

ICS

CCS [点击此处添加 CCS 号](#)



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

输氢管道焊接接头氢相容性试验方法

Testing method for hydrogen compatibility of welded joints of hydrogen pipelines

([点击此处添加与国际标准一致性程度的标识](#))

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 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..... III

1 范围.....4

2 规范性引用文件.....4

3 术语和定义.....4

4 符号.....5

5 通用要求.....6

6 试验方法..... 11

7 试验报告..... 12

8 附录 A （规范性附录）非金属管道焊接接头氢相容性测试与评定方法..... 14

9 附录 B （资料性附录）整管疲劳试验夹具..... 18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020给出的规则起草。

本文件由全国氢能标准化技术委员会（SAC/TC 309）提出并归口。

本文件起草单位：XXXX、XXXX、XXXX、XXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX。

输氢管道焊接接头氢相容性试验方法

1 范围

本文件适用于纯氢和掺氢输送管道的焊接接头氢相容性试验，包括焊接接头材料取样试验、焊接接头疲劳试验、含焊接接头的整管爆破试验和整管疲劳试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法

GB/T 6111 流体输送用热塑性塑料管道系统 耐内压性能的测定

GB/T 6398 金属材料 疲劳试验 疲劳裂纹扩展方法

GB/T 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管

GB/T 12459 钢制对焊管件 类型与参数

GB/T 15970.6 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第6部分：恒载荷或恒位移下的预裂纹试样的制备和应用

GB/T 19624 在用含缺陷压力容器安全评定

GB/T 19806 塑料管材和管件 聚乙烯电熔组件的挤压剥离试验

GB/T 19807 塑料管材和管件 聚乙烯管材和电熔管件 组合试件的制备

GB/T 19808 塑料管材和管件 公称外径大于或等于90 mm的聚乙烯电熔组件的拉伸剥离试验

GB/T 19810 聚乙烯（PE）管材和管件 热熔对接接头 拉伸强度和破坏形式的测定

GB/T 21143 金属材料 准静态断裂韧度的统一试验方法

GB/T 28896 金属材料 焊接接头准静态断裂韧度测定的试验方法

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

3 术语和定义

GB/T 29729 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

最大允许操作压力（MAOP） maximum allowable operating pressure

输氢管道在正常运行条件下允许连续操作的最大内部压力。

3.2

设计温度 design temperature

输氢管道在正常工作过程中，与设计压力相对应（同时作用）的管壁或管道元件可能达到的最高或最低温度。

3.3

管道内检测 (ILI) in-line inspection

通过驱动或推送可在管道内部运行的检测器（智能清管器），实时采集并记录管道几何形状、缺陷特性等信息，以评估管道本体状况的检测活动。

3.4

试验批次 test batch

为进行特定试验而划定的、具有充分一致性的材料或产品集合。对于母材，指出自同一生产厂家、具有相同材料牌号，且其屈服强度与抗拉强度的实际值变异小于5%的一批管材；对于焊接接头，指采用相同焊材牌号与焊接工艺规程施焊的一组焊接接头。

3.5

试验箱 test chamber

用于容纳高压气体，可在其内部对置于其中的试样进行力学性能测试的密闭容器。

3.6

内部测量装置 internal measuring equipment

安装于试验箱内部，用于直接测量试样在高压气体环境中承受的轴向力或变形的装置。

3.7

环境对比试验 environment reference test

为量化评价氢气环境对材料性能的潜在影响，在与氢气试验相同的温度、压力及加载速率等条件下，于大气环境、氮气环境或其他惰性气体环境中进行的平行对比材料性能试验。

3.8

规定最小屈服强度 specified minimum yield strength

管材标准规定的材料屈服强度的下限值。

4 符号

下列符号适用于本文件。

ΔK	——管道裂纹尖端的应力强度因子变化范围， $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$ ；
LT	——取样方向，裂纹面的法线沿管道的长度方向，预期的裂纹扩展方向为管道的切向方向[见图 1]；
TL	——取样方向，裂纹面的法线沿管道的切向方向，预期的裂纹扩展方向为管道的长度方向[见图 1]；
K_{iapp}	——采用恒力法或恒位移法初始施加在试样裂纹尖端的应力强度因子， $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$ 。

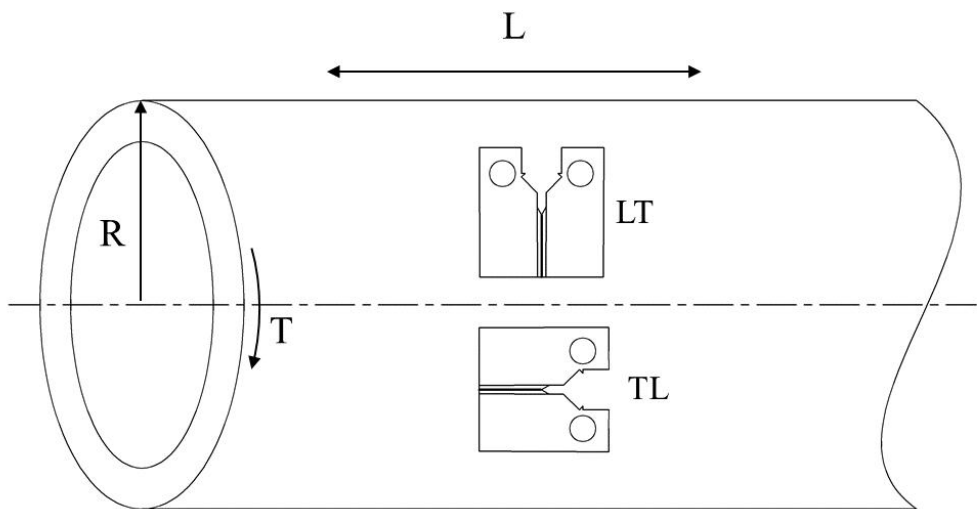


图 1 试样取样裂纹面方向示意图

标引序号说明：

L——管道的长度方向；

R——管道的径向方向；

T——管道的切向方向；

注 1：标注的第一个字母表示裂纹平面法向；

注 2：标注的第二个字母表示预期的裂纹扩展方向。

5 通用要求

5.1 总则

5.1.1 氢相容性评价所用管道和焊接接头应与实际管道材料牌号、批次、焊接工艺等保持一致，直接进行取样，对于已建管道，可在管道上直接取样或在换管作业中置换下的管道上进行取样。

