



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 42612—2023

## 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶

Fully-wrapped carbon fiber reinforced cylinders with a plastic liner for the on-board storage of compressed hydrogen as a fuel for land vehicles

(ISO 19881:2018, Gaseous hydrogen—Land vehicle fuel containers, NEQ)

2023-05-23 发布

2024-06-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准委员会发布

## 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和符号.....	3
4 型式、参数、分类和型号 .....	4
5 技术要求和试验方法 .....	6
6 检验规则.....	24
7 安装和防护.....	29
8 标志、包装、运输和储存.....	30
9 产品合格证和批量检验质量证明书.....	31
附录 A (规范性) 试验参数允差 .....	33
附录 B (规范性) 气瓶日常保养检查 .....	36
附录 C (规范性) 气瓶塑料内胆与氢气相容性评定方法 .....	38
附录 D (规范性) 气瓶用 O 形密封圈性能评定方法 .....	41
附录 E (规范性) 气瓶塑料内胆焊接工艺评定方法 .....	44
附录 F (资料性) 气瓶塑料内胆焊接接头可视化超声相控阵检测与质量分级方法 .....	46
附录 G (规范性) 层间剪切试验方法 .....	51
附录 H (规范性) 气瓶气密性氦泄漏检测方法.....	55
附录 I (规范性) 气瓶火烧试验方法 .....	66
附录 J (资料性) 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶批量检验质量证明书 .....	72
参考文献 .....	75

## 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。

本文件参考 ISO 19881:2018《气态氢　道路车辆燃料箱》起草，一致性程度为非等效。

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。

本文件由全国气瓶标准化技术委员会(SAC/TC 31)提出。

本文件由全国气瓶标准化技术委员会(SAC/TC 31)和全国氢能标准化技术委员会(SAC/TC 309)共同归口。

本文件起草单位：浙江大学、国家市场监督管理总局特种设备安全监察局、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、中国特种设备检测研究院、中国机械工业集团有限公司、合肥通用机械研究院有限公司、北京天海工业有限公司、中材科技(苏州)有限公司、中集安瑞科控股有限公司、山东奥扬新能源科技股份有限公司、佛山市南海区华南氢安全促进中心、东海实验室、浙江省特种设备科学研究院、北京海德利森科技有限公司、浙江金象科技有限公司、中国标准化研究院。

本文件主要起草人：郑津洋、胡军、李逸凡、陈学东、高继轩、常彦衍、黄强华、张保国、薄柯、范志超、刘岩、彭文珠、韩冰、徐平、姜将、花争立、郭伟灿、杨明高、石凤文、白江坤、杨葆英、韩武林、刘东华、王建中、金鑫。



# 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶

## 1 范围

本文件规定了车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶(以下简称气瓶)的型式、参数、分类和型号、技术要求和试验方法、检验规则以及安装、防护、标志、包装、运输和储存等要求。

本文件适用于设计和制造公称工作压力 35 MPa 和 70 MPa、公称容积大于或等于 20 L 且不大于 450 L、工作温度不低于 -40 °C 且不高于 85 °C、固定在机动车辆上用于盛装氢气燃料的可重复充装气瓶。

氢燃料电池城市轨道交通、氢能船舶、氢能飞行器、氢能发电装置等供氢用气瓶可参照本文件。

## 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 223.3 钢铁及合金化学分析方法 二安替比林甲烷磷钼酸重量法测定磷量
- GB/T 223.4 钢铁及合金 锰含量的测定 电位滴定或可视滴定法
- GB/T 223.5 钢铁 酸溶硅和全硅含量的测定 还原型硅钼酸盐分光光度法
- GB/T 223.11 钢铁及合金 铬含量的测定 可视滴定或电位滴定法
- GB/T 223.25 钢铁及合金化学分析方法 丁二酮肟重量法测定镍量
- GB/T 223.28 钢铁及合金化学分析方法 α-安息香肟重量法测定钼量
- GB/T 223.59 钢铁及合金 磷含量的测定 铋磷钼蓝分光光度法和锑磷钼蓝分光光度法
- GB/T 223.60 钢铁及合金化学分析方法 高氯酸脱水重量法测定硅含量
- GB/T 223.61 钢铁及合金化学分析方法 磷钼酸铵容量法测定磷量
- GB/T 223.62 钢铁及合金化学分析方法 乙酸丁酯萃取光度法测定磷量
- GB/T 223.63 钢铁及合金 锰含量的测定 高碘酸钠(钾)分光光度法
- GB/T 223.64 钢铁及合金 锰含量的测定 火焰原子吸收光谱法
- GB/T 223.68 钢铁及合金化学分析方法 管式炉内燃烧后碘酸钾滴定法测定硫含量
- GB/T 223.72 钢铁及合金 硫含量的测定 重量法
- GB/T 223.85 钢铁及合金 硫含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法
- GB/T 223.86 钢铁及合金 总碳含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定
- GB/T 533—2008 硫化橡胶或热塑性橡胶 密度的测定
- GB/T 1040.1 塑料 拉伸性能的测定 第 1 部分:总则
- GB/T 1040.2—2022 塑料 拉伸性能的测定 第 2 部分:模塑和挤塑塑料的试验条件
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 1458 纤维缠绕增强塑料环形试样力学性能试验方法

- GB/T 1633—2000 热塑性塑料维卡软化温度(VST)的测定  
GB/T 1636—2008 塑料 能从规定漏斗流出的材料表观密度的测定  
GB/T 1677 增塑剂环氧值的测定  
GB/T 2941—2006 橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序  
GB/T 3190 变形铝及铝合金化学成分  
GB/T 3191 铝及铝合金挤压棒材  
GB/T 3362 碳纤维复丝拉伸性能试验方法  
GB/T 3452.2 液压气动用 O 形橡胶密封圈 第 2 部分: 外观质量检验规范  
GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验  
GB/T 3682.1—2018 塑料 热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)  
的测定 第 1 部分: 标准方法  
GB/T 4612 塑料 环氧化合物 环氧当量的测定  
GB/T 5720 O 形橡胶密封圈试验方法  
GB/T 6031 硫化橡胶或热塑性橡胶 硬度的测定(10IRHD~100IRHD)  
GB/T 7758 硫化橡胶 低温性能的测定 温度回缩程序(TR 试验)  
GB/T 7759.1—2015 硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定 第 1 部分: 在常温及高温  
条件下  
GB/T 7999 铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法  
GB/T 9251 气瓶水压试验方法  
GB/T 9252 气瓶压力循环试验方法  
GB/T 11170 不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)  
GB/T 13005 气瓶术语  
GB/T 13262 不合格品百分数的计数标准型一次抽样检验程序及抽样表  
GB/T 13264 不合格品百分数的小批计数抽样检验程序及抽样表  
GB/T 13979 质谱检漏仪  
GB/T 15385 气瓶水压爆破试验方法  
GB/T 15823 无损检测 氦泄漏检测方法  
GB/T 19466.2 塑料 差示扫描量热法(DSC) 第 2 部分: 玻璃化转变温度的测定  
GB/T 19466.3 塑料 差示扫描量热法(DSC) 第 3 部分: 熔融和结晶温度及热焓的测定  
GB/T 20123 钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法(常规方法)  
GB/T 20975(所有部分) 铝及铝合金化学分析方法  
GB/T 21060—2007 塑料 流动性的测定  
GB/T 21843 塑料 氯乙烯均聚和共聚树脂 用机械筛测定粒径  
GB/T 32249 铝及铝合金模锻件、自由锻件和轧制环形锻件 通用技术条件  
GB/T 33215 气瓶安全泄压装置  
GB/T 37244 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气  
GB/T 42536 车用高压储氢气瓶组合阀门  
GB/T 42610 高压氢气瓶塑料内胆和氢气相容性试验方法  
HG/T 4280 塑料焊接工艺评定  
JJG 539—2016 数字指示秤检定规程  
NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件  
NB/T 47013.8 承压设备无损检测 第 8 部分: 泄漏检测  
TSG D0001 压力管道安全技术监察规程 工业管道

YS/T 479 一般工业用铝及铝合金锻件

### 3 术语、定义和符号

#### 3.1 术语和定义

GB/T 13005 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1.1

##### **塑料内胆 plastic liner**

外部缠绕碳纤维增强层,用于密封气体、按不承受压力载荷进行设计的内层塑料壳体。

##### 3.1.2

##### **无缝塑料内胆 seamless plastic liner**

采用一体成型、没有拼接焊缝的塑料内胆。

##### 3.1.3

##### **焊接塑料内胆 welded plastic liner**

含有拼接焊缝的塑料内胆。

##### 3.1.4

##### **TPRD 端塞 thermally-activated pressure relief device(TPRD)end plug**

安装在双头口结构气瓶的一端,装有温度驱动安全泄压装置(以下简称 TPRD),并具备盲堵功能的端塞。

##### 3.1.5

##### **全缠绕 fully-wrapping**

用浸渍树脂基体的碳纤维连续在塑料内胆上进行螺旋和环向缠绕,以增强气瓶环向和轴向强度的缠绕方式。

##### 3.1.6

##### **全缠绕气瓶 fully-wrapped cylinder**

对带瓶阀座的塑料内胆(以下简称内胆)全缠绕后并经加热固化成型的气瓶。

##### 3.1.7

##### **公称工作压力 nominal working pressure**

气瓶在基准温度(15 °C)下的限定充装压力。

##### 3.1.8

##### **许用压力 allowable pressure**

充装和使用过程中,气瓶所允许承受的最大压力。

##### 3.1.9

##### **气瓶批量 batch of gas cylinder**

采用同一设计,具有相同材料和结构尺寸塑料内胆及瓶阀座,具有相同复合材料,且制造工艺相同的气瓶的限定数量。

##### 3.1.10

##### **内胆批量 batch of liner**

采用同一设计,带有相同材料和结构尺寸瓶阀座,具有相同结构尺寸,且具有同一塑料材料批号和制造工艺的内胆的限定数量。

##### 3.1.11

##### **O 形密封圈批量 batch of O-ring**

采用同一设计,具有相同结构尺寸,且具有同一材料批号和制造工艺的 O 形密封圈的限定数量。

### 3.1.12

#### 设计使用年限 service life

在规定使用条件下,气瓶允许使用的年限。

### 3.1.13

#### 纤维应力比 fiber stress ratio

气瓶在最小设计爆破压力下的碳纤维应力与公称工作压力下的碳纤维应力之比。

### 3.1.14

#### 内胆屈曲 liner buckling

在压应力作用下,内胆失去原有规则几何形状而导致的失效。

### 3.1.15

#### 泄漏 leakage

气瓶中的氢气通过界面间隙或穿透壁厚缺陷释放到大气的过程。

## 3.2 符号

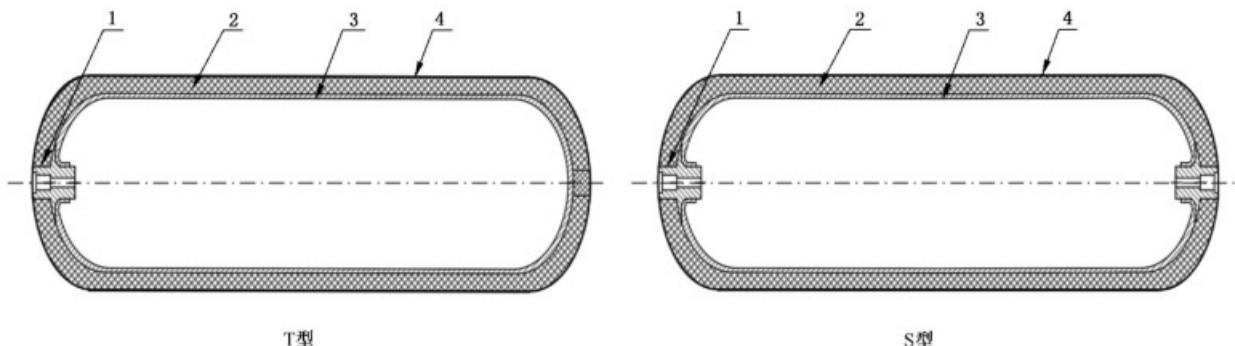
下列符号适用于本文件。

$b$	错边量,单位为毫米(mm);
$K$	焊缝卷边中心高度,单位为毫米(mm);
$N_d$	气瓶设计循环次数,单位为次;
$N_{eq}$	镍当量,%;
$P$	气瓶公称工作压力,单位为兆帕(MPa);
$P_{bmin}$	气瓶最小设计爆破压力,单位为兆帕(MPa);
$P_{b0}$	气瓶爆破压力期望值,单位为兆帕(MPa);
$P_h$	气瓶水压试验压力,单位为兆帕(MPa);
$P_m$	气瓶许用压力,单位为兆帕(MPa);
$t$	塑料内胆厚度,单位为毫米(mm);
$V$	气瓶公称容积,单位为升(L);
$W_c$	碳元素在钢中的质量分数,%;
$W_{Cr}$	铬元素在钢中的质量分数,%;
$W_{Si}$	硅元素在钢中的质量分数,%;
$W_{Mo}$	钼元素在钢中的质量分数,%;
$W_{Mn}$	锰元素在钢中的质量分数,%;
$W_{Ni}$	镍元素在钢中的质量分数,%。

## 4 型式、参数、分类和型号

### 4.1 型式

气瓶结构型式如图 1 所示,其中 T 型为单头口结构,S 型为双头口结构。



标引序号说明：

- |            |             |
|------------|-------------|
| 1——瓶阀座；    | 3——塑料内胆；    |
| 2——碳纤维缠绕层； | 4——玻璃纤维保护层。 |

注：S型气瓶一端为瓶阀座，另一端为盲堵或用于安装TPRD端塞的阀座。

图 1 气瓶结构式

#### 4.2 参数

4.2.1 气瓶公称工作压力应为 35 MPa 或 70 MPa。

4.2.2 气瓶公称容积及允许偏差应符合表 1 的规定。

表 1 气瓶公称容积及允许偏差

公称容积/L	允许偏差/%
$20 \leq V \leq 120$	+5.0 0
$120 < V \leq 450$	+2.5 0

#### 4.3 分类

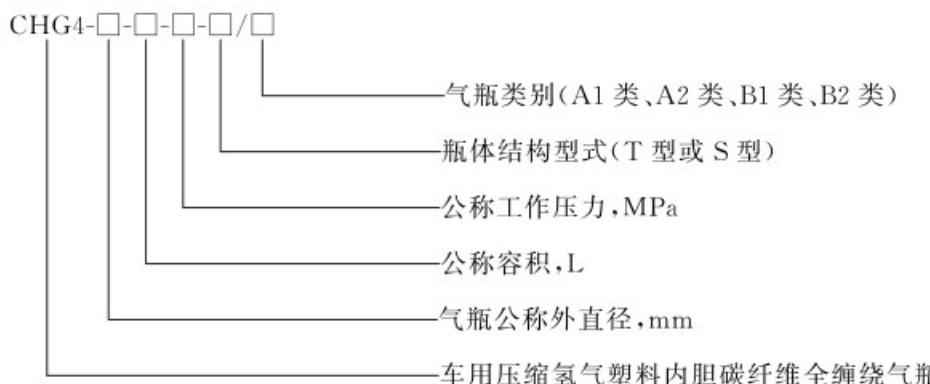
4.3.1 气瓶分为 A 类气瓶和 B 类气瓶。A 类气瓶的公称工作压力为 35 MPa, B 类气瓶的公称工作压力为 70 MPa。A 类气瓶分为 A1 类气瓶和 A2 类气瓶, B 类气瓶分为 B1 类气瓶和 B2 类气瓶。

4.3.2 A1 类和 B1 类气瓶仅适用于至少有四个车轮、车长不超过 8 m 且座位数不超过 19 座的载客车辆。

4.3.3 A1 类和 B1 类气瓶不推荐用于运动型多功能乘用车(SUV)和越野车。

#### 4.4 型号

气瓶型号标记应由以下部分组成：



示例: 气瓶公称外直径为 380 mm, 公称容积为 70 L, 公称工作压力为 70 MPa, 结构型式为 S 型的 B1 类车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶, 其型号标记为 CHG4-380-70-70-S/B1。

## 5 技术要求和试验方法

### 5.1 一般要求

#### 5.1.1 设计使用年限

气瓶的设计使用年限为 15 年。

#### 5.1.2 设计循环次数

气瓶的设计循环次数为 11 000 次。

#### 5.1.3 许用压力

在充装和使用过程中, 气瓶的许用压力为公称工作压力的 1.25 倍。

#### 5.1.4 试验参数允差

除特别注明外, 试验参数允差应符合附录 A 的规定。

#### 5.1.5 温度范围

在充装和使用过程中, 气瓶的温度应不低于  $-40^{\circ}\text{C}$  且不高于  $85^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.1.6 氢气品质

充装气瓶的压缩氢气应符合 GB/T 37244 的规定。

#### 5.1.7 工作环境

气瓶设计应考虑其连续承受机械损伤或化学侵蚀的能力, 其外表面至少应适应下列工作环境:

- a) 间断地浸入水中或道路溅水;
- b) 车辆在海洋附近或在用盐融化冰的路面上行驶;
- c) 阳光中的紫外线辐射;
- d) 车辆振动或碎石冲击;
- e) 接触酸溶液、碱溶液和肥料;
- f) 接触汽车用液体, 如汽油、液压油、电池酸、乙二醇和其他油脂;
- g) 接触排放的废气。

### 5.1.8 日常保养检查

气瓶使用寿命内应进行日常保养检查,检查的基本方法和技术要求应符合附录B的规定。

## 5.2 材料

### 5.2.1 一般要求

5.2.1.1 材料性能应符合相应国家标准或行业标准的规定。

5.2.1.2 材料应有材料制造单位提供的质量证明书原件,或加盖了材料经营单位公章且有经办人签字(章)的质量证明书复印件。

5.2.1.3 材料应经气瓶制造单位复验合格后方可使用。

### 5.2.2 塑料内胆

5.2.2.1 塑料内胆材料宜选用聚乙烯(包括改性聚乙烯)或聚酰胺(包括改性聚酰胺),其与氢气相容性应满足附录C的要求。

5.2.2.2 塑料内胆材料的熔融峰温应大于或等于设计文件的规定值。

5.2.2.3 塑料内胆原材料为粒状时,聚乙烯(包括改性聚乙烯)熔体质量流动速率和聚酰胺(包括改性聚酰胺)熔体体积流动速率应满足设计文件的要求。

5.2.2.4 塑料内胆原材料为粉状时,表观密度、粉体流动性和粒度分布应满足设计文件的要求。

5.2.2.5 气瓶制造单位应按批对塑料内胆材料进行复验。熔融峰温按 GB/T 19466.3 规定的试验方法测定,其中,聚乙烯(包括改性聚乙烯)的升降温速率为 10 °C/min,聚酰胺(包括改性聚酰胺)的升降温速率为 20 °C/min。当塑料内胆原材料为粒状时,熔体质量流动速率或熔体体积流动速率按 GB/T 3682.1—2018 的方法 A 测定,试验温度和负荷根据设计文件确定。当塑料内胆原材料为粉状时,表观密度按 GB/T 1636—2008 的规定测定,采用 A 型漏斗;粉体流动性按 GB/T 21060—2007 规定的方法 A 测定;粒度分布按 GB/T 21843 的规定测定。

### 5.2.3 瓶阀座

5.2.3.1 瓶阀座应采用铝合金 6061 或奥氏体不锈钢 S31603 的棒材或锻件。铝合金挤压棒材应符合 GB/T 3191 的规定,锻件应符合 GB/T 32249、YS/T 479 的规定;奥氏体不锈钢棒材应符合 GB/T 1220 的规定,锻件应符合 NB/T 47010 的规定。

5.2.3.2 铝合金 6061 的化学成分应符合表 2 的规定,其偏差应满足 GB/T 3190 的要求。

表 2 铝合金 6061 化学成分

元素		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Pb	Bi	其他		Al
质量分数/ %	最小值	0.40	—	0.15	—	0.80	0.04	—	—	—	—	单项	总体	
	最大值	0.80	0.70	0.40	0.15	1.20	0.35	0.25	0.15	0.003	0.003	0.05	0.15	余量

5.2.3.3 奥氏体不锈钢 S31603 的镍含量应大于或等于 12%、镍当量应大于或等于 28.5%、断面收缩率应大于或等于 70%。镍当量按公式(1)计算:

$$Ni_{eq} = 12.6W_C + 0.35W_{Si} + 1.05W_{Mn} + W_{Ni} + 0.65W_{Cr} + 0.98W_{Mo} \quad \dots\dots\dots (1)$$

5.2.3.4 气瓶制造单位应按材料炉号进行化学成分复验。铝合金 6061 化学成分复验按 GB/T 7999 或 GB/T 20975(所有部分)的规定执行。奥氏体不锈钢 S31603 化学成分复验按 GB/T 223.3、GB/T 223.4、

GB/T 223.5、GB/T 223.11、GB/T 223.25、GB/T 223.28、GB/T 223.59、GB/T 223.60、GB/T 223.61、GB/T 223.62、GB/T 223.63、GB/T 223.64、GB/T 223.68、GB/T 223.72、GB/T 223.85、GB/T 223.86、GB/T 11170 或 GB/T 20123 的规定执行。

5.2.3.5 铝合金 6061 的拉伸性能、奥氏体不锈钢 S31603 的拉伸和冲击性能应满足气瓶制造单位保证值要求。

5.2.3.6 气瓶制造单位应按材料批号对奥氏体不锈钢 S31603 进行拉伸和冲击性能复验, 对铝合金 6061 进行拉伸性能复验。奥氏体不锈钢 S31603 的拉伸和冲击试验分别按 GB/T 228.1 和 GB/T 229 的规定执行, 铝合金 6061 的拉伸试验按 GB/T 228.1 的规定执行。

#### 5.2.4 O 形密封圈

5.2.4.1 O 形密封圈的材料应采用硅橡胶、氟橡胶、氟硅橡胶、氟碳橡胶、三元乙丙橡胶或氢化丁腈橡胶等与高压氢气具有良好相容性的聚合物。

5.2.4.2 O 形密封圈材料的适用温度范围应满足 -50 ℃ ~ 85 ℃ 的要求。

5.2.4.3 O 形密封圈材料性能应满足附录 D 中 D.2 的要求。

#### 5.2.5 树脂

5.2.5.1 浸渍树脂基体应采用环氧树脂或改性环氧树脂。树脂的环氧值或环氧当量应符合设计文件要求, 玻璃化转变温度应大于或等于 105 ℃。

5.2.5.2 气瓶制造单位应按批对树脂进行复验。环氧值按 GB/T 1677 测定, 环氧当量按 GB/T 4612 测定, 玻璃化转变温度按 GB/T 19466.2 测定。

