

团 体 标 准

T/CI 1151—2025

燃料电池发动机用氢气共轨系统

Hydrogen common rail system for fuel cell system

2025-08-25 发布

2025-08-25 实施

中国国际科技促进会
中国标准出版社

发 布
出 版

目 次

前言Ⅲ

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义2

4 试验条件3

5 技术要求4

6 试验方法9

7 检验.....19

8 标志、包装、运输和储存.....21

附录A(资料性) 氢气共轨系统结构图22

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。

本文件由中国国际科技促进会提出并归口。

本文件起草单位：烟台东德实业有限公司、潍柴动力股份有限公司、山东大学、山东国创燃料电池技术创新中心有限公司、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、苏州弗尔赛能源科技股份有限公司、上海澄朴科技有限公司、扬州亚星客车股份有限公司、宇通客车股份有限公司。

本文件主要起草人：邢子义、李可敬、姜静、田晓庆、时保帆、王雷、訾敬忠、张大鹏、陈瑞军、李淑萍、薛宝建、赵林亭、王彦波、姜卫平、譙康伟、张维东、冯健美、李凯、徐加忠、梁永浩、潘永昌、余阳阳。

燃料电池发动机用氢气共轨系统

1 范围

本文件规定了燃料电池发动机用氢气共轨系统的试验条件、技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输及储存要求。

本文件适用于燃料电池发动机用氢气共轨系统。

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 191 包装储运图示标志
- GB/T 755—2019 旋转电机 定额和性能
- GB/T 1690—2010 硫化橡胶或热塑性橡胶 耐液体试验方法
- GB/T 2408 塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法
- GB/T 2423.3 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验
- GB/T 2423.4—2008 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(12 h+12 h 循环)
- 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 2423.56 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fh:宽带随机振动和导则
- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
- GB 3095 环境空气质量标准
- GB/T 3836.1—2021 爆炸性环境 第1部分:设备 通用要求
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)
- GB/T 6543 运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱
- GB/T 13277.4—2015 压缩气体 第4部分:固体颗粒测量方法
- GB/T 13277.5—2019 压缩气体 第5部分:油蒸气及有机溶剂测量方法
- GB 18384—2020 电动汽车安全要求
- GB/T 18488—2024 电动汽车用驱动电机系统
- GB/T 19764 优先数和优先数化整值系列的选用指南
- GB/T 23263 制品中石棉含量测定方法
- GB/T 28046.2—2019 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 30512 汽车禁用物质要求
- GB/T 31562 铸造机械 清洁度测定方法
- GB/T 37244 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气

JB/T 12334—2015 涡轮增压器 噪声测试方法
QC/T 1037 道路车辆用高压电缆
QC/T 1208—2024 燃料电池发动机用氢气循环泵
T/CI 090 燃料电池系统用引射器性能测试方法

3 术语和定义

QC/T 1208—2024、T/CI 090 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

氢气共轨系统 hydrogen common rail system

由氢泵、电机控制器(以下简称“控制器”)、引射器、电磁阀(包括开关阀、比例阀或者氢喷阀)、安全阀、传感器(温度传感器和压力传感器等)、电气线路、管路及通信线束等零部件组成,提供一定压力、流量的新鲜氢气和回流氢气的氢气供给装置。

注:氢气共轨系统分为并联结构和串联结构,结构图见附录A,可集成式或分体式安装。

3.2

新氢流量 new hydrogen flow

从储氢瓶经减压器出来,进入氢气共轨系统的纯氢气质量或体积流量。

3.3

循环流量 recirculation flow

由电堆阳极侧排出并进入氢气共轨系统的含水蒸气、氮气、氢气等混合气体的质量或体积流量。

3.4

新氢压力 new hydrogen pressure

进入氢气共轨系统的新氢气体的绝对压力。

3.5

回氢压力 inlet pressure

进入氢气共轨系统的循环气体的气体绝对压力。

3.6

出气压力 outlet pressure

氢气共轨系统出口气体的绝对压力。

3.7

压升 pressure rise

氢气共轨系统出气压力与回氢压力之差。

3.8

引射比 ejection ratio

循环流量与新氢流量的质量流量比值。

注:无量纲,用 ω 表示。

3.9

额定工况 rated operating conditions

氢气共轨系统运行在额定新氢压力、额定回氢压力、额定压升和氢泵额定转速下的工况。

3.10

怠速工况 idle condition

氢气共轨系统运行在氢气循环泵最低工作转速的工况。

注:怠速工况运行条件包括新氢压力、回氢压力、回氢温度、氢泵转速、压升等。

3.11

破冰启动时间 ice breaking start-up time

从向氢气共轨系统发出启动指令,到氢气共轨系统达到额定工况的时间。

4 试验条件

4.1 试验环境条件

除另有规定外,试验环境条件应满足以下要求:

- a) 温度: $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 大气压力: $86\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$ 。

4.2 试验气源

试验可用氢气、氮气、空气和氦气等气源,应满足以下要求:

- a) 氢气纯度 $\geq 99.97\%$,应符合 GB/T 37244 的规定要求;
- b) 氮气纯度 $\geq 99\%$;
- c) 空气应符合 GB 3095 的规定要求。

4.3 试验电源

试验电源应满足以下要求:

- a) 试验电源为直流电源,稳压误差 $\pm 1\%$;
- b) 试验电源应满足氢气共轨系统控制器对于功率的需求;
- c) 如氢气共轨系统有馈电功能,试验电源应能吸收馈电或将馈电返回电网。

4.4 试验用仪器和设备

试验用仪器和设备等应检验合格,仪器和设备的精度应满足表1要求。

表1 仪器设备准确度要求

仪器设备名称	单位	准确度	备注
电压表	V	$\leq 0.5\% \text{FS}$	FS:满量程
电流表	A	$\leq 0.5\% \text{FS}$	FS:满量程
绝缘表	M Ω	$\pm 1.5\% \text{FS}$	FS:满量程
压力传感器	kPa	± 1	—
温度传感器	$^{\circ}\text{C}$	± 1	—
质量流量计	kg/s	$\leq 1\%$	按照相对误差计
体积流量计	L/min	$\leq 1\%$	按照相对误差计
噪声频谱分析仪	dB(A)	± 1	—
氢气检漏仪	ppm	$\pm 3\% \text{FS}$	—
空气检漏仪	mL/min	$\leq 1.5\%$	按照相对误差计
氦气检漏仪	mL/min	$\leq 1.5\%$	按照相对误差计

