



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 19158-202X  
代替 GB/T 19158-2003

## 集装及站用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶

Fully wrapped carbon-fibre reinforced aluminum lined gas cylinders used on trailers for  
transportation or skids for fueling station of compressed hydrogen

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2024-8-15)

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。

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局  
中国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、定义和符号.....	3
4 型式、参数和型号.....	6
5 技术要求.....	8
6 试验方法和合格指标.....	13
7 检验规则.....	21
8 标记、包装、运输和储存.....	24
9 安装和防护.....	25
10 产品合格证和批量检验质量证明书.....	25
附录 A（规范性） 气瓶用密封件性能试验方法.....	30
附录 B（资料性） 铝内胆最大允许缺陷尺寸确定方法.....	33
附录 C（规范性） 截止阀和安全泄压装置型式试验方法与合格指标.....	34
附录 D（规范性） 层间剪切试验方法.....	17
附录 E（规范性） 瓶式集装箱气瓶火烧试验方法.....	22
附录 F（规范性） 站用气瓶附加要求.....	28

## 前 言

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

本文件代替GB/T 19158-2003《站用压缩天然气气瓶》，与GB/T 19158-2003相比，除了结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了标准适用范围（见1章，2003年版1章）；
- b) 更改了气瓶结构型式、参数和型号命名方式（见4章，2003年版4章）；
- c) 增加了公称水容积、设计循环次数、设计年限等技术要求（见5.1）；
- d) 更改了气瓶材料要求（见5.2，2003年版5.1、5.2）；
- e) 更改了气瓶设计要求（见5.3条，2003年版5.3）；
- f) 更改了气瓶制造要求（见5.4条，2003年版5.4）；
- g) 更改了试验方法和合格标准（见6章，2003年版6章、7章）；
- h) 更改了气瓶标志要求（见8.1，2003年版8.1）；
- i) 删除了气瓶涂敷要求（见2003年版8.2）；
- j) 增加了气瓶电子标签的要求（见8.2）；
- k) 删除了“站用压缩天然气钢瓶批量检验质量证明书”（见2003年版附录A）；
- l) 增加了“气瓶用密封件性能试验方法”（见附录A）；
- m) 增加了“铝内胆最大允许缺陷尺寸确定方法”（见附录B）；
- n) 增加了“截止阀和安全泄压装置型式试验方法与合格指标”（见附录C）；
- o) 增加了“层间剪切试验方法”（见附录D）；
- p) 增加了“瓶式集装箱气瓶火烧试验方法”（见附录E）
- q) 增加了“站用气瓶附加要求”（见附录F）。

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。

本文件由全国气瓶标准化技术委员会（SAC/TC 31）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件于2003年首次发布，本次为第一次修订。

# 集装及站用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶

## 1 范围

本文件规定了安装于瓶式集装箱、气瓶集束装置等集装储运用途及加氢站等应用场景以浅幅压力循环方式运行作为缓冲容器固定使用的压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶(以下简称气瓶)的型式和参数、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和储存等要求。

本文件适用于设计制造工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 的可重复充装气瓶：瓶式集装箱用气瓶，公称工作压力 $30\text{ MPa}\sim 52\text{ MPa}$ ，公称水容积为 $150\text{ L}\sim 450\text{ L}$ ；气瓶集束装置用气瓶，公称工作压力不大于 $35\text{ MPa}$ ，公称水容积为 $40\text{ L}\sim 150\text{ L}$ ；加氢站等固定场合用气瓶（以下简称站用气瓶），公称工作压力不大于 $70\text{ MPa}$ ，公称水容积为 $150\text{ L}\sim 450\text{ L}$ 。

## 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 191 包装储运图示标志
- GB/T 192 普通螺纹基本牙型
- GB/T 196 普通螺纹基本尺寸
- GB/T 197 普通螺纹公差
- GB/T 228.1 金属材料拉伸试验第1部分：室温试验方法
- GB/T 230.1 金属材料洛氏硬度试验第1部分：试验方法(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺)
- GB/T 231.1 金属材料布氏硬度试验第1部分：试验方法
- GB/T 232 金属材料弯曲试验方法
- 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 1458 纤维缠绕增强塑料环形试样力学性能试验方法
- GB/T 2941 橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序
- GB/T 3191 铝及铝合金挤压棒材
- GB/T 3246.1 变形铝及铝合金制品组织检验方法第1部分：显微组织检验方法
- 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 3880.1 一般工业用铝及铝合金板、带材第1部分：一般要求
- GB/T 3880.2 一般工业用铝及铝合金板、带材第2部分：力学性能
- GB/T 3880.3 一般工业用铝及铝合金板、带材第3部分：尺寸偏差
- GB/T 3934 普通螺纹量规技术条件
- GB/T 4437.1 铝及铝合金热挤压管第1部分：无缝圆管
- 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
- GB/T 6519 变形铝、镁合金产品超声波检验方法
- GB/T 7690.3 增强材料纱线试验方法第3部分：玻璃纤维断裂强力和断裂伸长的测定
- GB/T 7758 硫化橡胶低温性能的测定温度回缩法(TR试验)
- GB/T 7762—2014 硫化橡胶或热塑性橡胶耐臭氧龟裂静态拉伸试验
- GB/T 7999 铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法
- GB/T 8337 气瓶用易熔合金塞装置
- 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 11640 铝合金无缝气瓶
- GB/T 13005 气瓶术语
- GB/T 23987-2009 《色漆和清漆 涂层的人工气候老化曝露 曝露于荧光紫外线和水》
- GB/T 15385 气瓶水压爆破试验方法
- GB/T 16918 气瓶用爆破片安全装置
- GB/T 17394.1 金属材料里氏硬度试验第1部分：试验方法
- 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 19624 在用含缺陷压力容器安全评定
- GB/T 20668 统一螺纹基本尺寸
- GB/T 20975 (所有部分) 铝及铝合金化学分析方法
- GB/T 26749 碳纤维浸胶纱拉伸性能的测定
- GB/T 30019 碳纤维密度的测定
- GB/T 33215 气瓶安全泄压装置
- GB/T 32249 铝及铝合金模锻件、自由锻件和轧制环向锻件通用技术条件
- GB/T 37244 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气
- GB/T 38106 压力容器用铝及铝合金板材
- GB/T 38512 压力容器用铝及铝合金管材

YS/T 67 变形铝及铝合金圆铸锭

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

**铝内胆** aluminum liner

气瓶内层用于密封气体且可承受或不承受部分压力载荷的无缝铝合金容器。

##### 3.1.2

**全缠绕** fully-wrapped

用浸渍树脂的纤维连续在内胆上进行螺旋和环向缠绕，使气瓶的环向和轴向都得到增强的缠绕方式。

##### 3.1.3

**全缠绕气瓶** fully-wrapped cylinder

在内胆外表面全缠绕碳纤维增强层，经加温固化成型的气瓶。

##### 3.1.4

**公称工作压力** nominal working pressure

气瓶在基准温度(20℃)下的限定充装压力。

##### 3.1.5

**自紧** autofrettage

通过向气瓶施加内压使铝内胆产生塑性变形，从而使得气瓶在零压力下铝内胆承受压应力、碳纤维承受拉应力的加压过程。

##### 3.1.6

**自紧压力** autofrettage pressure

自紧时施加在气瓶内的最高压力（表压）。

##### 3.1.7

**气瓶批量** batch of cylinder

采用同一设计条件，具有相同结构尺寸铝内胆、复合材料，且用同一工艺进行缠绕、固化的气瓶的限定数量。

### 3.1.8

#### 铝内胆批量 batch of aluminum liner

采用同一设计条件，具有相同的公称外直径、设计壁厚，用同一炉罐号材料，同一制造工艺制成，按同一热处理规范及相同环境条件下进行连续热处理的铝内胆的限定数量。

### 3.1.9

#### 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。

### 3.1.10

#### 纤维应力比 fiber stress ratio

气瓶在最小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。

### 3.1.11

#### 极限弹性膨胀量 rejection elastic expansion ; REE

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，单位为毫升。该数值不得超过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。

### 3.1.12

#### 等效纤维材料 equivalent fiber

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弹性模量和公称抗拉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。

### 3.1.13

#### 等效树脂材料 equivalent matrix

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 6.2.1.1 要求的树脂视为等效树脂材料。

### 3.1.14

#### 压力循环幅度 amplitude of pressure cycling

压力循环中压力上限与压力下限之差。

### 3.1.15

#### 全幅压力循环 full-amplitude pressure cycling

全幅压力循环的循环压力上限应不小于  $1.25p$ ，循环压力下限不大于 2MPa。

## 3.1.16

全幅压力循环次数 full-amplitude pressure cycling number

按 5.1.2 规定的常温压力循环次数。

## 3.1.17

气瓶最高允许温度 maximum permissible temperature of cylinder

气瓶使用时在任何部位允许达到的最高温度是 85°C。

## 3.1.18

气瓶许用压力 allowable pressure of cylinder

气瓶的许用压力  $P_A$  为运行过程中气瓶所允许承受的最大压力。

## 3.1.19

原型气瓶 prototype cylinder

符合 F3.1 要求, 采用本文件瓶式集装箱、集束装置用气瓶设计、制造、试验方法, 或符合 GB/T35544 要求, 用于站用气瓶的产品。

## 3.1.20

站用气瓶浅幅压力循环 partial-amplitude pressure cycling of cylinders for fuelling station

循环幅度不大于 30% $P_A$ 。

## 3.1.21

站用气瓶浅幅压力循环次数 partial-amplitude pressure cycling number of cylinders for fuelling station

符合 F3.1 的压力循环次数。

## 3.2 符号

下列符号适用于本文件。

$A$ ——室温下铝内胆材料断后伸长率实测值, %;

$a_0$ ——铝内胆材料拉伸试样的原始厚度, 单位为毫米 (mm);

$b_0$ ——铝内胆材料拉伸试样的原始宽度, 单位为毫米 (mm);

$C$ ——材料常数;

$D_f$ ——冷弯试验弯心直径, 单位为毫米 (mm);

$D_o$ ——铝内胆公称外直径，mm单位为毫米（mm）；

$H$ ——铝内胆材料压扁试验压头间距，单位为毫米（mm）；

$l_o$ ——铝内胆材料拉伸试样的原始标距，单位为毫米（mm）；

$m$ ——材料常数；

$n_{eq}$ ——浅幅压力循环等效于全幅压力循环的循环次数（通过计算方法或实际循环试验方法进行确定）；

$n_i$ ——浅幅压力循环次数；

$n_{iMAX}$ ——设计最大浅幅压力循环次数；

$p_{bmin}$ ——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）；

$P_A$ ——气瓶许用压力，单位为兆帕（MPa）；

$P_{\#}$ ——气瓶公称工作压力，单位为兆帕（MPa）；

$R_{p0.2}$ ——室温下铝内胆材料0.2%非比例延伸强度，单位为兆帕（MPa）；

$R_m$ ——室温下铝内胆材料抗拉强度实测值，单位为兆帕（MPa）；

$S_{a0}$ ——冷弯试验铝内胆筒体实测平均壁厚，单位为毫米（mm）；

$V$ ——气瓶公称水容积，单位为升（L）。

$\Delta P_i$ ——站用气瓶实际的浅幅压力循环幅，单位为兆帕（MPa）；

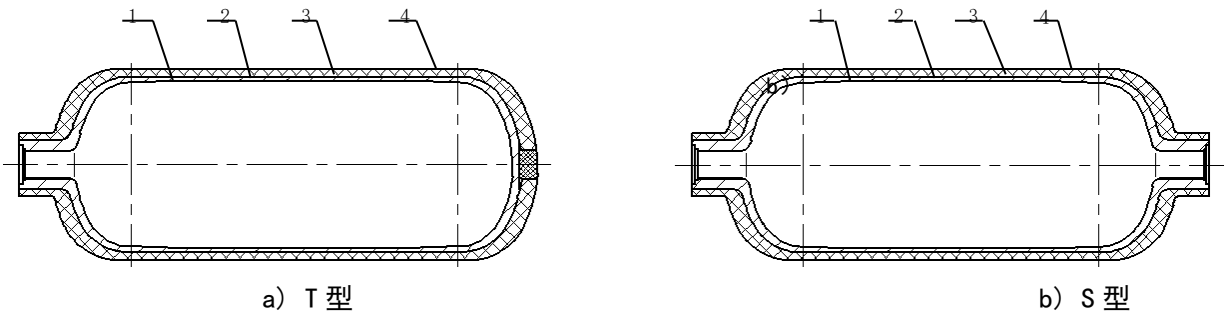
$\Delta P_{i max}$ ——站用气瓶设计最大浅幅压力循环幅，单位为兆帕（MPa）；

$\Delta P_{max}$ ——站用气瓶全幅压力循环时的压力循环幅，单位为兆帕（MPa）。

## 4 型式、参数和型号

### 4.1 型式

气瓶结构型式如图1所示，公称水容积小于等于50L的集束装置用气瓶可以选用T型结构。



标引序号说明:

- 1——内胆;
- 2——防电偶腐蚀层;
- 3——碳纤维缠绕层;
- 4——玻璃纤维保护层。

图 1 气瓶结构型式

## 4.2 参数

4.2.1 气瓶公称工作压力不大于表 1 的规定。

表1 气瓶公称工作压力

用途	公称工作压力(MPa)
瓶式集装箱	$\leq 52$
气瓶集束装置	$\leq 35$
加氢站等固定场合	$\leq 70$

4.2.2 气瓶公称水容积和铝内胆公称外直径一般应符合表 2 的规定。

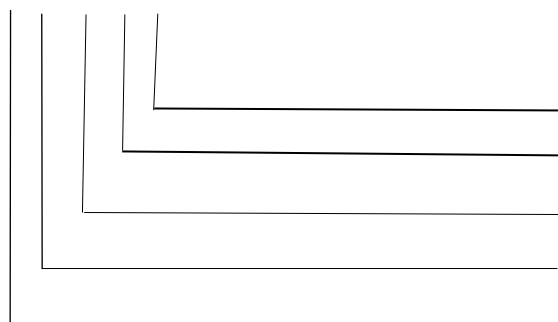
表2 气瓶公称水容积和铝内胆公称外直径及允许偏差

项目	数值	允许偏差 / %
公称水容积, $V/L$	40~450	+2.5 0
铝内胆公称外直径, $D_o/mm$	$\Phi 325 \sim \Phi 660$	$\pm 6$

## 4.3 型号

气瓶型号标记表示如下:

CC3 - X - X - X - S H<sub>2</sub>



气瓶公称工作压力 MPa

气瓶公称容积 L

铝内胆公称外径 mm

表示 3 型铝合金内胆碳纤维全缠绕

表示瓶式集装箱(集束装置 SC、站用 SS)

用碳纤维缠绕气瓶

示例 1: 瓶式集装箱用碳纤维缠绕气瓶, 铝内胆公称外径 660mm, 气瓶公称容积 350L, 气瓶公称工作压力 52MPa, 双口, 氢介质, 其型号标记为: CC3-660-350-52-S H<sub>2</sub>。

示例 2: 站用碳纤维缠绕气瓶, 铝内胆公称外径 660mm, 气瓶公称容积 450L, 气瓶公称工作压力 70MPa, 双口, 氢介质, 其型号标记为: SS3-660-450-70-S H<sub>2</sub>。

## 5 技术要求

### 5.1 一般要求

#### 5.1.1 公称水容积

设计时气瓶公称水容积的选取应当按10L一档系列化。

#### 5.1.2 设计循环次数

5.1.2.1 气瓶的设计循环次数(全幅压力循环次数)为15000次。

#### 5.1.2.2 站用气瓶浅幅压力循环次数

设计气瓶时应至少按每年循环 10000 次来确定设计允许的最大浅幅压力循环次数, 如果实际运行工况循环次数大于 10000 次, 按实际需求确定最大浅幅压力循环次数。最大浅幅压力循环次数所对应的按照 F3.3 得出的等效全幅压力循环次数应小于 15000 次。

