

**氢燃料电池发动机**

**试验方案**

**编号：**

**编制： 沈国庆**

**审核：**

**批准：**

2018年7月19日发布 2018年7月19日实施

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 修订 | 日期 | 版本 |
| 新增 |  | V1.0 |
|  |  |  |
|  |  |  |

氢燃料电池发动机测试方案

# 一、范围

本方案规定了燃料电池发动机启动、稳态特性、动态响应特性、功率试验、绝缘电阻检测等试验的实验方法及步骤。

本方案适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

# 二、规范引用文件

下列文件中的条款通过本方案的引用而成为本方案的标准条款，凡注明日期的引用文件，其随后所有的修订（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本方案。

**GB/T 33979-2017** 质子交换膜燃料电池发电系统低温特性测试方法

**GB/T 24554-2009** 燃料电池发动机性能试验方法

**GB/T 20042.1-2017** 质子交换膜燃料电池第1部分 术语

**GB/T 20042.2-2008** 质子交换膜燃料电池电堆通用技术条件

**GB/T 28183-2011** 客车用燃料电池发电系统测试方法

**GB/T 33978-2017** 道路车辆用质子交换膜燃料电池模块

**GB/T 24548-2009** 燃料电池电动汽车 术语

**GB/T18384.3-2015** 电动汽车安全要求 第3部分：人员触电防护

# 三、术语和定义

GB/T 24548-2009 燃料电池电动汽车 确立的以及下列术语和定义适用于本方案。

## 3.1 冷机状态 Cold state

燃料电池发动机内温度（冷却液出口温度）与环境温度相同。

## 3.2热机状态 Hot state

燃料电池发动机内温度处于正常温度范围（正常温度由制造厂规定）。

## 3.3启动时间 Start-up time

启动程序初始化后，燃料电池系统达到规定输出功率的时间。

*（注：包括冷启动和热启动时间）*

## 3.4 冷启动 Cold start

在充分浸车之后，在标准环境下启动。

*（注：对于一个测试程序，一般推荐浸车时间应该是在12h-36h之间，浸车（在某一特定的温度范围条件下停放一定的时间）期间车辆不应该启动，且应保持在规定的温度范围内。*

## 3.5 热启动 Hot start

关机后启动，此时燃料电池系统的温度还在气正常工作温度范围内。

## 3.6 怠速状态 Idle state

燃料电池系统处于工作状态，其输出的功率全部用于维持自身辅助系统的消耗，净输出功率为0的状态。

## 3.7 动态响应时间 Dynamic response time

在正常工作状态下，燃料电池系统从一个状态变到另一个状态的时间。

## 3.8 额定功率响应时间 Response time to rated power

在正常工作状态下，燃料电池系统从怠速状态到达额定功率的时间。

# 四、测试用仪表精度的要求

表1 测试用仪表精度要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 规定精度 | 备注 |
| 电压传感器 | ≤0.5%FS |  |
| 电流传感器 | ≤0.5%FS |  |
| 温度计 | ±1℃ |  |
| 湿度计 | ±3% |  |
| 氢气流量计 | ≤1% | 按照相对误差计 |
| 冷却液流量计 | ≤1%FS |  |
| 称重衡器 | ≤0.5%FS |  |

# 五、试验流程

无

# 六、试验项目及方法

## 6.1 冷机存储方法

燃料电池发动机（冷却液加注完成）在规定的温度和湿度条件下（-20~40℃，湿度待定）保温足够长的时间，以保证燃料电池发动机内部温度和环境温度相同，静止时间为12h。

## 6.2 热机方法

按照制造厂商的使用规定，使燃料电池发动机工作在一定的功率（额定功率），同时检测燃料电池堆冷却液的出口温度，一旦燃料电池堆冷却液的出口温度达到正常工作温度（额定功率对应的参考温度），即认为燃料电池发动机达到热机状态。

## 6.3气密性测试方法

a） 关闭燃料电池发动机排氢阀，将燃料电池发动机氢气系统中充满氮气，压力设定为50KPa，压力稳定后，关闭氢气进气阀，保持20min，测试并记录氢气阀门内气体压力值。

b） 关闭燃料电池发动机排氢阀，将燃料电池发动机氢气系统和阴极流道中充满氮气，两侧压力都设定为正常工作压力（额定功率下压力值），压力稳定后，关闭两侧进气阀，保持20min，测试并记录两侧阀门内气体压力值。

