ICS 77.140.75;75.200
CCS E 16;H 48

中华人民共和国国家标准

GB/T 9711—2023
代替 GB/T 9711—2017

石油天然气工业　管线输送系统用钢管

Petroleum and natural gas industries—Steel pipe for pipeline transportation systems

（ISO 3183:2019,MOD）

2023-11-27 发布　　2024-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　次

前言 …… Ⅰ
引言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语、定义、符号和缩略语 …… 1
4　由购方提供的信息 …… 1
5　技术要求 …… 2
5.1　通则 …… 2
5.2　抗延性断裂扩展的 PSL 2 钢管的晶粒度、带状组织和夹杂物 …… 2
5.3　对接钢管的静水压试验 …… 2
5.4　PSL 2 钢管硬度试验 …… 2
5.5　SAW 管和 COW 管的管端最大允许外焊道高度 …… 4
5.6　焊偏时焊缝和 HAZ 夏比冲击试验试样位置 …… 4
5.7　采用端面密封堵头做静水压试验时实际压力的要求 …… 5
5.8　导向弯曲试验复验 …… 5
5.9　补焊焊接操作人员技能评定的检验 …… 5
5.10　无损检测人员资质认定的等效标准 …… 5
5.11　焊缝射线检测的设备校验 …… 6
5.12　欧洲管线研究机构(EPRG)准则——方法 1 …… 6
5.13　纯氢输送管道用 PSL 2 钢管的订购 …… 10
5.14　落锤撕裂(DWT)试验异常断口评价 …… 10
5.15　标志 …… 10
附录 A (资料性)　纯氢输送管道用 PSL 2 钢管的订购 …… 12
A.1　概述 …… 12
A.2　由购方提供的附加信息 …… 12
A.3　制造 …… 13
A.4　验收极限 …… 13
A.5　表面状况、缺欠和缺陷 …… 17
A.6　高频焊(HFW)管焊缝毛刺 …… 17
A.7　检验 …… 17
A.8　钢管标志 …… 21
附录 B (资料性)　DWT 试验异常断口评价推荐作法 …… 22
B.1　概述 …… 22
B.2　异常断口定义与分类 …… 22
B.3　异常断口评判 …… 23
参考文献 …… 25

前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第 1 部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 9711—2017《石油天然气工业管线输送系统用钢管》。与 GB/T 9711—2017 相比,除结构调整和编辑性改动外,主要技术变化如下:

a) 更改了范围(见第 1 章,2017 年版的第 1 章);
b) 删除了部分术语和定义(2017 年版的第 4 章);
c) 增加了部分符号和缩略语(见第 3 章);
d) 更改了购方提供的信息(见第 4 章,2017 年版的第 7 章);
e) 更改了激光焊钢管和 PSL 2 高频焊钢管焊缝和 HAZ 进行热处理的内容(见 5.1,2017 年版的 8.8.2);
f) 更改了管端局部直度偏离量的要求(见 5.1,2017 年版的 9.11.3.4);
g) 增加了管端垂直度的要求(见 5.1);
h) 更改了冲击试样尺寸(见 5.1,2017 年版的表 22);
i) 更改了导向弯曲试验中壁厚减薄试样的弯模尺寸(见 5.1,2017 年版的 10.2.4.6);
j) 更改了焊接对接钢管的要求(见 5.1,2017 年版的附录 A);
k) 增加了整管正火或淬火加回火的 HFW 管焊缝硬度试验位置图[见 5.1,2017 年版的图 H.1 d)和图 J.1 d)];
l) 增加了具有纵向塑性应变能力服役条件的 PSL 2 钢管订购的内容(见 5.1);
m) 更改了订购输气管线用抗延性断裂扩展的 PSL 2 钢管协议规定原料的带状组织、晶粒度和夹杂物要求时钢级(见 5.2,2017 年版的 8.3.3);
n) 更改了对接钢管静水压试验的要求(见 5.3,2017 年版的 9.4.2);
o) 增加了 PSL 2 钢管硬度试验的内容(见 5.4);
p) 删除了切斜的要求(见 2017 年版的 9.12.1.4);
q) 更改了 SAW 管和 COW 管的管端最大允许外焊道高度的要求(见 5.5,2017 年版的 9.13.2.2);
r) 增加了焊偏时热影响区冲击试样取样位置的要求(见 5.6);
s) 增加了采用端面密封堵头做静水压试验时实际压力的要求(见 5.7);
t) 更改了导向弯曲试验复验的要求(见 5.8,2017 年版的 10.2.12.5);
u) 更改了补焊焊接操作人员技能评定的检验(见 5.9,2017 年版的 D.3.1.2);
v) 增加了无损检测人员资质认定的等效标准(见 5.10,2017 年版的 E.1.1);
w) 增加了焊缝射线检测实时成像检验用 ISO 丝型像质计的具体要求(见 5.11.1);
x) 更改了数字射线检测校准的要求(见 5.11.2,2017 年版的 E.4.4.3);
y) 更改了 EPRG(欧洲管线研究机构)准则方法一的内容(见 5.12,2017 年版的 G.7);
z) 删除了海上服役条件的 PSL 2 钢管的管端局部直度偏离量的要求[见 2017 年版的 J.6.4 b)]。

本文件修改采用 ISO 3183:2019《石油天然气工业　管线输送系统用钢管》。

本文件与 ISO 3183:2019 相比做了下述结构调整:

——第 4 章对应 ISO 3183:2019 中的 4.3;
——第 5 章对应 ISO 3183:2019 中的第 4 章。

本文件与 ISO 3183:2019 的技术差异及其原因如下:

——更改了范围(见第1章),增加了纯氢输送管道用钢管的内容;
——增加了规范性引用文件GB/T 9253,满足实际需求;
——更改了购方提供的信息(见第4章),满足实际需求;
——增加了订购输气管线用抗延性断裂扩展的PSL 2钢管情况下,如果协议,购方可规定原料的带状组织、晶粒度和夹杂物要求(见5.2),满足实际需求;
——更改了对接钢管静水压试验的要求(见5.3),满足实际需求;
——增加了PSL 2钢管硬度试验的内容(见5.4),满足实际需求;
——更改了SAW管和COW管的管端最大允许外焊道高度的要求(见5.5),满足实际需求;
——增加了焊偏时热影响区冲击试样取样位置的要求(见5.6),满足实际需求;
——增加了采用端面密封堵头做静水压试验时实际压力的要求(见5.7),满足实际需求;
——更改了补焊焊接操作人员技能评定的检验(见5.9),满足实际需求;
——增加了无损检测人员资质认定的等效标准(见5.10),满足实际需求;
——增加了射线检测实时成像检验用ISO丝型像质计的具体要求(见5.11.1),满足实际需求;
——更改了欧洲管线研究机构(EPRG)准则方法一的内容(见5.12),满足实际需求;
——删除了关于欧洲陆地天然气输送管线PSL 2钢管订购的内容(见ISO 3183:2019的4.2和附录A),国内没有需求。

本文件做了下列编辑性改动:
——增加了附录A(资料性)“纯氢输送管道用PSL 2钢管的订购”;
——增加了附录B(资料性)“DWT试验异常断口评价推荐作法”。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本文件起草单位:宝鸡石油钢管有限责任公司、中国石油集团工程材料研究院有限公司、中国石油集团渤海石油装备制造有限公司、中油国家石油天然气管材工程技术研究中心有限公司、国家管网集团北方管道有限责任公司。

本文件主要起草人:毕宗岳、高霞、王少华、张锦刚、刘斌、方伟、陈小伟、宋飞、毛浓召、刘成坤、祝少华、付宏强、薛磊红、宋海辉、席少鹏、封辉、韩秀林、李建一、张毅、王一岑。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:
——1988年首次发布为GB 9711—1988;
——1997年第一次修订为GB/T 9711.1—1997《石油天然气工业 输送钢管交货技术条件 第1部分:A级钢管》;
——2011年第二次修订时,并入了GB/T 9711.2—1999《石油天然气工业 输送钢管交货技术条件 第2部分:B级钢管》和GB/T 9711.3—2005《石油天然气工业 输送钢管交货技术条件 第3部分:C级钢管》的内容;
——2017年第三次修订;
——本次为第四次修订。