#### 5.1.3 设计使用年限

5.1.3.1 气瓶的设计使用年限为15年。

#### 5.1.3.2 站用气瓶设计使用年限

5.1.3.2.1 以全幅压力循环模式运行的站用气瓶, 根据 5.1.2 规定的常温压力循环次数, 除以站用气瓶每年预期的全幅循环次数, 来确定设计使用年限。

5.1.3.2.2 以浅幅压力循环模式运行的气瓶, 根据允许的最大浅幅压力循环次数, 除以站用气瓶每年预期的浅幅压力循环次数, 来确定设计使用年限。

#### 5.1.4 气瓶许用压力

气瓶许用压力为1.25倍的 $P_w$ 。

#### 5.1.5 温度范围

在充装和使用过程中气瓶的温度范围。

#### 5.1.6 氢气品质

充装气瓶的压缩氢气成分应符合GB/T 37244的规定。

#### 5.1.7 工作环境

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

- a) 雨水、雪水环境;
- b) 车辆在海洋附近行驶, 或者在用盐融化冰的路面上行驶;

- c)阳光中的紫外线辐射；
- d)车辆振动和碎石冲击；
- e)接触酸和碱溶液、肥料；
- f)接触汽车用液体，包括汽油、液压油、电池酸、乙二醇和油；
- g)接触排放的废气。

## 5.2 材料

### 5.2.1 一般要求

制造气瓶的材料，应有材料制造单位提供的质量证明书原件，或者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。

### 5.2.2 铝内胆

5.2.2.1 铝内胆应采用 6061 铝合金，其化学成分应符合表 3 的规定。

表3 6061 铝合金化学成分

元素		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Pb	Bi	其它		Al
												单项	总体	
质量分数/%	最小值	0.40	—	0.15	—	0.80	0.04	—	—	—	—	—	—	余量
	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	

5.2.2.2 铝内胆材料应满足相应标准的规定，板材应符合GB/T 3880.1~3或GB/T 38106的规定，管材应符合GB/T 4437.1、GB/T 38512的规定，锻件应符合GB/T32249或YS/T 479的规定，挤压棒材应符合GB/T 3191的规定，铸锭应符合YS/T 67的规定。铸锭应进行超声检测，超声检测按Φ2 mm当量平底孔进行，检验方法应符合GB/T 6519的规定。

5.2.2.3 铝内胆材料应经气瓶制造单位复验合格后方可使用。气瓶制造单位应按材料炉罐号根据GB/T 7999或GB/T 20975进行化学成分复验。

### 5.2.3 树脂

5.2.3.1 浸渍材料应采用环氧树脂或改性环氧树脂。树脂的环氧当量测定应按GB/T 4612的规定执行，树脂材料的玻璃化转变温度应按GB/T 19466.2的规定进行测定，且其值应不低于105℃。

5.2.3.2 浸渍材料的性能和技术指标应符合相应的国家标准或行业标准的规定。

### 5.2.4 纤维

#### 5.2.4.1 碳纤维

5.2.4.1.1 承载纤维应采用连续无捻碳纤维，不允许采用混合纤维。玻璃纤维只能作为防电偶腐蚀层或外表面保护层

5.2.4.1.2 每批碳纤维的力学性能应符合气瓶设计文件的规定。

5.2.4.1.3 气瓶制造单位应对碳纤维材料按批进行复验。纤维线密度（公制号数）应按 GB/T3362 或 GB/T30019 测定；纤维浸胶拉伸强度应按 GB/T 3362 或 GB/T 26749 测定。

#### 5.2.4.2 玻璃纤维

5.2.4.2.1 应采用 S 型或 E 型玻璃纤维，其力学性能应符合气瓶设计文件的规定。

5.2.4.2.2 玻璃纤维只允许用作气瓶外表面保护层。

5.2.4.2.3 采用 GB/T7690.3 规定的方法，按批对玻璃纤维力学性能进行复验。

#### 5.2.5 密封件

5.2.5.1 密封件宜采用硅橡胶、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。集装箱气瓶的密封件宜采用三元乙丙橡胶或氢化丁腈橡胶等。

5.2.5.2 密封件材料的使用温度范围应满足-40 °C~85 °C的要求。

5.2.5.3 密封件材料性能应满足附录 A 的要求。

### 5.3 设计

#### 5.3.1 铝内胆

5.3.1.1 铝内胆端部应采用凸形结构。

5.3.1.2 铝内胆端部应采用渐变厚度设计,筒体与端部应圆滑过渡。

5.3.1.3 铝内胆最小设计壁厚应通过应力分析验证。

5.3.1.4 气瓶瓶口应开在气瓶端部，且应与铝内胆同轴。

5.3.1.5 瓶口的外径和厚度应满足瓶阀装配时的扭矩要求。

5.3.1.6 瓶口螺纹应采用直螺纹，螺纹长度应大于气瓶阀门螺纹的有效长度，且应符合GB/T 192、GB/T 196、GB/T 197或GB/T 20668的规定。

5.3.1.7 瓶口螺纹在水压试验压力下的切应力安全系数应不小于4。计算螺纹切应力安全系数时，铝合金剪切强度取0.6倍的材料抗拉强度保证值。

#### 5.3.2 气瓶

##### 5.3.2.1 水压试验压力

5.3.2.1.1 气瓶水压试验压力应不低于 $1.5P_w$ ;

5.3.2.1.2 站用气瓶水压试验压力应不低于 $1.25P_A$ 。

5.3.2.2 纤维应力比和气瓶最小设计爆破压力见表4。

表4 纤维应力比和最小设计爆破压力  $P_{bmin}$ 

气瓶分类	纤维应力比	最小设计爆破压力
瓶式集装箱用气瓶	3.4	3.4
气瓶集束装置用气瓶	3	3
站用气瓶	2.81	2.81

5.3.2.3 气瓶碳纤维缠绕层外表面应采用玻璃纤维保护层，并符合6.2.13条规定的要求。玻璃纤维保护层（或在其上涂敷白色聚氨酯漆涂层）应具有防紫外线功能。可依据GB/T23987对试样进行耐紫外线能力测试，采用UVA 340灯使试样暴露在荧光紫外线中1000h，应无鼓泡、开裂、粉化或软化现象。

5.3.2.4 气瓶使用条件中不包括因外力等引起的附加载荷。

### 5.3.3 应力分析

采用有限单元法，建立合适的气瓶分析模型，计算气瓶在自紧压力、自紧后零压力、公称工作压力、许用压力、水压试验压力和最小爆破压力下，铝内胆和缠绕层中的应力和应变。分析模型应考虑铝内胆的材料非线性、复合材料各向异性和结构的几何非线性。

### 5.3.4 最大允许缺陷尺寸

采用含预制裂纹气瓶常温压力循环试验方法或者基于断裂力学的工程评估方法，确定铝内胆无损检测时的最大允许缺陷尺寸，参见附录B。

## 5.4 制造

### 5.4.1 一般要求

5.4.1.1 气瓶应符合产品设计图样和相关技术文件的规定。

5.4.1.2 制造应分批管理，铝内胆成品和气瓶成品均以不大于200只加上破坏性试验用铝内胆或气瓶的数量为一个批。

### 5.4.2 铝内胆

5.4.2.1 铸锭和挤压棒材应挤压冷拉伸或旋压成形；板材应冲压冷拉伸或旋压成形；管材应旋压成形。铝内胆不得进行焊接。

5.4.2.2 成形后的铝内胆应按评定合格的热处理工艺进行固溶时效热处理。

5.4.2.3 铝内胆热处理后应逐只进行硬度测定。

### 5.4.3 瓶口螺纹

螺纹和密封面应光滑平整，不允许有倒牙、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

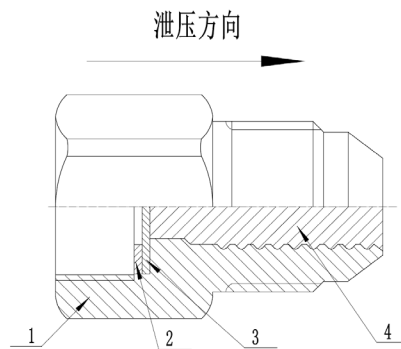
5.4.4.1 缠绕碳纤维前，铝内胆内外表面应清理干净，不得有金属碎屑等杂物，且应采取措施防止铝内胆外表面与碳纤维缠绕层之间发生电偶腐蚀。

5.4.4.2 缠绕和固化应按评定合格的工艺进行。固化温度不得对铝内胆力学性能产生影响。

5.4.4.3 水压试验前应按规定的自紧压力进行自紧处理，并详细记录每只气瓶的自紧压力、容积膨胀量等。

### 5.4.5 附件

5.4.5.1 用于瓶式集装箱的气瓶，若采用气动截止阀和爆破片-易熔合金塞复合安全泄压装置，其型式试验方法及合格指标应满足附录C的规定。气瓶一端应当设置带安全泄压装置的气动截止阀，气动阀应为常闭阀。另一端应当设置带安全泄压装置的端塞。爆破片侧接触瓶内介质。爆破片应采用H90铜合金制造，平板结构；易熔合金塞应采用防挤出结构，动作温度为  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；复合结构的本体应采用不锈钢。见图2。



标引序号说明：

- 1——复合结构本体
- 2——垫片；
- 3——爆破片；
- 4——易熔合金。

图2 PRD 复合装置结构示意图

爆破片-易熔合金塞复合装置在 $20^\circ\text{C}$ 下的爆破片设计爆破压力为 $\frac{4}{3} P_w$ ，爆破片的验收值允许偏差为  $0$ 。150 $^\circ\text{C}$ 下的PRD复合装置爆破片爆破压力验证值应为 $1.15 P_w$ ，允许偏差为  $0$ ；110 $^\circ\text{C}$ 下的PRD  
-10% -10%

复合装置爆破片爆破压力验证值应为 $1.2 P_w$ ，允许偏差为  $0$ 。瓶阀及端塞上安全泄压装置的安全泄  
-10%

放量应按GB/T 33215进行设计计算，应能保证缠绕气瓶在6.2.12所规定的火烧试验条件中安全泄压。爆破片的批量检验爆破试验抽样数量按表5规定，其余要求应符合相关标准的规定。

表5 爆破片批量检验爆破试验抽样要求

同批次爆破片成品总数/片或套	爆破试验抽样数量/片或套
<10	2
10~15	3
16~30	4
31~100	6
101~500	3%，且不少于6
500~1000	2%，且不少于15
1001~3000	1%，且不少于20

注：抽样试验用的爆破片不计入该批次爆破片成品数量之内。

5.4.5.2 采用爆破片-易熔合金塞复合装置的，瓶阀及端塞的使用温度不得超过65℃。应在端塞侧设置测温点测量瓶内气体温度。充气过程中若发现端塞侧的气体温度超过65℃，应立即停止充装。

5.4.5.3 除满足本标准要求外，易熔合金塞还应满足 GB/T 8337 的其他相关规定，爆破片装置还应满足 GB/T 16918 的其他相关规定。

5.4.5.4 安全泄压装置的泄放口不得朝向瓶体。气瓶设置其它火烧保护装置时，装置不得影响气瓶的受力状态和安全泄压装置的正常开启。

5.4.5.5 采用其他型式瓶口阀和安全泄放装置的瓶式集装箱气瓶，安全泄压装置和阀门还应符合相关标准的要求。气瓶集束装置用气瓶及站用气瓶不需要在瓶口安装泄放装置。站用气瓶的泄压装置设置（包括位置和结构型式等），应在系统设计时按压力容器的有关要求进行。

## 6 试验方法和合格指标

### 6.1 铝内胆

#### 6.1.1 壁厚和制造公差

##### 6.1.1.1 试验方法

壁厚应采用超声测厚仪测量；制造公差应采用标准的或专用的量具、样板进行检查。

##### 6.1.1.2 合格指标

6.1.1.2.1 壁厚应符合设计规定。

6.1.1.2.2 筒体外直径平均值和公称外直径的偏差不得超过公称外直径的 1%。

6.1.1.2.3 筒体同一截面上最大外直径与最小外直径之差不超过公称外直径的 2%。

6.1.1.2.4 筒体直线度不超过筒体长度的 0.3%。

#### 6.1.2 内外表面

##### 6.1.2.1 试验方法

目测检查外表面，用内窥镜或内窥镜镜检查内表面。

##### 6.1.2.2 合格指标

6.1.2.2.1 内、外表面无肉眼可见的表面压痕、凸起、重叠、裂纹和夹杂，颈部与端部过渡部分无突变或明显皱折。

6.1.2.2.2 筒体与端部应圆滑过渡。

6.1.2.2.3 若采用机加工或机械修磨的方法去除表面缺陷，缺陷去除部位应圆滑过渡，且壁厚不小于最小设计壁厚。

### 6.1.3 瓶口螺纹

#### 6.1.3.1 试验方法

目测检查，并用符合GB/T 3934标准或相应标准的量规检查。

#### 6.1.3.2 合格指标

6.1.3.2.1 螺纹的有效螺距数和表面粗糙度应符合设计规定。

6.1.3.2.2 螺纹牙型、尺寸和公差应符合相关标准规定。

### 6.1.4 铝内胆热处理后的性能测量

#### 6.1.4.1 取样

6.1.4.1.1 取样部位：拉伸试样、冷弯试样和压扁试样应从筒体中部截取，金相试样应从铝内胆肩部截取，如图3所示。

6.1.4.1.2 取样数量：拉伸试样3件、冷弯试样2件或压扁试样1件、金相试样1件。

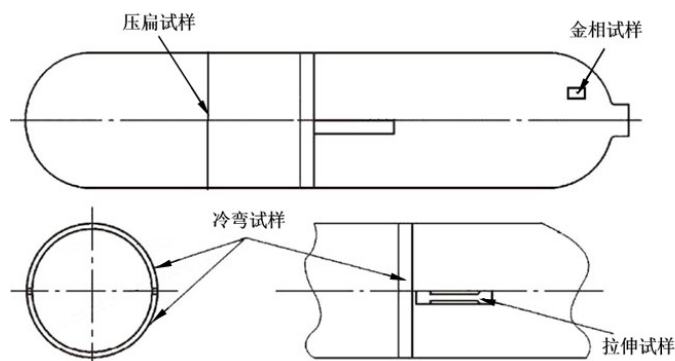


图3 取样部位图

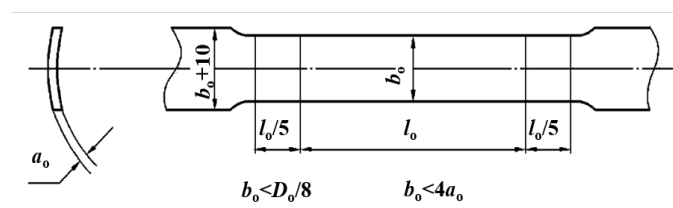


图 4 拉伸试样图

## 6.1.4.2 拉伸试验

## 6.1.4.2.1 试验方法

试样要求和试验方法应满足：

- a) 试样为实物扁试样，如图 4 所示；
- b) 试样制备和拉伸试验方法应按 GB/T 228.1 的规定执行。

## 6.1.4.2.2 合格指标

实测抗拉强度 $R_m$ 与0.2%非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 应满足设计制造单位保证值，断后伸长率 $A$ 不得小于12%。

## 6.1.5 金相试验

## 6.1.5.1 试验方法

试样的制备、尺寸和试验方法应按GB/T 3246.1 的规定执行。

## 6.1.5.2 合格指标

无过烧组织。

## 6.1.6 冷弯试验

## 6.1.6.1 试验方法

从内胆筒体上截取一个筒体环，等分三段或两段，制备两个试样。试样宽度为 25 mm，试样侧面加工粗糙度不大于  $12.5 \mu\text{m}$ ，棱边可加工成半径不大于 2 mm 的圆角。弯心直径见表 5。