5.1.2 应按图 2 中的要求开展试验。当管道壁厚大于等于 5 mm 时，应进行焊接接头材料取样试验（慢应变速率拉伸试验、疲劳裂纹扩展试验、断裂韧性试验）和焊接接头疲劳试验，单个取样位置的平行试样数为 3；当管道壁厚小于 5 mm 时，应进行整管氢气爆破试验和整管疲劳试验，每个试验批次中各个试验的平行试样数为 3。

5.1.3 当管道最大允许操作压力 MAOP 引起的环向应力低于管道材料最小屈服强度的 20%，且 MAOP 不超过 6.3 MPa 时，可免除开展焊接接头的氢相容性试验。

5.1.4 对于非金属管道焊接接头，应按照附录 A 的要求开展非金属焊接接头氢相容性评价。

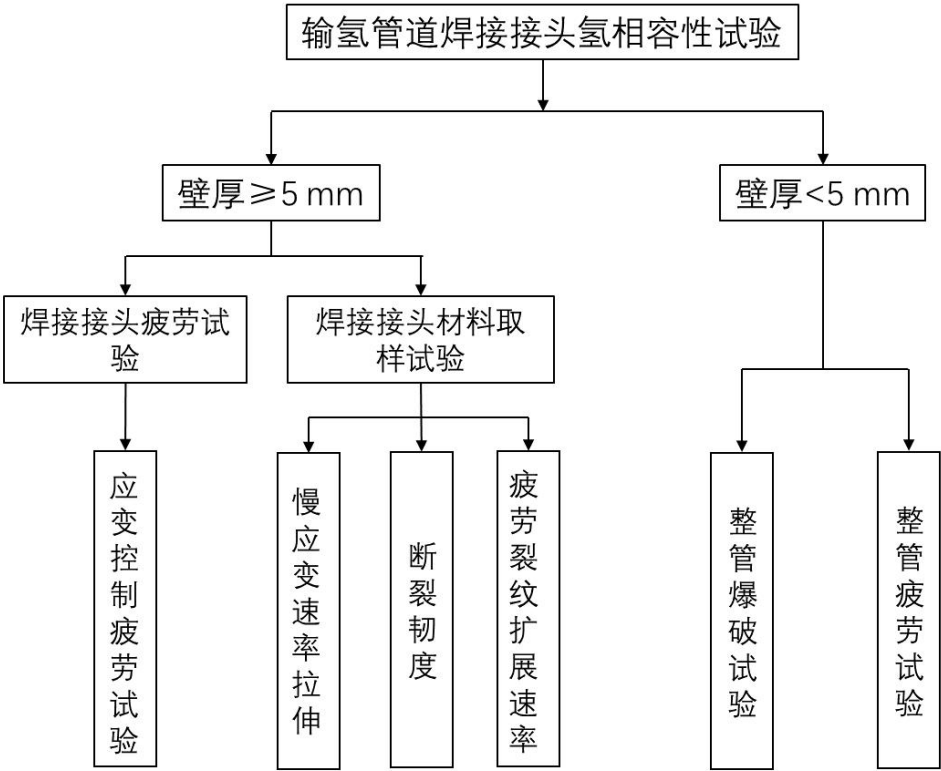


图 2 输氢管道焊接接头氢相容性试验流程

5.2 取样

5.2.1 焊接接头材料取样试验

焊接接头材料取样试验包括慢应变速率拉伸、疲劳裂纹扩展速率和断裂韧度试验，其中取样应满足以下要求：

- (a) 应对每一试验批次的管道焊缝分别开展测试。取样的位置应包含母材（BM）、热影响区（HAZ）以及焊缝（WM）；
- (b) 母材试样的取样位置应远离焊缝；
- (c) 取样位置应尽可能紧贴管道内壁。

5.2.1.1 慢应变速率拉伸试验

- 5.2.1.1.1 用于试验的光滑拉伸试样应符合 GB/T 228.1 中的相关要求。
- 5.2.1.1.2 标距段的粗糙度应小于 0.8 μm。
- 5.2.1.1.3 对于缺口拉伸试样，应满足 GB/T 34542.2 中的相关要求。
- 5.2.1.1.4 当选用缺口拉伸试样时，焊缝和热影响区试样缺口应分别开在焊缝和热影响区；当选用光滑拉伸试样时，焊缝试样标距段应包含焊缝、热影响区和母材，焊缝位置居中。
- 5.2.1.1.5 环焊缝取样位置示意图如图 3 a)：母材、热影响区和焊缝均宜选择横向方向取样，其中热影响区和焊缝取样位置宜间隔 180°。
- 5.2.1.1.6 螺旋焊缝取样位置示意图如图 4 a)：对于母材，宜选择横向取样；对于焊缝和热影响区，宜沿垂直于焊接方向取样。
- 5.2.1.1.7 直焊缝取样位置示意图如图 5 a)：对于母材，宜选择横向取样；对于焊缝和热影响区，宜选择纵向取样。

