



中国特种设备安全与节能促进会标准

CPASE XX 000—20XX

无人机用压缩氢气气瓶

Cylinders for the attachable storage of compressed hydrogen gas as a fuel for
the unmanned aerial vehicle

20XX-XXXX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国特种设备安全与节能促进会 发布

目 次

引言 II

无人机用压缩氢气气瓶 第 1 部分 铝内胆碳纤维全缠绕气瓶 1

征求意见稿

引 言

随着无人机技术的飞速发展与广泛应用，其动力系统正呈现多元化、清洁化的演进趋势。其中，以高压气态氢能源为动力的燃料电池无人机及特种作业无人机，因其续航长、效率高、低温性能好、清洁环保等显著优势，在长航时巡检、物流运输、应急救援、军事国防及城市空中交通等前沿领域展现出巨大的应用潜力。

作为此类无人机动力系统的核心储能部件，储氢气瓶直接关系到整机的性能、安全与可靠性。气瓶在无人机的轻量化设计、复杂工况适应性、快速充装及重复使用等方面提出了极高的技术要求。然而，当前针对这一特定应用场景的气瓶产品，尚缺乏统一的技术与安全标准。行业普遍参考或套用传统工业气瓶或车载气瓶的标准，未能充分考虑无人机运行环境的特殊性和风险特征。

无人机气瓶标准的缺失导致了一系列行业发展瓶颈：安全风险凸显，设计、制造、检验、使用和维护环节要求不统一，增加了因产品质量或操作不当导致泄漏、破裂甚至爆炸的风险，对人员、财产及空域安全构成潜在威胁。产业发展受阻，市场产品规格混乱、接口不兼容、质量参差不齐，增加了产业链上下游的协作成本，制约了高压气体动力无人机技术的规模化、商业化应用。监管与责任界定困难，监管部门缺乏专门的技术依据进行产品认证与市场准入管理，在事故调查与责任认定时也面临标准引用模糊的挑战。

为保障公共安全、规范产品质量、引导技术创新、促进产业健康有序发展，亟需制定专门针对无人机应用场景的高压储氢气瓶技术标准。本文件制定的目的确立无人机用高压储氢气瓶在材料、设计、制造、试验方法、检验规则、标识、包装、运输及使用信息等方面的通用最低安全与技术要求和指南。本文件聚焦于气瓶作为机载压力容器本身的安全性、可靠性，并兼顾其与无人机系统集成及运行维护的要求。

本文件由中国特种设备安全与节能促进会负责解释。未经中国特种设备安全与节能促进会书面授权或认可，任何单位或个人对本文件的宣贯或解释所导致的理解偏差及由此引发的任何后果，或因本文件使用不当而产生的纠纷与损失，中国特种设备安全与节能促进会不承担任何责任。



中国特种设备安全与节能促进会标准

CPASE XX 000—20XX

无人机用压缩氢气气瓶

第 1 部分：铝内胆碳纤维全缠绕气瓶

**Cylinders for the attachable storage of compressed hydrogen gas as a fuel for
the unmanned aerial vehicle**

Part 1: Aluminum liner fully-wrapped carbon fiber reinforced cylinders

20XX-XXXX 发布

20XX-XX-XX 实施

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	2
4 型式、参数和型号	3
5 技术要求	4
6 合格指标和试验方法	7
7 检测规则	14
8 标记、包装、运输、储存、充装	17
9 产品合格证、产品使用说明书和批量检验质量证明书	18
附录 A（规范性） 气瓶日常保养检查指南	20
附录 B（规范性） 无人机用压缩氢气气瓶组合阀门	22
参考文献	33

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。

本文件是 T/CPASE xx xxx《无人机用压缩氢气气瓶》的第1部分。T/CPASE xx xxx 已经发布了以下部分：

- 第1部分：铝内胆碳纤维全缠绕气瓶；
- 第2部分：塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶。

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。

本文件由中国特种设备安全与节能促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

征求意见稿

无人机用压缩氢气气瓶

第 1 部分：铝内胆碳纤维全缠绕气瓶

1 范围

本文件规定了无人机用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、储存、充装等要求。

本文件适用于设计、制造公称工作压力不超过 70 MPa，公称水容积不超过 150 L，工作温度为 -40℃~85℃，设计使用寿命为 7 年的气瓶。

按本文件制造的气瓶仅用于充装作为燃料的压缩氢气，装载在无人机上使用；使用条件中不包括因外力等引起的附加载荷。

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 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
- 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 1458 纤维缠绕增强复合材料环形试样力学性能试验方法
- GB/T 1677 增塑剂环氧值的测定
- 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 3246.2 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第 2 部分：低倍组织检验方法
- GB/T 3362 碳纤维复丝拉伸性能试验方法
- GB/T 3880（所有部分） 一般工业用铝及铝合金板、带材
- 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 6519 变形铝合金产品超声波检验方法
- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB/T 6893 铝及铝合金拉（轧）制管材
- GB/T 7762 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原子发射光谱分析方法
- GB/T 8979 纯氮、高纯氮和超纯氮
- 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 12137 气瓶气密性试验方法
- GB/T 13005 气瓶术语
- GB/T 13893.2 色漆和清漆 耐湿性的测定 第2部分：冷凝（在带有加热水槽 试验箱内曝露）
- GB/T 15385 气瓶水压爆破试验方法
- 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：玻璃化转变温度和台阶高度的测定
- GB/T 26749 碳纤维 浸胶纱拉伸性能的测定
- GB/T 28053 铝合金内胆碳纤维全缠绕气瓶
- GB/T 20975(所有部分) 铝及铝合金化学分析方法
- GB/T 30019 碳纤维 密度的测定
- GB/T 33215 气瓶安全泄压装置
- GB/T 35544 车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶
- 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
- YS/T 67 变形铝及铝合金圆铸锭
- CGA S-1.1 Pressure relief device standards—Part 1—Cylinders for compressed gases
- ISO 14687.2 Hydrogen fuel — Product specification —Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles
- SAE J2719 Hydrogen fuel quality for fuel cell vehicles
- ASME B1.1 UNIFIED INCH SCREW THREADS(UN and UNR Thread Form)

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

GB/T 13005 确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

无人机 unmanned aerial vehicle

由遥控系统控制管理（包括远程操作或自主飞行）的无人驾驶航空器。

3.1.2

装载 attachable

通过一套可靠的、可拆卸式的机械结构，将氢气瓶牢固地固定在无人机机身内或机身外的指定位置，并完成与燃料电池系统的气路和电路连接。

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，毫米(mm)；

B ——压扁试验压头宽度，毫米(mm)；

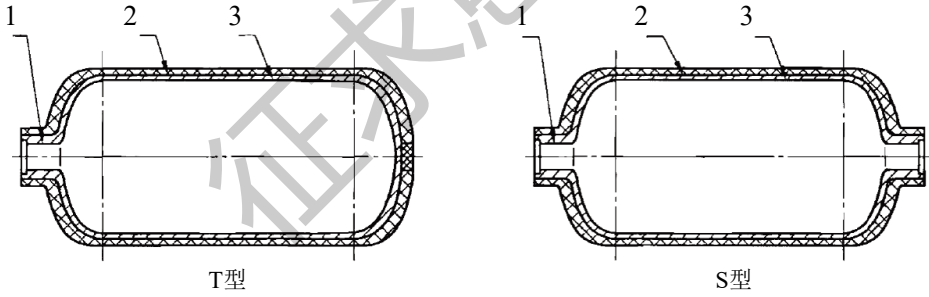
B_1 ——压扁试样被压扁后的宽度，毫米(mm)；

- b_o ——铝内胆材料拉伸试样的原始宽度，毫米(mm)；
- D_f ——冷弯试验弯心直径，毫米(mm)；
- D_o ——铝内胆公称外直径，毫米(mm)；
- h ——跌落高度，米(m)；
- l_o ——铝内胆材料拉伸试样的原始标距，毫米(mm)；
- N_d ——气瓶设计充装次数，次；
- p ——气瓶公称工作压力，兆帕（MPa）；
- p_m ——气瓶许用压力，兆帕（MPa）；
- p_h ——气瓶水压试验压力，兆帕（MPa）；
- $R_{p0.2}$ ——室温下铝内胆材料 0.2%非比例延伸强度，兆帕（MPa）；
- R_m ——室温下铝内胆材料抗拉强度实测值，兆帕（MPa）；
- S_{ao} ——冷弯试验铝内胆筒体实测平均壁厚，毫米(mm)；
- T ——内胆材料压扁试验压头间距，毫米(mm)；
- V ——气瓶公称水容积，升（L）；
- W ——气瓶空瓶重量，千克（kg）；
- y ——气瓶设计使用寿命，年。

4 型式、参数和型号

4.1 型式

气瓶瓶体结构一般应符合图 1 所示的型式。



标引序号说明：

- 1——瓶口内螺纹；
- 2——缠绕层；
- 3——内胆。

图 1 瓶体的结构型式

4.2 参数

- 4.2.1 气瓶的公称工作压力 $p(15^{\circ}\text{C})$ 宜为 35 MPa、45MPa、70 MPa。
- 4.2.2 气瓶公称水容积以及允许偏差一般应符合表 1 的规定。

