ICS 43.080.01

CCS T 47

|  |
| --- |
|  |

团体标准

T/CAAMTB XXXX—202X

|  |
| --- |
|  |

车用燃料电池氢气循环泵

Automotive fuel cell hydrogen recirculation blower

|  |
| --- |
| (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 III](#_Toc203983795)

[1 范围 1](#_Toc203983798)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc203983799)

[3 术语和定义 2](#_Toc203983800)

[4 要求 3](#_Toc203983801)

[4.1 一般要求 3](#_Toc203983802)

[4.2 外观要求 3](#_Toc203983803)

[4.3 防护等级 3](#_Toc203983804)

[4.4 禁用限用物质 3](#_Toc203983805)

[4.5 使用要求 3](#_Toc203983806)

[4.6 机械性能要求 3](#_Toc203983807)

[5 试验方法 8](#_Toc203983808)

[5.1 一般规定 9](#_Toc203983809)

[5.2 外观及尺寸检查 9](#_Toc203983810)

[5.3 气密性试验 10](#_Toc203983811)

[5.4 冷却水道密封试验 10](#_Toc203983812)

[5.5 冷却水道流道阻力试验 10](#_Toc203983813)

[5.6 清洁度 10](#_Toc203983814)

[5.7 冷却水道电导率测试 10](#_Toc203983815)

[5.8 基本性能试验 10](#_Toc203983816)

[5.9 响应时间试验 12](#_Toc203983817)

[5.10 排气含油量试验 12](#_Toc203983818)

[5.11 低温性能试验 12](#_Toc203983819)

[5.12 高温性能试验 12](#_Toc203983820)

[5.13 温度循环试验 12](#_Toc203983821)

[5.14 湿热循环试验 12](#_Toc203983822)

[5.15 高低温存储试验 13](#_Toc203983823)

[5.16 温度冲击试验 13](#_Toc203983824)

[5.17 抗振动性能试验 13](#_Toc203983825)

[5.18 抗冲击试验 13](#_Toc203983826)

[5.19 防护等级试验 14](#_Toc203983827)

[5.20 噪音试验 14](#_Toc203983828)

[5.21 耐盐雾试验 14](#_Toc203983829)

[5.22 耐氧化性试验 15](#_Toc203983830)

[5.23 耐臭氧老化性 15](#_Toc203983831)

[5.24 相容性 15](#_Toc203983832)

[5.25 磨合试验 15](#_Toc203983833)

[5.26 耐久试验 15](#_Toc203983834)

[5.27 高电压工作范围 17](#_Toc203983835)

[5.28 低电压输入范围 18](#_Toc203983836)

[5.29 供电电压缓降和缓升 18](#_Toc203983837)

[5.30 供电电压瞬时下降 18](#_Toc203983838)

[5.31 对电压骤降的复位性能 18](#_Toc203983839)

[5.32 启动特性 18](#_Toc203983840)

[5.33 转速控制精度试验 18](#_Toc203983841)

[5.34 安全接地检查 18](#_Toc203983842)

[5.35 控制器支撑电容放电时间测试 18](#_Toc203983843)

[5.36 电机温升试验 18](#_Toc203983844)

[5.37 反向电压 18](#_Toc203983845)

[5.38 开路试验 18](#_Toc203983846)

[5.39 短路保护 18](#_Toc203983847)

[5.40 堵转过热保护 19](#_Toc203983848)

[5.41 耐电压 19](#_Toc203983849)

[5.42 绝缘电阻 19](#_Toc203983850)

[5.43 电磁兼容试验 19](#_Toc203983851)

[6 检验规则 20](#_Toc203983852)

[6.1 检验分类 20](#_Toc203983853)

[6.2 出厂检验 20](#_Toc203983854)

[6.3 型式检验 20](#_Toc203983855)

[7 出厂文件 22](#_Toc203983856)

[7.1 产品合格证 22](#_Toc203983857)

[7.2 产品使用说明书 22](#_Toc203983858)

[8 标志、包装、运输及贮存 22](#_Toc203983859)

[8.1 标志 22](#_Toc203983860)

[8.2 包装 22](#_Toc203983861)

[8.3 运输及贮存 23](#_Toc203983862)

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、时宝帆、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。

车用燃料电池氢气循环泵

1. 范围

本文件规定了氢循环泵总成的术语定义、技术要求，试验方法、检验规则、出厂文件、标识、运输、贮存。

本文件适用于以氢气为主要成分、主要结构为罗茨式或爪式的循环泵总成，其他类型循环泵可参照执行。

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 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 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(12h＋12h循环)

GB/T 2423.18-2021 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 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 2423.56-2018 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 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 5171.22 小功率电动机 第22部分：永磁无刷直流电动机试验方法

GB/T 6908-2018 锅炉用水和冷却水分析方法电导率的测定

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 17626.4-2018 电磁兼容　试验和测量技术　电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 18488-2024 电动汽车用驱动电机系统

GB/T 18655-2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法

GB/T 19951-2019 道路车辆 静电放电产生的电骚扰 试验方法

GB/T 21437.2-2021 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分：沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性

GB/T 28046.1-2011 道路车辆　电气及电子设备的环境条件和试验　第1部分：一般规定

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 33014.1 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第1部分：一般规定

GB/T 33014.2-2016 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第2部分：电波暗室法

GB/T 33014.4-2016 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第4部分：大电流注入（BCI）法

GB 50800-2012 消声室和半消声室技术规范

QC/T 29078 汽车用空气压缩机性能要求及台架试验方法

JB/T 12334-2015 涡轮增压器 噪声测试方法

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

氢气循环泵 hydrogen recireulation blower

将燃料电池阳极过剩氢气重新泵送至电堆的机械设备。

3.2

泵体 pump

将旋转机械能转换为气体压力能的机械装置。

3.3

电机 motor

为泵体（3.2）提供驱动力的电气装置。

3.4

控制器 controller

燃料电池发动机与电机（3.3）之间进行能量传输的装置,由控制信号接口电路、电机控制电路和驱动电路组成。

3.5

进气压力 inlet pressure

氢气循环泵进气口绝对输入压力。

3.6

排气压力 outlet pressure

氢气循环泵输出口绝对输出压力。

3.7

压升 pressure rise

氢气循环泵排气压力（3.6）与进气压力（3.5）之差。

3.8

额定工况 rated point

由制造商规定的,氢气循环泵在额定转速稳定运行的工作点。

**注:**工作点条件包含氢气循环泵的转速、进气压力、进气温度和压升。

3.9

怠速工况 steady operating point

由制造商规定的,氢气循环泵在最低转速稳定运行的工作点。

3.10

流量 flow

在给定转速、进气压力和压升下，循环泵在单位时间内排出的气体体积。

3.11

总效率 overall efficiency

将一定量的气体(纯气体或混合气体)压缩到特定压力时的绝热压缩功率与控制器输入功率之比。

1. 要求
   1. 一般要求

循环泵应按经规定程序批准的图样及技术文件制造。

* 1. 外观要求
     1. 外观良好，外表面应无磕碰、污渍、锈蚀，外观无可见损伤、脱胶或脱焊等现象。
     2. 进排气口、信号接插件，应做防护，引出线或接线端完整无损，颜色的标志正确。
     3. 各联接部位，螺栓应按设计规定的力矩装配后，打点记，可靠无松动。
     4. 按设计图样的规定，高压电警示标识标牌、铭牌字迹等应清晰完整、无误。
  2. 防护等级

