



中华人民共和国国家标准

GB/T 45541—2025

PEM 电解槽性能测试方法

Testing method for proton exchange membrane electrolyzer performance

2025-03-28 发布

2025-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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 基本检查 1

5 基础测试 2

 5.1 强度测试 2

 5.2 气密性测试 2

 5.3 泄漏率测试 3

 5.4 内审测试 3

 5.5 通电测试 4

 5.6 温度测试 4

6 性能测试 4

 6.1 测试条件 4

 6.2 测试仪器 5

 6.3 产氢流量 5

 6.4 氢中氧/氧中氢 6

 6.5 产气纯度 6

 6.6 产氢压力 7

 6.7 电流与电压 7

 6.8 电解槽额定输入功率 8

 6.9 直流电耗 8

 6.10 功率调节范围 8

 6.11 变载速率 9

 6.12 冷启动时间和热启动时间 9

 6.13 衰减率 10

 6.14 压力/压差 11

 6.15 单电解池 11

7 测试报告 11

附录 A (资料性) 窜气速度计算公式 12

附录 B (资料性) 电流-电压测试数据记录表 13

附录 C (资料性) 测试用单电解池 14

 C.1 单电解池结构和流场 14

 C.2 单电解池电流-电压试验 15

附录 D (资料性) 测试报告模板 16

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。

本文件由全国氢能标准化技术委员会(SAC/TC 309)提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院大连化学物理研究所、中国标准化研究院、中石化石油化工科学研究院有限公司、中船(邯郸)派瑞氢能科技有限公司、中国华电科工集团有限公司、国家电投集团科学技术研究院有限公司、国家电投集团氢能科技发展有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、天津市大陆制氢设备有限公司、同济大学、科威尔技术股份有限公司、山东赛克赛斯氢能源有限公司、上海氢器时代科技有限公司、国能氢创科技(北京)有限责任公司、清华四川能源互联网研究院、北京低碳清洁能源研究院、嘉庚创新实验室、浙江大学。

本文件主要起草人：俞红梅、杨燕梅、许卫、张存满、修凯、迟军、胡小夫、李汶颖、梅武、刘伟、阚宏伟、万年坊、王昕、于平、刘敏、韩坤坤、何广利、任航星、孙流莉、刘聪敏、周鲁立、陶华冰、李家欣、李洋、金黎明、马猛、张嘉航。



PEM 电解槽性能测试方法

警示：试验时要对试验用介质、试验系统、试验环境的安全性以及试验操作人员的安全防护进行评估。本文件不涉及所有可能的安全问题，使用者有责任采取适当的安全、健康保护措施，并保证符合国家有关法律法规规定的条件。

1 范围

本文件描述了质子交换膜电解槽(以下简称“PEM 电解槽”)的基本检查、基础测试、性能测试方法，规定了测试报告的要求。

本文件适用于额定产氢压力小于或等于 10 MPa，单槽额定产氢量 1 m³/h~500 m³/h 的 PEM 电解槽的检验检测。额定产氢压力大于 10 MPa 的 PEM 电解槽、额定产氢量小于 1 m³/h 或者大于 500 m³/h 的 PEM 电解槽参照执行。

注：除特别说明外，压力均指表压力。本文件中标准状态为温度 0 ℃，压力 101.325 kPa(绝对压力)，本文件中氢气和氧气的体积指标准状态下的体积。

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 8979 纯氮、高纯氮和超纯氮
- GB/T 24499 氢气、氢能与氢能系统术语
- GB/T 37562 压力型水电解制氢系统技术条件
- GB/T 45539 PEM 电解槽技术要求

3 术语和定义



GB/T 24499 和 GB/T 45539 界定的术语和定义适用于本文件。

4 基本检查

- 4.1 检查 PEM 电解槽产品说明书。
- 4.2 采用目视法检查 PEM 电解槽的外观结构是否完好，有无损坏、划伤等缺陷。
- 4.3 采用目视法检查 PEM 电解槽标签是否粘贴在设计位置，标签的内容是否完整清晰。
- 4.4 应对 PEM 电解槽进行极性检查。对接线端子和电气连接进行检验，确认是否符合要求。在进行正常运行试验时，用电压表检查 PEM 电解槽接线端子极性。
- 4.5 PEM 电解槽如有巡检线应进行检查，避免短路、断路等现象。
- 4.6 PEM 电解槽设置的气、水管路接口以及电气接口应符合说明书要求，满足安装运行与检修维护的需要。

4.7 PEM 电解槽在测试前应进行接地检查。

5 基础测试

5.1 强度测试

5.1.1 原则

PEM 电解槽强度试验一般采用水压试验,水压试验的试验压力为设计压力的 1.25 倍。对于不宜进行水压试验的 PEM 电解槽,可采用气压强度试验,气压试验的试验压力为设计压力的 1.1 倍。强度试验依据安全生产管理规定制定安全措施,设置安全防护及监控装置,并做好全过程的安全监督与管理。