引　言

本文件与 ISO 3183:2019 保持一致，与 API Spec 5L:2018 相同要求的部分不再重复。

本文件起草过程中保留了管线钢管的产品规范水平的技术要求，表示为两个产品规范水平(PSL 1 和 PSL 2)。PSL 1 提供普通质量水平的管线钢管。PSL 2 提供更高质量水平的管线钢管，PSL 2 增加了包括化学成分、硬度、缺口韧性、强度性能和补充无损检测(NDT)的强制性要求。对仅适于 PSL 1 钢管或仅适于 PSL 2 钢管的要求在表述时作了特别区分。如果没有具体指出某要求适用于何种 PSL 水平的钢管，则该要求对 PSL 1 和 PSL 2 钢管同样适用。

在石油和天然气工业实际工作中，经常对应用于特殊环境的钢管增加补充要求。为了适应这种需要，本文件提供了下列补充要求，供购方选择：

——订购需要进行制造工艺评定的 PSL 2 钢管(见 API Spec 5L:2018 中附录 B)；

——订购输气管线用抗延性断裂扩展的 PSL 2 钢管(见 API Spec 5L:2018 中附录 G)；

——订购酸性服役条件用 PSL 2 钢管(见 API Spec 5L:2018 中附录 H)；

——按“过出油管”订购的钢管(见 API Spec 5L:2018 中附录 I)；

——订购海洋服役条件用 PSL 2 钢管(见 API Spec 5L:2018 中附录 J)；

——订购具有纵向塑性应变能力的 PSL 2 钢管(见 API Spec 5L:2018 中附录 N)；

——订购纯氢输送管道用 PSL 2 钢管(见附录 A)。

本文件不提供上述补充要求的使用指导。对于一个具体合同而言，根据预期使用和设计要求，规定上述任一补充要求是购方的责任。

石油天然气工业　管线输送系统用钢管

1　范围

本文件规定了石油天然气工业管线输送系统用焊接钢管(以下简称“焊管”)和无缝钢管(以下简称“无缝管”)的制造要求,其包括两种产品规范水平(PSL 1 和 PSL 2)。

本文件适用于石油天然气工业管线输送系统用焊管和无缝管的制造、检验、标志、涂层、记录和装载。纯氢输送管道用钢管的制造和检验参照本文件执行。

本文件不适用于铸铁管。

2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 9253　石油天然气工业　套管、油管和管线管螺纹的加工、测量和检验

TSG Z8001　特种设备无损检测人员考核规则

ISO 6507-1　金属材料　维氏硬度试验　第 1 部分:试验方法(Metallic materials—Vickers hardness test—Part 1:Test method)

ISO 6508-1　金属材料　洛氏硬度试验　第 1 部分:试验方法(Metallic materials—Rockwell hardness test—Part 1: Test method)

API Spec 5L:2018　管线钢管(Line pipe)

ASTM E18　金属材料洛氏硬度标准试验方法(Standard test methods for rockwell hardness of metallic materials)

ASTM E92　金属材料维氏硬度和努氏硬度标准试验方法(Standard test methods for vickers hardness and knoop hardness of metallic materials)

3　术语、定义、符号和缩略语

API Spec 5L:2018 界定的术语、定义、符号和缩略语适用于本文件。

4　由购方提供的信息

除 API Spec 5L:2018 中第 7 章的规定外,对于具体的订货批,如果协议,订货合同应注明下列哪些条款适用:

a)　输气管线用抗延性断裂扩展的 PSL 2 钢管原料的晶粒度、带状组织和夹杂物要求(见 5.2);

b)　对接钢管的静水压试验(见 5.3);

c)　订购纯氢输送管道用 PSL 2 钢管(见附录 A);

d) 落锤撕裂(DWT)试验异常断口评价(见附录B)。

5 技术要求

5.1 通则

除5.2～5.15中规定的补充要求和例外情况,以及API Spec 5L:2018中附录A、附录L、附录O和附录P外,本文件应按API Spec 5L:2018中相关章节的规定执行。

如果没有具体指出某要求适用于何种水平的钢管,则该要求对PSL 1和PSL 2钢管同样适用。

除另有协议外,如果购方根据预期服役条件协议选用多个特殊用途补充要求时,钢管应符合特殊用途补充要求中最严苛的要求。

5.2 抗延性断裂扩展的PSL 2钢管的晶粒度、带状组织和夹杂物

当订购输气管线用抗延性断裂扩展的PSL 2钢管时,如果协议,可规定原料的晶粒度、带状组织和夹杂物要求。

5.3 对接钢管的静水压试验

如果用来焊制对接钢管的管段在对接前已进行了静水压试验且合格,经协议,对接钢管可不进行静水压试验。

5.4 PSL 2钢管硬度试验

5.4.1 要求

PSL 2钢管管体、焊缝和热影响区(HAZ)的硬度应符合下列要求:

a) 钢级不高于L450/X65的钢管,硬度不大于265 HV10或25 HRC;

b) L485/X70钢级钢管,硬度不大于275 HV10或26 HRC;

c) L555/X80钢级钢管,硬度不大于285 HV10或28 HRC;

d) L625/X90钢级钢管,硬度不大于300 HV10或30 HRC;

e) L690/X100钢级钢管,硬度不大于310 HV10或31 HRC;

f) L830/X120钢级钢管,硬度值由购方与制造商协议确定。

5.4.2 检验频次

所有PSL 2钢管管体、焊缝和热影响区的硬度检验频次为同一试验批为一批,每批一次。

5.4.3 试样数量、方向和位置

PSL 2钢管硬度试验各试块试样数量、方向和位置应符合表1的规定。

表 1　PSL 2 钢管硬度试验各试块试样数量、方向和位置

钢管类型	取样位置	硬度试验各试块试样的数量、方向和位置			
		规定外径 D mm			
		<219.1	219.1～<323.9	323.9～<508	≥508
SMLS,非冷扩径[见 API Spec 5L:2018 中图 5 a)]	管体	1T	1T	1T	1T
SMLS,冷扩径[见 API Spec 5L:2018 中图 5 a)]	管体	1T	1T	1T	1T
HFW[见 API Spec 5L:2018 中图 5 b)]	焊缝	1W	1W	1W	1W
SAWL 或 COWL[见 API Spec 5L:2018 中图 5 b)]	焊缝	1W	1W	1W	1W
SAWH 或 COWH[见 API Spec 5L:2018 中图 5 c)]	焊缝	1W	1W	1W	1W
	钢带(卷)/钢板对头焊缝	1WS	1WS	1WS	1WS

5.4.4　试验方法

5.4.4.1　母材硬度试验应采用 HV10 维氏试验方法或 HR15N 洛氏试验方法,HV10 维氏试验按照 ISO 6507-1 或 ASTM E92 的规定进行,HR15N 洛氏试验按照 ISO 6508-1 或 ASTM E18 的规定进行。有争议时,应采用 HV10 维氏试验方法仲裁。

HAZ 和焊缝的硬度试验应按照 ISO 6507-1 或 ASTM E92 进行 HV10 维氏试验。

在无缝管管体和焊管的焊接接头母材区域硬度试验中,当单点硬度读数超过相应验收极限时,如果 3 点中最小值与在这 3 点附近加取的 6 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。

5.4.4.2　无缝管的硬度试验位置应按 API Spec 5L:2018 中图 H.1 a)的规定,但下列情况除外:

a)　对于 t<4.0 mm 的钢管,仅应在厚度中部的横向进行试验;

b)　对于 4.0 mm≤t<6 mm 的钢管,仅应在内和外表面横向进行试验;