应符合GB 4208中IP67的规定。

* 1. 禁用限用物质

应符合GB/T 30512的相关规定。

* 1. 使用要求
     1. 工作环境

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。

* + 1. 工作介质

工作介质应满足以下要求：

1. 介质温度为-40 ℃～90 ℃，介质湿度为0～100 %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。
   * 1. 基本电控要求

电控要求如下：

1. 供电范围为400～750 VDC；
2. 通讯方式为CAN2.0 B，满足SAE J1939要求；
3. 波特率为250 kbps；
4. 数据发送周期为100 ms；
5. BootLoader应具备刷写功能；
6. Variable name 类型为整型，小数或者负数可以使用增益或者偏移的方式；
7. 转速控制精度为动态超调要求为阶跃差值的-3%～+5%；稳态误差为目标转速的±0.5%；
8. 故障诊断应具备电压、电流、温度、转速、故障等级、故障码等诊断功能。
   1. 机械性能要求
      1. 气路密封性

按5.3规定的方法进行气密性试验，泄漏率不应超过0.1 mL/min。

* + 1. 冷却水道密封性

对于氢气循环泵中采用水冷的部分(如氢气循环泵整体、泵体、电机或控制器)，按照5.4规定的方法分别测试冷却水道的密封性，冷却水道的泄漏量不超1 mL/min。

* + 1. 冷却水道流阻特性

对于氢气循环泵中采用水冷的部分(如氢气循环泵整体、泵体、电机或控制器)，按照5.5分别测试冷却水道流阻，冷却水道的流阻应符合产品技术文件的规定，流阻的偏差率不超过士10%。

* + 1. 气路清洁度

按5.6规定的方法进行试验，气路的清洁度应符合以下规定，或由制造商和用户协商致后确定：

1. 每平方米氢气路表面积0 μm～200 μm的金属颗粒物总质量不超过40mg；
2. 不允许直径大于200 μm的金属颗粒物；
3. 非金属类纤维长度不超过1000 μm。
   * 1. 冷却水道清洁度

对于氢气循环泵中采用水冷的部分(如氢气循环泵整体、泵体、电机或控制器)，按照5.6测试冷却水道清洁度冷却水道的清洁度应符合以下规定，或由制造商和用户协商一致后确定：

1. 每平方米氢气路表面积0 μm～500 μm的金属颗粒物总质量不超过40 mg；
2. 不允许直径大于500 μm的金属颗粒物；
3. 非金属类纤维长度不超过1000 μm。
   * 1. 冷却水道电导率

对于氢气循环泵中采用水冷的部分(如氢气循环泵整体、泵体、电机或控制器)，如果冷却水道与电堆共用冷却水，则按照5.7测试冷却水道的电导率，冷却水道的电导率不超过10 μS/cm。

* + 1. 基本性能

按5.8规定的试验方法进行性能测试，采集进排气压力和温度、输入电压和电流、流量等性能参数，计算压升、输入功率、输出功率和效率等，并绘制MAP图，各性能指标满足设计要求。

* + 1. 一般检查项

所有环境适应性试验完成后,将氢气循环泵恢复常态，应符合以下要求:

1. 目视检查氢气循环泵外表面无裂纹和损坏,螺栓无松动；
2. 气腔密封性符合4.6.1的规定；
3. 冷却水道密封性符合4.6.2的规定；
4. 绝缘电阻符合4.6.44的规定；
5. 润滑油(如有)冷却液(如有)目视检查无泄漏；
6. 氢气循环泵能在额定工况下稳定运行不少于1 h。
   * 1. 响应时间

按5.9规定的试验方法进行测试后，循环泵应满足以下要求：

1. 加速及降速响应时间：从怠速加速到额定转速所需时间≤3 s，以及从额定转速降低到转速为怠速所需时间 ≤2 s；
2. 启动和停机响应：氢气循环泵的启动和停机响应时间均不应超过1 s；
3. 低温启动响应时间：也就是氢气循环泵冷启动破冰时间，可以使用产品范围内的外加热装置，从转速为零到额定转速所需时间≤15 s。
   * 1. 排气含油量

按5.10规定的试验方法进行测试后，排气含油量≤0.01 mg/m³。

* + 1. 低温性能

按5.11规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的A级，且应满足下列要求：

1. 与常温下的基本性能相比，同一工况下，输出压力、流量和功率变化值小于±5%；
2. 箱内复测绝缘电阻符合4.6.44的规定；
3. 试验完成后,将氢气循环泵恢复常态,符合4.6.8的规定。
   * 1. 高温性能

按5.12规定的规方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的A级要求，且应满足下列要求：

1. 与常温下的基本性能相比，同一工况下，输出压力、流量和功率变化值小于±5%；
2. 箱内复测绝缘电阻符合4.6.44的规定；
3. 试验完成后,将氢气循环泵恢复常态,符合4.6.8的规定。
   * 1. 温度循环

按5.13规定方法进行试验，试验结束后，样件应满足GB/T 28046.1-2011中C级和5.6.8的要求。

* + 1. 湿热循环

按5.14规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的A级要求，试验完成后,将氢气循环泵恢复常态，应符合4.6.8的规定。

* + 1. 高低温存储

按5.15规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的C级要求，试验完成后,将氢气循环泵恢复常态,应符合4.6.8的规定。

* + 1. 温度冲击

按照5.16规定的方法进行温度冲击试验，试验完成后,将氢气循环泵恢复常态，应符合4.6.8的规定。

* + 1. 抗振动

按5.17规定的方法进行试验，循环泵能正常运行，应满足以下要求：

1. 防护性能满足4.3的要求；
2. 试验完成后,将氢气循环泵恢复常态,符合4.6.8的规定。
   * 1. 抗冲击

按5.18规定的方法进行试验，试验结束后，样件应满足4.2和4.3的要求，且能正常运行和无损坏现象，紧固件无松脱现象。

* + 1. 防爆性

氢气循环泵外壳的非金属部件应符合GB/T 3836.1-2021的第7章中适用ⅡC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,氢气循环泵的电缆引人装置应符合GB/T 3836.1-2021中16.3的规定。氢气循环泵还应符合制造商对于防爆安全的其他要求。

* + 1. 噪音

按5.20的规定测试氢气循环泵的整体噪声。氢气循环泵的整体噪声应满足以下要求，或由制造商与用户协商一致后确定：

1. 在额定工况点以及4.6.9规定的动态响应工况的噪声值均不应超过75 dB(A)；
2. 在最低稳态工况的噪声值不应超过70 dB(A)。
   * 1. 耐盐雾性

