



中华人民共和国国家标准

GB/T 28817—XXXX/IEC 62282-7-1: 2017

代替 GB/T 28817-2012

聚合物电解质燃料电池单电池测试方法

Single cell test methods for polymer electrolyte fuel cell (PEFC)

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

文稿版次选择

— XX — XX 发布

XXXX — XX — XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

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 通用安全要求	4
5 电池组成	4
6 电池组装	6
7 测试平台	6
8 测量	8
9 气体组成	10
10 试验准备	10
11 性能试验	12
12 试验报告	19
附录 A (资料性附录) 流场板	21
附录 B (资料性附录) 电池部件定位	23
附录 C (资料性附录) 漏气试验	24
附录 D (资料性附录) 初始活化	25
附录 E (资料性附录) 关机	26
附录 F (资料性附录) 再活化	27
附录 G (资料性附录) I-V 特性试验	28
附录 H (资料性附录) 启动/关机循环试验	30
附录 I (资料性附录) 加载循环试验	31
附录 J (资料性附录) 试验报告	33
参考文献	38

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准替代GB/T 28817-2012《燃料电池 术语》，与GB/T 28817-2012相比主要技术变化如下：

本标准使用翻译法等同采用IEC 62282-7-1:2017《燃料电池技术 第7-1部分：聚合物电解质燃料电池单电池测试方法》

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国燃料电池及液流电池标准化技术委员会（SAC/TC 342）归口。

本标准起草单位：

本标准起草人：

聚合物电解质燃料电池单电池测试方法

1 范围

本标准包括电池的组装、试验装置、测量仪器和测量方法、性能试验方法以及聚合物电解质燃料电池单电池的试验报告等部分。

本标准适用于以下三项的评估：

- a) 聚合物电解质燃料电池膜电极组件的性能；
- b) 聚合物电解质燃料电池其它组件的材料或结构；
- c) 燃料和空气中杂质对电池性能的影响。

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，仅所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 28816 燃料电池 术语（IEC/TS 62282-1: 2010, IDT）

ISO/TS 14687-2:2008 Hydrogen fuel – Product specification – Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

阳极 anode

燃料发生氧化反应的电极，反应过程中电子从燃料分子中脱出进入外电路，同时生成的质子(H⁺)向聚合物电解质传递。

3.2

催化剂 catalyst

能够加速(增加速率)某个反应而自身不被消耗的物质。催化剂降低反应的活化能，使得反应速度增加。这里也指IEC/TS 62282-1中定义的电催化剂。

3.3

催化剂涂覆膜 catalyst-coated membrane (CCM)

用于描述PEFC中膜的术语，是表面涂覆了一层催化剂的膜，构成电极的反应区域。

3.4

阴极 cathode

氧化剂发生还原反应的电极，氧化剂接受外电路传来的电子，并与来自聚合物电解质的质子(H⁺)结合生成还原产物(水)。

3.5

夹固板 (或压板) clamping plate (or pressure plate)

用于将电池各部分压紧在一起，起到导电和密封作用。

3.6

集流板 current collector

由金属、石墨或者复合材料构成的导电材料，用于收集电子。

3.7

电极 electrode

是氧化或者还原反应发生的反应层，具有电子和离子导电性。

3.8

流场板 flow plate

由金属、石墨材料或者导电聚合物(可能是碳填充的复合材料)构成的导电平板，它的表面有流道供燃料或者氧化剂气体进入，并与电极有直接的电接触。

3.9

燃料 fuel

氢气或者含有氢气的气体，在阳极发生反应。

3.10

燃料电池 fuel cell

将燃料和氧化剂的化学能转换为电能(直流电)的电化学装置。燃料和氧化剂通常不存储在燃料电池内，而是随着反应物的消耗逐渐通入燃料电池内。

3.11

气体扩散电极 gas diffusion electrode (GDE)

位于阳极或阴极侧，包含电极的全部电子导电部分(气体扩散层和催化层)的部件。

3.12

气体扩散层 gas diffusion layer (GDL)

位于电极和流场板之间具有气孔结构的导电部件，充当电子传导介质，提供反应物向电极传递的扩散通道并移除反应产物。

3.13

密封件 gasket

阻止反应气体从电池中泄漏的密封部件。

3.14

极限电流密度 limiting current density

电池的电压急剧下降至接近零时的电流密度。

3.15

最大电流密度 maximum current density

制造商规定的允许短时间运行的最高电流密度。

3.16

膜电极组件 membrane electrode assembly (MEA)

由电解质膜和阴阳极两侧的气体扩散电极组成的燃料电池组件。

3.17

最小电压 minimum cell voltage

制造商规定的最低电池电压。

3.18

开路电压 (OCV) open circuit voltage

电池在运行电流密度为零时的电压。

3.19

氧化剂 oxidant

氧气或者含有氧气的气体(如空气)，在阴极发生反应。

3.20

聚合物电解质 polymer electrolyte

具有质子传导能力的聚合树脂膜，其中电流的流动由质子从阳极向阴极的移动完成。

3.21

聚合物电解质燃料电池 polymer electrolyte fuel cell (PEFC)

以聚合物电解质膜为电解质的燃料电池，又称为质子交换膜燃料电池 (PEMFC)。

3.22

功率 power

功率为稳态下电压与电流的乘积 ($P = V \times I$)。

3.23

功率密度 power density

功率密度为稳态下电池电压与电流密度的乘积。

3.24

额定电流密度 rated current density

由制造商规定的膜电极组件或单电池持续工作时的最大电流密度。

3.25

额定功率密度 rated power density

由制造商规定的膜电极组件或单电池持续工作时的最大功率密度。

3.26

额定电压 rated voltage

由制造商规定的膜电极组件或单电池持续工作时的最小电池电压。

3.27

单电池 single cell

指由一个阳极流场板、一个膜电极组件、一个阴极流场板和密封垫圈组成的电池。

3.28

单电池试验 single cell test

基于单电池的燃料电池性能试验。

3.29

化学计量比 stoichiometry

供应给电池的燃料气体(氧化剂)与根据电流计算的化学反应需要量的摩尔比率。

4 通用安全要求

通常情况下,运行中的燃料电池使用氧化性和还原性气体,这些气体存储在高压容器中。燃料电池自身可以加压或常压下运行。

进行单电池试验的人员应进行操作培训,并有操作单电池试验系统的经验,并应熟知安全操作规程(包括电器设备操作、化学反应、压缩气体)。安全操作一台单电池测试平台需要适当的技术培训和经验,以及安全设施和设备,上述内容都不在本技术规范的范围內。

5 电池组成

5.1 概述

聚合物电解质燃料电池的单电池应包含以下全部或部分组件:

- a) 一片膜电极组件
- b) 密封件
- c) 一块阳极侧的流场板和一块阴极侧的流场板
- d) 一块阳极侧的集流板和一块阴极侧的集流板
- e) 一块阳极侧的夹固板和一块阴极侧的夹固板
- f) 电绝缘薄板
- g) 紧固件,可能包括螺栓、弹簧和垫圈等。
- h) 温度控制装置
- i) 其它辅助部件

5.2 膜电极组件(MEA)尺寸

电极面积应足够大以满足参数测量要求。虽然较大的燃料电池采用较大面积的电极可能会得到与实际应用更相关的数据，但仍建议电极面积在 25cm^2 左右。电极的有效面积应当说明，应为两个电极中活性面积较小的一个。在电极面积测量方面的近似不确定度也应说明。

5.3 气体扩散层(GDL)

气体扩散层应该由具有高气体扩散性、导电性、抗腐蚀性材料制成。

5.4 密封件

密封件材料应当与电池反应气体、各组件和反应产物以及运行温度相匹配，应能阻止气体的泄漏。

5.5 流场板

流场板应由具有可忽略的气体渗透性、高导电性的材料制成。推荐使用树脂浸渍、高密度合成石墨、聚合物/碳复合材料，或者耐腐蚀的金属材料，如钛或不锈钢。如果使用金属材料，其表面应有涂层或镀层(如涂/镀金层)以减少接触电阻。流场板应当抗腐蚀，有合适的密封。

建议使用蛇形流场，设计建议的详细信息见附件A。流场的结构应在试验报告中给出。

用于试验的流场板应允许进行电池运行温度的精确测量。例如，流场板的一个面的边缘可能会有一个用于安置温度传感器的孔，此时孔的深度应能达到流场板的中心。

注 如果试验的目的是评价某种特定的流道布局，则不必使用建议的流场板布局。

5.6 集流板

集流板应由具有高电导率的材料(如金属)制成。金属集流板可以在表面涂覆/镀上降低接触电阻的材料，如金或银；但要注意选择涂层材料，该涂层材料应与电池的组件、反应气体和产物相容。

集流板应有足够的厚度以减小电压降，同时应有用于导线连接的输出端。

如果金属流场板同时是集流板，则不再需要单独的集流板。

5.7 端板

夹固板(或端板)应为平板且表面光滑，应具有足够的机械强度以承受螺栓紧固时产生的弯曲压力。如果夹固板具有导电性，应将其与集流板隔绝以防止发生短路。

5.8 紧固件

紧固件应具有高的机械强度，以承受电池组装和运行时产生的压力。可以使用垫片和弹簧保持作用在单电池上的压力恒定均匀。应使用扭力扳手或其他测量仪器确定电池上的压力的精确。

