

ICS 27.070

CCS K 82



T

团体标准

T/CI 853—2024

车用高功率密度质子交换膜燃料电池堆 技术规范

Technical specification for high power density PEM fuel cell stacks for vehicles

2024 - 12 - 30 发布

2024 - 12 - 30 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 通用技术要求 2

 4.1 氢安全要求 2

 4.2 电安全要求 2

 4.3 动力性能 2

 4.4 工况敏感性 3

 4.5 电效率 4

 4.6 稳定性与一致性 4

 4.7 环境适应性与可靠性 4

 4.8 耐久性 5

5 试验方法 5

 5.1 氢安全要求 5

 5.2 电安全要求 6

 5.3 动力性能 6

 5.4 工况敏感性 7

 5.5 电效率 7

 5.6 稳定性 8

 5.7 环境适应性与可靠性 8

 5.8 耐久性 10

6 检验规则 10

 6.1 型式试验 10

 6.2 例行试验 10

7 标识与说明 10

8 技术文件 11

 8.1 产品说明书 11

 8.2 安装手册 11

 8.3 操作手册 11

 8.4 维护手册 11

 8.5 部件清单 11

参考文献 12

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归口。

本文件起草单位：深圳市氢瑞燃料电池科技有限公司、深圳市氢蓝时代动力科技有限公司、中氢新能（深圳）新技术有限公司、浙江海盐力源环保科技股份有限公司、新研氢能源科技有限公司、江苏三氢科技有限公司、东方电气（成都）氢能科技有限公司、常州拜特测控技术有限公司、上海上器集团试验设备有限公司、唐山锐唯新能源科技有限公司、中国科学院大连化学物理研究所。

本文件主要起草人：胡清辉、谢铭丰、曹桂军、郑至凯、王成林、彭旭、侯俊波、于江龙、齐志刚、闫永臣、徐鑫、徐兴豪、温序晖、黄景波、文海霞、熊宗保、杨银海、张辉、肖伟强、刘硕、郝金凯、唐向春、郭玉平、马春宏。

车用高功率密度质子交换膜燃料电池堆技术规范

1 范围

本文件规定了车用高功率密度质子交换膜燃料电池堆通用技术要求，描述了对应的试验方法、检验规则、标识与说明、技术文件等内容。

本文件适用于车用高功率密度质子交换膜燃料电池堆的设计、生产、测试、验收与评价。

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 2421-2020 环境试验 概述和指南
GB/T 2423.3-2016 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
GB/T 2423.17-2024 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
GB/T 2423.34-2024 环境试验 第2部分：试验方法 试验Z/AD：温度/湿度组合循环试验
GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
GB/T 20042.1-2017 质子交换膜燃料电池 第1部分：术语
GB/T 20042.2-2023 质子交换膜燃料电池 第2部分：电池堆通用技术条件GB/T 28046.5-2013 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第5部分：化学负荷
GB/T 28816-2020 燃料电池 术语
GB/T 29838-2013 燃料电池 模块
GB/T 31035-2014 质子交换膜燃料电池电堆低温特性试验方法
GB/T 33978-2017 道路车辆用质子交换膜燃料电池模块
GB/T 38146.1-2019 中国汽车行驶工况 第1部分：轻型汽车
GB/T 38146.2-2019 中国汽车行驶工况 第2部分：重型商用车辆
GB/T 38914-2020 车用质子交换膜燃料电池堆使用寿命测试评价方法
GB/Z 44116-2024 燃料电池发动机及关键部件耐久性试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

燃料电池堆 fuel cell stack

由单电池、隔离板、冷却板、歧管和支承结构组成的设备，通过电化学反应把（通常）富氢气体和空气反应物转换成直流电、热和其他反应物。

[来源：GB/T 28816—2020，3.50]

3.2

功率密度 power density

燃料电池堆输出功率和体积或质量的比值。

注1：输出功率一般选用额定功率或峰值功率。

注2：燃料电池堆体积长度和宽度方向按照极板外轮廓尺寸计算，堆叠方向按照所有单电池厚度总和计算，不包含集流板、绝缘板和端板。

注3：燃料电池堆质量按照所有单电池质量总和计算，不包含集流板、绝缘板、端板和紧固结构。

3.3

额定功率 rated power

燃料电池堆在特定工况条件下能够持续工作的最大功率。

3.4

电效率 electrical efficiency

燃料电池堆产生的净电功率和向燃料电池堆提供的总焓流的百分比。

[来源：GB/T 20042.1—2017，3.2.28，有修改]

