ICS 23.020.30
CCS J 74

中华人民共和国国家标准

GB/Z XXXX-202X

大容积塑料内胆碳纤维全缠绕压缩氢气瓶

Large-capacity fully-wrapped carbon fiber reinforced gas cylinders with plastic liners for compressed hydrogen

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2025-04）

202×-××-××发布　　202×-××-××实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前　　言 I
1　范围 2
2　规范性引用文件 2
3　术语和定义、符号 3
4　型式和型号 5
5　技术要求 6
6　试验方法 11
7　检验规则 17
8　安装和防护 23
9　标志、包装、运输和储存 23
10　产品合格证和批量检验质量证明书 24
附 录 A（规范性）气瓶用 O 形密封圈性能评定方法 26
附 录 B（规范性）层间剪切试验方法 29
附 录 C（资料性）直螺纹剪切应力安全系数的计算方法 32
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》起草。

本文件参考ISO 11515: 2022《气瓶——水容积从450L到3000L可重复充装复合材料长管气瓶的设计、制造和试验》起草，一致性程度为非等效。

本文件由全国气瓶标准化技术委员会(SAC/TC31)提出并归口。

本文件起草单位：合肥通用机械研究院有限公司、浙江大学、中国特种设备检测研究院、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、浙江蓝能氢能科技股份有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院、石家庄安瑞科气体机械有限公司、北京天海工业有限公司、浙江锦敦气体装备智造股份有限公司、北京化工大学、哈尔滨工业大学、沈阳欧施盾新材料科技有限公司。

本文件主要起草人：

大容积塑料内胆碳纤维全缠绕压缩氢气瓶

1 范围

本文件规定了大容积塑料内胆碳纤维全缠绕压缩氢气瓶（以下简称气瓶）的型式和型号、技术要求、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。

本文件适用于在环境温度－40 ℃～60 ℃下使用、公称工作压力不超过55 MPa、公称水容积不小于450 L且不大于3 000 L、可重复充装氢气的移动式纤维缠绕气瓶。

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，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，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：常温拉伸试验方法
GB/T 229 金属材料夏比摆锤冲击试验方法
GB/T 533 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 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 热塑性塑料维卡软化温度(VST)的测定
GB/T 1636 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 橡胶试样环境调节和试验的标准温度，湿度及时间
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 3682.1 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 3934 普通螺纹量规 技术条件
GB/T 4612 塑料 环氧化合物 环氧当量的测定
GB/T 6519 变形铝、镁合金产品超声波检验方法
GB/T 7307 管螺蚊标准
GBT7759.1 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 9251 气瓶水压试验方法
GB/T 9252 气瓶压力循环试验方法
GB/T 9341 塑料 弯曲性能的测定
GB/T 12137 气瓶气密性试验方法
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 不合格品率的小批计数抽样检查程序及抽样表
GB/T 15385 气瓶水压爆破试验方法
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 20668 统一螺纹基本尺寸
GB/T 21060 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、自由锻件和轧制环向锻件通用技术条件
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 39818 塑料 热固性模塑材料 收缩率的测定
GB/T 42610 高压氢气瓶塑料内胆和氢气相容性试验方法
GB/T 42612 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶
NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
YS/T 479 一般工业用铝及铝合金锻件
JJG 539-2016 数字指示秤

3 术语和定义、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

公称工作压力 nominal working pressure
气瓶在基准温度 15℃时的限定充装压力。

3.1.2

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。

3.1.3

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。

3.1.4

焊接塑料内胆 welded plastic liner
含有拼接焊缝的塑料内胆。

3.1.5

大容积全缠绕气瓶 large-capacity fully-wrapped fiber reinforced tube
公称水容积不小于450 L且不大于3000 L，用于重复充装压缩气体的移动式塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶，也称4型大容积缠绕气瓶。

3.1.6

金属瓶颈 metal boss
位于塑料内胆两端，用来安装端塞、瓶阀或安全附件等的金属构件，是塑料内胆的一部分。

3.1.7

代表性缠绕气瓶 representative composite tube
与全尺寸气瓶应力等效但长度更短的缠绕气瓶，两者采用相同的材料和相同的制造工艺生产，具有相同的公称直径、相同的瓶颈结构和相同的缠绕方式（相同的纤维股数和相同的缠绕层数等）。

3.1.8

内胆批 batch of liner
采用同一设计，具有相同材料的公称外径、长度、设计壁厚，同一制造工艺制成的限定一定数量的内胆。

3.1.9

气瓶批　batch of gas cylinder

采用同一设计条件，具有相同材料和结构尺寸塑料内胆及金属瓶颈，相同复合材料，按相同工艺进行缠绕、固化制成的限定一定数量的气瓶。

注：同批气瓶可能有多批的合格内胆。

3.1.10

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。

3.1.11

设计爆破压力　design burst pressure

设计规定的气瓶最小爆破压力。

3.1.12

端塞　end plug

加工有内、外连接螺纹，用于气瓶两端瓶口密封以及连接管路、装配阀门或安全泄放装置等附件的堵塞，也称螺塞。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

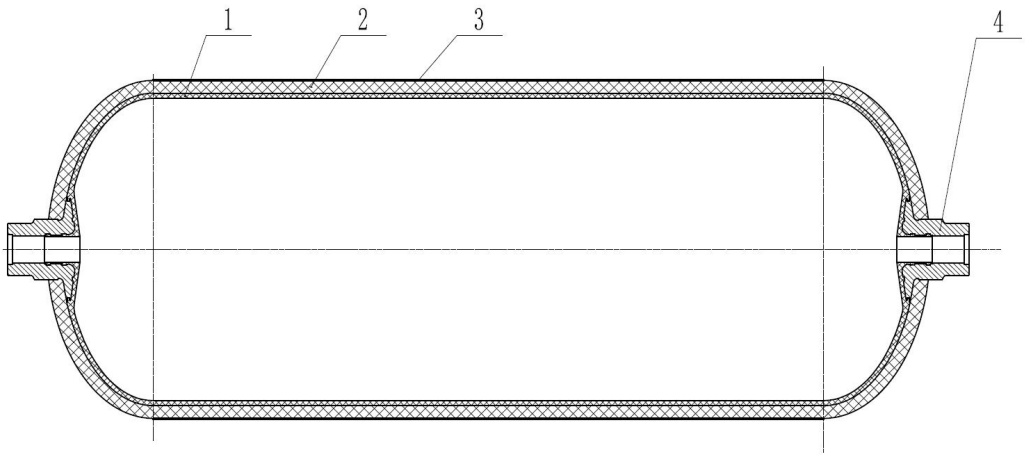
A_1　内螺纹开孔受压面积，mm^2；
A_n　内螺纹牙受剪面积，mm^2；
A_w　外螺纹牙受剪面积，mm^2；
D_{1max}　内螺纹最大小径，mm；
D_{2max}　内螺纹最大中径，mm；
d_{2min}　外螺纹最小中径，mm；
d_{min}　外螺纹最小大径，mm；
F_w　螺纹最大轴向外载荷，N；
K_n　内螺纹剪切应力安全系数；
K_w　外螺纹剪切应力安全系数；
L　气瓶长度，单位为毫米(mm)；
N　加压至试验压力的循环次数，单位为次；
Ni_{eq}　镍当量，%；
P　气瓶公称工作压力，单位为兆帕(MPa)；
P_h　气瓶水压试验压力，单位为兆帕(MPa)；
P_b　气瓶爆破压力，单位为兆帕(MPa)；
P_{bmin}　气瓶设计爆破压力，单位为兆帕(MPa)；
P_m　气瓶许用压力，单位为兆帕(MPa)；
T_g　玻璃化转变温度，单位为摄氏度(℃)；
t　名义复合材料厚度，单位为毫米(mm)；
y　设计使用年限，单位为年；
W_C　碳元素在钢中的质量分效，%；
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，%；
α　螺纹牙形角，°；
τ_n　内螺纹剪切应力，单位为兆帕（MPa）；

