



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 24554—XXXX

代替 GB/T 24554-2009

## 燃料电池发动机性能试验方法

Performance test methods for fuel cell engines

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

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。

## 目 次

前言.....	1
1 范围.....	2
2 规范性引用文件.....	2
3 术语和定义.....	2
4 测量参数、单位和准确度.....	2
5 试验条件.....	3
6 一般试验要求.....	4
7 预处理方法.....	4
8 试验方法.....	5
附录 A（规范性） 稳态试验数据处理 .....	13
附录 B（规范性） 动态平均功率试验数据处理 .....	15
附录 C（规范性） 燃料电池发动机边界界定框图 .....	16
附录 D（资料性） 试验项目测试顺序 .....	17
附录 E（规范性） 燃料电池堆体积功率密度测量方法 .....	18

# 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。

本文件替代GB/T 24554-2009《燃料电池发动机性能试验方法》，与GB/T 24554-2009相比，除编辑性改动外，主要变化内容如下：

- a) 增加了功率加载误差要求
- b) 增加了常温额定功率冷起动测试
- c) 增加了常温额定功率热起动试验；
- d) 增加了低温冷起动特性试验；
- e) 增加了动态平均效率特性试验
- f) 增加了高温运行试验
- g) 增加了燃料电池堆体积功率密度测试
- h) 增加了辅助系统功率规定
- i) 删除了紧急停机功能测试

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。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC 114）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件于2009年首次发布，本次为第一次修订：

# 燃料电池发动机性能试验方法

## 1 范围

本文件规定了燃料电池发动机起动特性、稳态特性、动态响应特性、气密性检测、绝缘电阻检测等试验方法。

本文件适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

## 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 18384	电动汽车 安全要求
GB/T 24548	燃料电池电动汽车 术语
GB/T 24549	燃料电池电动汽车 安全要求
GB/T 34593—2017	燃料电池发动机氢气排放测试方法
GB/T 35178	燃料电池电动汽车 氢气消耗量 测量方法
GB/T 37244	质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气

## 3 术语和定义

GB/T 24548 界定术语和定义适用于本文件。

## 4 测量参数、单位和准确度

表 1 规定了试验测量的参数、单位和准确度。

表1 测量参数、单位和准确度要求

测量参数	单位	准确度	分辨率
电压	V	$\pm 0.3\% \text{FSD}^a$ 或读数的 $\pm 1\%^b$	0.1
电流	A	$\pm 0.3\% \text{FSD}^a$ 或读数的 $\pm 1\%^{b,c}$	0.1
温度	K	$\pm 1$	0.1
湿度		$\pm 3\%$	
质量流量	g/s	$\leq 1.0\% \text{FS}$	
时间	s	$\pm 0.1$	0.1
质量	kg	$\leq 0.5\% \text{FS}$	
绝缘阻值	M $\Omega$	$\pm 2\% \text{rdg.} \pm 2 \text{dgt}$	

<sup>a</sup> FSD: 最大显示或标尺的长度; <sup>b</sup> 取较大者; <sup>c</sup> 电流积分频率20Hz 或更高。

## 5 试验条件

### 5.1 燃料电池发动机要求

燃料电池发动机应满足以下要求：

- 保持燃料电池发动机出厂时的外形结构和技术参数；
- 燃料电池发动机各系统要完整；
- 燃料电池发动机要有可靠的安全保障系统。

### 5.2 测试前燃料电池发动机状态规定

测试前燃料电池发动机状态应符合以下规定：

- 冷却液加注完成；
- 燃料电池发动机准备工作完成，接收指令即可起动。

### 5.3 试验平台及使用氢气要求

试验过程中，试验平台和使用的氢气应满足以下要求：

- a) 试验过程中燃料电池发动机的辅助系统可采用外部电源供给的方式，试验平台应满足所需的供电要求；
- b) 试验平台应提供满足燃料电池发动机所需的散热要求；
- c) 试验用燃料应符合 GB/T 37244 的规定要求；

### 5.4 辅助系统功率规定

辅助系统功率包括空压机、水泵、氢循环泵、控制器等部件所消耗的功率，散热器风扇的功率不计入辅助系统功率内。

### 5.5 试验数据采集、计算及功率加载误差要求

试验过程中，数据采集频率及加载误差应满足以下要求：

- a) 试验数据采样频率不低于 5Hz。
- b) 在功率、效率等参数计算中，采用四舍五入的方法，小数点后取 2 位有效数字，特殊说明除外。
- c) 在任何测试项目中，燃料电池发动机的实际加载功率误差都要满足下面式（4）或者式（5）的规定：

$$P_{3.0\%} = 3.0\%P_{\text{设}} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{\text{差}} = P_{\text{设}} - P_{\text{加}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\delta = \frac{P_{\text{差}}}{P_{\text{设}}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中： $P_{\text{设}}$ ——设定的燃料电池发动机加载功率（kW）