5.1.2 水压试验

水压试验应采用去离子水,去离子水电导率应小于或等于 0.1 mS/m,水质应符合 GB/T 37562 的要求。水压试验步骤如下:

- a) 将 PEM 电解槽阳极腔、阴极腔的出气口连通并安装压力传感器或压力表等其他压力监测装置,封闭电解槽其他进出口;试验过程中,应保持 PEM 电解槽表面干燥;
- b) 向阳极腔和阴极腔通入去离子水,缓慢升压至设计压力,确认无泄漏后,继续升压至规定的试验压力,保压 30 min,期间压力应保持不变;
- c) 观察电解槽有无渗漏,有无可见的变形和异常声响。

5.1.3 气压试验

气压试验采用高纯氮气,高纯氮气应符合 GB/T 8979 中的有关规定。气压试验步骤如下:

- a) 将 PEM 电解槽阳极腔、阴极腔的出气口连通并安装压力传感器或压力表或其他压力监测装置,封闭 PEM 电解槽其他进出口;
- b) 向阳极腔和阴极腔通入高纯氮气,缓慢升压至规定试验压力的 10%,保压 5 min,应采用涂刷检漏液(或其他检漏工具)的方法对所有接头和连接部件及 PEM 电解槽进行初次检查;确认无泄漏后,再继续升压至规定试验压力的 50%;如无异常现象,其后按规定试验压力的 10%逐级升压,直到试验压力,保压 10 min;然后降至设计压力,保压足够时间进行检查,检查期间压力应保持不变;
- c) 观察 PEM 电解槽无异常声响,使用专用检漏液检查有无气泡产生,有无可见的变形。

5.2 气密性测试

氢侧的测试气体为氢气、氮气、氢氮混合气或氮氮混合气的其中之一。氧侧的测试气体为氮气或者氮气。气密性测试步骤如下:

- a) 按照图 1 连接测试装置;
- b) 将 PEM 电解槽阳极腔(氧侧)、阴极腔(氢侧)的出气口连通,封闭 PEM 电解槽其他进出口;
- c) 向阳极腔(氧侧)和阴极腔(氢侧)通入测试气体,逐渐升压至设计压力。在设计压力下,保持 10 min,采用专用检漏液巡回检查所有阀门、法兰或螺纹连接处、焊缝、垫片等密封点,无漏气。不应有可测量的压力降,在测定压力降时考虑温度补偿。

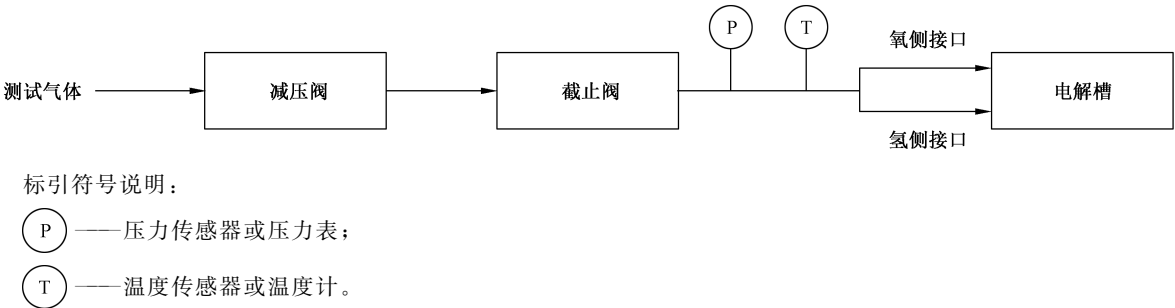


图 1 气密性测试装置连接示意图

5.3 泄漏率测试

泄漏率测试步骤如下：

- a) PEM 电解槽在气密性试验合格后，采用气密性测试气体进行泄漏率试验；
- b) 升压至设计压力，达到规定压力后，记录压力、温度；
- c) 保持在设计压力 4 h 以上，记录结束时的系统压力、温度；
- d) 阳极腔、阴极腔泄漏率按式(1)计算。

$$q = \frac{100}{t} \times \left(1 - \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

q ——泄漏率，单位为百分比每小时（%/h）；

t ——试验时间，单位为小时（h）；

T_1 ——试验开始气体温度，单位为开尔文（K）；

T_2 ——试验结束气体温度，单位为开尔文（K）；

p_1 ——试验开始 PEM 电解槽绝对压力，单位为兆帕（MPa）；

p_2 ——试验结束 PEM 电解槽绝对压力，单位为兆帕（MPa）。

5.4 内窜测试

PEM 电解槽气密性试验合格后，以高纯氮气或氢气为测试气体进行内窜试验。等压结构 PEM 电解槽在 0.2 MPa 差压下保持 5 min，差压结构 PEM 电解槽在最大允许工作差压下保持至少 5 min。内窜速率应满足制造商在技术文件中的要求。内窜测试步骤如下：