## 6.4 通讯测试

a）燃料电池发动机控制系统接入规定电源，开启燃料电池发动机监控软件，观察并记录燃料电池发动机电压、电流参数。

b）按规定压力要求供入氢气及空气后，软件开/关燃料电池发动机，观察燃料电池发动机启/停是否正常，记录燃料电池发动机电压、电流参数。

c） 按照b）步骤启动燃料电池发动机后，软件缓慢增加给定负载功率（5KW/min），观察并记录燃料电池发动机电压、电流参数变化、功率变化。

d）按照b）步骤启动燃料电池发动机，怠速状态运行3min后，拔除通讯线缆，观察并记录监控软件界面是否出现故障/警告代码及提示。

## 6.5启动测试

6.5.1 冷启动试验

6.5.1.1 试验条件

试验前，燃料电池发动机处于冷机状态，试验过程应自动进行，无需人为干预。

6.5.1.2试验方法

a）按照制造厂商规定的启动操作步骤启动燃料电池发动机。

b）燃料电池发动机启动后，在怠速状态下持续为稳定运行10min。

c）记录冷启动时间及燃料电池发动机系统电压；

6.5.2 热启动试验

6.5.2.1 试验条件

试验前，燃料电池发动机处于热机状态，试验过程应自动进行，无需人为干预。

6.5.2.2试验方法

a）按照制造厂商规定的启动操作步骤启动燃料电池发动机。

b）燃料电池发动机启动后，在怠速状态下持续稳定运行10min。

c）记录热启动时间及燃料电池发动机系统电压；

## 6.6 额定功率试验

6.6.1试验条件

试验前，燃料电池发动机处于热机状态，试验过程应自动进行，无需人为干预。

6.6.2试验方法

a）热机启动过程结束后，回到怠速状态运行10s。

b）测试平台按照规定的加载方法进行加载，加载至额定功率后持续稳定运行60min。

c）记录燃料电池发动机系统电压、电流、氢气消耗量、辅助系统的电压、电流参数。

## 6.7 峰值功率试验

6.7.1试验条件

试验前，燃料电池发动机处于热机状态，试验过程应自动进行，无需人为干预。

6.7.2试验方法

a）热机启动过程结束后，回到怠速状态运行10s。

b）测试平台按照规定的加载方法进行加载，加载至峰值功率后持续稳定运行10min。

c）记录燃料电池发动机系统电压、电流、氢气消耗量、辅助系统的电压、电流参数。

## 6.8动态响应试验

6.8.1试验条件

试验前，燃料电池发动机处于热机状态，试验过程应自动进行，无需人为干预。

6.8.2试验方法

6.8.2.1加载动态响应试验

a）热机启动过程结束后，回到怠速状态下运行10s。

b）按照规定的加载方式加载到动态响应的起始功率点，在该功率点上稳定运行1min。

c）测试平台向燃料电池发动机发送动态阶跃工作指令，同时测试平台按照规定的加载方式加载，直至达到动态阶跃的截止点，燃料电池发动机在该功率点维持稳定运行10min。

d）记录动态响应时间，燃料电池发电机系统的电压、电流、氢气消耗量、辅助系统的电压电流。

推荐选取10%Pe~100%Pe的响应时间，作为评价燃料电池发动机的动态响应指标，Pe为燃料电池发动机的额定功率。

6.8.2.2卸载动态响应试验

a）热机启动过程结束后，回到怠速状态下运行10s。

b）按照规定的加载方式加载到动态响应的其实功率点，在该功率点上稳定运行1min。

c）测试平台向燃料电池发动机发送动态阶跃工作指令，同时测试平台按照规定的卸载方式卸载，直至达到动态阶跃的截止点，燃料电池发动机在该功率点维持稳定运行10min。

d）记录动态响应时间，燃料电池发电机系统的电压、电流、氢气消耗量、辅助系统的电压、电流。

## 6.9稳态特性试验

6.9.1试验条件

试验前，燃料电池发动机处于热机状态，试验过程应自动进行，无需人为干预。

6.9.2试验方法

a）燃料电池发动机工作范围内均匀选择11个工况点（选取0、10%Pe、20%Pe ~100%Pe共计11个功率点，Pe为燃料电池发动机的额定功率）。

b）热机结束后，回到怠速状态运行10s。

c）按照规定的加载方法加载到预先确定的工况点，在每个工况点持续稳定运行3min。

d）记录动态响应时间，燃料电池发电机系统的电压、电流、氢气消耗量、辅助系统的电压、电流，由此可以得到燃料电池堆的极化特性曲线（V-I曲线）、燃料电池堆的功率曲线、燃料电池堆的效率曲线；燃料电池发动机的功率曲线、燃料电池发动机的效率曲线；辅助系统的功率曲线等。

## 6.10 紧急停机功能试验

6.10.1试验条件

试验前，燃料电池发动机处于工作状态，试验过程应自动进行，无需人为干预。

6.10.2试验方法

按照规定的加载方式，把燃料电池发动机加载到一定的功率点（功率值50%Pe）持续运行一定时间（1min），然后测试平台切断气源，5min后重新启动燃料电池发动机，检查燃料电池发动机是否正常启动。

