

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

氢系统泄漏率测试方法

Test methods for leak rate of hydrogen systems

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

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 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 检测仪器仪表与设备 2

5 氢系统泄漏的通用检测方法 5

6 密闭空间采用氢气浓度传感器对氢系统泄漏率进行检测的方法 6

7 密封舱条件下使用质谱仪检测泄漏率的方法 8

8 开放空间条件下使用吸枪检测泄漏率的方法 9

9 输氢管路和场站用的氢泄漏检测方法 10

10 用氢氮混合气检测氢泄漏率的转换方法 12

附 录 A （规范性） 移动氢系统泄漏率检测方法应用指南 13

附 录 B （资料性） 氢系统组装后泄漏率检测—车载高压氢系统 15

附 录 C （资料性） 氢气检测胶带法应用指南 17

附 录 D （资料性） 密闭空间内氢系统泄漏检测—车载氢系统 20

附 录 E （资料性） 密封舱内使用质谱仪检测—小型氢系统 22

附 录 F （资料性） 开放空间内使用吸枪进行氢系统泄漏率检测—瓶式集装箱 25

附 录 G （资料性） 氢用管道系统泄漏检测应用指南 26

附 录 H （资料性） 输氢管道噪声区域、探测器报警阈值与检测范围分类 28

附 录 I （规范性） 氢氮泄漏率转换方法 29

附 录 J （资料性） 氢氮混合气制备的压力配比法 32

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由全国氢能标准化技术委员会（SAC/TC309）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

氢系统泄漏率测试方法

1 范围

本文件规定了用于氢系统制造、安装和使用过程中的氢泄露率检测方法及输氢管路和场站安装、运行阶段的氢泄漏检测、监测方法。

本文件不适用于安装于车辆、设备或建筑等空间内的作为氢气泄漏报警系统使用在线氢气传感器进行的氢泄漏检测。

检测方法应用指南见附录A和附录F。

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 30431-2020 实验室气相色谱仪

GB/T 13979-2008 质谱检漏仪

NB/T 47013.8-2012 承压设备无损检测 第8部分：泄漏检测

GB/T 15823-2009 无损检测 氢泄漏检测方法

JJF078-2023 激光甲烷遥测仪校准规范

JJG 693-2011 可燃气体检测报警器检定规程

SY/T 7820-2024 输氢管道工程设计规范

GB 50516-2021 加氢站技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

氢气管道 gaseous hydrogen piping and pipelines

输送气态氢气及氢气混合物的管道。

注：文件中的氢气管道包括：氢气工业管道、氢气长输管道及氢气公用管道。

[来源：GB/T 20801.5—2025]

3.2

氢气工业管道 gaseous hydrogen industrial piping

各类工艺装置、氢气站、供氢站及其他设施中输送工业氢气介质的管道。

注：工业氢气是指满足GB/T 3634.1—2006中表1要求的氢气介质。

[来源：GB/T 20801.5—2025]

3.3

氢气长输管道 gaseous hydrogen transmission pipelines

在产地、储库和用户间的用于输送氢气或掺氢气体的输气管道。

[来源：GB/T 20801.5—2025]

3.4

氢气公用管道 gaseous hydrogen utility pipelines

城市或乡镇范围内由氢气厂站至城镇用户之间或者氢气厂站间输送氢气或掺氢介质并用于公用事业或民用的燃气管道及其线路阀室、调压设施等附属设施管道。

[来源：GB/T 20801.5—2025]

4 检测仪器仪表与设备

4.1 检测仪

4.1.1 便携泵吸式氢气泄漏检测仪

- a) 分辨率应小于或等于1 mL/m³;
- b) 最小检测浓度应小于或等于100 mL/m³;
- c) 应定期进行检定或校准, 检定或校准周期应符合有关规定。

4.1.2 氢色谱分析仪

a) 用于检测环境箱、密封舱等密闭空间内的氢气浓度。通过设定程序抽取密闭空间内的气体样品, 经预处理后进入氢色谱分析仪进行分析检测;

- b) 应满足GB/T 30431中的技术要求;
- c) 检漏灵敏度应小于或等于被检氢系统漏率要求的十分之一;
- d) 应定期进行检定或校准, 检定或校准周期应符合有关规定。

4.1.3 氢质谱仪

a) 利用氢气作为示踪气体, 结合质谱分析技术检测密闭系统或设备微小泄漏, 能够通过电离气体分子并分析其质荷比, 精准识别氢气浓度变化, 从而定位泄漏点;

- b) 氢质谱检漏仪应满足GB/T 13979中的技术要求;
- c) 检测下限应不高于 $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$;
- d) 应定期进行检定或校准, 检定或校准周期应符合有关规定。

4.1.4 氦质谱仪

a) 应能对微量示踪氦气进行感应和测量, 并通过检测仪器自身或连接的仪表来指示泄漏;

- b) 氦质谱检漏仪应满足GB/T 13979中的技术要求;
- c) 检测下限应不高于 $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$;
- d) 应定期进行检定或校准, 检定或校准周期应符合有关规定。

4.1.5 固定点式氢气探测器

将环境中氢气的浓度转换为电信号的电子设备。固定点式氢气探测器主要包括催化燃烧式、电化学式等。

- a) 催化燃烧式分辨率: $\leq 1\%LEL$; 电化学式分辨率: $\leq 1ppm$;
- b) 催化燃烧式检测限: $\leq 5\%LEL$; 电化学式检测限: $\leq 10ppm$;
- c) 精度: $\leq \pm 5\%FS$;
- d) 校验周期: ≤ 1 年。

注: 掺氢工况, 采用催化燃烧原理测量时, 测量值不能真实反应当前氢气的浓度。

4.1.6 对射式气体探测器

一种开放式、用于检测直线路径中可燃气体(如甲烷)或有毒气体(硫化氢)云团的气体探测器。

- a) 分辨率: $\leq 1\%LEL.m$;
- b) 检测限: $\leq 5\%LEL.m$;
- c) 精度: $\leq \pm 10\%FS$;
- d) 校验周期: ≤ 1 年。

注: 现有技术条件下尚无法直接测量氢气, 仅可用于间接检测; 针对激光原理对射式探测器仅能用于掺氢工况下间接检测。

4.1.7 云台扫描式激光甲烷探测器

通过可调谐激光吸收光谱技术对可燃气体浓度进行检测, 安装于可以旋转的云台上, 可进行 360° 水平旋转或一定角度内的垂直范围检测, 通常用于检测大范围区域内的甲烷泄漏。

- a) 分辨率: $\leq 0.05LEL.m$;
- b) 检测限: $\leq 0.1LEL.m$;
- c) 精度: $\leq \pm 10\%FS$;
- d) 校验周期: ≤ 1 年。

注: 现有技术条件下无法直接测量纯氢, 仅用于间接检测, 可用于掺氢测量。

4.1.8 超声型气体探测器

一种通过检测气体泄漏造成的声波异常的气体探测器。

- a) 分辨率: $\leq 1db$
- b) 检测限: $\leq 40db$;
- c) 精度: $\leq \pm 3db$;
- d) 校验周期: ≤ 1 年。

注: 对泄漏介质无选择性, 无法直接区分泄漏介质。

4.1.9 红外热成像型气体探测器

一种通过接收物体发出的红外线, 进行热像显示并可以检测空间的温度分布及变化情况的探测器。

- a) 温度分辨率: $\leq 0.05^\circ C$;
- b) 检测限: $\leq 0.1LEL.m$;
- c) 精度: $\leq \pm 2\%$;
- d) 校验周期: ≤ 1 年。

4.1.10 次声波传感器

用于监测由氢气管道泄漏产生的低频声波信号(频率低于 $20Hz$), 通过捕捉和分析次声特征, 实现对管道气体泄漏的识别与预警。

- a) 分辨率: $\leq 1db$

- b) 检测限: $\leq 40\text{db}$;
- c) 精度: $\leq \pm 3\text{db}$;
- d) 校验周期: ≤ 1 年。

注: 对泄漏介质无选择性, 无法直接区分泄漏介质。

4.1.11 光纤氢传感器

通过在光纤结构中引入氢敏材料, 利用其在氢气环境下的光学特性变化(如波长、光强、相位或偏振等)实现氢气浓度检测。

- a) 分辨率: $\leq 1\text{ppm}$;
- b) 检测限: $\leq 1\text{ppm}$;
- c) 精度: $\leq \pm 5\%\text{FS}$;
- d) 校验周期: ≤ 1 年。