#### 5.2.6 纤维

##### 5.2.6.1 碳纤维

5.2.6.1.1 碳纤维力学性能应符合气瓶设计文件的规定。

5.2.6.1.2 气瓶制造单位应按批对碳纤维进行复验。碳纤维线密度和纤维浸胶拉伸强度按 GB/T 3362 测定, 试样制备应不加捻。

##### 5.2.6.2 玻璃纤维

气瓶玻璃纤维保护层应采用 S 玻璃纤维或 E 玻璃纤维。

### 5.3 设计

#### 5.3.1 碳纤维、塑料内胆和瓶阀座

5.3.1.1 碳纤维应连续无捻且强度级别相同。

5.3.1.2 塑料内胆应无纵向焊接接头, 且环向焊接接头应小于或等于两道。

5.3.1.3 瓶阀座静强度、疲劳寿命及其与塑料内胆连接接头的静强度、疲劳强度和密封性能应满足气瓶全寿命期内的安全要求。

5.3.1.4 瓶阀座应在塑料内胆端部, 且应与塑料内胆同轴。

5.3.1.5 瓶口螺纹应与瓶阀螺纹相匹配, 瓶口螺纹宜采用符合 GB/T 192、GB/T 196、GB/T 197 或 GB/T 20668 规定的直螺纹。螺纹长度应大于瓶阀螺纹的有效长度。

5.3.1.6 瓶口螺纹在水压试验压力下的切应力安全系数应大于或等于 4。计算螺纹切应力安全系数时, 剪切强度取 0.6 倍的材料抗拉强度保证值。

5.3.1.7 瓶口设计需考虑所装配瓶阀的密封材料、密封形式和密封结构尺寸, 应确定合理的尺寸公差和

表面粗糙度,确保瓶口与瓶阀装配之后在 A1 类和 B1 类气瓶全寿命期内、在 A2 类和 B2 类气瓶定期检验周期内不泄漏。

### 5.3.2 气瓶

5.3.2.1 气瓶的水压试验压力应大于或等于 1.5 倍公称工作压力。

5.3.2.2 气瓶设计时应建立气瓶有限元分析模型,计算碳纤维缠绕层与瓶阀座在以下压力下的应力和应变:公称工作压力、水压试验压力和最小设计爆破压力。气瓶有限元分析模型应能表征气瓶的几何特征、材料特性和边界条件。

注:气瓶采用以有限元分析为基础的试验导向设计方法。

5.3.2.3 气瓶的纤维应力比和最小设计爆破压力应符合表 3 的规定。

表 3 气瓶的纤维应力比和最小设计爆破压力

类别	A 类		B 类	
	A1 类	A2 类	B1 类	B2 类
纤维应力比	≥2.30	≥2.25	≥2.30	≥2.00
最小设计爆破压力	≥2.30P	≥2.25P	≥2.30P	≥2.00P

5.3.2.4 气瓶两端应设置固定在气瓶肩部的保护罩。

## 5.4 制造

### 5.4.1 一般要求

5.4.1.1 气瓶制造应符合产品设计文件的规定。

5.4.1.2 制造应分批管理,内胆成品和气瓶成品均以不大于 200 只(不包括破坏性试验用内胆或气瓶的数量)为一批,O 形密封圈成品以不大于 1 000 个为一批。

5.4.1.3 气瓶生产车间应按工艺文件规定控制环境温度和湿度。

5.4.1.4 塑料内胆成型、纤维缠绕、气瓶固化等过程的所有操作均应由自动化设备和连续工艺协同完成,且无人为干预工艺条件的操作岗位。

### 5.4.2 塑料内胆

5.4.2.1 塑料内胆应按评定合格后的成型工艺进行加工,成型工艺应为注塑、吹塑、挤塑或滚塑。

注:注塑成型工艺参数一般包括注塑温度(包括模具温度、料筒温度和喷嘴温度)、注射及保压压力、注射及冷却时间等参数,吹塑成型工艺参数一般包括吹塑温度(包括模具温度和料筒温度)、吹塑压力、吹气速度、吹胀比、冷却时间等参数,挤塑工艺参数一般包括挤出温度(包括机头温度和料筒温度)、真空压力、挤出速度、牵引速度和冷却温度等参数,滚塑成型工艺参数一般包括滚塑温度、模具旋转速度、冷却时间等参数。

5.4.2.2 采用焊接塑料内胆时,塑料内胆应按评定合格后的焊接工艺进行焊接。塑料内胆焊接工艺评定应按附录 E 执行。焊接接头质量检测宜采用附录 F 给出的可视化超声检测方法。如采用其他无损检测方法,其有效性应经试验验证。焊接接头试验方法和合格指标应满足设计文件要求。

5.4.2.3 焊接应连续,外表面卷边切除后,表面不应有未熔合、烧焦、孔洞、肉眼可见的杂质等缺陷。

5.4.2.4 采用焊缝检测尺检查焊接接头的错边量  $b$  和卷边中心高度  $K$ ,测量精度为 0.1 mm。焊接接头的错边量应小于或等于塑料内胆厚度  $t$  的 10%,卷边中心高度应大于 0,如图 2 所示。

5.4.2.5 焊接接头不合格的塑料内胆应报废。

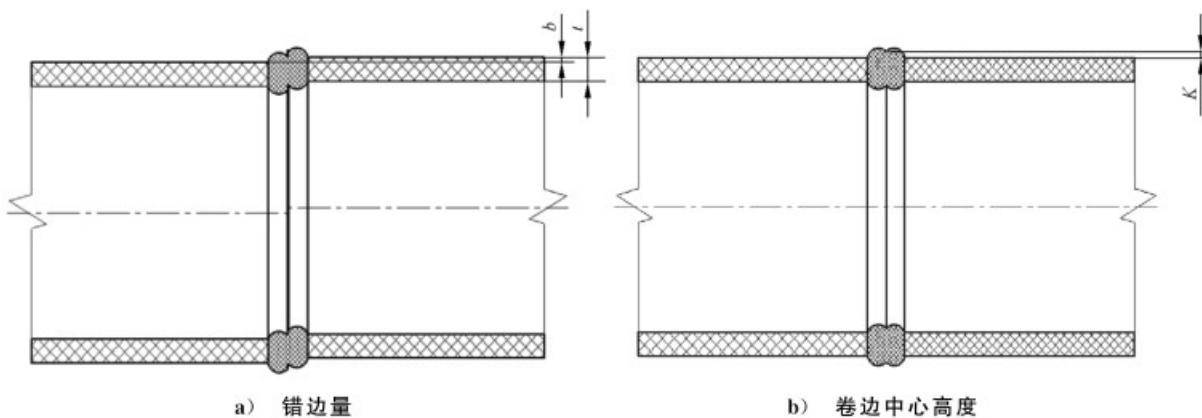


图 2 塑料内胆焊接接头示意图

#### 5.4.3 瓶口螺纹

螺纹和密封面应光滑平整,不应有倒牙、平牙、牙双线、牙底平、牙尖、牙阔以及螺纹表面上的明显跳动波纹。螺纹轴线应与气瓶轴线同轴。

#### 5.4.4 纤维缠绕

5.4.4.1 缠绕纤维前,应清洁塑料内胆外表面。

5.4.4.2 缠绕和固化应按评定合格的工艺进行。固化温度不应对塑料内胆性能产生影响。

5.4.4.3 监控缠绕过程并记录工艺要求的定位尺寸、纤维张力、充气压力等。

5.4.4.4 监控固化过程并记录时间、温度和内压。

#### 5.5 附件

5.5.1 瓶阀应符合 GB/T 42536 的规定。

5.5.2 气瓶应安装 TPRD, TPRD 应采用易熔合金塞或玻璃泡,其动作温度为(110±5)℃。易熔合金塞应符合 GB/T 33215 的规定,玻璃泡应符合有关标准的规定。TPRD 泄放口不应朝向瓶体。

5.5.3 气瓶安全泄放量和泄压装置额定排量应按 GB/T 33215 计算,其中,泄放系数可取 0.975。对于 B 类气瓶和公称容积大于 100 L 的 A 类气瓶,可按实际泄放通径加 1.5 mm 计算泄压装置额定排量,并通过 5.7.7 规定的火烧试验验证泄压装置额定排量是否满足气瓶安全泄放要求。

5.5.4 气瓶安装其他保护装置、支撑装置、固定装置时,装置不应影响气瓶受力和 TPRD 的正常开启。

5.5.5 A1 类和 B1 类气瓶附件应满足气瓶全寿命期内不拆卸检查的安全使用要求。

5.5.6 盲堵材料应与瓶阀座材料相同。

#### 5.6 内胆合格指标和试验方法

##### 5.6.1 质量、壁厚和制造偏差

###### 5.6.1.1 合格指标

塑料内胆的质量、壁厚和制造偏差应符合以下要求:

- 质量大于或等于设计质量;
- 壁厚大于或等于设计壁厚;
- 筒体外直径平均值与公称外直径之差小于或等于公称外直径的 1%;
- 筒体同一截面上最大外直径与最小外直径之差小于或等于公称外直径的 2%;

- e) 筒体直线度小于或等于筒体长度的 0.3%。

### 5.6.1.2 试验方法

塑料内胆质量、壁厚和制造偏差按以下方法进行检查。

- 质量应采用电子数字秤等衡器进行测量。衡器的最大称量应为常用称量值的 1.5 倍~3 倍, 允许误差应符合 JJG 539—2016 中表 1 规定的中准确度级要求。
- 壁厚宜采用超声测厚仪或测量精度与超声测厚仪等同的其他测量仪器/工具进行测量, 测量精度应不低于 0.1 mm。
- 制造偏差应采用专用量具进行检查。

### 5.6.2 内外表面

#### 5.6.2.1 合格指标

塑料内胆的内外表面应符合以下要求:

- 干净无污物;
- 无鼓包、褶皱、重叠以及边缘尖锐的表面压痕等缺陷。

#### 5.6.2.2 试验方法

在充足光线下对外表面进行目视检查, 必要时可采用内窥灯或工业内窥镜对内表面进行检查。

### 5.6.3 母材拉伸试验

#### 5.6.3.1 合格指标

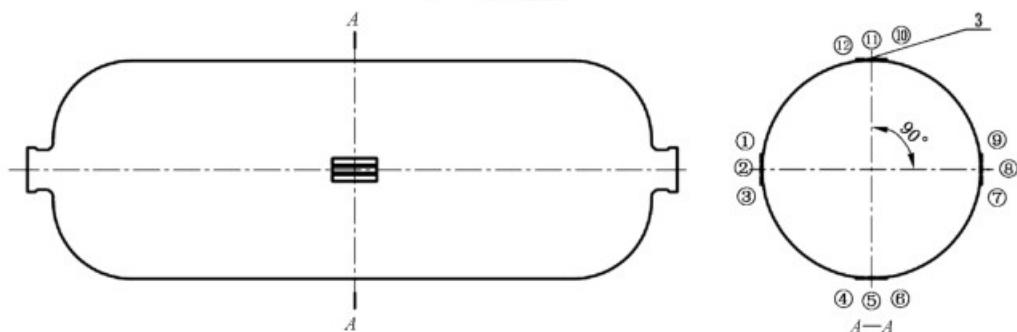
试样的破坏类型为韧性断裂, 拉伸断裂应力和拉伸断裂标称应变应大于或等于气瓶制造单位设计保证值。

注: 韧性断裂和脆性断裂有时难以判断, 综合考虑拉伸断裂标称应变、断口宏观和微观形貌有助于判断断裂类型。

#### 5.6.3.2 取样

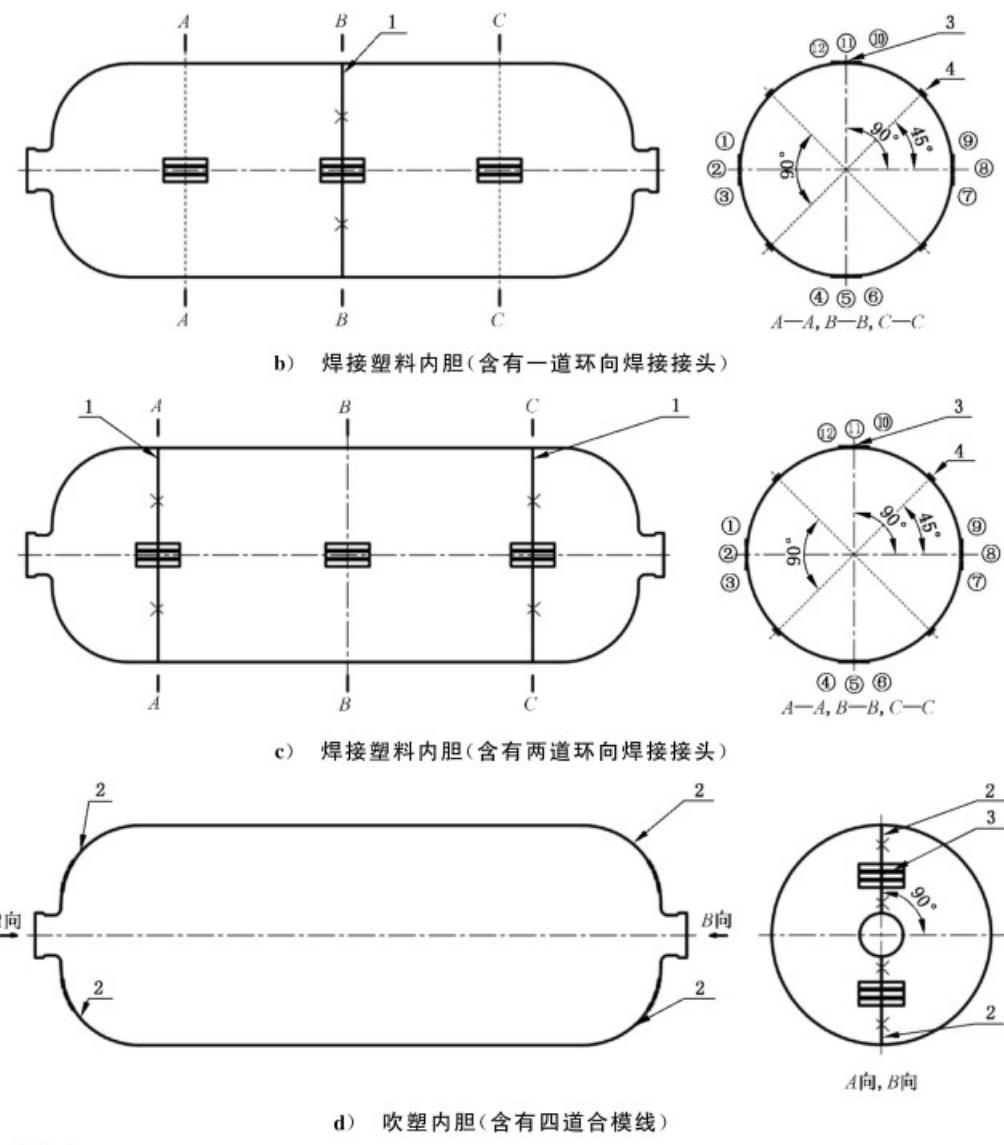
取样部位为沿环向 0°、90°、180°、270°四个位置, 如图 3 所示。

- 无缝塑料内胆: 在筒体中部取 12 件轴向拉伸试样, 如图 3 a) 所示。
- 焊接塑料内胆: 含有一道环向焊接接头时, 在筒体两端与焊接接头之间的中间部位各取 12 件轴向拉伸试样, 如图 3 b) 所示; 含有两道环向焊接接头时, 在筒体直筒段中间部位取 12 件轴向拉伸试样, 如图 3 c) 所示。



a) 无缝塑料内胆

图 3 取样部位示意图



标引序号说明：

1——焊接接头；

2——合模线；

3——拉伸试样取样位置；

4——轴向解剖位置(仅在焊缝处)。

图 3 取样部位示意图(续)

### 5.6.3.3 试验方法

将试样随机分成3组,按GB/T 1040.1和GB/T 1040.2—2022的规定,采用1B型试样,试样厚度为内胆厚度,分别在( $23 \pm 2$ )℃、( $-50 \pm 2$ )℃和( $90 \pm 2$ )℃下进行拉伸试验。拉伸试验速度为10 mm/min。

### 5.6.4 焊接接头检测

#### 5.6.4.1 拉伸试验

##### 5.6.4.1.1 合格指标

试样的破坏类型为韧性断裂,拉伸断裂应力和拉伸断裂标称应变应大于或等于气瓶制造单位设计

保证值。

#### 5.6.4.1.2 取样

在经无损检测合格后的塑料内胆上制取焊接接头拉伸试样。在每道焊接接头处取 12 件轴向拉伸试样,对于含合模线的吹塑内胆,在每道合模线处取 3 件垂直于合模线的拉伸试样,取样部位如图 3 d) 所示。取样时应确保焊缝或合模线位于试样中部。

#### 5.6.4.1.3 试验方法

将试样随机分成 3 组,按 GB/T 1040.1 和 GB/T 1040.2—2022 的规定,采用 1B 型试样,试样厚度为内胆厚度,分别在  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、 $(-50 \pm 2)^\circ\text{C}$  和  $(90 \pm 2)^\circ\text{C}$  下进行拉伸试验。拉伸试验速度为 10 mm/min。

#### 5.6.4.2 解剖检查

##### 5.6.4.2.1 合格指标

熔融宽度应满足设计文件要求。

##### 5.6.4.2.2 试验方法

对取完拉伸试样之后的剩余焊接接头部位,先在每条焊接接头部位环向  $45^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $225^\circ$  和  $315^\circ$  四个位置沿轴向解剖,如图 3 所示,用带测量系统的光学显微镜观察熔融部位的熔融范围,并测量熔融宽度,测量精度为 0.1 mm。

#### 5.6.5 维卡软化温度

##### 5.6.5.1 合格指标

聚乙烯(包括改性聚乙烯)的维卡软化温度应大于或等于  $115^\circ\text{C}$ ,聚酰胺(包括改性聚酰胺)的维卡软化温度应大于或等于  $135^\circ\text{C}$ 。

##### 5.6.5.2 试验方法

按 GB/T 1633—2000 规定的 A<sub>50</sub> 法测定。

#### 5.6.6 瓶阀座

##### 5.6.6.1 瓶阀座螺纹

###### 5.6.6.1.1 合格指标

瓶阀座螺纹符合以下要求:

- a) 螺纹的有效螺距数应符合气瓶设计文件的规定;
- b) 螺纹牙型、尺寸、公差和表面粗糙度应符合气瓶设计文件的规定。

###### 5.6.6.1.2 试验方法

在充足光线下用量规对瓶阀座螺纹进行目视检查,量规应与瓶阀座螺纹相匹配,宜用符合 GB/T 3934 的标准量规检查;表面粗糙度用粗糙度仪进行检查。

### 5.6.6.2 瓶阀座和塑料内胆连接接头

#### 5.6.6.2.1 合格指标

瓶阀座与塑料内胆连接接头质量检测至少应包括尺寸(仅针对塑料内胆成型后再与瓶阀座组装的情况)、低压气密性和解剖检查。瓶阀座与塑料内胆连接接头质量应符合气瓶设计文件的规定。

#### 5.6.6.2.2 试验方法

试验方法如下:

- a) 尺寸检查:宜采用光学设备通过非接触测量方法对连接接头进行尺寸检查,测量精度应不低于0.1 mm;
- b) 低压气密性检查:采用无油洁净干燥空气或其他惰性气体进行低压气密性检查,试验压力应小于或等于0.2 MPa,保压时间应大于或等于1 min,其余参数应按气瓶设计文件执行;
- c) 解剖检查:按工艺文件要求解剖瓶阀座与塑料内胆连接接头后,在充足光线下进行目视检查。

注:电子计算机断层扫描仪(CT)检查具有不破坏气瓶的优点,是一种未来有可能替代目视检查的方法。

### 5.6.7 O形密封圈

#### 5.6.7.1 合格指标

O形密封圈的外观、尺寸、硬度、断裂拉伸强度、拉断伸长率、压缩永久变形率、硬度变化和氢气损伤应符合D.3的规定。

#### 5.6.7.2 试验方法

按D.3的规定进行试验。压缩永久变形试验、硬度变化试验和氢气损伤试验应由O形密封圈制造单位或气瓶制造单位进行并提供试验报告,气瓶制造单位应对O形密封圈外观、尺寸和硬度等进行复验。

## 5.7 气瓶合格指标和试验方法

### 5.7.1 缠绕层力学性能

#### 5.7.1.1 层间剪切试验

##### 5.7.1.1.1 合格指标

缠绕层层间剪切强度应大于或等于34.5 MPa。

##### 5.7.1.1.2 试验方法

按附录G的规定制备试样。试样在沸水中煮24 h,取出冷却至室温,擦干表面水分,再按附录G的规定进行试验。

##### 5.7.1.2 拉伸试验

##### 5.7.1.2.1 合格指标

拉伸强度应大于或等于设计制造单位保证值。

##### 5.7.1.2.2 试验方法

按GB/T 1458的规定进行试验,有效试样数应不少于6个。

## 5.7.2 缠绕层外观

### 5.7.2.1 合格指标

缠绕层应无纤维裸露、纤维断裂、树脂积瘤、分层及纤维未浸透等缺陷。标签应无褪色、文字模糊等缺陷。

### 5.7.2.2 试验方法

在充足光线下对缠绕层外观进行目视检查。

## 5.7.3 水压试验

### 5.7.3.1 合格指标

瓶体不应泄漏或明显变形,气瓶弹性膨胀量应小于极限弹性膨胀量。规定的极限弹性膨胀量应小于或等于设计定型批相同规格型号气瓶在水压试验压力下弹性膨胀量平均值的 1.1 倍。

**注:** 极限弹性膨胀量是在每种规格型号气瓶设计定型阶段,由制造单位规定的气瓶弹性膨胀量的许用上限值,以毫升(mL)为单位。

### 5.7.3.2 试验方法

采用内测法,按 GB/T 9251 的规定进行试验,试验压力  $P_b$  为 1.5 倍公称工作压力,保压时间至少 30 s。

## 5.7.4 气密性试验

### 5.7.4.1 合格指标

氢气漏率应小于或等于  $6 \text{ mL}/(\text{h} \cdot \text{L})$ 。

### 5.7.4.2 试验方法

采用水压试验合格后的气瓶,按附录 H 的规定进行试验,温度为  $(15 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

## 5.7.5 水压爆破试验

### 5.7.5.1 合格指标

气瓶爆破压力应为  $0.9P_{b0} \sim 1.1P_{b0}$ ,且大于或等于  $P_{bmin}$ 。气瓶爆破压力期望值  $P_{b0}$  及确定依据(含实测值及其统计分析)应由气瓶制造单位提供。

### 5.7.5.2 试验方法

按 GB/T 15385 的规定进行试验。试验过程中加压速率同时满足以下要求:

- 当试验压力大于 1.5 倍公称工作压力时,升压速率应小于或等于 1.4 MPa/s;
- 当升压速率小于或等于 0.35 MPa/s 时,可加压直至爆破;当升压速率大于 0.35 MPa/s 且小于 1.4 MPa/s 时,如果气瓶处于压力源和测压装置之间,可加压直至爆破,否则应在最小设计爆破压力下保压至少 5 s 后,再继续加压直至爆破。

## 5.7.6 常温压力循环试验

### 5.7.6.1 合格指标

A1 类和 B1 类气瓶在循环次数 22 000 次内,气瓶不应泄漏或破裂,继续循环至 44 000 次或至泄

漏,气瓶不应破裂。A2类和B2类气瓶在设计循环次数11 000次内,气瓶不应泄漏或破裂,继续循环至22 000次或至泄漏,气瓶不应破裂。

#### 5.7.6.2 试验方法

按GB/T 9252的规定进行试验,循环压力下限为2 MPa,上限大于或等于1.25倍公称工作压力,压力循环频率小于或等于10次/min。

#### 5.7.7 火烧试验

##### 5.7.7.1 合格指标

火烧试验过程中,热电偶温度应达到附录I规定的范围,从点火到TPRD打开的时间应大于或等于10 min。气瓶内气体通过TPRD泄放,泄放过程应连续,且气瓶不应爆破。