按照5.21规定的方法进行试验，循环泵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 28046.1-2011定义的C级。

* + 1. 耐氧化性

与氢气接触的密封件，按5.22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. 耐臭氧性

与空气接触的密封件，按5.23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5.24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. 磨合试验

生产下线后，每台循环泵应按5.25进行磨合试验。

* + 1. 耐久性能
       1. 温度循环耐久性能

按照5.26.1进行温度循环耐久试验。

试验完成后,将氢气循环泵恢复常态,应符合4.6.8的规定。出口滤网的杂质总质量应小于50 mg。

试验后对氢气循环泵各部件进行拆解确认,不应有影响功能的损、断裂、变形、松动等异常现象。

* + - 1. 变载循环耐久

按照5.26.2进行氢气循环泵变载循环耐久试验。

试验完成后,将氢气循环泵恢复常态,应符合4.6.8的规定。出口滤网的杂质总质量应小于50 mg。

试验后对氢气循环泵各部件进行拆解确认,不应有影响功能的损、断裂、变形、松动等异常现象。

* + - 1. 高负载耐久性能

按照5.26.3进行高负载耐久试验。

试验完成后,将氢气循环泵恢复常态,应符合4.6.8的规定。出口滤网的杂质总质量应小于50 mg。

试验后对氢气循环泵各部件进行拆解确认,不应有影响功能的损、断裂、变形、松动等异常现象。

* + 1. 高电压工作范围

按照5.27测试氢气循环泵的高电压工作范围。

氢气循环泵在满功率下的高电压工作范围应符合产品技术文件规定。

* + 1. 低电压输入范围

按照5.28测试低电压。

控制器低电压输人范围应符合GB/T 28046.2-2019中4.2代码C或F的规定。

* + 1. 供电电压缓降和缓升

按5.29规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的A级要求。

* + 1. 供电电压瞬时下降

按5.30规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的B级要求。

* + 1. 对电压骤降的复位性能

按5.31规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的C级要求。

* + 1. 启动特性

按5.32规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的A级要求。

* + 1. 转速控制精度

按照5.33测试氢气循环泵的转速控制精度，应小于60 r/min或最高转速的0.1%(取较大值)。

* + 1. 高压线缆

高压线缆应具有360°的屏蔽层，耐热温度不低于150 ℃。

* + 1. 安全接地检查

按照5.34检查电机及控制器的接地特性，应符合GB/T 18488-2024中5.3.1的规定。

* + 1. 控制器支撑电容放电时间

按照5.35测试控制器支撑电容放电时间，被动放电时间不应大于5 min，主动放电时间不应大于3 s。

* + 1. 电机温升

按照5.36进行电机温升试验，电机温升限值应符合GB/T 755-2019中8.10的规定。

* + 1. 反向电压

按5.37规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的C级要求。

* + 1. 开路试验

按5.38规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的C级要求。

* + 1. 短路保护

按5.39规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的C级要求。

* + 1. 堵转过热保护

按5.40规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的A级要求。

* + 1. 耐电压

按5.41规定的方法进行试验，电机和控制器的耐电压应符合GB/T 18488-2024中5.1.5的规定。

* + 1. 绝缘性能

按5.42规定的方法进行试验，电机和控制器的绝缘电阻应符合GB/T 18488-2024中5.1.4的规定。

* + 1. 电磁兼容性能
       1. 电快速脉冲群抗扰

按5.43.1规定的方法进行试验，氢循环泵符合GB/T 17626.4功能状态要求等级Ⅰ。

* + - 1. 传导发射-电压法

按5.43.2规定的方法进行试验，氢循环泵符合GB/T 18655-2018中6.3.4表5的等级3限值要求。

* + - 1. 传导发射-电流探头法

按5.43.3规定的方法进行试验，氢循环泵符合GB/T 18655-2018中6.4.3表6的等级3限值要求。

* + - 1. 辐射发射-ALSE法

按5.43.4规定的方法进行试验，氢循环泵符合GB/T 18655-2018中6.5.4表7的等级3限值要求。

* + - 1. 电压瞬态传导发射

按5.43..5规定的方法进行试验，满足GB/T 21437.2-2021附录A中的状态等级A要求。

* + - 1. 瞬态抗扰性

按5.43.6规定的方法进行试验，氢循环泵应满足以下要求：

1. 经脉冲1试验后，符合GB/T 21437.2-2021附录A中的状态等级C；
2. 经脉冲2a试验后，符合GB/T 21437.2-2021附录A中的状态等级A；
3. 经脉冲2b试验后，符合GB/T 21437.2-2021附录A中的状态等级C；
4. 经脉冲3a试验后，符合GB/T 21437.2-2021附录A中的状态等级A；
5. 经脉冲3b试验后，符合GB/T 21437.2-2021附录A中的状态等级A；
6. 经脉冲4试验后，符合GB/T 21437.2-2021附录A中的状态等级C；
7. 经脉冲5a试验后，符合GB/T 21437.2-2021附录A中的状态等级A。
   * + 1. 射频抗扰（自由场/ALSE）

按5.43.7规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 28046.1-2011定义的A级要求。

* + - 1. 射频抗扰（大电流注入/BCI）

按5.43.8规定的方法进行试验，循环泵功能状态满足GB/T 33014.1定义的A级要求。

* + - 1. 静电放电抗扰（ESD）

按5.43.9规定的方法进行试验，循环泵上电模式下，功能状态满足GB/T 33014.1定义的A级要求。

按5.43.9规定的方法进行试验，循环泵下电模式下，功能状态满足GB/T 33014.1定义的C级要求。

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. 试验气源采用清洁的干燥空气、干燥氢气、干燥氦气、或者氦气与氮气的混合气(氦气10％，氮气90％)。
3. 试验介质温度为（70±5）℃。
4. 试验介质相对湿度为（95 %RH～100 %RH），或在循环泵进气口以10 mL/min的速度注水。
5. 所有试验用的仪器设备等经计量部门检验合格,仪器设备的准确度符合表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 |
| 绝缘表 | MΩ | ±1.5%FS | FS：满量程 |
| 压力传感器 | kPa | ±1 |  |
| 温度传感器 | ℃ | ±1 |  |
| 质量流量计 | kg/s | ≤1% |  |
| 体积流量计 | L/min | ≤1% | 按相对误差计 |
| 噪音频谱分析仪 | dB(A) | ±1 |  |
| 空气检漏仪 | mL/min | ≤1.5% | 按相对误差计 |
| 氦气检漏仪 | mL/min | ≤1.5% | 按相对误差计 |
| 转速测定仪 | r/min | ≤0.5%FS | FS：满量程 |
| 湿度传感器 | %RH | ±3 |  |
| 电导率仪 | μS/cm | ±0.01 |  |

