**ICS** 43.060.99

**CCS** T 47

|  |
| --- |
|  |

团体标准

T/CAAMTB XXXX—202x

|  |
| --- |
|       |

车用燃料电池氢气流量控制阀组

Automotive fuel cell hydrogen hydrogen flow control valve assembly

（征求意见稿）

|  |  |
| --- | --- |
| （完成时间：2025年7月）在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。 |  |

202X - XX -XX 发布

202X - XX - XX实施

中国汽车工业协会 发布

目  次

前言 [II](#_Toc181455884)

[1 范围 1](#_Toc181455886)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc181455887)

[3 术语和定义 2](#_Toc181455888)

[4 结构 4](#_Toc181455889)

[5 要求 5](#_Toc181455890)

[6 试验方法 7](#_Toc181455891)

[7 检验规则 13](#_Toc181455892)

[8 标志、包装、运输及贮存 15](#_Toc181455893)

[参考文献 16](#_Toc181455894)

1. 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。

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。

本文件由中国汽车工业协会低碳燃料汽车分会提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位：中国汽车工程研究院股份有限公司、西安交通大学、电子科技大学、潍柴动力股份有限公司、中汽院新能源科技有限公司、重庆凯瑞动力科技有限公司。

本文件主要起草人：郭文军、张维东、崔波、冯健美、李凯、时保帆、胡发跃、敬世海、黄跃均、蒋三青、刘军、刘安民、刘明、曾燃、黄兴、兰楠、刘瑶。

本文件为首次发布。

车用燃料电池氢气流量控制阀组

1. 范围

本文件规定了流量控制阀组总成的技术要求、检验规则、标志、包装、运输、贮存等。

本文件适用于氢气为主要成分的氢气流量控制阀组总成。

1. 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文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期的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 1690-2010 硫化橡胶或热塑性橡胶　耐液体试验方法

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 2423.4 电工电子产品环境试验　第2部分：试验方法　试验Db：交变湿热

GB/T 2423.10-2019 环境试验第2部分：试验方法试验Fc：振动(正弦)

GB/T 2423.18 环境试验 第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变(氯化钠溶液)

GB/T 2423.22-2012 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化

GB/T 23341.2-2018 涡轮增压器第2部分：试验方法

GB 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 6060.2 表面粗糙度比较样块　磨、车、镗、铣、插及刨加工表面

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 24548 燃料电池电动汽车 术语

GB/T 24549-2020 燃料电池电动汽车 安全要求

GB/T 28816 燃料电池术语

GB/T 29729 氢系统安全的基本要求

GB/T 30512 汽车禁用物质要求

ISO 16232-2018 道路车辆-流体回路部件清洁度

1. 术语和定义

GB/T 24548、GB/T 28816界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

引射器 ejector

高速高能流体（液流、气流或者其它物质流）引射另一股低速低能流体的装置。

3.2

供氢组件 hydrogen supply component

控制氢气流量供给的装置，如氢喷射器或比例阀。

3.3

电磁阀 magnetic valve

控制氢气供给的装置。

3.4

切换阀 changeover valve

用于切换引射流体供给的装置

3.5

泄压阀 relief valve

用于卸载超出设计压力气体的装置

3.6

周期 period

从一个喷射脉冲开始到下一个喷射脉冲开始之间的时间段，单位为ms。

3.7

额定工作压力 nominal working pressure

供氢组件在15℃下工作时所承受的稳定压力。

3.8

最大工作压力 maximum working pressure

供氢组件工作时所承受的最大压力。

3.9

额定电压 nominal working voltage

供氢组件的标称工作压力。

3.10

工作流体 working fluid

从流量控制阀组中比例阀入口进入、并经供氢组件出来的、然后进入引射器喷嘴的高压、干燥纯氢气，也称新氢。

3.11

引射流体 ejected fluid

从电堆阳极出口出来，进入流量控制阀组中引射器的，低压、以氢气为主，包含水蒸气、氮气以及极少的水滴的混合流体。

3.12

混合流体 mixed flow

从流量控制阀组出来，进入电堆的流体，主要成分为氢气，包含水蒸气、氮气以及水滴的混合流体。

3.13

引射系数 entrainment ratio($u$)