##### 5.7.7.2 试验方法

气瓶安装附件后,按附录I的规定进行试验。

#### 5.7.8 扭矩试验

##### 5.7.8.1 合格指标

氢气漏率应小于或等于6 mL/(h·L)。

##### 5.7.8.2 试验方法

采用卡具固定瓶体后,使用力矩扳手或其他能够设定扭矩的装置对瓶阀座施加2倍设计最大扭矩,然后按5.7.4.2的规定进行气密性试验。

#### 5.7.9 极限温度压力循环试验

##### 5.7.9.1 合格指标

在压力循环试验过程中应无纤维松开、气瓶泄漏或破裂现象;水压爆破试验时,其爆破压力应大于或等于1.8倍公称工作压力。

##### 5.7.9.2 试验方法

###### 5.7.9.2.1 高温压力循环试验

试验步骤如下:

- a) 将气瓶置于温度大于或等于85 °C、相对湿度大于或等于90%的环境中直至气瓶外表面温度大于或等于85 °C;
- b) 在此环境中按GB/T 9252的规定进行压力循环试验,循环压力下限为2 MPa,上限大于或等于1.25倍公称工作压力,压力循环频率小于或等于10次/min,压力循环次数为4 000次;
- c) 试验过程中应保证气瓶表面及瓶内试验介质的温度大于或等于85 °C。

###### 5.7.9.2.2 低温压力循环试验

试验步骤如下:

- a) 将气瓶置于温度小于或等于-40 °C的环境中直至气瓶外表面温度小于或等于-40 °C;
- b) 在此环境中按GB/T 9252的规定进行压力循环试验,循环压力下限为2 MPa,上限大于或等

于 0.8 倍公称工作压力, 压力循环频率小于或等于 10 次/min, 压力循环次数为 4 000 次;

- c) 试验过程中应保证气瓶表面及瓶内试验介质的温度小于或等于 -40 ℃。

### 5.7.9.2.3 水压爆破试验

对经高温和低温压力循环试验的气瓶, 按 5.7.5.2 的规定进行水压爆破试验。

## 5.7.10 加速应力破裂试验

### 5.7.10.1 合格指标

爆破压力应大于或等于 1.8 倍公称工作压力。

### 5.7.10.2 试验方法

在温度大于或等于 85 ℃的环境中, 将气瓶加水压至 1.25 倍公称工作压力, 并在此温度和压力下静置 1 000 h, 再按 5.7.5.2 的规定进行水压爆破试验。

## 5.7.11 裂纹容限试验

### 5.7.11.1 合格指标

A1 类气瓶在前 7 500 次压力循环内, 瓶体不应泄漏或破裂; 继续循环至设计循环次数  $N_d$  之前, 瓶体不应破裂。

A2 类气瓶在前 3 000 次压力循环内, 瓶体不应泄漏或破裂; 继续循环至设计循环次数  $N_d$  之前, 瓶体不应破裂。

### 5.7.11.2 试验方法

试验步骤如下。

- a) 在靠近气瓶端部的筒体外表面沿轴向用宽度 1 mm~1.5 mm 的刀具加工两条裂纹, 并符合以下要求:
  - 1) 一条裂纹位于气瓶的瓶阀端, 长度为 25 mm, 深度大于或等于 1.25 mm;
  - 2) 另一条裂纹位于气瓶的另一端, 长度为 200 mm, 深度大于或等于 0.75 mm。
- b) 按 GB/T 9252 的规定进行压力循环试验, 并同时满足以下要求:
  - 1) 循环压力下限为 2 MPa, 上限大于或等于 1.25 倍公称工作压力;
  - 2) 压力循环频率小于或等于 10 次/min;
  - 3) 循环次数为设计循环次数  $N_d$ 。

## 5.7.12 环境试验

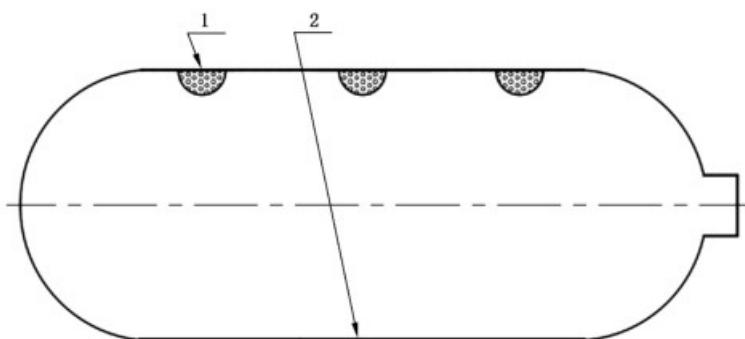
### 5.7.12.1 合格指标

气瓶在试验过程中, 瓶体不应泄漏; 试验后, 其爆破压力应大于或等于 1.8 倍公称工作压力。

### 5.7.12.2 试验方法

#### 5.7.12.2.1 气瓶放置和区域划分

在气瓶筒体(B类气瓶应在裂纹加工表面的对侧)划分 3 个明显区域, 以进行摆锤冲击和化学暴露, 如图 4 所示。每个区域的直径应为 100 mm。3 个区域可不在一条直线上, 但不应重叠。



标引序号说明：

1——摆锤冲击和化学暴露区域；

2——裂纹加工表面。

图 4 气瓶冲击和化学暴露区域图

#### 5.7.12.2.2 摆锤冲击预处理

在 3 个区域各自的中心附近用摆锤进行冲击预处理。摆锤为钢制正四棱锥体，其侧面为等边三角形，顶点和棱的圆角半径为 3 mm。摆锤冲击中心与锥体重心的连线应在气瓶撞击点法线上，摆锤的冲击能量应大于或等于 30 J。在摆锤冲击过程中，应保持气瓶固定且始终无内压。

#### 5.7.12.2.3 暴露用环境液体

在 3 个经摆锤冲击预处理的区域表面，分别放置厚度为 1.0 mm、直径为 100 mm 的玻璃棉衬垫。分别向衬垫加入足够的化学试剂溶液，确保试验过程中化学试剂溶液均匀地由衬垫渗透到气瓶表面。化学暴露区域应朝上，可加盖塑料薄膜，以防化学试剂溶液蒸发。3 种化学试剂溶液为：

- 体积分数为 19% 的硫酸水溶液；
- 体积分数为 10% 的乙醇汽油溶液；
- 体积分数为 50% 的甲醇水溶液。

#### 5.7.12.2.4 压力循环

按 GB/T 9252 的规定进行压力循环试验，循环压力下限为 2 MPa，循环压力上限大于或等于 1.25 倍公称工作压力，升压速率小于或等于 2.75 MPa/s，压力循环次数为 3 000 次。

#### 5.7.12.2.5 保压

将气瓶加压至 1.25 倍公称工作压力，在此压力下保压，并同时满足以下要求：

- 保压时间至少 24 h；
- 化学溶液腐蚀时间（保压时间与 5.7.12.2.4 中压力循环时间之和）至少 48 h。

#### 5.7.12.2.6 水压爆破试验

按 5.7.5.2 的规定进行试验。

### 5.7.13 跌落试验

#### 5.7.13.1 合格指标

气瓶跌落后，肩部保护罩不应脱落。A1 类气瓶在前 7 500 次常温压力循环内，不应破裂或泄漏；继

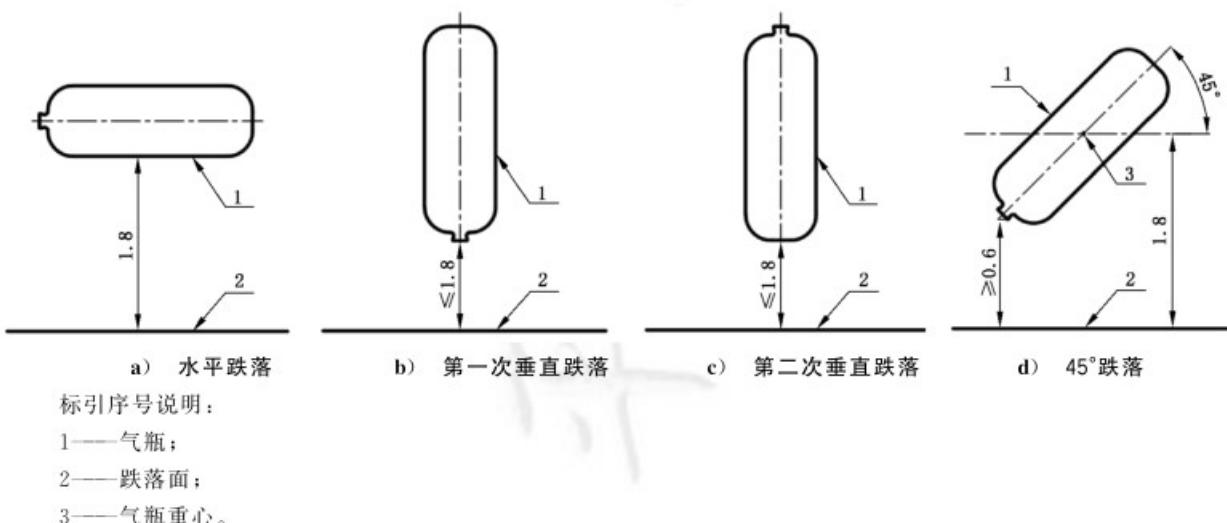
续循环至设计循环次数  $N_d$  之前,瓶体不应破裂。A2 类气瓶在前 3 000 次常温压力循环内,不应破裂或泄漏;继续循环至设计循环次数  $N_d$  之前,瓶体不应破裂。

### 5.7.13.2 试验方法

采用无内压、不安装瓶阀、保留肩部保护罩的气瓶进行试验。跌落面应为水平、光滑的水泥地面或类似的坚硬表面。试验过程如图 5 所示。试验步骤如下。

- 水平跌落:气瓶下表面距跌落面 1.8 m,跌落 1 次。
- 垂直跌落:气瓶两端分别垂直跌落 1 次。跌落高度(气瓶较低端距跌落面的距离)大于或等于 0.1 m 且小于或等于 1.8 m,使气瓶跌落势能大于或等于 488 J。当 1.8 m 跌落高度下气瓶跌落势能不足 488 J 时,以 1.8 m 为跌落高度。为保证气瓶能够自由跌落,可采取措施防止气瓶翻倒。
- 45°跌落:气瓶瓶口向下与竖直方向呈 45°跌落 1 次。若气瓶低端距跌落面小于 0.6 m,则应改变跌落角度以保证最小高度为 0.6 m,同时应保证气瓶重心距跌落面的高度为 1.8 m。
- 气瓶跌落后,按 5.7.6.2 的规定进行常温压力循环试验,循环次数为气瓶设计循环次数  $N_d$ 。

单位为米



### 5.7.14 氢气循环试验

#### 5.7.14.1 合格指标

在氢气循环过程中,气瓶不应泄漏或破裂;在气密性试验中,氢气漏率应小于或等于  $6 \text{ mL}/(\text{h} \cdot \text{L})$ ;解剖后塑料内胆、塑料内胆和瓶阀座连接处应无疲劳裂纹、塑料内陷、O 形密封件(含挡圈)老化或静电放电造成的损伤。

#### 5.7.14.2 试验方法

采用氢气,对安装附件后的气瓶进行氢气循环试验,并同时满足以下要求。

- 循环压力的下限为 2 MPa,上限大于或等于 1.25 倍公称工作压力。
- 充氢速率小于或等于 60 g/s,充氢过程中瓶内气体温度小于或等于 85 °C。
- 放氢速率大于或等于实际使用时气瓶最大放氢速率,放氢过程气瓶表面温度大于或等于 -40 °C。

- d) 氢气循环次数为 1 000 次,分两组进行,每组 500 次。第一组在常温环境中进行,循环后将气瓶加压至 1.15 倍公称工作压力,并在 55 ℃环境中静置至少 30 h;第二组在环境温度为 -30 ℃和 50 ℃条件下分别进行 250 次循环。
- e) 按 5.7.4.2 的规定对气瓶进行气密性试验。
- f) 解剖气瓶,检查塑料内胆、塑料内胆与瓶阀座连接处是否有可见损伤。

### 5.7.15 枪击试验

#### 5.7.15.1 合格指标

气瓶不应破裂。

#### 5.7.15.2 试验方法

试验步骤如下。

- a) 采用氢气或氮气将气瓶加压至公称工作压力。
- b) 从下列两种方法中任选一种进行射击:
  - 1) 采用直径为 7.62 mm 的穿甲弹以 850 m/s 的速度射击气瓶,射击距离小于或等于 45 m;
  - 2) 采用维氏硬度(HV)大于或等于 870、直径为 6.08 mm~7.62 mm、质量为 3.8 g~9.75 g 的锥形钢制弹头(锥角为 45°)以 850 m/s 的速度射击气瓶,射击能量大于或等于 3 300 J。
- c) 子弹应以 90°射击气瓶一侧瓶壁。

### 5.7.16 常温渗透试验

#### 5.7.16.1 合格指标

稳定状态下氢气漏率(含气瓶及其附件的泄漏)应小于或等于 6 mL/(h · L)。

#### 5.7.16.2 试验方法

将安装附件后的气瓶置于温度为(15±5)℃的密闭容器中,缓慢充氢至公称工作压力,并在此压力下静置至少 12 h 后,测量 1 次氢气渗透量。之后,每隔 12 h 以上测量 1 次氢气渗透量,至少连续测量 3 次,直至两次测量值之差小于或等于前一次测量值的±10%,结束试验,记录气瓶氢气渗透量随时间变化曲线。

### 5.7.17 耐久性试验

#### 5.7.17.1 合格指标

在水压试验、跌落试验、表面损伤试验、环境试验、加速应力破裂试验、极限温度压力循环试验和常温静压试验过程中,气瓶不应泄漏或破裂;在剩余强度液压爆破试验中,气瓶爆破压力应大于或等于  $0.8P_{b0}$ 。

#### 5.7.17.2 试验方法

##### 5.7.17.2.1 总体要求

随机抽取 1 只气瓶按 5.7.17.2.2~5.7.17.2.9 的规定顺序进行试验,如图 6 所示。

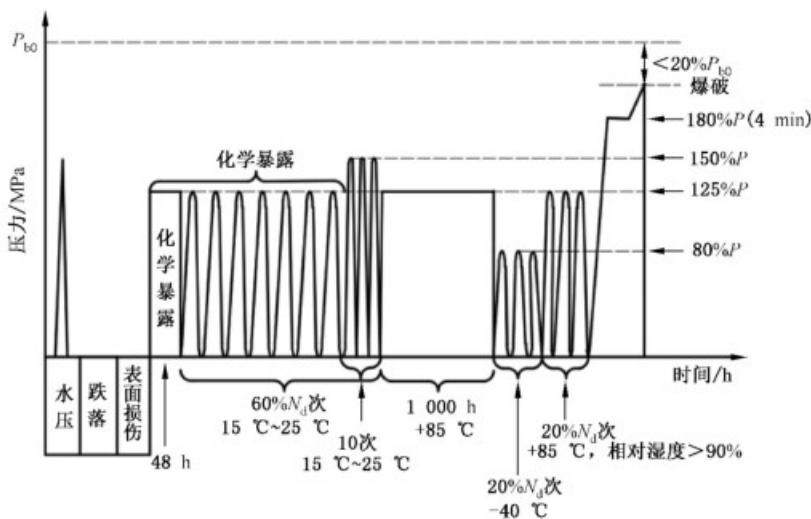


图 6 耐久性试验流程图

#### 5.7.17.2.2 水压试验

按 5.7.3.2 的规定进行水压试验, 将气瓶加压至 1.5 倍公称工作压力并保压至少 30 s。气瓶制造单位已做过水压试验的气瓶可不进行此项试验。

#### 5.7.17.2.3 跌落试验

按 5.7.13.2 a)、b)、c) 的规定进行跌落试验。

#### 5.7.17.2.4 表面损伤试验

试验步骤如下:

- 先按 5.7.11.2 a) 的规定对气瓶进行裂纹制备;
- 将气瓶在小于或等于  $-40^{\circ}\text{C}$  的环境中至少静置 12 h;
- 静置完成后应立即对气瓶按 5.7.12.2.1 和 5.7.12.2.2 的规定进行摆锤冲击。

#### 5.7.17.2.5 环境试验

试验步骤如下:

- 按 5.7.12.2.3 的规定进行化学暴露, 气瓶的总浸渍时间应大于 48 h, 并保持气瓶内压为 1.25 倍公称工作压力, 环境温度为  $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ;
- 在循环压力下限为 2 MPa、上限大于或等于 1.25 倍公称工作压力, 环境温度为  $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  条件下对气瓶进行压力循环, 压力循环频率应小于或等于 10 次/min, 循环次数为  $0.6N_d$ 。在进行最后 10 次循环前, 应将压力上限升高为 1.5 倍公称工作压力。压力循环结束后, 移走玻璃棉衬垫并用清水冲洗气瓶表面。

#### 5.7.17.2.6 加速应力破裂试验

将气瓶置于温度大于或等于  $85^{\circ}\text{C}$  的高温环境中, 将气瓶加水压至 1.25 倍公称工作压力, 并在此温度和压力下静置 1 000 h。

#### 5.7.17.2.7 极限温度压力循环试验

先将气瓶置于温度小于或等于  $-40^{\circ}\text{C}$  的低温环境中, 在压力下限为 2 MPa、上限大于或等于 0.8 倍

公称工作压力条件下进行压力循环试验,压力循环频率应小于或等于 10 次/min,循环次数为  $0.2N_d$ ,试验过程中应保证气瓶表面及瓶内试验介质的温度小于或等于  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 。再将气瓶置于温度大于或等于  $85\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度大于或等于 90% 的环境中,在压力下限为 2 MPa、上限大于或等于 1.25 倍公称工作压力条件下进行压力循环试验,循环次数为  $0.2N_d$ ,试验过程中应保证气瓶表面及瓶内试验介质的温度大于或等于  $85\text{ }^\circ\text{C}$ 。

#### 5.7.17.2.8 常温静压试验

按 5.7.3.2 的规定进行水压试验,试验压力为 1.8 倍公称工作压力,保压时间为 4 min。

#### 5.7.17.2.9 剩余强度液压爆破试验

按 5.7.5.2 的规定进行水压爆破试验。

### 5.7.18 使用性能试验

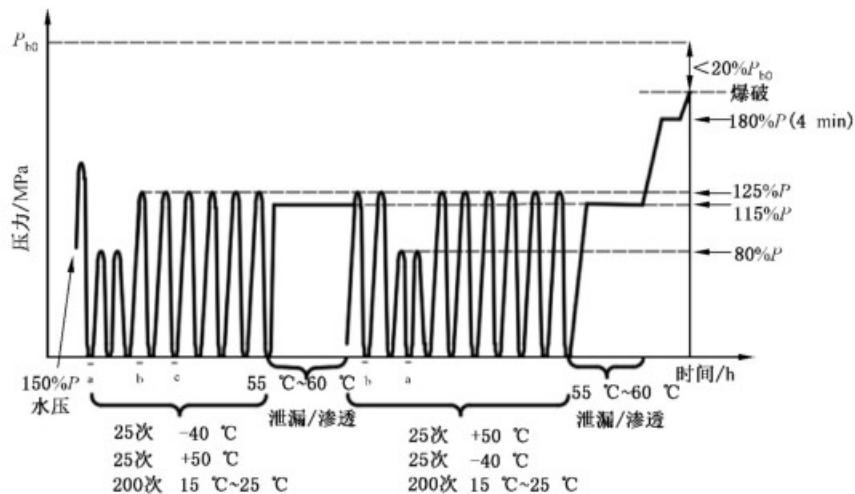
#### 5.7.18.1 合格指标

在水压试验、常温和极限温度气压循环试验、极限温度渗透试验和常温静压试验过程中,气瓶不应泄漏或破裂;在极限温度渗透试验中,渗透达稳定状态的时间应小于或等于 500 h,测得稳定状态时的氢气漏率(含气瓶及其附件的泄漏)应小于或等于 46 mL/(h·L),且每个泄漏点的氢气漏率均应小于或等于 3.6 mL/min (0.005 mg/s);在剩余强度液压爆破试验中,气瓶爆破压力应大于或等于  $0.8P_{b0}$ 。

#### 5.7.18.2 试验方法

##### 5.7.18.2.1 总体要求

随机抽取 1 只气瓶,安装附件后,按 5.7.18.2.2~5.7.18.2.6 的规定顺序进行试验,如图 7 所示。



<sup>a</sup> 试验环境温度小于或等于  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ ,其中 5 次循环使用  $(20 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$  的氢气。

<sup>b</sup> 试验环境温度大于或等于  $+50\text{ }^\circ\text{C}$ 。

<sup>c</sup> 试验环境温度为  $15\text{ }^\circ\text{C} \sim 25\text{ }^\circ\text{C}$ 。

图 7 使用性能试验流程图

##### 5.7.18.2.2 水压试验

按 5.7.3.2 的规定进行水压试验,试验压力  $P_h$  为 1.5 倍公称工作压力,保压时间至少 30 s。气瓶制

造单位已做过水压试验的气瓶可不进行此项试验。

#### 5.7.18.2.3 常温和极限温度气压循环试验

对安装附件后的气瓶用氢气进行 500 次气压循环。气压循环分为两组,每组各 250 次,试验顺序和试验条件如图 7 和表 4 所示。每组气压循环后按 5.7.18.2.4 的规定进行极限温度渗透试验。

表 4 常温和极限温度气压循环试验

试验组号	压力循环次数/次	试验条件			
		氢气温度/℃	环境温度 <sup>a</sup> /℃	循环压力上限	相对湿度/%
第一组 (250 次)	5	20±5	$\leq -40$	0.8P	
	20	-33~-40			
	25	-33~-40	$\geq 50$	1.25P	$\geq 90$
	200	-33~-40	(20±5)	1.25P	
第二组 (250 次)	25	-33~-40	$\geq 50$	1.25P	$\geq 90$
	25	-33~-40	$\leq -40$	0.8P	
	200	-33~-40	(20±5)	1.25P	

<sup>a</sup> 环境温度变化时气瓶及其附件均应达到规定的环境温度后方可进行后续气压循环试验。

试验同时满足以下要求。

- a) 试验前,将气瓶在规定的温度、相对湿度环境中静置至少 24 h。
- b) 试验过程中,应保持环境温度和相对湿度稳定,氢气温度应实时记录,并控制在表 4 规定的温度范围内。若气瓶实际使用时采用特殊装置防止内部出现极端温度,试验时可使用该装置。
- c) 循环压力下限为 2 MPa,循环压力上限应符合表 4 的规定。若气瓶在使用过程中的压力始终大于 2 MPa,则应以此压力为循环压力下限。
- d) 气瓶应匀速充氢至规定压力,充氢速率应小于或等于 60 g/s,充氢时间应符合表 5 的规定。若试验过程中气瓶内温度大于 85 ℃,应适当降低充氢速率,使气瓶内的温度不超过 85 ℃。
- e) 放氢速率应大于或等于实际使用时气瓶最大放氢速率。500 次循环中,任意 50 次循环的放氢速率应大于或等于气瓶日常保养检查或定期检验时的放氢速率。放氢时,阀体的进口温度应大于或等于-40 ℃。