4.2 其他检测用仪器仪表

4.2.1 标准漏孔

a) 毛细管型标准漏孔——应是使示踪气体透过局部拉细管子的毛细管型漏孔, 具有 $1 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \sim 1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 的泄漏率, 并应校准合格;

b) 渗透型标准漏孔——应是经过熔制并已校准的玻璃或石英的渗透型漏孔, 具有 $1 \times 10^{-11} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \sim 1 \times 10^{-7} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 的泄漏率, 并应校准合格。

4.2.2 压力测量仪表

压力测量仪表的量程应为系统气密性试验压力的1.5倍~3倍。用于校准的压力表的精度等级应不低于0.4级, 试验用压力表的精度等级应不低于1.6级, 压力变送器(或可输出压力信号的数字式压力表)的精度等级应不低于0.5级。

4.2.3 真空测量仪表

真空机组出口端应设置真空测量仪表。检测舱距离真空机组远端应设置一只真空测量仪表, 其安装位置应能真实反映检测舱内的真空压力。真空测量仪表的漏率应低于 $1 \times 10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, 其类型和测量范围应满足氦质谱检漏仪的测试要求。

4.2.4 温度测量仪表

4.2.4.1 温度测量仪表应经检定或校准合格后方可使用, 且其检定/校准状态应在有效期内。

4.2.4.2 温度测量仪表的量程应覆盖检测过程中可能出现的最高与最低温度, 量程宜为预期温度范围的2倍以内。

4.2.4.3 温度测量仪表的准确度等级不应低于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

4.2.4.4 使用期间, 温度测量仪表应至少每12个月进行一次检定或校准; 若在使用过程中发现读数漂移、异常波动或超过允许误差, 应重新检定或校准。

4.2.4.5 温度测量点应布置在能真实反映氢系统温度变化的位置, 且应避免靠近加热源、冷却源或管道接头等可能造成局部温度异常的位置。

4.2.4.6 如采用多个温度测量点, 应优先使用具有记录功能的数据采集系统, 以提高温度监测的连续性与可追溯性。

4.3 环境箱

在密闭空间内形成极限环境条件的检测设备，可用于氢系统的环境模拟试验。除可进行高、低温及温湿度交变等常规环境模拟外，还应具备高原（低气压）环境模拟功能。设备应配备防爆安全系统、氢气预冷系统、新风系统、安全检测系统及高原模拟系统等。

4.4 密封舱

指检测舱或真空舱等可以形成可密封空间的试验舱（箱）。检测舱可以是圆筒舱或方舱，真空舱一般为圆筒形舱。

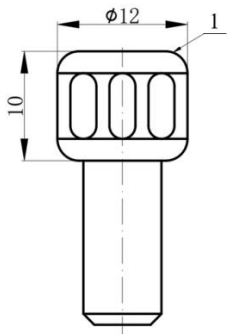
5 氢系统泄漏的通用检测方法

5.1 便携泵吸式氢气泄漏检测仪检测法

5.1.1 在规定压力下，使用便携泵吸式氢气泄漏检测仪对氢系统的部件、连接管路接头及其他可能出现泄漏部位进行氢泄漏检测。

5.1.2 检测时应将探测头置于待检部位上方大约10 mm的位置，如氢气检测仪上安装了如图1所示的探测头护罩，则将探测头的护罩端部轻轻接触受试气瓶的待检部位。检测持续时间不少于10 s。

单位为毫米



标引序号说明：

1——端部。

图 1 探测头护罩示意图

5.2 浸水法

5.2.1 采用氮气，将受试氢系统加压至规定试验压力。

5.2.2 将氢系统浸入水槽中，系统最高处距水面不小于5cm，浸水时间不少于1min或规定时间，保压过程中目视检查各连接处是否存在泄漏。因装配引起的泄漏，应排除泄漏后重做试验。

5.3 涂液法

5.3.1 应使用专用检漏液。检漏液应能够在微小泄漏处迅速生成细腻且易辨识的气泡，适用于氢系统连接点、阀门、接头等部位的低流量泄漏检测。检漏液的使用温度范围应覆盖-50℃~85℃，在低温条件下不应结冰，高温条件下应保持稳定，并且不应与不锈钢等金属材料产生腐蚀。

5.3.2 选用氮气，将受试氢系统加压至规定试验压力。

5.3.3 在氢系统待查部位涂上检验液，涂液保持时间不少于1min或规定时间，保压过程中目视涂液部位是否存在泄漏。因装配引起的泄漏，应排除泄漏后重做试验。

5.4 压降法

- 5.4.1 应采用合适的试验介质将氢系统缓慢升压至规定的试验压力。
- 5.4.2 当系统达到规定的试验压力并稳定1min后，记录系统压力并开始保压。
- 5.4.3 保压时间不少于30min，保压结束后再次记录系统压力值。
- 5.4.4 根据保压过程的压力变化情况，判定系统是否存在泄漏。

5.5 氢气检测胶带法

将氢气检测胶带粘贴于氢系统可能存在泄漏的连接部位，观察胶带是否发生变色，以判断该位置是否存在泄漏。该方法可作为辅助手段，用于泄漏位置的检测与确认。

以上方法的典型应用场景参见附录 A。其中 5.1 和 5.3 应用于车载高压氢系统泄漏检测时的操作和程序参见附录 B。5.5 的应用指南见附录 C。

6 密闭空间采用氢气浓度传感器对氢系统泄漏率进行检测的方法

该方法通过在密闭空间内布置氢气浓度传感器检测氢系统泄漏。

6.1 常温条件下氢泄漏率检测方法

6.1.1 试验准备

- a) 试验系统应按照制造商要求加注氢气至公称工作压力状态；
- b) 试验在 25 °C±5 °C下进行。

6.1.2 密闭空间要求

- a) 密闭空间的尺寸要求：内部长度不应超过被测系统的长度 1m；内部宽度不应超过系统的宽度 1 m；内部高度不应超过系统的高度 0.5 m；
- b) 密闭空间的空气交换速率要求：氢系统处于静态时的氢气泄漏试验，每小时的空气交换率不应大于 0.03；
- c) 密闭空间的机械通风装置位置要求：机械通风装置的进出风口与各氢气浓度传感器的距离大于或等于 1 m；
- d) 密闭空间内氢气浓度传感器位置要求：在密闭空间顶面两侧各均匀布置至少 3 个，顶部几何中心布置 1 个，总共不少于 7 个，见图 2。

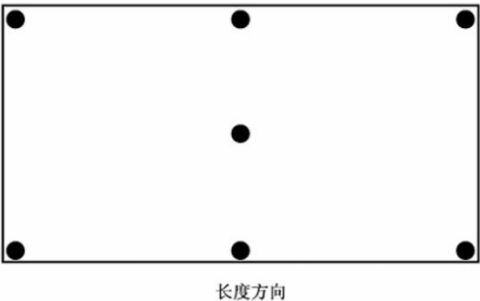


图 2 密闭空间内氢气浓度传感器位置示意图（俯视图）

6.1.3 试验程序

6.1.3.1 一般要求

该试验是为了检验氢系统放在无机械通风的密闭空间（每小时空气交换率不大于 0.03）内的氢气泄漏情况。试验过程中，若任一位置的氢气体积浓度达到 0.4%时，应发出报警信号；当浓度超过 1%时，应立即停止试验，并开启通风。

6.1.3.2 氢泄漏检测

试验持续至少 8h，采样频率至少为 1Hz，试验步骤如下：

- a) 系统进入密闭空间后，停机并在规定的环境条件下静置 12h；
- b) 静置完成后，检查环境和试验舱内的氢气浓度，当仪器显示氢气浓度趋近于为 0ml/m³ 时，关闭密闭空间，并开始记录氢气浓度传感器数据；
- c) 方法应用及具体操作程序参见附录 D.1。