5.2.1.2 疲劳裂纹扩展速率和断裂韧性试验

5.2.1.2.1 推荐采用疲劳预制裂纹的紧凑拉伸试样，疲劳裂纹扩展速率和断裂韧性试样应分别符合 GB/T 6398 和 GB/T 21143 的要求。

5.2.1.2.2 试样的厚度宜大于管道壁厚的 85%。

5.2.1.2.3 断裂韧性试样建议采用开侧槽的紧凑拉伸试样；对于小尺寸的管道，可以采用弧形拉伸试样，试样应符合 ASTM E399 中的要求。

5.2.1.2.4 焊缝试样预制裂纹面应位于焊缝中心，热影响区试样预制裂纹面应位于热影响区。

5.2.1.2.5 环焊缝取样位置示意图如图 3 b)：对于母材，宜选择 TL 方向取样；对于焊缝和热影响区，宜选择 LT 方向取样，且宜分别从 0° 、 90° 或 270° 、 180° 位置取样。

5.2.1.2.6 螺旋焊缝取样位置示意图如图 4 b)：对于母材、宜选择 TL 方向取样；对于焊缝和热影响区，试样预制裂纹面法向宜垂直于焊接方向。

5.2.1.2.7 直焊缝取样位置示意图如图 5 b)：母材、热影响区和焊缝均宜选择 TL 方向取样。

5.2.2 焊接接头疲劳试验

焊接接头疲劳试验中取样应满足以下要求：

- 试样采用光滑疲劳试样，宜沿垂直于焊接方向取样，取样位置应紧贴焊缝根部；
- 环焊缝取样示意图如图 3 a)，宜分别从 0° 、 90° 或 270° 、 180° 位置取样；
- 螺旋焊缝和直焊缝取样示意图分别如图 4 a) 和 5 a)；
- 试样平行段直径应根据管道壁厚尽可能的大，试样平行段需包含焊缝、热影响区和母材，且平行段中母材区域的长度不应小于焊缝区域，焊缝位置应居中且标距段的粗糙度应小于 $0.8\ \mu\text{m}$ 。

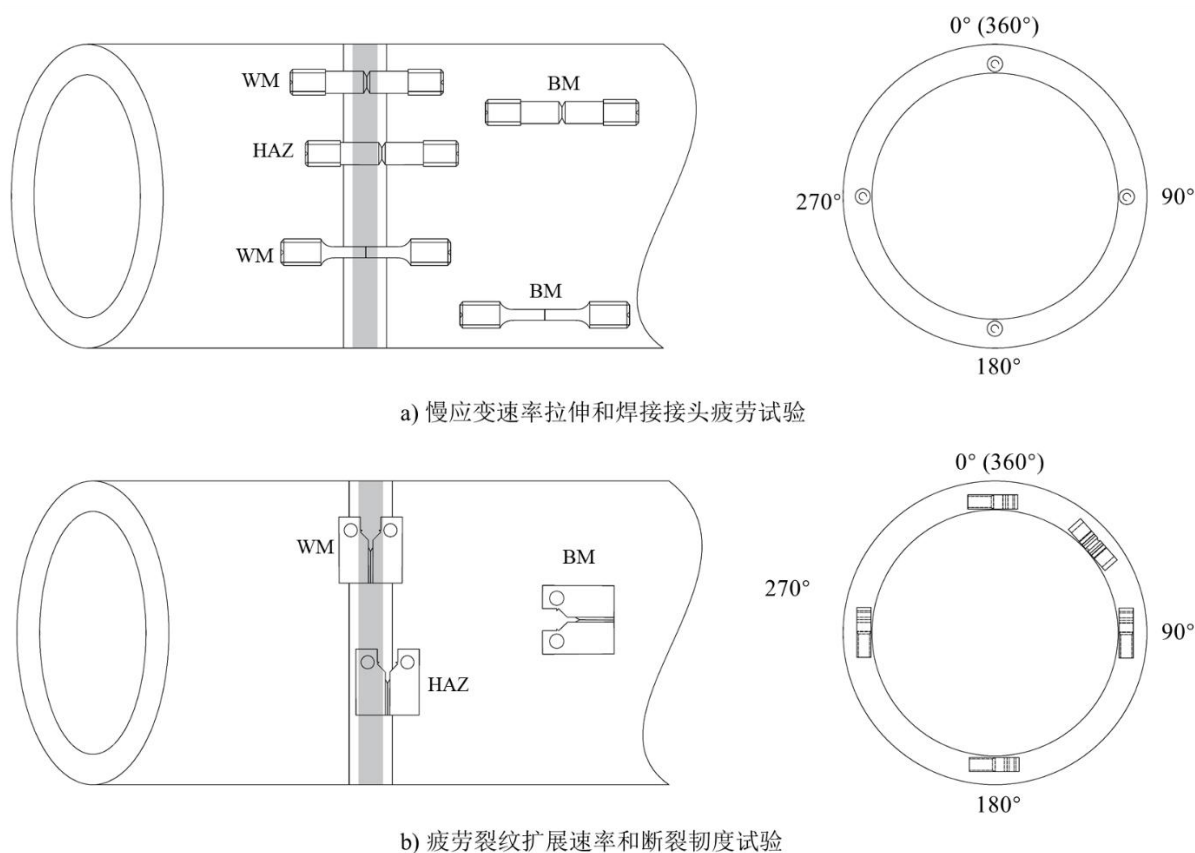
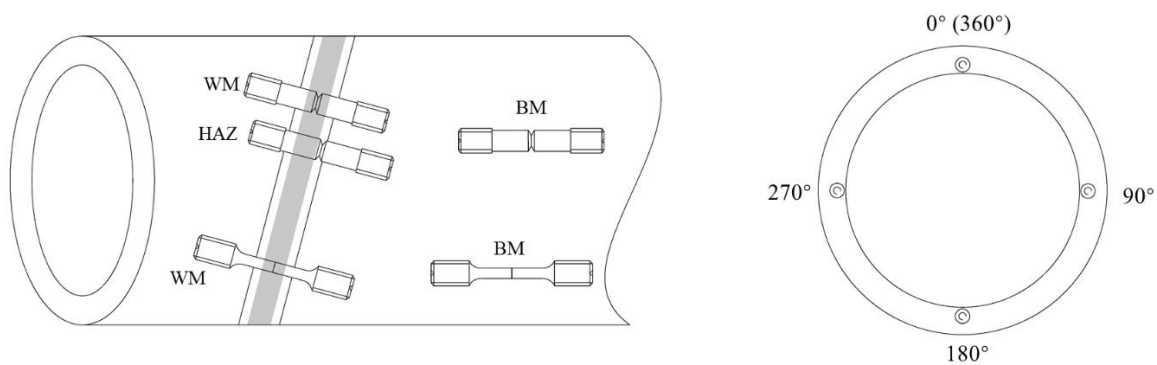
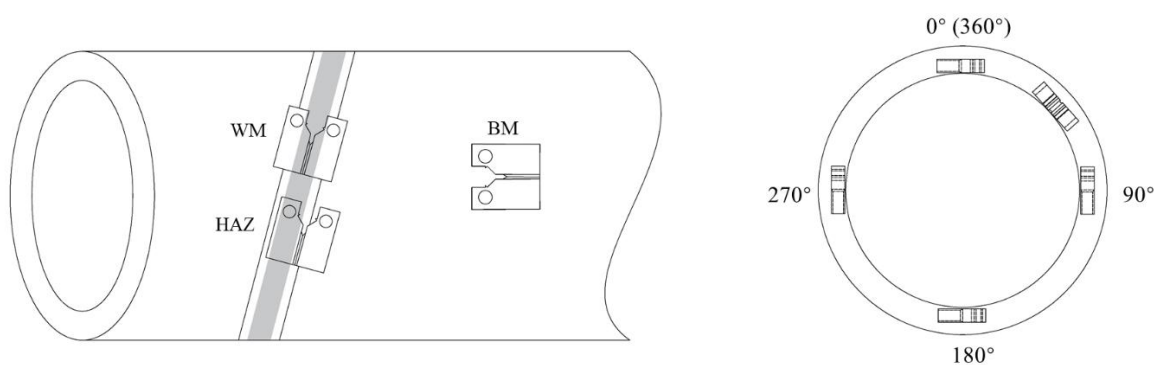


