

中国可再生能源学会标准

T/CRES0029-2025

阴离子交换膜燃料电池 第三部分 膜电极 性能测试方法

Anion exchange membrane fuel cell
Part 3 Performance test method of membrane electrode assembly

2025-03-31 发布

2025-04-30 实施

中国可再生能源学会 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 测试仪器和设备	1
5 测试环境条件	2
6 单电池准备	3
7 测试方法	3
附录 A	6
附录 B	8

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。

本文件由中科嘉鸿（佛山市）新能源科技有限公司提出。

本文件由中国可再生能源学会归口。

本文件起草单位：中科嘉鸿（佛山市）新能源科技有限公司、北京新研创能科技有限公司、中国科学院大连化学物理研究所、惠州亿纬氢能有限公司、武汉大学、北京航空航天大学、中国科学技术大学、新研氢能科技有限公司。

本文件主要起草人：杨林林、齐志刚、王素力、苏祥东、庄林、卢善富、吴亮、王昕。

本文件在执行过程中的意见建议请反馈至中国可再生能源学会标准化工作办公室。

阴离子交换膜燃料电池 第三部分 膜电极性能测试方法

1 范围

本文件规定了阴离子交换膜燃料电池膜电极测试方法的术语和定义、测试仪器和设备、测试环境条件、单电池准备、测试方法和测试报告。

本文件适用于各种类型的阴离子交换膜燃料电池膜电极性能测试。

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 20042.1 质子交换膜燃料电池 术语

GB/T 20042.5-2009 质子交换膜燃料电池 第5部分：膜电极测试方法

GB/T 28816 燃料电池 术语

T/CAAMTB 12 质子交换膜燃料电池膜电极测试方法

3 术语和定义

GB/T 20042.1、GB/T 20042.5-2009、GB/T 28816 和 T/CAAMTB 12 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

催化层体积比活性 volumetric activity of catalyst layer

电极采用非/非贵金属催化剂时，在燃料电池工况条件下工作电压为 0.8 V 时，单位体积催化层对应的总有效放电电流，单位为 A/cm^3 。

3.2

透氢速率 hydrogen permeation rate

在一定温度、压力和相对湿度条件下，单位时间内氢气在单位面积阳极向阴极的串漏流量，单位为 $\mu L/(min \cdot cm^2)$ 。

3.3

膜电极的耐久性 durability of MEA

膜电极在额定电流密度下电压值衰减 10% 的累积运行时间，单位是小时 (hr)。

注：建议额定电流密度选在 $0.5 A/cm^2$ (非/非贵金属催化剂) 或 $1 A/cm^2$ (贵金属催化剂)。

4 测试仪器和设备

测试平台所用仪器设备应符合表 1 要求。

表 1 测试仪器和设备列表

名称	要求
天平	精度不低于 0.01 mg

游标卡尺	精度不低于 0.02 mm
测厚仪	精度不低于 0.1 μm
离子耦合发射光谱 (ICP)	最低检测限 $\leq 1 \mu\text{g/L}$
燃料电池测试平台	应满足 GB/T 20042.5-2009 中 6.2.3 的要求
电化学恒电位仪	电位控制精度不低于 1 mV, 电位响应时间不低于 1 μs
单电池夹具	流场板为水平单条蛇形流场的石墨板, 活性区有效面积为 25 cm^2 , 流道特征尺寸为宽 1.0 mm, 深 1.0 mm, 每根流道之间间隔 1.0 mm, 见图 1
集流板	镀金或镀银不锈钢板或铜板
万用表	直流电压精度不低于 0.1 mV
电化学工作站	电流量程 2 A; 电流精度 1.8 μA ; 频率范围 10 μHz -1 MHz
定频阻抗仪	电压测量量程 DC 10 V (分辨率 10 μV)-DC 1000 V (分辨率 1mV); 电阻测量量程 3 m Ω -3 k Ω ; 测量源频率 1 kHz \pm 0.2 Hz, 测试电流 100 mA-10 μA
皂膜流量计	测量流量范围 0.05 ml/min -30 ml/min
气相色谱仪	最低检测限: <1.4 pg 碳/秒(十三烷); 数据采样频率:500 Hz
光学显微镜	放大倍数: 100-1000 倍

