t \quad (5)$$

式中：

D 规定外径，用 mm (in) 表示；

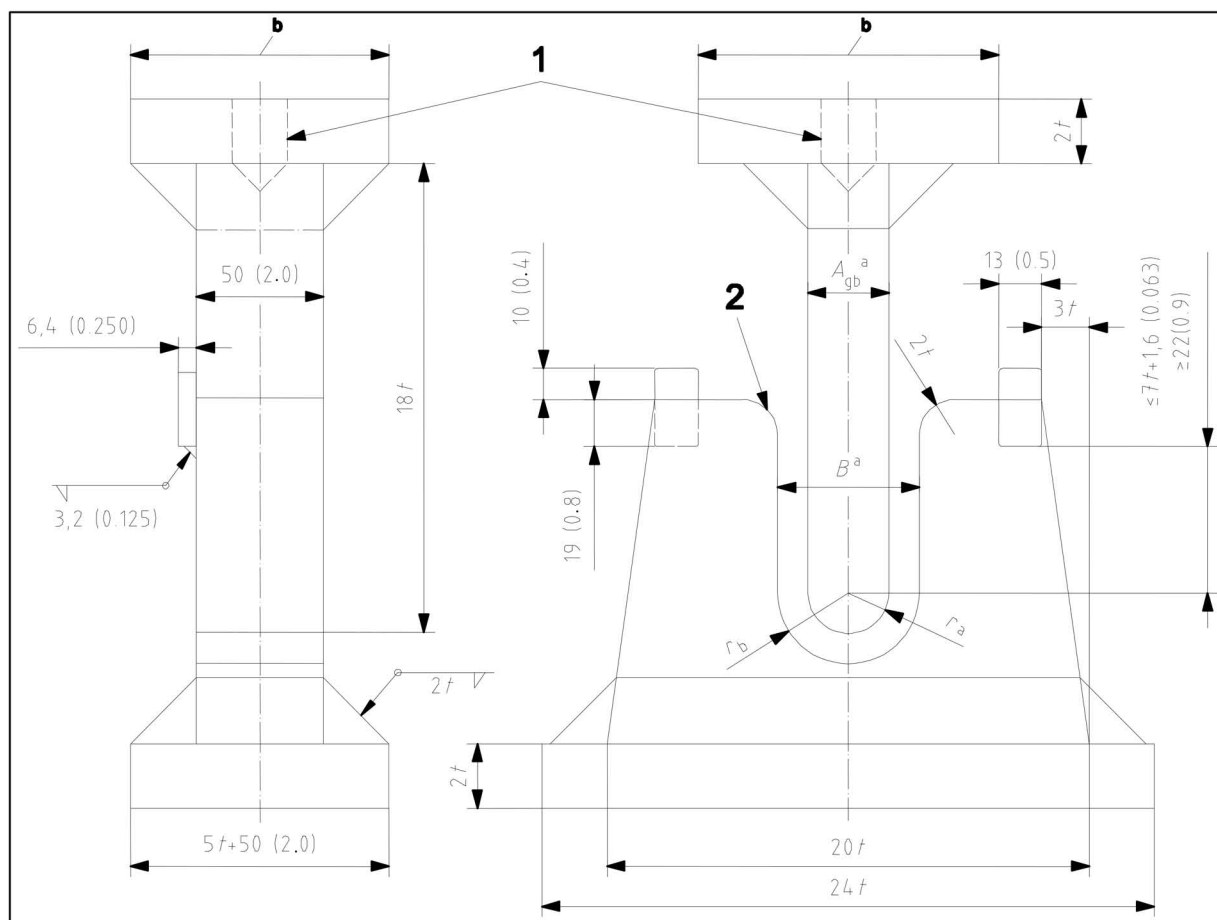
t 规定壁厚，当使用全壁厚试样时，用 mm (in) 表示。当使用壁厚减薄试样时，为 19 mm (0.748 in)；

ε 应变，见表 23；

1.15 尖峰系数。

两个试样均应在图 9 所示的弯模内弯曲 180° 。试验时一个试样的焊缝背面直接与弯模接触；另一个试样的焊缝正面直接与弯模接触。

尺寸单位为毫米（英寸）



说明

- 1 螺纹安装孔
- 2 台肩, 硬化并润滑, 或硬化圆辊;

$$B \quad A_{gb} + 2t + 3.2 \text{ mm (0.125 in.)}$$

r_a 导向弯曲试验阳模半径

r_b 导向弯曲试验阴模半径

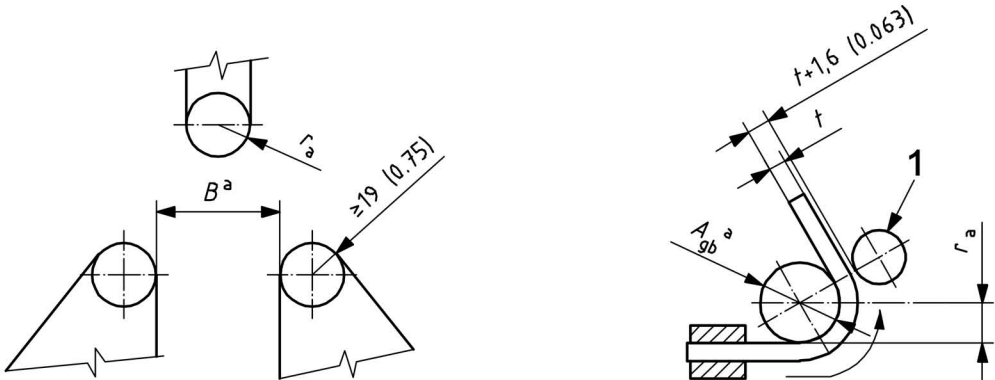
a API 长期在 API 5L 和 API 5CT[21] 中使用这些符号。

b 根据需要。

a) 阳模式

图 9 — 导向弯曲试验弯模

尺寸单位为毫米（英寸）



说明

- 1 辊子
- B $A_{gb} + 2t + 3.2 \text{ mm (0.125 in.)}$
- a API 长期在 API 5L 和 API 5CT[21] 中使用这些符号。

b) 可调式

c) 包卷式

Figure 9 — 导向弯曲试验弯模（续）

表 23 — 导向弯曲试验应变值

钢管等级	应变值 ^a ϵ
L210 或 A	0.1650
L245 或 B	0.1375
L290 或 X42	0.1375
L320 或 X46	0.1325
L360 或 X52	0.1250
L390 或 X56	0.1175
L415 或 X60	0.1125
L450 或 X65	0.1100
L485 或 X70	0.1025
L555 或 X80	0.0950
L625 或 X90	0.0850
L690 或 X100	0.0800
L830 或 X120	0.0675

^a 中间钢级的应变值应根据规定最小抗拉强度，采用插入法获得，插入值圆 整到最邻近的 0.0025 倍。

10.2.4.7 压扁试验

压扁试验应符合 ISO 8492 或 ASTM A370 的要求。

如图 6 所示, 在钢带(卷)两端部分[分别对应于用钢带(卷)头尾生产的两根钢管的一端]各取一组两个试样, 应将其中两个试样的焊缝置于 6 点或 12 点位置进行压扁试验, 而将剩余两个试样的焊缝置于 3 点或 9 点压扁。

对于停焊时从切断端截取的试样, 应将焊缝置于 3 点或 9 点位置进行压扁试验。

10.2.4.8 硬度试验

当外观检查发现可疑硬块时, 应使用便携式硬度试验仪(根据所采用的仪器, 其方法应分别符合 ASTM A956、ASTM A1038 或 ASTM E110 的要求), 按照 ISO 6506、ISO 6507、ISO 6508 或 ASTM A370 的要求进行硬度试验。

10.2.5 宏观检验和金相检验

10.2.5.1 除 10.2.5.2 允许外, 应采用宏观检验对埋弧焊(SAW)和组合焊(COW)管的内外焊缝焊偏[见图 4 d)和图 4 e)]进行查验。

10.2.5.2 只要检测设备检查焊偏的能力得以证实, 如果有协议, 可采用替代方法(如超声检验)进行检验。如果采用替代方法, 在各规定外径和规定壁厚尺寸组合的钢管开始生产时, 应进行宏观检验。

10.2.5.3 要求进行焊缝热处理的钢管(见 8.8.1 或 8.8.2 中的适用者), 应进行金相检验以验证整个 HAZ 在全壁厚方向均已进行了适当的热处理。对于不要求进行焊缝热处理的钢管(见 8.8.1), 应进行金相检验, 以验证没有残留未回火马氏体。

另外, 可协议硬度试验和最大硬度值。

对于使用定位焊缝生产的埋弧焊(SAW)管焊缝, 定位焊缝与最终焊缝的熔化和结合应由宏观检验进行验证。[见 8.4.2 a)]

10.2.6 静水压试验

10.2.6.1 所有尺寸无缝(SMLS)管和 $D \leq 457 \text{ mm}$ (18.000 in) 焊管的稳压时间不应少于 5 秒。 $D > 457 \text{ mm}$ (18.000 in) 焊管的稳压时间不应少于 10 秒。对加工有螺纹和带接箍钢管, 除 $D > 323.9 \text{ mm}$ (12.375 in) 钢管可在平端状态下进行试验外, 如果有协议, 钢管应带上机紧的接箍进行试验。接箍手紧状态交货的钢管, 除订货合同规定特定状态外, 钢管可在平端、仅加工有螺纹或带接箍状态下进行静水压试验。

10.2.6.2 为保证每根钢管能在要求的试验压力下进行静水压试验, 每台试验机(连续炉焊管试验机除外)应配备能记录每根钢管试验压力和试验稳压时间的记录仪, 或配备刚性连接的自动或连锁装置, 以防止在未满足试验要求(试验压力和稳压时间)前, 将钢管判为已试压钢管。静水压试验记录或记录曲线应供购方检验人员在制造厂内检查。试验压力测量装置应在每次使用前四个月内, 采用静重压力校准仪或等效设备校准。由制造商选择, 可采用比规定要求高的试验压力。

注 在所有情况下，规定试验压力表现为仪器压力值，仪器压力值在规定稳压时间内不得低于规定试验压力。

10.2.6.3 薄壁螺纹钢管的试验压力应符合表 24 的规定。

10.2.6.4 厚壁螺纹钢管的试验压力应符合表 25 的规定。

表 24 — 薄壁螺纹钢管试验压力

规定外径 <i>D</i> mm (in.)	规定壁厚 <i>t</i> mm (in.)	试验压力 MPa (psi) 最小			
		钢级			
		L175 或 A25	L175P 或 A25P	L210 或 A	L245 或 B
10.3 (0.405)	1.7 (0.068)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)
13.7 (0.540)	2.2 (0.088)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)
17.1 (0.675)	2.3 (0.091)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)
21.3 (0.840)	2.8 (0.109)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)
26.7 (1.050)	2.9 (0.113)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)
33.4 (1.315)	3.4 (0.133)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)	4.8 (700)
42.2 (1.660)	3.6 (0.140)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)
48.3 (1.900)	3.7 (0.145)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)
60.3 (2.375)	3.9 (0.154)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)
73.0 (2.875)	5.2 (0.203)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)
88.9 (3.500)	5.5 (0.216)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)	6.9 (1000)
101.6 (4.000)	5.7 (0.226)	8.3 (1200)	8.3 (1200)	8.3 (1200)	9.0 (1300)
114.3 (4.500)	6.0 (0.237)	8.3 (1200)	8.3 (1200)	8.3 (1200)	9.0 (1300)
141.3 (5.563)	6.6 (0.258)	8.3 (1200)	8.3 (1200)	8.3 (1200)	9.0 (1300)
168.3 (6.625)	7.1 (0.280)	a	a	8.3 (1200)	9.0 (1300)
219.1 (8.625)	7.0 (0.277)	a	a	7.9 (1160)	9.2 (1350)
219.1 (8.625)	8.2 (0.258)	a	a	9.3 (1340)	10.8 (1570)
273.1 (10.750)	7.1 (0.280)	a	a	6.5 (940)	7.5 (1090)
273.1 (10.750)	7.8 (0.307)	a	a	7.1 (1030)	8.3 (1200)
273.1 (10.750)	9.3 (0.365)	a	a	8.5 (1220)	9.8 (1430)
323.9 (12.750)	8.4 (0.330)	a	a	6.4 (930)	7.5 (1090)
323.9 (12.750)	9.5 (0.375)	a	a	7.3 (1060)	8.5 (1240)
355.6 (14.000)	9.5 (0.375)	a	a	6.6 (960)	7.7 (1130)
406.4 (16.000)	9.5 (0.375)	a	a	5.8 (840)	6.8 (980)
457 (18.000)	9.5 (0.375)	a	a	5.2 (750)	6.0 (880)
508 (20.000)	9.5 (0.375)	a	a	4.6 (680)	5.4 (790)
a 不适用。					

表 25 — 厚壁螺纹钢管试验压力

规定外径 <i>D</i> mm (in.)	规定壁厚 <i>t</i> mm (in.)	试验压力 MPa (psi) 最小			
		钢级			
		L175 或 A25	L175P 或 A25P	L210 或 A	L245 或 B
10.3 (0.405)	2.4 (0.095)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)
13.7 (0.540)	3.0 (0.119)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)
17.1 (0.675)	3.2 (0.126)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)
21.3 (0.840)	3.7 (0.147)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)
26.7 (1.050)	3.9 (0.154)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)
33.4 (1.315)	4.5 (0.179)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)	5.9 (850)
42.2 (1.660)	4.9 (0.191)	9.0 (1300)	9.0 (1300)	10.3 (1500)	11.0 (1600)
48.3 (1.900)	5.1 (0.200)	9.0 (1300)	9.0 (1300)	10.3 (1500)	11.0 (1600)
60.3 (2.375)	5.5 (0.218)	9.0 (1300)	9.0 (1300)	17.0 (2470)	17.0 (2470)
73.0 (2.875)	7.0 (0.276)	9.0 (1300)	9.0 (1300)	17.0 (2470)	17.0 (2470)
88.9 (3.500)	7.6 (0.300)	9.0 (1300)	9.0 (1300)	17.0 (2470)	17.0 (2470)
101.6 (4.000)	8.1 (0.318)	11.7 (1700)	11.7 (1700)	19.0 (2760)	19.0 (2760)
114.3 (4.500)	8.6 (0.337)	11.7 (1700)	11.7 (1700)	18.7 (2700)	19.0 (2760)
141.3 (5.563)	9.5 (0.375)	11.7 (1700)	11.7 (1700)	16.7 (2430)	19.0 (2760)
168.3 (6.625)	11.0 (0.432)	a	a	16.2 (2350)	18.9 (2740)
219.1 (8.625)	12.7 (0.500)	a	a	14.4 (2090)	16.8 (2430)
273.1 (10.750)	12.7 (0.500)	a	a	11.6 (1670)	13.4 (1950)
323.9 (12.375)	12.7 (0.500)	a	a	9.7 (1410)	11.3 (1650)
a 不适用。					

10.2.6.5 除 10.2.6.6、10.2.6.7 和表 26 脚注允许外，平端钢管的静水压试验压力 *P*[用 MPa (psi) 表示] 应按照公式 (6) 计算，计算结果圆整到最邻近的 0.1 MPa (10 psi)：

$$P = \frac{2St}{D}$$

(6)

式中：

- S* 环向应力，其数值等于表 26 所示百分数与钢管规定最小屈服强度的乘积，单位 MPa (psi)；
- t* 规定壁厚，用 mm (in) 表示；
- D* 规定外径，用 mm (in) 表示；

表 26 — 用于确定 S 的规定最小屈服强度百分数

钢管等级	规定外径 <i>D</i> mm (in.)	确定 S 的规定最小屈服强度百分数	
		标准试验压力	选用试验压力
L175 或 A25	≤141.3 (5.563)	60 ^a	75 ^a
L175P 或 A25P	≤141.3 (5.563)	60 ^a	75 ^a
L210 或 A	任意	60 ^a	75 ^a
L245 或 B	任意	60 ^a	75 ^a
L290 或 X42 至 L830 或 X120	≤141.3 (5.563)	60 ^b	75 ^c
	> 141.3 (5.563) 至 219.1 (8.625)	75 ^b	75 ^c
	> 219.1 (8.625) 至 < 508 (20.000)	85 ^b	85 ^c
	≥ 508 (20.000)	90 ^b	90 ^c

^a *D* ≤ 88.9 mm (3.500 in) 钢管，试验压力不需超过 17.0 MPa (2470 psi)；*D* > 88.9 mm (3.500 in) 钢管，试验压力不需超过 19.0 MPa (2760 psi)。

^b 试验压力不需超过 20.5 MPa (2970 psi)。

^c *D* ≤ 406.4 mm (16.000 in) 钢管，试验压力不需超过 50.0 MPa (7260 psi)；*D* > 406.4 mm (16.000 in) 钢管，试验压力不需超过 25.0 MPa (3630 psi)。

10.2.6.6 如果在静水压试验中采用了产生轴向压应力的端面密封堵头，当规定试验压力产生的环向应力超过规定最小屈服强度的 90 % 时，静水压试验压力 *P* [用 MPa (psi) 表示] 可用公式 (7) 确定，计算结果圆整到最邻近的 0.1 MPa (10 psi)：

$$P = \frac{S - \left(\frac{P_R \times A_R}{A_p} \right)}{\frac{D}{2t} - \frac{A_I}{A_p}} \quad (7)$$

式中：

- S* 环向应力，MPa (psi)；其数值等于表 26 所示百分数与钢管规定最小屈服强度的乘积；
- P_R* 端面密封液压缸内压力，MPa (psi)；
- A_R* 端面密封液压缸横截面积，mm² (in²)；
- A_p* 管壁横截面积，mm² (in²)；
- A_I* 钢管内径横截面积，mm (in)；
- D* 规定外径，用 mm (in) 表示；
- t* 规定壁厚，用 mm (in) 表示；

10.2.6.7 只要使用的环向应力至少为钢管规定最小屈服强度的 95 % 时，如果有协议，可用最小允许壁厚 *t_{min}* 代替规定壁厚 *t*，以确定要求的试验压力（见 10.2.6.5 或 10.2.6.6，取适用者）。

10.2.7 外观检查

10.2.7.1 除 10.2.7.2 允许外，每根钢管应至少在 300 lx (28 fc) 的光照度下进行外观检查，以检查表面缺陷。此项检查应覆盖整个钢管的外表面，且在实际操作时，应尽可能多的包括钢管内表面。

注 通常情况下，大直径埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管的整个内表面的外观检查，应在钢管 的里面进行。

10.2.7.2 外观检查可用已证实具有检测表面缺陷能力的其他方法代替。

10.2.7.3 外观检查应由符合以下要求的人员进行：

- a) 经过检测和评定表面缺欠的培训；
- b) 具有符合 ISO 11484 或 ASNT SNT-TC-1A 或相当标准相应要求的视觉敏锐度。

10.2.7.4 应检查冷成型焊管表面轮廓的几何形状偏差。如果发现表面不规则不是由机械损伤造成，而是显示由硬块造成，应检测该区域的尺寸，如果必要时还应检测该区域的硬度。由制造商 选择硬度试验方法。如果硬度和尺寸超过 9.10.6 的验收标准，则应根据 9.10.7 和附录 C 的要求 将硬块去除。

10.2.8 尺寸检验

10.2.8.1 每工作班每 4 小时至少应测量一次钢管直径以验证是否符合表 10 的直径偏差。除订 货合同规定专用方法外，应使用卷尺，或相适应的千分尺、环规、卡规、卡尺、椭圆度仪、坐标 测量仪或光学测量仪器测量直径。除另有协议外，对于 $D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 钢管，有争议 时，应采用卷尺进行仲裁。

注 1 用于测量钢管直径的环规通常制作成特定尺寸，以适用于各种规格钢管的测量；其采用尺寸稳定的材料制成，如钢、铝和其他允许的材料；结构坚固，但足够轻巧，便于检查人员操作。环规的设计 通常包含手柄，便于检查人员准确并安全地将环规放置在钢管内部或外部。内环规的直径通常比钢 管的公称内径小 3.2 mm (0.125 in)。外环规的镗孔直径不超过钢管的规定外径与允许直径偏差的和。检验埋弧焊管的环规上可以刻槽或开沟，以便环规能通过凸起的焊缝。必须允许环规在钢管内部或外部，通过至少 100 mm (4.0 in) 范围的钢管管端。

注 2 坐标测量仪是设计用于追踪移动测量探头的机械系统，该探头用来测量工件表面上的坐标点。

10.2.8.2 每工作班每 4 小时至少应检测一次钢管的不圆度。除 10.2.8.3 允许外，不圆度应由同 一横截面上测得的最大外径和最小外径的差值确定。

注 由于被测钢管与相邻钢管产生的弹性变形，所以在管垛上测量的不圆度无效。

10.2.8.3 如果有协议，非扩径管和 $D \geq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 的扩径管，应测量内径以确定是否满足直径偏差的要求。不圆度应由同一横截面上测得的最大内径和最小内径的差值确定。

10.2.8.4 应在埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管端焊缝处，用模板测量扁平块和噤嘴相 对于钢管理论轮廓的最大偏离，模板垂直于钢管轴向，且长度为 $0.25D$ 或 200 mm (8.0 in) [取较小者]。

10.2.8.5 应测量每根钢管的壁厚，以判断是否符合规定壁厚的要求。除焊缝不受正偏差限制外，任何位置的壁厚均应符合表 11 规定的偏差要求。壁厚测量应采用机械式卡尺或经过严格校准的具有适当精度的无损检测装置进行。在有争议的情况下，壁厚应采用机械式卡尺进行测量。机械卡尺应装有触杆。对尺寸不小于 168.3 mm (6.625 in) 的钢管，球面最大半径为 38.1 mm (1.5 in)；对尺寸小于 168.3 mm (6.625 in) 的钢管，球面最大半径为 $D/4$ ，最小半径为 3.2 mm (0.125 in)。与钢管外表面接触的触杆端头可为平端，也可半径不小于 31.2 mm (1.25 in) 的球面。

10.2.8.6 对加工有螺纹和带接箍钢管，长度应测量至接箍的外端面。在给接箍长度预留适当余量的条件下，可在上接箍前测量钢管的长度。

10.2.8.7 应使用适当的方法验证钢管对 9.11~9.13 规定的钢管尺寸和几何形状的符合性。除订货合同中规定特殊方法外，应由制造商决定选择所测量的方法。

10.2.9 称重

对于 $D \geq 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 钢管，除焊接对接管应允许单独称重组对接管的管段或称重对接管外，每根钢管应逐根称重。对于 $D < 141.3 \text{ mm}$ (5.563 in) 钢管，由制造商选择每根钢管逐根称重或以方便的钢管组称重。

加工有螺纹和带接箍钢管应按照以下两种方式之一称重：

- a) 对于带接箍但不带螺纹保护器的钢管，除订货批不小于 18 公吨 (20 美吨) 外，应适当估算螺纹保护器的重量；
- b) 在带接箍之前称重，条件为估算接箍的重量。

10.2.10 无损检验

无损检验应符合附录 E 的规定。

10.2.11 重新处理

如果一批钢管的任一力学性能试验结果不符合相应要求，制造商可根据表 3 的要求选择对该批钢管进行热处理，将其视为一个新的试验批，按照适用于订货批的 10.2.12 和 10.2.4 的所有要求进行试验，且根据本标准的适用要求进行处理。经过一次重新热处理后，再次进行的任何热处理应经购方同意。

对于非热处理钢管，任何再次热处理应经购方同意。对于热处理钢管，进行不同类型的再次热处理（见表 3）应经购方同意。

10.2.12 复验

10.2.12.1 复查分析

如果代表某一熔炼炉产品分析的两个试块均不符合规定要求，由制造商选择：或者拒收该熔炼炉，或者对该熔炼炉剩余的产品逐个进行试验，以检验是否符合规定要求。如果代表该熔炼炉的产品分析试块仅有一

个不符合要求，由制造商选择：或者拒收该熔炼炉，或者从该熔炼炉中加 取两个试块进行复验。如果两个复 验 试 块 均 符 合 要 求 ， 除 初 始 不 合 格 样 的 取 样 钢 管 、 钢 板 或 钢 带（卷）外，应接收该熔炼炉。如果一个或两个复验试块均不符合要求，由制造商选择：或拒收该 熔炼炉，或对该熔炼炉剩余产品逐个进行检验，以检验是否符合规定要求。

逐个检验时，仅需分析不合格元素。

复验用试块应取自与产品分析试块相同的规定位置。

10.2.12.2 拉伸试验复验

拉伸试验复验条款如下：

- a) 所有 PSL1 产品，交货状态为 R、N 和 Q 的 PSL2 产品以及交货状态为 M 且钢级低于 L450/X65 的 PSL2 产品。（见表 2 和表 3）

如果代表一个钢管试验批的拉伸试验试样不符合规定要求，制造商可选择从同一试验 批钢管中加取两根钢管进行复验。如果两个复验试样均符合要求，除初始不合格试样的取样 管外，应接收该试验批的所有钢管。如果有一个或两个复验试样不符合规定要求，制造商可选择对该试验批剩余钢管 逐根进行试验。复验试样应采用与未能满足最低要求的试样相同的方式制取。复验用试样应按照与不合格试样相同的方法截取。如适用，应按 10.2.11 的规定重新处理。

- b) 对钢级不小于 L450/X65 的交货状态为 M 的 PSL2 产品（见表 3）

如果代表该试验批的拉伸试样不符合规定要求，制造商可选择从同一试验批中加取两 根钢管进行复验。复验用试样应采用与最初不合格试样相同的取样方法截取，但如果适用， 宜是来自不同母带（卷）或母板的两根钢管。如果有一个或两个复验试样不符合规定要求，制造商可选择对该试验批剩余钢管 逐根进行试验。复验试样应采用与未能满足最低要求的试样相同的方式制取。如果有一个或两个复验试样不符合规定要求，制造商可选择对该试验批的剩余钢管逐根进 行试验 。这些钢管应采用下列一种方式处置：

- 1) 应拒收所有钢管；或
- 2) 该试验批的每根钢管都应试验，接收试验合格的钢管；
- 3) 如果单根钢管能追溯到母带（卷）/母板位置，制造商应在初始试验不合格钢管所在母带（卷）或母板上[适用时考虑邻近的子带（卷）或子板]，在邻近该不合格钢管（之前、之后和两边，如适用）处增加取样对钢管进行试验。钢管试验应持续直至由该母带（卷）/母板制造的不合格钢管周围的钢管试验结果符合要求。应拒收来自不符合要求的母带（卷）/母板部位制造的钢管，接收该试验批剩余钢管。

如适用，重新处理应按照 10.2.11 定义。

10.2.12.3 压扁试验复验

压扁试验复验条款如下：

- a) 以单根方式生产的钢级高于 L175 或 A25 的非扩径电焊管和管径小于 323.9 mm (12.750 in) 的非扩径激光焊管时：

只要成品钢管的长度不小于其初次切成长度的 80%，制造商可选择对任何不合格管端 进行复验，直至满足要求。

- b) 以多根方式生产的钢级高于 L175 或 A25 的非扩径电焊管和管径小于 323.9 mm (12.750 in) 的非扩径激光焊管时：

如果该压扁试验中一个或多个试验不符合规定要求，制造商可选择在切掉该缺陷管端 后对该管端进行复验。或者，制造商也可选择拒收有缺陷的该根钢管，并复验下一根钢管 的邻近管端。复验应由两个试样组成，一个将焊缝置于 0° 进行试验，另一个将焊缝置于 90° 进行试验。如果该复验结果不符合规定要求，制造商可选择拒收以一带多根方式生产的受 影响的钢管，也可选择逐根复验该钢带（卷）制造的其他剩余钢管的每一端，试验交替置 于 0° 和 90° 位置进行。如果该复验结果符合规定要求，则接收该一带多根方式生产的剩余 钢管。

- c) 钢级高于 L175/A 25 的冷扩径电焊管，尺寸 ≥ 60.3 mm（2.875 in）钢级为 L175/A 25 的所有焊管以及管径 < 323.9 mm（12.750 in）的冷扩径激光焊管：

制造商可选择在同一试验批钢管中加取两根钢管，对每根钢管的一端进行复验。如果两个复验试样结果均符合规定要求，除初始不合格的钢管外，接收该试验批的所有钢管。如果有一个或两个复验试验均不合格，制造商可选择逐根对该批剩余钢管的一端取样进行复验。

如适用，应按 10.2.11 的规定重新处理。

10.2.12.4 弯曲试验复验

如果试样不符合规定要求，制造商可选择在同一试验批钢管加取的两根钢管上截取试样进行 复验。如果每个复验试样均符合规定要求，除初始不合格试样的取样管外，接收该试验批的每一根钢管。如果有一个或一个以上复验试样不符合规定要求，制造商可选择对该试验批剩余钢管逐根 进行复验。

如适用，应按 10.2.11 的规定重新处理。

10.2.12.5 导向弯曲试验复验

如果一个或两个试样不符合规定要求，制造商可选择在同一试验批加取的两根钢管上截取试样进行复验。如果这些试样符合规定要求，除初始选取的样管外，该试验批的每根钢管应为可接收的。如果任一复验试样不符合规定要求，制造商可选择对该试验批剩余钢管逐根取样进行试验，也可选择对任一不合格管，采用在同端返切并加取两个试样的方法进行复验。如果加取试样均符合原试验要求，则接收该根钢管。不允许再次返切和复验。复验用试样应按照表 19、表 20 和 10.2.3.6 的要求截取。

如适用，应按 10.2.11 的规定重新处理。

10.2.12.6 夏比冲击试验复验

当一组夏比冲击试验试样不符合验收标准时，制造商可选择替换本试验批涉及的材料，或从该试验批中再抽取两根钢管进行试验。如果两个新试验均符合验收标准要求，除初始取样管外，应判该试验批的所有钢管合格。如果两个试验中任一试验不合格，应对该试验批的每根钢管进行试验。

如适用，应按 10.2.11 的规定重新处理。

10.2.12.7 硬度试验复验

如果代表一个试验批钢管的硬度试验试样不符合规定要求，制造商可选择在同一试验批加取两根钢管进行复验。如果两个复验试样都符合规定要求，除原始试样取样的钢管外，应接收该试验批每根钢管。如果有一个或两个复验试样不符合规定要求，制造商可选择对该试验批剩余钢管逐根进行试验。复验试样应采用与未能满足最低要求的试样相同的方式制取。如适用，重新处理应按照 10.2.11 定义。

如适用，应按 10.2.11 的规定重新处理。

10.2.12.8 DWT 试验复验

当一组 DWT 试验试样不符合验收标准时，制造商可选择替换本试验批涉及的材料，或从该试验批中再抽取两根钢管进行试验。如果两个新试验均符合验收标准要求，除初始取样管外，应接收判该试验批的每根钢管合格。如果两个试验中任一试验不合格，应对该试验批的每根钢管进行试验。复验试样应采用与未能满足最低要求的试样相同的方式制取。

如适用，应按 10.2.11 的规定重新处理。

11 标记

11.1 总则

11.1.1 适用时，制造商应按照与 11.2.1 条款 a) 至 j) 规定相同的标记顺序，对按照本标准制造的钢管和钢管接箍进行标记。

注 要求的标志拟用在一条直线上。如果规定标记的信息按照从左到右，从上到下的顺序读取时，允许将标志环绕钢管标记在多条平行线上。

11.1.2 接箍上的标志应采用字模压印法制作，或如果有协议，采用模版漆印法制作。

11.1.3 当订货合同要求提供 API 5L 钢管时，应要求表明 5L 规范 API 5L 的标志。

11.1.4 当制造商希望或订货合同规定时，可在钢管上标识附加标志，但附加标志不应打乱 11.2.1 a) 至 j)（如适用）规定的标记顺序。这些附加标识应位于本标准要求的标志之后，或者单独标 记在钢管其他位置。

11.2 钢管标志

11.2.1 适用时，钢管标志应顺次包含下列信息：

- a) 钢管制造商的名称或标记（X）；
- b) 当产品完全满足本规范、相应附录以及本章节要求时，应标识“API Spec 5L”。符合 多个兼容标准的产品，可将各个标准名称进行标记；
- c) 规定外径；
- d) 规定壁厚；
- e) 钢管钢级（钢名）（见表 1、表 H.1 或表 J.1，选适用者），如果有协议，USC 与 SI 钢级代号标记在钢管上，订货批钢管钢级在前，与之相对应的另一种钢管钢级代号紧随其后；
- f) 如果附录 G 适用（见 G.5.1），产品规范水平 (PSL) 标记后紧跟字母 G；
- g) 钢管类型（见表 2）；
- h) 适用时，用户检查代表的标记（Y）；
- i) 适用时，表明产品或交货单元（例如钢管捆）与相应检验文件关系的标识代号（Z）。
- j) 当规定的静水压试验压力高于表 24 或表 25 的适用压力时，或者超过表 26 中脚注 a、b 或 c 的适用试验压力要求时，应在标志尾部标记“TESTED”字样，紧随其后标记出规定的试验压力值（如果要求用 USC 制时，单位为 psi；如果要求用 SI 制时，单位为 MPa）。

示例 1 SI 单位制：

 X API Spec 5L 508 12.7 L360M PSL 2 SAWL Y Z

示例 2 USC 单位制：

 X API Spec 5L 20 0.500 X52M PSL 2 SAWL Y Z

示例 3 SI 单位制，当钢管同时满足兼容标准 ABC 时：

 X API Spec 5L/ABC 508 12.7 L360M PSL2 SAWL Y Z

示例 4 USC 单位制，当钢管同时满足兼容标准 ABC 时：
 X API Spec 5L/ABC 20 0.500 X52M PSL 2 SAWL Y Z

示例 5 当静水压试验压力与标准压力不同时（以 SI 制试验压力 17.5 MPa 为例）：

 X API Spec 5L 508 12.7 L360M PSL 2 SAWL Y Z TESTED 17.5

示例 6 当静水压试验压力与标准压力不同时（以 USC 制试验压力 2540 MPa 为例）：

 X API Spec 5L 20 0.500 X52M PSL2 SAWL Y Z TESTED 2540

示例 7 对于 USC 单位制，相应钢级和适用附录 G 的标识如下：

X API Spec 5L 20 0.500 X52M L360M PSL2G SAWL Y Z

示例 8 对于 SI 单位制，相应钢级和适用附录 G 的标识如下：

X API Spec 5L 508 12.7 L360M X52M PSL2G SAWL Y Z

注 USC 单位制的规定钢管外径，不需包括小数点符号右边末尾的零。

11.2.2 如果拟使用 API 会标[见 7.2 c) 61)]，附录 A 和附录 O 的要求适用。

11.2.3 除 11.2.4 和 11.2.5 允许外，应按照以下要求牢固清楚地制作标志：

a) $D \leq 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 钢管，应在以下一个或多个位置做标志：

- 1) 固定在钢管捆的标签上，
- 2) 捆系钢管捆的带子或捆绑带夹片上，
- 3) 每根钢管的一端，或
- 4) 沿钢管长度方向连续制作。

b) 除订货合同中有特殊表面规定外， $D > 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 的钢管标志应为：

- 1) 在钢管外表面，距钢管一端 450 mm 至 760 mm (1.5 ft 至 2.5 ft) 之间的一点开始，按照 11.2.1 所列顺序制作标志，或
- 2) 在钢管内表面上，距钢管一端至少 150 mm (6.0 in) 处开始制作标志。

11.2.4 如果有协议，可在钢管表面采用低应力字模压印法或振动蚀刻法制作标志，但有以下限制：

- a) 这些标志应在钢管坡口面上或距钢管一端 150 mm (6.0 in) 以内。
- b) 这些标志与任一焊缝处至少相距 25 mm (1.0 in)。

- c) 随后不进行热处理的钢板、钢带（卷）或钢管，仅可使用圆头或钝头字模做冷态字模压印[温度 $< 100^{\circ}\text{C}$ (210°F)]。
- d) 除另有协议且在订货合同中规定外，禁止采用冷态字模压印法对规定壁厚不超过 4 mm (0.156 in) 的钢管和钢级高于 L175 或 A25 随后不进行热处理的所有钢管做标志。

11.2.5 如果有协议，随后要进行涂敷的钢管标志可由涂敷商制作，而不在制管厂制作。在这种情况下，应确保可追溯性，例如使用（单根钢管或熔炼炉）唯一的编号。

11.2.6 如果钢管涂敷临时保护性涂层（见 12.1.2）后，标记应清楚可辨。

11.2.7 除 11.2.1 规定的标志外，钢管长度应按照下列要求标识，用 m 表示钢管长度并精确到 0.01 m（用 ft 表示并精确到十分之一英尺），或如果有协议以不同的形式表示。

- a) 对于 $D \leq 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 的钢管捆，应在与钢管捆连接的标签、捆扎带或带夹上标出钢管的总长度。
- b) 除订货合同中有特定表面规定外，对于 $D > 48.3 \text{ mm}$ (1.900 in) 钢管，应在方便的位置标记钢管的单根长度（按成品钢管的测量长度）。
- 1) 在钢管外表面，或
 - 2) 在钢管内表面。
- c) 对于带接箍交货的钢管，应标记测量到接箍外端面的长度。

