

ICS 13.020.60

CCS Z 00

T/CAB

中国产学研合作促进会团体标准

T/CAB 0318—2023

**商用车燃料电池系统“领跑者”
性能评价导则**

Hydrogen Top Runner Evaluation Guidelines of Fuel Cell System

For Commercial Vehicle

2023-12-29 发布

2023-12-29 实施

中国产学研合作促进会 发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构。除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目 次

前 言	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 评价指标体系.....	1
5 评价模式.....	3
6 评价申请.....	3
7 产品检验.....	4
8 评价结果与发布.....	5
9 评价证书.....	5
附录 A（规范性） 额定功率试验方法.....	6
附录 B（规范性） 额定功率下的效率试验方法.....	8
附录 C（规范性） 质量功率密度试验方法.....	10
附录 D（规范性） 最高氢气利用率试验方法.....	12
附录 E（规范性） 加载动态响应试验方法.....	14
附录 F（规范性） 起动特性试验方法.....	15
附录 G（规范性） 低温冷起动试验方法.....	17
附录 H（规范性） 耐久性试验方法.....	19
附录 I（规范性） 气密性试验方法.....	24
附录 J（规范性） 绝缘电阻试验方法.....	25
附录 K（规范性） 防水防尘等级试验方法.....	26
附录 L（规范性） 噪声试验方法.....	27

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。

本文件由苏州中欧氢能技术创新中心提出。

本文件由中国产学研合作促进会归口。

本文件起草单位：北京国氢中联氢能科技研究院有限公司、国家能源集团氢能科技有限公司、同济大学、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司、苏州中欧氢能技术创新中心、氢溯科技（上海）有限公司、上海捷氢科技股份有限公司、上海重塑能源科技有限公司、未势能源科技有限公司、爱德曼氢能装备有限公司、北京亿华通科技股份有限公司。

本文件主要起草人：刘玮、万燕鸣、马天才、肖晨江、刘聪敏、裴冯来、郝冬、陈龔、赵书屹、周星、陈沛、翟双、崔天宇、杨华、裴冠茹。

商用车燃料电池系统“领跑者”性能评价导则

1 范围

本规则适用于氢能“领跑者”计划通则中的商用车质子交换膜燃料电池系统的评价。具体范围边界见附录 C 中图 C.1。本规则将根据氢能产业技术发展情况适时进行修订。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 4208-2017 外壳防护等级（IP 代码）
 GB/T 24548 燃料电池电动汽车 术语
 GB/T 24554-2022 燃料电池发动机性能试验方法
 GB/T 25319-2010 汽车用燃料电池发电系统 技术条件

3 术语和定义

GB/T 24548 界定术语和定义适用于本文件。

4 评价指标体系

4.1 评价指标分类

4.1.1 商用车燃料电池系统“领跑者”标准的评价指标分为：基础指标、核心指标和加分指标。

4.1.2 基础指标包括：GB/T 24554-2022、GB/T 25319-2010 涉及的相关安全类指标，该类指标须满足表 1 中要求，否则不予评价。

4.1.3 核心指标包括：稳态性能、动态性能、起动性能、环境适应性。

4.1.4 加分指标包括：耐久性能与低温冷启动性能。

表 1 商用车燃料电池系统评价指标体系

序号	对象	指标类型	评价指标	领跑目标			测试方法
				国内现状	首期指标	2026 年指标	
1	核心指		额定功率	60~130 kW	130 kW	200 kW	附录 A

2	标	稳态性能	额定功率下的效率	40~45%	44%	48%	附录 B	
4			质量功率密度	450~600 W/kg	680 W/kg	800 W/kg	附录 C	
5			最高氢气利用率	90~95%	98%	99%	附录 D	
6		动态性能	加载动态响应时间	18 s	14 s	10 s	附录 E	
7		起动性能	常温冷起动时间	20 s	9 s	5 s	附录 F	
8			常温热起动时间	16 s	8 s	5 s		
9		基础指标	安全性能	气密性	符合规范要求			附录 I
10				绝缘阻值				附录 J
11	噪声			≤85 dB			附录 L	
12	防水防尘等级			IP67			附录 K	
13	加分指标	耐久性能	性能衰减	5%/1000 h	≤3%/1000 h	1%/1000 h	可按照附录 H	
14		环境适应性	低温冷起动温度	-30℃	-30℃	-40℃	附录 G	
15			低温冷起动时间	10~30 min	15 min	2 min		