表 1 仪器设备准确度要求（续）

仪器设备名称	单位	准确度	备注
转速测定仪	r/min	$\leq 0.5\%FS$	FS :满量程
相对湿度	—	$\pm 3\%$	—
电子秤	kg	± 0.01	—
油蒸气传感器	mg/m ³	± 0.001	—

4.5 管路布置

气体管道应为圆形截面,内壁光滑,且保证气流速度低于0.3倍马赫数。所有连接管路不准许有截面突变、直角弯曲,且渐扩、渐缩管路锥角不大于12°。

注:马赫数是物体速度与音速的比值。

4.6 冷却装置

对于液冷型氢气共轨系统,按照要求连接冷却管路,冷却液流量、进水温度、散热功率等应符合产品技术文件规定。

4.7 数据采集

试验数据采集频率 ≥ 1 Hz,小数进位按 GB/T 19764 规定进行。

4.8 一般检查项

将氢气共轨系统恢复常态,应符合以下要求:

- a) 目视检查氢气共轨系统外表面不应出现裂纹和损坏,螺栓无松动;
- b) 密封性符合 5.2.1 的规定;
- c) 绝缘电阻符合 5.3.3 的规定;
- d) 润滑油(如果有的话)无泄漏;
- e) 与试验开始前相比,额定工况工作特性偏移不超过 $\pm 5\%$ 。

5 技术要求

5.1 一般性项目

5.1.1 外观和结构

按 6.1.1 进行检查,氢气共轨系统的外观和结构应符合技术文件规定。

5.1.2 尺寸与重量

按 6.1.2 进行检查,氢气共轨系统的尺寸和重量应符合产品技术文件规定。

5.2 工作特性与机械特性

5.2.1 密封性

5.2.1.1 氢气路高压腔密封性

按照 6.2.1.1 进行试验,氢气共轨系统高压腔密封性用检漏液检测,停留 3 min,不应有冒泡。

5.2.1.2 氢气路低压腔密封性

按照 6.2.1.2 进行试验,氢气共轨系统低压腔的泄漏量 ≤ 0.1 mL/min。

5.2.1.3 冷却水道密封性

按照 6.2.1.3 进行试验,氢气共轨系统冷却水道的泄漏量 ≤ 1 mL/min。

5.2.2 工作特性

按照 6.2.2 进行试验,氢气共轨系统的新氢流量、回氢流量、压升和引射比等应符合产品技术文件规定。

5.2.3 破冰启动

按照 6.2.3 进行试验,氢气共轨系统破冰启动的时间不应超过 15 s。

5.2.4 动态响应

按照 6.2.4 进行试验,氢气共轨系统的升载时间不应超过 3 s,降载时间不应超过 2 s。

5.2.5 噪声

按照 6.2.5 进行试验,氢气共轨系统噪声应满足以下要求,或由制造商与用户协商一致后确定:

- a) 额定工况以及 5.2.4 规定的动态响应工况的噪声值 ≤ 75 dB(A);
- b) 怠速工况的噪声值 ≤ 70 dB(A)。

5.2.6 冷却水道流阻

按照 6.2.6 进行试验,氢气共轨系统的冷却水道流阻应符合产品技术文件规定。

5.2.7 清洁度

按照 6.2.7 进行试验,氢气共轨系统的清洁度应满足以下要求,或由制造商与用户协商一致后确定:

- a) $0\ \mu\text{m}\sim 200\ \mu\text{m}$ 的金属颗粒物不计数,总重量不超过 $40\ \text{mg}/\text{m}^2$;
- b) 不准许直径大于 $200\ \mu\text{m}$ 的金属颗粒物;
- c) 非金属类纤维长度不超过 $1\ 000\ \mu\text{m}$ 。

5.2.8 压缩气体纯度

按照 6.2.8 进行试验,压缩气体的纯度应满足以下规定:

- a) 氢气共轨系统出口压缩气体颗粒纯度应符合 GB/T 13277.4—2015 中 7.1 等级 2 的规定;
- b) 氢气共轨系统出口压缩气体含油等级应符合 GB/T 13277.5—2019 中 7.3 等级 2 的规定。

5.2.9 泄压阀特性

按照 6.2.9 进行试验,氢气共轨系统的泄压阀特性应满足以下要求,或由制造商与用户协商一致后确定:

- a) 初始开启压力由制造商与用户协商一致后确定;
- b) 全开流量应不小于 260 SLPM(介质氮气);
- c) 回座压力由制造商与用户协商一致后确定。

5.2.10 氢气相容性

按照 6.2.10 进行试验,氢气共轨系统与氢气接触的非金属零件体积膨胀率应 $\leq 25\%$,体积收缩率应 $\leq 1\%$,质量损失率应 $\leq 10\%$ 。