建议使用电绝缘的紧固件。

5.9 温控装置

为了使单电池保持恒温且沿流场板和通过电池方向温度分布均匀，应提供温控装置(加热或冷却)。温控装置的设计可遵循一定的温度曲线图。温控装置应能防止过热。

可以有多种方式来达到以上要求。

一种简单的方式是对流冷却和电加热夹固板(端板)。而这种加热可以通过在极板外表面连接一个表面电阻加热器来达到。另外一种替代方式是在极板上打孔，插入一个筒形加热器。

在上述情况下，应注意保持电绝缘。

6 电池组装

6.1 装配程序

电池组装程序对电池数据的可重复性有很大的影响。下列组装操作中的一些特定过程应以文件记录下来：

- a) 质子交换膜放置定位，包括阳极侧和阴极侧确认。
- b) 气体扩散层放置定位，包括阳极和阴极用气体扩散层确认，也包括气体扩散层面向质子交换膜和流场确认。
- c) 密封件/密封的安装。
- d) 固定装置或装配夹具的定位（如果有的话）。
- e) 加压规程，例如，扩散介质压缩值，螺栓紧固次序，压缩弹簧，以及最终的扭距规定。

注 压强可以通过压敏纸或膜来核查。

典型的电池部件定位见附件B。

装配后，应检查夹固板和集流板之间的绝缘性。

6.2 电池方位和气体连接

电池工作时应处于合适的方位以利于产物水的排除。电池方位应记录下来。

有许多流场可用，应记录所用流场。流场举例见附录A。

6.3 漏气检查

隔膜两侧的压差是最关键的。不应该超过制造商规定的最大压差。

电池的外部 and 内部泄漏应极少。漏气检查规程举例见附录C。原则上，漏气检查程序包括在阳极和阴极侧注入一种惰性气体或检测气体，利用合适的压差，就可确定漏气的性质和方向。应记录最大压差、检测气体性质、漏气速率。如果发现漏气，应进行其它的测试，如鼓泡试验，来进一步描述漏气的类型和性质。

7 测试平台

7.1 必要设备

单电池试验需要一个燃料电池测试平台，设备至少能满足以下试验参数的单电池试验过程：

- a) 反应气体流量的调节——测量燃料电池在所要求的化学计量比下的燃料和氧化剂气体的流率。
- b) 反应气体增湿的控制——在气体输送给燃料电池前增湿反应气体到所需的露点。推荐增湿水的电阻系数至少为 $1 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ (或者电导率最大为 $10^{-8} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$)。

注 增湿器与电池之间的气体传输管线应该被加热，至少在露点温度以上 5°C – 10°C ，以使得冷凝最小化。这段管线应隔热，使得热损失最小化。

- c) 反应气体压强的控制——调节燃料电池内反应气体压强。
- d) 负载控制——加载以从电池得到规定的电流。负载控制应既能以恒电流模式又能以恒压模式运行。
- e) 电池加热或冷却的控制——加热或冷却单电池达到所需运行温度。
- f) 电池电压监控和数据采集——设备在试验过程中测量和记录电池电压。
- g) 测试台控制——测试台必须能够控制以上参数。

- h) 安全系统——安全系统应该能够在出错情况下自动(或带有音响报警的手工操作)停止试验。建议对阳极和阴极管路有氮气吹扫能力。也建议对高/低电池电压、压强和温度以及气体泄漏有联动触发装置,同时应具备合适的通风设备。

7.2 示意图

图1为控制燃料电池试验的测试平台所需的主要子系统框架示意图。

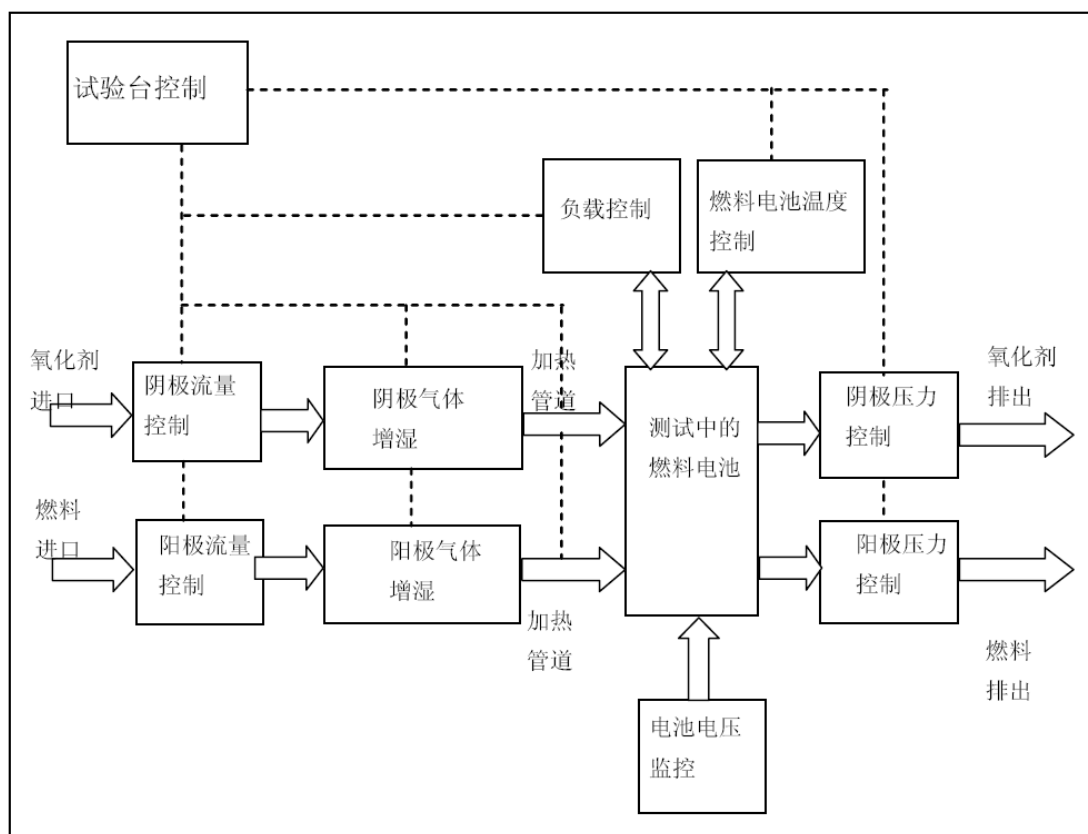


图1 单电池试验的测试平台示意图

与增湿气体或增湿器中的水所接触的所有组件的材料应该和气体或水相容,以防止材料中的杂质被萃取出。这些材料有不锈钢和氟塑料等。

气体增湿系统应被设计成能避免从进入电池之前的试验气体中清除掉试验气体杂质。

注 杂质可参照ISO/TS14687-2(2008)氢燃料-产品规范 第2部分:道路车辆用质子交换膜(PEM)燃料电池的应用。

若不进行杂质气体试验,鼓泡增湿器可以用来为燃料增湿。

若能满足本标准规定的功能要求,配置可以改变。

7.3 测试台控制允许的最大误差(输入试验)

燃料电池测试台控制的允许的最大误差推荐值为:

- 电流控制为预设值 $\pm 1\%$;
- 电压控制为预设值 $\pm 1\%$;
- 电池温度控制为预设值(稳态数值) $\pm 1^\circ\text{C}$;
- 增湿露点控制为预设值(稳态数值) $\pm 2^\circ\text{C}$;

- e) 流量控制为预设值 $\pm 5\%$;
- f) 压力控制为预设值 $\pm 3\%$ 。

8 测量

8.1 仪器精度

测试中（试验输出）测量值的最大不确定值应为：

- a) 电流 最大预期值的 $\pm 1\%$;
- b) 电压 最大预期值的 $\pm 0.5\%$;
- c) 温度 $\pm 1^\circ\text{C}$;
- d) 露点 $\pm 2^\circ\text{C}$;
- e) 流量 最大预期值的 $\pm 2\%$;
- f) 压力 最大预期值的 $\pm 3\%$ 。

注 低电流、电压和流量时，测量值的不确定度会非常大。

8.2 测量仪器和测量方法

8.2.1 概述

应按照测量值范围选择测量仪器。测量仪器应该定期校准，以保持10.1中所描述的精度水平。所有测试设备必须按可追溯的标准校正。

8.2.2 电压

电压表应该和阳极与阴极的流场板或集流板相连，使接触电阻最小。如果电压表和阳极、阴极流场板之间，或/和阳极、阴极集流器输出末端间的接触电阻不可忽略，则应该测量并记录该接触电阻。

8.2.3 电流

电流测量装置应该连接在电池传输电流的线路上。电流测量装置可以包括低阻抗的电流表或校准过的分流电阻器，其可用已知的精确电压对应流过的电流。电流也可以通过电子负载来测量。

8.2.4 内阻

推荐的内阻测量方法为电流中断法和电化学阻抗谱法。也可以用交流电毫姆表的交流阻抗法。尽管毫姆表的典型频率为1 KHz，仍应记录测量频率值。

这些测量设备的正、负端应该分别和阴极和阳极集流器的输出末端相连。

8.2.5 燃料和氧化剂流量

应用体积流量计、质量流量计或涡轮型流量计来测量燃料和氧化剂的流量。如果以上方法不适用的话，可以使用喷嘴流量计、小孔流量计或文丘里流量计。流量计的位置应该在增湿器上游。