图 3 环焊缝管取样位置示意图

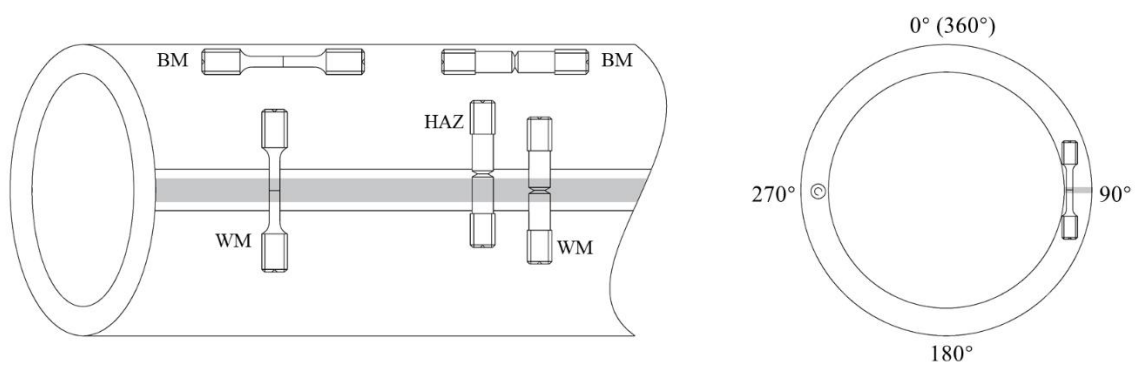


a) 慢应变速率拉伸和焊接接头疲劳试验

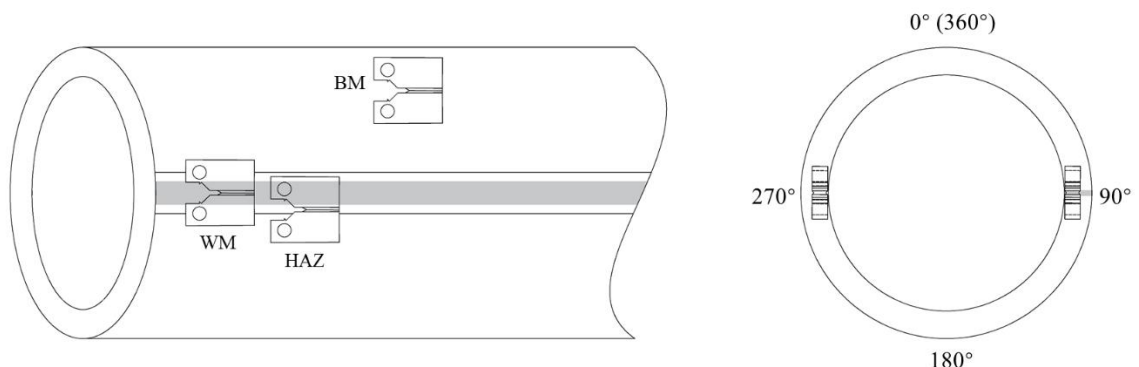


b) 疲劳裂纹扩展速率和断裂韧性试验

图 4 螺旋焊缝管取样位置示意图



a) 慢应变速率拉伸和焊接接头疲劳试验



b) 疲劳裂纹扩展速率和断裂韧性试验

图 5 直焊缝管取样位置示意图

5.2.3 整管氢气爆破和整管疲劳试验

整管氢气爆破和整管疲劳试验试样应满足以下要求：

- a) 直接从含焊接接头的管道上取一段管路，使焊接接头处于管道的中间位置，见图 6 所示；
- b) 应保证试样非夹持段的长度不小于管道直径的 10 倍。

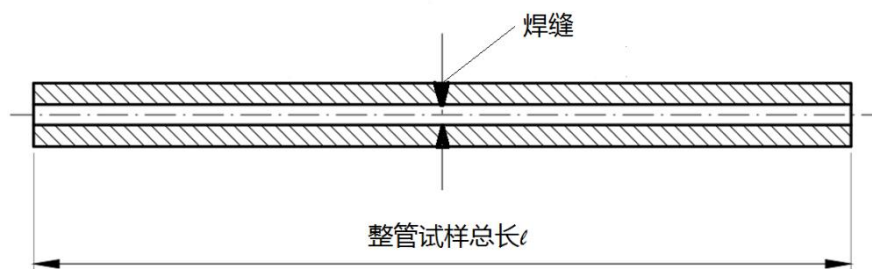


图 6 整管氢气爆破试样示意图

5.3 测试装置及测试环境

5.3.1 测试装置

测试装置应满足如下要求：

- (a) 焊接接头材料取样试验测试装置应满足 GB/T 34542.2 的要求；
- (b) 推荐采用内部载荷测量装置进行力的测量，应保证内部载荷传感器和引伸计等应变测试装置在高压氢气环境中的稳定性；当采用外部载荷测量装置时，应参照 GB/T 34542.2 的要求对测量值进行修正；
- (c) 装置的进气通道设置时应考虑混合气体试验环境中对多路进气入口的需求，且通道和环境箱设计应考虑后续加热脱气的便利性；
- (d) 整管疲劳试验中宜采用自紧式夹具，结构可参考附录 B；
- (e) 整管氢气爆破试验管道宜放置于露天环境，管道周围应设置防爆墙或其他阻隔装置，可将待测管件放置于氮气充斥的空间内；
- (f) 整管氢气爆破试验中，管道内部可以填充高密度聚乙烯等与轻质且与氢气不发生化学反应的材料；
- (g) 试验装置中，温度传感器应尽可能贴近试样，如无法与试样接触，应保证足够时间使试样本体达到预设温度。

5.3.2 测试环境

5.3.2.1 气体成分

氢相容性测试的气体成分应满足以下要求：

- a) 对于纯氢输送的管道，其试验气体应满足 GB/T 34542.2 的要求；
- b) 当使用非纯氢环境进行测试后，应对环境箱和管路进行充分的加热烘烤，应根据设备情况，在烘烤后对环境箱内气体进行取样分析，确定合适的烘烤程序和次数；
- c) 对于掺氢天然气管道，应根据管道实际服役时的气体组成确定测试的气体环境，其中二氧化碳与实际服役环境中的含量差值不超过 10%、硫化氢不低于实际气体中的含量或取组分规定上限（6mg/m³）、一氧化碳和氧气含量均不得超过 1 ppm。

5.3.2.2 气体置换

