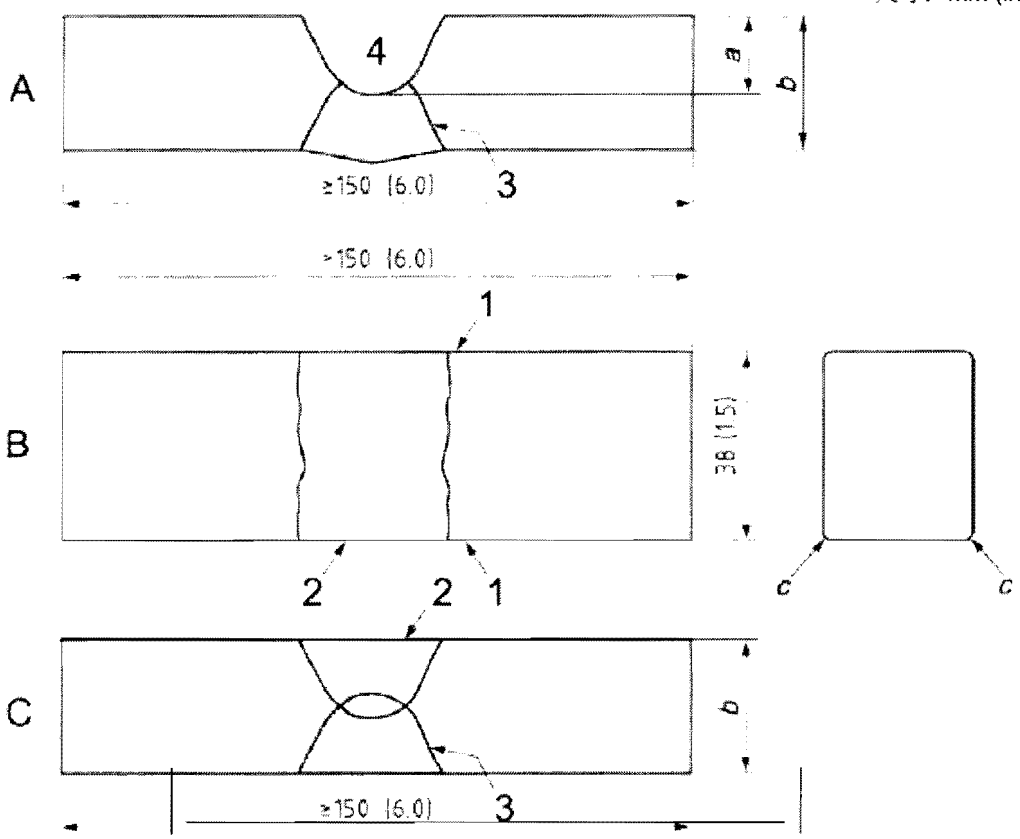
尺寸：mm (in)



A 补焊前—截面图
B 补焊后—平面图
C 补焊后—截面图
[a] 凹槽深度
[b] 壁厚（见 D.2.2 b）2）
[c] 半径 r 应≤1.6（0.063）

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

图 D.1 — 导向弯曲试样

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

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

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者能胜任较低分档钢级的焊接。

D.3.1.2 检验

为进行评定，焊工或操作者应焊制出经下列检验合格的焊缝：

a）根据附录 E 进行的射线胶片拍片检验；

b）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，焊工或操作者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，则焊工或操作者不合格。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。

c）对焊工或操作者能力产生怀疑。

ESRI

附录 E
(规范性附录)
非酸性或非海上服役条件钢管的无损检验

E.1 人员资质评定

E.1.1 ISO 9712、ISO11484 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）： ISO10893-11 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≥L210/A，直径≥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。

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。

PSRI

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：

a）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所有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。

b）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。

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。

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 钢管，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.3.2 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 $t \geq 5.0$ 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：

— 对于射线胶片检验：ISO 10893-6 图像质量等级 A 或 B，或 ASTM E94；
— 对于射线数字检验：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 ISO11699-1:2008 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；
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.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 $t \geq 5.0$ 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：

— 对于射线胶片检验：ISO 10893-6 图像质量等级 A 或 B，或 ASTM E94；
— 对于射线数字检验：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 ISO11699-1:2008 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；
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。

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)	W10 至 W16	14
>8 (0.3) 至 11 (0.4)	0.20 (0.008)	W10 至 W16	13
>11 (0.4) 至 14 (0.6)	0.25 (0.010)	W10 至 W16 或 W6 至 W12	12
>14 (0.6) 至 18 (0.7)	0.32 (0.013)	W10 至 W16 或 W6 至 W12	11
>18 (0.7) 至 25 (1.0)	0.40 (0.016)	W10 至 W16 或 W6 至 W12	10
>25 (1.0) 至 32(1.2)	0.50 (0.020)	W6 至 W12	9
>32 (1.2) 至 41 (1.6)	0.63 (0.025)	W6 至 W12	8
>41 (1.6) 至 50 (2.0)	0.80 (0.032)	W6 至 W12	7
>50 (2.0)	1.00 (0.039)	W6 至 W12	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)	金属丝系列	金属丝标识
≤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.4.3.4 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。

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)表述为本标准的“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，以避免叠看效应。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后所有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 1：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)长度焊缝上缺欠数量 （最大）	任意 150 mm (6.0 in)长度焊缝上缺欠累计长度（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

尺寸 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计直径（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，只要它们与任何其他缺欠的间距≥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辨别的信号。

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。

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，以使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 $D \geq 60.3$ 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。这些验证性记录至少应包括如下内容：

a） 覆盖面计算（如扫描方案）；
b） 对预定壁厚的检测能力；
c） 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 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） 门限设定参数。

E.5.4.2 此外，制造商还应保存：

a） 无损检测（NDT）系统操作规程；
b） 无损检测（NDT）设备说明书；
c） 无损检测（NDT）人员资质信息；
d） 在生产检验条件下形成的证实无损检测（DNT）系统/检验能力的动态检测数据。

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。

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
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≤0.125 *t*，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＞0.125 *t*，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 D≥168.3 mm (6.625 in) 的管端部，以及采用电磁方法进行任何检验、或

装运前采用电磁设备搬运的所有较小直径平端钢管，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≤3.0 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 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

E.7.2 对于 $D \geq 168.3$ 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所有较小直径平端钢管，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≤3.0 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 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 ISO10893-9 验收级别 U2；
b）如果分层检验在钢管焊接之后进行，则执行 ISO10893-8 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。

FSRI

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；
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 带有缺陷钢管的处置

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 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。
d） 应拒收整根钢管。

附录 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，$D \geq 355.6$ mm（14.000 in）的钢管可带焊接接箍交货，但接箍应有适当标志。

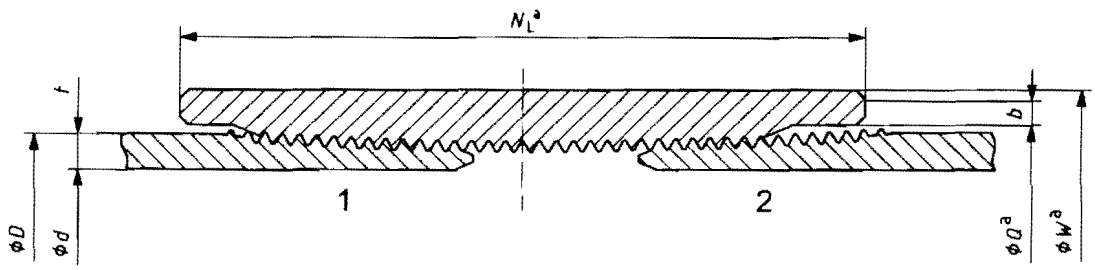
F.2 尺寸

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。



1 基本机紧装配
2 手紧装配
N_L 规定最小长度
W 接箍规定外径
Q 规定凹槽直径
b 规定承载面宽度
D 钢管规定外径
t 钢管壁厚
d 钢管内径

[a] 由于美国石油学会（API）长期在 API Spec 5L 和 API Spec 5CT[21]中使用这些符号，而使其得以保留。

图 F.1 — 管线钢管和接箍

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) 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	接箍理论质量 kg (lb)
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±0.01W。

[b] 由于美国石油学会（API）长期在 API Spec 5L[17]和 API Spec 5CT[21]中使用这些符号，而使其得以保留。

附录 G
（规范性附录）
抗延性断裂扩展的 PSL 2 钢管

G.1 说明

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）54）]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 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）；
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；
b）DWT 试验温度[仅对于 $D \geq 508$ mm（20.000 in）钢管]。

G.3 验收极限

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

G.4 试验频次

G.4.1 对于 D<508 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≥508 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 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：

— DWT 和 CVN（适用时）试验温度；
— 每个试验的最小平均 CVN 吸收能值；
— 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 提供了五种方法和各方法应用范围的详细说明，这些方法可用于确定控制陆上埋地输气管线管体延性断裂扩展的 CVN 吸收能。