如果流量计需要压力补偿，应该用紧靠流量计的上游的一个静压测量孔进行校正。

8.2.6 燃料和氧化剂温度

推荐使用热电偶、带传感器或热敏电阻的电阻温度计作为直接温度测量的传感器。

温度传感器应该安置在紧靠单电池的下游。建议另一传感器安置于紧靠单电池的上游。

如果燃料和/或氧化剂流量计需要温度补偿，校准传感器应安装在紧靠流量计的上游。

8.2.7 电池温度

推荐使用热电偶、带传感器或热敏电阻的电阻温度计作为直接温度测量的传感器。

温度传感器应尽可能的接近阴极活性面积中心位置。理想情况下，它应该在阳极和阴极流场板中心(详见5.5和附录A)

8.2.8 燃料和氧化剂压强

校准过的压力传感器是测量燃料和氧化剂压强的首选。另外可以接受的方法包括校准过的压力计、重力仪、弹簧管或其它弹性类仪表。

静压力测量孔应在紧靠单电池的上游处。如果必要，另一个压力测量孔应在紧靠单电池的下游。

性能试验前应检查连接管道以确保在工作环境下不漏气。必须避免管道中存有液态水。

如果出现压力波动，应在有效位置采取合适的阻尼措施。

当速度的影响可以忽略时，测量压强称为静压强。

8.2.9 燃料和氧化剂湿度

为了测量燃料和氧化剂的湿度，根据燃料和氧化剂温度，可以采用冷镜、氧化铝、固体聚合物电阻或电容类的湿度计来测量湿度值。

湿度应该标明露点温度。

试验开始前，湿度测量孔应位于单电池上游，或将湿度传感器置于反应气体中。如果采用空气或合成气体作为氧化剂，应测量并记录露点。

8.2.10 环境条件

应测量和记录环境温度、压强和湿度。

直接测量环境温度，推荐使用带有变送器的热电偶或者带有变送器的电阻温度计。

直接测量环境压强，推荐使用水银气压计。

直接测量环境湿度，推荐使用湿度计。

8.3 度量单位

表1为测量参数及计量单位。

表1 测量参数及计量单位

参数	单位
温度	°C
燃料和氧化剂压强	kPa ^c
燃料和氧化剂露点	°C
燃料和氧化剂流量(NTP ^a)	cm ³ ·min ⁻¹ , cm ³ s ⁻¹
燃料和氧化剂化学计量比	
电流	A
电流密度	A cm ⁻²
电压	V
输出功率	W
功率密度	W cm ⁻²

表1 测量参数及计量单位 (续)

电池比面积阻抗	$\Omega \text{ cm}^2$
燃料组成 ^b	$(\text{mol}) \text{ mol}^{-1}$
氧化剂组成 ^b	$(\text{mol}) \text{ mol}^{-1}$
^a NTP: 常温常压: 0°C 和 101,325 kPa(绝对压强)。除非有特殊说明, 流量均为 NTP 情况下的值。	
^b 杂质可表示为 $(\mu\text{mol}) \text{ mol}^{-1}$	
^c 如果可以的话, 国际标准组织 ISO 推荐使用绝对压强(kPa)。如果使用表压强, 应该说明且记为 kPa(G)。	

9 气体组成

9.1 燃料组成

9.1.1 氢气

氢气纯度应为0.9999mol/mol或更高, 氢气中杂质的详情请见ISO/TS14687-2 (2008)。

9.1.2 重整气

模拟重整气可由电池或部件制造商规定。重整气的纯度及组成应由化学分析来确定。应记录化学分析的结果。

9.2 氧化剂组成

若以空气用作氧化剂, 既可用大气中的空气又可用合成的空气。在使用大气空气的情况下, 空气中应没有油和颗粒的存在。应记录氧化剂的组成, 包括杂质的浓度。

10 试验准备

10.1 标准试验条件

试验开始前应由电池或部件制造商规定以下的标准试验条件。如果没有规定, 将根据实施的试验确定条件, 这些试验条件应记录。

- a) 电池温度(推荐使用阴极流场中心的温度)
- b) 燃料运行压强(代表值: 紧靠电池的上游取值)
- c) 氧化剂运行压强(代表值: 紧靠电池的上游取值)
- d) 燃料电池工作温度下的燃料湿度(代表值: 紧靠电池的上游取值)
- e) 燃料电池工作温度下的氧化剂湿度(代表值: 紧靠电池的上游取值)
- f) 燃料组成
- g) 氧化剂组成
- h) 燃料化学计量比
- i) 氧化剂化学计量比
- j) 额定电流密度
- k) 额定电压
- l) 最大电流密度
- m) 最小电池电压

性能测试应该在标准试验条件下进行，除非有个别试验方法的另行规定。一种典型的试验流程如图2所示：

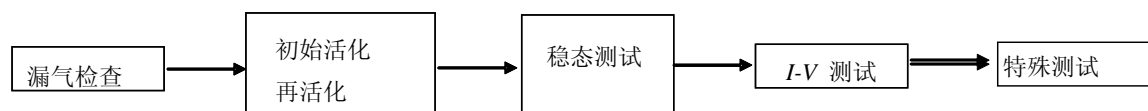


图2 典型的试验流程图

10.2 环境条件

每次试验运行，以下环境条件均应该测量：

- a) 温度
- b) 压强
- c) 相对湿度

10.3 测量频率

推荐使用的数据采集率为每秒1次，一个测量值定义为1min内的平均值(例如，60个单次测量)。

10.4 可重复性和再现性

整个 I - V 曲线应测量三次，每个电流密度下计算电压平均值。

10.5 测量值的最大允许误差

除长期运行试验外，试验输入和输出参数的三次或更多次测量值应在其平均值 $\pm 5\%$ 范围内。

10.6 试验样品数量

既可以对单个样品依次测试也可以对多个样品同时测试。可重复性及可再现性规定仅限于 I - V 曲线。测量应连续进行。测量之间燃料电池应关机，从常温启动条件下再活化。

10.7 惰性气体或测试气体进行气路漏气检查

所有用于气路漏气检查的材料均应和气体管路和电池组件相匹配。单电池在电池测试台安装完成后，用惰性或测试气体进行漏气检查，在所有连接处用液体检漏。

10.8 初始活化和稳态检查

新组装的电池应进行初始活化。初始活化的目的是使电池性能进入稳态，以便进行接下来的试验。

初始活化的实施应：

- a) 与 MEA 或部件制造商说明相一致；
- b) 或与试验对象制造商的提议相一致；
- c) 或与试验机构的惯例相一致。

典型的初始活化过程见附录D。

10.9 关机

关机过程应使得电池进入储存状态(冷态)。关机程序的目的一般是将电池冷却到室温，同时避免在室温下电池中存有液态水。

关机过程应与MEA或部件制造商说明书相一致。
一种典型的关机过程见附录E。

10.10 再活化

为保证MEA充分润湿，电池关机后重启应实施再活化过程。
再活化应依据MEA制造商或部件制造商的使用说明书进行。
典型的再活化过程见附录F。

11 性能试验

11.1 稳态试验

11.1.1 概述

本试验的目的是为了测试标准状态下电池的输出电压(或电流)和输出功率。

11.1.2 试验方法

有两种类似的方法进行该试验：

- 把所有的输入参数定为设定值。设定电流为额定电流密度(I_{st})并保持不变，直到电池电压稳定在 $\pm 5\text{ mV}$ 以内保持15min。记录电池电压值(V_{st})。从试验结果计算出在标准试验状态下的输出功率(P_{st})。
- 把所有的输入参数定为设定值。设定电压为设定值(V_{st})并保持不变，直到电池电流稳定在 $\pm 2\%$ 以内保持15min。记录电池电流值(I_{st})。从试验结果计算出在标准试验状态下的输出功率(P_{st})。

11.2 I - V 特性测试

11.2.1 恒定气体流量的 I - V 特性测试

11.2.1.1 概述

本试验的目的是确定电池电压(和功率密度)在恒定气体流量下随电流密度的变化而发生的变化。

11.2.1.2 试验方法

按电池生产商规定的最大电流密度(I_{max})下的标准化学计量比设定燃料和氧化剂的流量。设定并保持该电流(I_{max})，电池电压稳定在 $\pm 5\text{ mV}$ 之间保持15min。

保持燃料和氧化剂流量不变，电流在0到 I_{max} 之间以合适的间隔变化以获得电池的 I - V 曲线。对每个电流密度值，电压稳定在 $\pm 5\text{ mV}$ 之间至少保持5min。应精确记录试验步骤。典型的电流密度增量见附录G。

本试验也可以允许电流稳定在 $\pm 2\%$ 之间至少保持5min，通过改变电压从开路电压到最小电压。

由于在电流由0到 I_{max} 范围时燃料和氧化剂的流量保持恒定，二者的化学计量比将随电流变化而改变。虽然这和燃料电池的实际运行条件可能不相同，即使在恒定流量下电流变化，电池的其它参数如温度、压力、湿度是保持稳定的。

11.2.2 恒定气体化学计量比下的 I - V 特性

11.2.2.1 概述

本试验目的是确定气体化学计量比恒定条件下随电流密度改变的电池电压(和功率密度)的变化。

11.2.2.2 试验方法

设定燃料和氧化剂的流量相当于电池生产商规定的最大电流密度(I_{\max})下的标准化学计量比。设定并保持该电流(I_{\max})，电池电压稳定在 $\pm 5\text{mV}$ 之间保持15min。

燃料和氧化剂化学计量比在每个电流状况下保持不变，电流在0 到 I_{\max} 之间以合适的间隔变化以获得电池的 I - V 曲线。对每个电流密度值，电压稳定在 $\pm 5\text{mV}$ 之间至少保持5min。应精确记录试验步骤。典型的电流密度增量见附录G。