11.2.8 如果有协议，制造商应在每根钢管内表面上涂刷直径大约为 50 mm (2 in) 的颜色标识。如果钢管等级适用，涂料颜色应符合表 27 的要求；对所有其他钢管等级，应在订货合同中规定涂料颜色。

表 27 — 涂料颜色

钢管等级	涂料颜色
L320 或 X46	黑色
L360 或 X52	绿色
L390 或 X56	蓝色
L415 或 X60	红色
L450 或 X65	白色
L485 或 X70	紫罗兰色
L555 或 X80	黄色

11.3 接箍标志

尺寸为 60.3 mm (2.375 in) 钢管的接箍应标识制造商名称/标记以及“API 5L”。

11.4 多钢级钢管的标志

11.4.1 购方和制造商协议仅允许在下列限制条件内对多钢级钢管进行标识：

a) 在以下钢级范围内可对多钢级钢管进行标识:

- 1) $\leq$ L290 (X42);
- 2) $>$ L290 (X42) 至 $<$ L415 (X60);

b) 钢级 $\geq$ L415 (X60) 的 钢管不允许进行多钢级标识;

c) 仅对一个 PSL 水平的钢管进行多钢级标识。

11.4.2 制造商负责确保钢管符合其公认确定钢级的所有要求。允许钢管作为任一钢级使用。

11.4.3 如果对钢管进行多钢级标识, 应单独发出一个钢管标志中钢级组合的检验文件。该检验文件可包括钢管符合各个钢级要求的特别说明。

11.4.4 钢管交货后, 不允许对钢管再次标识或将其鉴定为另一不同钢级或 PSL 水平 (PSL1 至 PSL2)。

11.5 螺纹标识和证明

11.5.1 由制造商选择, 加工有螺纹的钢管可在靠近螺纹端的钢管上, 采用字模压印或模版漆印方法做标志, 标志内容包括制造商名称或标记 API 5B (表明适用的螺纹规范)、钢管规定 外径及 “LP” (表明螺纹类型)。螺纹标志可适用于标记或未标记 API 会标的产品。

示例 尺寸为 168.3 mm (6.625 in) 加工有螺纹的钢管可做如下标志, 并采用与订货合同规定 的钢管外径相适应的值:

USC 单位制: X API Spec 5B 6.625 LP

或者

SI 单位制: X API Spec 5B 168.3 LP

11.5.2 制造商按照 11.5.1 规定, 使用 “API Spec 5B” 标识作为螺纹符合 API 5B 的证明, 但购方不宜认为凡有此标志的产品, 就整体而言符合任何 API 规范。采用字符 “API Spec 5B” 标志螺纹的制造商应有按照 API 5B 鉴定合格的 API 校对量规。

11.6 钢管加工厂标志

由钢管加工厂 (而非原来的钢管制造商) 进行热处理的钢管应按照第 11 节的相应的小节的要求进行标志。钢管加工厂应去除任何不能表明产品新状态的标志 (例如: 原来的钢级符号、原钢管制造商的名称或标识), 该新状态是由于产品经受热处理而造成的。

当钢管加工厂为钢管制造商的分包商, 原钢管标志不可避免被去除或擦掉, 只要重新标志过程在钢管制造商的控制之下, 分包商可以重新对钢管进行标志。

12 涂层和螺纹保护器

12.1 涂层和内衬

12.1.1 除 12.1.2~12.1.4 允许外, 钢管应以光管 (无涂层) 交货。

12.1.2 如果有协议，钢管应以临时外涂层交货，以避免贮存和运输过程中生锈。涂层摸起来应是硬实的和光滑的，无多余的流挂。

12.1.3 如果有协议，钢管应以特殊涂层状态交货。

12.1.4 如果有协议，钢管应以内衬状态交货。

12.2 螺纹保护器

12.2.1 $D < 60.3 \text{ mm}$ (2.375 in) 的加工有螺纹钢管，螺纹保护器应为适宜的纤维包裹或适宜的金属、纤维或塑料保护器。

12.2.2 $D \geq 60.3 \text{ mm}$ (2.375 in) 的加工有螺纹钢管，螺纹保护器的设计、材料和其力学强度应能在常规搬运和运输状态下，保护螺纹和钢管端部避免其受损。

12.2.3 螺纹保护器应覆盖钢管的螺纹全长，在运输期间和正常储存期间使螺纹与水 and 灰尘隔离，正常储存期间考虑为一年。

12.2.4 螺纹保护器的牙型不应损害钢管螺纹。

12.2.5 螺纹保护器的材料不应含有腐蚀成分，或产生与钢管螺纹粘结的成分，且适于在 $-45^{\circ} \text{C} \sim +65^{\circ} \text{C}$ ($-50^{\circ} \text{F} \sim +150^{\circ} \text{F}$) 范围内使用。

13 记录保存

如适用，下列检验记录应由制造商自交货之日起保存 3 年，且应在购方有要求时提供给购方。

- a) 熔炼分析和产品分析，
- b) 拉伸试验，
- c) 导向弯曲试验，
- d) CVN 试验，
- e) DWT 试验，
- f) 静水压试验机记录曲线或电子版保存记录，
- g) 钢管的射线检验图像，
- h) 如适用，其他的无损检验方法，
- i) 无损检验人员资质，
- j) 对接管焊缝射线检验图像，
- k) 补焊工艺试验，以及
- l) 在附录或订货合同中规定的任何其他试验记录，包括所有焊接工艺规范 (WPS) 和焊接工艺评定试验记录 (WPQT/PQR) (见附录 D 和附录 M)。

14 钢管装载

如果由制造商负责钢管的装运，制造商应准备并遵守装载图表，这些图表包括钢管在卡车、火车、驳船、海轮（选适用者）上安全摆放、保护的细节。装载应防止管端损伤、磨损、尖锐物 敲击和疲劳裂纹。装载应符合任何适用的规则、法规、标准和推荐作法。

注 参见 API RP 5L1 [18] 和 API 5LW[19] 获取补充资料。

附录 A (资料性附录)

API 会标纲要 许可证持有者对 API 会标的使用

A.1 范围

A.1.1 适用性

本附录为规范性（强制性）附录，适用带有 API 会标的产品和在 API 许可的工厂制造的产品；对于所有其他情况，本附录不适用。

A.1.2 通则

API 会标®是美国石油学会 (API) 的注册认证标志，经 API 董事会授权使用。通过 API 会标纲要，API 授权产品制造厂将 API 会标应用于符合产品规范且在符合 API Q1 要求的质量管理体系下制造的产品。API 在 API 复合列表网站 ([www.api.org/composite list](http://www.api.org/composite-list)) 上保存了一份完整的、可搜索的所有会标许可证持有者列表。

API 会标和许可证号在产品上的应用构成了被许可证持有者对 API 和产品购方的陈述和保证，这些产品在指定日期之前是在符合 API Q1 要求的质量管理体系下制造的，并且产品在每个细节上都符合适用标准或产品规范。API 会标纲要许可证仅在现场审核证实组织已实施并持续维护符合 API Q1 要求的质量管理体系，且最终产品满足适用的 API 产品规范和/或标准要求后才予以颁发。尽管任何制造厂在不在产品上印上 API 会标的情况下都可以声称其产品满足 API 产品要求，但只有获得 API 许可的制造厂才能将 API 会标应用于其产品。

本附录与 API 会标许可协议的要求一起，为那些希望自愿获得 API 许可证的组织制定了要求，以提供满足适用 API 产品规范和/或标准和 API 会标纲要要求的 API 会标产品。

有关成为 API 会标许可证持有者的信息，请与 API 认证部 (1220 L Street, NW, Washington, DC 20005) 联系，或致电 202-682-8145，或发送电子邮件至 certification@api.org。

A.2 规范性引用

除本文件前面所列的引用标准外，本附录还引用了下列标准：

API 规范 Q1，石油和天然气工业生产组织质量管理体系要求

按照会标纲要取得许可证者，应使用该文件的最新版本。其中标识的要求是强制性的。

A.3 API 会标纲要：许可证持有者职责

A.3.1 会标纲要要求

对所有期望获得并保持使用 API 会标许可证的组织，必须始终符合下列要求：

- a) API Q1 的质量管理体系要求；
- b) API Q1 附录 A 的 API 会标纲要要求；
- c) 组织期望取证的 API 产品规范中包含的要求；
- d) API 会标纲要许可证协议中包含的要求。

A.3.2 API 会标的使用和去除的控制

每个许可证持有者应按以下条款控制 API 会标的使用和去除。

- a) 不符合 API 规定的产品不应有 API 会标。
- b) 每个许可证持有者应制定并维护 API 会标标记程序，记录本附录规定的标记/会标要求和任何适用的 API 产品规范和/或标准。标记程序应。标志程序应：
 - 1) 规定负责使用和去除 API 会标和许可证编号的权威机构；
 - 2) 规定用于应用会标和许可证编号的方法；
 - 3) 确定产品上使用的 API 会标和许可证编号的位置；
 - 4) 要求使用产品的生产日期，同时使用 API 会标和许可证号；
 - 5) 除适用的 API 产品规范或标准另有规定外，作为最低要求，生产日期应为代表月份的两位数字和代表年份的两位数字（例如：2012 年 5 月为 05-12）；
 - 6) 确定所有其他所需的 API 产品规范和/或标准标记要求的应用。
- c) 只有 API 许可证持有者才能在其 API 会标产品上使用 API 会标及其许可证编号。
- d) API 会标和许可证编号在颁发时是特定于站点的，因此，API 会标仅仅适用于特定于现场的许可设施位置。
- e) API 会标可在生产过程中的任何适当时间使用，但如果之后发现产品不符合任何适用的 API 产品规范和/或标准和 API 会标纲要，应按许可证持有者的 API 会标标记方法将会标除去。

对特定的生产工艺或产品类型，替代的 API 会标标记方法是可接收的。替代的 API 会标标记要求在“《API 会标纲要产品许可证协议的替代标记》”有详述，可在 API 会标纲要网站获得：<http://www.api.org/products-and-services/api-monogram-and-apiqr/apply-renew-modify>。

A.3.3 设计和设计文件

每个许可证持有者和/或许可申请人应为属于每个会标许可证范围内的所有适用产品保存 API Q1 中规定的当前设计文件。设计文件信息应提供客观的证据，证明产品设计符合适用和最新的 API 产品规范和/或标准要求。设计文件应在工厂 API 审核期间提供。

在特定情况下，根据会标纲要，可以排除设计活动，详见 Advisory #6，可在 API 会标纲要网站 <http://www.api.org/products-and-services/apimonogram-and-apiqr/advisories-updates> 上获得。

A.3.4 制造能力

API 会标纲要旨在识别已证明能够制造符合 API 规范和/或标准的设备的工厂。API 可根据工厂的制造能力水平拒绝初始许可或暂停当前许可。如果 API 确定有必要进行额外的审查，则 API 可以对任何分包商进行额外的审查（由组织承担费用），以确保其符合适用的 API 产品规范和/或标准的要求。

A.3.5 在广告中使用 API 会标

许可证持有者在没有描述其授权范围（许可证编号和产品规范）事实的声明的情况下，不应在信笺抬头、建筑物或其他结构、网站或任何广告中使用 API 会标。有关在产品之外的地方使用 API 会标的指南，许可证持有者宜与 API 联系。

A.4 产品标记要求

A.4.1 通则

这些标记要求仅适用于自愿遵守 API 会标纲要要求在适用的产品上标记 API 会标的 API 许可证持有者。

A.4.2 产品规范标识

制造厂应按适用的 API 规范或标准标记产品。标记应包括对适用的 API 规范和/或标准的引用。除非另有规定，否则应至少引用 API 规范和/或标准，“API[文件编号]”（例如，API 6A 或 API 600）。除非另有规定，当空间允许时，该标记可以包括使用适用的“Spec”或“Std”（例如，API Spec 6A 或 API Std 600）。

A.4.3 单位

产品应按 API 规范和/或标准规定的单位进行标识。如果未规定，设备应标记美国惯用 (USC) 单位。如果适用的产品规范和/或标准允许使用双单位 [USC 单位和公制 (SI) 单位]，则可以使用双单位。

A.4.4 铭牌

铭牌（如适用）应采用耐腐蚀材料制成，除非 API 规范和/或标准另有规定。铭牌应放置在 API 规范和/或标准规定的位置。如果未规定位置，则许可证持有者应制定并维护一个程序，详述铭牌的适用位置。铭牌可以在制造过程中随时安装。

除了适用的产品规范和/或标准规定的其他产品标记要求，API 会标和许可证编号应标记在铭牌上。

A.4.5 许可证编号

除与 API 会标结合标记外，不应单独使用 API 会标许可证编号。许可证编号应靠近 API 会标使用。

A.5 API 会标纲要：不符合报告

API 热诚欢迎提出不符合 API 规定要求的产品信息，也包括由于规范和/或标准不完备或不符合 API 规定要求所造成的现场失效（或故障）。要求顾客向 API 报告 API 会标产品所出现的所有问题。可使用 API 不符合报告系统对不符合情况进行报告：<http://compositelist.api.org/ncr.aspx>。

Annex B (规范性附录)

PSL 2 钢管制造工艺评定

B.1 简介

B.1.1 本附录规定了订货合同要求进行 PSL2 钢管制造工艺评定时[见 7.2 c) 43)], 或执行 附录 H 和/或附录 J 时的附加条款。

B.1.2 在特殊情况下(例如首次供货或使用新钢级), 当订购数量较大时, 购方可要求用数据证明所采用的制造方法能够满足本标准规定的要求。

B.1.3 制造工艺应依据先前生产认可的数据来确认, 或按照 B.3、B.4、B.5 或其中任一条或其组合的评定进行确认。

B.2 由购方提供的附加信息

订货合同应指出下列哪些条款适用于特定订货批:

- a) 根据 B.3、B.4、B.5 条款或其中任一条款或其组合(见 B.1.3)进行制造工艺评定;
- b) 试验频次和数量(见 B.5.2)。

B.3 制造工艺特性

适用时, 在生产之前或在由制造商承担风险的初次生产中, 制造商应向购方提供有关制造工艺主要特性的概要资料或控制文件。该资料至少应包括下列内容。

- a) 冶炼及浇铸—所有钢管:
 - 1) 制造工厂的名称/位置;
 - 2) e 设备和工艺的说明, 包括钢的冶炼方法, 炉容量, 脱氧工艺, 夹杂物的形状控制方法(适用时)和浇铸方法;
 - 3) 化学成分范围, 包括有意添加的每个元素以及表 5 中所列的元素;
 - 4) 钢的冶炼及浇铸工艺控制;
 - 5) 用于制造厚度大于 20 mm (0.78 in) 钢带(卷)/钢板板坯氢含量的控制方法;
 - 6) 产品标识和保持可追溯性的方法;
 - 7) 与制造商文件规定作法不一致(包括钢级混杂/更换和制造工艺/化学成分变化)时, 产品的返工控制/复验控制/放行控制;

- 8) 适用时，中心偏析控制与验收标准。
- b) 钢管制造—所有钢管：
 - 1) 制造工厂的名称/位置；
 - 2) 设备和工艺说明；
 - 3) 静水压试验作法，包括设备校准/校验；
 - 4) 损检验方法与作法，包括设备校准作法；
 - 5) 化学/机械性能试验和复验试样位置和试样规格；
 - 6) 尺寸控制方法，包括钢管矫直或尺寸修整；
 - 7) 经全管体正火处理和淬火+回火处理的钢管，奥氏体化与回火的目标时间和温度及其偏差控制，以及监测温度与控制偏差方法的说明；
 - 8) 钢管标记方法及详细资料；
 - 9) 从收到钢带（卷）/钢板/钢坯到钢管放行的过程中保持产品可追溯的方法；
 - 10) 与制造商文件规定作法不一致时，产品的返工控制/复验控制/放行控制；
 - 11) 钢管储存、处理、装载以及运输方法。
- c) 热轧—焊管：
 - 1) 制造工厂的名称/位置；
 - 2) 设备及工艺说明，适用时，包括热处理方法（N 或 Q）说明；
 - 3) 适用的轧制温度偏差控制方法（重新加热、轧制及冷却）；
 - 4) 适用的时间偏差（重新加热、轧制以及冷却）；
 - 5) 适用的钢带（卷）/钢板无损检验方法和作法，包括设备校准作法；
 - 6) 尺寸及力学性能控制极限；
 - 7) 钢管端部切断方法；
 - 8) 从板坯接收到钢带（卷）/钢板交付过程中保持产品可追溯性的方法；
 - 9) 与制造商文件规定作法（包括工艺、化学成分/力学性能以及尺寸偏差）不一致时，产品的返工/复验/放行控制；
 - 10) 储存、处理、装载及运输方法。
- d) 二次加工（适用时）— 焊管

- 1) 制造工厂的名称/位置;
 - 2) 设备和工艺说明;
 - 3) 从钢带(卷)/钢板的接收到钢带(卷)/钢板交付的产品识别及可追溯性方法;
 - 4) 与制造商文件规定作法(包括工艺、化学成分/力学性能以及尺寸偏差)不一致时,产品的返工/复验/放行控制;
 - 5) 储存、处理、装载及运输方法。
- e) 钢管制造 — 焊管
- 1) 钢管成型工艺,包括边缘预处理,对中控制及形状控制;
 - 2) 钢管热处理工艺,适用时包括焊缝在线热处理;
 - 3) 焊接工艺规范,适用时包括本工艺先前的评定报告。其应包括下列资料:
 - i) 高频焊(HFW)接:
 - a) 通过金相检验证明焊缝经过适当的焊缝热处理;
 - b) 焊接工艺说明及控制;
 - ii) 对于埋弧焊(SAW)和组合焊(COW)缝,适用时包括补焊、钢带(卷)/钢板对头焊,对接管焊接:
 - a) 焊丝/焊剂耗材制造商、类型和焊丝直径;
 - b) 焊接参数及范围,包括电流、电压、焊接速度,热输入;
 - 4) 埋弧焊(SAW)和组合焊(COW)管:
 - i) 焊接坡口尺寸公差。
 - ii) 定位焊方法及定位焊缝之间的距离(如果适用)。
 - iii) 焊丝与焊剂的储存和使用,包括湿度控制与焊剂循环(适用时)。
 - iv) 焊缝缺陷去除方法。
- f) 钢管制造—或无缝(SMLS)管:
- 1) 钢管成型工艺 — 轧制钢管:
 - i) 适用的轧制温度偏差控制方法(重新加热、轧制及冷却);
 - ii) 适用的时间偏差(重新加热、轧制及冷却);
 - 2) 钢管热处理工艺。

B.4 检验和试验计划的特性

适用时，在生产之前，制造商应向购方提供有关检验和试验计划主要特性的概要资料或控制文件。该计划至少应包括下列内容：

- a) 检验措施；
- b) 负责实施检验措施的组织或个人（包括制造商，分包商，购方或第三方代表）；
- c) 适用时，检验/试验方法和校准方法；
- d) 检验频次
- e) 验收标准；
- f) 检验/试验结果不符合要求时采取的措施；
- g) 适用时，检验/试验结果的记录；
- h) 要求确认工序的标记；
- i) 见证点和停止点。

B.5 制造工艺评定试验

B.5.1 应在生产前或生产开始时，按照表 18、表 H.3 和/或表 J.7 规定的适用强制性试验要求进行制造工艺评定。

B.5.2 在购方同意进行再次评定试验的情况下，评定试验的频次和数量应符合订货合同的规定。如果订货合同已有说明，制造商可提供先前生产获得的以前的评定数据。

B.5.3 对于焊管，至少应提供以下焊接工艺评定的信息：

- a) 高频焊（HFW）管：
 - 1) 焊接工艺控制参数；
 - 2) 根据表 18、H.3 和 J.7 要求的（适用时）焊缝力学性能试验结果；
 - 3) 用金相检验确认（钢管）经过恰当热处理；
 - 4) 根据 H.7.2.4 和 H.7.3.3，或 J.8.2.3 和 J.8.3.2 所要求的焊缝区域硬度试验结果；
- b) 埋弧焊（SAW）和组合焊（COW）管：
 - 1) 倒角尺寸；
 - 2) 焊丝/焊剂耗材制造商、类型和焊丝直径；
 - 3) 焊接参数包括：电流、电压、行走速度、热输入和电弧数；

- 4) 根据表 18、H.3 和 J.7 要求的（适用时）焊缝力学性能试验结果；
- 5) 根据 H.7.2.4 和 H.7.3.3，或 J.8.2.3 和 J.8.3.2 所要求的焊缝区域硬度试验结果；
- 6) 每个熔敷焊道焊缝金属化学成分分析。

B.5.4 购方可要求提供产品其他性能（如焊接性）的特性数据。

注 购方需要某个钢级的焊接性数据时，购方可要求进行特定的焊接性试验。在这种情况下，购方有责任向制造商提供焊接性数据所要求的详细焊接工艺和参数。在未获得焊接性数据的情况下，考虑最新研发的 L690 或 X100 以及 L830 或 X120 钢级的焊接性试验尤为重要。

B.5.5 本制造工艺评定应考虑钢带（卷）/钢板拉伸性能变化和钢带（卷）/钢板成型为钢管时强度改变的评价。

B.5.6 对于采用不符合最初规定的热轧工艺控制参数制造的钢带（卷）/钢板/钢管，如果再次评定合格（见 8.3.9），在放行这些钢带（卷）/钢板/钢管之前应通知购方。

Annex C

（规范性附录）

表面缺欠和缺陷的处理

C.1 表面缺欠处理

对于采用不符合最初规定的热轧工艺控制参数制造的钢带（卷）/钢板/钢管，如果再次评定合格（见 8.3.9），在放行这些钢带（卷）/钢板/钢管之前应通知购方。

C.2 可修整表面缺陷的处理

C.2.1 所有可修整的表面缺陷应采用修磨方法磨掉。

C.2.2 修磨操作应使修磨区域与钢管轮廓平滑过渡。

C.2.3 应通过局部外观检查对缺陷的彻底清除情况进行查验，必要时辅以适当的无损检验方法。验收标准为：修磨区域的壁厚应符合 9.11.3.2 的要求；然而外径和不圆度的负偏差（见 9.11.3.1）不适用于修磨区域。

C.3 不可修整表面缺陷的处理

存在不可修整表面缺陷的钢管应采用如下一种或多种方法处置：

- a) 埋弧焊（SAW）和组合焊（COW）管的焊缝缺陷应采用 C.4 规定的焊接方法进行修补；
- b) 钢管长度符合要求时，应切除存在该类表面缺陷的管段；或
- c) 拒收整根钢管。

C.4 缺陷补焊

C.4.1 仅允许对 PSL 1 钢管管体进行补焊，不允许对 PSL2 钢管管体进行补焊。

C.4.2 除 C.4.1 允许外，补焊应局限于埋弧焊（SAW）和组合焊（COW）管焊缝。缺陷应完全清除，且应对清除缺陷后形成的凹坑进行彻底地清理。对 PSL2 钢管，凹坑边缘扩展到母材金属的距离不应超过 3.2 mm（0.125 in），扩展距离沿钢管表面垂直于焊缝测量（见图 C.1）。除另有协议外，对冷扩径 PSL2 钢管焊缝应在冷扩径前进行补焊。不应带填充金属的焊缝进行补焊。

C.4.3 对于埋弧焊（SAW）和组合焊（COW）管焊缝，每根钢管补焊焊缝总长度应≤5 %焊缝总长度。对于钢带（卷）/钢板/钢管的对头焊缝，补焊焊缝总长度不应超过 100 mm（4.0 in），补焊焊缝距钢带（卷）/钢板对头焊缝与螺旋焊缝交点的距离不应少于 100 mm（4.0 in）。

- C.4.4** 间隔小于 100 mm (4.0 in) 的多个焊缝缺陷应当作连续单条焊缝进行修补。单条焊缝至少应补两层/道，补焊长度至少应超过 50 mm (2.0 in)。
- C.4.5** 应按照经附录 D 评定合格的焊接工艺进行补焊。
- C.4.6** 补焊后，应按照附录 E 的要求，或适用时按照附录 K 的要求，对所有修补区域进行超声检验或射线检验。在钢管扩径或静水压试验前，制造商可选择超声检验，但在扩径或静水压试验后，应使用手动超声进行检验。在钢管扩径或静水压试验后，也可对钢管进行自动和手动超声组合检验。在钢管扩径或静水压试验后，也可对钢管进行自动和手动超声组合检验。
- C.4.7** 在补焊、磁粉试验 (MT) 或穿透性试验 (PT) 前应对无缝 (SMLS) 管 (仅 PSL 1) 进行 MT 或 PT 检验，以确保缺陷被完全去除。
- C.4.8** 已补焊钢管在补焊后应按照 10.2.6 的要求进行静水压试验。

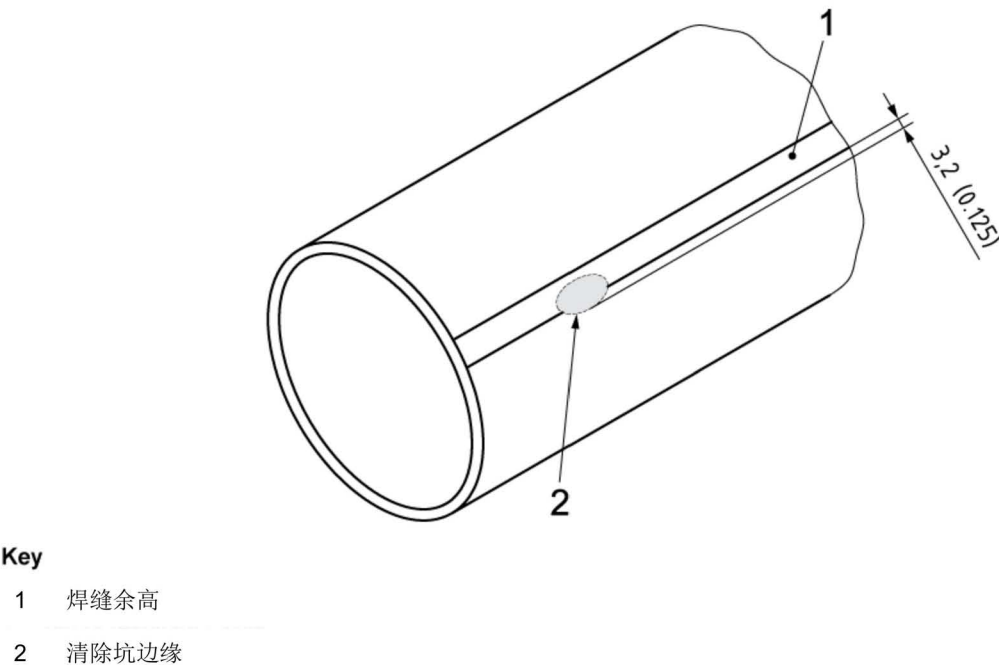


图 C.1—焊缝修补后的清除坑 (仅对 PSL2)

Annex D (规范性附录)

补焊工艺

D.1 总则

D.1.1 应采用下列方式进行补焊：

- a) 钢管轴线在水平位置，
- b) 采用评定合格的焊接工艺，以及
- c) 由依据 D.3 要求评定合格的焊机操作人员（后称操作者）或补焊工施焊。

D.1.2 补焊应采用下列一种或多种方法：

- a) 自动埋弧焊，
- b) 自动或半自动熔化极气体保护电弧焊，或者
- c) 低氢焊条手工电弧焊。

D.1.3 所有焊接材料应按照制造商推荐的作法妥善保管和储存，以免受潮或污染。

D.1.4 试验焊缝可在钢带、钢板或钢管上进行。

D.1.5 制造商应保存焊接工艺和工艺评定试验结果记录。在购方要求时，应向购方提供焊接工艺规范和工艺评定记录的复印件。

D.2 补焊工艺评定

D.2.1 总则

D.2.1.1 除 D.2.1.2 允许外，应按本附录的要求，通过焊接和焊缝检验对采用的焊接工艺进行评定。

D.2.1.2 由制造商选择，可用 ISO 15614-1^[23]、API 5L 第 43 版^[17]或 ASME 第 IX 部分^[26]规定的的焊接工艺评定力学性能试验代替 D.2.3 规定的相应力学性能试验。

D.2.1.3 本附录中，术语“自动焊”包括机器焊、机械化焊和自动焊。

D.2.2 重要变素

当下列任一重要变素的变化超出规定范围时，现有工艺不再适用，应进行新工艺的评定。

- a) 焊接工艺：
 - 1) 焊接工艺改变，如埋弧焊改为熔化极气体保护电弧焊，或者

2) 焊接方法改变, 如手工焊改为半自动焊。

b) 钢管材料:

1) 钢级分档变化: 如果在同档钢级内使用不同的合金体系, 每种合金成分应分别评定。钢级分档如下:

i) 小于 L290 或 X42 的各钢级,

ii) 大于 L 290 或 X42 但小于 L 450 或 X65,

iii) 大于等于 L 450 或 X65 的各钢级;

2) 同一钢级分档内, 材料厚度大于已评定合格材料的厚度;

3) 在某钢级分档及壁厚范围内, 待补焊材料产品分析确定的碳当量 (碳含量 $>0.12\%$ 时为 CEIIW, 碳含量 $\leq 0.12\%$ 时为 CEPcm) 比评定合格材料的碳当量高 0.03% 以上; 或者

4) 交货状态 (见表 3) 发生改变。

c) 焊接材料:

1) 填充金属种类改变;

2) 要求进行冲击试验时, 耗材牌号改变;

3) 焊条直径改变;

4) 保护气体成分 X 超出 $(X \pm 5)\%$;

5) 保护气体流速 q 超出 $(q \pm 10)\%$;

6) 埋弧焊焊剂从一种牌号更换为另一种牌号。

d) 焊接参数:

1) 电流种类改变 (如交流电变为直流电);

2) 极性变化;

3) 对自动焊接和半自动焊接, 确定的焊接电流、电压、速度和热输入范围可适应一定的壁厚范围。在该范围中, 应适当选择几个点进行试验, 以评定整个方案。此后, 如果与评定过的方案相比, 发生下列一种或多种超过规定的变化时, 应重新进行评定。

i) 电流: 10% ;

ii) 电压: 7% ;

iii) 焊速: 10% (自动焊接);

iv) 热输入: 10% ; 或者

- 4) 凹槽深度 a 较评定过的凹槽深度增加。除另有协议外，凹槽深度应由制造商设定。
- e) 焊道：手工焊接和半自动焊接，焊道宽度变化超过 50 %。
- f) 预热和焊后热处理：
 - 1) 补焊钢管的温度低于评定试验时钢管温度，或者
 - 2) 增加或取消焊后热处理。

D.2.3 力学性能试验

D.2.3.1 试样数量

每次工艺评定试验时，各个试验项目（见 D.2.3.2 和 D.2.3.3）应分别取两个试样进行试验。对于冲击试验，每个位置应取三个试样进行试验。

D.2.3.2 横向拉伸试验

D.2.3.2.1 横向拉伸试样的减窄区宽度约为 38 mm (1.5 in)，补焊焊缝应位于试样长度的中心，如图 8 a) 所示。试样两面的焊缝余高应去除，纵向边缘应机加工。

注 虽然图 8 a) 表示的是导向弯曲试样，但可参考它确定拉伸试样补焊焊缝的位置。

D.2.3.2.2 抗拉强度至少应等于相应钢管等级的规定最小抗拉强度。

D.2.3.3 横向导向弯曲试验

D.2.3.3.1 横向导向弯曲试样应符合图 D.1 的规定。焊缝已熔敷于凹槽内。

D.2.3.3.2 每个试样应在弯模（见图 9 和表 D.1）内弯曲至 180°，外露焊缝表面置于受拉位置。

D.2.3.3.3 除 D.2.3.3.4 允许外，如果弯曲后焊缝金属或母材上没有裂纹，或在任何方向上没有尺寸超过 3.2 mm (0.125 in) 的其他缺陷，则认为弯曲试验合格。

D.2.3.3.4 在试验过程中发源于试样边缘的裂纹，只要长度不超过 6.4 mm (0.250 in)，则不应作为拒收的原因。

D.2.3.4 夏比 (CVN) 冲击试验

D.2.3.4.1 夏比冲击试样应取自补焊工艺评定试验 (见 D.2.1.1) 的补焊焊缝区域。

D.2.3.4.2 夏比冲击试样应按本标准 10.2.3.3 制备。

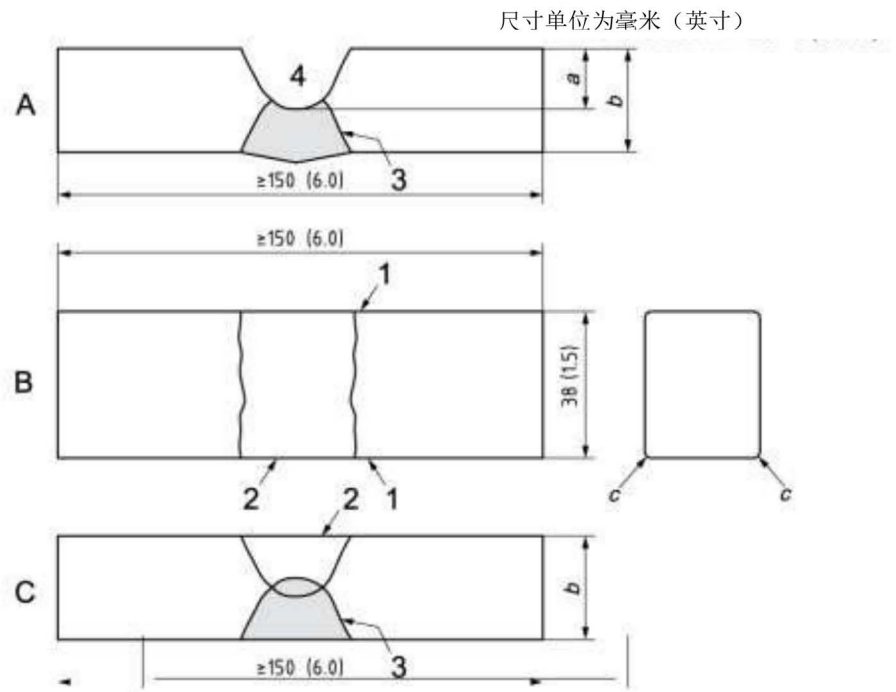
D.2.3.4.3 CVN 冲击试验应按本标准 9.8 和 10.2.4.3 要求进行。

D.2.3.4.4 0 ° C (32 ° F) 温度下或者如果有协议在更低温度下，每条补焊钢管焊缝和其 HAZ 的全尺寸试样最小平均吸收功 (一组三个试样) 不应小于 9.8.3 规定的钢管焊缝和其 HAZ 的数值。

当钢管尺寸不允许制备用于补焊工艺评定试验的全尺寸试样，而采用小尺寸试样时，应符合 10.2.3.3 和表 22 的要求。

D.2.4 补焊工艺评定试验的无损检测

应根据 E.3 规定，采用 E.4 规定的射线检验方法、或者 E.5 规定的超声检验方法、或两种方法的组合方法，对补焊工艺评定试验的试样进行检验。补焊区域应满足与 E.4.5 和/或 E.5.5 相应规定相同的验收标准。



- 说明
- A 补焊前一截面图
 - B 补焊后一平面图
 - C 补焊后一截面图
 - 1 机加工直边，冷锯、热切割或两种方式组合
 - 2 补焊金属（去除焊缝余高）
 - 3 去除 SAW/COW 焊缝余高的原焊缝（如适用）
 - 4. 补焊凹槽
 - a 凹槽深度
 - b 壁厚（见 D.2.2 b) 2)
 - c 半径 r 应 ≤ 1.6 (0.063)

图 D.1—导向弯曲试验试样

表 D.1—导向弯曲试验弯模尺寸

钢管等级	尺寸 ^a mm (in.)			
	r_a^b	r_b^b	A_{gb}^b	B^b
≤ L290 或 X42	$3.0 t$	$4.0 t + 1.6 (0.063)$	$6.0 t$	$8.0 t + 3.2 (0.125)$
L320 或 X46	$3.5 t$	$4.5 t + 1.6 (0.063)$	$7.0 t$	$9.0 t + 3.2 (0.125)$
L360 或 X52	$4.0 t$	$5.0 t + 1.6 (0.063)$	$8.0 t$	$10.0 t + 3.2 (0.125)$
L390 或 X56	$4.0 t$	$5.0 t + 1.6 (0.063)$	$8.0 t$	$10.0 t + 3.2 (0.125)$
L415 或 X60	$4.5 t$	$5.5 t + 1.6 (0.063)$	$9.0 t$	$11.0 t + 3.2 (0.125)$
L450 或 X65	$4.5 t$	$5.5 t + 1.6 (0.063)$	$9.0 t$	$11.0 t + 3.2 (0.125)$
L485 或 X70	$5.0 t$	$6.0 t + 1.6 (0.063)$	$10.0 t$	$12.0 t + 3.2 (0.125)$
L555 或 X80	$5.0 t$	$6.0 t + 1.6 (0.063)$	$10.0 t$	$12.0 t + 3.2 (0.125)$
L620 或 X90	$5.5 t$	$6.5 t + 1.6 (0.063)$	$11.0 t$	$13.0 t + 3.2 (0.125)$
L690 或 X100	$6.0 t$	$7.0 t + 1.6 (0.063)$	$12.0 t$	$14.0 t + 3.2 (0.125)$
L830 或 X120	$7.0 t$	$8.0 t + 1.6 (0.063)$	$14.0 t$	$16.0 t + 3.2 (0.125)$
^a 中间钢级的导向弯曲试验弯模尺寸应按邻近较低钢级的规定,或应通过插补法获得。				
^b r_a 、 r_b 、 A_{gb} 和 B 如图 9 所示。				