τ_{nm} 内螺纹材料剪切强度，单位为兆帕（MPa）；
τ_{w} 外螺纹剪切应力，单位为兆帕（MPa）；
τ_{wm} 外螺纹材料剪切强度，单位为兆帕（MPa）。

4 型式和型号

4.1 型式

气瓶结构型式如图1所示，采用双口结构。



标引序号说明：

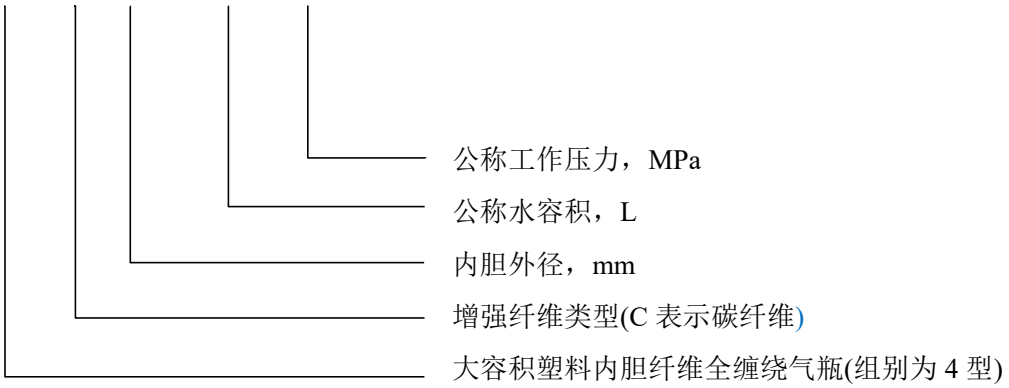
1——塑料内胆；
2——碳纤维缠绕层；
3——玻璃纤维保护层；
4——金属瓶颈。

图 1 气瓶结构型式

4.2 型号

气瓶型号标记由以下部分组成：

TUBE 4-C-XXX-XXXX-XX



示例：

气瓶公称工作压力 50 MPa、公称水容积 1 500 L、公称直径 780 mm 的大容积塑料内胆碳纤维全缠绕压缩氢气瓶，其型号标记为： TUBE 4-C-780-1500-50。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 设计循环次数

气瓶的设计循环次数为15 000 次。

5.1.2 设计使用年限

气瓶的设计使用年限为15 年。

5.1.3 工作温度范围

在使用过程中，气瓶适用的环境温度应不低于-40 ℃且不高于60 ℃。
在充氢和卸氢过程中，气瓶的工作温度应不低于-40 ℃且不高于85 ℃。

5.1.4 许用压力

在充装和使用过程中，气瓶许用压力P_m取1.25倍公称工作压力。

5.1.5 氢气品质

气瓶充装的压缩氢气成分应符合GB/T 37244的规定。

5.1.6 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，其外表面至少能适应下列工作环境：

a) 环境温度与湿度反复变化，包括高温、低温、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) 道路行驶中车辆随机振动和碎石意外冲击；
e) 以大跨距安装在集装箱框架的两个端板上；
f) 接触酸溶液、碱溶液、肥料；
g) 接触汽车用液体，包括汽油、液压油、电池酸、乙二醇和油；
h) 接触排放的废气。

5.2 材料

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 材料性能应符合相应的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 塑料内胆

5.2.2.1 塑料内胆材料应选用聚乙烯（包括改性聚乙烯及聚乙烯基复合材料）或聚酰胺（包括改性聚酰胺及聚酰胺基复合材料），其与氢气相容性应满足GB/T 42610的要求。

5.2.2.2 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。

5.2.2.3 塑料内胆原材料为粉状时，其表观密度、粉体流动性、粒度分布和粉体颗粒形态应满足设计文件的要求。

5.2.2.4 气瓶制造单位应按批对塑料内胆材料进行复验。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的规定测定，采用A型漏斗；粉体流动性按GB/T 21060规定的方法A测定；粒度分布按GB/T 21843的规定测定。

5.2.2.5 塑料内胆在常温和-50 ℃下的拉伸屈服强度和断裂伸长率应满足设计文件的要求。拉伸屈服强度和拉伸断裂伸长率检测方法按照GB/T 1040的规定进行。

5.2.2.6 聚酰胺（包括改性聚酰胺及聚酰胺基复合材料）塑料内胆的材料维卡软化温度应不低于115 ℃，聚乙烯（包括改性聚乙烯及聚乙烯基复合材料）塑料内胆的材料维卡软化温度应不低于100 ℃，检测方法按GB/T 1633的规定进行。

5.2.2.7 每当使用一种新材料时，应测试成型后塑料内胆的收缩率，检测方法按照GB/T 39818的规定进行。

5.2.3 金属瓶颈

5.2.3.1 金属瓶颈材料应采用铝合金 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，应按Φ2 mm 当量平底孔进行超声波检测，检验方法按 GB/T 6519 进行；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1的规定，其偏差应满足GB/T 3190的要求。

表1 铝合金6061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	

5.2.3.3 奥氏体不锈钢S31603的镍含量应大于或等于12%、镍当量宜大于或等于28.5%、断面收缩率应大于或等于70%。镍当量计算公式为：

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

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和奥氏体不锈钢S31603化学复验应按GB/T 42612的规定进行。

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铝合金6061的拉伸性能、奥氏体不锈钢S31603的拉伸和冲击性能进行复验。铝合金6061的拉伸试验应按GB/T 228.1的规定进行；奥氏体不锈钢S31603的拉伸和冲击试验应分别按GB/T 228.1和GB/T 229的规定进行。

5.2.4 端塞

5.2.4.1 端塞材料采用30CrMo或35CrMo时，其化学成分应满足表2的要求。端塞材料采用S30408、S30403、S31608或S31603时，其化学成分及力学性能应满足NB/T 47010的要求。

表 2 端塞材料的化学成分限定

材料牌号	化学成分(质量分数) / %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni
30CrMo	0.26~0.34	0.40~0.70	0.17~0.37	≤0.025	≤0.025	0.80~1.10	0.15~0.25	≤0.25	≤0.30
35CrMo	0.32~0.38	0.40~0.70	0.15~0.40	≤0.025	≤0.025	0.80~1.10	0.15~0.25	≤0.25	≤0.30

5.2.4.2 端塞材料采用30CrMo或35CrMo时，应进行调质热处理。热处理后材料的力学性能应符合设计要求，且硬度值应低于内胆热处理后的硬度。材料应通过－40℃夏比冲击试验，夏比冲击试验按照GB/T 229的规定进行，要求3个标准冲击试样的冲击吸收能量平均值不低于41 J，允许1个试样的冲击吸收能量低于41 J，但不得低于29 J。

5.2.5 O 型密封圈

5.2.5.1 O型密封圈材料应采用硅橡胶、氟橡胶、氟碳橡胶、氟硅橡胶、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。

5.2.5.2 O型密封圈材料的使用温度范围应满足-50 ℃~85 ℃的要求。

5.2.5.3 O型密封圈材料性能评定应按附录A的规定进行。

5.2.6 树脂

5.2.6.1 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 ℃。

5.2.6.2 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。

5.2.7 纤维

5.2.7.1 碳纤维

5.2.7.1.1 碳纤维的力学性能应符合气瓶设计文件的规定。

5.2.7.1.2 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/T 3362测定；试样制备应不加捻。