$P_{3.0\%}$ ——设定的燃料电池发动机加载功率 $P_{\text{设}}$ 的 3.0%（kW）

$P_{\text{加}}$ ——燃料电池发动实际加载功率（kW）

$P_{\text{差}}$ ——功率加载误差（kW）

$\delta$ ——燃料电池发动机功率加载相对误差

如果 $P_{3.0\%} > 1.0 \text{ kW}$ ，则燃料电池发动机功率加载满足：

$$\delta \leq 3.0\% \dots\dots\dots (4)$$

如果 $P_{3.0\%} \leq 1.0 \text{ kW}$ ，则燃料电池发动机功率加载满足：

$$P_{\text{差}} \leq 1.0 \text{ kW} \dots\dots\dots (5)$$

## 6 一般试验要求

试验过程中，应遵守以下规定：

- 燃料电池发动机在测试过程中不允许补充冷却液及加湿用水；开始进行测试后，包括在测试过程中，燃料电池发动机不应做出任何改动。
- 如果试验没有对环境条件做特殊要求，都是在常温环境条件下进行测试
- 对于项目的测试顺序，可参考附录 D。

## 7 预处理方法

### 7.1 常温浸机方法

浸机前应完成一次燃料电池发动机开关机过程，关闭燃料电池发动机。将燃料电池发动机（冷却液加注完成）在常温环境条件下（23℃，允许偏差为±5℃）静置，浸机时间为不少于12h。在浸机期间，不能对燃料电池发动机做任何改动。

按照上述方法处理后，则可认为燃料电池发动机处于冷机状态。

### 7.2 低温（0℃以下）浸机方法

在浸机开始前，燃料电池发动机应起动至怠速状态，持续时间（含起动）不超过3min，然后立即关闭燃料电池发动机。对于具备低温吹扫功能的燃料电池发动机，可在环境舱降至厂商指定温度并持续至少15分钟后进行低温吹扫。

当环境温度达到设定温度的时候，开始计时，有效浸机时间为不少于12h。有效浸机时间是指从环境舱的温度达到设定温度后开始计时到浸机结束所用的时间。

在整个低温冷起动以及低温运行过程中，环境舱的温度控制在设定温度的±2℃内，且低于0℃。按照上述方法处理后，则可认为燃料电池发动机处于冷机状态。

注：在燃料电池发动机低温冷起动试验中，用于燃料电池发动机的散热器或者热交换器应置于环境舱中。

### 7.3 高温浸机方法

浸机前应完成一次燃料电池发动机开关机过程，关闭燃料电池发动机。

将环境舱的温度设为 45℃，当环境温度达到设定温度的时候开始计时，有效浸机时间为不少于 2h。有效浸机时间是指从环境舱的温度达到设定温度后开始计时到浸机结束所用的时间。

在整个高温浸机及高温运行过程中，环境舱的温度控制在设定温度的±2℃内。

注：在燃料电池发动机高温运行试验中，用于燃料电池发动机的散热器或者热交换器应置于环境舱中。

### 7.4 热机方法

按照制造商的使用规定，使燃料电池发动机工作在一定功率，同时监测燃料电池发动机冷却液的出口温度，燃料电池发动机冷却液的出口温度达到正常工作温度（该温度由制造商指定），即认为燃料电池发动机达到热机状态。

## 8 试验方法

### 8.1 起动特性试验

#### 8.1.1 常温起动特性试验

##### 8.1.1.1 常温怠速冷起动特性试验

###### 8.1.1.1.1 试验条件

试验前燃料电池发动机处于常温环境下，按照7.1的浸机方法进行浸机处理。试验过程应自动进行，不能有人工干预。

###### 8.1.1.1.2 试验方法

按照下列程序进行试验：

- a) 按照制造商建议的起动操作步骤起动燃料电池发动机；
- b) 燃料电池发动机起动后，在怠速状态（或燃料电池发动机最低功率点）下持续运行 10min，则起动成功，否则起动失败，需重新按照 8.1.1.1.1 和 8.1.1.1.2.进行试验。

###### 8.1.1.1.3 试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：冷起动时间、燃料电池发动机电压等。

#### 8.1.1.2 常温怠速热起动试验

##### 8.1.1.2.1 试验条件

试验前燃料电池发动机按照7.4规定的方法进行热机，使燃料电池发动机处于热机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