D.3 焊工操作评定

D.3.1 评定

D.3.1.1 总则

每个补焊工和操作人员应按本节的规定进行评定。由制造商选择,可替换为按照 ISO 9606-1[25]、ASME 第 IX 部分[26]、API 5L, 第 43 版[17],附录 C 或 EN 287-1[24] 对焊工和操作人员进行评定。

在焊接工艺相同的情况下,对某一钢级分档[见 D.2.2 b)]评定合格的补焊工和操作人员能胜任较低分档钢级的焊接。

D.3.1.2 检验

为进行评定,焊工或操作人员应焊制出经下列检验合格的焊缝:

- 根据附录 E 进行的射线胶片拍片检验,
- 两个横向导向弯曲试验 (见 D.2.3.3)。

D.3.1.3 检验失败

如果 D.3.1.2 中一个或多个检验不符合规定的要求,焊工或操作人员可焊制另一个评定焊缝。如果该焊缝不符合 D.3.1.2 规定的一个或多个检验,则焊工或操作人员不合格。在焊工完成再次培训之前,不允许对其进行再次评定。

D.3.2重新评定

如果有下列一种或多种情况，应根据 D.3.1 的规定重新进行评定：

- a) 距最近一次评定超过一年；
- b) 焊工或操作者在三个月或超过三个月的期间内，未采用评定过的工艺进行焊接；或者
- c) 对焊工或操作者能力产生怀疑。

Annex E

（规范性附录）

针对不要求满足附录 H、J 或 N 要求的钢管的无损检验

E.1 人员资质评定

E.1.1 ISO 9712、ISO 11484 或 ASNT SNT-TC-1A 或等效标准是对无损检验人员（外观检验除外）资质的基本要求。如果无损检验人员未按评定过的方法进行检验的时间超过 12 个月，应重新评定这些人员按此方法进行无损检验的资格。

E.1.2 无损检验应由 1 级、2 级或 3 级人员实施。

E.1.3 指示的评判应由 2 级或 3 级人员完成，或在 2 级或 3 级人员的监督下由 1 级人员完成。

E.2 检验标准

除对本附录的专门修改外，要求进行的无损检验[不包含表面检查（见 10.2.7）和壁厚测量]应按下列一种标准或与其等效的标准进行：

- | | |
|--------------|---|
| a) 电磁（漏磁）： | ISO 10893-3 或 ASTM E570； |
| b) 电磁（涡流）： | ISO 10893-2 或 ASTM E309； |
| c) 超声： | ISO 10893-8、ISO 10893-9、ISO 10893-10、ASTM A435、
ASTM A578 或 ASTM E213； |
| d) 自动超声（焊缝）： | ISO 10893-11 或 ASTM E273； |
| e) 手动超声（焊缝）： | ISO 10893-11、ASTM E164、ASTM E587； |
| f) 磁粉： | ISO 10893-5 或 ASTM E709； |
| g) 射线（胶片）： | ISO 10893-6 或 ASTM E94； |
| h) 射线（数字）： | ISO 10893-7、ASTM E2698 或 ASTM E2033； |
| i) 液体渗透： | ISO 10893-4 或 ASTM E165； |

E.3 检验方法

E.3.1 总则

E.3.1.1 对于钢级 $\geq$ L210/A，直径 $\geq$ 60.3 mm（2.375 in）焊管的焊缝应按表 E.1 的规定进行全厚度、全长度（100 %）的无损检验。另外，对于成品螺旋焊缝钢管上的钢带（卷）/钢板对头焊缝，应按照表 E.1 的规定进行全厚度、全长度（100 %）的无损检验。

表 E.1 — 钢管焊缝无损检验

焊缝类型	无损检验方法 ^a		
	电磁	超声	射线
EW	一种方法或几种方法的组合		不适用
LW	不适用	要求	不适用
SAW	不适用	要求 ^b	如果有协议
COW	不适用	要求	不适用
钢带（卷）/钢板对头	不适用	要求 ^b	如果有协议
^a 管端焊缝可要求附加的无损检验（见 E.3.2）。			
^b 要求进行，制造商与购方已协议用射线检验代替超声检验时除外。			

E.3.1.2 所有 PSL 2 的无缝（SMLS）管，以及 PSL1 的钢级为 L245 或 B 级的淬火加回火无缝（SMLS）管，应按表 E.2 的规定进行全长（100 %）无损检验。如果有协议，其他 PSL1 的无缝管应按表 E.2 的规定进行无损检验。

表 E.2 — SMLS 管管体无损检验

项目	无损检验方法		
	电磁	超声	磁粉 (圆周区域)
PSL2, 任何钢级	一种方法或几种方法的组合		
PSL1 钢管, L245/B 钢级、淬火加回火	一种方法或几种方法的组合		
PSL1 钢管, 除以上钢级外	如果有协议, 一种方法或几种方法的组合		

E.3.1.3 无损检验设备在制造商工厂内的位置应由制造商确定，但下列情况除外：

- 要求的冷扩径管焊缝的无损检验应在冷扩径之后进行；要求的无缝管的无损检验应在每次的热处理和冷扩径工序之后进行，如果允许，也可在切断，加工坡口和管端定径之前进行。
- 经协议，低频焊（LFW）管和高频焊（HFW）管焊缝的无损检验应在静水压试验之后进行。

E.3.2 管端检验—焊管

E.3.2.1 如果使用满足 E.3.1.1 要求的自动超声或自动电磁检验系统时，对任何不能被该自动检验系统覆盖的钢管管端焊缝，应采用手动或半自动超声斜角（声束）法或射线检验方法（选适用者）检验管端焊缝中的缺陷，否则，应切除未检验管端。应保存根据 E.5.4 所做的记录。

E.3.2.2 对埋弧焊（SAW）和组合焊（COW）管，应采用射线检验方法对每根钢管至少 200 mm（8.0 in）管端范围内的焊缝进行检查。射线检验的结果应记录在胶片上或其他成像介质上。

E.3.2.3 如果有协议，应采用 ASTM A578 和 ASTM A435 或 ISO10893-8 规定的方法，对每根钢管管端 25 mm（1.0 in）宽度区域进行超声检验，以确认在该区域不存在周向尺寸大于 6.4 mm（0.25 in）的分层缺欠。

E.3.3 无缝 (SMLS) 管的管端检验

E.3.3.1 如果使用满足 E.3.1.2 要求的自动超声或自动电磁检验系统 (设备、操作流程和人员的组合) 时, 对未被自动检验系统覆盖的部分管端, 应采用手动或半自动超声斜角 (声束) 法或磁粉方法进行缺陷检验, 否则, 应切除未检验管端。应保存根据 E.5.4 所做的记录。

E.3.3.2 如果有协议, 对 $t \geq 5.0 \text{ mm}$ (0.197 in) 的钢管, 应按照 ISO 10893-8 或 ASTM E578 和 ASTM A435 的规定, 对每根钢管管端 25 mm (1.0 in) 宽度区域进行超声检验, 以确认在该区域不存在周向尺寸大于 6.4 mm (0.25 in) 的分层缺欠。

E.4 焊缝的射线检验

E.4.1 射线检验技术要求

适用时, 应按照下列方法对钢管焊缝进行射线检验:

- a) 对于射线胶片检验: ISO 10893-6 图像质量等级 A 或 B, 或 ASTM E94;
- b) 对于数字胶片检验: ISO 10893-7、ASTM E2698 或 ASTM E2033。

E.4.2 射线检验设备

E.4.2.1 应采用射线检验法对焊缝的均匀性进行检验。其方法是: X 射线直接透过焊缝材料, 在射线检验胶片上或数字成像介质 (如 CR、DDA) 上产生适合的影像, 但应证实数字成像技术能够达到所求的灵敏度。

E.4.2.2 采用的射线检验胶片应符合 ISO 11699-1:2008 的 C4 级或 C5 级, 或 ASTM E1815-08 的 I 级或 II 级, 并且应使用铅增感屏。

E.4.2.3 射线底片的黑度不应低于 2.0 (焊缝除外), 且应满足下列要求:

- a) 焊缝最厚处的黑度不低于 1.5, 以及
- b) 达到所用胶片类型的最大对比度。

E.4.3 像质计 (IQIS)

E.4.3.1 除另有协议外, 应使用线型像质计 (IQIS)。如果使用其他标准的像质计, 其灵敏度应与线型像质计的灵敏度相同或更高。

E.4.3.2 如果使用 ISO 线型像质计, 则应为 ISO 19232-1:2004 规定的 W1 FE、W6 FE 或 W10 FE, 适用于各种焊缝厚度的线型像质计基本线径见表 E.3。

E.4.3.3 如果使用 ASTM 线型像质计, 应符合 ASTM E747 规定, 适用于各种焊缝厚度的线型像质计基本线径见表 E.4。

E.4.3.4 除 E.4.3.5 允许外, 所采用的像质计 (IQI) 应横跨焊缝放置在代表完整余高的焊缝上, 且应包含两种基本线径, 一种线径由具有完整余高的焊缝厚度确定, 另一种线径由无余高的焊缝厚度确定。

E.4.3.5 可以使用两个像质计, 一个垂直放置在焊缝上, 另一个放置在母材上。

E.4.3.6 像质计应放置在射线源一侧。当不能放置在射线源一侧时，可将像质计放置在检测对象的胶片/探测器一侧，此时应在像质计附近标上字母“F”，并且这一工艺变化应记录在检测报告里。

注 在钢管管段上将像质计 (IQI) 置于射线源一侧和探测器一侧进行曝光试验，是评价相应灵敏度的有效方法。

表 E.3—射线检验用 ISO 线型像质计 (IQI)

焊缝厚度 ^a mm (in.)	基本线径 mm (in.)	FE 金属丝系列	金属丝号码
≤8 (0.3)	0.16 (0.006)	W 10 至 W 16	14
> 8 (0.3) 至 11 (0.4)	0.20 (0.008)	W 10 至 W 16	13
> 11 (0.4) 至 14 (0.6)	0.25 (0.010)	W 10 至 W 16 或 W 6 至 W 12	12
> 14 (0.6) 至 18 (0.7)	0.32 (0.013)	W 10 至 W 16 或 W 6 至 W 12	11
> 18 (0.7) 至 25 (1.0)	0.40 (0.016)	W 10 至 W 16 或 W 6 至 W 12	10
> 25 (1.0) 至 32 (1.2)	0.50 (0.020)	W 6 至 W 12	9
> 32 (1.2) 至 41 (1.6)	0.63 (0.025)	W 6 至 W 12	8
> 41 (1.6) 至 50 (2.0)	0.80 (0.032)	W 6 至 W 12	7
> 50 (2.0)	1.00 (0.039)	W 6 至 W 12	6
^a 焊缝厚度是指规定壁厚与焊缝余高估计值之和。			

表 E.4—射线检验用 ASTM 线型像质计 (IQI)

焊缝厚度 ^a mm (in.)	基本线径 mm (in.)	FE 金属丝系列	金属丝号码
≤8 (0.3)	0.16 (0.006)	A	4
> 8 (0.3) 至 11 (0.4)	0.20 (0.008)	A	5
> 11 (0.4) 至 14 (0.6)	0.25 (0.010)	A 或 B	6
> 14 (0.6) 至 18 (0.7)	0.33 (0.013)	B	7
> 18 (0.7) 至 25 (1.0)	0.41 (0.016)	B	8
> 25 (1.0) 至 32 (1.2)	0.51 (0.020)	B	9
> 32 (1.2) 至 41 (1.6)	0.64 (0.025)	B	10
> 41 (1.6) 至 50 (2.0)	0.81 (0.030)	B 或 C	11
> 50 (2.0)	1.02 (0.040)	C	12
^a 焊缝厚度是指规定壁厚与焊缝余高估计值之和。			

E.4.4 设备校准

E.4.4.1 在工作速度下进行动态检验时，应使用像质计校验灵敏度和检验工艺的适用性，以不多于 50 根钢管为一试验批，每批抽取一根钢管进行校验，但每工作班的每 4 小时至少应校验一次。

注 1 当操作者在适用区域（焊缝或母材）内能清晰看见使用的像质计基本线径时，即达到了合适的清晰度和灵敏度。

注 2 在某些 ISO 无损检验标准中，术语“校准”(calibration)表述为本规范的“标定”(standardization)。

用像质计对检验设备进行初次调整时，钢管可处于静止状态。

E.4.4.2 采用射线胶片检验法时，每张底片应显现出像质计。

E.4.4.3 对于静止的射线数字检验系统及工艺来说，每工作班检验两次图像质量是足够的。只要在两次校准之间，钢管的尺寸、材质、检测参数保持不变，每工作班每 4 小时及每工作班的开始和结束时至少应检查一次灵敏度。当检验系统达到 E.4.3 的要求时，不允许改变检测参数。只应采用在射线源一侧的像质计对图像质量进行检查。在初始检验系统的确认过程中，探测器的空间分辨率（SRb）除采用 E.4.3 像质计进行测定外，还应采用双丝型像质计进行测定。双丝型像质计应位于探测器前面并与焊缝约成 5° 的方向位置，以避免混叠效应。验证检验系统时像质计应放置在生产检验像质计的同侧。

如果检验系统测试参数发生任何要求的改变时（如电压、电流、曝光时间或探测器与工件间的距离），或者在该检验班测试钢管的尺寸或材质发生变化时，应按照 E.4.3 的规定再次使用所有要求的像质计对检验系统的灵敏度进行再次计算。

如果图像质量不满足 E.4.3 的要求，则自上一次灵敏度检查合格每根被检钢管应在新测试参数下进行射线复检。

E.4.5 射线检验发现缺欠的验收极限

夹渣型和/或气孔型缺欠的尺寸和分布不应超过表 E.5 或 E.6 的规定值，条型夹杂定义为夹杂的长度与宽度的比值不小于 3:1。

注 判定缺欠是否验收应考虑的重要因素是缺欠尺寸、间隔以及在规定长度内缺欠的直径之和。为简单起见，规定长度为任一段 150 mm (6.0 in) 长度的焊缝。这类缺欠常呈链状分布，但链状分布与弥散分布没有区别，分布形式也可能具有各种不同尺寸的组合。

注 2 如果缺欠不是条形的，就不能准确地判定射线检验所显示的是夹渣还是气孔。因此，所有圆形缺欠采用同样的验收极限。

E.4.6 射线检验发现的缺陷

由射线检验发现的裂纹、未焊透和未熔合应判定为缺陷。射线检验发现的尺寸和/或分布大于表 E.5 或表 E.6 规定值（取适用者）的缺欠应判定为缺陷。带有这种缺陷的钢管应按 E.10 规定的一种或多种方法处置。

E.4.7 射线检验图像的可追溯性

射线检验图像应追溯到相应的钢管。

表 E.5 条形夹渣型缺欠

最大尺寸 mm (in.)	间距 最小 mm(in.)	任意 150 mm (6.0 in) 长度焊缝上的 缺欠数量 最大	任意 150 mm (6.0 in) 长度焊缝上的缺欠累 积长度 最大 mm(in.)
1.6 (0.063) × 13 (0.50)	150 (6.0)	1	13 (0.50)
1.6 (0.063) × 6.4 (0.25)	75 (3.0)	2	13 (0.50)
1.6 (0.063) × 3.2 (0.125)	50 (2.0)	3	13 (0.50)

表 E.6 — 圆形夹渣型和气孔型缺欠

规格 mm (in.)	相邻缺欠的 尺寸 mm (in.)	间距 (最小) mm(in.)	任意 150 mm (6.0 in)长度焊缝上 的缺欠数量 最大	任意 150 mm (6.0 in)长度焊缝上的缺欠累 积直径 最大 mm(in.)
3.2 (0.125) ^a	3.2 (0.125) ^a	50 (2.0)	2	6.4 (0.25)
3.2 (0.125) ^a	1.6 (0.063)	25 (1.0)	变数	6.4 (0.25)
3.2 (0.125) ^a	0.8 (0.031)	13 (0.5)	变数	6.4 (0.25)
3.2 (0.125) ^a	0.4 (0.016)	9.5 (0.4)	变数	6.4 (0.25)
1.6 (0.063)	1.6 (0.063)	13 (0.5)	4	6.4 (0.25)
1.6 (0.063)	0.8 (0.031)	9.5 (0.4)	变数	6.4 (0.25)
1.6 (0.063)	0.4 (0.016)	6.4 (0.25)	变数	6.4 (0.25)
0.8 (0.031)	0.8 (0.031)	6.4 (0.25) ^b	8	6.4 (0.25)
0.8 (0.031)	0.4 (0.016)	4.8 (0.188)	变数	6.4 (0.25)
0.4 (0.016)	0.4 (0.016)	3.2 (0.125)	16	6.4 (0.25)

^a 对于 $t \leq 6.4$ mm 钢管, 此值为 2.4 mm (0.094 in)。

^b 两个直径 ≤ 0.8 mm (0.031 in) 的缺欠,只要它们与其他缺欠的间距 ≥ 13 mm (0.5 in), 则这两个缺欠可视为接近到相隔一个直径。

E.5 超声检验和电磁检验

E.5.1 设备

E.5.1.1 根据适用情况, 设备应通过超声原理或电磁原理, 且能连续不间断地检验焊管焊缝、或无缝 (SMLS) 管的外表面和/或内表面。

E.5.1.2 检验设备应能检验如下焊管焊缝的整个厚度：

- a) 电焊 (EW) 和激光焊 (LW) 缝，焊线以及焊线两侧各 1.6 mm (0.063 in) 宽的母材；
- b) 埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 缝，焊缝金属以及焊缝金属两侧各 1.6 mm (0.063 in) 宽的母材。

E.5.2 超声检验和电磁检验对比标样

E.5.2.1 每个对比标样的外径和壁厚应在被检产品的规定直径和壁厚的公差范围内。

注 在某些无损检验 ISO 标准中，术语“管状试样”或“样管”或“试样”用来表示本标准使用的“对比标样”。

E.5.2.2 对比标样长度可为由制造商确定的任一方便长度。

E.5.2.3 对比标样应包含表 E.7 给出的参考反射体，其可以是一个或多个机加工刻槽，或一个或多个径向钻孔。

E.5.2.4 对比标样上的参考反射体之间应有间隔，以便足以产生分离且可辩别的信号。

注 在某些 ISO 无损检验标准中，术语“对比标样”用来表示本标准使用的“参考反射体”。

E.5.2.5 对比标样应通过鉴定。参考反射体的尺寸和类型应采用文件化的程序进行鉴定。

表 E.7 — 对比标样

项目	对比标样 ^a							径向钻孔直径 ^b mm (in.)
	刻槽位置		刻槽方向		刻槽尺寸			
	OD	ID	纵向	横向	深度 ^c %	长度 ^d 最大 mm(in.)	宽度 最大 mm(in.)	
EW 焊缝	e,l	e,l	e,l	f	10.0	50 (2.0)	1.0 (0.040)	3.2 (0.125) ^l
LW 焊缝	e	e	e	f	5.0 ^g	50 (2.0)	1.0 (0.040)	1.6 (0.063) ^g
埋弧焊 (SAW) 缝 ^h	e	e	e	i	5.0 ^g	50 (2.0)	1.0 (0.040)	1.6 (0.063) ^g
COW 焊缝 ^h	e	e	e	i	5.0 ^g	50 (2.0)	1.0 (0.040)	1.6 (0.063) ^g
钢带（卷）/钢板对头焊缝 ^h	e	e	e	i	5.0 ^g	50 (2.0)	1.0 (0.040)	1.6 (0.063) ^g
钢管对接焊缝 ^h	e	e	e	i	5.0 ^g	50 (2.0)	1.0 (0.040)	1.6 (0.063) ^g
PSL2 SMLS 管	e	e	j	f	12.5	50 (2.0)	1.0 (0.040)	3.2 (0.125)
淬火加回火的 PSL1 SMLS 管	k	k	j	f	12.5	50 (2.0)	1.0 (0.040)	3.2 (0.125)
其他 PSL1 SMLS 管	k	f	j	f	12.5	50 (2.0)	1.0 (0.040)	3.2 (0.125)
注 1 刻槽为矩形或 U 形。								
注 2 电磁检验时，对比标样必要时可以包含外刻槽 (OD)、内刻槽 (ID) 和径向钻孔（见 E.5.3.4）。								
^a 参考反射体不需位于焊缝上。								
^b 钻孔的直径取决于标准钻头的尺寸。如果采用刻槽确定拒收门限，则不需要钻孔。								
^c 深度以规定壁厚的百分比表示。深度不必小于 0.3 mm (0.012 in)。深度值的偏差为规定刻槽深度值的 ±15 %或±0.05 mm（0.002 in），取两者中的较大值。								
^d 指全深度长度。								
^e 使用刻槽确定拒收门限时要求。								
^f 不要求。								
^g 由制造商选择可采用 N10 刻槽或 3.2 mm (0.125 in) 钻孔（适用的验收极限见表 E.8）。								
^h 对埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 缝，由制造商选择可采用焊缝边缘的刻槽或焊缝边缘的径向钻孔确定拒收门限。								
ⁱ 横向刻槽或 1.6 mm (0.063 in) 径向钻孔。								
^j 为有助于检测预知的缺陷，制造商可选择刻槽方向与规定方向成一定角度。								
^k 如果采用刻槽确定拒收门限，对于 D≥60.3 mm (2.375 in) 钢管有要求。								
^l 如果有协议，对比标样应包括外刻槽、内刻槽以及径向钻孔。								

E.5.3 设备校准

E.5.3.1 制造商应采用文件化的程序确定超声检验或电磁检验（选适用者）的拒收门限。在正常工作条件下，应能够检测出表 E.7 规定的相应参考反射体。无论制造商选择在线检验还是离线检验，应模拟受检验的成品钢管，使样管与传感器之间以一定的速度移动，动态的证明上述能力。

E.5.3.2 应采用适当的对比标样（见 E.5.2）对设备进行校准，每个工作班至少两次，第二次校准应在第一次校准后 3 到 -4 个小时进行，以便验证设备的有效性和检验程序的有效性。检验周期结束设备关机前，应对设备校准进行确认。

注 在某些 ISO 无损检验标准中，术语“校准 (calibration)”用来表述 本标准的“标定 (standardization)”。

E.5.3.3 用对比标样校准时，应调整检验设备，以使相应的参考反射体产生清晰可辨的信号。

E.5.3.4 如用钻孔建立 $D \geq 60.3 \text{ mm}$ (2.375 in) 钢管的电磁检验拒收门限，且有意将这种方法用于焊管焊缝检验，或同时检验无缝管外表面和内表面，那么对该设备应进行附加校验，使来自对比标样的内、外刻槽的信号幅度等于或大于采用钻孔建立的拒收门限。

E.5.4 验证系统能力的记录

E.5.4.1 用参考反射体确定设备检测灵敏度时，制造商应保存验证系统检验能力的无损检测 (NDT) 系统记录。

该验证至少应包括下列准则：

- a) 覆盖面计算（如扫描方案）；
- b) 对预期壁厚的检验能力；
- c) 可重复性；
- d) 检测制管工艺产生的典型缺陷的探头布置方法[见表 E.7 脚注 j)]；
- e) 采用 E.4 或 E.5 的适用无损检测 (NDT) 方法，检测出制管工艺的典型缺陷的证明资料；
- f) 设定阈值参数。

E.5.4.2 此外，制造厂还应保留与下列有关的文件：

- a) 无损检测 (NDT) 系统操作规程，
- b) 无损检测设备说明书，
- c) 无损检测人员资格信息，以及

d) 证明在生产试验条件下无损检测系统/操作能力的动态试验数据。

E.5.5 验收极限

E.5.5.1 由参考反射体产生的信号验收极限应符合表 E.8 规定。

E.5.5.2 焊管超声检验系统在动态检验模式下发现的任何大于表 E.8 规定验收极限的缺欠应判为缺陷，而以下情况之一者除外：

- a) 在静态模式下，超声检验系统发现的缺欠，其产生的信号幅度小于表 E.8 的适用验收极限，且信号幅度确实是该缺欠产生的最大幅度。
- b) 确定产生信号的缺欠是表面缺欠，但非 9.10 中所述的缺陷。
- c) 对于埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管，通过射线检验确定引起超标信号的缺欠是满足 E.4.5 的夹渣型缺欠或者气孔型缺欠。

E.5.5.3 除 E.5.5.2 的 b) 和 c) 外，超声检验发现的缺陷不应通过随后射线检测分类为缺欠。

E.5.5.4 对于无缝 (SMLS) 管，除确定产生超标信号的缺欠不是 9.10 中所述的缺陷外，产生的回波信号幅度大于表 E.8 中适用验收极限的任何表面缺欠应判为缺陷。

E.5.5.5 对于组合焊 (COW) 缝，对任何高度大于背景噪声，长度大于 25 mm (1.0 in) 的连续信号，应采用符合 E.4 规定射线检验方法复检，或如果有协议，采用其他检验方法。

E.5.6 超声检验和电磁检验发现缺陷的处置

带有这种缺陷的钢管应按 E.10 规定的一种或多种方法处置。

E.5.7 补焊

对于埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 缝，由超声检验发现的缺陷可以进行补焊，且应按 C.4 规定进行复检。应采用手动超声检验或自动与手动超声组合的方法对补焊处进行检验。

表 E.8 — 验收极限

项目	刻槽类型	孔径 mm (in.)	验收极限 ^a 最大 %
SAW、COW、LW 或补焊	N5	1.6 (0.063)	100
	N10	3.2 (0.125)	33
电焊	N10	3.2 (0.125)	100
无缝 (SMLS) 管	N12.5	3.2 (0.125)	100

^a 用参考反射体产生回波信号的百分比表示。拒收门限（见 E.5.3）不应超过适用的验收极限。

E.6 磁粉检验

E.6.1 无缝 (SMLS) 管磁粉检验

E.6.1.1 如果磁粉检验用于纵向缺陷的检验, 则整个钢管外表面均应如此检验。

E.6.1.2 磁粉检验发现的表面缺欠应按如下规定进行核查、判别和处置:

- a) 深度 $\leq 0.125t$, 且不影响最小允许壁厚的缺欠应判定为可验收的缺欠, 且应按 C.1 规定处置。
- b) 深度 $> 0.125t$, 且不影响最小允许壁厚的缺欠应判定为缺陷, 且应按 C.2 规定采用修磨法去除, 或按 C.3 规定处置。
- c) 影响最小允许壁厚的缺欠应判定为缺陷, 且应按 C.3 规定处置。

注 影响最小允许壁厚的缺欠是指表面缺欠下方的剩余壁厚小于最小允许壁厚的缺欠。

E.6.2 设备

用于磁粉检验的设备应能产生足够强度的磁场, 以指示钢管外表面具有以下特征的缺欠: 裂纹、裂缝和开裂。

E.6.3 磁粉检验对比标样

如果购方有要求, 在制造购方所订购的产品期间, 制造商应为购方代表安排验证试验。试验应采用生产过程中的钢管, 或制造商为此目的保留的类似样管, 样管上应有 E.6.2 所述特征的自然或人工制造的缺陷。

E.7 剩磁

E.7.1 剩磁要求仅适用于在钢管制造厂内进行的剩磁检验。

注 钢管离开制造厂后的剩磁值, 可能会受到钢管运输过程及其后的作业方法和状态的影响。

E.7.2 对于 $D \geq 168.3 \text{ mm}$ (6.625 in) 的平端钢管, 以及采用了电磁方法进行全长检验, 或在装运前采用电磁设备搬运的较小直径平端钢管。应在成品平端钢管的钝边或垂直切断面上测量纵向磁场。

注 在管垛上进行的剩磁测量无效。

E.7.3 应采用霍尔效应高斯计或校准过的其他类型仪器进行剩磁测量, 但在有争议的情况下, 应以霍尔效应高斯计的测量为准。高斯计应按已证明可获得准确结果的书面程序进行操作。

E.7.4 每个工作班的每 4 小时至少选一根钢管, 对其两端进行测量。

E.7.5 钢管装运出厂前, 当采用磁场方法对钢管进行任何检验后, 应测量钢管的磁性。在测量 钢管磁性后, 若采用电磁设备搬运钢管, 应证实采用该方法搬运的钢管剩磁不超过 E.7.6 规定。

E.7.6 应在钢管每一端沿周向大约相距 90° 测量 4 个读数。当用霍尔效应高斯计测量时, 4 个读数的平均值应 $\leq 3.0 \text{ mT}$ (30 Gs), 且任一读数不应超过 3.5 mT (35 Gs), 或者当采用其他类型仪器测量时, 测量值不应超过上述值的等效值。

E.7.7 不满足 E.7.6 要求的钢管应视为缺陷钢管。除 E.7.8 允许外, 有缺陷钢管与最后一根合格 钢管之间生产的所有钢管应逐根测量。

E.7.8 1 如果记录了钢管的生产顺序, 可从该缺陷钢管前面生产的钢管开始进行反向测量, 直到至少 3 根连续生产的钢管满足要求为止。

注 这 3 根合格钢管前面生产的钢管不需要测量。

E.7.9 在缺陷钢管之后生产的钢管应逐根测量, 直到至少 3 根连续生产的钢管满足要求为止。

E.7.10 所有缺陷钢管应全长退磁, 且随后重新测量其磁性、直到至少连续 3 根钢管满足 E.7.6 要求为止。

E.8 电焊 (EW)、埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管管体分层缺欠

E.8.1 如果有协议, 对电焊 (EW) 管, 应采用超声检验验证管体不存在大于如下规定的分层缺欠:

- a) 如果分层检验在钢管成型之前进行, 则执行 ISO 10893-9 验收级别为 U2, 或者
- b) 如果分层检验在钢管焊接之后进行, 则执行 ISO 10893-8 验收级别 U3。

E.8.2 如果有协议, 对埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管, 应采用超声检验验证钢带/钢板或管体不存在大于 ISO 10893-9 验收级别 U2 的分层缺欠。

E.9 钢带/钢板边缘或电焊 (EW)、埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管焊缝附近分层缺欠

如果有协议, 对电焊 (EW)、埋弧焊 (SAW) 和组合焊 (COW) 管应采用超声检验, 以验证钢带/钢板每个边缘 15 mm (0.6 in) 宽度范围内或钢管焊缝每侧各 15 mm (0.6 in) 范围内不存在大于如下规定的分层缺欠:

- a) 如果分层检验在钢管成型之前进行, 则执行 ISO 10893-9 验收级别为 U2, 或者
- b) 如果分层检验在钢管焊接之后进行, 则执行 ISO 10893-8 验收级别为 U2。

E.10 含有缺陷管子的处置

带有缺陷的钢管应按如下一种或多种方法处置:

- a) 应按附录 C 的规定, 采用修磨法去除缺陷;
- b) 应按附录 C 的规定, 采用补焊的方法修补缺陷区域;
- c) 应切除钢管上带有缺陷的部分, 但切后钢管长度应在验收极限之内; 或者
- d) 应拒收整根钢管。

Annex F

（规范性附录（

接箍要求（仅对 PSL 1）

F.1 材料

F.1.1 成品接箍应满足本附录规定钢级的 PSL1 的化学成分、力学性能和无损检验适用要求。

F.1.2 用于 L175、L175P、A25 和 A25P 钢管的接箍应为无缝或焊接接箍。

F.1.3 除 F.1.4 允许外，用于 L210、L245、A 和 B 钢管的接箍应是无缝的，且其钢级的力学性能至少应与钢管的力学性能相同。

F.1.4 如果有协议， $D \geq 355.6 \text{ mm}$ (14.000 in) 的钢管可带焊接接箍交货，但接箍应有适当标志。

F.2 尺寸

接箍的尺寸和偏差应符合表 F.1 要求，如图 F.1 所示。

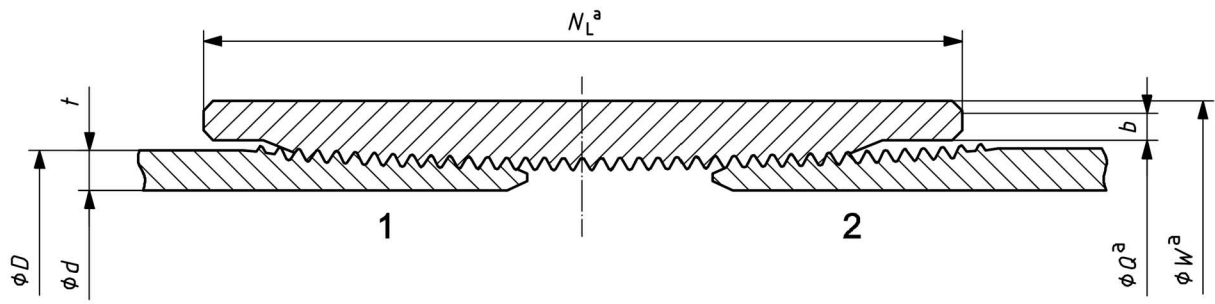
注 表 F.1 的接箍适合于表 24 和表 25 所列尺寸的钢管。

F.3 检验

接箍不应有气孔、凹坑、渣痕和有损接箍连接功能或破坏螺纹连续性的其他缺欠。

表 F.1—接箍尺寸、质量和偏差

钢管规定外径 D mm (in.)	接箍尺寸 mm (in.)				计算接箍质量 kg (lb)
	规定外径 ^a W^b	规定最小长度 N_L^b	规定凹槽直径 Q^b	规定承载面宽度 b	
10.3 (0.405)	14.3 (0.563)	27.0 (1.063)	11.9 (0.468)	0.8 (0.031)	0.02 (0.04)
13.7 (0.540)	18.3 (0.719)	41.3 (1.625)	15.3 (0.603)	0.8 (0.031)	0.04 (0.09)
17.1 (0.675)	22.2 (0.875)	41.3 (1.625)	18.8 (0.738)	0.8 (0.031)	0.06 (0.13)
21.3 (0.840)	27.0 (1.063)	54.0 (2.125)	22.9 (0.903)	1.6 (0.063)	0.11 (0.24)
26.7 (1.050)	33.4 (1.313)	54.0 (2.125)	28.3 (1.113)	1.6 (0.063)	0.15 (0.34)
33.4 (1.315)	40.0 (1.576)	66.7 (2.625)	35.0 (1.378)	2.4 (0.093)	0.25 (0.54)
42.2 (1.660)	52.2 (2.054)	69.8 (2.750)	43.8 (1.723)	2.4 (0.093)	0.47 (1.03)
48.3 (1.900)	55.9 (2.200)	69.8 (2.750)	49.9 (1.963)	2.4 (0.093)	0.41 (0.90)
60.3 (2.375)	73.0 (2.875)	73.0 (2.875)	62.7 (2.469)	3.2 (0.125)	0.84 (1.86)
73.0 (2.875)	85.7 (3.375)	104.8 (4.125)	75.4 (2.969)	4.8 (0.188)	1.48 (3.27)
88.9 (3.500)	101.6 (4.000)	108.0 (4.250)	91.3 (3.594)	4.8 (0.188)	1.86 (4.09)
101.6 (4.000)	117.5 (4.625)	111.1 (4.375)	104.0 (4.094)	4.8 (0.188)	2.69 (5.92)
114.3 (4.500)	132.1 (5.200)	114.3 (4.500)	116.7 (4.594)	6.4 (0.250)	3.45 (7.60)
141.3 (5.563)	159.9 (6.296)	117.5 (4.625)	143.7 (5.657)	6.4 (0.250)	4.53 (9.99)
168.3 (6.625)	187.7 (7.390)	123.8 (4.875)	170.7 (6.719)	6.4 (0.250)	5.87 (12.93)
219.1 (8.625)	244.5 (9.625)	133.4 (5.250)	221.5 (8.719)	6.4 (0.250)	10.52 (23.20)
273.1 (10.750)	298.4 (11.750)	146.0 (5.750)	275.4 (10.844)	9.5 (0.375)	14.32 (31.58)
323.9 (12.750)	355.6 (14.000)	155.6 (6.125)	326.2 (12.844)	9.5 (0.375)	22.37 (49.32)
355.6 (14.000)	381.0 (15.000)	161.9 (6.375)	358.0 (14.094)	9.5 (0.375)	20.81 (45.88)
406.4 (16.000)	431.8 (17.000)	171.4 (6.750)	408.8 (16.094)	9.5 (0.375)	23.35 (55.89)
457 (18.000)	482.6 (19.000)	181.0 (7.125)	459.6 (18.094)	9.5 (0.375)	30.20 (66.61)
508 (20.000)	533.4 (21.000)	193.7 (7.625)	510.4 (20.094)	9.5 (0.375)	36.03 (79.45)
^a 接箍外径偏差为 $\pm 0.01 W$ 。					
^b 由于美国石油学会 (API) 长期在 API 5L[17] 和 API 5CT[21]中使用这些符号, 而使其得以保留。					