3.5

绝缘电阻 insulation resistance

燃料电池堆带电部分与非带电部分之间施加规定的直流电压所测得的电阻。

3.6

极差 extreme deviation

燃料电池堆运行时单电池电压的最大值与最小值的差值。

3.7

离均差 deviation from average

燃料电池堆运行时单电池电压的平均值与最小值的差值。

3.8

标准差 standard deviation

燃料电池堆运行时单电池电压离均差的平方的算术平均数的算术平方根。

3.9

敏感性 sensitivity

燃料电池堆输出电压随温度、压力、计量比、湿度等操作条件变化引起的变化。

4 通用技术要求

4.1 氢安全要求

4.1.1 氢泄漏

使用保压法测量燃料电池堆氢气泄漏率，按照GB/T 20042.2—2023中5.3.2的规定，使用最大允许工作压力的1.3倍进行测试，保压20 min，压力下降值应不大于初始值的15%；使用氢浓度泄漏检测仪测量燃料电池堆附近的氢浓度，按GB/T 33978—2017中6.3.1的规定选取测量位置，最高氢浓度应低于1%。

4.1.2 氢窜氧

燃料电池堆氢气腔向氧气腔的泄漏速率应符合制造商在技术文件中的要求。

4.1.3 氢窜冷却腔

燃料电池堆氢气腔向冷却腔的泄漏速率应符合制造商在技术文件中的要求。

4.2 电安全要求

4.2.1 绝缘电阻

燃料电池堆正极或负极集流板与外壳或端板（含紧固件）之间的绝缘电阻应满足以下要求：

- a) 燃料电池堆在未加注冷却液时，绝缘电阻应不低于 500 Ω/V ；
- b) 燃料电池堆在加注冷却液且冷却液处于冷态（常温）循环状态下，绝缘电阻应不低于 200 Ω/V ；
- c) 燃料电池堆在加注冷却液且冷却液处于热态（60 $^{\circ}\text{C}$ ~95 $^{\circ}\text{C}$ ）循环状态下，绝缘电阻应不低于 100 Ω/V 。