注 3：首期指标与表 2 首期白名单评选中的平均水平相当。

4.2 白名单综合评价与等级划分

4.2.1 商用车燃料电池系统“领跑者行动”评价，应在满足基础指标和限定指标的前提下，对核心指标进行评分。具体评分依据见表 2。

表 2 商用车燃料电池系统白名单评选

白名单	满足条件										
	商用车燃料电池系	基础指标	核心指标	指标类型	评价指标	核心指标水平分级			权重	加分指标	指标类型
先进水平 ≥80分						平均水平 [70分-80分)	基准水平 [60分-70分)				
			稳态性能	额定功率 (kW)	≥140	[100-140)	[90-100)	0		耐久性能 (%) /1000h)	≤5 加 4 分； ≤3 加 8 分； ≤1 加 10 分；
				额定功率下的效率	≥46	[43-46)	[40-43)	35%			

统 首 期 白 名 单		(%)						
		质量功率 密度 (W/kg)	≥ 700	[650-700]	[600-650]	25%		
		最高氢气 利用率 (%)	≥ 99	[98-99]	[95-98]	15%		
	动 态 性 能	加载动态 响应时间 (s)	≤ 10	(10-20]	(20-40]	10%	低 温 冷 启 动 性 能	-30℃启动 时间 ≤ 18 min, 加 3 分; -30℃且启 动时间 ≤ 10 min, 加 5 分; -40℃且启 动时间 ≤ 15 min, 加 6 分;
	起 动 性 能	常温冷起 动时间 (s)	≤ 5	(5-9]	(9-20]	10%		
		常温热起 动时间 (s)	≤ 5	(5-8]	(8-16]	5%		

表 3 商用车燃料电池系统性能评价原则-等级评定

性能等级	综合评分
1	80 (含) 以上
2	70 (含) -80
3	60 (含) -70

5 评价模式

5.1 评价模式为：产品检验。

5.2 基本环节包括：

- a) 评价的申请；
- b) 产品检验；
- c) 评价结果与发布。

6 评价申请

6.1 评价单元划分

原则上按产品型号申请评价。同一制造商、同一型号但生产厂不同的产品应分为不同的申请单元。

6.2 申请评价提交资料

- a) 正式申请书（氢能领跑者行动信息管理平台下载申请书）；
- b) 产品描述报告；
- c) 产品说明书；
- d) 氢能“领跑者”评价符合性声明；
- e) 申请人、制造商注册证明如营业执照、组织机构代码（首次申请时），生产厂如有注册证明也需提供；
- f) 其他需要的资料；

6.3 申请产品检验

申请评价通过后，在氢能领跑者行动信息管理平台上选择入围的合格测试和认证机构或客户实验室提出检验申请。

7 产品检验

7.1 样品

原则上每种型号至少测试 1 台。

7.2 检验依据与方法

表 1 或表 2 中基础指标、核心指标对应的检测方法，见附录。

7.3 检验时限与判定

一般为 30 个工作日。因测试项目不合格，企业进行整改和重新测试的时间不计算在内。测试时限从收到样品和测试费用算起。

产品如有部分试验项目不符合基础指标或达不到核心指标的基准水平，允许申请人整改后重新提交样品进行试验。重新试验的样品数量和试验项目视不合格情况由测试机构决定，整改期限不应超过 6 个月。

7.4 检验报告

由氢能领跑者计划信息管理平台上入围的合格测试机构对样品进行测试，并按规定格式出具测试报告。若测试机构暂无法出具测试报告，则需由认证机构出具测试报告。

8 评价结果与发布

8.1 评价结果与发布

氢能领跑者管理委员会组织对申请资料、检验报告等依据表 2 和表 3 的评分标准进行综合评价。评价入围后向申请人颁发相应的证书，并列入商用车燃料电池系统“白名单”列名管理系统。

8.2 评价时限

在完成产品检验后，对符合评价要求的，一般情况下在 30 天内颁发评价证书。

8.3 评价终止

当产品检验不合格，氢能领跑者管理委员会做出不合格决定，终止评价。终止评价后如要继续申请评价，根据申请流程进行重新申请认证。

9 评价证书

9.1 评价证书的保持

9.1.1 证书的有效性

本规则中燃料电池系统白名单评价证书有效期为两年。

9.2 评价证书的暂停、恢复、注销和撤销

证书的使用应符合氢能领跑者计划管理委员会有关证书管理规定的要求。当证书持有者违反认证有关规定或认证产品达不到认证要求时，氢能领跑者计划管理委员会按有关规定对认证证书做出相应的暂停、撤消和注销的处理，并将处理结果进行公告。证书持有者可以向氢能领跑者计划管理委员会申请暂停、注销其持有的认证证书。