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[10]为基础。本方法限于焊管。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≤8 MPa（1160 psi），D ≤1430 mm（56.000 in）且 t ≤ 25.4 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：

a）钢管等级≤L450 或 X65

$$K_V = C_1 \times \sigma_h^{1.5} \times D^{0.5} \tag{G.1}$$

b）钢管等级＞L450 或 X65，但≤L485 或 X70

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

c）钢管等级＞L485 或 X70，但≤L555 或 X80

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

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）得到计算值是使用方法 4 中公式（G.5）计算值的 0.9 倍。由公式（G.3）得到的计算值与使用方法 2 中公式（G.4）得到的计算值相等。

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

表 G.1 — 设计系数为 0.625 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~L290 或 X42	>L290 或 X42~L360 或 X52	>L360 或 X52~L415 或 X60	>L415 或 X60~L450 或 X65	>L450 或 X65~L485 或 X70	>L485 或 X70~L555 或 X80
≤508 (20.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	80 (59)
>508 (20.000)~610 (24.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	41 (30)	80 (59)
>610 (24.000)~711 (28.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	45 (33)	80 (59)
>711 (28.000)~813 (32.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	48 (35)	80 (59)
>813 (32.000)~914 (36.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	51 (38)	80 (59)
>914 (36.000)~1016 (40.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	53 (39)	80 (59)
>1016 (40.000)~1118 (44.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	42 (31)	56 (41)	82 (60)
>1118 (44.000)~1219 (48.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	43 (32)	58 (43)	87 (64)
>1219 (48.000)~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 *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~L290 或 X42	>L290 或 X42~L360 或 X52	>L360 或 X52~L415 或 X60	>L415 或 X60~L450 或 X65	>L450 或 X65~L485 或 X70	>L485 或 X70~L555 或 X80
≤508 (20.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	46 (34)	80 (59)
>508 (20.000)~610 (24.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	50 (37)	80 (59)
>610 (24.000)~711 (28.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	41 (30)	55 (41)	80 (59)
>711 (28.000)~813 (32.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	43 (32)	58 (43)	83 (61)
>813 (32.000)~914 (36.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	41 (30)	46 (34)	62 (46)	90 (66)
>914 (36.000~1016 (40.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	44 (32)	48 (35)	65 (48)	96 (71)
>1016 (40.000)~1118 (44.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	46 (34)	51 (38)	68 (50)	102 (75)
>1118 (44.000)~1219 (48.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	48 (35)	53 (39)	71 (42)	108 (80)
>1219 (48.000)~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~L290 或 X42	>L290 或 X42~L360 或 X52	>L360 或 X52~L415 或 X60	>L415 或 X60~L450 或 X65	>L450 或 X65~L485 或 X70	>L485 或 X70~L555 或 X80
≤508 (20.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	41 (30)	55 (41)	80 (59)
>508 (20.000)~610 (24.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	45 (33)	60 (44)	84 (62)
>610 (24.000)~711 (28.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	43 (32)	49 (36)	65 (48)	93 (69)
>711 (28.000)~813 (32.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	46 (34)	52 (38)	68 (50)	102 (75)
>813 (32.000)~914 (36.000)	40 (30)	40 (30)	40 (30)	49 (36)	55 (41)	73 (54)	110 (81)
>914 (36.000)~1016 (40.000)	40 (30)	40 (30)	42 (31)	52 (38)	58 (43)	77 (57)	118 (87)
>1016 (40.000)~1118 (44.000)	40 (30)	40 (30)	44 (32)	54 (40)	61 (45)	81 (60)	125 (92)
>1118 (44.000)~1219 (48.000)	40 (30)	40 (30)	46 (34)	56 (41)	64 (47)	84 (62)	133 (98)
>1219 (48.000)~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（ft.lbf）：

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

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 CVN 吸收能值大于 100 J（74 ft.lbf），则要求修正止裂韧性值。修正时宜获取专家的建议。

G.9 Battelle 双曲线法 — 方法 3

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[12]描述了 Battelle 双曲线法，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 <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能值大于 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≤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）。本方法限于焊管。最小全尺寸 CVN 吸收能 K_V 可用公式（G.5）计算，单位为 J（ft.lbf）：

$$K_V = C_4 \times \sigma_h^{1.5} \times D^{0.5} \qquad \text{(G.5)}$$

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 制时为 3.57×10^{-4}，使用 USC 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。

附录 H
（规范性附录）
酸性服役条件 PSL2 钢管的订购

H.1 说明

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）55）]。

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]以及 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冶炼方法（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(管)/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 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 SSC 试验（见表 H.3）；
i） 替代 HIC/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≥5.0 mm（0.197 in）距钢管管端 100 mm（4.0 in）长度范围内分层缺欠的超声检验（见 K.2.1.3）；
o）附加管端 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）管一项或多项补充无损检验操作的应用（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）钢管全管体的磁粉检验（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）；

z）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）使用固定深度刻槽校准设备[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≤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。这些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）或钢板，在轧制后应进行外观检查。焊管用钢带（卷）的外观检查既可是对未卷曲钢带的检查，也可以是对钢带卷边缘的检查。

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 验收极限

H.4.1 化学成分

H.4.1.1 $t \leqslant 25.0$ 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。

PSRI

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。这些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）或钢板，在轧制后应进行外观检查。焊管用钢带（卷）的外观检查既可是对未卷曲钢带的检查，也可以是对钢带卷边缘的检查。

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）管旋口使用间断定位焊，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质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 验收极限

H.4.1 化学成分

H.4.1.1 $t \leqslant 25.0$ 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。

PSRI

表 H.1 — $t \leq 25.0$ mm（0.984 in）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,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] 以产品分析为依据（见 9.2.4 和 9.2.5），如碳含量＞0.12% 则使用 CE_{IIW}，如碳含量≤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_{total}≤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。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

钢管钢级	无缝管和焊管管体						HFW 和 SAW 管焊缝
	屈服强度[a] $R_{t0.5}$ MPa (psi)		抗拉强度[a] R_m MPa (psi)		屈强比[b] $R_{t0.5}/R_m$	伸长率（50 mm 或 2 in 上的） A_f %	抗拉强度[c] 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 (35500)	450[d] (65300)[d]	415 (60200)	655 (95000)	0.93	e	415 (60200)
L290NS 或 X42NS L290QS 或 X42QS L290MS 或 X42MS	290 (42100)	495 (71800)	415 (60200)	655 (95000)	0.93	e	415 (60200)
L320NS 或 X46NS L320QS 或 X46QS L320MS 或 X46MS	320 (46400)	525 (76100)	435 (63100)	655 (95000)	0.93	e	435 (63100)
L360NS 或 X52NS L360QS 或 X52QS L360MS 或 X52MS	360 (52200)	530 (76900)	460 (66700)	760 (110200)	0.93	e	460 (66700)
L390QS 或 X56QS L390MS 或 X56MS	390 (56600)	545 (79000)	490 (71100)	760 (110200)	0.93	e	490 (71100)
L415QS 或 X60QS L415MS 或 X60MS	415 (60200)	565 (81900)	520 (75400)	760 (110200)	0.93	e	520 (75400)
L450QS 或 X65QS L450MS 或 X65MS	450 (65300)	600 (87000)	535 (77600)	760 (110200)	0.93	e	535 (77600)
L485QS 或 X70QS L485MS 或 X70MS	485 (70300)	635 (92100)	570 (82700)	760 (110200)	0.93	e	570 (82700)

[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的差额应与表中所列的邻近较高钢级的相同，规定最小抗拉强度和规定最小屈服强度差额应与表中所列的邻近较高钢级的相同。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] 对要求纵向试验的钢管，其最大屈服强度应≤495MPa (71800 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} 为适用的拉伸试样横截面积，用 mm^2 (in^2)，具体如下所示：

— 圆棒试样：直径 12.5 mm (0.500 in)和 8.9 mm (0.350in)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)。

— 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的较小者，圆整到最邻近的 10 mm^2 (0.01 in^2)；

— 板状试样取 a) 485 mm^2 (0.75 in^2)和 b)采用试样规定宽度和规定壁厚计算的试样横截面积两者的较小者，圆整到最邻近的 10 mm^2 (0.01 in^2)。

U 为规定最小抗拉强度，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（CSR）≤2%；
b）裂纹长度率（CLR）≤15%；
c）裂纹厚度率（CTR）≤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×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≤0.05 t，且不影响最小允许壁厚的缺欠，应判为可接受的缺欠，并按照 C.1 的规定处理；