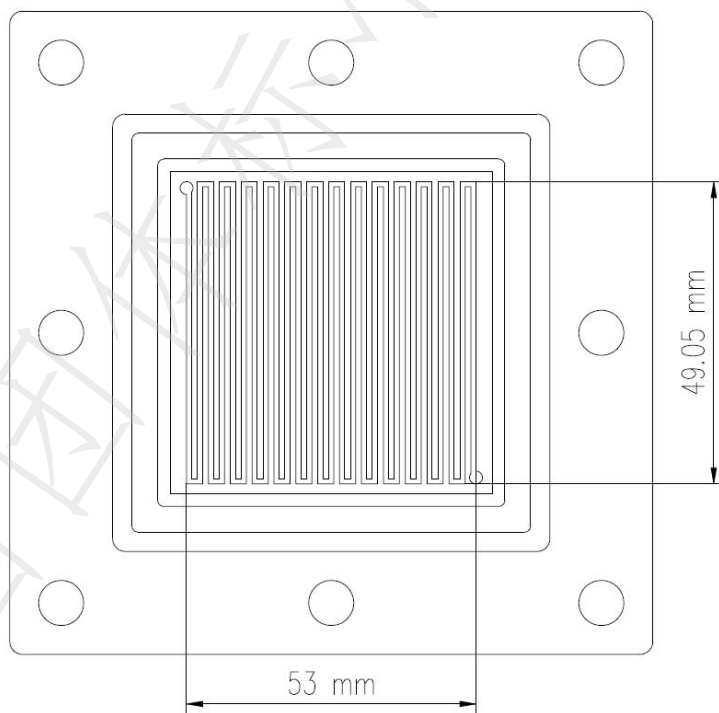


图 1 单电池夹具活性区流场结构示意图

5 测试环境条件

环境温度: $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$;

大气压力: 86 kPa-106 kPa;

相对湿度: $60\% \pm 20\%$ 。

6 单电池准备

6.1 单电池组装

按照 GB/T 20042.5-2009 条款 6.4 中的方法进行。

注：除厚度和 Pt 担载量测试外，膜电极的其它性能测试需在单电池中进行。

6.2 单电池试漏

按照 GB/T 20042.5-2009 条款 6.5 中的方法进行。

6.3 单电池活化

参照 GB/T 20042.5 条款 6.6 中的方法进行，具体如下：

将单电池安装到燃料电池测试平台上，控制反应温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，阳极侧为 99.999% 氢气，相对湿度 (RH) 为 100%，阴极侧为 99.999% 氧气，或者由 99.999% 氧气与 99.999% 氮气配置成的标准空气，其中氧气含量为 21%vol.，RH 100%，增湿用去离子水的电导率 $< 0.25\text{ }\mu\text{S/cm}$ ， H_2 的化学计量比为 2.0， O_2 的化学计量比为 1.5，或者空气的计量比为 3.0，阴极、阳极出口背压均为 0.2 MPa(表压)，在 0.1 A/cm^2 、 0.3 A/cm^2 、 0.5 A/cm^2 、 0.8 A/cm^2 、 1.0 A/cm^2 及更大的电流密度下（对应的电压不低于 0.2 V 即可）反复放电，直至单电池活化完毕。