6.2 考虑系统工作温度影响的泄漏率检测方法

6.2.1 试验条件

试验应在表 1 中条件下进行，且在该温度静置足够时间以确保系统整体温度稳定：

表 1 试验温度/压力条件

温度	试验压力
最低环境温度	额定充氢压力
室温（20 ⁺¹⁰ ₋₅ ）℃	额定充氢压力
最高工作温度（注）	最高温升压力

6.2.2 试验方法

- a) 将系统置于密闭空间内，并将密闭空间与气体检测仪器（如质谱仪、氢色谱仪等）相连；
- b) 按照规定的试验条件进行试验，通过气体检测仪器记录整个过程的检测结果；
- c) 方法应用及具体操作程序参见附录 D.2。

注：系统采用水浴等加热方式达到的最高工作温度。

6.3 使用环境舱检测泄漏率的方法

该方法通过在环境舱的密闭空间内布置氢气浓度传感器，检测极限环境下氢系统泄漏率。

6.3.1 试验条件

试验应在环境箱内设置以下环境（或组合）条件下进行：

- a) 低温环境；
- b) 高温湿热环境；
- c) 高原环境。

对环境舱的密闭空间要求可参考 6.1.2。

6.3.2 试验程序

6.3.2.1 一般要求

使用环境箱在设定的极限环境下进行检测, 试验过程中, 若任一位置的氢气体积浓度达到 0.4% 时, 应发出报警信号; 当浓度超过 1% 时, 应立即停止试验, 并开启通风。

6.3.2.2 试验步骤

- a) 在进行试验前, 应根据试验要求, 设置环境箱的低温、湿热或高原等极限工况参数;
- b) 氢系统放入环境箱内静置 12 h;
- c) 静置完成后, 检测并确认环境箱内外氢气浓度近乎为 0 ppm。关闭环境箱, 开始记录氢气浓度传感器或氢气色谱仪的监测数据, 直至试验结束。

6.3.3 方法应用及具体操作程序参见附录 D.2。

7 密封舱条件下使用质谱仪检测泄漏率的方法

该方法采用氢质谱仪或氦质谱仪, 具有较高的检测灵敏度, 试验介质应采用干燥洁净的氢气、氢气或氦氮混合气。

- 当使用氢质谱仪时, 应以氢气为示踪气体;
- 当使用氦质谱仪时, 应以氦气为示踪气体。

7.1 检测舱加压累积法

7.1.1 泄漏率检测

将被检氢系统接入检测舱检测系统。

- a) 检测舱抽真空至真空度为 5kPa ~ 10kPa 或用氮气置换舱内空气, 将检漏仪的吸枪探头接入检测舱。达到累积时间 t_a 后, 记录仪器读数 M_{03} 。若输出信号不稳定, 需延长检测时间至输出信号稳定。

- b) 根据式 (1) 计算氢泄漏率 Q :

$$Q = \frac{P_{atm} V_c (M_{03} - M_{01})}{t_a X} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- Q ——通过质谱检漏法获得的泄漏率, 单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s);
- P_{atm} ——大气压力(绝压), 单位为帕(Pa);
- V_c ——实际检测空间体积, 检测舱内体积与氢系统所占空间体积之差, 单位为立方米(m³);
- M_{01} ——标准漏孔关闭时质谱检漏仪的背景读数;
- M_{03} ——达到累积时间后的质谱检漏仪读数;
- t_a ——加压累积法气密性试验所需的累积时间, 单位为秒(s);
- X ——混合气中示踪气体的体积含量, %。

- c) 必要时, 应根据仪器制造厂提供的质谱仪气体吸入量对泄漏率进行修正。

- d) 方法应用及具体操作程序参见附录 E。

7.1.2 结果评价

检出的氢泄漏率或由氦泄漏率转换得到的氢泄漏率应满足相关标准要求。否则, 需根据 NB/T 47013.8 或 GB/T 15823 中吸枪法检测的相关规定检测泄漏点, 待消除泄漏点后重新进行试验。

7.2 真空舱法

7.2.1 泄漏率检测

将被检氢系统接入真空舱检测系统。

a) 完成初始校准后,用示踪气体体积含量 X 的混合气将系统充装至公称工作压力,系统完成充气后需静置;

b) 完成静置后开始检测,达到检测时间 t_d 后,记录仪器输出读数 M_5 。若输出信号不稳定,延长检测时间至输出信号稳定。

7.2.2 检测系统最终校准

a) 采用检测舱内加压时,当试验完成后,应将受试氢系统压力泄压至零,再进行真空舱检测系统的最终校准;

b) 受试氢系统仍放置在真空舱内并保持标准漏孔关闭,测定仪器读数 M_3 ,再次开启标准漏孔,仪器输出读数增大至 M_4 ;

c) 试验系统最终灵敏度按公式(2)计算:

$$S_2 = \frac{Q_1}{M_4 - M_3} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

S_2 ——试验系统最终灵敏度,单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

Q_1 ——渗透型标准漏孔漏率,单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

M_3 ——标准漏孔关闭时质谱检漏仪读数;

M_4 ——标准漏孔开启至输出信号稳定时质谱检漏仪读数。

最终灵敏度 S_2 达到初始灵敏度 S_1 的 35%及以上,试验结果有效。若最终灵敏度 S_2 减小到初始灵敏度 S_1 的 35%以下,应用氮气置换检测舱或修理仪器,重新校准后再次进行试验。

7.2.3 检测结果

对检测系统进行最终校准合格后,由下述规定确定系统泄漏率 Q ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$):

a) 当输出信号不改变,即 $M_5=M_1$,应记录为“低于系统的可探测范围”和检测合格;

b) 当输出信号 M_5 超过系统可探测范围,应记录为“大于系统可探测范围”和检测不合格;

c) 当输出信号 M_5 发生改变(但输出信号在可检范围),应按式(3)确定 Q :

$$Q = \frac{S_2(M_5 - M_1)}{X} \dots\dots\dots(3)$$

7.2.4 结果评价

检出的氢泄漏率或由氢泄漏率转换得到的氢泄漏率应满足标准要求。否则需根据 NB/T 47013.8 或 GB/T 15823 中吸枪法检测的相关规定检测泄漏点,待消除泄漏点后重新进行气密性试验。

7.2.5 方法应用及具体操作程序参见附录 E。

8 开放空间条件下使用吸枪检测泄漏率的方法

使用吸枪对开放空间内的氢系统进行泄漏率检测的方法(以下简称吸枪法)操作灵活,检测灵敏度较高。采用吸枪法进行泄漏检测,检测设备可使用氢质谱仪。检测时,系统内应充入干燥洁净的氢气、或氢氮混合气。

8.1 试验步骤

a) 完成校准后,用混合气将系统加压至规定试验压力。

b) 打开标准漏孔,将吸枪嘴在标准漏孔上进行扫查,扫查距离和扫查速率应符合 F.2 中的规定,待质谱检漏仪读数稳定时记录读数为 M_3 。

c) 将吸枪嘴在系统密封面处进行扫查, 扫查方式应遵循从下至上、从近至远的原则, 扫查距离和扫查速率应符合F.2的规定, 分别记录质谱检漏仪最大读数为 M'_{41} 、 $M'_{42} \dots M'_{4n}$ 。

8.2 试验后最小可检漏率校准

- a) 当试验完成后, 按F.3的规定进行试验后最小可检漏率校准。
- b) 试验后最小可检漏率超过试验前最小可检漏率50%以上时, 应调试试验系统后, 重新进行试验。

8.3 试验结果

- a) 校准合格后, 系统泄漏率按公式(4)计算:

$$Q = Q_2 \cdot \frac{(M'_{41} + M'_{42} + \dots + M'_{4n}) - M'_1}{M'_3 - M'_1} \cdot \frac{1}{X} \dots \dots \dots (4)$$

式中:

Q —通过质谱检漏法获得的气瓶泄漏率, 单位为帕立方米每秒 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

Q_2 —毛细管型标准漏孔漏率, 单位为帕立方米每秒 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

M'_1 —标准漏孔关闭时质谱检漏仪的背景读数;

M'_3 —标准漏孔开启时质谱检漏仪的读数;

M'_{41} —第1个密封面质谱检漏仪最大读数;