注：如果钢管随后进行涂层涂敷，订货合同中可能规定表面缺欠特殊处置要求。

b）深度＞0.05 t，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，

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

内毛刺不应高出钢管轮廓 0.3 mm（0.012 in）+0.05 t。

H.7 检验

H.7.1 特殊检验

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 mm (20.000 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≥508 mm (20.000 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≤168.3 mm (6.625 in)钢管的直径和不圆度	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 mm (6.625 in)钢管的直径和不圆度	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	按附录 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] 冷扩径率由制造商确定，冷扩径率是扩径前外径或圆周长度与扩径后外径或圆周长度的比值。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×15 mm×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）1]。对于无缝管，应取管体的纵向试块（见图 5 a）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 *D* 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] 表示方向和位置符号的解释见图 5。
[b] 适用于冷扩径和非扩径无缝（SMLS）管。
[c] 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。

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）中，

b）H_2S 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：

— 试验方法溶液控制应符合 NACE TM0177:2005，方法 C 的规定；
— 试样应为 ISO 7539-2、ASTM G39 或本标准 H.7.2.3.2 定义的试样；
— 试验溶液应为 NACE TM0177:2005 规定的[illegible]；
— 试验时间应为 720 h。

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所有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 H_2S 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 E384 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，应使用维氏硬度试验方法。

HAZ 和焊缝的硬度试验应根据 ISO 6507-1 或 ASTM E384 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 mm（0.156 in）的钢管，仅需在厚度中部的横向进行试验，

b）4.0 mm（0.156 in）≤t<6.0 mm（0.236 in）钢管，仅需在内表面和外表面的横向进行试验，

c）如果有协议，每一个全厚度位置的三点（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、可见的 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 mm（0.156 in）的钢管，仅需在厚度中部的横向进行试验，

b）4.0 mm（0.156 in）≤ t<6.0 mm（0.236 in）钢管，仅需在内表面和外表面的横向进行试验。

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。

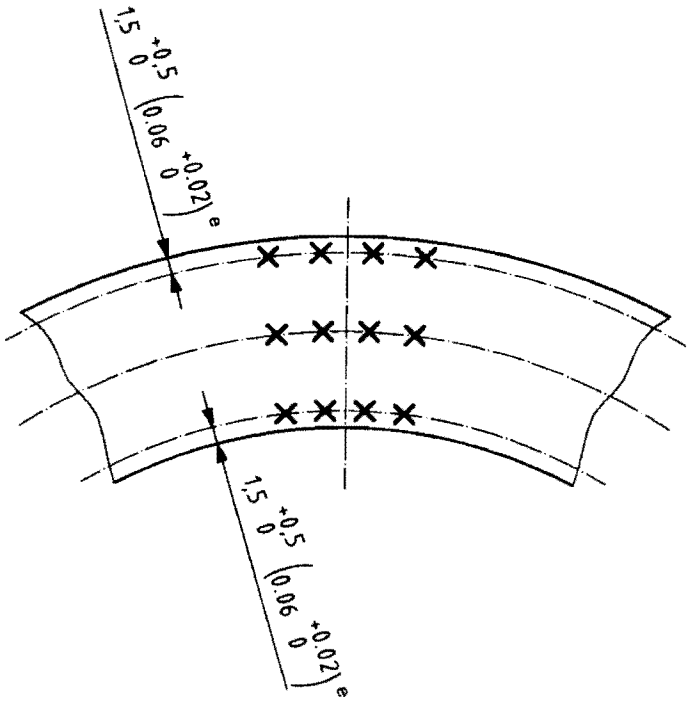
H.8 钢管标志

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。

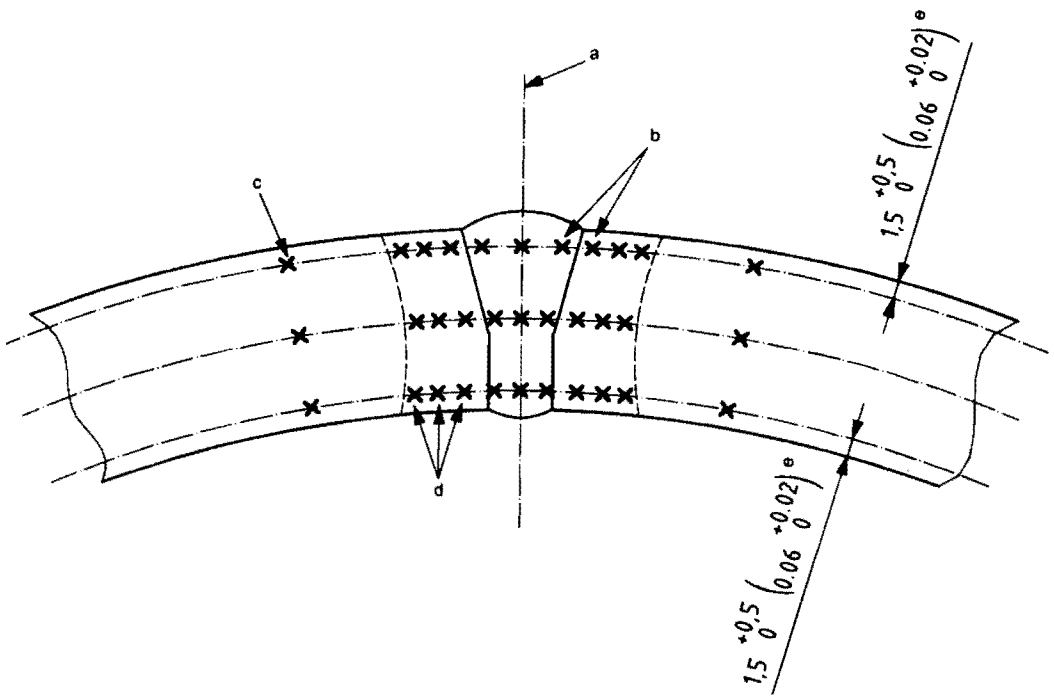
只有符合本标准 PSL 2 要求，同时符合附录 H 补充要求的钢管，才可按照本标准的规定标记，并在钢级中加字母“S”，表明钢管预期用于酸性服役条件。

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：mm (in)



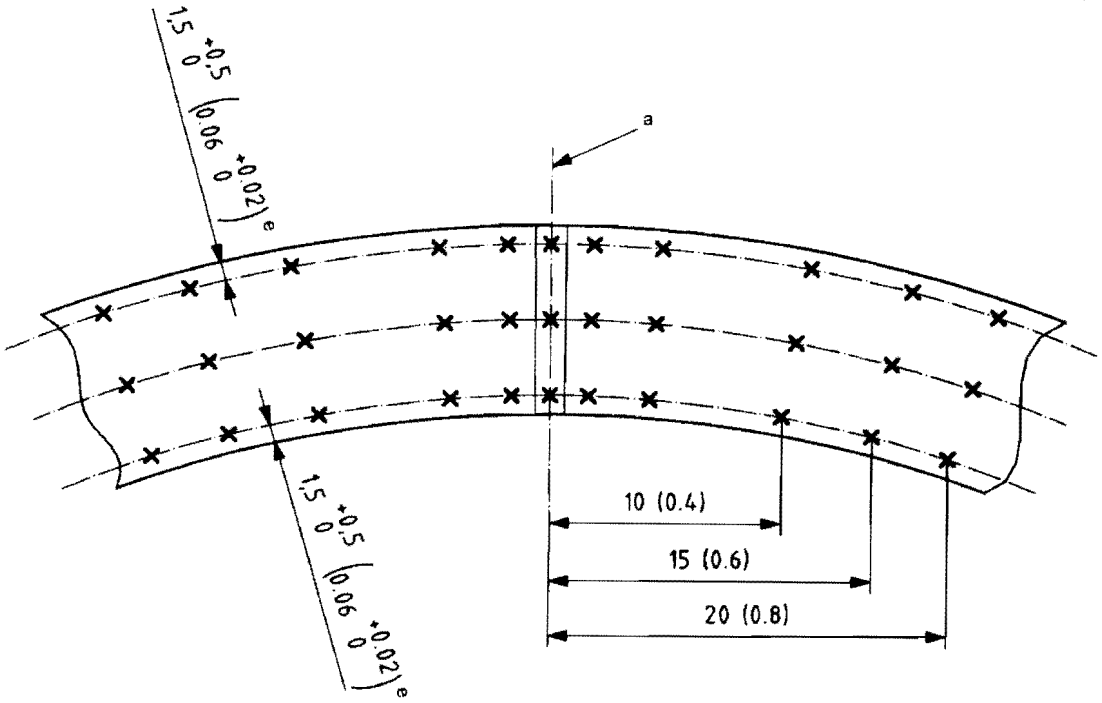
a）SMLS 管



b）SAW 管

图 H.1 — 硬度试验位置

尺寸：mm (in)



c）HFW 管

a 焊缝中心线。

b 距熔合线 0.75 mm (0.03 in)。

c 距熔合线 1 t。

d 在可见热影响区内间隔 1.0 mm (0.04 in)。

e 自内表面和外表面。

图 H.1 — 硬度试验位置（续）

附录 I
（规范性附录）
“直通过油管”（TFL）的订购

I.1 说明

本附录规定了订购 TFL 钢管的附加条款[见 7.2 c）54）]。

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）。

b）对接管供应（见 I.4）。

I.3 尺寸和钢级

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。

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_l 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)	19.4 (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)