5.3 电气特性

5.3.1 电机温升

按照 6.3.1 进行试验,氢气共轨系统电机温升限值应符合 GB/T 755—2019 中 8.10 的规定。

5.3.2 高电压工作范围

按照 6.3.2 进行试验,氢气共轨系统额定工况下,氢泵高电压工作范围应符合产品技术文件规定。

5.3.3 绝缘电阻

按照 6.3.3 进行试验,电机、控制器和电磁阀的绝缘电阻应符合 GB/T 18488—2024 中 5.1.4 的规定。

5.3.4 耐电压

按照 6.3.4 进行试验,电机、控制器、电磁阀和压力传感器的耐电压应符合 GB/T 18488—2024 中 5.1.5 的规定。

5.3.5 低电压输入范围

按照 6.3.5 进行试验,控制器、电磁阀和压力传感器低电压输入范围应符合 GB/T 28046.2—2019 中 4.2 代码 C 或 F 的规定。

5.3.6 安全接地检查

按照 6.3.6 检查氢气共轨系统氢泵电机、控制器以及引射器的接地特性,应符合 GB/T 18488—2024 中 5.3.1 的规定。

5.3.7 控制器保护功能

按照 6.3.7 检查控制器保护功能,控制器应具有过压、欠压、过温、超速和通信中断的故障保护功能。

5.3.8 控制器支撑电容放电时间

按照 6.3.8 进行试验,控制器支撑电容被动放电时间应 $\leq 5\text{ min}$,主动放电时间应 $\leq 3\text{ s}$ 。

5.3.9 电磁兼容性

按照 6.3.9 进行试验,应符合 QC/T 1208—2024 中 6.3.10 的规定。

5.3.10 电机转速控制精度

按照 6.3.10 氢气共轨系统的电机转速控制误差,应小于 100 r/min 或最高转速的 0.2%(取较大值)。

5.3.11 电磁阀表面温度

按 6.3.11 进行试验,电磁阀表面温度应符合产品技术文件规定。

5.3.12 高压电缆

高压电缆应满足 QC/T 1037 的规定。

5.4 环境适应性

5.4.1 低温存储

按照 6.4.1 进行试验,在环境舱内复测氢气共轨系统绝缘电阻应符合 5.3.3 的规定。试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.2 高温存储

按照 6.4.2 进行试验,在环境舱内复测氢气共轨系统绝缘电阻应符合 5.3.3 的规定。试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.3 低温工作性能

按照 6.4.3 进行试验,在环境舱内复测氢气共轨系统绝缘电阻应符合 5.3.3 要求。试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.4 高温工作性能

按照 6.4.4 进行试验,在环境舱内复测氢气共轨系统绝缘电阻应符合 5.3.3 要求。试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.5 温度冲击

按照 6.4.5 进行试验,试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.6 湿热循环

按照 6.4.6 进行试验,氢气共轨系统应无明显的外表面质量变坏及影响正常工作的锈蚀现象。试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.7 稳态湿热

按照 6.4.7 进行试验,氢气共轨系统应无明显的外表面质量变坏及影响正常工作的锈蚀现象。试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.8 防水防尘

按照 6.4.8 进行试验,氢气共轨系统的防护等级应满足 GB/T 4208 规定的 IP67。试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.9 盐雾试验

按照 6.4.9 进行试验,试验完成后,氢气共轨系统应无锈蚀,标识清晰,并符合 4.8 的规定。

5.4.10 随机振动

按照 6.4.10 进行试验,试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.11 机械冲击

按照 6.4.11 进行试验,试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。

5.4.12 电磁线圈电阻随温度变化试验

按照 6.4.12 进行试验,电阻值变化满足产品技术文件规定。

5.5 安全性与禁用物质

5.5.1 禁用物质

按照 6.5.1 进行试验,氢气共轨系统禁用物质应满足 GB/T 30512 要求,且石棉不应检出。

5.5.2 燃烧特性

按照 6.5.2 进行试验,氢气共轨系统外露的非金属零件,水平燃烧性能应满足 HB 级,垂直燃烧性能应满足 V-0 级要求。

5.5.3 高压安全

所有高压接插件应具有判断高压互锁功能的连接端子,并应满足 GB 18384—2020 中 5.1 的安全要求。

5.5.4 防爆安全

氢气共轨系统外壳的非金属部件应符合 GB/T 3836.1—2021 的第 7 章适用 II C 类设备的规定,外壳的金属部件应符合 GB/T 3836.1—2021 中 8.3 的规定,氢气共轨系统的线缆引入装置应符合 GB/T 3836.1—2021 中 16.3 的规定,还应符合制造商对于防爆安全的其他要求。

5.6 耐久性

5.6.1 启停耐久

按照 6.6.1 进行试验,试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。试验后对氢气共轨系统各部件进行拆解确认,不应有影响功能的磨损、断裂、变形、松动等异常现象。

5.6.2 变载循环耐久

按照 6.6.2 进行试验,试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。试验后对氢气共轨系统各部件进行拆解确认,不应有影响功能的磨损、断裂、变形、松动等异常现象。

5.6.3 温度循环耐久

按照 6.6.3 进行试验,试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。试验后对氢气共轨系统各部件进行拆解确认,不应有影响功能的磨损、断裂、变形、松动等异常现象。

5.6.4 额定工况耐久

按照 6.6.4 进行试验,试验完成后,氢气共轨系统应符合 4.8 的规定。试验后对氢气共轨系统各部件进行拆解确认,不应有影响功能的磨损、断裂、变形、松动等异常现象。

6 试验方法

6.1 一般性项目

6.1.1 外观和结构检查

外观和结构检查要求如下:

- a) 外表面清洁无异物,无机械损伤、锈蚀、剥落,紧固件连接可靠;
- b) 应有铭牌,铭牌内容清晰无误;
- c) 应有接地结构和接地标志;
- d) 应粘贴高压电、高温等警示标志。

6.1.2 尺寸和重量检查

用量具进行氢气共轨系统的尺寸检查,用称重仪器进行氢气共轨系统的重量检查。

6.2 工作特性与机械特性

6.2.1 密封性试验

6.2.1.1 氢气路高压腔密封性试验

试验介质为空气或者氮气,按以下步骤进行试验:

- a) 新氢入口通入工作压力 1.5 倍试验介质或者不低于 1.8 MPa 压力;
- b) 开关阀、比例阀(或者氢喷阀)均关闭,检漏液检测管路 3 min 之内是否有气泡;
- c) 开关阀打开,比例阀(或者氢喷阀)关闭,3 min 之内管路是否有气泡,泄压阀是否有气体流出;
- d) 开关阀关闭,比例阀(或者氢喷阀)打开,出气口是否有气泡。

6.2.1.2 氢气路低压密封性试验

6.2.1.2.1 试验方法

试验介质为空气或者氮气,按以下步骤进行试验:

- a) 使用制作好的工装封闭氢气路新氢入口和出气口;