说明

- 1 基本的机紧上扣
- 2 手紧上扣
- b 定承载面宽度
- d 钢管内径
- D 钢管规定外径
- N_L 规定最小长度
- Q 规定凹槽直径
- t 钢管壁厚
- W 接箍规定外径
- ^a API 长期在 API 5L 和 API 5CT^[21] 中使用这些符号。

图 F.1—管线钢管和接箍

Annex G (规范性附录)

抗延性断裂扩展的 PSL 2 钢管

G.1 简介

G.1.1 本附录规定了用于进行 CVN 冲击试验的 PSL2 钢管（见表 22）和订购用于输气管线[见 7.2 c) 55)] 管体抗延性断裂扩展的 PSL2 钢管的附加条款。本附录同时也为确定钢管延性断裂止裂 CVN 冲击功值提供了指南。

注 1 足够的断口剪切面积并兼具足够的 CVN 吸收能是输气管线钢管管体的基本性能，它确保钢管避免脆性断裂扩展，且控制其延性断裂扩展。（见 9.8.2.2）

注 2 使用者应采取一切合理措施，保证适用于本附录要求的任一输气管线的运行参数（包括气体组分、气体压力）与相应指导方法确立的试验条件相当或一致，这一点是很重要的。在管线工况超出某特定指导方法有效性范围的情况下，该指导方法的应用可能导致对材料抗连续断裂性能的不安全评估。

G.1.2 G.7~G.10 所列指导方法用来确定控制陆上埋地输气管线钢管管体延性断裂扩展所必需的 CVN 吸收能，这些指导方法源自并得到主要或专门针对焊接管线钢管进行的大量理论和试验工作的支持。如果采用上述方法确定控制无缝管延性断裂所需 CVN 吸收能数值时，使用者宜谨慎对待得到的计算值，可要求用钢管全尺寸爆破试验（见 G.11）进行验证。

G.2 由购方提供的附加信息

G.2.1 购方应在订货合同中明确下列哪项条款适用特定订货批：

- a) 每个试验的 CVN 最小平均吸收能数值（全尺寸试样），或者
- b) 订货批的 CVN 最小平均吸收能数值（全尺寸试样）。

G.2.2 订货合同还应规定：

- a) CVN 冲击试验温度，以及
- b) DWT 试验温度[仅对于 $D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 钢管]。

G.3 验收标准

G.3.1 在订货合同规定的试验温度， $D < 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 钢管管体 CVN 冲击试验平均断口剪切面积应 $\geq 85 \%$ 。

G.3.2 如果订货合同规定 G.2.1 a) 时，在订货合同规定的试验温度，每个管体试验的平均吸收能（三个试样为一组）不应小于订货合同规定的全尺寸试样的要求。

G.3.3 如果订货合同规定 G.2.1 b) 时，订货批的平均吸收能（该订货批进行的所有试验）不应小于订货合同规定的全尺寸试样的要求。

G.3.4 在订货合同规定的试验温度，管体每个 DWT 试验的平均断口剪切面积应 $\geq 85 \%$ 。

注 当订购输气管线用钢管时，用户通常规定 DWT 试验。如果 DWT 试验的剪切面积 $\geq 85\%$ ，那么可以保证钢材在试验温度主要以延性方式断裂。为了确定管线钢管在管线服役条件下的抗连续断裂性能，在有效范围内使用本附录所述的指导方法对钢材进行进一步的评估是非常重要的。

G.4 试验频次

G.4.1 对于 $D < 508 \text{ mm}$ (20.000 in.)的焊管，应按照表 18 规定的频次进行管体 CVN 试验。

G.4.2 对于 $D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in.) 的焊管，应按照表 18 规定的频次进行管体 CVN 和 DWT 试验。

G.5 钢管标志和检验文件

G.5.1 I 除 11.2 要求的钢管标志外，产品规范水平代号后面应加字母“G”，表示附录 G 适用。

G.5.2 除 10.1.3.2 要求外，检验文件内容应包括以下：

- DWT 和 CVN（适用时）试验温度，
- 每个试验的最小平均 CVN 吸收能值，以及
- 订货批的最小平均 CVN 吸收能值。

G.6 确定陆上埋地输气管线 CVN 吸收能值的指南

G.6.1 G.7~G.11 提供了五种方法，这些方法可用于确定控制陆上埋地输气管线钢管体延性断裂扩展的 CVN 吸收能。同时提供了每种方法详细的适用性范围。

注 本附录无意排除管线设计者采用其他方法。

G.6.2 按照 G.7~G.11 所述方法得出的 CVN 吸收能数值或者更高数值可规定为每个试验的最小值，或者订货批的最小平均值。

注 1 如果得出的 CVN 吸收能数值作为订货批的最小平均吸收能值，而不是作为每个试验的最小平均吸收能值时，那么断裂扩展的预测长度就会加大（见参考文献[12]）。

注 2 本要求是针对输送贫气的陆上埋地管线而制定的。对于海底管线，这些要求可能是保守的。

G.7 EPRG（欧洲管线研究机构）准则 — 方法 1

G.7.1 本方法以欧洲管线研究机构 (EPRG) 输气管线止裂准则为基础[10]。这种方法仅限于焊管。

表 G.1, G.2 和 G.3 规定了最小平均吸收能值（一组三个试样），适用于运行压力 $\leq 8 \text{ MPa}$

（1160 psi）， $D \leq 1430 \text{ mm}$ （56.000 in）且 $t \leq 25.4 \text{ mm}$ （1.000 in），瞬时减压时表现出单相流体行为的输气管线。这些表中所列数值为最小全尺寸 CVN 吸收能 K_V [用 J (ft.lbf) 表示]，当钢管等级 $< L555/X80$ 时，表列数值为 40 J 与使用和钢管等级对应的公式[（G.1）~（G.3）中任一个]计算值的较大者；当钢管等级为 L555 或 X80 时，表列数值为 80 J 与使用和钢管等级对应的公式[（G.1）~（G.3）中任一个]计算值的较大者：

- 钢管等级 $\leq L450$ 或 X65：

$$K_V = C_1 \times \sigma_h^{1.5} \times D^{0.5} \quad (\text{G.1})$$

b) 钢管等级 > L450 或 X65, 但 ≤ L485 或 X70:

$$K_V = C_2 \times \sigma_h^{1.5} \times D^{0.5} \quad (G.2)$$

c) 钢管等级 > L485 或 X70, 但 ≤ L555 或 X80:

$$K_V = C_3 \times \sigma_h^2 \times \left(\frac{Dt}{2} \right)^{1/3} \quad (G.3)$$

式中:

σ_h 设计环向应力, 用 MPa (kpsi) 表示;

D 规定外径, 用 mm (in) 表示;

t 规定壁厚, 用 mm (in) 表示;

C_1 使用 SI 单位制时为 2.67×10^{-4} , 使用 USC 单位制时为 1.79×10^{-2} ;

C_2 使用 SI 单位制时为 3.21×10^{-4} , 使用 USC 单位制时为 2.16×10^{-2} ;

C_3 使用 SI 单位制时为 3.57×10^{-5} , 使用 USC 单位制时为 1.08×10^{-2} ;

注: 由公式 (G.1) 得到的计算值是使用方法4中的公式 (G.5) 得到计算值的0.75倍。

由公式 (G.2) 得到的计算值是使用方法4中的公式 (G.5) 得到计算值的0.9倍。

由公式 (G.3) 得到的计算值与使用方法2中的公式 (G.4) 得到计算值相等。

G.7.2 应用本方法时, 可从 EPRG 报告中得到安全裕度和断裂扩展长度。[11]

。

表 G.1—设计系数为 0.625 的最小 CVN 吸收能要求

规定外径 <i>D</i> mm (in.)	全尺寸 CVN 吸收能, 最小						
	Kv J (ft • lbf)						
	钢管等级						
	≤L245 或 B	>L245 或 B 至 L290 或 X42	L290 或 X42 至 L360或X52	L360 或 X52 至 L415 或 X60	L415 或 X60 至 L450 或 X65	L450 或 X65 至 L485 或 X70	L485 或 X70 至 L555 或 X80
≤508 (20.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	80 (59)
> 508 (20.000) 至 610 (24.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	41 (30)	80 (59)
> 610 (24.000) 至 711 (28.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	45 (33)	80 (59)
> 711 (28.000) 至 813 (32.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	48 (35)	80 (59)
> 813 (32.000) 至 914 (36.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	51 (38)	80 (59)
> 914 (36.000) 至 1016 (40.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	53 (39)	80 (59)
> 1016 (40.000) 至 1118 (44.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	42 (31)	56 (41)	82 (60)
> 1118 (44.000) 至 1219 (48.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	43 (32)	58 (43)	87 (64)
> 1219 (48.000) 至 1422 (56.000)	40 (30)	42 (31)	42 (31)	42 (31)	47 (35)	63 (46)	96 (71)

表 G.2—设计系数为 0.72 的最小 CVN 吸收能要求

规定外径 <i>D</i> mm (in.)	全尺寸 CVN 吸收能, 最小						
	<i>Kv</i>						
	<i>J</i> (ft • lbf)						
	钢管等级						
	≤L245 或 B	>L245 或 B 至 L290 或 X42	> L290 或 X42 至 L360 或 X52	L360 或 X52 至 L415 或 X60	L415 或 X60 至 L450 或 X65	L450 或 X65 至 L485 或 X70	L485 或 X70 至 L555 或 X80
≤508 (20.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	46 (34)	80 (59)
> 508 (20.000) 至 610 (24.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	50 (37)	80 (59)
> 610 (24.000) 至 711 (28.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	41 (30)	55 (41)	80 (59)
> 711 (28.000) 至 813 (32.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	43 (32)	58 (43)	83 (61)
> 813 (32.000) 至 914 (36.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	41 (30)	46 (34)	62 (46)	90 (66)
> 914 (36.000) 至 1016 (40.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	44 (32)	48 (35)	65 (48)	96 (71)
> 1016 (40.000) 至 1118 (44.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	46 (34)	51 (38)	68 (50)	102 (75)
> 1118 (44.000) 至 1219 (48.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	48 (35)	53 (39)	71 (52)	108 (80)
> 1219 (48.000) 至 1422 (56.000)	40 (30)	42 (31)	42 (31)	51 (38)	57 (42)	77 (57)	120 (89)

表 G.3—设计系数为 0.80 的最小 CVN 吸收能要求

规定外径 D mm (in.)	全尺寸 CVN 吸收能, 最小						
	K_V J (ft • lbf)						
	钢管等级						
	≤L245 或 B	>L245 或 B 至 L290 或 X42	> L290 或 X42 至 L360 或 X52	L360 或 X52 至 L415 或 X60	L415 或 X60 至 L450 或 X65	L450 或 X65 至 L485 或 X70	L485 或 X70 至 L555 或 X80
≤508 (20.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	41 (30)	55 (41)	80 (59)
> 508 (20.000) 至 610 (24.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	45 (33)	60 (44)	84 (62)
> 610 (24.000) 至 711 (28.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	43 (32)	49 (36)	65 (48)	93 (69)
> 711 (28.000) 至 813 (32.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	46 (34)	52 (38)	68 (50)	102 (75)
> 813 (32.000) 至 914 (36.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	49 (36)	55 (41)	73 (54)	110 (81)
> 914 (36.000) 至 1016 (40.000)	40 (30)	40 (30)	42 (31)	52 (38)	58 (43)	77 (57)	118 (87)
> 1016 (40.000) 至 1118 (44.000)	40 (30)	40 (30)	44 (32)	54 (40)	61 (45)	81 (60)	125 (92)
> 1118 (44.000) 至 1219 (48.000)	40 (30)	40 (30)	46 (34)	56 (41)	64 (47)	84 (62)	133 (98)
> 1219 (48.000) 至 1422 (56.000)	40 (30)	42 (31)	49 (36)	61 (45)	69 (51)	91 (67)	148 (109)

G.8 Battelle 简化公式 — 方法 2

本方法使用 Battelle 简化公式，以 Battelle 双曲线法（见 G.9）为基础。这种方法仅限于焊管。适用于输送运行压力≤7.0 MPa（1015 psi），具有单相减压性质的混合天然气，钢管等级≤L555/X80 且 $40 < D/t < 115$ 。最小全尺寸 CVN 吸收能值 K_V 可用公式（G.4）计算，单位为 J

$$K_V = C_3 \times \sigma_h^2 \times \left(\frac{Dt}{2} \right)^{1/3} \quad (G.4)$$

式中：

σ_h 设计环向应力，用 MPa（kpsi）表示；

D 规定外径，用 mm (in) 表示；

t 规定壁厚，用 mm (in) 表示；

C_3 使用 SI 单位制时为 3.57×10^{-5} ，使用 USC 单位制时为 1.08×10^{-2} ；

如果按本方法计算的全尺寸吸收功数值大于 100 J (74 ft.lbf)，则需对止裂韧性值进行修正。修正时宜获取专家的建议。

G.9 Battelle 双曲线法 — 方法 3

T 本方法依据 Battelle 双曲线法，将断裂速度曲线（驱动力）和钢管韧性或阻力曲线相匹配而成。当两曲线相切时，定义为止裂所需的最小断裂韧性值。国际管线研究委员会 (PRCI) 208 报告，PR-3-9113 描述了 Battelle 双曲线法[12]，报告中也给出了试验数据的范围，并依据数据对其进行了校验。双曲线法限于焊管。适用于管线运行压力 ≤ 12.0 MPa (1740 psi)，钢管等级 ≤ L555/80 且 $40 < D/t \leq 115$ ，单相减压特性的流体和减压到两相边界的富气[13]。如果按本方法计算的全尺寸吸收功数值大于 100 J (74 ft.lbf)，则需对止裂韧性值进行修正。修正时宜获取专家的建议。

G.10 AISI 法 — 方法 4

本方法依据下列公式，其结果在统计上与 AISI [14] 全尺寸爆破试验数据相吻合，适用于减压过程中表现为单相特性的流体。本方法的应用限于试验数据的范围，并依据试验数据对其进行初始校验，钢管等级近似 ≤ L485/X70 且 $D \leq 1219$ mm (48.000 in)。尽管在公式中没有出现壁厚，但试验过的最大规定壁厚为 18.3 mm (0.720 in)。这种方法仅限于焊管。最小全尺寸 CVN 吸收能值 K_v 可用公式 (G.5) 计算，单位为 J

$$K_v = C_4 \times \sigma_h^{1.5} \times D^{0.5} \quad (G.5)$$

式中：

σ_h 设计环向应力，用 MPa (kpsi) 表示；

D 规定外径，用 mm (in) 表示；

C_4 使用 SI 单位制时为 3.57×10^{-4} ，使用 USC 单位制时为 2.40×10^{-2} 。

如果按本方法计算的全尺寸吸收功数值大于 100 J (74 ft.lbf)，则需对止裂韧性值进行修正。修正时宜获取专家的建议。

G.11 全尺寸爆破试验 — 方法 5

本方法依据全尺寸爆破试验，对特定管线设计和流体止裂韧性进行确认。典型作法是，一定韧性值范围的钢管装置在爆破试验段，随着距启裂源距离的增大，该试验段两侧钢管韧性值随之增加。依据发生止裂的那根钢管的实际 CVN 吸收能确定止裂所需 CVN 吸收能。在进行爆破试验时，要保持管线特定的气体组分、温度和压力。因此，这是一种最常用的方法，而且适用于现有试验结果数据库之外的管线设计。

Annex H (规范性附录)

酸性服役条件 PSL2 钢管的订购

H.1 简介

本附录规定了订购酸性服役条件 PSL 2 钢管的附加条款[见 7.2 c) 56)]。

注意 — 考虑到 PSL1 钢管不适合酸性服役条件，因此附录 H 不应适用于 PSL1 钢管。

注 用于石油和天然气产品的金属元件，由于暴露在含硫化氢(H₂S) 的流体产品中而突然失效。突然失效的结果促使了 NACE MR0175 的编制，以及随后 EFC 出版物 16[15]。这些资料提供了在含湿硫化氢的石油和天然气产品环境使用的原材料评价和选择的要求和推荐作法，依照这些资料，NACE MR0175/ISO 15156-1[20] 和ISO 15156-2 得以发布。按照 ISO 15156-2 选择的碳钢和低合金钢，在所定义的含硫化氢(H₂S)的石油和天然气产品环境中具有抗开裂性能，但未必在所有服役条件都免于开裂。各种不同的服役条件可能有必要进行 ISO 15156-2:2003 附录 B 规定的不同的试验。该附录规定了通过试验室试验评价硫化氢 (H₂S) 服役条件下碳钢及低合金钢的要求。

选择适合预期服役条件的碳钢和低合金钢是购方的责任。

H.2 由购方提供的附加信息

除 7.1 规定的 a) ~ g) 外，订货合同应指出下列哪一条款适用于特定的订货批：

- a) 焊管用钢带或钢板的浇铸方法（见 H.3.3.2.1）；
- b) 钢带/钢板分层缺欠的超声检验（见 H.3.3.2.4）；
- c) 带有钢带(卷)/钢板对头焊缝的螺旋缝焊管的供应（见 H.3.3.2.5）；
- d) 中间钢级的化学成分（见 H.4.1.1）；
- e) $t > 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in) 钢管的化学成分（见 H.4.1.2）；
- f) 化学成分限制[见表 H.1，脚注 c)、d)、e)、f)、i)、j) 和 k)]；
- g) 高频焊 (HFW) 管和埋弧焊 (SAW) 管的直焊缝硬度试验频次（见表 H.3）；
- h) 用于制造工艺评定的硫化物应力开裂 (SSC) 试验（见表 H.3）；
- i) 替代氢致开裂 (HIC)/阶梯开裂 (SWC) 试验方法及相应验收极限（见 H.7.3.1.3）；
- j) 可报告的 HIC 裂纹显微照片（见 H.7.3.1.4）；
- k) 制造工艺评定时替代 SSC 试验方法和相应验收极限（见 H.7.3.2.2）；
- l) 与规定硬度试验的差别（见 H.7.3.3.2 和 H.7.3.3.3）；
- m) 与 4 个硬度压痕的差别[见 H.7.3.3.2 c)]；

- n) $t \geq 5.0 \text{ mm}$ (0.197 in) 钢管管端 100 mm (4.0 in) 长度范围的分层缺欠超声检验 (见 K.2.1.3) ;
 - o) 管端补充 NDT 分层验收极限[见 K.2.1.3 和 K.2.1.4];
 - p) 每根钢管管端面/坡口分层缺欠的磁粉检验 (见 K.2.1.4.) ;
 - q) 分层尺寸/密度验证 (见 K.3.2.2) ;
 - r) 无缝 (SMLS) 管超声壁厚测量范围的增加 (见 K.3.3) ;
 - s) 无缝 (SMLS) 管的一个或多个补充无损检验的应用 (见 K.3.4) ;
 - t) 无缝 (SMLS) 管横向缺欠的超声检验 (见 K.3.4.1) ;
 - u) 无缝 (SMLS) 管全管体纵向缺欠和横向缺欠的漏磁检验 (见 K.3.4.2) ;
 - v) 无缝 (SMLS) 管全管体涡流检验 (见 K.3.4.3) ;
 - w) 钢管全管体磁粉检验 (见 K.3.4.4) ;
 - x) 面积 100 mm^2 (0.16 in^2) 单个分层尺寸的限制 (见表 K.1) ;
 - y) 高频焊 (HFW) 管焊缝无损检验的 U2/U2H 验收等级 (见 K.4.1) ;
- 可替换的 ISO 10893-10 高频焊 (HFW) 焊缝超声检验验收极限[见 K.4.1 b)];
- aa) 高频焊 (HFW) 管管体分层缺欠的超声检验 (见 K.4.2) ;
 - bb) 钢带/钢板边缘或邻近焊缝区域分层缺欠的超声检验 (见 K.4.3) ;
 - cc) 高频焊 (HFW) 管管体的超声或漏磁无损检验 (见 K.4.4) ;
 - dd) 使用固定深度的刻槽对设备进行校准[见 K. 5.1.1 c)];
 - ee) 管端 (未检测端) 和修补区域的射线检验[见 K. 5.3 a)];
 - ff) 埋弧焊 (SAW) 管管端焊缝的磁粉检验 (见 K.5.4) 。

H.3 制造

H.3.1 制造工艺

所有钢管应根据按附录 B 评定合格的制造工艺生产, 且有可能补充附加试验 (见表 H.3) 。

H.3.2 炼钢

H.3.2.1 钢应为采用氧气顶吹转炉冶炼工艺或电炉冶炼工艺生产的纯净镇静钢。

H.3.2.2 宜采用减少钢中气体含量的真空除气方法或其他替代方法。

H.3.2.3 为控制夹杂物的形状应对熔融钢进行处理。购方和制造商可协商确定一种方法（如金相检验）评估夹杂物形状控制的效果。对于硫含量 $\leq 0.001\%$ 的钢，可协商不评估夹杂物形状控制。

H.3.3 钢管制造

H.3.3.1 无缝 (SMLS) 管

无缝 (SMLS) 管应采用连铸钢或铸锭钢制造。如果采用冷精整方法，应在检验文件中指明。

H.3.3.2 焊管

H.3.3.2.1 除另有协议外，焊管用钢带（卷）和钢板应由连铸厚板或压铸厚板轧制而成。钢管应为直缝埋弧焊 (SAWL)、螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 或高频焊 (HFW) 管。

H.3.3.2.2 高频焊 (HFW) 管用钢带（卷）或钢板的对接边缘，在焊接前宜进行修剪、铣削或机加工。

H.3.3.2.3 焊管用钢带（卷）和钢板在轧制后应进行外观检查。既可对未成卷钢带检查，也可对钢带卷边缘检查。

H.3.3.2.4 对于高频焊 (HFW) 管，如果有协议，在高频焊 (HFW) 管用钢带（卷）或钢板切断前后，应根据 K.4 的要求，采用超声方法检验钢带（卷）和钢板的分层缺欠或机械损伤，否则应对成品管进行包括超声检验的全管体检验。

H.3.3.2.5 如果有协议，用钢带（卷）/钢板制成、包含钢带（卷）/钢板对头焊缝的螺旋缝焊管可以交付使用，条件是对头焊缝距管端至少 300 mm，且对该焊缝进行了与钢带（卷）/钢板边缘和螺旋焊缝相同的符合附录 K 要求的无损检验。

H.3.3.2.6 不应在直缝埋弧焊 (SAWL) 或螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 管坡口使用间断定位焊，制造商向购方提交的数据证明，在定位焊位置和中间位置的钢管所有力学性能满足规定要求，并获得购方批准时除外。

H.3.3.3 对接管

除另有协议外，不应交付对接管。

注 购方和制造商有责任对特殊酸性服役对接管的焊接工艺规范和评定试验进行协商。

H.4 验收标准

H.4.1 化学成分

H.4.1.1 $t \leq 25.0$ mm (0.984 in) 钢管，标准钢级的化学成分应符合表 H.1 的要求，中间钢级的化学成分应协商确定，但应与表 H.1 规定的标准钢级的化学成分协调。钢管牌号应按表 H.1 要求，且由表示钢级的字母或字母数字和尾随的后缀组成。后缀由表示交货状态的字母 (N、Q 或 M) 和表示服役条件的第二个字母 (S) 组成。

H.4.1.2. $t > 25.0$ mm (0.984 in) 钢管的化学成分应协商确定，并按表 H.1 规定对化学成分进行适当的修正。

H.4.2 拉伸性能

H.4.2.1 拉伸性能应符合表 H.2 的规定。

表 H.1— $t \leq 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in.) 的 PSL1 钢管化学成分

钢级	质量分数，基于熔炼分析和产品分析									碳当量 ^a	
	最大 %									最大 %	
	C ^b	Si	Mn ^b	P	S	V	Nb	Ti	其他 ^{c,d}	CE _{IIW}	CE _{Pcm}
无缝管和焊管											
L245NS 或 BNS	0.14	0.40	1.35	0.020	0.003 ^e	f	f	0.04	g	0.36	0.19 ^h
L290NS 或 X42NS	0.14	0.40	1.35	0.020	0.003 ^e	0.05	0.05	0.04	—	0.36	0.19 ^h
L320NS 或 X46NS	0.14	0.40	1.40	0.020	0.003 ^e	0.07	0.05	0.04	g	0.38	0.20 ^h
L360NS 或 X52NS	0.16	0.45	1.65	0.020	0.003 ^e	0.10	0.05	0.04	g	0.43	0.22 ^h
L245QS 或 BQS	0.14	0.40	1.35	0.020	0.003 ^e	0.04	0.04	0.04	—	0.34	0.19 ^h
L290QS 或 X42QS	0.14	0.40	1.35	0.020	0.003 ^e	0.04	0.04	0.04	—	0.34	0.19 ^h
L320QS 或 X46QS	0.15	0.45	1.40	0.020	0.003 ^e	0.05	0.05	0.04	—	0.36	0.20 ^h
L360QS 或 X52QS	0.16	0.45	1.65	0.020	0.003 ^e	0.07	0.05	0.04	g	0.39	0.20 ^h
L390QS 或 X56QS	0.16	0.45	1.65	0.020	0.003 ^e	0.07	0.05	0.04	g	0.40	0.21 ^h
L415QS 或 X60QS	0.16	0.45	1.65	0.020	0.003 ^e	0.08	0.05	0.04	g,i,k	0.41	0.22 ^h
L450QS 或 X65QS	0.16	0.45	1.65	0.020	0.003 ^e	0.09	0.05	0.06	g,i,k	0.42	0.22 ^h
L485QS 或 X70QS	0.16	0.45	1.65	0.020	0.003 ^e	0.09	0.05	0.06	g,i,k	0.42	0.22 ^h
焊管											
L245MS 或 BMS	0.10	0.40	1.25	0.020	0.002 ^e	0.04	0.04	0.04	—	—	0.19
L290MS 或 X42MS	0.10	0.40	1.25	0.020	0.002 ^e	0.04	0.04	0.04	—	—	0.19
L320MS 或 X46MS	0.10	0.45	1.35	0.020	0.002 ^e	0.05	0.05	0.04	—	—	0.20
L360MS 或 X52MS	0.10	0.45	1.45	0.020	0.002 ^e	0.05	0.06	0.04	—	—	0.20
L390MS 或 X56MS	0.10	0.45	1.45	0.020	0.002 ^e	0.06	0.08	0.04	g	—	0.21
L415MS 或 X60MS	0.10	0.45	1.45	0.020	0.002 ^e	0.08	0.08	0.06	g,i	—	0.21
L450MS 或 X65MS	0.10	0.45	1.60	0.020	0.002 ^e	0.10	0.08	0.06	g,i,j	—	0.22
L485MS 或 X70MS	0.10	0.45	1.60	0.020	0.002 ^e	0.10	0.08	0.06	g,i,j	—	0.22

^a 以产品分析为准（见 9.2.4 和 9.2.5）。如碳含量大于 0.12 % 则使用 CE_{IIW} 限制，如碳含量小于等于 0.12 % 则使用 CE_{Pcm}。

^b 碳含量比规定最大碳含量每减少 0.01 %，则允许锰含量比规定最大锰含量高 0.05 %，最大增至 0.20 %。

^c Al 总含量 ≤ 0.060 %；N ≤ 0.012 %；Al / N ≥ 2 : 1（不适用钛镇静钢或钛处理钢）；Cu ≤ 0.35 %（如果有协议，Cu ≤ 0.10 %）；Ni ≤ 0.30 %；Cr ≤ 0.30 %；Mo ≤ 0.15 %；B ≤ 0.0005 %。

^d 在焊管有意增加钙含量情况下，除另有协议外，如果 S > 0.0015 % 则 Ca/S ≥ 1.5。^e SMLS 管和焊管 Ca ≤ 0.006 %。

^e SMLS 管的最大硫含量可增至 0.008 %，而且如果有协议焊管可增至 0.006 %。对于这些硫含量水平较高的焊管，可协议确定较低的 Ca/S。

^f 除另有协议外，Nb + V ≤ 0.06 %。

^g Nb + V + Ti ≤ 0.15 %。

^h 对于 SMLS 管，表列 CE_{Pcm} 值可增加 0.03。

ⁱ 如果有协议，Mo ≤ 0.35 %。

^j 如果有协议，Cr ≤ 0.45 %。

^k 如果有协议，Cr ≤ 0.45 % 且 Ni ≤ 0.50 %。

表 H.2—拉伸试验要求

钢管等级	无缝管和焊管管体						HFW 和 SAW 管焊缝
	屈服强度 ^a		抗拉强度 ^a		屈强比 ^b	伸长率(50 mm 或 2 in 上 的) Ar %	抗拉强度 ^c
	$R_{t0.5}$ MPa (psi)		R_m MPa (psi)		$R_{t0.5}/R_m$		R_m MPa (psi)
	最小	最大	最小	最大	最大	最小	最小
L245NS 或 BNS L245QS 或 BQS L245MS 或 BMS	245 (35,500)	450 ^d (65,300) ^d	415 (60,200)	655 (95,000)	0.93	e	415 (60,200)
L290NS 或 X42NS L290QS 或 X42QS L290MS 或 X42MS	290 (42,100)	495 (71,800)	415 (60,200)	655 (95,000)	0.93	e	415 (60,200)
L320NS 或 X46NS L320QS 或 X46QS L320MS 或 X46MS	320 (46,400)	525 (76,100)	435 (63,100)	655 (95,000)	0.93	e	435 (63,100)
L360NS 或 X52NS L360QS 或 X52QS L360MS 或 X52MS	360 (52,200)	530 (76,900)	460 (66,700)	760 (110,200)	0.93	e	460 (66,700)
L390QS 或 X56QS L390MS 或 X56MS	390 (56,600)	545 (79,000)	490 (71,100)	760 (110,200)	0.93	e	490 (71,100)
L415QS 或 X60QS L415MS 或 X60MS	415 (60,200)	565 (81,900)	520 (75,400)	760 (110,200)	0.93	e	520 (75,400)
L450QS 或 X65QS L450MS 或 X65MS	450 (65,300)	600 (87,000)	535 (77,600)	760 (110,200)	0.93	e	535 (77,600)
L485QS 或 X70QS L485MS 或 X70MS	485 (70,300)	635 (92,100)	570 (82,700)	760 (110,200)	0.93	e	570 (82,700)

^a 对于中间钢级，其规定最大屈服强度和规定最小屈服强度之差应与列表中与之邻近较高钢级的强度之差相同，规定最小抗拉强度和规定最小屈服强度之差应与列表中与之邻近较高钢级的强度之差相同。对于中间钢级，其抗拉强度应≤760 MPa (110200 psi)。

^b 本限制适用于 $D > 323.9$ mm (12.750 in) 的钢管。

^c 对于中间钢级，其焊缝的规定最小抗拉强度应与按脚注 a) 确定的管体抗拉强度相同。

^d 对于要求纵向检验的钢管，其最大屈服强度应 ≤495 MPa (71,800 psi)。

^e 在 50 mm (2 in) 的标距长度上，规定最小伸长率， A_f (以百分数表示，且被圆整到最邻近的百分数) 应采用下列公式确定：

$$A_f = C \frac{A_{xc}^{0.2}}{U^{0.9}}$$

式中：

C 当采用 SI 单位制时， C 为 1940，当采用 USC 单位制时， C 为 625000。

A_{xc} 为适用的拉伸试样的横截面积，用 mm² (in²)，具体如下所示：

- 1) 圆棒试样：直径 12.7 mm (0.500 in) 和 8.9 mm (0.350 in) 的圆棒试样为 130 mm² (0.20 in²)；直径 6.4 mm (0.250 in) 的圆棒试样为 65 mm² (0.10 in²)；
- 2) 全截面试样取 a) 485 mm² (0.75 in²) 和 b) 采用钢管规定外径和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小者，圆整到最邻近的 10 mm² (0.01 in²)；
- 3) 板状试样取 a) 485 mm² (0.75 in²) 和 b) 采用钢管规定试样宽度和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小者，圆整到最邻近的 10 mm² (0.01 in²)；

U 规定最小抗拉强度，用 MPa (psi) 表示。

H.4.3 HIC/SWC 试验

当在 A 溶液（环境）（见 ISO 15156-2: 2003, 表 B.3）进行评估抗氢致开裂 (HIC) 的试验时, 各试样的三个截面的各个最大允许平均比率应符合下列验收极限:

- a) 裂纹敏感率 $\leq 2\%$,
- b) 裂纹敏感率 $\leq 15\%$, 以及
- c) 裂纹敏感率 $\leq 5\%$ 。

如果 HIC/SWC 试验在模拟特定服役条件的替代介质中进行（见 H.7.3.1.3），可协商确定替代验收极限。

H.4.4 硬度试验

进行硬度试验的试样（见 H.7.3），其管体、焊缝和 HAZ 的硬度应 ≤ 250 HV10 或 22 HRC（70.6 HR 15N）。

如果经与最终用户协议, 且如果规定壁厚 > 9 mm, 在距钢管外表面 1.5 mm 的压痕排（见图 H.1）上所测量的最大可接收硬度应 ≤ 275 HV10 或 26 HRC（73.0 HR 15N）。

注 1 ISO 15156-2 为最终用户提供进一步指导。ISO15156-2 中盖面焊道可选择的硬度极限要求包括盖面焊道不应直接暴露在酸性环境中。

注 2 可采用维氏硬度试验或洛氏 HR 15N 压头进行硬度试验, 如果采用后者并有要求时, 可将硬度值换算为 HRC 硬度值。

H.4.5 SSC 试验

从试验介质中取出（见 H.7.3.2）SSC 试样后, 应在放大倍数为 $\times 10$ 的低倍显微镜下对试样的拉伸面进行检查。拉伸表面上出现任何表面开裂或裂纹的试样应为不合格试样, 能证明这些开裂或裂纹不是由硫化物应力开裂 (SSC) 引起的除外。

H.5 表面状况、缺欠和缺陷

H.5.1 除埋弧焊（SAW）管咬边之外, 应对外观检查发现的表面缺欠进行核查、判别, 并按照下列要求处置:

- a) 深度 $\leq 0.05t$, 且不影响最小允许壁厚的缺欠应判定为可验收的缺欠, 且应按 C.1 规定处置。

注 如果钢管随后涂敷涂层, 订货合同中可能规定表面缺欠的特殊处置要求。

- b) 深度 $> 0.05t$, 且不影响最小允许壁厚的缺欠, 应判为缺陷, 并按照 C.2, C.3 b) 或 C.3 c) 的规定处理;
- c) 影响到最小允许壁厚的缺欠应判为缺陷, 并按照 C.3 b) 或 C.3 c) 的规定处理。

H.5.2 对于焊管, 在任何方向上超过 50 mm 的任何硬块, 如果其单个压痕硬度值超过下述规定, 应判为缺陷:

- a) 钢管内表面、或内焊缝的补焊焊缝, 250 HV10, 22 HRC 或 240 HBW, 或者

b) 钢管外表面、或外焊缝的补焊焊缝，275 HV10，27 HRC 或 260 HBW。

包括此类缺陷的钢管应按 C.3 b) 或 C.3 c) 的规定处理。

H.6 高频焊 (HFW) 管焊缝毛刺

内毛刺不应超出钢管轮廓 $0.3 \text{ mm } (0.012 \text{ in}) + 0.05t$ 。

H.7 检验

H.7.1 特定检验

除表 H.3 的特殊更改外，检验频次应符合表 18 的要求。

表 H.3 — 检验频次

序号	检验类型	钢管类型	检验频次
1	$D < 508 \text{ mm } (20.000 \text{ in})$ 钢管硬度试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^a 不多于 100 根钢管为一试验批，每批一次
2	$D \geq 508 \text{ mm } (20.000 \text{ in})$ 钢管硬度试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^a 不多于 50 根钢管为一试验批，每批一次
3	焊管硬块硬度试验	HFW、SAWL 或 SAWH	在钢管内外表面上发现的每个硬块
4	如果有协议，直缝焊管或螺旋缝焊管的焊缝硬度试验	HFW、SAWL 或 SAWH	按订货合同规定
5	$D \leq 168.3 \text{ mm } (6.625 \text{ in})$ 钢管直径和不圆度	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	不多于 100 根钢管为一试验批，每批一次
6	$D > 168.3 \text{ mm } (6.625 \text{ in})$ 钢管直径和不圆度	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	不多于 20 根钢管为一试验批，每批一次
7	无损检验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	符合附录 K 要求
8	HIC 试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	前三个熔炼炉每炉试验一次；随后，每 10 个熔炼炉的钢不少于一次。
9	如果有协议，SSC 试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	每根用于制造工艺评定的钢管做一次试验。
^a 冷扩径率由制造商指定，并使用扩径前外径或圆周长与扩径后外径或圆周长得出；冷扩径率增加或减少量超过 0.002 时，则要求建立一个新的试验批。			

H.7.2 力学和工艺试验用试块和试样

H.7.2.1 总则

H.7.2.1.1 应按适用的引用标准截取拉伸试验、CVN 冲击试验、DWT 试验、导向弯曲试验、压扁试验、硬度试验、HIC 试验、钢管焊道试验、钢板焊道试验和 SSC 试验的试块，并加工成相应试样。

H.7.2.1.2 各类型试验的试块和试样应按图 5 和图 6 所示位置和表 H.4 的要求截取，并考虑 10.2.3.2~10.2.3.7、10.2.4 和 H.7.2.2~H.7.2.4 的补充要求。