5.2.7.1.3 复合材料层的紫外老化和湿热老化性能应满足气瓶的设计文件所规定的指标，满足气瓶全寿命期内的安全要求。

5.2.7.2 玻璃纤维

气瓶玻璃纤维保护层应采用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。

5.3 设计

5.3.1 碳纤维、塑料内胆和金属瓶颈

5.3.1.1 碳纤维

碳纤维应连续无捻且强度级别相同。

5.3.1.2 塑料内胆

5.3.1.2.1 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。

5.3.1.2.2 金属瓶颈应安装在塑料内胆端部，且与塑料内胆同轴。

5.3.1.3 金属瓶颈

5.3.1.3.1 金属瓶颈静强度、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。

5.3.1.3.2 与内胆连接的 2 个金属瓶颈应按要求单独设计，气瓶金属瓶颈的设计应考虑与集装箱等外部机架结构的固定和滑动。

5.3.1.3.3 气瓶金属瓶颈与内胆之间应采用止转和防塑料收缩错位结构，与碳纤维缠绕层之间应采用止转结构。金属瓶颈上应设计止退结构，防止气瓶在工作过程中碳纤维与内胆发生轴向相对位移。

5.3.1.3.4 气瓶两端瓶口应采用符合相应标准的螺纹连接。可采用下列螺纹：

a) 55°非密封管螺纹，螺纹应符合 GB/T 7307 标准的规定；
b) 普通公制螺纹，螺纹应符合 GB/T 196 标准的规定；
c) 英制 UN 螺纹，螺纹应符合 ASME B1.1 标准的规定。

5.3.1.3.5 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。直螺纹剪切应力安全系数可参考附录 C 进行计算。计算螺纹切应力安全系数时，剪切强度应取 0.6 倍的材料抗拉强度保证值。

5.3.1.3.6 瓶口设计需考虑所装配阀门的密封形式、密封材料和密封尺寸，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定期检验周期内不发生泄漏。

5.3.1.3.7 气瓶两端瓶颈的开孔直径不应大于内胆外径的 1/2。

5.3.1.3.8 气瓶两端瓶颈的厚度应保证在承受端塞的力偶矩和支撑附加力时不产生肉眼可见的显著变形或损坏。

5.3.1.3.9 螺纹精度应能满足气密性能的需要。采用公制直螺纹时，内/外螺纹精度宜为 6H/6g；采用英制 UN 直螺纹时，内/外螺纹精度应为 2B/2A。

5.3.2 气瓶

5.3.2.1 气瓶的水压试验压力为公称工作压力的1.5倍。

5.3.2.2 气瓶的设计爆破压力应不低于公称工作压力的3倍。

5.3.2.3 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金属瓶颈在以下压力下的应力和应变：公称工作压力、水压试验压力和设计爆破压力。

5.3.2.4 气瓶纤维应力比应不低于3.0。

5.3.2.5 气瓶直筒段应有玻璃纤维保护层，气瓶两端应设置肩部保护罩或者玻璃纤维保护层。

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50只(不包括破坏性试验用内胆或气瓶的数量)为一个批。

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的工艺协同完成，无人为干预工艺条件。

5.4.2 塑料内胆

5.4.2.1 塑料内胆在成型之前应按照材料成型要求对需要干燥的材料进行干燥处理。

5.4.2.2 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、挤塑或滚塑。

5.4.2.2.1 塑料内胆采用吹塑成型时，应控制塑化温度、挤出速率、型坯轴向质量均匀性、挤出模头和模具温度、吹塑压力、鼓气速率、冷却时间等参数；吹塑应在温度不低于5 ℃的恒温恒湿室内进行。

5.4.2.2.2 塑料内胆采用滚塑成型时，成型前应对模具和金属瓶颈进行预热处理，成型过程中应控制模具轴向与环向温度、模具运动速度、冷却时间等参数；必要时，可采用分段加热冷却的方式控制成型质量。

5.4.2.2.3 塑料内胆采用注塑、挤出以及焊接组合成型时，应符合下列要求：

5.4.2.2.3.1 注塑应控制温度（包括模具温度、料筒温度、喷嘴温度）、背压、注射压力及保压压力、注射速度、保压时间及冷却时间等参数；

5.4.2.2.3.2 筒体挤塑应控制模头环向壁厚均匀性、温度（包括料筒温度、模头温度）、挤出速率、牵引速率、真空压力、冷却速率等参数；

5.4.2.2.3.3 热熔焊时应控制焊接面温度、接触压力、焊接时间等参数，激光焊接应控制内胆厚度、激光功率、焊接速度等参数。若金属瓶颈与内胆封头一体成型，应对金属瓶颈进行预热处理；

5.4.2.2.3.4 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。焊接应在温度不低于5 ℃的恒温恒湿室内进行，焊接完成后应对焊接接缝进行退火处理。塑料内胆焊接工艺评定和焊接接头质量检测应按GB/T 42612的规定进行；

5.4.2.2.3.5 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；

5.4.2.2.3.6 采用焊缝检测尺检查焊接接头的错边量和卷边中心高度，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的10%，卷边中心高度应大于0；

5.4.2.2.3.7 焊接接头不合格的塑料内胆应报废。

5.4.3 金属瓶颈

5.4.3.1 金属瓶颈锻压成型时，表面应色泽一致，且不应有裂纹、折皱、夹杂物、疏松、缩孔、未充满等有损金属瓶颈性能的缺陷。

5.4.3.2 金属瓶颈采用铝合金6061时，应进行固溶时效热处理，采用奥氏体不锈钢S31603时，应进行固溶处理，处理后的性能应符合设计的规定。

5.4.3.3 瓶口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 纤维缠绕固化

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。

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 固化过程应监控并记录时间、温度及内压。

5.5 附件

5.5.1 安全泄放装置

5.5.1.1 应按照TSG 23的要求以及不同介质的要求设置安全泄放装置。

5.5.1.2 气瓶的安全泄放量应按GB/T 33215的相关要求计算，且超压泄放装置的排放能力应不小于气瓶的安全泄放量。

5.5.1.3 爆破片的公称爆破压力为气瓶的水压试验压力，标定爆破压力的允差为±5%；易熔合金塞的动作温度为102.5 ℃± 5 ℃。

5.5.1.4 采用爆破片与易熔合金塞串联组合装置时，易熔合金塞装置应当串联在爆破片装置出口侧。

5.5.1.5 采用TPRD时，TPRD应采用易熔合金塞或玻璃泡，其动作温度为102.5 ℃± 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。

5.5.1.6 气瓶所安装的安全泄放装置应通过火烧试验。

5.5.2 端塞

当选用 30CrMo 或 35CrMo 锻件时应符合 NB/T 47008 的规定，其级别不低于III级；当选用 S30408、S30403、S31608、S31603 等奥氏体不锈钢锻件时应符合 NB/T 47010 的规定，其级别不低于III级。

6 试验方法

6.1 内胆

6.1.1 壁厚和制造偏差

塑料内胆壁厚和制造偏差应按以下方法进行检查：

a) 壁厚应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；

b) 制造偏差应采用专用量具进行检查。

6.1.2 内外表面

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。

6.1.3 母材力学性能

母材拉伸试样取样及试验应按GB/T 42612的5.6.3节规定进行。

6.1.4 焊接接头检测

焊接接头拉伸试样取样及试验应按GB/T 42612的规定进行。

6.1.5 解剖检查

对取完拉伸试样的剩余焊接接头部位，先在每条焊接接头部位环向45°、135°、225°、315°四个位置沿轴向解剖，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。

6.1.6 维卡软化温度

按GB/T 1633规定的A_{50}法测定。

6.1.7 金属瓶颈螺纹

在充足光线下用量规和金属瓶颈螺纹进行目视检查，量规应与金属瓶颈螺纹相匹配，应用符合GB/T 3934的标准量规检查；表面粗糙度用粗糙度仪进行检查。

6.1.8 金属瓶颈与塑料内胆连接接头

按以下方法进行：

a) 尺寸检查：应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，试验压力应大于0.2 MPa，保压时间应大于或者等于1 min，其余参数应按气瓶设计文件进行；

c) 解剖检查：按工艺文件要求解剖金属瓶颈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（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。