注：单电池活化条件也可由样品提供方提供，或由测试方和样品提供方双方协商确定。

7 测试方法

7.1 厚度测试

按照 GB/T 20042.5-2009 条款 4 规定的方法进行（表 B.1）。

7.2 Pt 担载量测试

按照 GB/T 20042.5-2009 条款 5 规定的方法进行（表 B.2）。

7.3 电化学活性面积测试

当膜电极的阴极或者阳极采 Pt 基催化剂时，催化剂的电化学活性面积按照 GB/T 20042.5-2009 条款 9 规定的方法进行（表 B.3）。

7.4 极化曲线测试

参照 GB/T 20042.5-2009 条款 6.7 中的方法进行，具体条件如下：单电池温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， H_2 的化学计量比为 1.5-4.0， O_2 的化学计量比为 1.1-3.0，或者空气的计量比为 3.0-5.0，阳极侧为 99.999% 高纯度氢气，RH100%，阴极侧为 99.999% 高纯度氧气，或者为 99.999% 高纯度氧气与 99.999% 高纯度氮气配置成的标准空气，其中氧气含量为 21%vol.，RH 100%，增湿用去离子水的电导率 $< 0.25\text{ }\mu\text{S/cm}$ ，阴极、阳极出口背压均为 0.2 MPa（表压）（表 B.4）。

注：单电池的测试条件（气体种类、化学计量比、压力、温度、湿度等）也可由样品提供方提供，或由测试方和样品提供方双方协商确定。

7.5 CO_2 耐受性测试

上述条款 7.4 测试完毕后，在通入阴极侧的空气中加入 2 ppm CO_2 ，电压在 0.5 A/cm^2 （非/非贵金属催化剂）或 1 A/cm^2 （贵金属催化剂）放电电流密度处的下降值，为膜电极对 CO_2 的耐受性（表 B.5）。

注： CO_2 耐受性测试条件（化学计量比、压力、温度、湿度、 CO_2 浓度等）也可由样品提供方提供，或由测试方和样品提供方双方协商确定。

7.6 欧姆极化过电位测试

参照 T/CAAMTB 12 中的方法进行，具体如下：把单电池安装到燃料电池测试平台上，按目标工况设置单电池的运行条件，将定频阻抗仪的四个端子连接到单电池的阴、阳极集流体上，在单电池运行状

态下，记录单电池在 0.5 A/cm^2 放电电流密度下的阻抗数据 R_i ，按照式（1）计算单电池在 0.5 A/cm^2 放电电流密度下的欧姆极化过电位。

$$\eta_{ohm} = 0.5 \times R_i \times A \dots\dots\dots (1)$$

式中：

η_{ohm} —— 0.5 A/cm^2 放电电流密度下欧姆极化过电位，单位为毫伏（mV）；

A ——膜电极活性面积，单位为平方厘米（ cm^2 ）；

R_i —— 0.5 A/cm^2 放电电流下燃料电池的欧姆阻抗，单位为 $\text{m}\Omega$ 。

7.7 透氢电流密度测试

当膜电极阴极或阳极至少一侧采用 Pt 基贵金属催化剂时，可参照 GB/T20042.5-2009 条款 7 中的方法进行，具体如下：单电池温度为 $70 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ，在含有 Pt 基贵金属催化剂一侧通入 N_2 ，在另外一侧通入 H_2 ， N_2 与 H_2 的纯度均为 99.999%、流量均为 0.1 L/min 、RH 均为 100%，增湿用去离子水的电导率 $< 0.25 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ，单电池阴极、阳极出口背压为 0.2 MPa （表压）；采用线性扫描伏安法，在 $0 \text{ V} - 0.5 \text{ V}$ （vs. RHE）电压范围内，以 2 mV/s 的扫描速度进行电位扫描，记录电流随电压变化的曲线，曲线平台部分对应的电流为透氢电流，其与膜电极活性面积的比值即为透氢电流密度， i_{H_2} （表 B.6）。

7.8 透氢速率测试

当膜电极中阴、阳极均为非/非贵金属催化剂时，可以通过测量透氢速率来判断氢气从膜电极阳极渗透到阴极的程度（表 B.7），具体如下：

（1）将组装好的单电池安装到燃料电池测试平台上，单电池温度为 $70 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ；