H.7.2.2 HIC/ SWC 试验用试块

HIC/SWC 试验用试块应按 NACE TM0284 要求截取。

H.7.2.3 SSC 试验用试块和试样

H.7.2.3.1 应从每个管的试块上加工三个试样。

H.7.2.3.2 除另有协议外，四点弯曲 SSC 试验用试样尺寸（长度×宽度×厚度）应≥115 mm×15mm×5 mm (4.5 in×0.59 in×0.20 in)。对于焊管，在试样的中部应包括一段直焊缝或螺旋焊缝，并且应取焊缝的横向试样[见图 5 b) 和 c) 说明 1]。对于无缝管，应取管体的纵向试块（见图 5 a) 说明 1）。如果有协议，试块可压平。除另有协议外，机加工的试块应取自钢管内表面。

H.7.2.4 硬度试验试块

硬度试验试块应取自所选钢管的端部，对于焊管，在每个试块中心应包括一段直焊缝或螺旋焊缝（见图 H.1）。

表 H.4 — 硬度试验各试块试样数量、方向和位置

钢管类型	试块位置	各试块试样的数量、方向和位置 ^a	
		规定外径 <i>D</i> mm (in.)	
		< 508 (20.000)	≥ 508 (20.000)
SMLS ^b [见图 5 a)]	管体	1T	1T
SAWL [见图 5 b)]	焊缝	1W	1W ^c
SAWH [见图 5 c)]	焊缝	1W	1W
SAWH [见图 5 c)]	钢带(卷)/钢板对头焊缝	1WS	1WS
HFW [见图 5 b)]	焊缝	1W	1W
^a 用于表示试样方向和位置的符号说明，见图 5。			
^b 适用于冷扩径和非扩径无缝（SMLS）管。			
^c 对于双缝管，代表试验批钢管的两条焊缝都应进行试验。			

H.7.3 试验方法

H.7.3.1 HIC/SWC 试验

H.7.3.1.1 HIC/SWC 试验应按 NACE TM0284 的要求进行试验和报告。

H.7.3.1.2 除 H.7.3.1.3 允许外，HIC/SWC 试验应在符合 NACE TM0284:2003 的 A 溶液介质中进行。

H.7.3.1.3 如果有协议，HIC/SWC 试验可按下列要求进行：

- a) 在替代介质 NACE TM0284:2003 溶液 B 中（见 ISO 15156-2:2003 表 B.3）；
- b) H₂S 分压要与服役条件相适应；
- c) 验收极限与 H.4.3 的规定相同或比其更严格。

H.7.3.1.4 应报告裂纹长度率、裂纹厚度率和裂纹敏感率。如果有协议，任一值得报告的裂纹照片应附在报告上。

H.7.3.2 SSC 试验

H.7.3.2.1 除 H.7.3.2.2 允许外，应按照下列要求进行 SSC 试验：

- a) 试验方法溶液控制应符合 NACE TM0177 方法 C 的规定；
- b) 试样应为 ISO 7539-2、ASTM G39 或本规范 H.7.2.3.2 定义的试样；
- c) 试验溶液应为 NACE TM0177 规定的 A 溶液；
- d) 试验时间应为 720 小时。

除 H.7.3.2.2 允许外，试样加载应力为钢管规定最小屈服强度的 0.72 倍。

注 在 SSC 试验中采用 0.72 倍规定最小屈服强度的加载应力，不用提供材料已进行酸性服役条件预评定的技术依据。可参考 ISO 15156-2 进一步了解预评定。

H.7.3.2.2 如果有协议，可使用替代 SSC 的试验方法、替代的环境（包括适合预期服役条件的 H₂S 分压）和相应的验收极限（见 ISO 15156-2:2003 表 B.1）。如采用这些试验，应将试验环境和试验条件的所有细节随试验结果一起报告。

H.7.3.3 硬度试验

H.7.3.3.1 应根据 ISO 6507-1 或 ASTM E92 使用维氏测试法进行母材硬度试验。或根据 ISO 6508 或 ASTM E18，使用洛氏试验 HR 15N 进行母材硬度试验。有争议时，应采用维氏试验方法。

HAZ 和焊缝的硬度试验应根据 ISO 6507-1 或 ASTM E92 进行。

在管体和母材试验中，当单点硬度读数超过相应验收极限时，如果三点中最小值与在这三点附近加取的六点中最大值的平均值不超过相应验收极限，且单点读数超过相应验收极限的幅度不多于 10 HV10 或 2 HRC（选两者中适用者），也可视为该单点合格。

注 可采用维氏硬度试验或洛氏 HR 15N 压头进行硬度试验，如果采用后者并有要求时，可将硬度值换算为 HRC 硬度值。

H.7.3.3.2 无缝（SMLS）管的硬度试验位置如图 H.1 a）所示，但下列情况除外：

- a) $t < 4.0 \text{ mm}$ (0.156 in) 钢管，仅需在厚度中部的横向进行试验；
- b) 4.0 mm (0.156 in) $\leq t < 6 \text{ mm}$ (0.236 in) 钢管，仅需在内和外表面横向进行试验；

c) 如果有协议，每一全厚度位置的三点（如图 H.1.a）所示）压痕硬度试验是可接受的。

H.7.3.3.3 焊管的硬度试验位置应包括焊缝横截面。硬度压痕点应在母材、原始 HAZ 和焊缝中心线上，如图 H.1 b) 和 c) 所示，但下列情况除外：

- a) $t < 4.0 \text{ mm}$ (0.156 in) 钢管，仅需在厚度中部的横向进行试验；
- b) 4.0 mm (0.156 in) $\leq t < 6 \text{ mm}$ (0.236 in) 钢管，仅需在内和外表面横向进行试验；
- c) 如果有协议，只要硬度压痕点仍位于母材上，母材的硬度压痕点与焊缝中心线的距离可小于图 H.1.c) 所示距离。

H.7.4 无损检验

无损检验要求见 H.3.3.2.3~H.3.3.2.5 和附录 K。

H.7.5 HIC/SWC 复验

如果一组 HIC/SWC 试验试样不满足验收极限，购方和制造商应协商确定复验要求。如适用，应按 10.2.11 的规定重新处理。

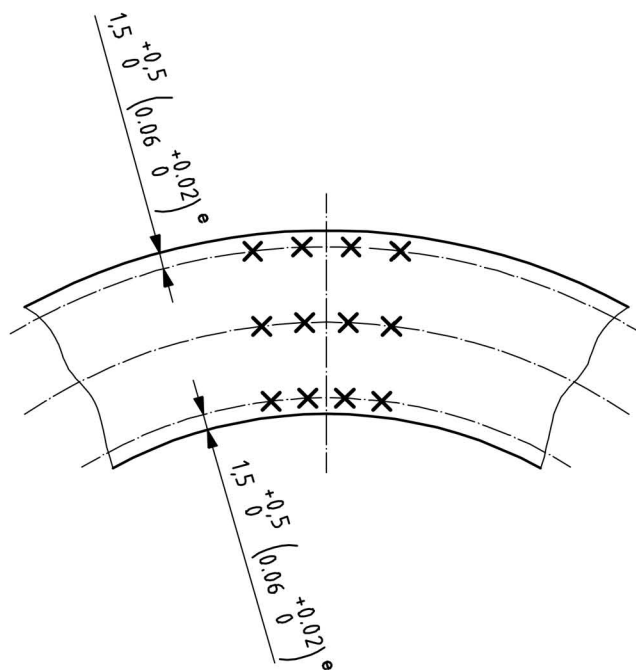
H.8 钢管标志

除 11.2 要求的钢管标志外，钢管标志应包括一个识别号，以表明产品或交货批与相关检查文件的相互关系。

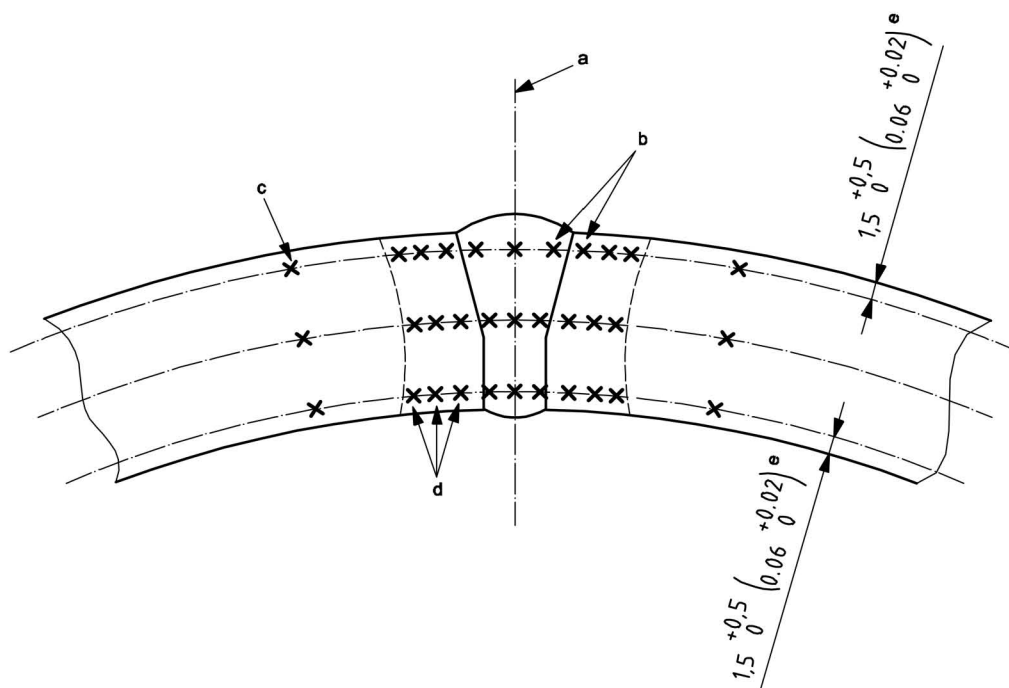
只有符合本规范 PSL 2 要求，同时符合附录 H 补充要求的钢管，才可按照本规范的规定标记，并在钢级中加字母“S”，表明钢管预期用于酸性服役条件。

同时满足附录 H 和附录 J 要求的钢管，应在钢管钢级标识后增加字母“S”和“O”（如 X52MS/X52MO 或 L360MS/L360MO）。

尺寸单位为毫米 (英寸)



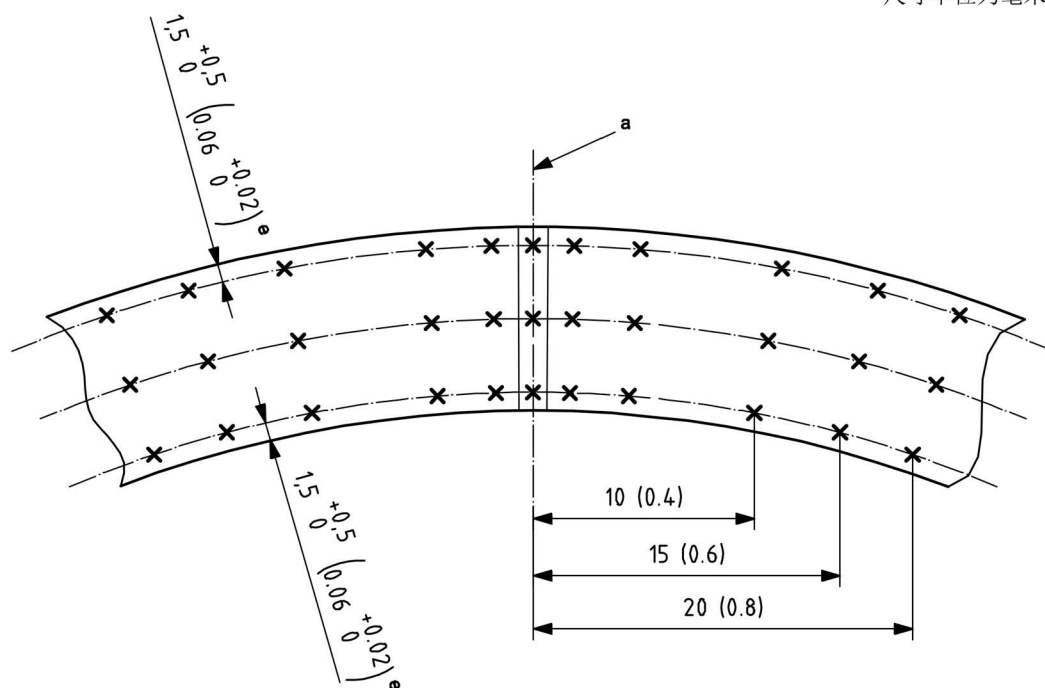
a) SMLS 管



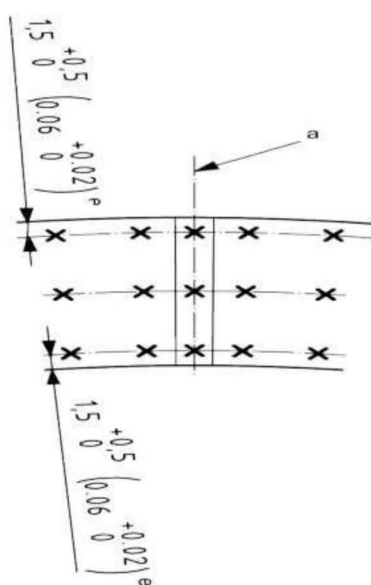
b) SAW 管

图 H.1 — 硬度试验位置

尺寸单位为毫米（英寸）



c) HFW 焊缝热处理管



d) HFW 全管体正火或全管体淬火加回火管

图 H.1—硬度试验位置 (续)

说明

- a 焊缝中心线；对于图 H.1 d) (全管体正火或淬火加回火)，该位置是粘合平面（当可见时）的中心；如果粘合平面不可见，中心位于 ID 修正边缘的中间宽度
- b 距熔合线 0.75 mm (0.03 in)
- c 距熔合线 $1t$
- d 在可见热影响区内间隔 1.0 mm (0.04 in)
- e 距内表面和外表面

图 H.1 — 硬度试验位置 (续)

Annex I

（规范性附录）

TFL 油管的订购

I.1 简介

本附录规定了订购 TFL 钢管的附加条款[见 7.2 c) 57)]。

I.2 由购方提供的附加信息

订货合同应指出下列哪些条款适用于特定的订货批：

- a) 长度类型（见 I.4）或
- b) 对接管供应（见 I.4）。

I.3 尺寸和等级

TFL 钢管应为无缝（SMLS）或直缝管，其规定外径、规定壁厚和钢级符合表 I.1 的要求。

I.4 长度和对接管

除另有协议外，TFL 钢管应以非对接的 12 m（40 ft）不定尺长度交货。

I.5 通径试验

I.5.1 应采用符合表 I.2 要求的圆柱形通径规对每根 TFL 钢管全长进行检验。在进行通径检验时，应采取适当方式支撑钢管，以防钢管下垂，并且钢管内部应无外来物质。

I.5.2 通径规的前部边缘应倒圆，使其能顺利进入钢管内部。在与检验通径规质量相匹配的合适外力的作用下，通径规应能自由通过钢管。

I.6 静水压试验

每根 TFL 钢管应按 9.4 要求进行静水压试验，但最小试验压力应满足表 I.1 的要求。

注表 I.1 中的试验压力是 68.9 Mpa (9990 psi) 和利用公式 (6) 计算压力的较小者，其中环向应力 S 等于钢管规定最小屈服强度的 80 %。

I.7 钢管标志

除 11.2 要求的钢管标志外，应在 PSL 符号后，加上字母 “I” 表明附录 I 的要求适用。

表 I.1 — TFL 钢管尺寸、单位长度质量和试验压力

规定外径 D mm (in.)	规定壁厚 t mm (in.)	计算内径 d mm (in.)	钢级	单位长度质量 ρ_1 kg/m (lb/ft)	静水压试验压力 最小 MPa (psi)
60.3 (2.375)	4.8 (0.188)	50.7 (1.999)	L390 或 X56	6.57 (4.40)	49.2 (7140)
73.0 (2.875)	11.1 (0.438)	50.8 (1.999)	L390 或 X56	16.94 (11.41)	68.9 (9990)
73.0 (2.875)	5.5 (0.216)	62.0 (2.443)	L390 或 X56	9.16 (6.14)	46.5 (6740)
88.9 (3.500)	13.5 (0.530)	61.9 (2.440)	L390 或 X56	25.10 (16.83)	68.9 (9990)
101.6 (4.000)	19.1 (0.750)	63.4 (2.500)	L415 或 X60	38.86 (26.06)	68.9 (9990)
101.6 (4.000)	12.7 (0.500)	76.2 (3.000)	L290 或 X42	27.84 (18.71)	57.9 (8400)
101.6 (4.000)	12.7 (0.500)	76.2 (3.000)	L415 或 X60	27.84 (18.71)	68.9 (9990)
101.6 (4.000)	6.4 (0.250)	88.8 (3.500)	L485 或 X70	15.02 (10.02)	48.6 (7050)
114.3 (4.500)	19.1 (0.750)	66.1 (3.000)	L360 或 X52	44.84 (30.07)	68.9 (9990)
114.3 (4.500)	7.1 (0.281)	100.1 (3.938)	L485 或 X70	18.77 (12.67)	48.0 (6960)

表 I.2 — 通径规尺寸

钢管规定外径 D mm (in.)	通径规尺寸 mm (in.)	
	长度	直径
< 88.9 (3.500)	1066 (42)	$d - 2.4$ (0.093)
≥ 88.9 (3.500)	1066 (42)	$d - 3.2$ (0.125)
注 d 为钢管的计算内径（见表 I.1）。		

Annex J (规范性附录)

海上服役条件 PSL2 钢管的订购

J.1 简介

本附录规定了适用于海上服役条件的 PSL 2 钢管的附加条款[见 7.2 c) 58)]。

注 本附录不包括预期用于盘绕或安装期间单次总应变较高 ($>0.5\%$) 钢管的特殊试验要求。这种情况下, 需要附加试验以证实钢管的适用性, 而且购方也可能需要用其他适用条款 (例如 DNV-OS-F101 [16]) 对本标准的要求进行补充。

J.2 由购方提供的附加信息

订货合同应指出下列哪些条款适用于特定订货批:

- a) 焊管用钢带或钢板的浇铸方法 (见 J.3.3.2.1) ;
- b) 钢带或钢板分层缺欠的超声检验 (见 J.3.3.2.4) ;
- c) 带有钢带(卷)/钢板对头焊缝的螺旋缝焊管的供应 (见 J.3.3.2.5) ;
- d) 中间钢级的化学成分 (见 J.4.1.1) ;
- e) $t > 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in) 钢管的化学成分 (见 J.4.1.2) ;
- f) L555QO/X80QO、L625QO/X90QO、L690QO/X100QO 碳当量限制 (见表 J.1) ;
- g) 化学成分限制[见表 J.1, 脚注 d)];
- h) 非室温条件下拉伸试验的验收极限 (见 J.4.2.2.) ;
- i) 钢级 $\geq \text{L555O/X80O}$, 可协议较低的最大抗拉强度[见表 J.2, 脚注 b)];
- j) 除 12.1 m (39.7 ft) 外的其他最小平均长度和/或不同的长度范围 (见 J.6.3) ;
- k) $t > 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in) 无缝 (SMLS) 管直径偏差和不圆度偏差[见表 J.3, 脚注 b)];
- l) 使用测量内径方法确定 $D \geq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 非扩径钢管直径偏差和不圆度偏差[见 表 J.3, 脚注 c)];
- m) 埋弧焊 (SAW) 和电焊 (EW) 管管体、焊缝和 HAZ 的硬度试验 (见表 J.7) ;
- n) 无缝 (SMLS) 管管体的硬度试验 (见表 J.7) ;
- o) 裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验 (见 J.8.2.2 和 Table J.6) ;
- p) 采用胀环试验方法检测横向屈服强度[见表 J.7, 脚注 c)];

- q) 深海铺设钢管的附加纵向拉伸试验[见表 J.7, 脚注 d)];
- r) 与规定硬度试验的差别[见 J.8.3.2.2 c) 和 J.8.3.2.3];
- s) 与规定硬度试验位置的差别[见 J.8.3.2.2 c)];
- t) $t \geq 5.0 \text{ mm}$ (0.197 in) 钢管管端 100 mm (4.0 in) 长度范围的分层缺欠超声检验 (见 K.2.1.3) ;
- u) 管端补充 NDT 分层验收极限[见 K.2.1.3 和 K.2.1.4];
- v) 每根钢管管端面/坡口分层缺欠的磁粉检验 (见 K.2.1.4.) ;
- w) 验证符合表 K.1 相应要求的超声检验 (见 K.3.2.2.) ;
- x) 分层尺寸/密度验证 (见 K.3.2.2) ;
- y) 无缝 (SMLS) 管超声壁厚测量范围的增加 (见 K.3.3) ;
- z) 无缝 (SMLS) 管的一个或多个补充无损检验的应用 (见 K.3.4) ;
- aa) 无缝 (SMLS) 管横向缺欠的超声检验 (见 K.3.4.1) ;
- bb) 无缝 (SMLS) 管全管体纵向缺欠和横向缺欠的漏磁检验 (见 K.3.4.2) ;
- cc) 无缝 (SMLS) 管全管体涡流检验 (见 K.3.4.3) ;
- dd) 钢管全管体磁粉检验 (见 K.3.4.4) ;
- ee) 高频焊 (HFW) 管焊缝无损检验的 U2/U2H 验收等级 (见 K.4.1) ;
- ff) 可替换的 ISO 10893-10 高频焊 (HFW) 焊缝超声检验验收极限[见 K.4.1 b)];
- gg) 高频焊 (HFW) 管管体分层缺欠的超声检验 (见 K.4.2) ;
- hh) 钢带/钢板边缘或邻近焊缝区域分层缺欠的超声检验 (见 K.4.3) ;
- ii) 使用超声或漏磁方法对高频焊 (HFW) 管管体进行无损检验 (见 K.4.4) ;
- jj) 使用固定深度的刻槽对设备进行校准[见 K. 5.1.1 c)];
- kk) 管端 (未检管端) 和修补区域[见 K. 5.3 a)]的射线检验;
- ll) 埋弧焊 (SAW) 管管端焊缝的磁粉检验 (见 K.5.4) 。
- mm) L625QO/X90QO 和 L690QO/X100QO 钢级的较低 $R_{t0.5}/R_m$ (见表 J.2) 。

J.3 制造

J.3.1 制造工艺

所有钢管应依照按附录 B 评定合格的制造工艺生产, 且可能补充附加试验 (见表 J.7) 。

J.3.2 炼钢

钢应为采用氧气顶吹转炉冶炼工艺或电炉冶炼工艺生产的纯净镇静钢。

J.3.3 钢管制造

J.3.3.1 无缝 (SMLS) 管

无缝 (SMLS) 管应采用连铸钢或铸锭钢制造.如果采用冷精整方法,应在检验文件或工厂资质书中指明。

J.3.3.2 焊管

J.3.3.2.1 除另有协议外,焊管用钢带(卷)和钢板应由连铸或压铸坯轧制而成。钢管应为直缝埋弧焊 (SAWL)、螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 或高频焊 (HFW) 管。

J.3.3.2.2 高频焊 (HFW) 管用钢带(卷)或钢板的对接边缘,在焊接前宜进行修剪、铣削或机加工。

J.3.3.2.3 焊管用钢带(卷)和钢板在轧制后应进行外观检查。既可对未成卷钢带检查,也可对钢带卷边缘检查。

J.3.3.2.4 如果有协议,应在切断这些钢带(卷)或钢板前后,根据附录 K 的要求,采用超声方法检查钢带(卷)和钢板的分层缺欠或机械损伤,否则应对完成焊接的钢管进行包括超声检验的全管体检验。

J.3.3.2.5 如果有协议,用钢带(卷)/钢板制成、包含钢带(卷)/钢板对头焊缝的螺旋缝焊管可以交付使用,条件是对头焊缝距管端的距离至少为 300 mm (12 in.),且对该焊缝进行了与钢带(卷)/钢板边缘和螺旋焊缝相同的符合附录 K 要求的无损检验。

J.3.3.2.6 不应在直缝埋弧焊 (SAWL) 或螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 管坡口使用间断定位焊,制造商向购方提交的数据证明,在定位焊位置和中间位置的钢管所有力学性能满足规定要求,并获得购方批准时除外。

J.3.3.3 对接管

除另有协议外,不应交付对接管。

注 购方和制造商有责任对特殊海上服役对接管的焊接工艺和评定试验进行协商。

J.4 验收标准

J.4.1 化学成分

J.4.1.1 $t \leq 25.0$ mm (0.984 in) 钢管,标准钢级的化学成分应符合表 J.1 的要求,中间钢级的化学成分应协商确定,但应与表 J.1 规定的标准钢级的化学成分协调。钢管命名应按表 J.1 要求,且由表示钢级的字母或字母数字和尾随的后缀组成。后缀由表示交货状态的字母 (N、Q 或 M) 和表示服役条件的第二个字母 (O) 组成。

J.4.1.2 $t > 25.0$ mm (0.984 in.)钢管的化学成分应协商确定,并按表 H.1 规定对化学成分进行适当的修正。

J.4.2 拉伸性能

J.4.2.1 拉伸性能应符合表 J.2 的规定。

J.4.2.2 如果要求非室温下的附加拉伸性能，应协商确定验收极限。

J.4.3 硬度试验

进行硬度试验（见 J.8.3.2）的钢管管体、焊缝和 HAZ 试样应如下：

- a) 钢级 $\leq$ L450/X65，硬度 $\leq$ 270 HV10 或 $\leq$ 25HRC，
- b) 钢级 $>$ L450/X65，且 $\leq$ L555/X80，硬度 $\leq$ 300 HV10 或 $\leq$ 30HRC，以及
- c) 钢级 $>$ L555/X80，硬度 $\leq$ 325HV10 或 $\leq$ 33HRC。

表 J.1 — $t \leq 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in.) 的 PSL1 钢管化学成分

钢级	质量分数，基于熔炼分析和产品分析									碳当量 ^a 最大 %	
	C ^b	Si	Mn ^b	P	S	V	Nb	Ti	其他 ^c	CEI ^{IIW}	CEP ^{cm}
无缝管和焊管											
L245NO 或 BNO	0.14	0.40	1.35	0.020	0.010	d	d	0.04	e,f	0.36	0.19 ^g
L290NO 或 X42NO	0.14	0.40	1.35	0.020	0.010	0.05	0.05	0.04	f	0.36	0.19 ^g
L320NO 或 X46NO	0.14	0.40	1.40	0.020	0.010	0.07	0.05	0.04	e,f	0.38	0.20 ^g
L360NO 或 X52NO	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.10	0.05	0.04	e	0.43	0.22 ^g
L245QO 或 BQO	0.14	0.40	1.35	0.020	0.010	0.04	0.04	0.04	f	0.34	0.19 ^g
L290QO 或 X42QO	0.14	0.40	1.35	0.020	0.010	0.04	0.04	0.04	f	0.34	0.19 ^g
L320QO 或 X46QO	0.15	0.45	1.40	0.020	0.010	0.05	0.05	0.04	f	0.36	0.20 ^g
L360QO 或 X52QO	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.07	0.05	0.04	e,h	0.39	0.20 ^g
L390QO 或 X56QO	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.07	0.05	0.04	e,h	0.40	0.21 ^g
L415QO 或 X60QO	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.08	0.05	0.04	e,h	0.41	0.22 ^g
L450QO 或 X65QO	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.09	0.05	0.06	e,h	0.42	0.22 ^g
L485QO 或 X70QO	0.17	0.45	1.75	0.020	0.010	0.10	0.05	0.06	e,h	0.42	0.23 ^g
L555QO 或 X80QO	0.17	0.45	1.85	0.020	0.010	0.10	0.06	0.06	e,h	依照协议	
L625QO 或 X90QO	0.14	0.45	1.85	0.020	0.010	0.10	0.06	0.06	e,i	依照协议	
L690QO 或 X100QO	0.14	0.45	1.85	0.020	0.010	0.10	0.06	0.06	e,i	依照协议	
焊管											
L245MO 或 BMO	0.12	0.40	1.25	0.020	0.010	0.04	0.04	0.04	f	—	0.19
L290MO 或 X42MO	0.12	0.40	1.35	0.020	0.010	0.04	0.04	0.04	f	—	0.19
L320MO 或 X46MO	0.12	0.45	1.35	0.020	0.010	0.05	0.05	0.04	f	—	0.20
L360MO 或 X52MO	0.12	0.45	1.65	0.020	0.010	0.05	0.05	0.04	e,h	—	0.20
L390MO 或 X56MO	0.12	0.45	1.65	0.020	0.010	0.06	0.08	0.04	e,h	—	0.21
L415MO 或 X60MO	0.12	0.45	1.65	0.020	0.010	0.08	0.08	0.06	e,h	—	0.21
L450MO 或 X65MO	0.12	0.45	1.65	0.020	0.010	0.10	0.08	0.06	e,h	—	0.22
L485MO 或 X70MO	0.12	0.45	1.75	0.020	0.010	0.10	0.08	0.06	e,h	—	0.22
L555MO 或 X80MO	0.12	0.45	1.85	0.020	0.010	0.10	0.08	0.06	e,h	—	0.24
^a 以产品分析为准（见 9.2.4 和 9.2.5）。如碳含量大于 0.12 % 则使用 CEI ^{IIW} 限制，如碳含量小于等于 0.12 % 则使用 CEP ^{cm} 。											
^b 碳含量比规定最大碳含量每减少 0.01 %，则允许锰含量比规定最大锰含量高 0.05 %，最大增加 0.20 %。但钢级≥L625O/ X90O 时，最大至 2.20%。											
^c Al 总含量≤0.060 %；N≤0.012 %；Al / N ≥2:1（不适用钛镇静钢或钛处理钢）。											
^d 除另有协议外，Nb+V≤0.06 %。											
^e Nb+V+Ti≤0.15 %。											
^f Cu≤0.35 %；Ni≤0.30 %；Cr≤0.30 %；Mo≤0.10 %；B≤0.0005%。											
^g 对于无缝(SMLS) 管，将 CEP ^{cm} 表列值增加 0.03%，最大至 0.25 %。											
^h Cu≤0.50 %；Ni≤0.50 %；Cr≤0.50 %；Mo≤0.50 %；B≤0.0005%。											
ⁱ Cu 0.50%；Ni≤0.60%；Cr≤0.55%；Mo≤0.80%；B≤0.0005%。											

表 J.2—拉伸试验要求

钢管等级	无缝管和焊管管体						HFW 和 SAW 管焊缝
	屈服强度 ^a		抗拉强度 ^a		屈强比 ^{a,c}	伸长率 (on 50 mm or 2 in.)	抗拉强度 ^d
	$R_{t0.5}$		R_m		$R_{t0.5}/R_m$	A_f	R_m
	MPa (psi)		MPa (psi)			%	MPa (psi)
	最小	最大	最小	最大	最大	最小	最小
L245NO 或 BNO L245QO 或 BQO L245MO 或 BMO	245 (35,500)	450 ^e (65,300) ^e	415 (60,200)	655 (95,000)	0.93	f	415 (60,200)
L290NO 或 X42NO L290QO 或 X42QO L290MO 或 X42MO	290 (42,100)	495 (71,800)	415 (60,200)	655 (95,000)	0.93	f	415 (60,200)
L320NO 或 X46NO L320QO 或 X46QO L320MO 或 X46MO	320 (46,400)	520 (75,000)	435 (63,100)	655 (95,000)	0.93	f	435 (63,100)
L360NO 或 X52NO L360QO 或 X52QO L360MO 或 X52MO	360 (52,200)	525 (76,000)	460 (66,700)	760 (110,200)	0.93	f	460 (66,700)
L390QO 或 X56QO L390MO 或 X56MO	390 (56,600)	540 (78,300)	490 (71,100)	760 (110,200)	0.93	f	490 (71,100)
L415QO 或 X60QO L415MO 或 X60MO	415 (60,200)	565 (81,900)	520 (75,400)	760 (110,200)	0.93	f	520 (75,400)
L450QO 或 X65QO L450MO 或 X65MO	450 (65,300)	570 (82,700)	535 (77,600)	760 (110,200)	0.93	f	535 (77,600)
L485QO 或 X70QO L485MO 或 X70MO	485 (70,300)	605 (87,700)	570 (82,700)	760 (110,200)	0.93	f	570 (82,700)
L555QO 或 X80QO L555MO 或 X80MO	555 (80,500)	675 (97,900)	625 (90,600)	825 (119,700) ^b	0.93	f	625 (90,600)
L625QO 或 X90QO	625 (90,600)	745 (108,000)	695 (100,800)	895 (129,800) ^b	0.97 ^h	f	—
L690QO 或 X100QO	690 ^g (100,100) ^g	810 ^g (117,500) ^g	760 (110,200)	960 (139,200) ^b	0.97 ⁱ	f	—

^a 对于中间钢级，其规定最大屈服强度和规定最小屈服强度之差应与列表中之邻近较高钢级的强度之差相同，规定最小抗拉强度和规定最小屈服强度之差应与列表中之邻近较高钢级的强度之差相同。对低于 L320/X46 的中间钢级，其抗拉强度应≤655 Mpa (95000 psi)。对高于 L320/X46 而小于 L555/X80 的中间钢级，其抗拉强度应≤760 Mpa (110200 psi)。对高于 L555 或 X80 的中间钢级，其最大允许抗拉强度应由插入法获得。当采用 SI 单位制时，计算值应圆整到最邻近的 5 MPa。当采用 USC 单位制时，计算值应圆整到最邻近的 100 psi。

^b 如果有协议，钢级≥L555/X80 的钢管，可使用更严格的最大抗拉强度限制。

^c 此限制适用于 D>323.9 mm (12.750 in) 的钢管。

^d 对于中间钢级，其焊缝的规定最小抗拉强度应与按脚注 a) 确定的管体抗拉强度相同。

^e 对于要求纵向检验的钢管，其屈服强度应≤495 MPa (71,800 psi)。

^f 在 50 mm (2 in) 的标距长度上，规定最小伸长率， A_f (以百分数表示，且被圆整到最邻近的百分数) 应采用下列公式确定：

$$A_f = C \frac{A_{xc}^{0.2}}{U^{0.9}}$$

式中：

C 当采用 SI 单位制时，C 为 1940，当采用 USC 单位制时，C 为 625,000。

A_{xc} 为适用的拉伸试样的横截面积，用 mm (in)，具体如下所示：

- 1) 圆棒试样：直径 12.7 mm (0.500 in) 和 8.9 mm (0.350 in) 的圆棒试样为 130 mm² (0.20 in.²)；直径 6.4 mm (0.250 in) 的圆棒试样为 65 mm² (0.10 in.²)；
- 2) 全截面试样取 a) 485 mm² (0.75 in.²) 和 b) 采用钢管规定外径和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小者，圆整到最邻近的 10 mm² (0.01 in.²)；
- 3) 板状试样取 a) 485 mm² (0.75 in.²) 和 b) 采用钢管规定试样宽度和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小者，圆整到最邻近的 10 mm² (0.01 in.²)；

U 规定最小抗拉强度，用 MPa (psi) 表示。

^g 钢级>L625QO/X90QO， $R_{p0.2}$ 适用。

^h L625/X90 经协商可规定较低的 $R_{t0.5}/R_m$ 比值。

ⁱ 钢级>L625 或 X90， $R_{p0.2}/R_m$ 适用；经协商可规定较低的 $R_{p0.2}/R_m$ 比值。

J.5 表面状况、缺欠和缺陷

除埋弧焊 (SAW) 管咬边和任一钢管上的电弧烧伤外，外观检查发现的表面缺欠应按照下列要求进行核查、判别和处置：

- a) 深度 $\leq 0.05t$ ，且不影响最小允许壁厚的缺欠应判定为可验收的缺欠，且应按 C.1 规定处置。

注 如果钢管随后涂敷涂层，订货合同中可能规定表面缺欠的特殊处置要求。

- b) 深度 $> 0.05t$ ，且不影响最小允许壁厚的缺欠应判为缺陷，并按照 C.2 或 C.3 对其进行处置。
- c) 影响最小允许壁厚的缺欠应判为缺陷，并按照 C.3 对其进行处置。

J.6 直径、壁厚、长度和直度偏差

J.6.1 除 C.2.3 允许外，直径和不圆度应在表 J.3 规定的偏差范围内。

J.6.2 壁厚应在表 J.4 规定的偏差范围内。

J.6.3 除另有协议外，钢管的最小平均长度应为 12.1 m (39.7 ft)。如果购方要求，制造商应确定每订货批钢管的最大平均长度。除另有协议外，每根钢管的实际长度（钢管两端面之间的距离）应在 11.7 m (38.4 ft) 至 12.70 m (41.7 ft) 的范围内。经购方同意，取样用的钢管可作为短管交货。

注 起草本规范时，钢管最小平均长度 12.1 m (39.7 ft) 是一些采用“S-铺设”辅管船的最佳操作长度。在此期间可能发生变化。最小平均长度 12.1 m (39.7 ft) 可能不适用于深海“J-铺设”操作，可随使用的“J-铺设”方法发生变化，因此购方有责任与制造商和钢管铺设承包商协商钢管的交货长度范围。