证书暂停期间，证书持有者如果需要恢复评价证书，应在规定的暂停期限内向氢能领跑者计划管理委员会提出恢复申请，氢能领跑者计划管理委员会按有关规定进行恢复处理。否则，氢能领跑者计划管理委员会将撤消或注销被暂停的评价证书。

附录 A

(规范性)

额定功率试验方法

A.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

A.2 试验条件

试验过程中，燃料电池系统的启动、加载、卸载、停机等均应由试验平台按照制造商提供的通讯协议发送或接收相应指令。

试验前燃料电池系统的状态为热机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

A.3 试验方法

A.3.1 热机过程结束后，回到怠速状态（或燃料电池系统最低功率点）运行 10 s。

A.3.2 测试平台向燃料电池系统发送加载指令，加载到额定功率且以该功率持续运行 63 min（加载过程如图 A.1 所示）。

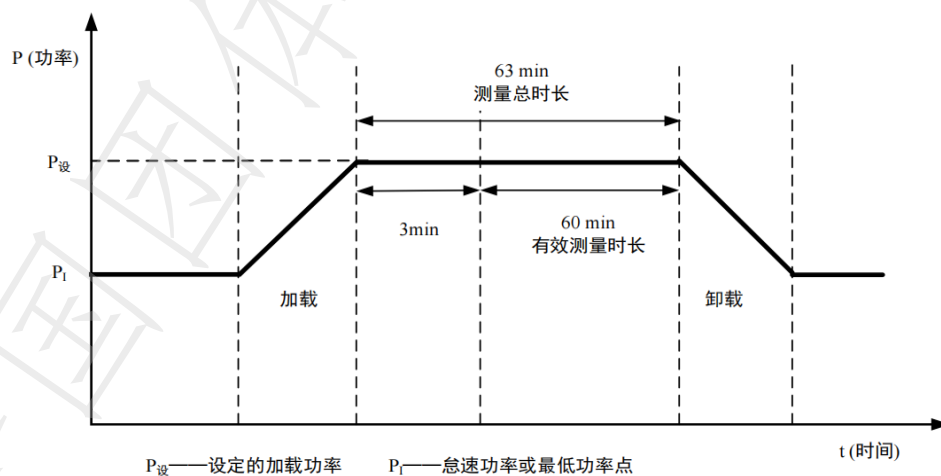


图 A.1 额定功率测量过程示意图

A.3.3 以图 A.1 中有效测量时长 60 min 运行功率的平均值作为燃料电池系统的额定功率 P_E 测量值，单位为千瓦 (kW)，额定功率测量值小数点后取 3 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向下圆整后的结果。同时，取 60 min 燃料电池堆输出功率的平均值计算燃料电池堆的功率 P_{stack} ，单位为千瓦（kW），小数点后取 2 位有效数字（采用四舍五入的方法）。

A. 3. 4 燃料电池系统在有效测量时长内的输出功率应始终处于 60 min 平均功率的 97%~103%之间。

A. 3. 5 燃料电池系统持续稳定运行 60 min 内，其单电池平均电压应不低于 0.6 V（计算方式为 60 min 燃料电池堆的平均电压除单电池节数）。单电池节数采用双极板（含两端单流场极板）数减 1 的方式计算，包括空电池。

A. 4 试验过程中记录的数据

试验过程中记录的数据：燃料电池系统（或燃料电池堆）的电压、电流，氢气流量，辅助系统的电压、电流。

附录 B

(规范性)

额定功率下的效率试验方法

B.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

B.2 试验

试验条件和试验方法同附录 A 额定功率试验方法，采用额定功率试验中有效测量时长 60 min 的试验数据进行处理。

B.3 数据处理

B.3.1 燃料电池堆功率

燃料电池堆功率按下式计算：

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

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)。

B.3.2 燃料电池系统功率

如果燃料电池系统的系统电压和电流直接测量得到，则燃料电池系统功率按下式计算：

$$P_F = U_F \cdot I_F / 1000 \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

P_F ——燃料电池系统功率，单位为千瓦 (kW)；

U_F ——燃料电池系统系统电压，单位为伏特 (V)；

I_F ——燃料电池系统系统电流，单位为安培 (A)。

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

$$P_F = P_s - P_A \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

P_A ——辅助系统功率，单位为千瓦（kW）。

B.3.3 燃料电池系统 60 min 额定功率试验中的实际氢气消耗量

燃料电池系统实际氢气消耗量按下式计算：

$$M_{H_2} = \int_0^{3600} m_{H_2} \cdot dt \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

M_{H_2} ——燃料电池系统实测氢气消耗量，单位为 g；

m_{H_2} ——燃料电池系统实测氢气流量，单位为 g/s。

B.3.4 燃料电池系统 60 min 额定功率试验中的输出能量

燃料电池系统输出能量按下式计算：

$$Q_F = \int_0^{3600} P_F \cdot dt \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