6.1.9 O 型密封圈

按附录A的规定进行试验。其中，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完成，并提供相应的试验报告。气瓶制造单位还应对O形密封圈外观、尺寸和硬度等进行复验。

6.2 缠绕气瓶

6.2.1 缠绕层力学性能

6.2.1.1 层间剪切强度

按附录B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B的规定进行试验。

6.2.1.2 拉伸强度

按GB/T 1458的规定制备具有代表性的缠绕层试样，试验有效试样数应不少于9 个。按GB/T 1458的规定进行试验。

6.2.2 缠绕层外观

在光线充足的条件下对缠绕层外观进行目视检查。

6.2.3 水压试验

6.2.3.1 耐压试验

在常温条件下，按GB/T 9251规定的内测法进行耐压试验，试验压力为水压试验压力，保压时间不少于2 min。

6.2.3.2 容积膨胀试验

6.2.3.1.1 在常温条件下，加压至水压试验压力，保压时间不少于 2 min，使瓶体充分变形后卸压。

6.2.3.1.2 试验期间不得发生压降或泄漏，压力正偏差不得超过试验压力的 3%或 1MPa 两者中的较小值。

6.2.3.1.3 需要监测并记录的内容：

a) 试验压力；
b) 保压时间；
c) 试验压力下气瓶的全变形量；
d) 卸压后气瓶的残余变形量；
e) 气瓶的弹性膨胀（全变形量减去残余变形量）。

6.2.4 水压爆破试验

6.2.4.1 在常温条件下，按GB/T 15385的规定进行水压爆破试验，加压速率不大于1.0 MPa/s。

6.2.4.2 需要监测并记录的内容：

a) 从加压开始到气瓶爆破瞬间的总进水量；
b) 自动绘制压力-时间或压力-进水量曲线；
c) 自动记录爆破压力；
d) 失效形式描述。

6.2.5 常温压力循环试验

6.2.5.1 在常温条件下，按GB/T 9252的规定进行压力循环试验。

6.2.5.2 循环压力上限为许用压力，循环压力下限为压力循环上限的10%，且不超过3 MPa，循环频率应不超过5 次/min，试验过程中瓶体表面温度不得超过50 ℃。

6.2.5.3 需要监测并记录的内容：

a) 试验期间瓶体表面温度；
b) 达到上限压力的循环次数；
c) 循环压力上限和下限值；
d) 循环频率；
e) 试验介质；
f) 失效形式描述（如有）。

6.2.6 极限环境温度压力循环试验

6.2.6.1 试验步骤：

a) 将充满介质并卸压至常压状态的气瓶置于温度 60 ℃～70 ℃、相对湿度不低于 90%的环境中 48 h；
b) 在维持上述环境条件下，按 GB/T 9252 进行压力循环试验，循环压力上限为公称工作压力，循环压力下限不高于公称工作压力的 10%且不超过 3 MPa；加载频率不超过 10 次/min；
c) 循环次数为 5 000 次；试验过程中通过控制环境箱条件和加载频率使瓶体表面温度保持在 60 ℃～70 ℃范围内；
d) 完成试验后，将气瓶卸压至常压，静置至瓶体表面温度恢复至常温（约 20 ℃）；
e) 将气瓶置于低温环境，直至气瓶及介质温度稳定在－50 ℃～－40 ℃范围内；
f) 在低温环境下按 GB/T 9252 进行压力循环试验，循环压力上限为公称工作压力，循环压力下限不高于公称工作压力的 10%且不超过 3 MPa；循环次数为 5 000 次；试验过程中通过控制环境箱条件和加载频率使瓶体表面温度保持在－50 ℃～－40 ℃范围内；循环试验选用的试验介质应当能够在试验温度范围内正常工作；
g) 完成试验后，将气瓶卸压至常压，静置至瓶体表面温度恢复至常温（约 20 ℃）；
h) 按 6.2.11 的要求进行气瓶泄漏试验；
i) 气瓶泄漏试验合格后，按 6.2.4 的要求进行水压爆破试验。

6.2.6.2 需要监测并记录的内容：

j) 每一步骤的温度；
k) 每一步骤的湿度；
l) 试验介质；
m) 每一步骤中达到的上限压力循环次数；
n) 循环压力的上限和下限；
o) 循环频率；
p) 失效形式描述（如泄漏、破裂等）；
q) 试验完成后泄漏试验的结果。
r) 最终的爆破压力。

6.2.7 裂纹容限试验

6.2.7.1 试验步骤：

a) 沿气瓶筒体轴线方向加工一道纵向裂纹，在与纵向裂纹错开 120°的圆周位置加工一道横向裂纹，裂纹宽度为 1 mm～3 mm，裂纹深度为缠绕层厚度的 20%，裂纹长度为缠绕层厚度的 5 倍，如图 2 所示；
b) 缺陷制作完成后，按照 6.2.5 的要求进行常温压力循环试验，循环压力上限为公称工作压力，循环压力下限不高于公称工作压力的 10%且不超过 3 MPa；加载频率不超过 5 次/min；
c) 循环次数为 3 000 次；
d) 气瓶完成常温压力循环试验后，按 6.2.4 的要求进行水压爆破试验。

6.2.7.2 需要监测并记录的内容：

a) 裂纹尺寸；
b) 缠绕层外表面温度；
c) 达到上限压力的循环次数；
d) 循环压力的上限和下限；
e) 循环频率；
f) 试验介质；
g) 失效形式描述（如泄漏、破裂等）；
h) 最终的爆破压力。

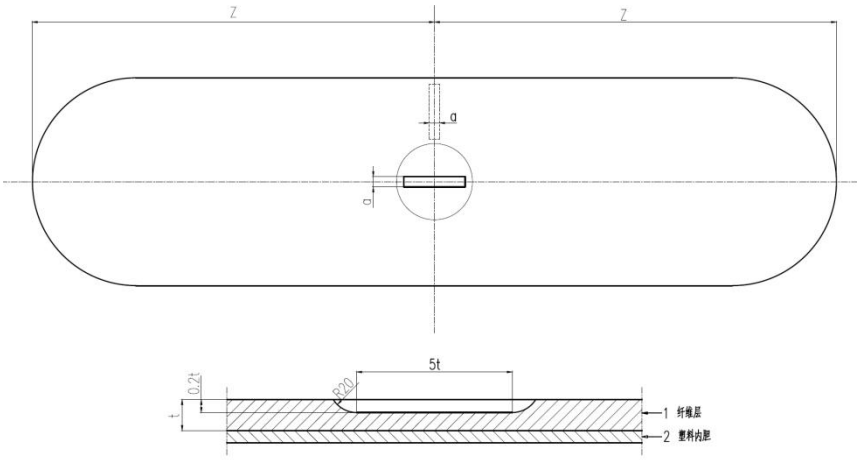


图 2 裂纹试验步骤

6.2.8 钝物冲击试验

6.2.8.1 试验步骤如下：

a) 固定空载气瓶，采取有效措施防止其受冲击后移动；
b) 采用落锤或者其他重物，对气瓶的筒体中部进行 1 次垂直冲击，对气瓶的瓶肩部位进行 1 次 45°冲击，冲击能量为 1 200 J，冲击锤头采用钢棒制成，直径应在Φ110 mm～Φ120 mm 范围内，如图 3 所示；
c) 气瓶完成冲击试验后，按照 6.2.5 的要求进行常温压力循环试验，循环压力上限为公称工作压力，循环压力下限不高于公称工作压力的 10%且不超过 3 MPa；循环次数为 3 000 次。

6.2.8.2 需要监测并记录的内容如下：

d) 每次冲击后的气瓶外观情况、冲击破坏的位置和尺寸；
e) 达到上限压力的循环次数；
f) 循环压力的上限和下限；
g) 循环频率；
h) 试验介质；
i) 失效形式描述（如泄漏、破裂等）。