J.6.4 钢管全长范围内，直度偏离总量 $\leq$ 该钢管全长的 0.15 %。

表 J.3—直径和不圆度偏差

规定外径 D mm (in.)	直径偏差 ^d mm (in.)				不圆度偏差 mm (in.)	
	除管端外 ^a 的钢管		管端 ^{a,b,c}		除管端外 ^a 的 钢管	管端 ^{a,b,c}
	无缝 (SMLS) 管	焊管	无缝 (SMLS) 管	焊管		
< 60.3 (2.375)					0.9 (0.036)	0.6 (0.024)
≥ 60.3 (2.375) 至 610 (24.000)	±0.5 (0.020) 或 ± 0.007 5 D , 取 较大者	±0.5 (0.020) 或 ± 0.007 5 D , 取 较大者, 但最 大为± 3.2 (0.125)	±0.5 (0.020) 或 ± 0.005 D , 取较大 者, 但最大为± 1.6 (0.063)		时 0.015 D ; 协议 $\frac{D}{t} > 75$ 时	时 0.01 D ; 协议 $\frac{D}{t} > 75$ 时
> 610 (24.000) 至 1422 (56.000)	±0.01 D	±0.005 D , 最大 为 ±4.0 (0.160)	±2.0 (0.079)	±1.6 (0.063)	时 0.01 D , 但最大为 10 (0.4); $\frac{D}{t} > 75$ 时按 照协议	时 0.007 D , 但最大为 8 (0.3); $\frac{D}{t} > 75$ 时按照 协议
> 1422 (56.000)	依照协议					

a 管端包括钢管每个端头 100 mm (4.0 in) 长度范围内的钢管。

b 对于无缝 (SMLS) 管, 这些偏差适用于 $t \leq 25.0$ mm (0.984 in) 的钢管, 对于更大壁厚的钢管, 壁厚偏差应协商确定。

c 对于非扩径钢管和 $D \geq 219.1$ mm (8.625 in) 的非扩径钢管, 直径和不圆度偏差可由计算内径(规定外径减去两倍的规定壁厚)或者测量内径确定, 而不采用规定外径(见 10.2.8.3)。

d 为确定直径对直径偏差的符合率, 钢管直径定义为在任一圆周平面的钢管周长除以 π (π)。

表 J.4 — 壁厚偏差

壁厚 t mm (in.)	偏差 ^a mm (in.)
无缝 (SMLS) 管	
< 4.0 (0.157)	+ 0.6 (0.024) - 0.5 (0.020)
4.0 (0.157) 至 <10.0 (0.394)	+ 0.15 t - 0.125 t
10.0 (0.394) 至 <25.0 (0.984)	+ 0.125 t - 0.125 t
≥ 25.0 (0.984)	+ 3.7 (0.146) 或 + 0.1 t , 取较大者 ^b - 3.0 (0.120) 或 - 0.1 t , 取较大者 ^b
HFW 管 ^{c,d}	
≤ 6.0 (0.236)	± 0.4 (0.016)
> 6.0 (0.236) 至 15.0 (0.591)	± 0.7 (0.028)
> 15.0 (0.591)	± 1.0 (0.039)
SAW 管 ^{c,d}	
≤ 6.0 (0.236)	± 0.5 (0.020)
> 6.0 (0.236) 至 10.0 (0.394)	± 0.7 (0.028)
> 10.0 (0.394) 至 20.0 (0.787)	± 1.0 (0.039)
> 20.0 (0.787)	+ 1.5 (0.060) - 1.0 (0.039)
^a 如果订货合同规定的壁厚负偏差比本表规定的对应数值小, 则壁厚正偏差应增加, 以保证适当的偏差范围。 ^b 对 $D \geq 355.6$ mm (14.000 in) 且 $t \geq 25.0$ mm (0.984 in) 的钢管, 偏差为+ 12.5%和- 12.5%。 ^c 壁厚正偏差不适用于焊缝。 ^d 附加限制见 9.13.2 和 J.7.2。	

J.7 焊缝偏差

J.7.1 钢带/钢板错边

对于高频焊 (HFW) 管, 钢带/钢板错边[见图 4 a)]不应使焊缝处的剩余壁厚小于最小允许壁厚。

对于埋弧焊 (SAW) 管, 钢带/钢板的内外错边[见图 4 b)]不应大于表 J.5 的相应规定。

J.7.2 高频焊 (HFW) 管焊缝毛刺

内毛刺不应超出钢管轮廓 0.3 mm (0.012 in)+0.05 t 。

表 J.5 — SAW 管最大允许错边

规定壁厚 t mm (in.)	允许最大错边 ^a mm (in.)
≤ 13.0 (0.512)	1.3 (0.051)
> 13.0 (0.512) 至 20.0 (0.787)	$0.1t$
> 20.0 (0.787)	2.0 (0.079)
^a 这些要求同样适用于钢带/钢板的对头焊缝。	

J.8 检验

J.8.1 特定检验

除表 J.6 的特殊更改外，检验频次应符合表 18 的要求。

J.8.2 力学和工艺试验用试块和试样

J.8.2.1 总则

J.8.2.1.1 应按照适用的引用标准截取拉伸试验、CVN 冲击试验、导向弯曲试验、硬度试验、钢板焊道试验、钢管焊道试验和 CTOD 试验用试块且加工成相应试样。

J.8.2.1.2 各类型试验的试块和试样应按图 5、图 6 所示位置和表 J.7 的规定截取，同时考虑 10.2.3.2~10.2.3.7、10.2.4、J.8.2.2 和 J.8.2.3 的补充要求。

J.8.2.2 CTOD 试验试样

试样应取自焊缝金属、HAZ 和母材，且应按 ISO 12135、ASTM E1290 或 BS 7448 的要求进行制备。

J.8.2.3 硬度试验试块

硬度试验试块应取自所选钢管的端部，对于焊管，在每个试块中心应包括一段直焊缝或螺旋焊缝（见图 J.1）。

J.8.3 试验方法

J.8.3.1 CTOD 试验

CTOD 试验应按照 ISO 12135、ISO 15653、ISO 12737 或 ASTM E1820 或 BS 7448-1 的要求进行。试验温度应在订货合同中规定。

J.8.3.2 硬度试验

J.8.3.2.1 母材硬度试验应根据 ISO 6507-1 或 ASTM E92 采用维氏试验方法，或根据 ISO 6508-1 或 ASTM E18 采用洛氏 HR15N 试验方法进行。有争议时，应采用维氏试验方法。

HAZ 和焊缝的硬度试验应根据 ISO 6507-1 或 ASTM E92 采用维氏试验方法进行。

在管体和母材试验中，当单点硬度读数超过相应验收极限时，如果三点中最小值与在这三点附近加取的六点中最大值的平均值不超过相应验收极限，且单点读数超过相应验收极限的幅度不多于 10 HV10 或 2 HRC（选两者中适用者），也可视为该单点合格。

表 J.6 — 检验频次

序号	检验类型	钢管类型	检验频次
1	$D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 钢管管体拉伸试验	SMLS、HFW 或 SAW	相同冷扩径率 ^a 不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
2	$D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 钢管管体拉伸试验	SMLS、HFW 或 SAW	相同冷扩径率 ^a 不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
3	219.1 mm (8.625 in.) $\leq D < 508 \text{ mm}$ 直缝或螺旋缝焊管焊缝拉伸试验 (20.000 in.)	HFW 或 SAW	相同冷扩径率 ^{a,b} 不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
4	$D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 焊管直缝或螺旋焊缝拉伸试验	HFW 或 SAW	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
5	$D \geq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) SAW 管钢带 (卷) / 钢板对头焊缝拉伸试验	SAWH	相同冷扩径率 ^{a,b,d} 每 50 个带钢带 (卷) / 钢板对头焊缝钢管为一试验批, 每批至少一次
6	具有表 22 规定壁厚且 114.3 mm (4.500 in) $\leq D < 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 钢管管体 CVN 冲击试验	SMLS、HFW 或 SAW	相同冷扩径率 ^a 不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
7	具有表 22 规定壁厚且 $D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 钢管管体 CVN 冲击试验	SMLS、HFW 或 SAW	相同冷扩径率 ^a 相同熔炼炉不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
8	具有表 22 规定壁厚且 114.3 mm (4.500 in) $\leq D < 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 焊管直缝或螺旋焊缝 CVN 冲击试验	HFW 或 SAW	相同冷扩径率 ^{a,b} 不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
9	具有表 22 规定壁厚且 $D \geq 508 \text{ mm}$ (20.000 in) 焊管直缝或螺旋焊缝 CVN 冲击试验	HFW 或 SAW	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
10	具有表 22 规定壁厚且 $D \geq 114.3 \text{ mm}$ (4.500 in) 焊管钢带 (卷) / 钢板对头焊缝 CVN 冲击试验	SAWH	相同冷扩径率 ^{a,b,d} 每 50 个带钢带 (卷) / 钢板对头焊缝钢管为一试验批, 每批至少一次
11	如果有协议, 焊管管体、直焊缝或螺旋焊缝 和 HAZ 硬度试验	HFW、SAW 或 SMLS	依照协议
12	$D \leq 168.3 \text{ mm}$ (6.625 in) 钢管直径和不圆度	SMLS、HFW 或 SAW	不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
13	$D > 168.3 \text{ mm}$ (6.625 in) 钢管直径和不圆度	SMLS、HFW 或 SAW	不多于 20 根钢管为一试验批, 每批一次
14	无损检验	SMLS、HFW 或 SAW	符合附录 K 要求
15	如果有协议, 钢级 $\geq \text{L360}$ 或 X52 钢管的 CTOD 试验, 仅供参考。	SAW	一次; 仅在制造工艺评定时进行。
^a 冷扩径率由制造商指定, 并使用扩径前外径或圆周长与扩径后外径或圆周长得出; 冷扩径率增加或减少量超过 0.002 时, 则要求建立一个新的试验批。 ^b 另外, 对每个焊管机组生产的钢管每周至少应试验一次。 ^c 对于双缝管, 代表试验批钢管的两条焊缝都应进行试验。 ^d 仅适用于含有钢带 (卷) / 钢板对头焊缝的成品螺旋焊管。			

表 J.7 — 机械试验各试块试样数量、方向和位置

钢管类型	试块位置	试验类型	各试块试样的数量、方向和位置 ^a			
			规定外径 D mm (in.)			
			< 219.1 (8.625)	≥219.1 (8.625) 至 508 (20.000)	≥ 508 (20.000)	
SMLS, 非冷扩径[见图 5 a)]	管体	拉伸	1L ^b	1L	1L	
		CVN	3T	3T	3T	
		硬度	1T	1T	1T	
SMLS, 非冷扩径[见图 5 a)]	管体	拉伸	1L ^b	1T ^c	1T ^c	
		CVN	3T	3T	3T	
		硬度	1T	1T	1T	
HFW [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^b	1T180 ^{c,d}	1T180 ^{c,d}	
		CVN	3T90	3T90	3T90	
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	
		CVN	3W	3W	3W	
		硬度	1W	1W	1W	
	管体和焊缝		压扁	如图 6 所示		
	SAWL [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^b	1T180 ^{c,d}	1T180 ^{c,d}
CVN			3T90	3T90	3T90	
焊缝		拉伸	—	1W	1W ^e	
		CVN	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	3W ^e 和 3HAZ ^e	
		导向弯曲	2W	2W	2W ^e	
		硬度	1W	1W	1W ^e	
SAWH [见图 5 c)]	管体	拉伸	1L ^b	1T ^c	1T ^c	
		CVN	3T	3T	3T	
	焊缝	拉伸	—	1W	1W	
		CVN	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	
		导向弯曲	2W	2W	2W	
		硬度	1W	1W	1W	
	钢带/钢板 对头焊缝	拉伸	—	1WS	1WS	
		CVN	3WS 和 3HAZ	3WS 和 3HAZ	3WS 和 3HAZ	
		导向弯曲	2WS	2WS	2WS	
		硬度	1WS	1WS	1WS	

^a 用于表示试样方向和位置的符号说明, 见图 5。

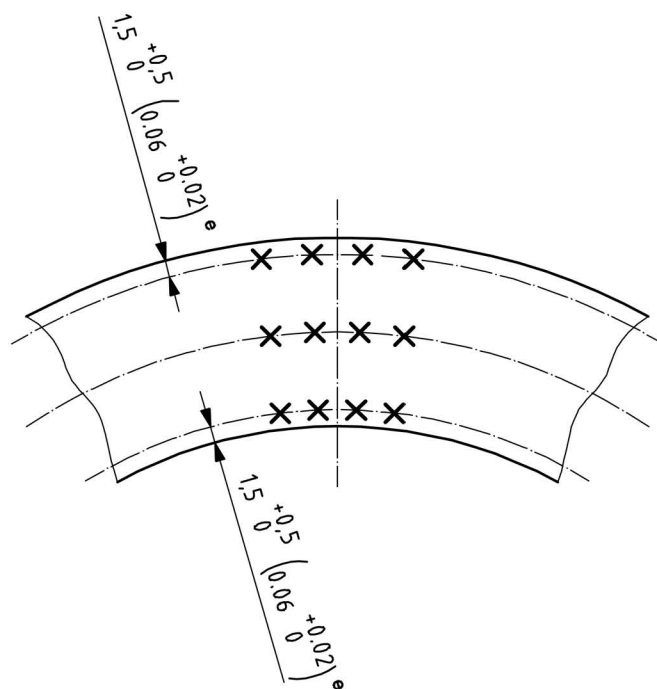
^b 由制造商选择可使用全截面纵向试样。

^c 如果有协议, 可根据 ASTM A370 要求, 用环形试样通过液压胀环试验测定横向屈服强度。

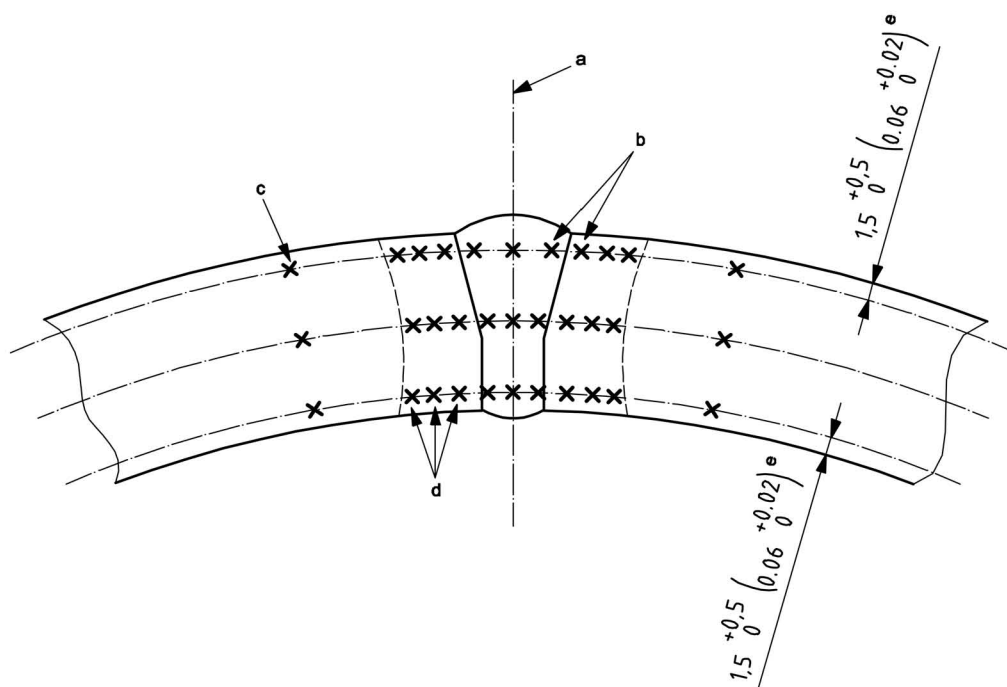
^d 对于深海铺设管线, 可规定附加纵向试验, 试验要求和频次需协议。

^e 对于双缝管, 代表试验批的所选钢管的两条直焊缝都应进行试验。

尺寸单位为毫米（英寸）



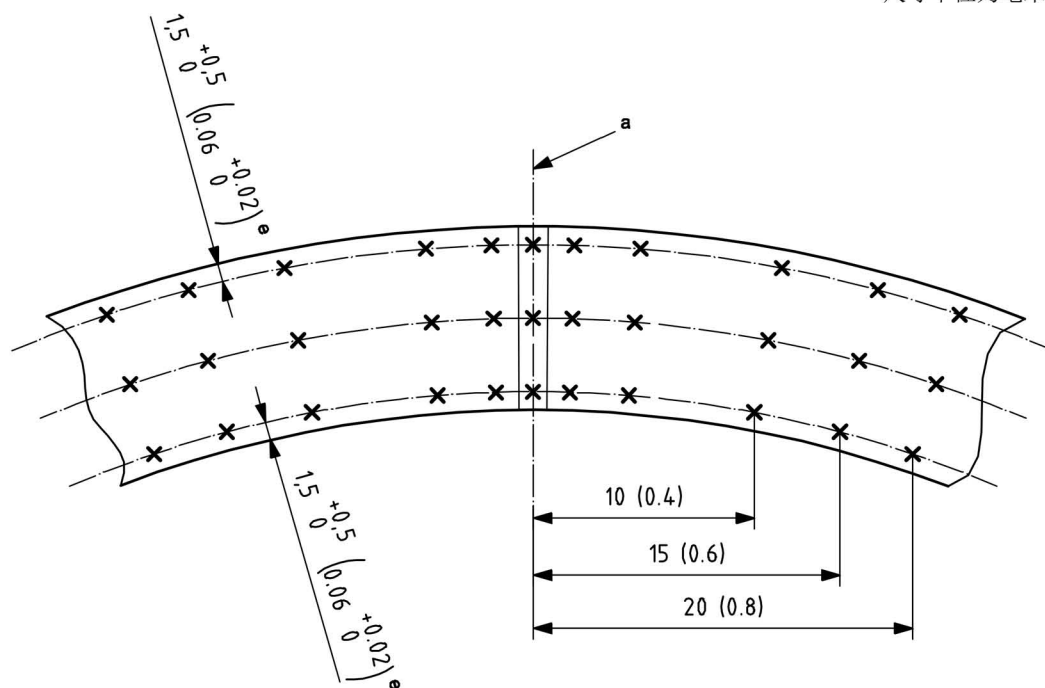
a) SMLS 管



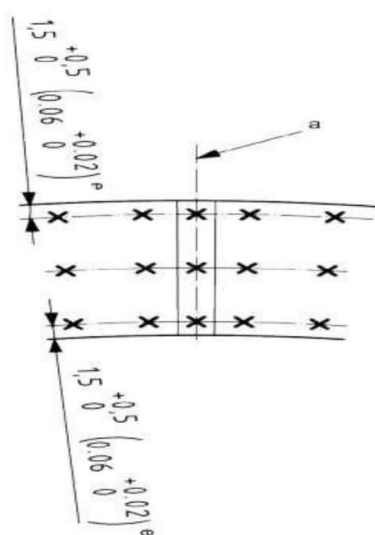
b) SAW 管

图 J.1 — 硬度试验位置

尺寸单位为毫米 (英寸)



c) HFW 焊缝热处理管



d) HFW 全管体正火或全管体淬火加回火试验 (续)

说明

- a 焊缝中心线：对于图 J.1 d)（全管体正火或淬火加回火），该位置是粘合平面（当可见时）的中心；如果粘合平面不可见，中心位于 ID 修正边缘的中间宽度
- b 距熔合线 0.75 mm (0.03 in)
- c 距熔合线 $1t$
- d 在可见热影响区内间隔 1.0 mm (0.04 in)
- e 距内表面和外表面

图 J.1 — 硬度试验位置（续）

J.8.3.2.2 无缝（SMLS）管的硬度试验位置如图 H.1 a) 所示，但下列情况除外：

- a) $t < 4.0$ mm (0.156 in) 钢管，仅需在厚度中部的横向进行试验；
- b) 4.0 mm (0.156 in) $\leq t < 6$ mm (0.236 in) 钢管，仅需在内和外表面横向进行试验；
- c) 如果有协议，每一全厚度位置的三点（如图 J.1.a) 所示）压痕硬度试验是可接受的。

J.8.3.2.3 硬度试验的位置应包括焊缝横截面。硬度压痕点应在母材、原始热影响区和焊缝中心线上，如图 J.1 b) 或图 J.1 d) 所示，但下列情况除外：

- a) $t < 4.0$ mm (0.156 in) 钢管，仅需在厚度中部的横向进行试验；
- b) 4.0 mm (0.156 in.) $\leq t < 6$ mm (0.236 in.) 钢管，仅需在内和外表面横向进行试验；
- c) 如果有协议，只要硬度压痕点仍位于母材上，母材的硬度压痕点与焊缝中心线的距离可小于图 J.1.c) 所示距离。

J.8.4 无损检验

无损检验见 J.2 和附录 K。

J.9 钢管标志

除 11.2 要求的钢管标志外，钢管标志应包括一个识别号，以表明产品或交货批与相关检查文件的相互关系。

只有符合本规范 PSL 2 要求，同时符合附录 J 补充要求的钢管，可标记为符合本标准，并在钢级中标识字母“O”，表明钢管预期用于海上服役条件。

同时满足附录 H 和附录 J 要求的钢管，应在钢管钢级标识后增加字母“S”和“O”（如 X52MS/X52MO 或 L360MS/L360MO）。

Annex K (规范性附录)

酸性服役、海上服役条件、和/或需要纵向塑性应变能力的钢管的无损检测

K.1 简介

本附录适用于订购酸性服役条件、海上服役条件或需要纵向塑性应变能力[见 7.2 c) 56)、58)或 59)]的钢管。对这些钢管，除本附录特别修改的条款外，附录 E 的无损检验要求适用。

K.2 无损检验一般要求和验收标准

K.2.1 管端分层缺欠

K.2.1.1 沿圆周方向尺寸 $>6.4\text{ mm}$ (0.25 in) 且面积 $>$) 的分层缺欠应判为缺陷。

K.2.1.2 对于 $t\geq 5.0\text{ mm}$ (0.197 in) 的钢管，应按照 ISO 10893-8 的自动/半自动检验系统要求 或按照 ISO 108932011 附录 A 规定的手动方法，在距管端 50 mm (2.0 in) 范围内进行超声检验，以确认钢管不存在上述分层缺陷。

K.2.1.3 如有协议，对于 $t\geq 5.0\text{ mm}$ (0.197 in) 的钢管，应按照 ISO 10893-8 的自动/半自动检验系统要求 或按照 ISO 108932011 附录 A 规定的手动方法，在距管端 100 mm (4.0 in) 范围内进行超声检验，以确认钢管不存在上述分层缺陷。

K.2.1.4 如果有协议，应按照 ISO 10893-5 或 ASTM E709 要求，对每根钢管的管端面/坡口面的分层缺欠进行磁粉检验。圆周方向尺寸 $>6.4\text{ mm}$ (0.25 in) 的分层缺欠应判为缺陷。

K.2.2 可疑钢管

K.2.2.1 在进行规定的无损检验时，引起触发/报警指示的钢管应被认定为可疑钢管。

K.2.2.2 除本附录、附录 H 或附录 J (选适用者) 另有规定外，可疑钢管应按照适用的标准进行无损检验。

K.2.2.3 补焊应按照 C.4 的要求进行。

K.2.2.4 对缺陷进行修磨时，应通过局部外观检查验证缺陷是否彻底去除，必要时辅以适当的 无损检验方法进行验证。

K.2.2.5 局部可疑区域(修磨或未修磨)的手动无损检验所采用的检验灵敏度、检验参数和验收等级 (对比标样刻槽深度) 应与初始检验可疑钢管所采用的检验灵敏度、检验参数和验收等级相同，手动超声检验扫查速度应 $\leq 150\text{ mm/s}$ (6 in/s)。手动超声检验扫查速度应 $\leq 150\text{ mm/s}$ (6 in/s)。

K.3 无缝 (SMLS) 无损检验

K.3.1 纵向缺欠的超声检验

按照 ISO 10893-10 或 ASTM E213 的要求, 应对无缝 (SMLS) 管进行全管体纵向缺欠的超声检验。验收极限应符合 ISO 10893-10 规定的验收等级 U2/C。

K.3.2 管体分层缺欠

K.3.2.1 酸性服役条件下, 超过表 K.1 酸性服役条件验收极限的单个分层和/或分布密度的分层应判为缺陷。应按照 ISO 10893-8:2011 (除 4.2 外), ASTM A435 或 ASTM A578 规定, 采用超声检验方法对上述要求的符合性进行验证。自动检验的覆盖面应 $\geq 20\%$ 的钢管表面。

K.3.2.2 海上服役条件下和需要纵向塑性应变能力, 超过表 K.1 验收极限的单个分层和/或分布密度的分层应判为缺陷。如果有协议, 应按照 ISO 10893-8:2011 (除 4.2 外), ASTM A 435 或 ASTM A 578 规定, 采用超声检验方法对上述要求的符合性进行验证。自动检验的覆盖面应 $\geq 20\%$ 的钢管表面。

K.3.3 超声壁厚测量值

应按照 ISO 10893-12 或 ASTM E114 的规定, 对无缝 (SMLS) 管进行全周向超声检验, 以验证其壁厚是否符合最小允许壁厚要求。厚度超声检验的覆盖面应 $\geq 25\%$ 的钢管表面, 或如果有协议, 可规定较大的最小覆盖面。

K.3.4 补充无损检验

K.3.4.1 如果有协议, 应按照 ISO 10893-10 中的验收等级 U2/C 或 ASTM E213 的要求, 对无缝 (SMLS) 管的横向缺欠进行超声检验。

K.3.4.2 如果有协议, 应采用漏磁方法对无缝 (SMLS) 管全管体的纵向缺欠和/或横向缺欠进行检验, 纵向缺欠应按照 ISO 10893-3 中的验收等级 F2 或 ASTM E570 进行检验, 横向缺欠应按照 ISO 10893-3 中的验收等级 F2 或 ASTM E570 进行检验。

K.3.4.3 如果有协议, 应按照 ISO 10893-2 验收等级 E2H/ E2 或 ASTM E309 的要求, 对 SMLS 管的全管体缺欠进行涡流检验。

K.3.4.4 如果有协议, 在所有其他无损检验和外观检查完成之后, 应按照 ISO 10893-5 或 ASTM E 709 的要求, 在每熔炼炉或每 50 根为一批的无缝 (SMLS) 管中 (取数量较小者) 随机抽取一根钢管, 对其进行全管体磁粉检验, 以验证对 9.10 要求的符合性。检验前应对钢管进行喷丸处理, 处理后使外表面达到 ISO 8501-1 规定的 Sa 2 1/2 级。

表 K.1 — 分层缺欠的验收标准

服役条件	最大单个缺欠		考虑的最小缺欠尺寸			最大分布密度 ^a
	面积 mm2 (in.2)	长度 mm (in.)	面积 mm2 (in.2)	长度 mm (in.)	宽度 mm (in.)	
管体（或钢带/钢板）						
海上服役条件和纵向塑性应变能力	1000 (1.6)	无规定	300 (0.5)	35 (1.4)	8 (0.3)	10 [每 1.0 m (3.3 ft) × 1.0 m (3.3 ft) 的正方形] ^b
酸性服役条件	500 (0.8)		150 (0.2)	15 (0.6)	8 (0.3)	10 [每 500 mm (1.6 ft) × 500 mm (1.6 ft) 的正方形] ^c
酸性服役条件如果有协议	100 (0.16)		30 (0.05)	5 (0.2)	5 (0.2)	5 [每 500 mm (1.6 ft) × 500 mm (1.6 ft) 的正方形] ^c
钢板/钢带边缘或邻近焊缝区域 ^d						
酸性服役条件或纵向塑性应变能力	100 (0.16)	20 (0.8)	—	10 (0.4)	—	3 [每 1.0 m (3.3 ft) 长度上]

注 1 管体(或钢带/钢板)上的缺欠大于最小缺欠尺寸是指该缺欠的每个最小面积、最小长度和最小宽度大于表中规定值。

注 2 为确定可疑区域的范围, 当两个相邻可疑区域的间距小于该相邻可疑区域的两个较小轴向尺寸的较小值时, 应将这两个区域视为一个区域。

^a 小于最大缺欠尺寸且大于最小缺欠尺寸的缺欠数量。

^b 对于 $D<323.9\text{ mm}$ (12.375 in) 的钢管或宽度小于 1000 mm (39.4 in) 的钢带/钢板, 缺欠的最大分布密度按照 10 m² (10.8 ft²) 面积上的缺欠数量计算。

^c 对于 $D<168.3\text{ mm}$ (6.625 in) 的钢管或宽度小于 500 mm (19.7 in) 的钢带/钢板, 缺欠的最大分布密度按照 0.25 m² (2.7 ft²) 面积上的缺欠数量计算。

^d 钢带/钢板边缘最大缺欠的面积为平行于钢带/钢板边缘的最大缺欠长度和其横向尺寸的乘积, 如果其长度或横向尺寸有一项超过规定, 则认为该缺欠大于最大缺欠尺寸。

K.4 高频焊接 (HFW) 无损检验

K.4.1 焊缝无损检验

应对高频焊 (HFW) 管焊缝全长进行纵向缺欠的超声检验, 并按下列验收极限之一进行验收:

- ISO 10893-11, 验收等级 U2/U2H;
- ISO 10893-10, 验收等级 U3, 或如果有协议, 验收等级为 U2;
- ASTM E273。

K.4.2 管体分层缺欠

如果有协议, 应分别按 ISO 10893-8:2011 (除 4.2 外) 或 ISO 10893-9 的要求, 对钢管或钢带/钢板进行分层缺欠的超声检验, 相应验收极限见表 K.1。自动检验的覆盖面应 ≥ 20 % 的钢管表面。

K.4.3 钢带/钢板边缘或邻近焊缝区域的分层缺欠

如果有协议，应分别按 ISO 10893-9 或 ISO 10893-8 的要求，对宽度各超过 15 mm (0.6 in) 的钢带/钢板两侧边缘或邻近焊缝区域两侧的分层缺欠进行超声检验，验收极限见表 K.1。

K.4.4 补充无损检验

如果有协议，应按照 ISO 10893-10 验收等级为 U3/C 或如果有协议为 U2/C 的要求、或按照 ASTM E213 的要求，对高频焊 (HFW) 管管体的纵向缺欠进行超声检验；或者按照 ISO 10893-3 验收等级为 F3 或如果有协议为 F2、或 ASTM E 570 的要求进行漏磁检验。

K.5 高频焊接 (HFW) 无损检验

K.5.1 焊缝纵向和横向缺欠的超声检验

K.5.1.1 应按照 ISO 10893-11 验收等级 U2 的要求，对埋弧焊 (SAW) 管焊缝全长的纵向缺欠和横向缺欠进行超声检验，并作如下修改：

- a) 刻槽深度应 ≤ 2.0 mm (0.080 in)。
- b) 不允许使用位于焊缝中心的内部和外部纵向刻槽校准设备。
- c) 允许使用验收等级为 U2 的内部和外部刻槽替代钻孔对比标样，校准检测横向缺欠的设备，这些刻槽与焊缝垂直且位于焊缝中心。在这种情况下，刻槽间与刻槽两边的焊缝余高应磨削至与钢管母材表面平齐。为获得清晰可分辨的、相互分离的超声信号回波，刻槽沿纵向应有足够的间距，且与任何原始焊缝也应留有足够间距。每一个刻槽的全波高度信号用于设置设备的触发/报警门限。

如果有协议，允许采用固定深度的内部和外部刻槽替代验收等级为 U2 的内部和外部刻槽校准设备，并通过电子方法（如增加 db 值）提高检验灵敏度。在这种情况下（称为“两 λ ”法），刻槽深度应为所使用超声频率波长的两倍。波长[单位为 m (ft)]由公式 (K.1) 确定：

$$\lambda = \frac{V_t}{f} \quad (\text{K.1})$$

式中：

V_t 横波声速，单位为 m/s (ft/s)；

f 频率，单位为 Hz（每秒的周期数）。

示例 在检测频率为 4 MHz 时，其波长为 0.8 mm (0.031 in)，则刻槽深度为 1.6 mm (0.063 in)。

检验灵敏度的提高应根据钢管的壁厚来确定，且制造商应向购方证实获得的检验灵敏度与使用验收等级 U2 刻槽获得的检验灵敏度基本相当。

- d) 制造商可按照 K.5.3 规定对可疑区域进行复验。

K.5.1.2 应对螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 管的钢带（卷）/钢板对头焊缝全长进行超声检验，其检验灵敏度和检验参数应与螺旋焊缝检验（按照 K.5.1.1 规定）相同。

另外，T 型接头，即钢带（卷）/钢板对头焊缝的端部与螺旋焊缝的交接处，应按照 E.4 的规定进行射线检验。

K.5.1.3 应对对接管环焊缝全长进行超声检验。其检验灵敏度和检验参数与螺旋焊缝或直焊缝检验（按照 K.5.1.1 规定）的相同。

另外，T 型接头，即环焊缝与直缝埋弧焊 (SAWL) 管直焊缝，或与螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 管螺旋焊缝的交接处，应按 E.4 规定进行射线检验。

K.5.2 管体和钢带/钢板边缘的分层缺欠

K.5.2.1 应按照 ISO10893-9 的规定，对管体或钢带/钢板进行分层缺欠的超声检验，相应服役条件的验收极限见表 K.1，其检验覆盖率 $\geq 20\%$ 。

这种检验既可在钢带/钢板制造厂进行，也可在钢管制造厂进行。

K.5.2.2 应按照 ISO 10893-9 的规定，对钢带（卷）/钢板两侧边缘（包括邻近螺旋焊管钢带/钢板对头焊缝两侧）超过 15 mm (0.6 in) 的宽度范围进行分层缺欠的超声检验，其验收极限见表 K.1 钢板/钢带边缘或邻近焊缝区域的相应规定。

K.5.3 管端/补焊区域焊缝无损检验

自动超声检验设备无法检验的管端焊缝和补焊区域焊缝（见 C.4），应按照下列规定进行检验：

- a) 纵向缺欠采用手动或半自动超声方法检验，其检验灵敏度和检验参数与 K.5.1.1 规定相同，或有协议，按照 E.4 规定进行射线检验。
- b) 横向缺欠采用手动或半自动超声方法检验，其检验灵敏度和检验参数与 K.5.1.1 规定相同，或按照 E.4 规定进行射线检验。

手动超声检验扫查速度应 ≤ 150 mm/s (6 in/s)。

K.5.4 补充无损检验操作

如果有协议，应按照 ISO 10893-5 或 ASTM E 709 规定，对每根钢管两端最少 50 mm (2.0 in) 长度的外焊缝和内焊缝表面进行磁粉检验。任何超过 3.0 mm (0.12 in) 的指示应按照 C.2 规定进行核查和处置。

Annex L

(资料性附录)

钢牌号

表 L.1 列出了欧洲另外使用的钢牌号（钢号）指南。

表 L.1—欧洲使用的钢牌号（钢号）对照表

	API 5L 钢名	EN 10027-2 ^[a] 钢号
表 5 * PSL2 钢管钢级	L175	1.8700
	L175P	1.8707
	L210	1.8713
	L245	1.8723
	L290	1.8728
	L320	1.8729
	L360	1.8730
	L390	1.8724
	L415	1.8725
	L450	1.8726
表 5 * PSL2 钢管钢级	L485	1.8727
	L245R	1.8788
	L290R	1.8789
	L245N	1.8790
	L290N	1.8791
	L320N	1.8792
	L360N	1.8793
	L390N	1.8970
	L415N	1.8736
	L245Q	1.8737
	L290Q	1.8738
	L320Q	1.8739
	L360Q	1.8741
	L390Q	1.8740
	L415Q	1.8742
	L450Q	1.8743
	L485Q	1.8744
	L555Q	1.8745
	L625Q	1.8764
	L690Q	1.8765
	L245M	1.8746
	L290M	1.8747
	L320M	1.8748
	L360M	1.8749
	L390M	1.8971
	L415M	1.8752
	L450M	1.8754
	L485M	1.8756
	L555M	1.8758
	L625M	1.8753
	L690M	1.8979
	L830M	1.8755
表 H.1 * 酸性服役条件 PSL2 钢管钢级	L245NS	1.1020
	L290NS	1.1021
	L320NS	1.1022
	L360NS	1.8757
	L245QS	1.1025
	L290QS	1.1026
	L320QS	1.1027
	L360QS	1.8759
	L390QS	1.8760
	L415QS	1.8761
	L450QS	1.8762
	L485QS	1.8763
	L245MS	1.1030
	L290MS	1.1031
	L320MS	1.1032
	L360MS	1.1033
	L390MS	1.1034
	L415MS	1.8766
	L450MS	1.8767
	L485MS	1.8768
表 J.1 * 海上服役条件 PSL2 钢管钢级	L245NO	1.1040
	L290NO	1.1041
	L320NO	1.1042
	L360NO	1.8778
	L245QO	1.1045
	L290QO	1.1046
	L320QO	1.1047
	L360QO	1.8771
	L390QO	1.8772
	L415QO	1.8773
	L450QO	1.8774
	L485QO	1.8775
	L555QO	1.8776
	L245MO	1.1050
	L290MO	1.1051
	L320MO	1.1052
	L360MO	1.8781
	L390MO	1.8782
	L415MO	1.8783
	L450MO	1.8784
	L485MO	1.8785
	L555MO	1.8786
	L625QO	1.8777
	L690QO	1.8779

a 表号仅指 API 5L 表号。

Annex M

(资料性附录)