弯曲示意按图 5 所示。弯曲角度  $180^\circ$ ，试验方法按 GB/T 232 执行。

## 6.1.6.2 合格指标

目测试样无裂纹。

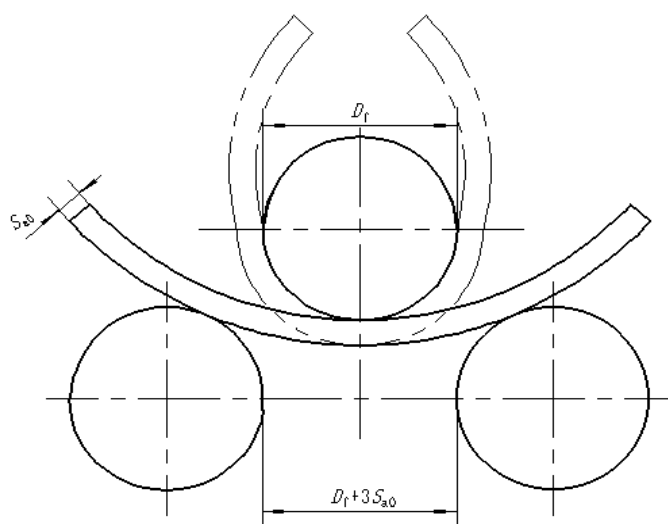


图 5 冷弯试验示意图

### 6.1.7 压扁试验

#### 6.1.7.1 试验方法

试样制备和试验方法按GB/T11640执行。试样应被压扁至表6规定间距 $H$ 。

#### 6.1.7.2 合格指标

在保持规定压头间距和压扁载荷条件下，目测铝内胆压扁变形处无裂纹。

表6 冷弯试验弯心直径和压扁试验压头间距

实测抗拉强度 MPa	弯心直径 $D_f$ mm	压头间距 $H$ mm
$R_m \leq 325$	$6S_{ao}$	$10S_{ao}$
$R_m > 325$	$7S_{ao}$	$12S_{ao}$
注：压头间距大于或等于内胆外径时，由弯曲试验代替。		

### 6.1.8 硬度试验

#### 6.1.8.1 试验方法

试验方法应按GB/T17394、GB/T 230.1或GB/T 231.1的规定执行。

#### 6.1.8.2 合格指标

硬度值不得超出设计制造单位规定的范围。

### 6.1.9 无损检测

#### 6.1.9.1 试验方法

采用超声检测或其它合适的检测方法，对铝内胆进行无损检测。

#### 6.1.9.2 合格指标

铝内胆最大缺陷尺寸应小于5.3.4规定的最大允许缺陷尺寸。

## 6.2 气瓶

### 6.2.1 缠绕层力学性能

#### 6.2.1.1 层间剪切试验

##### 6.2.1.1.1 试验方法

采用环氧树脂或改性环氧树脂基体，试验方法应符合附录D 中的规定，制作具有代表性的缠绕层试样，有效试样数不应少于9个。

##### 6.2.1.1.2 合格指标

在沸水中煮24h后，缠绕层层间剪切强度应不小于34.5MPa。

##### 6.2.1.2 拉伸试验

##### 6.2.1.2.1 试验方法

按GB/T 3362规定，制作具有代表性的拉伸试样，有效试样数应不少于6个，并按GB/T 3362规定的试验方法进行试验。

#### 6.2.1.2.2 合格指标

实测抗拉强度应不低于设计制造单位保证值。

### 6.2.2 缠绕层外观

#### 6.2.2.1 试验方法

目测检查。

#### 6.2.2.2 合格指标

不得有纤维裸露、纤维断裂、树脂积瘤、分层及纤维未浸透等缺陷。

### 6.2.3 水压试验

#### 6.2.3.1 试验方法

按GB/T 9251规定的外测法进行水压试验，试验压力 $p_h$ 要应：

- a) 瓶式集装箱用或集束装置用气瓶为1.5  $P_w$ ；
- b) 站用气瓶为1.25 $P_A$ 。

#### 6.2.3.2 合格指标

气瓶在试验压力下保压至少120s。保压期间压力不应下降，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，且泄压后容积残余变形率不大于5%。

### 6.2.4 气密性试验

#### 6.2.4.1 试验方法

在水压试验合格后，应逐只按GB/T 42612-2023附录H 规定的方法进行气密性试验，试验压力为气瓶公称工作压力 $P_w$ 。

#### 6.2.4.2 合格指标

氢气泄漏率不应大于6 NmL/(h·L)。瓶体、瓶阀和瓶体瓶阀连接处均不应泄漏。因装配引起的泄漏，允许返修后重做试验。

### 6.2.5 水压爆破试验

试验方法应符合 GB/T 15385 的规定。

#### 6.2.5.1 试验方法

按GB/T 15385规定的试验方法在常温条件下进行水压爆破试验。加压过程中当试验压力超过1.5 $p$

后，升压速率不应大于1.4 MPa/s；若升压速率小于或者等于0.35 MPa/s，可加压直至爆破；若升压速率大于0.35 MPa/s且小于等于1.4 MPa/s，如果气瓶处于压力源和测压装置之间，可加压直至爆破，否则应在最小爆破压力下保压至少5s后，再继续加压直至爆破。

#### 6.2.5.2合格指标

气瓶实测爆破压力应在  $0.9p_{b0} \sim 1.1p_{b0}$  内，且大于或者等于  $p_{bmin}$ 。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）应由制造单位提供。

### 6.2.6 常温压力循环试验

#### 6.2.6.1 试验方法

试验介质应为非腐蚀性液体，在常温条件下按 GB/T 9252 规定的试验方法进行常温压力循环试验，并同时满足以下要求：

- a) 试验前，在规定的环境温度和相对湿度条件下，气瓶温度应达到稳定；试验过程中，监测环境、液体和气瓶表面的温度并维持在规定值；
- b) 循环压力下限应为  $(2 \pm 1)$  MPa，上限应不低于  $P_A$ ；
- c) 压力循环频率应不超过 15 次/min；

#### 6.2.6.2 合格标准

在15000次循环内，气瓶不得发生泄漏或破裂，之后继续循环至30000次或至泄漏发生，气瓶不得发生破裂。

### 6.2.7 最大浅幅压力循环试验（仅站用气瓶）

#### 6.2.7.1 试验方法

试验介质应为非腐蚀性液体，在常温条件下按 GB/T 9252 规定的试验方法进行试验，并同时满足以下要求：

- a) 试验前，在规定的环境温度和相对湿度条件下，气瓶温度应达到稳定；试验过程中，监测环境、液体和气瓶表面的温度并维持在规定值；
- b) 循环压力下限应为  $70\%P_A$ ，上限应不低于  $P_A$ ；
- c) 压力循环频率应不超过 50 次/min；

#### 6.2.7.2 合格标准

通过试验取得的气瓶失效前的实际平均循环次数应大于设计允许的最大浅幅压力循环次数150000次，且至少是按6.2.6进行的常温压力循环试验气瓶失效前实际平均全幅压力循环次数的4倍，气瓶不得发生泄漏或破裂。

## 6.2.8 环境温度压力循环试验

### 6.2.8.1 试验方法

按 GB/T 9252 的规定进行压力循环试验，试验步骤如下：

- a) 将气瓶充装无腐蚀性液体，在常压下，温度不低于 85℃，相对湿度 95% 以上的环境中静置 48h。
- b) 在上述环境中，从  $(2\pm 1)$  MPa 至公称工作压力  $p$  进行压力循环 5000 次，循环频率不超过 5 次/分钟。在试验期间，气瓶表面温度应保持在 85℃。
- c) 气瓶泄压至零压力在常温下稳定后，在不高于 -50℃ 的环境中稳定至气瓶表面温度在 -50℃ ~ -60℃ 之间，从  $(2\pm 1)$  MPa 到公称工作压力  $p$  进行压力循环 5000 次，循环频率不超过 5 次/分钟。在试验期间，气瓶表面温度应保持在 -50℃ ~ -60℃ 之间。然后将气瓶泄压至零压力在常温下稳定。
- d) 完成上述试验后，按照 6.2.5 进行水压爆破试验。

### 6.2.8.2 合格标准

气瓶在压力循环试验过程中不应出现任何可见损伤、变形和泄漏。剩余爆破压力不应低于 1.7 倍水压试验压力。

## 6.2.9 热循环试验（仅瓶式集装箱气瓶）

### 6.2.9.1 试验方法

压力循环试验方法应符合 GB/T 9252 的规定，循环频率不应超过 10 次/分钟，在最大压力的 90%~100% 期间保压不少于 1.2s。

试验步骤如下：

- a) 气瓶在常温下从接近零压力到公称工作压力  $p$  进行压力循环 10000 次；
- b) 将气瓶充压并保持在公称工作压力  $p$  下，在 93.3℃ 和 -52℃ 温度下进行热循环试验至少 20 次，在每个温度下至少保持 10min；
- c) 完成上述试验后，按 6.2.5 进行水压爆破试验。

### 6.2.9.1 合格标准

在压力循环的试验过程中气瓶不应出现任何可见损伤、变形和泄漏。剩余爆破压力应不低于  $3p$ 。

## 6.2.10 裂纹容限试验

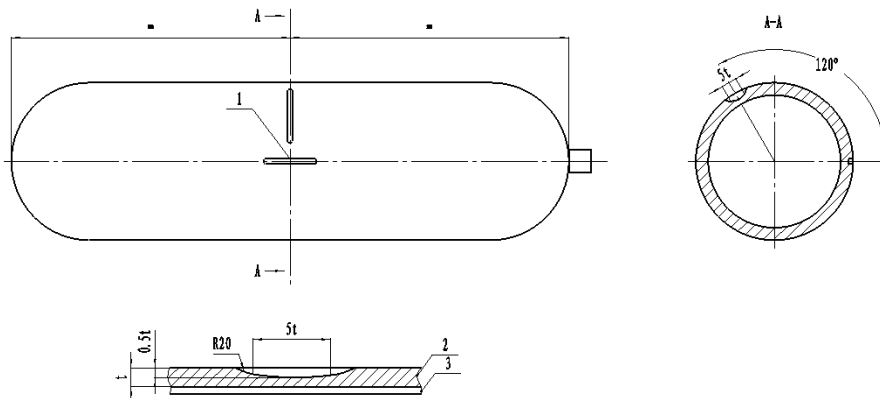
### 6.2.10.1 试验方法

按图 6 所示在气瓶筒体中间用宽度 1 mm 的刀具加工一条纵向缺陷,深度至少为缠绕层厚度的 50%,但不能超过 2.5mm,长度为 5 倍缠绕层厚度;再加工一条环向缺陷,尺寸与纵向缺陷相同,并与纵向缺陷在环向相差约 120 度。

1 只气瓶按照 6.2.5 要求进行水压爆破试验。

另 1 只气瓶按 6.2.6 进行常温压力循环试验,循环压力上限为公称工作压力  $p$ 。如果气瓶在进行 5000 次压力循环后未失效,则停止试验。

单位为 mm



标引序号说明:

- 1—裂纹, 1mm 宽;
- 2—缠绕层;
- 3—铝内胆。

图 6 裂纹容限试验

### 6.2.10.2 合格标准

6.2.10.2.1 剩余爆破压力不低于  $1.33p_h$ 。

6.2.10.2.2 在公称工作压力  $p$  下进行至少 5000 次压力循环不得爆破或泄漏。

### 6.2.11 跌落试验 (站用气瓶除外)

#### 6.2.11.1 试验方法

跌落试验应使用无内压、不安装瓶阀的气瓶。

气瓶跌落面应为水平、光滑的水泥地面或者与之相类似的坚硬表面。试验过程如图 7 所示,试验步骤如下:

- a) 气瓶下表面距跌落面 1.8 m, 水平跌落 1 次。
- b) 气瓶垂直跌落, 两端分别接触跌落面 1 次。跌落高度应使气瓶具有大于或者等于 488 J 的势能, 并保证气瓶较低端距跌落面的高度小于或者等于 1.8 m。当气瓶的跌落势能不能满足 488J 时, 跌落高度为 1.8m。为保证气瓶能够自由跌落, 可采取措施防止气瓶翻倒。

- c) 气瓶瓶口向下与竖直方向成  $45^\circ$  角跌落 1 次，如气瓶低端距跌落面小于  $0.6\text{ m}$ ，则应改变跌落角度以保证最小高度为  $0.6\text{ m}$ ，同时应保证气瓶重心距跌落面的高度为  $1.8\text{ m}$ 。若气瓶两端都有开口，则应将两瓶口分别向下进行跌落试验。

气瓶跌落后，按照 6.2.6.1 的规定进行常温压力循环试验，循环压力下限应为  $(2\pm 1)\text{ MPa}$ ，上限应不低于  $1.25 p$ 。

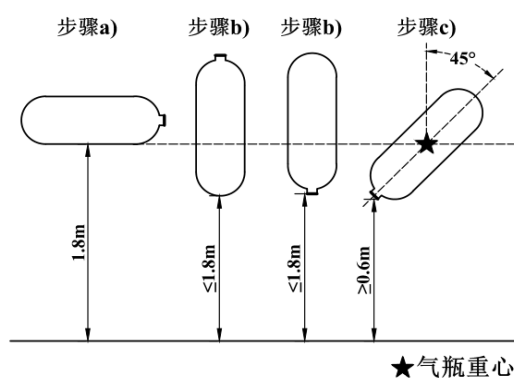


图 7 跌落方向

### 6.2.11.2 合格标准

气瓶在前3000次循环内不得发生破裂或泄漏，且随后继续循环至15000次，瓶体不得发生破裂。

### 6.2.12 枪击试验（站用气瓶除外）

#### 6.2.12.1 试验方法

试验步骤如下：

- a) 气瓶充装空气、氮气或相关气体至公称工作压力  $p$ ；
- b) 从下列两种方法中任选一种进行射击：
  - 1) 采用直径为  $7.62\text{ mm}$  的穿甲弹以  $850\text{ m/s}$  的速度射击气瓶，射击距离不超过  $45\text{ m}$ ；
  - 2) 采用维氏硬度不小于  $870\text{ HV}$ 、直径为  $6.08\text{ mm} \sim 7.62\text{ mm}$ 、质量为  $3.8\text{ g} \sim 9.75\text{ g}$  的锥形钢制子弹（锥角为  $45^\circ$ ）以  $850\text{ m/s}$  的速度射击气瓶，射击能量不小于  $3300\text{ J}$ ；
- c) 子弹应以  $90^\circ$  角射击气瓶一侧瓶壁。

#### 6.2.12.2 合格指标

试验后的气瓶不应爆破。

### 6.2.13 火烧试验（站用气瓶除外）

### 6.2.13.1 瓶式集装箱气瓶

#### 6.2.13.1.1 试验方法

瓶式集装箱气瓶安装附件后，按附录E的规定水平放置进行试验。

#### 6.2.13.1.2 合格指标

火烧试验过程中，热电偶温度应达到附录F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。

### 6.2.13.2 集束装置用气瓶

#### 6.2.13.2.1 试验方法

##### 6.2.13.2.1.1 一般要求

将气瓶充装氢气至公称工作压力；公称容积不大于50L的气瓶，1只水平放置，1只垂直放置；公称容积50L~150L的气瓶，1只水平放置。

##### 6.2.13.2.1.2 水平测试

气瓶水平放置进行火烧试验，应符合以下要求：

- a) 火源中心处于气瓶长度中间，且气瓶下侧在火源上方约100 mm处；
- b) 应采用金属挡板防止火焰直接接触安全泄放装置，但金属挡板不应直接接触安全泄放装置；
- c) 至少用3只热电偶沿气瓶下侧均匀设置，以监控气瓶表面温度，其间隔距离应不大于0.75 m；
- d) 应采用金属挡板防止火焰直接接触热电偶，金属挡板厚度应不小于0.4 mm；
- e) 使用长度为1.65 m的均匀火源，在火源长度范围内，火焰应能触及气瓶下部及两侧的外表面。火焰产生的温度不低于590 ℃；
- f) 气瓶应暴露在火焰中直到全部气体排空为止。