## 6.11绝缘电阻试验

6.11.1试验条件

试验前，燃料电池发动机冷却泵处于运转状态，燃料电池发动机处于热机状态。

6.11.2试验方法

按照GB/T 24549规定的方法测量燃料电池堆正极和负极分别对地的绝缘电阻；绝缘电阻值应该满足GB/T 24549的规定。

*【补充: GB/T 24549 4.4.3.3绝缘电阻测试要求：*

1. *如果防护是有绝缘提供，电系统的带电部件应全部由绝缘层包住。这种绝缘层只能通过破坏侧能够移开。绝缘材料应满足标准要求。*
2. *燃料电池电动汽车的每个电路和电平台以及其他电路之间应保持绝缘，绝缘电阻电阻的要求应符合GB/18384.3-2001中6.2.2****（见附录）****的规定。】*

## 6.12质量测试

测量燃料电池堆和辅助系统的质量【包括氢气供应系统（不包括高压氢气瓶）、空气供应系统、控制系统、水热管理系统（不包括散热器总成）等，应包括冷却液及加湿用水的质量】。

## 6.13低温存储

a）燃料电池发动机置于低温存储环境中，静置12h，至燃料电池发动机内温度达到预设环境温度值（-10℃、-20℃、-30℃、-40℃）。

b）试验环境温度升至室温，静置12h。

c）重复以上过程，共计3次。

d）观察燃料电池发动机封装壳体和封装安装固定部件是否出现裂缝、扭曲变形等缺陷。

e）燃料电池模块按照GB/T 29838-2013中5.3、5.4的规定进行模块气密性和运行试验。

f）模块按照GB/T 20042-2008 5.6的规定进行模块的燃料腔、氧化剂腔、冷却剂腔的窜气试验。

*注：GB/T 29838-2013中5.3、5.4 、GB/T 20042-2008 5.6规定见附录。*

## 6.14高温存储

a）燃料电池发动机置于高温存储环境中，静置12h，至燃料电池发动机内温度达到预设环境温度值（60℃）。

b）试验环境温度升至室温，静置12h。

c）重复以上过程，共计3次。

d）观察燃料电池发动机封装壳体和封装安装固定部件是否出现裂缝、扭曲变形等缺陷；

e）燃料电池模块按照GB/T 29838-2013中5.3、5.4的规定进行模块气密性和运行试验。

f）模块按照GB/T 20042-2008 5.6的规定进行模块的燃料腔、氧化剂腔、冷却剂腔的窜气试验。

*注：GB/T 29838-2013中5.3、5.4 、GB/T 20042-2008 5.6规定见附录。*

# 七、相关文件及记录

《氢燃料电池发动机测试大纲》

《测试计划》（含仪器设备，工具，接线图、测试步骤、试验预期结论等）

《试验报告》（含测试数据，数据分析，测试结论）

# 八、附录

## 8.1 GB/T 29838-2013 5.3气体泄漏量试验

该试验不适用于以下燃料电池模块：

—运行温度高于易燃气体自燃温度；

—燃料电池放置于符合国家有关规定的气密容器内；

使用全堆进行泄漏试验可能不切实际，可用仍具代表性的短堆试验代替。可以根据燃料电池数据比例计算泄漏量。

1. 燃料电池模块至满负荷电流并在最高运行温度条件下达到热平衡。
2. 达到以上条件后停止运行，吹扫燃料电池模块，关闭气体出口，燃料电池模块温度应减少到规定的最低运行温度或以下。燃料电池模块用阳极气体或氦逐渐加压到制造商设定的最高运行压力，保持稳定1min。
3. 泄露测量期间入口压力应维持稳定。使用安装在燃料电池模块入口泄压装置上端精度为2%的流量计测量气体泄露量。如果用氦气作为试验气体，气体泄漏率按式（1）计算：