##### 8.1.1.2.2 试验方法

按照下列程序进行试验：

- a) 热机过程结束后，停机 10s，然后按照制造商规定的起动操作步骤起动燃料电池发动机；

- b) 燃料电池发动机起动后，在怠速状态（或燃料电池发动机最低功率点）下持续运行 10min，则起动成功，否则起动失败，需重新按照 8.1.1.2.1 和 8.1.1.2.2 进行试验。

#### 8.1.1.2.3 试验过程中测试记录的数据

试验中测量的数据：热起动时间、燃料电池发动机电压等。

#### 8.1.1.3 常温额定功率冷起动试验

##### 8.1.1.3.1 试验条件

试验前燃料电池发动机处于常温环境下，按照7.1的浸机方法进行浸机处理，使燃料电池发动机处于冷机状态。试验过程应自动进行，不能有人工干预。

##### 8.1.1.3.2 试验方法

按照下列程序进行试验：

- a) 按照制造商建议的起动操作步骤起动燃料电池发动机；
- b) 测试平台按照制造厂建议的方法向燃料电池发动机发送工作指令，同时测试平台按照规定的加载方法进行加载，加载到额定功率点后，燃料电池发动机在额定功率下持续运行 10min，则燃料电池发动机额定功率起动成功，否则额定功率起动失败，需重新按照 8.1.1.3.1 和 8.1.1.3.2 进行试验。

##### 8.1.1.3.3 试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：冷起动时间、燃料电池发动机电压等。

#### 8.1.1.4 常温额定功率热起动试验

##### 8.1.1.4.1 试验条件

试验前燃料电池发动机按照7.4规定的方法进行热机，使燃料电池发动机处于热机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

##### 8.1.1.4.2 试验方法

按照下列程序进行试验：

- a) 热机过程结束后，停机 10s，然后按照制造商建议的起动操作步骤起动燃料电池发动机；
- b) 测试平台按照制造商建议的方法向燃料电池发动机发送工作指令，同时测试平台按照规定的加载方法进行加载，加载到额定功率点后，燃料电池发动机在额定功率下持续运行 10min，则燃料电池发动机额定功率起动成功，否则额定功率起动失败，需重新按照 8.1.1.4.1 和 8.1.1.4.2 进行试验。

##### 8.1.1.4.3 试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：热起动时间、燃料电池发动机电压等。

#### 8.1.2 低温冷起动特性试验

##### 8.1.2.1 低温怠速冷起动试验

###### 8.1.2.1.1 试验条件

试验前燃料电池发动机置于环境舱中，将环境舱的温度设定为规定的温度，按照7.2的浸机方法进行浸机处理。试验过程应自动进行，不能有人工干预。

#### 8.1.2.1.2 试验方法

按照下列程序进行试验：

- a) 预处理过程结束后，按照制造商建议的起动操作步骤起动燃料电池发动机；
- b) 燃料电池发动机起动后，在怠速（或燃料电池发动机最低功率点）状态下持续运行 10min，则燃料电池发动机怠速（或燃料电池发动机最低功率点）低温冷起动成功，否则怠速（或燃料电池发动机最低功率点）低温冷起动失败，需重新按照 8.1.2.1.1 和 8.1.2.1.2 进行试验。

#### 8.1.2.1.3 数据处理

试验中测量的数据：起动时间、环境温度、冷却液起始温度、燃料电池堆的电压、燃料电池堆的电流、辅助系统的电压、辅助系统的电流、氢气的消耗量等。

### 8.1.2.2 低温额定功率冷起动试验

#### 8.1.2.2.1 试验条件

试验前燃料电池发动机处于环境舱中，将环境舱的温度设定为规定的温度，按照7.2的浸机方法进行浸机处理。试验过程应自动进行，不能有人工干预。

#### 8.1.2.2.2 试验方法

按照下列程序进行试验：

- a) 预处理过程结束后，按照制造商建议的起动操作步骤起动燃料电池发动机；
- b) 测试平台按照制造厂建议的方法向燃料电池发动机发送工作指令，同时测试平台按照规定的加载方法进行加载，加载到额定功率点后燃料电池发动机在额定功率下持续运行 10min，则燃料电池发动机额定功率低温冷起动成功，否则额定功率低温冷起动失败，需重新按照 8.1.2.2.1 和 8.1.2.2.1 进行试验。

#### 8.1.2.2.3 数据处理

试验中测量的数据：起动时间、环境温度、冷却液起始温度、燃料电池堆的电压、燃料电池堆的电流、辅助系统的电压、辅助系统的电流、氢气的消耗量等。

### 8.2 额定功率试验

#### 8.2.1 试验条件

试验前燃料电池发动机的状态为热机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

#### 8.2.2 试验方法

按照下列程序进行试验：

- a) 热机过程结束后，回到怠速状态（或燃料电池发动机最低功率点）运行 10s；
- b) 测试平台按照规定的加载方法进行加载，加载到额定功率且以该功率持续运行 63 min（加载过程如图 1 所示）；