1. 对于氢气循环泵运行时，需记录试验时的环境压力和环境温度、氢气循环泵进气压力、进气温度、进气流量、排气压力、排气温度、转速、控制器输人功率、冷却液进出温度、冷却液流量等，测量参数及其单位、精度要求见下表2，另有规定除外。

表2 测量参数、单位、精度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 参数 | 单位 | 精度 | 分辨率 |
| 压力 | kPa | ±0.1 | 0.1 |
| 体积流量 | m3/h | ±0.1 | 0.1 |
| 温度 | ℃ | ±0.1 | 0.1 |
| 扭矩 | N·m | ±0.1 | 0.1 |
| 噪声 | dB(A) | ±1 | 0.1 |
| 质量 | mg | ±0.1 | 0.1 |
| 时间 | s | ±0.1 | 0.1 |
| 时间 | min | ±1 | 0.1 |
| 电压 | V | ±0.1 | 0.1 |
| 电流 | A | ±0.1 | 0.1 |

* 1. 外观及尺寸检查

用目测和手感对循环泵进行外观检查，必要时可增加尺寸测量和标准样块比对检查。

* 1. 气密性试验

按5.3.1、5.3.2和5.3.3进行。

* + 1. 常温气密性试验

对样件通入氢气或氦气试验介质，并应按以下步骤进行试验：

1. 使用制作好的工装封闭氢气路出口；
2. 将氢气路进口与检漏仪的高压气体连接好；
3. 对氢气路通人不低于氢气路最大工作压力(绝压)1.5倍的试验介质后保压5 min；
4. 记录测量的泄漏流量值。
   * 1. 低温气密性试验

循环泵不工作，在(-40±2) ℃温度下保温4 h后，按照5.3.1进行测试。

* + 1. 高温气密性试验

循环泵不工作，在(65±2) ℃温度下保温4 h后，进按照5.3.1进行测试。

* 1. 冷却水道密封试验

试验介质为空气、氮气或者氦氮混合气，并按照如下步骤进行密封性试验：

1. 使用制作好的工装封闭冷却水道出口；
2. 将冷却水道进口与检漏仪的高压气体连接好；
3. 对冷却水道通人不低于冷却水道最大工作压力(绝压)1.2倍的试验介质后保压5 min；
4. 记录测量的泄漏值。
   1. 冷却水道流道阻力试验

按照如下步骤进行冷却水道流阻试验：

1. 调整水泵转速，从0 L/min逐渐增加冷却液流量至最大流量，在0 L/min 到最大流量之间,均匀选取不少于6个测点；
2. 分别记录不同流量下的氢气循环泵进出水压力值；
3. 将冷却液温度设置为65℃,重复a）和b）；
4. 试验完成后,关闭氢气循环泵和台架。
   1. 清洁度

按照GB/T 31562的规定分别测试氢气路和冷却水道的清洁度。

* 1. 冷却水道电导率测试

将冷却水道封灌常温电导率小于5 μS/cm的去离子水，在70 ℃下静置12 h后进行取样。将样品冷却到室温后按照GB/T 6908-2018的规定测试样品的电导率。

* 1. 基本性能试验

试验设备：直流电源、压力表或压力传感器、体积流量计、球阀、调压阀、电压表、电流表、温度传感器等。参照图1所示的循环泵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，面积应不小于相连接的进、排气口管路面积，截面不应产生突变；
3. 当循环泵进、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. 循环泵进、排气压力测试点尽量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。

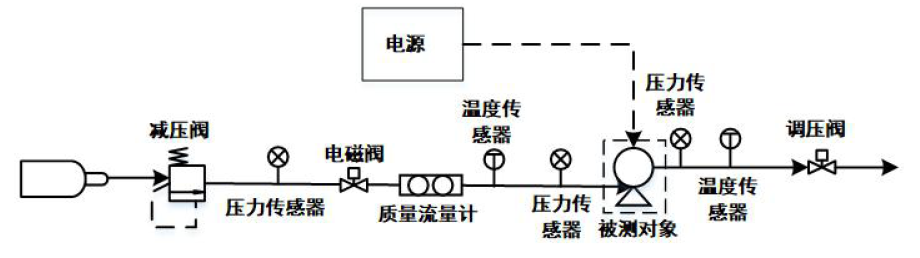


图1 循环泵性能测试示意图

试验方法如下：

1. 将试验介质调整到规定的状态，在每一个不同的进气压力（如一个标准大气压），不同转速和压升下，待压力和流量等满足稳定状态后，测量循环泵的性能参数，并记录此时循环泵的流量、进气口的温度和压力值、排气口的温度和压力值、供电电压及电流、氢气循环泵转速、冷却液进出温度、冷却液流量等，计算压升、输入功率、输出功率和效率，并绘制MAP图；
2. 从最低工作转速开始试验，以不高于最高转速的15%为间隔逐渐递增，增加至最高工作转速；
3. 进气压力应从最低工作压力，以20 kPa为递增逐渐间隔，增加至最大工作压力；
4. 排气压力应从排气节流阀全开时的压力点开始，压差△P一般取3～5kPa；
5. 测试时，每个测试点应满足稳定状态后，按表3进行记录。稳定状态指：转速波动满足5.7.8要求；在1分钟之内进排气口温度波动不能超过±1 ℃；压力波动不超过±2 kPa。

表3 循环泵基本性能记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 转速r/min | 电压V | 电流A | 进气温度t℃ | 排气温度t℃ | 进气压力kPa | 排气压力kPa | 压差△P (kPa) | 噪声(dB) | 流量Q（m3/h) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

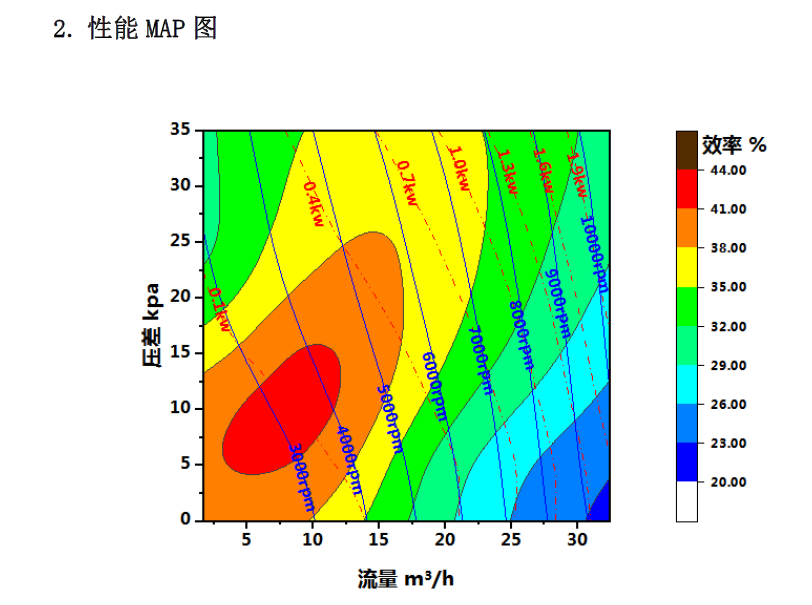


图2 循环泵性能MAP示意图

* 1. 响应时间试验

响应时间如下：

1. 从CAN通讯发出运行指令开始，记录循环泵满足指定的转速工况所需的时间；
2. 低温启动响应试验前，循环泵通入相对湿度不低于95 %RH的饱和水蒸气或相同含水量的去离子水，持续运行不少于10 min后封住氢气循环泵进出气口，在(-40±2) ℃环境下冷冻24 h以上，再进行低温冷启动响应时间测试。
   1. 排气含油量试验