- a) 按图 2 连接内窜测试装置，在阴极腔（氢侧）的进口连接压力传感器，在阳极腔（氧侧）的出气口连接气体流量计，将 PEM 电解槽其他腔体进出口全部封住；
- b) 在氢侧的进口通入测试气体，缓慢调整压力至试验压力，期间保持 PEM 电解槽质子交换膜两侧压力符合测试要求；
- c) 测试过程中氢侧压力应稳定不变，保持 5 min 后，在流量计上读取并记录氢侧向氧侧的测试气体内窜流量 L 。

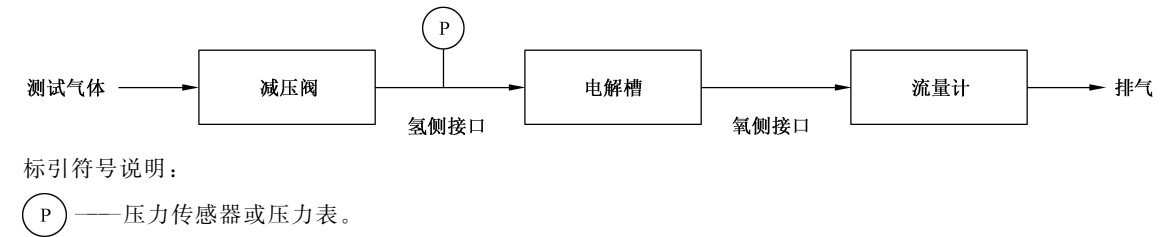


图 2 内窜测试装置连接示意图

窜气速度计算方法见附录 A。

5.5 通电测试

PEM 电解槽气密性、泄漏率和内窜测试合格后,进行通电测试。试验步骤如下:

- a) 在测试系统上连接 PEM 电解槽水、气管路以及供电电缆等;
- b) 启动循环水泵,观察 PEM 电解槽出口处温度传感器,待 PEM 电解槽出口水温达到设定温度,出水的水质满足要求后;
- c) 启动测试程序,加载电流不应低于 10% 的额定电流;
- d) 调节 PEM 电解槽产气压力至设定值,待运行稳定后,检测电解槽运行参数。

5.6 温度测试

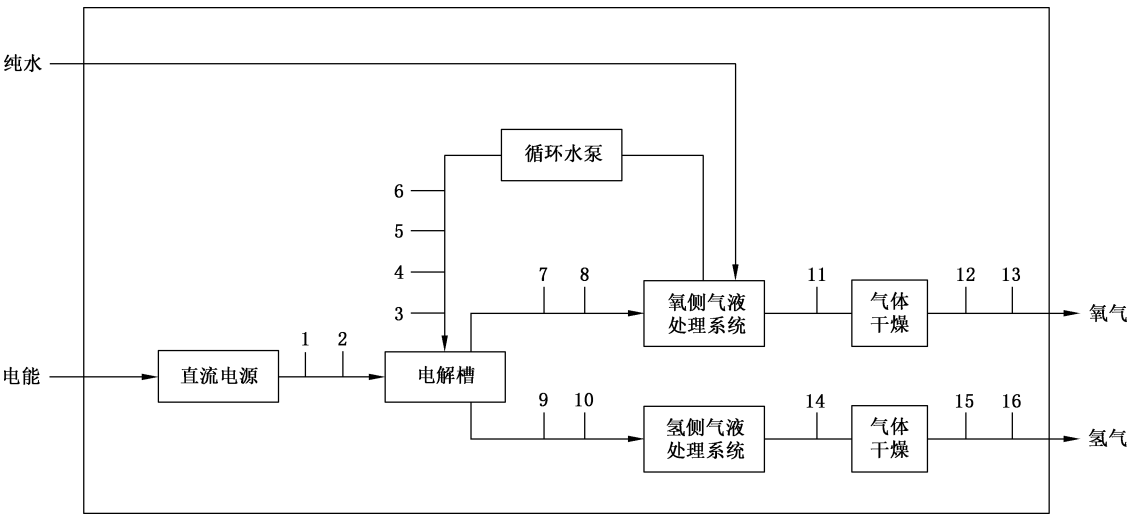
PEM 电解槽进、出口处设置温度传感器,测试并记录 PEM 电解槽进、出口介质温度。

6 性能测试

6.1 测试条件

6.1.1 测试系统应具备为 PEM 电解槽提供水、电、气管理的功能,宜配备温度传感器、压力传感器、电流传感器、电压传感器、电压巡检仪、液体流量计、气体流量计、氢中氧分析仪、氧中氢分析仪、氢气质量流量计、电导率测试仪等传感器。测试系统流程示意图见图 3。

6.1.2 工作环境温度宜为 5℃~45℃,相对湿度宜小于或等于 75%。



标引序号说明:

- | | |
|-------------|-------------------------------|
| 1——输入电流; | 9——氢侧出口温度; |
| 2——输入电压; | 10——氢侧出口压力; |
| 3——氧侧进口温度; | 11——氧气分离器出口压力; |
| 4——氧侧进口压力; | 12——氧中氢分析仪,检测点位置或尽量靠近电解槽氧侧出口; |
| 5——氧侧进水电导率; | 13——氧气流量计,可按需选配; |
| 6——氧侧进水流量; | 14——氢气分离器出口压力; |
| 7——氧侧出口温度; | 15——氢中氧分析仪,检测点位置或尽量靠近电解槽氢侧出口; |
| 8——氧侧出口压力; | 16——氢气流量计。 |

注: 氧侧气液处理系统一般包含气液分离器、换热器、去离子器以及压力控制单元; 氢侧气液处理系统一般包含气液分离器和压力控制单元,以及必要的保证氢气流量准确测量的气体处理单元,不含气体纯化功能。

图 3 PEM 电解槽测试系统流程示意图

6.1.3 将 PEM 电解槽连接至测试系统,处于待机状态。启动测试系统的供水水泵,供水流量应符合制造商规定要求。

6.1.4 测试过程中,气体纯度不应超过停机保护阈值。

6.2 测试仪器

测试仪器仪表应符合表 1 的规定。

表 1 测试仪器仪表准确度要求

序号	设备名称	计量单位	最大允许误差
1	温度计	℃	±1.0
2	温度传感器	℃	±0.5
3	压力表	MPa	±1.0% FS
4	压力传感器	MPa	±0.5% FS
5	电流传感器	A	±1.0% FS
6	电压传感器	V	±0.5% FS
7	电压巡检仪	mV	±2.0 mV
8	液体流量计	m³/h	±5.0% FS
9	气体流量计	m³/h	±1.0% FS
10	绝缘电阻测量仪	MΩ	±0.01
11	接地电阻测量仪	Ω	±2% FS
12	氢中氧分析仪	—	±5.0%FS
13	氧中氢分析仪	—	±2.0% FS
14	氢气质量流量计	m³/h	±1.5% FS
15	电导率测试仪	μS/cm	±2.0% FS
16	计时器	ms	±1.0

6.3 产氢流量

6.3.1 容积法

容积法测试产氢流量应对试验用介质、试验系统、试验环境的安全性以及试验操作人员的安全防护进行评估,并按照有关要求设置安全防护措施。容积法测试示意图见图 4。

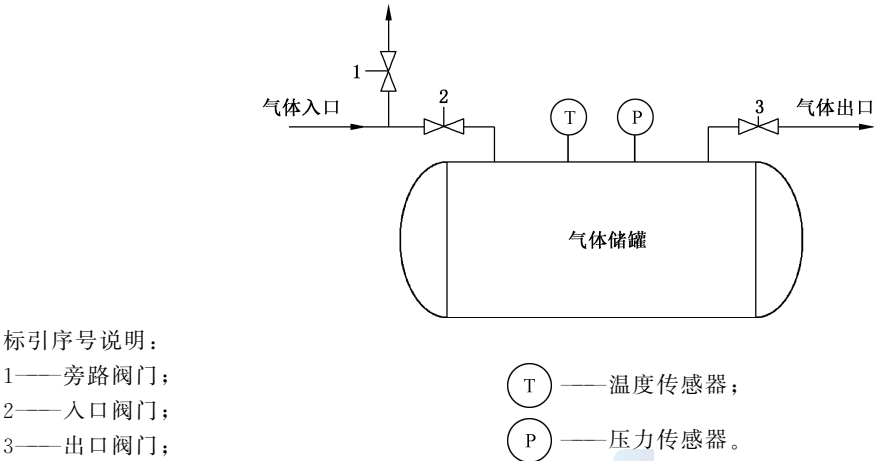


图 4 容积法测试示意图

产氢流量测试步骤如下：

- a) 测试前应对气体储罐的容积 V 进行测量,可根据设计图纸进行体积尺寸计算,或采用注水法直接测量储罐的水容积；
- b) PEM 电解槽在设定工况下运行；
- c) 记录试验开始时刻 t_{ts} 、此时的储罐内气体压力 p_{ts} 和容器内平均温度 T_{ts} ,然后打开气体储罐入口阀门,关闭旁路阀门和出口阀门,开始进行气体充灌；
- d) 经过一定时间(具体时间与储罐体积相关,根据现场实际情况确定)的气体充灌后,关闭气体储罐入口阀门,打开旁路阀门,将系统所产氢气引入其他旁路,记录试验结束时刻 t_{te} ；
- e) 静置一段时间(具体静置时间与试验环境条件和储罐体积相关,根据现场实际情况确定),待储罐内部温度均匀后记录储罐内气体压力 p_{te} 和容器内平均温度 T_{te} 。