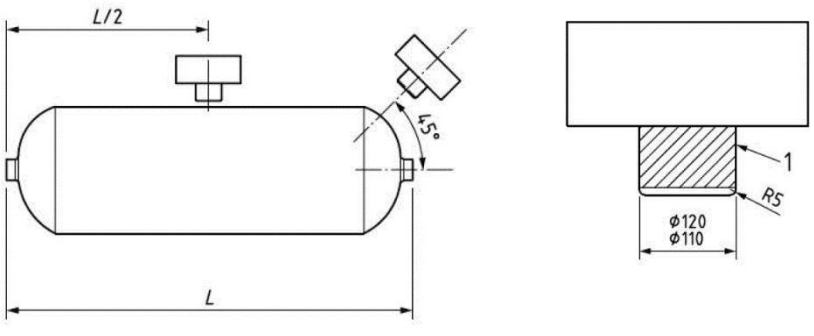


图 3 钝物冲击试验示意图

6.2.9 火烧试验

6.2.9.1 火烧试验应使用符合环保要求的燃料，所选燃料应能提供均匀充足的热量，确保气瓶测温点达到规定试验温度，并维持燃烧至气瓶泄放。

6.2.9.2 气瓶可充装空气、氮气或氢气至公称工作压力，并按以下步骤进行试验：

a) 试验火源应选用长度为 1.65 m 的均匀火源，确保火焰能对气瓶形成周向包覆燃烧，且在火源点燃后 4 min 内，气瓶底部温度≥590 ℃；
b) 将水平放置的气瓶中点对准火源中心，并确保瓶体最低部位与火源点保持 0.1 m 的间距；
c) 沿火源长度方向等距布置 3 只热电偶以监测瓶体表面温度，并采用厚度≥0.4 mm 的金属挡板防止火焰直接冲击热电偶；试验过程中，热电偶温度及瓶内压力数据采集频率应≥30 s/次；
d) 当任意 1 只热电偶温度达到 590 ℃时，开始计时；试验过程中，至少应有 2 只热电偶记录温度≥590 ℃，否则试验无效；
e) 气瓶应持续暴露于火焰中，直至满足以下任一条件时终止试验：
f) 压力泄放装置动作，且瓶内压力降至 0.7 MPa 以下；
g) 在≥590℃温度下暴露至少 5 min 后，可采取安全方式泄放压力。

6.2.9.3 需要监测并记录的内容：

a) 压力泄放装置的类型和方式
b) 初始压力和泄放压力；
c) 泄漏位置（如果适用）；
d) 热电偶温度（应包括至少 2 只热电偶的温度）；
e) 时间（应包括达到 590℃的时间和火烧试验持续时间）。

6.2.10 扭矩试验

6.2.10.1 试验步骤：

a) 固定空载气瓶防止其旋转；
b) 按照制造厂规定的最大扭矩或者设计图纸上的推荐扭矩的 110%拧紧端塞或瓶阀；
c) 拆卸端塞或瓶阀，检查金属瓶颈部、端塞或瓶阀的螺纹；
d) 按照 b）中规定重新安装端塞或瓶阀；
e) 按照 6.2.11 的要求进行气瓶泄漏试验。

6.2.10.2 需要监测并记录的内容：

a) 端塞或瓶阀的材料种类；
b) 端塞或瓶阀的安装程序；
c) 施加的扭矩。

6.2.11 泄漏试验

6.2.11.1 一般要求

泄漏试验可采用浸水法或氦检漏法。

6.2.11.2 浸水法

当采用浸水法时，应按GB/T 12137进行，其中：
a) 采用干燥空气或氮气等压缩气体作为试验介质；
b) 试验压力为公称工作压力；
c) 保压时间不少于3 min。

6.2.11.3 氦检漏法

当采用质谱仪、便携式气体检测器或其他适当技术进行检漏，其中：
a) 采用合适的示踪气体作为试验介质；
b) 试验压力为公称工作压力；
c) 保压时间不少于3 min。

以长管拖车或管束式集装箱形式组装并进行使用的气瓶，单只气瓶可不进行气密性试验，待组装成长管拖车或管束式集装箱后，可采用涂液法，对气瓶和管路系统进行整体气密性试验。

6.2.12 加速应力破裂试验

6.2.12.1 试验步骤：

a) 将充满液体介质的常压气瓶置于85 ℃的环境箱中；
b) 待气瓶瓶壁温度达到85 ℃时，对其加压至1.5倍公称工作压力，并在85 ℃环境温度条件下保持此压力1 000 h；
c) 试验完成后，按6.2.4的要求进行水压爆破试验。

6.2.12.2 需要监测并记录的内容：

a) 试验期间瓶体表面温度，每天至少记录2 次；
b) 瓶内试验压力，每天至少记录2 次；
c) 爆破压力。

6.2.13 高温蠕变试验

6.2.13.1 试验步骤：

a) 将充满液体介质的常压气瓶置于100 ℃的环境箱中；
b) 待气瓶瓶壁温度达到100 ℃时，对其加压至1.5倍公称工作压力，并在100 ℃环境温度条件下保持此压力200 h；
c) 试验完成后，按6.2.4的要求进行水压爆破试验。

6.2.13.2 需要监测并记录的内容：

a) 试验温度，每天至少记录2 次;
b) 体积膨胀量，每天至少记录2 次；
c) 瓶内试验压力，每天至少记录2 次；
d) 最终的爆破压力。

6.2.14 常温渗透试验

6.2.14.1 试验步骤：

a) 将气瓶充装氢气至公称工作压力；
b) 将气瓶置于温度为(20±5) ℃的密闭容器中，缓慢充气至公称工作压力，并在此压力下静置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%，达到稳态；
c) 每隔12 h记录1 次气瓶氢气渗透量，试验记录时间为500 h，获得随时间变化曲线。

6.2.14.2 需要监测并记录的内容：

a) 试验介质；
b) 试验环境温度；
c) 测试时间；
d) 渗透速率。

6.2.15 氢气循环试验

6.2.15.1 本试验应在水压试验和泄漏试验合格后进行。

6.2.15.2 采用氢气进行气体循环试验，并同时满足以下要求：

a) 以不大于4 MPa/min的升压速率，将气瓶压力升至公称工作压力；
b) 保压20 h；
c) 排空试验介质；
d) 介质排空后静置4 h；

e) 重复步骤a)到d)，直到30 次循环完成。

6.2.15.3 30 次循环后，检查内胆、缠绕层与金属瓶颈界面结合处等部位是否有劣化现象，比如鼓泡，裂纹或静电释放。如果观测到损伤（包括但不局限于鼓泡，裂纹或静电释放）发生，则应当记录此时状态。

6.2.15.4 如观察到劣化现象，应对被测样瓶进行泄漏试验和常温渗透试验，且应满足该试验的要求。

6.2.15.5 需要监测并记录的内容如下：

a) 试验介质；
b) 失效形式描述（如有）；
c) 泄漏和常温渗透试验结果；
d) 目视检查结果。

7 检验规则

7.1 试验和检验合格判定依据

7.1.1 内胆

7.1.1.1 壁厚和制造偏差

a) 壁厚大于或等于设计壁厚；
b) 筒体外直径平均值与公称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者等于公称外直径的 2%；
d) 筒体直线度小于或者等于筒体长度的 0.3%。

7.1.1.2 内外表面

塑料内胆的内外表面应符合以下要求：
a) 干净无污物；
b) 无鼓包、褶皱、重叠以及边缘尖锐的表面压痕等缺陷。

7.1.1.3 母材力学性能

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者等于气瓶制造单位设计保证值。

7.1.1.4 焊接接头检测

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者等于气瓶制造单位设计保证值。

7.1.1.5 解剖检查

熔融宽度应满足设计文件要求。

7.1.1.6 维卡软化温度

聚乙烯（包括改性聚乙烯）的维卡软化温度应大于或等于115 ℃，聚酰胺（包括改性聚酰胺）的维卡软化温度应大于或等于135 ℃。

7.1.1.7 金属瓶颈螺纹

金属瓶颈螺纹符合以下要求：
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。

7.1.1.8　金属瓶颈与塑料内胆连接接头

金属瓶颈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金属瓶颈组装的情况）、低压气密性和解剖检查。金属瓶颈与塑料内胆连接接头质量应符合气瓶设计文件的规定。