5.3.2.2.1 焊接接头材料取样试验、焊接接头疲劳试验和整管疲劳试验中，试验装置内部气体的置换应满足 GB/T 34542.2 的要求。

5.3.2.2.2 整管爆破试验和整管疲劳试验中置换应满足以下要求：

- a) 试验前,应用氮气或惰性气体置换试验系统和供氢管路系统,再用氢气置换。通入氢气前,应检测试验系统内氧气的体积分数,其值应小于或等于1%。置换结束时,试验系统内氧气的体积分数应小于或等于1 ppm,水的体积分数应小于或等于5 ppm;
- b) 通入试验气体前,应先对试验系统及供氢管路系统进行抽真空操作。直至系统真空度满足 $\leq 0.09\text{MPa}$ (绝对压力)的要求,且需在此真空条件下持续保持不少于 30 分钟;
- c) 氧气含量应按GB/T 28726或GB/T 6285的规定检测,水含量应按GB/T 5832.1或GB/T 5832.2的规定检测;
- d) 试验系统内氧气和水的含量在连续3次测试中均满足以上要求时,6个月内不需要检测试验系统内的氧气和水含量。

5.3.2.3 试验温度

实验温度应满足以下要求：

- (a) 试验温度应按照GB/T 34542.2的要求,选在材料预期工作温度范围内氢脆敏感度最高时的温度进行测试;
- (b) 输氢用管线钢推荐在室温下进行实验,但对于月平均最低气温低于 -10°C 的服役工况,除应在常温下开展测试研究外,还应在低温下开展材料的临氢环境断裂韧性测试,低温测试的试验温度应不高于管线通过地区当地最低环境温度。

5.3.2.4 试验压力

焊接接头材料取样试验、焊接接头疲劳试验和整管疲劳试验中氢气分压和气体总压均不得低于实际服役工况。

5.3.2.5 焊接接头材料取样试验和焊接接头疲劳试验的气体环境压力应满足 GB/T 34542.2 的要求。试验过程中,因温度变化或气体泄漏导致环境箱内压力降低超过试验压力的 5%时,可以对环境箱进行补压,但补压后应保证氢气、二氧化碳、硫化氢的含量不得低于服役工况中可能出现的最高浓度。

5.3.2.6 当采用环境箱中配气的方式进行试验时,在环境箱中压力达到设定压力后,在试验开始前至少应间隔 1 小时,且应保证同组对比试验中该间隔时间保持一致。

6 试验方法

6.1 焊接接头材料取样试验

6.1.1 慢应变速率拉伸测试

6.1.1.1 实验应采用恒位移速率加载,宜采用引伸计测量试样的变形。

6.1.1.2 对于光滑圆棒试样的标距段应变速率不应超过 $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$;对于缺口圆棒试样,以缺口为中心长度为 25.4 mm 的试样应变速率不应超过 $2 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ 。