- b) 将回氢入口与检漏仪的高压气体连接好；
- c) 对氢气路通入最大工作压力(绝压)1.5倍的试验介质后保压5 min。

6.2.1.2.2 数据记录

记录检漏仪泄漏值。

6.2.1.3 冷却水道密封性试验

6.2.1.3.1 试验方法

试验介质为空气或者氮气,按以下步骤进行试验:

- a) 使用制作好的工装封闭冷却水道出口；
- b) 将冷却水道进口与检漏仪的高压气体连接好；
- c) 对冷却水道通入最大工作压力(绝压)1.2倍的试验介质后保压5 min。

6.2.1.3.2 数据记录

记录检漏仪泄漏值。

6.2.2 工作特性试验

6.2.2.1 工作特性(MAP图)试验

按以下步骤进行试验:

- a) 将氢气共轨系统安装在测试台架上,连接好管路、电气线路和通信线束等；
- b) 按照产品技术要求设置冷却液流量和温度；
- c) 氢气共轨系统上电,怠速运行,检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象,氢气共轨系统运行中不应有异响；
- d) 待冷却液温度稳定后,氢气共轨系统停止运行,开始进行测试；
- e) 设定氢气共轨系统许用的最小新氢压力、比例阀(或者氢喷阀)初开占空比、最小回氢压力和最小压升；
- f) 氢泵从停止状态、怠速转速变载至额定转速,不同转速的数量不少于7个；
- g) 从最小压升变载至最大压升,步长自行定义,每个压升工况下重复步骤f)；
- h) 从最小回氢压力变载至最大回氢压力,步长自行定义,每个回氢压力工况下重复步骤g)；
- i) 从比例阀(或者氢喷阀)初开占空比变载至最大占空比,每个比例阀(或者氢喷阀)占空比工况下重复步骤h)；
- j) 从最小新氢压力变载至最大新氢压力,步长自行定义,每个新氢压力工况下重复步骤i)；
- k) 每个工况应在控制参数达到规定值后稳定运行1 min取平均值；
- l) 试验完成后,关闭氢气共轨系统和台架。

6.2.2.2 额定工况性能试验

按以下步骤进行试验:

- a) 将氢气共轨系统安装在测试台架上,连接好管路、电气线路和通信线束等；
- b) 按照产品技术要求设置冷却液流量和温度；
- c) 氢气共轨系统上电,怠速运行,检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象,氢气共轨系统运行中不应有异响；

- d) 待冷却液温度稳定后,开始进行测试;
- e) 氢气共轨系统在额定工况稳定运行 10 min,取最后 1 min 稳定运行的平均值作为额定工况性能。

6.2.2.3 数据记录和处理

记录新氢流量、循环流量、新氢压力、回氢压力、出气压力、比例阀(或者氢喷阀)占空比、电机控制器输入电流、控制器输入电压和氢泵转速,计算氢气共轨系统压升、引射比和控制器输入功率等。

6.2.3 破冰启动试验

6.2.3.1 试验方法

按以下步骤进行试验:

- a) 允许使用包含在产品范围内的外加热等方式实现破冰启动;
- b) 将氢气共轨系统的氢泵腔和引射器充满湿度 $\geq 95\%$ 和温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的气体;
- c) 将氢气共轨系统的回氢口和出气口连通,使氢气共轨系统的出气腔完全封闭;
- d) 将氢气共轨系统整体放置在一 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境中保持 12 h;
- e) 启动氢气共轨系统至额定工况;
- f) 试验完成后,关闭氢气共轨系统和台架。

6.2.3.2 数据记录和处理

记录新氢流量、氢泵转速,计算破冰启动时间。

6.2.4 动态响应试验

6.2.4.1 试验方法

按以下步骤进行试验:

- a) 将氢气共轨系统安装在测试台架上,并按照产品技术要求设置冷却液流量、温度;
- b) 氢气共轨系统调整至氢泵怠速稳定运行,迅速升载至氢泵额定转速;
- c) 氢气共轨系统在氢泵额定转速稳定运行,迅速降载至氢泵怠速;
- d) 试验完成后,关闭氢气共轨系统和台架。

6.2.4.2 数据记录和处理

记录新氢流量、回氢流量、新氢压力、回氢压力、出气压力、比例阀(或者氢喷阀)占空比和氢泵转速,计算氢气共轨系统从怠速升至额定转速的升载时间和从额定转速降至怠速的降载时间。

6.2.5 噪声试验

6.2.5.1 试验条件

按照 JB/T 12334—2015 中第 7 章的规定测试氢气共轨系统的噪声,按以下步骤进行试验:

- a) 测试环境:消声室或半消声室;
- b) 测点数量:前、后、左、右、上,共 5 点;
- c) 测点距离:距被测物表面 1 m;
- d) 背景噪声:小于 40 dB(A) 。

6.2.5.2 试验方法

按以下步骤进行试验：

- a) 将氢气共轨系统安装在测试台架上,连接好管路、电气线路和通信线束等,不准许对氢气共轨系统本体进行包裹,将氢气共轨系统的出气口放至消声室外;
- b) 按照产品技术要求设置冷却液流量和温度;
- c) 待冷却液温度稳定后,开始进行测试;
- d) 将氢气共轨系统加载至怠速工况,运行 5 min,测量怠速工况的噪声值;
- e) 将氢气共轨系统从怠速工况升载至额定工况,测量升载工况的噪声值;
- f) 氢气共轨系统升载至额定工况后,运行 5 min,测量额定工况的噪声值;
- g) 将氢气共轨系统从额定工况降载至怠速工况,测量降载工况的噪声值;
- h) 可调整氢气共轨系统运行条件,测量其他工况噪声。

6.2.5.3 数据记录

记录怠速工况、怠速工况升载至额定工况、额定工况、额定工况降载至怠速工况和其他工况的噪声值。

6.2.6 冷却水道流阻试验

6.2.6.1 试验条件

试验介质为 50% 乙二醇和 50% 纯净水的混合溶液,测试台架的水箱加热功能和水泵的动力应能满足测试需求。

6.2.6.2 试验方法

按以下步骤进行试验：

- a) 模拟燃料电池发动机上的安装方式,将氢气共轨系统冷却水路连接完整;
- b) 开启水泵,检查各连接部位不应有漏液现象;
- c) 将冷却液温度设置为 25℃,待温度稳定后开始测试;
- d) 调整水泵转速,逐渐增加冷却液流量从 0 L/min 到最大流量,在 0 L/min 到最大流量之间,均匀选取不少于 6 个测点;
- e) 分别记录不同流量下的氢气共轨系统进出水压力值;
- f) 将冷却液温度设置为 65℃,重复步骤 d) 和步骤 e)。