在最高转速、最大进气压力下，循环泵稳定运行30 min以上，按照QC/T 29078附录A进行随气排油量测试。

* 1. 低温性能试验

按照GB/T 28046.4-2011中5.1.1.2.2的规定进行低温工作试验。氢气循环泵所有电气连接但不工作，在-40 ℃或制造商规定的更低温度的环境下保持24 h后，在低温环境下启动至额定工况并稳定运行不低于24 h，氢气循环泵进气温度不应高于环境温度。试验重复2次。

* 1. 高温性能试验

试验方法：按照GB/T 28046.4-2011中5.1.2.2.2的规定进行高温工作试验。氢气循环泵所有电气连接但不工作，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点并稳定运行不低于96 h，泵进气温度不低于环境温度。

* 1. 温度循环试验

在-40 ℃～85 ℃环境下，按照GB/T 2423.22-2012中8条试验Nb方法进行。

* 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. 高低温存储试验

试验方法如下：

1. 低温存储试验：循环泵不连接线束，不上电工作，按照GB/T 28046.4-2011中5.1.1.1.2的规定进行低温存储试验，在-40 ℃低温环境中持续存放不低于24 h；
2. 高温存储试验：循环泵不连接线束，不上电工作，按照GB/T 28046.4-2011中5.1.1.1.2的规定进行高温存储试验，在85 ℃高温环境中持续存放不低于48 h。
   1. 温度冲击试验

按照GB/T 2423.22-2012中7规定的Na试验方法进行温度冲击试验。

氢气循环泵无电气连接，最高温度为85 ℃，最低温度为-40 ℃，高低温保持时间取氢气循环泵达到热平衡后持续15 min且不低于3 h，高低温转换时间不超过3 min，循环30次。

* 1. 抗振动性能试验

按照 GB/T 2423.56-2018进行随机振动试验，氢气循环泵电气连接，但不通电。

乘用车用氢气循环泵，每个轴向的试验持续时间为8 h。XY、Z轴的加速度均方根(RMS)值均为27.8 m/s2，功率谱密度(PSD)和频率按照表4执行。

表4 随机振动功率频谱1

|  |  |
| --- | --- |
| 频率/Hz | X、Y、Z轴PSD[(m/s2)2/Hz] |
| 10 | 20 |
| 55 | 6.5 |
| 180 | 0.25 |
| 300 | 0.25 |
| 360 | 0.14 |
| 1000 | 0.14 |

商用车用氢气循环泵，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，PSD和频率按照表5执行。

表5 随机振动功率频谱2

|  |  |
| --- | --- |
| 频率/Hz | X、Y、Z轴PSD[(m/s2)2/Hz] |
| 10 | 18 |
| 20 | 36 |
| 30 | 36 |
| 180 | 1 |
| 2000 | 1 |

* 1. 抗冲击试验

按照GB/T 28046.3-2011中4.2.2.2的规定进行机械冲击试验，氢气循环泵不通电，线束连接。

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。具体要求如下：

1. 冲击脉冲形式：半正弦波；
2. 加速度：500 m/s2；
3. 持续时间：6 ms；
4. 冲击次数：每个方向10次。
   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. 噪音试验
     1. 试验条件

按照JB/T 12334-2015中第7章的规定测试氢气循环泵的噪声，试验条件如下：

1. 测试环境: 应在符合GB 50800-2012规定的消声室或半消声室进行测试；
2. 测点数量: 前后左右上，共5点，如JB/T 12334-2015的图1中1、2、3、4、5所示；
3. 测点距离：距被测物表面1 m；
4. 背景噪声：小于40 dB(A)。
   * 1. 试验准备

按照如下内容进行试验准备工作:

1. 将氢气循环泵安装在测试台架上,安装方式应符合产品技术文件的规定；
2. 氢气循环泵的散热模块(若有)和排气均位于半消声室外部；
3. 按照制造商规定的产品技术要求设置冷却液流量、温度。
   * 1. 试验方法

按照如下步骤进行噪声试验:

1. 将氢气循环泵运行至额定工况,固定氢气循环泵出口节气门开度；
2. 待冷却液温度稳定后,将氢气循环泵减载至怠速工况,运行5 min,并实时记录最低稳态工况的噪声值；
3. 将氢气循环泵在4.6.9规定的时间内升载至额定工况,并记录升载工况的噪声值；
4. 氢气循环泵升载至额定工况后,运行5 min,并记录额定工况的噪声值；
5. 将氢气循环泵在4.6.9规定的时间内降载至怠速工况,并记录降载工况的噪声值。
   1. 耐盐雾试验

按照GB/T 2423.18-2021进行盐雾试验，具体要求如下：

1. 氢气循环泵电气连接但不通电；
2. 严酷等级为等级(5)，测试进行四个试验循环；
3. 盐溶液采用NaCl(化学纯、分析纯)和蒸馏水或去离子水配制，其浓度为5%士1%(质量分数)。20 ℃士2 ℃下测量pH在6.5~7.2之间；
4. 将测试对象放人盐雾箱，在15℃~35℃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 ℃士2 ℃，相对湿度为93%士3%，组成一个循环。将这一循环再重复三次，然后在试验标准大气条件(温度为23 ℃士2 ℃，相对湿度为45%~55%)下贮存3 d，组成一个周期。重复进行4个周期试验。
   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. 磨合试验

按表6的规定进行。

表6 磨合工况表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 转速（r/min） | 600 | 2000 | 4000 | 6000 |
| 时长(min) | 5 | 10 | 10 | 5 |

* 1. 耐久试验
     1. 温度循环耐久性能
        1. 试验工况

氢气循环泵在低温工况和高温工况循环运行，总次数不少于300次，如图3所示，具体工况如下。

1. 低温工况：氢气循环泵通电但未运行，环境温度按照5.11规定的低温。对于氢气循环泵中采用水冷的部分(如氢气循环泵整体、泵体、电机或控制器)，应切断冷却液供应。
2. 高温工况：氢气循环泵处于额定工况运行，环境温度和进气温度不低于5.12规定的高温。对于氢气循环泵中采用水冷的部分(如氢气循环泵整体、泵体、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。
3. 工况切换时，升降载速率不低于4.6.9的规定。低温和高温的保持时间应当在达到温度稳定。后持续30 min。
   * + 1. 试验准备