注 本试验也可以允许电流稳定在 $\pm 2\%$ 之间至少保持5min，通过改变电压从开路电压到最小电压。

由于在电流由0到 I_{\max} 范围时燃料和氧化剂的化学计量比保持恒定，二者的流量将随电流变化而自然改变。这和燃料电池的实际运行条件比较接近。但由于在每个电流下气体流量不同，局部的热平衡和水平衡随电流变化而改变。每次电流改变时就需要较多的时间去达到新的稳态。特别是在较低的电流值(包括0)，因低的气体流量会导致电压不稳。对于电池制造商规定的最低电流 I_{\min} ，制造商通常规定一个恒定的最低流量以避免这种电压不稳定的状态。如果没有规定，最低电流 I_{\min} 可设定为电流最大值 I_{\max} 的10%。

11.3 IR 测量

11.3.1 概述

本试验的目的是测定不同电流密度下电池的电阻。8.2.4中描述的测量技术可以用来进行IR测量。如果IR测量和 I - V 特性同时进行，IR测量不应影响电池的稳定状态。如果IR测量会干扰电池的稳定，先记录电压、电流密度值，再进行IR测量。 I - V 特性根据11.2.1或11.2.2进行测量。

11.3.2 试验方法

把IR测量设备连接到电池上。记录下设备读数的同时，电流在0 到 I_{\max} 之间以合适的间隔变化以获得电池的 I - V 曲线。比面积电阻(ASR) $\Omega \text{ cm}^2$ ，通过如下的等式得到： $\text{ASR}/(\Omega \cdot \text{cm}^2) = \text{电阻}/\Omega \times \text{电极面积}/\text{cm}^2$ 。

注 可以在以下的所有试验过程中实施本测试方法。

11.4 极限电流测试

11.4.1 概述

本试验的目的是评价电池中MEA的传质极限。

11.4.1.1 试验方法

根据电池制造商规定的额定电流密度 i_{st} 下标准化学计量比设定燃料和氧化剂的流量。保持燃料和氧化剂化学计量比恒定，小幅度逐步增加电流(即逐步增加燃料和氧化剂流量)，记录每一步电池电压。当电压迅速地降低到接近于0V时(但不为0)，记录下电流值，并迅速减小电流以免损害MEA。

把电压值外推至0 V时的电流作为极限电流。

采用本方法，应谨慎操作以避免电压降到0V或以下，可能对MEA造成不可逆的损害。同时必须采用能够承受极限电流的电线。

11.5 扩散增益试验

11.5.1 氢气扩散增益测试

11.5.1.1 概述

本试验的目的是评价阳极的扩散性能。通过氢气扩散增益测试评价实际使用中用重整气(氢气、二氧化碳、氮气及其它杂质的混合气)作为燃料的MEA的性能。

11.5.1.2 试验方法

本试验可采用两种方法中的一种：恒定气体流量或者恒定气体化学计量比。两者在11.2.1和11.2.2中分别描述。一旦选定了一种方法，整个试验过程中都应使用同一种方法。试验应按下述流程进行：

首先，按设定流速、增湿及压力给电池阳极侧通入氢气作为燃料。用所选择的方法测量使用氢气和空气时的 I - V 特性曲线。

其次，使用氢气和氮气的混合气作为阳极燃料。这里，氮气取代了重整气中的非氢气成分。重整气的组成由制造商规定。采用选定的方法，使用氢气和氮气混合气以及空气，获取 I - V 特性曲线。

比较把以纯氢为燃料和以混合气为燃料的 I - V 特性曲线，如果二者差异大于用Nernst方程预测的理论值，表明阳极可能存在着扩散问题。

注1 之所以采用氮气替代二氧化碳是因为后者在反应中会产生一氧化碳从而使阳极中毒。本试验只是纯粹测量阳极的扩散性能。

注2 氢气中CO的浓度必须等于或小于9.1.1中所给的浓度。

11.5.2 氧气扩散增益测试

11.5.2.1 概述

本试验的目的是评价阴极的扩散能力。氧气扩散增益测试用来评价在实际应用中以空气为氧化剂的MEA的性能。

11.5.2.2 试验方法

本试验可采用两种方法中的一种：恒定气体流量或恒定气体化学计量比。两者在11.2.1和11.2.2中分别描述。一旦选定一种方法，整个试验过程中都应使用同一种方法。试验应按下述流程：

使用空气为氧化剂，以选定的方法测量 I - V 曲线。

然后，用氧气代替空气，采用同样流量、增湿以及压力，采用选定方法测量 I - V 特性曲线。

比较氧气与空气的 I - V 特性曲线，如果两者差异大于Nernst方程预测的理论值，表明阴极可能存在扩散问题。

注1 使用纯氧时的气体渗透可能导致快速的大量放热，这会导致硬件的损伤，并可能造成人员受伤。

注2 氧气系统必须按照专门的要求而设计和净化。

11.6 气体计量比测试

11.6.1 燃料计量比测试

11.6.1.1 概述

本试验的目的是评价阳极的扩散性能，与11.5.1的氢气扩散增益试验相同。

11.6.1.2 试验方法

在标准试验条件下按规定设置电流密度。在标准试验条件下把氧化剂化学计量比设置定为从给定值至四倍以上。根据电池制造商规定的一定范围内改变燃料流量，记录电池电压。

注1 本试验不用纯氢气是因为当氢气的流量减少直至氢气不足时，观察不到明显的性能改变。本试验使用重整气。

注2 做本试验必须非常小心，因为本试验有意使阳极供气不足。供气不足会导致阳极的不可逆损坏。

11.6.2 氧化剂计量比测试

11.6.2.1 概述

本试验的目的是评价阴极的扩散性能。如11.5.2 氧气扩散增益试验一样，试验应按下述流程进行。

11.6.2.2 试验方法

在标准试验条件下按规定设置电流密度。在标准试验条件下把燃料化学计量比设置定为从给定值至两倍以上。根据电池制造商规定的一定范围内改变氧化剂流量，记录电池电压。

注1 本试验不用纯氧气是因为当氧气的流量减少直至氧气不足时，观察不到明显的性能改变。本试验使用空气为氧化剂。

注2 做本试验必须非常小心，因为本试验有意使阴极供气不足。

11.7 温度影响测试

11.7.1 概述

本试验的目的是测量电池温度对电池性能的影响。温度通常会影响电极反应速率和电解质的传导率。

11.7.2 试验方法

按电池制造商规定设置电池温度为 T_1 , T_2 ····· T_n , T_n 是最高运行温度。同时，通过增加或降低露点和进气温度，保持阴、阳极在燃料电池运行温度恒定时的相对湿度。在每个温度水平上，测量电池的 I - V 特性曲线。试验过程参见11.2.1或11.2.2。

11.8 压力影响测试

11.8.1 概述

本试验的目的是测量燃料和氧化剂压力对电池性能的影响。试验中必须非常谨慎地保持膜两侧的压力差为恒定值。高压增加反应气体的密度，从而增加电极反应速率。

11.8.2 试验方法

按电池制造商规定设置燃料或氧化剂压力为 P_1 , P_2 ····· P_n , P_n 是最高运行压力。同时，相应调整另一种气体压力以保持二者的压差值恒定。在每一压力水平上，测量电池的 I - V 特性曲线。试验过程参见11.2.1或11.2.2。

进行本试验要非常小心，以免损害电池或膜。试验者应对膜的渗透迹象保持警惕，如可导致内燃的针孔。

11.9 湿度影响测试

11.9.1 燃料湿度影响测试

11.9.1.1 概述

本试验的目的是测量燃料的不同湿度对电池性能的影响。燃料的湿度通常会影响电解质的传导率和阳极的气体扩散。

11.9.1.2 试验方法

本试验可采用两种方法中的一种：恒定气体流量或恒定气体化学计量比。两者在11.2.1和11.2.2中分别描述。一旦选择了一种方法，整个试验过程中都应使用同一种方法。本试验应按下述流程进行：

在标准状态下设置氧化剂湿度。根据相应的露点温度设置几个级别的燃料湿度，获取相应的 I - V 特性曲线。

11.9.2 氧化剂湿度影响测试

11.9.2.1 概述

本试验的目的是测量氧化剂的不同湿度对电池性能的影响。氧化剂湿度通常会影响电解质的传导和气体向阴极的扩散。

11.9.2.2 试验方法

本试验可采用两种方法中的一种：恒定气体流量或恒定气体化学计量比。两者在11.2.1和11.2.2中分别描述。一旦选择了一种方法，整个试验过程中都应使用同一种方法。本试验应按下述流程进行：

在标准状态下设置燃料湿度。根据相应的露点温度设置几个级别的氧化剂湿度，获取相应的 I - V 特性曲线。

11.10 燃料组成测试

11.10.1 概述

本试验的目的是测试重整气的组成对电池性能的影响。本试验用来测定电极对不同类型燃料气的耐受程度。重整气通常包括氢气、一氧化碳和惰性气体如二氧化碳、氮气；各组分含量取决于原料和重整方法的差异。惰性气体通常会影响到氢气向电极的扩散。