4.2.2 冷却液电导率

燃料电池工作温度下，冷却液电导率应不高于20 $\mu\text{S/cm}$ 。

4.3 动力性能

4.3.1 稳态输出

4.3.1.1 开路电压

常温下燃料电池堆的开路电压在寿命初期（BOL）应不低于0.95 V/节；在寿命终止时（EOL）应不低于0.88 V/节。

4.3.1.2 怠速工况

怠速工况下的平均单电池电压应不低于0.82 V/节，稳定运行时长应不低于10 min，运行期间平均单电池电压的波动范围应不超过20 mV。

4.3.1.3 额定工况

额定工况下的平均单电池电压应不低于0.65 V/节，稳定运行时长应不低于60 min，运行期间平均单电池电压的波动范围应不超过20 mV。

4.3.1.4 峰值工况

峰值工况下的平均单电池电压应不低于0.6 V/节，稳定运行时长应不低于3 min，运行期间平均单电池电压的波动范围应不超过20 mV。

4.3.1.5 功率密度

车用高功率密度燃料电池堆的功率密度范围应符合表1中的规定。

表1 车用高功率密度燃料电池堆的功率密度指标

应用场景	峰值体积功率密度/(kW/L)	峰值质量功率密度/(kW/kg)
乘用车	≥ 5.0	≥ 3.5
商用车	≥ 4.0	≥ 3.0

4.3.2 动态响应

4.3.2.1 常温启动

燃料电池堆在常温下从关闭状态启动到额定工况的响应时间应不超过30 s。

4.3.2.2 低温启动

燃料电池堆在环境温度（-40℃~0℃）下从关闭状态启动到额定工况的响应时间应不超过5 min。

4.3.2.3 最大加载速率

燃料电池堆从怠速工况加载至额定工况的最大加载速率应不低于10%额定功率/s。

4.3.2.4 最大降载速率

燃料电池堆从额定工况降载至怠速工况的最大降载速率应不低于10%额定功率/s。

4.4 工况敏感性

4.4.1 温度敏感性

燃料电池堆在正常工作温度范围内的性能应符合制造商在技术文件中的要求。

4.4.2 温差敏感性

燃料电池堆在正常冷却液进出口工作温差范围内的性能应符合制造商在技术文件中的要求。

4.4.3 湿度敏感性

燃料电池堆在正常工作湿度范围内的性能应符合制造商在技术文件中的要求。

4.4.4 压力敏感性

燃料电池堆在正常工作压力范围内的性能应符合制造商在技术文件中的要求。

4.4.5 计量比敏感性

燃料电池堆在正常工作计量比范围内的性能应符合制造商在技术文件中的要求。

4.5 电效率

4.5.1 额定工况效率

额定工况下燃料电池堆的电效率应不低于52%。

4.5.2 最高效率

燃料电池堆正常工作的最高电效率应不低于65%。

4.6 稳定性与一致性

4.6.1 稳定运行工况

燃料电池堆在稳定运行时，平均单电池电压的波动范围应不超过20 mV，单电池电压极差应不超过50 mV，离均差应不超过20 mV，标准差应不超过5 mV。

4.6.2 动态拉载

燃料电池堆在最大变载速率下单电池电压极差应不超过150 mV，离均差应不超过70 mV，标准差应不超过10 mV。

4.7 环境适应性与可靠性

4.7.1 耐压能力

4.7.1.1 氢气腔最大耐受压力

氢气腔最大耐受压力应不小于170 kPa (G)。

4.7.1.2 空气腔最大耐受压力

空气腔最大耐受压力应不小于150 kPa (G)。

4.7.1.3 冷却腔最大耐受压力

冷却腔最大耐受压力应不小于150 kPa (G)。

4.7.1.4 氢气腔和空气腔最大耐受压差

氢气腔和空气腔的最大耐受压差应不小于50 kPa。

4.7.1.5 氢气腔和冷却腔最大耐受压差

氢气腔和冷却腔的最大耐受压差应不小于100 kPa。

4.7.1.6 空气腔和冷却腔最大耐受压差

空气腔和冷却腔的最大耐受压差应不小于50kPa。

4.7.2 防水防尘

带有壳体封装的燃料电池堆的防护等级按照GB/T 4208的要求，应不低于IP67。

4.7.3 振动冲击

燃料电池堆的振动冲击按照5.7.3的要求试验，试验完成后按照5.1和5.2的要求进行气密性和绝缘电阻试验，应满足：

- a) 燃料电池堆中的零部件无明显位移、扭转和弯曲；
- b) 不出现开裂、破碎或其他物理损伤；
- c) 振动冲击前后气密性偏差 $\leq 10\%$ ；

d) 绝缘电阻值 $\geq 500\ \Omega/V$ 。

4.7.4 电磁兼容

燃料电池堆的电磁兼容性应符合GB/T 33978—2017的4.9要求。

4.7.5 盐雾试验

带有壳体封装的燃料电池堆的盐雾试验应按照5.7.5的规定进行试验，性能应符合制造商在技术文件中的要求。

4.7.6 耐化学试剂

带有壳体封装的燃料电池堆的耐化学试剂应按照5.7.6的规定进行试验，性能应满符合制造商在技术文件中的要求。

4.7.7 湿热循环

燃料电池堆的湿热循环应按照5.7.7的规定进行试验，性能应符合制造商在技术文件中的要求。

4.7.8 高低温存储

燃料电池堆在 $-45^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ 范围内储存时，不应出现开裂、破碎、永久变形或其他物理损伤。

4.7.9 高低温运行

燃料电池堆的高低温运行应按照5.7.9的规定试验，性能应满足制造商在技术文件中的要求。

4.8 耐久性

4.8.1 开路电压累积运行时长

开路电压累积运行时长应能承受不小于200 h，电压衰减率不大于2%。

4.8.2 怠速工况累积运行时长

怠速工况累积运行时长应能承受不小于500 h，电压衰减率不大于3%。

4.8.3 累积启停次数

燃料电池堆累积启动次数应能承受不小于10000次，电压衰减率不大于5%。

4.8.4 乘用车运行工况寿命

保持额定输出功率不变，以电效率衰减到原来的90%的工作时间来评价，乘用车运行工况下燃料电池堆工作寿命应不低于5000 h。

4.8.5 商用车运行工况寿命

保持额定输出功率不变，以电效率衰减到原来的90%的工作时间来评价，商用车运行工况下燃料电池使用寿命应不低于20000 h。

5 试验方法

5.1 氢安全要求

5.1.1 氢泄漏

使用保压法测试氢气泄漏率时，按照GB/T 20042.2—2023中5.3.2的规定进行。燃料电池堆周围的氢浓度按照GB/T 33978—2017中6.3.1的规定进行测试。