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 通径检验

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。

---

* 疑原文有误。— 译者注

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）。		

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，应在产品规范水平符号后，加上字母“I”表明附录 I 的要求适用。

附录 J
（规范性附录）
海上服役条件 PSL 2 钢管的订购

J.1 说明

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）61）]。

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 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≥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 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≥219.1 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） CTOD 试验（见 J.8.2.2 和表 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≥5.0 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/密度的验证（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）管焊缝无损检验的验收等级 U2/U2H（见 K.4.1）；

ff） 可替换的 ISO 10893-10 高频焊（HFW）管焊缝 UT 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）管应采用连续浇铸坯或钢锭制造，如果采用冷精整方法，应在检验文件和工厂资质证书中说明。

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，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）管坡口使用间断定位焊，除非制造商向购方提交数据证明，在定位焊位置和中间位置的所有力学性能满足钢管的规定要求，并获得购方批准。

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 验收极限

J.4.1 化学成分

J.4.1.1 $t \leq 25.0$ mm（0.984 in）钢管，其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标准钢级的规定化学成分协调。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J.1规定对化学成分进行适当修正。

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。

表 J.1 — $t \leqslant 25.0$ mm（0.984 in）钢管化学成分

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											
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 X42 NO	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	0.20v
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	如果有协议	
L625QO 或 X90QO	0.14	0.45	1.85	0.020	0.010	0.10	0.06	0.06	e,i	如果有协议	
L690QO 或 X100QO	0.14	0.45	1.85	0.020	0.010	0.10	0.06	0.06	e,i	如果有协议	
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 CE_{IIW}，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%，最大增加 0.20%。但钢级 ≥L625O/ X90O 时，最大至 2. 20%。

[c] Al_{total}≤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] $R_{t0.5}$ MPa (psi)		抗拉强度 [a] R_m MPa (psi)		屈强比 [a,c] $R_{t0.5}/R_m$	伸长率 (50 mm 或 2 in 上的) A_f %	抗拉强度 [d] R_m 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 (35500)	450 [e] (65300) [e]	415 (60200)	655 (95000)	0.93	f	415 (60200)
L290NO 或 X42NO L290QO 或 X42QO L290MO 或 X42MO	290 (42100)	495 (71800)	415 (60200)	655 (95000)	0.93	f	415 (60200)
L320NO 或 X46NO L320QO 或 X46QO L320MO 或 X46MO	320 (46400)	520 (75000)	435 (63100)	655 (95000)	0.93	f	435 (63100)
L360NO 或 X52NO L360QO 或 X52QO L360MO 或 X52MO	360 (52200)	525 (76000)	460 (66700)	760 (110200)	0.93	f	460 (66700)
L390QO 或 X56QO L390MO 或 X56MO	390 (56600)	540 (78300)	490 (71100)	760 (110200)	0.93	f	490 (71100)
L415QO 或 X60QO L415MO 或 X60MO	415 (60200)	565 (81900)	520 (75400)	760 (110200)	0.93	f	520 (75400)
L450QO 或 X65QO L450MO 或 X65MO	450 (65300)	570 (82700)	535 (77600)	760 (110200)	0.93	f	535 (77600)
L485QO 或 X70QO L485MO 或 X70MO	485 (70300)	605 (87700)	570 (82700)	760 (110200)	0.93	f	570 (82700)
L555QO 或 X80QO L555MO 或 X80MO	555 (80500)	675 (97900)	625 (90600)	825 (119700)	0.93	f	625 (90600)
L625QO 或 X90QO	625 (90600)	745 (108000)	695 (100800)	895 (129800) [b]	0.97 [h]	f	-
L690QO 或 X100QO	690 [g] (100100) [g]	810 [g] (117500) [g]	760 (110200)	960 (139200) [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的差额应与表中所列的邻近较高钢级相同，规定最小抗拉强度和规定最小屈服强度的差额应与表中所列的邻近较高钢级相同。对于≤L320/X46 的中间钢级，其抗拉强度应≤655Mpa (95000 psi)。对于>L320/X46，且<L555/X80 的中间钢级，其抗拉强度应≤760 Mpa (110200 psi)。对于>L555 或 X80 的中间钢级，其最大允许抗拉强度应采用插入法获得。采用 SI 单位制时，计算值应圆整到邻近的 5MPa，采用 USC 单位制时，计算值应圆整到邻近的 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] 对要求纵向试验的钢管，其最大屈服强度应≤495MPa (71800 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 625000；

A_{xc} 为适用的拉伸试样的横截面积，用 mm^2 (in^2)，具体如下所示：

— 圆棒试样：直径 12.5 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)；

— 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)；

— 板状试样取 a) 485 mm^2 (0.75 in^2)和 b)采用试样规定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 为规定最小抗拉强度，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] 对于钢级>L625/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.4.3 硬度试验

钢管管体、焊缝和 HAZ 试样（见 J.8.3.2）的硬度应为：

a）钢级≤L450/X65，硬度≤270 HV10 或≤25HRC；

b）钢级＞L450/X65，且≤L555/X80，硬度≤300 HV10 或≤30HRC；

c）钢级＞L555/X80，硬度≤325HV10 或≤33HRC。

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≤0.05 *t*，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＞0.05 *t*，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。

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) 除管端外[a]的钢管		管端[a,b,c]		不圆度偏差 mm (in) 除管端外[a]的钢管	不圆度偏差 mm (in) 管端[a,b,c]
	SMLS 管	焊管	SMLS 管	焊管		
＜60.3 (2.375)	±0.5 (0.020) 或±0.0075*D* 取较大者	±0.5(0.020) 或±0.0075*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)		0.9 (0.036)	0.6 (0.024)
≥60.3 (2.375) ~610 (24.000)					*D*/*t*≤75 时，0.015*D*；*D*/*t*＞75 时，依照协议	*D*/*t*≤75 时，0.01*D*；*D*/*t*＞75 时，依照协议
＞610 (24.000) ~1422 (56.000)	±0.01*D*	±0.005*D*，但最大±4.0 (0.160)	±2.0 (0.079)	±1.6 (0.063)	*D*/*t*≤75 时，0.01*D*，但最大 10 (0.4)；*D*/*t*＞75 时，依照协议	*D*/*t*≤75 时，0.0075*D*，但最大 8 (0.3)；*D*/*t*＞75 时，依照协议
＞1422 (56.000)	如果有协议					

[a] 管端包括钢管每端 100 mm (4 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] 对于非扩径钢管和 *D*≥219.1 mm (8.625 in)的扩径钢管，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] 为确定钢管直径公差的符合性，钢管直径定义为钢管任一圆周横截平面周长除以 π。

表 J.4 — 壁厚偏差

壁厚 *t* mm (in)	偏差 [a] mm (in)
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*≥355.6 mm (14.000 in) 且 *t* ≥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.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：起草本标准时，钢管最小平均长度 12.1 m（39.7 ft）是一些采用“S-铺设”铺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 直度偏差应符合下列要求：

a）钢管全长范围内，直度偏离总量≤该钢管全长的 0.15%。

b）每根钢管管端 1.0 m（3.0 ft）范围的局部直度偏离量应≤3.0 mm（0.120 in）。

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

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

表 J.5 — SAW 管允许最大错边

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)	0.1 t
>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 特殊检验

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 b））。

J.8.3 试验方法

J.8.3.1 CTOD 试验

CTOD 试验应按照 ISO 12135 或 ASTM E1290 或 BS 7448 的要求进行。试验温度应在订货合同中规定。

表 J.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 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≥508 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) ≤ D<508 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]不多于 100 根钢管为一试验批，每批一次
4	D≥508 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≥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]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) ≤D<508 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≥508 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) ≤D<508 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≥508 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≥114.3 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≤168.3 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 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≥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] 冷扩径率是扩径前外径或圆周长度与扩径后外径或圆周长度的比值，由制造商确定。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] 仅适用于带有钢带（卷）/钢板对头焊缝的成品螺旋缝焊管。

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 E384 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 E384 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.7 — 力学试验各试块试样数量、方向和位置

钢管类型	取样位置	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，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	见图 6		
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	2 W[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。

J.8.3.2.2 SMLS 钢管的硬度试验位置应按图 J.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）≤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。