（2）分别在燃料电池的阴极、阳极通入 N_2 与 H_2 ，纯度均为 99.999%，流量均为 0.1 L/min ，RH 均为 100%，增湿用去离子水的电导率 $< 0.25 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ，控制单电池阴极、阳极出口背压为 0.2 MPa （表压）；

（3）在上述条件下稳定 4 h 后，在阴极出口侧接入皂膜流量计，计量阴极侧总的气体流量，测量三次以上取平均值，为 J ；

（4）同时在皂膜流量计出口处收集气体，收集三次以上；

（5）采用气相色谱测定（4）中收集的气体中氢气组分体积分数，测定三次取平均值，为 φ_{H_2} 。

按照式（2）计算膜电极透氢速率，即阴极出口侧气体流量乘以出口侧气体中氢气体积分数除以膜电极活性面积。

$$P_{\text{H}_2} = J \times \varphi_{\text{H}_2} / A \dots\dots\dots (2)$$

式中：

P_{H_2} ——透氢速率，单位为 $\mu\text{l}/(\text{min} \cdot \text{cm}^2)$ ；

J ——阴极出口侧气体流量，单位为 $\mu\text{l}/\text{min}$ ；

φ_{H_2} ——阴极出口侧气体中氢气体积分数，单位为%；

A ——膜电极活性面积，单位为平方厘米（ cm^2 ）。

7.9 催化层体积比活性测试

膜电极阴极或者阳极采用非/非贵金属催化剂时，可以采用体积比活性来评判非/非贵金属催化剂的活性（表 B.8），具体如下：

（1）利用光学显微镜测量膜电极中非/非贵金属催化层的厚度，测量三次以上得到催化层平均厚度 d ；

（2）结合膜电极的有效活性面积 S ，计算得到膜电极中催化层的体积 V ；

（3）利用条款 7.4 中测试得到的单电池极化曲线和条款 7.5 中测得的阻抗数据 R_i ，依次计算出不同电流密度对应的欧姆极化过电位，减去欧姆极化过电位后得到对应的 $i\text{R-free}$ 极化曲线，在此极化曲线

上找到 $0.8 V_{iR-free}$ 电压处对应的电流值 $i_{0.8}$ ，结合透氢电流 $i_{H_2} \times A$ ，计算出总有效电流，式 (3)：

$$i_{0.8eff} = i_{0.8} + i_{H_2} \times A \dots \dots \dots (3)$$

用 $0.8 V$ 对应的总有效电流 $i_{0.8eff}$ 除以膜电极中催化层的体积，得到催化层的体积比活性，式 (4)。

$$VA = i_{0.8eff}/V \dots \dots \dots (4)$$

式中：

VA ——催化层体积比活性，单位为安培每立方厘米 (A/cm^3)；

$i_{0.8eff}$ ——极化曲线上 $0.8V$ 对应的总有效电流，单位为安培 (A)；

V ——膜电极中催化层的体积，单位为立方厘米 (cm^3)。

7.10 耐久性测试

测试条件与条款 7.4 极化曲线测试或条款 7.5 CO_2 耐受性测试条件相同，测试过程为单电池以 $0.5 A/cm^2$ 或者 $1 A/cm^2$ 恒定电流密度进行放电，每隔 $30 s$ 记录电压值，绘制电压随时间变化曲线，当电压值衰减 10% 后停止测试，利用衰减的电压值除以单电池运行时间，计算得到膜电极电压衰减速率。

根据阴极侧反应气中是否含有 CO_2 ，判断 CO_2 对膜电极耐久性的影响程度 (表 B.9)。

注：膜电极耐久性测试条件 (化学计量比、压力、温度、湿度、 CO_2 浓度、恒流放电电流密度等) 可由样品提供方提供，或由测试方和样品提供方双方协商确定。

8 测试报告与测试记录

测试报告与测试记录见附录 A 与附录 B。

附录 A
(资料性)
膜电极性能测试报告

A.1 概述

根据关注的性能，进行相关的测试，出具测试报告。报告应该包含测试的所有数据。

A.2 报告内容

A.2.1 标题页

标题页应介绍下列各项信息：

- 标准代号；
- 样品名称、材料组成、规格；
- 测试状态及测试环境；
- 试验机型号；
- 每次测试的结果以及结果的平均值；
- 测试日期、人员；
- 报告编号（可选）；
- 报告的类型（摘要式、详细式和完整式）；
- 报告的作者；
- 测试者；
- 报告日期；
- 测试场所；
- 测试名称；
- 测试日期和时间；
- 测试申请单位。