c)　如果协议,每一全厚度位置的 3 点[如 API Spec 5L:2018 中图 H.1 a)所示]压痕硬度试验是可接受的。

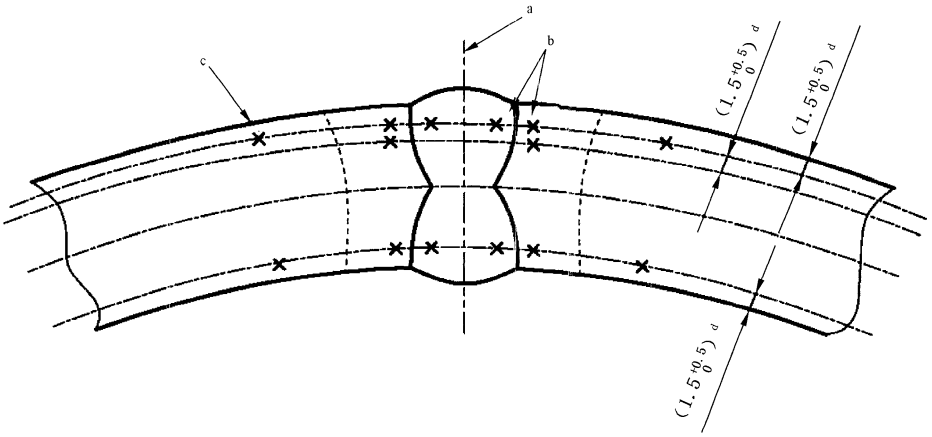
5.4.4.3　焊管的硬度试验位置应包括焊缝横截面。SAW 管硬度压痕点应在母材、可见的 HAZ 和焊缝上,如图 1 所示;HFW 管硬度压痕点应在母材、可见的 HAZ、焊缝中心线上,如 API Spec 5L:2018 中图 H.1c)、API Spec 5L:2018 中图 H.1 d)所示,但下列情况除外:

a)　对于 t<4.0 mm 的钢管,仅应在厚度中部的横向进行试验;

b)　对于 4.0 mm≤t<6 mm 的钢管,仅应在内和外表面横向进行试验;

c)　如果协议,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 API Spec 5L:2018 中图 H.1 c)的规定。

单位为毫米



[a] 焊缝中心线。

[b] 距熔合线 0.75 mm。

[c] 距熔合线 1t。

[d] 自内表面和外表面。

图 1　SAW 管硬度试验位置

5.5　SAW 管和 COW 管的管端最大允许外焊道高度

SAW 管和 COW 管的管端最大允许外焊道高度应符合表 2 的规定。如果协议，应采用修磨方法将钢管每端至少各 150 mm 范围内的外焊道余高去除，使得修磨后焊道高出邻近钢管表面不超过 0.5 mm。

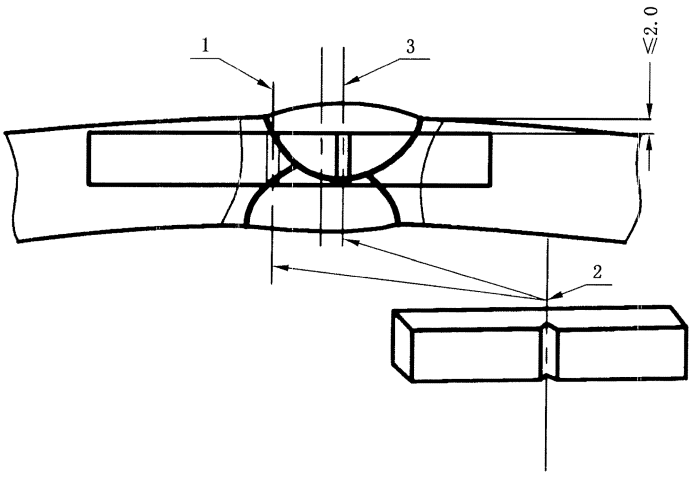
表 2　SAW 和 COW 管的管端最大允许外焊道高度

规定壁厚 t mm	最大外焊道高度[a] mm
≤13.0	3.5
>13.0	4.5
[a] 由制造商选择，高于允许值的外焊道可修磨至可接收高度。	

5.6　焊偏时焊缝和 HAZ 夏比冲击试验试样位置

当存在焊偏时，在 SAW 管和 COW 管焊缝及热影响区上截取的 CVN 冲击试样的刻槽轴线应如图 2 所示，尽可能靠近外焊道边缘，热影响区冲击试样缺口位置偏向内焊道一侧，焊缝冲击试样缺口位置位于外焊道中心。

单位为毫米



标引序号说明：

1——焊缝 HAZ 夏比冲击试样缺口；

2——夏比冲击试样缺口中心线；

3——焊缝夏比冲击试样缺口。

图 2　焊偏时焊缝和 HAZ 夏比冲击试验试样位置

5.7　采用端面密封堵头做静水压试验时实际压力的要求

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，且 API Spec 5L:2018 中 10.2.6.6 的规定适用时，除应符合 API Spec 5L:2018 中 10.2.6.6 的规定外，实际压力应不低于按照 API Spec 5L:2018 中公式(6)采用最小屈服强度 90%的计算值。

5.8　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，该试验批的所有钢管应接收。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。

对于任一不合格钢管，制造商也可采用在同端返切并加取两倍试样的方法进行复验。如果加取试样均符合规定要求，则接收该根钢管。如果加取的任一个试样不符合规定要求，则拒收该根钢管，且不应再次返切和复验。

复验用试样应按照 API Spec 5L:2018 中表 19、API Spec 5L:2018 中表 20 以及 API Spec 5L:2018 中 10.2.3.6 的要求截取。

如适用，重新处理应符合 API Spec 5L:2018 中 10.2.11 的规定。

5.9　补焊焊接操作人员技能评定的检验

为进行评定，补焊工或操作工应焊制出经下列检验合格的焊缝：

a)　按照 API Spec 5L:2018 中附录 E 进行的射线检验；

b)　两个横向导向弯曲试验(见 API Spec 5L:2018 中 D.2.3.3)。

5.10　无损检测人员资质认定的等效标准

TSG Z8001 是对无损检测人员(外观检验除外)资质的基本要求，与 API Spec 5L:2018 中 E.1.1 规定的标准等效。

5.11 焊缝射线检测的设备校验

5.11.1 如果使用 ISO 丝型像质计，射线实时成像检测用的丝型像质计基本线径见表 3 的规定。

表 3 射线实时成像检验用 ISO 丝型像质计

焊缝厚度[a] mm	基本线径 mm	FE 金属丝系列	金属丝号码
≤8	0.32	W10～W16 或 W6～W12	11
>8～11	0.40	W10～W16 或 W6～W12	10
>11～14	0.50	W6～W12	9
>14～18	0.63	W6～W12	8
>18～25	0.80	W6～W12 或 W1～W7	7
>25～32	1.00	W6～W12 或 W1～W7	6
>32～41	1.25	W1～W7	5
[a] 焊缝厚度是指规定壁厚与焊缝余高估计值之和。			

5.11.2 采用数字射线检测时，除采用 API Spec 5L:2018 中 E.4.3 像质计进行灵敏度测定外，在初始检测系统的确认过程中，还应采用双丝型像质计进行探测器的基本空间分辨率(SRb)测定。双丝型像质计应位于探测器前面并与探测器像素的行或列约成 5°的方向位置，以避免混叠效应。

5.11.3 除 5.11.1 和 5.11.2 的要求外，焊缝射线检测的设备校验应符合 API Spec 5L:2018 中 E.4.4 的规定。

5.12 欧洲管线研究机构(EPRG)准则——方法 1

本条是对 API Spec 5L:2018 中 G.7 的修改，经与购方协议，本条可用于抗延性断裂扩展的 PSL 2 钢管订货。

本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。本方法得出的 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。

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。

本方法以欧洲管线研究机构(EPRG)输气管线止裂准则为基础。本方法限于焊管和无缝管的管体。表 4～表 9 给出了设计压力为 8 MPa 和 10 MPa、设计系数分别为 0.625、0.72 和 0.8 的最小全尺寸 CVN 吸收能推荐值，该推荐值是基于以焦耳为单位的管体上平台全尺寸等效 CVN 吸收能，适用于运行压力不大于 10 MPa、设计温度不低于 0 ℃、D≤1 422 mm 且 t≤31.8 mm、钢级不大于 L555/X80 的贫气管道，不包括输送富气的管道以及设计为无回填或冻土回填的管道。符合表 10 的所有条件的气体为贫气。表 6～表 9 未给出计算的 CVN 吸收能大于 200 J 的推荐值。如果计算的 CVN 吸收能大于 200 J，宜进行全尺寸断裂扩展试验。如果已有类似试验等可以证明计算出的 CVN 吸收能足以阻止长程延性断裂，则可能无需进行全尺寸断裂扩展试验。如果将韧性值规定为一组 3 个试样的最小平均值，则规定的最小单个值是规定最小平均值的 0.75 倍，但是一组 3 个试样的最小平均值不应小于 40 J。如果将韧性值规定为订货批的最小平均值，则一组 3 个试样的规定最小平均值是订货批的最小平均值的 0.75 倍，并且规定的最小单个值是规定订货批的最小平均值的 0.562 5 倍(即规定最小平均值的 0.75 倍)。