11.10.2 试验方法

恒定气体流量或恒定气体化学计量比。两者在11.2.1和11.2.2中分别描述。一旦选择了一种方法，整个试验过程中都应使用同一种方法。本试验应按下述流程进行：

采用标准的燃料气体，用选定的方法测量得到 I - V 特性曲线。然后把标准燃料气改成另一种具有不同组成的燃料气体。用选定的方法测量 I - V 特性曲线。

11.11 过载试验

11.11.1 概述

本试验的目的是评价电池的电过载耐久性。电池的过载耐久性受到催化剂活性和电极的气体扩散能力的影响。

11.11.2 试验方法

设置负载在额定电流与极限电流之间，按照标准化学计量比设置燃料与氧化剂流量，然后设置电流。按照电池制造商规定的时间段运行电池，在电池运行过程中记录电池电压。

11.12 长时间运行试验

11.12.1 概述

长时间运行试验的目的是测定电池在规定的恒定电流条件下长期运行时的电压变化。长时间运行试验通常在稳态下进行，但在试验过程中会按固定的时间间隔周期性测试 I - V 特性和电池电阻，以评价电池性能。

11.12.2 试验方法

根据电池制造商规定的允许运行时间在标准试验条件下持续运行电池。记录电池运行期间的电池电压。如果需要，每隔一定时间记录标准试验条件下的 I - V 特性曲线和电池电阻，建议最少测量十组数据。11.2.1或11.2.2中给出了 I - V 特性曲线测量的基本过程，11.3中给出了电池电阻测量的基本过程。

11.13 启动/关机循环试验

11.13.1 概述

启动/关机循环试验的目的是测定在规定条件下电池运行的性能变化，该变化情况是启动/关机次数的函数。

该试验可作为特定运行条件下应用的MEA寿命的特定试验。

11.13.2 试验方法

气流和温度控制也可以作为本试验的一部分。

当电池在100%负载(额定电流密度)下运行一定时间后，关闭负载(开路)一段时间，然后加载，100%负载运行。重复该过程，记录电压(负载的启动/关机工况以及运行时间由电池制造商规定。典型的启动/关机循环工况及运行时间见附件H)。

注 燃料电池在开路电压下长时间运行会加剧电极材料性能下降。

11.14 加载循环试验

11.14.1 概述

加载循环试验的目的是测定在规定条件下燃料电池运行的电压变化，该变化是电流密度对时间的动态函数。

该试验可作为特定运行条件下应用的MEA寿命的特定试验。

11.14.2 试验方法

当电池在100%负载(额定电流密度)下运行一定时间后，保持气体的化学计量比恒定，将负载从100%降为部分负载运行一定时间，然后将负载再次升至100%。重复该过程，记录电压(负载工况及运行时间由电池制造商规定)。典型的负载工况及运行时间见附件I。

11.15 杂质影响试验

11.15.1 燃料杂质影响试验

11.15.1.1 额定电流密度下燃料杂质的影响以及电池的恢复

11.15.1.1.1 概述

本试验的目的是测定燃料中的杂质对电池性能的影响，并测定电池在额定电流密度下性能损失的恢复情况。电池使用含杂质燃料进行稳态运行试验。

注 ISO/TS14687-2 (2008) 氢燃料 产品规范 第2部分：道路车辆用质子交换膜 (PEM) 燃料电池的应用中，给出了

对杂质的描述。

11.15.1.1.2 试验方法

本试验应使用包括不同杂质含量的燃料，以测定对电池性能不造成影响的最高杂质含量。

本试验应按如下流程进行：

使用洁净燃料和洁净空气在额定电流密度下运行电池直至电压稳定在 $\pm 5\text{mV}$ 之间持续15min。将洁净燃料换为含有电池制造商规定的种类和数量的杂质的燃料。运行电池直至电压稳定在 $\pm 5\text{mV}$ 之间持续15min，记录电压。

然后将含有杂质的燃料更换为洁净燃料。运行电池直至电压稳定在 $\pm 5\text{mV}$ 之间持续15min，记录电压。

注 一些杂质，例如 H_2S ，可能会与测试台的部件(例如供气管和密封件)暴露的表面发生反应。必须确保测试台材料与所用杂质相容。

11.15.1.2 含有杂质燃料的 I - V 特性曲线

11.15.1.2.1 概述

本试验的目的是测定燃料中杂质对电池 I - V 特性曲线的影响。本试验内容要包括不同杂质含量的燃料，以测定对电池性能不造成影响的最高杂质含量。

11.15.1.2.2 试验方法

使用恒定流量或恒定气体化学计量比的洁净燃料和洁净空气，分别按照与11.2.1或11.2.2相同的方法测定 I - V 曲线。

将洁净燃料更换为含有杂质的燃料，采用与前面的测量中相同的方法测定电池 I - V 曲线。

11.15.2 氧化剂杂质影响试验

11.15.2.1 氧化剂杂质影响以及额定电流密度下的电池恢复

11.15.2.1.1 概述

本试验的目的是测定氧化剂杂质对于电池性能的影响，以及电池在额定电流密度下性能损失的恢复程度。电池使用含杂质氧化剂进行稳态运行试验。

11.15.2.1.2 试验方法

本试验应使用包括不同杂质含量的氧化剂，以测定对电池性能不造成影响的最高杂质含量。

本试验应按如下流程进行：

使用洁净燃料和洁净空气在额定电流密度下运行电池直至电压稳定在 $\pm 5\text{mV}$ 之间持续15min。将洁净空气换为含有电池制造商规定的种类和数量的杂质的空气。运行电池直至电压稳定在 $\pm 5\text{mV}$ 之间持续15min，记录电压。

然后将含有杂质的空气更换为洁净空气。运行电池直至电压稳定在 $\pm 5\text{mV}$ 之间持续15min，记录电压。

11.15.2.2 使用含有杂质空气的 I - V 特性曲线

11.15.2.2.1 概述

本试验的目的是测定空气中杂质对电池 I - V 特性曲线的影响。

11.15.2.2.2 试验方法

本试验应使用包括不同杂质含量的空气，以测定对电池性能不造成影响的空气中的最高杂质含量。

本试验应按如下流程进行：

使用恒定流量或恒定气体化学计量比的洁净燃料和洁净空气，分别按照与11.2.1或11.2.2相同的方法测量I-V特性曲线。

将洁净空气更换为含有杂质的空气，采用与前面的相同的方法测量电池I-V特性曲线。

12 试验报告

12.1 概述

试验报告应该准确、清晰、客观，提供足够信息以证明该试验所达到的目的。建议使用附件J中的I-V特性曲线试验报告模板。

12.2 报告项目

报告至少应给出以下信息：

- a) 报告题目
- b) 报告作者
- c) 实施试验的机构
- d) 报告日期
- e) 标准编号/试验过程编号
- f) 试验场所
- g) 试验数据(详见 12.3)

12.3 试验数据描述

试验数据应包含以下信息：

- a) 试验名称
- b) 测试条件(详见 12.4)
- c) 测试数据
- d) 试验日期和时间
- e) 试验环境条件
- f) 试验者的姓名与资格证
- g) 试验电池数据(详见 12.5)

12.4 测试条件描述

测试条件描述至少应包含以下信息：

- a) 电池温度
- b) 燃料与氧化剂压强
- c) 燃料与氧化剂的露点
- d) 燃料与氧化剂的成分
- e) 燃料与氧化剂的化学计量比
- f) 燃料与氧化剂的流量

12.5 试验电池数据描述

电池试验数据应包含以下信息：

- a) 有效电极面积
- b) 产品名以及膜电极 MEA 品牌(可选)
- c) 膜的类型和厚度(可选)
- d) 阴极与阳极催化剂的类型与含量(可选)
- e) 气体流道类型(可选)
- f) 气体扩散层材料类型(可选)
- g) 组装压力(可选)

附录 A
(资料性附录)
流场板

图A.1给出了按照技术规范设计的流场板样本，按照有效面积为 25 cm^2 设计。阳极与阴极流场板与膜电极接触的表面都有一个水平蛇形单凹槽作为气流流道。推荐的流道结构如下：

宽：1.0 mm

深：1.0 mm

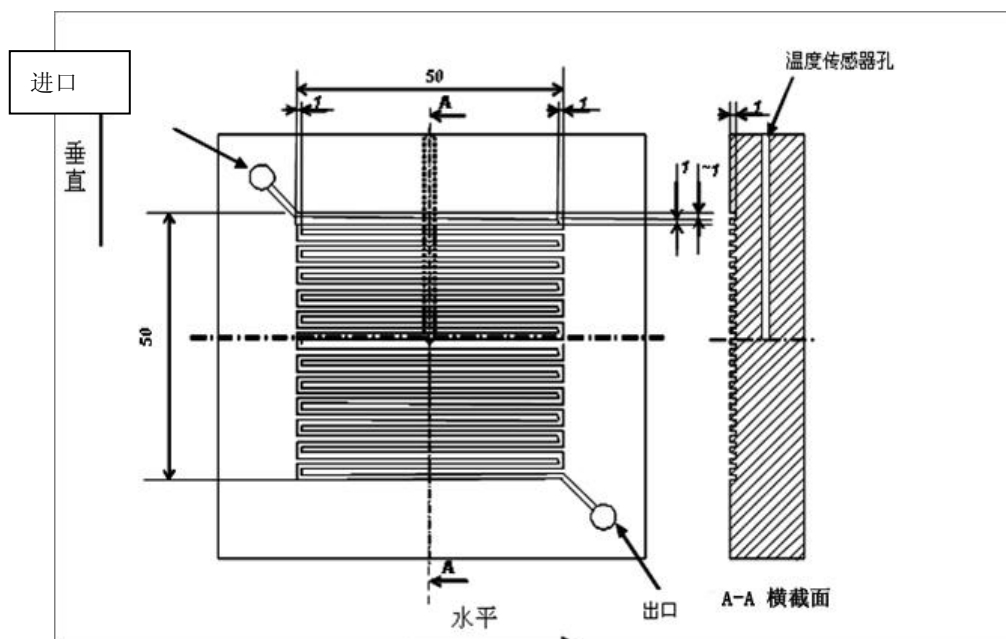
间隔： $\sim 1.0\text{ mm}$

电极和气体扩散层的尺寸应稍大于 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ ，以免膜被流道边缘切到。组装程序应避免膜与流道边缘直接接触。