对接管规格

M.1 方法和评定

M.1.1 根据本附录连接的管段应具有相同的名义壁厚和等级。

注 双接头不在 API 5L 的范围内。双接头是指由制造商以外的各方焊接在一起的每根钢管，或由制造商根据本附件以外的要求焊接在一起的每根钢管。

M.1.2 除购方规定了特定的方法外，应采用通常公认可靠的填充金属焊接方法。

M.1.3 应形成文件化程序，以避免焊接耗材受到环境污染。

M.1.4 应根据购方批准的 API 1104、ASME Section IX 或 ISO 15614-1 或同等标准，对焊接工艺、焊工和焊机操作者（此后称操作者）进行评定。在进行有损评定试验之前，无损检测应满足附录 E 或附录 K 的要求。

对于焊接工艺评定，焊接和 HAZ CVN 以及硬度试验被视为是良好的作法。通过制造商和购方之间的协议，应考虑这些附加试验，规定验收标准。

M.1.5 在购方要求时，应向购方提供工艺规范和工艺评定记录的复印件。

M.2 工艺试验

M.2.1 应采用有损方法对对接焊缝进行试验，每 100 个接头中至少有 1 个接头，每壁厚和等级生产运行中至少有 1 个试验焊缝。评定焊缝可作为初始工艺试验。工艺试验至少应包括 1 个焊缝拉伸、1 个 根部和 1 个表面弯曲。这些试验应至少满足评定标准的要求。

M.2.2 在焊缝试验失败时，应切割两个额外的焊缝试验，一个来自故障前对接焊缝的试样，另一个来自故障后对接焊缝的试样。如果在首次失败前对对接焊缝进行的复验未通过，则应复验在首次失败前进行的两个对接焊缝。如果这两个对接焊缝中的任何一个失败，应继续对每个对接焊缝进行复验，直到两个对接焊缝相继通过。如果在首次失败后对对接焊缝进行的复验未通过，则应复验在首次失败后进行的两个对接焊缝。如果这两个对接焊缝中的任何一个失败，应继续对每个对接焊缝进行复验，直到两个对接焊缝相继通过。

M.3 工艺和检验

M.3.1 即将进行对焊连接的钢管端部应按照评定合格的焊接工艺规范进行准备。

M.3.2 准备好的管端在对接焊缝前不需要进行管缝射线照相。

M.3.3 完成对焊的对接管管直度应在 9.11.3.4 规定的限度内。不应采用弯曲方法在对接焊缝处 对对接管进行矫直。

M.3.4 焊缝截面沿钢管圆周应均匀规整。任意位置的熔敷焊缝凸起表面不应低于母材外表面，埋弧焊缝高出母材外表面的数值应符合表 16 的规定，采用其他焊接方法的焊缝高度不应大于 1.6 mm (0.063 in)。

M.3.5 除另有协议外，在对接管环焊缝上，直焊缝间的环向间隔应为 50 mm~200 mm (2.0 in~8.0 in)。

M.3.6 在对接管环焊缝上，螺旋焊缝间、钢带（卷）/钢板对头焊缝间以及螺旋焊缝与钢带（卷）/钢板对头焊缝间的最小环向间隔应为 50 mm (2.0 in)。

M.3.7 在对接焊缝处，管端偏移量不得超过 3.2 mm (0.125 in.)，除非是由于钢管采购规范偏差范围内的管端尺寸变化引起的变化，且此类变化基本上均匀分布在钢管周围。

M.3.8 咬边应按照 9.10.2 a)和 b) 进行处理。

M.4 标记

M.4.1 每个对接管应清楚标识，以识别焊工或操作者。

M.4.2 为了确定哪根钢管和炉号适用于每段对接管长度，钢管标识信息应按照以下顺序在每端进行圆周标记，观察者应查看钢管，见图 M.1：

顶线(离观察者最远)-对接管最近的观察者

中线-总部对接管段

底线-离观察者最远的对接管段

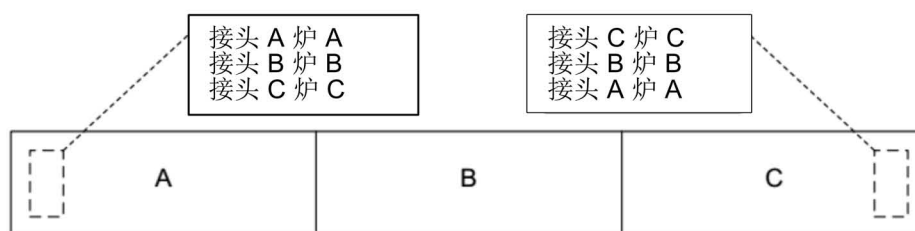


图 M.1—管段识别标记顺序示例

M.5 无损检验

应根据附录 E 或附录 K（选适用附录），对对接管环焊缝全长（100 %）进行无损检验。无损检验采用射线检验或超声检验方法，或者采用两种方法联合检验。

M.6 补焊

对接焊缝的补焊应按照附录 D 的要求进行。

Annex N

（规范性附录）

订购用于需要纵向塑性应变能力的应用的 PSL 2 钢管

N.1 总则

本附录规定了适用于需要纵向塑性应变能力（应变 $>0.5\%$ ）的 PSL 2 钢管的附加条款[见 7.2 c) 59)]。

注 本附录不包含管道设计指南，以承受纵向应变（基于应变的设计）；由于管道的要求和特定应用所需的应变能力会有所不同，因此本附录不规定所需性能的具体值；所需性能由设计者确定，由管道购方规定；本附录为管道购方提供了一种格式，以规定已知会影响管道纵向应变能力的特性。

N.2 由购方提供的附加信息

订货合同应指出下列哪些条款适用于特定订货批：

- a) 焊管用钢带或钢板的浇铸方法（见 N.3.3.2.1）；
- b) 钢带/钢板分层缺欠的超声检验（见 N.3.3.2.4）；
- c) 对接管的交货（见 N.3.3.3）；
- d) 中间钢级的化学成分（见 N.4.1.1）；
- e) $t > 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in) 钢管的化学成分（见 N.4.1.2）；
- f) 钢级为 L555QP 或 X80QP 的碳当量（见表 N.1）；
- g) 化学成分限制[见表 N.1，脚注 d)]；
- h) 纵向拉伸性能要求（见 N.4.2.2）；
- i) 纵向拉伸试样的老化状态和加热试样的方法（见 N.4.2.3）；
- j) 全圆应力应变曲线形状要求（见 N.4.2.4）；
- k) 应力应变曲线形状的附加要求（见 N.4.2.5）；
- l) 实际纵向屈服强度的最大值与最小值之间的差异限制（见 N.4.2.6）；
- m) 更严格的不圆度偏差（见 N.6.1）；
- n) 更严格的壁厚偏差（见 N.6.2）；
- o) $t > 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in) 无缝 (SMLS) 管直径偏差和不圆度偏差[见表 N.2，脚注 b)]；
- p) 使用测量内径方法确定 $D \geq 219.1 \text{ mm}$ (8.625 in) 非扩径钢管直径偏差和不圆度偏差[见 表 N.2，脚注 c)]；

- q) 无缝、电焊 (EW) 和埋弧焊 (SAW) 管管体、焊缝和 HAZ 的硬度试验 (见表 N.6) ;
- r) CTOD 试验 (见 N.8.2.2 和表 N.6) ;
- s) 采用胀环试验方法检测横向屈服强度[见表 N.7, 脚注 c)];
- t) 焊接管纵向试验用全厚板状试样的替代 (见 N.8.3.1) ;
- u) 在每一全厚度位置使用三点压痕硬度[见 N.8.3.3.2 c)];
- v) 对焊接管母材压痕硬度, 使用焊缝的替代距离 [见 N.8.3.3.3 c)];
- w) $t \geq 5.0 \text{ mm}$ (0.197 in) 钢管管端 100 mm (4.0 in) 长度范围的分层缺欠超声检验 (见 K.2.1.3) ;
- x) 每根钢管管端面/坡口分层缺欠的磁粉检验 (见 K.2.1.4.) ;
- y) 验证符合表 K.1 相应要求的超声检验 (见 K.3.2.2.) ;
- z) 无缝 (SMLS) 管超声壁厚测量范围的增加 (见 K.3.3) ;
- aa) 无缝 (SMLS) 管的一个或多个补充无损检验的应用 (见 K.3.4) ;
- bb) 高频焊 (HFW) 管焊缝无损检验的 L2/C 或 L2 验收等级 (见 K.4.1) ;
- cc) 高频焊 (HFW) 管管体分层缺欠的超声检验 (见 K.4.2) ;
- dd) 钢带/钢板边缘或邻近焊缝区域分层缺欠的超声检验 (见 K.4.3) ;
- ee) 使用超声或漏磁方法对高频焊 (HFW) 管管体进行无损检验 (见 K.4.4) ;
- ff) 使用固定深度的刻槽对设备进行校准[见 K. 5.1.1 c)];
- gg) 管端 (未检管端) 和修补区域[见 K. 5.3 a)]的射线检验;
- hh) 埋弧焊 (SAW) 管管端焊缝的磁粉检验 (见 K.5.4) 。

N.3 制造

N.3.1 制造工艺

所有钢管应依照按附录 B 评定合格的制造工艺生产以及本附录中要求的性能的补充试验。

作为制造工艺评定试验的一部分, 用户应考虑包括针对预期应用的补充要求。以下列出了具体应用应考虑的其他项目:

- a) 可焊性试验, 包括环焊缝热影响区的适当韧性试验;
- b) 涂层模拟试验, 以表征涂层热循环对钢管性能的影响;
- c) 试验, 包括小型、中型和/或全尺寸试验, 以评定钢管的拉伸和压缩应变能力, 作为评定的一部分;

d) 对于卷筒铺设应用（即使用前应变）：卷筒模拟试验、应变老化试验和卷筒后特性的表征，包括酸性服役性能（如适用）。

N.3.2 炼钢

钢应为采用氧气顶吹转炉冶炼工艺或电炉冶炼工艺生产的纯净镇静钢。

N.3.3 钢管制造

N.3.3.1 SMLS 管

无缝 (SMLS) 管应采用连铸钢或铸锭钢制造.如果采用冷精整方法，应在检验文件或工厂资质书中指明。

N.3.3.2 焊管

N.3.3.2.1 除另有协议外，焊管用钢带和钢板应由连铸或压铸坯轧制而成。钢管应为直缝埋弧焊 (SAWL)、螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 或高频焊 (HFW) 管。

N.3.3.2.2 高频焊 (HFW) 管用钢带或钢板的对接边缘，在焊接前宜进行修剪、铣削或机加工。

N.3.3.2.1 焊管用钢带和钢板在轧制后应进行外观检查。既可对未成卷钢带检查，也可对钢带卷边缘检查。

N.3.3.2.4 如果有协议，应在切断这些钢带或钢板前后，根据附录 K 的要求，采用超声方法检查钢带和钢板的分层缺欠或机械损伤，否则应对完成焊接的钢管进行包括超声检验的全管体检验。

N.3.3.2.5 不应在直缝埋弧焊 (SAWL) 或螺旋缝埋弧焊 (SAWH) 管坡口使用间断定位焊，制 造商向购方提交的数据证明，在定位焊位置和中间位置的钢管所有力学性能满足规定要求，并获得购方批准时除外。

N.3.3.3 对接管

除另有协议外，不应交付对接管。

注 如果同意交付对接管，购方和制造商有责任就对接焊缝、焊接工艺和评定试验要求达成一致；由于环焊缝的拉伸应变能力取决于焊缝的拉伸性能、强度性能、高地偏差和缺陷验收标准，因此高应变应用可能需要附加要求。

N.4 验收标准

N.4.1 化学成分

N.4.1.1 ≤ 25.0 mm (0.984 in) 钢管，标准钢级的化学成分应符合表 N.1 的要求，中间钢级的化学成分应协商确定，但应与表 N.1 规定的标准钢级的化学成分协调。钢管命名应按表 N.1 要求，且由表示钢级的字母或字母数字和尾随的后缀组成。后缀由表示交货状态的字母（N、Q 或 M）和表示服役条件的第二个字母 (O) 组成。

N.4.1.2 $t > 25.0$ mm (0.984 in.)钢管的化学成分应协商确定，并按表 N.1 规定对化学成分进行适当的修正。

表 N.1— $t \leq 25.0 \text{ mm}$ (0.984 in.) 的 钢管的化学成分

钢级	质量分数，基于熔炼分析和产品分析 (最大) %									碳当量 ^a (最大) %	
	C ^b	Si	Mn _b	P	S	V	Nb	Ti	其他 ^c	CE _{IIW}	CE _{Pcm}
无缝管和焊管											
L245NP 或 BNP	0.14	0.40	1.35	0.020	0.010	d	d	0.04	e,f	0.36	0.19 _g
L290NP 或 X42NP	0.14	0.40	1.35	0.020	0.010	0.05	0.05	0.04	f	0.36	0.19 _g
L320NP 或 X46NP	0.14	0.40	1.40	0.020	0.010	0.07	0.05	0.04	e,f	0.38	0.20 _g
L360NP 或 X52NP	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.10	0.05	0.04	e,h	0.43	0.22 _g
L245QP 或 BQP	0.14	0.40	1.35	0.020	0.010	0.04	0.04	0.04	f	0.34	0.19 _g
L290QP 或 X42QP	0.14	0.40	1.35	0.020	0.010	0.04	0.04	0.04	f	0.34	0.19 _g
L320QP 或 X46QP	0.15	0.45	1.40	0.020	0.010	0.05	0.05	0.04	f	0.36	0.20 _g
L360QP 或 X52QP	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.07	0.05	0.04	e,h	0.39	0.20 _g
L390QP 或 X56QP	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.07	0.05	0.04	e,h	0.40	0.21 _g
L415QP 或 X60QP	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.08	0.05	0.04	e,h	0.41	0.22 _g
L450QP 或 X65QP	0.16	0.45	1.65	0.020	0.010	0.09	0.05	0.06	e,h	0.42	0.22 _g
L485QP 或 X70QP	0.17	0.45	1.75	0.020	0.010	0.10	0.05	0.06	e,h	0.42	0.23 _g
L555QP 或 X80QP	0.17	0.45	1.85	0.020	0.010	0.10	0.06	0.06	e,h	依照协议	
焊管											
L245MP 或 BMP	0.12	0.40	1.25	0.020	0.010	0.04	0.04	0.04	f	—	0.19
L290MP 或 X42MP	0.12	0.40	1.35	0.020	0.010	0.04	0.04	0.04	f	—	0.19
L320MP 或 X46MP	0.12	0.45	1.35	0.020	0.010	0.05	0.05	0.04	f	—	0.20
L360MP 或 X52MP	0.12	0.45	1.65	0.020	0.010	0.05	0.05	0.04	e,h	—	0.20
L390MP 或 X56MP	0.12	0.45	1.65	0.020	0.010	0.06	0.08	0.04	e,h	—	0.21
L415MP 或 X60MP	0.12	0.45	1.65	0.020	0.010	0.08	0.08	0.06	e,h	—	0.21
L450MP 或 X65MP	0.12	0.45	1.65	0.020	0.010	0.10	0.08	0.06	e,h	—	0.22
L485MP 或 X70MP	0.12	0.45	1.75	0.020	0.010	0.10	0.08	0.06	e,h	—	0.22
L555MP 或 X80MP	0.12	0.45	1.85	0.020	0.010	0.10	0.08	0.06	e,h	—	0.24
a 根据产品分析（见 9.2.4 和 9.2.5）；如果碳质量分数大于 0.12 %，则 CE _{IIW} 限制适用，如果碳质量分数小于等于 0.12 %，则 CE _{Pcm} 限制适用。											
b 碳含量比规定最大碳含量每减少 0.01 %，则允许锰含量比规定最大锰含量高 0.05 %，最大增至 0.20 %。											
c Al _{总含量} ≤0.060 %；N≤0.012 %；Al / N ≥2:1（不适用钛镇静钢或钛处理钢）。											
d 除非另有协议，铌和钒的浓度总计应 ≤ 0.06 %。											
e 铌、钒和钛的浓度总计应 ≤ 0.15 %。											
f Cu ≤ 0.35 %；Ni ≤0.30 %；Cr≤0.30 %；Mo≤0.10 %；B≤0.0005 %。											
g 对于无缝（SMLS）管，将表列值增加 0.03%，最大至 0.25 %。											
h Cu ≤ 0.50 %；Ni ≤0.50 %；Cr≤0.50 %；Mo≤0.50 %；B≤0.0005 %。											

N.4.2 拉伸性能

N.4.2.1 本规范主体中的 PSL 2 的拉伸性能要求（见表 7）应适用于主体要求的拉伸试验。本附录规定了纵向拉伸性能的额外要求。

N.4.2.2 以下纵向拉伸性能的要求应达成一致：

- a) 最小和最大屈服强度 ($R_{t0.5}$),
- b) 最小和最大抗拉强度 (R_m),
- c) 最大屈强比 ($R_{t0.5}/R_m$), 以及
- d) 最小同意伸长率 (UEL)。

注 对于老化纵向拉伸试验，如果本规范未要求纵向拉伸试验，则不要求纵向商定的拉伸属性要求符合表 7 中的要求。（例如，允许指定较低的纵向屈服强度，而不是主体对横向拉伸试验的要求。）

N.4.2.3 如果有协议，在纵向的拉伸性能要求应在钢材老化至购方规定的最短时间和温度后适用。应商定加热样品的方法。

注 钢管暴露在高温下可能会改变钢管钢的拉伸性能；在将钢管钢暴露于通常用于防腐涂层的热循环后，观察到强度和 $R_{t0.5}/r_m$ 的增加以及均匀延伸率的降低；在温度下回火或正火的钢管高于涂层应用温度的温度预计不会受到影响。

N.4.2.4 如果同意焊接管道，纵向应力应变曲线应为全圆形（连续屈服，无尖锐屈服点或存在 Lüders 稳定水平）。

N.4.2.5 可以就对应力应变曲线形状和应变硬化行为的附加要求达成一致。

注 已知屈服点后的加工硬化会影响压缩应变能力；应力应变曲线上与特定应变相关的应力之比可以描述应变硬化行为；确保管道抗压应变能力所需的特定应力比要求可以通过数值模拟和/或全面测试确定。

N.4.2.6 如有协议，订购项目中管道的实际纵向屈服强度的最大值和最小值不应超过 100 MPa (14.5 ksi)。

N.4.3 硬度试验

进行硬度是按的钢管管体、焊缝和 HAZ 试样应：

- a) 钢级 $\leq L450/X65$ ，硬度 $\leq 270 \text{ HV}_{10}$ 或 $\leq 25\text{HRC}$ ，以及
- b) 钢级 $> L450/X65$ ，且 $\leq L555/X80$ ，硬度 $\leq 300 \text{ HV}_{10}$ 或 $\leq 30\text{HRC}$ 。

N.5 其他表面缺欠

除埋弧焊 (SAW) 管咬边和任一钢管上的电弧烧伤外，外观检查发现的表面缺欠应按照下列要求进行核查、判别和处置：

- a) 深度 $\leq 0.05t$ ，且不影响最小允许壁厚的缺欠应判为可接收缺欠，并按照 C.1 进行处置。

注 如果钢管随后涂敷涂层, 订货合同中可能规定表面缺欠的特殊处置要求。

- b) 深度 $>0.05t$, 且不影响最小允许壁厚的缺欠应判为缺陷, 并按照 C.2 或 C.3 对其进行处置。
- c) 影响最小允许壁厚的缺欠应判为缺陷, 并按照 C.3 对其进行处置。

N.6 直径、壁厚和直度偏差

N.6.1 除 C.2.3 允许外, 直径和不圆度应在表 N.2 规定的偏差范围内。如有协议, 应要求更严格的不圆度偏差。

N.6.2 壁厚应在表 N.4 规定的偏差范围内。如有协议, 应要求更严格的壁厚偏差。

注 管端的不圆度和壁厚变量影响环焊缝的高低焊偏量, 影响环焊缝的拉伸应变能力。

N.6.3 由于钢管成型工艺或制造操作造成钢管实际轮廓相对于钢管正常圆柱轮廓的几何尺寸偏离 (如扁平块或噉嘴等), 其极端点与钢管正常轮廓延伸部分之间的距离, 即深度超过 $0.005D$ 或 2.0 mm (0.080 in) (取较小值) 的应判为缺陷, 且应按照 C.3 b) 或 C.3 c) 的规定处置。

N.6.4 平直度的偏差应如下: 钢管全长范围内, 直度偏离总量 $\leq$ 该钢管全长的 0.15% 。

N.6.5 对于无缝钢管, 管端偏心距不应超过表 N.4 所示值。偏心距应定义为圆周截面的最大壁厚和最小壁厚之间的差距。

表 N.2—直径和不圆度偏差

规定外径 D mm (in.)	直径偏差 ^d mm (in.)不圆度偏差 mm (in.)				不圆度偏差 mm (in.)	
	除管端 ^a 外的钢管		管端 ^{a,b,c}		除管端 ^a 外的 钢管	管端 ^{a,b,c}
	无缝 (SMLS) 管	焊管	无缝 (SMLS) 管	焊管		
< 60.3 (2.375)	±0.5 (0.020) 或 ± 0.0075D, 取 较大者	±0.5 (0.020) 或 ± 0.0075D, 取 较大者, 但 最大为 ±3.2 (0.125)	±0.5 (0.020) 或 ±0.005D, 取较大者, 但最大为 ±1.6 (0.063)		0.9 (0.036)	0.6 (0.024)
≥ 60.3 (2.375) 至 610 (24.000)					0.015D	0.01D
> 610 (24.000) 至 1422 (56.000)	±0.01D	±0.005D, 但最大为 ± 4.0 (0.160)	±2.0 (0.079)	±1.6 (0.063)	0.01D, 但 D/t ≤ 75 时 最大为 10 (0.4)	0.0075D, 但 D/t ≤ 75 时 最大为 5 (0.2)
					$\frac{D}{t}$ > 75 时依 照协议	$\frac{D}{t}$ > 75 时依 照协议
> 1422 (56.000)	依照协议					

a 管端包括钢管每个端头 100 mm (4.0 in)长度范围内的钢管。

b 对于无缝 （SMLS）管，这些偏差适用于 t ≤25.0 mm (0.984 in)的钢管，对于更大壁厚的钢管，壁厚偏差应协商确定。

c 对于 D ≥219.1 mm (8.625 in)的钢管，可采用计算的内径（规定外径减去两倍的规定壁厚）或测量内径确定 直径偏差和不圆度偏差，而不通过测量外径值来确定（见 10.2.8.3）。

d 为确定直径对直径偏差的符合率，钢管直径定义为在任一圆周平面的钢管周长除以 pi (π)。

表 N.3 — 壁厚偏差

壁厚, t mm (in.)	偏差 ^a mm (in.)
无缝 (SMLS) 管	
< 4.0 (0.157)	+0.6 (0.024) -0.5 (0.020)
≥ 4.0 (0.157) 至 < 10.0 (0.394)	+0.15 t -0.125 t
≥ 10.0 (0.394) 至 < 25.0 (0.984)	+0.125 t -0.125 t
≥ 25.0 (0.984)	+3.7 (0.146) 或 +0.1 t , 取较大值 ^b -3.0 (0.120) 或 -0.1 t , 取较大值 ^b
HFW 管 ^{c,d}	
≤ 6.0 (0.236)	± 0.4 (0.016)
> 6.0 (0.236) 至 ≤ 15.0 (0.591)	± 0.7 (0.028)
> 15.0 (0.591)	± 1.0 (0.039)
SAW 管 ^{c,d}	
≤ 6.0 (0.236)	± 0.5 (0.020)
> 6.0 (0.236) 至 ≤ 10.0 (0.394)	± 0.7 (0.028)
> 10.0 (0.394) 至 ≤ 20.0 (0.787)	± 1.0 (0.039)
> 20.0 (0.787)	+1.5 (0.060) -1.0 (0.039)
^a 如果订货合同规定的壁厚负偏差比本表规定的对应数值小, 则壁厚正偏差应增加, 以保证适当的偏差范围。 ^b 对 $D \geq 355.6$ mm (14.000 in.) 和 $t \geq 25.0$ mm (0.984 in.) 的钢管, 偏差为 $\pm 12.5\%$ 。 ^c 壁厚正偏差不适用于焊缝。 ^d 附加要求见 9.13.2。	

表 N.4 — 无缝钢管管端的偏心距

壁厚, t mm (in.)	偏心距偏差 mm (in.)
无缝 (SMLS) 管	
< 4.0 (0.157)	+1.0 (0.040)
≥ 4.0 (0.157) 至 < 10.0 (0.394)	0.22 t
≥ 10.0 (0.394) 至 < 25.0 (0.984)	0.2 t

N.7 焊缝偏差（钢带/钢板的错边）

对于高频焊（HFW）管，钢带/钢板错边[见图 4 a)]不应使焊缝处的剩余壁厚小于最小允许壁厚。

对于埋弧焊 (SAW) 管，钢带/钢板的内外错边[见图 4 b)]不应大于表 N.5 的相应规定。

表 N.5 — SAW 管最大允许错边

规定壁厚, <i>t</i> mm (in.)	允许最大错边 ^a mm (in.)
≤13.0 (0.512)	1.3 (0.051)
> 13.0 (0.512) 至 ≤ 20.0 (0.787)	0.1 <i>t</i>
> 20.0 (0.787)	2.0 (0.079)
^a 这些要求同样适用于钢带/钢板的对头焊缝。	

N.8 检验

N.8.1 特定检验

除表 N.6 的特殊更改外，检验频次应符合表 18 的要求。

表 N.6 — 检验频次

序号	检验类型	钢管类型	检验频次
1	D<508 mm (20.000 in) 钢管管体拉伸试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^{a,e} 不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
2	D≥508 mm (20.000 in) 钢管管体拉伸试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^{a,e} 不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
3	219.1 mm (8.625 in.) ≥ D < 508 mm 直缝或螺旋缝焊管焊缝拉伸试验	HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^{a,b} 不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
4	D ≥ 508 mm (20.000 in) 的焊管直焊缝或螺旋焊缝拉伸试验	HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
5	D ≥ 219.1 mm (8.625 in) SAW 管钢带 (卷) / 钢板对头焊缝拉伸试验	SAWH	相同冷扩径率 ^{a,b,d} 不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
6	具有表 22 规定壁厚且 114.3 mm (4.500 in) ≤ D < 508 mm (20.000 in) 钢管管体 CVN 冲击试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^a 不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
7	具有表 22 规定壁厚且 D ≥ 508 mm (20.000 in) 钢管管体 CVN 冲击试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^a 相同熔炼炉不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
8	具有表 22 规定壁厚且 114.3 mm (4.500 in) ≤ D < 508 mm (20.000 in) 焊管直缝或螺旋焊缝 CVN 冲击试验	HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^{a,b} 不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
9	具有表 22 规定壁厚且 D ≥ 508 mm (20.000 in) 焊管直缝或螺旋焊缝 CVN 冲击试验	HFW、SAWL 或 SAWH	相同冷扩径率 ^{a,b,c} 不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
10	具有表 22 规定壁厚且 D ≥ 114.3 mm (4.500 in) 焊管钢带/钢板对头焊缝 CVN 冲击试验	SAWH	相同冷扩径率 ^{a,b,d} 不多于 50 根钢管为一试验批, 每批一次
11	如果有协议, 焊管管体、直焊缝或螺旋焊缝和 HAZ 硬度试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	依照协议
12	管端直径和管端不圆度	SMLS、SAWL 或 SAWH	每根钢管
13	管端尖峰	SAWL 或 SAWH	每根钢管
14	管端直径、管端不圆度和管端尖峰	HFW	每个钢带 (卷) 两个钢管
15	D ≤ 168.3 mm (6.625 in) 管体和不圆度	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	不多于 100 根钢管为一试验批, 每批一次
16	D > 168.3 mm (6.625 in) 管体和不圆度	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	不多于 20 根钢管为一试验批, 每批一次
17	无损检验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	符合附录 K 要求
18	如果有协议, 钢级 ≥ L360 或 X52 钢管的 CTOD 试验, 仅供参考。	SAWL 或 SAWH	一次; 仅在制造工艺评定时进行。
a 冷扩径率由制造商指定, 并使用扩径前外径或圆周长与扩径后外径或圆周长得出; 冷扩径率增加或减少量超过 0.002 时, 则要求建立一个新的试验批。 b 另外, 对每个焊管机组生产的钢管每周至少应试验一次。 c 对于双缝管, 代表试验批的所选钢管的两条直焊缝都应进行试验。 d 仅适用于含有钢带 (卷) / 钢板对头焊缝的成品螺旋焊管。 e 如果表 N.7 要求一个以上的试样方向, 则应按照所示频次对每个方向取一个。			

N.8.2 力学和工艺试验用试块和试样

N.8.2.1 通则

N.8.2.1.1 应按照适用的引用标准截取拉伸试验、CVN 冲击试验、导向弯曲试验、硬度试验和 CTOD 试验用试块且加工成相应试样。

N.8.2.1.2 各类型试验的试块和试样应按图 5、图 6 所示位置和表 N.7 的规定截取，同时考虑 10.2.3.2~10.2.3.7、10.2.4、N.8.2.2 和 N.8.2.3 的补充要求。

N.8.2.2 CTOD 试验试样

如果同意 CTOD，则应在采购订单上规定试样的位置（母材、HAZ 和/或焊接金属）和方向（断裂平面方向代码参考 ISO 15653）。应按照 ISO 12737、ISO 15653、ASTM E1820 或 BS 7448-1 的要求准备试样。

N.8.2.3 硬度试验试块

硬度试验试块应取自所选钢管的端部，对于焊管，在每个试块中心应包括一段直焊缝或螺旋焊缝（见图 N.1）。

表 N.7 — 机械试验各试块试样数量、方向和位置

钢管类型	试块位置	试验类型	各试块 ^a 试样的数量、方向和位置		
			规定外径 <i>D</i> mm (in.)		
			< 219.1 (8.625)	≥ 219.1 (8.625) 至 < 508 (20.000)	≥ 508 (20.000)
SMLS, 非冷扩 [见图 5 a)]	管体	拉伸	1L ^{b,d}	1L ^d	1L ^d
		CVN	3T	3T	3T
		硬度	1T	1T	1T
SMLS, 冷扩 [见图 5 a)]	管体	拉伸	1L ^{b,d}	1L 和 1T ^c	1L 和 1T ^c
		CVN	3T	3T	3T
		硬度	1T	1T	1T
HFW [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 ^{b,d}	1L90 和 1T180 ^c	1L90 和 1T180 ^c
		CVN	3T90	3T90	3T90
	焊缝	拉伸	—	1W	1W
		CVN	3W	3W	3W
		硬度	1W	1W	1W
	管体和焊缝	压扁	如图 6 所示		
SAWL [见图 5 b)]	管体	拉伸	1L90 b,d	1L90 和 1T180 ^c	1L90 和 1T180 ^c
		CVN	3T90	3T90	3T90
	焊缝	拉伸	—	1W	1W ^e
		CVN	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	3W ^e 和 3HAZ ^e
		导向弯曲	2W	2W	2W ^e
		硬度	1W	1W	1W ^e
SAWH [见图 5 c)]	管体	拉伸	1L ^{b,d}	1L 和 1T ^c	1L 和 1T ^c
		CVN	3T	3T	3T
	焊缝	拉伸	—	1W	1W
		CVN	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ	3W 和 3HAZ
		导向弯曲	2W	2W	2W
		硬度	1W	1W	1W
	钢带/钢板 对头焊缝	拉伸	—	1WS	1WS
		CVN	3WS 和 3HAZ	3WS 和 3HAZ	3WS 和 3HAZ
		导向弯曲	2WS	2WS	2WS
		硬度	1WS	1WS	1WS

a 用于表示试样方向和位置的符号说明, 见图 5。

b 由制造商选择可使用全截面纵向试样。

c 如果有协议, 可根据 ASTM A370 要求, 用环形试样通过液压胀环试验测定横向屈服强度。

d 如果同意老化纵向拉伸试验, 应取两块试样, 其中一块老化, 另一块未老化; 应试验未老化试样以满足该标准主体的要求。

e 对于双缝管, 代表试验批的所选钢管的两条直焊缝都应进行试验。

N.8.3 试验方法

N.8.3.1 CTOD 试验

如果同意 CTOD 试验，试验应按照 ISO 12737、ISO 15653、ASTM E1820 或 BS 7448-1 的要求进行。试验温度应在订货合同中规定。

N.8.3.2 硬度试验

N.8.3.2.1 母材硬度试验应根据 ISO 6507-1 或 ASTM E92 采用维氏试验方法，或根据 ISO 6508 或 ASTM E18 采用洛氏 HR15N 试验方法进行。有争议时，应采用维氏试验方法。HAZ 和焊缝的硬度试验应根据 ISO 6507-1 或 ASTM E92 采用维氏试验方法进行。

在管体和母材试验中，当单点硬度读数超过相应验收极限时，如果三点中最小值与在这三点附近加取的六点中最大值的平均值不超过相应验收极限，且单点读数超过相应验收极限的幅度不多于 10 HV10 或 2 HRC（选两者中适用者），也可视为该单点合格。

N.8.3.2.2 无缝（SMLS）管的硬度试验位置如图 N.1 a）所示，但下列情况除外：

- a) $t < 4.0 \text{ mm}$ (0.156 in.) 钢管，仅需在厚度中部的横向进行试验；
- b) 4.0 mm (0.156 in.) $\leq t < 6 \text{ mm}$ (0.236 in.) 钢管，仅需在内和外表面横向进行试验；
- c) 如果有协议，每一全厚度位置的三点（如图 N.1.a）所示）压痕硬度试验是可接受的。

N.8.3.2.3 硬度试验的位置应包括焊缝横截面。硬度压痕点应在母材、可见的热影响区和焊缝中心线上，如图 N.1 b）或图 N.1 c）所示，但下列情况除外：

- a) $t < 4.0 \text{ mm}$ (0.156 in.) 钢管，仅需在厚度中部的横向进行试验；
- b) 4.0 mm (0.156 in.) $\leq t < 6 \text{ mm}$ (0.236 in.) 钢管，仅需在内和外表面横向进行试验；
- c) 如果有协议，只要硬度压痕点仍位于母材上，母材的硬度压痕点与焊缝中心线的距离可小于图 N.1.c）所示距离。

N.8.3.3 纵向拉伸试验

纵向拉伸试验应按照 ISO 6892-1 或 ASTM A370 进行。如有协议，应使用符合 ISO 6892-1 的比例试样。在这种情况下，参考表 7 获取伸长率值，并根据试样几何形状使用 ISO 2566-1 进行转换。除非另有约定，焊接管的纵向拉伸试样应为全厚条形试样。无缝钢管的纵向试样应为全厚条形试样或圆棒试样。纵向拉伸试样不得压扁，但夹紧面除外。为了能够测量均匀延伸率和表征应力应变曲线的形状，至少在达到最大负荷之前，应使用伸长计测量负荷与延伸率。

N.8.4 无损检验

无损检验见 N.2 和附录 K。

N.8.5 检验文档

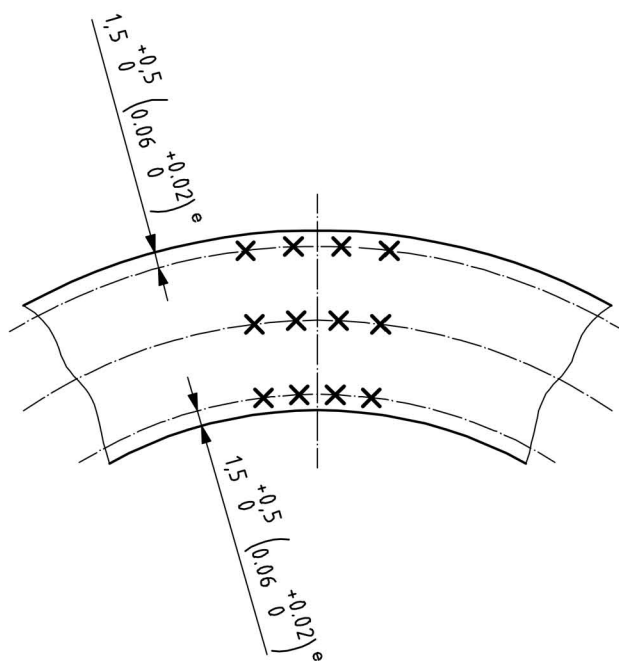
除 10.1.3.2 中列出的项目外，应在每个订单项目的检验证书上提供以下适用信息：