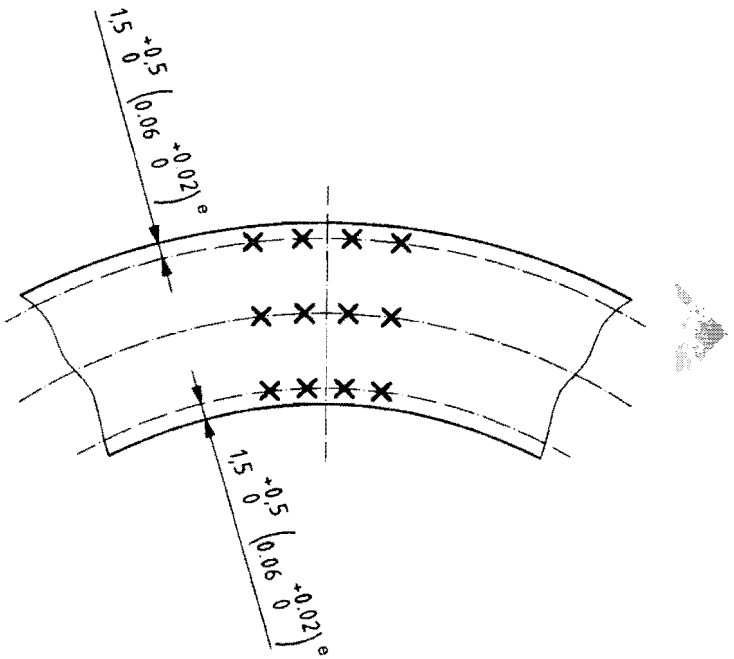
J.8.3.2.3 硬度试验的位置应包括焊缝横截面。硬度压痕点应在母材、可见的热影响区和焊缝中心线上，如图 J.1 b）或 图 J.1 c）所示，但下列情况除外：

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）≤t<6 mm（0.236 in）钢管，仅需在内和外表面横向进行试验。

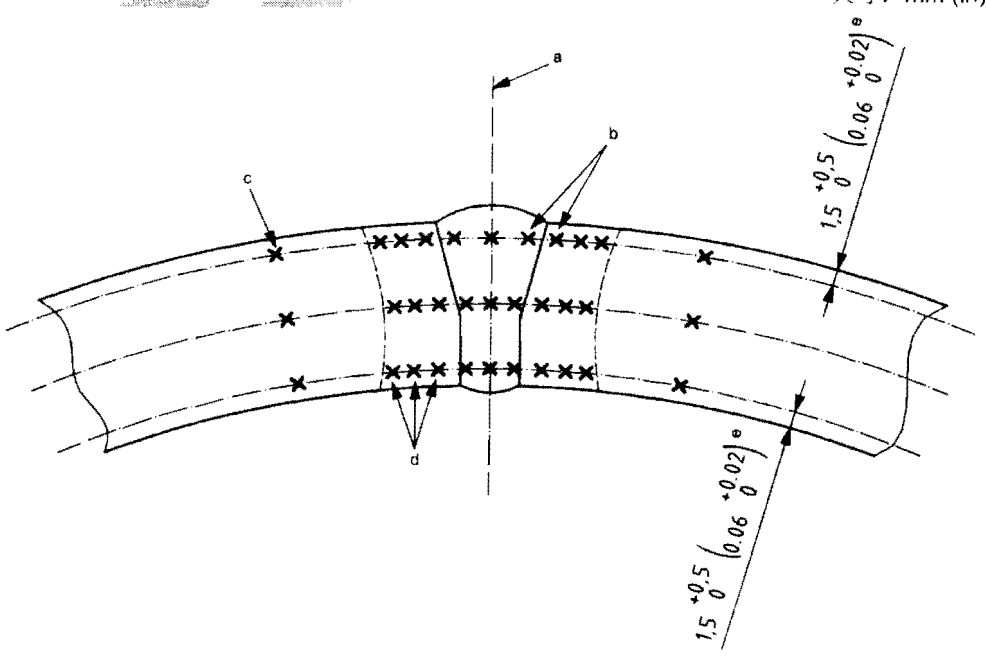
c）如果有协议，只要硬度压痕点仍位于母材上，母材的硬度压痕点与焊缝中心线的距离可小于图 J.1 c）所示。

尺寸：mm (in)



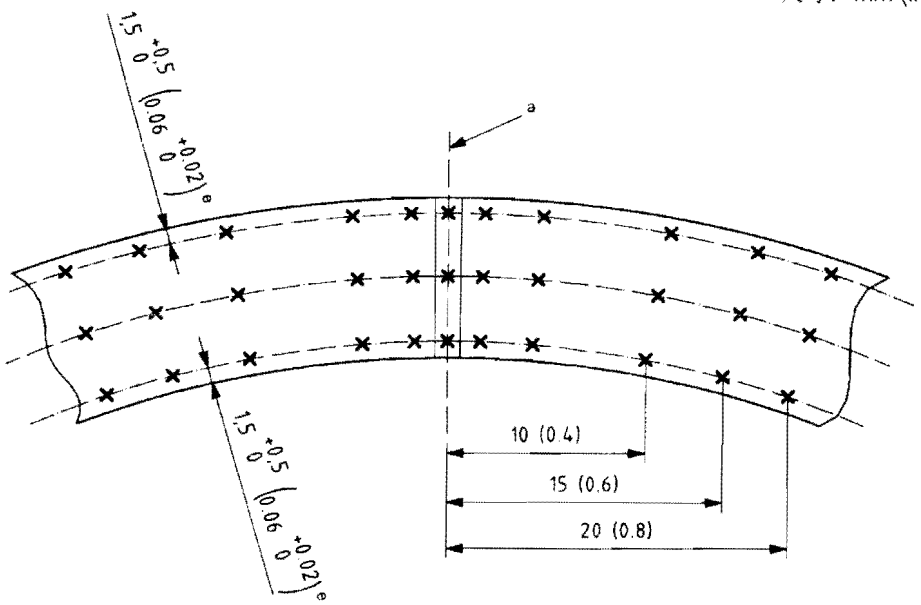
a）SMLS 管

尺寸：mm (in)



b）SAW 管

尺寸：mm (in)



c）HFW 管

a 焊缝中心线。
b 距熔合线 0.75 mm (0.03 in)。
c 距熔合线 1 t。
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

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。

只有符合本标准 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）。

附录 K
(规范性附录)
酸性和/或海上服役条件钢管的无损检验

K.1 说明

本附录适用于订购酸性服役条件或海上服役条件的钢管，或订购酸性和海上两种组合服役条件[见 7.2 c）55）和/或 7.2 c）57）*]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极限

K.2.1 管端分层缺欠

K.2.1.1 沿圆周方向尺寸＞6.4 mm（0.25 in）且面积＞100 mm²（0.15 in²）的分层缺欠应判为缺陷。

K.2.1.2 对于 $t \geq 5.0$ 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 10893-8 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 如果有协议，对 $t \geq 5.0$ 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 10893-8 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 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 [illegible]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。

---

* 原文为 7.2 c）59），但经查证本标准无该条款。7.2 c）57）涉及海上服役条件 PSL2 钢管的相关内容。疑为原文笔误，译者在反复核对后进行了更改。——译者注

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≤150 mm/s（6 in/s）。

K.3 无缝（SMLS）管的无损检验

K.3.1 纵向缺欠的超声检验

按照 ISO10893-10 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（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≥20%的钢管表面。

K.3.2.2 海上服役条件下，超过表 K.1 海上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。如果有协议，应按照 ISO 10893-8（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≥20%的钢管表面。

K.3.3 厚度的超声检验

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≥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 8501-1:1988 规定的 Sa $2\,^{1}/_{2}$ 级。

K.4 高频焊（HFW）管的无损检验

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：

a） ISO 10893-11，验收等级 U2/U2H；

b） ISO 10893-10，验收等级 U3，或如果有协议，验收等级为 U2；

c） ASTM E273。

K.4.2 管体分层缺欠

如果有协议，应分别按 ISO 10893-8（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。

表 K.1 — 分层缺欠的验收极限

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 mm^2 (in^2)	长度 mm (in)	面积 mm^2 (in^2)	长度 mm (in)	宽度 mm (in)	
管体（或钢带/钢板）						
海上服役条件	1000 (1.6)	无规定	300 (0.5)	35 (1.4)	8 (0.3)	10 [每 1.0 m×1.0m (3.3 ft×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×500 mm (1.6 ft×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×500 mm (1.6 ft×1.6 ft) 的正方形] [c]
钢板/钢带边缘或邻近焊缝区域 [d]						
酸性或海上服役条件	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最小面积、最小长度和最小宽度均大于表中规定值。

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 $D<323.9$ mm （12.375 in）钢管或宽度小于 1000 mm（39.4 in）钢带/钢板，缺欠的最大分布密度按照 1.0 m^2（10.8 ft^2）面积上的缺欠数量计算。

[c] 对于 $D<168.3$ 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 m^2（2.7 ft^2）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.4.4 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 埋弧焊（SAW）管的无损检验