##### 6.2.13.3.1.3 垂直测试

气瓶垂直放置进行火烧试验，应符合以下要求：

- a) 带一个瓶阀的气瓶，瓶阀位于最上方；
- b) 气瓶下侧在火源上方约100 mm处；
- c) 应采用金属挡板防止火焰直接接触安全泄放装置，但金属挡板不应直接接触安全泄放装置；
- d) 火源范围应为1 m×1 m，火焰产生的温度不低于590 ℃；
- e) 在气瓶下部设置热电偶，以监控气瓶表面温度。长度不大于305 mm的气瓶，应在气瓶顶部和底部分别设置一个热电偶，应采用金属挡板防止火焰直接接触热电偶，金属挡板厚度应不小于0.4 mm。长度大于305 mm的气瓶，应在气瓶侧壁的中间设置一个附加的热电偶。
- f) 气瓶应暴露在火焰中直到全部气体排空为止。

#### 6.2.13.2 合格指标

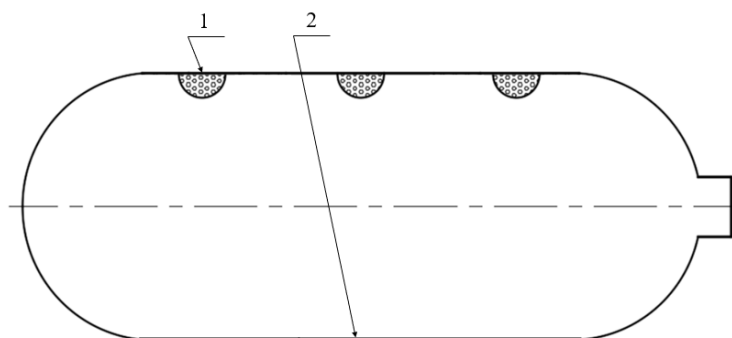
气瓶不应发生爆炸，瓶内气体可通过安全泄放装置泄放，或通过气瓶壁及其他表面泄漏。

### 6.2.14 环境试验

#### 6.2.14.1 气瓶放置和区域划分

在气瓶筒体上部划分5个明显区域，以便进行摆锤冲击和化学暴露，如图9所示。每个区域的直径应为100 mm。5个区域可不是一条直线上，但不应重叠。

注：虽然预处理和液体暴露在气瓶的筒体部位上进行，但气瓶的所有部位，包括两端，应视为暴露区域，应能适应暴露区域所处的环境。



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9 气瓶冲击和化学暴露区域图

#### 6.2.14.2 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。

#### 6.2.14.3 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：

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

#### 6.2.14.4 压力循环

按GB/T 9252的规定对气瓶进行压力循环试验，循环压力下限应为 $(2\pm 1)$  MPa，循环压力上限应不低于 $1.25p$ ，升压速率应不超过2.75 MPa/s，压力循环次数为3 000次。

#### 6.2.14.5 保压

将气瓶加压至 $1.25p$ ，在此压力下保压至少24 h，以确保化学溶液腐蚀时间（压力循环时间和保压时间之和）达到48 h。

#### 6.2.14.6 水压爆破试验

按6.2.5.1规定进行水压爆破试验。

#### 6.2.14.7 合格标准

气瓶在环境试验过程中，瓶体不得发生泄漏；经环境试验后，其爆破压力不得低于1.8倍公称工作压力 $p$ 。

#### 6.2.15 加速应力破裂试验

##### 6.2.15.1 试验方法

先在温度不低于 $85^{\circ}\text{C}$ 的环境中，将气瓶加水压至 $1.25p$ ，并在此温度和压力下静置1000 h（站用气瓶2000h），再按6.2.5.1的规定进行水压爆破试验。

##### 6.2.15.2 合格指标

爆破压力不得低于 $1.8p$ 。

#### 6.2.16 氢气循环试验（仅瓶式集装箱气瓶）

##### 6.2.16.1 试验方法

氢气循环试验应同时满足以下要求：

- a) 循环压力的下限应为 $(2\pm 1)\text{MPa}$ ，上限应不低于 $1.25p$ ；
- b) 充氢速率不得大于 $60\text{g/s}$ ，充氢过程中气瓶温度不得高于 $85^{\circ}\text{C}$ ，对采用爆破片-易熔合金塞复合装置的集装箱用气瓶，充氢过程中气瓶瓶阀及端塞温度不得高于 $65^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 放氢速率应大于或者等于实际使用时气瓶最大放氢速率，放氢过程气瓶温度不得低于 $-40^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 氢气循环次数为1000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 $1.15p$ ，并在 $55^{\circ}\text{C}$ 环境中至少静置30h；第二组在环境温度为 $-30^{\circ}\text{C}$ 和 $50^{\circ}\text{C}$ 条件下分别进行250次循环；
- e) 按6.2.4的规定对气瓶进行气密性试验。

##### 6.2.16.2 合格指标

瓶阀、瓶阀或端塞与瓶口连接处在气密性试验时氢气漏率不得超过 $6\text{ NmL}/(\text{h}\cdot\text{L})$ 。

#### 6.2.17 未爆先漏（LBB）试验（仅站用气瓶）

##### 6.2.17.1 试验方法

应用非腐蚀性流体，例如油、水或乙二醇进行试验，循环压力上限不小于1.25倍的 $P_A$ ，循环压力下

限不大于2MPa，循环频率不大于10次/分。

#### 6.2.17.2 合格指标

气瓶的失效方式应是泄漏，不应破裂。

### 7 检验规则

#### 7.1 出厂检验

##### 7.1.1 逐只检验

铝内胆和气瓶应按表6规定的项目进行逐只检验。

##### 7.1.2 批量检验

###### 7.1.2.1 检验项目

铝内胆和气瓶应按表 6 规定的项目进行批量检验。

###### 7.1.2.2 抽样规则

###### 7.1.2.2.1 铝内胆

从每批铝内胆中随机抽取1只。

如果批量检验时有不合格项目，按下列规定进行处理：

- a) 如果不合格是由于试验操作异常或测量误差造成，应重新试验；如重新试验结果合格，则首次试验无效。
- b) 如果试验操作和测量正确，应先查明试验不合格原因，再按以下规则处理：
  - 1) 如确认铝内胆不合格是由于热处理不当造成的，允许对该批铝内胆重新热处理，但热处理次数不得超过2次。经重新热处理的该批铝内胆应作为新批重新进行批量检验；
  - 2) 如果铝内胆不合格是由于其他原因造成的，则整批铝内胆报废。

###### 7.1.2.2.2 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。如果批量检验时有不合格项目，允许再随机抽取 5 只气瓶进行该项试验。5 只气瓶全部通过试验，则本批气瓶合格；如果其中有一只未通过试验，则整批气瓶判废。

### 7.2 型式试验

7.2.1 新设计的气瓶应按表 6 规定的项目进行型式试验。若型式试验不合格，则不得投入批量生产，不应投入使用。

7.2.2 用于型式试验气瓶的抽样按 TSG 23 的规定，数量不得少于 30 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：

水压爆破试验 3 只；常温压力循环试验 2 只；最大浅幅压力循环试验 2 只；环境温度压力循环试验 1 只；热循环试验 2 只；裂纹容限试验 2 只；跌落试验 1 只；枪击试验 1 只；火烧试验 1 只；环境试验 1 只；加速应力破裂试验 1 只；氢气循环试验 1 只；未爆先漏（LBB）试验 2 只。

### 7.3 设计变更

7.3.1 允许通过减少型式试验项目的方式对设计原型进行设计变更。设计变更应按表 8 规定的项目重新进行型式试验。未列入表 8 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。

7.3.2 不得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 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。

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

7.3.4 树脂材料类型不同时应认为是新树脂材料，如环氧树脂、改性环氧树脂等。

表 7 气瓶出厂检验及型式试验

序号	检验项目	出厂检验		型式试验	试验方法和合格标准	
		逐只检验	批量检验			
1	内胆	铝内胆材料复验		√	√	5.2.2.3
2		壁厚和制造公差	√		√	6.1.1
3		内外表面	√		√	6.1.2
4		瓶口螺纹	√		√	6.1.3
5		拉伸试验		√	√	6.1.4
6		金相试验		√	√	6.1.5
7		冷弯试验 <sup>a</sup>		√	√	6.1.6
8		压扁试验 <sup>a</sup>		√	√	6.1.7
9		硬度试验 <sup>a</sup>	√		√	6.1.8
10		无损检测 <sup>b</sup>	√		√	6.1.9
11	气瓶	碳纤维材料复验		√	√	5.2.4
12		涂层或玻璃纤维保护层防紫外线能力测试			√	5.3.2.4
13		层间剪切和拉伸试验			√	6.2.1
14		缠绕层外观	√		√	6.2.2
15		水压试验	√		√	6.2.3
16		气密性试验	√		√	6.2.4

17		水压爆破试验		√	√	6.2.5
18		常温压力循环试验		√	√	6.2.6
19		最大浅幅压力循环试验 <sup>c</sup>			√	6.2.7
20		环境温度压力循环试验			√	6.2.8
21		热循环试验 <sup>d</sup>			√	6.2.9
22		裂纹容限试验			√	6.2.10
23		跌落试验 <sup>e</sup>			√	6.2.11
24		枪击试验 <sup>e</sup>			√	6.2.12
25		火烧试验 <sup>e</sup>			√	6.2.13
26		环境试验 <sup>d</sup>			√	6.2.14
27		加速应力破裂试验			√	6.2.15
28		氢气循环试验 <sup>d</sup>			√	6.2.16
29		未爆先漏(LBB)试验 <sup>c</sup>			√	6.2.17
注：“√”为需要做的试验。						
<sup>a</sup> 铝内胆冷弯试验和压扁试验选择其中一项执行；						
<sup>b</sup> 可选项；						
<sup>c</sup> 仅站用气瓶；						
<sup>d</sup> 仅瓶式集装箱气瓶；						
<sup>e</sup> 站用气瓶除外。						

表 8 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													
	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 <sup>a</sup>	环境温度压力循环试验	环境加速应力破裂试验	裂纹容限试验	环境试验	跌落试验 <sup>b</sup>	氢气循环试验 <sup>a</sup>	枪击试验 <sup>b</sup>	热循环试验 <sup>a</sup>	未爆先漏 L B B 试验
纤维制造单位	√	√	√	√	√		√			√		√		√
等效纤维材料 <sup>c</sup>	√	√	√	√			√			√				
新树脂材料 <sup>c</sup>	√	√	√ <sup>d</sup>	√ <sup>d</sup>	√	√	√	√	√	√		√	√	
等效树脂材料	√	√	√ <sup>d</sup>	√ <sup>d</sup>			√							
铝内胆外直径变化 <sup>ee</sup>	≤20%		√ <sup>d</sup>	√ <sup>d</sup>						√		√ <sup>f</sup>		√
	>20%≤50%		√	√	√			√		√	√	√		√

气瓶长度变化	≤50%		√ <sup>d</sup>	√ <sup>d</sup>	√ <sup>g</sup>						√ <sup>f</sup>		
	>50%		√ <sup>d</sup>	√ <sup>d</sup>	√				√	√ <sup>g</sup>			
自紧压力增加>15%			√	√			√						
铝内胆材料 <sup>c</sup>				√	√	√			√	√		√	√
内胆壁厚减薄 <sup>l</sup>			√	√									
内胆成型工艺 <sup>l</sup>			√	√									
玻璃纤维保护层								√					
安全泄压装置(爆破片-易熔合金塞复合装置)					√ <sup>h</sup>								
瓶阀					√ <sup>h</sup>					√ <sup>i</sup>			
瓶阀座材料或几何形状(含瓶口螺纹形式或尺寸变化)			√ <sup>d,j</sup>	√ <sup>d,j</sup>						√ <sup>k</sup>			√
<sup>a</sup> 仅瓶式集装箱气瓶; <sup>b</sup> 站用气瓶除外。 <sup>c</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>d</sup> 仅要求采用1只气瓶进行试验; <sup>e</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者较低的应力水平(例如:直径增加,则壁厚应成比例增加); <sup>f</sup> 仅在筒体长度小于直径或直径减小时进行试验; <sup>g</sup> 仅在气瓶长度增加时进行试验; <sup>h</sup> 仅适用于安全泄放装置泄放通道面积减小、瓶阀/安全泄放装置质量增加超过30%、安全泄放装置类型变化或瓶阀/安全泄放装置制造单位变化时; <sup>i</sup> 仅适用于瓶阀安全泄放装置类型改变或瓶阀制造单位的同一型号产品从未进行过该项试验时; <sup>j</sup> 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>k</sup> 仅在瓶阀座几何形状变化时进行试验,不适用于瓶口螺纹形式或尺寸变化; <sup>l</sup> 内胆壁厚减薄及内胆成型工艺变更时,应重新确定铝内胆最大允许缺陷尺寸。													

### 7.4 站用气瓶

按本文件设计、制造、试验方法生产的气瓶,在满足正文中站用气瓶相关规定及附录F的附加要求后,允许用于加氢站等固定场合。依据本文件生产的52MPa瓶式集装箱气瓶以及按GB/T 35544要求生产的70MPa气瓶,其设计(含公称工作压力确定、浅幅压力循环的压力波动范围等)若能通过站用气瓶应力比和最小爆破安全系数的核算(参考附录F算例),并满足本文件正文中站用气瓶相关规定及附录F的附加要求后,可以分别用于70MPa和35MPa加氢站作为站用气瓶使用。

## 8 标志、包装、运输和储存

### 8.1 标志

8.1.1 应对每只气瓶作清晰的永久性的标记,标记应植入树脂层内。

8.1.2 标记项目应包含以下内容:

- a) 气瓶编号;
- b) 气瓶公称水容积, L;

- c) 气瓶重量, kg;
- d) 气瓶充装介质名称或化学分子式;
- e) 气瓶公称工作压力, MPa;
- f) 气瓶水压试验压力, MPa;
- g) 极限弹性膨胀量 (REE);
- h) 制造单位名称或代号;
- i) 气瓶制造年月;
- j) 气瓶设计使用年限, 年;
- k) 监督检验标志;
- l) 制造单位许可证编号;
- m) 产品执行标准。

## 8.2 电子标签

气瓶树脂层应引入二维码或射频标签等可追溯的永久性电子标签。

## 8.3 包装

8.3.1 气瓶出厂时, 若不带阀, 其瓶口应采取可靠措施加以密封, 以防止沾污。

8.3.2 气瓶应妥善包装, 防止运输时损伤。

8.3.3 包装运输标志应符合 GB/T 191 的有关规定。

## 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 在运输和装卸过程中, 应防止碰撞、受潮和损坏附件, 尤其要防止缠绕层的划伤。

## 8.4 储存

气瓶不应储存在日光曝晒和高温、潮湿及含有腐蚀介质的环境中。

## 9 安装和防护

### 9.1 安装

9.1.1 瓶式集装箱气瓶安装空间设计时应采取措施防止氢气聚集, 应使氢气可自由扩散到集装箱外部空间。

9.1.2 气瓶制造单位应向瓶式集装箱、气瓶集束装置及站用气瓶瓶组集成单位提供气瓶的水平安装方式。公称容积小于50L的气瓶集束装置用T型气瓶, 允许采用立式安装, 瓶口应朝上方。

9.1.3 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。

9.1.4 氢系统集成单位在进行氢系统结构设计时,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。

## 9.2 防护

系统集成单位应对气瓶、瓶阀/端塞及其连接件进行防冲击保护。

## 10 产品合格证和批量检验质量证明书

### 10.1 产品合格证

10.1.1 经检验合格的每只气瓶均应附有产品合格证及使用说明书。

10.1.2 产品合格证应包含以下内容:

- a) 气瓶型号;
- b) 气瓶编号;
- c) 气瓶实测水容积, L;
- d) 气瓶实测重量, kg;
- e) 气瓶充装介质或化学分子式;
- f) 气瓶公称工作压力, MPa;
- g) 气瓶水压试验压力, MPa;
- h) 极限弹性膨胀量 (REE);
- i) 制造单位名称或代号;
- j) 气瓶制造年月;
- k) 气瓶设计使用年限, 年;
- l) 监督检验标记;
- m) 气瓶制造单位许可证编号;
- n) 产品标准;
- o) 铝内胆材料牌号;
- p) 纤维材料牌号;
- q) 树脂材料牌号;
- r) 定期检验周期, 年。