- c) 以图 1 中有效测量时长 60 min 运行功率的平均值作为燃料电池发动机的额定功率 ( $P_E$ ) 测量值 (以 kW 为单位), 额定功率测量值小数点后取 2 位有效数字 (采用四舍五入的方法), 额定功率标称值为额定功率测量值的整数部分;
- d) 燃料电池发动机在有效测量时长内的输出功率应始终处于 60min 平均功率 的 97%~103% 之间, 否则试验结果无效, 需重新按照 8.2.1 和 8.2.2 进行试验。

### 8.2.3 试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据: 燃料电池发动机的电压、电流, 氢气的消耗量, 辅助系统的电压、电流。

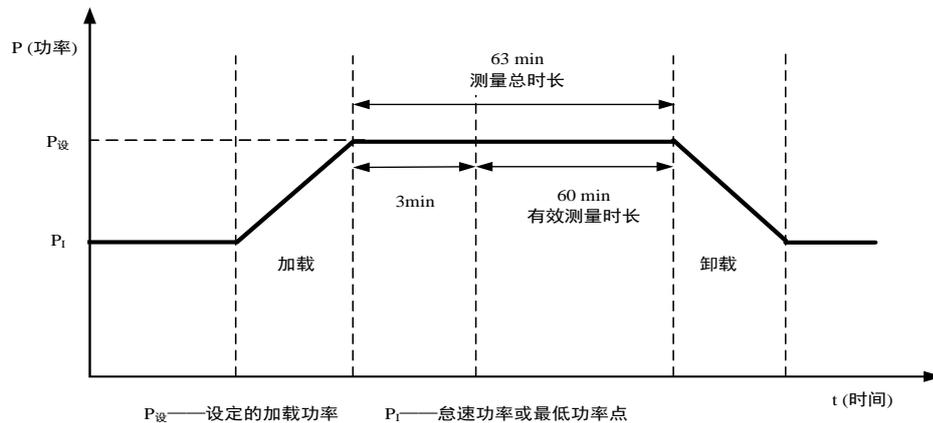


图1 额功率测量过程示意图

## 8.3 峰值功率试验

### 8.3.1 试验条件

试验前燃料电池发动机的状态为热机状态。试验过程应自动进行, 不能有人工干预。

### 8.3.2 试验方法

按照下列程序进行试验:

- 燃料电池发动机首先进行热机处理, 热机过程结束后, 回到怠速状态 (或燃料电池发动机最低功率点) 运行 10s;
- 测试平台按照规定的加载方法进行加载, 加载到额定功率后在该功率点至少稳定运行 10min, 然后按照规定的加载方式加载到设定的峰值功率, 在该功率点持续运行 (时间长度由制造商指定), 到达设定的时间后按照制造商规定的卸载方式进行卸载, 则试验成功, 否则试验失败, 需重新按照 8.3.1 和 8.3.2 进行试验。

### 8.3.3 试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据: 峰值功率运行的时间、燃料电池发动机的电压、电流, 氢气的消耗量, 辅助系统的电压、电流等。

## 8.4 动态响应特性试验

### 8.4.1 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，不能有人工干预。

## 8.4.2 试验方法

### 8.4.2.1 加载动态响应试验

按照下列程序进行试验：

- a) 燃料电池发动机首先进行热机处理，热机过程结束后，回到怠速（或燃料电池发动机最低功率点）状态运行 10s；
- b) 按照规定的加载方式加载到动态响应的起始功率点，在该功率点至少稳定运行 1min；
- c) 测试平台向燃料电池发动机发送动态阶跃指令，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至少持续运行 10min，否则试验失败，需重新按照 8.4.1 和 8.4.2.1 进行试验。

注：推荐取怠速（或燃料电池发动机最低功率点）状态~90% $P_E$ 的响应时间作为评价燃料电池发动机的加载动态响应指标。 $P_E$ 为燃料电池发动机额定功率。

### 8.4.2.2 卸载动态响应试验

按照下列程序进行试验：

- a) 燃料电池发动机首先进行热机处理，热机过程结束后，回到怠速（或燃料电池发动机最低功率点）状态运行 10s；
- b) 按照规定的加载方式加载到动态响应的起始功率点，在该功率点至少稳定运行 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，在规定的时间内达到动态阶跃的截止点，燃料电池发动机在该功率点至少持续稳定运行 10min，否则试验失败，需重新按照 8.4.1 和 8.4.2.2 进行试验。

