



中华人民共和国国家标准

GB/T 20042.6—2011

质子交换膜燃料电池 第6部分：双极板特性测试方法

Proton exchange membrane fuel cell—Part 6: Test method
of bipolar plate properties

2011-12-30 发布

2012-05-01 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 Ⅲ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 双极板材料气体致密性测试 2

5 双极板材料抗弯强度测试 3

6 双极板材料密度测试 4

7 双极板材料电阻测试 5

8 双极板材料腐蚀电流密度测试 7

9 双极板部件气体致密性测试 7

10 双极板部件阻力降测试..... 8

11 双极板部件面积利用率测试..... 9

12 双极板部件厚度均匀性测试 10

13 双极板部件平面度测试 11

14 双极板部件重量测试 11

15 双极板部件电阻测试 12

16 试验准备及试验报告 13

附录 A（资料性附录） 测试准备 14

附录 B（资料性附录） 试验报告 15

前 言

GB/T 20042《质子交换膜燃料电池》分为如下几个部分：

- GB/T 20042.1—2005 术语；
- GB/T 20042.2—2008 电池堆通用技术条件；
- GB/T 20042.3—2009 质子交换膜测试方法；
- GB/T 20042.4—2009 电催化剂测试方法；
- GB/T 20042.5—2009 膜电极测试方法；
- GB/T 20042.6—2011 双极板特性测试方法。

本部分为 GB/T 20042 的第 6 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国燃料电池标准化技术委员会(SAC/TC 342)归口。

本部分起草单位：中国科学院大连化学物理研究所、机械工业北京电工技术经济研究所。

本部分主要起草人：钟和香、张华民、王美日、衣宝廉、李晶晶、邱艳玲、侯明、卢琛钰。

质子交换膜燃料电池

第6部分:双极板特性测试方法

1 范围

GB/T 20046 的本部分规定了质子交换膜燃料电池双极板特性测试方法的术语和定义、双极板材料的气体致密性测试、抗弯强度测试、密度测试、电阻测试和腐蚀电流密度测试等;双极板部件的气体致密性测试、阻力降测试、面积利用率测试、厚度均匀性测试、平面度测试、重量测试和电阻测试等。

本部分适用于各种类型的质子交换膜燃料电池用双极板材料和部件。本标准主要分为双极板材料特性测试和双极板部件特性测试两部分。

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 7962.20—1987 无色光学玻璃测试方法 密度测试方法

GB/T 13465.2—2002 不透性石墨材料抗弯强度试验方法

GB/T 19922—2005 硅片局部平整度非接触式标准测试方法

GB/T 20042.1 质子交换膜燃料电池 术语

JJG 508—2004 四探针电阻率测试仪

3 术语和定义

GB/T 20042.1 界定的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

腐蚀电流密度 corrosion current density

单位面积的双极板材料在燃料电池运行环境中,在腐蚀电位下由于化学或电化学作用引起的破坏产生的电流值,单位为 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。

注:腐蚀电流密度值大小反映了双极板腐蚀速率的快慢,是表征双极板材料及部件在燃料电池运行环境下耐腐蚀性能的物理量。

3.2

接触电阻 interfacial contact resistance

两种材料之间的接触部分产生的电阻,单位是 $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 。

注:双极板的接触电阻主要指双极板与炭纸之间的接触电阻。

3.3

体电阻率 bulk resistance

双极板材料本体的电阻率值,单位是 $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ 。

3.4

透气率 gas permeability

在试验条件下,在单位时间内透过单位面积样品的气体量,单位为 $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ 或 $\text{mL}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ 。

3.5

抗弯强度 flexural strength

在规定条件下,双极板在弯曲过程中所能承受的最大弯曲应力,单位为 MPa。

3.6

平面度 flatness

双极板的脊背部分具有的宏观凹凸高度相对理想平面的偏差。

注:双极板的平面度直接影响双极板与炭纸之间的接触电阻,从而影响电池性能。

3.7

阻力降 resistance drop

气体流经双极板的进出口压力差。

3.8

面积利用率 area utilization

双极板的有效面积比,即双极板的有效面积(流场部分的面积)与双极板总面积的比值。

4 双极板材料气体致密性测试

4.1 测试仪器及设备

测试仪器及设备包括:

- 气相色谱仪。
- 渗透池。

4.2 样品制备

- 4.2.1 样品形状为正方形(5 cm×5 cm),面积为 25 cm²;样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。
- 4.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。
- 4.2.3 对于不同批次的双极板材料,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。