产氢流量按式(2)计算：

$$Q = \frac{T_0 V}{p_0 (t_{te} - t_{ts})} \left(\frac{p_{te}}{T_{te}} - \frac{p_{ts}}{T_{ts}} \right) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- Q ——产氢流量,单位为立方米每小时(m^3/h)；
- V ——气体储罐的水容积,单位为立方米(m^3)；
- T_0 ——标准状态下的气体温度,单位为开尔文(K)；
- T_{ts} ——试验开始时刻的储罐的平均气体温度,单位为开尔文(K)；
- T_{te} ——试验结束静置后的储罐的平均气体温度,单位为开尔文(K)；
- p_0 ——标准状态下的气体压力,单位为帕(Pa)；
- p_{ts} ——试验开始时刻的储罐的气体压力,单位为帕(Pa)；
- p_{te} ——试验结束静置后的储罐的气体压力,单位为帕(Pa)；
- t_{ts} ——试验开始时刻；
- t_{te} ——试验结束时刻。

注：测试时间以小时(h)为单位计,即 $\Delta t = t_{te} - t_{ts}$ 的单位为小时(h)。

6.3.2 流量计法

采用流量计法测量产氢流量时,氢气应经过干燥、冷却或纯化。现场气体成分和安装条件应满足流量计使用要求。产氢流量按式(3)计算：

$$Q = \frac{Q_{pe} - Q_{ps}}{t} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- Q ——产氢流量,单位为立方米每小时(m^3/h)；
- Q_{pe} ——试验结束时刻的氢气累积体积,单位为立方米(m^3)；
- Q_{ps} ——试验开始时刻的氢气累积体积,单位为立方米(m^3)；
- t ——试验时间,单位为小时(h)。

6.4 氢中氧/氧中氢

PEM 电解槽运行时,采用氧中氢分析仪、氢中氧分析仪分别测量和记录氧中氢、氢中氧的含量。

6.5 产气纯度

6.5.1 产氢纯度

PEM 电解槽运行过程中,测试氢中氧浓度,产氢纯度按式(4)计算：

$$c_{H_2} = 100\% - c_{O_2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：
 c_{H_2} —— 氢气纯度，%；
 c_{O_2} —— 仪表显示氧含量值，%。
注：产氢纯度以干基计。

6.5.2 产氧纯度

PEM 电解槽运行过程中，测试氧中氢浓度，产氧纯度按式(5)计算：

$$c_{O_2} = 100\% - c_{H_2} \dots\dots\dots (5)$$

式中：
 c_{O_2} —— 氧气纯度，%；
 c_{H_2} —— 仪表显示氢含量值，%。
注：产氧纯度以干基计。

6.6 产氢压力

PEM 电解槽在额定工况下稳定运行至少 15 min，记录 PEM 电解槽氢侧出口压力。

6.7 电流与电压

6.7.1 试验步骤



- 电流和电压测试步骤如下：
- a) 加载电流，调整 PEM 电解槽温度、压力至设定工况；温度和压力同时稳定，PEM 电解槽温度偏差宜不超过±2℃，压力偏差宜不超过±5%的产氢压力，稳定时间宜大于或等于 5 min；
 - b) 在 PEM 电解槽的阳极、阴极集流板处，采用直流电压表检测电解槽总直流电压；
 - c) 采用单池电压巡检仪或电压传感器测量单电解池电压；
 - d) 采用电流传感器测量电流值，或采用钳流表测量单根直流供电电缆，将线缆电流值加和获得总电流。
- 电流-电压曲线测试记录表见附录 B。

6.7.2 数据处理

6.7.2.1 电流密度

电流密度按式(6)计算：

$$J = \frac{I_{test}}{A} \dots\dots\dots (6)$$

式中：
 J —— 电流密度，单位为安培每平方厘米(A/cm²)；
 I_{test} —— 试验测量的电流平均值，单位为安培(A)；
 A —— 单片电极活性面积，单位为平方厘米(cm²)。
注：电极活性面积由制造商提供。

6.7.2.2 电解槽平均单池电压

PEM 电解槽平均单池电压按式(7)计算：

$$\overline{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$\bar{U}$ ——平均单池电压,单位为伏特(V);

U_i ——第 i 节单池电压,单位为伏特(V);

n ——PEM 电解槽单池节数。

6.7.2.3 单电解池电压极差

单电解池电压极差按式(8)计算:

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

ΔU ——单电解池电压极差,单位为伏特(V);

$U_{\max}$ ——单电解池电压最大值,单位为伏特(V);

$U_{\min}$ ——单电解池电压最小值,单位为伏特(V)。

6.8 电解槽额定输入功率

PEM 电解槽在额定工况下稳定运行,采用电流传感器测量电解槽的总电流 I_0 ,采用电压传感器测量电解槽阳极、阴极端板间总电压 U_0 。PEM 电解槽额定输入功率按式(9)计算:

$$P_0 = U_0 \times I_0 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

P_0 ——PEM 电解槽额定输入功率,单位为千瓦(kW);

U_0 ——PEM 电解槽总电压,单位为伏特(V);