注：推荐取90% $P_E$ ~怠速（或燃料电池发动机最低功率点）状态的响应时间作为评价燃料电池发动机的卸载动态响应指标。 $P_E$ 为燃料电池发动机额定功率。

### 8.4.3 试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：动态阶跃响应时间、燃料电池发动机的电压、电流，氢气的消耗量，辅助系统的电压、电流等。

## 8.5 稳态特性试验

### 8.5.1 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，不能有人工干预。

### 8.5.2 试验方法

按照下列程序进行试验：

- a) 在燃料电池发动机工作范围内选择以下工况点，分别是怠速（或燃料电池发动机最低功率点）状态、10% $P_E$ 、20% $P_E$ 、30% $P_E$ 、40% $P_E$ 、50% $P_E$ 、60% $P_E$ 、70% $P_E$ 、80% $P_E$ 、90% $P_E$ ；
- b) 热机过程结束后，回到怠速（或燃料电池发动机最低功率点）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（按照从低到高顺序加载），在每个工况点至少持续稳定运行 3min；
- d) 每个工况点分析数据时间长度不能少于 2min；

- e) 本试验项目数据处理结果包括额定功率点和峰值功率点,对于额定功率点的试验数据,采用 8.2 章节的额定功率试验数据;对于峰值功率点的试验数据,采用 8.3 章节的峰值功率试验数据,本试验项目不再重复进行,峰值功率点的分析数据时间长度取决于峰值功率试验数据时间长度;
- f) 如果在试验过程中试验中断,则试验需重新按照 8.5.1 和 8.5.2 进行试验。

### 8.5.3 试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据:燃料电池发动机的电压、电流,氢气的消耗量,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。

## 8.6 高温运行试验

### 8.6.1 试验条件

试验前燃料电池发动机置于环境舱中,将环境舱的温度设定为45°C,按照7.3的浸机方法进行浸机处理。试验过程应自动进行,不能有人工干预。

### 8.6.2 试验方法

按照下列程序进行试验:

- a) 预处理过程结束后,按照制造商建议的起动操作步骤起动燃料电池发动机;
- b) 测试平台按照规定的加载方法进行加载,加载到额定功率且以该功率持续运行 63 min(加载过程如图 1 所示);
- c) 燃料电池发动机在图 1 有效测量时长内的输出功率应始终处于有效测量时长 60 min 运行功率的平均值的 97%~103%之间,否则试验结果无效,需重新按照 8.6.1 和 8.6.2 进行试验。

### 8.6.3 试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据:燃料电池发动机的电压、电流,氢气的消耗量,辅助系统的电压、电流。

## 8.7 动态平均效率特性试验

按照GB/T 34593—2017第5.2.2中规定的试验方法进行测试,采集燃料电池发动机的电压、电流、氢气流量等参数,试验进行三次,试验结果取三次平均值。试验数据处理方法按照附录B进行处理。

## 8.8 燃料电池发动机气密性测试

### 8.8.1 试验条件

将燃料电池发动机置于环境温度下,按照7.1的方法进行浸机处理,使燃料电池发动机处于冷机状态。

### 8.8.2 试验方法

浸机过程结束后,按照下面方法进行测试:

- a) 如果燃料电池发动机氢气侧的工作压力高于 50 kPa(包括 50 kPa):关闭燃料电池堆的氢气排气端口,从氢气进气端口充入氢氮混合气体(氢气浓度不低于 10%),压力设定为 50 kPa,压力稳定后关闭进气阀门,其他端口保持畅通,保压 20 min,记录压力下降值。

- b) 如果燃料电池发动机氢气侧的工作压力低于 50 kPa（不包括 50 kPa）：关闭燃料电池堆的氢气排气端口，从氢气进气端口充入氢氮混合气体（氮气浓度不低于 10%），如果燃料电池堆氢气侧工作压力介于 30 kPa~50 kPa 之间，压力设定值为燃料电池堆的工作压力，如果燃料电池堆氢气侧的工作压力低于 30 kPa，则压力设定值为 30 kPa，保压 20 min，记录压力下降值。
- c) 关闭燃料电池发动机的氢气排气端口、空气排气端口和冷却液出口，同时向氢气流道、空气流道和冷却液流道加注氢氮混合气体（氮气浓度不低于 10%），压力均设定在正常工作压力，压力稳定后关闭进气阀门，保压 20 min，记录压力下降值。

## 8.9 绝缘电阻测试

冷却液处于热态，用兆欧表测量燃料电池发动机正负极分别对燃料电池发动机外表面可导电或金属接地点的绝缘电阻值。参考表2选择兆欧表量程。测量时，应在兆欧表指针或者显示数值达到稳定后再读数。

