

高压储氢气瓶组合阀门试验 与测试技术

演讲人：




中国特种设备检测研究院

薄柯

2019.5.17

主要内容

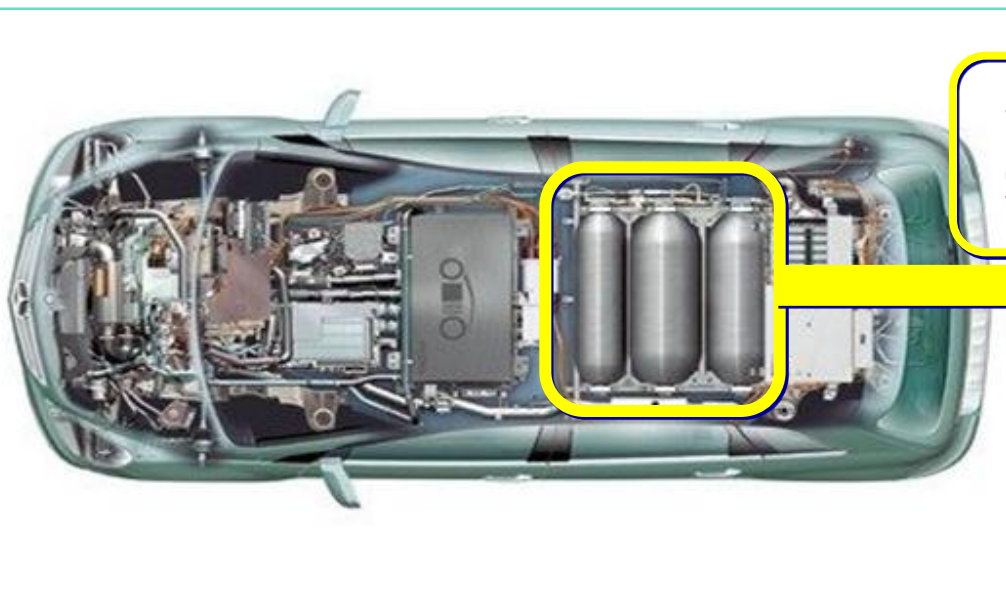


-  1 高压储氢气瓶组合阀门简介
-  2 组合阀门不同受火工况下泄放规律
-  3 组合阀门试验测试方法

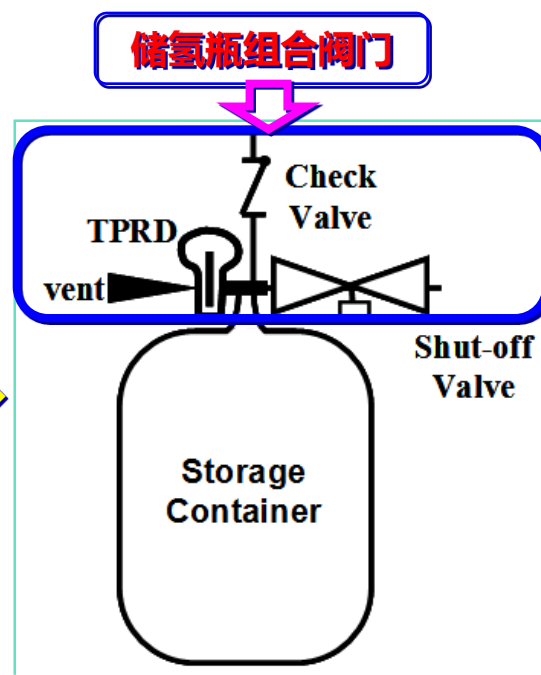
一、高压储氢气瓶组合阀门简介

1. 国内外使用现状

(1) 氢燃料电池汽车快速发展，**安全、高效**的储氢技术和设备成为关注热点。



储氢系统
核心装置



(2) 高压储氢气瓶组合阀门是车载供氢系统的关键部件。

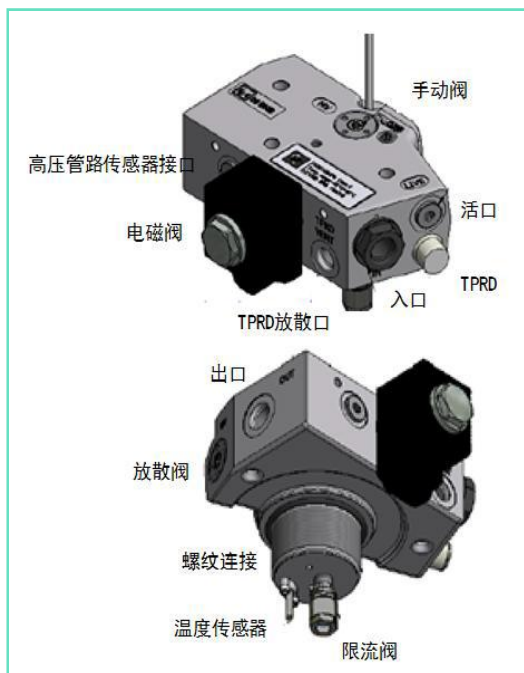
一、高压储氢气瓶组合阀门简介



1. 国内外使用现状

高压储氢气瓶组合阀门是将电磁阀、手动截止阀、TPRD、温度传感器、压力传感器、放散阀、限流阀等组装在一起，构成高集成、紧凑的阀门结构。

o

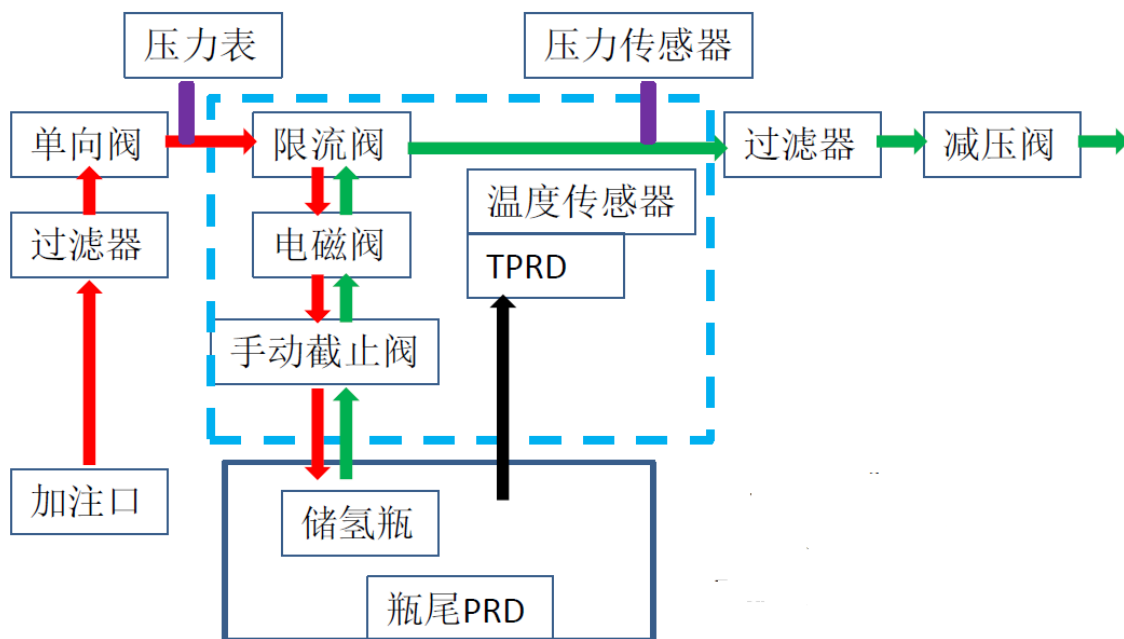


一、高压储氢气瓶组合阀门简介



1. 国内外使用现状

储氢气瓶组合阀门是一个集成产品，主要实现开关气路，过流保护、安全泄放等功能，根据气瓶公称工作压力设定为35MPa或70MPa

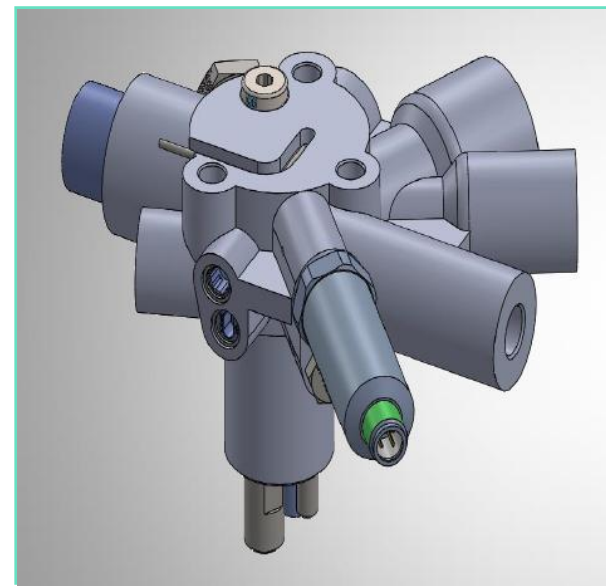