Q_F ——燃料电池系统输出能量，单位为 kJ。

B.3.5 燃料电池额定功率下的效率

燃料电池额定功率下的效率按下式计算：

$$\eta_F = \frac{1000Q_F}{M_{H_2} \cdot LHV_{H_2}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中：

η_F ——燃料电池额定功率下的效率。

附录 C

(规范性)

质量功率密度试验方法

C.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

C.2 试验方法

C.2.1 质量测量方法

测量燃料电池系统质量时,应按照尽可能保证被测系统完整性的原则,应确保被称重的燃料电池系统在连接氢气源和散热器的条件下即可正常工作,称重范围包括燃料电池系统边界内的所有部分,如图 C.1 所示,单位为 kg,具体包括:

- a) 燃料电池模块,包括燃料电池堆、集成外壳、轧带、固定螺杆、CVM 等;

表 C.1 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
括燃料电池堆、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	组成燃料电池系统所必需的阀件、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 a) 和本项规定有不同之处,应在试验报告中加以说明。

- c) 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)。

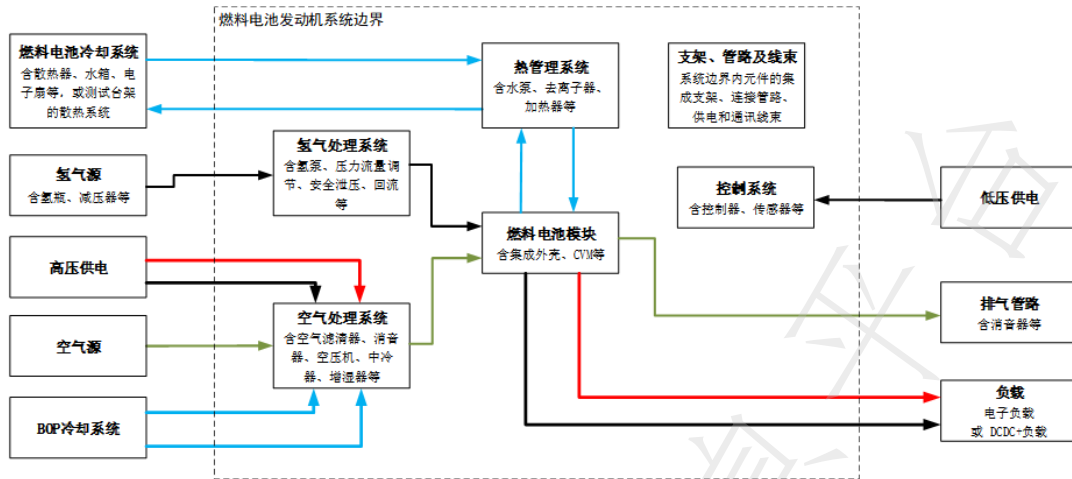


图 C.1 燃料电池系统边界示意图

C.2.2 额定功率试验方法

见附录 A。

C.3 数据处理

燃料电池系统质量功率密度 MSP_{FCE} 按照公式 (C.1) 进行计算, 单位为 W/kg。

$$MSP_{FCE} = 1000 \times P_E / m \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

P_E ——按附录 A 测得的燃料电池系统额定功率, 单位为千瓦 (kW);

m ——按 C.2.1 测得的燃料电池系统质量, 单位为千克 (kg)。

附录 D

(规范性)

最高氢气利用率试验方法

D.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

D.2 试验条件

试验过程中,燃料电池系统的启动、加载、降载、停机等均应由试验平台按照制造商提供的通讯协议发送或接收相应指令。

试验前燃料电池系统的状态为热机状态,试验过程应自动进行,不能有人工干预。

D.3 试验方法

按照下列步骤进行试验:

- 热机过程结束后,回到怠速(或燃料电池系统最低功率点)状态运行 10 s;
- 在燃料电池系统工作范围内,按制造商规定选取系统最高氢气利用率工况点;
- 测试平台向燃料电池系统发送加载指令,加载到预先确定的工况点,在该工况点持续稳定运行至少 3 min,用于分析的数据时间长度不少于 2 min。

D.4 数据处理

D.4.1 燃料电池堆理论氢气消耗量

燃料电池堆理论氢气消耗量按下式计算:

$$m_{\text{H}_2\text{theo}} = \int_{T_1}^{T_2} q_{\text{H}_2\text{theo}} \cdot dt \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- $m_{\text{H}_2\text{theo}}$ ——燃料电池堆理论氢气消耗量,单位为克(g);
- $q_{\text{H}_2\text{theo}}$ ——燃料电池堆理论氢气流量,单位为克每秒(g/s);
- T_1 ——起始时间,单位为秒(s);
- T_2 ——结束时间,单位为秒(s)。