表 5 气瓶公称容积与最长充氢时间

公称容积 <sup>a</sup> /L	$\leq 165$	200	250	300	350	400	450
最长充氢时间/min	3.0	3.6	4.5	5.4	6.3	7.2	8.1

<sup>a</sup> 其他公称容积气瓶的充氢时间可采用线性插值法计算。

#### 5.7.18.2.4 极限温度渗透试验

在 5.7.18.2.3 中每组气压循环之后进行。试验步骤如下。

- a) 气体渗透试验步骤如下:
  - 1) 将气瓶及其附件置于温度为 55 ℃~60 ℃的密闭容器中;
  - 2) 用氢气将气瓶及其附件缓慢加压至 1.15 倍公称工作压力,并在此压力下静置至少 12 h;

- 3) 测量氢气渗透量;之后,每隔 12 h 以上测量 1 次氢气渗透量,至少连续测量 3 次,直至两次测量值之差小于或等于前一次测量值的±10%,结束试验;
- 4) 记录从静置开始到最后一次测量氢气渗透量的时间为渗透达稳定状态的时间,记录气瓶氢气渗透量随时间变化曲线。
- b) 若实测氢气漏率大于 3.6 mL/min (0.005 mg/s),则应进行局部泄漏试验,以确保每个泄漏点的氢气漏率小于或等于 3.6 mL/min (0.005 mg/s)。局部泄漏试验方法可以采用气泡法,步骤如下:
- 1) 将截止阀等与气瓶相连接的零部件排气口用阀帽进行密封;
  - 2) 在室外将气瓶及其附件涂上专用检漏液,寻找泄漏点;
  - 3) 将气瓶及其附件浸没在专用检漏液中;
  - 4) 根据气泡尺寸和气泡形成速率评估氢气泄漏程度,不同直径气泡的允许个数如表 6 所示,表 6 中  $d$  为气泡直径,N 为气泡直径对应的每分钟允许个数;
  - 5) 可用图像识别等方法来确定气泡尺寸、生成速率、数量等信息。

表 6 气泡直径与允许个数

$d^a/\text{mm}$	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
$N^b/(\text{个}/\text{min})$	6 851	2 030	856	439	254	160	107	75	55	41	32	25	20	16	13	11	9	8	7
* 其他直径气泡的每分钟允许个数可采用线性插值法计算。																			

### 5.7.18.2.5 常温静压试验

按 5.7.3.2 的规定进行水压试验,试验压力为 1.8 倍公称工作压力,保压时间为 4 min。

### 5.7.18.2.6 剩余强度液压爆破试验

按 5.7.5.2 的规定进行水压爆破试验。

## 6 检验规则

### 6.1 出厂检验

#### 6.1.1 逐只检验

内胆和气瓶应按表 7 规定的项目进行逐只检验。

#### 6.1.2 批量检验

##### 6.1.2.1 检验项目

内胆和气瓶应按表 7 规定的项目进行批量检验。

#### 6.1.2.2 抽样规则

##### 6.1.2.2.1 内胆

从每批内胆中随机抽取 1 只。

若批量检验时有不合格项目,且有证据证明不合格是由于试验操作异常或测量误差所造成,则可重新检验;若重新试验结果合格,则首次试验无效。否则应查明试验不合格原因,若确认不合格是由于内

胆缺陷造成的,则应对该批次内胆进行 100% 检查并移除有缺陷的内胆后,重新随机抽取 2 只进行内胆批量检验,2 只内胆全部通过检验,则本批内胆合格;若其中有一只未通过试验,则本批内胆不合格。

O 形密封圈的抽样规则应在订货时由制造商和采购商商定。当 O 形密封圈批量大于 250 个且批量与样本量之比大于 10 时,应符合 GB/T 13262 的规定;当 O 形密封圈批量小于或等于 250 个或批量与样本量之比小于或等于 10 时,应符合 GB/T 13264 的规定。

### 6.1.2.2.2 气瓶

从每批气瓶中随机抽取 2 只,1 只进行水压爆破试验,另 1 只进行常温压力循环试验。

若批量检验时有不合格项目,且有证据证明不合格是由于试验操作异常或测量误差所造成,则可重新检验;若重新试验结果合格,则首次试验无效。若批量检验有不合格的项目,允许再随机抽取 2 只气瓶进行该项试验。全部气瓶通过试验,则本批气瓶合格;若其中有一只未通过试验,则本批气瓶不合格。

## 6.2 型式试验

6.2.1 新设计气瓶应按表 7 规定的项目进行型式试验。

6.2.2 用于型式试验的气瓶基数为 30 只,内胆基数为 5 只,从中随机抽取进行型式试验的内胆数量为 1 只,气瓶数量为:

- a) A 类气瓶:水压爆破试验 3 只,常温压力循环试验 2 只(可以用于水压爆破试验),火烧试验 1 只,扭矩试验 1 只(可以用于水压爆破试验),极限温度压力循环试验 1 只,加速应力破裂试验 1 只,裂纹容限试验 1 只,环境试验 1 只,跌落试验 1 只,氢气循环试验 1 只,枪击试验 1 只,渗透试验 1 只;
- b) B 类气瓶:水压爆破试验 3 只,常温压力循环试验 3 只(可以用于水压爆破试验),火烧试验 1 只,扭矩试验 1 只(可以用于水压爆破试验),耐久性试验 1 只,使用性能试验 1 只。

所有进行型式试验的内胆和气瓶在试验后都应进行消除使用功能处理。

表 7 试验和检验项目

试验项目	出厂检验		型式试验	试验方法	合格指标
	逐只检验	批量检验			
质量、壁厚和制造偏差	√	—	√	5.6.1.2	5.6.1.1
内外表面	√	—	√	5.6.2.2	5.6.2.1
母材拉伸试验	—	√	√	5.6.3.3	5.6.3.1
焊接接头检测	拉伸试验	—	√	5.6.4.1.3	5.6.4.1.1
	解剖检查	—	√	5.6.4.2.2	5.6.4.2.1
维卡软化温度	—	—	√	5.6.5.2	5.6.5.1
瓶阀座螺纹	√	—	√	5.6.6.1.2	5.6.6.1.1
瓶阀座和塑料内胆连接接头	尺寸检查	√	—	5.6.6.2.2	5.6.6.2.1
	低压气密性检查	√	—	5.6.6.2.2	5.6.6.2.1
	解剖检查	—	√	5.6.6.2.2	5.6.6.2.1
O 形密封圈	外观	√	—	5.6.7.2	5.6.7.1
	尺寸	√	—	5.6.7.2	5.6.7.1
	硬度	—	√	5.6.7.2	5.6.7.1
	拉伸试验	—	√	5.6.7.2	5.6.7.1

表 7 试验和检验项目(续)

试验项目		出厂检验		型式试验	试验方法	合格指标
		逐只检验	批量检验			
A类和B类气瓶	缠绕层层间剪切试验	—	—	√	5.7.1.1.2	5.7.1.1.1
	缠绕层拉伸试验	—	—	√	5.7.1.2.2	5.7.1.2.1
	缠绕层外观	√	—	√	5.7.2.2	5.7.2.1
	水压试验	√	—	√	5.7.3.2	5.7.3.1
	气密性试验	√	—	√	5.7.4.2	5.7.4.1
	水压爆破试验	—	√	√	5.7.5.2	5.7.5.1
	常温压力循环试验	—	√	√	5.7.6.2	5.7.6.1
	火烧试验	—	—	√	5.7.7.2	5.7.7.1
	扭矩试验	—	—	√	5.7.8.2	5.7.8.1
	极限温度压力循环试验	—	—	√	5.7.9.2	5.7.9.1
A类	加速应力破裂试验	—	—	√	5.7.10.2	5.7.10.1
	裂纹容限试验	—	—	√	5.7.11.2	5.7.11.1
	环境试验	—	—	√	5.7.12.2	5.7.12.1
	跌落试验	—	—	√	5.7.13.2	5.7.13.1
	氢气循环试验	—	—	√	5.7.14.2	5.7.14.1
	枪击试验	—	—	√	5.7.15.2	5.7.15.1
	常温渗透试验	—	—	√	5.7.16.2	5.7.16.1
B类	耐久性试验	—	—	√	5.7.17.2	5.7.17.1
	使用性能试验	—	—	√	5.7.18.2	5.7.18.1
注 1：“√”表示做试验或检验，“—”表示不做试验或检验。						
注 2：各项试验方法中提及的环境均为气体环境。						

### 6.3 设计变更

6.3.1 对设计原型进行设计变更时,允许减少型式试验项目。设计变更应按表 8、表 9 规定的项目重新进行型式试验。未列入表 8、表 9 的设计变更应视为新设计,需作为设计原型按表 7 的规定进行全部项目的型式试验。

6.3.2 对于已完成以下设计变更的设计原型,在该原型上再进行其他设计变更时,不必再进行该设计变更所要求的型式试验项目:

- a) 纤维制造单位;
- b) 等效纤维材料;
- c) 新树脂材料;
- d) 等效树脂材料;
- e) 塑料内胆材料;
- f) 玻璃纤维保护层;

g) 瓶阀座几何形状(含瓶口螺纹形式或尺寸变化)。

6.3.3 除 6.3.2 的规定外,不准许在已完成的设计变更基础上再进行设计变更,即经减少试验项目完成变更的设计不能作为设计原型。当设计变更同时涵盖表 8、表 9 中两个或两个以上设计变更项目时,试验项目应能覆盖此次所有变更项目。

6.3.4 当设计变更项目为新树脂材料、塑料内胆外直径变化、气瓶长度变化或瓶阀座几何形状变化时,应重新进行应力分析。

6.3.5 由同种原始材料(初始材料)制造,并且纤维制造单位规定的公称纤维模量和公称纤维强度与设计原型规定值之差均小于或等于设计原型规定值±5%的纤维视为等效纤维材料。

6.3.6 牌号或配方发生变化的树脂视为新树脂材料。

6.3.7 玻璃化转变温度大于或等于参照树脂,且制备成的缠绕层试样满足 5.7.1.1.1 要求的树脂视为等效树脂材料。

表 8 A1 类/A2 类设计变更需重新进行型式试验的试验项目

设计变更		试验项目																
		内胆型式试验项目	水压试验	气密性试验	缠绕层外观	层间剪切试验	缠绕层拉伸试验	水压爆破试验	常温压力循环试验	火烧试验	扭矩试验	极限温度压力循环试验	加速应力破裂试验	裂纹容限试验	环境试验	跌落试验	氢气循环试验	枪击试验
纤维制造单位	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—
等效纤维材料 <sup>a</sup>	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	—	✓	—	—	✓	—	—
新树脂材料	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ <sup>b</sup>	✓ <sup>b</sup>	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓
等效树脂材料 <sup>a</sup>	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ <sup>b</sup>	✓ <sup>b</sup>	—	—	—	✓	—	—	—	—	—
塑料内胆外 直径变化 <sup>c</sup>	≤20%	✓ <sup>k</sup>	✓	✓	✓	—	—	✓ <sup>b</sup>	✓ <sup>b</sup>	—	—	—	—	—	✓	—	✓ <sup>d</sup>	—
	>20%	✓ <sup>k</sup>	✓	✓	✓	—	—	✓	✓	✓	—	—	—	—	✓	✓ <sup>e</sup>	✓	—
气瓶长度 变化	≤50%	—	✓	✓	✓	—	—	✓ <sup>b</sup>	✓ <sup>b</sup>	✓ <sup>e</sup>	—	—	—	—	—	—	✓ <sup>d</sup>	—
	>50%	—	✓	✓	✓	—	—	✓ <sup>b</sup>	✓ <sup>b</sup>	✓	—	—	—	—	✓	✓ <sup>e</sup>	—	—
塑料内胆材料 <sup>a</sup>	✓	✓	✓	—	—	—	✓ <sup>i</sup>	✓	✓	—	✓	—	—	✓	✓	✓	—	✓
玻璃纤维保护层	—	—	—	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	—	✓	—	—	—	—
瓶阀/TPRD 端塞	—	—	—	—	—	—	—	—	✓ <sup>f</sup>	✓ <sup>g</sup>	—	—	—	—	✓ <sup>h</sup>	—	—	—
瓶阀座材料或几何形 状(含瓶口螺纹形式 或尺寸变化) <sup>i</sup>	✓ <sup>m</sup>	✓	—	—	—	—	✓ <sup>b</sup>	✓ <sup>b</sup>	—	✓	—	—	—	—	✓ <sup>j</sup>	—	✓ <sup>i</sup>	

注:“✓”表示做试验,“—”表示不做试验。

<sup>a</sup> 仅适用于材料性能或制造商变化,等效纤维材料设计变更项仅适用于同一材料制造商生产的材料。

<sup>b</sup> 仅要求采用 1 只气瓶进行试验。

<sup>c</sup> 仅适用于当直径变化时,缠绕层壁厚与原设计保持同样或较低的应力水平(例如,直径增加,则壁厚应成比例增加)。

表 8 A1 类/A2 类设计变更需重新进行型式试验的试验项目 (续)

设计变更	试验项目																
	内胆型式试验项目	水压试验	气密性试验	缠绕层外观	层间剪切试验	缠绕层拉伸试验	水压爆破试验	常温压力循环试验	火烧试验	扭矩试验	极限温度压力循环试验	加速应力破裂试验	裂纹容限试验	环境试验	跌落试验	氢气循环试验	枪击试验
<sup>a</sup> 仅在筒体长度小于直径或直径减小时进行试验。																	
<sup>c</sup> 仅在塑料内胆直径或气瓶长度增加时进行试验。																	
<sup>f</sup> 仅适用于瓶阀或 TPRD 端塞制造单位变化、瓶阀或 TPRD 端塞上的 TPRD 类型变化或 TPRD 泄放通径减小、瓶阀或 TPRD 端塞质量变化超过 30% 或发生对试验结果有影响的结构变化。																	
<sup>g</sup> 仅在瓶阀或 TPRD 端塞安装扭矩增加时进行试验。																	
<sup>h</sup> 仅适用于瓶阀或 TPRD 端塞制造单位变化、瓶阀或 TPRD 端塞由于密封结构改变引起的产品型号变化,且该型号产品从未进行过该项试验时。																	
<sup>i</sup> 不适用于 A1 类气瓶瓶阀座几何形状变化导致其与塑料内胆连接界面变化,瓶口螺纹公称直径变化≤10%且与原设计保持同样或者较低的应力水平的不视为螺纹尺寸变化。																	
<sup>j</sup> 仅适用于 A2 类气瓶瓶阀座与塑料内胆连接界面变化时。																	
<sup>k</sup> 仅进行内胆型式试验项目中质量、壁厚、制造偏差、内外表面、焊接接头检测、瓶阀座和塑料内胆连接接头的解剖检查。																	
<sup>l</sup> 仅适用于 A1 类气瓶。																	
<sup>m</sup> 仅进行内胆型式试验项目中瓶阀座螺纹以及瓶阀座和塑料内胆连接接头的解剖检查。																	

表 9 B1 类/B2 类设计变更需重新进行型式试验的试验项目

设计变更	试验项目												
	内胆型式试验项目	水压试验	气密性试验	缠绕层外观	层间剪切试验	缠绕层拉伸试验	水压爆破试验	常温压力循环试验	火烧试验	扭矩试验	耐久性试验	使用性能试验	
纤维制造单位	—	√	√	√	√	√	√	√	√	—	√	—	
等效纤维材料 <sup>a</sup>	—	√	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	
新树脂材料	—	√	√	√	√	√	√ <sup>b</sup>	√ <sup>b</sup>	√	—	√	—	
等效树脂材料 <sup>a</sup>	—	√	√	√	√	√	√ <sup>b</sup>	√ <sup>b</sup>	—	—	—	—	
塑料内胆外直径变化 <sup>c</sup>	≤20%	√ <sup>k</sup>	√	√	√	—	—	√ <sup>b</sup>	√ <sup>b</sup>	√	—	√	
	>20%	√ <sup>k</sup>	√	√	√	—	—	√	√	√	—	√	
	≥50%	—	√	√	√	—	—	√ <sup>b</sup>	√ <sup>b</sup>	√ <sup>d</sup>	—	—	
气瓶长度变化	>50%	—	√	√	√	—	—	√ <sup>b</sup>	√ <sup>b</sup>	√	—	√	

表 9 B1 类/B2 类设计变更需重新进行型式试验的试验项目 (续)

设计变更	试验项目											
	内胆型式试验项目	水压试验	气密性试验	缠绕层外观	层间剪切试验	缠绕层拉伸试验	水压爆破试验	常温压力循环试验	火烧试验	扭矩试验	耐久性试验	使用性能试验
塑料内胆材料 <sup>a</sup>	√	√	√	—	—	—	√ <sup>e</sup>	√	√	—	√	√
玻璃纤维保护层	—	—	—	√	—	—	—	—	—	—	√	—
瓶阀/TPRD 端塞	—	—	—	—	—	—	—	√ <sup>f</sup>	√ <sup>g</sup>	—	—	√ <sup>h</sup>
瓶阀座材料或几何形状 (含瓶口螺纹形式或尺寸 变化) <sup>i</sup>	√ <sup>l</sup>	√	—	—	—	—	√ <sup>b</sup>	√ <sup>b</sup>	—	√	—	√ <sup>j</sup>
注：“√”表示做试验，“—”表示不做试验。												
<sup>a</sup> 仅适用于材料性能或制造商变化,等效纤维材料设计变更项仅适用于同一材料制造商生产的材料。												
<sup>b</sup> 仅要求采用 1 只气瓶进行试验。												
<sup>c</sup> 仅适用于当直径变化时,缠绕层壁厚与原设计保持同样或较低的应力水平(例如,直径增加,则壁厚应成比例增加)。												
<sup>d</sup> 仅在塑料内胆直径或气瓶长度增加时要求进行试验。												
<sup>e</sup> 仅适用于 B1 类气瓶。												
<sup>f</sup> 仅适用于瓶阀或 TPRD 端塞制造单位变化、瓶阀或 TPRD 端塞上的 TPRD 类型变化或 TPRD 泄放通径减小、瓶阀或 TPRD 端塞质量变化超过 30% 或发生对试验结果有影响的结构变化。												
<sup>g</sup> 仅在瓶阀或 TPRD 端塞安装扭矩增加时进行试验。												
<sup>h</sup> 仅适用于瓶阀或 TPRD 端塞制造单位变化、瓶阀或 TPRD 端塞由于密封结构改变引起的产品型号变化,且该型号产品从未进行过该项试验时。												
<sup>i</sup> 不适用于 B1 类气瓶瓶阀座几何形状变化导致其与塑料内胆连接界面变化,瓶口螺纹公称直径变化≤10%且与原设计保持同样或者较低的应力水平的不视为螺纹尺寸变化。												
<sup>j</sup> 仅适用于 B2 类气瓶瓶阀座与塑料内胆连接界面变化时。												
<sup>k</sup> 仅进行内胆型式试验项目中质量、壁厚、制造偏差、内外表面、焊接接头检测、瓶阀座和塑料内胆连接接头的解剖检查。												
<sup>l</sup> 仅进行内胆型式试验项目中瓶阀座螺纹以及瓶阀座和塑料内胆连接接头的解剖检查。												

## 7 安装和防护

### 7.1 安装

- 7.1.1 气瓶安装空间设计时应采取措施防止氢气聚集,氢气可自由扩散到车辆外部空间。
- 7.1.2 气瓶制造单位应规定瓶阀/TPRD 端塞的型号、规格及其安装力矩,必要时提供瓶阀/TPRD 端塞装拆专用工具,以防止瓶阀/TPRD 端塞装拆不当损坏瓶口或瓶阀/TPRD 端塞。
- 7.1.3 气瓶制造单位应向车辆制造单位或车载氢系统集成单位提供气瓶的水平安装方式。
- 7.1.4 车辆制造单位或车载氢系统集成单位应采取设置固定支架、紧固带等措施,防止气瓶在使用过

程中松动；气瓶与固定支架、紧固带之间应采用柔性接触(如采用橡胶垫)，以适应因压力、温度变化引起的气瓶膨胀或收缩，避免气瓶在接触部位受到磨损。

7.1.5 对 A2 类和 B2 类气瓶，车辆制造单位或车载氢系统集成单位在进行车载氢系统结构设计时，应保证日常维护保养时能够通过适当的方法清楚地观察到气瓶外表面(除与固定支架、紧固带等接触的表面)，在定期检验时能够方便地拆卸气瓶及瓶阀。

## 7.2 防护

7.2.1 车辆制造单位或车载氢系统集成单位应对气瓶、瓶阀/TPRD 端塞及其连接件进行防冲击保护。

7.2.2 车辆制造单位或车载氢系统集成单位在气瓶上设置保护装置时，保护装置的设计及其与车辆的连接方法应获得气瓶制造单位同意的书面文件。气瓶制造单位应评估气瓶承受冲击载荷的能力，以及保护装置对气瓶应力和疲劳寿命的影响程度。

7.2.3 充氢时加氢枪与气瓶间宜具备通信和安全联动功能，应保证气瓶在充装过程中瓶内氢气压力和温度不超出气瓶压力和温度的允许范围。

7.2.4 对 A1 类和 B1 类气瓶，车辆结构设计时宜采用强度足够的护板、铠甲等方式进行防护，避免气瓶、瓶阀/TPRD 端塞及其连接件受到来自路面等方向飞溅物(如石块等)的撞击。

# 8 标志、包装、运输和储存

## 8.1 标志

8.1.1 每只气瓶应在玻璃纤维保护层中植入完整的制造标签，以形成清晰可见的永久性标记；同时在玻璃纤维保护层中沿环向间隔 120°植人 3 只二维码标签，以形成可追溯的永久性电子识读标志。

8.1.2 气瓶制造标签的字高一般大于或等于 8 mm，标记项目至少应包括：

- a) 制造单位名称和代号；
- b) 制造许可证编号；
- c) 气瓶编号；
- d) 本文件编号；
- e) 气瓶型号；
- f) 公称工作压力, MPa；
- g) 水压试验压力, MPa；
- h) 充装介质；
- i) 公称容积,L；
- j) 设计使用年限,年；
- k) 设计循环次数,次；
- l) 气瓶的制造年月；
- m) 监督检验标记；
- n) 气瓶的最小工作压力, MPa(应大于或等于 1 MPa)。

8.1.3 气瓶二维码标签至少应包含以下内容：

- a) 产品合格证；
- b) 产品使用说明书；
- c) 批量检验质量证明书；
- d) 监督检验证书。

## 8.2 包装

8.2.1 不带瓶阀出厂时,瓶口应采取可靠措施加以密封,防止沾污。

8.2.2 气瓶应妥善包装,防止运输时损伤。

## 8.3 运输

8.3.1 气瓶的运输应符合运输部门的有关规定。

8.3.2 气瓶在运输和装卸过程中,应防止碰撞、受潮和附件损坏,尤其要防止缠绕层划伤。

## 8.4 储存

气瓶应存放整齐。储存在干燥、通风、阴凉的地方,避免日光暴晒、高温、潮湿,严禁接触强酸、强碱、强辐射,严禁切割、刻划、抛掷和剧烈撞击。

# 9 产品合格证和批量检验质量证明书

## 9.1 产品合格证

9.1.1 出厂的每只气瓶均应附有产品合格证,且应向用户提供产品使用说明书。

9.1.2 产品合格证至少应包含以下内容:

- a) 制造单位名称和代号;
- b) 制造许可证编号;
- c) 气瓶编号;
- d) 本文件编号;
- e) 瓶阀和 TPRD 端塞的制造单位和型号;
- f) 充装介质名称或化学分子式;
- g) 公称工作压力, MPa;
- h) 水压试验压力, MPa;
- i) 气密性试验压力, MPa;
- j) 漏率转换系数  $\alpha, \beta$ ;
- k) 公称容积, L;
- l) 实测空瓶质量(不含附件), kg;
- m) 塑料内胆材料名称或牌号;
- n) 纤维材料名称或牌号;
- o) 树脂材料名称或牌号;
- p) 瓶阀座材料名称或牌号;
- q) 设计使用年限, 年;
- r) 出厂检验标记;
- s) 制造年月;
- t) 定期检验周期;
- u) 设计循环次数, 次;
- v) 瓶阀装配扭矩。

9.1.3 产品使用说明书至少应包含以下内容:

- a) 充装介质;
- b) 公称工作压力, MPa;

- c) 水压试验压力, MPa;
- d) 设计使用年限, 年;
- e) 设计循环次数, 次;
- f) 产品的维护;
- g) 安装使用注意事项。

## 9.2 批量检验质量证明书

9.2.1 批量检验质量证明书的内容, 应包括本文件规定的批量检验项目, 见附录 J。

9.2.2 出厂的每批气瓶, 均应附有批量检验质量证明书和监督检验证书。该批气瓶有一个以上用户时, 所有用户均应有批量检验证明书和监督检验证书的复印件。

9.2.3 气瓶制造单位应妥善保存气瓶的检验记录和批量检验质量证明书的复印件(或正本), 保存时间不应低于气瓶的设计使用年限。

**附录 A**  
**(规范性)**  
**试验参数允差**

表 A.1 规定了本文件中试验参数的允差。

**表 A.1 试验参数的允差**

本文件的章条号	试验名称	试验参数			
		名称	数值	允差	单位
5.7.3.2	水压试验	试验压力	$\geq 1.5P$	0.05P	MPa
		保压时间	$\geq 30$ s	30	s
5.7.6.2	常温压力循环试验	压力循环下限	2 MPa	$\pm 1$	MPa
		压力循环上限	$\geq 1.25P$	0.05P	MPa
5.7.9.2	极限温度压力循环试验	压力循环下限	2 MPa	$\pm 1$	MPa
		低温压力循环上限	$\geq 0.8P$	0.05P	MPa
		高温压力循环上限	$\geq 1.25P$	0.05P	MPa
		温度	$\geq 85$ °C	10	°C
			$\leq -40$ °C	-10	°C
		相对湿度	$\geq 90\%$	10%	—
5.7.10.2	加速应力破裂试验	试验压力	$\geq 1.25P$	0.05P	MPa
		温度	$\geq 85$ °C	10	°C
		静置时间	1 000 h	72	h
5.7.11.2	裂纹容限试验	压力循环下限	2 MPa	$\pm 1$	MPa
		压力循环上限	$\geq 1.25P$	0.05P	MPa
		裂纹 1 深度	$\geq 1.25$ mm	0.5	mm
		裂纹 1 长度	$\geq 25$ mm	1	mm
		裂纹 2 深度	$\geq 0.75$ mm	0.5	mm
		裂纹 2 长度	$\geq 200$ mm	5	mm
5.7.12.2	环境试验	压力循环下限	2 MPa	$\pm 1$	MPa
		压力循环上限	$\geq 1.25P$	0.05P	MPa
		保压压力	$\geq 1.25P$	0.05P	MPa
		区域直径	100 mm	$\pm 10$	mm
		顶点和棱的圆角半径	3 mm	$\pm 1$	mm
		冲击能量	$\geq 30$ J	5	J
		硫酸水溶液	体积分数 19%	$\pm 1\%$	—
		乙醇汽油溶液	体积分数 10%	$\pm 1\%$	—
		甲醇水溶液	体积分数 50%	$\pm 1\%$	—
		化学溶液腐蚀时间	$\geq 48$ h	2	h

表 A.1 试验参数的允差(续)

本文件的章条号	试验名称	试验参数			
		名称	数值	允差	单位
5.7.13.2	跌落试验	水平跌落高度	1.8 m	±0.02	m
		垂直跌落高度	计算跌落高度	±0.02	m
		气瓶与竖直方向呈 45° 跌落高度	1.8 m	-0.04	m
		气瓶与竖直方向呈 45°	45°	±5	(°)
5.7.14.2	氢气循环试验	压力循环下限	2 MPa	±1	MPa
		压力循环上限	≥1.25P	0.05P	MPa
5.7.17	耐久性试验				
5.7.17.2.2	水压试验	同 5.7.3.2			
5.7.17.2.3	跌落试验	同 5.7.13.2			
5.7.17.2.4	表面损伤试验	温度	≤ -40 °C	-10	°C
		静置时间	≥12 h	72	h
		其余同 5.7.11.2			
5.7.17.2.5	环境试验	压力循环上限(升高)	≥1.5P	0.05P	MPa
		总浸渍时间	≥48 h	2	h
		其余同 5.7.12.2			
5.7.17.2.6	加速应力破裂试验	同 5.7.10.2			
5.7.17.2.7	极限温度压力循环试验	同 5.7.9.2			
5.7.17.2.8	常温静压试验	试验压力	≥1.8P	0.05P	MPa
		保压时间	≥4 min	1	min
5.7.18	使用性能试验				
5.7.18.2.2	水压试验	同 5.7.3.2			
5.7.18.2.3	常温和极限温度气压循环试验	压力循环下限	2 MPa	-1	MPa
		低温压力循环上限	≥0.8P	0.05P	MPa
		常温和高温压力循环上限	≥1.25P	0.05P	MPa
		温度	≥50 °C	10	°C
			≤ -40 °C	-10	°C
		相对湿度	≥90%	10%	—
		放氢速率	大于或等于实际使用时气瓶最大放氢速率	该速率的 -0/+ 100%	g/s 或 L/min
			大于或等于气瓶日常保养检查或定期检验时的放氢速率	该速率的 -0/ +100%	g/s 或 L/min

表 A.1 试验参数的允差（续）

本文件的章条号	试验名称	试验参数			
		名称	数值	允差	单位
5.7.18.2.4	极限温度渗透试验	试验压力	$\geq 1.15P$	$0.05P$	MPa
5.7.18.2.5	常温静压试验	试验压力	$\geq 1.8P$	$0.05P$	MPa
		保压时间	$\geq 4 \text{ min}$	1	min

附录 B  
(规范性)  
气瓶日常保养检查

#### B.1 概述

本附录规定了气瓶日常保养检查的基本方法和技术要求。

#### B.2 基本要求

**B.2.1** 日常保养检查主要由 4S 店等单位在汽车维修、保养时进行。

**B.2.2** 日常保养检查项目至少应包括气瓶外观检查、氢泄漏检测和气瓶安装状况检查。

**B.2.3** 日常保养检查前,检查人员应清除气瓶外表面的污垢、沾染物等。

#### B.3 气瓶外观检查

**B.3.1** 逐只对气瓶瓶体进行外观检查,检查气瓶瓶体外表面是否存在划伤、磨损、冲击损伤。若发现有明显的划伤、磨损或冲击损伤,且碳纤维层已暴露或断裂,应立即送至气瓶定期检验机构检验。

**B.3.2** 逐只对瓶阀和 TPRD 端塞(如有)进行外观检查,检查瓶阀和 TPRD 端塞(如有)是否有严重损伤、变形,或瓶阀工作不正常的现象。若发现有严重损伤、变形,或工作不正常的现象,应立即送至气瓶定期检验机构检验。

#### B.4 氢泄漏检测

**B.4.1** 逐只对气瓶、瓶阀、TPRD 端塞(如有)及储氢系统连接管路可能泄漏的部位进行泄漏检测,试验介质为瓶内氢气,检测压力为 60%~100% 气瓶公称工作压力。

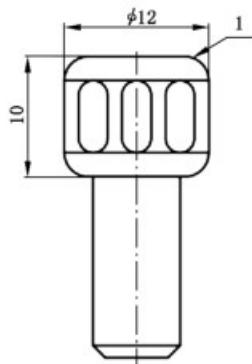
**B.4.2** 应使用便携式氢气检测仪进行检测,氢气检测仪应符合以下要求:

- a) 分辨率应大于或等于  $1 \text{ mL/m}^3$ ;
- b) 最小检测浓度应小于或等于  $100 \text{ mL/m}^3$ 。

**B.4.3** 氢气检漏仪应定期进行检定或校准,检定或校准周期按有关规定执行。

**B.4.4** 检测部位可能有冷凝水滴落时,宜在氢气检测仪上安装如图 B.1 所示的探测头护罩。将探测头的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,读取氢气浓度,氢气浓度应小于或等于  $300 \text{ mL/m}^3$ ;若发现氢气浓度大于  $300 \text{ mL/m}^3$ ,应及时安全地排放瓶内氢气,并送定期检验机构检验。

单位为毫米



标引序号说明：

1——端部。

图 B.1 探测头护罩示意图

## B.5 气瓶安装状况检查

**B.5.1** 对氢气管线、框架、固定支架/紧固带和防护装置的安装状况进行检查。检查储氢系统和单个气瓶装置的氢气管线和阀门是否存在松动、部件之间有无磨损、固定支架或紧固带是否完好等。

**B.5.2** 清除排放管路系统中的污染物和水，检查氢气管线及阀门的连接处是否紧固。若发现连接处松动或管线磨损，应查明原因并由经培训的专业人员进行处理。

**B.5.3** 检查框架、固定支架/紧固带与气瓶，或框架、固定支架/紧固带与汽车安装部位，检查内容至少应包括：

- 固定支架和汽车间的连接是否牢固；
- 紧固带是否松动，紧固螺钉是否拧紧；
- 固定支架/紧固带和气瓶间的橡胶垫是否完好，橡胶垫有无磨损或老化；
- 固定支架/紧固带是否受到严重腐蚀，框架有无开裂或严重变形。

若发现储氢系统或单个气瓶装置的氢气管线和阀门松动、橡胶垫磨损或老化、固定支架/紧固带腐蚀严重、框架开裂或严重变形等，应查明原因并由经培训的专业人员进行处理。

**B.5.4** 应检查汽车上的砂石防护罩或气瓶防护罩等气瓶防护装置是否完好，有无严重变形。检查气瓶与防护罩之间的间隙，若发现防护罩变形严重或间隙中有异物，应查明原因并由经培训的专业人员进行处理。

**B.5.5** 日常检查中若发现有其他可能影响汽车正常运行或气瓶安全使用的问题，应及时告知相关人员及汽车制造单位或气瓶制造单位处理。

## B.6 检查记录

气瓶日常保养检查应形成检查记录，记录至少应包括以下内容：

- 气瓶编号；
- 气瓶所在车辆标记号码；
- 检查项目和检查结果；
- 检查日期；
- 检查人员。

附录 C  
(规范性)  
气瓶塑料内胆与氢气相容性评定方法

### C.1 概述

本附录规定了气瓶塑料内胆与氢气相容性评定方法。

### C.2 一般要求

- C.2.1 气瓶塑料内胆与氢气相容性评定采用试验评定法、对比经验评定法或简化试验评定法。
- C.2.2 气瓶塑料内胆与氢气相容性评定应由材料生产单位或气瓶制造单位进行，并提供试验评定报告、对比经验评定报告或简化试验评定报告。
- C.2.3 在选用塑料内胆材料、改变塑料内胆材料牌号或材料生产单位时，除 C.2.4 和 C.2.5 的情况外，应采用试验评定法。
- C.2.4 同时满足以下要求时，可采用对比经验评定法：
  - a) 塑料内胆与参照塑料内胆具有相同材料牌号、相同材料生产商、相同结构(焊接或非焊接结构)和相同成型工艺；
  - b) 参照塑料内胆气瓶应获得气瓶生产国的制造许可并满足本文件、UN GTR 13、EC79 或 ECE R134 的要求，气瓶装车后安全使用年限大于或等于 3 年。
- C.2.5 对已通过相容性评定的塑料内胆，气瓶制造单位改变其成型工艺(例如，吹塑改为滚塑)时，可采用简化试验评定法。

### C.3 试验评定法

#### C.3.1 合格指标

##### C.3.1.1 塑料内胆材料

###### C.3.1.1.1 氢气渗透试验

氢气循环试验前后，试样表面均无鼓泡， $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$  时氢气渗透系数均应小于或等于  $9.0 \times 10^{-16} \text{ mol} \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ； $(55 \pm 1)^\circ\text{C}$  时氢气渗透系数均应小于或等于  $4.5 \times 10^{-15} \text{ mol} \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 。

###### C.3.1.1.2 物理性能试验

氢气循环试验前后，试样质量变化率应小于或等于 0.75%，密度变化率应小于或等于 0.75%，体积变化率应小于或等于 10%。

###### C.3.1.1.3 拉伸性能试验

氢气循环试验前后，试样的破坏类型均为韧性断裂，拉伸断裂应力和拉伸断裂标称应变均应大于或等于气瓶制造单位设计保证值；同一试验温度条件下，氢气循环试验前后的材料平均拉伸断裂应力变化率和平均拉伸断裂标称应变变化率应小于或等于 20%。

###### C.3.1.1.4 氢气老化试验

氢气老化试验前后，试样的平均拉伸断裂应力变化率和平均拉伸断裂标称应变变化率应小于或等于 20%。

### C.3.1.2 气瓶

#### C.3.1.2.1 极限温度渗透试验

渗透达稳定状态的时间应小于或等于 500 h,且渗透稳定时气瓶氢气漏率应小于或等于 46 mL/(h · L)。

#### C.3.1.2.2 内胆屈曲和鼓泡试验

内胆不屈曲,且内表面无鼓泡、气孔等缺陷,切割面无气孔。

### C.3.2 试验方法

按 GB/T 42610 的规定进行试验。

### C.4 对比经验评定法

#### C.4.1 熔融峰温、分子量及其分布

##### C.4.1.1 合格指标

由经培训的专业人员确认参照塑料内胆和对比经验评定塑料内胆的材料满足同一性要求。

##### C.4.1.2 试验方法

对参照塑料内胆和对比经验评定塑料内胆的材料,用差示扫描量热仪测定熔融峰温,用凝胶渗透色谱仪测定分子量及其分布。

#### C.4.2 氢气渗透试验

##### C.4.2.1 合格指标

试样表面无鼓泡,氢气渗透系数大于或等于参照内胆材料在相应试验条件下的氢气渗透系数。

##### C.4.2.2 试验方法

对采用对比经验评定塑料内胆材料制备的试样,按 GB/T 42610 规定的方法,在(15±1)℃、0.1 倍公称工作压力下进行氢气渗透试验。

#### C.4.3 拉伸性能试验

##### C.4.3.1 合格指标

试样的破坏类型为韧性断裂,拉伸断裂应力和拉伸断裂标称应变大于或等于参照内胆材料在相应试验条件下的拉伸断裂应力和拉伸断裂标称应变。

##### C.4.3.2 试验方法

对采用对比经验评定塑料内胆材料制备的试样,按 GB/T 42610 规定的方法,分别在(23±2)℃ 和(-50±2)℃下进行拉伸性能试验。

### C.5 简化试验评定法

#### C.5.1 氢气渗透试验

##### C.5.1.1 合格指标

试样表面无鼓泡,氢气渗透系数应小于或等于  $9.0 \times 10^{-16} \text{ mol} \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 。

### C.5.1.2 试验方法

对采用简化试验评定塑料内胆材料制备的试样,按 GB/T 42610 规定的方法,在( $15\pm1$ ) $^{\circ}\text{C}$ 、0.1 倍公称工作压力下进行氢气渗透试验。

## C.5.2 拉伸性能试验

### C.5.2.1 合格指标

试样的破坏类型为韧性断裂,拉伸断裂应力和拉伸断裂标称应变应大于或等于气瓶制造单位设计保证值。

### C.5.2.2 试验方法

对采用简化试验评定塑料内胆材料制备的试样,按 GB/T 42610 规定的方法,分别在( $23\pm2$ ) $^{\circ}\text{C}$  和 ( $-50\pm2$ ) $^{\circ}\text{C}$  下进行拉伸性能试验。

**附录 D**  
**(规范性)**  
**气瓶用 O 形密封圈性能评定方法**

**D.1 概述**

本附录规定了气瓶用 O 形密封圈性能评定方法,包括材料和 O 形密封圈的合格指标和试验方法。

**D.2 材料****D.2.1 拉伸试验****D.2.1.1 合格指标**

断裂拉伸强度和拉断伸长率应满足设计文件的要求。

**D.2.1.2 试验方法**

按 GB/T 528 的规定进行试验,试样制备按 GB/T 2941—2006 的规定执行。

**D.2.2 温度回缩试验****D.2.2.1 合格指标**

O 形密封圈材料温度应满足设计文件的要求。

**D.2.2.2 试验方法**

按 GB/T 7758 的规定进行试验,初始冷却温度为  $-80^{\circ}\text{C}$ ,测定试样回缩率为 10% 时的温度。

**D.3 O 形密封圈****D.3.1 外观****D.3.1.1 合格指标**

外观质量应满足设计文件的要求。

**D.3.1.2 试验方法**

按 GB/T 3452.2 的规定进行检查。

**D.3.2 尺寸****D.3.2.1 合格指标**

O 形密封圈截面直径和内径应满足设计文件的要求。

**D.3.2.2 试验方法**

按 GB/T 2941—2006 规定的方法 D 进行测量。

### D.3.3 硬度

#### D.3.3.1 合格指标

硬度应满足设计文件的要求。

#### D.3.3.2 试验方法

按 GB/T 6031 的规定进行试验。

### D.3.4 拉伸试验

#### D.3.4.1 合格指标

断裂拉伸强度和拉断伸长率应满足设计文件的要求。

#### D.3.4.2 试验方法

按 GB/T 5720 的规定进行试验。

### D.3.5 压缩永久变形

#### D.3.5.1 合格指标

压缩永久变形率应满足设计文件的要求。

#### D.3.5.2 试验方法

按 GB/T 7759.1—2015 的规定进行试验,采用 B 型试样,试验温度为(150±2)℃,试验时间为(72±1)h。

### D.3.6 硬度变化试验

#### D.3.6.1 合格指标

硬度变化应满足设计文件的要求。

#### D.3.6.2 试验方法

按 GB/T 3512 的规定进行老化试验,老化温度为(150±2)℃,老化试验为(72±1)h。按 GB/T 6031的规定测量老化试验前后 O 形密封圈硬度。

### D.3.7 氢气损伤试验

#### D.3.7.1 合格指标

O 形密封圈无破损等异常现象,其体积膨胀率不超过 25% 或体积收缩率不超过 1%,质量变化率不超过 10%。

#### D.3.7.2 试验方法

试验步骤如下:

- a) 使用分析天平测量 3 个 O 形密封圈的质量,测量值应精确到 1 mg;

- b) 按 GB/T 533—2008 中 A 法的规定, 测量 3 个 O 形密封圈密度, 并计算体积;
- c) 将 O 形密封圈在压力为气瓶公称工作压力、温度为(15±2)℃的氢气中放置 168 h 后, 将压力在 45 s 内降至大气压力;
- d) 将 O 形密封圈在压力为气瓶公称工作压力、温度为(-50±2)℃的氢气中放置 168 h 后, 将压力在 45 s 内降至大气压力;
- e) 取出 O 形密封圈后应立即观察 O 形密封圈表面并测量其体积变化率和质量变化率。

## 附录 E

(规范性)

### 气瓶塑料内胆焊接工艺评定方法

#### E.1 总则

本附录规定了气瓶塑料内胆焊接工艺的评定方法。

#### E.2 一般要求

E.2.1 在生产塑料内胆前或改变塑料内胆材料、接头坡口形式、焊接工艺、塑料内胆直径和厚度时，应进行焊接工艺评定。焊接工艺评定除按本附录规定外，其余应符合 HG/T 4280 的规定。

E.2.2 焊接工艺评定所用的焊接机具、试验与检测设备应满足相应的标准规定并处于完好状态，试验与检测设备应经计量检定合格并在有效期内。

E.2.3 焊接工艺评定时应规定影响焊接质量的工艺参数及其允许变化范围。

注：激光焊接工艺参数一般包括激光功率、瓶体转速、光束直径、焊接压力、压焊时间、加热温度和环境温度，红外线

焊接工艺参数一般包括红外线灯功率、加热温度、瓶体与红外线灯间的距离、焊接压力、压焊时间和环境温度，

热板焊接工艺参数一般包括压平压力、加热压力、焊接压力、压焊温度、加热时间、压焊时间和冷却时间。

E.2.4 焊接工艺评定应在气瓶塑料内胆或模拟塑料内胆上进行。模拟塑料内胆的材料、接头坡口形式、直径、厚度和焊接工艺应与气瓶塑料内胆一致。

E.2.5 焊接工艺评定的试件为 2 组。试验项目中有一项不合格时，则判定该焊接工艺不合格。

E.2.6 焊接工艺评定文件应经过气瓶制造单位技术总负责人批准。

E.2.7 焊接工艺评定的试验项目至少应包括外观检查、拉伸试验和解剖检查。

#### E.3 合格指标与试验方法

##### E.3.1 外观检查

###### E.3.1.1 合格指标

焊接接头外表面、错边量和卷边中心高度应符合 5.4.2.3 和 5.4.2.4 的规定。

###### E.3.1.2 试验方法

在充足光线下对外表面进行目视检查，并按 5.4.2.4 规定的方法测量焊接接头错边量和卷边中心高度。

##### E.3.2 拉伸试验

###### E.3.2.1 合格指标

试样的破坏类型为韧性断裂，拉伸断裂应力和拉伸断裂标称应变应大于或等于气瓶制造单位设计保证值。

###### E.3.2.2 试验方法

在气瓶焊接塑料内胆或模拟焊接塑料内胆的焊接接头处沿圆周 0°、90°、180°、270° 处的垂直方向取

12 件轴向拉伸试样。取样时应确保焊缝位于试样中部。拉伸试验前先进行脉动疲劳试验,温度为( $-50 \pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$ 、频率为 0.2 Hz、循环次数为气瓶的设计循环次数,最大拉伸应力大于或等于气瓶焊接接头可能承受的最大轴向拉应力。拉伸试验按 5.6.4.1.3 规定的方法进行。

### E.3.3 解剖检查

#### E.3.3.1 合格指标

熔融宽度应符合 5.6.4.2.1 的规定。

#### E.3.3.2 试验方法

按 5.6.4.2.2 规定的方法进行试验。

## 附录 F

(资料性)

## 气瓶塑料内胆焊接接头可视化超声相控阵检测与质量分级方法

**F.1 概述**

本附录给出了对接焊接接头的可视化超声相控阵检测与质量分级方法,适用于采用激光焊接、红外线焊接和热板焊接方法形成内径 250 mm~630 mm、壁厚 4 mm~8 mm 的气瓶塑料内胆。