5.1.2 氢窜氧

按照GB/T 20042.2—2023中5.5.2的规定进行测试。

5.1.3 氢窜冷却腔

按照GB/T 20042.2—2023中5.5.3的规定进行测试。

5.2 电安全要求

5.2.1 绝缘电阻

按照GB/T 20042.2—2023中5.9的规定进行测试。

5.2.2 冷却液电导率

燃料电池堆内充满冷却液，并加热循环。使用电导率仪测量不同工作温度下电堆出口的电导率。

5.3 动力性能

5.3.1 稳态输出

5.3.1.1 稳态工况选择

按照GB/T 20042.2—2023中5.10的规定进行测试。工况点应不少于10个，且包含开路电压、怠速工况、额定工况和峰值工况。

5.3.1.2 开路电压

在常温下进行开路电压的测试，开路电压应至少稳定10 s，电压波动不应超过3%。

5.3.1.3 怠速工况

电堆在工作温度（常温~60℃）范围内进行怠速工况的测试，按照供应商技术文件中的规定方式加载和运行，在怠速工况下应至少持续运行10 min，持续运行期间，燃料电池端电压波动不应超过3%。

5.3.1.4 额定工况

按照GB/T 20042.2—2023中5.11的规定进行测试。

5.3.1.5 峰值工况

在额定工况拉载10 min后，直接拉载至峰值工况，至少持续运行3 min，电压波动不应超过3%。

5.3.1.6 功率密度

质量功率密度按照GB/T 20042.2—2023中5.15的规定进行测试。

体积功率密度按照GB/T 20042.2—2023中5.16的规定进行测试。

5.3.2 动态响应

5.3.2.1 常温启动

按照GB/T 31035—2014中7.8的规定进行测试。

5.3.2.2 低温启动

按照GB/T 31035—2014中8.4.3的规定进行测试。

5.3.2.3 最大加载速率

燃料电池堆在常温怠速工况下进行最大加载速率的测试，按照供应商提供的技术文件中规定的额定工况的操作条件设置计量比、相对湿度和压力条件，分别按额定功率的10%~100%/s的拉载速率进行测试，拉载过程中离均差应不大于100 mV，最低单电池电压应不低于0.5 V。达到额定工况后应稳定至少10 min，电压波动不超过3%。

5.3.2.4 最大降载速率

燃料电池堆在额定工况下进行最大降载速率的测试，分别按额定功率的10%~100%/s的降载速率进行测试，降载过程中离均差应不大于100 mV。降至怠速电流后将流量、压力、温度、湿度设定为供应商技术文件中规定的条件。达到怠速工况后应稳定至少10 min，电压波动不超过3%。

5.4 工况敏感性

5.4.1 基准工况选择

燃料电池堆应以额定工况为基准，开展工况敏感性试验。

5.4.2 温度敏感性

按照5.3.2.1的要求启动燃料电池堆并拉载至额定工况，保持计量比、压力、相对湿度和冷却液进出口温差不变，以额定工况下冷却液入口温度为基准，选取-10℃、-5℃、5℃、10℃偏差值进行温度敏感性测试。每个工况下至少稳定10 min，电压波动不超过3%。

5.4.3 温差敏感性

按照5.3.2.1的要求启动燃料电池堆并拉载至额定工况，保持计量比、压力、相对湿度和冷却液入口温度不变，选取冷却液进出口温差5℃、10℃、15℃范围进行温差敏感性测试。每个工况下至少稳定10 min，电压波动不超过3%。

5.4.4 湿度敏感性

按照5.3.2.1的要求启动燃料电池堆并拉载至额定工况，保持计量比、压力、冷却液入口温度和进出口温差不变，选取0%RH、20%RH、40%RH、60%RH、80%RH、100%RH进行湿度敏感性测试。每个湿度下至少稳定10 min，稳定运行期间，电压波动不超过3%。