M'_{42} —第2个密封面质谱检漏仪最大读数;

M'_{4n} —第n个密封面质谱检漏仪最大读数;

X —混合气中示踪气体的体积含量, 单位为%。

b) 试验结果的判定应按相关标准的规定执行。若检出的氢泄漏率或氦泄漏率转换得到的氢泄漏率不符合相关标准要求, 应根据NB/T 47013.8或GB/T 15823中吸枪法检测的相关规定检测泄漏点, 待消除泄漏点后重新进行试验。

8.4 方法应用及具体操作程序参见附录 F。

9 输氢管路和场站用的氢泄漏检测方法

典型输氢管路和场站氢系统泄漏检测应用指南见附录G。

9.1 激光扫描法

9.1.1 安装和校准技术要求

9.1.1.1 采用激光扫描法的探测器应安装在被检测区域的高点, 在初次校准完成后使用单位可以根据实际使用情况自主决定复校时间间隔, 但一般不超过1年。针对检测数据存疑或更换探测器主要部件及维修后, 应对探测器重新进行校准。

9.1.1.2 探测器校准项目应至少包含示值误差、重复性、漂移等方面, 具体技术要求及方法可参照JJF078中规定。设备的校准需确保其在实际使用环境中具备高度准确性和稳定性, 特别是在油气站场中可能受到温度、湿度和风速等因素的影响。

9.1.2 泄漏预警阈值

云台扫描式激光甲烷探测器的报警阈值应根据油气站场的安全要求设置。一级报警设定值不应大于 $10\% \text{ LEL} \cdot \text{m}$ ($5000 \text{ ppm} \cdot \text{m}$), 二级报警设定值不应大于 $20\% \text{ LEL} \cdot \text{m}$ ($10000 \text{ ppm} \cdot \text{m}$)。

9.1.3 泄漏判定和结果输出

云台扫描式激光甲烷探测器的报警信号应发送至有人值守的控制室、操作室或值班室进行显示报警。现场端探测器应自带报警器或独立设置全场/区域警报器，警报器应有声、光报警功能。

9.2 超声检测法

9.2.1 安装和校准技术要求

超声型气体探测器安装位置宜结合安装点的背景噪声等因素设置，并于噪声源距离不宜小于5m。声强测量偏差应 $\leq \pm 3\text{dB}$ ，响应时间应 $\leq 1\text{s}$ ；在初次校准完成后使用单位可以根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，具备自校准功能的检测器可适当延长校准时间。针对检测数据存疑或更换探测器主要部件及维修后，应对探测器重新进行校准。

9.2.2 泄漏预警阈值

超声型气体探测器所在区域的背景噪声、检测器泄漏报警阈值见附录H。

9.2.3 泄漏判定和结果输出

超声性气体探测器应能灵活调整参数，包括检测灵敏度设置，报警参数设置等；输出4~20mA模拟信号（支持Hart协议）和干接点信号（泄漏报警、故障报警）用于泄漏判定。

9.3 点型可燃气体探测器检测法

9.3.1 安装和校准技术要求

9.3.1.1 点型可燃气体探测器安装高度宜在释放源上方0.5m~2.0m，在露天或通风良好的环境下安装时，探测器距其所覆盖范围内的任一释放源的水平距离不宜大于10m；在封闭式厂房或局部通风不良的环境安装时，探测器距其所覆盖范围内的任一释放源的水平距离不宜大于5m，还应在厂房内最高点气体聚集处设置探测器。

9.3.1.2 点型可燃气体探测器校准项目应至少包含示值误差、响应时间、重复性、漂移等方面，具体技术要求及方法可参照JJG 693中规定。

9.3.2 泄漏预警阈值

点型可燃气体探测器的一级报警设定值宜小于或等于10%LEL，二级报警设定值宜小于或等于20%LEL。

9.3.3 泄漏判定和结果输出

点型可燃气体探测器的报警信号应发送至有人值守的控制室、操作室或值班室进行显示报警。现场端探测器应自带报警器或独立设置全场/区域警报器，警报器应有声、光报警功能。

9.4 光纤测温法

9.4.1 安装和校准技术要求

光纤测温法采用分布式光纤系统进行检测，光纤紧贴安装在管道外侧，与管道敷设方式一致，监测主机已安装在站场。光纤测温法校准宜结合产品自身性能和系统组成进行定期校准。

9.4.2 泄漏预警阈值

报警设定值宜在单个检测空间内温度变化小于或等于10%。

9.4.3 泄漏判定和结果输出

报警信号应发送至有人值守的控制室或调控中心进行显示报警。

9.5 光纤声波法

9.5.1 安装和校准技术要求

光纤声波法采用分布式光纤系统进行检测，光纤紧贴安装在管道外侧，与管道敷设方式一致，监测主机已安装在站场。光纤声波法校准宜结合产品自身性能和系统组成进行定期校准。

9.5.2 泄漏预警阈值

报警设定值宜在单个检测空间内声音变化小于或等于10%。

9.5.3 泄漏判定和结果输出

报警信号应发送至有人值守的控制室或调控中心进行显示报警。

9.6 火焰检测法

9.6.1 安装和校准技术要求

9.6.1.1 火焰检测法通常采用紫红外原理的火焰检测器对氢火焰进行检测。火焰检测器安装在场站装置区内，其传感器应朝向氢气易泄漏处，测量距离应根据所选火焰检测器的性能确定。

9.6.1.2 火焰检测器的技术要求包括重复性、方位、火灾灵敏度等，应按消防产品的要求进行定期校准。

9.6.2 泄漏预警阈值

火焰检测器检测到火焰时通常输出开关量报警信号。

9.6.3 泄漏判定和结果输出

报警信号应发送至有人值守的控制室或调控中心进行显示报警。

10 用氮氮混合气检测氢泄漏率的转换方法

采用质谱仪检测时，试验介质应符合如下规定：

- a) 试验介质应采用干燥洁净的氢气、氮气、氩气或氮氮混合气；
- b) 氢气泄漏率应按附录 I 的方法确定，其中纯氢气与氮氮混合气的泄漏率转换系数 α 和纯氢气与纯氮气的泄漏率转换系数 β 应由气瓶制造单位、检验机构或型式试验机构经试验得出；
- c) 试验用氮氮混合气中氮的体积含量应通过比对试验确定，但不得小于 2%；氮氮混合气中氮的体积含量若未通过比对试验确定，则采用加压累积检测法或吸枪法时氮氮混合气中氮的体积含量应不小于 10%，采用真空舱法时氮氮混合气中氮的体积含量应不小于 5%。氮氮混合气制备可采用附录 J 给出的压力配比法。

附录 A

(规范性)

移动氢系统泄漏率检测方法应用指南

表 A.1 移动氢系统泄漏率检测方法的应用场景、条件及对应条款

应用场景	条件	条款	备注
车载高压储氢系统 乘用车、商用车等道路机动车辆、叉车等场内机动车辆以及其他车用高压储氢系统	高压氢系统系统组装后的氢泄漏检测	5.1、附录 B	便携泵吸式氢气泄漏检测仪检测法
	常温条件下对乘用车整车的氢泄漏检测	6.1、附录 D	密闭空间内
	极限环境下对整车或高压氢系统的整体泄漏检测	6.3、附录 D	密闭环境舱内
	常温条件下对单只气瓶/瓶组/瓶阀组成的氢系统或小型的模块化氢系统的泄漏检测	7、附录 E	密封舱质谱仪法：检测舱加压累积法、真空舱法
	日常维保、定期检验过程中氢系统的泄漏检测	5.1、附录 B	高压氢系统气密性检测方法和便携泵吸式氢气泄漏检测仪检测法
移动式金属氢化物可逆储放氢系统 (车用和其他场合用于氢气储运的金属氢化物可逆储放氢系统)	氢系统在工作温度下的氢泄漏检测方法	6.2	密闭空间内
	极限环境下对氢系统的整体泄漏检测	6.3	密闭环境箱内
	储放氢模块氢泄漏检测	7、5.1、5.3	密封舱质谱仪法：(检测舱加压累积法、真空舱法)、便携泵吸式氢气泄漏检测仪检测法、涂液法。
	日常维保、定期检验过程中氢系统的泄漏检测	5.1	便携泵吸式氢气泄漏检测仪检测法