4.3 测试方法

- 4.3.1 将样品夹在两块均具有气体进口和出口的不锈钢夹具之间,使两侧形成气室,作为试验渗透池。
- 4.3.2 将渗透池按照图 1 所示的试验装置示意图安装在试验装置上。
- 4.3.3 室温下分别在气室的两侧通入氧气或氢气和惰性气体,使气室两侧保持一定的压力差。压力通过两侧精密压力表来控制。

注:压力差可在 0 MPa~0.2 MPa 之间。

- 4.3.4 在室温和一定压力差下稳定至少 2 h,将惰性气体的出口通入气相色谱仪测量被测气体的浓度,并记录色谱图。

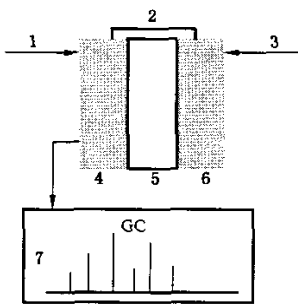
4.4 数据处理

- 4.4.1 用式(1)计算双极板材料单位时间、单位面积的气体透过率:

$$C = q / S \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- C——双极板材料单位时间、单位面积的气体透过率,单位为立方厘米每平方厘米每秒(cm³/cm²·s);
- q——单位时间的气体渗透量,单位为立方厘米每秒(cm³/s);
- S——渗透池的有效测试面积,单位为平方厘米(cm²)。



说明：
1——氩气/氮气；
2——渗透池；
3——氧气/氢气；
4——夹具；
5——样品；
6——夹具；
7——气相色谱。

注：渗透池由两块具有气体进口和出口的不锈钢板夹具组成，样品放置在两夹具中间。夹具与样品之间采用线密封，两侧形成气室。氧气/氢气和惰性气体进入渗透池在样品的两侧流动，从而可以维持双极板两侧保持一定的压力差。两侧的压力主要通过精密压力表控制。被测气体渗透的推动力是样品两侧的气体浓度差，这样从渗透池流出的惰性气体中就含有从双极板的另一侧渗透过来的被测气体；气相色谱仪用于检测渗透池出口被测气体的浓度。

图 1 双极板材料透气率测试的试验装置示意图

4.4.2 测试不同压力差(ΔP)下的透气率,绘制 ΔP 与透气率的关系曲线。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

5 双极板材料抗弯强度测试

5.1 测试仪器

5.1.1 试验机

任何能满足本标准试验要求的试验机均可。

5.1.2 试验夹具

试验夹具不应引起试样在夹具处断裂。施加负荷时,应满足试样的纵轴与通过夹具中心线的拉伸方向重合。

5.1.3 测厚仪和卡尺

测厚仪和卡尺的要求如下：

- 测厚仪:精度为 $1\ \mu\text{m}$,用于测试双极板的厚度；
- 卡尺:精度为 $0.01\ \text{mm}$,用于测试双极板的长度和宽度。

5.2 样品制备

5.2.1 按测试要求截取一定尺寸的送试材料作为样品。

注：样品的长度应不小于支座跨距。推荐支座跨距可为 $60\ \text{mm}$ 。

- 5.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。
- 5.2.3 对于不同批次的双极板材料,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。

5.3 测试方法

- 5.3.1 测量样品的宽度和厚度,精确度为±0.5%。
- 5.3.2 调整支座跨距,将制备好的样品放在支座上,且使试验机压头、支座轴向垂直于试样,参照 GB/T 13465.2—2002 应用三点弯曲法对双极板材料抗弯强度进行测试。
- 5.3.3 压头以 1 mm/min~10 mm/min 的加载速度均匀且无冲击地施加负荷,直至试样断裂,读取断裂负荷值。

5.4 数据处理

按式(2)计算抗弯强度:

$$\sigma = (3P \times L)/(2b \times h^2) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- σ ——抗弯强度,单位为兆帕(MPa);
- P ——断裂负荷值,单位为牛(N);
- L ——支座跨距,单位为毫米(mm);
- b ——试样的宽度,单位为毫米(mm);
- h ——试样厚度,单位为毫米(mm)。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

6 双极板材料密度测试

6.1 测试仪器和器具

测试仪器和器具包括:

- 分析天平:精度为 0.1 mg;
- 温度计:用于测定空气温度和水温,精度为 0.5 ℃;
- 金属丝:镍铬铁或铂合金丝,直径小于 0.2 mm,用于悬挂试样。

6.2 样品准备

- 6.2.1 样品形状为正方形(5 cm×5 cm),面积为 25 cm²;样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。
- 6.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。
- 6.2.3 对于不同批次的双极板材料,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。
- 6.2.4 将样品用无水乙醇清洗,晾干,放入干燥器内待用。
- 6.2.5 除去镍铬丝和铂丝上的油脂,待用。

6.3 测试方法

- 6.3.1 在温度为 25 ℃条件下分别称量样品的质量 m_1 和金属丝的质量 m_3 。
- 6.3.2 将由该金属丝悬挂着的样品浸入到温度为 25 ℃的蒸馏水中。样品浸没于水中但要保持其悬浮于烧杯中,不接触烧杯壁,见图 2 所示。用一根细金属丝尽快地除去粘附在样品上的气泡后,称量水中样品质量 m_2 。参照 GB/T 7962.20—1987 进行测试。

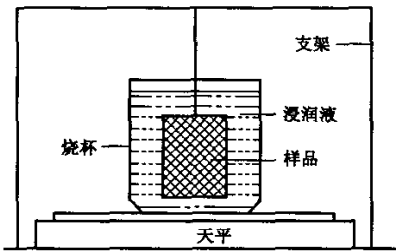


图 2 双极板密度测试装置示意图

6.4 数据处理

按式(3)计算样品在 25 ℃时的密度:

$$\rho = (m_1 \times \rho_t) / (m_1 + m_3 - m_2) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- ρ ——样品在 25 ℃时的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
- m_1 ——样品在空气中的质量,单位为克(g);
- m_2 ——样品悬挂在水中的质量,单位为克(g);
- m_3 ——金属丝的质量,单位为克(g);
- ρ_t ——水在 25 ℃时的密度。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

7 双极板材料电阻测试

7.1 测试仪器

- 四探针低阻测量仪;精度为 0.1 mΩ·cm;
- 低电阻测量仪;精度为 0.1 mΩ。

7.2 样品准备

- 7.2.1 样品形状为正方形(5 cm×5 cm),面积为 25 cm²,样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。
- 7.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。
- 7.2.3 对于不同批次的双极板材料,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。

7.3 测试方法

7.3.1 体电阻率测试

- 7.3.1.1 每次测量前应校准测试仪的零点。测量时应避免样品变形、样品表面灰尘等因素的影响。
- 7.3.1.2 用四探针低阻测量仪分别在样品的靠近边缘和中心的至少 5 个部位测量,记录不同部位体电阻值。

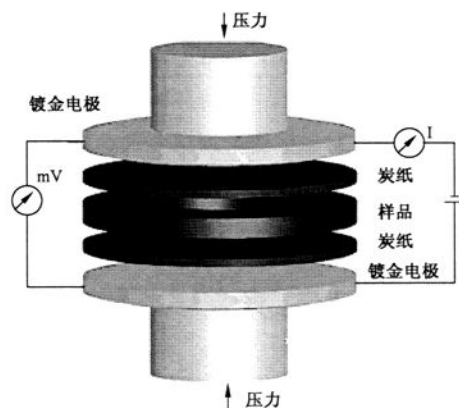
7.3.2 接触电阻测试

- 7.3.2.1 按图 3 所示将样品装在测试装置上。用低阻测量仪测量电阻值,测量电极为镀金的铜电极。测量时将样品两侧放置燃料电池扩散层用的炭纸作为支撑物,以进一步改善接触状况。测试过程中,压

力每增加 0.1 MPa 记录一个电阻值,直到当前电阻测试值与前一电阻测试值的变化率 $\leq 5\%$,则认为达到电阻的最小值,停止测试。不同压力下的电阻值记录为 R_1 。

注:测量压力范围一般为 0.1 MPa~3.0 MPa,可选取压力为 1.5 MPa 时的电阻值。

7.3.2.2 按照相同方法,将一张作燃料电池扩散层用的炭纸放置在两铜电极间并施加一定压力,记录按照 7.3.2.1 中所述的同样方法测试的不同压力下的电阻值 R_2 。