6.1.2 疲劳裂纹扩展速率测试

6.1.2.1 疲劳裂纹扩展的测试流程应符合 GB/T 6398 的要求。

6.1.2.2 疲劳裂纹扩展实验中应力比 R 宜根据管道服役过程中可能出现的最大压力波动比来确定,但一般不超过 0.8;当采用 $R=0.1$ 开展试验时,相应试验数据用于疲劳寿命分析时,管道疲劳工况压力波动下限值和上限值的设定比值不得大于 0.1。

6.1.2.3 裂纹扩展测试的应力强度因子范围 ΔK ，宜根据管道服役过程中可能出现的疲劳载荷确定。相应试验数据用于疲劳寿命分析时，需确保试验的应力强度因子范围能够完整覆盖服役中可能涉及的应力强度因子范围。

6.1.2.4 疲劳裂纹扩展测试中加载频率不应大于 1 Hz，宜取 0.1~1 Hz。

6.1.3 断裂韧性测试

6.1.3.1 若采用紧凑拉伸测试，实验过程应符合 GB/T 21143 中的要求。

6.1.3.2 若采用弧形拉伸测试，实验过程应符合 ASTM E399 中的要求。

6.1.3.3 测试应采用恒位移速率加载，并以缺口张开位移或者试验机的横梁位移为控制量，加载速率应符合 GB/T 34542.2 中的要求。

6.1.3.4 对于碳钢，实验的加载速率应保证在线弹性区，应力强度因子速率宜控制在 $0.2 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}/\text{s}$ 以下。

6.2 焊接接头疲劳试验

6.2.1 试验采用应变控制，应变比为 0.1，宜在材料屈服开始的应变下开展焊接接头疲劳试验。

6.2.2 试验程序应满足 GB/T 15248 或 GB/T 26077 的相关要求。

6.2.3 加载波形应采用三角波或正弦波。

6.2.4 试验频率宜取 0.1~1 Hz。

6.3 整管氢气爆破试验

6.3.1 测试系统和试样中抽真空和气体置换后，检查试样温度变化情况，当试样温度达到预设温度后，对试样采用试验气体进行增压。

6.3.2 试样按照线性增压的方式增压至爆破，含氢气体试验和对比试验中气体升压速率应保持一致，升压速率应不高于 1 MPa/h。

6.3.3 试验过程中应记录升压曲线。

6.4 整管疲劳试验

6.4.1 试验采用应力控制，应力比为 0.1，宜在材料屈服开始的应变下开展整管疲劳试验。

6.4.2 试验所用夹具参见附录 B，试验程序应满足 GB/T 3075 的相关要求。

6.4.3 加载波形应采用三角波或正弦波。

6.4.4 试验频率宜取 0.1~1 Hz。

7 试验报告

试验报告至少应包括以下内容：

a) 试验条件

- 1) 材料牌号、规格、化学成分、热处理状态、焊接工艺参数（必要时）；
- 2) 试样取样位置、试样方位、结构尺寸、表面状态；
- 3) 气体纯度、试验温度、试验压力；
- 4) 试验箱温度-时间曲线、压力-时间曲线。

b) 试验参数：

- 1) 慢应变速率拉伸试验：应变速率；
- 2) 疲劳裂纹扩展速率试验：预制裂纹结束时的应力强度因子范围、力值比、裂纹长度及其测量方法，试验时的载荷幅值、力值比、波形、频率；

- 3) 断裂韧性试验：位移速率，位移控制方法；
 - 4) 焊接接头疲劳试验：加载波形、频率、应变比；
 - 5) 整管氢气爆破试验：升压速率。
- c) 试验结果：
- 1) 慢应变速率拉伸试验：应力-应变曲线，屈服强度，抗拉强度、断后伸长率和断面收缩率；
 - 2) 疲劳裂纹扩展速率试验：裂纹扩展速率与应力强度因子范围的关系曲线；
 - 3) 断裂韧性试验：断裂韧性值；
 - 4) 焊接接头疲劳试验：应变-疲劳曲线，疲劳裂纹启裂位置和扩展路径；
 - 5) 整管氢气爆破试验：破口形貌和区域，破口与焊缝的相对位置，爆破压力。

附录 A

(规范性)

非金属管道焊接接头氢相容性测试与评定方法

A.1 概述

本附录规定了非金属管道焊接接头氢相容性测试与评定方法,包括非金属管道电熔焊接接头与非金属管道热熔焊接接头。

A.2 一般要求

A.2.1 开展非金属管道焊接接头氢相容测试前应对焊接接头开展检测并进行安全评定。焊接接头检测宜按照GB/T 29461标准规定的超声检测方法执行,焊接接头评定应按照GB/T 29460标准规定的方法。

A.2.2 非金属管道焊接接头氢相容性测试主要包括氢渗漏试验和氢气静压试验。当焊接接头为电熔接头且管道公称外径 $d_n < 90$ mm时,还应开展挤压剥离试验;当焊接接头为电熔接头且管道公称外径 $d_n \geq 90$ mm时,还应开展拉伸剥离试验;当焊接接头为热熔接头时,还应开展拉伸强度试验。

A.3 挤压剥离试验 ($d_n < 90$ mm)

A.3.1 试样

用于非金属电熔焊接接头挤压剥离试验的试样应符合GB/T 19806中的相关要求。

试样应从由一个或多个管材和一个承口或鞍形管件连接组成的组件上截取,试样应按照GB/T 19807制备。

A.3.2 试验参数设定

非金属管道电熔焊接接头挤压剥离测试流程应符合GB/T 19806的要求。

试验前应将试样放置于管道设计压力的氢气环境中静置不少于 t_0 小时,静置后试样应在 $1/4t_0$ 小时内完成试验。时间 t_0 可通过如下公式进行计算 $t_0 = 0.8e^2$,其中 e 为管道壁厚,单位为mm。

A.4 拉伸剥离试验 ($d_n \geq 90$ mm)