表 4　设计压力为 8 MPa、设计系数为 0.625 的最小 CVN 吸收能推荐值

规定外径 D mm	全尺寸 CVN 吸收能，最小 K_V J								
	钢级								
	L245/B	L290/X42	L320/X46	L360/X52	L390/X56	L415/X60	L450/X65	L485/X70	L555/X80
≤508	40	40	40	40	40	50	50	60	70
>508～610	40	40	40	40	50	50	60	60	80
>610～711	40	40	40	40	50	50	60	70	90
>711～813	40	40	40	50	50	60	70	70	90
>813～914	40	40	40	50	60	60	70	80	100
>914～1 016	40	40	40	50	60	70	70	80	130
>1 016～1 118	40	40	50	60	60	70	80	90	140
>1 118～1 219	40	40	50	60	70	70	80	90	150
>1 219～1 422	40	50	50	60	70	80	90	110	170

表 5　设计压力为 10 MPa、设计系数为 0.625 的最小 CVN 吸收能推荐值

规定外径 D mm	全尺寸 CVN 吸收能，最小 K_V J								
	钢级								
	L245/B	L290/X42	L320/X46	L360/X52	L390/X56	L415/X60	L450/X65	L485/X70	L555/X80
≤508	40	40	40	40	50	50	60	70	80
>508～610	40	40	40	40	50	60	60	70	90
>610～711	40	40	40	50	60	60	70	80	100
>711～813	40	40	40	50	60	70	70	80	120
>813～914	40	40	50	60	60	70	80	90	140
>914～1 016	40	40	50	60	70	70	80	100	150
>1 016～1 118	40	50	50	60	70	80	90	110	160
>1 118～1 219	40	50	60	70	80	80	100	120	180
>1 219～1 422	40	50	60	70	80	90	110	130	200

表 6　设计压力为 8 MPa、设计系数为 0.72 的最小 CVN 吸收能推荐值

规定外径 D mm	全尺寸 CVN 吸收能，最小 K_V J								
	钢级								
	L245/B	L290/X42	L320/X46	L360/X52	L390/X56	L415/X60	L450/X65	L485/X70	L555/X80
≤508	40	40	40	50	50	60	70	80	100
>508～610	40	40	40	50	60	60	70	80	120
>610～711	40	40	50	50	60	70	80	90	140
>711～813	40	40	50	60	70	70	80	100	150
>813～914	40	40	50	60	70	80	90	110	170
>914～1 016	40	50	60	70	80	80	100	120	190
>1 016～1 118	40	50	60	70	80	90	110	130	200
>1 118～1 219	40	50	60	70	80	90	120	140	—
>1 219～1 422	40	60	70	80	90	110	130	160	—

表 7　设计压力为 10 MPa、设计系数为 0.72 的最小 CVN 吸收能推荐值

规定外径 D mm	全尺寸 CVN 吸收能，最小 K_V J								
	钢级								
	L245/B	L290/X42	L320/X46	L360/X52	L390/X56	L415/X60	L450/X65	L485/X70	L555/X80
≤508	40	40	40	50	60	70	80	90	130
>508～610	40	40	50	60	60	70	80	90	150
>610～711	40	40	50	60	70	80	90	110	170
>711～813	40	50	60	70	80	80	100	120	190
>813～914	40	50	60	70	80	90	110	140	—
>914～1 016	40	50	60	80	90	100	120	150	—
>1 016～1 118	40	60	70	80	90	110	130	160	—
>1 118～1 219	50	60	70	90	100	120	140	170	—
>1 219～1 422	50	70	80	90	110	130	160	190	—

表 8　设计压力为 8 MPa、设计系数为 0.8 的最小 CVN 吸收能推荐值

规定外径 D mm	全尺寸 CVN 吸收能，最小 K_V J								
	钢级								
	L245/B	L290/X42	L320/X46	L360/X52	L390/X56	L415/X60	L450/X65	L485/X70	L555/X80
≤508	40	40	50	60	70	70	90	110	170
>508～610	40	40	50	60	70	80	100	120	200
>610～711	40	50	60	70	80	90	110	130	—
>711～813	40	50	60	70	90	100	120	150	—
>813～914	40	60	60	80	90	110	130	160	—
>914～1 016	40	60	70	80	100	120	140	180	—
>1 016～1 118	50	60	70	90	110	130	150	190	—
>1 118～1 219	50	60	80	90	120	140	170	200	—
>1 219～1 422	50	70	80	110	130	150	180	—	—

表 9　设计压力为 10 MPa、设计系数为 0.80 的最小 CVN 吸收能

规定外径 D mm	全尺寸 CVN 吸收能，最小 K_V J								
	钢级								
	L245/B	L290/X42	L320/X46	L360/X52	L390/X56	L415/X60	L450/X65	L485/X70	L555/X80
≤508	40	50	50	70	80	90	110	140	—
>508～610	40	50	60	70	80	100	120	150	—
>610～711	40	50	60	80	90	110	140	170	—
>711～813	40	60	70	90	100	120	150	190	—
>813～914	50	60	70	90	110	130	170	200	—
>914～1 016	50	70	80	100	120	150	180	—	—
>1 016～1 118	50	70	80	110	130	160	190	—	—
>1 118～1 219	60	70	90	120	150	170	—	—	—
>1 219～1 422	60	90	110	150	180	—	—	—	—

表 10 判定贫气的含量要求

序号	组分	含量(摩尔分数)%	
1	C1	≥80.0	
2	C1+N_2	≥88.0	
3	C2+CO_2+C3+[C4+][a]	≤12.0	
4	C2	≤10.0	
5	C3	≤2.0	
6	[C4+][a]	≤1.0	
7	CO_2	≤4.0	
8	N_2	≤20.0	
9	C3+2[C4+][a]	≤3.0	
10	C2+CO_2+10[C4+][a]	≤15	
11	C2+CO_2+5C3	≤16.5	0<D≤920
		≤16.0	920<D≤1 020
		≤15.5	1 020<D≤1 120
		≤15.0	1 120<D≤1 220
		≤14.5	1 220<D≤1 325
		≤14.0	1 325<D≤1 430
[a] [C4+]是 i-C4、n-C4、i-C5、n-C5 以及 C6+的总和。			

5.13 纯氢输送管道用 PSL 2 钢管的订购

纯氢输送管道用 PSL 2 钢管的订购见附录 A。

5.14 落锤撕裂(DWT)试验异常断口评价

落锤撕裂(DWT)试验出现异常断口时,宜按附录 B 对异常断口进行评价。

5.15 标志

5.15.1 钢管标志

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) 当产品完全符合本文件要求时,应标识“GB/T 9711”。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 API Spec 5L:2018 中表 1、表 H.1、表 J.1、表 N.1,或本文件的表 A.1,选适用者)。PSL 2 钢管钢级应包含轧制态字母(R、N、Q 或 M)。

f) 产品规范水平(PSL 1 或 PSL 2)。例如,如果 API Spec 5L:2018 中附录 G 适用(见 API Spec 5L:2018 中 G.5.1),PSL 标记后紧跟字母 G。

g) 钢管类型(见 API Spec 5L:2018 中表 2)。

h) 适用时,购方检验代表的标记(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,例如管号(Z)。

j) 当规定的静水压试验压力高于 API Spec 5L:2018 中表 24 或表 25 的适用压力时,或者超过 API Spec 5L:2018 中表 26 的脚注 a、脚注 b 或脚注 c 的适用试验压力时,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[单位为兆帕(MPa)]。

示例 1:

X GB/T 9711 508 12.7 L360M (或 X52M) PSL2 SAWL Y Z

示例 2:

当钢管同时符合兼容标准 ABC 时:

X GB/T 9711/ABC 508 12.7 L360M (或 X52M) PSL2 SAWL Y Z

示例 3:

当静水压试验压力与标准压力不同时(以试验压力 17.5 MPa 为例):

X GB/T 9711 508 12.7 L360M (或 X52M) PSL2 SAWL Y Z TESTED 17.5

示例 4:

相应钢级和适用附录 A 的标识如下:

X GB/T 9711 508 12.7 L360MH (或 X52MH) PSL2H SAWL Y Z

5.15.2 接箍标志

$D \geqslant 60.3$ mm 的接箍应标识制造商名称/标记以及"GB/T 9711"。

5.15.3 螺纹标识和证明

5.15.3.1 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螺纹标准标记(表明适用的螺纹规范,如 GB/T 9253)、钢管规定外径及"LP"(表明螺纹类型)。