5.4.5 压力敏感性

按照5.3.2.1的要求启动燃料电池堆并拉载至额定工况，保持计量比、相对湿度、冷却液入口温度、进出口温差不变，分别测试阳极入口压力、阴极入口压力的敏感性。

- a) 阴极压力敏感性。保持阳极入口压力不变，选取-10 kPa、-20 kPa、-30 kPa 偏差值进行阴极入口压力敏感性测试。每个工况下至少稳定 30 min，电压波动不超过 3%。
- b) 阳极压力敏感性。保持阴极入口压力不变，选取 10 kPa、20 kPa、30 kPa 偏差值进行阳极入口压力敏感性测试。每个工况下至少稳定 30 min，电压波动不超过 3%。
- c) 阴阳极压力敏感性。保持阳极入口和阴极入口压差不变，选取-30 kPa、-20 kPa、-10 kPa、10 kPa、20 kPa、30 kPa 偏差值进行阴极/阳极压力敏感性测试。每个工况下至少稳定 10 min，电压波动不超过 3%。

5.4.6 计量比敏感性

按照5.5.2.1的要求启动燃料电池堆并拉载至额定工况，保持压力、相对湿度、冷却液入口温度和进出口温差不变，分别测试阴极计量比和阳极计量比的敏感性。

- a) 阴极计量比敏感性。保持阳极计量比不变，选取 1.4、1.6、1.8、2.0 范围进行阳极计量比敏感性测试。每个工况下至少稳定 10 min，电压波动不超过 3%。
- b) 阳极计量比敏感性。保持阴极计量比不变，选取 1.6、1.8、2.0、2.2 范围进行阳极计量比敏感性测试。每个工况下至少稳定 10 min，电压波动不超过 3%。

5.5 电效率

5.5.1 额定工况效率

按照5.3.1.4的规定进行额定工况测试，计算额定工况效率。

5.5.2 怠速工况效率

按照5.3.1.3的规定进行怠速工况测试，计算怠速工况效率。

5.5.3 峰值工况效率

按照5.3.1.5的规定进行峰值工况测试，计算峰值工况效率。

5.6 稳定性

5.6.1 稳定运行工况下的电压波动范围

分别按照10%~100%额定功率范围进行加载，至少10个工况点，每个工况点至少稳定10 min，记录稳定工况下的电堆电压，记录时长不小于10 min，记录间隔不大于1 s。

5.6.2 最大变载速率下的电压波动范围

按照5.3.2.3的规定进行加载，记录电堆电压，记录间隔不大于1 s。

5.7 环境适应性与可靠性

5.7.1 耐压能力

5.7.1.1 氢气腔最大耐受压力

按照GB/T 29838—2013中5.5的规定进行试验。

5.7.1.2 空气腔最大耐受压力

按照GB/T 29838—2013中5.5的规定进行试验。

5.7.1.3 冷却腔最大耐受压力

按照GB/T 20042.2—2023中5.7的规定进行试验。

5.7.1.4 氢气腔和空气腔最大耐受压差

按照GB/T 20042.2—2023中5.8的规定进行试验。

5.7.1.5 氢气腔和冷却腔最大耐受压差

按照GB/T 20042.2—2023中5.8的规定进行试验。

5.7.1.6 空气腔和冷却腔最大耐受压差

按照GB/T 20042.2—2023中5.8的规定进行试验。

5.7.2 防水防尘

按照GB/T 33978—2017中6.9的规定进行测试。

5.7.3 振动冲击

按照GB/T 20042.2—2023中5.14.4的规定进行测试。

5.7.4 电磁兼容

按照GB/T 33978—2017中6.8的规定进行测试。

5.7.5 盐雾试验

本条款适用于带防护壳体的燃料电池模块。

a) 按照GB/T 2423.17—2024中5.1的规定配置盐溶液。

b) 按以下试验步骤进行试验：按严酷等级（5）标准，一个循环7d，共4个循环：

1) 将试样放入盐雾箱，在 $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下喷盐雾2 h。

2) 所有的暴露区域都应维持盐雾条件，用水平收集面积为 80 cm^2 的洁净收集器放置于暴露区域内任意一点，收集周期内平均每小时收集 $1.0\text{ mL} \sim 2.0\text{ mL}$ 溶液。至少应采用两个收集器。收集器应放置在不被试样遮蔽的位置，并避免收集到各类冷凝水。校准试验箱的喷雾速率时，喷雾周期不应少于8 h。