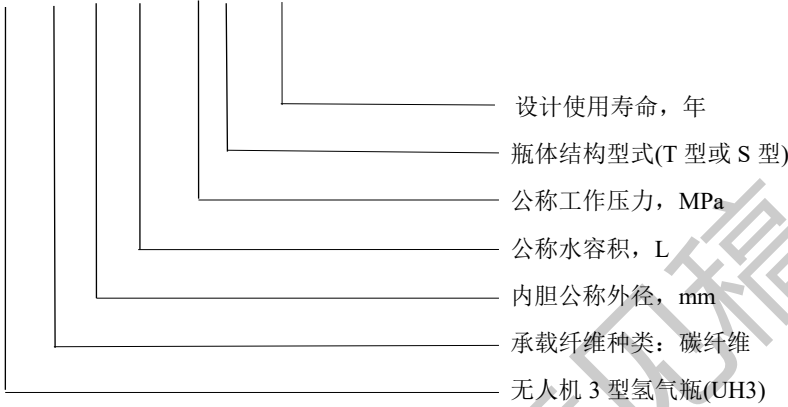
表 1 气瓶公称水容积及允许偏差

公称水容积/L	允许偏差 / %
V≤2	+20 0
2<V≤20	+10 0
20<V≤150	+5 0

4.3 型号

缠绕气瓶型号由以下部分组成：

UH3 -C - □ - □ - □ □ - □



型号示例：承载纤维为碳纤维，内胆公称外径为 120mm，公称水容积为 12L，工作压力为 35MPa，结构型式为 T 的无人机用压缩氢气铝合金内胆全缠绕气瓶，设计使用寿命 7 年，其型号标记为：UH3-C-120-12-35 T-7。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 设计使用年限和设计充装次数

以本文件中规定的使用条件为基础的气瓶，设计使用寿命和设计充装次数应符合表 2 的规定。

表 2 气瓶设计使用年限和设计充装次数

设计使用年限（y/年）	设计充装次数（N _d ）
7 年	750

5.1.2 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。

5.1.3 温度范围

在充装和使用过程中，气瓶的温度应不低于-40℃且不高于 85℃。

5.1.4 氢气品质

应符合 GB/T 37244 的相关规定。

5.1.5 极限弹性膨胀量

极限弹性膨胀量应不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。

5.1.6 工作环境

气瓶设计应确保其连续承受机械损伤或潮湿空气侵入的能力，其外表面至少应能适应下列工作环境：

- a) 飞行过程中的湿度影响；
- b) 阳光中的紫外线辐射；
- c) 近海附近的盐雾腐蚀；
- d) 防冲击损伤。

5.1.7 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 A 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 铝内胆

5.2.2.1 内胆应采用铝合金 6061，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 铝内胆用板材应符合 GB/T3880.1、GB/T3880.2、GB/T3880.3 的规定，热挤压管材应符合 GB/T4437.1 的规定，锻造管材应符合 GB/T32249 或 YS/T479 的规定，挤压棒材应符合 GB/T3191 的规定，铸锭应符合 YS/T67 的规定。板材、管材应按 A 级进行超声检测，铸锭、挤压棒材应按 $\phi 2\text{mm}$ 当量平底孔进行超声检测，检测方法应符合 GB/T6519 的规定。铸锭的晶粒度不应低于二级，晶粒度按 GB/T3246.2 测定。

5.2.2.3 气瓶制造单位应按材料炉号根据 GB/T7999 或 GB/T20975（所有部分）的规定进行化学成分复验。

5.2.3 树脂

5.2.3.1 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℃。

5.2.3.2 气瓶制造单位应按批对树脂进行复验。环氧值按 GB/T1677 测定；环氧当量按 GB/T4612 测定；玻璃化转变温度按 GB/T19466.2 测定。

5.2.4 纤维

5.2.4.1 碳纤维

5.2.4.1.1 碳纤维应采用无捻碳纤维，其力学性能应符合气瓶设计文件的规定。

5.2.4.1.2 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/T3362 测定，试样制备应不加捻。

5.2.5 端塞

端塞材料宜选用 6061 铝合金或 S31603 奥氏体不锈钢。6061 铝合金挤压棒材应符合 GB/T 3191 的规定,锻件应符合 GB/T 32249 或 YS/T 479 的规定。S31603 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。S31603 奥氏体不锈钢的 Ni 含量应不低于 12%,断面收缩率应不小于 70%;对于 1.25 倍公称工作压力在应力值大于 25%材料抗拉强度保证值的端塞,还应满足 Ni 当量不低于 28.5% (Ni 当量计算公式为: $Ni_{eq}=Ni+12.6C+0.35Si+1.05Mn+0.65Cr+0.98Mo$)。

5.3 设计

5.3.1 碳纤维和铝内胆

5.3.1.1 碳纤维强度级别应相同。

5.3.1.2 内胆端部应采用凸形结构。

5.3.1.3 铝内胆端部应采用渐变厚度设计,筒体与端部应圆滑过渡。

5.3.1.4 铝内胆最小设计壁厚应通过应力分析验证。

5.3.1.5 气瓶瓶口应开在气瓶端部,且应与铝内胆同轴。

5.3.1.6 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 规定的圆柱螺纹,或者其他满足相应标准的螺纹。

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大于或等于 4,且不少于 6 牙。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。

5.3.1.8 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,以使瓶口与瓶阀装配之后在气瓶全寿命期内、按附录 A 行氢泄漏检测时氢浓度不超过 300mL/m³。

5.3.2 气瓶

5.3.2.1 气瓶的水压试验压力应不低于 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,计算铝内胆和碳纤维缠绕层在以下压力下的应力和应变: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性、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 气瓶最小设计爆破压力和纤维应力比为 2.0。

5.4 制造

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 按本文件设计和制造的气瓶可参照 TSG 23《气瓶安全技术规程》规定管理,其制造单位应取得金属内胆纤维全缠绕气瓶制造许可。

5.4.1.2 气瓶制造应符合产品设计文件的规定。

5.4.1.3 制造应分批管理,铝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。

5.4.2 铝内胆

5.4.2.1 铸锭和挤压棒材应挤压成形,或者挤压后深拉伸或旋压成形;板材应冲压冷拉伸或旋压成形;管材应深拉伸或旋压成形。铝内胆不应进行焊接。

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，应清洁铝内胆内外表面，不应有金属碎屑等杂物，并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。固化温度不应影响铝内胆性能。

5.4.4.3 应对缠绕过程进行监控并记录缠绕参数。

5.4.4.4 应对固化过程进行监控并记录时间和温度。

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

5.5 附件

5.5.1 瓶阀应符合附录 B 的规定。

5.5.1.1 瓶阀应有温度驱动安全泄压装置，型式应为易熔合金塞结构或玻璃泡结构。其动作温度为 $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

5.5.1.2 易熔合金塞和玻璃泡应符合 GB/T 33215 的规定。

5.5.1.3 瓶阀上安全泄压装置的安全泄放量及泄放通径应按 GB/T 33215 进行设计计算，并应能保证气瓶在 6.2.8 条所规定的火烧试验条件中安全泄压。

5.5.1.4 安全泄压装置泄放方向不应朝向气瓶瓶体，且保证气流远离飞行器结构。

5.5.2 O 形密封圈应采用硅橡胶、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材料，材料的适用温度范围应满足 $-50^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 的要求，材料性能应符合 GB/T 35544-2025 附录 D 中 D.2 的要求。O 形密封圈选用前应按 GB/T 35544-2025 附录 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瓶阀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。

5.5.3 气瓶应安装防护装置、支撑装置或固定装置，防止气瓶冲击损伤的防护罩或防护挡板。

6 合格指标和试验方法

6.1 铝内胆

6.1.1 壁厚和制造公差

6.1.1.1 合格指标

铝内胆的壁厚和制造偏差应符合以下要求：

- a) 壁厚大于或等于设计壁厚；
- b) 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%；
- c) 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%；
- d) 筒体直线度小于或等于筒体长度的 0.3%。

6.1.1.2 试验方法

铝内胆壁厚和制造偏差按以下方法进行检查：

- a) 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 0.1mm；
- b) 制造偏差应采用专用量具进行检查。

6.1.2 内外表面

6.1.2.1 合格指标

铝内胆的内外表面应符合以下要求：

- a) 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；
- b) 筒体与端部应圆滑过渡；
- c) 若采用机加工或机械磨修的方法去除表面缺陷，缺陷去除部位应圆滑过渡。

6.1.2.2 试验方法

在充足光线下对外表面进行目视检查，采用内窥镜或工业内窥镜对内表面进行检查。

6.1.3 瓶口螺纹

6.1.3.1 合格指标

瓶口螺纹应符合以下要求：

- 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 GB/T192、GB/T196、GB/T197 或相关标准的规定。

6.1.3.2 试验方法

在充足光线下，使用量规对瓶口螺纹进行检查，量规应与瓶口螺纹相匹配，宜使用符合 GB/T3934 的量规。表面粗糙度应用粗糙度仪或对比样块进行检查。

6.1.4 铝内胆热处理后的性能测量

6.1.4.1 取样

- a) 取样部位见图 2 所示；
- b) 试样应从筒体中部截取，采用实物扁试样；
- c) 取样数量：纵向对称拉伸试样 2 只，环向弯曲试样 2 只或压扁试样瓶（环）1 只，金相试样 1 只。