示例: 尺寸为 168.3 mm 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:X GB/T 9253 168.3 LP

5.15.3.2 制造商按照 5.15.3.1 规定,使用"GB/T 9253"标识作为螺纹符合 GB/T 9253 的证明,但购方不宜认为凡有此标志的产品,就整体而言符合相应规范。采用字符"GB/T 9253"标志螺纹的制造商应有按照 GB/T 9253 鉴定合格的校对量规。

附　录　A
（资料性）
纯氢输送管道用 PSL 2 钢管的订购

A.1　概述

本附录规定了适用于氢气纯度不小于 99.99%、外径不大于 610 mm、钢级不高于 L360/X52 的纯氢输送管道用 PSL 2 钢管的附加条款[见第 4 章 c)]。

纯氢输送管道不包含以下输氢管道：

a)　温度高于 232 ℃或低于－62 ℃的管道；

b)　压力高于 21 MPa 的管道；

c)　含水量大于 20 mL/m^3 的管道。

A.2　由购方提供的附加信息

除 API Spec 5L:2018 中 7.1 a)～g)的规定外，订货合同宜注明下列哪一条款适用于特定的订货批：

a)　中间钢级的化学成分(见 A.4.1.1)；

b)　t>25.0 mm 钢管的化学成分(见 A.4.1.2)；

c)　化学成分限制(见表 A.1，脚注 a～f)；

d)　HFW 管和 SAW 管的焊缝硬度试验检验频次(见表 A.5)；

e)　气态氢相容性试验(见 A.7.2)；

f)　与规定硬度试验的差别(见 A.7.4.2.2 和 A.7.4.2.3)；

g)　与 4 个硬度压痕的差别[见 A.7.4.2.2 c)]；

h)　t≥5.0 mm、距钢管管端 100 mm 长度范围内分层缺欠的超声检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.2.1.3)；

i)　附加管端 NDT 分层验收极限(见 API Spec 5L:2018 中 K.2.1.3 和 K.2.1.4)；

j)　每根钢管管端面/坡口分层缺欠的磁粉检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.2.1.4)；

k)　分层尺寸/密度验证(见 API Spec 5L:2018 中 K.3.2.2)；

l)　无缝管超声壁厚测量范围的增加(见 API Spec 5L:2018 中 K.3.3)；

m)　无缝管的一种或多种补充无损检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.3.4)；

n)　无缝管横向缺欠的超声检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.3.4.1)；

o)　无缝管全管体纵向缺欠和横向缺欠的漏磁检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.3.4.2)；

p)　无缝管全管体涡流检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.3.4.3)；

q)　钢管全管体的磁粉检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.3.4.4)；

r)　面积 100 mm^2 单个分层尺寸的限制(见 API Spec 5L:2018 中表 K.1)；

s)　ISO 10893-11 HFW 管焊缝无损检测的 U2/U2H 验收等级(见 API Spec 5L:2018 中 K.4.1)；

t)　可替换的 ISO 10893-10 HFW 焊缝超声检测验收极限[见 API Spec 5L:2018 中 K.4.1 b)]；

u)　HFW 管管体分层缺欠的超声检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.4.2)；

v)　钢带/钢板边缘或邻近焊缝区域分层缺欠的超声检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.4.3)；

w)　HFW 管管体的超声或漏磁无损检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.4.4)；

x)　使用固定深度刻槽校准设备[见 API Spec 5L:2018 中 K.5.1.1 c)]；

y)　管端(未检测端)和修补区域的射线检测[见 API Spec 5L:2018 中 K.5.3 a)]；

z) SAW 管管端焊缝的磁粉检测(见 API Spec 5L:2018 中 K.5.4)。

A.3 制造

所有钢管可按照 API Spec 5L:2018 中附录 B 和附录 H 评定合格的制造工艺生产。

A.4 验收极限

A.4.1 化学成分

A.4.1.1 $t \leqslant 25.0$ mm 钢管,其标准钢级的化学成分见表 A.1 的要求,中间钢级的化学成分宜协商确定,但宜与表 A.1 标准钢级的规定化学成分协调。钢管命名见表 A.1,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第一个字母(N、Q 或 M)和表示氢气服役条件的第二个字母(H)组成。

A.4.1.2 $t > 25.0$ mm 钢管的化学成分宜协商确定,并按表 A.1 的规定对化学成分进行适当的修正。

表 A.1 $t \leqslant 25.0$ mm 钢管化学成分

钢级	基于熔炼分析和产品分析的质量分数 % 最大									碳当量 % 最大
	C[a]	Si	Mn[a]	P	S	V	Nb	Ti	其他	CE_{Pcm}
无缝管和焊管										
L245NH/BH	0.07	0.40	1.20	0.015	0.01	[b]	[b]	0.04	[d,e]	0.15[f]
L290NH/X42NH	0.07	0.40	1.20	0.015	0.01	0.06	0.05	0.04	[d,e]	0.15[f]
L320NH/X46NH	0.07	0.40	1.40	0.015	0.01	0.07	0.05	0.04	[c,d]	0.15[f]
L360NH/X52NH	0.07	0.45	1.40	0.015	0.01	0.10	0.05	0.04	[c,d]	0.15[f]
L245QH/BQH	0.07	0.45	1.40	0.015	0.01	0.05	0.05	0.04	[d,e]	0.15[f]
L290QH/X42QH	0.07	0.45	1.40	0.015	0.01	0.05	0.05	0.04	[d,e]	0.15[f]
L320QH/X46QH	0.07	0.45	1.40	0.015	0.01	0.05	0.05	0.04	[d,e]	0.15[f]
L360QH/X52QH	0.07	0.45	1.65	0.015	0.01	0.05	0.05	0.04	[d,e]	0.15[f]
焊管										
L245MH/BMH	0.07	0.40	1.25	0.015	0.01	0.05	0.05	0.04	[d,e]	0.15
L290MH/X42MH	0.07	0.40	1.25	0.015	0.01	0.05	0.05	0.04	[d,e]	0.15
L320MH/X46MH	0.07	0.45	1.35	0.015	0.01	0.05	0.05	0.04	[d,e]	0.15
L360MH/X52MH	0.07	0.45	1.45	0.015	0.01	[c]	[c]	[c]	[d,e]	0.15

[a] 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%,对于屈服强度不低于 245 MPa 但不高于 360 MPa 的材料最大锰含量不宜超过 1.65%。

[b] 除另有协议外,$w(Nb+V) \leqslant 0.06\%$。

[c] $w(Nb+V+Ti) \leqslant 0.15\%$。

[d] 除另有协议外,$w(Cu) \leqslant 0.5\%$,$w(Ni) \leqslant 0.30\%$;$w(Cr) \leqslant 0.30\%$;$w(Mo) \leqslant 0.15\%$。

[e] 除另有协议外,不宜有意添加硼,残余 $w(B) \leqslant 0.001\%$。

[f] 对于无缝管,表列 CE_{Pcm} 值可增加 0.05。

A.4.2 金相组织

A.4.2.1 晶粒度

晶粒度宜为 GB/T 4335 的 8 级或更细，并按 GB/T 4335 中规定进行检验。

A.4.2.2 非金属夹杂物

非金属夹杂物见表 A.2 的规定，不宜出现厚度大于 35 μm 的 B 类夹杂物或直径超过 53 μm 的 D 类夹杂物以及评级超过 2.0 DS 类夹杂物。非金属夹杂物按 GB/T 10561—2005 中方法 A 进行检验。必要时，制造商宜向购方提供金相组织照片供认可。

表 A.2 非金属夹杂物级别限定

A[a]		B[a,b,c]		C[a]		D[a]		DS[b,c]
薄	厚	薄	厚	薄	厚	薄	厚	—
≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤2.0

[a] 如果代表一熔炼批试样的 A、B、C、D 四类夹杂物中有一类或一类以上的评价结果不符合规定要求，则将该熔炼批判为不合格。

[b] 如果评价过程中发现某一视场中同时存在两个或两个以上的同类或不同类超标大型夹杂物，将该熔炼批判为不合格。

[c] 如果代表一熔炼批钢管的夹杂物检验中发现某一视场中存在单个超标大型夹杂物，则宜在同一熔炼批中再随机抽取两个试样进行复验。如果两个试样的复验结果均符合 A、B、C、D 四类夹杂物规定要求且未出现超标大型夹杂物，则除原取样不合格的那根钢管外，该熔炼批合格。如果任一个试样的复验结果不符合 A、B、C、D 四类夹杂物规定要求或出现了超标大型夹杂物，则该熔炼批判为不合格。