燃料电池发动机辅助系统部件工作电压以B级（电压等级参照国家标准GB 18384《电动汽车安全要求》）电压运行，则应单独测量其绝缘电阻。若其内部含有高压接触器，测试绝缘电阻时接触器需处于闭合状态。用兆欧表测量其正负极分别对其外壳的绝缘电阻值。参考表2选择兆欧表量程。测量时，应在兆欧表指针或者显示数值达到稳定后再读数。

取燃料电池发动机和所有检测B级电压部件的绝缘阻值的并联阻值，作为燃料电池发动机绝缘值。

如果采用两个或以上数量的系统并联，以其各系统绝缘阻值，为发动机绝缘电阻值。在所有性能测试项目结束后进行该项目的测试。

表2 工作电压及兆欧表量程选择

序号	最大工作电压 $U_{\max}$ (V)	兆欧表量程 (V)
1	$U_{\max} \leq 250$	500
2	$250 < U_{\max} \leq 1000$	1000

## 8.10 质量及功率密度测试

### 8.10.1 燃料电池发动机质量及质量功率密度测试

测量燃料电池发动机质量要求：燃料电池发动机结构完整、能够实现燃料电池发动机各项性能和功能，且与装车状态一致，在连接氢气源和散热器的条件下即可正常工作。燃料电池发动机边界划分如附录C中图C.1所示。

测量部件包括燃料电池模块和辅助系统的质量：

- a) 测量燃料电池发动机应包含表 3 规定的部件：

表3 燃料电池发动机包含部件

燃料电池模块	空气供应系统	氢气供应系统	水热管理系统	控制系统	其他部件
燃料电池堆、集成外壳、轧带、固定螺杆、CVM等	空气滤清器、消音装置、空气压缩机、中冷器、增湿器等	氢气循环泵和/或氢气引射器、氢气喷射器等；	冷却泵、去离子器、PTC等；	控制器、传感器等；	组成燃料电池发动机所必需的阀件、管路、线束、接头和框架等

- b) 下列部件可不计入质量测量范围：

辅助散热组件、散热器总成、水箱、冷却液及加湿用水、尾排管路、外接散热器连接的冷却管路、外接高压电缆。所带部件如与第1)、2)条规定有不同之处,应在试验报告中加以说明。

- c) 质量功率密度应以燃料电池发动机额定功率测量值(单位:千瓦(kW))计算其质量功率密度,质量单位采用:千克(kg)。

#### 8.10.2 燃料电池堆体积功率密度测试

燃料电池堆体积功率密度测试方法应按照附录E进行。

附 录 A  
(规范性)  
稳态试验数据处理

### A.1 燃料电池堆的功率

燃料电池堆功率按下式计算：

$$P_s = U_s \cdot I_s / 1000 \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- $P_s$ ——燃料电池堆功率，单位为千瓦（kW）；
- $U_s$ ——燃料电池堆电压，单位为伏特（V）；
- $I_s$ ——燃料电池堆电流，单位为安培（A）。

### A.2 燃料电池堆效率

燃料电池堆效率按下式计算：

$$\eta_s = \frac{1000P_s}{m_{H_2} \cdot LHV_{H_2}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- $\eta_s$ ——燃料电池堆效率；
- $m_{H_2}$ ——氢气流量，单位为克每秒（g/s）；
- $LHV_{H_2}$ ——氢气低热值， $1.2 \times 10^5 \text{ kJ/kg}$ 。

### A.3 燃料电池发动机功率

如果燃料电池发动机的系统电压和电流直接测量得到，则燃料电池发动机功率按下式计算：

$$P_F = U_F \cdot I_F / 1000 \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

- $P_F$ ——燃料电池发动机功率，单位为千瓦（kW）；
- $U_F$ ——燃料电池发动机系统电压，单位为伏特（V）；
- $I_F$ ——燃料电池发动机系统电流，单位为安培（A）。

如果燃料电池发动机的功率由燃料电池堆功率和辅助系统功率相减得到，那么燃料电池发动机功率按照下式计算：

$$P_F = P_s - P_A \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

- $P_F$ ——燃料电池发动机功率，单位为千瓦（kW）；
- $P_s$ ——燃料电池堆功率，单位为千瓦（kW）；
- $P_A$ ——辅助系统功率，单位为千瓦（kW）。

### A.4 燃料电池发动机效率

燃料电池发动机效率按下式计算：

$$\eta_F = \frac{1000P_F}{m_{H_2} \cdot LHV_{H_2}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

$\eta_F$  ——燃料电池发动机效率；

$m_{H_2}$  ——氢气流量，单位为克每秒（g/s）。

## 附录 B

(规范性)