一、高压储氢气瓶组合阀门简介

1. 国内外使用现状

国内氢能汽车上配备的高压储氢气瓶组合阀门多为国外进口，包括GFI, OMB, LUXFER等公司产品。

富瑞、舜华等公司的高压储氢气瓶阀门产品已开展路试测试，目前产品主要为35MPa，尚未开发70MPa的产品。



一、高压储氢气瓶组合阀门简介



2. 相关标准

国际： GTR13、 ECE R134、 EU406

为推动燃料电池商业化，有效协调各国安全技术要求，联合国欧盟经济委员会成立工作组UN/ECE/WP. 29 HFCV-SGS, 起草《氢燃料电池汽车安全全球技术规范》（GTR），规定氢燃料电池汽车的通用要求，及型式试验方法和认证要求。

ECE R134是GTR13在欧洲的落地转换标准。因此ECE R134试验项目和GTR 13内容同完全相同。目前欧洲逐步在用ECE R134替代EU406.

一、高压储氢气瓶组合阀门简介



2. 相关标准

国际标准GTR13、ECE R134、EU406

GTR13和EU406 的主要差异：

- a 试验所用的介质，GTR13用氢气、EU406可以不用氢气；
- b GTR13试验将TPRD和瓶阀分开要求，而EU406整体进行要求；
- c 综合比较两个标准的试验项目，GTR13试验比较全面，EU406标准中较GTR13缺少耐压试验、振动试验、车辆环境试验、流量试验、预冷氢气暴露试验、温度循环试验、电气试验等。



一、高压储氢气瓶组合阀门简介

2. 相关标准

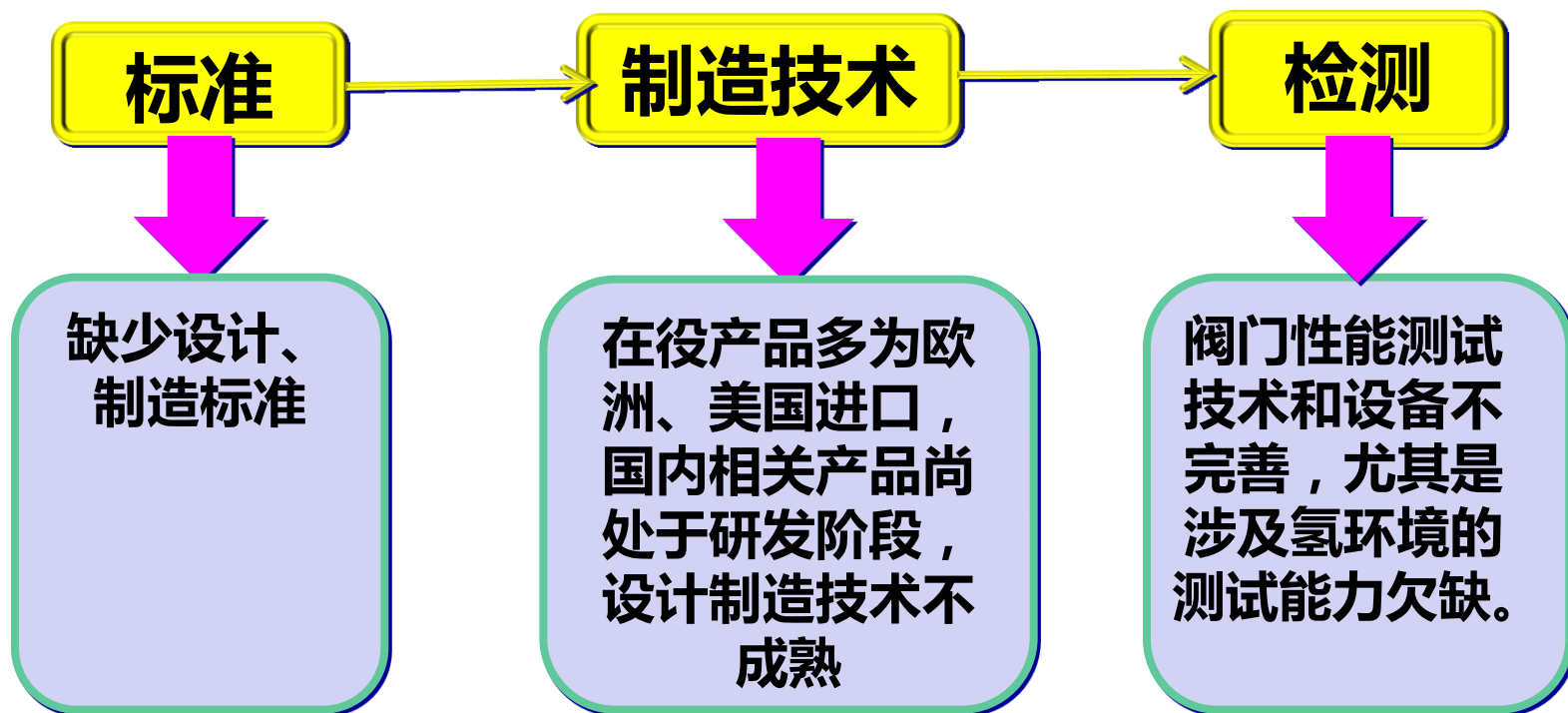
国内标准：空白

国内尚无此类产品的设计、制造相关标准，在GB/T 35544《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》附录B给出了TPRD、单向阀、截止阀等的性能测试方法。

一、高压储氢气瓶组合阀门简介



3. 存在的问题



一、高压储氢气瓶组合阀门简介



3.存在的问题

国家重点研发计划“高压氢气储运装备及安全附件性能测试和质量评价技术研究”（课题编号：2018YFF0215102）

中国特种设备检测研究院负责高压储氢气瓶组合阀门测试系统开发及测试评价技术研究。

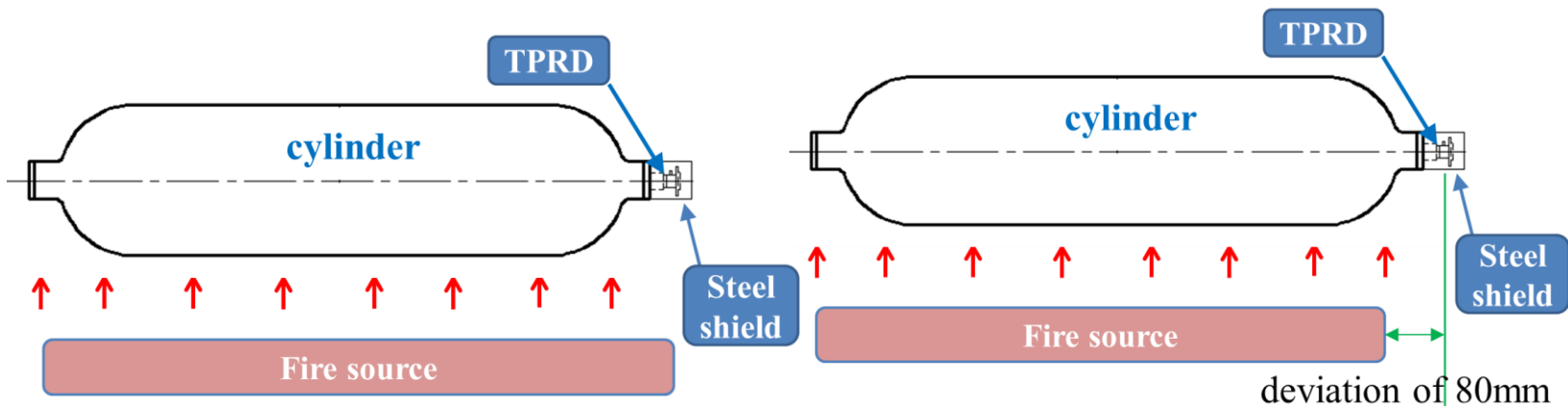
二、组合阀门不同受火工况下泄放规律



温度响应的热敏元件对于组合阀门TPRD的动作至关重要，目前有两种结构，一种是**易熔合金结构**，一种是**玻璃泡结构**。为了比较这两种热敏元件在温度响应方面的差异性，设计**两种火灾场景**，**每种场景都选择两种结构的TPRD进行试验**：

场景1：阀门位于火焰正上方

场景2：阀门不在火焰正上方



二、组合阀门不同受火工况下泄放规律

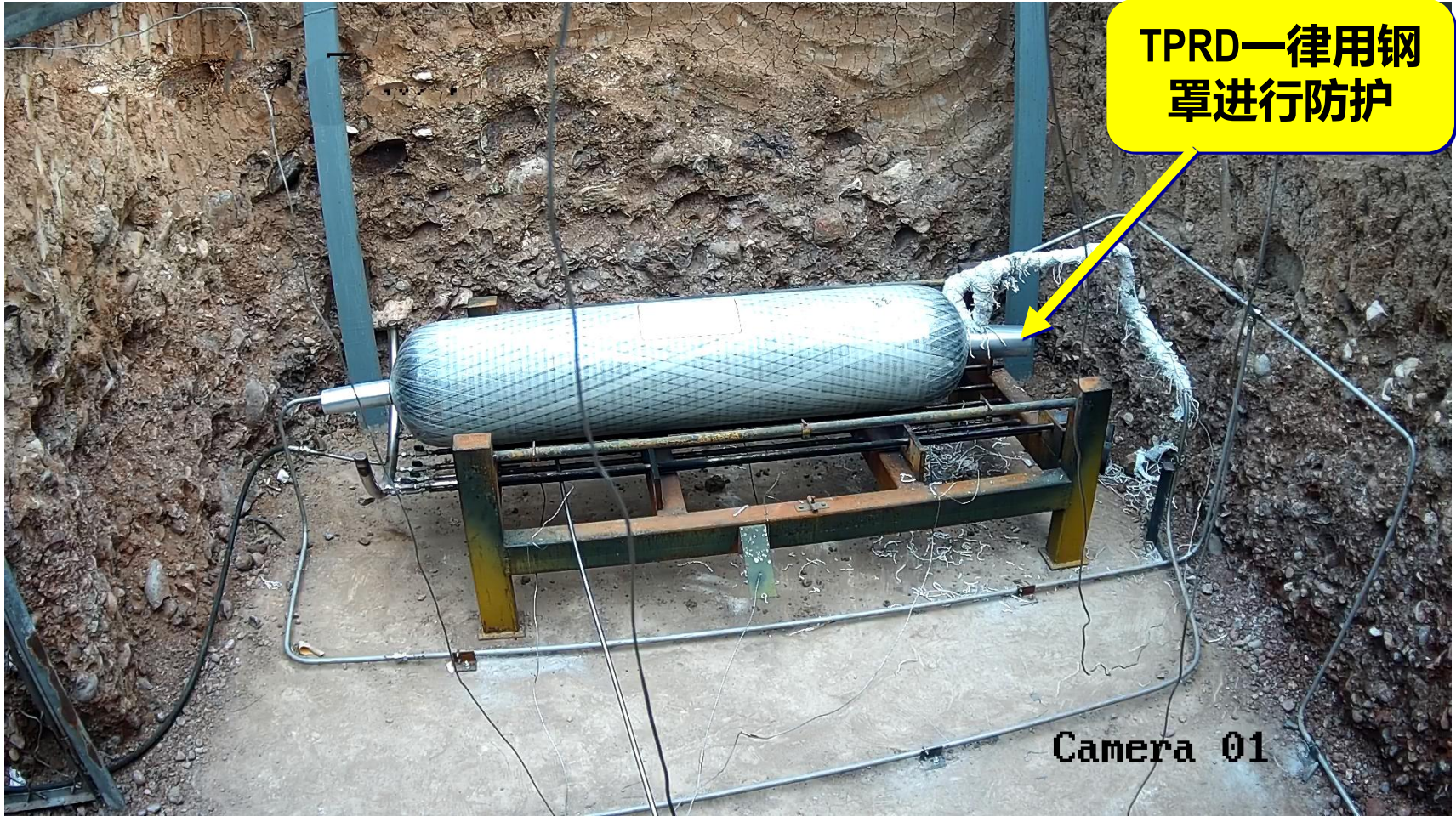


试验准备：

试验用4只规格完全相同的碳纤维铝内胆全缠绕复合气瓶（IV型瓶），公称工作压力35MPa，水容积140L。
试验分组按下表进行。

| 试验场景 | 气瓶编号 | TPRD上的热敏元件 |
|------|------|------------|
| 场景一 | 1# | 玻璃泡 |
| | 2# | 易熔合金 |
| 场景二 | 3# | 玻璃泡 |
| | 4# | 易熔合金 |

二、组合阀门不同受火工况下泄放规律



TPRD一律用钢罩进行防护

Camera 01

二、组合阀门不同受火工况下泄放规律

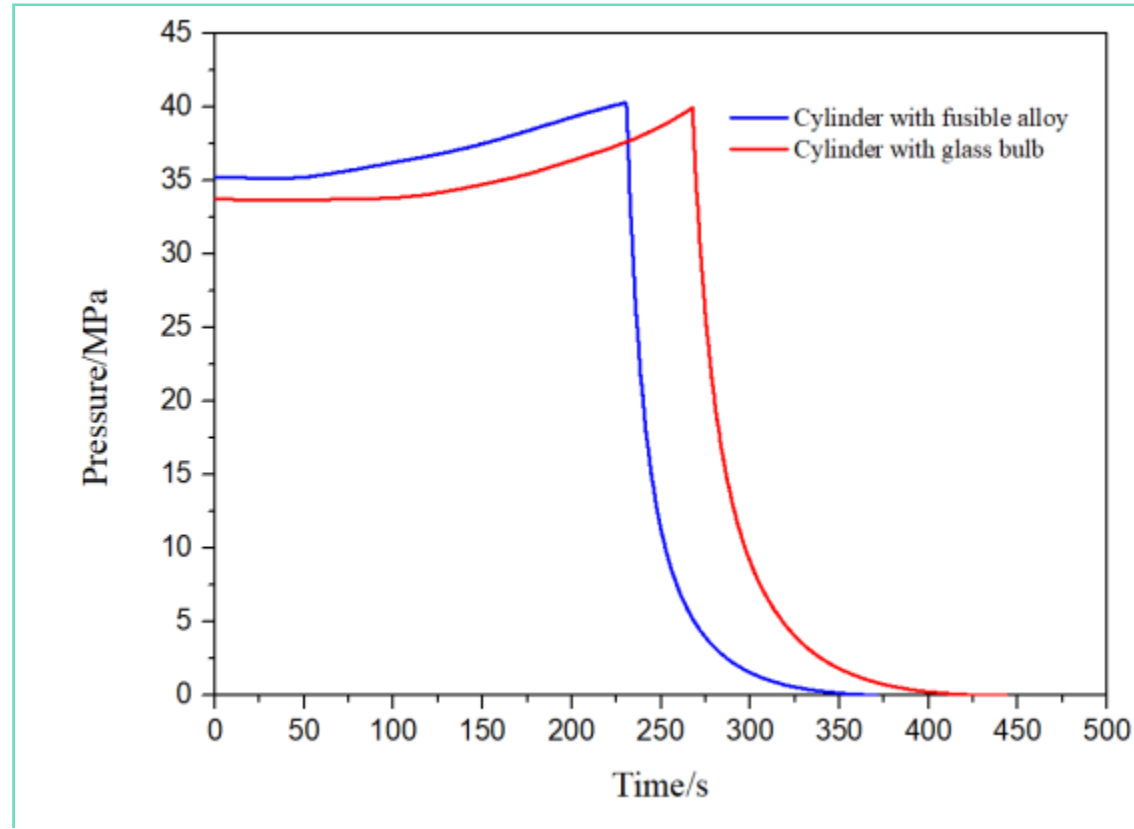


二、组合阀门不同受火工况下泄放规律



试验结果：

在场景一条件下，2只气瓶均实现了安全泄放，从压力变化的曲线中可以看到，泄放压力和泄放时长接近，泄放过程相似。说明在此工况下玻璃泡和易熔合金这两种热敏元件的热响应过程相似。

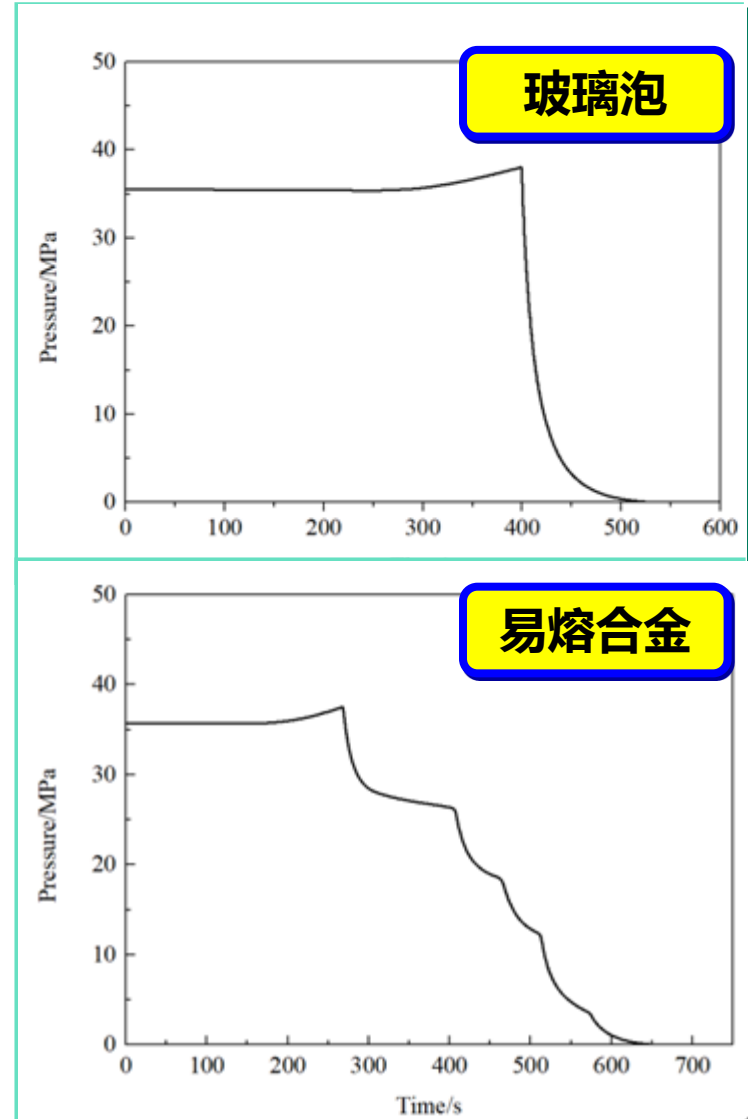


二、组合阀门不同受火工况下泄放规律



试验结果：

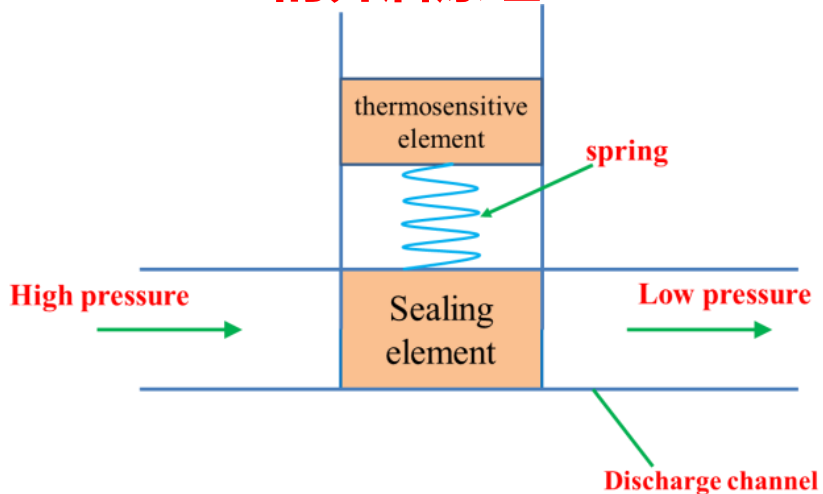
在场景二条件下，2只气瓶虽然实现了安全泄放，从压力变化的曲线中看到泄压阶段压力变化规律差别较大，易熔合金存在不连续泄放现象（阶梯式）。说明在此工况下玻璃泡和易熔合金这两种热敏元件的热响应过程差别较大。



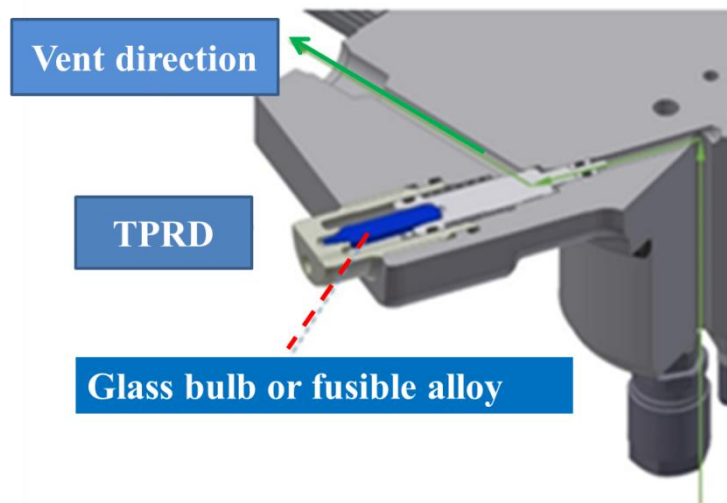
二、组合阀门不同受火工况下泄放规律



TPRD的开启原理：



高压氢气通过TPRD内部泄放原理示意图



典型TPRD内部结构示意图

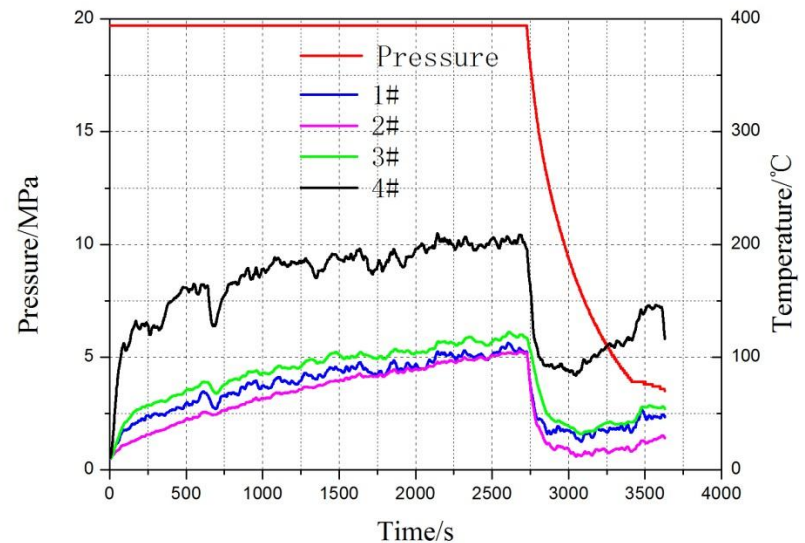
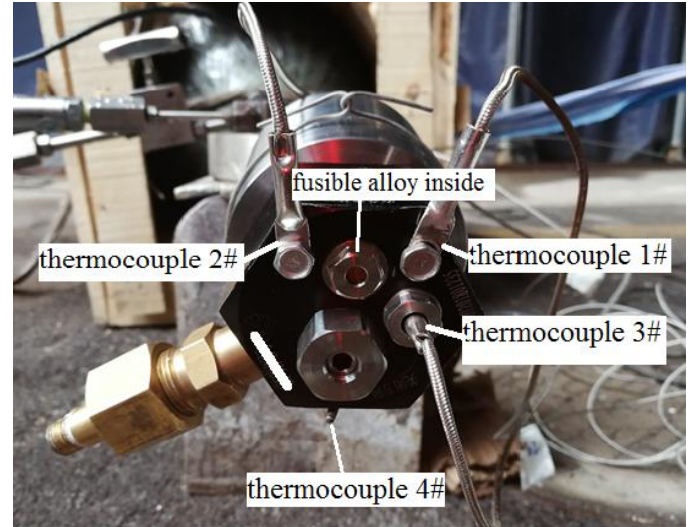
二、组合阀门不同受火工况下泄放规律



补充验证试验：

(1) 将气瓶充压至20MPa，然后单独对易熔合金结构的TPRD进行加热，当温度达到113℃时，TPRD开启，测定了气瓶内部压力-时间曲线和TPRD外表面不同部位的温度-时间曲线。

(2) 10.5min后，TPRD虽然处于受火状态，但实测易熔合金附近的温度降低到50℃以下，说明TPRD吸收的热量已不足以保持易熔合金处于融化状态，造成TPRD开度逐渐变小，压力泄放过程逐渐减缓。随着温度进一步降低，TPRD完全关闭，此时气瓶内部仍有3.5MPa的压力未完全泄放，内压力随时间的变化变得极为缓慢。



二、典型TPRD不同受火工况下泄放规律



试验结果分析及结论：

- (1) 在TPRD处于火焰正上方的火烧环境下，玻璃泡结构的TPRD和易熔合金结构的TPRD在开启后始终保持全开状态，因此整个泄压阶段压力变化规律基本相同。
- (2) 在TPRD不完全被火焰包围时，玻璃泡结构的TPRD在开启后始终保持全开状态而易熔合金结构的TPRD在开启后，泄放阶段易熔合金受气体膨胀吸热的影响，出现融化凝固的现象，压力泄放呈现阶梯式下降，泄压过程持续时间较长。

三、组合阀门试验测试技术



PRD技术要求

| 序号 | 试验项目 | GTR 13条款 | GTR13试验要求 |
|----------------------|-----------|------------|--|
| TPRD部分6.2.6.1 Page84 | | | |
| 1 | 压力循环试验 | 6.2.6.1.1 | 总计11000次循环, 氢气, 5个阀1, 5次2MPa~1.5WP, T=85℃ 2, 1500次2MPa~1.25WP, T=85℃ 3, 其余2MPa~1.25WP, T=55℃最大循环速率10次/min 试验后还应通过泄漏试验、动作试验和流量试验 |
| 2 | PRD加速寿命试验 | 6.2.6.1.2 | 氢气 1, 3个阀, T=TACT, 1.25WP, 10小时内动作 2, 5个阀, T=TLIFE, 1.25WP, 500小时不动作 |
| 3 | 温度循环试验 | 6.2.6.1.3 | 完成1~2循环15次, 五分钟之内转换 (1)-40℃, 2小时, 压力为0 (2) 85℃, 2小时, 压力为0; (3) 2MPa~0.8WP, 100次, 试验时间不低于2小时(氢气)。试验后应通过泄漏(-40℃)试验、动作试验和流量试验 |
| 4 | 耐腐蚀性试验 | 6.2.6.1.4 | 500小时, 2个阀分别做1、2 (1) 盐溶液加硫酸或硝酸, PH=4±0.2 (2) 盐溶液加氢氧化钠, PH=10±0.2 试验后还应通过泄漏试验、动作试验和流量试验 |
| 5 | 车辆环境试验 | 6.2.6.1.5 | 暴露在4种溶液中24小时, 20±5℃ i. 19% (体积分数) 的H2SO4水溶液; ii. 25% (质量分数) 的NaOH水溶液; iii. 28% (质量分数) 的NH4NO3溶液; iv. 50%玻璃水 (体积分数) 的甲醇-水溶液 试验后还应通过泄漏试验、动作试验和流量试验 |
| 6 | 跌落耐振性试验 | 6.2.6.1.7 | (1) 6个阀跌落, 每个阀6个方向; (2) 完成后做1.5g进行10min扫频, 10Hz~500Hz, 确定共振频率; (3) 沿三个正交轴以共振频率振动30min。试验后还应通过泄漏试验、动作试验和流量试验 |
| 7 | 泄漏试验 | 6.2.6.1.8 | 保压1分钟, (1) 环境温度, 0.05WP和1.5WP; (2) 85℃, 0.05WP和1.5WP; (3) -40℃, 0.05WP和WP。氢泄漏率<10NmL/h |
| 8 | PRD动作试验 | 6.2.6.1.9 | 600℃ (1) 1个未使用的, 0.25WP; (2) 1个未使用的, WP; 已进行过实验的, 0.25WP; 之前试验的TPRD, 其动作时间最大不得超过所受压力为0.25NWP、未经使用的TPRD的基准动作时间2min; • 2个未经使用的TPRD的动作时间差不得超过2min。 |
| 9 | 流量试验 | 6.2.6.1.10 | (1) 按照动作试验使每个TPRD动作; (2) 然后使用氢气(空气或惰性气体)进行流量试验(在TPRD不进行清洗、拆除部件或维修的前提下); (3) 进气口压力2MPa, 出口常压 |

三、组合阀门试验测试技术



单向阀和截止阀技术要求

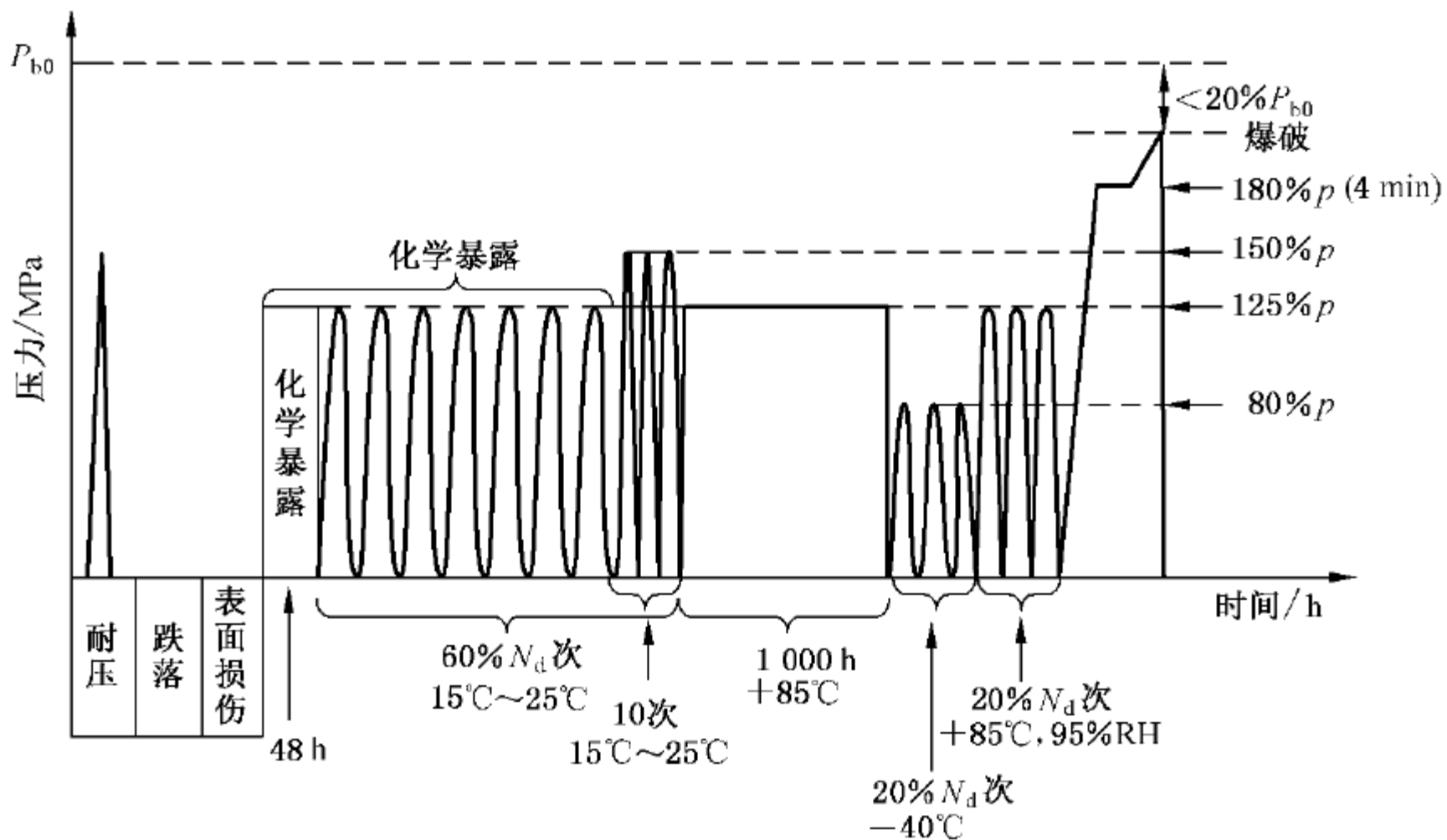
| 序号 | 试验项目 | GTR 13条款 | GTR13试验要求 |
|----|------------|---------------------------|--|
| 1 | 阀体耐压性试验 | 6.2.6.2.1 | 2.5WP保压3min不破坏，继续加压直至失效 |
| 2 | 泄漏试验 | 6.2.6.2.2 | 保压1分钟，（1）环境温度，0.05WP和1.5WP；（2）85℃，0.05WP和1.5WP；（3）-40℃，0.05WP和WP。氢泄漏率<10NmL/h |
| 3 | 极限温度压力循环试验 | 6.2.6.2.3 | <p>一个阀，氢气（a）单向阀为气压循环11,000次，自动截止阀为静压开闭50,000次。按照制造商的安装说明，将阀门安装在试验夹具上。在规定的压力下，用氢气对阀门进行连续的操作循环。</p> <p>（b）对稳定在下列温度下的阀门进行试验：</p> <p>I. 室温循环：对阀门进行开闭循环，在压力为1.25NWP（+2/-0MPa），循环次数为总循环次数的90%，试验中阀门温度维持在20（±5）℃。完成常温下的操作循环后，对该阀门进行室温泄漏试验。</p> <p>II. 高温循环：对阀门进行开闭循环，在压力为1.25NWP（+2/-0MPa），循环次数为总循环次数的5%，试验中阀门温度维持在≥+85℃。完成（+85℃）下的操作循环后，对该阀门进行高温（+85℃）泄漏试验。</p> <p>III. 低温循环：对阀门进行开闭循环，在压力为NWP（+2/-0MPa），循环次数为总循环次数的5%，试验中阀门组件温度维持在≤-40℃。完成-40℃下的操作循环后，对该阀门进行低温（-40℃）泄漏试验。</p> <p>（c）单向阀颤流试验。在完成11,000次开闭操作循环和泄漏试验后，以能导致最大振动的流速，使单向阀承受24h的颤流作用。完成该试验后，对单向阀应进行常温泄漏试验和阀体耐压性试验。</p> |
| 4 | 耐腐蚀性试验 | 6.2.6.2.4 | 500小时 30-35℃，盐水5%的氯化钠和95%的蒸馏水（质量分数）组成。试验后，应立即冲洗试样，慢慢地清除盐垢并检查变形：该阀门必须有可能影响功能的物理劣化迹象，如开裂、软化或膨胀。点蚀或褪色之类的表面变化不视作失效。试验后应通过泄漏试验和阀体耐压性试验试验 |
| 5 | 车辆环境试验 | 6.2.6.2.5 (Annex4 2.5) | 暴露在4种溶液中24小时，20±5℃ i. 19%（体积分数）的H2SO4水溶液；ii. 25%（质量分数）的NaOH水溶液；iii. 28%（质量分数）的NH4NO3溶液；iv. 50%玻璃水（体积分数）的甲醇-水溶液），试验后应通过泄漏试验和阀体耐压性试验试验 |
| 6 | 老化试验 | 6.2.6.2.6 (a) | 氧气，2MPa，96小时，T=70℃ |

三、组合阀门试验测试技术



| 序号 | 试验项目 | GTR 13条款 | GTR13试验要求 |
|----|----------|---------------|---|
| 7 | 臭氧相容性试验 | 6.2.6.2.6 (b) | ISO1431/1, ASTM D1149或其他等同方法 |
| 8 | 电气试验 | 6.2.6.2.7 | <p>常温, NWP</p> <p>(1) 非正常电压试验。将电磁阀连接至可变压直流电压源。如下所述对电磁阀进行操作: i. 在1.5倍额定电压下稳定(温度恒定)1h; ii. 将电压加大至2倍额定电压和60V中的较小值, 持续施加电压1min; iii. 任何失效不应导致表面泄漏、阀门动作或类似的不安全状况。对于12V系统的阀门, 最小动作电压不应大于9V; 对于24V系统的阀门, 则不应大于18V。</p> <p>(2) 绝缘电阻试验。在电源与阀门组件外壳间施加1000V直流电压, 并至少持续施加2s。阀门部件最小允许绝缘电阻值为240kΩ。</p> |
| 9 | 振动试验 | 6.2.6.2.8 | 氢气, 加压WP, 两端封闭, 1.5g进行10min扫频, 10Hz~500Hz, 确定共振频率; , 沿三个正交轴以共振频率震动30min; 试验后还应通过常温泄漏试验 |
| 10 | 应力腐蚀开裂试验 | 6.2.6.2.9 | <p>含铜基合金(例如: 黄铜)零部件的TPRDs进行该试验(数量: 1个):</p> <p>1、去除油污: 清除所有铜合金零件上的油污2、将TPRD在装有氨水-空气混合的潮湿的带盖玻璃试验箱内放置10天。• 试验箱底部盛有比重为0.94的氨水, 每升试验箱体积中至少含有20ml氨水。• 试样应置于氨水溶液上方35(±5)mm处的惰性托盘上。• 氨气-空气混合气体应维持在大气压、温度为35(±5)℃。</p> |
| 11 | 预冷氢气暴露实验 | 6.2.6.2.10 | 室温下, 充入-40℃氢气, 30g/s, 3min, 保压2min后泄压。做10/20次, 然后还应通过常温常温泄漏试验。 |
| 12 | 氢气相容性试验 | 1.H.1 | SGS工作组建议缔约方继续使用自己的国家标准对材料的相容性和氢脆进行规定 |

三、组合阀门试验测试技术



气瓶耐久性试验



中国特种设备检测研究院是我国特种设备安全与节能领域唯一的国家级科研机构，专业从事特种设备科研、技术开发、检验检测、法规标准研制等工作。

中国特检院针对特种设备方面具有30多年的科研经历，自2007年以来累计获得国家级和省部级科研奖励147项，其中国家级奖励8项，省部级一等奖31项、二等奖56项、三等奖52项。

中国特检院是国家质检总局核准的移动式压力容器和气瓶检验检测、型式试验及设计文件鉴定机构，长期从事科研、法规标准制修订、鉴定评审、检验、型式试验、设计文件鉴定等工作，在行业享有良好的学术声誉和技术地位。

谢 谢 !

薄柯 电话 : 13661305246