流量控制阀组引射流体的质量流量与工作流体质量流量的比值。

3.14

压升 pessure rise ($ΔP$)

流量控制阀混合流体压力与引射流体压力之差。

1. 结构

燃料电池用氢气流量控制阀组主要由电磁阀、供氢组件如氢喷射器或比例阀、单路或双路引射器、中压压力传感器、低压压力传感器、泄压阀等组件构成。其中电磁阀负责供氢路开闭；中压压力传感器测试电磁阀后端压力；供氢组件如氢喷射器或比例阀负责控制供氢流量；自供氢组件出来的氢气进入引射器工作流体入口，引射器引射流体入口与电堆阳极出口相通；泄压阀和低压压力传感器布置在引射器出口位置，用于测量引射器出口压力和过压保护。流量控制阀组结构见图1。



1. 流量控制阀组原理示意图
2. 要求
	1. 一般要求

流量控制阀组应满足本文件的要求，并按经规定程序批准的图样及技术文件制造。

按照6.2.1规定检查外观，外观良好，外表面无磕碰、污渍、锈蚀，外观无可见损伤、脱胶或脱焊等现象，按照6.2.2规定检测粗糙度，内表面粗糙度Ra≤1.6 μm。

阀体、主要零部件材料选型和表面处理需考虑防氢脆、耐腐蚀。

进出气口、电磁阀、供氢组件、泄压阀、传感器接插件应做防护。

各联接部位，螺栓按设计规定的力矩装配后，打点记，可靠无松动。

按设计图样的规定，标识标牌应清晰完整、无错漏。

防护等级：按照6.11试验要求，防护性能符合GB 4208中IP67规定。

禁用限用物质：符合GB/T 30512中规定。

工作环境温度为-40 ℃～85 ℃，工作环境湿度为0～98 %RH，工作环境气压为77 kPa～105 kPa。

工作介质要求如下：

1. 介质温度为-40 ℃～90 ℃，介质湿度为0～95 %RH，介质气压为101.3 kPa～250 kPa；
2. 以氢气为主要成分，含氮气、水蒸气、液态水。

基本电控要求如下：

1. 额定电压为24 VDC；
2. 供电范围为DC18 V～32 V。
	1. 性能要求
		1. 气密性

按6.3规定的方法进行气密性试验，检漏液检3 min之内无气泡产生或气体检测仪检测氢气泄漏速率不高于0.1 mL/s。

* + 1. 基本性能

按6.4规定的试验方法进行性能测试，采集供氢组件（氢气喷射器或者比例阀）占空比、工作流体、引射流体、混合流体的压力、温度、湿度和对应的流量等性能参数，计算压升、引射系数等，各性能指标满足设计要求。

* + 1. 低温性能

按6.5规定的方法进行试验，流量控制阀组功能状态满足GB/T 2423.1定义的A级，且满足：流量控制阀组可正常工作，与常温下的基本性能相比，同一工况下，压升、流量、引射系数变化值小于±5%。

* + 1. 高温性能

按6.6规定的方法进行试验，流量控制阀组功能状态满足GB/T 2423.2定义的A级要求，且满足：流量控制阀组可正常工作，与常温下的基本性能相比，同一工况下，压升、流量、引射系数变化值小于±5%。