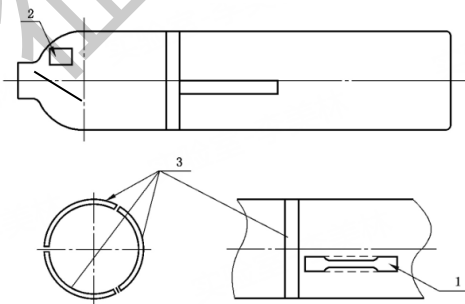


图 2 取样部位图

标引序号说明：

1. 拉伸试样；
2. 金相试样；
3. 弯曲试样

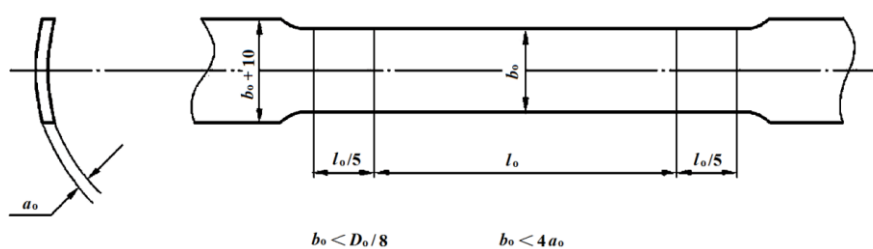


图 3 拉伸试样图

6.1.4.2 拉伸试验

6.1.4.2.1 合格指标

实测抗拉强度 R_m 与 0.2%非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 应满足制造单位设计保证值，断后伸长率 A 不应小于 12%。

6.1.4.2.2 试验方法

拉伸试验应符合以下要求：

- a) 试样应为实物扁试样，如图 3 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。

6.1.4.3 金相试验

6.1.4.3.1 合格指标

无过烧组织。

6.1.4.3.2 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。

6.1.4.4 冷弯试验

6.1.4.4.1 合格指标

目测试样无裂纹。

6.1.4.4.2 试验方法

冷弯试验应按 GB/T232 规定的方法执行，并同时符合以下要求。

- a) 圆环应从拉伸试验所取试样的铝内胆上用机械方法环向截取。
- b) 圆环试样的宽度为 25mm，将圆环等分并任取 1 条试样进行冷弯试验。试验前应对试样侧面进行加工，其粗糙度应不大于 $12.5\mu m$ ，圆角半径应小于或等于 2mm。
- c) 弯心直径应按表 5 选取，试样按图 4 进行弯曲，弯曲角度 180° 。

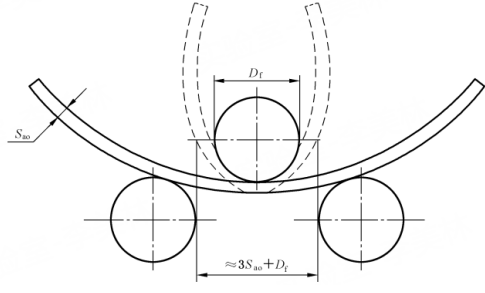


图 4 冷弯试验示意图

6.1.4.5 压扁试验

6.1.4.5.1 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。

6.1.4.5.2 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 4 规定间距 H 。

表 4 冷弯试验弯心直径和压扁试验压头间距要求

实测拉伸强度 R_m / MPa	冷弯试验弯心直径 D_f / mm	压扁试验压头间距 T / mm
≤ 325	$6S_{ao}$	$10S_{ao}$
$>325 \sim \leq 440$	$7S_{ao}$	$12S_{ao}$
>440	$8S_{ao}$	$15S_{ao}$

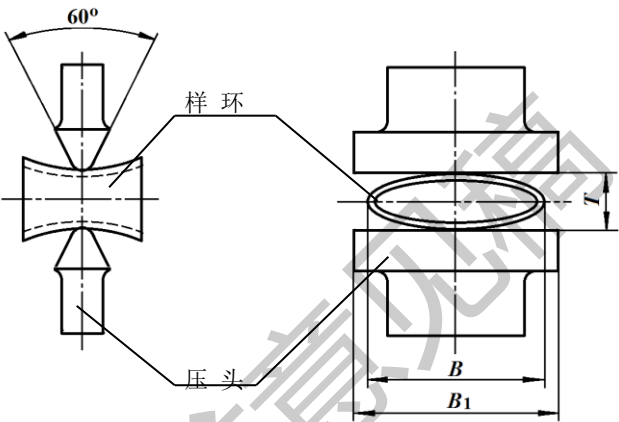


图 5 压扁试验示意图

6.1.5 硬度试验

6.1.5.1 合格指标

硬度值不应超出制造单位设计规定的范围。

6.1.5.2 试验方法

试验方法应按 GB/T17394.1、GB/T230.1 或 GB/T231.1 的规定执行。

6.2 缠绕气瓶合格指标和试验方法

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 合格指标

缠绕层层间剪切强度应大于或等于 34.5MPa。

6.2.1.1.2 试验方法

按 GB/T 28053 附录 E 规定制备具有代表性的试样。

试样水煮沸 24 h 后，取出冷却至室温，擦干表面水分，再按 GB/T 28053 附录 E 的规定进行试验。

6.2.1.2 拉伸试验

6.2.1.2.1 合格指标

拉伸强度应大于或等于设计制造单位保证值。

6.2.1.2.2 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。

6.2.2 缠绕层外观

6.2.2.1 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。

6.2.2.2 试验方法

在充足光线下对缠绕层外观进行目视检查。

6.2.3 水压试验

6.2.3.1 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。且泄压后容积残余变形率不大于 5%。

6.2.3.2 试验方法

采用外测法，按 GB/T9251 的规定进行试验，试验压力 p_h 为 1.5 倍公称工作压力，保压时间至少 30s。

6.2.4 气密性试验

6.2.4.1 合格指标

采用水浸法检测，气瓶瓶体、瓶阀、瓶体和瓶阀连接处均不应有气泡产生；采用氦泄漏检测，氦气漏率应小于或等于 6mL/(h·L)。

6.2.4.2 试验方法

水压试验合格后的气瓶，应逐只按 GB/T12137 规定的方法进行气密性试验，试验压力为公称工作压力。公称工作压力为 70MPa 的气瓶应采用加压累积法或真空舱法进行氦泄漏检测。公称工作压力低于 70MPa 的气瓶，可采用浸水法用氮气进行气密性试验，保压至少 1min；或采用氦泄漏检测。

6.2.5 水压爆破试验

6.2.5.1 合格指标

实测爆破压力不应低于最小设计爆破压力。

6.2.5.2 试验方法

按 GB/T15385 的规定进行试验。试验过程中加压速率同时满足以下要求：

- a) 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 1.4MPa/s；
- b) 当升压速率小于或等于 0.35MPa/s 时，可加压直至爆破；当升压速率大于 0.35MPa/s 且小于 1.4MPa/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 5s 后，再继续加压直至爆破。

6.2.6 常温压力循环试验

6.2.6.1 合格指标

气瓶在设计循环次数 750 次内，气瓶不应泄漏或破裂。继续循环至 1500 次，允许泄漏失效，气瓶不应破裂。

6.2.6.2 试验方法

在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 条件下，按 GB/T 9252 进行压力循环试验。

- a) 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;
- b) 压力循环速率小于或等于 10 次/min。

6.2.7 火烧试验

6.2.7.1 合格指标

在按 6.2.7.2 条规定进行火烧试验中, 气瓶内气体应通过安全泄压装置泄放, 气瓶不应发生爆炸。

6.2.7.2 试验方法

1 只气瓶应安装使用目的的阀门或压力泄放装置。

气瓶应充装氢气至公称工作压力。

火源可以使用任何燃料, 只要能提供均匀、充足的热量, 以维持规定的试验温度至气瓶泄放。火源产生的火焰应分布均匀, 可以吞没整个气瓶的表面, 热电偶的温度至少达到 590℃。

气瓶应水平放置进行试验, 其中点应在火源中心, 最低的位置应比木柴最高处(采用木材火源时)或液体表面(采用液体火源时)高大约 100mm 左右。应采用金属挡板防止火焰直接接触瓶阀或压力泄放装置, 金属挡板不应直接接触瓶阀或泄压装置。

气瓶应暴露在火源中, 至其排放至压力低于 0.7 MPa。试验后, 气瓶应使之不能再使用。

应监控和记录下列参数:

- a) 阀门或压力泄放装置型号和特性;
- b) 初始压力;
- c) 泄放位置;
- d) 温度;
- e) 时间。

6.2.8 极限温度压力循环试验

6.2.8.1 合格指标

气瓶在压力循环试验过程中不应有纤维脱离、瓶体泄漏和破裂现象; 水压爆破试验时, 其水压爆破压力不应低于 0.8 倍最小设计爆破压力。

6.2.8.2 试验方法

6.2.8.2.1 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℃、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℃;
- b) 在此环境中按 GB/T9252 的规定进行压力循环试验, 循环压力下限为 2MPa, 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 375 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℃;

6.2.8.2.2 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℃的环境中直至气瓶外表面温度小于或等于-40℃;
- b) 在此环境中按 GB/T9252 的规定进行压力循环试验, 循环压力下限为 2MPa, 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 375 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℃。

6.2.8.2.3 水压爆破试验

对经高温和低温压力循环试验的气瓶按 6.2.5.2 的规定进行水压爆破试验。

6.2.9 加速应力破裂试验

6.2.9.1 合格指标

爆破压力不应低于 0.8 倍最小设计爆破压力。

6.2.9.2 试验方法

在 $\geq 85^{\circ}\text{C}$ 条件下, 加水压至最大许用工作压力 (允许偏差为 $0\text{MPa} \sim 2\text{MPa}$), 并在此压力和温度条件下保持 250h、然后按 6.2.5.2 条规定进行水压爆破试验。

6.2.10 跌落试验

6.2.10.1 公称容积不大于 50L 气瓶

6.2.10.1.1 合格指标

气瓶爆破压力应不小于最小爆破压力, 常温压力循环试验应符合 6.2.6.1 的规定。

6.2.10.1.2 试验方法

气瓶按下列方法进行跌落试验:

- 安装盲堵, 盲堵直径不大于瓶口外径。
- 按图 6 所示的 5 个位置, 气瓶下表面距跌落面跌落高度 h 按如下公式计算, 跌落至钢板上 2 次, 钢板厚度应不小于 10mm, 且表面任意两点间的跌落高度差应不大于 2mm。

$$h=1.2+(0.6 \times V/W)$$

- 1 只气瓶按 6.2.5 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。

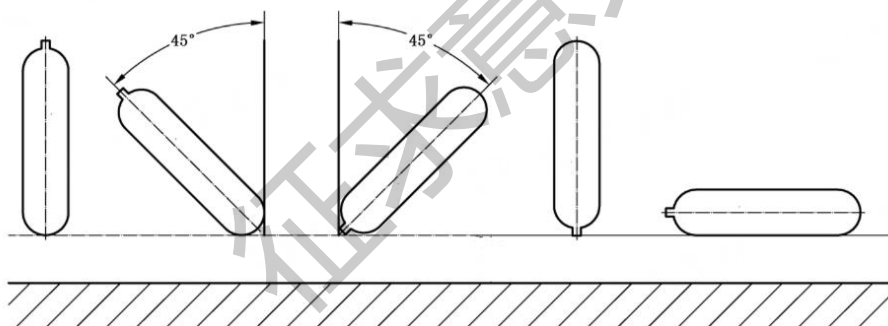


图 6 跌落试验示意图

6.2.10.2 公称容积大于 50L 且不大于 150L 的气瓶

6.2.10.2.1 合格指标

在压力循环至 150 次的过程中, 气瓶不应泄漏或破裂, 再加压循环至 600 次, 可泄漏失效, 但不应破裂。

6.2.10.1.2 试验方法

气瓶按下列方法进行跌落试验:

- 安装盲堵, 盲堵直径不大于瓶口外径。
- 按下面 3 个位置进行跌落试验。气瓶跌落面应为光滑、水平的混凝土平台或地面:
 - 1 只气瓶从气瓶下表面距跌落面不小于 1.8m 高度水平跌落;
 - 1 只气瓶竖直跌落, 使气瓶具有不小于 1220J 的势能, 且应保证气瓶下表面距跌落面不小于 1.8m 高度;

3) 1 只气瓶以 45° 跌落,可改变跌落角度以保证最小高度为 0.6m,使气瓶具有不小于 1220J 的势能,且应保证气瓶下表面距跌落面不小于 1.8m 高度;

4) 可使用同 1 只气瓶按上面 3 个位置进行跌落试验。

c) 气瓶在受初始冲击后,可在跌落面上弹跳。

d) 按 GB/T 9252 进行常温压力循环试验,循环压力上限为公称工作压力。

6.2.11 盐雾试验

6.2.11.1 合格指标

按规定进行盐雾试验后,气瓶表面复合材料层不得出现老化、溶胀、起泡、分层、脱落及麻坑现象。爆破压力应不低于最小设计爆破压力、常温压力循环试验应不低于 750 次。

6.2.11.2 试验方法

6.2.11.2.1 将两只气瓶放置于盐雾箱内。

6.2.11.2.2 盐溶液浓度为 5%±1%(质量)氯化钠水溶液,当溶液温度为 35℃±2℃时,盐溶液的 pH 值应在 6.5~7.2 的范围内。

6.2.11.2.3 气瓶在盐雾箱内暴漏时间为 24h。暴漏期间每隔 12h 测量一次盐雾沉降率和沉降溶液的 pH 值,以保证沉降率在 1mL/(80cm²·h)~3mL/(80cm²·h)。

6.2.11.2.4 暴漏完成后,气瓶在标准大气环境温度和相对湿度不大于 50%条件下干燥 24h。

6.2.11.2.5 干燥结束后,将气瓶重新放回盐雾箱内,重复一次 6.2.11.2.3, 6.2.11.2.4 步骤。

6.2.11.2.6 检查气瓶外观,其中一只气瓶进行水压爆破试验;一只气瓶进行常温压力循环试验。

6.2.12 紫外线测试试验

6.2.12.1 合格指标

复合材料层外观无鼓泡、开裂、粉化或软化现象。

6.2.12.2 试验方法

从气瓶瓶体切割 3 块试样,按 GB/T 14522 或 GB/T 16422.3 的规定进行荧光紫外灯加速应力破坏试验。

7 检测规则

7.1 出厂检验

7.1.1 逐只检验

铝内胆和气瓶应按表 5 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

内胆和气瓶应按表 5 定的项目进行批量检验。

7.1.2.2 抽样规则

7.1.2.2.1 铝内胆批量检验

从每批内胆中随机抽取 1 只。

如果铝内胆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,可重新试验。

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

次数不应超过 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。

7.1.2.2.1 气瓶批量检验

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(可以用于水压爆破试验)。

若气瓶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。若批量试验有不合格的项目, 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。

7.2 型式试验

7.2.1 新设计的气瓶应按表 5 规定项目进行型式试验, 其中内胆冷弯试验和压扁试验选择一项执行。型式试验的内胆及气瓶应具有代表性。若型式试验不合格, 则不得投入批量生产, 不得使用。

7.2.2 型式试验所需内胆的数量为: 内胆热处理后各项性能指标测定 1 只或 2 只。

7.2.3 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, 所需气瓶的数量为 11 只: 水压爆破试验 3 只; 常温压力循环试验 2 只; 火烧试验 1 只; 极限温度压力循环试验 1 只; 加速应力爆破试验 1 只; 跌落试验 1 只; 盐雾试验 1 只; 紫外线测试试验 1 只。

7.2.4 所有进行型式试验的内胆和气瓶在试验后都应进行去功能处理。

表 5 试验和检验项目

项目名称		型式试验	出厂检验		试验和检验方法	判定依据
			批量试验	逐只检验		
铝内胆	壁厚和制造公差	√	—	√	6.1.1.2	6.1.1.1
	内外表面	√	—	√	6.1.2.2	6.1.2.1
	瓶口螺纹	√	—	√	6.1.3.2	6.1.3.1
	拉伸试验	√	√	—	6.1.4.2.2	6.1.4.2.1
	金相试验	√	√	—	6.1.4.3.2	6.1.4.3.1
	冷弯试验或压扁试验 ^a	√	√	—	6.1.4.4.2 或 6.1.4.5.2	6.1.4.4.1 或 6.1.4.5.1
	硬度试验	√	—	√	6.1.5.2	6.1.5.1
气瓶	缠绕层层间剪切强度	√	√	—	6.2.1.1.2	6.2.1.1.1
	缠绕层拉伸强度	√	√	—	6.2.1.2.2	6.2.1.2.1
	缠绕层外观	√	—	√	6.2.2.2	6.2.2.1
	水压试验	√	—	√	6.2.3.2	6.2.3.1
	气密性试验	√	—	√	6.2.4.2	6.2.4.1
	水压爆破试验	√	√	—	6.2.5.2	6.2.5.1
	常温压力循环试验	√	√	—	6.2.6.2	6.2.6.1
	火烧试验	√	—	—	6.2.7.2	6.2.7.1
	极限温度压力循环试验	√	—	—	6.2.8.2	6.2.8.1
	加速应力破裂试验	√	—	—	6.2.9.2	6.2.9.1
	跌落试验	√	—	—	6.2.10.2	6.2.10.1

	盐雾试验	√	—	—	6.2.11.2	6.2.11.1
	紫外线测试试验	√	—	—	6.2.12.2	6.2.12.1
注：“√”表示做试验，“—”表示不做试验						
a 内胆冷弯试验和压扁试验选择一项执行。						

7.3 设计变更

7.3.1 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 6 规定的项目重新进行型式试验。未列入表 6 的设计变更应视为新设计，需作为设计原型按表 5 的规定进行全部项目的型式试验。

7.3.2 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) 玻璃纤维保护层；
- f) 瓶口几何形状（含瓶口螺纹形式或尺寸变化）。

7.3.3 除 7.3.2 及火烧试验的规定外，不应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 6 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。

7.3.4 当设计变更项目为新树脂材料、内胆壁厚减薄、内胆外直径变化、气瓶长度变化或端部结构变化时，应重新进行应力分析。

7.3.5 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 $\pm 5\%$ 的纤维视为等效纤维材料。

7.3.6 当树脂满足以下全部条件时，可视为等效树脂材料；其他情况视为新树脂材料。

- a) 树脂基体与设计原型同类。
- b) 树脂环氧当量与设计原型平均值的相对偏差在 $\pm 5\%$ 范围内。
- c) 树脂浇铸体的拉伸强度、弹性模量、玻璃化转变温度及复合材料层间剪切强度与设计原型平均值相对偏差在 $-5\% \sim 10\%$ 。
- d) 所测树脂性能数据应基于有效样本量（不小于 10）的算术平均值，且均不低于设计值。

表 6 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	极限温度压力循环	加速应力爆破试验	跌落试验	盐雾试验	紫外线测试试验
纤维制造单位	√	√	√	√	√	—	√	√	√	—
等效纤维材料 ^a	√	√	√	√	—	—	√	√	—	—
新树脂材料	√	√	√ ^b	√ ^b	√	√	√	√	√	√
等效树脂材料	√	√	√ ^b	√ ^b	—	—	√	—	—	—
直径变化 $\leq 20\%$	—	—	√ ^b	√ ^b	—	—	—	√	—	—
直径变化 $> 20\%$	—	—	√ ^b	√ ^b	√	—	—	√	—	—