7.1.1.9　O型密封圈

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附录A的规定。

7.1.2 缠绕气瓶

7.1.2.1　缠绕层力学性能

7.1.2.1.1 层间剪切强度

缠绕层层间剪切强度应大于或者等于34.5 MPa。

7.1.2.1.2 拉伸强度

拉伸强度应大于或等于制造单位保证值。

7.1.2.2　缠绕层外观

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。

7.1.3 水压试验

7.1.3.1　耐压试验

保压期间瓶体不应泄漏或者明显变形。

7.1.3.2　容积膨胀试验

保压期间瓶体不应泄漏或者明显变形，卸压后气瓶容积残余变形率不得超过5%。

7.1.4 水压爆破试验

气瓶爆破压力应大于或等于设计爆破压力，且不应小于气瓶公称工作压力的3倍。

7.1.5 常温压力循环试验

压力循环15 000 次内，气瓶不应泄漏或破裂，继续循环至30 000 次或至泄漏，气瓶不应破裂。

7.1.6 极限环境温度压力循环试验

在压力循环过程中应无纤维脱离、瓶体泄漏和爆破现象；水压爆破试验时，其爆破压力应不低于气瓶设计爆破压力的85%。

7.1.7 裂纹容限试验

带裂纹缺陷的气瓶按6.2.5的要求进行常温压力循环试验至3 000 次的过程中，瓶体不应泄漏或破裂。

7.1.8 钝物冲击试验

7.1.8.1 经冲击后的缠绕气瓶按6.2.5的要求进行常温压力循环试验至3 000 次的过程中，瓶体不应泄漏或破裂；

7.1.8.2 在随后的12 000 次循环中允许缠绕气瓶泄漏失效，但不允许爆破失效。

7.1.9 火烧试验

气瓶按照6.2.9的要求进行火烧试验，符合下列要求之一时为合格：

a) 安全泄放装置泄放并且泄放压力不低于气瓶许用压力；
b) 试验开始计时后 5 min 内未发生爆炸，可以终止试验。

试验过程中，气瓶可通过瓶壁表面泄漏。

对于所有大容积缠绕气瓶，制造单位应向系统设计者提供防火性能数据，以便对系统防火性能进行风险评估，避免气瓶在使用中破裂。

7.1.10 扭矩试验

7.1.10.1 金属瓶颈、内胆和复合材料界面之间不得产生永久性的可见损伤。

7.1.10.2 随后按6.2.11的要求进行泄漏试验，采用浸水法时，泄漏率不得大于2 泡/分钟；采用氦检漏法时，泄漏率不得大于5×10^{-4} Pa·m^3/s。

7.1.11 泄漏试验

7.1.11.1 采用浸水法时，泄漏率不得大于2 泡/分钟。

7.1.11.2 采用氦检漏法时，泄漏率不得大于5×10^{-4} Pa·m^3/s。

7.1.12 加速应力破裂试验

+85℃、1 000 h的保压过程中，试验气瓶不应泄漏或破裂。保压1 000 h后，其剩余爆破压力不应低于气瓶设计爆破压力的85%。

7.1.13 高温蠕变试验

+100℃、200 h的保压过程中，试验气瓶不应泄漏或破裂。保压200 h后，其剩余爆破压力不应低于气瓶设计爆破压力的85%。

7.1.14 常温渗透试验

渗透速率应小于或等于6 mL/(h·L)。

7.1.15 氢循环试验

氢循环试验过程中，气瓶不应泄漏或破裂；循环试验后，如观察到损伤（包括但不限于鼓泡、裂纹或静电击穿），应对气瓶按6.2.11和6.2.14的要求进行泄漏试验和常温渗透试验，并满足7.1.11和7.1.14的规定。

7.2 出厂检验

7.2.1 逐只检验

塑料内胆和气瓶应按表3规定的项目进行逐只检验。

7.2.2 批量检验

7.2.1.1 检验项目

塑料内胆和气瓶应按表3规定的项目进行批量检验。

7.2.1.2 抽样规则

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单位和采购商商定。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。

从每5 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，则可新检验；若重新试验结果合格，则首次试验无效。者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。

7.3 型式试验

7.3.1 新设计的气瓶应按表 3 规定的项目进行型式试验。

7.3.2 在型式试验机构同意的情况下气瓶制造单位可以在同一只的气瓶上进行超过一项的型式试验。

7.3.3 每一只制造完成的气瓶都要进行耐压试验或容积膨胀试验。

7.3.4 用于型式试验的气瓶基数为 30 只，包括全尺寸气瓶和代表性短缠绕气瓶，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：

水压爆破试验 3 只，常温压力循环试验 2 只，极限环境温度压力循环试验 1 只，裂纹容限试验 1 只，火烧试验 1 只，钝物冲击试验 1 只，扭矩试验 1 只，加速应力破裂试验 1 只，高温蠕变试验 1 只；常温渗透试验 1 只、氢气循环试验 1 只。上述试验可采用筒体段长度至少为 2 倍缠绕气瓶公称外径的长度的代表性短缠绕气瓶，其中水压爆破试验、常温压力循环试验、钝物撞击试验、火烧试验的气瓶总长度还应至少为缠绕气瓶总长度的 1/5。

表 3 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	合格标准
			逐只检验	批量检验			
1	内胆	壁厚和制造公差	√	-	√	6.1.1	7.1.1.1
2		内外表面	√	-	√	6.1.2	7.1.1.2
3		母材力学性能	-	√	√	6.1.3	7.1.1.3
4		焊接接头检测 拉伸试验	-	√	√	6.1.4	7.1.1.4
5		焊接接头检测 解剖检查	-	√	√		7.1.1.5
6		维卡软化温度	-	-	√	6.1.6	7.1.1.6
7		金属瓶颈螺纹	√	-	√	6.1.7	7.1.1.7
8		金属瓶颈与塑料内胆连接接头 尺寸检查	√	-	-	6.1.8	7.1.1.8
9		金属瓶颈与塑料内胆连接接头 低压气密性检查	√	-	-		
10		金属瓶颈与塑料内胆连接接头 解剖检查	-	-	√		
11		O 型圈 外观	√	-	-	6.1.9	7.1.1.9
12		O 型圈 尺寸	√	-	-		
13		O 型圈 硬度	-	√	-		
14		O 型圈 拉伸试验	-	√	-		
15	气瓶	缠绕层力学性能 层间剪切试验	-	-	√	6.2.1.1	7.1.2.1.1
16		缠绕层力学性能 拉伸试验	-	-	√	6.2.1.2	7.1.2.1.2
17		缠绕层外观	√	-	√	6.2.2	7.1.2.2
18		水压试验 耐压试验	√	-	√	6.2.3.1	7.1.3.1
19		水压试验 容积膨胀试验	-	-	√	6.2.3.2	7.1.3.2