说明:样品以在其两侧的燃料电池扩散层用炭纸作为支撑物,放置在两块镀金铜电极之间。在铜电极两侧施加一定的压力,通过记录不同压力下的电流和电压值,得到不同施加压力下的电阻值。支撑层采用燃料电池扩散层用的炭纸;电极采用镀金金属电极,一般为镀金铜电极。

图 3 垂直方向面电阻测试装置示意图

7.4 数据处理

7.4.1 按式(4)计算体电阻率:

$$\rho_{\text{bulk}} = \sum_{i=1}^n (\rho_i \times G \times D) / n \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

ρ_{bulk} ——试样体电阻率,单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$);

ρ_i ——不同部位电阻率测量值,单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$);

G ——试样厚度校正系数;

D ——试样形状校正系数;

n ——测试的数据点数。

注: G 和 D 的取值可以参照 JJG 508—2004 中所述的方法进行计算,一般也可从仪器使用说明附表中查到。

7.4.2 按式(5)计算接触电阻:

$$R = (R_1 - R_2 - R_{\text{BP}} - R_{\text{CP}}) / 2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

R ——双极板与炭纸间的接触电阻,单位为毫欧($\text{m}\Omega$);

R_1 ——双极板材料本体电阻、炭纸本体电阻、两个双极板与炭纸间接触电阻、两个铜电极本体电阻及两个炭纸与铜电极间的接触电阻的总和,单位为毫欧($\text{m}\Omega$);

R_2 ——两个铜电极本体电阻、炭纸本体电阻及两个炭纸与铜电极间的接触电阻总和,单位为欧(Ω);

R_{BP} ——双极板材料本体电阻,单位为毫欧($\text{m}\Omega$);

R_{CP} ——炭纸本体电阻,单位为毫欧($\text{m}\Omega$)。

取 3 个样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

8 双极板材料腐蚀电流密度测试

8.1 测试仪器

- 电化学恒电位测试仪。
- 电化学测试池：采用五口烧瓶，主要用于盛放电解质溶液，电解池材料为玻璃或塑料等耐腐蚀性材料。五口烧瓶的一个瓶口用于放置和参比电极相连的盐桥，一瓶口用于放置对电极，一瓶口用于放置通气管，中间一瓶口用于放置测试样品制备的工作电极，另一瓶口用于置换溶液。

8.2 样品制备

- 8.2.1 按测试要求截取一定尺寸(可以为 2 cm×2 cm)有效面积为 1 cm² 的送试材料作为样品。
- 8.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值)，应无褶皱、划痕和破损。
- 8.2.3 对于不同批次的双极板材料，应分别抽样；单一材料随机抽样，不同材料分别抽样。
- 8.2.4 用乙醇等溶剂清洗样品表面，并在氮气气氛下 80 ℃干燥 10 min。
- 8.2.5 将电极与样品表面连接，除有效测试面积为 1 cm² 的测试表面外，其余表面予以绝缘密封。
注：绝缘密封材料一般采用环氧树脂或者硅胶等。

8.3 测试过程

- 8.3.1 以样品为工作电极，以饱和甘汞电极(SCE)为参比电极，以铂片或铂丝为辅助电极进行测试。
- 8.3.2 向温度为 80 ℃、含 5×10⁻⁶ F⁻ 的 0.5 M 的 H₂SO₄ 电解质溶液中以 20 mL/min 的流速通入氧气或氢气。
- 8.3.3 对样品进行线性电位扫描。扫描速率为 2 mV/s，电位扫描范围为-0.5 V~0.9 V(vs. SCE)。
- 8.3.4 对测得的极化曲线进行塔菲尔(Tafel)拟合，塔菲尔直线的交点所对应的电流即为样品的腐蚀电流。

8.4 数据处理

按式(6)计算：

$$I_{\text{corr}} = I/S \dots\dots\dots(6)$$

式中：

I_{corr} ——腐蚀电流密度，单位为微安每平方厘米($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)；

I ——腐蚀电流，单位为微安(μA)；

S ——试样的有效测试面积，单位为平方厘米(cm^2)。

取 3 个有效样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

9 双极板部件气体致密性测试

9.1 测试仪器

- 气相色谱仪；
- 渗透池。

9.2 样品制备

- 9.2.1 样品的形状和尺寸应由测试方和样品供应方协商确定。样品供应方同时提供双极板及与其配套的不锈钢夹具和密封线。
- 9.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值)，应无褶皱、划痕和破损。