6.2.6.3 数据记录和处理

记录冷却液流量、进水温度、出水温度、进水压力和出水压力,绘制氢气共轨系统冷却水道流阻特性图。

6.2.7 清洁度试验

按照 GB/T 31562 的规定测试氢气路和冷却水道的清洁度。

6.2.8 压缩气体纯度试验

试验介质为氮气,按以下步骤进行试验：

- a) 将氢气共轨系统安装在测试台架上,并连接管路和线束;
- b) 按照产品技术要求设置冷却液流量、温度;
- c) 将氢气共轨系统加载至额定工况,检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象,氢气共轨系统运行中不应有异响;
- d) 按照 GB/T 13277.4—2015 的规定对氢气共轨系统出口气体的固体颗粒物进行测量;
- e) 按照 GB/T 13277.5—2019 的规定对氢气共轨系统出口气体的油气和有机溶剂含量进行测量;
- f) 试验完成后,关闭氢气共轨系统台架。

6.2.9 泄压阀特性试验

6.2.9.1 试验方法

试验介质为空气或者氮气,按以下步骤进行试验:

- a) 开关阀和比例阀(或者氢喷阀)关闭,出气口封闭,将泄压阀出气口放入水中;
- b) 回氢口通入空气或者氮气,慢慢升压至泄压阀出气口开始冒泡,测量初始开启压力;
- c) 继续升压至泄压阀流量不再增加,测量泄压阀全开流量;
- d) 慢慢降压至泄压阀出气口无气泡,测量泄压阀回座压力。

6.2.9.2 数据记录

记录泄压阀初始开启压力、全开流量和回座压力。

6.2.10 氢气相容性试验

氢气共轨系统与氢气接触的非金属零件应在常温下压力 1 MPa 的氢气环境中浸泡 168 h,泄压后应在 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。

6.3 电气特性

6.3.1 电机温升试验

按照 GB/T 755—2019 中第 8 章的规定进行试验,环境温度按照 6.4.4 中的高温,对于氢气共轨系统中采用水冷的部分(可以是氢气共轨系统整体、泵头、电机或控制器),冷却液流量按照产品技术文件中的最小值,冷却液温度按照产品技术文件中的最大值。氢气共轨系统持续运行在额定工况直至电机温度稳定。

6.3.2 高电压工作范围试验

将试验电源的直流母线电压分别设定在产品规范中要求的最高工作电压和最低工作电压处,在不同工作电压下,并使氢气共轨系统能在产品技术文件规定的最大功率下运行不低于 1 h。

6.3.3 绝缘电阻试验

按照 GB/T 18488—2024 中 6.2.4 的规定测试电机和控制器、电磁阀和压力传感器的绝缘电阻。

6.3.4 耐电压试验

按照 GB/T 18488—2024 中 6.2.5 的规定测试电机和控制器、电磁阀和压力传感的耐电压特性。

6.3.5 低电压输入范围试验

按照 GB/T 28046.2—2019 中 4.2 的规定测试控制器、电磁阀和压力传感器低电压输入范围。

6.3.6 安全接地检查试验

按照 GB/T 18488—2024 中 6.4.1 测试被测电机和控制器的接地电阻。

6.3.7 控制器保护功能试验

按照 GB/T 18488—2024 中 6.4.2 的规定进行。

6.3.8 支撑电容放电时间试验

按照 GB/T 18488—2024 中 6.4.3 的要求测试支撑电容放电时间。

6.3.9 电磁兼容性试验

按照 QC/T 1208—2024 中 7.3.9 进行试验。

6.3.10 转速控制精度试验

按照 QC/T 1208—2024 中 7.3.10 进行试验。

6.3.11 电磁阀表面温度试验

氢气共轨系统连接好管路、电气线路和通信线束等,在电磁阀表面粘贴热电偶,热电偶尽可能安装在最高温度处,加载至额定工况,持续运行至温度达到平衡状态,记录热电偶温度。

6.3.12 高压线缆试验

按照 QC/T 1037 进行试验。

6.4 环境适应性

6.4.1 低温存储试验

按照 GB/T 28046.4—2011 中 5.1.1.2 进行试验,氢气共轨系统进出气口进行封堵,连接器连接线束,在 -40°C 低温环境中持续存放不低于 24 h。

6.4.2 高温存储试验

按照 GB/T 28046.4—2011 中 5.1.2.1.2 进行试验,氢气共轨系统进出气口进行封堵,连接器连接线束,在 85°C 高温环境中持续存放不低于 48 h。

6.4.3 低温工作性能试验

按照按照 GB/T 28046.4—2011 中 5.1.2.1.2 进行试验,氢气共轨系统连接好管路、电气线路和通信线束等,在 -30°C 低温环境下保持 24 h 后,在 -30°C 低温环境下启动至额定工况稳定运行不低于 24 h。试验重复 2 次。

6.4.4 高温工作性能试验

按照 GB/T 28046.4—2011 中 5.1.2.2.2 进行试验,氢气共轨系统连接好管路、电气线路和通信线束等,在 65℃高温环境下保持 24 h 后,在 65℃高温环境下启动至额定工况并稳定运行不低于 96 h。

6.4.5 温度冲击试验

按照 GB/T 2423.22—2012 中 Na 进行试验,氢气共轨系统进出气口进行封堵,连接器连接线束。最高温度为 85℃,最低温度为 -40℃,高低温箱内空气温度平衡时间 ≤ 18 min,高温保持时间 ≥ 3 h,低温保持时间 ≥ 3 h;高低温切换时间不超过 3 min,循环 30 次。