I_0 ——PEM 电解槽额定电流,单位为安培(A)。

6.9 直流电耗

PEM 电解槽在设定工况下稳定运行,采用电流传感器测量电解槽的总电流 I_0 ,采用电压传感器测量电解槽阳极、阴极端板间总电压 U_0 。按照 6.7.2.1 计算该工况的电流密度;按照 6.3 规定的方法,测量该电流密度下的产氢流量 Q 。该电流密度下,PEM 电解槽的直流电耗按式(10)计算:

$$W_{H_2} = \frac{I_0 U_0 t}{Q \times 10^3} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

W_{H_2} ——单位制氢直流电耗,单位为千瓦时每立方米[(kW·h)/m³];

I_0 ——PEM 电解槽的总直流电流,单位为安培(A);

U_0 ——PEM 电解槽的总直流电压,单位为伏特(V);

t ——测试时间,单位为小时(h);

Q ——测试期间氢气产量,单位为立方米每小时(m³/h)。

注:测试报告同时给出电流密度和直流电耗。

6.10 功率调节范围

6.10.1 试验步骤

在测试系统上运行 PEM 电解槽,将 PEM 电解槽分别设定在最低电流、额定电流和最高电流下运行,分别记录 PEM 电解槽电压值。最高电流、最低电流对应的 PEM 电解槽输入功率与额定功率的比值为 PEM 电解槽输入功率允许调节范围的上下限。最低电流和最高电流由制造商提供。测试步骤如下:

- a) 试验开始,将 PEM 电解槽调整到待测试状态;
- b) 开始启动操作,在制造商推荐的条件下,加载至最低电流值 I_1 ,PEM 电解槽运行稳定后,记录电解槽总电压 U_1 ;
- c) 在制造商推荐的条件下,加载电流至额定电流值 I_0 ,PEM 电解槽运行稳定后,记录电解槽总电压 U_0 ;
- d) 在制造商推荐的条件下,加载电流至最高电流值 I_2 ,PEM 电解槽运行稳定后,记录电解槽总电压 U_2 。

注:电解槽运行稳定后,继续运行不低于 30 min。

6.10.2 数据处理

按照式(11)计算 PEM 电解槽的功率调节范围:

$$\Delta P = \left[\frac{P_{\min}}{P_0} \times 100\%, \frac{P_{\max}}{P_0} \times 100\% \right] \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- ΔP ——PEM 电解槽功率调节范围,%;
- $P_{\min}$ ——PEM 电解槽的最小功率输入,单位为千瓦(kW);
- $P_{\max}$ ——PEM 电解槽的最大功率输入,单位为千瓦(kW);
- P_0 ——PEM 电解槽额定功率输入,单位为千瓦(kW)。

6.11 变载速率

调整测试系统参数至变载起始状态,以 PEM 电解槽额定电流密度的百分比作为步长,改变 PEM 电解槽的加载电流至目标电流密度。期间,采用电流传感器、电压传感器测量 PEM 电解槽的电流和电压。测试过程中,PEM 电解槽最高单池电压不应超过报警值。PEM 电解槽变载速率按式(12)计算:

$$v = \frac{\Delta J}{J_0 \times t} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中:

- v ——PEM 电解槽最大变载调节速度,单位为百分比每秒(%/s);
- ΔJ ——PEM 电解槽电流密度变化值,单位为安培每平方厘米(A/cm²);
- J_0 ——PEM 电解槽额定运行电流密度,单位为安培每平方厘米(A/cm²);
- t ——PEM 电流变化所用时间,单位为秒(s)。

6.12 冷启动时间和热启动时间

6.12.1 冷启动试验



冷启动试验步骤如下:

- a) 试验开始前,测试系统在冷待机状态下保持 2 h 以上,该状态下 PEM 电解槽入口的循环水温度与环境温度的偏差应在±2℃以内;
- b) 试验开始前,测试系统应完成控制、安全相关辅助设施的启动以及吹扫、置换操作,循环泵处于运行状态;
- c) 启动测试系统,记录发出启动指令时刻为冷启动开始时刻 t_{s1} ,并以此时的 PEM 电解槽入口的循环水温度为冷启动温度;
- d) 启动过程按照制造商提供的启动程序进行;
- e) 试验过程中,根据需要以适当的时间间隔(例如:1 s)测量 PEM 电解槽的电流、电压以及氧中氢浓度、氢中氧浓度;

- f) 记录 PEM 电解槽输入电流首次达到额定电流的时刻 t_{s2} ;
- g) 记录 PEM 电解槽的运行温度、运行压力和电流同时达到额定温度、额定压力和额定电流的时刻 t_{s3} ;
- h) 氧中氢浓度和氢中氧浓度首次同时合格的时刻为 t_{s4} , 氧中氢浓度和氢中氧浓度首次同时稳定在气体纯度合格范围内至少 5 min 后, 记录 t_{s4} 。

6.12.2 热启动试验

热启动试验步骤如下:

- a) 试验开始前, 测试系统应在热待机状态下保持至少 15 min, 纯水循环泵处于运行状态;
- b) 启动测试系统, 记录发出启动指令时刻为热启动开始时刻 t_{s1} , 并以此时的 PEM 电解槽入口循环水温度为热启动温度;
- c) 试验过程中, 根据需要以适当的时间间隔(例如: 1 s)测量电解槽的电流、电压以及氧中氢浓度、氢中氧浓度;
- d) 启动过程按照制造商提供的启动程序进行;
- e) 记录 PEM 电解槽输入电流首次达到额定电流的时刻 t_{s2} ;
- f) 记录 PEM 电解槽的工作温度、工作压力和电流同时达到额定温度、额定压力和额定电流的时刻 t_{s3} ;
- g) 氧中氢浓度和氢中氧浓度首次同时合格的时刻为 t_{s4} , 氧中氢浓度和氢中氧浓度首次同时稳定在气体纯度合格范围内至少 5 min 后, 记录 t_{s4} 。

6.12.3 数据处理

6.12.3.1 冷/热启动至额定电流时间

冷/热启动至额定电流时间按式(13)计算:

$$\Delta t_s = t_{s2} - t_{s1} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

- Δt_s —— 启动时间, 单位为秒(s);
- t_{s1} —— 启动开始时刻, 单位为秒(s);
- t_{s2} —— 启动后 PEM 电解槽首次达到额定电流的时刻, 单位为秒(s)。

6.12.3.2 冷/热启动至气体纯度合格时间

冷/热启动至气体纯度合格时间按式(14)计算:

$$\Delta t_s = t_{s4} - t_{s1} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- Δt_s —— 启动时间, 单位为秒(s);
- t_{s1} —— 启动开始时刻, 单位为秒(s);
- t_{s4} —— 启动后氧中氢和氢中氧浓度首次同时达到合格气体组分范围的时刻, 单位为秒(s)。

6.13 衰减率

6.13.1 试验步骤

在额定测试工况下, PEM 电解槽运行一段时间, 记录 PEM 电解槽初始电解电压 U_s 及结束测试时的电解电压 U_e 和测试时长 t 进行记录, 计算出 PEM 电解槽平均单池电压衰减率 δU 。

6.13.2 数据处理

平均单池电压衰减率按式(15)计算：

$$\delta U = 10^6 \times \frac{U_e - U_s}{n \times t}$$

.....(15)

式中：

- δU ——平均单池电压衰减率,单位为微伏特每小时($\mu V/h$)；
- U_s ——PEM 电解槽初始测试时电解电压,单位为伏特(V)；
- U_e ——PEM 电解槽结束测试时电解电压,单位为伏特(V)；
- n ——PEM 电解槽单池节数；
- t ——测试时间,单位为小时(h)。

6.14 压力/压差

PEM 电解槽在设定工况下稳定运行,测量 PEM 电解槽氢氧两侧压力,计算得到氢侧与氧侧的压差。

6.15 单电解池

PEM 电解槽材料和零部件可采用单电解池测试,见附录 C。

7 测试报告

报告应至少包含以下内容：

- a) 试验日期；
- b) 试验对象；
- c) 所使用的标准；
- d) 试验条件；
- e) 测试方法；
- f) 试验输入参数；
- g) 试验输出参数以及异常现象。

测试报告模板见附录 D。

附 录 A
(资料性)
窜气速度计算公式

窜气速度 X 按式(A.1)计算:

$$X = \frac{2 \times R \times L}{n \times A \times t} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- X —— 氢侧向氧侧的窜气速度,单位为毫升每平方厘米分[mL/(cm² · min)];
- R —— 修正系数,取 3.74;
- L —— 氢侧向氧侧的氮气窜气流量,单位为毫升(mL);
- n —— 单电解池节数;
- A —— 单电极活性面积,单位为平方厘米(cm²);
- t —— 内窜流量测试时间,单位为分(min)。



附 录 B
(资料性)
电流-电压测试数据记录表

根据标称最小电流和标称最大电流合理确定工作电流测试步长。电流-电压测试记录表见表 B.1 或表 B.2。

表 B.1 电流密度-电压测试记录表

序号	设定电流/A	总电压/V	单池电压/V	实测电流/A	电解槽出口温度/℃	产氢压力/MPa
1	标称最小电流					
2	10%额定电流					
3	25%额定电流					
4	50%额定电流					
5	75%额定电流					
6	100%额定电流					
7						
8	标称最大电流					

表 B.2 电流密度-电压测试记录表

序号	设定电流/A	总电压/V	单池电压/V	实测电流/A	电解槽出口温度/℃	产氢压力/MPa
1	标称最大电流					
2						
3	100%额定电流					
4	75%额定电流					
5	50%额定电流					
6	25%额定电流					
7	10%额定电流					
8	标称最小电流					