按照以下内容进行试验准备工作:

1. 将氢气循环泵安装在测试台架上，安装方式应符合产品技术文件的规定；
2. 在氢气循环泵进口和出口管路安装过滤精度不低于50 μm的滤网；
3. 按照5.26.1.1设置冷却液流量、温度；
4. 将氢气循环泵运行至额定工况,检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象,氢气循环泵运行中不应有异响。
   * + 1. 试验步骤

试验介质为空气,并按以下步骤进行温度循环耐久试验：

1. 氢气循环泵在额定工况稳定运行后，固定氢气循环泵出口阀门开度；
2. 调整氢气循环泵控制程序，使氢气循环泵按照5.26.1.1规定的工况自动运行；
3. 按照5.1中的规定记录数据；
4. 循环次数达到5.26.1.1的规定后，停止试验，关闭氢气循环泵和台架；
5. 按照5.6测试氢气循环泵出口滤网的清洁度。
   * + 1. 数据处理

每100 h绘制一次至少10个循环的参数历程图(包含泵转速、进气温度、排气温度、进气压力、排气压力)，用于检查氢气循环泵的实际运行状态。

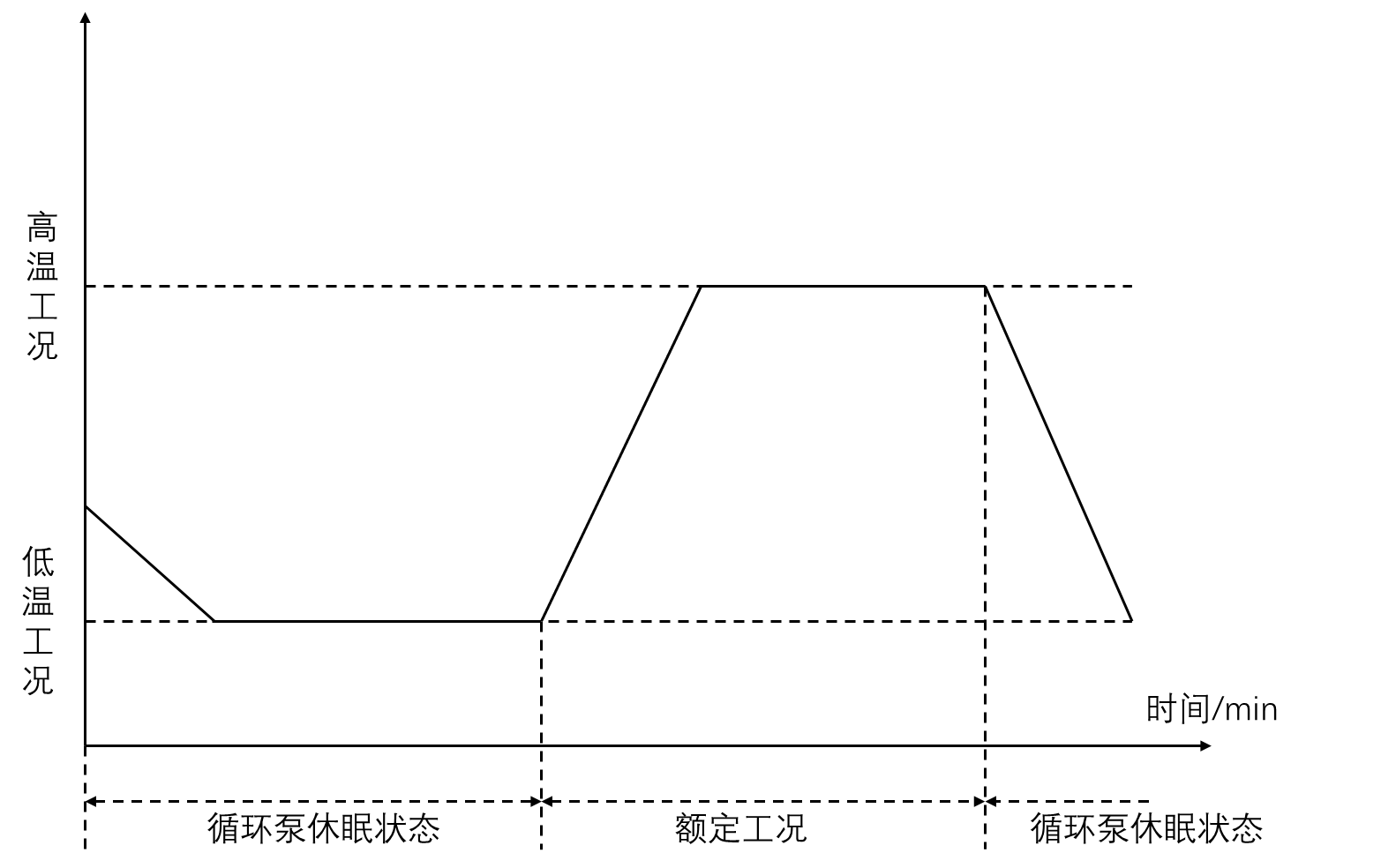


图3 温度循环耐久

* + 1. 变载耐久性能试验
       1. 试验工况

试验介质为饱和湿空气（相对湿度不低于95 %RH）。泵在怠速工况和额定工况之间进行变载循环,总次数不少于15万次，氢气循环泵升降载速率不低于4.6.9的规定。对有冷却水道的氢气循环泵，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。

* + - 1. 试验准备

按照以下内容进行试验准备工作：

1. 将氢气循环泵安装在测试台架上，安装方式应符合产品技术文件的规定；
2. 在氢气循环泵进口和出口管路安装过滤精度不低于50 μm的滤网；
3. 按照5.26.2.1的要求设置冷却液的流量、温度；
4. 将氢气循环泵运行至额定工况，检查各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象，氢气循环泵运行中不应有异响。
   * + 1. 试验步骤

按以下步骤进行变载循环耐久试验：

1. 氢气循环泵在额定工况稳定运行后，固定氢气循环泵出口阀门开度；
2. 调整氢气循环泵控制程序，使氢气循环泵按照5.26.2.1规定的工况自动运行；
3. 按照5.1中的规定记录试验数据；
4. 循环次数达到5.26.2.1的规定后，停止试验，关闭泵和台架；
5. 按照5.6测试氢气循环泵出口滤网的清洁度。
   * + 1. 数据处理

每100 h绘制一次至少10个循环的参数历程图(包含泵转速、进气温度、排气温度、进气压力、排气压力),用于检查氢气循环泵的实际运行状态。

* + 1. 高负载耐久性能试验
       1. 试验工况

按以下步骤进行变载循环耐久试验：

1. 氢气循环泵在额定工况稳定运行后，固定氢气循环泵出口阀门开度；
2. 调整氢气循环泵控制程序，使氢气循环泵按照5.26.3.1规定的工况自动运行；
3. 按照5.1中的规定记录试验数据；
4. 循环次数达到5.26.3.1的规定后，停止试验，关闭泵和台架；
5. 按照5.6测试氢气循环泵出口滤网的清洁度。
   * + 1. 试验准备