燃料电池堆理论氢气流量按下式计算:

$$q_{H_2\text{theo}} = \frac{M \times I \times N}{n \times F} \dots\dots\dots (D. 2)$$

式中:

$q_{H_2\text{theo}}$ ——燃料电池堆理论氢气流量, 单位为克每秒 (g/s);

M ——氢气摩尔质量, 2.016 g/mol;

I ——燃料电池堆电流, 单位为安培 (A);

N ——燃料电池堆单电池片数;

n ——每个氢分子释放的电子数, 2;

F ——法拉第常数, 96485 C/mol;

D. 4. 2 燃料电池实际氢气消耗量

燃料电池堆实际氢气消耗量按下式计算:

$$m_{H_2} = \int_{T_1}^{T_2} q_{H_2} \cdot dt \dots\dots\dots (D. 3)$$

式中:

m_{H_2} ——燃料电池实际氢气消耗量, 单位为克 (g);

q_{H_2} ——燃料电池实际氢气流量, 单位为克每秒 (g/s);

T_1 ——起始时间, 单位为秒 (s);

T_2 ——结束时间, 单位为秒 (s)。

D. 4. 3 燃料电池系统氢气利用率

燃料电池系统氢气利用率按下式计算:

$$\eta = \frac{m_{H_2\text{theo}}}{m_{H_2}} \times 100 \% \dots\dots\dots (D. 4)$$

式中:

m_{H_2} ——燃料电池实际氢气消耗量, 单位为克 (g)。

附录 E

(规范性)

加载动态响应试验方法

E.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

E.2 试验条件

试验过程中,燃料电池系统的启动、加载、降载、停机等均应由试验平台按照制造商提供的通讯协议发送或接收相应指令。

试验前燃料电池系统处于热机状态。试验过程应自动进行,不能有人工干预。

E.3 试验方法

加载动态响应试验按以下方法进行:

- a) 热机过程结束后,回到怠速状态运行 10 s;
- b) 测试平台向燃料电池系统发送加载指令,加载到起始功率点 ($10\%P_E$),在该功率点至少稳定运行 1 min;
- c) 测试平台向燃料电池系统发送加载指令,加载到动态阶跃的功率点 ($90\%P_E$),燃料电池系统在该功率点至少稳定运行 10 min;
- d) 以 $10\%P_E \sim 90\%P_E$ 动态阶跃的响应时间作为评价燃料电池系统动态性能的指标。 P_E 为燃料电池系统额定功率。

E.4 试验过程中记录的数据

试验过程中记录的数据:动态阶跃响应时间,燃料电池系统(或燃料电池堆)的电压、电流,氢气流量,辅助系统的电压、电流。

附录 F

(规范性)

起动特性试验方法

F.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

F.2 常温怠速冷起动特性试验

F.2.1 常温浸机方法

浸机前应完成一次燃料电池系统开关机过程，关闭燃料电池系统。将燃料电池系统在常温环境条件下（23.0℃，允许偏差为±5.0℃）静置，浸机时间为不少于 12 h。在浸机期间，不能对燃料电池系统做任何改动。按照上述方法处理后，则可认为燃料电池系统处于冷机状态。

F.2.2 试验条件

试验过程中，燃料电池系统的起动、加载、降载、停机等均应由试验平台按照制造商提供的通讯协议发送或接收相应指令。

试验前燃料电池系统的状态为冷机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

F.2.3 试验方法

常温怠速冷起动特性试验按以下方法进行：

- a) 测试平台向燃料电池系统发送起动指令；
- b) 燃料电池系统起动后，在怠速状态下持续稳定运行至少 10 min；
- c) 记录从发送起动指令至燃料电池系统达到稳定怠速状态的时间。

F.3 常温怠速热起动特性试验

F.3.1 试验条件

试验过程中，燃料电池系统的起动、加载、降载、停机等均应由试验平台按照制造商提供的通讯协议发送或接收相应指令。

试验前燃料电池系统的状态为热机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

F.3.2 试验方法

常温怠速热起动特性试验按以下方法进行：

- a) 测试平台向燃料电池系统发送起动指令；
- b) 燃料电池系统起动后，在怠速状态下持续稳定运行至少 10 min；
- c) 记录从发送起动指令至燃料电池系统达到稳定怠速状态的时间。

