

T/CATSI 02 00×—201×
集装用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶
编制说明

标准编写组

2021年7月

一、工作简要过程

目前国际上涉氢气瓶原则上要与联合国 GTR 和 ISO19881 的相关要求一致，但对运输压缩氢气用的瓶组式集装箱并没有专门的标准。由于国内目前没有采用车载集装箱给加氢站运输氢气的经验和标准，为提高氢气运输效率并保证氢气运输的安全性，拟引进转化美国 AP 公司的压缩氢气车载集装箱技术并制定本标准。AP 公司的压缩氢气车载集装箱采用铝内胆碳纤维全缠绕气瓶，设计、制造符合美国 DOT 特许令，同时符合 ISO11119-2。但这两个标准都不是专门针对车载储氢气瓶的标准，因此对高压氢气运输的特殊性关注不够。考虑到 GB/T35544《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》是专门用于铝内胆碳纤维全缠绕储氢气瓶的标准，使用条件与压缩氢气集装用铝内胆碳纤维全缠绕气瓶相近，本标准整体架构参照 GB/T35544《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》，并参考 ISO11119-2-2020<Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and tubes—Part 2: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l with load-sharing metal liners>规定了型式试验部分的主要内容。

本标准的编写格式参照 GB/T35544。

二、本标准的条款说明

（一）关于适用范围

本标准针对用于设计、制造集装用铝内胆碳纤维全缠绕气瓶(以下简称气瓶)，对气瓶的型式和参数、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和储存等提出了要求。

按照集装箱的特定用途，这种气瓶仅适用于公称工作压力不超过52MPa、公称水容积不小于150L且不大于450L、工作温度-40℃~85℃。

（二）关于技术要求

1、公称水容积

参照 GB/T35544，规定气瓶的公称水容积不大于450L。

2、设计循环次数

根据压缩氢气集装箱的使用条件，按每天2.5次充装，15年设计使用年限内充装次数约14000次，因此规定气瓶的设计循环次数 N 为15000次。

3、温度范围

根据使用条件，在充装和使用过程中，气瓶的温度应不低于-40℃且不高于85℃，与GB/T35544的规定一致。

5、工作环境

考虑到车载集装箱的应用场景，对所用气瓶的环境要求与物流车、重卡等类似，采用GB/T35544的规定。

（三）关于材料

参照 GB/T35544，制造气瓶的内胆材料采用 6061 铝合金，树脂、纤维材料的技术要求也应符合 GB/T35544。

（四）关于设计

1、对内胆结构及瓶口螺纹的要求与 GB/T35544 一致。

2、由于该种气瓶的设计原型参考了 SCI 的同类产品（得到 DOT 特许令 DOT-SP 14576 REV. 9th 批准），为达到与 SCI 的同类产品相近的安全性，本标准采用了 SCI 气瓶的参数，规定纤维应力比应不低于 3.4。气瓶最小爆破压力应不低于 3.4 倍公称工作压力。与 ISO11119-2 相比纤维应力比和爆破压力比略有提高。

3、气瓶外表面可以采用玻璃纤维保护层进行防护。考虑到车载集装箱的特殊性，气瓶成品外表面覆盖白色的聚氨酯漆涂层，用于防止紫外线。

4、气瓶的力学分析采用的方法与GB/T35544一致。

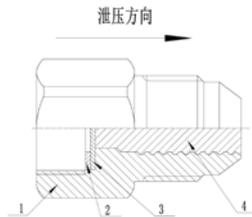
（五）关于制造

气瓶制造的要求与 GB/T35544 相同。

（六）关于附件

美国AP公司集装箱气瓶采用了TESCOM气动阀及SHERWOOD的PRD，鉴于此种气动阀及PRD在美

国有使用案例和成熟的设计和制造技术及经验，本标准采用了相同结构的气动阀及PRD，一端设置带安全泄压装置的气动截止阀，气动阀为常闭阀。另一端设置带安全泄压装置的端塞。安全泄压装置的形式为爆破片和易熔合金塞串联组合式结构,如下图。爆破片采用铜合金制造，平板结构。



SHERWOOD的PRD所用易熔合金塞动作温度为100℃，为保证易熔合金塞在使用过程中的稳定性，规定易熔合金塞装置应采用防挤出结构，经对PRD组合装置进行液压爆破试验，压力达228MPa 仍未爆破，在使用条件下有足够的裕度。

大连锅检院及大连理工度达安全装备厂对美国AP公司集装箱气瓶采用的TESCOM气动阀及SHERWOOD的PRD进行了的验证试验，结果如下：

1、SherwoodPRD 的测试结果

PRD 组合装置爆破片液压爆破试验---100℃

验证值 52*1.2=62 .4MPa @100℃	PRD 编号	1	2	3	4	5	6	7	8
	爆破温度, °C	97.3	106.5	108.1	109.3	104.1	104.0	104.1	104.1
	爆破压力, MPa	62	63.2	62.28	61.15	61.1	61.7	61.2	61.5
	允差	+0 -10%	62.4MPa ~ 56.16MPa						

PRD 组合装置爆破片液压爆破试验---150℃

验证值 52*1.15=5 9.7MPa @150℃	PRD 编号	1	2	3	4	5	6	7	8
	爆破温度, °C	150	153.8	151	149	149.2	149.2	149.1	149.3
	爆破压力, MPa	58	57.8	58	59.7	58.8	58.1	57.7	57.2
	允差	+0 -10%	59.7MPa ~ 53.73MPa						

爆破片气压爆破试验---20~70℃

爆破片设计爆破压力(产品验收值) 68.95MPa @70℃	PRD 编号	1*	2	3	4	5	6		
	爆破温度, °C	20.4	69.5	69.3					
	爆破压力, MPa	68.37	69.9	67.3					
	允差	+0 -10%	68.95MPa ~ 62MPa						

*液压, 气压爆破试验正在准备中

PRD 组合装置液压爆破试验

PRD 组合装置液压爆破试验	PRD 编号	1	2	3					
	爆破温度, °C	20	60	65					
	爆破压力, MPa	228	228	228					
	注: 压力达 228MPa 未爆, 停止试验。								

根据对美国AP公司集装箱气瓶采用的TESCOM气动阀及SHERWOOD的PRD所进行的验证试验, 确定20℃下爆破片设计爆破压力为68.95MPa, 爆破片的验收值允许偏差为+0/-10%。150℃下的PRD组合装置爆破片爆破压力验证值应为1.15倍公称工作压力 P , 允许偏差为+0/-10%; 100℃下的PRD组合装置爆破片爆破压力验证值应为1.2倍公称工作压力 P , 允许偏差为+0/-10%。瓶阀上安全泄压装置的安全泄放量及泄放口径按GB/T33215进行设计计算, 并保证缠绕气瓶在6.2.12所规定的火烧试验条件中安全泄压。

(七) 关于试验方法和合格指标

本标准对气瓶型式试验项目的要求以ISO11119-2为主, 兼顾GB/T35544。

- 1、材料、缠绕层和内胆的常规试验与 GB/T35544 一致。
- 2、为了实现技术引进的目的, 参考美国 AP 公司压缩氢气集装箱所用气瓶, 本标准规定气瓶的型式试验原则上以 ISO11119-2 为主, 兼顾 GB/T35544 的要求, 按 GB/T35544 以及 SCI 产品的实际情况, 增加了 ISO11119 没有的项目, 具体说明如下:

(1) 水压试验

按GB/T 9251规定的外测法进行水压试验，试验压力 P_h 为 $1.5P$ 。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%。

(2) 气密性试验

相比ISO11119-2，本标准参考GTR和ISO19881,提高了气密性试验的要求，规定逐只按T/CATSI 02 010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。氢气泄漏率不应大于 $6 \text{ NmL}/(\text{h}\cdot\text{L})$ 。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。

(3) 水压爆破试验

与GB/T35544一致。

(4) 常温压力循环试验

根据气瓶的使用条件，参考 GB/T35544 和 ISO11119-2，要求在循环压力下限为 $(2\pm 1) \text{ MPa}$ ，上限不低于 1.25 倍公称工作压力时，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。

(5) 环境温度压力循环试验

根据 ISO11119-2，将试验参数确定为温度不低于 85°C ，相对湿度 95% 以上的环境中从 $(2\pm 1) \text{ MPa}$ 至公称工作压力进行压力循环 5000 次，在在气瓶表面温度 $-50^\circ\text{C}\sim -60^\circ\text{C}$ 之间，从 $(2\pm 1) \text{ MPa}$ 到公称工作压力进行压力循环 5000 次，完成上述试验后，按照 6.2.5 进行水压爆破试验。

规定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) 热循环试验

根据SCI产品增加此项试验，将气瓶在常温下从接近零压力到公称工作压力进行压力循环10000次；然后在 93.3°C 和 -52°C 温度下进行热循环试验至少各20次，完成上述试验后，按6.2.5进行水压爆破试验。

要求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3倍公称工作压力）。

ISO11119-2没有此项试验。

(7) 裂纹容限试验

根据 ISO11119-2, 按图 2 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。

要求进行水压爆破试验的气瓶剩余爆破压力不低于 1.33 倍 P_n ; 进行疲劳试验的气瓶在公称工作压力 P 下进行至少 5000 次压力循环不得爆破或泄漏。如果气瓶在进行 5000 次压力循环后未失效, 则停止试验。

(8) 跌落试验

考虑到车载集装箱储氢气瓶的运行工况与车用燃料箱用储氢气瓶的工况相似, 跌落试验采用 GB/T35544 的规定。

该试验参数能够覆盖ISO11119-2的要求。

(9) 枪击试验

按 GB/T35544 进行枪击试验。试验后的气瓶不应爆破。该试验要求与 ISO11119-2 的规定略有不同。

(10) 火烧试验

考虑到车载集装箱储氢气瓶的运行工况与车用燃料箱用储氢气瓶的工况相似, 火烧试验采用 GB/T35544的规定。该试验要求与ISO11119-2的规定略有不同。

(11) 环境试验

ISO11119-2 采用盐水浸没试验，考虑到车载集装箱储氢气瓶的运行工况与车用燃料箱用储氢气瓶的工况相似，环境试验采用 GB/T35544 的规定。

(12) 加速应力破裂试验

按GB/T35544的规定先在温度不低于85℃的环境中，将气瓶加水压至1.25倍公称工作压力 P ，并在此温度和压力下静置1000 h，再按6.2.5.1的规定进行水压爆破试验。爆破压力不得低于1.8倍公称工作压力 P 。

ISO11119-2对碳纤维不要求此项试验。

(13) 氢气循环试验

考虑到车载集装箱储氢气瓶的运行工况与车用燃料箱用储氢气瓶的工况相似，氢气循环试验采用 GB/T35544 的规定。ISO11119-2 没有此项试验。

(八) 检验规则

- 1、逐只检验和批量检验按 GB/T35544 的要求。
- 2、新设计的气瓶应按表 6 规定的项目进行型式试验。
- 3、设计变更按表 7 规定的项目进行型式试验。表 7 参考了 GB/T35544 和 T CATSI 02 007—2020《车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶》表 6 的规定。

ISO11119-2、GB/T35544型式试验要求对照表

对比内容		ISO11119-2	GB/T35544	本标准
铝 内 胆	壁厚	√	√	√
	制造公差	√	√	√
	内外表面	√	√	√
	瓶口螺纹	√	√	√
	拉伸试验	√	√	√
	金相试验		√	√
	冷弯试验或压扁试验 ^a	√	√	√
	硬度试验		√	√
	无损检测 ^b		√	√

	内胆爆破	√		与 GB/T35544 同, 不要求
气瓶	缠绕层层间剪切试验	√	√	√
	缠绕层拉伸试验	√	√	√
	缠绕层外观	√	√	√
	水压试验	Ph 下, 30s	Ph 下, 30s	Ph 下, 30s
	气密性试验	—	√	√
	水压爆破试验	碳纤 3P;	实测爆破压力应在 (0.9~1.1)Pb0 内, 且大于或者等于 Pbmin=2.25P	3 只, Pba≥3.4P
	常温压力循环试验	当 Ph≥6MPa: min(10%Ph, 3MPa)~Ph-1.5P, 设计年限 *500 次, 介质温升压力明确时可按 1.25 温升压力。	2~1.25P, 11000 次	2 只, 2~1.25P, 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。
	环境温度压力循环试验	60℃~70℃、90%: 10%P~P, 5000 次; -50℃~-60℃: 10%P~P, 5000 次; Pb≥2.55P	85℃、95%: 2~1.25P, 4000 次; -40℃: 2~0.8P, 4000 次; 爆破, Pba≥1.8P	1 只, 85℃、95%: 2~P, 5000 次; -50℃~-60℃: 2~P, 5000 次; Pb≥2.55P
	裂纹容限试验	1 只爆破, Pb≥1.33Ph; 另 1 只疲劳, 10%Ph, 3MPa)~P, 5000 次内不得泄漏或爆破	2~1.25P, 11000(A) /7500 (B) 次, 3000 次后可以泄漏	1 只爆破, Pb≥1.33Ph; 另 1 只疲劳, (10%Ph, 3MPa)~P, 5000 次内不得泄漏或爆破
跌落试验	V>50L, 仅 1 只疲劳, 0~P, 12000 次, 3000 次后可泄漏失效	水平、竖直、45 度跌落, 疲劳 15000 次, 2~1.25P, 3000 次内不得泄漏或爆破	3 只, 水平、竖直、45 度跌落, 疲劳 15000 次, 2~1.25P, 3000 次内不得泄漏或爆破	

(九) 包装、 储存、 格证和 验质量 按	枪击试验	当直径 > 120mm, 7.62mm; 当直径 ≤ 120mm, 5.6mm, 45度	7.62mm 90度	1只 7.62mm 90度	标志、 运输和 产品合 批量检 证明书
	火烧试验	2只气瓶, 1只水平、1只竖直, 2min内不爆破, 泄放通过安全泄放装置, 或通过瓶壁或其他表面泄漏	局部+整体	1只局部+整体	
	环境试验	盐水浸没试验	摆锤冲击、液体腐蚀, 2~1.25P, 3000次, 爆破, Pba ≥ 1.8P	1只摆锤冲击、液体腐蚀, 2~1.25P, 3000次, 爆破, Pba ≥ 1.8P	
	加速应力破裂试验	—	85℃, 1.25P下, 1000h, 爆破, Pb ≥ 1.8P;	1只 85℃, 1.25P下, 1000h, 爆破, Pb ≥ 1.8P;	
	氢气循环试验	—	氢气介质, 2~1.25P, 1000次 (500次/组)	1只氢气介质, 2~1.25P, 1000次 (500次/组)	
	热循环试验(参考 SCI)	—	—	2只, 疲劳, 0~P, 10000次, 93.3℃, 10min, -51.6℃, 10min, 20次, 爆破压力 ≥ 3P	

GB/T35544 的要求。

(十) 附录 A 内胆最大允许缺陷尺寸确定方法按 GB/T35544 的要求。

附录 B 参考了 GB/T35544 的附录要求, 针对气动/手动截止阀和爆破片/易熔合金组合安全泄压装置的特殊性, 对型式试验方法与合格指标做了规定。

气动/手动截止阀和爆破片/易熔合金组合安全泄压装置型式试验方法编制主要依据 GB/T35544-2017 附录 B 《温度驱动安全泄压装置和阀门型式试验方法与合格指标》、ISO15500-13 《Road vehicles — Compressed natural gas (CNG) fuel system components — Pressure relief device (PRD)》和 EN

ISO 10297:2014(E) 《Gas cylinders - Cylinder valves - Specification and type testing》

集装用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶的瓶口阀由气动/手动截止阀和爆破片/易熔合金组合安全泄压装置组成。集装用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶使用环境为车载移动使用。使用流程为：场内充气-移动至需要加气的设备旁-将气瓶内气体泄至设备内-返回场内充气。集装用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶设计循环次数为 15000 次。集装用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶的瓶口阀使用模式类似车用氢瓶的瓶口阀，所以本标准编制项目主要参考 GB/T35544-2017 附录 B，在此基础上根据使用环境以及瓶阀自身结构的特殊性进行局部修改。

本标准确定的瓶阀型式试验项目包括PRD、气动/手动截止阀以及非金属橡胶密封件试验，详见下表。

型式试验项目一览表

对象	试验项目	试验方法及合格指标
PRD	氢循环试验	B.3.1.1
	加速寿命试验	B.3.1.2
	温度循环试验	B.3.1.3
	耐盐雾腐蚀性试验	B.3.1.4
	耐冷凝腐蚀性试验	B.3.1.5
	跌落试验	B.3.1.6
	耐振性试验	B.3.1.7
	泄漏试验 ^a	B.3.1.8
	耐压性试验 ^a	B.3.2.9
	应力腐蚀开裂试验	B.3.1.10
	动作试验	B.3.1.11
	流量试验	B.3.1.12
气动/手动截止阀	耐压性试验 ^b	B.3.2.1
	泄漏试验 ^b	B.3.2.2
	极限温度压力循环试验	B.3.2.3
	耐盐雾腐蚀性试验	B.3.2.4
	耐冷凝腐蚀性试验	B.3.2.5
	耐振性试验	B.3.2.6
非金属橡胶密封件	应力腐蚀开裂试验	B.3.2.7
	耐氧化性试验	B.3.3.1
	臭氧相容性试验	B.3.3.2
	氢气相容性试验	B.3.3.3
a 当 PRD 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 当气动氢阀仅是外形尺寸，进气口、出气口和其他外接口的连方式及规格尺寸发生变更时，应进行该试验。		

本标准确定的瓶阀型式试验项目除下面所列项目之外，其他项目与 GB/T35544-2017 附录 B 相同。

下面所列项目的修改说明：

1、B.3.1.1 氢循环试验

修改内容：将循环次数由 11000 改为 15000，并且将试验循环次数按比例调整；将 85℃ 的 5 次循环。

修改后表格如下

循环压力	循环次数/次	试验温度℃
$(2 \pm 1)\text{MPa} \sim 1.5P (\pm 1\text{MPa})$	5	≥ 85
$(2 \pm 1)\text{MPa} \sim 1.25P (\pm 1\text{MPa})$	1995	≥ 85
$(2 \pm 1)\text{MPa} \sim 1.25P (\pm 1\text{MPa})$	13000	55 ± 5

理由：集装用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶的设计循环次数 N 为 15000 次；集装用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶的水压试验压力为 $1.5P$ 。

2、B.3.1.2 加速寿命试验

修改内容：试验压力由 $1.25P$ 改为爆破片爆破压力

理由：本标准安全泄放装置为爆破片/易熔合金组合安全泄压装置，不同于温度驱动安全泄压装置

3、B.3.1.6 跌落试验

修改内容：将跌落试验所需 6 个阀门，改为 2 个阀门

理由：GB/T35544-2017 中跌落试验是针对 TPRD 的试验，特别是玻璃泡型式。本标准采用爆破片-易熔合金组合形式，国内 cng 阀门对此种结构并不做跌落试验，跌落对爆破片-易熔合金组合形式基本无影响。所以减少试验数量。

4、B.3.1.11 动作试验

修改内容：试验方法全部替换，修改后内容如下

B.3.1.11.1 试验方法

对 2 个未经试验和 12 个已经完成其他试验项目(包括 B.3.1.1、B.3.1.3、B.3.1.4、B.3.1.5、B.3.1.6 和 B.3.1.7)的 PRD 进行试验，试验要求如下：

- a) 将 PRD 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 PRD 温度稳定；
- b) 加压至 PRD 动作。；
- c) 记录动作压力。

B.3.1.11.2 合格指标

已进行过其他试验的 PRD 的动作压力应在未经试验 PRD 的动作压力的 75%~105%之间。

理由：GB/T35544-2017 附录 B 的动作试验针对的是温度驱动安全泄压装置，爆破片/易熔合金组合安全泄压装置的动作试验参照 ISO 15500-13:2012(E)中 6.7.3 Series-combination relief devices 的动作试验

5、B.3.2.3 极限温度压力循环试验

修改内容：试验方法全部替换，修改后内容如下

B.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 B.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 B.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°C 。试验完成后，阀应符合 B.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°C 。试验完成后，阀应符合 B.3.2.2.1c)低温泄漏试验的规定；

B.3.2.3.2 合格指标

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

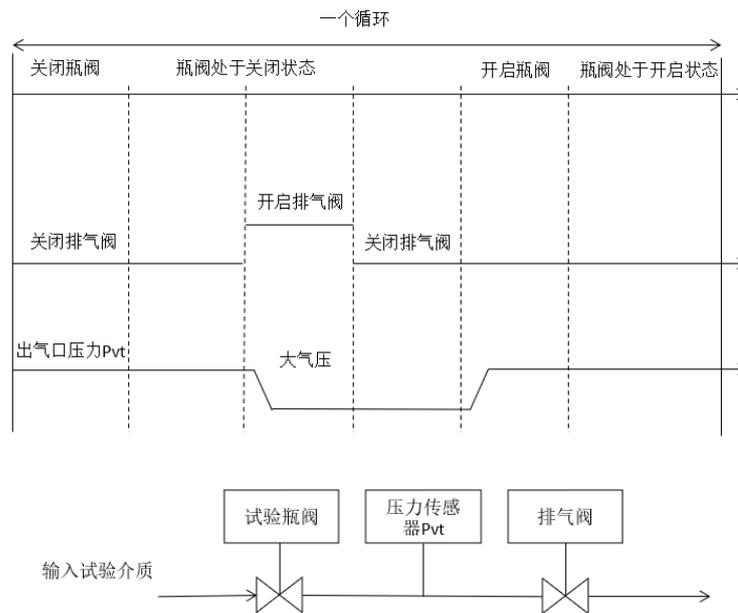


图 B.1 截止阀极限温度压力循环试验流程图

理由：车用氢阀使用中瓶阀进口和出口压力相差较小，开启关闭过程两端压差很小。车载集装用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶的瓶阀是在大压差状态下进行开启的，所以，所以参考标准 ISO 10297:2014(E) 中 6.13 的 Endurance test 对本条试验进行修改