* + 1. 温度循环

按6.7规定的方法进行试验，流量控制阀组功能状态满足GB/T 2423.22定义的C级要求，且气密性应符合5.2.1的要求。

* + 1. 湿热循环

按6.8规定的方法进行试验，流量控制阀组功能状态满足GB/T 2423.4定义的A级要求，且气密性应符合5.2.1的要求。

* + 1. 抗振动

按6.9规定的方法进行试验，流量控制阀组能正常运行，应满足以下要求：

a) 气密性满足5.2.1的要求；

b) 防护性能满足5.1.3的要求；

c) 流量控制阀组无损坏，紧固件无松脱现象。

* + 1. 耐温度冲击

按6.10规定的方法进行试验，流量控制阀组能正常运行，应满足以下要求：

a) 气密性满足5.2.1的要求；

b) 防护性能满足5.1.3的要求；

c) 流量控制阀组可正常工作，与常温下的基本性能相比，同一工况下，压升、流量、引射系数变化值小于±5%。

* + 1. 耐盐雾

按照6.12.1规定的方法进行试验，流量控制阀组应没有降低正常功能的变化（例如，密封功能），功能状态满足GB/T 2423.18定义的C级要求。

* + 1. 清洁度

按6.13规定的方法进行试验，流量控制阀组的内流道的残留物，允许重量≤5 mg,，允许单个最大颗粒物≤200 μm，150 μm≤粒径＜200 μm的颗粒物≤150个。

* + 1. 耐氧化

与氢气接触的密封件，按6.14规定的方法进行试验，不应出现明显变形、变质、斑点及裂纹等现象。

* + 1. 耐臭氧

与空气接触的密封件，按6.15规定的方法进行试验，不应出现明显变形、变质、斑点及裂纹等现象。

* + 1. 相容性

与氢气接触的非金属件，按6.16规定的方法进行试验，其体积膨胀率应不大于25%，体积收缩率不应大于1%，质量损失率应不大于10%。

* + 1. 阀组流量

按6.17规定的试验方法或生产商产品标准规定的试验方法进行试验，应符合生产商产品标准的规定。

* + 1. 绝缘

绝缘电阻：按6.18规定的试验方法进行试验，绝缘电阻应不小于10 MΩ。

绝缘强度：按6.19规定的试验方法进行试验，试件不应被击穿。

* + 1. 耐久

按6.20规定的试验方法进行试验，应符合5.2.1、5.2.14和5.2.15.1的规定。

1. 试验方法
	1. 一般规定

 除非另有规定，试验应在下述条件下进行：

1. 试验环境温度为15 ℃～35 ℃；
2. 高压试验气源采用清洁的干燥氢气，气体温度为环境温度15 ℃～35 ℃；
3. 引射流体试验气源满足：温度70 ℃±5 ℃、相对湿度95 %RH～98 %RH的氢气，或者使用干燥高纯氢气通过试验设备进行加热加湿；
4. 测量参数及其单位、精度要求见下表1，另有规定除外。
5. 测量参数、单位、精度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 参数 | 单位 | 精度 | 分辨率 |
| 压力 | kPa | ±0.1 | 0.1 |
| 质量流量 |  g/s | ±0.01 | 0.1 |
| 温度 | ℃ | ±0.1 | 0.1 |
| 湿度 | %RH | ±5 | 0.1 |
| 噪声 | dB(A) | ±1 | 0.1 |
| 质量 | mg | ±0.1 | 0.1 |
| 时间 | min | ±1 | 0.1 |

* 1. 外观与检验
		1. 外观

用目测和手感对流量控制阀组进行外观检查，必要时可增加尺寸测量和标准样块比对检查。

* + 1. 流量控制阀组内表面粗糙度检验

流量控制阀组内流道表面粗糙度的检验按GB/T 6060.2的规定执行。

* 1. 流量控制阀组密封性试验

按6.3.1、6.3.2和6.3.3进行。非另有规定，试验应在下述条件下进行：

* + 1. 常温气密性试验

按照GB/T 24549-2020中4.2.4规定的方法，室温环境下，将流量控制阀整体作为试件，电磁阀入口与高压气源连接，高压气源为氢气或者氦气，气源压力为1.2倍额定工作压力，电磁阀通电打开，引射流体入口采用盲板密封，出口与带有背压阀的管道连通，调节供氢组件至全开，调节背压阀开度，使得出口背压维持在额定出口压力。常温气密性试验方法如下：

1. 使用泄漏检测液对各连接处进行目测检查，3 min内不应出现气泡；
2. 使用气体检测仪进行检测时,应尽可能接近测量部位,其氢气泄漏速率应满足不高于0.1 mL/min。
	* 1. 低温气密性试验