F.4 试验过程中记录的数据

试验过程中记录的数据：起动时间，燃料电池系统（或燃料电池堆）的电压、电流，氢气流量，辅助系统的电压、电流。

附录 G

(规范性)

低温冷起动试验方法

G.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

G.2 浸机方法

G.2.1 将燃料电池系统置于环境舱内，并加注冷却液。

G.2.2 试验开始前，燃料电池系统应处于冷机状态。

G.2.3 在浸机开始前，燃料电池系统应起动至怠速状态，持续时间(含起动)不超过 3 min，然后立即关闭燃料电池系统。

注：对于具备低温吹扫功能的燃料电池系统，可在环境舱降至厂商指定温度并持续至少 15 min 后，按照 G.2.3 规定的方法进行低温吹扫代替浸机前吹扫。

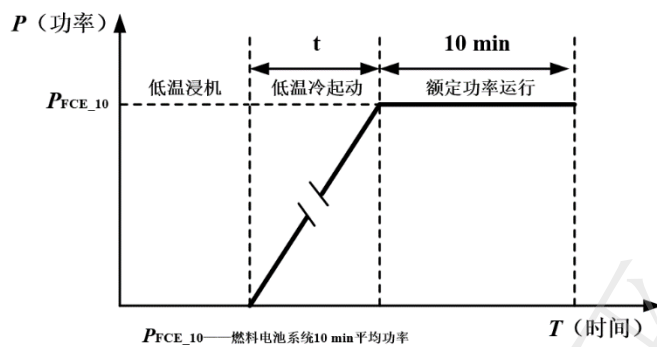
G.2.4 设定环境舱温度为 -30°C 或更低温度(即系统的低温冷起动温度)，环境舱的温度应控制在设定温度的 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 内，当环境温度达到设定温度后开始计时，有效浸机时间为 12 h，浸机过程中不应有人工干预、加热保温及外接热源等措施。

注：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。

G.3 试验方法

试验步骤如下：

- a) 浸机过程结束后，由测试平台向燃料电池系统发送起动指令；
- b) 测试平台向燃料电池系统发送加载指令，加载到制造商申报的系统额定功率后持续稳定运行 10 min，燃料电池系统的输出功率应始终处于 10 min 平均功率的 97%~103%之间，且燃料电池系统输出的 10 min 平均功率应不低于申报值，然后测试平台发送关机指令，完成关机操作；
- c) 记录从测试平台发送起动指令开始至燃料电池系统达到额定功率的时间 t (即系统的低温冷起动时间，如图 I.1 所示) 以及氢气消耗量。

图 G.1 低温冷启动时间 t 示意图

G.4 试验过程中记录的数据

试验中需要记录的数据如下：

- a) 环境温度 ($^{\circ}\text{C}$)；
- b) 有效浸机时间 (h)；
- c) 燃料电池堆的电压 (V) 和电流 (A)；
- d) 各个辅助系统的电压 (V) 和电流 (A)；
- e) 氢气消耗量 (g)；
- f) 低温冷启动时间 t (s)。

附录 H

(规范性)

耐久性试验方法

H.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

H.2 术语和定义

H.2.1

基准电流

燃料电池发动机在耐久试验前进行第一次稳态特性试验时,达到额定功率时对应的燃料电池堆电流。

注:基准电流波动范围应始终处于基准电流的 97%~103%。

H.2.2

基准功率

燃料电池发动机在耐久试验前进行第一次稳态特性试验时达到的额定功率值。

注:基准功率波动范围应始终处于基准功率的 97%~103%。

H.2.3

循环工况

燃料电池发动机的输出功率随时间的变化历程。

H.3 试验条件

H.3.1 燃料电池系统要求

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。

H. 3.2 测试前燃料电池系统状态规定

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。

H. 3.3 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。

H. 3.4 测试中燃料电池系统控制方法

试验过程中，燃料电池系统的起动、加载、降载、停机等均应由试验平台按照制造商提供的通讯协议发送或接收相应指令。

H. 3.5 辅助系统功率规定

辅助系统功率包括空压机、冷却泵、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。

H. 3.6 循环工况要求

燃料电池系统的基准功率由制造商指定，且该功率下燃料电池堆平均单电池电压不低于 0.6 V。

H. 4 试验方法

H. 4.1 耐久性试验

应按照以下步骤进行燃料电池系统耐久性试验：

- a) 按照附录 K 和附录 L 规定的方法进行对燃料电池系统进行气密性检测和绝缘电阻检测；
- b) 允许制造商对燃料电池系统进行活化和调整，但总时间不应超过 100 h；
- c) 按照 H. 4.2 的方法对燃料电池系统进行第一次稳态特性试验；
- d) 按照 H. 6 规定的循环工况进行加载。
- e) 每进行 5 h 循环工况（即 10 次循环工况）试验，对燃料电池系统进行一次停机再