长度变化≤ 50%	—	—	√ ^b	√ ^b	√ ^c	—	—	—	—	—
长度变化> 50%	—	—	√ ^b	√ ^b	√	—	—	√	—	—
内胆壁厚减薄	—	—	√	√	—	—	—	√	—	—
端部结构	—	—	√	√	—	—	—	—	—	—
瓶口螺纹	—	—	√ ^b	√ ^b	—	—	—	—	—	—
保护层 ^e	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
瓶阀/TPRD	—	—	—	—	√	—	—	—	—	—
注：“√”表示做试验，“—”表示不做试验										
a 仅适用于材料性能或制造商变化，等效纤维材料设计变更仅适用于同一材料制造商生产的材料；										
b 仅要求采用 1 只气瓶进行试验；										
c 仅在长度增加时要求进行试验；										
d 仅在直径减小时要求进行试验；										
e 指作为设计部分的保护层。										

8 标记、包装、运输、储存、充装

8.1 标记

8.1.1 内胆的材料移植号、热处理批号应永久性标记在内胆的口部。

8.1.2 应对每只气瓶作清晰的永久性标记，字高不小于 8mm，标记应使用植入树脂层内的标签或粘贴牢固的标签。

8.1.3 气瓶的标记项目应至少包括下列内容：

- 制造单位名称和代号；
- 制造许可证编号；
- 气瓶编号；
- 本文件编号；
- 公称工作压力，MPa；
- 水压试验压力，MPa；
- 充装介质名称；
- 公称水容积，L；
- 设计使用年限，年；
- 设计循环次数，次；
- 气瓶的制造年月；
- 警示语：纤维有损伤，气瓶禁止使用。

8.1.4 标记必须明显、完整、清晰。

8.2 包装

8.2.1 根据用户需要，如不带瓶阀出厂，则瓶口应采取可靠措施加以密封，以防止沾污。

8.2.2 应采取保护缠绕层和瓶阀的有效措施。

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、受潮和损坏附件，尤其要防止缠绕层的划伤。

8.4 储存

气瓶应分类存放整齐。储存在干燥、通风、阴凉的地方，避免日光曝晒、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。

8.5 充装

8.5.1 气瓶充装前，操作人员必须逐只检查气瓶，确认瓶内介质、气瓶颜色、标志及附件完好。对于瓶内无剩余压力的气瓶，严禁直接充装，必须先进行介质确认和处理。

8.5.2 充装时，需监控气瓶内部温度和压力变化。确保充装过程中，气瓶瓶体温度不高于 85℃，压力不超过气瓶的许用压力。当环境温度较高时，充装过程中降低充装速率。

8.5.3 严禁对气瓶进行对充。

8.5.4 充装时，充装单位应做好充装记录，充装记录至少包括充装日期、充装批次、充装人员、充装压力，充装记录保存到气瓶报废为止。

8.5.5 气瓶充装次数超过气瓶设计使用次数，气瓶立即报废。

9 产品合格证、产品使用说明书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 出厂产品合格证应至少包含以下内容：

- 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) 最大许用工作压力，MPa；
- j) 公称容积，L；
- k) 实测空瓶质量(不含附件)，kg；
- l) 内胆材料名称或牌号；
- m) 纤维材料名称或牌号；
- n) 树脂材料名称或牌号；
- o) 设计使用寿命，年；
- p) 最大允许充装次数，次；
- q) 出厂检验标记；
- r) 制造年月；
- s) 设计循环次数，次；
- t) 瓶阀装配扭矩。

9.1.3 产品使用说明书

应至少包含以下内容：

- a) 充装介质；

- b) 公称工作压力, MPa;
- c) 水压试验压力, MPa;
- d) 设计使用寿命, 年;
- e) 设计循环次数, 次;
- f) 产品的维护;
- g) 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, 并应注明最大允许充装次数。

9.2.2 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证明书的复印件。

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最大设计使用年限。

征求意见稿

附 录 A
(规范性)
气瓶日常保养及特殊场景检查指南

A.1 概述

本附录为无人机在维修、气瓶日常保养检查及特殊场景检查的指导性文件。

A.2 气瓶日常保养检查

A.2.1 基本要求

A.2.1.1 日常保养检查应遵守国家主管部门或地方政府颁布的有关氢燃料无人机维护保养规范和标准中对储氢系统、气瓶、管路等的维保、检查要求。

A.2.1.2 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。

A.2.1.3 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。

A.2.1.4 保养检查中若发现 A.2.2、A.2.3、A.2.4 提及的问题，应及时由无人机或气瓶制造单位处理。

A.2.2 气瓶外观检查

A.2.2.1 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；标签是否完好。若发现气瓶外表面有明显的划伤、磨损或冲击损伤，且碳纤维层已暴露或断裂，标签损坏，应立即停止使用，并按 A.2.4 的规定处理。

A.2.2.2 逐只对瓶阀进行外观检查，检查瓶阀是否有严重损伤、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，应立即停止使用，并按 A.2.4 的规定处理。

A.2.3 氢泄漏检测

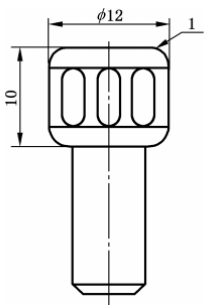
A.2.3.1 逐只对气瓶、瓶阀及氢系统连接管路可能泄漏的部位进行泄漏检测，试验介质为瓶内氢气，检测压力为（60%~100%）气瓶公称工作压力。

A.2.4.2 应使用便携式氢气检测仪进行检测，氢气检测仪符合以下要求：

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

A.2.4.3 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。

A.2.4.4 检测时应将探测头置于待检部位上方大约 10mm 的位置，如氢气检测仪上安装了如图 A.1 所示的探测头护罩，则将探测头的护罩端部轻轻接触受试气瓶的待检部位。检测持续时间不少于 10s，读取氢气浓度，氢气浓度应小于或等于 $300\text{mL}/\text{m}^3$ ；若发现氢气浓度大于 $300\text{mL}/\text{m}^3$ ，应及时安全地排放瓶内氢气，立即停止使用，并按 A.2.4 的规定处理。



标引序号说明：

1——端部。

图 A.1 探测头护罩示意图

A.2.4 气瓶安装状况检查

- A.2.4.1 检查氢气管路和阀门是否存在松动、管路/部件之间有无磨损、管路有无变形或损坏等。若发现有上述问题，应查明原因并由经培训的专业人员进行处理。
- A.2.4.2 清除排放管路系统中的污染物和水，检查氢气泄放管路及阀门有无异常。若发现泄放管路及阀门有冰堵迹象，应立即停止使用，并按 A.2.4 的规定处理。
- A.2.4.3 日常检查中若发现有其他可能影响无人机正常运行或气瓶安全使用的问题，应及时告知相关人员及无人机制造单位或气瓶制造单位处理。

A.3 特殊场景检查

在使用过程中，如遇到下列情况：

- a) 气瓶或安装气瓶的无人机发生火灾；
- b) 气瓶暴露于过热环境；
- c) 气瓶安装期间发生跌落或受到冲击；
- d) 安装气瓶的无人机发生碰撞；
- e) 气瓶受损；
- f) 气瓶内氢气压力异常下降；
- g) 使用中出现异常的尖锐响声；
- h) 用户反映使用中出现异常的味道。

应对气瓶进行拆卸，然后进行如下项目检查：外观检查、内部检查、瓶口螺纹检查、水压试验、瓶阀检查与装配、气密性试验。检查方法和判定接受标准可参照 GB/T 42626 相关规定内容。

A.4 检查记录

气瓶日常保养及特殊场景检查应形成检查记录，记录至少应包括以下内容：

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

附 录 B

(规范性)

无人机用压缩氢气碳纤维全缠绕气瓶组合阀门

B. 1 总则

本附录规定了无人机用压缩氢气碳纤维全缠绕气瓶组合阀门的术语和定义、设计要求、型式试验方法和合格指标。

B. 2 术语和定义

B. 2. 1

无人机用高压储氢气瓶组合阀门 **Assembly valve on high pressure hydrogen storage cylinder for unmanned aerial vehicles**

由手动截止阀、单向阀（选装）、温度驱动安全泄压装置(TPRD)以及温度传感器（选装）、减压阀等部件组成的安装在无人机用高压储氢气瓶上的阀门。

B. 3 设计

B. 3. 1 组合阀门至少应具备以下功能：

- a) 单向阀，氢气可通过组合阀门单向充入气瓶，同时防止瓶内气体反向流出；
- b) 温度驱动安全泄压装置（TPRD），在火灾等特殊情况下，气瓶内气体可通过组合阀门 TPRD 自动泄放；
- c) 手动截止阀，可通过手动操作开启或关闭阀的进气和出气，考虑到减轻重量，可将截止阀设置在减压阀下游，若设置在减压阀下游，则需在截止阀前端设置超压泄放功能；
- d) 减压阀，可将气瓶内气体减压至下游应用所需压力。

B. 3. 2 安全泄放装置应选用易熔合金或玻璃泡，动作温度应为（110±5）℃。

B. 4 型式试验项目

型式试验包括 TPRD 试验、单向阀和手动截止阀试验以及非金属密封试验，详见表 B.1。

表 B. 1 型式试验一览表

对象	试验项目	试验方法及合格判定
温度驱动安全泄压装置 (TPRD)	气体循环试验	B. 5. 1. 1
	加速寿命试验	B. 5. 1. 2
	温度循环试验	B. 5. 1. 3
	耐盐雾腐蚀性试验	B. 5. 1. 4
	耐应力腐蚀试验(仅限铜合金部件)	B. 5. 1. 5
	跌落试验	B. 5. 1. 6
	气密性试验 ^{a, f}	B. 5. 1. 7
	动作试验 ^a	B. 5. 1. 8