R=燃料气体泄漏量/试验气体泄漏量…………………………（1）

其中：

R=（TGSG/FGSG）1/2

式中：

R ——气体泄漏率；

TGSG ——试验气体相对密度；

FGSG ——燃料气体相对密度；

或：

R=μtest/μfuel

式中：

μtest ——试验气体绝对粘度；

μfuel ——燃料气体绝对粘度；

这两个公式用于计算R，选最坏的情况，取高值。

应记录气体泄漏率，包括气体通过泄压装置的流量，

如果由于如磁滞或压力设定的原因，试验不含泄压装置，总泄压量应等于最大燃料输送压力下的泄压装置本身的泄漏量和试验中获得的泄露量的加和。

根据参考条件和其他类型修正所得其他泄露率乘以1.5，应符合7.4**（见标准GB/T 29838-2013）**中给出的气体泄漏率。

注：该信息可能为终端产品用户计算通风条件所需要。

## 8.2 GB/T 29838-2013 5.4正常运行

正常运行是指燃料电池模块在正常条件下运行，尤其指：

——电压和电流标称功率输出；

——温度和冷却剂（如有必要）流量标称热能输出；

——燃料电池模块标称温度范围；

——标称燃料组分；

——阴极和阳极介质标称流量；

——阴极和阳极流体标称压力范围；

——制造商规定的标称范围内输出功率变化率；

正常运行型式试验，燃料电池模块应在上述正常条件下运行，直达到热平衡条件。

应按照7.4**（见标准GB/T 29838-2013）**要求测量下属参数和记录结果：

1. 燃料电池模块满负荷电流时的终端电压；
2. 温度（燃料电池堆，燃料电池模块表面，环境）；
3. 燃料压力（表压）-5%~+5%或±1KPa，取高值；
4. 燃料消耗速率-5%~+5%；
5. 如有必要，氧化剂供应应控制在-5%~+5%；
6. 氧化剂压力应控制在-5%~+5%或±1KPa，取高值；
7. 冷却液入口温度和出口温度（如有条件）；
8. 冷却液流量（如有必要）；
9. 冷却液入口和出口压力（如有必要）；
10. 燃料和氧化剂压差。

对于测量的所有参数，测量值应在制造商规定值内；

## 8.3 GB/T 20042-2008 5.6中5.4窜气试验

按照5.6.1和5.6.2所测得的窜气泄露速度不大于8.5.1f）**（见标准GB/T 20042-2008）**的规定值，可判定为符合要求。

5.6.1燃料腔向氧化剂腔窜气速度的测定

试验时，除燃料腔和氧化剂腔的各一个进气接口外，其余进出接口全部封住。将氧化剂腔的进气接口接上精度不低于2%的流量计（如皂泡流量计），由燃料腔的进气接口通入氮气，调整压力至允许最大工作压力差，稳定1min后，读出时间t1内流量计读数Q1.相应窜气速度X1按式（4）求得：

X1=2RQ1/t1 ………………………………………………（4）

式中：

X1——燃料腔向氧化剂腔的窜气速度（标准状态），mL/min；

R——按照5.4（见标准GB/T 20042-2008）中式（2）和式（3）计算得出的修正系数的最大者。

Q1——在时间t1内测得的燃料腔向氧化剂腔的气体窜漏量（标准状态），mL；

t1——测量时间，min。

5.6.2燃料腔和氧化剂腔向冷却腔的窜气速度的测定

试验时，除燃料腔、氧化剂腔和冷却剂腔的各一个进气接口外，其余进出接口全部封住。将冷却剂腔的进气接口接上精度不低于2%的流量计（如皂泡流量计），由燃料腔和氧化剂腔的进气接口同时通入氮气，调整气压至燃料腔的最大运行压力，稳定1min后，读出时间t2内流量计读数Q2.相应窜气速度X2按式（5）求得：

X2=2RQ2/t2 ………………………………………………（5）

式中：

X2——燃料腔和氧化剂腔向冷却剂腔的窜气速度（标准状态），mL/min；

R——按照5.4（见标准GB/T 20042-2008）中式（2）和式（3）计算得出的修正系数的最大者。

Q2——在时间t2内测得的燃料腔和氧化剂腔向冷却剂腔的气体窜漏量（标准状态），mL；

t2——测量时间，min。

*注：对于无冷却剂腔或冷却剂腔为开放型的燃料电池堆，燃料腔和氧化剂腔对冷却剂腔的窜气的测定则不必进行。*8.4 GB/T 20042-2008 6.2.2绝缘电阻的测量：

电动汽车的每个电路和点底盘及其他电路之间应有一个绝缘电阻。

实验车辆应在（5±2）℃下经过8h准备阶段，接着经过温度为（23±5）℃、湿度为

（90﹢10 -5）%、气压为86~106KPa的8h测量阶段。

如果测量阶段刚开始发生露点，可以重新选择其他的准备阶段和测量阶段的参数来代替。应在整个测量阶段定时测量绝缘电阻。

在下列带电部件之间使用合适的测量仪器（例如：兆欧计）进行测量：

——动力系统和车辆电底盘；

——动力系统和辅助电路。

使用一个至少为动力系统标称电压1.5倍的试验电压或500VDC电压，两者取较高值，施加电压的时间应足够长，以便获得稳定的读数。动力蓄电池和辅助蓄电池应断开。辅助电路的两端应与车辆底盘相连。

动力系统的绝缘电阻应符合表2的要求。

表2 绝缘电阻的要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设备 | 测量阶段最小瞬间绝缘电阻 | 测量阶段计算的最小绝缘电阻 |
| I类 | 0.1KΩ/V | 1KΩ/V |
| II类 | 0.5KΩ/V | 5KΩ/V |
| 注：绝缘电阻按照设备的标称电压计算。 | | |