### 10.2 批量检验质量证明书

10.2.1 经检验合格的每批气瓶，均应附有批量检验质量证明书，气瓶使用方均应有批量检验质量证明书的复印件。

10.2.2 批量检验质量证明书的内容，应包括本标准规定的批量检验项目。

10.2.3 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），保存时间不少于 15 年。

## 附录 A

(规范性)

### 气瓶用密封件性能试验方法

#### A.1 概述

本附录规定了气瓶用密封件性能试验方法，包括密封件材料拉伸试验和 O 形圈试验。

#### A.2 密封件材料拉伸试验

##### A.2.1 试验方法

密封件材料拉伸试验应符合 GB/T 528 的规定。

##### A.2.2 合格指标

拉伸强度和拉断伸长率应满足设计文件的要求。

#### A.3 O 形圈试验

##### A.3.1 外观检查

###### A.3.1.1 试验方法

按照 GB/T 3452.2 的试验方法，对 O 形圈外观质量进行检查。

###### A.3.1.2 合格指标

外观质量应满足设计文件的要求。

##### A.3.2 尺寸检查

###### A.3.2.1 试验方法

按照 GB/T 2941 的试验方法，对 O 形圈尺寸进行非接触测量。

###### A.3.2.2 合格指标

O 形圈截面直径和内径应满足设计文件的要求。

##### A.3.3 硬度检查

###### A.3.3.1 试验方法

按照 GB/T 6031 的试验方法，对 O 形圈硬度进行检查。

###### A.3.3.2 合格指标

硬度应满足设计文件的要求。

##### A.3.4 拉伸试验

###### A.3.4.1 试验方法

按照 GB/T 5720 的试验方法，对 O 形圈进行拉伸试验。

#### A.3.4.2 合格指标

拉伸强度和拉断伸长率应满足设计文件的要求。

#### A.3.5 压缩永久变形试验

##### A.3.5.1 试验方法

试验之前测定 O 形圈的截面直径。参照 GB/T 3512 的试验方法，将 O 形圈压缩成规定厚度，在温度为  $(150\pm 2)$  °C 大气中放置 72 h（允许偏差为  $-2\text{ h}\sim+0\text{ h}$ ）后，使 O 形圈恢复自由状态并测定其厚度，计算 O 形圈压缩永久变形率。

##### A.3.5.2 合格指标

压缩永久变形率应满足设计文件的要求。

#### A.3.6 硬度变化试验

##### A.3.6.1 试验方法

参照 GB/T 3512 的试验方法，将 O 形圈压缩成规定厚度，在温度为  $(150\pm 2)$  °C 大气中放置 72 h（允许偏差为  $-2\text{ h}\sim+0\text{ h}$ ）后，使 O 形圈恢复自由状态并测定其硬度。试验前后 O 形圈的硬度应按照 GB/T 6031 的规定并依据 O 形圈尺寸选择合适的方法进行测量。

##### A.3.6.2 合格指标

硬度变化应满足设计文件的要求。

#### A.3.7 氢气损伤试验

##### A.3.7.1 试验方法

a) 测量 3 个 O 形圈体积，并称重；

b) 将 O 形圈在压力为气瓶公称工作压力、温度为 15 °C 的氢气中放置 168 h 后，将压力在 45 s 内降至大气压力；

c) 将 O 形圈在压力为气瓶公称工作压力、温度为 -50 °C 的氢气中放置 168 h 后，将压力在 45 s 内降至大气压力；

d) 取出 O 形圈后应立即观察 O 形圈表面并测量其体积变化率和质量损失率。

##### A.3.7.2 合格指标

O 形圈应无破损等异常现象，其体积膨胀率应不超过 25% 或者体积收缩率应不超过 1%，质量损失率应不超过 10%。

### A. 3. 8 温度回缩试验

#### A. 3. 8. 1 试验方法

参照 GB/T 7758 的试验方法,在拉长状态下将与 O 形圈相同材料的标准试样冷却至-80 °C使其固化,除去拉伸力并以均匀的速率提高试样温度,并测定试样回缩率为 10%时的温度。

#### A. 3. 8. 2 合格指标

O 形圈材料温度应满足设计文件的要求。

## 附录 B

(资料性)

### 铝内胆最大允许缺陷尺寸确定方法

#### B.1 总则

本附录规定了气瓶铝合金内胆无损检测时的最大允许缺陷尺寸确定方法。

#### B.2 铝内胆最大允许缺陷确定方法

气瓶内胆最大允许缺陷可以按照以下任一方法确认。

##### B.2.1 含裂纹气瓶液压疲劳试验方法

含裂纹气瓶液压疲劳试验方法按下列规定进行：

- a) 在铝内胆收口和热处理前，在铝内胆内表面预制轴向裂纹；
- b) 裂纹长度和深度应根据无损检测能力确定；
- c) 将 3 只带有预制裂纹缺陷的气瓶按照 6.2.6 的规定进行常温压力循环试验；
- d) 如果经设计循环次数后，3 只气瓶均未泄漏或破裂，则最大允许缺陷尺寸规定为小于等于预制裂纹尺寸。

##### B.2.2 基于断裂力学的工程评估方法

基于断裂力学的工程评估方法按下列规定进行：

- a) 在铝内胆的疲劳敏感部位设置轴向裂纹，作为平面缺陷；
- b) 压力范围为 10%公称工作压力~公称工作压力；
- c) 气瓶压力循环次数最小值为设计循环次数；
- d) 按 GB/T19624 的要求计算最大等效裂纹尺寸，最大允许缺陷尺寸应小于或等于此计算值。

## 附录 C

(规范性)

## 截止阀和安全泄压装置型式试验方法与合格指标

## C.1 总则

本附录规定了自动/手动截止阀、爆破片-易熔合金塞复合装置（以下简称复合装置）和温度驱动型安全泄压装置型式试验方法与合格指标。其他类型安全泄压装置可参照此附录进行试验。

## C.2 型式试验项目

型式试验包括安全泄压装置（复合装置或温度驱动型）、自动/手动截止阀以及非金属橡胶密封件试验，详见表C.1

表 C.1 型式试验项目一览表

对象	试验项目	试验方法及合格指标
安全泄压装置	氢循环试验	C. 3. 1. 1
	加速寿命试验	C. 3. 1. 2
	温度循环试验	C. 3. 1. 3
	耐盐雾腐蚀性试验	C. 3. 1. 4
	耐冷凝腐蚀性试验	C. 3. 1. 5
	跌落试验	C. 3. 1. 6
	耐振性试验	C. 3. 1. 7
	泄漏试验 <sup>a</sup>	C. 3. 1. 8
	耐压性试验 <sup>a</sup>	C. 3. 1. 9
	应力腐蚀开裂试验	C. 3. 1. 10
	动作试验	C. 3. 1. 11
	流量试验	C. 3. 1. 12
自动/手动截止阀	耐压性试验 <sup>b</sup>	C. 3. 2. 1
	泄漏试验 <sup>b</sup>	C. 3. 2. 2
	极限温度压力循环试验	C. 3. 2. 3
	耐盐雾腐蚀性试验	C. 3. 2. 4
	耐冷凝腐蚀性试验	C. 3. 2. 5
	耐振性试验	C. 3. 2. 6
	电气试验	C. 3. 2. 7
	应力腐蚀开裂试验	C. 3. 2. 8

非金属橡胶密封件	耐氧老化性试验	C. 3. 3. 1
	臭氧相容性试验	C. 3. 3. 2
	氢气相容性试验	C. 3. 3. 3
a 当安全泄压装置仅是进气口螺纹规格和外形尺寸发生变更时, 应进行该试验; b 当截止阀仅是外形尺寸, 进气口、出气口和其他外接口的连接方式及规格尺寸发生变更时, 应进行该试验。		

### C.3 型式试验方法与合格指标

#### C.3.1 安全泄压装置试验方法与合格指标

##### C.3.1.1 氢循环试验

###### C.3.1.1.1 试验方法

采用氢气安全泄压装置进行压力循环试验, 循环频率应不超过 10 次/min, 试验要求如表 C.2 所示。

C. 2 氢循环试验要求

安全泄压装置形式	试验样品数量	循环压力	循环次数/次	试验温度℃
温度驱动型安全泄压装置	5 个	$(2 \pm 1) \text{MPa} \sim 1.5p (\pm 1 \text{MPa})$	5	$\geq 85$
		$(2 \pm 1) \text{MPa} \sim 1.25 p (\pm 1 \text{MPa})$	1995	$\geq 85$
		$(2 \pm 1) \text{MPa} \sim 1.25 p (\pm 1 \text{MPa})$	13000	$55 \pm 5$
复合装置	5 个	$(2 \pm 1) \text{MPa} \sim 1.5p (\pm 1 \text{MPa})$	5	$\geq 70$
		$(2 \pm 1) \text{MPa} \sim 1.25 p (\pm 1 \text{MPa})$	1995	$\geq 70$
		$(2 \pm 1) \text{MPa} \sim 1.25 p (\pm 1 \text{MPa})$	13000	$55 \pm 5$
复合装置	5 个	$(2 \pm 1) \text{MPa} \sim p (\pm 1 \text{MPa})$	2000	$\geq 85$
		$(2 \pm 1) \text{MPa} \sim p (\pm 1 \text{MPa})$	18000	$57 \pm 2$

###### C.3.1.1.2 合格指标

循环试验后, 安全泄压装置还应符合 C.3.1.8 泄漏试验、C.3.1.11 动作试验和 C.3.1.12 流量试验的规定。

### C.3.1.2 加速寿命试验

#### C.3.1.2.1 试验方法

试验步骤如下:

a) 对 8 个安全泄压装置进行此项试验, 其中 3 个安全泄压装置的试验温度为动作温度  $T_{act}$ , 另外 5 个安全泄压装置的试验温度为加速寿命温度  $T_{life}$ ;

对于温度驱动型安全泄压装置:  $T_{life} = 9.1T_{act}^{0.503}$ ;

对于复合装置:  $T_{life} = 12.88T_{act}^{0.420}$ 。

b) 将安全泄压装置置于恒温箱或水浴中, 试验中温度允许偏差为  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;

c) 温度驱动型安全泄压装置进气口的氢气压力应为  $1.25p \pm 1\text{MPa}$ ; 复合装置进气口的氢气压力应为  $p \pm 1\text{MPa}$ 。压力源可位于恒温箱或水浴箱的外部, 并以单一或者采用分支管路系统为安全泄压装置加压。若采用分支管路系统, 则每个分支管路都应包含一个单向阀。

#### C.3.1.2.2 合格指标

在  $T_{act}$  下测试的安全泄压装置动作时间应不超过 10h, 在  $T_{life}$  下测试的安全泄压装置应 500h 不动作。

### C.3.1.3 温度循环试验

#### C.3.1.3.1 试验方法

试验步骤如下:

a) 将 1 个无内压的安全泄压装置先在温度小于或者等于  $-40^{\circ}\text{C}$  的液体中静置至少 2h, 然后在 5min 内将其转移到温度大于或者等于  $85^{\circ}\text{C}$  的液体中, 并在此温度下静置至少 2h, 之后在 5min 内将安全泄压装置转移到温度小于或者等于  $-40^{\circ}\text{C}$  的液体中;

b) 重复 a) 的步骤, 完成 15 次循环;

c) 将安全泄压装置在温度小于或者等于  $-40^{\circ}\text{C}$  的环境中静置至少 2h, 之后在此温度下用氢气对安全泄压装置进行 100 次压力循环, 试验压力为  $2\text{MPa}(+1/0\text{MPa})\sim 0.8p(+2/0\text{MPa})$ 。

#### C.3.1.3.2 合格指标

在温度循环试验后, 安全泄压装置应符合 C.3.1.8 泄漏试验、C.3.1.11 动作试验和 C.3.1.12 流量试验的规定, 其中泄漏试验的温度为  $-40^{\circ}\text{C}(+5/0^{\circ}\text{C})$ 。

### C.3.1.4 耐盐雾腐蚀性试验

#### C.3.1.4.1 试验方法

试验步骤如下:

- a) 移除 2 个安全泄压装置所有非永久固定的排气口阀帽, 将安全泄压装置安装到专用装置上;
- b) 将安全泄压装置在以下规定的盐雾中暴露 500h。其中 1 个安全泄压装置试验时, 以 2:1 的比例向盐溶液中添加硫酸和硝酸溶液, 使盐溶液的 pH 为  $4.0 \pm 0.2$ ; 另 1 个安全泄压装置试验时, 通过向盐溶液中添加氢氧化钠将盐溶液的 pH 调整为  $10.0 \pm 0.2$ 。盐溶液应由 5% 的氯化钠和 95% 的蒸馏水(质量分数)组成。
- c) 盐雾室的温度应维持在  $30^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 。

#### C.3.1.4.2 合格指标

经过耐盐雾腐蚀性试验后, 安全泄压装置应符合 C.3.1.8 泄漏试验、C.3.1.11 动作试验和 C.3.1.12 流量试验的规定。

#### C.3.1.5 耐冷凝腐蚀性试验

##### C.3.1.5.1 试验方法

试验步骤如下:

- a) 封闭安全泄压装置的进出口, 常温下, 将安全泄压装置在以下溶液中分别浸泡 24 h:
  - 1) 体积浓度为 19% 的硫酸水溶液(电池酸);
  - 2) 体积浓度为 10% 的乙醇汽油溶液 (E10 汽油);
  - 4) 体积浓度为 50% 的甲醇水溶液(挡风玻璃清洗液)。
- b) 采用 1 个安全泄压装置完成此项试验, 在每种溶液中暴露后, 将安全泄压装置上残留溶液擦除并用水冲洗干净。

##### C.3.1.5.2 合格指标

试验后的安全泄压装置不得有影响其功能的裂纹、软化、膨胀等物理损伤(不包括凹痕、表面变色)。同时, 安全泄压装置应符合 C.3.1.8 泄漏试验、C.3.1.11 动作试验和 C.3.1.12 流量试验的规定。

#### C.3.1.6 跌落试验

##### C.3.1.6.1 试验方法

在常温下将 1 个安全泄压装置从 2m 高处自由跌落到光滑水泥地面上。跌落方向为 6 个方向(3 个正交轴的正反方向)。

### C.3.1.6.2 合格指标

不得出现影响安全泄压装置正常使用的可见外部损伤。

### C.3.1.7 耐振性试验

#### C.3.1.7.1 试验方法

将安全泄压装置(含 1 个未经试验的安全泄压装置和经跌落试验的 2 个安全泄压装置)装在专用装置上,沿 3 个正交轴方向以共振频率各振动 2h。以 1.5g 的加速度进行 10min 正弦扫频,频率范围 10Hz~500Hz,确定安全泄压装置的共振频率,若未发现共振频率,则试验以 40Hz 的频率进行。

#### C.3.1.7.2 合格指标

试验后的安全泄压装置应符合 C.3.1.8 泄漏试验、C.3.1.11 动作试验和 C.3.1.12 流量试验的规定。

### C.3.1.8 泄漏试验

#### C.3.1.8.1 试验方法

将 1 个未经试验的安全泄压装置依次在常温、高温和低温条件进行泄漏试验。试验开始前,将安全泄压装置在规定的温度和不低于 2 MPa 的压力下静置至少 1 h 直至温度稳定。对安全泄压装置加压时,应采用氢气从进气口加压。试验条件如下:

- a) 常温:在常温和  $(2 \pm 0.5)$  MPa、不小于  $1.25p$  的试验压力下;
- b) 高温:在温度为 85℃和  $(2 \pm 0.5)$  MPa、不小于  $1.25p$  的试验压力下;
- c) 低温:在温度为-40℃和  $(2 \pm 0.5)$  MPa、不小于  $p$  的试验压力下。

在每个规定的温度、压力条件下将 TPRD 在对应温度的液体中浸泡 1 min 进行观察。

#### C.3.1.8.2 合格指标

若在规定的试验时间内没有气泡产生,则安全泄压装置通过试验;若检测到气泡,则应采用适当方法测量泄漏速率。氢气的泄漏速率不应超过 10NmL/h。

### C.3.1.9 耐压性试验

#### C.3.1.9.1 试验方法

对 1 个安全泄压装置进行耐压性试验。试验要求如下:

- a)对安全泄压装置的进气口施加  $2.5p(+2/0\text{MPa})$ 的液压,并保压 3min,之后对安全泄压装置进行检

查；

b) 以小于或者等于 1.4MPa/s 的升压速率继续加压，直至安全泄压装置失效，或大于 4 倍的公称工作压力  $p$ ，记录失效压力；

#### C.3.1.9.2 合格指标

保压 3min 后，安全泄压装置不得发生破裂。

### C.3.1.10 应力腐蚀开裂试验

#### C.3.1.10.1 试验方法

当安全泄压装置含有暴露于外部环境的铜合金（如黄铜）零件时，应取 1 个安全泄压装置进行试验。试验要求如下：

- a) 清除铜合金零件上的油脂；
- b) 准备 1 个干燥皿，向干燥皿内注入体积为其容积 2% 的氨水（0.9 g/mL）；
- c) 将安全泄压装置置于氨水液面上方（ $35 \pm 5$ ）mm 处不与氨水发生反应的托盘上，并密封干燥皿；
- d) 将装有安全泄压装置的密封干燥皿放置在环境箱中 10 天，环境箱温度为（ $35 \pm 5$ ）℃。

#### C.3.1.10.2 合格指标

不得产生裂纹或发生分层现象。

### C.3.1.11 动作试验

#### C.3.1.11.1 试验方法

对 3 个未经试验和 5 个已经完成其他试验项目(C.3.1.1、C.3.1.3、C.3.1.4、C.3.1.5、C.3.1.6 和 C.3.1.7 中每个试验抽取 1 个)的安全泄压装置进行试验，试验要求如下：

- 1) 复合装置试验流程如下：
  - a) 将安全泄压装置放入温度高于易熔材料动作温度以上  $11^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  的烘箱中，直至安全泄压装置温度稳定；
  - b) 加压至安全泄压装置动作。；
  - c) 记录动作压力。

2) 温度驱动型安全泄压装置试验流程如下:

a) 试验装置应包含可控制空气温度和流量的环境箱,使空气温度达到 $(600 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。安全泄压装置不应直接接触火焰。将安全泄压装置装在专用装置上,并记录试验布置方式;

b) 应采用热电偶监测环境箱温度。试验开始前 2min,环境箱温度应稳定在规定温度范围内;

c) 应在安全泄压装置放入环境箱之前,对安全泄压装置加压至  $(2 \pm 0.5)$  MPa;

d) 将带压的安全泄压装置放到环境箱中直至安全泄压装置动作,记录动作时间。

#### C.3.1.11.2 合格指标

1) 对于复合装置,已进行过其他试验的安全泄压装置的动作压力应在未经试验安全泄压装置的动作压力的 75%~105%之间。

2) 对于温度驱动型安全泄压装置,3 个未经试验的安全泄压装置的动作时间之差应小于或者等于 2min, 以上述 3 个安全泄压装置的动作时间平均值为基准动作时间。已进行过其他试验的安全泄压装置的动作时间与基准动作时间之差应小于或者等于 2min。

#### C.3.1.12 流量试验

##### C.3.1.12.1 试验方法

试验要求如下:

a) 对 8 个安全泄压装置进行流量试验,其中 3 个阀未经试验,5 个安全泄压装置已按照 C.3.1.1、C.3.1.3、C.3.1.4、C.3.1.5、C.3.1.6 和 C.3.1.7 的规定分别进行了相应试验(其中每个试验抽取 1 个);

b) 按照 C.3.1.8 的规定对每个安全泄压装置进行动作试验,安全泄压装置动作后,在不进行清洗、拆除部件或修整的情况下,采用氢气、空气或惰性气体对每个安全泄压装置进行流量试验;

c) 进气口压力应为 $(2 \pm 0.5)$ MPa,出气口压力应为大气压力,记录进气口压力及温度;

d) 流量的测量精度应为 $\pm 2\%$ 。

##### C.3.1.12.2 合格指标

8 个安全泄压装置实测流量的最小值应大于或者等于最大值的 90%。

### 1 C.3.2 截止阀试验方法与合格指标

#### C.3.2.1 耐压性试验

### C.3.2.1.1 试验方法

对 3 个阀进行耐压性试验，其中 1 个阀未经试验，2 个阀已按照 C.3.2.4、C.3.2.5 的规定分别进行了相应试验；将未经试验的阀的爆破压力作为阀的基准爆破压力。试验要求如下：

- a) 封堵阀的出气口，并使阀内部处于连通状态；
- b) 对阀的进气口施加  $2.5p(+2/0\text{MPa})$  的液压，并保压 3min，之后对阀进行检查；
- c) 以小于或者等于  $1.4\text{MPa/s}$  的升压速率继续加压，直至阀失效，或大于  $4p$ ，记录阀失效时的压力。

### C.3.2.1.2 合格指标

保压 3min 后，阀不得发生破裂。对于已进行过其他试验的阀，其实测爆破压力应不小于基准爆破压力的 0.8 倍，或大于  $4p$ 。

## C.3.2.2 泄漏试验

### C.3.2.2.1 试验方法

将 1 个未经试验的阀在常温、高温和低温条件下进行泄漏试验。试验开始前，将阀在规定的温度和不低于 2 MPa 压力下静置至少 1 h 直至温度稳定。对阀加压时，应封堵阀出气口，使用氢气从阀的进气口加压。试验条件如下：

- a) 常温:在常温和  $0.05p(0/-2\text{MPa})$ 、 $1.5p(+2/0\text{MPa})$  的试验压力下；
- b) 高温:在温度为  $85^\circ\text{C}$  和  $0.05p(0/-2\text{MPa})$ 、 $1.5p(+2/0\text{MPa})$  的试验压力下；
- c) 低温:在温度为  $-40^\circ\text{C}$  和  $0.05p(0/-2\text{MPa})$ 、 $p(+2/0\text{MPa})$  的试验压力下。

在每个规定的温度、压力条件下将阀在对应温度的液体中浸泡 1 min 进行观察。

### C.3.2.2.2 合格指标

若在规定的试验时间内没有气泡产生，则阀通过试验；若检测到气泡，则应采用适当方法测量泄漏速率。氢气的泄漏速率不应超过  $10\text{NmL/h}$ 。

## C.3.2.3 极限温度压力循环试验

### C.3.2.3.1 试验方法

自动截止阀的循环次数为 15000 次，手动截止阀的循环次数为 100 次。试验步骤如下：

a) 将阀装在专用装置上。在规定的压力和温度下，采用氢气对阀进气口连续进行加压并进行开关试验。试验流程如图 C.1。

b) 试验条件：

1) 常温循环。试验压力为  $1.25p(+2/0\text{MPa})$ ，循环次数为总循环次数的 90%，试验温度应为常温。试验完成后，阀应符合 C.3.2.2.1a) 常温泄漏试验的规定；

2) 高温循环。试验压力为  $1.25p(+2/0\text{MPa})$ ，循环次数为总循环次数的 5%，试验温度应大于或者等于  $85^{\circ}\text{C}$ 。试验完成后，阀应符合 C.3.2.2.1b) 高温泄漏试验的规定；

3) 低温循环。试验压力为公称工作压力  $p(+2/0\text{MPa})$ ，循环次数为总循环次数的 5%，试验温度应小于或者等于  $-40^{\circ}\text{C}$ 。试验完成后，阀应符合 C.3.2.2.1c) 低温泄漏试验的规定；

### C.3.2.3.2 合格指标

常温循环试验完成后，阀应符合 C.3.2.2.1a) 常温泄漏试验的规定；高温循环试验完成后，阀应符合 C.3.2.2.1b) 高温泄漏试验的规定；低温循环试验完成后，阀应符合 C.3.2.2.1c) 低温泄漏试验的规定。

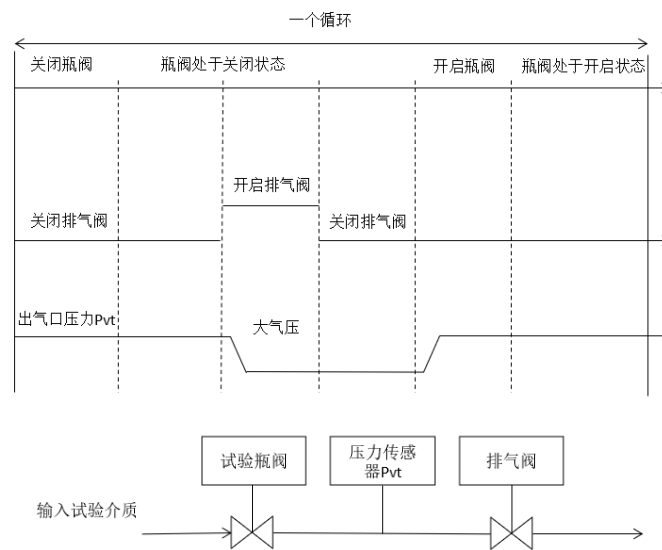


图 C.1 截止阀极限温度压力循环试验流程图

### C.3.2.4 耐盐雾腐蚀性试验

#### C.3.2.4.1 试验方法

应将 1 个阀安装到专用装置上，使其处于正常安装状态，在规定的盐雾中暴露 500h。盐雾室的温度应维持在  $30^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，盐溶液应由 5% 的氯化钠和 95% 的蒸馏水(质量分数)组成。试验后，冲洗试样，

清除盐垢并检查变形。

#### C.3.2.4.2 合格指标

试验后的阀不得有影响其功能的裂纹、软化、膨胀等物理损伤(不包括凹痕、表面变色)。同时, 阀应符合 C.3.2.2.1a) 常温泄漏试验和 C.3.2.1 耐压试验的规定。

#### C.3.2.5 耐冷凝腐蚀性试验

##### C.3.2.5.1 试验方法

试验步骤如下:

- a) 封闭阀的进出口, 常温下, 将阀在以下溶液中分别浸泡 24 h:
  - 1) 体积浓度为 19%的硫酸水溶液(电池酸);
  - 2) 体积浓度为 10%的乙醇汽油溶液 (E10 汽油);
  - 4) 体积浓度为 50%的甲醇水溶液(挡风玻璃清洗液)。
- b) 采用 1 个阀完成此项试验, 在每种溶液中暴露后, 将阀上残留溶液擦除并用水冲洗干净。

##### C.3.2.5.2 合格指标

试验后的阀不得有影响其功能的裂纹、软化、膨胀等物理损伤(不包括凹痕、表面变色)。同时, 阀应符合 C.3.2.2.1a) 常温泄漏试验和 C.3.2.1 耐压试验的规定。

#### C.3.2.6 耐振性试验

##### C.3.2.6.1 试验方法

将 1 个未经试验的阀装在专用装置上, 封堵出气口, 从阀的进气口充入氢气至公称工作压力  $p$ , 沿 3 个正交轴方向以共振频率各振动 2h。以 1.5g 的加速度进行 10min 正弦扫频, 频率范围 10Hz~500Hz, 确定阀的共振频率, 若未发现共振频率, 则试验以 40Hz 的频率进行。

##### C.3.2.6.2 合格指标

无可见外部损伤, 同时, 试验后的阀应符合 C.3.2.2.1a) 常温泄漏试验的规定。

#### C.3.2.7 电气试验

#### C.3.2.7.1 试验方法

对 1 个电磁自动截止阀进行试验, 试验应同时满足以下要求:

a) 异常电压试验。将电磁阀与可变压直流电源相连, 对其进行如下操作:

- 1) 在 1.5 倍额定电压下稳定(温度恒定)1h;
- 2) 将电压增大到 2 倍额定电压或 60V 中的较小值, 持续 1min;
- 3) 自动截止阀失效不得导致外部泄漏、阀门的动作以及冒烟、熔化或着火等危险情况。

b) 绝缘电阻试验。在电源和阀外壳之间施加 1000V 直流电压, 持续至少 2s。

#### C.3.2.7.2 合格指标

对于异常电压试验, 在公称工作压力和室温下, 12V 系统的阀的最小动作电压应小于或者等于 9V; 24V 系统的阀的最小动作电压应小于或者等于 18V。对于绝缘电阻试验, 阀的绝缘电阻值应大于或者等于 240k $\Omega$ 。

### C3. 2. 8 应力腐蚀开裂试验

#### C.3.2.8.1 试验方法

当阀门含有暴露于外部环境的铜合金(如黄铜)零件时, 应取 1 个阀门进行本项试验。试验要求如下:

- a) 拆开阀, 清除铜合金零件上的油脂, 再将其重新组装;
- b) 准备 1 个干燥皿, 向干燥皿内注入体积为其容积 2%的氨水(0.9 g/mL);
- c) 将阀门置于氨水液面上方(35 $\pm$ 5) mm 处不与氨水发生反应的托盘上, 并密封干燥皿;
- d) 将装有阀门的密封干燥皿放置在环境箱中 10 天, 环境箱温度为(35 $\pm$ 5)  $^{\circ}$ C。

#### C.3.2.8.2 合格指标

不得产生裂纹或发生分层现象。

### 2 C.3.3 非金属密封件的试验方法与合格指标

本项试验适用非金属橡胶密封件。

### C.3.3.1 耐氧化性试验

#### C.3.3.1.1 试验方法

将3个非金属密封件置于温度为 $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 和试验压力为2MPa的氧气(纯度 $\geq 99.5\%$ )中96h。

#### C.3.3.1.2 合格指标

无裂纹或其他可见缺陷。

### C.3.3.2 臭氧相容性试验

#### C.3.3.2.1 试验方法

将3个试样按GB/T7762—2014中的方法A进行试验。

#### C.3.3.2.2 合格指标

试样表面无龟裂。

### C.3.3.3 氢气相容性试验

#### C.3.3.3.1 试验方法

试验步骤如下:

a) 对3个非金属密封件测量体积,并称重;

b) 将密封件在压力为气瓶公称工作压力、温度为 $15^{\circ}\text{C}$ 的氢气中放置168h后,将压力在45s内降至大气压力;

c) 将密封件在压力为气瓶公称工作压力、温度为 $-50^{\circ}\text{C}$ 的氢气中放置168h后,将压力在45s内降至大气压力;

d) 取出密封件应立即观察O形圈表面并测量其体积变化率和质量损失率。

#### C.3.3.3.2 合格指标

密封件应无破损等异常现象,其体积膨胀率应不超过25%或者体积收缩率应不超过1%,质量损失率应不超过10%。

## 附录 D

(规范性)

## 层间剪切试验方法

## D.1 试验原理

试样承受中心加载，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。

## D.2 试样制作

试样制作方法和模具结构参照 GB/T 1458 的规定，试样尺寸应按本文件的规定。

## D.3 取样和试样尺寸

## D.3.1 取样

从圆环上切割试样时应小心，避免由于不合适的加工方法而引起的切口、划痕、粗糙、不平的表面、分层。可采用金刚砂工具，并通过水润滑进行切割、碾磨或磨削得到最终尺寸，试样边缘应平整。

## D.3.2 试样尺寸

建议试样弧度不超过  $30^\circ$ ，试样长度  $18\text{mm}\sim 21\text{mm}$ 。如图 D.1 所示。

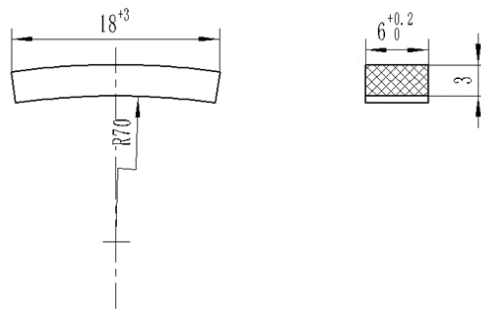


图 D.1 试样尺寸

## D.4 试验要求

## D.4.1 试验机

试验机须经过校准，能以一个恒定的横梁移动速度操作，加载系统误差不应超过  $\pm 1\%$ 。试验过程中载荷应无惯性滞后，若有，惯性滞后不应超过测量载荷的  $1\%$ 。