对象	试验项目	试验方法及合格判定
温度驱动安全泄压装置	气体循环试验	B. 5. 1. 1
	流量试验 ^a	B. 5. 1. 9
单向阀、手动截止阀、减压阀	耐压性试验 ^{a, b, c, d, e, f}	B. 5. 2. 1
	气密性试验 ^{c, d}	B. 5. 2. 2
	极限温度压力循环试验	B. 5. 2. 3
	手动截止阀耐用性试验	B. 5. 2. 4
	耐盐雾腐蚀性试验	B. 5. 2. 5
	应力腐蚀开裂试验 ^e (仅限铜合金部件)	B. 5. 2. 6
	减压阀循环寿命试验	B. 5. 2. 7
	减压阀启动冲击试验	B. 5. 2. 8
	减压阀出口锁止稳压试验	B. 5. 2. 9
非金属密封件	耐老化性试验	B. 5. 3. 1
	臭氧相容性试验	B. 5. 3. 2
	氢气相容性试验	B. 5. 3. 3
^a用于组合阀门的 TPRD 在进行 TPRD 型式试验时应安装在组合阀门上；但当带有 TPRD 的端塞与已通过型式试验的组合阀门采用相同材料、结构型式、组件几何尺寸以及最小泄放途径的 TPRD 时，应进行该试验； ^b当组合氢阀上的 TPRD 的结构型式发生变化（如易熔塞改为玻璃球或反之），除进行 TPRD 的全部试验项目外，应增加该试验；对于最小泄放途径发生变化，可以使用带有 TPRD 的端塞（与组合氢阀上采用相同材料、结构型式、组件几何尺寸以及最小泄放途径）进行 TPRD 的全部试验； ^c当组合氢阀仅是外形尺寸，充气口、出气口和压力传感器（测量瓶内压力）接口的连接方式及规格尺寸发生变更时，应进行该试验； ^d当组合氢阀仅是进气口螺纹规格发生变更时，应进行该试验； ^e新设计的带有 TPRD 的端塞除应进行 TPRD 的全部试验项目外，还应进行该试验。		

B. 5 型式试验方法与合格指标

B. 5. 1 TPRD 试验方法与合格指标

B. 5. 1. 1 气体循环试验

B. 5. 1. 1. 1 试验方法

采用纯净压缩空气、氮气或氢气对 5 个 TPRD 进行 2000 次压力循环，循环频率应不超过 10 次/min，试验要求如表 B.2 所示。

表 B. 2 气体循环试验方法

循环压力		循环次数/次	试验温度/℃
下限	上限		
≤2 MPa	≥1. 5 <i>p</i>	10	≥85
≤2 MPa	≥1. 25 <i>p</i>	300	≥85
≤2 MPa	≥1. 25 <i>p</i>	1340	20±5

循环压力		循环次数/次	试验温度/℃
下限	上限		
≤2 MPa	≥0.8 <i>p</i>	350	≤-40

B. 5. 1. 1. 2 合格指标

气体循环试验后，TPRD 应符合 B.5.1.7 气密性试验、B.5.1.8 动作试验和 B.5.1.9 流量试验的规定。

B. 5. 1. 2 加速寿命试验

B. 5. 1. 2. 1 试验方法

试验步骤如下：

- a) 对 8 个 TPRD 进行此项试验，其中 3 个 TPRD 的试验温度为动作温度 T_{act} ，另外 5 个 TPRD 的试验温度为加速寿命温度 T_{life} ，计算公式如下：

$$T_{life} = \left(\frac{0.502}{\beta + T_{act}} + \frac{0.498}{\beta + T_{ME}} \right)^{-1} - \beta$$

式中， $\beta=273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $T_{ME}=85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

- b) 将 TPRD 置于恒温箱或水浴箱中，试验中温度允许偏差为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；
c) TPRD 进气口的氢气或惰性气体压力应不低于 p 。压力源可位于恒温箱或水浴箱的外部。

B. 5. 1. 2. 2 合格指标

在 T_{act} 下测试的 TPRD 动作时间应不超过 10 h。在 T_{life} 下测试的 TPRD，500h 内不应动作，试验后的 TPRD 应符合 B.5.1.7 气密性试验的规定。

B. 5. 1. 3 温度循环试验

B. 5. 1. 3. 1 试验方法

试验步骤如下：

- a) 将 1 个无内压的 TPRD 先在温度小于或者等于 -40°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°C 的液体中，并在此温度下静置至少 2h，之后在 5min 内将 TPRD 转移到温度小于或者等于 -40°C 的液体中；
b) 重复 a)的步骤，完成 15 次循环；
c) 将 TPRD 在温度小于或者等于 -40°C 的液体中静置至少 2h，之后在小于或等于 -40°C 的环境温度下用氢气对 TPRD 进行 100 次压力循环，压力循环下限应不大于 2MPa，压力循环上限应不小于 0.8*p*。

B. 5. 1. 3. 2 合格指标

在温度循环试验后，TPRD 应符合 B.5.1.7 气密性试验、B.5.1.8 动作试验和 B.5.1.9 流量试验的规定，其中泄漏试验的温度为 -40°C （ $+5/0^{\circ}\text{C}$ ）。

B. 5. 1. 4 耐盐雾腐蚀性试验

B. 5. 1. 4. 1 试验方法

试验要求如下：

- a) 对 3 个 TPRD 进行盐雾试验，试验前 TPRD 应按照使用工况封堵相应的端口。该试验为循环试验，共循环 100 次。一个循环包含正常环境阶段、潮湿阶段以及干燥阶段，单次循环时间为 24h，试验流程如图 B.1 所示。
b) 在正常环境阶段，应控制环境箱温度为（ 25 ± 3 ） $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为（ 45 ± 10 ）%。试验时间为

8h ± 10min。只在正常环境阶段对 TPRD 施加盐雾，正常环境阶段开始时施加第 1 次盐雾，共需要施加 4 次。施加盐雾时间间隔约为 90min。每次施加盐雾时，应使 TPRD 表面润湿并形成水珠。喷雾量应足够清洗掉阀上残留的盐痕迹。

- c) 在潮湿阶段，控制环境箱温度为 (49 ± 2) °C、相对湿度为 100%，试验时间 7h ± 10min。
- d) 在干燥阶段，控制环境箱温度为 (60 ± 2) °C 且相对湿度不大于 30%，试验时间为 5h ± 10min。

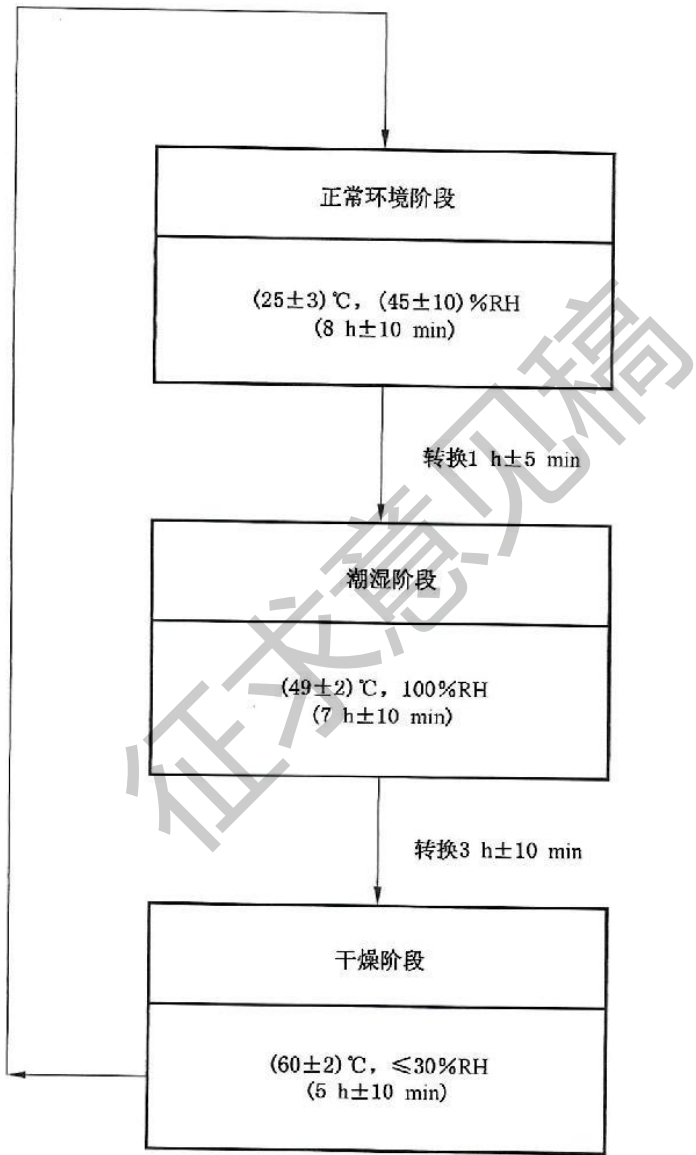


图 B.1 TPRD 盐雾试验流程图

- e) 从正常环境阶段到潮湿阶段的转换时间应为 1h ± 5min，从潮湿阶段到干燥阶段的转换时间应为 3h ± 10min。
- f) 因特殊原因需要暂停试验时，应在一个试验循环完毕后暂停，暂停期间应保持试验箱温度在 (25 ± 3) °C 范围内，相对湿度在 (45 ± 10) % 范围内。
- g) 循环腐蚀试验结束后，采用清水冲洗 TPRD，待其干燥后进行评估。