6.4.6 湿热循环试验

按照 GB/T 2423.4—2008 中 Db 方法 1 进行湿热循环试验,氢气共轨系统连接好管路、电气线路和通信线束等,当达到最大循环温度时,氢气共轨系统在额定工况运行。最高温度 65℃,循环 6 次。

6.4.7 稳态湿热试验

按照 GB/T 2423.3 进行试验,氢气共轨系统连接好管路、电气线路和通信线束等,温度为 30℃,相对湿度为 93%,最后 1 h 氢气共轨系统在额定工况运行,试验持续时间为 21 d。

6.4.8 防护等级试验

按照 GB/T 4208 中所规定的方法进行试验,氢气共轨系统进出气口进行封堵,连接器连接线束。

6.4.9 盐雾试验

按照 GB/T 2423.18 进行试验,氢气共轨系统进出气口进行封堵,连接器连接线束,按以下步骤进行试验。

- 严酷等级为等级 5。
- 盐溶液采用 NaCl(化学纯、分析纯)和蒸馏水或去离子水配置,其浓度为 $5\% \pm 0.1\%$ (质量分数), $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 下测量 pH 值在 6.5~7.2。
- 将测试对象放入盐雾箱,在 $15^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ 下喷盐雾 2 h。
- 喷雾结束后,将测试对象转移到湿热箱中贮存 20 h~22 h,温度为 $40^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$,相对湿度为 $93\% \pm 3\%$,组成一个循环。将这一循环再重复 3 次,然后在试验标准大气条件温度为 $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$,相对湿度为 45%~55% 下贮存 3d,组成一个周期。
- 重复 d) 进行 4 个周期试验。

6.4.10 随机振动试验

按照 GB/T 2423.56 进行随机振动试验,氢气共轨系统放在振动台架上。乘用车用氢气共轨系统,每个轴向的试验持续时间为 8 h。 $X/Y/Z$ 轴的加速度均方根(RMS)值均为 27.8 m/s^2 ,功率谱密度(PSD)P 和频率按照表 2 执行。

表2 随机振动功率谱1

频率 Hz	X/Y/Z轴功率谱密度 PSD (m/s ²) ² /Hz
10	20
55	6.5
180	0.25
300	0.25
360	0.14
1 000	0.14
RMS(m/s ²)	27.8

商用车用氢气共轨系统,每个轴的试验持续时间为32 h。X/Y/Z轴的加速度均方根(RMS)值均为57.9 m/s²,功率谱密度 PSD 和频率按照表3执行。

表3 随机振动功率谱2

频率 Hz	X/Y/Z轴功率谱密度 PSD g ² /Hz
10	18
20	36
30	36
180	1
2 000	1
RMS(m/s ²)	57.9

6.4.11 机械冲击试验

按照 GB/T 28046.3—2011 中 4.2.2 进行试验,氢气共轨系统连接好管路、电气线路和通信线束等,冲击试验的加速度方向应与车辆发生冲击实际产生的加速度方向相同,如方向未知,应在6个方向上进行试验,试验要求如下:

- 冲击脉冲形式:半正弦波;
- 加速度:500 m/s²;
- 持续时间:6 ms;
- 冲击次数:每个方向10次。

6.4.12 电磁阀电阻随温度变化试验

试验在温控箱内进行,测试温度范围:—40℃~85℃,每次升温10℃并保持10 min,测试线圈电阻值并记录测量结果。

6.5 安全性与禁用物质

6.5.1 禁用物质试验

按照 GB/T 30512 检测氢气共轨系统中禁用物质,按照 GB/T 23263 中规定检测石棉。

6.5.2 燃烧特性试验

按照 GB/T 2408 中规定进行水平燃烧和垂直燃烧试验。

6.6 耐久性

6.6.1 启停耐久试验

6.6.1.1 试验方法

按以下步骤进行试验:

- 将氢气共轨系统安装在测试台架上,连接好管路、电气线路和通信线束等;
- 控制介质湿度 $\geq 95\%$;
- 采用水冷的部分(可以是氢气共轨系统整体、泵头、电机或控制器)冷却液流量按照产品技术文件的最小值,冷却液温度按照产品技术文件的最大值;
- 将氢气共轨系统运行至额定工况,检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象,氢气共轨系统运行中不应有异响;
- 调整氢气共轨系统控制程序,氢气共轨系统在停机和怠速工况切换运行,停机和怠速工况持续时间不少于 2 s;
- 循环次数达到 15 万次后,停止试验,关闭氢气共轨系统和台架。

6.6.1.2 数据处理

每天监测耐久过程中的运行数据,新氢流量、回氢流量、新氢压力、回氢压力、出气压力、比例阀(或者氢喷阀)占空比、控制器输入电流、控制器输入电压和氢泵转速,用于确认氢气共轨系统的实际运行状态。

6.6.2 变载循环耐久试验

6.6.2.1 试验方法

按以下步骤进行试验:

- 将氢气共轨系统安装在测试台架上,连接好管路、电气线路和通信线束等;
- 控制介质湿度 $\geq 95\%$;
- 采用水冷的部分(可以是氢气共轨系统整体、泵头、电机或控制器)冷却液流量按照产品技术文件的最小值,冷却液温度按照产品技术文件的最大值;
- 将氢气共轨系统运行至额定工况,检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象,氢气共轨系统运行中不应有异响;
- 调整氢气共轨系统控制程序,氢气共轨系统在怠速工况和额定工况切换运行,变载速率满足 5.2.4 要求;
- 循环次数达到 15 万次后,停止试验,关闭氢气共轨系统和台架。

6.6.2.2 数据处理

每天监测耐久过程中的运行数据,新氢流量、回氢流量、新氢压力、回氢压力、出气压力、比例阀(或者氢喷阀)占空比、控制器输入电流、控制器输入电压和氢泵转速,用于确认氢气共轨系统的实际运行状态。

6.6.3 温度循环耐久试验

6.6.3.1 试验要求

按以下步骤进行试验:

- 将氢气共轨系统安装在测试台架上,连接好管路、电气线路和通信线束等;
- 采用水冷的部分(可以是氢气共轨系统整体、泵头、电机或控制器)冷却液流量按照产品技术文件的最小值,冷却液温度按照产品技术文件的最大值;
- 将氢气共轨系统运行至额定工况,检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象,氢气共轨系统运行中不应有异响;
- 调整氢气共轨系统控制程序,使氢气共轨系统在低温 -30°C 时按照怠速工况运行,高温 65°C 时按照额定工况运行,进行高低温切换,环境仓温度和冷却液的温度变化率不低于 4 K/min ,低温和高温的保持时间应在达到温度稳定后持续 30 min ;
- 试验总循环次数 ≥ 300 次,循环次数达到后停止试验,关闭氢气共轨系统和台架。

6.6.3.2 数据处理

每天监测耐久过程中的运行数据,新氢流量、回氢流量、新氢压力、回氢压力、出气压力、比例阀(或者氢喷阀)占空比、控制器输入电流、控制器输入电压和氢泵转速,用于确认氢气共轨系统的实际运行状态。

6.6.4 额定工况耐久试验

6.6.4.1 试验方法

按以下步骤进行试验:

- 将氢气共轨系统安装在测试台架上,并装好各连接管路和线束;
- 采用水冷的部分(可以是氢气共轨系统整体、泵头、电机或控制器)冷却液流量按照产品技术文件的最小值,冷却液温度按照产品技术文件的最大值;
- 将氢气共轨系统运行至额定工况,检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象,氢气共轨系统运行中不应有异响;
- 氢气共轨系统在额定工况运行,采用水冷的部分(可以是氢气共轨系统整体、泵头、电机或控制器)冷却液流量按照产品技术文件中的最小值,冷却液温度按照产品技术文件中的最大值;
- 试验 $2\,000\text{ h}$ 后停止试验,关闭氢气共轨系统和台架。

6.6.4.2 数据处理

每天监测耐久过程中的运行数据,新氢流量、回氢流量、新氢压力、回氢压力、出气压力、比例阀(或者氢喷阀)占空比、控制器输入电流、控制器输入电压和氢泵转速,用于确认氢气共轨系统的实际运行状态。

7 检验

7.1 检验项目

按照批准的产品图样及技术文件制造氢气共轨系统,按表4规定的内容进行检验。

表4 氢气共轨系统检验项目

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	抽查检验	条款
1	外观和结构	√	√	√	5.1.1
2	尺寸和重量	√	√	√	5.1.2
3	氢气路高压腔密封性试验	√	√	√	5.2.1.1
4	氢气路低压腔密封性试验	√	√	√	5.2.1.2
5	冷却水道密封性试验	√	√	√	5.2.1.3
6	工作特性(MAP图)试验	√	—	√	5.2.2.1
7	额定工况性能试验	√	√	√	5.2.2.2
8	破冰启动试验	√	—	—	5.2.3
9	动态响应试验	√	—	√	5.2.4
10	噪声试验	√	—	√	5.2.5
11	冷却水道流阻试验	√	—	√	5.2.6
12	清洁度试验	√	√	√	5.2.7
13	压缩气体纯度	√	—	—	5.2.8
14	泄压阀特性试验	√	—	—	5.2.9
15	氢气相容性试验	√	—	—	5.2.10
16	电机温升试验	√	—	—	5.3.1
17	高电压工作范围试验	√	—	—	5.3.2
18	绝缘电阻试验	√	√	√	5.3.3
19	耐电压试验	√	√	√	5.3.4
20	低电压输入范围试验	√	—	—	5.3.5
21	安全接地检查试验	√	√	√	5.3.6
22	控制器保护功能试验	√	—	—	5.3.7
23	控制器支撑电容放电时间试验	√	—	—	5.3.8
24	电磁兼容性试验	√	—	—	5.3.9
25	转速控制精度试验	√	—	—	5.3.10
26	电磁阀表面温度试验	√	—	—	5.3.11
27	高压电缆试验	√	—	—	5.3.12
28	低温存储试验	√	—	—	5.4.1
29	高温存储试验	√	—	—	5.4.2
30	低温工作性能试验	√	—	—	5.4.3

表 4 氢气共轨系统检验项目（续）

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	抽查检验	条款
31	高温工作性能试验	√	—	—	5.4.4
32	温度冲击试验	√	—	—	5.4.5
33	湿热循环试验	√	—	—	5.4.6
34	稳态湿热试验	√	—	—	5.4.7
35	防水防尘试验	√	—	—	5.4.8
36	盐雾试验试验	√	—	—	5.4.9
37	随机振动试验	√	—	—	5.4.10
38	机械冲击试验	√	—	—	5.4.11
39	电磁线圈电阻随温度变化试验	√	—	—	5.4.12
40	禁用物质试验	√	—	—	5.5.1
41	燃料特性试验	√	—	—	5.5.2
42	高压安全	√	—	—	5.5.3
43	防爆安全	√	—	—	5.5.4
44	启停耐久试验	√	—	—	5.6.1
45	变载循环耐久试验	√	—	—	5.6.2
46	温度循环耐久试验	√	—	—	5.6.3
47	额定工况耐久试验	√	—	—	5.6.4

7.2 型式检验

型式检验指在投入批量生产之前,制造商对全新设计、主要零部件结构或材料做重大改变的氢气共轨系统,进行制造要求、性能测定和可靠性试验的检验,要求如下:

- 型式检验的项目按照 7.1 进行;
- 型式检验的样本数由氢气共轨系统制造商和客户协商确定。

7.3 出厂检验

出厂检验指为保证产品质量,制造商在出厂前,按技术文件规定进行的检验,要求如下:

- 出厂检验的项目按照 7.1 进行;
- 出厂检验的样机按同型号、生产条件 and 生产时间基本相同的单位产品组成一批,出厂检验的样本数由氢气共轨系统制造商和客户商定,不合格项目及分类应符合技术文件规定;
- 出厂检验的性能测试可以由制造商和用户协商确定。

7.4 抽查检验

抽查检验指制造商、客户或质量检测机构在规定的时间内(或批量)内,对产品按技术文件规定进行的检验,要求如下:

- 抽查检验的项目按照 7.1 进行;
- 抽查检验的频次、样本数由氢气共轨系统制造商和客户协商确定;
- 无特殊要求时,按 GB/T 2828.1 中规定进行。