## D.4.2 加载工装

加载头和支座应分别采用直径为  $6\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$  和  $3\text{mm}\pm 0.4\text{mm}$  的圆柱体，硬度应为  $60\text{HRC}\sim 62\text{HRC}$ 。加载头和支座表面应光滑，不应有凹痕、毛刺、锐边等。

#### D.4.3 检验仪器

应使用公称直径  $4\text{mm}\sim 7\text{mm}$  的千分尺测量试样宽度和厚度，若试样表面不规则时，可使用球面千分尺进行厚度测量，应使用千分尺或带有平基准面的卡测量试样长度。仪器可读取精度应为试样尺寸的 1%。

#### D.4.4 环境条件

试样储存和试验应在标准试验环境（温度  $23^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，湿度  $(50\pm 10)\%$ ）下进行。

### D.5 试验步骤

#### D.5.1 试验速度

以  $1\text{mm}/\text{min}$  横梁移动速度作为试验速度。

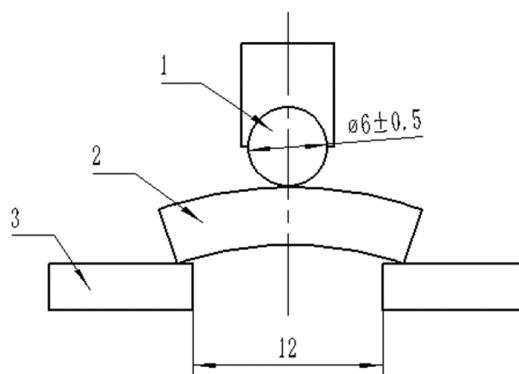
#### D.5.2 试样尺寸测量

将试样编号，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。

#### D.5.3 试样安装

将试样放入加载工装中，如图 D.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  $12\text{mm}\pm 0.3\text{mm}$ ，加载头所放位置应与两边支座等距，精度为  $\pm 0.3\text{mm}$ ，加载头和支座每个侧边应超过试样宽度至少  $2\text{mm}$ 。

单位为毫米



标引序号说明：

- 1——加载头；
- 2——试样；
- 3——支座。

图 D.2 试样安装示意图

#### D.5.4 试样温度测量

在试样中心处下侧安装温度传感器检测试样温度。

#### D.5.5 加载

以 1mm/min 的加载速度对试样进行加载，连续加载直到下列情况发生：

- 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名义厚度。

#### D.5.6 数据记录

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。

#### D.5.7 破坏模式

试样典型破坏模式，如图 D.3 所示，记录试样的破坏模式和破坏区域。

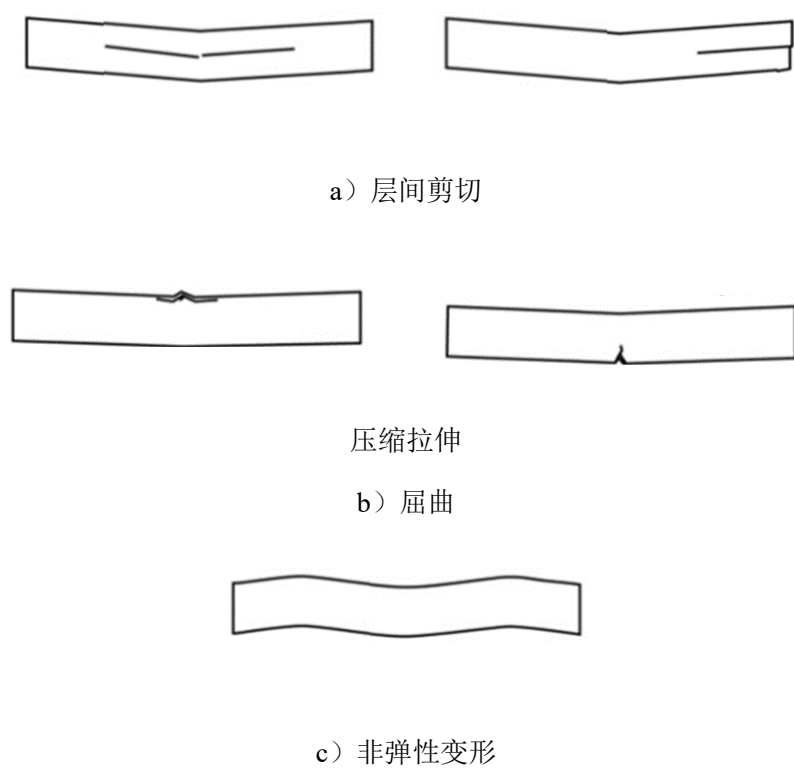


图 D.3 试样典型破坏模式

## D.6 层间剪切强度计算

$$F_{sbs} = 0.75 \times P_m / (b \times h) \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

$F_{sbs}$  ——层间剪切强度, MPa;

$P_m$  ——试验过程中最大载荷, N;

$b$  ——试样宽度测量值, mm;

$h$  ——试样厚度测量值, mm。

## D.7 试验结果

按以下公式计算层间剪切强度算术平均值:

$$\bar{x} = \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) / n \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

$\bar{x}$  ——样本的算术平均值, MPa;

$x_i$  ——测量或导出的性能值, MPa;

$n$  ——试样数量。

## D.8 试验报告

报告应给出下列信息或含有下列信息:

- a) 本试验方法;
- b) 试验时间和地点;
- c) 试验人员姓名;
- d) 试验时出现的异常情况以及试验时出现的设备问题;
- e) 试验材料的证明文件, 包括材料规格、材料类型、材料牌号、制造厂家批号等;
- f) 试样取样和切割方法;
- g) 试验机型号、试验速度;

- h) 试样尺寸和数量；
- i) 试验室温度、湿度；
- j) 试验结果；
- k) 加载头和支座描述，包括直径和材料。

## 附 录 E

(规范性)

## 瓶式集装箱气瓶火烧试验方法

## E.1 概述

本附录规定了瓶式集装箱气瓶火烧试验方法。

## E.2 符号

下列符号适用于本附录。

$T_{BLOC}$	局部火烧阶段气瓶底表面温度，单位为摄氏度（℃）；
$T_{BLOC25}$	局部火烧阶段气瓶下方温度，单位为摄氏度（℃）；
$T_{BENG}$	整体火烧阶段气瓶底表面温度，单位为摄氏度（℃）；
$T_{BENG25}$	整体火烧阶段气瓶下方温度，单位为摄氏度（℃）；
$T_{minLOC25}$	主试验局部火烧阶段火源最低温度，单位为摄氏度（℃）；
$T_{minENG25}$	主试验整体火烧阶段火源最低温度，单位为摄氏度（℃）；
$TMF_{LOC}$	局部火烧阶段气瓶前表面温度，单位为摄氏度（℃）；
$TMF_{ENG}$	整体火烧阶段气瓶前表面温度，单位为摄氏度（℃）；
$TMR_{LOC}$	局部火烧阶段气瓶后表面温度，单位为摄氏度（℃）；
$TMR_{ENG}$	整体火烧阶段气瓶后表面温度，单位为摄氏度（℃）；
$TU_{LOC}$	局部火烧阶段气瓶顶表面温度，单位为摄氏度（℃）；
$TU_{ENG}$	整体火烧阶段气瓶顶表面温度，单位为摄氏度（℃）。

## E.3 一般要求

## E.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。

## E.3.2 燃料

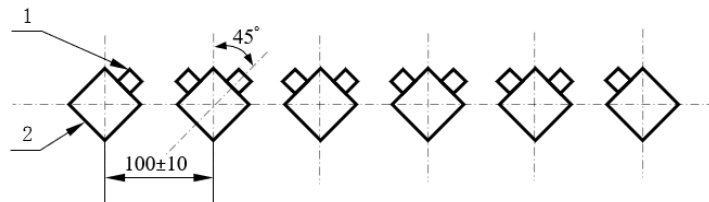
火源燃料应选用液化石油气（LPG）或压缩天然气（CNG）。

## E.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 $(250\pm 50)$  mm。火源由数根燃料管组成，燃料管间距为 $(100\pm 10)$  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。

### E.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 $(50\pm 5)$  mm，燃料和空气混合气出口与垂直方向夹角为 $45^\circ$ ，如图E.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E.2所示。燃料入口内径为 $(1.0\pm 0.1)$  mm，空气入口内径为 $(6.4\pm 0.6)$  mm，燃料和空气混合气出口内径为 $(10\pm 1)$  mm。

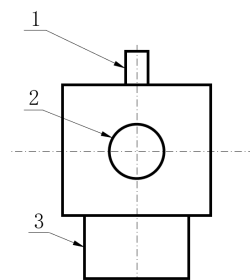


标引序号说明：

1——喷嘴；

2——燃料管。

### 火源燃料管及喷嘴布置



标引序号说明：

1——燃料入口；

2——空气入口；

3——燃料和空气混合气出口。

图 E. 2 喷嘴示意图

### E.3.5 热电偶布置及温度计算

E.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。

E.3.5.2 热电偶布置至少应包括以下5个部分（如图E.3）：

- a) 位于瓶口和瓶尾的 TB1、TB2；
- b) 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；
- c) 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;

- d) 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;
- e) 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。

E.3.5.3 根据热电偶温度数据，按表E.1的规定确定气瓶各部位温度。

单位为毫米

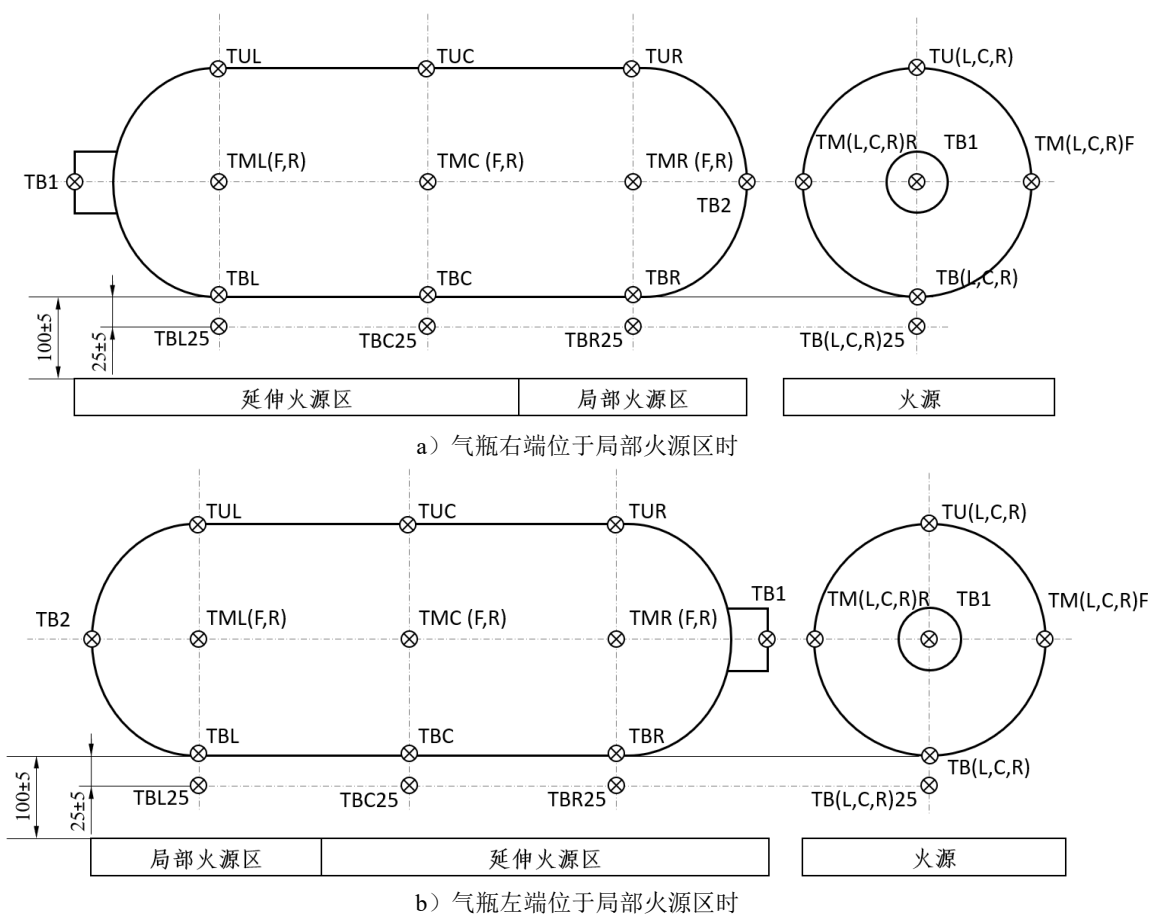


图 E.3 预试验热电偶布置

表 E.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	$TB_{Loc}$
	TMR <sub>F</sub> 或 TML <sub>F</sub> <sup>a</sup>	前表面	$TM_{F,Loc}$
	TMR <sub>R</sub> 或 TML <sub>R</sub> <sup>a</sup>	后表面	$TMR_{Loc}$
	TUR 或 TUL <sup>a</sup>	顶表面	$TU_{Loc}$
	TBR25 或 TBL25 <sup>a</sup>	下方	$TB_{Loc25}$
整体火烧	TBR、TBC 和 TBL 的平均值	底表面	$TB_{ENG}$

	TMLF、TMCF 和 TMRF 的平均值	前表面	$TMF_{ENG}$
	TMLR、TMCR 和 TMRR 的平均值	后表面	$TMR_{ENG}$
	TUR、TUC 或 TUL 的平均值	顶表面	$TU_{ENG}$
	TBR25、TBC25 和 TBL25 的平均值	下方	$TB_{ENG25}$

<sup>a</sup> 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。

E.3.6 火烧过程

火烧过程包括局部火烧和整体火烧，如图E.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。

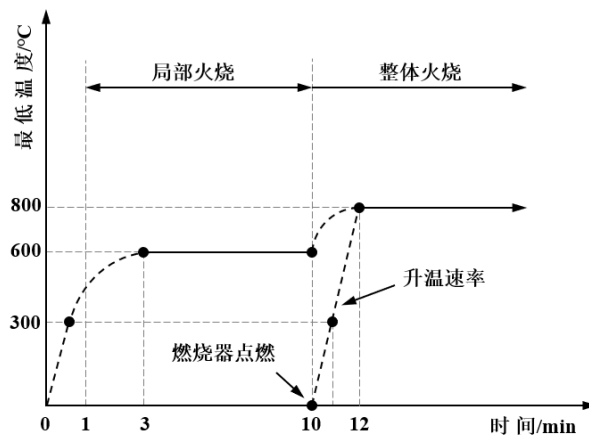


图 E. 4 火烧试验温度图

E.4 预试验

E.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。

E.4.2 合格指标

气瓶各部位温度应符合表E.2的规定。

表 E. 2 气瓶各部位温度要求

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	$450^{\circ}\text{C} < TB_{Loc} < 750^{\circ}\text{C}$	$TM (F,R)_{Loc} < 750^{\circ}\text{C}$	$TU_{Loc} < 300^{\circ}\text{C}$
整体火源	$TB_{ENG} > 600^{\circ}\text{C}$	/	$TU_{ENG} > 100^{\circ}\text{C}$ ；当 $TU_{ENG} > 750^{\circ}\text{C}$ 时， $TU_{ENG} < TB_{ENG}$

E.4.3 试验对象

采用气瓶进行预试验。气瓶外直径宜为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E.2的要求，不需要对气瓶充压。

#### E.4.4 试验步骤

对气瓶进行预试验，试验步骤如下：

- a) 将气瓶水平放置，其下表面距火源（100±5）mm，气瓶尾端位于局部火源区。之后按 E.3.5.1 和 E.3.5.2 的规定布置热电偶；
- b) 试验前，按 E.3.1 规定进行防风；
- c) 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（E.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>~1000 kW·m<sup>-2</sup>；
- d) 试验时，记录热电偶温度数据，并计算其 60 s 滚动平均值。按 E.3.5.3 的规定确定气瓶对应部位温度。

$$HRR/A = \frac{HQ}{A} \dots\dots\dots (E.1)$$

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>）。

#### E.4.5 主试验火源最低温度确定

预试验合格后，按公式（E.2）计算主试验火源最低温度，单位为℃：

$$\begin{aligned} T_{\min LOC25} &= \min(TB_{LOC25} - 50, 600) \dots\dots\dots (E.2) \\ T_{\min ENG25} &= \min(TB_{ENG25} - 50, 800) \end{aligned}$$