表 3 气瓶出厂检验及型式试验（续）

序号	检验项目		出厂检验		型式试验	试验方法	合格标准
			逐只检验	批量检验			
20	气瓶	水压爆破试验	-	√	√	6.2.4	7.1.4
21		常温压力循环试验	-	√	√	6.2.5	7.1.5
22		极限环境温度压力循环试验	-	-	√	6.2.6	7.1.6
23		裂纹容限试验	-	-	√	6.2.7	7.1.7
24		钝物冲击试验	-	-	√	6.2.8	7.1.8
25		火烧试验	-	-	√	6.2.9	7.1.9
26		扭矩试验	-	-	√	6.2.10	7.1.10
27		泄漏试验	-	-	√	6.2.11	7.1.11
28		加速应力破裂试验	-	-	√	6.2.12	7.1.12
29		高温蠕变试验	-	-	√	6.2.13	7.1.13
30		常温渗透试验	-	-	√	6.2.14	7.1.14
31		氢气循环试验	-	-	√	6.2.15	7.1.15
注：“√”为需要做试验，“-”为不做试验。							

7.4 新设计

7.4.1 新设计的气瓶要求进行全部的型式试验。如果一个气瓶相对于已认证的设计存在以下改变则被认为是新设计：

(a) 在不同的工厂生产，但工厂搬迁时如果所有材料、设备和制造工艺与原批准设计相同则不认为是新设计；
(b) 与原批准设计的生产工艺有重大改变，所谓重大改变是指内胆和/或成品气瓶的性能发生显著变化，重大改变由监检机构认定；
(c) 相对于原批准设计，公称直径改变超过50%；
(d) 相对于原批准设计，复合材料层有明显不同，如采用不同的树脂系统或者纤维类型；
(e) 相对于原批准设计，试验压力增加超过60%。

7.4.2 气瓶如果出现以下情况之一的，应按新设计处理：

(a) 相对于原批准设计，内胆材料的化学成分组成或者化学成分限制不一样；
(b) 内胆材料性能超出原设计范围。

7.5 设计变更

7.5.1 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 3 的规定完成全部型式试验项目。未列入表 4 的设计变更应视为新设计，需作为设计原型按表 3 的规定进行全部型式试验项目。

7.5.2 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) 金属瓶颈几何形状(含瓶口螺纹形式或尺寸变化)。

7.5.3 除 7.5.2 的规定外，不允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 4 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。

7.5.4 当设计变更项目为新树脂材料、塑料内胆外直径变化、气瓶长度变化或金属瓶颈几何形状变化时应重新进行应力分析。

7.5.5 当气瓶与设计原型相比仅是螺纹改变，则应根据 6.2.10 的要求进行扭矩试验。

7.5.6 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。

7.5.7 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±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%~10%之间。
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 4 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	缠绕层力学性能	缠绕层外观	水压试验	水压爆破试验	常温压力循环试验	极限环境温度压力循环试验	裂纹容限试验	钝物冲击试验	火烧试验	扭矩试验	泄漏试验	加速应力破裂试验	高温蠕变试验	常温渗透试验	氢气循环试验
新设计		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
等效内胆		√	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
等效纤维		-	√	√	√	√	-	-	-	√	-	-	-	√	-	-	-
等效基体		-	√	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
气瓶公称直径	≤20%	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	＞20% ≤50%	-	-	-	√	√	√	-	-	√[b]	√	-	-	√	-	√	-
水压试验压力	≤20%	-	-	-	√[a]	√[a]	√[a]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	＞20% ≤50%	-	-	-	√	√	√	-	√	√	√	-	-	√	-	√	-
最小内胆厚度	＞105%	√	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-

表 4 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	缠绕层力学性能	缠绕层外观	水压试验	水压爆破试验	常温压力循环试验	极限环境温度压力循环试验	裂纹容限试验	钝物冲击试验	火烧试验	扭矩试验	泄漏试验	加速应力破裂试验	高温蠕变试验	常温渗透试验	氢气循环试验
玻璃纤维保护层	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
金属瓶颈	-	-	-	√	√	√	√	-	-	-	√	√	√	-	√	-
注：“√”为需要做试验，“-”为不做试验。																
[a] 该试验适用于内壁厚减少 20%或更多的缠绕气瓶。 [b] 该试验仅适用于减少直径条件。																

8 安装和防护

8.1 气瓶制造单位应规定瓶阀型号、规格及其安装力矩，必要时提供瓶阀装拆专用工具，以防止瓶阀装拆不当损坏瓶口或瓶阀。

8.2 气瓶固定在长管拖车、集装管束或管束集装箱上，其侧面和底部应设置钢质防火隔离板，以保证气瓶在火灾状况下具有充分的安全性能。防火隔离板的设置应符合下列规定：

a) 应有足够的强度、刚度和韧性，牢固可靠；
b) 在不低于 590 ℃时不变形；
c) 厚度应不小于 1.0 mm；
d) 拼接处不应留有缝隙；
e) 防火隔离板与气瓶之间的距离应保证不会对气瓶产生任何影响；
f) 侧面防火隔离板一般为封闭结构。当需开口或开孔时，其开口或开孔位置应考虑气体扩散、散热及火灾等影响；
g) 底部防火隔离板除排水孔外，不应有其他开口或开孔，且排水孔应远离半挂车轮胎部位。

8.3 管束式集装箱、集装管束及长管拖的制造单位应设置固定支架等措施，防止气瓶在运输和使用过程中松动，并对气瓶、瓶口组合阀及其连接件进行防冲击保护，不得采用捆绑结构，避免气瓶纤维缠绕层接触磨损。充装端瓶口与框架应固定连接，并设置防转动机构，避免与瓶口相连的管路松动；非充装端瓶口与框架应采用柔性连接，并设置柔性限位机构（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。

8.4 管束式集装箱、集装管束及长管拖车的制造单位在气瓶上设置保护装置时，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。

8.5 管束式集装箱、集装管束及长管拖车结构设计时应采用强度足够的护板等方式进行防护，避免气瓶、瓶口组合阀及其连接件受到来自路面等方向飞溅硬物（如石块等）的撞击。

9 标志、包装、运输和储存

9.1 标志

9.1.1 应对每只气瓶作清晰的永久性的标记，字高不小于 8 ㎜，标记应植入树脂层内。

9.1.2 标记项目应包含以下内容：

a) 制造单位名称或代号；
b) 制造单位许可证编号；
c) 气瓶编号；
d) 本文件编号；
e) 气瓶型号；
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) 公称水容积，L；
j) 气瓶重量，kg；
k) 设计循环次数，次；
l) 气瓶设计使用年限，年；
m) 气瓶的制造年月；
n) 监督检验标志。

9.2 电子标签

气瓶树脂层应植入二维码或射频标签等可追溯的永久性电子标签，电子标签内容应包括以下内容：

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。

9.3 包装

9.3.1 气瓶不带瓶阀出厂时，瓶口应采取可靠措施加以密封，防止沾污。

9.3.2 气瓶应妥善包装，防止运输时损伤。

9.3.3 包装运输标志应符合 GB/T 191 的有关规定。

9.4 运输

9.4.1 气瓶的运输应符合运输部门的有关规定。

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

9.5 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。

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 出厂的每只气瓶应附有产品合格证，且应向用户提供产品使用说明书。

10.1.2 产品合格证应包含以下内容：

a) 制造单位名称或代号；
b) 制造单位许可证编号；
c) 气瓶型号；
d) 气瓶编号；
e) 本文件编号；
f) 实测水容积，L；
g) 实测空瓶重量，kg；
h) 充装介质或化学分子式；

i) 公称工作压力，MPa；
j) 水压试验压力，MPa；
k) 制造年月；
l) 设计循环次数，次；
m) 设计使用年限，年；
n) 监督检验标记；
o) 内胆材料牌号；
p) 出厂检验标记；
q) 纤维材料牌号；
r) 树脂材料牌号；
s) 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，应包括本文件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），保存时间不少于气瓶的设计使用年限。