表 A.1 移动氢系统泄漏率检测方法的应用场景、条件及对应条款（续）

应用场景	条件	条款	备注
瓶式集装箱、管束集装箱、长管拖车储氢系统及撬装氢系统	瓶式集装箱安装过程泄漏检测	8	开放空间，吸枪法
	管束集装箱、长管拖车储氢系统及撬装氢系统安装过程的泄漏检测	5.1、5.3	开放空间，便携泵吸式氢气泄漏检测仪检测法、涂液法
	日常维保、定期检验过程中氢系统的泄漏检测	5.1	开放空间，便携泵吸式氢气泄漏检测仪
车载液氢系统	液氢系统的氢泄露率检测	8	<p>试验应在下列条件下进行：</p> <p>a) 常温下；</p> <p>b) 在最低工作温度或液氮温度下，且在该温度静置足够时间以确保系统整体温度稳定；</p> <p>c) 在最高工作温度下，且在该温度静置足够时间以确保系统整体温度稳定。采用液氢进行，并通过氢质谱仪进行检测。</p>

表 B. 2 70MPa 氢系统加压步骤

设定压力/MPa	保压时间/s
2	300
5	180
10	180
20	180
30	180
40	180
50	180
60	180
70	180
87.5	300

附录 C

（资料性）

氢气检测胶带法应用指南

氢气变色胶带是一种用于检测氢气泄漏的指示工具，通常含有对氢气敏感的化学成分。当变色胶带接触到一定浓度的氢气时，胶带会发生明显的颜色变化，从而提供直观的泄漏指示。

C.1 构成

氢气变色胶带通常由以下三部分组成，如图 C.1：保护层（有机硅胶粘剂）、基层（PI 薄膜）和功能涂层（含钯或钯化合物催化剂及可被还原的金属盐）。其中，有机硅胶粘剂作为保护层，一方面用于保护功能涂层，另一方面允许氢气透过并进入功能层，同时为胶带提供必要的粘附性能。PI 薄膜作为基层，用于提供胶带的机械强度、柔韧性及耐温性能。功能涂层由含钯或钯化合物的催化剂与可被还原的金属盐构成，在氢气作用下发生催化还原反应，使胶带产生可识别的颜色变化。

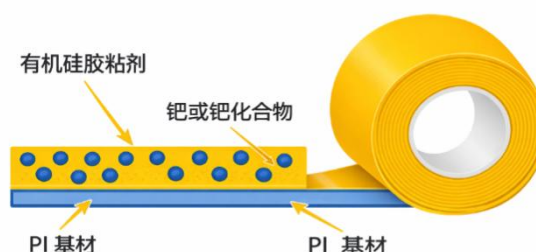


图 C.1 氢气检测胶带构成示意图

C.2 原理

钯催化氢气还原金属氧化物，生成具有颜色特征的低价态产物。当氢气分子接触到胶带表面的钯催化剂时，会被吸附并解离成氢原子。具有高活性的氢原子随即还原胶带中的底物。被还原的底物进一步与发色剂结合，或通过自身聚集形成新的显色物质，从而在胶带表面产生明显的色斑。

C.3 基本参数

C.3.1 粘性：良好，不易脱落，剥离强度 $\geq 5\text{N}/25\text{mm}$ ；

C.3.2 耐温性： $-30^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ ；

C.3.3 响应时间： $< 30\text{s}$ （对于氢气大量泄漏）；

C.3.4 使用期限：6 个月；

C.4 使用方法

C.4.1 清理待测表面。清理待测件表面的灰尘、油、锈迹和水分，确保不影响胶带粘贴且不对检测结果造成影响；

C.4.2 裁剪适量长度可完全覆盖待测表面的胶带粘贴在待测件上。胶带缠绕过程尽量平整缠绕不要拉断，胶带不要重叠，多余的胶带需要裁剪，见图 C.2。如胶带宽度不够，可将待测表面进行二次粘贴；

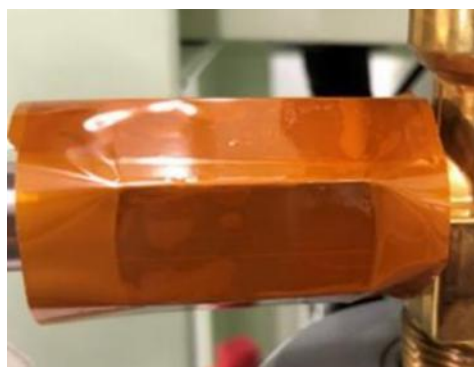


图 C.2 氢气检测胶带粘贴长度

C.4.3 在胶待端部粘贴时，与待测表面尽量完全贴合，不要留空间，以提高胶带对微量泄漏的敏感度，见图 C.3。在粘贴过程中如出现鼓包，需撕开粘贴位置将鼓包位置空气挤出再进行粘贴；



图 C.3 氢气检测胶带粘贴要求

C.4.4 等待与观察。粘贴完成后，使胶带暴露在待监测环境中。如果产生泄漏，氢气会扩散至胶带表面，造成颜色变化，见图 C.4。

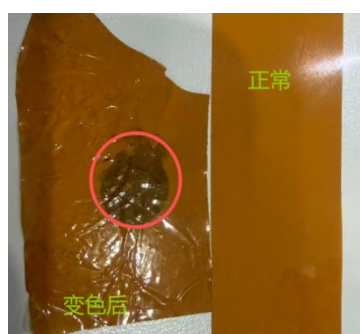


图 C.4 氢气检测胶带变色前后对比

C.5 注意事项

C.5.1 胶带使用过程中避免手指接触保护层，如手指直接接触，在胶带固定后需将接触位置局部裁剪；

C.5.2 长期日光照射，PI 基材强度会下降，导致带与待测件难以剥离；

C.5.3 胶带不能阻止氢气泄漏；

C.5.4 氢气以外的还原性气体（如硫化氢、一氧化碳、一氧化氮等）在高温和高浓度条件下也会造成胶带变色；

C.5.5 高温或长期户外使用过程中，如胶带表面出现局部斑点变色，此现象为外部环境导致胶带变化不是氢气泄漏。如氢气泄漏时，薄膜会产生大面积变色；

C.5.6 胶带颜色变化通常不可逆，即使泄漏消失，胶带已变色部分也不会恢复。

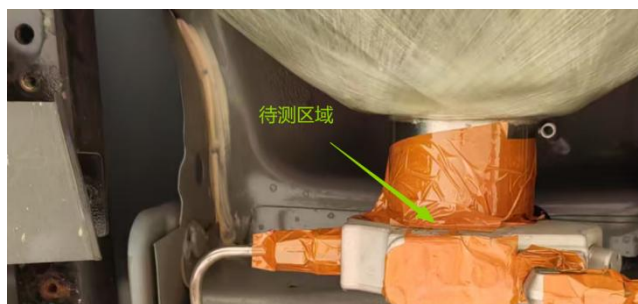


图 C.5 氢气检测胶带实际使用示例

附录 D

(资料性)

密闭空间内氢系统泄漏检测—车载氢系统

该方法通过在密闭空间内布置氢气浓度传感器检测车载氢系统泄漏。

D.1 常温条件下车辆氢泄漏率检测方法

D.1.1 试验准备、条件、密闭空间要求及试验程序按6.1。

D.1.2 试验前7天内，应使用安装在试验车辆上的燃料电池系统行驶至少300km。

D.1.3 试验程序

D.1.3.1 一般要求

该试验是为了检验车辆氢系统放在无机械通风的密闭空间（每小时空气交换率不大于0.03）内的氢气泄漏情况。试验过程中，若任一位置的氢气体积浓度达到0.4%时，应发出报警信号；当浓度超过1%时，应立即停止试验，并开启通风。

D.1.3.2 试验步骤

D.1.3.2.1 静止状态氢泄漏检测

试验持续至少8h，采样频率至少为1Hz，试验步骤如下：

- a) 车辆应在密闭空间外完成一次完整的启动、停机过程；
- b) 车辆进入密闭空间后，停机，并在规定的环境条件下浸车12h；
- c) 浸车完成后，检查环境和试验舱内的氢气浓度，当仪器显示氢气浓度趋近于0ml/m³时，关闭密闭空间，并开始记录氢气浓度传感器数据；