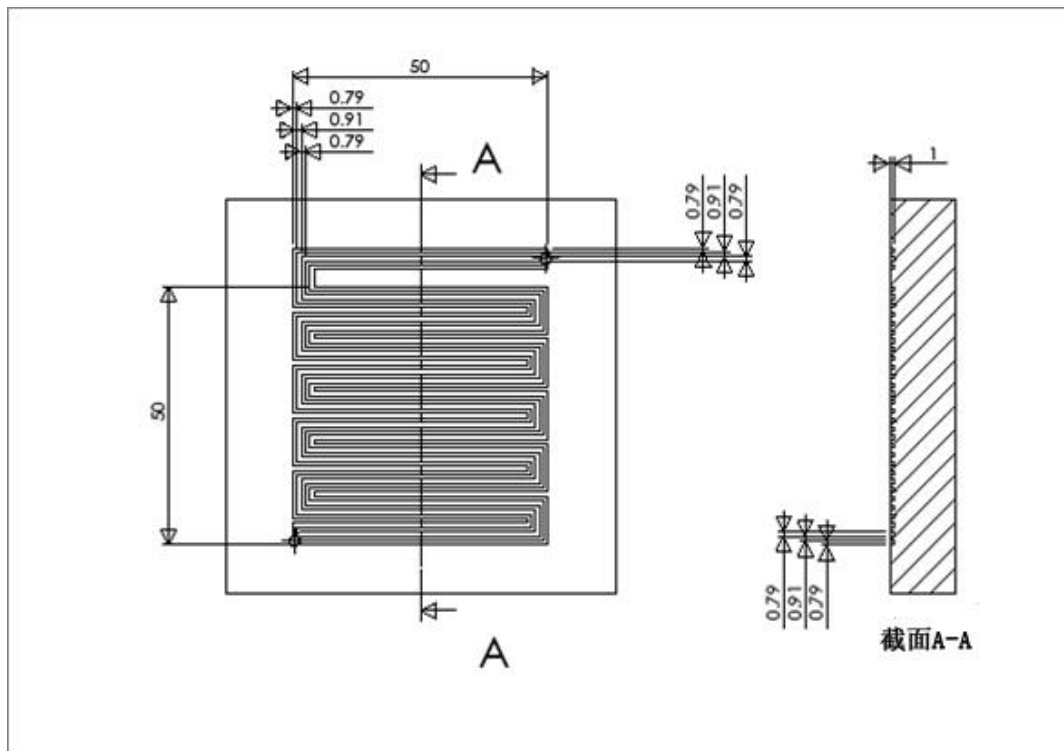
燃料与氧化剂均从流道顶部流向底部。

图A.2给出了另一个也是按照技术规范设计的流场板例子，有效面积为 25 cm^2 。图A.1与图A.2的不同之处在于图A.1是单蛇形流道，图A.2是三蛇形流道。

图A.1与图A.2中的尺寸单位均为 mm。



图A.1 流场板设计(单蛇形流道)



图A.2 流场板设计(三蛇形流道)

附录 B
(资料性附录)
电池部件定位

图B.1为采用典型部件组装的单电池，这些部件采用螺栓和螺母压在一起。弹性垫圈和弹性密封件可根据需要垫在螺母上以防止松动。

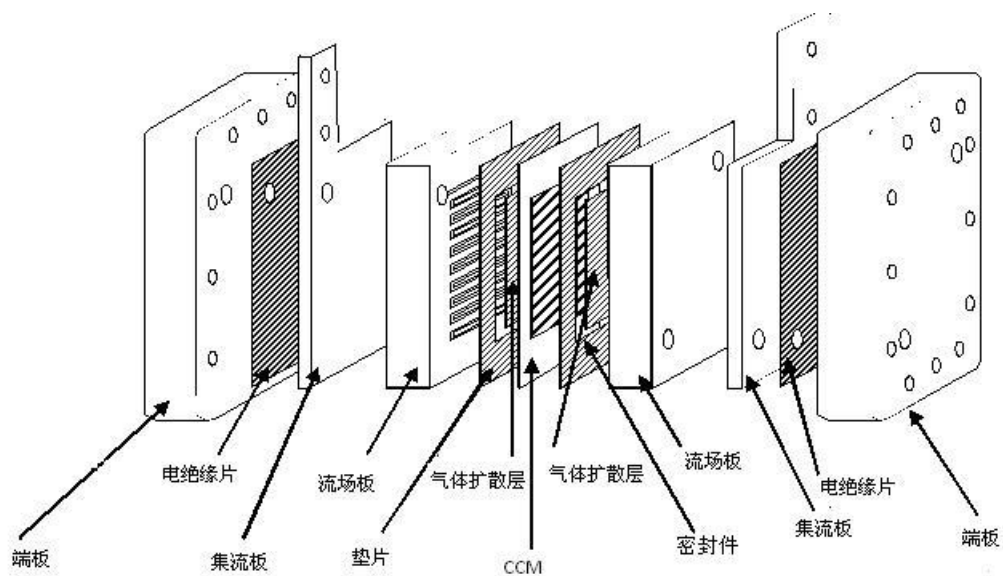


图 B.1 采用典型部件组装的单电池

附 录 C
(资料性附录)
漏气试验

典型的漏气试验规程如下所示:

a) 程序 1:

向阳极和阴极均通入氮气, 设置背压为接近0 kPa(G), 然后关闭阳极和阴极气体的出口阀门。首先, 向阳极一侧施加至50 kPa(G) 的压力(或者最高运行压力的150%), 同时向阴极一侧施加至30 kPa(G) 的压力(或者最高运行压力的125%)。关闭阳极和阴极气体的入口阀门, 将气体密封在电池内。使电池在这种状态下保持10min, 并分别监测阳极和阴极的压强。

第二步, 向阴极一侧施加至50 kPa(G) 的压力(或者最高运行压力的150%), 同时向阳极一侧施加至30 kPa(G) 的压力(或者最高运行压力的125%)。关闭阳极和阴极气体的入口阀门, 将气体密封在电池内。使电池在这种状态下保持10min, 并分别监测阳极和阴极的压强。

在上述操作中, 阳极和阴极的压强10min后的变化均应小于5 kPa(G)。

在第一步中, 如果阳极侧的压力降低, 并且阴极侧的压力升高, 则表明气体穿透膜。在第二步中, 如果阴极气体压力降低, 并且阳极气体压力升高, 则表明气体从相反方向穿透膜。如果任一侧的压力下降与另一侧不相关, 则发生了一端外漏。如果两边的压强均降低, 很可能发生了外部泄漏。

b) 程序 2:

向阳极和阴极均通入氮气, 设置背压为接近0 kPa(G), 然后关闭阳极和阴极气体的出口阀。首先, 向阳极和阴极侧同时加压至30 kPa(G)。关闭阳极和阴极气体的入口阀, 将气体密封在电池内。使电池在这种状态下保持10min, 并分别监测阳极和阴极的压强。记录电池的漏气量。

第二步, 向阳极侧加压至30 kPa(G), 同时阴极侧为0 kPa(G), 关闭阳极和阴极气体的入口阀, 将气体密封在电池内。使电池在这种状态下保持10min, 并分别监测阳极和阴极的压强。记录由阳极向阴极侧的气体穿透量。

第三步, 向阴极侧加压至30 kPa(G), 同时阳极侧为0 kPa(G), 关闭阳极和阴极气体的入口阀, 将气体密封在电池内。使电池在这种状态下保持10min, 并分别监测阳极和阴极的压强。记录由阴极向阳极侧的气体穿透量。在上述步骤中, 10min后阳极和阴极侧的压力下降均应小于5 kPa(G)。

如果电池在更高压力下运行, 试验压力大体上应相等。

附 录 D
(资料性附录)
初始活化

以下介绍四种有关初始活化规程的例子，作为替代MEA供应商的初始活化程序：

a) 程序 A:

- 1) 建立测试台以运行电池。
- 2) 用吹扫气体(如氮气)吹扫阳极和阴极。流量与其后试验中所用流量相同，吹扫直至电池彻底吹扫干净为止。
- 3) 采用电池加热器或者其他合适的加热方法加热电池至 80℃。通入完全润湿的氮气，流量与其后试验中所用流量相同。加热过程中，保持电池温度，进出口气体管路温度始终高于气体露点，避免系统中的水发生冷凝。
- 4) 待电池温度和气体湿度稳定后，按照合适的化学计量比通入完全润湿的反应气体，例如，当电流密度为 1000 mA/cm²时，通入化学计量比为 1.4 的氢气和化学计量比为 2.5 的空气。保持电池电压在 0.4 V 以上，逐渐增加电池负载直至电流密度达到 1000 mA/cm²，同时。
- 5) 保持电池负载(电流密度)在 1000 mA/cm²，按照化学计量比为 1.4 的氢气和 2.5 的空气，直至电池电压波动范围在小于 5 mV 的情况下持续时间超过 5h。满足了该判据则意味着电池初始活化完成。

b) 程序 B:

按照其后试验中采用的标准运行条件，向电池内通入纯氢气，使电池在开路电压下运行15min，然后在600 mV下运行75min，然后运行3个循环：保持在850 mV下运行20min；紧接着在600 mV下运行30min。整个初始活化时间接近4h。

c) 程序 C:

启动试验台运行电池。按其后试验中的标准运行条件设定。在恒定电压模式下，稳定在500 mV下5min，在气体恒定流量下运行I/V循环，从800 mV到300 mV每10s进行50 mV阶跃，从300到800 mV返回时采用相同的速度和时间阶跃。维持电池电压在500 mV下5min。运行该循环直至在5min内500 mV下电流密度变化低于±10 mA/cm²，其后的3个循环的电流密度波动低于±10 mA/cm²。

d) 程序 D:

按标准试验条件给定的运行温度和气体条件下以恒电流模式运行电池。保持电池电压高于500 mV，以每步100mA/cm²或者每秒不超过10mA/cm²的速率增加电流密度，直到达到初始活化的电流密度。电池初始活化电流密度要么达到选定条件下500 mV时的最大电流密度或者达到测试规定的目标电流密度。

活化过程应至少持续24h，在试验开始前的最后4h，电池的电压波动要小于+/-5 mV。

附 录 E
(资料性附录)
关机

下面介绍典型的关机规程：

- a) 按照极化曲线阶跃值的相反步骤降低电负载值(也就是，保持气体流量的同时降低电流密度从 i_{\max} 到 0)。关掉电负载。
- b) 用增湿的氮气以最低极化曲线负载时的流量吹扫阳极和阴极直到电池冷却到室温。冷却期间，确保电池温度和气体管道温度始终高于气体露点温度避免系统中的水冷凝。
- c) 当电池达到环境温度时，改用干燥的氮气吹扫阳极和阴极 5 min 至 10 min(这一步可选，取决于膜所需的最终保湿程度)。
- d) 断开电池，封闭阳极和阴极进出口。

附 录 F
(资料性附录)
再活化

下面介绍典型再活化的规程：

- a) 程序 A:
 - 1) 重复附件 D 程序 A 中的第 1 到第 5 步。对于第 5 步来说 1 h 应足够电池活化稳定。
 - 2) 执行规定的试验条件，保持该试验条件直至电池活化稳定。
- b) 程序 B:
 - 1) 向电池中通入完全增湿的气体 1h，其中氢气化学计量比为 1.4，氧化剂化学计量比为 2.5。加热电池到 80°C，工作电流为 400 mA/cm²。
 - 2) 在上述条件下运行电池 4h；当电压平衡时电池活化完毕。

附 录 G
(资料性附录)
I-V 特性试验

下列 I-V 特性试验中使用的典型的电流密度增量。

如果预期的最大电流密度已知(比如说, 制造商提供或者预先测量), 按照表G. 1. 选择电流增量阶。

表 G. 1 已知最大电流时电流密度的增量

步骤	预期最大电流密度的百分数
0	0 (OCV)
1	2 %
2	5 %
3	10 %
4	20 %
5	30 %
6	50 %
7	70 %
8	90 %
9	100 %

注: 如果进行Tafel斜率分析低电流部分可能需要更多点

如果最大电流密度未知, 利用表G. 2给定的电流密度增量。

表 G. 2 最大电流密度未知时电流密度的增量

步骤	电流密度 (mA/cm ²)
0	0 (OCV)
1	20
2	50
3	100
4	200
5	400
6	600
7	800
8	1000
9	1200
10	1400
11	1600

表 G.2 最大电流密度未知时电流密度的增量(续)

步骤	电流密度 (mA/cm ²)
12	1800
13	2000
注：当达到最大电流密度或者电池电压下降到低于0.3V或者制造商规定的最小电压值必须停止试验(为了避免对电池部件带来不可逆损坏)。	

附 录 H
(资料性附录)
启动/关机循环试验

典型的启动/关机循环工况和运行时间。

循环按以下工况进行：

- a) “off” 阶段=0 A/cm²15min;
- b) “on” 阶段=在 i_{st} A/cm²15min(i_{st} ：额定电流密度)。

建议逐步增加电流密度以避免电压下降过快。电流密度从0到 i_{st} 增加应分四步，每步10s增加 $i_{st}/4$ ：

- a) $\frac{1}{4} i_{st}$ A/cm² 持续 10s
- b) $\frac{1}{2} i_{st}$ A/cm² 持续 10s
- c) $\frac{3}{4} i_{st}$ A/cm² 持续 10s
- d) i_{st} A/cm² 持续 14min30s

此步的持续时间取决于试验的特定目的和相关的特定“终止”标准：设定寿命试验或者设定性能损失(考虑功率、负载电压或者开路电压)。

除不同可能的定义的终止标准外，如果电池电压降低于0.3 V或者制造商规定的最小值(为了避免电池部件发生不可逆损坏)，应停止试验(停掉气体、温度控制器和负载)。

附录 I
(资料性附录)
加载循环试验

典型的加载循环工况和试验时间如下。

建议使用两种电流密度工况使电池能在两种电流密度水平之间工作：一个工况更动态变化，持续1min，另外一个工况较稳定，持续1h。

开始循环试验前，为稳定操作条件，第一次大功率阶段时的电流密度设定为 $i_{100\%}$ （额定电流密度）。然后应按照图I.1和I.2中的两种电流密度工况中的一个运行加载循环。

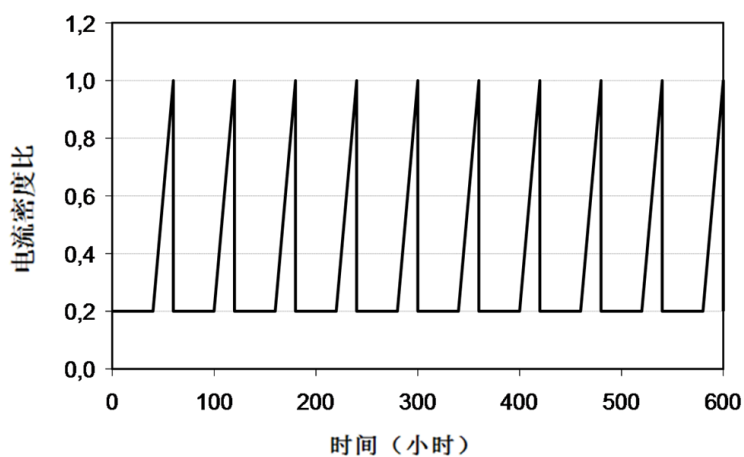


图 I.1 第一个负载循环工况

工况分为两部分：低电流密度区= $i_{20\%}$ A/cm² ($i_{20\%}$: 额定电流密度 $i_{100\%}$ 的20%)，40s；高电流密度区=电流从 $i_{20\%}$ 增长到 $i_{100\%}$ A/cm²，20s。

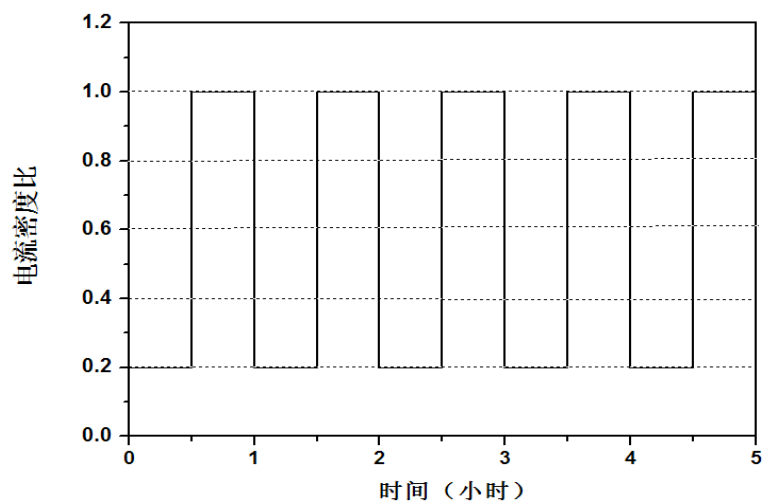


图 1.2 第二个负载循环工况

工况分为两部分：低电流密度区= $i_{20\%}$ A/cm² ($i_{20\%}$: 额定电流密度 $i_{100\%}$ 的20%), 0.5h; 高电流密度区= $i_{100\%}$ A/cm², 0.5h。

运行时间由运行条件和特定应用决定, 可设定在500h到10000h之间。

除了设定的运行时间, 试验也规定了其它具体的终止标准, 如设定可接受的性能损失(考虑在低功率、高功率或开路电压的功率或电压)。

除了特别定义的终止标准外, 如果电池电压降低到低于0.3 V或者制造商规定的最小值(为了避免电池部件发生不可逆损坏)的话试验应停止(停掉气体、温度和负载)。

附 录 J
(资料性附录)
试验报告

下面给出I-V特性试验的试验报告参考模板。斜体部分是给作者的说明，不应包含在试验报告中。

J.1 概要信息

J.1.1 试验报告的概要信息

试验报告单位（应用单位）	
试验报告题目	
作者	

J.1.2 有关试验的概要信息

试验序号		试验日期	
试验版本		执行试验的公司	
需要试验的公司		试验地点	
试验次数		试验电池/设备	

J.2 介绍

供作者参考：

- 实施过程和试验程序选择的解释
- 试验者和顾客之间约定的试验方案，可能包括验收标准，
- 试验报告或试验中用到的其它文件(专业术语文件，符号统一等)