- c) 每次喷雾周期结束后, 将试样转移到湿热箱中贮存 20 h~22 h, 贮存条件按照 GB/T 2423.3-2016 的 4.2 的规定: 温度为 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$, 对湿度为 $(93 \pm 3)\%$ 。将这一循环再重复 3 次。然后, 应在试验标准大气条件(温度为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, 相对湿度为 45%~55%下贮存 3 d。每个试验循环由 4 个喷雾周期和规定的湿热贮存及之后在试验标准大气条件下贮存 3 d 所组成。
- d) 将试样从盐雾箱转移到湿热箱时应尽量减少试样上盐溶液的损失。
- e) 如果盐雾箱能保持 GB/T 2423.3-2016 规定的温、湿度条件, 则在贮存阶段试样可继续保留在盐雾箱内。
- f) 清洗试样, 应在流动的自来水中清洗 5 min, 用蒸馏水或去离子水漂洗, 手摇晃或用气流吹去水珠后在温度 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的条件下干燥 1 h, 并按照 GB/T 2421—2020 中的 4.4.2 规定的恢复条件冷却 1 h~2 h。清洗用水的温度不应超过 35°C 。

5.7.6 耐化学试剂

本条款适用于带防护壳体的燃料电池模块。

a) 按照 GB/T 28046.5-2013 中 4.3 的条件进行测试, 测试化学试剂包括: 蓄电池液 ($37\%\text{H}_2\text{SO}_4$)、制动液、防冻液、玻璃清洗剂、车用化学清洗剂、车轮清洗剂、低温清洗剂、电堆冷却液、防护蜡、差速器油、道路融冰剂、树脂、液压油、油脂、硅树脂油、尿素水溶液、防护蜡清洗剂、清洁剂溶剂、工业酒精、接触式喷雾剂。

b) 按照 GB/T 28046.5-2013 中 4.8 规定的程序进行测试。

5.7.7 湿热循环

5.7.7.1 试验严酷程度: 高温 80°C , 低温 -30°C , 循环次数 10 次。

5.7.7.2 按 GB/T 2423.34-2024 中 7.1 要求进行试验样品预处理, 根据 GB/T 2423.34-2024 中 7.4.1 的描述进行单次温度/湿度分循环试验 (24h) (前 9 次中的前 4 次)。

5.7.7.3 按 GB/T 2423.34-2024 中 7.4.2 的要求进行单次低温分循环试验 (24h) (前 9 次中的第 5 次)。

5.7.7.4 按 GB/T 2423.34-2024 中 7.4.4 的要求进行最后一次循环检测。

5.7.7.5 按 GB/T 2423.34-2024 中 7.5.4 的要求进行干燥恢复后的检测。

5.7.8 高低温存储

高温存储试验按照 GB/T 33978—2017 中 6.13.2 的规定执行。低温存储试验按照 GB/T 33978—2017 中 6.13.1 的规定执行。

5.7.9 高低温运行

5.7.9.1 高温运行方法如下:

- a) 确定严酷等级: 高温 80°C , 持续时间 1h; 运行工况: 额定功率;
- b) 试验条件: 绝对湿度不超过 $20\text{g}/\text{m}^3$, 相对湿度不超过 50%;
- c) 试验步骤:
 - 1) 将试验样品置于环境仓中设置环境仓温度为 80°C , 贮存 12h 以上;
 - 2) 逐步加载电流至额定电流点;
 - 3) 样品在额定电流点运行 60 min;
 - 4) 逐步降载至电流为 0.0A;
 - 5) 当规定的试验持续期结束时, 试验样品应保持在试验箱内, 然后将温度慢慢下降至试验标准条件的温度偏差范围内。试验箱内的温度变化应不超过 $1\text{K}/\text{min}$ (不超过 5 min 时间内的平均值);
 - 6) 恢复: 试验样品应在试验箱内经过恢复过程或其他合适过程, 试验样品在标准环境条件下进行恢复, 恢复时间应足以使温度达到稳定, 至少 1 h;
 - 7) 外观检测: 目视电堆是否有损伤;
 - 8) 安全检测: 模块气密性和模块绝缘性检测。