在-40 ℃±2 ℃温度下保温4 h后，将流量控制阀整体作为试件，按6.3.1进行测试。

* + 1. 高温气密性试验

在90 ℃±2 ℃温度下保温4 h后，将流量控制阀整体作为试件，按6.3.1进行测试。

* 1. 基本性能测试

气密性合格后，按图2所示的流量控制阀台架性能测试示意图，进行试验，其装置应当满足：

1. 无泄漏、最短距离、具有较大余量的直径、合理布置以避免因污物或冷凝液体造成堵塞；
2. 管路为圆截面，内壁光滑整洁无杂质，面积不小于相连接的进、排气口管路面积，截面不产生突变；
3. 当流量控制阀进、排气口为非圆截面时，按面积相等的圆截面当量直径来确定管径；
4. 流量控制阀进、排气压力测试点布置在于距离进排气口1～2倍管径处，压力传感器安装垂直于管壁，传感器精度满足表1的规定；
5. 压力测量方法和温度测量方法满足GB/T 23341.2-2018中4.3压力测量规定和4.4温度测量规定。



1. 引射器性能测试示意图

涉氢测试应符合GB/T 29729中的规定；涉氢区域应符合GB/T 29729中规定。

被测件连接要求如下:

1. 待测流量控制阀组连接如上图所示, 流量控制阀电磁阀入口，连接氢气供给模块高压端口，为流量控制阀入口供给压力可控的气体。气体介质为干燥氢气或氦气；常规压力调节范围6 bar～20 bar；
2. 流量控制阀回氢口，连接氢气供给模块低压端口，为流量控制阀回氢口提供模拟电堆阳极出口的气体，其气体压力、温度、湿度可控。常规压力调节范围30 kPa～300 kPa。可依据测试需求，可切换干气或湿气测试，气体介质可以是纯氢气或纯氦气，也可在气体中掺入氮气，并调节氮气浓度比例；
3. 流量控制阀出口，连接尾气处理模块，测试时，调节背压阀的开度调节，实现所设定的出口压力。常规压力调节范围30 kPa～300 kPa。

测试方法如下：

1. 打开气源，调节高压路压力调节器，使得待测流量控制阀电磁阀入口压力达到给定的供氢压力，即氢喷前端进气压力，调节氢气喷射器占空比至供氢流量达到目标值；
2. 调节尾气处理模块的背压阀，使待测流量控制阀出口压力达到测试的目标压力；
3. 打开加湿罐控温调湿模块，对加湿罐内水进行加热，并控制到目标温度和湿度；
4. 调节低压路压力调节器，使得待测流量控制阀回氢口压力达到测试的目标压力，即回氢流体压力；
5. 可根据测试需求，开启氮气供给路的质量流量控制器，控制氮气与氢气（或氦气）的比例，从而控制待测流量控制阀回氢口工作流体的气体组分；
6. 等待系统状态稳定，读取被测流量控制阀新氢入口、回氢口的流量Q1、Q2和压力值P1、P2，以及被测流量控制阀出口的压力值P3，以及氢气喷射器占空比；
7. 调节氢气喷射器占空比，使得流量控制阀组新氢流量Q1达到下一个待测值，重复步骤b)~f),直至所有工况点测试完成；
8. 按照$ΔP=P\_{3}−P\_{2}$公式计算引射器的压升ΔP，按照$u={Q\_{2}}/{Q\_{1} }$公式计算引射器的引射系数；
9. 测试完成后，停机排气。
	1. 低温性能试验