**F.2 符号**

下列符号适用于本附录。

$c$	声速,单位为毫米每秒(mm/s);
$H$	缺陷距外表面深度,单位为毫米(mm);
$I$	缺陷长度,单位为毫米(mm);
$L$	探头左右移动距离,单位为毫米(mm);
$l$	两信号中较长信号的长度,单位为毫米(mm);
$M$	设置的电子扫描步进数量;
$N$	设置的信号平均次数;
PRF	脉冲重复频率,单位为赫兹(Hz);
$R$	工件外半径,单位为毫米(mm);
$S$	最大检测声程,单位为毫米(mm);
$T$	工件壁厚,单位为毫米(mm);
$v_{\max}$	最大扫查速度,单位为毫米每秒(mm/s);
$x$	楔块边缘与被检工件接触面的间隙,单位为毫米(mm);
$\Delta X$	设置的扫查步进值,单位为毫米(mm);
$\Delta X_{\max}$	扫查步进最大值,单位为毫米(mm)。

**F.3 仪器设备**

**F.3.1** 超声相控阵检测系统包括主机、探头、离线分析软件、扫查装置和附件,能够实现可视化检测,实时显示信号位置及 A、B、C、S 等扫描图像。

**F.3.2** 超声相控阵检测系统的探头是由多个晶片组成的一维线阵列,探头可加装用以辅助声束偏转的楔块(包括液体楔块、低衰减胶体楔块和聚苯乙烯等低声速固体楔块)。

**F.3.3** 扫查装置包括探头夹持部分、驱动部分和导向部分,并装有记录位置的编码器。探头夹持部分应能调整和设置探头中心间距,在扫查时保持探头中心间距和相对角度不变。导向部分应能调整和设置探头运行轨迹,在扫查时保持探头运动轨迹与参考线一致。

**F.4 试块与试剂****F.4.1 对比试块**

**F.4.1.1** 对比试块应采用与塑料内胆相同的焊接方法制作,并根据焊缝坡口形式设置人工反射体,用来调节灵敏度和定位缺陷。该反射体为主反射体,采用聚焦声束检测。人工反射体位置应具有代表性,至

少应包括外表面、内表面和内部 1/2 深度位置。

#### F.4.1.2 人工反射体的设置应满足以下要求：

- a) 在坡口面上设置直径为 2 mm 的平底孔, 平底孔的中心线应垂直于坡口面且在坡口面长度方向等分;
- b) 在内外表面的熔合线上设置方槽, 其深为 1 mm、宽为 1 mm、长为 10 mm;
- c) 在焊缝中心线上设置一个直径为 2 mm 的通孔, 该孔或槽中心线应与焊缝截面中心线相重合且垂直于管壁。

#### F.4.1.3 人工反射体在水平方向的布置应使显示信号独立, 邻近区反射体不应互相干扰。

#### F.4.1.4 人工反射体允许误差应同时满足以下要求：

- a) 孔直径:  $\pm 0.1$  mm;
- b) 槽长度:  $\pm 0.1$  mm;
- c) 槽深度:  $\pm 0.2$  mm;
- d) 角度:  $\pm 1^\circ$ ;
- e) 反射体中心位置:  $\pm 0.1$  mm。

### F.4.2 耦合剂

F.4.2.1 耦合剂应采用有效且不损伤工件的介质。选用的耦合剂应具有良好的透声性、适宜的流动性、易清洗、无毒无害, 如水、甲基纤维素糊状物和洗涤剂。自动检测时采用水为耦合剂。

#### F.4.2.2 实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置和校准时的耦合剂相同。

#### F.4.2.3 选用的耦合剂应保证在工艺规程规定温度范围内的检测稳定可靠。

## F.5 检测程序

### F.5.1 表面清理

焊接接头的外表面卷边应加工平整, 其质量应满足 5.4.2.3 的要求。焊接接头表面应清洁干燥、无污物, 其表面粗糙度应满足检测要求, 表面的不规则状态不应影响检测结果的正确性和完整性。

### F.5.2 探头及楔块的选择

F.5.2.1 根据工件厚度、材质、检测位置、检测面形状以及检测使用的声束类型对相控阵探头的中心频率、晶片间距、晶片数量、晶片尺寸、形状以及楔块规格等进行选择。根据工件厚度选择的相控阵探头参数, 推荐范围如表 F.1 所示。

表 F.1 相控阵探头参数推荐范围

工件厚度/mm	主动孔径 <sup>a</sup> /mm	标称频率/MHz
4~6	4~6	7.5~10
>6~8	>6~8	5~7.5

<sup>a</sup> 电子扫描在满足穿透的情况下, 应选择主动孔径小的探头。

F.5.2.2 一次激发的晶片数一般大于或等于 16 个晶片。

F.5.2.3 楔块的曲率应与被检工件的形状相吻合, 如图 F.1 所示。 $x > 0.5$  mm 时, 应采用曲面楔块。

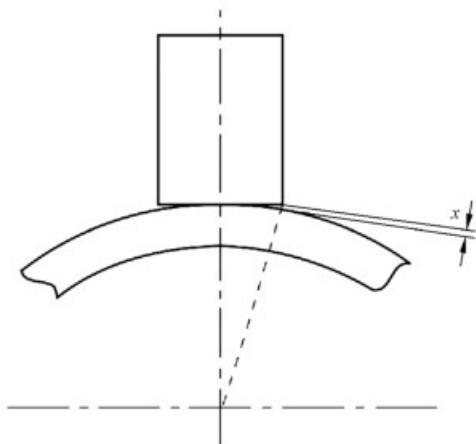


图 F.1 探头楔块边缘与工件外表面间隙的示意图

### F.5.3 检测区域覆盖

F.5.3.1 超声相控阵检测可采用扇形扫查或线性扫查。检测区域内每一点应至少被两个方向的声束覆盖,如图 F.2 所示。制定检测工艺时,用于覆盖检测区域的声束应在有效声程范围内。

F.5.3.2 应使用与仪器相匹配的声束覆盖模拟软件,对扫查方式、探头位置、激发孔径、扇形扫查角度范围或线性扫查覆盖范围进行模拟设置。设置原则是使有效声程范围全覆盖检测区域,并能够满足所选择的检测等级要求。

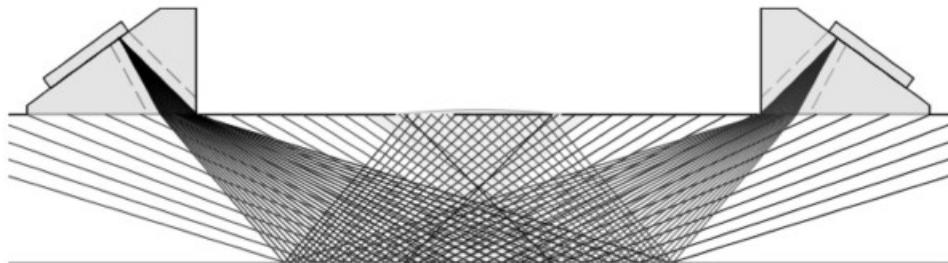


图 F.2 检测区域覆盖示意图

### F.5.4 检测时机

在焊接工作全部完成,自然冷却至少 2 h 后,进行超声检测。

### F.5.5 灵敏度设定

灵敏度校验按所用的超声相控阵检测系统在对比试块上进行。在最大声程处的灵敏度应不低于  $\phi 2$  平底孔,信噪比应不低于 12 dB。

### F.5.6 扫查步进的设置

检测前应将超声相控阵检测系统设置为根据扫查步进采集信号。扫查步进最大值  $\Delta X_{\max}$  应小于或等于 1.0 mm。

### F.5.7 编码器的校准

检测前应校准编码器。将编码器移动至少 500 mm,比较检测设备显示的位移与实际位移,误差应

小于 1% 或 10 mm(以较小值为准)。

### F.5.8 扫查要求

F.5.8.1 扇形扫查时,声束扇形扫查角度不应超出  $30^\circ \sim 75^\circ$ 。线性扫查时,应将扫查范围设置到最大以增加覆盖范围,在仪器处理速度允许的情况下,应将激发孔径移动的步进设置为 1。

F.5.8.2 采用聚焦声束检测,聚焦深度设置应为声束在工件中的最大深度。如对接接头直射波检测时为  $T$ ,一次反射波检测时为  $2T$ 。

F.5.8.3 扫查过程中应采取措施(如提前画出探头轨迹或参考线、使用导向轨道)使探头移动轨迹与扫查轨迹的偏离量小于或等于 3 mm。

F.5.8.4 扫查过程中应保持耦合稳定,有耦合监控功能的仪器可开启此功能。对耦合效果有怀疑时,应重新扫查该段区域。

F.5.8.5 扫查一般采用编码器记录扫查位置,通常将相控阵探头安装在扫查装置中,沿对接接头长度方向移动。检测时,依照工艺设计将检测系统的硬件及软件置于检测状态,将探头摆放到要求的位置,沿设计的路径进行扫查。

F.5.8.6 扫查时应保证扫查速度小于或等于最大扫查速度,同时保证耦合效果和数据采集要求。按公式(F.1)计算最大扫查速度  $v_{\max}$ :

$$v_{\max} = \frac{\text{PRF}}{N \times M} \Delta X (\text{PRF} < c/2S) \quad \dots \dots \dots \quad (\text{F.1})$$

### F.5.9 检测系统的复核

F.5.9.1 出现以下情况时应对检测系统进行复核:

- a) 校准后,探头、耦合剂和仪器调节旋钮发生改变;
- b) 检测人员怀疑检测灵敏度有变化;
- c) 连续工作 4 h 以上;
- d) 工作结束。

F.5.9.2 复核应包括灵敏度复核和检测精度复核,复核应采用与初始检测设置时同一试块。若复核时发现与初始检测设置的测量偏离,则按表 F.2 规定的方法进行纠正。

表 F.2 偏离与纠正

参数	偏离情况	纠正方法
灵敏度	$\leq 3 \text{ dB}$	通过软件进行纠正
	$> 3 \text{ dB}$	应重新设置,并重新检测上次校准以来所检测的焊缝
深度	偏离小于或等于实际深度的 5%,且小于或等于 3 mm	不需要采取措施
	偏离大于实际深度的 5%,或大于 3 mm	应找出原因重新设置,并重新检测上次校准以来所检测的焊缝

## F.6 检测数据的分析

### F.6.1 检测数据的有效性评价

F.6.1.1 分析数据之前应评估所采集的数据,确定其有效性。数据应至少满足以下要求:

- a) 数据是基于扫查增量的设置采集的;

- b) 采集的数据量满足检测焊缝长度的要求；
  - c) 数据丢失量应小于或等于整个扫查的 5%，且不准许相邻数据连续丢失；
  - d) 整个扫查图像中不应包含耦合监控显示耦合不良的位置。

F.6.1.2 若数据无效,应纠正后重新进行扫查。

#### F.6.2 缺陷定量

F.6.2.1 对回波波幅达到或超过基准灵敏度的缺陷,应确定其位置、波幅和指示长度等。

F.6.2.2 缺陷波幅为获得缺陷的最大反射波幅。

F.6.2.3 相邻两个或多个缺陷显示(非圆形),其在X轴方向间距小于其中较小的缺陷长度且在Z轴方向间距小于其中较小的缺陷自身高度时,应作为一个缺陷处理,该缺陷深度、缺陷长度及缺陷自身高度按以下原则确定。

- a) 缺陷深度:以两缺陷深度中较小值作为单个缺陷深度。
  - b) 缺陷长度:为两缺陷在 X 轴投影上前、后端点间的距离,按公式(F.2)计算缺陷长度  $I$ :

- c) 缺陷自身高度:若两缺陷在 X 轴投影无重叠,则以其中较大的缺陷自身高度作为单个缺陷自身高度;若两缺陷在 X 轴投影重叠,则以两缺陷自身高度之和作为单个缺陷自身高度(间距计入)。

### F.6.3 质量评定

#### F.6.3.1 裂纹缺陷:不应接受。

**F.6.3.2 熔合面缺陷:**当自身高度大于  $15\%T$  时不应接受;当自身高度小于或等于  $15\%T$ ,而缺陷长度大于  $3T$  时不应接受。

F.6.3.3 孔洞缺陷:在熔融界面或附近的孔洞缺陷若是圆形、椭圆形(不准许存在尖锐端角)或符合以下条件,则是可接受的。

- a) 单个孔洞:尺寸小于或等于  $1/4T$ 。
  - b) 多个孔洞:在长度为  $T$  的范围内,孔洞尺寸之和小于或等于  $1/3T$  且数量小于或等于 2 个。当两个信号相互接近时,若这两个相邻信号的间距大于  $2l$ ,则应认为这些信号是彼此独立的;否则,应认为它们是单个信号,此信号长度应包括两个相邻信号之间的间距。

**附录 G**  
**(规范性)**  
**层间剪切试验方法**

### G.1 概述

本附录规定了缠绕层的层间剪切试验方法。

### G.2 符号

下列符号适用于本附录。

- $b$  试样宽度,单位为毫米(mm);
- $F_{sbs}$  层间剪切强度,单位为兆帕(MPa);
- $h$  试样厚度,单位为毫米(mm);
- $n$  试样数量,单位为个;
- $P_m$  试验过程中最大载荷,单位为牛(N);
- $\bar{X}$  层间剪切强度的算术平均值,单位为兆帕(MPa);
- $X_i$  每个试样的性能值,单位为兆帕(MPa)。

### G.3 一般要求

试样两端置于两个支座上并可横向移动,通过位于试样中点的加载头直接施加载荷。

### G.4 试样制作

采用环氧树脂或改性环氧树脂基体,制备缠绕层试样。试样制作方法和模具结构按照 GB/T 1458 的规定,试样尺寸按本附录的规定。

### G.5 取样和试样尺寸

#### G.5.1 取样

从圆环上切割试样,试样表面应平滑,不应有划痕和分层。可采用金刚砂工具,通过水润滑进行切割、研磨或磨削得到最终尺寸,有效试样数不应少于 9 个。其余应符合 GB/T 1458 的规定。

#### G.5.2 试样尺寸

剪切试样尺寸如图 G.1 所示。

单位为毫米

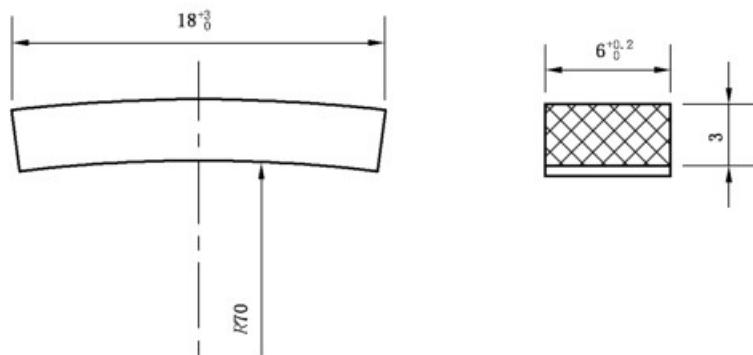


图 G.1 试样尺寸

## G.6 仪器设备

### G.6.1 试验机

试验机应具有恒定的试验速度,载荷相对误差应小于或等于 $\pm 1\%$ 。

### G.6.2 加载工装

加载头和支座分别为直径( $6 \pm 0.5$ )mm 和( $3 \pm 0.4$ )mm 的圆柱体,长度应超过试样宽度至少2 mm,洛氏硬度(HRC)值为60~62。加载头和支座表面应光滑,不应有凹痕、毛刺、锐边等。加载头中心线与两支座跨距中心线重合。

### G.6.3 尺寸测量仪

千分尺或卡尺,分度值为试样尺寸的1%。

## G.7 试验步骤

### G.7.1 环境条件

试验环境的温度为( $23 \pm 3$ )℃,相对湿度为( $50 \pm 10$ )%。

### G.7.2 试验速度

试验速度为1 mm/min。

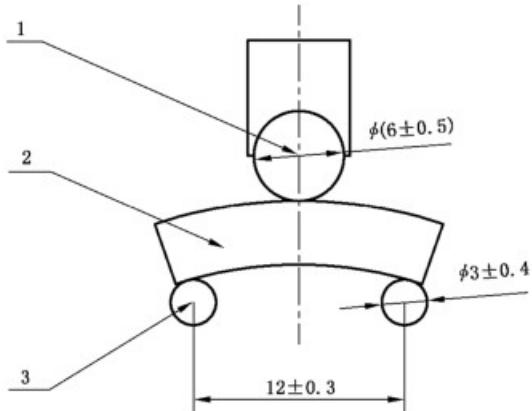
### G.7.3 试样尺寸测量

试验前测量并记录试样中心截面处的宽度、厚度及试样的长度。

### G.7.4 试样安装

将试样放入加载工装中,如图G.2所示,试样应对齐并居中,使其纵轴与加载头和支座垂直,调整跨距为( $12.0 \pm 0.3$ )mm。

单位为毫米



#### 标引序号说明：

- 1—加载头；  
2—试样；  
3—支座。

图 G.2 试样安装示意图

### G.7.5 加载

对试样进行加载，连续加载直至出现以下情况：

- a) 加载回落 30%;
  - b) 试样破坏为两片;
  - c) 加载头位移超过试样的厚度。

G.7.6 记录

记录整个试验过程中的载荷-位移数据,记录最大载荷、最终载荷以及在载荷-位移数据中明显不连续的载荷。

#### G.7.7 破坏模式

试样层间剪切破坏模式如图 G.3 所示。若试样发生弯曲、挤压等非层间剪切破坏时，则该试样作废。



图 G.3 试样层间剪切破坏模式示意图

## G.8 结果计算与表示

按公式(G.1)计算单个试样的层间剪切强度：

按公式(G.2)计算层间剪切强度算术平均值：

## G.9 试验报告

试验报告应包括以下信息：

- a) 明确引用本附录；
  - b) 原材料名称、规格型号、批号等；
  - c) 试样编号、尺寸、外观质量及数量；
  - d) 试验温度、相对湿度；
  - e) 试验设备型号；
  - f) 试验结果；
  - g) 试验日期；
  - h) 其他。

## 附录 H

(规范性)

### 气瓶气密性氦泄漏检测方法

#### H.1 概述

本附录规定了用于气瓶气密性试验的氦泄漏检测方法,包括加压累积法和真空舱法。气瓶制造单位和气瓶定期检验机构可采用加压累积法或真空舱法,气瓶型式试验机构应采用真空舱法。

#### H.2 符号

下列符号适用于本附录。

$C$	氦氮混合气中的氦气摩尔分数,%;
$M_{01}$	加压累积法检测舱标准漏孔关闭时的背景读数值,单位为毫升每立方米( $\text{mL}/\text{m}^3$ );
$M_{02}$	加压累积法标准漏孔开启至输出信号稳定时的读数值,单位为毫升每立方米( $\text{mL}/\text{m}^3$ );
$M_{03}$	加压累积法检测时,达到累积时间后的氦质谱仪读数值,单位为毫升每立方米( $\text{mL}/\text{m}^3$ );
$M_1$	真空舱法初始校准,标准漏孔关闭时的背景读数值;
$M_2$	真空舱法初始校准,标准漏孔开启至输出信号稳定时的仪器读数值;
$M_3$	真空舱法最终校准,标准漏孔关闭时的仪器读数值;
$M_4$	真空舱法最终校准,标准漏孔开启至输出信号稳定时的仪器读数值;
$M_5$	真空舱法检测时,仪器的输出读数值;
$P_{\text{atm}}$	大气压力(绝压),单位为帕(Pa);
$p_t$	差压法检测压力,单位为(Pa);
$Q_e$	规定的氦气漏率(为规定的氢气泄漏率与 $\alpha \beta$ 乘积之比),单位为帕立方米每秒( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ );
$Q_{\text{He}}$	通过气瓶气密性氦泄漏检测获得的气瓶氦气漏率,单位为帕立方米每秒( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ );
$Q_{\text{H}_2}$	氢气漏率,单位为帕立方米每秒( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ );
$Q'$	通过差压法获得的气体漏率,单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ );
$Q'_{\text{H}_2}$	通过差压法获得的纯氢气漏率,单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ );
$Q'_{\text{He}}$	通过差压法获得的纯氦气漏率,单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ );
$Q'_{\text{N}_2}$	通过差压法获得的纯氮气漏率,单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ );
$Q'_{X-\text{He}}$	通过差压法获得的氦气体积分数为 $X$ 时的氦氮混合气的漏率,单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ );
$Q_1$	渗透型标准漏孔漏率,单位为帕立方米每秒( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ );
$S_1$	真空舱法检测系统初始灵敏度,单位为帕立方米每秒( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ );
$S_2$	真空舱法检测系统最终灵敏度,单位为帕立方米每秒( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ );
$t_a$	采用加压累计法时,气密性试验所需的累积时间,单位为秒(s);
$t_d$	采用真空舱法进行初始校准时,标准漏孔开启至仪器输出信号稳定所需时间,单位为秒(s);
$t_p$	采用差压法时,阀门关闭至产生压差 $\Delta p$ 对应的时间,单位为秒(s);
$t_s$	气密性试验时,气瓶在检测舱外完成充气后需静置的时间,单位为秒(s);
$V_c$	检测舱内体积减去气瓶体积,单位为立方米( $\text{m}^3$ );
$V_R$	基准气瓶容积,单位为立方米( $\text{m}^3$ );
$V_T$	被测气瓶容积,单位为立方米( $\text{m}^3$ );

$X$	氦氮混合气中氦气的体积分数, %;
$\Delta p$	差压变化量, 单位为帕(Pa);
$\frac{\Delta V}{\Delta p}$	差压传感器系数, 取 $1.36 \times 10^{-16}$ , 单位为立方米每帕( $m^3/Pa$ );
$\alpha$	纯氦气与氦气体积分数为 $X$ 的氦氮混合气的漏率转换系数;
$\beta$	纯氢气与纯氦气的漏率转换系数;
$\rho_0$	充氦压力和温度下对应氦气的摩尔密度, 单位为摩尔每升(mol/L);
$\rho_{He}$	混合气压力和温度下对应氦气的摩尔密度, 单位为摩尔每升(mol/L);
$\rho_{N_2}$	混合气压力和温度下对应氮气的摩尔密度, 单位为摩尔每升(mol/L)。

### H.3 一般要求

#### H.3.1 试验介质

H.3.1.1 试验介质应采用干燥、洁净、无油的氦气、氮气、氢气及氦氮混合气, 单一气体纯度应大于或等于 99.97%。

H.3.1.2 试验用氦氮混合气中氦的体积分数  $X$  应由气瓶制造单位、检验机构或型式试验机构通过试验确定, 确保  $\alpha$ 、 $\beta$  值能满足试验精度。否则, 采用累积法时  $X$  应大于或等于 10%, 采用真空舱法时  $X$  应大于或等于 5%。氦氮混合气制备可采用 H.6.5 给出的压力配比法。

#### H.3.2 温度

检测过程中气瓶的温度波动范围不应超过本附录提到的仪器、仪表、气瓶、瓶阀等的允许温度。

#### H.3.3 压力

试验时充装压力为气瓶公称工作压力。

#### H.3.4 仪器设备

##### H.3.4.1 氦检漏仪

氦检漏仪应能传感和测量微量示踪氦气, 并通过检测仪器上的或附接于仪器上的仪表来指示泄漏。氦质谱检漏仪应满足 GB/T 13979 中的技术要求。

##### H.3.4.2 标准漏孔

加压累积法应采用毛细管型标准漏孔, 真空舱法可采用渗透型或毛细管型标准漏孔, 氦检漏仪校准应采用渗透型标准漏孔。

- a) 毛细管型标准漏孔: 应是带有大于或等于 0.1 MPa 独立氦气罐并使示踪气体透过局部拉细管子的毛细管型漏孔, 具有  $1 \times 10^{-6} Pa \cdot m^3/s \sim 1 \times 10^{-4} Pa \cdot m^3/s$  的氦气漏率, 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  $1 \times 10^{-9} Pa \cdot m^3/s \sim 1 \times 10^{-7} Pa \cdot m^3/s$  的氦气漏率, 并应校准合格。