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：

$$\lambda = \frac{V_t}{f} \qquad \text{(K.1)}$$

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）。

例如：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≥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

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。

附录 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 Spec 5L 钢名	EN 10027-2[22]钢号
表 4 [a] PSL1 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
L485	1.8727
表 5 [a] PSL2 钢管钢级	
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 L.1 — 欧洲使用的钢牌号（钢号）对照表（续）

API Spec 5L 钢名	EN 10027-2 钢号
表 H.1 [a] 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 [a] 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 Spec 5L 表号。

附录 M
（取消的附录）

本页为空白页。本附录已被取消。但为保持附录编排序号，出于历史原因，在本标准中保留了该附录编排序号。



附录 N
（资料性附录）
差异标识/说明

本页为空白页。（出于历史原因保留了该附录的编排序号）。

PEI

附录 O
（资料性附录）
API 许可证持有者的会标使用

O.1 范围

API 会标程序允许 API 许可证持有者在其产品上使用 API 会标。API 会标程序通过将组织的质量管理系统的认证与组织满足特定产品规范要求能力的证实相结合，对国际油气工业有着重要的意义。在产品上使用 API 会标意味着 API 许可证持有者向购方表明并保证，在标识日期制造的产品符合已认证的质量管理体系和 API 产品规范要求。

当同时使用 API 许可证协议时，API Q1 规范要求凡自愿获得 API 许可证的组织所提供的 API 会标产品必须符合 API 产品规范的要求。

API 会标许可证只有在现场审核人员确认许可证申请者完全符合 API Q1 及 API 产品规范后才予以发放。

美国石油学会需要顾客/用户向其报告 API 会标产品出现的所有问题。通过报告问题这种方式能够强化 API 会标程序的有效性。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.asp。API 热诚欢迎提出不符合 API 规定要求的新产品信息，也包括由于规范不完备或不符合 API 规定要求所造成的现场失效（或故障）。

本附录公布了持续制造符合 API 要求产品的供方所必需的 API 会标程序要求。请与 API 认证部（1220 L Street,N.W.,Washington, DC 20005）联系，或致电 202-962-4791 或发电子邮件到：certification@api.org 获得成为 API 会标许可证持有者的有关资料。

O.2 规范性引用文件

除本标准前面所列的引用标准外，本附录还引用下列标准：API Spec Q1。

取得 API 会标使用权的许可证持有者，应使用本文件的最新版本。标准中的标识要求为强制性要求。

O.3 API 会标程序：许可证持有者的责任

O.3.1 保持使用 API 会标许可证

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 Spec Q1 的质量管理体系要求；

b）API Spec Q1 附录 A 的 API 会标程序要求；

c）组织期望取得许可证产品的相应 API 产品规范所包含的要求；

d）API 会标程序许可证协议的要求。

O.3.2 会标产品 符合 API Spec Q1

当持有 API 许可证的组织提供 API 会标产品时，要求该产品应符合 API Spec Q1（包括附录 A）所述的 API 特殊要求。

O.3.3 API 会标的使用

每个许可证持有者应按照下列条款控制 API 会标的使用：

a）每个许可证持有者应制定并保持 API 会标标记方法，该方法表述了用于所申请 API 会标的产品规范所规定的标记/会标使用要求。该标记方法应规定许可证持有者使用 API 会标的位置，并要求将持有者的许可证编号及生产日期连同 API 会标标记在会标产品上。除适用的 API 产品规范另有规定外，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：2007 年 5 月为 05-07）。若 API 产品规范中没有标记要求，许可证持有者应规定标记这些信息的位置。

b）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 API 规定要求，应按照许可证持有者的 API 会标标记方法将会标去除。不符合 API 规定要求的产品不应标有 API 会标。

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。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受的。现有的 API 会标标记要求在 API 政策文件《会标标记要求》中有详述，可在 API 会标程序网站获得：http://www.api.org/certifications/monogram/。

d）API 会标应在获取许可证的装置中使用。

e）应在 API 会标标记方法中规定 API 授权者使用和去除 API 会标的责任。

O.3.4 记录

API 产品规范要求的记录至少应保存 5 年，或者如果产品规范中规定的时间大于 5 年，则按照该期限保存。证明质量体系有效运行所规定的记录至少应保存 5 年。

O.3.5 质量程序更改

对许可证持有者质量程序提出的任何更改，在达到需要对质量手册进行修改的程度时，在将该更改纳入质量程序之前，应提交给 API 认可。

O.3.6 在广告中使用 API 会标

许可证持有者在没有声明其授权范围（许可证编号）的情况下，不应在信笺抬头上或任何广告（包括公司主办的网站）中使用 API 会标。许可证持有者宜与 API 联系，获取在产品之外使用 API 会标的有关指南。

O.4 产品标志要求

O.4.1 通则

这些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。

O.4.2 产品规范标记

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：

— 字母“Spec 5L”，
— 制造商的 API 许可证编号，
— API 会标，
— 制造日期（当制造商使用会标时应标有月份和年份）。

注：按第 4 章中规定，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.4.3 钢管及接箍标志

O.4.3.1 按照 O.4.2 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.4.3.2 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 制

X API Spec 5L -#### （API）（月-年）20 0.500 X52M PSL2 SAWL Y Z

示例 2

SI 制

X API Spec 5L -#### （API）（月-年）508 12.7 L360M PSL2 SAWL Y Z

O.4.3.3 以下所列为当钢管同时满足其他兼容标准 ABC 时，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 3

USC 制

X API Spec 5L -#### （API）（月-年）/ABC 20 0.500 X52M PSL2 SAWL Y Z

示例 4

SI 制

X API Spec 5L -#### （API）（月-年）/ABC 508 12.7 L360M PSL2 SAWL Y Z

O.4.4 钢管捆标志

O.4.4.1 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 11.2.2 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 48.3 mm（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 制

X API Spec 5L -#### （API）（月-年）1.9 0.145 B PSL1 HFW Y Z

示例 6

SI 制

X API Spec 5L -#### （API）（月-年）48.3 3.7 L245* PSL1 HFW Y Z

O.4.4.2 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 制

X API Spec 5L -#### （API）（月-年）/ABC 1.9 0.145 B PSL1 HFW Y Z

示例 8

SI 制

X API Spec 5L -#### （API）（月-年）/ABC 48.3 3.7 L245 PSL1 HFW Y Z

O.4.5 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：

* 标准原文疑误标为 L235，经核对后，翻译时改为“L245”。 — 译者注

示例 9

USC 制

X API Spec 5L -#### （API）（加工螺纹的月-年）API Spec 5B 6.625 LP

示例 10

SI 制

X API Spec 5L -#### （API）（加工螺纹的月-年）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.4.6 螺纹合格证

制造商按照 O.5 规定使用会标应作为表示螺纹符合最新版本 API Spec 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。

O.4.7 单位

宜用 US 单位制或 SI 单位制标记产品。不接受双单位制（SI 和 USC）标记产品。

O.4.8 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。

O.5 API 会标程序：API 责任

API 应保存报告 API 会标产品所遇问题的记录。不符合 API 规定要求的事例文件可成为对许可证持有者进行审核的理由（也可称为审核的“原因”）

应向 API 第 18（质量）分委会报告规范不完备的事例文件，并向相应的 API 标准化分委员会报告寻求纠正措施，报告无需提及许可证持有者、顾客或用户。

附录 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 说明

本附录包括 ISO TR 10400/API TR 5C3 涵盖的管线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 螺纹和接箍计算质量[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。

$$w_{tc} = \{[\, L_j - k_{lsl}\,(N_L + 2J)/2]\, w_{pe} + \text{接箍质量} - \text{两管端螺纹加工去除质量}\}/L_j \qquad [76]\ (P.1)$$

式中：

k_{lsl} 长度换算系数，SI 单位制为 0.001，USC 单位制为 1/12；

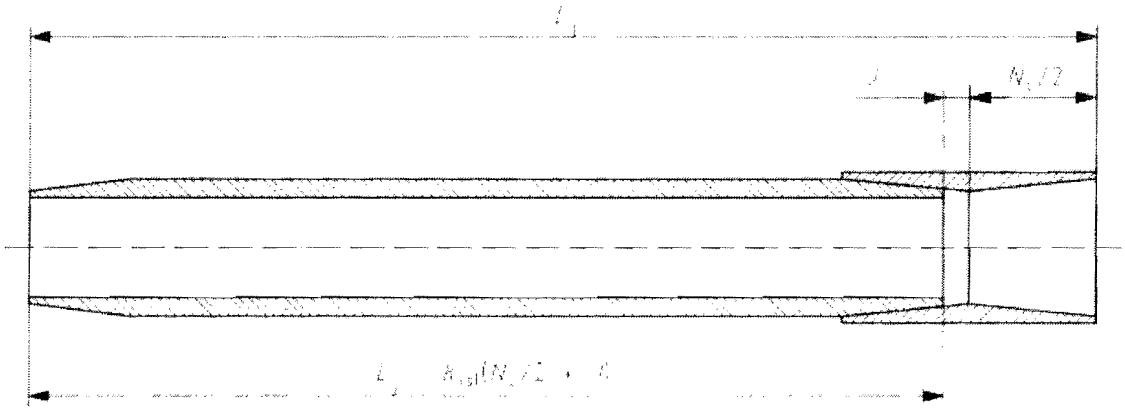
J 机紧位置时管端至接箍中心的距离，按照 API 5B 要求，单位为 mm 或 in；