D.1.3.2.2 车辆怠速状态氢泄漏检测

- a) 车辆在密闭空间外完成一次完整的启动、停机过程；
- b) 车辆进入密闭空间后，停机；
- c) 检查环境和试验舱内的氢气浓度，当仪器显示氢气浓度趋近于0 mL/m³时，关闭密闭空间，按照制造商的规定，启动燃料电池发动机，使其运行在一定的功率并保持怠速状态；
- d) 从车辆开始启动至完全停机时间不少于10min，记录期间氢气浓度传感器数据，采样频率至少为1Hz。

D.2 在环境舱内对车载氢系统泄漏率进行检测的方法

该方法通过在环境舱的密闭空间内布置氢气浓度传感器，检测极限环境下氢系统泄漏率。

D.2.1 试验条件

试验应在环境箱内设置以下环境（或组合）条件下进行：

- a) 低温环境；
- b) 高温湿热环境；
- c) 高原环境。

对环境舱的密闭空间要求可参考6.1.2。

D.2.2 试验程序

D.2.2.1 一般要求

使用环境箱在设定的极限环境下进行检测，试验过程中，若任一位置的氢气浓度超过 1%，应立即停止试验，并开启通风。

D.2.2.2 试验步骤

- a) 在进行试验前，应根据试验要求，设置环境箱的低温、湿热或高原等极限工况参数；
- b) 车辆应在环境箱外完成一次完整的启动和停机过程；车辆进入环境箱后熄火，在设定的极限环境条件下静置不少于 12 h；
- c) 静置完成后，检测并确认环境箱内外氢气浓度趋近于为 0 ppm。关闭环境箱，开始记录氢气浓度传感器或氢气色谱仪的监测数据，直至试验结束。

附录 E

(资料性)

密封舱内使用质谱仪检测—小型氢系统

对单只气瓶/瓶组/瓶阀组成的氢系统或小型的模块化氢系统的泄漏率检测,应采用氢质谱仪或氦质谱仪进行泄漏检测。检测时,系统内应充入干燥洁净的氢气、氦气或氦氮混合气。

E.1 检测舱加压累积法

E.1.1 仪器校准

E.1.1.1 预热

使用标准漏孔校准前,仪器应通电预热,预热的最短时间应按照仪器制造厂的规定。

E.1.1.2 标准漏孔校准

质谱仪使用前,需按仪器制造厂的操作和维修手册使用毛细管型标准漏孔校准。若仪器示值偏差超过10%,则需采用大气校准法或标准浓度法重新校准。

E.1.1.3 检测系统校准

a) 校准步骤

- 1) 将具有100%示踪气体的经校准的毛细管型标准漏孔与检测系统相连。
- 2) 将一只校准专用气瓶按规定的要求接入检测系统。
- 3) 检测舱抽真空至真空度为5kPa~10kPa,或用氮气置换舱内空气。将检漏仪的吸枪探头接入检测舱,打开标准漏孔,直至仪器信号稳定,稳定的仪器读数记为 M_{02} 。
- 4) 将标准漏孔关闭,待质谱仪读数稳定时记录背景读数 M_{01} 。

b) 累积时间确定

- 1) 根据所测参数计算系统泄漏检测所需的累积时间 t_a :

$$t_a = \frac{P_{atm} V_c (M_{02} - M_{01})}{Q_c X} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

t_a ——加压累积法气密性试验所需的累积时间,单位为秒(s);

p_{atm} ——大气压力(绝压),单位为帕(Pa);

V_c ——实际检测空间体积,检测舱内体积与氢系统所占空间体积之差,单位为立方米(m^3);

M_{01} ——标准漏孔关闭时质谱检漏仪的背景读数;

M_{02} ——标准漏孔开启至输出信号稳定时质谱检漏仪的读数;

Q_c ——规定泄漏率,单位为帕立方米每秒($Pa \cdot m^3/s$);

X ——示踪气体的体积含量, %。

2) 泄漏检测所需的累积时间 t_a 也可以由制造厂或检验机构通过实验方法确定,但不得小于3min。

E. 1.2 泄漏率检测

将被检氢系统接入检测舱检测系统。

a) 检测舱抽真空至真空度为5kPa~10kPa 或用氮气置换舱内空气,将检漏仪的吸枪探头接入检测舱。达到累积时间 t_a 后,记录仪器读数 M_{03} 。若输出信号不稳定,需延长检测时间至输出信号稳定。

b) 根据式(E.2)计算氢泄漏率 Q :

$$Q = \frac{P_{atm} V_c (M_{03} - M_{01})}{t_a X} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

Q ——通过质谱检漏法获得的泄漏率,单位为帕立方米每秒(Pa·m³/s);

P_{atm} ——大气压力(绝压),单位为帕(Pa);

V_c ——实际检测空间体积,检测舱内体积与氢系统所占空间体积之差,单位为立方米(m³);

M_{01} ——标准漏孔关闭时质谱检漏仪的背景读数;

M_{03} ——达到累积时间后的质谱检漏仪读数;

t_a ——加压累积法气密性试验所需的累积时间,单位为秒(s);

X ——示踪气体的体积含量,%。

c) 必要时,应根据仪器制造厂提供的质谱仪气体吸入量对泄漏率进行修正。

E. 1.3 结果评价

检出的氢泄漏率或由氢泄漏率转换得到的氢泄漏率应满足相关标准要求。否则,需根据 NB/T 47013.8 或 GB/T 15823 中吸枪法检测的相关规定检测泄漏点,待消除泄漏点后重新进行试验。

E. 2 真空舱法

E. 2.1 连接和充气

将被检氢系统接入真空舱检测系统。

E. 2.2 预泄漏检测

使用真空舱内充气法进行泄漏检测之前可先进行预泄漏检测,先用试验介质气体将氢系统充装至公称工作压力,采用吸枪法检出泄漏点并排除大泄漏点。检测时不得封堵系统上可能存在的泄漏。

E. 2.3 仪器校准

E. 2.3.1 预热

使用标准漏孔校准前,仪器应通电预热,预热的最短时间应按照仪器制造厂的规定。

E. 2.3.2 标准漏孔校准

质谱仪使用前,需按仪器制造厂的操作和维修手册使用渗透型标准漏孔校准。质谱仪的灵敏度至少为 1×10^{-10} Pa·m³/s。

E. 2.3.3 检测系统初始校准

a) 将具有100%示踪气体的经校准的渗透型标准漏孔与真空舱检测系统相连,并尽可能远离质谱仪与真空舱的连接处。

b) 对真空舱抽真空至足以允许质谱仪测量所要求的真空度, 将质谱仪的吸枪探头接入真空舱, 打开标准漏孔直至质谱仪信号稳定。将标准漏孔开启至输出信号稳定的时间记录为检测时间 t_d , 将稳定的仪器读数记为 M_2 。

c) 将标准漏孔关闭, 待质谱仪读数稳定时记录背景读数 M_1 。

d) 初始的系统灵敏度 S_1 应按式 (E.3) 计算:

$$S_1 = \frac{Q_1}{M_2 - M_1} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

S_1 —— 试验系统初始灵敏度, 单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

Q_1 —— 渗透型标准漏孔漏率, 单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);

M_1 —— 标准漏孔关闭时质谱检漏仪的背景读数;

M_2 —— 标准漏孔开启至输出信号稳定时质谱检漏仪读数。

e) 当泄漏检测系统的布置发生改变或经校准的泄漏率有变动, 应重新校准。

E. 2. 4 泄漏率检测、检测系统、最终校准、检测结果及结果评价应按7进行。

附录 F

(资料性)

开放空间内使用吸枪进行氢系统泄漏率检测—瓶式集装箱

F.1 使用吸枪对开放空间的瓶式集装箱氢系统进行泄漏率检测，方法操作灵活，检测灵敏度较高。

F.2 仪器校准

a) 使用标准漏孔校准前，仪器应通电预热，预热的最短时间应符合仪器制造单位的规定。

b) 质谱仪使用前，应按仪器制造单位的操作和维修手册使用渗透型标准漏孔进行校准。质谱仪的灵敏度应至少为 $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