#### H.3.4.3 压力管道

H.3.4.3.1 充气系统压力管道的设计、制造、安装和使用应符合 TSG D0001 的相关规定。

H.3.4.3.2 充气系统压力管道应经水压试验合格, 水压试验压力应大于或等于受试气瓶气密性试验压力的 1.5 倍, 保压时间不少于 3 min。

#### H.3.4.4 检测舱

H.3.4.4.1 加压累积法用检测舱可采用可承受外压的钢质、铝合金或聚氯乙烯(PVC)塑料舱体。

H.3.4.4.2 真空舱法用检测舱应为可承受外压的钢质舱体。

H.3.4.4.3 检测舱尺寸应与受试气瓶大小相匹配。

#### H.3.4.5 压力测量装置

H.3.4.5.1 泄漏检测系统中,应至少安装一只检测用压力表和一只校验用压力表。试验前,应使用校验用压力表对检测用压力表进行校验,若压力显示值有异常应进行更换。

H.3.4.5.2 压力表的量程应在 1.5 倍~4 倍预期最大检测压力范围内,宜为 2 倍预期最大检测压力。其精度应不低于 1.6 级。

H.3.4.5.3 压力表/真空表应经检定或校准合格后方可使用,压力表/真空表每半年至少检定或校准一次,使用期间若发现异常,应重新检定或校准。

H.3.4.5.4 进行压力/真空泄漏检测时,指示式压力表/真空表应与气瓶直接相连,或从远端与气瓶相连接,使检测人员在检测的全过程中易于观察。

H.3.4.5.5 当使用多个压力表/真空表时,宜至少有一个记录式压力表/真空表。

H.3.4.5.6 真空表/真空规管的量程应能测量被抽真空系统进行检测时的绝对压力,真空表/真空规管的位置应远离泵系统的进气口。

#### H.3.4.6 温度测量装置

温度测量仪表的最小分度值应小于或等于 1.0 °C。温度测量仪表应定期进行检定或校准,检定或校准周期按有关规定执行。

#### H.3.4.7 辅助设备

必要时,可使用以下辅助设备:

- a) 稳压器;当供电线路有电压波动时,应在仪器上接稳压器;
- b) 辅助泵系统;辅助泵系统的绝对压力和泵速需满足检测灵敏度和响应时间的需要;
- c) 多向接头;能正确连接真空表、辅助泵、标准漏孔、气瓶的管线和阀门。

#### H.3.5 检测工艺规程要求

检测工艺规程要求应包括以下内容:

a) 氦检漏仪型号;

b) 气瓶表面温度;

c) 泄漏标准漏孔型号;

d) 示踪气体及浓度;

e) 真空源;

f) 真空表;

g) 试验压力;

h) 保压时间;

i) 系统灵敏度。

#### H.4 检测准备

**H.4.1** 受试气瓶气密性试验前应先进行水压试验,水压试验合格后方能进行气密性试验。

**H.4.2** 气瓶及附件被检部位表面应无油脂、油漆以及其他可能妨碍检测的污物。使用液体清洁气瓶及附件或水压试验结束后,应充分干燥气瓶及附件。

**H.4.3** 检测前应使用塞子、盖板、密封脂、胶合剂或其他在检测后易于去除的材料把所有孔密封,密封用材料不应影响氦气的浓度。

**H.4.4** 气瓶充气可采用检测舱内充气或外部充气。

- a) 采用舱内充气时,应将气瓶及附件按要求与检测系统内充放气管路相连,接头部位应密封良好。
- b) 采用舱外充气时,应将受试气瓶充装至试验压力并静置保压,瓶体温度应小于或等于 55 ℃。可采用吸枪法快速扫描或在待查部位涂专用检漏液排除较大泄漏点后,再将受试气瓶接入检测系统。若采用涂液法,应在接入系统前将检漏液清理干净,以免影响测试结果。
- c) 当使用氦体积分数  $X$  的氦氮混合气充装受试气瓶时,若在瓶内配气,充气完成后需静置使气体扩散均匀。应保证受试气瓶内氦气的体积分数数值准确并确定静置时间  $t_s$ ,静置时间不应少于 3 min。

**H.4.5** 采用舱外充气时,允许仅在每天开始检测时对检测系统校准一次。

#### H.5 氦泄漏检测

##### H.5.1 加压累积法

###### H.5.1.1 仪器校准

###### H.5.1.1.1 预热

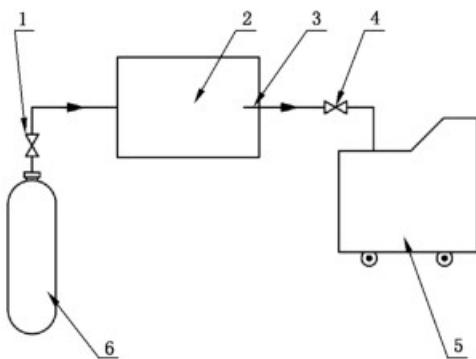
使用标准漏孔校准前,仪器应通电预热,预热的最短时间应按仪器制造单位的规定。

###### H.5.1.1.2 标准漏孔校准

氦检漏仪使用前,需按仪器制造单位的操作和维修手册使用渗透型标准漏孔校准。若仪器示值偏差大于 10%,则应采用大气校准法或标准浓度法重新校准。

###### H.5.1.1.3 大气校准法

大气校准法原理如图 H.1 所示。向容器或气袋中充入氮气,将氦检漏仪的吸枪探头插入容器或气袋,调整氦检漏仪读数归零。再使用氦检漏仪吸枪吸收空气得到新的示值,其值应与空气中 5 mL/m<sup>3</sup> 氦浓度一致。



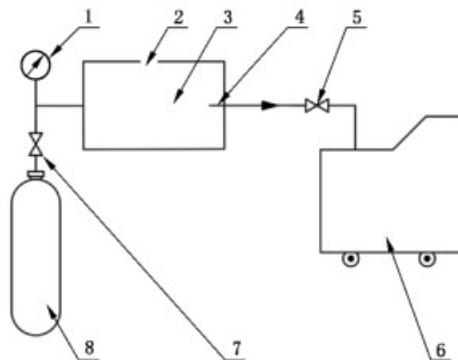
标引序号说明：

- |           |          |
|-----------|----------|
| 1——减压阀；   | 4——吸枪阀；  |
| 2——容器或气袋； | 5——氦检漏仪； |
| 3——吸枪；    | 6——纯氮气瓶。 |

图 H.1 大气校准法原理图

#### H.5.1.1.4 标准浓度法

标准浓度法原理如图 H.2 所示。向容器或气袋中充入体积浓度已校准的氦氮混合气，将氦检漏仪的吸枪探头插入容器或气袋，记录仪器读数，其值应与已校准的氦浓度一致。



标引序号说明：

- |           |               |
|-----------|---------------|
| 1——压力表；   | 5——吸枪阀；       |
| 2——排气孔；   | 6——氦检漏仪；      |
| 3——容器或气袋； | 7——减压阀；       |
| 4——吸枪；    | 8——氮氮混合标准气气瓶。 |

图 H.2 标准浓度法原理图

#### H.5.1.2 检测系统校准

##### H.5.1.2.1 校准步骤

**H.5.1.2.1.1** 将具有 100% 氦气的经校准的毛细管型标准漏孔与检测系统相连。

**H.5.1.2.1.2** 将一只校准专用气瓶按 H.4.4 的要求接入检测系统。

**H.5.1.2.1.3** 检测舱抽真空至真空度为 5 kPa~10 kPa，或用氮气置换舱内空气。将氦检漏仪的吸枪探头接入检测舱，打开标准漏孔，至少连续测量 3 次，每次测量间隔时间相同，若所测得的浓度值之间相对

偏差小于或等于±10%，则确认系统达到稳定状态，此时仪器读数记为 $M_{02}$ 。

**H.5.1.2.1.4** 将标准漏孔关闭，待氦检漏仪读数稳定时记录背景读数 $M_{01}$ 。

#### H.5.1.2.2 累积时间

**H.5.1.2.2.1** 根据所测参数按公式(H.1)计算气密性试验所需的累积时间 $t_a$ ：

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

**H.5.1.2.2.2** 气密性试验所需的累积时间 $t_a$ 也可以由气瓶制造单位或检验机构通过实验方法确定，但应大于或等于3 min。

#### H.5.1.3 氦泄漏检测

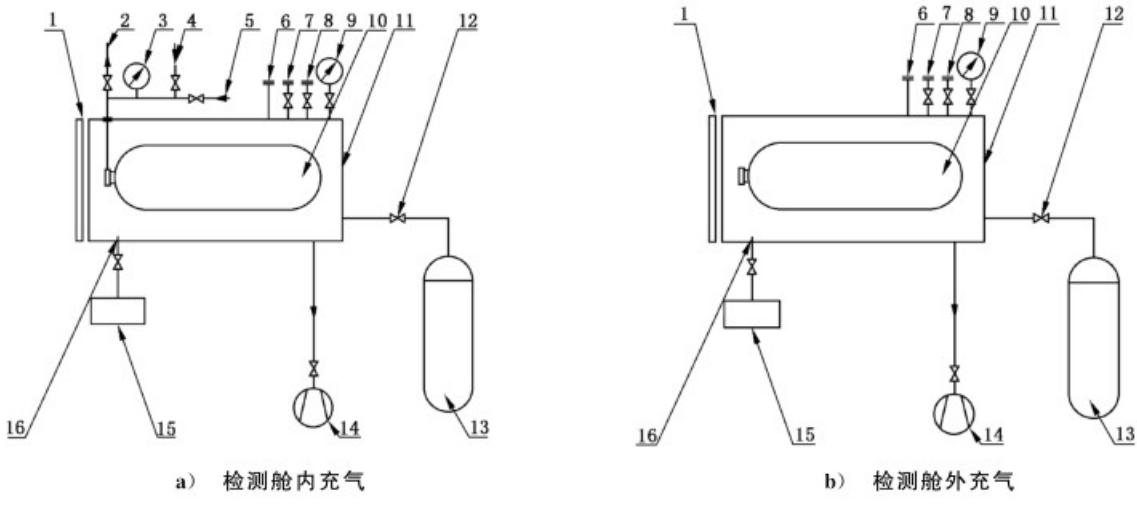
**H.5.1.3.1** 将受试气瓶按图 H.3 a) 或图 H.3 b) 所示接入检测系统。

**H.5.1.3.2** 检测舱抽真空至真空度为5 kPa~10 kPa，将氦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，应延长检测时间至输出信号稳定。

**H.5.1.3.3** 按公式(H.2)计算氦气漏率 $Q_{\text{He}}$ ：

$$Q_{\text{He}} = \frac{P_{\text{atm}} V_c (M_{03} - M_{01})}{t_a X} \quad (\text{H.2})$$

**H.5.1.3.4** 必要时，应根据仪器制造单位提供的氦检漏仪气体吸入量对氦气漏率进行修正。



标引序号说明：

- |                          |             |
|--------------------------|-------------|
| 1——检测舱快开门；               | 9——真空表；     |
| 2——充气、排气管路；              | 10——受试气瓶；   |
| 3——压力表；                  | 11——检测舱；    |
| 4——氮气充装管路 <sup>a</sup> ； | 12——氮气冲洗阀门； |
| 5——氦气充装管路 <sup>a</sup> ； | 13——氮气源；    |
| 6——机械防爆接口；               | 14——真空泵；    |
| 7——空气交换口；                | 15——氦检漏仪；   |
| 8——标准漏孔接口；               | 16——吸枪探头。   |

<sup>a</sup> 氮气充装管路和氦气充装管路可合并。

图 H.3 加压累积法检测系统

### H.5.1.4 结果评价

若检出的氦气漏率或转换得到的氢气漏率满足相关标准要求，则气瓶气密性试验合格。否则，应按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。

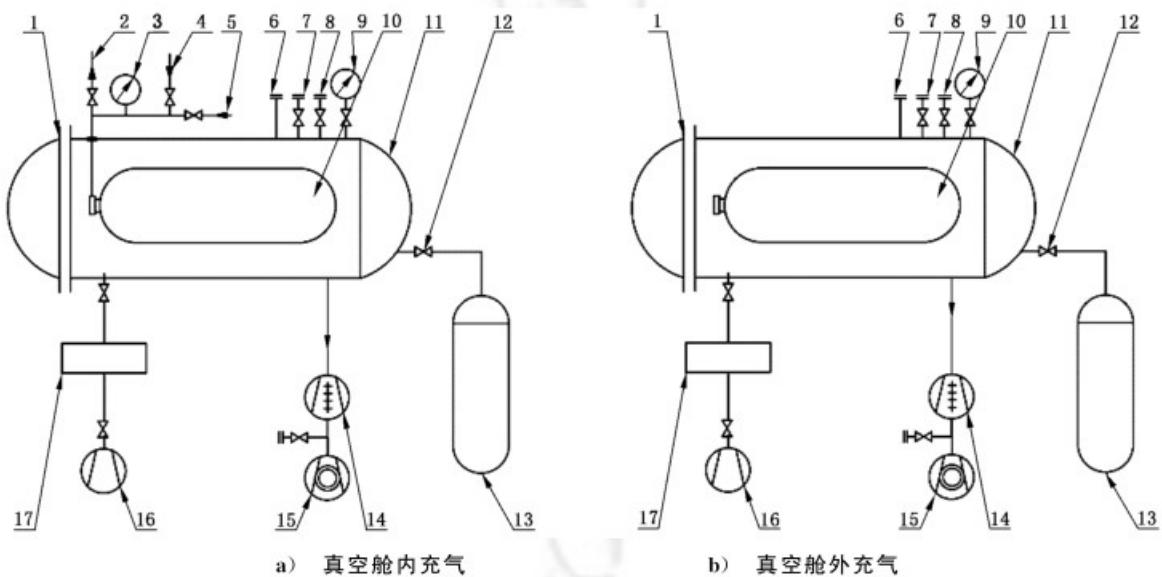
### H.5.2 真空舱法

#### H.5.2.1 气瓶连接和充气

采用真空舱外充气法时，应先将一只校准专用气瓶按图 H.4 的要求接入检测系统进行初始校准。气瓶型式试验机构只能采用真空舱内充气法。

#### H.5.2.2 预泄漏检测

使用真空舱内充气法进行氦泄漏检测之前可先进行预泄漏检测，先用氦体积分数  $X$  的氦氮混合气将气瓶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。检测时不应封堵气瓶上可能存在的泄漏。



标引序号说明：

- |                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 1——真空舱快开门；               | 10——受试气瓶；    |
| 2——充气、排气管路；              | 11——真空舱；     |
| 3——压力表；                  | 12——氮气冲洗阀；   |
| 4——氮气充装管路 <sup>*</sup> ； | 13——氮气源；     |
| 5——氦气充装管路 <sup>*</sup> ； | 14——罗茨泵；     |
| 6——机械防爆接口；               | 15——机械泵；     |
| 7——空气交换口；                | 16——检漏泵+前级泵； |
| 8——标准漏孔接头；               | 17——氦检漏仪。    |
| 9——真空表；                  |              |

<sup>\*</sup> 氮气充装管路和氦气充装管路可合并。

图 H.4 真空舱检测系统

### H.5.2.3 仪器校准

#### H.5.2.3.1 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仪器制造单位的规定。

#### H.5.2.3.2 标准漏孔校准

氦检漏仪使用前,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校准。氦检漏仪的灵敏度至少为  $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

#### H.5.2.4 检测系统初始校准

**H.5.2.4.1** 将具有 100% 氦气的经校准的渗透型标准漏孔与真空舱检测系统相连,并尽可能远离氦质谱仪与真空舱的连接处。

**H.5.2.4.2** 对检测舱抽真空至足以允许氦检漏仪与系统相连接的绝对压力,将氦质谱仪的探头接入检测舱,打开标准漏孔直至氦检漏仪信号稳定。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  $M_2$ 。

**H.5.2.4.3** 将标准漏孔关闭,待氦检漏仪读数稳定时记录背景读数  $M_1$ 。

**H.5.2.4.4** 初始的系统灵敏度  $S_1$  应按公式(H.3)计算:

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

**H.5.2.4.5** 当泄漏检测系统的布置改变(如采用辅助泵时,旁路至辅助泵的氦气流分配改变)或经校准的漏率有变动,应重新校准。

#### H.5.2.5 氦气漏率检测

**H.5.2.5.1** 完成初始校准后,用氦体积分数  $X$  的氦氮混合气将气瓶充装至公称工作压力,气瓶完成充气后需静置,瓶体温度应小于或等于 55 ℃。

**H.5.2.5.2** 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。

#### H.5.2.6 检测系统最终校准

采用真空舱内充气法时,氦气漏率检测完成后,将气瓶内压力泄压至 0,再进行真空舱检测系统最终校准。受试气瓶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  $M_4$ 。按公式(H.4)计算最终的检测系统灵敏度  $S_2$ :

$$S_2 = \frac{Q_1}{M_4 - M_3} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{H.4})$$

最终灵敏度  $S_2$  达到初始灵敏度  $S_1$  的 35% 及以上,检测结果有效。若最终灵敏度  $S_2$  减小到初始灵敏度  $S_1$  的 35% 以下,应用氮气清洗真空舱清洗或修理仪器,重新校准后再次进行检测。

#### H.5.2.7 检测结果

对检测系统进行最终校准合格后,由下述规定确定气瓶氦气漏率  $Q_{\text{He}}$ :

- 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  $M_5$  改变(但输出信号在可检范围),应按公式(H.5)确定  $Q_{He}$ :

$$Q_{\text{He}} = \frac{S_2(M_5 - M_1)}{X} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{H.5})$$

#### H.5.2.8 结果评价

若检出的氦气漏率或转换得到的氢气漏率满足标准要求，则气瓶气密性试验合格。否则，应按根据 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。

## H.6 漏率转换系数

#### H.6.1 一般要求

H.6.1.1 将氦气漏量换算成氢气漏量时,需考虑氢气、氦气、氮气不同介质之间的泄漏转换系数。

H.6.1.2 漏率转换系数的测定方法包括差压法和微压法。

H.6.1.3 漏率转换系数应在 55 ℃下测定。

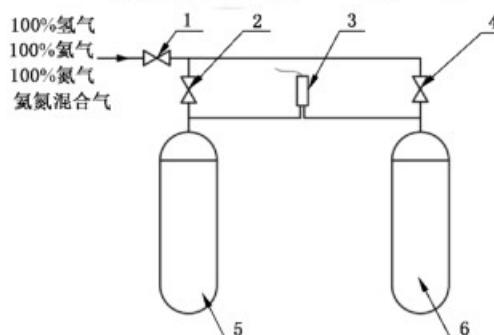
### H.6.2 差压法

H.6.2.1 差压法系统连接如图 H.5 所示。通过微差压传感器检测基准气瓶和被测气瓶的压差，得到被测气瓶在充装氢气(或氦气、氮气及氦气体积分数为  $X$  氮氦混合气)时的泄漏量，据此计算  $\alpha$ 、 $\beta$ 。

**H.6.2.2** 差压法试验操作步骤如下。

- a) 试验前,应采取适当方法确保基准气瓶、阀门 2 和阀门 3 无泄漏。
  - b) 将被测气瓶和基准气瓶抽真空或置换为相应气体。
  - c) 高压气体经阀门 2、阀门 3 充入压差传感器两端的被测气瓶和基准气瓶内,此时传感器两端气压相等,记为检测压力  $p_1$ 。
  - d) 检测时应同时关闭阀门 2、阀门 3,形成 2 个独立封闭的容腔。当被测气瓶有泄漏时,通过压差传感器示数显示两侧压差。
  - e) 通过差压传感器测得差压变化量  $\Delta p$ ,记录阀门关闭至产生压差  $\Delta p$  对应的时间  $t_p$ 。按公式 (H.6)计算气体漏率:

$$Q' = \frac{\Delta p}{p_{\text{atm}} t_p} \left[ V_T + \frac{\Delta V}{\Delta p} \left( 1 + \frac{V_T}{V_R} \right) p_t \right] \quad \dots \dots \dots \quad (\text{H.6})$$



### 标引序号说明：

1—阀门 1;

4—阀门 3:

2—阀门 2;

5—基准气瓶；

### 3—微压差传感器

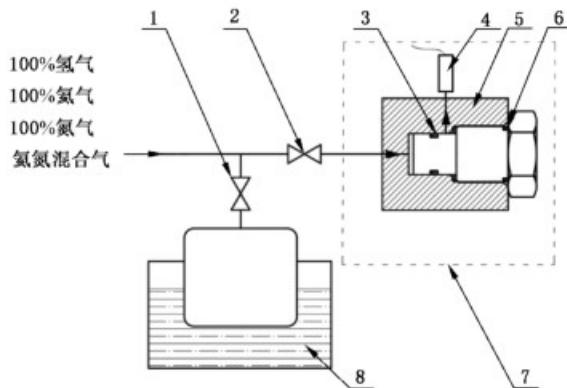
6——被测气瓶。

图 H.5 差压法漏率转换系数测试系统

**H.6.2.3** 改变充入被测气瓶和基准气瓶的气体种类,重复 H.6.2.2 所述步骤,得到不同种类气体的体积漏率。

### H.6.3 微压法

微压法泄漏率转换系数测试系统见图 H.6。



标引序号说明:

- |            |                    |
|------------|--------------------|
| 1——阀门 1;   | 5——瓶阀/气瓶密封处模拟工装系统; |
| 2——阀门 2;   | 6——O 形密封圈;         |
| 3——O 形密封圈; | 7——恒温箱;            |
| 4——微压检漏仪;  | 8——温度稳定系统。         |

图 H.6 微压法漏率转换系数测试系统

### H.6.4 转换系数计算

按公式(H.7)计算纯氦气漏率与氦气体积分数为 X 的氦氮混合气漏率转换系数  $\alpha$ ,按公式(H.8)计算纯氢气漏率与纯氦气漏率的转换系数  $\beta$ :

$$\alpha = \frac{Q'_{\text{He}}}{Q'_{X-\text{He}} - (1-X)Q'_{\text{N}_2}} \quad (\text{H.7})$$

$$\beta = \frac{Q'_{\text{H}_2}}{Q'_{\text{He}}} \quad (\text{H.8})$$

### H.6.5 氦氮混合气制备的压力配比法

按公式(H.9)计算氦氮混合气的充氮压力对应氦气的摩尔密度  $\rho_0$ :

$$\rho_0 = \frac{C\rho_{\text{He}}\rho_{\text{N}_2}}{\rho_{\text{He}} - C\rho_{\text{He}} + C\rho_{\text{N}_2}} \quad (\text{H.9})$$