5.7.9.2 低温运行方法如下。

- a) 确定严酷等级: 低温 -30°C , 持续时间 1 h。
- b) 试验步骤。

- 1) 将试验样品置于环境仓中设置环境仓温度为 -30°C ，贮存 12h 以上；
- 2) 逐步加载电流至额定电流点。
- 3) 样品在额定电流点运行 60 min。
- 4) 逐步降载至电流为 0.0A。
- 5) 当规定的试验持续期结束时，试验样品应保持在试验箱内，然后将温度慢慢升至试验标准条件的温度偏差范围内。试验箱线性升温，速度不超过 1 K/min （不超过 5 min 时间内的平均值）。
- 6) 恢复：试验样品应在试验箱内经过恢复过程或其他合适过程，应采取合适的步骤按要求去除水滴，并不损害试验样品。试验样品在标准环境条件下进行恢复，恢复时间应足够使温度达到稳定，至少 1 h。
- 7) 外观检测：目视电堆是否有损伤。
- 8) 安全检测：气密性和绝缘性检测。

5.8 耐久性

5.8.1 开路电压累积运行时长

在常温下进行开路电压耐久性测试，阴阳极湿度按100%RH，计量比和压力按怠速工况下操作条件。直至开路电压衰减大于或等于2%或达到指定的测试时长终止。

5.8.2 怠速工况累积运行时长

按照GB/T 38914—2020中5.3.2的规定进行怠速循环工况测试，直至单电池电压衰减大于或等于3%或达到指定的测试时长终止。

5.8.3 累积启停次数

按照GB/T 38914—2020中5.3.5的规定进行启停工况测试。

5.8.4 乘用车运行工况寿命

按照GB/T 38146.1—2019中4.2的规定转化为乘用车运行工况进行寿命测试，1800 s一个小循环，每8个小循环为1个测试循环，至少完成15个循环。

每次循环后进行一次极化曲线测试，完成后停机休息至少 1 h。

按照GB/Z 44116—2024中7.3.2的规定计算电压衰减幅度，以衰减幅度达到10%的运行时间作为工况寿命。

5.8.5 商用车运行工况寿命

按照GB/T 38146.1—2019中4.3和GB/T 38146.2—2019中的4的规定转化为商用车运行工况进行寿命测试，每条工况曲线转化为1个小循环，每8个小循环为1个测试循环，至少完成15个循环。

每次循环后进行一次极化曲线测试，完成后停机休息至少1 h。

按照GB/Z 44116—2024中7.3.2的规定计算电压衰减幅度，以衰减幅度达到10%的运行时间作为工况寿命。

6 检验规则

6.1 型式试验

以上5.1~5.8为型式试验。

6.2 例行试验

5.1（氢安全）、5.2（电安全）、5.3（动力性能）、5.5（电效率）为例行试验。

7 标识与说明

铭牌应符合GB/T 29838—2013中7.1的要求，标识应符合GB/T 29838—2013中7.2的要求，警示标签应符合GB/T 29838—2013中7.3的要求。

8 技术文件

8.1 产品说明书

产品说明书应包含产品的原理、结构、规格、基本性能等信息。

8.2 安装手册

安装手册中应至少包括以下内容：

- a) 燃料电池堆各类接口的描述和连接方法；
- b) 燃料电池堆的装卸、运输和储存；
- c) 燃料电池堆的安装方向和固定方式；
- d) 一般注意事项和禁止操作；
- e) 安装图、工作原理图和电路图。

8.3 操作手册

操作手册中应至少包括以下内容：

- a) 启动和运行步骤；
- b) 操作步骤；
- c) 正常和紧急关机程序；
- d) 适用环境信息；
- e) 一般注意事项和禁止操作。

8.4 维护手册

按照GB/T 29838—2013的7.4.5要求。

8.5 部件清单

按照GB/T 29838—2013的7.4.6要求。

参 考 文 献

- [1] 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）
 - [2] GB/T 24549—2020 燃料电池电动汽车 安全要求
 - [3] GB/T 28816—2020 燃料电池 术语
 - [4] GB/T 36288—2018 燃料电池电动汽车 燃料电池堆安全要求
 - [5] T/CES 202—2023 车用质子交换膜燃料电池堆性能测试方法
 - [6] IEC 62282-2: 2012 Fuel cell technologies-Part 2:Fuel cell modules
 - [7] SAE J2617-201108 Recommended Practice for Testing Performance of PEM Fuel Cell Stack Sub-system for Automotive Applications
-