- a) 纵向拉伸试验结果和纵向拉伸试件的老化温度和时间，以及
- b) 硬度试验结果。

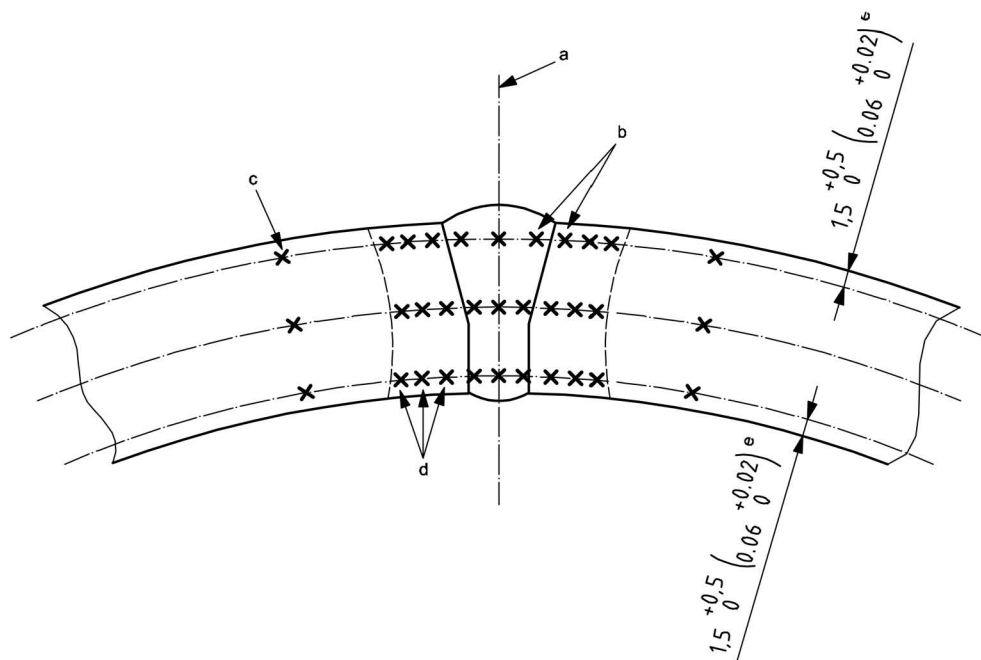
N.9 钢管标志

除 11.2 要求的钢管标志外，钢管标志应包括一个识别号，以表明产品或交货批与相关检查 文件的相互关系。

尺寸单位为毫米（英寸）

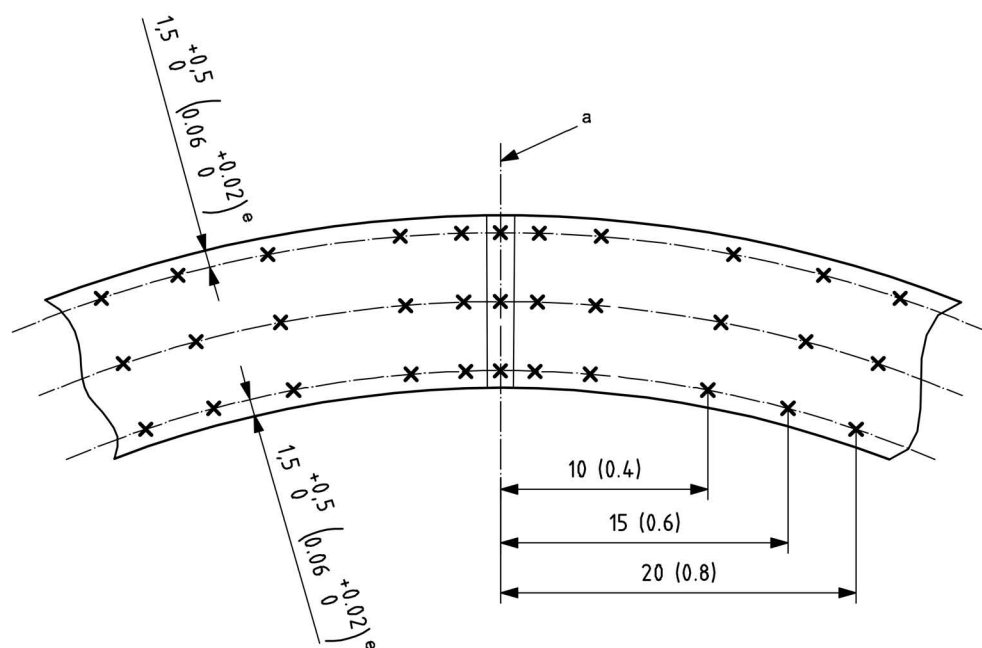


a) SMLS 管

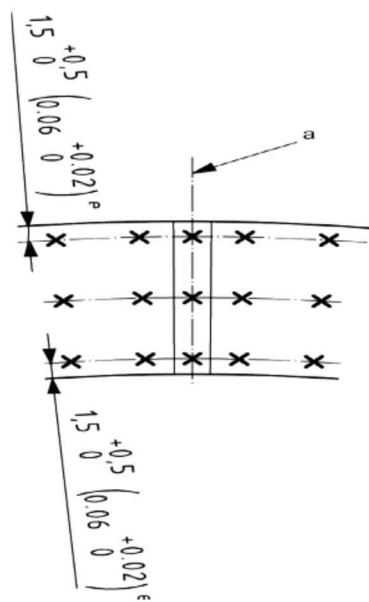


b) SAW 管

图 N.1 — 硬度试验位置



c) HFW 焊缝热处理管



d) HFW 全管体正火或全管体淬火加回火管

说明

- a 焊缝中心
- b 距熔合线 0.75 mm (0.03 in)
- c 距熔合线 $1t$
- d 在可见热影响区内间隔 1.0 mm (0.04 in)
- e 距内表面和外表面

图 N.1—硬度试验位置 (续)

Annex O (资料性附录)

API 许可证持有者的会标使用的附加信息

O.1 产品标志要求

O.1.1 总则

这些标记要求仅适用于自愿遵守 API 会标纲要要求在适用的产品上标记 API 会标的 API 许可证持有者。

O.1.2 产品规范标识

下列标志要求仅适用于自愿在其产品上标志 API 会标的 API 许可证持有者。

完整的 API 会标标志包括下列内容：

- a) 字母“Spec 5L”，
- b) 制造商的 API 许可证编号，
- c) API 会标，以及
- d) 制造日期（当制造商使用会标时应标有月份和年份）。

注 按第 3.1.35 中规定，制造商可以是管厂、管加工厂、接箍或螺纹的制造者。

API 会标仅能由持有 API 许可证的制造商应用于符合某产品规范要求的产品上。

O.1.3 钢管及接箍标志

O.1.3.1 按照 O.1.2 规定的 API 会标应插入到 11.2.1 和 11.3 所述的相应标志中间，且位于制造商名称或标记之后。

O.1.3.2 以下所列为按照 11.2.1 所述，并且插入 API 会标的标志示例：其中 X 代表制造商，#### 代表许可证编号；如适用，Y 代表用户的检验代表；如适用，Z 代表产品或交货单元（如钢管捆）与相应检验文件关系的标识号。

示例 1 USC 单位制：X API Spec 5L #### (API) (MO-YR) 20 0.500 X52M PSL 2 SAWL Y Z

示例 2 SI 单位制：X API Spec 5L #### (API) (MO-YR) 508 12.7 L360M PSL 2 SAWL Y Z

O.1.3.3 当钢管同时也满足其他兼容标准 ABC 时，以下是 11.2.1 中所列的标志示例，其中插入了 API 会标：其中 X 代表制造商，#### 代表许可证编号；如适用，Y 代表用户的检验代表；如适用，Z 代表产品或交货单元（如钢管捆）与相应检验文件关系的标识号。

示例 3 USC 单位制：X API Spec 5L #### (API) (MO-YR) / ABC 20 0.500 X52M PSL 2 SAWL Y Z

示例 4 SI 单位制：X API Spec 5L #### (API) (MO-YR) / ABC 508 12.7 L360M PSL 2 SAWL Y Z

O.1.4 钢管捆标志

O.1.4.1 对于尺寸不大于 48.3 mm (1.900 in) 的钢管, 符合 11.2.1 的识别标志应标在 11.2.3 要求的标签、捆扎带上或者用于捆扎带打结的夹片上。

例如: 尺寸为 48.3mm (1.900 in), 规定壁厚为 3.7 mm (0.145 in), 钢级为 B 级, 高频 焊, 平端钢管宜标志如下内容, 并采用与订货合同规定的钢管尺寸相适应的值:

示例 5 USC 单位制: X API Spec 5L ##### (API) (MO-YR) 1.9 0.145 B PSL 1 HFW Y Z

示例 6 SI 单位制: X API Spec 5L ##### (API) (MO-YR) 48.3 3.7 L235 PSL 1 HFW Y Z

O.1.4.2 当钢管同时也满足其他兼容标准 ABC 时, 应按照下列示例标志:

示例 7 USC 单位制: X API Spec 5L ##### (API) (MO-YR) / ABC 1.9 0.145 B PSL 1 HFW Y Z

示例 8 SI 单位制: X API Spec 5L ##### (API) (MO-YR) / ABC 48.3 3.7 L245 PSL 1 HFW Y Z

O.1.5 螺纹标志

由制造商决定, 可在靠近钢管螺纹端采用字模压印方法或模版漆印方法做标志, 标志内容包括螺纹加工厂的 API 许可证编号、API 会标 (API)、紧随其后为螺纹加工日期 (使用 API 会标 的年份和月份)、钢管规定外径及表示螺纹类型的 LP。螺纹标志可适用于标记或未标记 API 会标的产品。例如, 尺寸为 168.3 mm (6.625 in) 的带螺纹钢管可做如下标志, 并采用与订货合同规定钢管外径相适应的值:

示例 9 USC 单位制: X API Spec 5L ##### (API) (MO-YR of threading) API Spec 5B 6.625 LP

示例 10 SI 单位制: X API Spec 5L ##### (API) (MO-YR of threading) API Spec 5B 168.3 LP

如果已在产品其他位置清楚标明制造商标识, 则制造商许可证编号可以象上述示例一样省略。

O.1.6 螺纹合格证

制造商按照 O.1.5 规定使用会标应作为表示螺纹符合最新版本 API 5B 的证明, 但购方不宜认为凡有此标志的产品, 就整体而言符合任何 API 规范。采用会标 (API) 作为螺纹标志的制造商应拥有鉴定合格的 API 螺纹校对量规。

Annex P (资料性附录)

加工有螺纹和带接箍钢管公式及导向弯曲和 CVN 试样的背景公式

P.1 简介

本附录包括 API 5C3 涵盖的管线钢管专用的各种公式和信息。中括号[xx] 内的编号与上该技术报告中的公式编号一致。公式右侧的[P.x]中的 P-号码表示该公式在本附录 中的公式序号。ISO TR 10400/API TR 5C3 中包括更多有关这些公式的来源和历史。

P.2 计算加工有螺纹和带接箍钢管质量⁷⁾

单位长度螺纹与接箍计算质量是建立在从接箍外端面到钢管管端的测量长度基础上，见图 P.1，假设接箍的工厂端被装配到机紧轴位置。

$$w_{tc} = \{[L_j - k_{tsl} (NL + 2J)/2] w_{pe} + \text{接箍质量} - \text{穿过两个管端时移除的质量}\} / L_j \quad [76](P.1)$$

式中：

k_{tsl} 长度换算系数，SI 单位制为 0.001，USC 单位制为 $1/12$ ；

J 机紧位置时管端至接箍中心的距离，按照 API 5B 要求，单位为 mm 或 in；

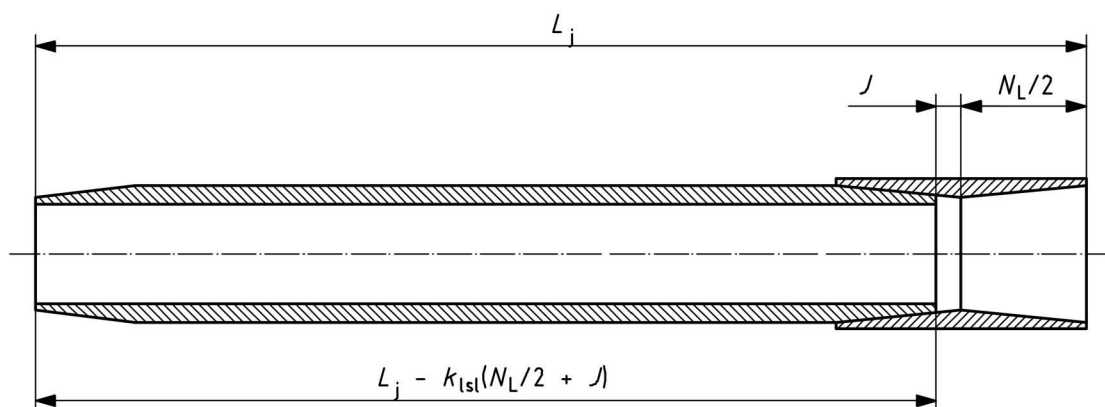
L_j 标准管段长度，单位为 m 或 ft；

NL 接箍长度，单位为 mm 或 in；

w_{tc} 螺纹和接箍的单位长度质量；

w_{pe} 平端钢管单位长度质量，单位 kg/m 或 lb/ft。

7) 来源 API 5C3。



说明

L_j 标准管段长度，单位为 m 或 ft

N_L 接箍长度，按照表 F.1，单位为 mm 或 in

J 机紧位置时管端至接箍中心的距离，按照 API 5B 要求，单位为 mm 或 in

k_{lsl} 长度换算系数，SI 单位制为 0.001，USC 单位制为 $1/12$

图 P.1 — 加工有螺纹和带接箍钢管

P.3 加工端计算质量⁸⁾

标准使用由管端加工而产生的计算质量的增加（或减少） e_m 来计算钢管的理论质量，标准给出 e_m 值是按公式（P.2）计算的。平端钢管的 $e_m = 0$ 。

$$e_m = L_j (w - w_{pe}) \quad [74] \text{ (P.2)}$$

式中：

e_m 由于管端加工引起的质量增加，单位千克或磅（kg 或 lb）；

L_j 标准管段长度，单位为 m 或 ft；

w 基于长度 L_j 的螺纹和接箍计算质量(w_{tc})，加厚和螺纹质量(w_{ij})或加厚端质量 (w_u)，单位 kg/m 或 lb/ft；

w_{pe} 平端钢管单位长度质量，单位 kg/m 或 lb/ft。

接头加工端质量按公式（P.3）计算。

$$WL = w_{pe}L_e f + k_m e_m \quad [75] \text{ (P.3)}$$

8) 来源 API 5C3。

式中：

e_m 由于管端加工引起的质量增加，单位千克或磅（kg 或 lb）；

k_m 质量修正系数：碳钢为 1.000，马氏体型铬钢为 0.989；

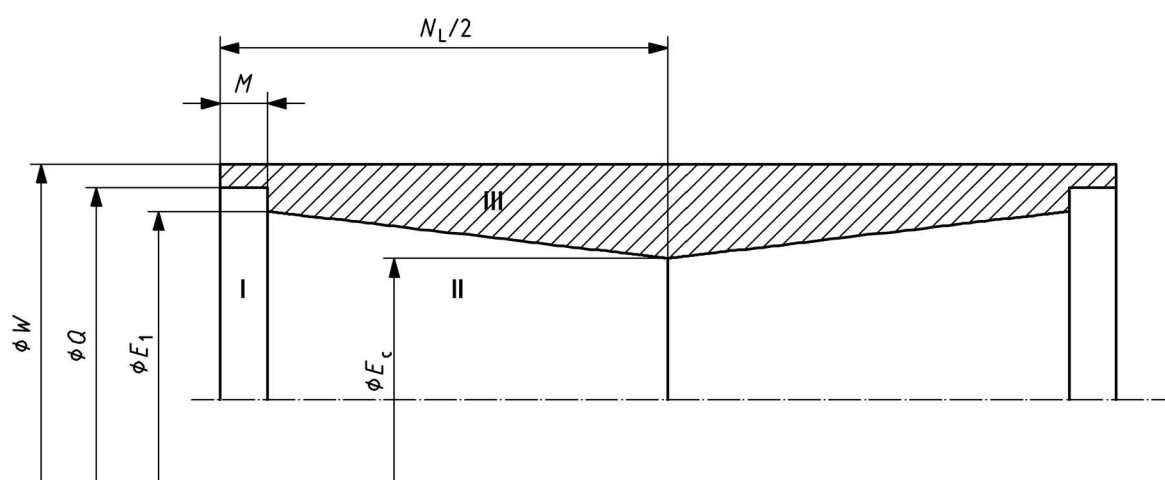
L_{ef} 包括加工端的钢管长度，单位 m 或 ft；

W_L 长度为 L 的钢管的计算质量，单位 kg 或 lb；

w_{pe} 平端钢管单位长度质量，单位 kg/m 或 lb/ft。

P.4 无特殊倒角接箍质量⁹⁾

应按照 1942 年的 API 5L 版本所示尺寸计算管线钢管接箍质量。该方法与 1971 年的 API 5L 版本相同。



说明

N_L 接箍长度，按照表 F.1，单位为 mm 或 in

M 从接箍端面到管线钢管手紧平面的长度，按照 API 5B；

W 接箍规定外径，按照表 F.1；

Q 接箍镗孔直径，按照 API 5B；

E_1 手紧平面处中径，按照 API 5B；

E_c 接箍中间中径。

I、II、III 分别表示体积 I、II、III [见公式 (P.6)、(P.7)、(P.9)]

图 P.2 — 钢管接箍

$$m_c = 0.5666 k_m (\text{Vol. III}) \quad [82](P.4)$$

$$E_c = E_1 - (N_L/2 - M) T_d \quad [83](P.5)$$

9) 来源 API 5C3

$$\text{Vol. I} = 0.785 \, 4MQ_2 \quad [84](\text{P.6})$$

$$\text{Vol. II} = 0.2618 (NL/2 - M)(E_{12} + E_1E_c + E_{c2}) \quad [85](\text{P.7})$$

$$\text{Vol. (I + II + III)} = 0.785 \, 4NL \, W_2/2 \quad [86](\text{P.8})$$

$$\text{Vol. III} = \text{Vol. (I + II + III)} - \text{Vol. I} - \text{Vol. II.} \quad [87](\text{P.9})$$

式中：

k_m 质量修正系数：碳钢为 1.000，马氏体型铬钢为 0.989；

m_c 接箍质量；

T_d 锥角，0.0625。

接箍计算质量用磅（lb）表示。最终计算质量保留两位小数，在计算中间不需圆整。

P.5 接箍压力性能¹⁰⁾

P.5.1 总则

除为避免由于 E_1 面抗内压泄漏不足而发生接箍屈服和泄漏，而需要较低压力（按下面规定 计算）外，加工有螺纹和带接箍钢管内压与平端钢管内压相同。

P.5.2 管线钢管接箍的内部屈服压力

接箍内屈服压力由下式计算：

$$p_{iYc} = f_{ymnc} (W - d_1)/W \quad [66] (\text{P.10})$$

式中：

f_{ymnc} 接箍规定最小屈服强度；

p_{iYc} 接箍屈服时的内压；

W 接箍公称外径，按表 F.1。

d_1 机紧位置管端面接箍螺纹根部直径；

$$d_1 = E_1 - (L_1 + A)T_d + H - 2s_m \quad [67] (\text{P.11})$$

式中：

¹⁰⁾ 来源 API 5C3

- A 手紧紧密距，mm (in) ；
- E1 手紧面处中径，按照 API 5B；
- H 螺纹高度（齿高），与 V 型螺纹相同，10 牙/in（10PTI）为 2.1996 mm（0.08660 in），8 牙/in（8PTI）为 2.7496 mm（0.10825 in）；

每 25.4mm 长度上螺纹数 (每英寸长度上螺纹数)	f_{rn} mm (in.)	H mm (in.)
27	0,031 (0.0012)	0,815 (0.0321)
18	0,046 (0.0018)	1,222 (0.0481)
14	0,061 (0.0024)	1,572 (0.0619)
11 ½	0,074 (0.0029)	1,913 (0.0753)
8	0,014 (0.0041)	2,784 (0.1082)

- L1 钢管管端至手紧面的长度，按照 API 5B；
- sm 钢管圆螺纹牙底截顶量，10 牙/ in（10 PTI）为 0.36 mm（0.014 in），8 牙/in（8 PTI）为 0.43 mm（0.017in）；
- Td 锥度（直径上）0.0625 mm/mm（0.0625 in/in）。

P.5.3 圆螺纹和偏梯形螺纹接箍抗泄漏内压

E_1 或 E_7 面抗泄漏内压由公式（P.12）计算。公式（P.12）是以圆螺纹在 E_1 面和偏梯形螺纹 在 E_7 面处密封为基础，此处是接箍最薄弱处，而且抗内压泄漏能力最低。同样，公式（P.12） 是基于抗泄漏内压，其与由于上扣及与本身内压引起的钢管和接箍螺纹之间的干扰压力相同，而 且压力在弹性范围内。

$$P_{IL} = \frac{ET_d N_p (W^2 - E_s^2)}{2E_s W^2}$$

[69](P.12)

式中：

- E 杨氏弹性模量；
- E_s 密封面中径
- 圆螺纹为 E_1
- 偏梯形螺纹为 E_7 ；
- N 上扣螺纹圈数
- A 对于圆螺纹套管和油管（API 5B）
- A+1.5 对于钢管规格<16 偏梯形螺纹套管
- A+1 对于钢管规格≥16 的偏梯形螺纹套管；
- P 螺纹螺距
- 牙圆螺纹套管和油管螺距为 3.175 mm（0.125 in）

牙圆螺纹油管螺距为 2.540 mm (0.100 in)

偏梯形螺纹套管螺距为 5.080 mm (0.200 in) ;

p_{iL} 泄漏处内压;

T_d 锥度 (直径)

对于圆螺纹套管和油管, 0.0625

对于钢管规格 < 16 的偏梯形套管, 0.0625

对于钢管规格 ≥ 16 的偏梯形螺纹套管, 0.0833;

W 接箍规定外径, 按照 ISO 21 或 API 5CT[6];

式中:

A 手紧紧密距, mm (in) ;

E_1 手紧面处中径, 按照 API 5B;

E_1 中径, 按照 API 5B。

由于上扣引起的内、外螺纹之间的界面 (接触) 压力如下:

$$p_1 = \frac{ET_d N_p (W^2 - E_s^2)(E_s^2 - d^2)}{E_s^2 (W^2 - d^2)} \quad [70](P.13)$$

式中:

E 杨氏弹性模量;

E_s 密封面中径

圆螺纹为 E_1

偏梯形螺纹为 E_7 ;

d 钢管内径, $d = D - 2t$;

N 上扣螺纹圈数

A 对于圆螺纹套管和油管 (API 5B) ;

$A+1.5$ 对于钢管规格 < 16 偏梯形螺纹套管

$A+1$ 对于钢管规格 ≥ 16 的偏梯形螺纹套管;

p 螺纹螺距

牙圆螺纹套管和油管螺距为 3.175 mm (0.125 in)

牙圆螺纹油管螺距为 2.540 mm (0.100 in)

偏梯形螺纹套管螺距为 5.080 mm (0.200 in) ;

T_d 锥度 (直径)

对于圆螺纹套管和油管, 0.0625

对于钢管规格 < 16 的偏梯形套管, 0.0625

对于钢管规格 ≥ 16 的偏梯形螺纹套管, 0.0833;

W 接箍规定外径, 按照 API 5C^[21] 或 ISO 11960^[6];

式中:

A 手紧紧密距, mm (in) ;

E_1 手紧面处中径, 按照 API 5B;

E_7 中径, 按照 API 5B。

D 钢管规定外径;

t 钢管规定壁厚。

随后上扣, 内压 p_i 会引起界面 (接触) 压力 p_2 变化, 按下式计算:

$$p_2 = \frac{p_i d^2 (W^2 - E_s^2)}{E_s^2 (W^2 - d^2)} \quad [71](P.14)$$

式中:

E_s 密封面中径

圆螺纹为 E_1

偏梯形螺纹为 E_7 ;

d 钢管内径, $d = D - 2t$;

p_i 内压;

W 接箍规定外径, 按照 API 5C^[21] 或 ISO 11960^[6];

式中:

E_1 手紧面处中径, 按照 API 5B;

E_7 中径, 按照 API 5B。

D 钢管规定外径;

t 钢管规定壁厚。

由于接箍直径总大于接触面直径，而接触面直径总是大于内部的钢管直径， p_2 将总小于 p_1 。因此，当总界面压力 $p_1 + p_2$ 等于内压 p_i 时，接头已达到抗泄漏界限 p 。换言之，如果 p_i 大于 $p_1 + p_2$ ，则会发生泄漏：

$$p_1 + p_2 = p_i = p \quad [72](P.15)$$

将合适的 p_1 和 p_2 值代入公式 (P.15)，并经简化得到公式 (P.12)。

P.6 带螺纹和接箍管子的静水压试验压力¹¹⁾

除为避免由于 E_1 面接箍内屈服压力不足或抗内压泄漏不足而发生泄漏，而需要较低压力（按 P.5 计算）外，加工有螺纹和带接箍钢管静水压试验压力与平端钢管相同。

试验压力宜根据平端钢管确定的最低试验压力（表 26），或者由公式 (P.10) 确定的内接箍 屈服压力的 80%，或者由公式 (P.12) 确定的抗泄漏内压。该公式依据 1968 年 API 标准会议。

P.7 导向弯曲试验背景¹²⁾

本节为 10.2.4.6 中给出的要求提供了支持性背景。

除 X70 钢级外， ε 的值基于 1967 年 API 标准化会议的行动，该行动于 1972 年 6 月 API 标准化会议通过。用公式 (P.16) (SI 单位) 和 (P.17) (USC 单位) 计算出的 ε 值，圆整至 0.0025 的整倍数；但对于 X52 和 X56 钢级，计算值圆整至邻近较大的 0.0025 的整倍数。

工程应变 ε 按照下列公式计算

$$\varepsilon = \frac{3000(0.64)^{0.2}}{(145 \cdot f_{umnp})^{0.9}} \quad [148] (P.16)$$

或者

$$\varepsilon = \frac{3\,000(0.64)^{0.2}}{f_{umnp}^{0.9}} \quad [148] (P.17)$$

式中：

F_{umnp} 管体规定最小抗拉强度，单位兆帕-MPa（磅每平方英寸，lb/in）

API 5C3 中介绍了导向弯曲试验方程的推导。

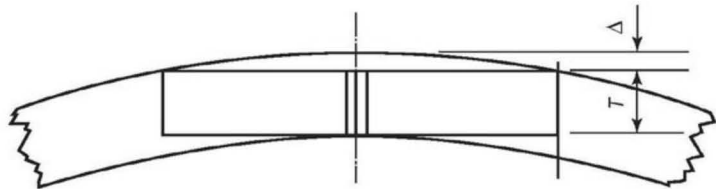
11) 来源 API 5C3

12) 来源 API 5C3

P.8 CVN 试样尺寸背景¹³⁾

P.8.1 标准 CVN 试样最小壁厚计算

本节提出了从给定尺寸和壁厚的钢管上确定横向试样最小尺寸的公式(P.18) (SI 单位) 和 (P.19) (USC 单位)。见 10.2.3.3 和表 22。



横向

$$\Delta = \frac{D}{2} - \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - (27.5)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

(P.18)

或者

最小壁厚， mm (in)。（无机加工余量）

(P.19)

式中：

- D 外径， mm (in)；
- Δ 从外径的切线到外径表面与试样端部交点的距离， 见图 P.4， mm (in)；
- T 夏比试样厚度， mm (in)
 - 全尺寸试样为 10.0 mm (0.394 in.)，
 - 四分之三尺寸试样为 7.5 mm (0.295 in.)，
 - 三分之二试样为 6.67 mm (0.262 in.)，
 - 二分之一试样为 5.0 mm (0.197 in.)。

图 P.3—标准夏比 V 型缺口试样的最小壁厚确定

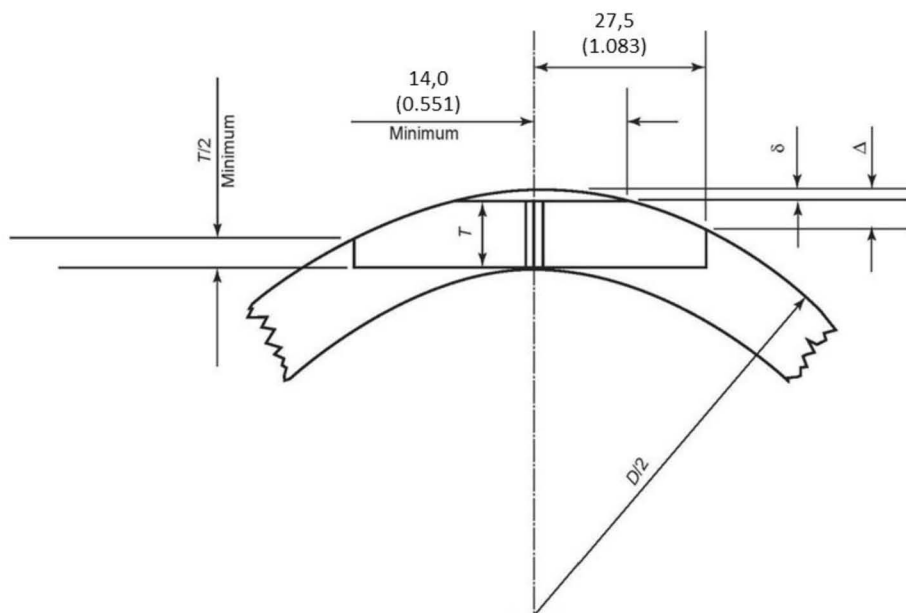
为机加工， 允许每个未加工表面增加 0.5 mm (0.020 in)， 或最小壁厚增加 1.0 mm (0.040 in)。

13) 来源 API 5C3。

P.8.2 锥形 CVN 试样最小壁厚计算

图 P.4、公式 (P.20) (SI 单位) 和 (P.21) (USC 单位) 和公式 (P.22) (SI 单位) 和 (P.23) (USC 单位) 用于确定锥形试样的规格。见 10.2.3.3，其引用了允许端部带弧面的试样的 ASTM A370。

注 由于从 SI 公式反转换而来，USC 公式转换为表 22 壁厚值在圆整偏差内。



式中：

- D 外径，mm (in)；
 - Δ 从外径的切线到外径表面与试样端部交点的距离，mm (in)；
 - δ 从钢管外径表面到试样长度中部的机加工深度；
 - T 夏比试样厚度，mm (in)。
- 全尺寸试样为 10.0 mm (0.394 in.)，
 四分之三试样为 7.5 mm (0.295 in.)，
 三分之二试样为 6.67 mm (0.262 in.)，
 二分之一试样为 5.0 mm (0.197 in.)。

$$\Delta = \frac{D}{2} - \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - (27.5)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{P.20})$$

图 P.4—锥形 CVN 试样的最小壁厚确定

或者

$$\Delta = \frac{D}{2} - \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - (1.083)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{P.21})$$

$$\delta = \frac{D}{2} - \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - (14.0)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{P.22})$$

或者

$$\delta = \frac{D}{2} - \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - (0.551)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{P.23})$$

最小壁厚（无机加工余量）端面带弧面 CVN 试样是 MinWT1 和 MinWT2 中的较大者。为对未加工表面进行机加工，每个最小壁厚增加 0.5 mm (0.020 in)。

其中：

$$\text{MinWT1} = \delta + T,$$

$$\text{MinWT2} = \Delta + T/2。$$

图 P.4—锥形 CVN 试样的最小壁厚确定（续）

参考文献

- [1] ASTM E 29-04¹⁴, 在试验数据中采用有效数字确定符合规范的标准作法
- [2] ISO/TS 29001¹⁵, 石油、石化和天然气工业—特定部分: 质量管理体系—对产品和服务机构的要求
- [3] API Specification Q1, 石油天然气工业质量纲要规范
- [4] ISO 9001, 质量管理体系—要求
- [5] ISO 11961, 石油和天然气工业—用作钻杆的钢管—规范
- [6] ISO 11960, 石油和天然气工业—油井用套管或油管的钢管
- [7] ISO 4200, 平端焊接钢管和平端无缝钢管—尺寸和单位长度质量总表
- [8] ASME B36.10M¹⁶, 焊接钢管和无缝锻造钢管
- [9] ISO 6761, 钢管—钢管端部和管件焊接的准备
- [10] Re, G., Pistone, G., Vogt, G., Demofonti, G. and Jones, G.G.¹⁷EPRG 输气管线止裂韧性的建议 — 3R International 10-11/1995, pp. 607 – 611
- [11] 收录于 EPRG 剪切止裂韧性推荐作法中的安全随机评估—3R international 10-11/1998 pp.728-733
17 DAWSON, J.和 PISTONE, G.
- [12] Eiber, R.J., Bubenik, T.A. and Maxey, W.A.¹⁸天然气管线的断裂控制技术, NG-18 报告号: 208, PR-3-9113, 1993 年 12 月 18
- [13] 全尺寸试样确定北美管线钢管韧性, 石油和天然气, 97 (45) 卷, 1999 年 11 月 8 日 EIBER,R.J., LEIS,B., CARLSON,L., HORNER,N.和 GILROY-SCOTT,A.
- [14] 美国钢铁协会。¹⁹管线钢管塑性断裂扩展: 分委会总结报告—大口径管线钢管制造商 AISI 委员会: 1974 年 9 月 1 日
- [15] EFC 出版物 16²⁰, 油气生产含 H_2S 环境中碳钢和低合金钢材料要求导则
- [16] DNV-OS-F101²¹, 海底管线系统

¹⁴ASTM International (美国试验与材料协会), West Conshohocken, Pennsylvania 19428, <https://www.astm.org>。

¹⁵国际标准化组织, 地址: Chemin de Blandonnet 8, CP 401, 1214 Vernier, Geneva, Switzerland, www.iso.org。

¹⁶美国机械工程师协会, Two Park Avenue, New York, New York 10016, <https://www.asme.org>。

¹⁷欧洲管道研究小组。EPRG e.V., c/o Salzgitter Mannesmann Forschung, GmbH, Ehinger Strasse 200, D-47259 Duisburg, Germany, www.eprg.net。

¹⁸国际管线研究委员会, 15059 Conference Center Drive, Suite 130, Chantilly, Virginia 20151, <https://www.prci.org>。

¹⁹美国钢铁协会, 680 Andersen Drive, Pittsburgh, Pennsylvania 15220, <http://www.steel.org>。

²⁰ Maney Publishing, Suite 1C, Joseph 's Well Hanover, Walk Leeds, LS3 1AB, United Kingdom, <http://www.maneypublishing.com>。

²¹ Det Norske Veritas A.S., Veritasveien 1, 1363 Høvik, Norway, <https://www.dnvgl.com>。

- [17] API Spec 5L, 43rd, 2004 年 3 月, 管线钢管规范
- [18] API Recommended Practice 5L1, 铁路运输推荐作法
- [19] API Recommended Practice 5LW, 管线钢管船舶和海上运输推荐作法
- [20] NACE MR0175²²/ISO 15156-1, 石油天然气工业 — M 油气开采中含 H₂S 环境用材料—第 1 部分: 抗裂材料选择的一般原则
- [21] API Specification 5CT, 套管和油管
- [22] EN 10027-2²³, 钢牌号系统—第 2 部分: 数字系统
- [23] ISO 15614-1, 金属材料焊接工艺规范和资质—焊接工艺试验 — 第 1 部分: 钢的电弧焊和气体保护焊, 镍及其合金的电弧焊
- [24] EN 287-122, 焊工资质鉴定试验—熔焊—第一部分: 钢
- [25] ISO 9606-1, 焊工资质鉴定试验—熔焊—第一部分: 钢
- [26] ASME 第 IX 部分, ASME 锅炉及压力容器规范—第 IX 部分: 焊接及钎焊评定
- [27] Thomas, W.H., Wilder, A.B. and Clinedinst, W.O. 焊接钢管横向韧性要求的发展, 1967 年 6 月在 API 标准化会议上提出
- [28] EN 473 无损检测 — NDT 人员的评定和认证 — 总则
- [29] ISO 15156-2003, 石油天然气工业—含硫化氢环境中生产油气所使用的材料—第 2 部分: 抗开裂材料选择的总则
- [30] API 技术报告 5C3, 计算作为套管或油管使用的管子的性能属性
- [31] API 通告 PS-1340, 美国石油学会管材标准化委员会 1967 年年中会议报告
- [32] API 通告 PS-1360, 美国石油学会管材标准化委员会 1968 年年中会议报告
- [33] API 通告 PS-1440, 美国石油学会管材标准化委员会 1972 年年中会议报告

²² NACE International (美国腐蚀工程师协会), 15835 Park Ten Place, Houston, Texas 77084, <https://www.nace.org>。

²³ 欧洲标准化委员会 (CEN), 管理中心, 地址: Rue de la Science 23, B - 1040 Brussels, Belgium, <https://www.cen.eu>。



AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

1220 L Street, NW
Washington, DC 20005-4070
USA

202-682-8000

其他副本可在以下网站获取 www.api.org/pubs

电话订购:	1-800-854-7179	(美国和加拿大免费电话)
	303-397-7956	(本地和国际)
传真订购:	303-397-2740	

有关 API 出版物、纲要和服务的信息，

请访问 www.api.org

产品编号 **G05L46C**