按照以下内容进行试验准备工作：

1. 将氢气循环泵安装在测试台架上，安装方式应符合产品技术文件的规定；
2. 在氢气循环泵进口和出口管路安装过滤精度不低于50 μm的滤网；
3. 按照5.9之b）规定向氢气循环泵气路加入饱和水蒸汽或者相同含水量的去离子水后，再注人20 mL去离子水（去离子的电导率<2 μs/cm，pH为4）)；
4. 按照5.26.3.1设置冷却液流量、温度；
5. 将氢气循环泵运行至额定工况，检査各连接部位不应有漏气、漏液、漏电等现象，氢气循环泵运行中不应有异响。
   * + 1. 试验步骤

按以下步骤进行高负载耐久试验：

1. 氢气循环泵在额定工况稳定运行后，固定氢气循环泵出口阀门开度；
2. 调整氢气循环泵控制程序，使氢气循环泵按照5.26.3.1规定的工况自动运行；
3. 按照5.1中的规定记录试验数据；
4. 试验时长达到5.26.3.1的规定后，停止试验，关闭泵和台架；
5. 按照5.6测试氢气循环泵出口滤网的清洁度。
   * + 1. 数据处理

每100 h绘制一次至少1 h的参数历程图(包含转速、进气温度、排气温度、进气压力、排气压力)，用于检查氢气循环泵的实际运行状态。

* 1. 高电压工作范围

高电压工作范围按表7给出的供电电压范围试验，循环泵能额定工况运行1 h。

表7 供电电压

|  |  |
| --- | --- |
| 类别 | 供电电压 |
| 高压系统 | 400 V～750 V |

* 1. 低电压输入范围

按照GB/T 28046.2-2019中4.2的规定测试低电压供电范围。

* 1. 供电电压缓降和缓升

按GB/T 28046.2-2019中4.5.2节规定的方法。

* 1. 供电电压瞬时下降

按GB/T 28046.2-2019中4.6.1节规定的方法。

* 1. 对电压骤降的复位性能

按GB/T 28046.2-2019中4.6.2节规定的方法。

* 1. 启动特性

按GB/T 28046.2-2019中4.6.3节规定的方法。

* 1. 转速控制精度试验

将氢气循环泵分别在怠速工况和额定工况稳定运行不少于5 min，使用转速传感器测试并记录氢气循环泵电机轴的转速，数据记录频率不低于10次/s。将控制器反馈转速与记录转速进行对比，选取5 min内差值的最大值作为转速控制精度。

* 1. 安全接地检查

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

* 1. 控制器支撑电容放电时间测试

按照GB/T 18488-2024中6.4.3的要求测试支撑电容放电时间。

* 1. 电机温升试验

按照GB/T 755-2019中第8章的规定进行电机温升试验环境温度按照5.12中的高温。对于氢气循环泵中采用水冷的部分，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。试验介质为氢气、氦气或氮气，将氢气循环泵持续运行在额定工况直至电机温度稳定。

* 1. 反向电压

按GB/T 28046.2-2019中4.7节规定的方法。

* 1. 开路试验

按GB/T 28046.2-2019中4.9节规定的方法。

* 1. 短路保护

按GB/T 28046.2-2019中4.10节规定的方法。

* 1. 堵转过热保护

按GB/T 5171.22规定的方法，试验时，应将输出端堵转，通过驱动电机控制器为驱动电机施加驱动力。

* 1. 耐电压

按照GB/T 18488-2024中6.2.5的规定测试电机和控制器的耐电压特性。

* 1. 绝缘电阻

按照GB/T18488-2024中6.2.4的规定测试电机和控制器的绝缘电阻。

* 1. 电磁兼容试验
     1. 电快速脉冲群抗扰

按GB/T 17626.4-2018中8规定的方法进行试验，重复频率为5 kHz或100 kHz，试验等级3。

* + 1. 传导发射-电压法

按GB/T 18655-2018中6.3规定的方法进行试验，频率范围为0.15 MHz～2.5 GHz。

只有电源线的部件仅需进行电压法试验，含有信号线的部件需要同时采用电压法和电流法进行试验。

* + 1. 传导发射-电流探头法

按GB/T 18655-2018中6.4规定的方法进行试验，频率范围为0.15 MHz～2.5 GHz。

* + 1. 辐射发射-ALSE法

按GB/T 18655-2018中6.5规定的方法进行试验，频率范围为0.15 MHz～2.5 GHz。

* + 1. 电压瞬态传导发射试验

按GB/T 21437.2-2021规定的方法进行试验，试验脉冲符合附录A 表A.2第Ⅳ等级。

* + 1. 瞬态抗扰性试验

按GB/T 21437.2-2021进行试验，试验脉冲符合附录A 表A.2第Ⅳ等级，或符合表8。

表8 瞬态脉冲表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验脉冲 | 脉冲等级 | | 脉冲数/时间 | 脉冲参数 | |
| 12V系统 | 24V系统 | 12V系统 | 24V系统 |
| 1 | -150 | -600 | 500个 | t1=0.5s | |
| 2a | +112 | +112 | 500个 | t1=0.2s | |
| 2b | +10 | +20 | 10个 | td=0.2s，Ri=0.05Ω | |
| 3a | -220 | -300 | 1h | td=150ns，±45ns | |
| 3b | +150 | +300 | 1h | td=150ns，±45ns | |
| 4 | -7 | -16 | 1个 | t7=15ms  t8=50ms  t9=1s  t11=100ms  Ua=-6V | t7=50ms  t8=50ms  t9=1s  t11=40ms  Ua=-12V |
| 5a | +87 | +173 | 1个 | td=400ms，Ri=2 Ω | td=350ms，Ri=4 Ω |

* + 1. 射频抗扰（自由场/ALSE）

按GB/T 33014.2-2016的规定进行自由场（ALSE）试验，试验频率范围80 MHz～3000 MHz，试验严酷等级符合GB/T 33014.2-2016附录C表C.1等级L3（试验电平75 V/m）。

* + 1. 射频抗扰（大电流注入/BCI）

按GB/T 33014.4-2016的规定进行大电流注入（BCI）试验，试验频率范围1 MHz～400 MHz，试验严酷等级符合GB/T 33014.4-2016附录C表C.1等级L4（电流100 mA）。

* + 1. 静电放电抗扰（ESD）

按GB/T 19951-2019中8的规定进行静电放电抗扰（ESD）试验，试验严酷等级符合GB/T 19951-2019附录C表C.1、表C.2和表C.3等级L3，或符合表9。