A.4.3 拉伸性能

拉伸性能宜符合表 A.3 的规定。

表 A.3 拉伸试验要求

钢级	无缝管和焊管管体						HFW 管和 SAW 管焊缝
	屈服强度[a] $R_{t0.5}$ MPa		抗拉强度[a] R_m MPa		屈强比[b] $R_{t0.5}/R_m$	50 mm 上的伸长率 A_f %	抗拉强度[c] R_m MPa
	最小	最大	最小	最大	最大	最小	最小
L245NH/BNH L245QH/BQH L245MH/BMH	245	415[d]	415	585	0.93	[e]	415
L290NH/X42NH L290QH/X42QH L290MH/X42MH	290	460	415	585	0.93	[e]	415
L320NH/X46NH L320QH/X46QH L320MH/X46MH	320	490	435	605	0.93	[e]	435

表 A.3 拉伸试验要求（续）

钢级	无缝管和焊管管体						HFW 管和 SAW 管焊缝
	屈服强度[a] $R_{t0.5}$ MPa		抗拉强度[a] R_m MPa		屈强比[b] $R_{t0.5}/R_m$	50 mm 上的伸长率 A_f %	抗拉强度[c] R_m MPa
	最小	最大	最小	最大	最大	最小	最小
L360NH/X52NH L360QH/X52QH L360MH/X52MH	360	525	460	625	0.93	[e]	460

[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宜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宜与表中所列的邻近较高钢级的相同。对于中间钢级，其抗拉强度宜不大于 625 MPa。

[b] 本限制适用于 $D>323.9$ mm 的钢管。

[c] 对于中间钢级，其焊缝的规定最小抗拉强度宜与按脚注 a 确定的管体抗拉强度相同。

[d] 对要求纵向试验的钢管，其最大屈服强度宜不大于 495 MPa。

[e] 在 50 mm 的标距长度上，规定最小伸长率 A_f（以百分数表示，且圆整到最邻近的百分数）宜采用公式（A.1）确定：

$$A_f = C\frac{A_{XC}^{0.2}}{U^{0.9}} \qquad \cdots\cdots(A.1)$$

式中：

C ——采用 SI 单位制，C 为 1 940。

A_{XC}——为适用的拉伸试样横截面积，单位为平方毫米（mm^2），具体如下所示：

- 圆棒试样：直径 12.7 mm 和 8.9 mm 的圆棒试样为 130 mm^2；直径 6.4 mm 的圆棒试样为 65 mm^2；
- 全截面试样取 485 mm^2 和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；
- 板状试样取 485 mm^2 和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。

U ——规定最小抗拉强度，单位为兆帕（MPa）。

A.4.4 夏比 V 型缺口（CVN）冲击试验

A.4.4.1 通则

A.4.4.1.1 采用小尺寸试样时，要求的最小平均（同一组的 3 个试样）吸收能宜为全尺寸试样的规定吸收能和小尺寸试样规定宽度与全尺寸试样规定宽度比值的乘积，计算结算按四舍五入圆整到整数。

A.4.4.1.2 任何试样的单个试验值不宜小于规定最小平均（同一组的 3 个试样）吸收能的 75%。

A.4.4.1.3 如果在低于规定试验温度下进行 CVN 冲击试验，而试验符合吸收能和断口剪切面积的相应要求，则认定该试验合格。

A.4.4.1.4 如果试样符合 API Spec 5L:2018 中表 22 给出的最小尺寸要求，则按照该表执行；如果管径小于 114.3 mm 的钢管，则无需进行夏比 V 型缺口（CVN）冲击试验。

A.4.4.2 管体试验

A.4.4.2.1 试验温度 0 ℃时管体试验的吸收能见表 A.4 的规定，如果协议，可采用较低温度。

表 A.4 不同尺寸夏比 V 型缺口试样吸收能要求

试样尺寸	管体横向吸收能 J		管体纵向吸收能 J	
	单值	平均值	单值	平均值
全尺寸	≥71	≥94	≥88	≥118
3/4	≥53	≥71	≥67	≥88
2/3	≥48	≥48	≥58	≥78
1/2	≥35	≥35	≥43	≥58
1/3	≥23	≥23	≥30	≥39
1/4	≥18	≥18	≥22	≥30

A.4.4.2.2 试验温度 0 ℃时，每一个炉批试验的最小平均（同一组的 3 个试样）剪切面积宜不小于 80%（全尺寸试样）或 85%（小尺寸试样）。

A.4.4.3 焊缝及热影响区（HAZ）试验

试验温度 0 ℃时，或如果协议在更低温度时，钢管焊缝及 HAZ 全尺寸试样试验的最小平均（同一组的 3 个试样）吸收能宜不小于 40 J。

A.4.5 钢管落锤撕裂（DWT）试验

A.4.5.1 在 0 ℃试验温度时，每个试验（一组两个试样）平均剪切面积宜不小于 85%，如果协议，可在较低温度下试验。对于壁厚大于 25.4 mm 的钢管，DWT 试验的验收要求宜协商确定。

A.4.5.2 如果在低于规定试验温度下进行 DWT 试验，而试验符合剪切面积的相应要求，则认定该试验合格。

A.4.5.3 当 DWT 试验出现异常断口时，宜采用附录 B 对异常断口进行评价。

A.4.6 硬度试验

管体、焊缝和 HAZ 的硬度宜不大于 220 HV10（67.6 HR 15 N）。

如果经与购方协议，且如果规定壁厚大于 9 mm，在距钢管外表面 1.5 mm 的压痕排上所测量的最大可接收硬度宜不大于 250HV10 或 22HRC（70.6HR 15 N）。

可采用维氏硬度试验或洛氏 HR 15 N 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。

A.4.7 HIC 试验

A.4.7.1 当用 GB/T 8650 的 A 溶液（环境）进行评估抗 HIC 试验时，每个试样的 3 个截面的各自最大允许平均比率宜符合下列验收极限：

a) 裂纹敏感率（CSR）等于 0%；

b) 裂纹长度率（CLR）等于 0%；

c) 裂纹厚度率（CTR）等于 0%。

A.4.7.2 如果 HIC 试验在模拟特定服役条件的替代介质中进行（见 A.7.4.3.3），验收极限宜符合 A.4.7.1。

A.5 表面状况、缺欠和缺陷

A.5.1 除 SAW 管咬边外，宜对外观检查发现的表面缺欠进行核查、判别，并按照下列规定处置。

a) 深度不大于 0.05t，且不影响最小允许壁厚的缺欠，宜判为可接受的缺欠，并按照 API Spec 5L：2018 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) 深度大于 0.05t，且不影响最小允许壁厚的缺欠，宜判为缺陷，并按照 API Spec 5L：2018 中 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宜判为缺陷，并按照 API Spec 5L：2018 中 C.3 b)或 C.3 c)的规定处理。

A.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，宜判为缺陷：

a) 钢管内表面，或内焊缝的补焊焊缝，220 HV10(67.6 HR 15 N)；

b) 钢管外表面，或外焊缝的补焊焊缝，250 HV10(70.6HR 15 N)。

包括此类缺陷的钢管宜按 API Spec 5L：2018 中 C.3 b)或 C.3 c)的规定处理。

A.6 高频焊(HFW)管焊缝毛刺

内毛刺不宜高出钢管轮廓 0.3 mm+0.05t。

A.7 检验

A.7.1 特定检验

除表 A.5 的特殊更改外，检验频次宜符合 API Spec 5L：2018 表 18 的要求。

表 A.5 检验频次

序号	检验类型	钢管类型	检验频次
1	D<508 mm 钢管硬度试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	在同一试验批中，相同冷扩径率[a] 不多于 100 根钢管为一批，每批一次
2	D≥508 mm 钢管硬度试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	在同一试验批中，相同冷扩径率[a] 不多于 50 根钢管为一批，每批一次
3	焊管硬块硬度试验	HFW、SAWL 或 SAWH	在钢管内表面或外表面上发现的每个硬块
4	如果协议，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 钢管的直径和不圆度	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	在同一试验批中，不多于 100 根钢管为一批，每批一次
6	D>168.3 mm 钢管的直径和不圆度	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	在同一试验批中，不多于 20 根钢管为一批，每批一次
7	无损检测	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	按 API Spec 5L：2018 中附录 K 要求
8	HIC 试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	前 3 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	气态氢相容性试验	SMLS、HFW、SAWL 或 SAWH	按订货合同规定