起动操作：

- f) 继续按照 H. 6 规定的循环工况进行加载，每当累计循环工况试验时间达到 200 h(即 400 次循环工况)，对燃料电池系统进行停机操作；
- g) 按照附录 K 和附录 L 规定的方法进行对燃料电池系统进行气密性检测和绝缘电阻检测，按照 H. 4. 2 的方法对燃料电池系统进行稳态特性试验；
- h) 重复步骤 d) 至 g)，达到 H. 4. 3 规定的试验结束条件后，停止试验。

H. 4. 2 稳态特性试验

按照以下试验方法进行燃料电池发动机稳态特性试验：

- a) 热机过程结束后回到怠速状态运行 10 s；
- b) 按照表 H. 1 规定的工况点进行燃料电池系统稳态特性试验，测试平台向燃料电池系统发送加载指令，在每个工况点至少稳定运行 3 min。
- c) 试验数据填入试验记录表 H. 1 中。

表 H. 1 稳态特性试验数据记录表

试验日期：_____ 试验时间：_____ 已完成循环工况时长 (h)：_____						
设定燃料电池系统功率 kW	电堆电压 V	电堆电流 A	电堆功率 kW	辅助系统功率 kW	燃料电池系统功率 kW	氢气流量 NL/min
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						
基准电流点对应系统功率						
100%P _E						

H. 4. 3 试验结束条件

试验过程中，达到以下任意一项条件则结束试验：

- a) 循环工况试验的累计时间达到制造商要求；
- b) 燃料电池发动机的性能衰减程度达到制造商要求；

- c) 燃料电池发动机功率无法达到基准功率点；
- d) 燃料电池发动机的气密性和绝缘性不满足制造商的规定。

H.5 数据处理

H.5.1 基准电流下燃料电池堆电压衰减幅度

基准电流点下燃料电池堆电压衰减幅度按式 (H.1) 计算：

$$D_{\text{Stack}} = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (H.1)$$

式中：

D_{Stack} ——基准电流下燃料电池堆的电压衰减幅度；

V_0 ——耐久试验前，基准电流下燃料电池堆电压，单位为伏特 (V)；

V_1 ——耐久试验后，基准电流下燃料电池堆电压，单位为伏特 (V)。

H.5.2 基准电流下燃料电池系统的功率衰减幅度

基准电流点下燃料电池系统的功率衰减幅度按式 (H.2) 计算：

$$D_{\text{FCE}} = \frac{P_0 - P_1}{P_0} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (H.2)$$

式中：

D_{FCE} ——基准电流下燃料电池系统的功率衰减幅度；

P_0 ——耐久试验前，基准电流下燃料电池系统的功率，单位为千瓦 (kW)；

P_1 ——耐久试验后，基准电流下燃料电池系统的功率，单位为千瓦 (kW)。

H.6 循环工况

燃料电池系统耐久循环工况如图 H.1 和表 H.2 所示。

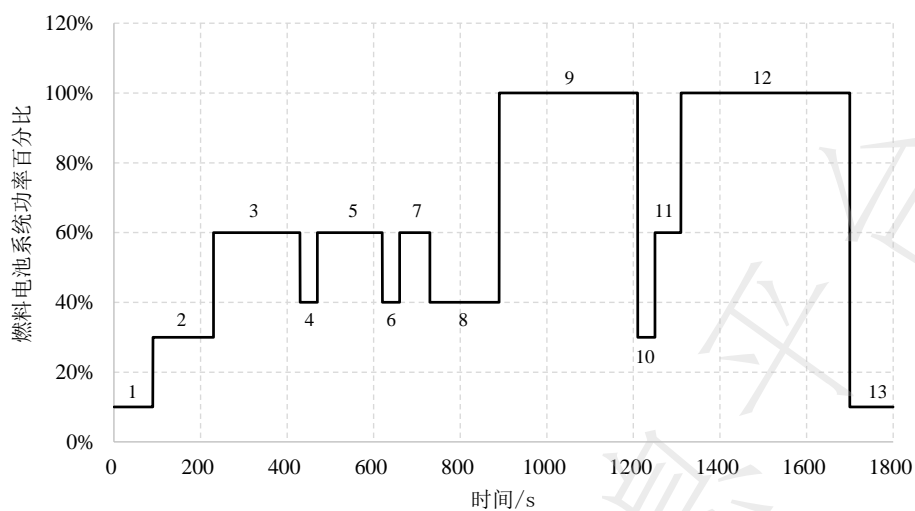


图 H.1 燃料电池系统耐久循环工况曲线

表 H.2 燃料电池系统耐久循环工况数据

加载步骤	加载功率/kW	加载时间/s
1	10% P_E	90
2	30% P_E	140
3	60% P_E	200
4	40% P_E	40
5	60% P_E	150
6	40% P_E	40
7	60% P_E	70
8	40% P_E	160
9	100% P_E	320
10	30% P_E	40
11	60% P_E	60
12	100% P_E	390
13	10% P_E	100