式中,氦氮混合气中氦气的摩尔分数 C 的值等于 X。表 H.1 给出了几种常用压力、温度和氦气体积分数的混合气制备时的充氮压力。

表 H.1 氦氮混合气配备表

氦氮混合气压力/MPa	氦气的体积分数 X/%	温度/℃	$\rho_{\text{He}}/(\text{mol/L})$	$\rho_{\text{N}_2}/(\text{mol/L})$	充氮压力/MPa
35	3	20	12.336	12.039	0.88
	5				1.46
	8				2.37
	10				2.99
	15				4.51
43.75	3	20	14.916	13.886	1.03
	5				1.72
	8				2.76
	10				3.47
	15				5.24
70	3	20	21.79	17.783	1.32
	5				2.21
	8				3.57
	10				4.51
	15				6.89
87.5	3	20	25.787	19.588	1.45
	5				2.43
	8				3.97
	10				5.01
	15				7.71
注：公式(H.9)和表 H.1 为推荐采用，需通过工艺验证确保配比准确，且满足试验精度要求。					

## H.7 氢气漏率计算

氢气漏率按公式(H.10)和公式(H.11)计算单位容积的氢气漏率：

a) 采用加压累积法时：

$$Q_{\text{H}_2} = \frac{P_{\text{atm}} V_c (M_{03} - M_{01}) \alpha \beta}{t_a V_T} \quad (\text{H.10})$$

b) 采用真空舱法时：

$$Q_{\text{H}_2} = \frac{S_2 (M_5 - M_2) \alpha \beta}{V_T} \quad (\text{H.11})$$

注：1 Pa · m<sup>3</sup>/s = 9.9 atm · cm<sup>3</sup>/s = 9.9 mL/s = 594 mL/min = 35 640 mL/h。

**附录 I**  
**(规范性)**  
**气瓶火烧试验方法**

### I.1 概述

本附录规定了气瓶火烧试验方法。

### I.2 符号

下列符号适用于本附录。

TB <sub>LOC</sub>	局部火烧阶段气瓶底表面温度,单位为摄氏度(℃);
TB <sub>LOC25</sub>	局部火烧阶段气瓶下方温度,单位为摄氏度(℃);
TB <sub>ENG</sub>	整体火烧阶段气瓶底表面温度,单位为摄氏度(℃);
TB <sub>ENG25</sub>	整体火烧阶段气瓶下方温度,单位为摄氏度(℃);
T <sub>minLOC25</sub>	主试验局部火烧阶段火源最低温度,单位为摄氏度(℃);
T <sub>minENG25</sub>	主试验整体火烧阶段火源最低温度,单位为摄氏度(℃);
TMF <sub>LOC</sub>	局部火烧阶段气瓶前表面温度,单位为摄氏度(℃);
TMF <sub>ENG</sub>	整体火烧阶段气瓶前表面温度,单位为摄氏度(℃);
TMR <sub>LOC</sub>	局部火烧阶段气瓶后表面温度,单位为摄氏度(℃);
TMR <sub>ENG</sub>	整体火烧阶段气瓶后表面温度,单位为摄氏度(℃);
TU <sub>LOC</sub>	局部火烧阶段气瓶顶表面温度,单位为摄氏度(℃);
TU <sub>ENG</sub>	整体火烧阶段气瓶顶表面温度,单位为摄氏度(℃)。

### I.3 一般要求

#### I.3.1 防风

试验在室外进行时,应采取防风板等遮风措施,使受试气瓶受热均匀。

#### I.3.2 燃料

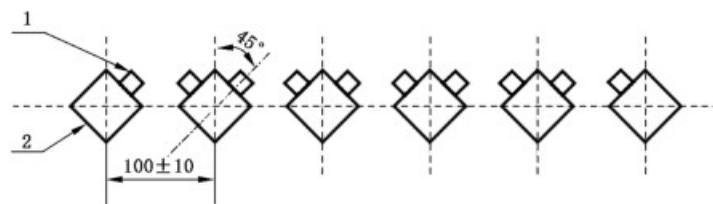
火源燃料应选用液化石油气(LPG)或压缩天然气(CNG)。

#### I.3.3 火源尺寸

火源宽度应大于或等于受试气瓶外直径,火源长度应大于或等于受试气瓶总长(包含瓶体、瓶阀和TPRD端塞),使火焰由受试气瓶的下方及侧面将其环绕。火源包括局部火源区和延伸火源区。局部火源区长度为(250±50)mm。火源由数根燃料管组成,燃料管间距为(100±10)mm,燃料管数量应根据受试气瓶外直径确定,但应不少于6根。

#### I.3.4 喷嘴间距及尺寸

在燃料管上等间距排布喷嘴,喷嘴间距为(50±5)mm,燃料和空气混合气出口与垂直方向夹角为45°,如图I.1所示。喷嘴上有1个燃料入口、4个空气入口以及1个燃料和空气混合气出口,如图I.2所示。燃料入口内径为(1.0±0.1)mm,空气入口内径为(6.4±0.6)mm,燃料和空气混合气出口内径为(10±1)mm。

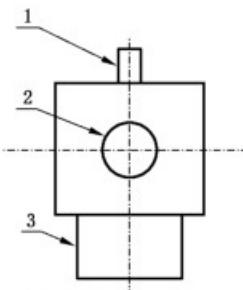


标引序号说明：

1——喷嘴；

2——燃料管。

图 I.1 火源燃料管及喷嘴布置



标引序号说明：

1——燃料入口；

3——燃料和空气混合气出口。

2——空气入口；

图 I.2 喷嘴示意图

### I.3.5 热电偶布置及温度计算

**I.3.5.1** 热电偶应采用 K 型热电偶,且热电偶丝直径应小于或等于 3.2 mm。热电偶布置位置与气瓶表面的距离应小于或等于 5 mm。热电偶布置时应采用机械支撑,防止测温过程中热电偶位置变化,影响测量结果。

**I.3.5.2** 热电偶布置至少应包括以下 5 个部分(如图 I.3):

- 位于瓶口和瓶尾的 TB1、TB2;
- 位于气瓶筒体右端,沿环向在气瓶上部、前部、下部和后部等间距布置的 TUR、TMRF、TBR、TMRR;
- 位于气瓶筒体中部,沿环向在气瓶上部、前部、下部和后部等间距布置的 TUC、TMCF、TBC、TMCR;
- 位于气瓶筒体左端,沿环向在气瓶上部、前部、下部和后部等间距布置的 TUL、TMLF、TBL、TMLR;
- 位于气瓶下方( $25 \pm 5$ ) mm 处,沿轴向布置 TBL25、TBC25、TBR25,分别位于局部火源区中央、延伸火源区的筒体中心和延伸火源区的筒体端部。

必要时,还可在 TPRD 及受试气瓶其他部位设置热电偶。

**I.3.5.3** 根据热电偶温度数据,按表 I.1 的规定确定气瓶各部位温度。

单位为毫米

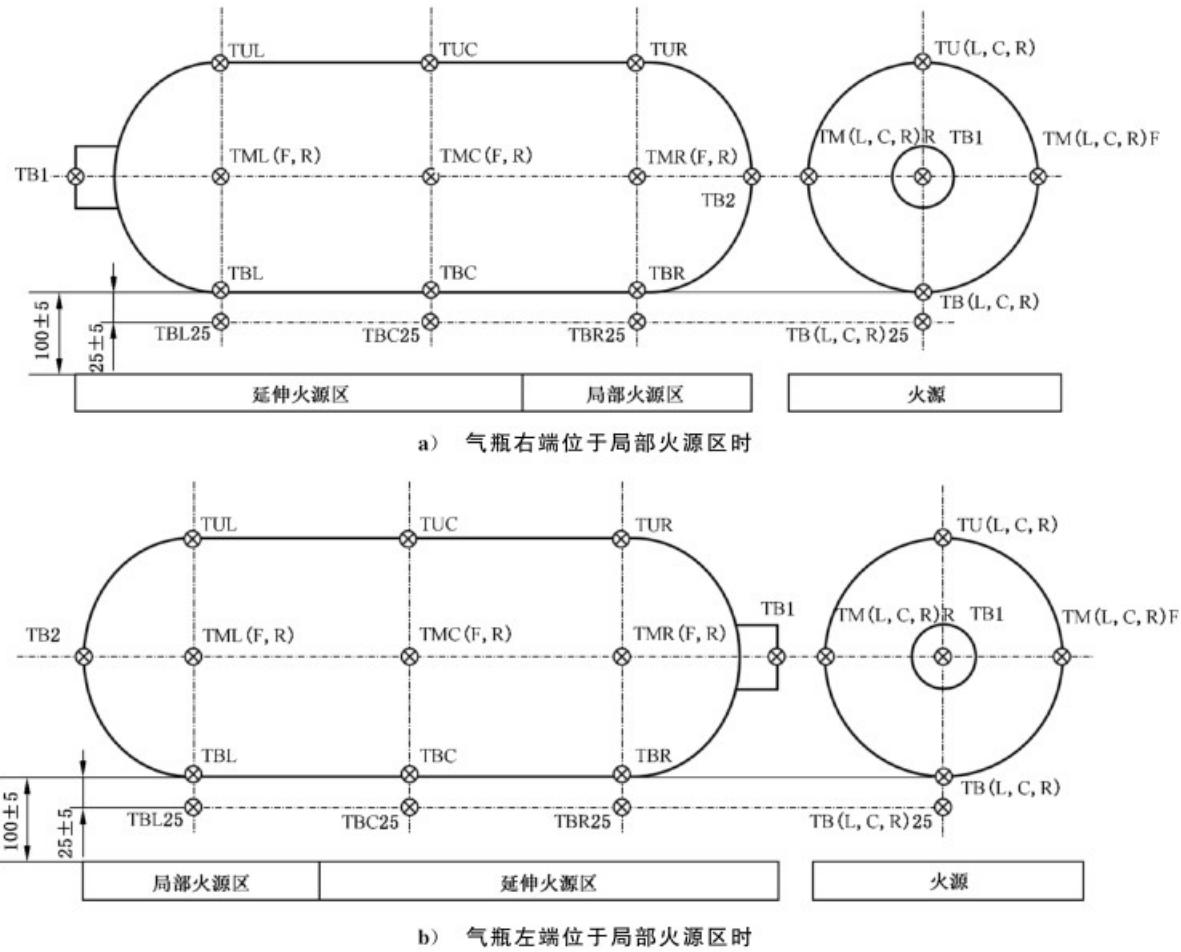


图 I.3 预试验热电偶布置

表 I.1 热电偶温度数据与气瓶各部位温度关系

火烧阶段	热电偶温度数据	部位	符号
局部火烧	TBR 或 TBL <sup>a</sup>	底表面	TB <sub>LOC</sub>
	TMRF 或 TMLF <sup>a</sup>	前表面	TMF <sub>LOC</sub>
	TMRR 或 TMLR <sup>a</sup>	后表面	TMR <sub>LOC</sub>
	TUR 或 TUL <sup>a</sup>	顶表面	TU <sub>LOC</sub>
	TBR25 或 TBL25 <sup>a</sup>	下方	TB <sub>LOC25</sub>
整体火烧	TBR、TBC 和 TBL 的平均值	底表面	TB <sub>ENG</sub>
	TMLF、TMCF 和 TMRF 的平均值	前表面	TMF <sub>ENG</sub>
	TMLR、TMCR 和 TMRR 的平均值	后表面	TMR <sub>ENG</sub>
	TUR、TUC 或 TUL 的平均值	顶表面	TU <sub>ENG</sub>
	TBR25、TBC25 和 TBL25 的平均值	下方	TB <sub>ENG25</sub>

表 I.1 热电偶温度数据与气瓶各部位温度关系(续)

火烧阶段	热电偶温度数据	部位	符号
“局部火烧时，气瓶各部位温度为局部火源区相应部位热电偶测得的温度。例如，当气瓶右端位于局部火源区时，气瓶底表面温度 $TB_{LOC}$ 为 TBR 热电偶温度；气瓶前表面温度 $TMF_{LOC}$ 为 TMRF 热电偶温度；气瓶后表面温度 $TMR_{LOC}$ 为 TMRR 热电偶温度；气瓶顶表面温度 $TU_{LOC}$ 为 TUR 热电偶温度；气瓶下方温度 $TB_{LOC25}$ 为 TBR25 热电偶温度。			

### I.3.6 火烧过程

火烧过程包括局部火烧和整体火烧，如图 I.4 所示。局部火烧仅局部火源区点火，整体火烧开始时，延伸火源区点火。

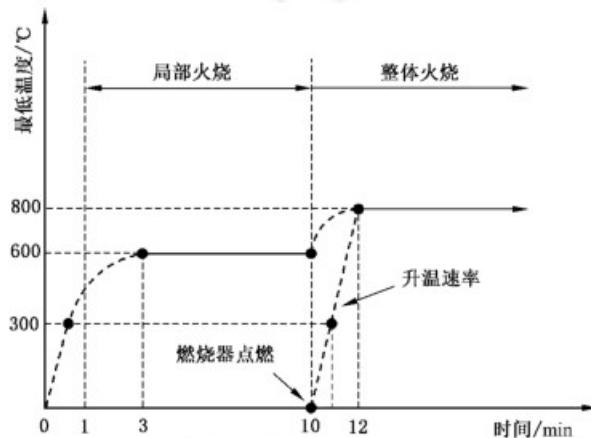


图 I.4 火烧试验温度图

## I.4 预试验

### I.4.1 一般要求

在试验装置搭建完毕后，至少应进行一次预试验，以检验试验装置布置、试验参数能否满足预期要求。当试验装置布置、试验参数或受试气瓶尺寸有重大变化时，宜重新进行预试验。

### I.4.2 合格指标

钢瓶各部位温度应符合表 I.2 的规定。

表 I.2 钢瓶各部位温度要求

区域	底表面温度/°C	前表面和后表面温度/°C	顶表面温度/°C
局部火源	$450\text{ °C} < TB_{LOC} < 750\text{ °C}$	$TM(F,R)_{LOC} < 750\text{ °C}$	$TU_{LOC} < 300\text{ °C}$
整体火源	$TB_{ENG} > 600\text{ °C}$	—	$TU_{ENG} > 100\text{ °C}$ ；当 $TU_{ENG} > 750\text{ °C}$ 时， $TU_{ENG} < TB_{ENG}$

#### I.4.3 试验对象

采用钢瓶进行预试验。钢瓶外直径宜为 320 mm, 长度应大于或等于受试气瓶。

注：预试验的目的是验证火烧试验温度是否满足表 I.2 的要求，不需要对钢瓶充压。

#### I.4.4 试验步骤

对钢瓶进行预试验，试验步骤如下。

- 将钢瓶水平放置，其下表面距火源(100±5)mm, 钢瓶尾端位于局部火源区。之后按 I.3.5.1 和 I.3.5.2 的规定布置热电偶。
- 试验前，按 I.3.1 的规定进行防风。
- 设置火源燃料流量，依次进行局部火烧和整体火烧。燃料流量设置基于火源的单位面积热释放率(HRR/A), HRR/A 按公式(I.1)计算。局部火烧时，HRR/A 推荐范围为 200 kW/m<sup>2</sup>~500 kW/m<sup>2</sup>；整体火烧时，HRR/A 推荐范围为 400 kW/m<sup>2</sup>~1 000 kW/m<sup>2</sup>。
- 试验时，记录热电偶温度数据，并计算其 60 s 滚动平均值。按 I.3.5.3 的规定确定钢瓶对应部位温度。

$$\text{HRR}/A = \frac{HQ}{A} \quad \dots \dots \dots \text{(I.1)}$$

式中：

HRR/A ——火源的单位面积热释放率，单位为千瓦每平方米(kW/m<sup>2</sup>)；

H ——燃料的低位热值，单位为兆焦每千克(MJ/kg)；

Q ——燃料流量，单位为克每秒(g/s)；

A ——火源面积，单位为平方米(m<sup>2</sup>)。

#### I.4.5 主试验火源最低温度确定

预试验合格后，按公式(I.2)计算主试验火源最低温度，单位为 °C：

$$\begin{aligned} T_{\min\text{LOC25}} &= \min [(T_{\text{BLOC25}} - 50), 600] \\ T_{\min\text{ENG25}} &= \min [(T_{\text{BENG25}} - 50), 800] \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \text{(I.2)}$$

### I.5 主试验

#### I.5.1 试验步骤

对受试气瓶及其附件进行主试验，试验步骤如下：

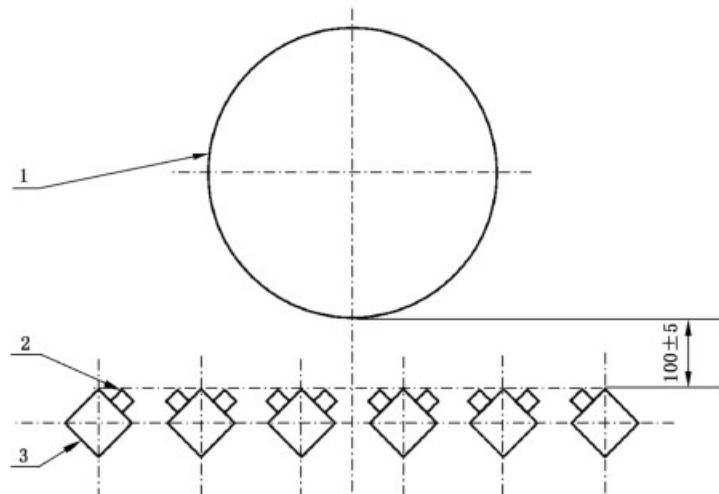
- 将气瓶水平放置，其下表面距火源(100±5)mm, 气瓶轴线应与火源燃料管的中心线平行(如图 I.5 所示)，气瓶局部火烧位置应为气瓶上距 TPRD 最远的区域；
- 试验前，用氢气缓慢将气瓶加压到公称工作压力；
- 按 I.3.5.1 和 I.3.5.2 e) 的规定布置热电偶；
- 按经预试验合格的燃料流量，依次进行局部火烧和整体火烧，试验过程中热电偶温度应符合表 I.3 的规定；
- 应在 TPRD 打开且气瓶内压力降至 1 MPa 后停止火源燃料供应。

#### I.5.2 试验结果

记录火烧试验的布置方式、燃料类型及流量、火源 HRR/A、热电偶温度、气瓶内压力、从点火到

TPRD 打开的时间及从 TPRD 打开到气瓶内压力降至 1 MPa 以下的时间。在试验期间,记录热电偶温度和气瓶内压力的时间间隔应小于或等于 10 s。当试验在室外进行时,应记录风速和风向。

单位为毫米



标引序号说明:

1—气瓶;

3—燃料管。

2—喷嘴;

图 I.5 气瓶布置示意图

表 I.3 主试验各操作阶段温度要求

时间/min	操作	温度
0~1	局部火源点火	—
1~3	稳定局部火源	T <sub>B<sub>LOC25</sub></sub> 的 10 s 滚动平均值 $\geq 300 {^\circ}\text{C}$
3~10	稳定局部火源	T <sub>B<sub>LOC25</sub></sub> 的 60 s 滚动平均值 $\geq T_{\min LOC25}$
10~12	延伸火源点火	—
12~结束	稳定整体火源	T <sub>B<sub>ENG25</sub></sub> 的 60 s 滚动平均值 $\geq T_{\min ENG25}$

## 附录 J

(资料性)

## 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶批量检验质量证明书

图 J.1 给出了车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶批量检验质量证明书示例。

气瓶型号	产品图号	制造许可证编号			
生产批号	充装介质	制造日期			
本批气瓶 只, 编号从 号到 号					
本批合格气瓶中不包括下列瓶号:					
<b>1 主要技术数据</b>					
公称容积/L	气瓶公称外直径/mm	塑料内胆设计壁厚/mm			
公称工作压力/MPa	水压试验压力/MPa	气密性试验压力/MPa			
<b>2 材料</b>					
<b>2.1 塑料内胆</b>					
名称或牌号	规格或型号				
检验项目	熔融峰温 /℃	维卡软化温度 /℃	熔体流动速率(粒状塑料)		
			聚乙烯(改性聚乙烯): 熔体质量流动速率/ (g/10 min)	聚酰胺(改性聚酰胺): 熔体体积流动速率/ (cm <sup>3</sup> /10 min)	试验条件
规定值					试验温度 _ ℃, 负荷 _ kg
实测值					
检验项目 (粉状塑料)	表观密度/(g/mL)	粉体流出时间/s	平均颗粒粒径/μm		
规定值					
实测值					
<b>2.2 纤维/树脂复合材料</b>					
纤维名称或牌号	纤维规格或型号				
树脂名称或牌号	树脂规格或型号				
检验项目	纤维线密度/tex	纤维浸胶拉伸强度/MPa			
规定值					
实测值					

图 J.1 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶批量检验质量证明书示例

### 2.3 瓶阀座

6061 铝合金化学成分												Al			
元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Pb	Bi	其他		Al		
											单向	总体			
规定值															
实测值															
铝合金 6061	抗拉强度/MPa		0.2%非比例延伸强度/MPa			断后伸长率/%									
规定值															
实测值															
奥氏体不锈钢 S31603 化学成分															
元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Ni 当量						
规定值															
实测值															
奥氏体不锈钢 S31603	抗拉强度/MPa		0.2%非比例延伸强度/MPa			断面收缩率/%		冲击吸收能量/J							
规定值															
实测值															

### 3 内胆试验

试验内胆号 \_\_\_\_\_

检验项目	母材性能检测						熔融宽度 /mm	
	23℃		-50℃		90℃			
	拉伸断裂 应力/MPa	拉伸断裂 标称应变/%	拉伸断裂 应力/MPa	拉伸断裂 标称应变/%	拉伸断裂 应力/MPa	拉伸断裂 标称应变/%		
规定值								
实测值								
检验项目	焊接接头检测							
	23℃		-50℃		90℃		熔融宽度 /mm	
	拉伸断裂 应力/MPa	拉伸断裂 标称应变/%	拉伸断裂 应力/MPa	拉伸断裂 标称应变/%	拉伸断裂 应力/MPa	拉伸断裂 标称应变/%		
规定值								
实测值								

### 4 水压爆破试验

试验瓶号 \_\_\_\_\_ 实测爆破压力 \_\_\_\_\_ MPa。

图 J.1 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶批量检验质量证明书示例（续）

## 5 常温压力循环试验

试验瓶号 \_\_\_\_\_

循环压力上限/MPa	循环压力下限/MPa	试验结果
		常温加压循环至 ____ 次, 气瓶未泄漏或破裂

经检查和试验符合 GB/T 33145—2023 的要求, 该批气瓶是合格产品。

监督检验单位:(盖章)

气瓶制造单位:(检验专用章)

监督检验员:(签字或盖章)

检验负责人:(签字或盖章)

年   月   日

年   月   日

图 J.1 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶批量检验质量证明书示例(续)

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 192 普通螺纹 基本牙型
- [2] GB/T 196 普通螺纹 基本尺寸
- [3] GB/T 197 普通螺纹 公差
- [4] GB/T 3934 普通螺纹量规 技术条件
- [5] GB/T 20668 统一螺纹 基本尺寸
- [6] EC79 Regulation (EC) No.79/2009 of the European Parliament and of the Council of 14 January 2009 on Type-approval of Hydrogen-powered Motor Vehicles
- [7] ECE R134 Regulation No.134 Hydrogen and Fuel Cell Vehicles
- [8] UN GTR 13 Global Technical Regulation No. 13 on Hydrogen and Fuel Cell Vehicles