[a] 冷扩径率由制造商确定，冷扩径率是由扩径前外径或圆周长度与扩径后外径或圆周长度推出。冷扩径率增加或减少量超过 0.002 时，则宜建立一个新的试验批。

A.7.2 气态氢相容性试验

下列情况时，钢管宜进行气态氢环境慢应变速率拉伸试验、气态氢环境疲劳寿命试验、气态氢环境断裂韧度试验、气态氢环境疲劳裂纹扩展速率试验，并向购方提供试验报告：

a) 新生产线试制时；

b) 钢管新产品试制时；

c) 已试制钢管的材料、工艺、装备有较大改变，可能影响性能时；

d) 购方有规定时。

注：购方规定各项试验时，宜提供实际服役条件和工况数据。

如有协议，可进行气态氢环境慢应变速率拉伸试验、气态氢环境疲劳寿命试验、气态氢环境断裂韧度试验、气态氢环境疲劳裂纹扩展速率试验中的一项或多项试验。

A.7.3 力学和工艺试验用试块和试样

A.7.3.1 通则

A.7.3.1.1 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、硬度试验的试块，并加工成相应试样。

A.7.3.1.2 各类型试验的试块和试样宜按 API Spec 5L:2018 中图 5 和图 6 所示位置和表 A.6 的要求截取，并考虑 API Spec 5L:2018 中 10.2.3.2～10.2.3.7、10.2.4 和本文件的 A.7.3.2～A.7.3.3 的补充要求。

A.7.3.1.3 HIC 试验用试块宜按 GB/T 8650 的要求截取。

表 A.6 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		
			<219.1	219.1～<508	≥508
SMLS，非冷扩径[见 API Spec 5L:2018 中图 5 a)]	管体	拉伸	1L[b]	1L	1L
		CVN	3T	3T	3T
		硬度	1T	1T	1T
SMLS，冷扩径[见 API Spec 5L:2018 中图 5 a)]	管体	拉伸	1L[b]	1T	1T
		CVN	3T	3T	3T
		硬度	1T	1T	1T
HFW[见 API Spec 5L:2018 中图 5 b)]	管体	拉伸	1L90[b]	1T180	1T180
		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 API Spec 5L:2018 中图 6		

表 A.6　各试块试样数量、方向和位置（续）

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		
			<219.1	219.1～<508	≥508
SAWL[见 API Spec 5L:2018 中图 5 b)]	管体	拉伸	1L90[b]	1T180	1T180
		CVN	3T90	3T90	3T90
	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
SAWH[见 API Spec 5L:2018 中图 5 c)]	管体	拉伸	1L[b]	1T	1T
		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 API Spec 5L:2018 中图 5。
[b] 由制造商选择可使用全截面纵向试样。

A.7.3.2　气态氢相容性试验用试块

气态氢环境慢应变速率拉伸试验用试块宜按 ISO 6892-1、GB/T 228.1 和 GB/T 34542.2 的要求截取。

气态氢环境疲劳寿命试验用试块宜按 GB/T 3075、GB/T 15248 和 GB/T 34542.2 的要求截取。

气态氢环境断裂韧度试验用试块宜按 GB/T 21143 的要求截取。

气态氢环境疲劳裂纹扩展速率试验用试块宜按 GB/T 6398 的要求截取。

气态氢相容性试验各试块试样数量、方向和位置宜按表 A.7 的要求截取。

表 A.7　气态氢相容性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
SMLS	管体	慢应变速率拉伸	4T[a]（氢气和氮气环境各 2 个，均为光滑试样 2 个）
		疲劳寿命	4T[a]（氢气和氮气环境各 2 个）
		断裂韧度	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳裂纹扩展速率	4L（氢气和氮气环境各 2 个）

表 A.7 气态氢相容性试验各试块试样数量、方向和位置（续）

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
HFW 或 SAWL	管体	慢应变速率拉伸	4T180[a]（氢气和氮气环境各 2 个，均为光滑试样）
		疲劳寿命	4T180[a]（氢气和氮气环境各 2 个）
		断裂韧度	4L90（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳裂纹扩展速率	4L90（氢气和氮气环境各 2 个）
HFW 或 SAWL	焊缝	慢应变速率拉伸	4W（氢气和氮气环境各 2 个，均为光滑试样）
		疲劳寿命	4W（氢气和氮气环境各 2 个）
		断裂韧度	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳裂纹扩展速率	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
SAWL	热影响区	疲劳寿命	4W（氢气和氮气环境各 2 个）
		断裂韧度	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳裂纹扩展速率	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
SAWH	管体	慢应变速率拉伸	4T[a]（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳寿命	4T[a]（氢气和氮气环境各 2 个）
		断裂韧度	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳裂纹扩展速率	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
	焊缝	慢应变速率拉伸	4W[a]（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳寿命	4W[a]（氢气和氮气环境各 2 个）
		断裂韧度	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳裂纹扩展速率	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
	热影响区	疲劳寿命	4W[a]（氢气和氮气环境各 2 个）
		断裂韧度	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
		疲劳裂纹扩展速率	4L（氢气和氮气环境各 2 个）
[a] 如果协议，可使用纵向试样。			

A.7.3.3 硬度试验试块

硬度试验试块取自所选钢管的端部，对于焊管，在每个试块中心包括一段直焊缝或螺旋焊缝，硬度试验位置见 API Spec 5L:2018 中图 H.1。

A.7.4 试验方法

A.7.4.1 气态氢相容性试验

气态氢环境慢应变速率拉伸试验、气态氢环境疲劳寿命试验、气态氢环境断裂韧度试验和气态氢环境疲劳裂纹扩展速率试验宜按 GB/T 34542.2 的要求进行试验。

A.7.4.2 硬度试验

A.7.4.2.1 母材硬度试验宜采用 HV10 维氏试验方法或 HR15N 洛氏试验方法，HV10 维氏试验按照

ISO 6507-1 或 ASTM E92 的规定进行试验，HR15N 洛氏试验按照 ISO 6508-1 或 ASTM E18 的规定进行试验。有争议时，宜采用 HV10 维氏试验方法仲裁。

HAZ 和焊缝的硬度试验宜按照 ISO 6507-1 或 ASTM E92 进行 HV10 维氏试验。

在无缝管管体和焊管的焊接接头母材区域硬度试验中，当单点硬度读数超过相应验收极限时，如果 3 点中最小值与在这 3 点附近加取的 6 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 10HV10 或 2HRC(选两者中适用者)，也可视为该单点合格。

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。

A.7.4.2.2 无缝管的硬度试验位置见 API Spec 5L:2018 中图 H.1 a)所示，但下列情况除外：

a) 对于 $t<4.0$ mm 的钢管，仅宜在厚度中部的横向进行试验；

b) 对于 4.0 mm$\leqslant t<$6.0 mm 的钢管，仅宜在内表面和外表面的横向进行试验；

c) 如果协议，每一全厚度位置的三点[见 API Spec 5L:2018 中图 H.1 a)所示]压痕硬度试验是可接受的。

A.7.4.2.3 焊管的硬度试验位置包括焊缝横截面。硬度压痕点在母材、可见的 HAZ、焊缝中心线上，见 API Spec 5L:2018 中图 H.1 b)～d)所示，但下列情况除外：

a) 对于 $t<4.0$ mm 的钢管，仅宜在厚度中部的横向进行试验；

b) 对于 4.0 mm$\leqslant t<$6.0 mm 的钢管，仅宜在内表面和外表面的横向进行试验；

c) 如果协议，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 API Spec 5L:2018 中图 H.1 c)所示距离。