## 动态平均功率试验数据处理

## B.1 燃料电池发动机实际氢气耗量

氢气消耗量的测量方法可以参考GB/T 35178-2017规定的方法。如果氢气以流量单位记录结果，则燃料电池发动机在某段时间内的实测氢气消耗量按下式计算：

$$M_{H_2} = \int_{T_1}^{T_2} m_{H_2} \cdot dt \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$M_{H_2}$ ——燃料电池发动机实测氢气消耗量，单位为 g。

$m_{H_2}$ ——燃料电池发动机实测氢气流量，单位为 g/s。

$T_1$  ——起始时间，单位为 s。

$T_2$  ——结束时间，单位为 s。

## B.2 燃料电池发动机能量：

$$Q_F = \int_{T_1}^{T_2} P_F \cdot dt \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

$Q_F$  ——某段时间内燃料电池发动机能量，单位为 kJ，

$P_F$  ——燃料电池发动机功率，单位为 kW，

## B.3 燃料电池发动机动态平均效率

$$\overline{\eta}_{FD} = \frac{1000Q_F}{M_{H_2} \cdot LHV_{H_2}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$Q_F$  —— 某段时间内燃料电池发动机能量，单位为 kJ，

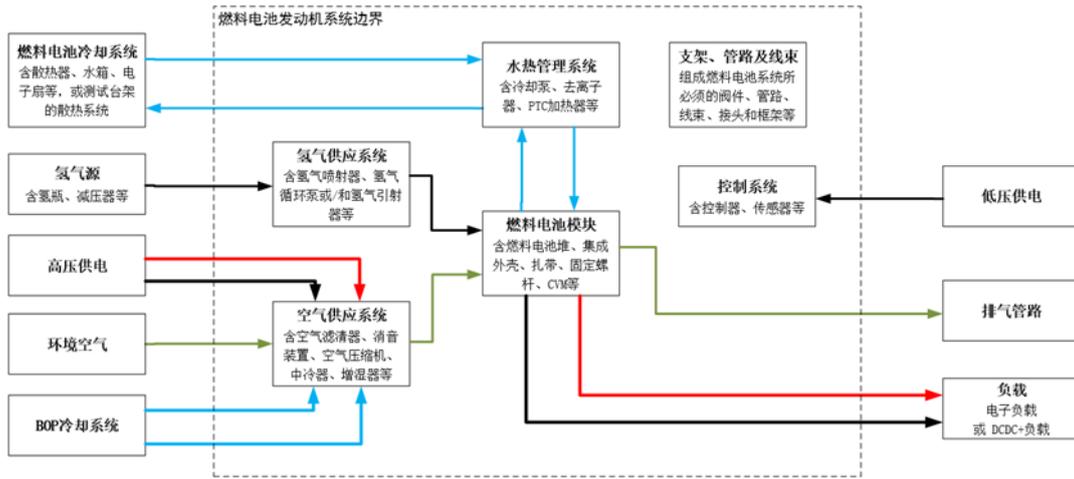
$M_{H_2}$  ——燃料电池发动机实测氢气消耗量，单位为 g，

$LHV_{H_2}$  ——氢气低热值， $1.2 \times 10^5$  kJ/kg，

$\overline{\eta}_{FD}$  ——燃料电池发动机动态平均效率。

附录 C  
(规范性)  
燃料电池发动机边界界定框图

图C.1是燃料电池发动机边界界定框图，虚拟框内为质量测量包含的部件。



图C.1 燃料电池发动机边界界定框图

**附录 D**  
**(资料性)**  
**试验项目测试顺序**

表D.1是推荐的试验项目测试顺序，可以参考执行。对于绝缘电阻测试标准正文里面明确规定在所有性能测试之后进行，其他测试项目可以根据实际情况调整测试顺序。

**表D.1 试验项目测试顺序**

序号	测试项目	备注
1	燃料电池发动机气密性测试	
2	常温怠速冷起动特性试验	
3	常温额定功率冷起动测试	
4	常温怠速热起动试验	
5	稳态特性试验	
6	常温额定功率热起动试验	
7	额定功率试验	
8	峰值功率试验	
9	动态响应特性试验	
10	动态平均效率特性试验	
11	低温怠速冷起动测试	
12	低温额定功率冷起动测试	
13	高温运行试验	
14	绝缘电阻测试	
15	质量及功率密度测试	