- h) 试验设备中环境箱应符合 GB/T 13893.2 的要求, 试验用水应符合 GB/T 6682 规定的三级水要求。喷洒盐溶液时, 应避免喷雾对 TPRD 直接冲击。
- i) 混合盐溶液的各组分质量分数要求如下:
 - 1) 氯化钠 (NaCl): 0.9%;
 - 2) 氯化钙 (CaCl_2): 0.1%;
 - 3) 碳酸氢钠 (NaHCO_3): 0.075%。

氯化钠应为试剂级或食品级。氯化钙应为试剂级。碳酸氢钠应为试剂级或食品级。配制溶液用水应符合 GB/T 6682 规定的三级水要求。

B. 5. 1. 4. 2 合格指标

经过耐盐雾腐蚀性试验后, TPRD 应符合 B.5.1.7 气密性试验、B.5.1.8 动作试验和 B.5.1.9 流量试验的规定。

B. 5. 1. 5 耐应力腐蚀试验

B. 5. 1. 5. 1 试验方法

当 TPRD 含有暴露于外部环境的铜合金 (如黄铜) 零件时, 应取 1 个 TPRD 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 (0.9g/mL);
- c) 将 TPRD 置于氨水液面上方 (35 ± 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 TPRD 的密封干燥皿放置在环境箱中 10 天, 环境箱温度为 (35 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 。

B. 5. 1. 5. 2 合格指标

不应产生裂纹或发生分层现象。

B. 5. 1. 6 跌落试验

B. 5. 1. 6. 1 试验方法

在常温下将 6 个 TPRD 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)。

B. 5. 1. 6. 2 合格指标

不应出现影响 TPED 正常使用的可见外部损伤。

B. 5. 1. 7 气密性试验

B. 5. 1. 7. 1 试验方法

将 1 个未经试验的 TPRD 依次在常温、高温和低温条件下进行气密性试验。试验开始前, 将 TPRD 在规定的温度和不低于 2MPa 的压力下静置至少 1h 直至温度稳定。对 TPRD 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 ± 0.5) MPa、不低于 1.25p 的试验压力下;
- b) 高温: 在温度不低于 85°C 和 (2 ± 0.5) MPa、不低于 1.25p 的试验压力下;
- c) 低温: 在温度不高于 -40°C 和 (2 ± 0.5) MPa、不低于 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 1min 进行观察。

B. 5. 1. 7. 2 合格指标

若在规定的试验时间内没有气泡产生,则 TPRD 通过试验;若检测到气泡,则应采用适当方法测量漏率。氢气漏率不应超过 10mL/h。

B. 5. 1. 8 动作试验

B. 5. 1. 8. 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(包括 B.5.1.1、B.5.1.3、B.5.1.4、B.5.1.5、B.5.1.6 其中每个试验抽取 1 个)的 TPRD 进行试验,试验要求如下:

- 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 $(600 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。TPRD 不应直接接触火焰。将 TPRD 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 TPRD 放入环境箱之前,对 TPRD 加压至 $(2 \pm 0.5) \text{ MPa}$;
- d) 将带压的 TPRD 放到环境箱中直至 TPRD 动作,记录动作时间。

B. 5. 1. 8. 2 合格指标

3 个未经试验的 TPRD 的动作时间之差应小于或者等于 2min,以上述 3 个 TPRD 的动作时间平均值作为基准动作时间。已进行过其他试验的 TPRD 的动作时间与基准动作时间之差应小于或等于 2min。

B. 5. 1. 9 流量试验

B. 5. 1. 9. 1 试验方法

试验要求如下:

- a) 对 8 个 TPRD 进行流量试验,其中 3 个 TPRD 未经试验,5 个 TPRD 已按照 B.5.1.1、B.5.1.3、B.5.1.4、B.5.1.5、B.5.1.6 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 B.5.1.8 的规定对每个 TPRD 进行动作试验,TPRD 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 TPRD 进行流量试验;
- c) 进气口压力应为 $(2 \pm 0.5) \text{ MPa}$,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 $\pm 2\%$ 。

B. 5. 1. 9. 2 合格指标

8 个 TPRD 实测流量的最小值应大于或等于最大值的 90%。

B. 5. 2 单向阀和手动截止阀试验方法和合格指标

B. 5. 2. 1 耐压性试验

B. 5. 2. 1. 1 试验方法

先对 1 个未经试验的阀进行该项试验,将其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,并使阀内部处于联通状态。
- b) 采用非腐蚀性液体对阀的进气口缓慢施加不小于 2.5p 的液压,保压 3min,之后对阀进行检查;若截止阀设置在减压阀下游,则截止阀应至少承受 1.2p 的液压。
- c) 以小于或等于 1.4MPa/s 的升压速率继续加压,直至阀失效,记录阀失效的压力。

B. 5. 2. 1. 2 合格指标

保压 3min 后,阀不应发生破裂。对于已经过其他试验的阀,其实测爆破压力应不小于基准爆破压力的 0.8 倍,或大于 4 倍的公称工作压力。

B. 5. 2. 2 气密性试验

B. 5. 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气密性试验。试验开始前, 将阀在规定的温度和不低于 2MPa 的压力下静置至少 1h 直至温度稳定。对阀加压时, 应封堵阀的出气口, 采用氢气从阀的进气口加压, 试验条件如下:

- a) 常温: 在常温和 (2 ± 0.5) MPa、不低于 1.25p 的试验压力下;
- b) 高温: 在温度不低于 85℃ 和 (2 ± 0.5) MPa、不低于 1.25p 的试验压力下;
- c) 低温: 在温度不高于 -40℃ 和 (2 ± 0.5) MPa、不低于 p 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 1min 进行观察。

B. 5. 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漏率。氢气漏率不应超过 10mL/h。

B. 5. 2. 3 极限温度压力循环试验

B. 5. 2. 3. 1 试验方法

单向阀和手动截止阀的循环次数为 2000 次, 手动截止阀若在减压阀下游, 则按其减压阀出口设计压力进行试验, 试验步骤如下:

- a) 将阀装在专用装置上。在规定的压力下, 采用氢气对阀连续进行循环。对于一个循环的定义如下:
 - 1) 对于单向阀, 将其装在试验专用装置上, 关闭阀出气口, 在 6 个增压步内向阀进气口充入氢气至规定试验压力。之后从阀进气口泄压, 在进行下次循环前, 应使单向阀出气口压力小于 0.6p。
 - 2) 对于截止阀, 将其装在试验专用装置上, 向其进气口和出气口持续加压。
 - 3) 一个循环应包括一次上述操作和一次复位。
- b) 对 1 个阀进行如下试验:
 - 1) 常温循环。试验压力不低于 p, 循环次数为总循环次数的 90%, 试验温度应为常温。
 - 2) 高温循环。试验压力不低于 1.25p, 循环次数为总循环次数的 5%, 试验温度应大于或等于 85℃。
 - 3) 低温循环。试验压力不低于 0.8p, 循环次数为总循环次数的 5%, 试验温度应小于或等于 -40℃。
 - 4) 颤动试验。在完成循环试验后, 对单向阀以能引起阀瓣最大颤动的氢气流速进行 24h 颤动试验。

B. 5. 2. 3. 2 合格指标

试验完成后, 阀应符合 B.5.2.1 耐压性试验和 B.5.2.2 气密性试验的规定。

B. 5. 2. 4 手动截止阀耐用性试验

B. 5. 2. 4. 1 试验方法

手动截止阀操作次数为 1000 次。对 1 个进行耐用性试验, 将阀安装在专用试验装置上, 用干氢气、氦气或至少 5% 氢氮混合气体加压, 并在特定温度下试验, 循环如下:

- a) 一个循环应包括一次完全操作, 关闭阀, 从进气口充入 1.25p (若截止阀设置在减压阀下游,

则需配置减压阀进行试验)的工作压力,打开阀,将阀出气口端的压力降至 0.5MPa 以下,应在 10 ± 2 秒内完成开启和关闭;

- b) 常温环境进行 90%的循环次数, -40°C 进行 5%的循环次数, 85°C 进行 5%的循环次数。

B.5.2.4.2 合格判定

试验完成后,阀应符合 B.5.2.1 耐压性试验和 B.5.2.2 气密性试验的规定。

B.5.2.5 耐盐雾腐蚀性试验

B.5.2.5.1 试验方法

试验要求如下:

- a) 对 3 个阀进行盐雾试验,试验前阀应按照使用工况封堵相应的端口。该试验为循环试验,共循环 100 次。一个循环包含正常环境阶段、潮湿阶段以及干燥阶段,单次循环时间为 24h,试验流程如图 B.2 所示。
- b) 在正常环境阶段,应控制环境箱温度为 $(25 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $(45 \pm 10)\%$ 。试验时间为 $8\text{h} \pm 10\text{min}$ 。只在正常环境阶段对阀施加盐雾,正常环境阶段开始时施加第 1 次盐雾,共需要施加 4 次。施加盐雾时间间隔约为 90min。每次施加盐雾时,应使阀表面润湿并形成水珠。喷雾量应足够清洗掉阀上残留的盐痕迹。
- c) 在潮湿阶段,控制环境箱温度为 $(49 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 100%,试验时间 $7\text{h} \pm 10\text{min}$ 。
- d) 在干燥阶段,控制环境箱温度为 $(60 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 且相对湿度不大于 30%,试验时间为 $5\text{h} \pm 10\text{min}$ 。
- e) 从正常环境阶段到潮湿阶段的转换时间应为 $1\text{h} \pm 5\text{min}$,从潮湿阶段到干燥阶段的转换时间应为 $3\text{h} \pm 10\text{min}$ 。
- f) 因周末或节假日等特殊原因需要暂停试验时,应在一个试验循环完毕后暂停,暂停期间应保持试验箱温度在 $(25 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 范围内,相对湿度在 $(45 \pm 10)\%$ 范围内。
- g) 循环腐蚀试验结束后,采用清水冲洗阀,待其干燥后进行评估。
- h) 试验设备中环境箱应符合 GB/T 13893.2 的要求,试验用水应符合 GB/T 6682 规定的三级水要求。喷洒盐溶液时,应避免喷雾对阀直接冲击。
- i) 混合盐溶液的各组分质量分数要求如下:
 - 1) 氯化钠 (NaCl): 0.9%;
 - 2) 氯化钙 (CaCl_2): 0.1%;
 - 3) 碳酸氢钠 (NaHCO_3): 0.075%。