附 录 C
(资料性)
测试用单电解池

C.1 单电解池结构和流场

单电解池结构示意图见图 C.1,单电解池流场示意图见图 C.2。

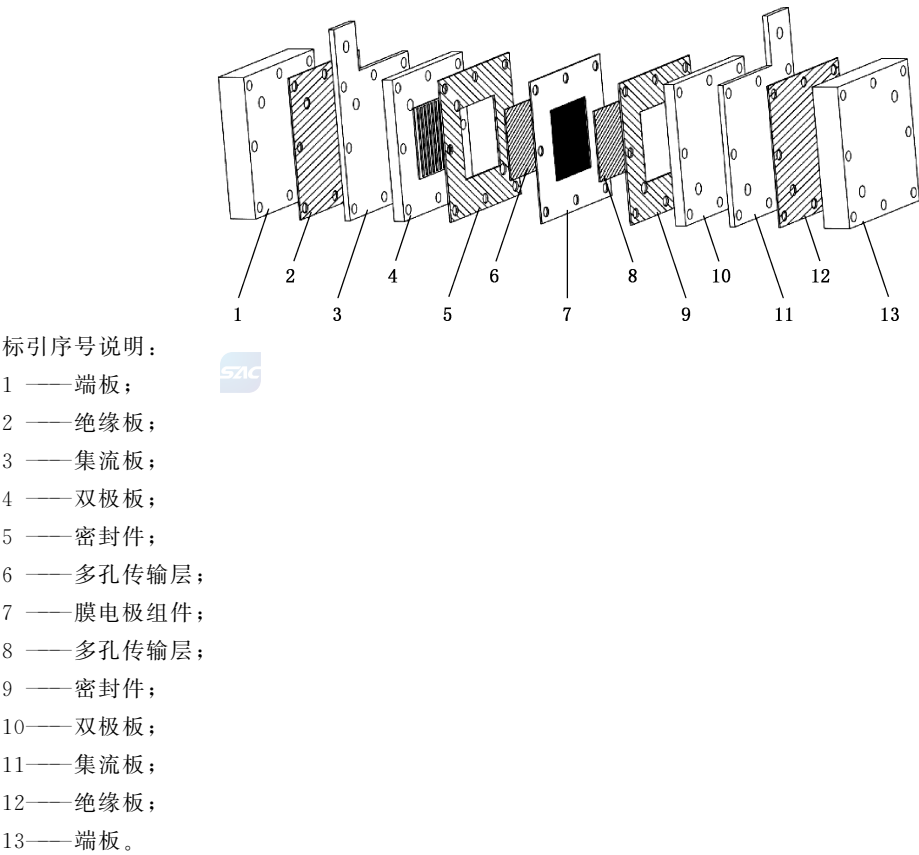


图 C.1 单电解池结构示意图

单位为毫米

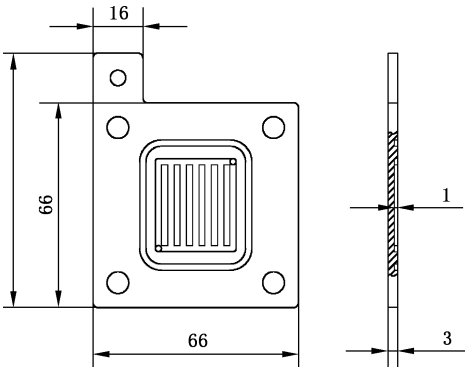


图 C.2 单电解池流场示意图

C.2 单电解池电流-电压试验

单电解池电流-电压试验步骤如下：

- a) 将单电解池安装到电解测试系统上,与测试系统连接,并设定相应的测试程序;
- b) 单电解池测试前先通入去离子水,单电解池温度控制在额定工况温度(温度探头探测温度为膜电极组件中心位置处或电解槽出口处的温度);
- c) 待温度稳定后开始加载额定电流;
- d) 在某工况稳定运行状态下,监测单电解池氢气出口处压力,可采用压力传感器测量。单电解池在该工况下保持各项参数稳定在允许范围之内大于或等于 5 min;
- e) 调节阴阳极两侧压力/压差,活化 2 h 后进行电压-电流密度性能测试;
- f) 电流按附录 B 进行加载,记录电压与电流值。以电流密度对电压做 i - V 曲线。



附 录 D
(资料性)
测试报告模板

测试报告模板如下：

报告编号_____	
页	数_____

测试报告

样 品 编 号	_____
样 品 名 称	_____
送 检 单 位	_____
样品型号/规格	_____

发布日期： 年 月 日

测试单位名称

报告编号：

第 页 共 页

1. 基本信息					
产品名称				检验类别	
委托单位				生产单位	
联系人				联系电话	
样品数量				到样日期	
样品状态					
样品编号					
检测时间					
测试人员					
检验依据					
检测地点					
检测环境					
试验条件					
试验输入参数					
试验输出参数					
检验项目		检验结论		测量不确定度	
		见结果页			
		见结果页			
		见结果页			
校准/时间		核验/时间		批准/时间	

报告编号：

第 页 共 页

5. 检验结果



异常现象

备注