附录 E  
(规范性)  
燃料电池堆体积功率密度测量方法

E.1 燃料电池堆体积  $V_{stack}$

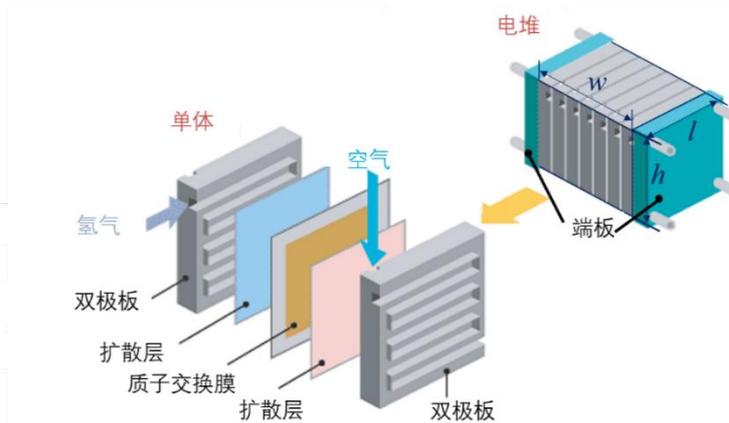
完成燃料电池发动机性能试验后，制造商应对被测的燃料电池发动机进行必要的拆解，以便对燃料电池堆的体积进行测量。燃料电池堆体积测量示意图如图E.1所示，根据公式E.1计算，单位为升。

$$V_{stack} = w \times l \times h / 10^6 \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

- $w$ ——两个端板之间的宽度（mm）；
- $l$ ——双极板外廓长度（mm）；
- $h$ ——双极板外廓高度（mm）。

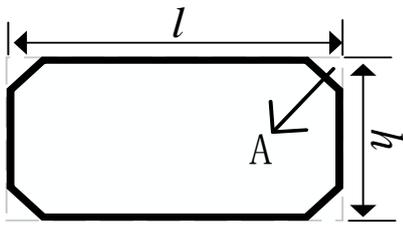
注1：宽度 $w$ 不包括端板、绝缘板、集流板，但应包括所有极板。  
注2：拆解过程中不应拆解端板，防止因预紧力改变影响测量结果。



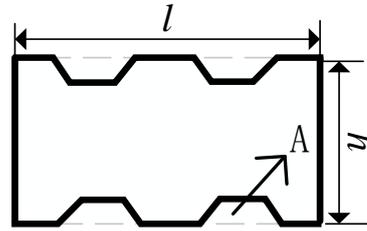
图D.1 燃料电池堆体积测量示意图

双极板长度应测量燃料电池堆双极板长度方向的最远外廓尺寸，单位为mm；双极板高度应测量燃料电池堆双极板高度方向的最远外廓尺寸，单位为mm，图E.2枚举了可能的测量场景，其他测量场景应参考执行。

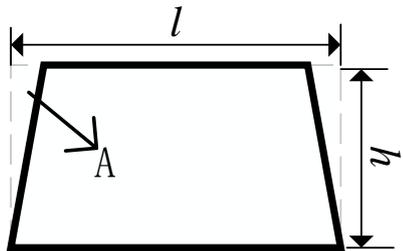
其中，对于连续空白区域面积大于等于双极板外廓面积 ( $l \cdot h$ ) 4%的部分，计算双极板面积时应去除该部分面积(氢气、空气、水路通道除外)。连续空白区域面积的计算，应由第三方检测机构基于被测对象的双极板实物进行测量计算。



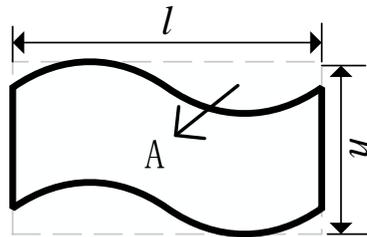
图例1



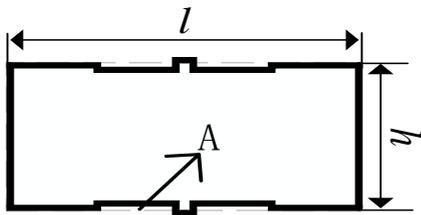
图例2



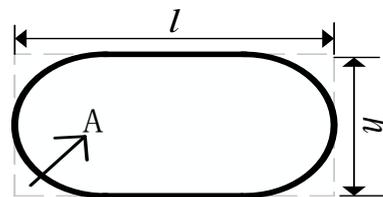
图例3



图例4



图例5



图例6

A——连续空白区域

图例 5 中，用于 CVM 引线的突出点，不作为轮廓尺寸参考点。

图D. 2 燃料电池堆长度测量示意图

### E. 2 燃料电池堆体积功率密度 $VSP_{Stack}$

燃料电池堆体积功率密度  $VSP_{Stack}$  按照公式 E.2 计算，单位为 kW/L。

$$VSP_{Stack} = P_{stack} / V_{Stack} \dots\dots\dots (E.2)$$