氯化钠应为试剂级或食品级。氯化钙应为试剂级。碳酸氢钠应为试剂级或食品级。配制溶液用水应符合 GB/T 6682 规定的三级水要求。

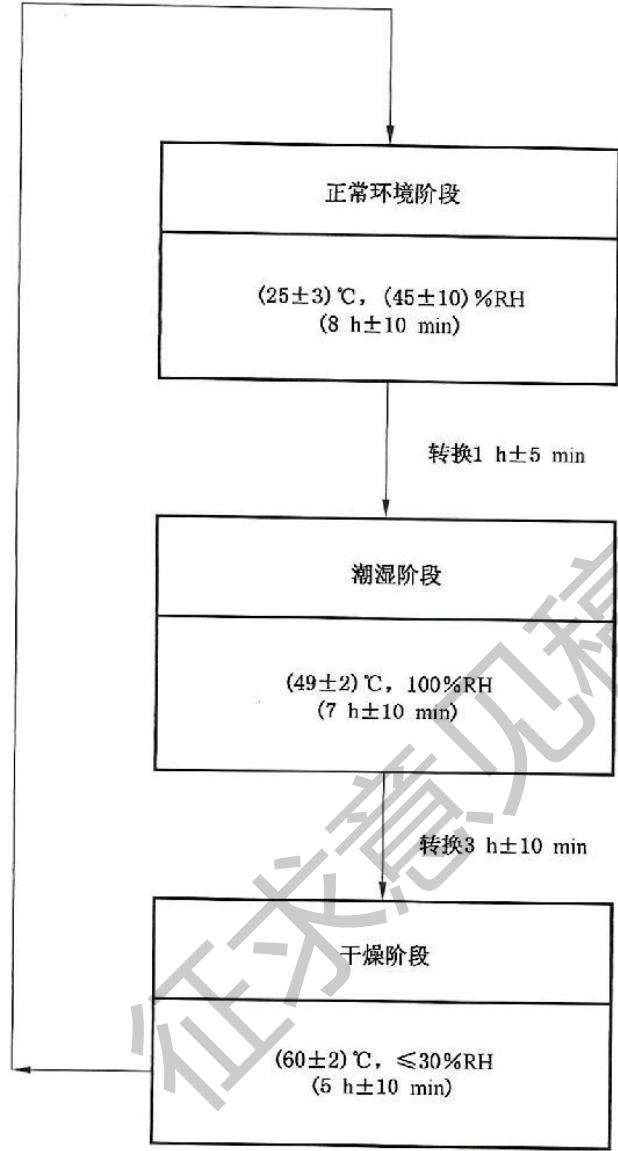


图 B. 2 单向阀/手动截止阀/减压阀盐雾试验流程图

B. 5. 2. 5. 2 合格指标

经过耐盐雾腐蚀性试验后，阀应符合 B.5.2.2.2 气密性试验和 B.5.2.1 耐压性试验的规定。

B. 5. 2. 6 应力腐蚀开裂试验

B. 5. 2. 6. 1 试验方法

当阀含有暴露于外部环境的铜合金（如黄铜）零件时，应取 1 个阀进行本项试验。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（0.9g/mL）；
- c) 将阀置于氨水液面上方（35±5）mm 处不与氨水发生反应的托盘上，并密封干燥皿；
- d) 将装有阀的密封干燥皿放置在环境箱中 10 天，环境箱温度为（35±5）℃。

B. 5. 2. 6. 2 合格指标

不应产生裂纹或发生分层现象。

B. 5. 2. 7 减压阀循环寿命试验

B. 5. 2. 7. 1 试验方法

减压阀循环寿命次数为 5000 次。一次循环应包括以下步骤：

- a) 按要求向减压阀入口充入压力，出口按厂家要求设定流量调节装置，并安装快速开关阀门；
- b) 快速打开减压阀下游快速开关阀，直到减压阀下游压力达到厂家的设计值；
- c) 快速关闭快速开关阀，直到减压阀下游压力达到锁止压力设计值。

循环次数分配如下：

- a) 维持入口压力 1.25p，常温，循环 4400 次，在第 1000、2000、3000、4400 次循环结束后，进行 B.5.2.2 要求的气密性测试；
- b) 缩小气源容腔，通过快关阀泄放，使得入口压力从 1.25p 降至 0.6p，常温，循环 200 次，循环结束后进行 B.5.2.2 要求的气密性测试，此外，减压阀锁止压力不得超过厂家的设计值；
- c) 维持入口压力 1.25p，高温 85℃，循环 200 次，循环结束后进行 B.5.2.2 要求的气密性测试，此外，减压阀锁止压力不得超过厂家的设计值；
- d) 缩小气源容腔，通过快关阀泄放，使得入口压力从 1.25p 降至 0.6p，高温 85℃，循环 200 次，循环结束后进行 B.5.2.2 要求的气密性测试，此外，减压阀锁止压力不得超过厂家的设计值；
- e) 维持入口压力 1.25 p，低温-40℃，循环 200 次，循环结束后进行 B.5.2.2 要求的气密性测试，此外，减压阀锁止压力不得超过厂家的设计值；
- f) 缩小气源容腔，通过快关阀泄放，使得入口压力从 1.25p 降至 0.6p，低温-40℃，循环 200 次，循环结束后进行 B.5.2.2 要求的气密性测试，此外，减压阀锁止压力不得超过厂家的设计值。

所有循环试验结束后，进行耐压试验并满足 B.5.2.1 的要求。

B. 5. 2. 7. 2 合格指标

经过减压阀循环寿命试验后，阀应符合 B.5.2.2 气密性试验要求，且出口压力依然在制造商的额定出口压力范围内。

B. 5. 2. 8 减压阀启动冲击试验

B. 5. 2. 8. 1 试验方法

减压阀应该能够承受 100 次入口压力启动冲击，具体如下：

- a) 在减压阀上游设置一个电磁阀，或者使用减压阀上游自带的手动截止阀，实现高压气源与减压阀的连通；
- b) 减压阀的进出口处于大气环境，出口设置实际应用所需缓冲容积，并封闭；
- c) 快速打开减压阀上游的电磁阀/手动截止阀，使得 1.25 倍压力的气体快速进入减压阀，并填充下游容积至额定减压阀工作压力；
- d) 关闭减压阀上游电磁阀/手动截止阀，从减压阀下游泄放压力；
- e) 循环 100 次后，封闭减压阀下游容腔，并设置下游压力监测点，从减压阀上游通入 1.25 倍工作压力，减压阀应满足气密性要求，出口压力不得超过制造商的额定锁止压力最大值。

B. 5. 2. 8. 2 合格指标

经过减压阀循环寿命试验后，阀应符合 B.5.2.2 气密性试验要求，且出口压力依然在制造商的额定出口压力范围内。

B. 5. 2. 9 出口锁止稳压试验

B. 5. 2. 9. 1 试验方法

试验次数 3 次。将阀门安装在专用试验装置上，保持减压阀下游封闭，先充入额定工作压力，完成减压阀下游建压并维持稳定 24h。

B. 5. 2. 9. 2 合格指标

经过减压阀循环寿命试验后，阀应符合 B.5.2.2 气密性试验要求，且出口压力依然在制造商的额定出口压力范围内。

B. 5. 3 非金属密封件性能试验

B. 5. 3. 1 耐氧化性试验

B. 5. 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。

B. 5. 3. 1. 2 合格指标

无裂纹或其他可见缺陷。

B. 5. 3. 2 臭氧相容性试验

B. 5. 3. 2. 1 试验方法

将 3 个试样按 GB/T 7762-2014 中的方法 A 进行试验，试样应为宽试样，试样拉伸应变为 20%，在环境温度为 40°C 、臭氧浓度为 $(50 \pm 5) \times 10^{-8}$ 的空气中暴露 120h。

B. 5. 3. 2. 2 合格指标

试样表面无龟裂或明显的变质迹象。

B. 5. 3. 3 氢气相容性试验

B. 5. 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) 将密封件在压力为阀公称工作压力、温度为 15°C 的氢气中放置 168h 后，将压力在 10s 内降至大气压力；
- c) 将密封件在压力为阀公称工作压力、温度为 -40°C 的氢气中放置 168h 后，将压力在 10s 内降至大气压力；
- d) 取出密封件，并立即测量其体积变化率和质量损失率。

B. 5. 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%。

参 考 文 献

- [1] GB 11640-2021, 铝合金无缝气瓶
 - [2] GB 42590, 民用无人驾驶航空器系统安全要求
 - [3] ISO 11119.2, Gas cylinders of composite construction — Specification and test methods —Part 2:Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders with load-sharing metal liners
 - [4] ISO 19881, Compressed hydrogen gas vehicle fuel containers
-

征求意见稿