在-40 ℃±2 ℃环境温度下，并保温2 h后，流量控制阀组按6.4规定的试验方法进行基本性能试验。

* 1. 高温性能试验

在90 ℃±2 ℃环境温度下，并保温2 h后，流量控制阀组按6.4规定的试验方法进行基本性能试验。

* 1. 温度循环试验

在-40 ℃～100 ℃环境下，按照GB/T 2423.22-2012中Nb进行温度循环试验。

* 1. 湿热循环试验

按GB/T 2423.4-2008中4.2条b进行试验，6个循环。

* 1. 抗振动性能试验

按照GB/T 2423.10的规定，流量控制阀组按正常安装位置固定在振动试验台上；进行X. Y. Z三个方向的正弦振动试验。以1 min为周期，随时间线性渐变10 Hz～200 Hz～10 Hz为振动频率，以30 g加速度，分别在引射器X/Y/Z三个方向各进行24 h振动，一共进行72 h振动；试验过程中流量控制阀不工作。振动试验完成后，检查流量控制阀是否损坏、松脱，并检查其能否在额定工作范围正常工作，且满足5.2.7要求。

* 1. 冷热冲击实验

按照GB/T 2423.22-2012中Na规定的试验方法，将流量控制阀放置在-40 ℃的低温箱内，放置30 min；然后在2 min内把流量控制阀放置在100 ℃的高温箱内，放置30 min，重复循环5次，在试验期间流量控制阀不工作；试验结束，按照GB/T 2423.22的规定恢复常态后，测试引射器在额定工作范围能否正常工作，且满足5.2.8要求。

* 1. 防护等级试验

按照GB 4208中规定的IP67等级规定的试验方法进行试验。

* 1. 耐盐雾试验

流量控制阀总成按GB/T 2423.18的规定进行试验，严酷等级（5）。

* 1. 清洁度

按ISO 16232-2018第6章和第7章的规定进行检测。

* 1. 耐氧化性试验

非金属零部件，在温度为70 ℃±2 ℃、压力为2 MPa的氧气中放置96 h，观察其变化状态。

* 1. 耐臭氧老化性

非金属密封件，在温度为40 ℃±2 ℃，臭氧体积分数为5×10-7的空气中放置120 h，观察其变化状态。

* 1. 相容性

与氢气接触的非金属零部件，应在不低于1 MPa压力和常温下的氢气中浸泡168 h后，从泄压开始，应在5 min之内，根据GB/T 1690-2010中7.2和7.3先后测量其体积变化率和质量变化率。

* 1. 阀组流量测试

氢气流量控制阀组安装在专用试验台上，氢气流量控制阀组工作压力为额定工作压力，工作电压为额定电压，工作频率为50 Hz或按照生产商产品标准规定，调节氢气流量控制阀组供氢部件开度为100%，分别在20 ℃、80 ℃和-40 ℃下，用质量流量计测量空气或氮气流量值，然后按式(1)换算成标准状态下的氢气流量值。

 $Q=Q\_{0}×\sqrt{\frac{R\_{0}}{R}}$ .................................. (1)

式中：

$Q$——氢气在标准状态下的流量，g/s；

$Q\_{0}$——氮气或空气在标准状态下的流量，g/s；

$R$——氢气气体常数；

$R\_{0}$——测试气体气体常数。

* 1. 绝缘电阻试验

氢气流量控制阀组不接通电源，对其中线圈类产品进行测试。线圈接线端短路，按以下条件测量线圈接线端与外壳间的绝缘电阻：

a） 对于用不超过3.8 mm厚度合成材料封装电路的线圈，施加100 V直流电压保持60 s以后；

b） 对其他线圈，施加500 V直流电压保持60 s以后。

* 1. 绝缘强度试验

氢气流量控制阀组不接通电源，对其中线圈类产品进行测试。线圈接线端短路，然后在输出功率不小于250 W、电源频率为50 Hz的高压试验装置上进行测定，试验时应使试验电压由零平稳地上升到500 V，并保持1 min，然后将试验电压平稳地下降到零，并切断电源。