8 标志、包装、运输和储存

8.1 标志

8.1.1 产品标志

产品标志应满足以下要求：

- a) 应有铭牌、高压电、接地位置、高温标识等标志；
- b) 应处于便于观察位置，且安装牢固无松脱；
- c) 产品标志应耐油、耐水，不应有锈蚀、划痕、变形等；
- d) 铭牌应包括产品商标、名称、型号、零件号、出厂编号/物料号/序列号、生产厂家/厂家代码等内容，字迹清晰、无剥落等。

8.1.2 包装箱标志

包装箱标志内容宜包括：

- a) 产品名称、型号、零件号、物料号、批次号；
- b) 订单编号、包装数量、毛重、出厂日期；
- c) 防雨、易碎、向上、堆码层数标志，图样印刷应按照 GB/T 191 要求。

8.2 包装

包装应满足以下要求：

- a) 包装环境应清洁、干燥、无有害介质；
- b) 进出气口、进出水口、电气接口等用封盖或堵头封堵；
- c) 采用内外两层包装，所有零件包装后，再用包装箱包装，内外包装均进行封闭包装；
- d) 内包装可采用塑料薄膜袋，多个零部件可采用单独小包装；
- e) 外包装可采用纸质包装箱，满足 GB/T 6543 要求，包装箱底部应有垫板，零部件在包装箱内应可靠固定；
- f) 包装箱应随带产品合格证、出厂检验单、使用说明书、装箱清单等。

8.3 运输

在运输过程中，应防止振动、碰撞、暴晒、雨淋等，恶劣天气可用防护罩防护。

8.4 储存

应在干燥、清洁场地储存，场地无易燃、易爆、易腐蚀物品。

附录 A
(资料性)
氢气共轨系统结构图

氢气共轨系统分为并联结构和串联结构,并联结构见图 A.1,串联结构见图 A.2。

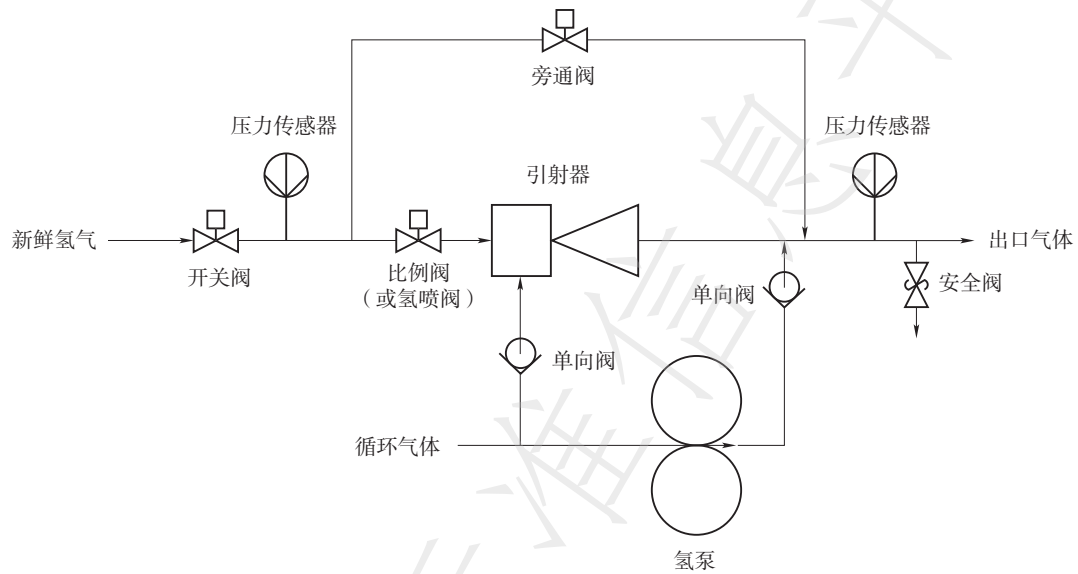


图 A.1 氢气共轨系统并联结构图

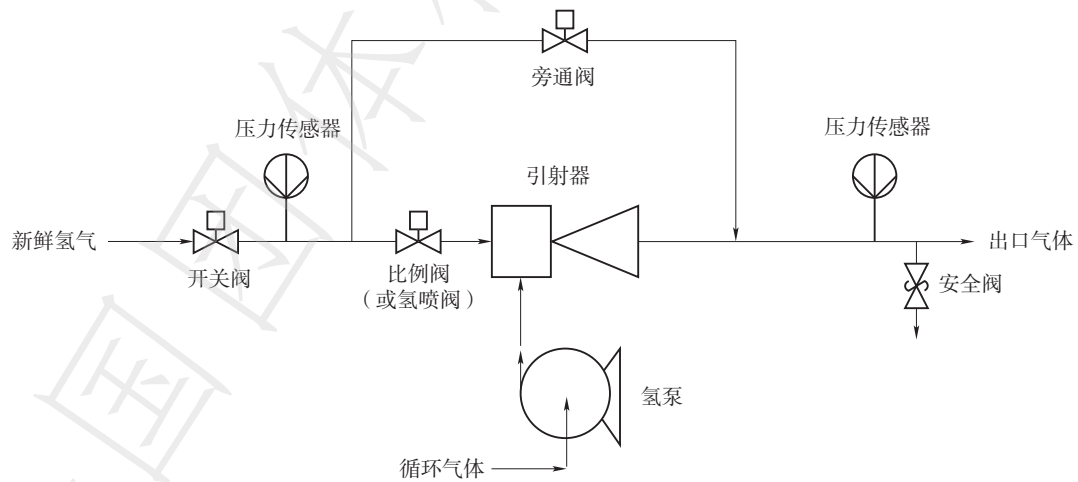


图 A.2 氢气共轨系统串联结构图

中国国际科技促进会
团 体 标 准
燃料电池发动机用氢气共轨系统
T/CI 1151—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 00 千字
2025年9月第1版 2025年9月第1次印刷

*

书号:155066·5-17230 定价 00.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CI 1151-2025