L_j 标准管段长度，单位为 m 或 ft；

N_L 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，单位为 kg/m 或 lb/ft ；



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} 为长度换算系数，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

[7] 源自 API TR 5C3/ ISO TR 10400 中 11.5 条。

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 $e_m = 0$。

$$e_m = L_j (w - w_{pe}) \quad [74]\ (P.2)$$

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，单位为 kg/m 或 lb/ft 。

接头加工端质量按公式（P.3）计算。

$$w_L = w_{pe} L_{ef} + k_m e_m \quad [75]\ (P.3)$$

式中：

e_m 管端加工引起的质量增加，单位 kg 或 lb；

k_m 为质量修正系数：碳钢 1.000，马氏体铬钢 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管接箍质量。该方法与 1971 年的 API 5L 版本相同。

$$m_c = 0.5666\, k_m \text{（Vol. III）} \quad [82]\ (P.4)$$

$$E_C = E_1 - (N_L/2 - M)\, T_d \quad [83]\ (P.5)$$

$$\text{Vol. I} = 0.7854\, MQ^2 \quad [84]\ (P.6)$$

$$\text{Vol. II} = 0.2618\, (N_L/2 - M)(E_1^2 + E_1 E_C + E_C^2) \quad [85]\ (P.7)$$

$$\text{Vol. (I + II + III)} = 0.7854\, N_L\, W^2/2 \quad [86]\ (P.8)$$

$$\text{Vol. III} = \text{Vol. (I + II + III)} - \text{Vol. I} - \text{Vol. II} \quad [87]\ (P.9)$$

式中：

k_m 质量修正系数，碳钢 1.000，马氏体铬钢 0.989；

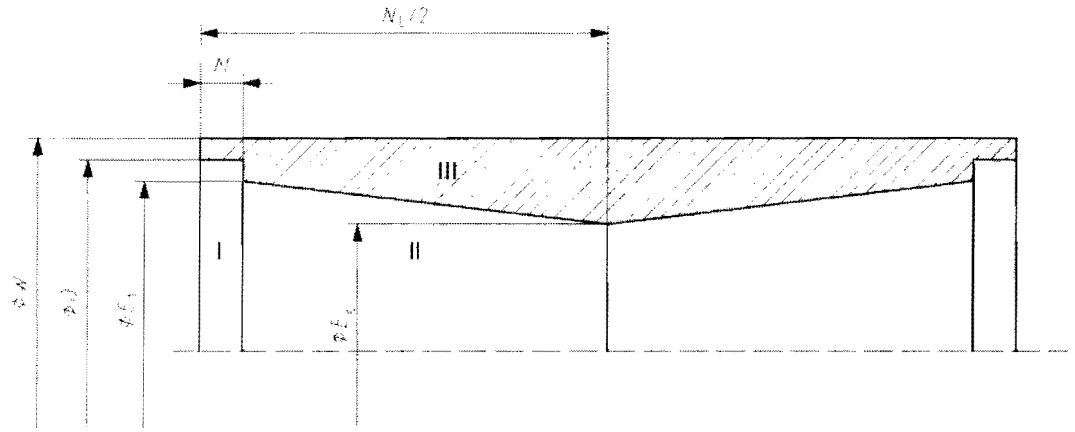
m_c 接箍质量；

T_d 锥度，0.0625。

[8] 源自 API TR 5C3/ ISO TR 10400 中 11.4 条。

[9] 源自 API TR 5C3/ ISO TR 10400 中的 11.8.2.2 条。

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。



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；
Ec 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

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 管线管接箍内屈服压力

接箍内屈服压力由下式计算

$$P_{iYc} = f_{ymnc}\,(W - d_1)\,/\,W \qquad [66]\text{（P.10）}$$

式中：

f_{ymnc} 接箍规定最小屈服强度；
d_1 机紧位置管端面接箍螺纹根部直径；
P_{iYc} 接箍屈服时的内压；
W 接箍公称外径，按表 F.1。

[10] 源自 API TR 5C3/ ISO TR 10400 中 10 条。

$$d_1 = E_1 - (L_1 + A)T_d + H - 2s_{rn} \qquad [67]\text{（P.11）}$$

式中：

A 手紧紧密距，mm （in）；

E_1 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）；

L_1 钢管管端至手紧面的长度，按照 API 5B；

s_{rn} 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（0.017 in）；

T_d 锥度（直径上）0.0625 mm/mm（0.0625 in/in）。

每 25.4 mm 长度上螺纹数（每英寸长度上螺纹数）	f_m 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)
$11\ ^1/_2$	0.074 (0.0029)	1.913 (0.0753)
8	0.014 (0.0041)	2.784 (0.1082)

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。

$$p_{iL} = \frac{ET_dN_p(W^2 - E_s^2)}{2E_sW^2} \qquad [69]\text{（P.12）}$$

E 杨氏弹性模量；

E_s 密封面中径；

E_1 对于圆螺纹接箍；

E_7 对于偏梯形螺纹接箍；

N 上扣螺纹圈数；

A 对于圆螺纹套管和油管（API 5B）；

A+1.5＜16 偏梯形螺纹套管；

A+1 ≥16 偏梯形螺纹套管；

P 螺纹螺距

8 牙圆螺纹套管和油管螺距为 3.175 mm（0.125 in）；

10 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（直径上）：

对于圆螺纹套管和油管，0.0625 ；

钢管规格＜16 的 10 牙圆螺纹套管，0.0625 ；

钢管规格≥16 偏梯形螺纹套管，0.0833 ；

W 接箍规定外径，按照 ISO 11960 或 API 5CT[21]；

其中：

A 手紧紧密距，mm（in）；

E_1 手紧面中径，按照 API 5B；

E_7 中径，按照 API 5B。

由于上扣引起的内、外螺纹之间的界面（接触）压力为

$$p_1 = \frac{ET_dN_p(W^2 - E_s^2)(E_s^2 - d^2)}{E_s^2(W^2 - d^2)}$$ [70]（P.13）

式中：

E 杨氏弹性模量；

E_s 密封面中径；

E_1 对于圆螺纹；

E_7 对于偏梯形螺纹套管；

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

8 牙圆螺纹套管和油管螺距为 3.175 mm（0.125 in）；

10-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 10 牙圆螺纹套管，0.0625；

对于钢管规格≥16 偏梯形螺纹套管，0.0833；

W 接箍规定外径，按照 ISO 11960 或 API 5CT[21]；

其中

A 手紧紧密距，mm（in）；

E_1 手紧面中径，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：

$$p_2 = \frac{p_i d^2 (W^2 - E_s{}^2)}{E_s{}^2 (W^2 - d^2)} \qquad [71]\text{（P.14）}$$

式中：

Es 密封面中径；

E_1 圆螺纹接箍；

E_7 偏梯形螺纹套管接箍；

d 钢管内径，$d = D - 2t$；

p_i 内压；

W 接箍规定外径，按照 ISO 11960 或 API 5CT[21]；

其中：

E_1 手紧面中径，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，当整体接触压力 $p_1 + p_2$ 与内压 p_i 相同时，即连接达到抗泄漏限度 p。换句话说，如果 p_i 大于 $p_1 + p_2$ 时会发生泄漏。

$$p_1 + p_2 = p_i = p \qquad [72]\text{（P.15）}$$

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 加工有螺纹和带接箍钢管的静水压试验压力[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，见 API 通告 PS-1360。

[11] 源自 ISO TR 10400/ API TR 5C3 中的 14.2 条。

P.7 导向弯曲试验背景[12]

本章为 10.2.4.6 中给出的要求提供了支持性背景。

ε 值基于公式 [148] 计算(见 API 通告 PS-1340 4a 项，即 1967 年标准化会议通过的决议)，但 X70 钢级除外，针对该钢级的决议是在 1972 年 6 月的标准化会议上通过的（见 API 通告 PS-1440)。用公式 [148] 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

$$\varepsilon = \frac{3000(0.64)^{0.2}}{(145 \cdot f_{umnp})^{0.9}} \qquad [148]\text{（P.16.1-SI）}$$