出厂检验中，试验时间可缩短至1 s，但试验电压需升高25%。

* 1. 耐用性试验

对供氢组件为氢气喷嘴的流量控制阀组，试验要求如下：

1. 在进行耐用性试验前，氢喷嘴需进行泄漏试验和绝缘电阻试验，并符合试验要求；
2. 氢喷嘴在最大工作压力和室温条件下进行耐用性试验，氢喷嘴的一个脉冲试验次数为一个工作周期（脉冲特性按生产商产品规定），脉冲的最小频率应为50 Hz；
3. 耐用性试验每进行0.8×108次试验后，进行按照6.3.1常温试验和6.17常温试验规定的试验方法进行试验；
4. 完成4×108个工作周期后，流量控制阀组作为试件，应按6.3、6.17和6.18规定的试验方法进行试验。
5. 检验规则
	1. 检验分类

检验分出厂检验和型式检验。

* 1. 出厂检验

出厂检验按如下要求进行：

1. 氢气流量控制阀组的出厂应经制造厂检验部门检验合格，并附有产品质量合格证；
2. 出厂检验应逐件进行，其检验项目按7.3.2。
	1. 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

1. 新设计或设计参数、工艺、材料有重大变更，可能影响产品性能时；
2. 停产半年以上，重新恢复生产时；
3. 连续生产满1年时；
4. 经检验或试验合格后的试件，若检验项目会影响使用性能或使用寿命者，不能作为合格产品出厂。

检查项目

型式试验检查项目表见表2。

表2 检查项目表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目 | 检验方法 | 判定方法 | 出厂检验 | 型式检验 |
| 1 | 外观检查 | 6.2 | 5.1.2 | √ | √ |
| 2 | 防护等级 | 6.11 | 5.1.7 |  | √ |
| 3 | 禁限用物质 | 5.1.8 | 5.1.8 |  | √ |
| 4 | 常温气密性 | 6.3.1 | 5.2.1 | √ | √ |
| 低温气密性 | 6.3.2 | 5.2.1 |  | √ |
| 高温气密性 | 6.3.3 | 5.2.1 |  | √ |
| 5 | 基本性能 | 6.4 | 5.2.2 | √ | √ |
| 6 | 低温性能 | 6.5 | 5.2.3 |  | √ |
| 7 | 高温性能 | 6.6 | 5.2.4 |  | √ |
| 8 | 温度循环 | 6.7 | 5.2.5 |  | √ |
| 9 | 湿热循环 | 6.8 | 5.2.6 |  | √ |
| 10 | 抗振动 | 6.9 | 5.2.7 |  | √ |
| 11 | 耐温度冲击 | 6.10 | 5.2.8 |  | √ |
| 12 | 耐盐雾 | 6.12 | 5.2.9 |  | √ |
| 13 | 清洁度 | 6.13 | 5.2.10 |  | √ |
| 14 | 耐氧化 | 6.14 | 5.2.11 |  | √ |
| 15 | 耐臭氧 | 6.15 | 5.2.12 |  | √ |
| 16 | 相容性 | 6.16 | 5.2.13 |  | √ |
| 17 | 阀组流量 | 6.17 | 5.2.14 |  | √ |
| 18 | 绝缘 | 6.18 | 5.2.15 |  | √ |
| 19 | 耐久 | 6.19 | 5.2.16 |  | √ |
| 注：√表示检验项目 |

判定规则

产品的型式检验应全部符合规定要求。如有一个项目不合格时，可重新加倍抽取样品，对该不合格项目进行复查，如合格，则判该批产品为合格；如仍不合格，则判该批产品为不合格。

1. 出厂文件
	1. 产品合格证

合格证应标有以下内容：

1. 制造厂名和商标；
2. 产品型号和编号；
3. 检验部门的签章和检验日期。
	1. 产品使用说明书

说明书按GB/T 9969进行编写，并特别要说明以下内容：

1. 引射器的结构型式、功能介绍；
2. 使用过程中的故障判别及排除方法。
3. 标志

引射器应有永久性标记，标记应清晰。标记应包含以下内容：

1. 制造厂名称或商标；
2. 产品型号；
3. 公称工作压力；
4. 生产批号或日期；
5. 流向标识。

参 考 文 献

1. GB/T 23314.2 涡轮增压器 第2部分：试验方法

[3]TCI090—-2023 燃料电池系统用引射器性能测试方法

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_