附 录 A
（规范性）
气瓶用 O 形密封圈性能评定方法

A.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。

A.2 材料

A.2.1 拉伸试验

A.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。

A.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。

A.2.2 温度回缩试验

A.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。

A.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 ℃，测定试样回缩率为 10%时的温度。

A.3 O 形密封圈

A.3.1 外观

A.3.1.1 合格指标

外观质量应满足设计文件的要求。

A.3.1.2 试验方法

按 GB/T 3452.2 的规定进行检查。

A.3.2 尺寸

A.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。

A.3.2.2 试验方法

按 GB/T 2941-2006 规定的方法 D 进行测量。

A.3.3 硬度

A.3.3.1 合格指标

硬度应满足设计文件的要求，

A.3.3.2 试验方法

按 GB/T 6031 的规定进行试验。

A.3.4 拉伸试验

A.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

A.3.4.2 试验方法

按 GB/T 5720 的规定进行试验。

A.3.5 压缩永久变形

A.3.5.1 合格指标

压缩永久变形率应满足设计文件的要求，

A.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。

A.3.6 硬度变化试验

A.3.6.1 合格指标

硬度变化应满足设计文件的要求。

A.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。

A.3.7 氢气损伤试验

A.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%。

A.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 45s 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 B
（规范性）
层间剪切试验方法

B.1 概述

本附录规定了缠绕层的层间剪切试验方法。

B.2 符号

下列符号适用于本附录.

b 试样宽度，mm；

F_{sbs} 层间剪切强度，MPa；

h 试样厚度，mm;

n 试样数量，个；

P_m 试验过程中最大载荷，N；

$\overline{X}$ 层间剪切强度的算术平均值，MPa；

X_i 每个试样的性能值，MPa。

B.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。

B.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。

B.5 取样和试样制作

B.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、碾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。

B.5.2 试样尺寸

剪切试样尺寸如图 B.1 所示。

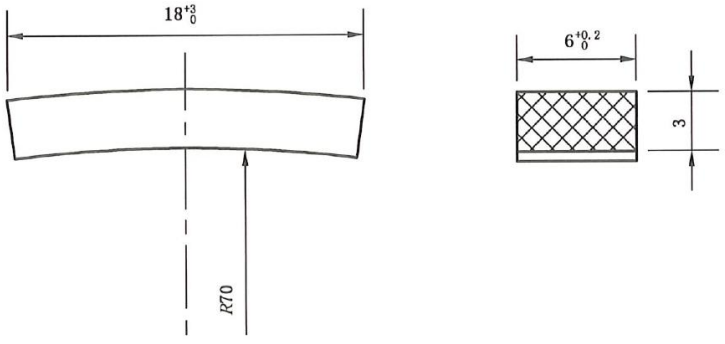


图 B.1 试样尺寸

B.6 仪器设备

B.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±1%。

B.6.2 加载工装

加载头和支座分别为直径（6±0.5）mm 和（3±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。

B.6.3 尺寸测量仪

千分尺或卡尺，分度值为试样尺寸的 1%。

B.7 试验步骤

B.7.1 环境条件

试验环境的温度为（23±3）℃，相对湿度为（50±10）%。

B.7.2 试验速度

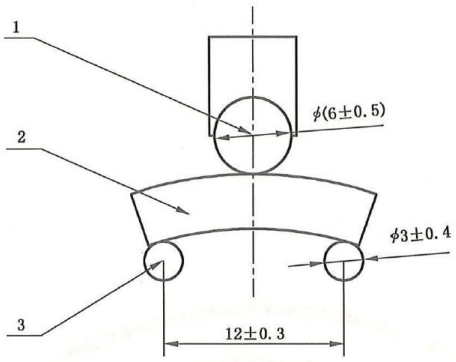
试验速度为 1 mm/min。

B.7.3 试验尺寸测量

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。

B.7.4 试样安装

将试样放入加载工装中，如图 B.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±0.3）mm。



标引序号说明：

1—加载头；

2—试样；

3—支座。

图 B.2 试样安装示意图

B.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。

B.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。

B.7.7 破坏模式

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

a) 内部破坏　　b) 边缘破坏

图 B. 3 试样层间剪切破坏模式示意图

B.8 计算结果与表示

按公式（B.1）计算单个试样的层间剪切强度：

$$F_{sbs} = 0.75P_m/(bh) \quad \text{……（B.1）}$$

按公式（B.2）计算层间剪切强度算术平均值：

$$\overline{X} = (\sum_{i-1}^{n} X_i)/n \quad \text{……（B.2）}$$

B.9 试验报告

试验报告应包括以下信息：

a) 注明引用本附录；

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 C
（资料性）
直螺纹剪切应力安全系数的计算方法

C.1 概述

本附录提供了一种直螺纹的剪切应力及其安全系数的计算方法。

C.2 螺纹剪切应力的计算

内螺纹剪切应力τ_n和内螺纹剪切应力τ_w计算公式分别如下：

$$\tau_n = \frac{F_w}{zA_n} \quad \text{……(A.1)}$$

$$\tau_w = \frac{F_w}{zA_w} \quad \text{……(A.2)}$$

在水压试验压力下，螺纹最大轴向外载荷F_w：

$$F_w = P_h A_1 \quad \text{……(A.3)}$$

单个内螺纹牙受剪面积A_n和单个内螺纹牙受剪面积A_w计算公式分别如下：

$$A_n = \pi d_{\min}\left[\frac{P}{2} + \tan\frac{\alpha}{2}\left(d_{\min} - D_{2\max}\right)\right] \quad \text{……(A.4)}$$

$$A_w = \pi D_{1\max}\left[\frac{P}{2} + \tan\frac{\alpha}{2}\left(d_{2\min} - D_{1\max}\right)\right] \quad \text{……(A.5)}$$

C.3 螺纹剪切应力安全系数的计算

螺纹剪切应力安全系数即材料剪切强度与螺纹剪切应力的比值。材料剪切强度通常取材料抗拉强度的0.6倍。

内螺纹剪切应力安全系数K_n和外螺纹剪切应力安全系数K_w计算公式分别如下：

$$K_n = \frac{\tau_{nm}}{\tau_n} \quad \text{……(A.6)}$$

$$K_w = \frac{\tau_{wm}}{\tau_w} \quad \text{……(A.7)}$$

参考文献

[1] TSG 23-2021 气瓶安全技术规程
[2] GB/T 13005-2011 气瓶术语
[3] ISO 11515-2022 气瓶——水容积从450L到3000L可重复充装复合材料长管气瓶的设计、制造和试验
[4] GB/T 35544-2017 压缩氢气铝内胆碳纤维全气瓶
[5] GB/T 33145-2023 大容积积钢质无缝气瓶
[6] GB/T 15384-2011 气瓶型号命名方法
[7] GB/T 232-2024 金属材料弯曲试验方法
[8] GB/T 231.1-2018 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
[9] GB/T 4340.1-2024 金属材料洛氏硬度试验第1部分：试验方法
[10] GB/T 1458-2023 纤维缠绕增强塑料环形试样力学性能试验方法
[11] GB/T 3452.2-2007 液压气动用O形橡胶密封圈 第2部分:外观质量检验规范
[12] GB/T 3512-2014 硫化橡胶或热塑性橡胶热空气加速老化和耐热试验
[13] GB/T 6031-2017 硫化橡胶或热塑性橡胶硬度的测定
[14] GB/T 7690.1-2013 增强材料 纱线试验方法 第1部分：线密度的测定
[15] GB/T 7758-2020 硫化橡胶低温性能的测定温度回缩法(TR试验)
[16] 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
[17] GB/T 8337-2011 气瓶用易熔合金塞装置
[18] GB/T 16918-2017 气瓶用爆破片安全装置
[19] GB/T 21060-2007 塑料 流动性的测定
[20] 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
[21] GB/T 5210-2006 色漆和清漆 拉开法附着力试验
[22] GB/T 26749-2022 碳纤维浸胶纱拉伸性能的测定
[23] GB/T 30019-2013 碳纤维密度的测定
[24] NB/T 47013.8-2015 承压设备无损检测 第8部分 泄漏检测
[25] T/CATSI 02010-2022 气瓶气密性氦泄漏检测方法