A.4.1 试样

用于非金属电熔焊接接头拉伸剥离试验的试样应符合GB/T 19808中的相关要求。

A.4.2 试验参数设定

非金属电熔焊接接头拉伸剥离试验流程应符合GB/T 19808的要求。

试验前应将试样放置于管道设计压力的氢气环境中静置不少于 t_0 小时,静置后试样应在 $1/4t_0$ 小时内完成试验。时间 t_0 可通过如下公式进行计算 $t_0 = 0.8e^2$,其中 e 为管道壁厚,单位为mm。

A.5 拉伸强度试验

A.5.1 试样

用于非金属热熔焊接接头拉伸强度试验的试样应符合GB/T 19810中的相关要求。

A.5.2 试验参数设定

非金属热熔焊接接头拉伸强度试验流程应符合GB/T 19810的要求。

试验前应将试样放置于管道设计压力的氢气环境中静置不少于 t_0 小时,静置后试样应在 $1/4t_0$ 小时内完成试验。时间 t_0 可通过如下公式进行计算 $t_0 = 0.8e^2$,其中 e 为管道壁厚,单位为mm。

A.6 氢渗漏试验

A.6.1 试样

采用含有焊接接头的非金属输氢管道作为试样，试样总长度应不小于管道公称直径的5倍且不宜小于1.0 m，焊接接头应位于试样中间位置且焊缝中心距试样两端密封面的长度应为管道公称直径的2倍以上。试验前，试样焊接接头应经无损检测，并经评定合格。

A. 6.2 试验方法

A. 6.2.1 氢渗漏试验前应对试样进行放气预处理。

A. 6.2.2 试样两端密封后放入真空腔中，试样一端的密封封头应设有接口与供氢管路连接。启动真空泵，对试样内部和真空腔进行抽真空，抽真空后试样内部和真空腔内压力应不高于 50 Pa。

A. 6.2.3 置换合格后，向试样内部充入氢气直至试达到试验压力，开始计时。

A. 6.2.4 试验过程中连续监测并记录真空腔内因氢气渗漏引起的压力或氢气浓度变化，获得压力-时间曲线或氢气浓度-时间曲线。

A. 6.2.5 持续试验直至曲线呈直线状，即达到渗漏平衡。

A. 6.2.6 如试验过程中曲线出现突然上升，应中止试验，检查并排除密封泄漏后重新试验。

A. 6.3 试验装置

A. 6.3.1 管道氢渗漏试验装置宜置于通风良好的露天或专用场所，周围应设安全防护措施。

A. 6.3.2 管道氢渗漏试验中，试样内部可填充与氢气相容的惰性多孔材料。

A. 6.3.3 管道氢渗漏试验装置应具备温度控制功能，试验过程中温度传感器记录温度与设定值的偏差不宜超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

A. 6.3.4 管道氢渗漏试验装置应具备密封性能快速检测功能，安装试样抽真空后，宜采用灵敏检漏方法确认关键部位的漏率不高于 $4.2 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

A. 6.3.5 当采用压力传感器时，其量程宜为预计平衡压力的 2 倍，分辨率应优于满量程的 1%。

A. 6.3.6 压力传感器或氢气浓度传感器的数据采集频率应不低于 1 Hz。

A. 6.4 试验环境

A. 6.4.1 管道氢渗漏试验装置内部气体的置换应满足 GB/T 34542.2 和本文件 5.3.2.2 的要求。

A. 6.4.2 管道氢渗漏试验宜在试验温度 $(23 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(50 \pm 10)\%$ 环境下进行。当非金属管道设计温度高于 40°C ，还应进行不低于该设计温度的氢渗透试验。

A. 6.4.3 试验时试样内部氢气分压和总压应分别不低于实际服役工况的最高氢气分压和总压。试验过程中不得补压

A. 6.5 试验结果计算

管道氢渗漏速率按以下公式计算：

$$Q = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times \frac{V}{RT} \times \frac{1}{pL}$$

式中：

L —试验试样的长度，单位为 m；

Q —管道氢渗漏速率，单位为摩尔每米秒帕 $[\text{mol}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})]$ ；

$\Delta P/\Delta t$ —试验过程中渗漏达到平衡时的曲线斜率，单位为 Pa/s；

V —真空腔容积，单位为 m^3 ；

R —摩尔气体常数， $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ；

T —试验温度，单位为 K；

p —试验压力，单位为 Pa。

若采用氢浓度传感器，可直接绘制氢浓度-时间曲线，并计算得到管道的氢渗漏速率。

A. 6. 6 试验报告

试验报告应包括：

- a) 注明引用本标准；
- b) 试样原材料名称、规格及焊接工艺；
- c) 试样编号、尺寸（如长度、外径、内径等）、焊接接头位置、外观质量及数量；
- d) 试验温度、相对湿度、试验压力；
- e) 试验装置型号、真空腔容积；
- f) 试验结果：压力-时间曲线或氢浓度-时间曲线，最大氢渗漏速率；
- g) 试验日期；
- h) 其他必要信息。

A. 7 氢气静压试验

A. 7. 1 试样

采用含有焊接接头的非金属管道作为试样。试样总长度应不小于管道公称直径的5倍，焊接接头应处于试样中间位置，焊缝中心距试样两端的长度均不应小于管道公称直径的2倍。试验前，试样焊接接头应经无损检测，并经评定合格。