A.2.2 内容目录

每种类型的报告都应该提供一个目录。

A.3 报告类型

A.3.1 摘要式报告

摘要式报告应包含下列各项数据：

- 测试的目的；
- 测试的种类、仪器和设备；
- 所有的测试结果；
- 每个测试结果的不确定因素和确定因素；
- 摘要性结论。

A.3.2 详细式报告

详细式报告除包含摘要式报告的内容外，还应包含下列各项数据：

- 测试操作方式和测试流程图；
- 仪器和设备的安排、布置和操作条件的描述；
- 仪器设备校准情况；
- 用图或表的形式说明测试结果；
- 测试结果的讨论分析。

A.3.3 完整式报告

完整式报告除包含详细式报告的内容外，还应有原始数据的副本，此外还应包含下列各项：

- 测试进行时间；
- 用于测试的测量设备的精度；

- 测试的环境条件；
- 测试者的姓名和资格；
- 完整和详细的不确定度分析。

全国团体标准信息平台

附录 B
(规范性)
膜电极性能测试数据记录

膜电极性能测试中相关数据应按照表 B.1-B.9 记录。

表 B.1 厚度测试记录表

测定值									平均值
膜电极厚度 (μm)									

表 B.2 Pt 担载量测试记录表

样品	Pt 担载量 (mg/cm^2)
样品 1	
样品 2	
样品 3	

表 B.3 电化学活性面积测试记录表

样品名称	
积分面积 (m^2)	
膜电极有效活性面积 (cm^2)	
膜电极阴极或者阳极贵金属担载量 (g/cm^2)	
电化学活性面积 (m^2/g)	

表 B.4 极化曲线测试记录表

膜电极有效活性面积 (cm^2)	
单电池温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
气体计量比 (阴极/阳极)	
单电池背压 (阴极/阳极)	
相对湿度 (阴极/阳极)	
单电池放电电流密度 (mA/cm^2)	电压 (mV)
0	
50	
100	
150	

200	
300	
400	
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1200	
1300	
1400	
.....

表 B. 5 CO₂ 耐受性测试记录表

膜电极有效活性面积 (cm ²)	
电池温度 (°C)	
气体计量比 (阴极/阳极)	
电池背压 (阴极/阳极)	
湿度 (阴极/阳极)	
阴极空气中 CO ₂ 含量	
单电池放电电流密度 (mA/cm ²)	电压 (mV)
0	
50	
100	
150	
200	
300	
400	
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1200	
1300	
1400	
.....

表 B. 6 透氢电流密度测试记录表

样品名称	
膜电极有效活性面积 (cm ²)	
透氢电流 (A)	
透氢电流密度 (mA/cm ²)	

表 B. 7 透氢速率测试记录表

阴极侧出口气体流量 (μL/min)	氢气体积分数 (%)	透氢速率 (μL/(min·cm ²))

表 B. 8 催化层体积比活性测试记录表

催化层厚度 (μm)	催化层体积 (cm ³)	总有效电流 (A) @0.8 V	体积比活性 (A/cm ³)

表 B. 9 耐久性测试记录表

膜电极有效活性面积 (cm ²)		
单电池温度 (°C)		
气体流量 (阴极/阳极)		
单电池背压 (阴极/阳极)		
相对湿度 (阴极/阳极)		
CO ₂ 含量 (ppm)	0	2
不同时间电压值 (V) 或电压衰减率 (μV/h)		