表9 静电放电抗扰参数表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 被测件状态 | 放电试验位置 | 放电模式 | 放电网络 | 严酷等级 | 放电次数/测试点数 |
| 下电 | 引脚 | 接触 | C=150pF,R=330Ω | ±6kV | 3次/个引脚 |
| 表面（非金属） | 空气 | C=330pF,R=2kΩ | ±15kV | 10个点 |
| 表面（金属） | 接触 | C=150pF,R=330Ω | ±8kV | 10个点 |
| 空气 | C=330pF,R=2kΩ | ±15kV | 10个点 |
| 上电 | 表面（非金属） | 空气 | C=330pF,R=2kΩ | ±15kV | 10个点 |
| 表面（金属） | 接触 | C=150pF,R=330Ω | ±8kV | 10个点 |
| 空气 | C=330pF,R=2kΩ | ±15kV | 10个点 |
| 1. 引脚可用线径（0.5～2）mm2且长度不超过25mm的导线进行辅助；表面选择应包含缝隙、螺钉等； 2. 放电必测点需按照被测件状态及放电模式分别定义，测试总点数不少于定义点要求。 | | | | | |

1. 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. 氢循环泵总成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6.3.2。
   1. 型式检验
      1. 有下列情况之一时，应进行型式检验：
3. 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；
4. 停产半年以上，重新恢复生产时；
5. 连续生产满1年时；
6. 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。
   * 1. 检查项目

型式试验检查项目表见表10。

表10 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 | 5.2 | 4.2 | √ | √ |
| 2 | 防护等级 | 5.19 | 4.3 |  | √ |
| 3 | 禁限用物质 | 4. 4 | 4.4 |  | √ |
| 4 | 常温气密性 | 5.3.1 | 4.6.1 | √ | √ |
| 低温气密性 | 5.3.2 | 4.6.1 |  | √ |
| 高温气密性 | 5.3.3 | 4.6.1 |  | √ |
| 5 | 冷却水道密封性 | 5.4 | 4.6.2 |  | √ |
| 6 | 冷却水道流阻特性 | 5.5 | 4.6.3 |  | √ |
| 7 | 气路清洁度 | 5.6 | 4.6.4 |  | √ |
| 8 | 冷却水道清洁度 | 5.6 | 4.6.5 |  | √ |
| 9 | 冷却水道电导率 | 5.7 | 4.6.6 |  | √ |
| 10 | 基本性能 | 5.8 | 4.6.7 | √ | √ |
| 11 | 响应时间 | 5.9 | 4.6.9 |  | √ |
| 12 | 排气含油量 | 5.10 | 4.6.10 |  | √ |
| 13 | 低温性能 | 5.11 | 4.6.11 |  | √ |
| 14 | 高温性能 | 5.12 | 4.6.12 |  | √ |
| 15 | 温度循环 | 5.13 | 4.6.13 |  | √ |
| 16 | 湿热循环 | 5.14 | 4.6.14 |  | √ |
| 17 | 高低温存储 | 5.15 | 4.6.15 |  | √ |
| 18 | 温度冲击 | 5.16 | 4.6.16 |  | √ |
| 19 | 抗振动性 | 5.17 | 4.6.17 |  | √ |
| 20 | 抗冲击 | 5.18 | 4.6.18 |  | √ |
| 21 | 防爆性 | 4.6.19 | 4.6.19 |  | √ |
| 22 | 噪音 | 5.20 | 4.6.20 |  | √ |
| 23 | 耐盐雾性 | 5.21 | 4.6.21 |  | √ |
| 24 | 耐氧化性 | 5.22 | 4.6.22 |  | √ |
| 25 | 耐臭氧老化 | 5.23 | 4.6.23 |  | √ |
| 26 | 相容性 | 5.24 | 4.6.24 |  | √ |
| 27 | 磨合试验 | 5.25 | 4.6.25 | √ |  |
| 28 | 耐久性 | 5.26 | 4.6.26 |  | √ |
| 29 | 高电压工作范围 | 5.27 | 4.6.27 |  | √ |
| 30 | 低电压输入范围 | 5.28 | 4.6.28 |  | √ |
| 31 | 供电电压缓升缓降 | 5.29 | 4.6.29 |  | √ |
| 32 | 供电电压瞬时下降 | 5.30 | 4.6.30 |  | √ |
| 33 | 对电压骤变的复位性能 | 5.31 | 4.6.31 |  | √ |
| 34 | 启动性能 | 5.32 | 4.6.32 |  | √ |
| 35 | 转速控制精度 | 5.33 | 4.6.33 |  | √ |
| 36 | 高压线缆 | 4.6.34 | 4.6.34 |  | √ |
| 37 | 安全接地检查 | 5.34 | 4.6.35 |  | √ |
| 38 | 控制器支撑电容放电时间 | 5.35 | 4.6.36 |  | √ |
| 39 | 电机温升 | 5.36 | 4.6.37 |  | √ |

表10 检查项目表（续）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目 | 检验方法 | 判定方法 | 出厂检验 | 型式检验 |
| 40 | 反向电压 | 5.37 | 4.6.38 |  | √ |
| 41 | 开路试验 | 5.38 | 4.6.39 |  | √ |
| 42 | 短路保护 | 5.39 | 4.6.40 |  | √ |
| 43 | 堵转过热保护 | 5.40 | 4.6.41 |  | √ |
| 44 | 耐电压 | 5.41 | 4.6.42 |  | √ |
| 45 | 绝缘电阻 | 5.42 | 4.6.43 |  | √ |
| 46 | 电磁兼容性 | 5.43 | 4.6.44 |  | √ |
| 注：√表示检验项目 | | | | | |

* + 1. 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. 检验部门和签章及检验日期。
   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. 氢循环泵的结构型式、功能介绍；
2. 使用过程中的故障判别及排除方法。
3. 标志、包装、运输及贮存
   1. 标志

氢循环泵应有永久性标记，标记应清晰。标记应包含以下内容：

1. 产品名称
2. 制造厂名称或商标；
3. 产品型号；
4. 高压电标识、接地点位置；
5. 生产批号或日期；
   1. 包装
      1. 包装

包装按如下要求：

1. 按设计图样的规定，氢循环泵安装面处于水平状态进行放置、包装、和运输。
2. 产品的包装应保证搬运过程中不被损坏。
3. 包装前，循环泵内的润滑油清理干净，并用堵头将注油口封闭。
4. 产品的包装箱内应附有产品合格证、出厂检验单、质保卡。
   * 1. 装箱清单

当包装箱内另有氢循环泵以外的附件（如接头、专用工具等）时，应附装箱清单。

* + 1. 包装箱外标识

包装箱应标有以下内容：

1. 制造厂名；
2. 产品型号和编号；
3. 数量和毛重；
4. 出厂日期；
5. 外形尺寸（长×宽×高）；
6. 外包装向上标识（氢循环泵安装面为水平状态）；
7. 搬运注意事项。
   1. 运输及贮存

产品装运时，应轻装轻放，防止重压及碰撞，严防雨淋及化学品的侵蚀。

产品贮存在通风、干燥、清洁的室内。

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