A. 7. 2 试验方法

A. 7. 2. 1 管道试样应参照 GB/T 6111 的规定进行状态调节。状态调节后，在试样两端安装密封封头，并将试样完全浸没于恒温水箱中。启动恒温水箱，将温度设定并维持在规定的试验温度。

A. 7. 2. 2 对测试系统和试样内部进行气体置换，气体置换后检查试样温度，当试样温度达到试验温度后，向试样内部均匀平稳地充入试验气体，使内部压力以不高于 1 MPa/h 的速率增压至规定的试验压力。从压力达到试验压力的时刻开始计时。

A. 7. 2. 3 在试验期间，应维持试样内部压力为试验压力，水箱温度为试验温度，直至达到规定试验时间或试样发生破坏。记录试验总时间。若试样发生破坏，应记录其破坏位置和破坏类型。

A. 7. 2. 4 若试样破坏位置距任一端密封接头的距离小于试样自由段长度的 1/10，则该次试验结果无效。

A. 7. 3 试验装置

A. 7. 3. 1 管道氢气静压试验装置宜放置于露天环境或专用防爆试验室。装置周围应设置可靠的防爆墙或其他安全阻隔设施。

A. 7. 3. 2 试样两端应安装密封接头。该接头应能有效密封试样端部，并与加压系统可靠连接。

A. 7. 3. 3 试样应完全浸没于恒温水箱中。水箱应能保持温度均匀稳定，在试样区域的平均温度与设定试验温度的偏差不应超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

A. 7. 3. 4 试样在恒温水箱中的支承或吊架应确保试样之间、以及试样与水箱内壁之间不发生接触，以免影响试验结果。

A. 7. 3. 5 加压装置应向试样内部持续、均匀地施加并保持压力。在整个试验保压阶段，压力波动应保持在试验压力值的 -1% 至 $+2\%$ 的范围内。

A. 7. 3. 6 试验时，管道试样内部允许填充与氢气不发生化学反应的惰性、多孔材料。

A. 7. 3. 7 试验装置应能自动记录从升压开始到试验结束全过程的压力-时间曲线。

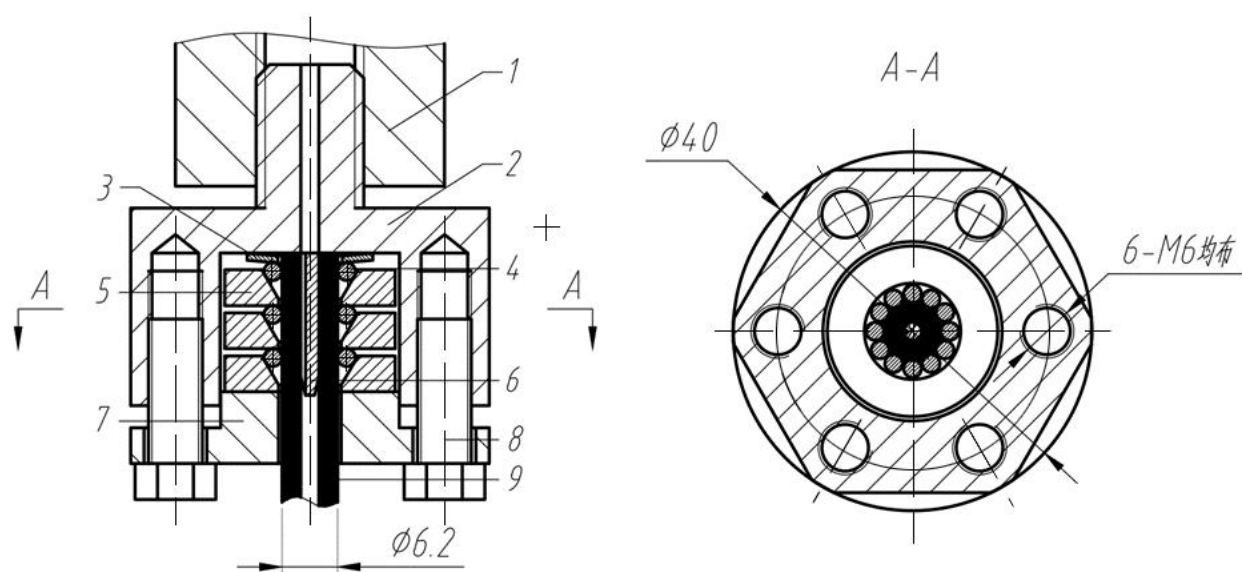
A. 7. 4 试验条件

- A. 7. 4. 1 试验装置及试样内部的气体置换应符合 GB/T 34542.2 及本文件 5.3.2.2 的要求。
- A. 7. 4. 2 管道氢气静压试验温度宜参照 GB/T 15558.3 的要求，选择常用的非金属管道及管件静液压强度试验温度进行试验。
- A. 7. 4. 3 管道氢气静压试验压力宜参照 GB/T 15558.3 的静液压强度试验环应力要求，根据试样尺寸与环应力计算得到氢气静压试验压力。
- A. 7. 4. 4 非金属管道焊接接头氢气静压试验应至少包括以下 3 组试验参数：
- a) 试验温度20℃、试验时间100 h、试验环应力12.0 MPa；
 - b) 试验温度80℃、试验时间165 h、试验环应力5.4 MPa；
 - c) 试验温度20℃、试验时间100 h、试验环应力5.0 MPa。
- A. 7. 4. 5 试验过程中因温度变化或气体泄漏导致管道试样内压力降低超过试验压力的 1%时，可以对管道试样内进行补压，补压后保证管道试样内压力不超过试验压力的 2%。
- A. 7. 5 试验报告

试验报告应包括以下信息：

- a) 注明引用本标准；
- b) 原材料名称、规格型号及焊接工艺参数（必要时）；
- c) 试样编号、尺寸（直径、壁厚、长度）、焊接接头位置、外观质量及数量；
- d) 试验温度、试验压力；
- e) 试验装置型号；
- f) 压力-时间曲线；
- g) 如发生破坏，记录破坏位置、破坏类型及其他特征；
- h) 试验期间及试验后观察到的现象；
- i) 试验日期；
- j) 其他必要信息。

附录 B （资料性） 整管疲劳试验夹具



1—加载杆螺纹连接装置 2—夹头座 3—碟形弹簧 4—轴承钢球 5—压板

6—金属塞头 7—压紧法兰 8—螺栓 9—钢管试样