F.3 系统校准

a) 将具有100%示踪气体的毛细管型标准漏孔、吸枪与试验系统连接。

b) 打开标准漏孔和吸枪，将吸枪嘴在标准漏孔上进行扫查。吸枪嘴与标准漏孔的距离应保持在1mm~3mm内；扫查速率应不超过能够检出标准漏孔漏率 Q_2 时的速率，且不超过10mm/s；响应时间为观察出现一个指示信号以及使仪器输出达到稳定所需要的时间。

F.4 试验前最小可检漏率校准

a) 将具有100%示踪气体的毛细管型标准漏孔与试验系统连接。

b) 打开吸枪，质谱检漏仪示值稳定后，记录质谱检漏仪的背景读数 M'_1 ，即空气中本底，测量并记录3min内的质谱检漏仪示值最大值与最小值之差，即仪器噪声 $\Delta M'_n$ 。

c) 打开标准漏孔，标准漏孔配气压力应按其使用说明书。用吸枪对准标准漏孔，将稳定的仪器读数记为 M'_2 。

d) 最小可检漏率 $Q_{x\min}$ 按公式(E.1)计算：

$$Q_{x\min} = \frac{\Delta M'_n}{M'_2 - M'_1} \cdot Q_2 \dots \dots \dots (E.1)$$

式中：

$Q_{x\min}$ —最小可检漏率，单位为帕立方米每秒（ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ）；

M'_1 —标准漏孔关闭时质谱检漏仪的背景读数；

M'_2 —标准漏孔开启至输出信号稳定时质谱检漏仪读数；

$\Delta M'_n$ —质谱检漏仪本底噪声；

Q_2 —毛细管型标准漏孔漏率。

e) 最小可检漏率 $Q_{x\min}$ 应小于系统漏率要求。

F.5 试验步骤、试验后最小可检漏率校准及试验结果按8进行。

附录 G

(资料性)

氢用管道系统泄漏检测应用指南

G.1 安装完成后泄漏检测

G.1.1 泄漏性试验和泄漏量试验

G.1.1.1 氢气长输管道和氢气公用管道系统泄漏性（严密性）试验参照 SY/T 7820 执行，氢气工业管道系统泄漏性和泄漏量试验参照 GB 50516 执行。

G.1.1.2 氢气长输管道和氢气公用管道系统需要进行泄漏量试验时，方式如下：

- a) 泄漏量试验的介质采用氮气、氢气、氢氮混合气（氢气体积百分比不少于 5%）；
- b) 泄漏量试验压力采用设计压力；
- c) 当使用氮气或氢氮混合气进行泄漏量试验时，保压时间大于等于 24 小时；
- d) 使用氢气进行泄漏量试验时，保压时间大于等于 1 小时。

G.1.2 判定条件

G.1.2.1 泄漏性试验以未检出泄漏和保压 30 分钟无压降为合格依据；

G.1.2.2 泄漏量试验以平均每小时泄漏率小于 0.5% 为合格依据。平均每小时泄漏率按下式进行计算：

$$A = \frac{100}{t} \left(1 - \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \right) \dots\dots\dots (G.1)$$

式中：

- A —— 平均每小时泄漏率（%）；
 t —— 保压时间（h）；
 P₁、P₂ —— 试验开始时、结束时的绝对压力（MPa）；
 T₁、T₂ —— 试验开始时、结束时的绝对温度（K）。

G.2 运行阶段的泄漏检测

G.2.1 站场泄漏检测

G.2.1.1 运行阶段的站场泄漏采用在线检测方式时，要求如下：

- a) 站场内易积聚可燃气体的场所采用点式气体检测法，纯氢站场同时采用火焰探测法；
- b) 当气体泄漏时产生的噪音能显著改变释放源周围环境声压等级时选用超声检测法。
- c) 当气体泄漏时能显著改变释放源周围环境温度时选用红外热成像法。
- d) 当天然气掺氢气体中甲烷的体积分数超过氢气的 1.25 倍且需要进行场站边界防护时，选用线性气体法（甲烷）。
- e) 当天然气掺氢气体中甲烷的体积分数超过氢气的 1.25 倍且需要检测场站大面积范围内的泄漏时，选用激光扫描法（甲烷）。

G.2.1.2 站场泄漏判定条件参见 9。

G.2.2 线路检测系统

G.2.2.1 配置要求

G.2.2.1.1 长距离输氢管道宜设置分布式光纤管道泄漏监测系统，系统由传感光缆、监测主机、工作站（含服务器）及软件等组成。

G.2.2.1.2 传感光缆中的光纤作为分布式传感器，用光纤实时采集数据变化并传输至监测主机，监测主

机接收、处理管道沿线光信号直接进行解调，并将解调后的数据上传到工作站监测系统，工作站显示管道泄漏报警信息并对监测主机远程管理。

G.2.2.1.3 分布式光纤系统宜符合以下指标：

- a) 空间分辨率： $\leq 2\text{m}$ 。
- b) 定位精度： $\leq \pm 50\text{m}$ 。
- c) 系统报警响应时间： $\leq 60\text{s}$ 。
- d) 有效报警率： $> 90\%$ 。
- e) 多目标检测：可以检测全链路上不同位置同时发生的多个事件。
- f) 灵敏度响应一致：全链路上检测到的事件类型一致性达到 90%。

G.2.2.2 泄漏判定准则

在管道运行阶段，如分布式光纤系统的单个空间分辨率中温度变化或声波变化每分钟超过10%（数值可根据管道运行情况进行调整），则判定管道存在泄漏风险，发出报警提示操作人员进行现场排查确认。

附 录 H
(资料性)

输氢管道噪声区域、探测器报警阈值与检测范围分类

噪声区域、探测器报警阈值与检测范围分类见表H.1。

表 H.1 噪声区域、探测器报警阈值与检测范围分类

声源	高背景噪声区域	中等背景噪声	低背景噪声
可闻背景噪声（dB）	90-100	60-90	40-60
超声背景噪声（dB）	<78	<68	<58
报警阈值（dB）	84	74	64
检测范围/m	10	15	20
注：1.探测器的报警阈值应考虑背景噪声，报警阈值至少要高于超声背景噪声 6 dB。 2.检测范围为超声探测器的有效覆盖半径。 3.报警阈值设定需结合氢气泄漏超声信号频段进行校准。			

附 录 I
(规范性)
氢氮泄漏率转换方法

I.1 氢、氮泄漏率的转换计算

氢、氮泄漏率转换按公式 (I.1) 进行计算：

$$Q_c = \frac{Q_{H_2}}{\alpha \cdot \beta} \dots\dots\dots(I.1)$$

式中：

- Q_c —规定氮泄漏率，单位为帕立方米每秒 (Pa·m³/s) ；
- Q_{H_2} —规定氢泄漏率，单位为帕立方米每秒 (Pa·m³/s) ；
- α —纯氮气与氮氮混合气的泄漏率转换系数；
- β —纯氢气与纯氮气的泄漏率转换系数。

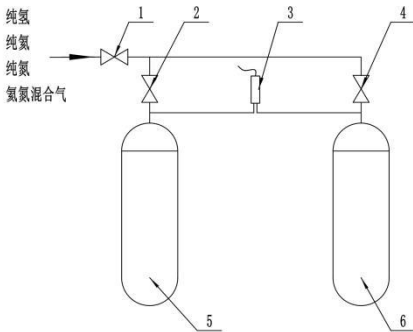
I.2 泄漏率转换系数

I.2.1 通则

- I.2.1.1 氢、氮泄漏率的转换需确定氢、氮、氮不同介质之间的转换系数。
- I.2.1.2 泄漏率转换系数的测定应采用差压法或微压法，泄漏率转换系数应在 55℃下测定。

I.2.2 差压法

I.2.2.1 通过微压差传感器检测基准气瓶和受试瓶的压差，得到受试瓶在充装氢气（或氮气、氮气及氮氮混合气）时的泄漏率。差压法系统见图 I.1。



标引符号说明：

- | | | |
|----------|------------|----------|
| 1——阀门 1； | 3——微压差传感器； | 5——基准气瓶； |
| 2——阀门 2； | 4——阀门 3； | 6——受试瓶。 |