J.3 试验目的和范围

试验目的是确定在规定运行条件下PEFC单电池的极化曲线。

测量电池性能从开路电压一直到最大电流密度，设定如下：

- 试验对象的特性*
- 考虑应用的技术规范*
- 测量方法*

试验目的的量化：

- 聚合物电解质燃料电池单电池的一般性能*
- PEFC 部件比如说 MEAs 和 MEAs 的各个部件和双极板的材料及其设计。*

本试验所考虑的运行条件：

- 科学领域目前通用的条件*

——所应用的条件

J.4 试验对象描述

电池制造商	
燃料电池技术	
电池模型	
产品或者试验对象	
产品编码	
试验对象识别号码	

燃料电池：单极板材料/技术	
燃料电池：流场设计	
燃料电池：有效面积	
密封件类型	
密封件厚度	
电池技术(集流体)	
电池紧固	
加热/冷却系统	
电池方位 ^(a)	
气体流向(并流，对流等)	
^(a) 注：如果需要增加图片有助于理解	

MEA 组装(是/否，3层，5层，7层)	
电极	
气体扩散层(厚度，类型)	
催化剂层(担量，组成)	
膜(厚度，类型)	

允许的最低电池电压值(V)	
阳极和阴极间允许的压差(kPa)	
制造商建议的空气计量比	

制造商提供的电池或者 MEA 补充说明或信息。

J.5 试验对象的状况

作者简单描述有关电池的试验历史包括所有的诊断试验，特别或者基本试验及其相应的顺序标识。

J.6 试验方案的描述

详细描述使用的试验设备和方案,包括传感器类型、位置以及特殊装置(比如说加热/冷却和增湿子系统),都应在试验报告中给出,有助于对试验结果的理解。

J.7 运行条件,输入和输出的描述

表格J.1至J.4列举了试验中所有的输入、输入值和试验中控制的运行条件,测量不确定度和抽样率。试验者将填写每个试验的输入值栏。

表 J.1 试验输入参数

输入	描述	单位	输入值	测量不确定度	抽样率 (Hz)	可控精确度
i	电流密度 (i = 实际电流 / 活性几何面积)	(A/cm ²)				
T_c	电池温度	(°C)				
X_{fuel}	燃料组分	%氢气; % 其他气体			-	
X_{ox}	氧化剂组分	空气或氧气; % 其它组分			-	
p_{Air}	氧化剂在电池进口或出口的背压 ^c	(kPa)				
p_{H2}	氢气在电池进口或出口的背压 ^c	(kPa)				
Q_{fuel}	燃料流量 ^a	最大 ($Q_{fuel,min}$, $Q_{\lambda fuel}$) 或 稳态值 (cm ³ /min)				
Q_{ox}	氧化剂流量 ^a	最大 ($Q_{ox,min}$, $Q_{\lambda ox}$) 或 稳态值 (cm ³ /min)				
$Q_{fuel,min}$	燃料最小流量	(cm ³ /min)				
$Q_{ox,min}$	氧化剂最小流量	(cm ³ /min)				
λ_{fuel}	燃料化学计量比	(无量纲)		-	-	
λ_{ox}	空气化学计量比	(无量纲)		-	-	
RH_{ox}	进气口氧化剂相对湿度 ^b	(%)				
RH_{fuel}	进气口燃料相对湿度 ^b	(%)				
T_{ox}	氧化剂露点	(°C)				
T_{fuel}	燃料露点	(°C)				
Tb_{ox}	氧化剂沸点	(°C)				
Tb_{fuel}	燃料沸点	(°C)				

Tl_{ox}	氧化剂管线温度	(°C)				
-----------	---------	------	--	--	--	--

表 J.1 试验输入参数 (续)

输入	描述	单位	输入值	测量不确定度	抽样率 (Hz)	可控精确度
Tl_{fuel}	燃料管线温度	(°C)				
Qw_{ox}	水流量 (氧化剂一侧)	最大 ($Qw_{fuel,min}$, $Qw_{\lambda fuel}$) (cm^3/min)				
Qw_{fuel}	水流量 (燃料一侧)	最大 ($Qw_{ox,min}$, $Qw_{\lambda ox}$) (cm^3/min)				
T_{amb}	环境温度	(°C)				
P_{amb}	环境压力	(kPa)				
RH_{amb}	环境相对湿度	(%)				
<p>a $Q_{\lambda fuel}$ 和 $Q_{\lambda ox}$ 分别是燃料和氧化剂化学计量比约束的体积流量。试验时实际的体积流量是化学计量比约束的流量, 除非该值小于最小流量: $Q_{fuel,min}$ 和 $Q_{ox,min}$。</p> <p>b 反应物增湿方法不在试验过程中。但是, 试验报告中应有相关输入(例如鼓泡增湿时水和管路的温度或喷水增湿时注入水的流量)-露点与气体的相对湿度有关, 也应在报告中给出(计算或在气体进口有湿度传感器时测量出)。</p> <p>c 请指出该报告中的可选项, 电池进出口压力是否控制在稳定值。</p>						

表 J.2 试验输出参数

输出	描述	单位	仪器不确定度	抽样率 (Hz)
V	电池电压	V		
P	电池功率密度	W/cm^2	计算结果	

J.8 试验过程和结果

J.8.1 启动和预活化步骤描述

——详细描述条件的设定

——测量(和这些步骤中的输入和输出有关的描述, 表格或者图表)

表 J.3 测量步骤前的功能性运行(启动和活化)

持续时间	电流密度 $A\ cm^{-2}$	平均电池电压超过最长时间 min(V)标准偏差($\pm V$)	平均电池功率密度(W/cm ²)

图表：应包含启动和活化时主要的输入和输出的时间，有助于对主要结果的理解。

对于极化曲线 i , V , T_c , p_{ox} , p_{fuel} , Q_{ox} , Q_{fuel} , $RH_{ox\ and\ fuel}$ (或者与相对湿度(RH)有关的输入)= f (时间); 利用平均值并标示出标准偏差。

J. 8. 2 测试步骤和结果的描述：

——如果在活化步骤后，设定 OCV 条件前，需要增加一步，要设定试验条件(初始试验输入)。

——测试步骤终止的原因

——测量(测试期间用描述、表格或者图表给出输入和输出)(比如说：停顿时间、电流密度、为极化曲线用的电压和功率的表格)。

表 J. 4 极化步骤中的功能性运行*

停顿时间 (min)	电流密度 (A/cm^2)	电池平均电压 (V) ($\pm 2^a$ 标准偏差, V)	电池平均功率 (W/cm ²) ($\pm 2^a$ 标准偏差, W/cm ²)

^a 注 建议估计出全部测量不确定度。参考ISO/IEC GUM指导推测不确定度。

图表：

——应包含测试阶段主要试验输入和输出对应的时间，有助于对主要结果的理解。

对于极化曲线： i , V , T_c , p_{ox} , p_{fuel} , Q_{ox} , Q_{fuel} , $RH_{ox\ and\ fuel}$ (或者与RH有关的输入)= f (时间)。

——主要结果=主要输出与主要输入对比

对于极化曲线： V (V) 和 P (W/cm²) = f (i (A/cm²))

J. 8. 3 关机描述

J. 8. 4 操作步骤引起的偏差

J. 9 数据后处理

相关试验过程中需特别说明的。

对于极化曲线，与表格和图表所描述可能有出入(图表和表格包含了不同的电压值和计算得到的功率密度值)。

J. 10 结论和验收标准

试验结果评价应考虑试验目的和定义的验收标准。

参 考 文 献

- [1] FCTESTNET Fuel Cells Glossary, EUR22295 EN (June 2006)
- [2] IEC60051-1, Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 1: Definitions and general requirements common to all parts
- [3] IEC60051-2, Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories. Part 2: Special requirements for ammeters and voltmeters
- [4] IEC60688, Electrical measuring transducers for converting a. c. electrical quantities to analogue or digital signals
- [5] ISO5167-1, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full -- Part 1: General principles and requirements
- [6] ISO5167-2, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full -- Part 2: Orifice plates
- [7] ISO5167-3, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full -- Part 3: Nozzles and Venturi nozzles
- [8] ISO5167-4, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full -- Part 4: Venturi tubes
- [9] ISO4677-1, Atmospheres for conditioning and testing -- Determination of relative humidity -- Part 1: Aspirated psychrometer method
- [10] ISO4677-2, Atmospheres for conditioning and testing -- Determination of relative humidity -- Part 2: Whirling psychrometer method
- [11] USFCC 05-014B, Single Cell Test Protocol, May 1, 2006
- [12] USFCC 04-003, Protocol on Fuel Cell Component Testing --Primer for Generating Test Plans
- [13] USFCC 04-007, Protocol on Fuel Cell Component Testing
- [14] USFCC 04-011, Fuel Cell Test Station Requirements and Verification Procedure
- [15] USFCC 05-002, Protocol on Fuel Cell Component Testing: Suggested Test Plan
- [16] ISO/TR 15916, Basic considerations for the safety of hydrogen systems (2004)
- [17] ISO 14121, Safety of machinery: Principles of risk assessment (1991)
- [18] IEC 61882, Hazards and operability studies (HAZOP): Application Guide (2001)
- [19] FCTESTNET, PEFC, Test procedures, DRAFT Version1.0, June, 2006
- [20] JARI Standard Single Cell Testing Protocol, JARI Research Journal, Vol.28, No.7, p247-252, 2006
- [21] Fuel Cell Handbook (7th Ed.), EG&G Technical Services, US DOE Report, 2004
- [22] ISO, 1993, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement," BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, International Organization for Standardization, Env 13005: 1999. 1ed., corrected and reprinted 1995.
- [23] Taylor, B. N., and Kuyatt, C. E., 1994, "Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results," National Institute of Standards and Technology, NIST Technical Note 1297.