附录 I

(规范性)

气密性试验方法

1.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

1.2 试验条件

将燃料电池系统置于环境温度下，不加注冷却液，静置时间不少于 12 h，使燃料电池系统处于冷机状态。

1.3 试验方法

1.3.1 氢气腔气密性测试

- a) 如果燃料电池系统氢气侧的工作压力不低于 50 kPa: 关闭燃料电池堆的氢气排气端口，从氢气进气端口（燃料电池系统氢气入口）充入氦氮混合气体（氦气浓度不低于 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) 如果燃料电池系统氢气侧的工作压力低于 50 kPa: 关闭燃料电池堆的氢气排气端口，从氢气进气端口（燃料电池系统氢气入口）充入氦氮混合气体（氦气浓度不低于 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。

1.3.2 三腔气密性测试

关闭燃料电池系统的氢气排气端口、空气排气端口和冷却液出口，同时向氢气流道、空气流道（空压机出口端后部）和冷却液流道加注氦氮混合气体（氦气浓度不低于 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。

附录 J

(规范性)

绝缘电阻试验方法

J.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

J.2 测试仪器

兆欧表。

J.3 测试方法

冷却液处于热态,用兆欧表测量燃料电池系统正负极分别对燃料电池系统外表面可导电或金属接地点的绝缘电阻值。参考表 L-1 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。

燃料电池系统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 J.1 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。

取燃料电池系统和所有检测 B 级电压部件的绝缘阻值的并联阻值,作为燃料电池系统绝缘电阻值。

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,为系统绝缘电阻值。在所有性能测试项目结束后进行该项目的测试。

表 J.1 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

附录 K

(规范性)

防水防尘等级试验方法

K.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

K.2 试验方法

按照 GB/T 4208-2017 中的试验方法对燃料电池系统进行检测，检测结果应符合制造商规定的等级要求。

附录 L

(规范性)

噪声试验方法

L.1 范围

该方法适用于商用车质子交换膜燃料电池系统。

L.2 试验要求

燃料电池系统的噪声试验应满足以下要求：

- a) 通过规定的测量仪器，测量燃料电池系统在额定功率下产生的噪音水平。
- b) 在距离燃料电池系统的四个侧面（左、右、前和后）1 m 处设置一个基准面。如果不能达到这个距离，应在 50 cm 的距离上设置一个基准面，并在试验报告中明确说明。
- c) 如果燃料电池系统表面的所有突出物不会对噪声测量产生重大影响，则应将其忽略。
- d) 测量在四个点上进行：两个在燃料电池发电系统的前后中心线上，两个在左右中心线上。测量点应在基准面，在系统底部以上 1.2 m 的高度。噪音计的麦克风应与基准面成直角。
- e) 在待测系统有噪声和没有噪声的情况下，噪音计的读数应相差不少于 10 dB。
- f) 如果在麦克风或声源附近有一个大的反射声音的物体，因为物体反射的声音被加到声源的声音中，可能会出现测量误差。在进行测量之前，尽量去除反射声音的物体。如果由于测量条件的限制，不可能将其移除，则应在测试报告中说明。

L.3 试验方法

燃料电池系统的噪声试验按照以下步骤进行：

- a) 测量燃料电池系统处于停机状态时的背景噪声水平；
- b) 起动燃料电池系统，使其工作在一定功率，同时监测燃料电池系统冷却液的出口温度，使冷却液的出口温度达到正常工作温度，即认为燃料电池系统达到热机状态；
- c) 热机过程结束后，回到怠速状态（或燃料电池系统最低功率点）运行 10 s；
- d) 测试平台向燃料电池系统发送加载指令，加载到额定功率且以该功率持续运行至少

60 min, 测量燃料电池系统以额定功率运行时的噪声水平。测量的频率应是 1 s 的间隔。读数应四舍五入为整数。

- e) 测试平台向燃料电池系统发送停机指令, 停机完成后, 测量背景噪声水平, 检查其是否与步骤 a) 中测量的背景噪声水平一致。

L. 4 数据处理

计算燃料电池系统在额定功率下运行 60 min 的四个测量点的平均噪声水平, 单位为分贝 (dB)。