图I.1 差压法系统

I.2.2.2 试验步骤如下：

- a) 将受试瓶和基准气瓶抽真空或置换为相应气体；
- b) 试验压力气体经阀门2、阀门3充入压差传感器两端的受试瓶和基准气瓶内，此时传感器两端气压相等，记为检测压力 p_t ；

c) 检测时应同时关闭阀门2、阀门3，形成两个独立封闭的容腔。保证基准气瓶无泄漏，当受试瓶有泄漏时，通过压差传感器示数显示两侧压差；

d) 通过差压传感器测得差压变化量 Δp ，记录阀门关闭至产生压差 Δp 对应的时间 t_p 。气体泄漏率按公式 (H.2) 计算：.....

$$Q' = \frac{\Delta p}{p_{\text{atm}} t_p} \left[V_T + \frac{\Delta V}{\Delta p} \left(1 + \frac{V_T}{V_R} \right) p_t \right] \dots\dots\dots (\text{I.2})$$

式中：

Q' —通过差压法获得的气体泄漏率，单位为立方米每秒 (m^3/s)；

Δp —差压变化量，单位为帕 (Pa)；

p_{atm} —大气压力 (绝压)，单位为帕 (Pa)；

t_p —阀门关闭至产生压差对应的时间，单位为秒 (s)；

$\Delta V/\Delta p$ —差压传感器系数，取值为 1.36×10^{-16} ，单位为立方米没帕 (m^3/Pa)；

V_T —受试瓶容积，单位为立方米 (m^3)；

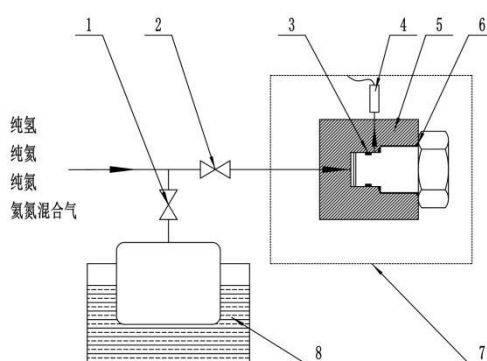
V_R —基准气瓶容积，单位为立方米 (m^3)；

p_t —检测压力，单位为帕 (Pa)。

1.2.2.3 改变充入受试瓶和基准气瓶的气体种类，重复 1.2.2.2 步骤，测定不同种类气体的体积泄漏率。

1.2.3 微压法

通过微压检漏仪直接测定充入氢气 (或氦气、氮气及氮氢混合气) 的泄漏率。微压法系统见图 I.2。



标引符号说明：

1—阀门 1；

2—阀门 2；

3—O 型圈；

4—微压检漏仪；

5—瓶阀/气瓶密封处模拟工装系统；

6—O 型圈；

7—恒温箱；

8—温度稳定系统。

图 I.2 微压法系统

1.2.4 转换系数计算

纯氦气与氮氢混合气泄漏率转换系数按公式 (I.3) 计算，纯氢气与纯氦气泄漏率的转换系数按公式 (I.4) 计算：

$$\alpha = \frac{Q'_{\text{He}}}{Q'_{\text{X-He}} - (1-X)Q'_{\text{N}_2}} \dots\dots\dots (\text{I.3})$$

$$\beta = \frac{Q'_{H_2}}{Q'_{He}} \dots\dots\dots (I.4)$$

式中：

α —纯氢气与氦氮混合气的泄漏率转换系数；

Q'_{He} —纯氦气泄漏率，差压法单位为立方米每秒（m³/s），微压法单位为帕立方米每秒（Pa·m³/s）；

Q'_{X-He} —氦氮混合气的泄漏率，差压法单位为立方米每秒（m³/s），微压法单位为帕立方米每秒（Pa·m³/s）；

X —氦氮混合气中氦气的体积含量，单位为%。

Q'_{N_2} —纯氮气泄漏率，差压法单位为立方米每秒（m³/s），微压法单位为帕立方米每秒（Pa·m³/s）；

β —纯氢气与纯氦气泄漏率的转换系数；

Q'_{H_2} —纯氢气泄漏率，差压法单位为立方米每秒（m³/s），微压法单位为帕立方米每秒（Pa·m³/s）。

1.2.5 氢气泄漏率计算

受试瓶单位体积的氢气泄漏率按公式（I.5）和（I.6）计算：

a) 采用加压累积法：

$$Q_{H_2} = \frac{P_{atm} V_c (M_{03} - M_{01}) \alpha \beta}{t_a V_T} \dots\dots\dots (I.5)$$

式中：

Q_{H_2} —氢气泄漏率，单位为帕立方米每秒（Pa·m³/s）；

P_{atm} —大气压力（绝压），单位为帕（Pa）；

V_c —实际检测空间体积，检测舱内体积与气瓶所占空间体积之差，单位为立方米（m³）；

M_{01} —标准漏孔关闭时的背景读数；

M_{03} —达到累积时间后的氮质谱检漏仪读数；

α —纯氢气与氦氮混合气的泄漏率转换系数；

β —纯氢气与纯氦气泄漏率的转换系数；

t_a —加压累积法气密性试验所需的累积时间，单位为秒（s）；

V_T —受试瓶容积，单位为升（L）。

b) 采用真空舱法：

$$Q_{H_2} = \frac{S_2 (M_5 - M_1) \alpha \beta}{V_T} \dots\dots\dots (I.6)$$

式中：

Q_{H_2} —氢气泄漏率，单位为帕立方米每秒（Pa·m³/s）；

S_2 —试验系统初始灵敏度，单位为帕立方米每秒（Pa·m³/s）；

M_1 —标准漏孔关闭时氮质谱检漏仪的背景读数；

M_5 —达到检测时间后氮质谱检漏仪的读数；

α —纯氢气与氦氮混合气的泄漏率转换系数；

β —纯氢气与纯氦气泄漏率的转换系数；

V_T —受试瓶容积，单位为升（L）。

注：1 Pa·m³/s=9.9 atm·cm³/s=9.9 mL/s=594 mL/min=35640 mL/h。

附录 J

(资料性)

氮氮混合气制备的压力配比法

J.1 按公式(J.1)计算氮氮混合气的充氮压力 P_{H_e} 对应氮气的摩尔浓度 c_0 ：

$$c_0 = \frac{xc_{H_e}c_{N_2}}{c_{H_e} - xc_{H_e} + xc_{N_2}} \dots\dots\dots(J.1)$$

式中：

x —氮氮混合气中氮气的摩尔分数，单位为%， x 的值等于氮氮混合气中氮气的体积含量 X ；

c_0 —充氮压力和温度下对应氮气的摩尔浓度，单位为摩尔每立方米（mol/m³）；

c_{H_e} —混合气压力和温度下对应氮气的摩尔浓度，单位为摩尔每立方米（mol/m³）；

c_{N_2} —混合气压力和温度下对应氮气的摩尔浓度，单位为摩尔每立方米（mol/m³）。

J.2 表 J.1给出了几种常用压力、温度和氮气体积分数的混合气制备时的充氮压力。

表 J.1 氮氮混合气配比表

氮氮混合气压力 /MPa	氮气的体积分数 $X/\%$	温度/℃	c_{H_e} /mol/m ³	c_{N_2} /mol/m ³	充氮压力 P_{H_e} /MPa
35	3	20	1.2336×10^{-4}	1.2039×10^{-4}	0.88
	5				1.46
	8				2.37
	10				2.99
	15				4.51
43.75	3	20	1.4916×10^{-4}	1.3886×10^{-4}	1.03
	5				1.72
	8				2.76
	10				3.47
	15				5.24
70	3	20	2.179×10^{-4}	1.7783×10^{-4}	1.32
	5				2.21
	8				3.57
	10				4.51
	15				6.89
87.5	3	20	2.5787×10^{-4}	1.9588×10^{-4}	1.45
	5				2.43
	8				3.97
	10				5.01
	15				7.71

J.3 公式（J.1）和表J.1为推荐采用，需要通过工艺验证确保配比准确，且满足试验精度要求。