A.7.4.3 HIC 试验

A.7.4.3.1 HIC 试验宜按照 GB/T 8650 的要求进行试验和报告。

A.7.4.3.2 除 A.7.4.3.3 允许外，HIC 试验宜在符合 GB/T 8650 的 A 溶液介质中进行。

A.7.4.3.3 如果协议，HIC 试验可按下列要求进行：

a) 在替代介质 GB/T 8650 的 B 溶液(环境)中；

b) H_2S 分压宜与服役条件相适应。

A.7.4.3.4 报告裂纹长度率、裂纹厚度率和裂纹敏感率。如果协议，任一值得报告的裂纹照片宜附在报告上。

A.7.5 无损检测

无损检测宜按照 API Spec 5L:2018 中附录 K 进行。

A.7.6 HIC 复验

如果一组 HIC 试验试样不符合验收极限，购方和制造商宜协商确定复验要求。如适用，宜按 API Spec 5L:2018 中 10.2.11 的规定重新处理。

A.8 钢管标志

除 5.15 要求的钢管标志外，钢管标志还包括一个识别号，以表明产品或交货批与相关检查文件的相互关系。在产品规范水平符号后，增加字母“H”，表明钢管预期用于纯氢输送管道和附录 A 的要求适用。

只有符合本文件 PSL 2 要求和附录 A 补充要求的钢管，才能按照本文件规定及带字母“H”对钢管进行标识，表明此钢管预期用于纯氢输送。

附 录 B
（资料性）
DWT 试验异常断口评价推荐作法

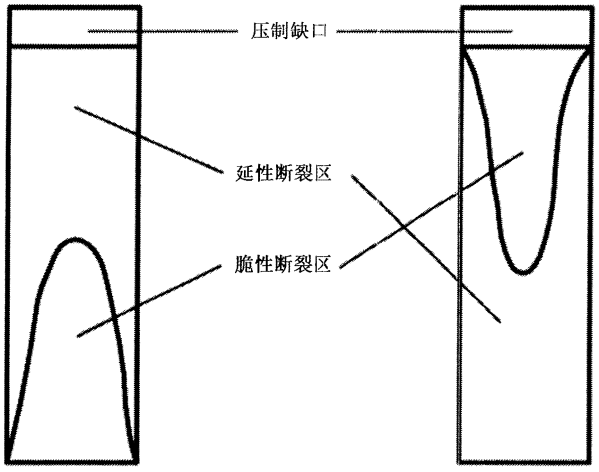
B.1 概述

本附录适用于当 DWT 试验出现异常断口时，对异常试样断口的评价。

B.2 异常断口定义与分类

B.2.1 定义

在 DWT 试验中，正常断口以脆性启裂；在壁厚较大的高强度、高韧性管线钢 DWT 试验中，常常出现以韧性启裂伴有脆性扩展的异常断口。正常断口和异常断口的典型特征如图 B.1 所示。



a） 异常断口　　b） 正常断口

图 B.1 正常/异常典型断口示意图

B.2.2 分类

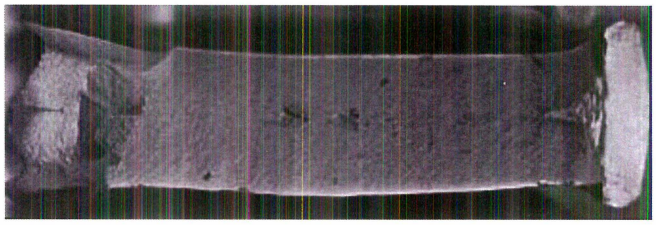
根据异常断口内脆性区的分布特征，将异常断口分为以下 4 类：

——第Ⅰ类异常断口，脆性区分布在锤击侧 1 个壁厚范围内[见图 B.2 a)]；

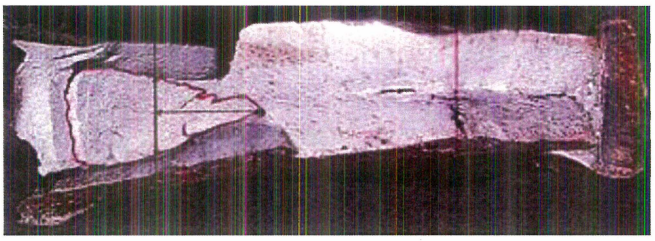
——第Ⅱ类异常断口，脆性区在锤击侧，分布超出一个壁厚范围，但没有超过从锤击侧算起的断裂韧带的中线[见图 B.2 b)]；

——第Ⅲ类异常断口，脆性区分布在断口韧带中部，从锤击侧算起超过断裂韧带的中线[见图 B.2 c)]；

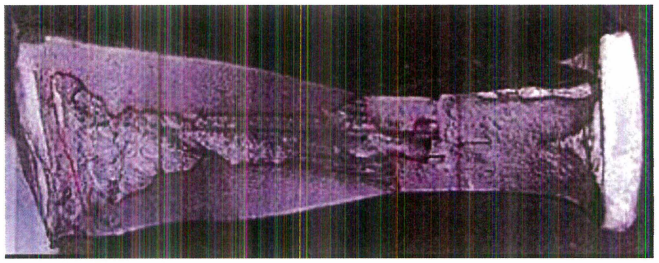
——第Ⅳ类异常断口，脆性区出现得更早，距缺口的最近距离小于 1 个壁厚[见图 B.2 d)]。



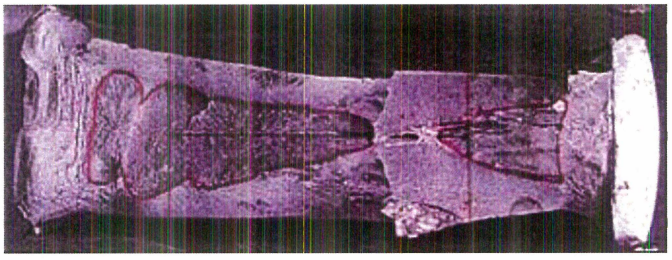
a) 第Ⅰ类异常断口



b) 第Ⅱ类异常断口



c) 第Ⅲ类异常断口



d) 第Ⅳ类异常断口

图 B.2 异常断口分类

B.3 异常断口评判

B.3.1 出现异常断口的试样，可作为有效试样，并按 B.3.2～B.3.4 方法进行评定。

B.3.2 方法 A 适用于第Ⅰ类和第Ⅳ类异常断口的评判，具体作法为：

——从缺口根部和锤击侧分别扣除一个壁厚，壁厚大于 19 mm 的只扣除 19 mm，剩余区域作为断口的有效评判区域；

——有效评判区域内脆性面积的大小，按有效评判区内的实际面积进行计算。

B.3.3 方法 B 适用于第Ⅱ类异常断口的评判，具体作法如下。

——从缺口根部和锤击侧分别扣除一个壁厚，壁厚大于 19 mm 的只扣除 19 mm，剩余区域作为断口的有效评判区域。

——有效评判区域内脆性面积的计算：当孤立的脆性区分布不超过从锤击侧算起的 25 mm 范围时，可忽略不计；超过 25 mm 范围时，孤立分布的脆性区面积全部计算在内。有效评判区域内其余部位的脆性区按实际面积进行计算。对评判区域内出现的三角形或箭头形脆性区，其面

积按一半计算。

B.3.4 方法 C 适用于第Ⅲ类异常断口的评判，具体作法如下。

——从锤击侧扣除 1.5 倍壁厚、缺口根部扣除 5 mm，剩余区域作为断口的有效评判区域。

——有效评判区域内脆性区面积的计算：所有在评判区域内的脆性区均按实际面积计算，不连续的区域先独立计算，再累加。对评判区域内出现的三角形或箭头形脆性区，其面积按一半计算。

参 考 文 献

[1] GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法
[2] GB/T 3075 金属材料 疲劳试验 轴向力控制方法
[3] GB/T 4335 低碳钢冷轧薄板铁素体晶粒度测定法
[4] GB/T 6398 金属材料 疲劳试验 疲劳裂纹扩展方法
[5] GB/T 8650 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法
[6] GB/T 10561—2005 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法
[7] GB/T 15248 金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法
[8] GB/T 21143 金属材料 准静态断裂韧度的统一试验方法
[9] GB/T 34542.2 氢气储存输送系统 第2部分:金属材料与氢环境相容性试验方法
[10] ISO 6892-1 Metallic materials—Tensile testing—Part 1: Method of test at room temperature
[11] ISO 10893-10 Non-destructive testing of steel tubes—Part 10: Automated full peripheral ultrasonic testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections
[12] ISO 10893-11 Non-destructive testing of steel tubes—Part 11: Automated ultrasonic testing of the weld seam of welded steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections