

团 体 标 准

T/CSICE 040-2025

质子交换膜燃料电池比例控制氢气流量阀 技术条件

Technical conditions of proportionally controlled hydrogen flow
valve for proton exchange membrane fuel cells

2025-12-26 发布

2025-12-26 实施

中国内燃机学会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 技术要求 3

 4.1 通用要求 3

 4.2 通用安全性要求 4

 4.3 性能要求 4

 4.4 环境适应性 5

 4.5 防尘性 7

 4.6 耐压性 7

 4.7 寿命耐久性 7

5 试验方法 7

 5.1 试验条件 7

 5.2 外观及装配性能检查 8

 5.3 比例控制氢气流量阀测试系统 8

 5.4 性能测试 8

 5.5 环境试验 10

6 标志、包装、运输及贮存 14

 6.1 标志 14

 6.2 包装 14

 6.3 运输 14

 6.4 贮存 14

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。

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。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本文件起草单位：无锡威孚高科技集团股份有限公司、无锡威孚氢隆动力科技有限公司、中国第一汽车股份有限公司无锡油泵油嘴研究所、上海重塑能源科技有限公司。

本文件主要起草人：许文、李静、李刚、郭静、唐立峰、段凯磊。

本文件于2025年首次发布。

质子交换膜燃料电池比例控制氢气流量阀技术条件

1 范围

本文件规定了质子交换膜燃料电池比例控制氢气流量阀的技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于以压缩氢气为燃料的质子交换膜燃料电池系统用比例控制氢气流量阀。

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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.22 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化

GB/T 10125-2021 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 28046.2-2011 道路车辆电气及电子设备的环境条件和试验 第2部分 电气负荷

GB/T 28046.3-2011 道路车辆电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分：机械负荷

GB/T 28046.4-2011 道路车辆电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分：气候负荷

GB/T 30038-2013 道路车辆电气电子设备防护等级（IP代码）

GB/T 30512-2014 汽车禁用物质要求

QC/T 413-2002 汽车电气设备基本技术条件

ISO 12619-10-2017 道路车辆 压缩气态氢（CGH₂）和氢气/天然气混合燃料系统部件 第10部分：超压机构

UL 94 安全标准 设备和器具部件塑料材料的可燃性测试

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

绝对压力 absolute pressure

绝对压力是指直接作用于容器或物体表面的实际压力，其零点为绝对真空。除非另有规定，本标准中所有压力均为绝对压力，单位为kPa。

3.2

PWM 控制 pulse width modulation control

PWM控制即脉冲宽度调制控制，通过改变脉冲的宽度来控制模拟信号的输出，从而实现对电流的调制。

3.3

占空比 duty cycle

在一个脉冲循环内，高电平持续的时间与整个周期时间的比值。

3.4

PWM 频率 pulse width modulation frequency

单位时间内发生的有效脉冲次数。

3.5

内/外漏 internal leakage/external leakage

内漏为气体介质从内部密封垫、密封间隙等部位泄漏至出口处。

外漏为气体介质从入口或阀体密封部位泄漏至外部环境。

3.6

内/外漏率 internal leakage rate/external leakage rate

内漏率为单位时间内气体介质通过泄漏通道流至出口处的气体体积，外漏率为单位时间内气体介质通过泄漏通道流至外部环境的气体体积，内/外漏率单位为 Ncm^3/h 。

3.7

响应时间 response time

比例控制氢气流量阀线圈通电或断电时，出口压力发生相应改变所需要的时间。

3.7.1

开启响应时间 open response time

从比例控制氢气流量阀线圈通电开始到输出压力上升至压力最大值的90%所需的时间。

3.7.2

关闭响应时间 close response time

从比例控制氢气流量阀线圈断电开始到输出压力下降至压力最大值的10%所需的时间。

3.8

最大输出流量 maximum output flow

进口压力恒定时，比例控制氢气流量阀在最大工作电流时的输出流量。

3.9

流量特性 flow characteristics

进口压力恒定时，比例控制氢气流量阀出口流量与工作电流的关系。

3.9.1

开启电流 open current

比例控制氢气流量阀线圈通电, 电流从0 A开始增加至输出流量大于0.2 SLPM (氢气) 时所需的最小电流。

3.9.2

关闭电流 close current

比例控制氢气流量阀在额定工作电流下, 电流缓慢降低至输出流量小于0.2 SLPM (氢气) 时所需的最大电流。

3.9.3

流量滞回特性 flow hysteresis characteristics

在设定入口压力的流量特性曲线上, 对应于同一流量, 上行曲线的电流与下行曲线的电流之间的电流差。

3.9.4

线性度 linearity

流量特性曲线的直线度, 曲线的拟合直线与实际上行和下行曲线流量值的差值, 与拟合直线流量之比, 以百分数表示。

3.9.5

重复精度 repeat precision

在测试条件不变的情况下, 连续三次重复测量流量特性曲线, 计算在相同电流时, 测量的流量与三次测量流量平均值之间差值的最大值, 该最大差值与平均值的比值即为重复精度, 以百分数表示。

4 技术要求

4.1 通用要求

- 4.1.1 比例控制氢气流量阀按照规定程序批准的产品图样和技术文件进行制造, 并符合本文件的规定。
- 4.1.2 原材料应符合产品图样规定, 采用能耐氢脆、耐腐蚀的材料。
- 4.1.3 比例控制氢气流量阀的外形及安装尺寸应符合产品图样规定。
- 4.1.4 比例控制氢气流量阀外观应光滑、平整、色泽均匀, 表面无剥落、裂缝、划痕、碰伤、气泡、气孔等影响使用和外观的缺陷, 在正常操作时不应有损坏或影响使用的功能失效。
- 4.1.5 金属零部件的防护层应均匀、牢固。各部位使用的连接件应坚固、牢靠, 并方便连接, 使用中不会松动。
- 4.1.6 比例控制氢气流量阀的零部件应满足GB/T 30512中汽车禁用物质要求。
- 4.1.7 比例控制氢气流量阀的零部件非金属材料应满足UL 94中V-0级阻燃要求。
- 4.1.8 比例控制氢气流量阀运动部件应动作灵活, 不得有卡滞现象。
- 4.1.9 型号、批次等产品标识应清晰。
- 4.1.10 比例控制氢气流量阀的线圈在常温下进行测量, 并折算到20℃的电阻值, 允差应在额定值的±5%范围内。比例控制氢气流量阀工作电压为直流电压, 额定电压为12 V或24 V, 工作电压范围为9 V~16 V或16 V~32 V。
- 4.1.11 比例控制氢气流量阀最大工作压力不小于2000 kPa。
- 4.1.12 比例控制氢气流量阀额定工作压力范围为0~2000 kPa。
- 4.1.13 比例控制氢气流量阀的工作温度范围为-40℃~85℃。

4.1.14 工作介质为氢气。

4.2 通用安全性要求

4.2.1 比例控制氢气流量阀在额定工作条件下，最高允许温升应满足产品技术规范规定的要求。

4.2.2 比例阀控制氢气流量阀的绝缘电阻值应满足产品技术规范规定的要求。

4.2.3 比例控制氢气流量阀的外壳防护型式应根据实际需要使用，按GB/T 30038的规定采用相应的防护等级。

4.3 性能要求

4.3.1 泄漏率

比例控制氢气流量阀在不通电时入口通最大工作压力的氢气或氦气，内/外泄漏率不大于10 Ncm³/h。

4.3.2 响应时间

开启响应时间不大于60 ms；关闭响应时间不大于60 ms。

4.3.3 流量

按5.4.3规定的试验方法或产品技术规范规定的试验方法进行试验，流量应符合产品技术规范的规定。

4.3.4 流量特性

比例控制氢气流量阀的流量特性曲线示意如图1所示。

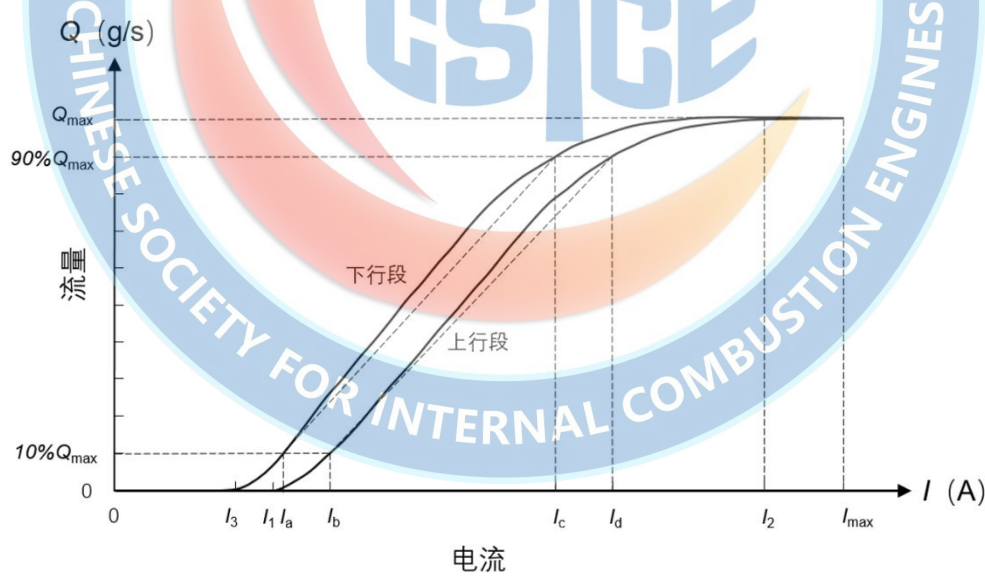


图 1 比例控制氢气流量阀流量特性曲线示意图

注：

- Q_{\max} ——在最大工作电流时的输出流量；
- I_1 ——开启电流；
- I_2 ——最大控制电流；
- I_3 ——关闭电流；

I_a ——电流下行段流量为10% Q_{max} 时的电流；

I_b ——电流上行段流量为10% Q_{max} 时的电流；

I_c ——电流下行段流量为90% Q_{max} 时的电流；

I_d ——电流上行段流量为90% Q_{max} 时的电流；

I_{max} ——设定最大工作电流。

4.3.4.1 开启电流

在设定入口压力下，当比例控制氢气流量阀工作电流从0增加至 I_1 时，流量计检测值大于0.2 SLPM（氢气），开启电流范围应符合产品技术规范的规定。

4.3.4.2 最大控制电流

在设定入口压力下，当比例控制氢气流量阀工作电流从0增加至 I_2 时，流量计检测值不再增加，此时流量计检测值为该工况下的最大流量 Q_{max} ，最大流量 Q_{max} 应符合产品技术规范的规定。

4.3.4.3 最大工作电流

考虑比例控制氢气流量阀的个体差异性，为保证比例控制氢气流量阀在不同工况下均能达到最大流量 Q_{max} ，对比例控制氢气流量阀设定最大工作电流 I_{max} ，通常情况下 I_{max} 大于等于 I_2 。

4.3.4.4 关闭电流

在设定入口压力下，比例控制氢气流量阀工作电流从0增加至 I_{max} ，再从 I_{max} 减小至 I_3 ，流量计检测值减小为0.2 SLPM（氢气）。

4.3.4.5 流量滞回特性

除非另有规定，在10%~90%最大流量范围内，流量滞回电流不大于0.1 A。

注：10%最大流量处的流量滞回电流= $I_b - I_a$ ；90%最大流量处的流量滞回电流= $I_d - I_c$ 。

4.3.4.6 线性度

如图1所示，分别在特流量性曲线中的上行段和下行段中，取20%和90%最大流量点绘制一条直线，定义在某一控制电流下，流量上行段线性度=（上行段实际流量-直线拟合流量）/直线拟合流量×100%，流量下行段线性度=（下行段实际流量-直线拟合流量）/直线拟合流量×100%。除非另有规定，在20%~80%最大流量范围内，任一电流的流量线性度不超过10%。

4.3.4.7 重复精度

除非另有规定，在10%~90%最大流量范围内，比例控制氢气流量阀的重复精度不超过±5%。

4.3.5 绝缘电阻

在500 V DC电压下，比例控制氢气流量阀线圈的引出插接片与金属壳体之间的绝缘电阻应不小于10 MΩ，测试时间不小于10 s。

4.4 环境适应性

4.4.1 耐运输存储性

比例控制氢气流量阀应在-40℃±3℃和95℃±2℃的条件下分别进行24 h的低温贮存和48 h的高温贮存，试验结束产品恢复常温后，其性能应符合4.3的规定。

4.4.2 耐低温性

依据GB/T 28046.4和GB/T 2423.1中的规定，比例控制氢气流量阀应在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温条件下进行120 h工作试验，试验结束产品恢复常温后，其性能应符合4.3的规定。

4.4.3 耐高温性

依据GB/T 28046.4和GB/T 2423.2中的规定，比例控制氢气流量阀应在 $85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温条件下进行300 h工作试验，试验结束产品恢复常温后，其性能应符合4.3的规定。

4.4.4 耐温度循环

比例控制氢气流量阀应按GB/T 28046.4中的规定进行试验，试验结束后，其性能符合4.3的规定。

4.4.5 耐温度冲击

比例控制氢气流量阀应按GB/T 2433.22中的规定进行试验，循环总次数500次，试验结束后，其性能符合4.3的规定。

4.4.6 耐稳态湿热环境

比例控制氢气流量阀应按GB/T 28046.4中的规定进行试验，持续时间21天，试验结束后，其性能符合4.3的规定。

4.4.7 耐湿热循环

比例控制氢气流量阀应按GB/T 28046.4中的规定进行试验，循环总次数6次，试验结束后，其性能符合4.3的规定。

4.4.8 耐中性盐雾

比例控制氢气流量阀应按GB/T 10125中的规定进行试验，持续时间360 h，试验结束后用水清洗并吹干，表面应无锈蚀。

4.4.9 耐铜加速乙酸盐雾

比例控制氢气流量阀应按GB/T 10125中的规定进行试验，持续时间36 h，试验结束后用水清洗并吹干，表面应无锈蚀。

4.4.10 耐随机振动

比例控制氢气流量阀应按GB/T 28046.3中的规定进行试验，试验时间为32 h每轴向，共3轴向，试验结束后，其性能符合4.3的规定。

4.4.11 耐机械冲击

比例控制氢气流量阀应按GB/T 28046.3中的规定进行试验，试验次数为10次每轴向，共6轴向，试验结束后，其性能符合4.3的规定。

4.4.12 跌落

比例控制氢气流量阀应按GB/T 28046.3中的规定进行试验，试验次数为1次每轴向，共6个轴向，试验结束后，出现明显损坏的样件不进行性能测试，外壳出现微小损坏或无损坏的样件性能应符合4.3的规定。

4.4.13 防水性

比例控制氢气流量阀应按GB/T 30038中的规定进行试验，试验时间为30 min，试验结束后，其性能符合4.3的规定。

4.5 防尘性

比例控制氢气流量阀应按GB/T 30038中的规定进行试验，总循环次数20次，试验结束后，其性能符合4.3的规定。

4.6 耐压性

比例控制氢气流量阀在2.5倍额定工作压力下，不应有破损或变形现象。

4.7 寿命耐久性

比例控制氢气流量阀的需按5.7的电流循环配方要求进行寿命耐久性测试，循环次数应不少于 2.5×10^5 次，试验结束后，性能应符合4.3的规定。

5 试验方法

5.1 试验条件

5.1.1 试验电压 $12\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ 或 $24\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ 。

5.1.2 试验介质：氢气或指定介质。

5.1.3 若在试验参数中没有说明环境条件，则试验应在以下环境条件中进行。

温度范围： $25 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ 。

环境相对湿度：15%~85% R. H。

环境大气压力：86 kPa~106 kPa。

5.1.4 除另有规定，所有试验用的测试仪器设备所测物理量精度详见表1。

表 1 试验物理量精度

物理量	准确度
电压/V	$\leq 0.5\%FS$
电流/A	$\leq 0.5\%FS$
压力/ kPa	± 10
温度/ $^\circ\text{C}$	± 0.5
相对湿度/%	± 1
流量/ SLPM	$\leq 1\%$

5.2 外观及装配性能检查

- 5.2.1 用符合规定的量具、检具检查安装尺寸。
- 5.2.2 在自然光条件下，外观用目测法检测，其结果应符合4.1.3、4.1.4的规定。

5.3 比例控制氢气流量阀测试系统

比例控制氢气流量阀测试系统示意图见图2

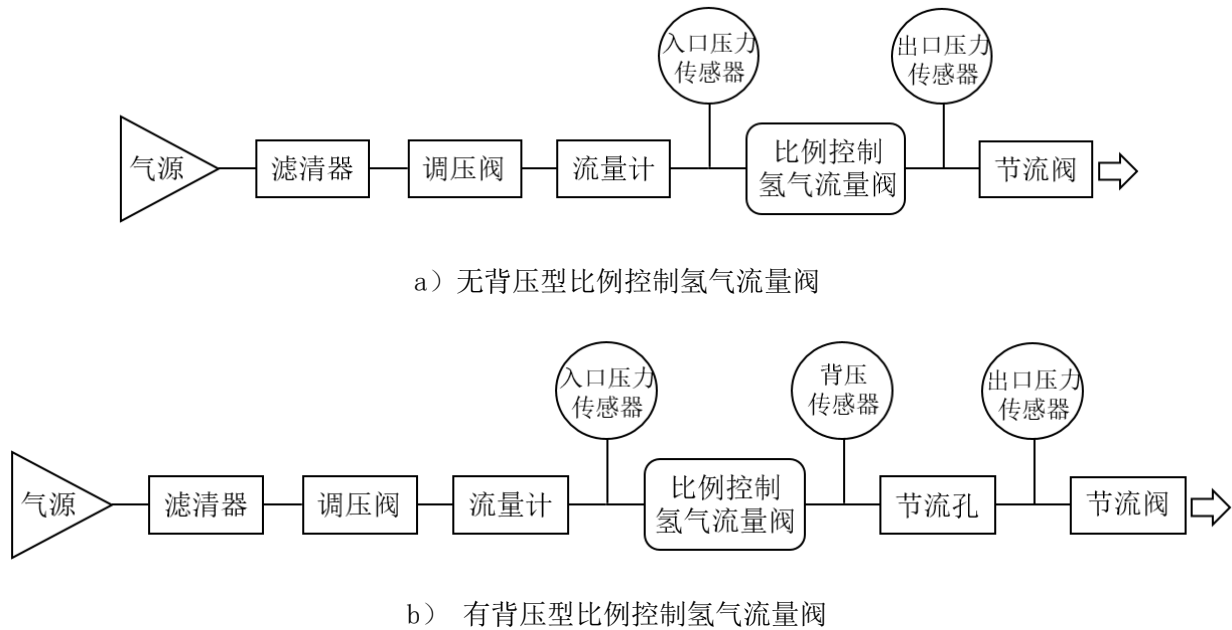


图 2 比例控制氢气流量阀测试系统示意图

5.4 性能测试

5.4.1 气密性试验

将比例控制氢气流量阀安装至密封性专用测试设备上，输入口通入设定压力的氦气或氢气，比例控制氢气流量阀在断电的条件下，保持时间不少于30 s，从输出口测量泄漏率，测量的结果应符合4.3.1的规定。

5.4.2 响应特性试验

5.4.2.1 试验要求

入口通入额定工作压力的气体，出口接流量计。对比例控制氢气流量阀施加额定电流驱动信号，根据比例控制氢气流量阀线圈电流变化曲线和出口压力变化曲线，确定比例控制氢气流量阀的开启、关闭响应特性。比例控制氢气流量阀的开启和关闭响应时间应在比例控制氢气流量阀工作稳定后测定，如图3所示，其中 P 为稳定后的压力值。

5.4.2.2 开启响应

对于比例控制氢气流量阀，开启响应指从比例控制氢气流量阀通额定电流开始，到出口压力上升到90%最大出口压力的时间，如图3中的 t_1 ，比例控制氢气流量阀打开时间应符合4.3.2的规定。

5.4.2.3 关闭响应

对于比例控制氢气流量阀，关闭响应指从比例控制氢气流量阀断电开始，到出口压力下降到10%最大出口压力的时间，如图3中的 t_2 ，比例控制氢气流量阀关闭时间应符合4.3.2的规定。

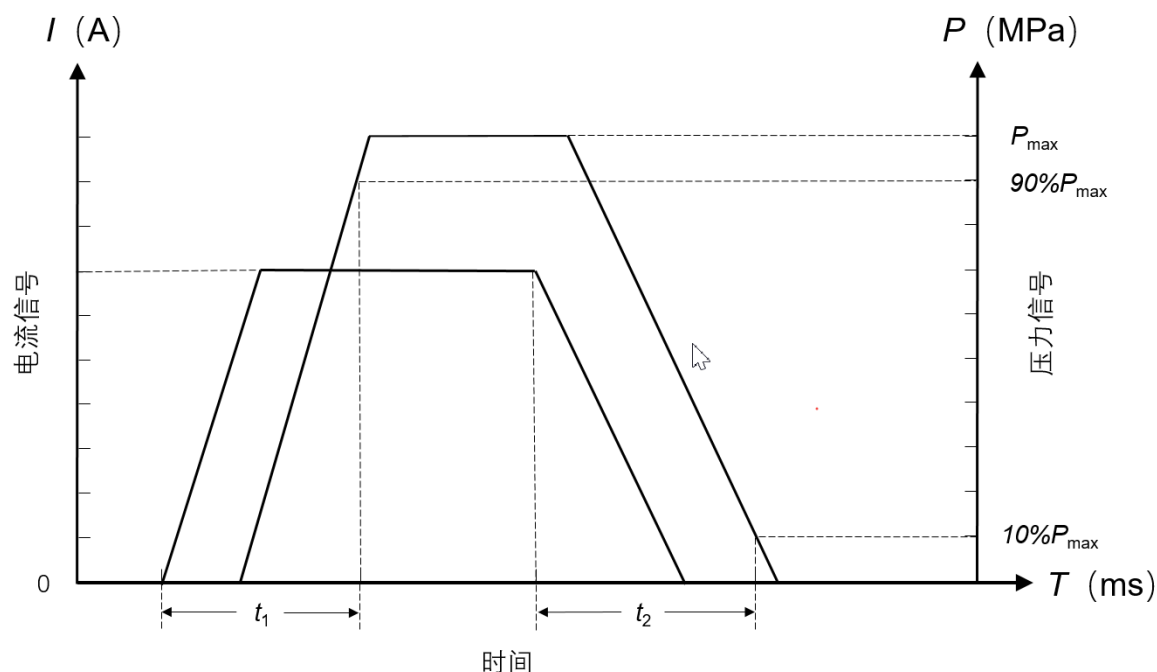


图 3 响应特性曲线

5.4.3 流量试验

对于比例控制氢气流量阀，输出口接入流量计，输入口通入额定工作压力气体，比例控制氢气流量阀从0 A开始增加通电电流，直至电流增加到 I_{\max} ，然后电流逐渐下降至0，在规定的额定工作气压下，输出流量应符合产品技术规范的规定。

5.4.4 流量特性试验

5.4.4.1 开启电流

比例控制氢气流量阀输出口接流量计，当入口压力为额定工作压力时，电流从0 A开始逐渐上升，测量比例控制氢气流量阀出口流量发生变化时的电流，测量结果应符合4.3.4的规定。

5.4.4.2 关闭电流

比例控制氢气流量阀按5.3.4.1测得开启电流后，继续增加电流到 I_{\max} ，然后电流开始逐渐下降，测量比例控制氢气流量阀出口流量减小为0后的电流，测量结果应符合4.3.4的规定。

5.4.4.3 流量滞回特性

比例控制氢气流量阀按5.3.3测得额定工作压力时电流与流量之间的关系，计算同一流量的流量上升段电流和流量下行段电流差值，测试结果应符合4.3.4的规定。

5.4.4.4 线性度

比例控制氢气流量阀按5.3.3测得额定工作压力时电流与流量之间的关系，计算20%~80%最大流量范围内的线性度，测试结果应符合4.3.4的规定。

5.4.4.5 重复精度

比例控制氢气流量阀按4.4.4.7测试，在10%~90%最大流量范围内，比例控制氢气流量阀的重复精度不超过±5%。

5.4.5 绝缘电阻试验

试验按GB/T 28046.2中4.12相应的试验方法进行，比例控制氢气流量阀不接通电源，用500V DC绝缘电阻仪表（兆欧表）测量接线端子与外壳（金属部分）之间的绝缘电阻，测量结果应符合4.3.6的规定。

5.5 环境试验

5.5.1 工作模式

5.5.1.1 工作模式1

比例控制氢气流量阀不通电。

工作模式1.1：未连接到线束；

工作模式1.2：连接到线束。

5.5.1.2 工作模式2

比例控制氢气流量阀通电。

工作模式2.1：通电，接入气体管路，比例控制氢气流量阀开关启停工作，开启电流为最大工作电流；

工作模式2.2：通电，接入气体管路，比例控制氢气流量阀电流循环工作，电流循环配方可依据具体需要进行设置；

工作模式2.3：通电，不通气，比例控制氢气流量阀常开启。

5.5.2 检测要求

5.5.2.1 环境适应性试验的检测项目

环境适应性试验的检测项目应满足表2中第2~5项的要求。

5.5.2.2 工作特性试验的检测项目

低温开启试验应满足表2中第2~第5项的要求，爆破压力试验无检测要求。

表 2 检测方法表

序号	检测项目	气候负荷			盐雾试验			机械负荷			防护等级			寿命试验			低温开启		
		前	中	后	前	中	后	前	中	后	前	中	后	前	中	后	前	中	后
1	尺寸	* ^b	- ^b	* ^c	-	-	-	*	-	*	-	-	-	+	-	+	-	-	-
2	流量性能检测	+ ^b	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
3	密封性检测	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
4	目视检测	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
5	线圈阻值及绝缘阻值检测	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+
6	整阀拆检	-	-	* ^c	-	-	*	-	-	*	-	-	*	-	-	+	-	-	-
^a 章节 5.13.3.1~5.13.3.7 的试验项目； ^b “+”表示应进行该项检测；“-”表示无需进行该项检测；“*”表示按需进行该项检测； ^c 如密封性结果异常，则进行该项检查；如密封性结果正常，则不进行该项检查。																			

5.5.3 试验条件

5.5.3.1 运输存储温度

运输存储温度试验按GB/T 28046.4中5.1.1.1和5.1.2.1相应的试验方法进行。将样件放入试验箱中，在高温95℃±2℃的条件下暴露48 h，然后在低温-40℃±3℃的条件下暴露24 h，温度变化速率不超过1℃/min，样件工作模式为1.1。

5.5.3.2 低温工作

低温工作试验按GB/T 28046.4中5.1.1.2相应的试验方法进行。将样件放入试验箱中，待试验箱的温度稳定在-40℃±3℃后，样件入口通入额定工作压力气体，样件工作模式为2.1，开关频率为开1 s，关2 s，持续120 h。

5.5.3.3 高温工作

高温工作试验按GB/T 28046.4中5.1.2.2相应的试验方法进行。将样件放入试验箱中，待试验箱的温度稳定在85℃±2℃后，样件入口通入额定工作压力气体，样件工作模式为2.1，开关频率为开1 s，关2 s，持续300 h。

5.5.3.4 温度循环

温度循环试验按GB/T 2423.22中相应的试验方法进行。将样件放入试验箱中，试验箱中单个温度循环按照表3进行设定，总共30个循环，样件的工作模式为1.2，单个循环第210~第410 min时，比例控制氢气流量阀通电，工作模式为2.3。

表 3 检测方法表

时间/min	温度/℃	是否通电
0	20	否
60	-40	否
150	-40	否
210	20	是
300	85	是
410	85	是
480	20	否

5.5.3.5 温度冲击

温度冲击试验按GB/T 2423.22 Na中相应的试验方法进行。将样件放入试验箱中，单个温度冲击循环中，低温为-40℃±3℃，暴露时间为0.5 h，高温为85℃±2℃，暴露时间为0.5 h，转换时间不超过10 s，总共500个循环，样件工作模式为1.1。

5.5.3.6 稳态湿热

稳态湿热试验按GB/T 28046.4中5.7相应的试验方法进行。将样件放入试验箱中，温度为40℃±2℃，湿度为93%±3%，试验持续时间21天，样件工作模式为2.2。

5.5.3.7 湿热循环

湿热循环试验按GB/T 28046.4中5.6.2.2相应的试验方法进行。将样件放入试验箱中，单个湿热循环中，高温为55℃±2℃，总共6个循环，样件工作模式1.2，当温度达到最大循环温度时，比例控制氢气流量阀工作模式为2.3。

5.5.3.8 中性盐雾

中性盐雾试验按GB/T 10125中5.2相应的试验方法进行。盐水溶液浓度为5%±1%，盐水溶液PH值为6.5~7.2，喷雾量为1.5 ml/80 cm²/h±0.5 ml/80 cm²/h，试验箱温度为35℃±2℃，试验持续时间360 h，样件工作模式为1.2。

5.5.3.9 铜加速乙酸盐雾

铜加速乙酸盐雾试验按GB/T 10125中5.4相应的试验方法进行。盐水溶液浓度为5%±1%，盐水溶液PH值为3.1~3.3，喷雾量为1.5 ml/80 cm²/h±0.5 ml/80 cm²/h，试验箱温度为50℃±2℃，试验持续时间36 h，样件工作模式为1.2。

5.5.3.10 机械负荷试验

5.5.3.10.1 随机振动

随机振动试验按GB/T 28046.3中4.1.2.7相应的试验方法进行。随机振动加速度功率谱密度如表4所示，试验时间为32 h每轴向，共3轴向，样件工作模式为1.1。

表 4 随机振动加速度功率谱密度

频率/Hz	PSD/ $(\text{m/s}^2)^2 \text{Hz}^{-1}$
10	0.18
20	0.36
30	0.36
180	0.01
2000	0.01
注：加速度均方根（RMS）值为 57.9 m/s^2 。	

5.5.3.10.2 机械冲击

机械冲击试验按GB/T 28046.3中4.2.2相应的试验方法进行。机械冲击试验波形为半正弦波，冲击时间为6 ms，峰值加速度为 500 m/s^2 ，试验次数为10次每轴向，共6轴向，样件工作模式为1.1。

5.5.3.11 跌落试验

跌落试验按GB/T 28046.3中4.3相应的试验方法进行。样件跌落高度为1 m，自由跌落至-混凝土地面或钢板，试验次数为1次每轴向，共6个轴向，样件工作模式为1.1。

5.5.3.12 防护等级试验

5.5.3.12.1 IPx7 防水试验

IPx7防水试验按GB/T 30038中相应的试验方法进行。样件底面距水面1 m，顶部距水面至少15 cm，浸没时间30 min，水温 and 试验温度之差不大于 5°C ，样件工作模式为1.2。

5.5.3.12.2 IP6Kx 防尘试验

IP6Kx防尘试验按GB/T 30038中相应的试验方法进行。样件放置于试验箱内，空气和粉尘混合运动6 s，停顿间歇15 min，总循环次数为20次，样件工作模式为1.2。

5.5.3.13 爆破压力试验

爆破压力试验按ISO 12619-10中6.2相应的试验方法进行，比例控制氢气流量阀样件安装于测试工装上，通电常开，出口封堵，升压速率不大于 1400 kPa/s ，在2.5倍工作压力下保持3分钟，不得出现渗漏。

5.5.3.14 寿命耐久试验

比例控制氢气流量阀样件安装于测试工装上，样件入口通额定工作压力压缩气体，按图4设置电流循环进行工作，电流循环需覆盖全工况点，其中 $\Delta I = I_{\text{max}} - I_1$ ，循环时间间隔 t 不小于1 s，循环总次数应不少于 2.5×10^5 次。

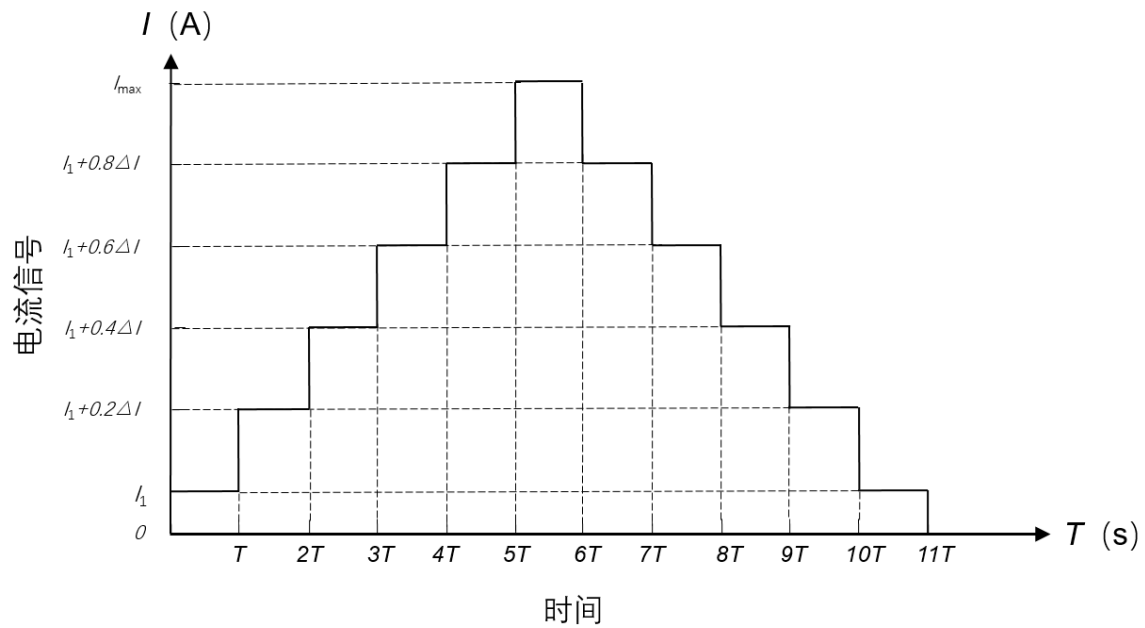


图 4 电流循环测试配方示意

6 标志、包装、运输及贮存

6.1 标志

比例控制氢气流量阀应在明显位置清晰标明产品名称、额定电压、工作压力、流量、生产批次等标志（识），标志（识）应清晰、牢固。产品应在图样标牌处标出产品型号、出厂日期等信息。

6.2 包装

比例控制氢气流量阀的包装应符合QC/T 413-2002中6.2的规定，并带有产品合格证。

6.3 运输

产品在运输过程中应防潮和防止机械损伤，不得受到活性化学物品的侵蚀。

6.4 贮存

比例控制氢气流量阀应贮存在干燥、通风和无腐蚀性气体的仓库内。比例控制氢气流量阀在符合以上运输、包装条件下，自出厂日起一年内不能锈蚀，外表面涂覆层不得起泡、剥落。