### E.5 主试验

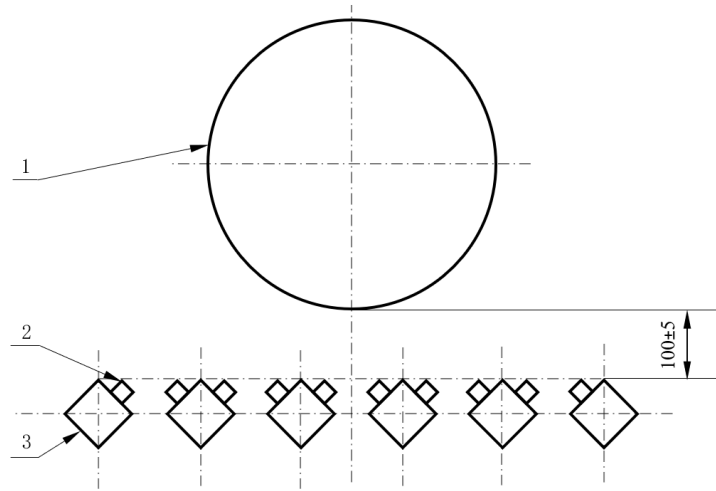
#### E.5.1 试验步骤

对受试气瓶及其附件进行主试验，试验步骤如下：

- a) 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 E.5），气瓶局部火烧位置应为气瓶上距 TPRD 最远的区域；
- b) 试验前，用氢气缓慢将气瓶加压到公称工作压力；
- c) 按 E.3.5.1 和 E.3.5.2 中 e) 的规定布置热电偶；
- d) 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 E.3 的规定；
- e) 应在 TPRD 打开且气瓶内压力降至 1 MPa 后停止火源燃料供应。

#### E.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。



标引序号说明：

1——气瓶；

2——喷嘴；

3——燃料管。

图 E.5 气瓶布置示意图

表 E.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	$T_{B_{LOC25}}$ 的 10 秒滚动平均值 $\geq 300^{\circ}\text{C}$
3~10	稳定局部火源	$T_{B_{LOC25}}$ 的 60 秒滚动平均值 $\geq T_{\min_{LOC25}}$
10~12	延伸火源点火	/
12~结束	稳定整体火源	$T_{B_{ENG25}}$ 的 60 秒滚动平均值 $\geq T_{\min_{ENG25}}$

## 附录 F

(规范性)

### 站用气瓶附加要求

#### F.1 范围

符合本文件气瓶设计、制造、试验要求，用于加氢站等固定场合，公称工作压力不大于 70MPa 的气瓶，应满足本附录中的相关规定。

#### F.2 设计要求

站用气瓶制造单位应针对每个加氢站等应用的具体情况设计站用气瓶，并出具专门的站用气瓶设计文件。

站用气瓶的设计使用寿命一般为 15 年或浅幅压力循环次数 150 000 次。站用气瓶的工况，只能选择全幅压力循环和浅幅压力循环的其中一种工况，加氢站应当提供不同工况的气瓶每年预期的压力循环次数。

#### F.3 使用条件

##### F.3.1 浅幅压力循环次数

站用气瓶一般处于浅幅压力循环工况，制造单位应根据不同站用气瓶的运行条件明确设计允许的最大浅幅压力循环幅和最大浅幅压力循环次数。

应使用公式换算法确定站用气瓶的压力循环次数。

##### F.3.2 压力循环次数公式换算法

应当对浅幅压力循环次数进行换算，按照公式 (F.1) 计算出实际浅幅压力循环次数对应的等效全幅压力循环次数，可用来核算气瓶实际剩余寿命；按照公式 (F.2) 计算最大浅幅压力循环次数对应的等效全幅压力循环次数。

$$n_{eq} = n_i \left( \frac{\Delta P_i}{\Delta P_{max}} \right)^3 \dots\dots\dots (F.1)$$

$$n_{eqMAX} = n_{iMAX} \left( \frac{\Delta P_{i\ max}}{\Delta P_{max}} \right)^3 \dots\dots\dots (F.2)$$

注：仅由环境温度变化引起的压力变化不计入压力循环。

### F.3.3 循环次数计数原则

- a) 若采用公式 F.1、F.2 计算等效全幅压力循环次数，循环幅度大于 30% P<sub>A</sub> 的，计入全幅压力循环次数。循环幅度在 20%~30%P<sub>A</sub> 之间的，计入浅幅压力循环次数。最大浅幅压力循环幅度 ΔP<sub>i max</sub> 指气瓶压力波动的压力上限等于气瓶许用压力 P<sub>A</sub> 且压力下限等于 70%P<sub>A</sub> 的压力循环幅度。
- b) 小于 20% P<sub>A</sub> 的压力波动，不计入压力循环次数。

### F.3.4 最大浅幅压力循环试验

对新设计的站用气瓶，应按 6.2.7 的要求通过最大浅幅压力循环试验来验证设计允许的最大浅幅压力循环次数。

### F.3.5 环境条件

制造单位应规定站用气瓶的设计环境条件以及在使用过程中需要提供的保护措施，并将这些要求包含在气瓶使用说明中。

加氢站应设置遮阳板保护气瓶免受阳光曝晒。瓶组制造与安装应为定期检验留下足够的空间。

### F.3.6 实际使用寿命

F.3.6.1 以全幅压力循环模式运行站用气瓶，在使用过程中累计全幅压力循环次数达到 F3.1 所确定的全幅压力循环次数，或者达到设计使用年限时，气瓶停止使用。

F.3.6.2 以浅幅压力循环模式运行的站用气瓶，使用过程中的累计浅幅压力循环次数达到 F3.2 所允许的最大浅幅压力循环次数，或者达到设计使用年限时，气瓶停止使用。

F.3.6.3以全幅压力循环模式运行，设定的充氢压力上限不大于气瓶公称工作压力 $P_w$ ，因温度导致的压力升高不超过许用压力 $P_A$ 。以浅幅压力循环模式运行，压力循环上限不大于气瓶许用压力 $P_A$ 。

#### F.4 原型气瓶用于站用气瓶的流程

F.4.1 制造单位应按3.1.19规定选定所用原型气瓶，由型式试验机构按条款F6完成原型气瓶的设计文件鉴定和型式试验。

F.4.2 制造单位应根据每个加氢站的工艺条件确定气瓶实际承受的压力波动范围，并由型式试验机构对原型气瓶补充进行如下验证试验。

F.4.2.1 新设计的站用气瓶，应将最大浅幅压力循环试验作为型式试验项目，用以验证试验结果是否满足 F.3.2 的计算。

F.4.2.2 通过最大浅幅压力循环试验的气瓶型号，若循环幅度在最大浅幅压力循环幅度范围内，可直接用 F.3.2 的方法核算与设计浅幅压力循环次数等效的全幅压力循环次数是否小于相关标准要求的全幅压力循环次数，并进行全幅压力循环试验即可。

F.4.3 制造单位应在气瓶设计文件上明确站用气瓶设计使用年限，以及允许的全幅压力循环次数和浅幅压力循环波动范围及次数、公称工作压力。

F.4.4 在每只站用气瓶或相互连通的瓶组上应当加装压力循环计数装置，能够实时记录各个压力波动范围的累计循环次数，并在累计循环次数达到气瓶允许的全幅压力循环次数或浅幅压力循环次数时，或达到气瓶设计使用年限时，进行报警提示。

F.4.5 对符合F.4.2.1规定的气瓶，应在瓶体上明显做出公称工作压力标志和压力波动范围。

#### F.5 使用管理

F.5.1 通过本文件规定的所有型式试验的气瓶可以作为站用气瓶使用，实际使用的最大压力循环上限不得大于  $P_A$ ，压力波动幅度不得超过由 F.3.3 确定的幅度。

##### F.5.2 操作参数监测

站用气瓶使用单位应当严格按气瓶设计运行参数控制各气瓶（瓶组）压力波动范围。应当建立网络化平台实现各气瓶相关运行参数（压力、温度、全幅循环次数、浅幅循环次数等）的实时监测、自动记录以及数据统计分析、数据安全保护等功能，并能够将系统记录的相关运行数据及时传输到气瓶制造单位存档备份，确保系统数据真实准确、完整可靠、不可更改，并能够追溯查询。否则，气瓶制造单位应

对所销售的气瓶建立独立的压力、温度、循环次数监控系统，保证气瓶按设计参数运行并到期报废。

使用单位应保证记录装置完好并在气瓶设计使用年限内长期保存上述所有的记录。气瓶制造单位应当建立定期审查运行数据的制度，及时分析总结储氢气瓶的安全状况。

### F.5.3 定期检验

站用气瓶应于投用后 1 年内进行首次安全状况评估。运行正常时一般每 5 年按相关标准检验一次。

定期检验机构应检查气瓶运行参数记录，确认加氢站实际运行过程中，气瓶按设计参数运行，应保证全幅压力循环次数或浅幅压力循环次数不超过本文件规定的压力循环次数。

### F.5.4 浅幅压力循环试验

根据 F3.3 规定的浅幅压力循环寿命，在相同条件下对一组 3 只新的气瓶进行压力循环试验，循环压力上限为  $P_A$ ，循环压力下限为  $70\%P_A$ ，循环频率不大于 50 次/min，试验期间气瓶外表面的温度不得超过  $50^{\circ}\text{C}$ 。

气瓶在达到按公式 (F.2) 确定的设计允许的最大浅幅压力循环次数( $n_{i\text{MAX}}$ )前不允许失效。之后继续试验至失效，失效模式不应是破裂。

### F.5.5 要监视和记录的参数

应监测和记录以下参数：

- 气瓶温度;
- 达到循环压力上限的循环次数;
- 最小和最大循环压力;
- 循环频率;
- 试验介质;
- 失效描述和失效起始位置。

### F.5.6 算例

算例 1:

3 型铝合金内胆储氢气瓶,  $P_W=70\text{MPa}$ ,  $P_A=87.5\text{MPa}$ ,  $p_h=109\text{MPa}$ 。按浅幅压力循环在  $70\% P_A=61.2$  到  $87.5\text{MPa}$  之间计算 (实际使用压力上限不大于  $87.5\text{MPa}$  的任何波动幅度在  $32.78\text{MPa}$  内, 设计使用年限 15 年)。

最大允许的浅幅压力循环波动范围为  $87.5-61.2=26.3\text{MPa}$

$$\Delta P_{\text{imax}}=26.3\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{max}}=87.5-2=85.5\text{MPa}$$

按 10000 次循环/年, 15 年的预期寿命,  $n_{\text{imax}}=150000$  次循环

$$n_{\text{eqMAX}}=150000 * (26.3/85.5)^3=4365$$

等效循环次数为 4365 次, 小于标准规定的 15000 次循环。

最大浅幅压力循环试验次数为 150000 次。

算例 2:

3 型铝合金内胆储氢气瓶,  $P_W=52\text{MPa}$ ,  $P_A=65\text{MPa}$ ,  $p_h=81.25\text{MPa}$ 。按浅幅压力循环在  $70\% P_A=45.5$  到  $65\text{MPa}$  之间计算 (实际使用压力上限不大于  $65\text{MPa}$  的任何波动幅度在  $19.5\text{MPa}$  内, 设计使用年限 15 年)。

最大允许的浅幅压力循环波动范围为  $65-45.5=19.5\text{MPa}$

$$\Delta P_{\text{imax}}=19.5\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{max}}=65-2=63\text{MPa}$$

如果按  $2 \text{次/h} * 24 * 365 = 17520$  次循环/年。15 年的预期寿命,  $n_{\text{imax}}=262800$  次循环

$$n_{\text{eqMAX}}=262800 * (19.5/63)^3=7793$$

则等效循环次数为 7793 次, 小于标准规定的 15000 次循环。

最大浅幅压力循环试验次数为 262800 次。

算例 3:

3 型铝合金内胆储氢气瓶,  $P_w=70\text{MPa}$ ,  $P_A=87.5\text{MPa}$ ,  $p_h=109\text{MPa}$ 。按浅幅压力循环在 70%  $P_A=61.2$  到 87.5MPa 之间计算 (实际使用压力上限不大于 87.5MPa 的任何波动幅度在 32.78MPa 内, 设计使用年限 15 年)。

最大允许的浅幅压力循环波动范围为  $87.5-61.2=26.3\text{MPa}$

$$\Delta P_{i\max}=26.3\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\max}=87.5-2=85.5\text{MPa}$$

如果按  $n_i=2*24*365=17520$  次循环/年。对于 15 年的预期寿命,  $n_{i\max}=262800$  次循环

$$n_{eq\max}=262800 * (26.3/85.5)^3=7648$$

等效循环次数为 7648 次, 小于标准规定的 15000 次循环。

最大浅幅压力循环试验次数为 262800 次。

算例 4: 剩余寿命估算

3 型铝合金内胆储氢气瓶,  $P_w=70\text{MPa}$ ,  $P_A=87.5\text{MPa}$ ,  $p_h=109\text{MPa}$ 。按浅幅压力循环在 45.5 到 65MPa 之间计算 (实际使用压力上限不大于 65MPa 的任何波动幅度在 32.78MPa 内, 设计使用年限 15 年)。

最大允许的浅幅压力循环波动范围为  $65-45.5=19.5\text{MPa}$

$$\Delta P_i=19.5\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\max}=87.5-2=85.5\text{MPa}$$

如果已经运行 10 年, 10000 次循环/年, 已循环次数 100000 次。

$$n_{eq\max}=100000 * (19.5/85.5)^3=1186$$

等效循环次数为 1186 次, 剩余循环次数  $15000-1186=13814$  次循环。

算例 5: 以 52MPa 瓶式集装箱气瓶为原型瓶转换成用于 70MPa 加氢站的站用气瓶

原型气瓶: 3 型铝合金内胆储氢气瓶,  $P_w=52\text{MPa}$ , 应力比 3.4, 最小爆破压力  $3.4P_w=176.8\text{MPa}$ 。

作为站用气瓶, 应力比及最小爆破安全系数为 2.81, 对应的最大可选公称工作压力为 60 MPa,  $P_A=60*1.25=75\text{MPa}$ 。最大允许的浅幅压力循环波动范围为  $70\% P_A=52.5\sim 75\text{MPa}$  之间。站用气瓶的水压试验压力为  $1.25 P_A$ , 因此  $p_h=93.75\text{MPa}$ 。

$$\Delta P_{\text{imax}}=22.5\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{max}}=75-2=73\text{MPa}$$

按 10000 次循环/年, 15 年的预期寿命,  $n_{i\text{max}}=150000$  次循环

$$n_{\text{eqmax}}=150000 * (26.3/73)^3=4392$$

等效循环次数为 4392 次, 小于标准规定的 15000 次循环。

算例 6: 以 70MPaGB/T35544 气瓶为原型瓶转换成用于 35MPa 加氢站的站用气瓶

原型气瓶: 3 型铝合金内胆储氢气瓶,  $P_w=70\text{MPa}$ , 应力比 2.25, 最小爆破压力  $2.25P_w=157.5\text{MPa}$ 。

作为站用气瓶, 应力比及最小爆破安全系数为 2.81, 对应的最大可选公称工作压力为 56 MPa,  $P_A=56*1.25=65\text{MPa}$ 。最大允许的浅幅压力循环波动范围为  $70\% P_A=45.5\sim 65\text{MPa}$  之间。站用气瓶的水压试验压力为  $1.25 P_A$ , 因此  $p_h=70\text{MPa}$ 。

$$\Delta P_{\text{imax}}=65-45.5=19.5\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{max}}=65-2=63\text{MPa}$$

按 10000 次循环/年, 15 年的预期寿命,  $n_{i\text{max}}=150\ 000$  次循环

$$n_{\text{eqmax}}=150\ 000 * (19.5/63)^3=4\ 448$$

等效循环次数为 4448 次, 小于标准规定的 15 000 次循环。