或者

$$\varepsilon = \frac{3000(0.64)^{0.2}}{f_{umnp}^{0.9}} \qquad [148]\text{(P.16.2-USC)}$$

式中 f_{umnp} 为管体规定最小抗拉强度，单位兆帕-MPa（磅每平方英寸，lb/in^2）

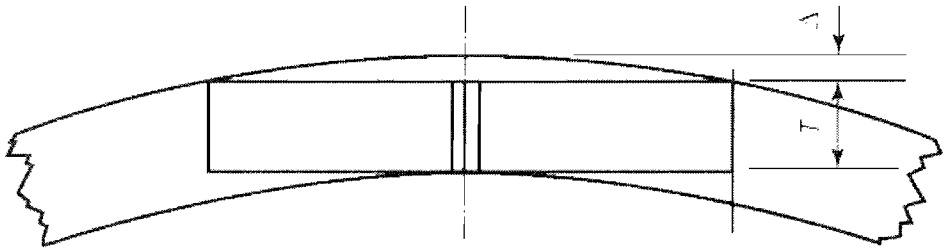
导向弯曲试验公式来源见其他参考文献[31]

P.8 CVN 试样尺寸背景[13]

P.8.1 标准夏比 V 型缺口试样最小壁厚计算

本条款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。见 10.2.3.3 和表 22。

[12] 源自 ISO TR 10400/ API TR 5C3 中的 16. 2.1 条。
[13] 源自 ISO TR 10400/ API TR 5C3 中的 17 条。



横向

$$\Lambda = \frac{D}{2} - \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - (27.5)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(P.17- SI)}$$

或

$$\Delta = \frac{D}{2} - \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - (1.083)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(P.17- USC)}$$

最小壁厚，mm (in)。（无机加工余量）

式中：

D 外径，mm (in)；

△ 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)；

三分之二尺寸试样为 6.67 mm (0.262 in)；

二分之一尺寸试样为 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）。

P.8.2 端部带弧面夏比 V 型缺口试样的最小壁厚计算

用图 P.4 和公式 P.18 以及 P.19 确定端部带弧面试样的尺寸。见条款 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。

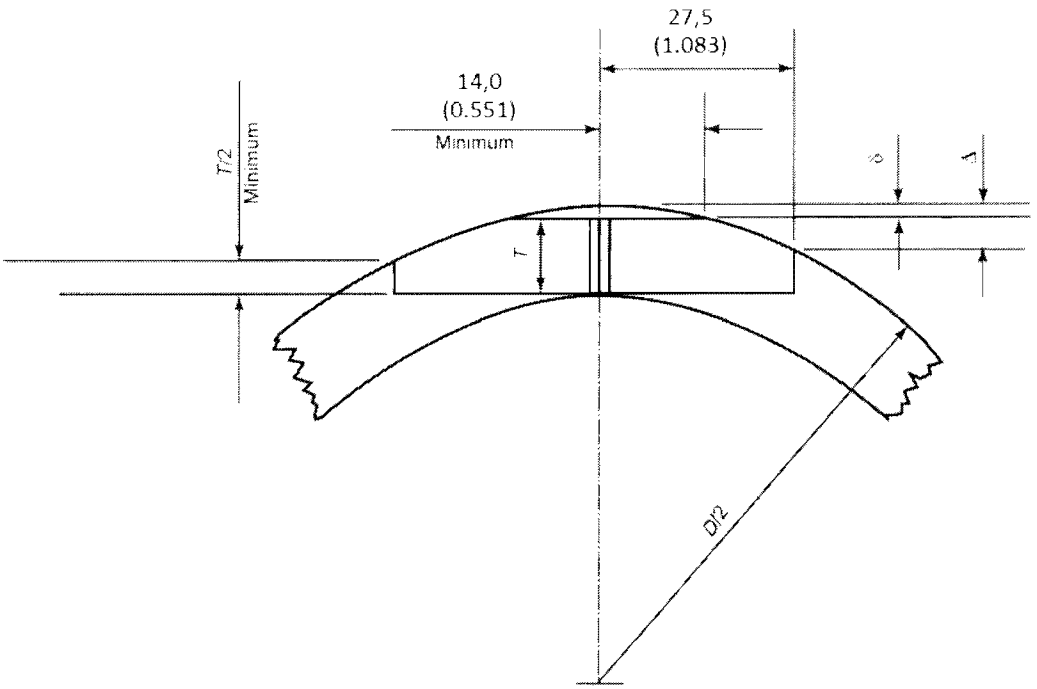


图 P.4 — 端部带弧面夏比 V 型缺口试样最小壁厚确定

其中：

D 外径，mm (in)；

△ 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)；

四分之三尺寸试样为 7.5 mm (0.295 in)

三分之二尺寸试样为 6.67 mm (0.262 in)

二分之一尺寸试样为 5.0 mm (0.197 in)

$$\Delta = \frac{D}{2} - \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - (27.5)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(P.18- SI)}$$

或

$$\Delta = \frac{D}{2} - \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - (1.083)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(P.18- USC)}$$

$$\delta = \frac{D}{2} - \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - (14.0)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(P.19- SI)}$$

或

$$\delta = \frac{D}{2} - \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 - (0.551)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(P.19- USC)}$$

最小壁厚（无机加工余量）端面带弧面夏比 V 型缺口试样是 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：

Min WT1 = $\delta + T$；

Min WT2 = $\triangle + T/2$。

参考文献

[1] ASTM E 29-04，在试验数据中采用有效数字确定符合规范的标准作法[14]

[2] ISO/ TS 29001，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 Spec Q1，石油天然气工业 质量纲要规范[15]

[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 B36.10M，焊接钢管和无缝锻造钢管[16]

[9] ISO 6761，钢管—钢管端部和管件焊接的准备

[10] EPRG 输气管线止裂韧性的建议 — 3R international 10-11/1995 pp. 607-611[17] RE.G., Pistone,G., Vogt,G., DEMOFONTI，G.和 JONE,G.G.

[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] 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]，EIBER, R.J.,BUBENIK,T.A.和 MAXEY,W.A.

[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] 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[19]。

[15] 油气生产含 H_2S 环境中碳钢和低合金钢材料要求导则[20]，EFC 出版物 16

[16] DNV-OS-F101，海底管线系统[21]

[17] API Spec 5L，43rd，2004 年 3 月 管线钢管规范

[18] API RP 5L1，管线钢管铁路运输推荐作法

[19] API RP 5LW，管线钢管船舶和海上运输推荐作法

[20] NACE MR0175/ISO 15156-1 石油天然气工业—油气生产中用于含有硫化氢环境中的材料—第一部分：抗开裂材料选择的一般原则

[21] API Spec 5CT，套管和油管规范

[22] EN 10027-2，钢牌号系统—第 2 部分：数字系统

---

[14] ASTM International , 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA.
[15] American Petroleum Institute, 1220 L Street, N.W., Washington, DC 20005, USA.
[16] American Society of Mechanical Engineers, Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990, USA.
[17] EPRG c/o Salzgitter Mannesmann Forschung, GmbH, Ehinger Strasse 200, 47259, Duisburg, Germany.
[18] Pipeline Research Council International, 1401 Wilson Boulevard, Site 1101, Arlington, VA 22209, USA. www.prci.com
[19] American Iron & Steel Institute, 600 Anderson Drive, Pittsburgh, PA 15220, USA.
[20] Maney Publishing, Hudson Road, Leeds LS9 7DL, UK and 1 Carlton House Terrace, London SW1Y 5DB, UK. www.maney@maney.co.uk
[21] Det Norske Veritas A.S., Veritasveien 1, N-1322 Høvik, Norway. www.dnv.com

[23] ISO 15614-1 金属材料焊接工艺规范和资质—焊接工艺试验—第一部分：钢的电弧焊和气体保护焊，镍及其合金的电弧焊

[24] EN 287-1[22]，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[23]，锅炉及压力容器规范—焊接及钎焊评定

[27] 焊接钢管横向韧性要求的发展，1967 年 6 月在 API 标准化会议上由 Thomas, W.H., Wilder, A.B. and Clinedinst, W.O. 提出

[28] ISO 15156-1，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 1 部分：抗开裂材料选择的总则

[29] EN 473 无损检测 NDT 人员的评定和认证 总则

[30] ISO 15156-2，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：抗开裂的碳钢和低合金钢以及铸铁的使用

[22] CEN, European Committee for Standardization, Central Secretariat, Rue de Stassart 36, B-1050, Brussels, Belgium.

[23] American Society of Mechanical Engineers, Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990, USA.

1220 L Street,NW
Washington,DC 20005-4070
USA

202.682.8000

石油工业标准化研究所
北京市海淀区学院路20号
邮编：100083
电话：010-83598316
传真：010-83598316
E-mail：bzhs@petrochina.com.cn
www.petrostd.com

Copyright Registration Pending
内部交流，版权所有

$258.00（￥1625.00）