9.2.3 对于不同批次的双极板,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。

9.3 测试方法

9.3.1 将样品夹在两块均具有气体进口和出口的不锈钢夹具之间,使两侧形成气室,组装假电池。

9.3.2 堵住电池阴极的入口、出口以及阳极的出口,向阳极的入口通入一定压力的测试气体(如 H_2 , 空气或 O_2)。待气体流量稳定后,将电池完全浸没于水中,使用目测法,检查水中是否有气泡冒出,并根据气泡冒出的部位来判断假电池是否密封较好,是否有外漏。

注:推荐测试气体压力 $\leq 0.1\text{ MPa}$ 。

9.3.3 将没有外漏的假电池按照图 1 所示的试验装置示意图安装在试验装置上。

9.3.4 室温下分别在气室的两侧通入氧气或氢气和惰性气体,使气室两侧保持一定的压力差。压力通过两侧精密压力表来控制。

注:压力差可在 $0\text{ MPa}\sim 0.2\text{ MPa}$ 之间。

9.3.5 在室温和一定的压力差下稳定至少 2 h,将惰性气体的出口通入气相色谱仪测量被测气体的浓度,并记录色谱图。

9.4 数据处理

9.4.1 用式(7)计算双极板单位时间、单位面积的气体透过率:

$$C=q/S \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- C——双极板单位时间、单位面积的气体透过率,单位为立方厘米每平方厘米每秒($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$);
- q——单位时间的气体渗透量,单位为立方厘米每秒(cm^3/s);
- S——渗透池的有效测试面积,单位为平方厘米(cm^2)。

9.4.2 测试不同压力差(ΔP)下的透气率,绘制 ΔP 与透气率的关系曲线。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

10 双极板部件阻力降测试

10.1 测试仪器

- 精密压力控制器。
- 不锈钢夹具。

10.2 样品制备

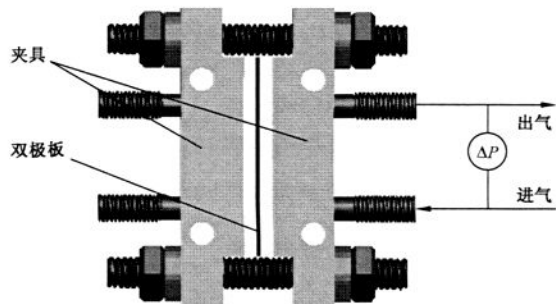
- 10.2.1 样品供应方向测试方向同时提供双极板及与其配套的夹具和密封线。
- 10.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。
- 10.2.3 对于不同批次的双极板,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。

10.3 测试方法

- 10.3.1 按照图 4 中所示将双极板组装到具有密封胶线和气体进口和出口的夹具之间,组装燃料电池假电池。
- 10.3.2 堵住双极板的氧化剂腔的气体出入口,在燃料气腔单腔进气,在一定入口气体流量和入口压力下,测量气体流经双极板的进出口压差即燃料气腔的阻力降。每次测量时必须保证气体流动平稳。

注:气体的入口压力范围可以为 $0.01\text{ MPa}\sim 0.2\text{ MPa}$ 。入口气体流量可以为 $0.5\text{ slpm}\sim 2\text{ slpm}$ (slpm 为标准公升每分钟)。

10.3.3 堵住双极板的燃料气腔的气体出入口,在氧化剂腔单腔进气,在一定入口气体流量和入口压力下,测量气体流经双极板的进出口压差即氧化剂腔的阻力降。每次测量时必须保证气体流动平稳。



说明:阻力降测试装置包括气体压力差测试器件、气体进出气控制器和两片具有密封胶线的不锈钢夹具。双极板放在两块具有密封元件和气体进出口的不锈钢板夹具之间,组装假电池。夹具与样品之间采用线密封。进出口气体的压力降较小时可以通过U型管或压力传感器测试压力降,压力降较大时可以通过精密压力表测试进出口压力降。

图 4 双极板的压力降测试装置图

10.4 数据处理

10.4.1 按式(8)计算阻力降:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \dots\dots\dots (8)$$

式中:
 ΔP ——阻力降,单位为兆帕(MPa);
 P_1 ——入口压力,单位为兆帕(MPa);
 P_2 ——出口压力,单位为兆帕(MPa)。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

10.4.2 测试不同流速下的 ΔP 值,绘制 ΔP 与流速 V 的关系曲线。

11 双极板部件面积利用率测试

11.1 测试仪器

卡尺的精度为 0.01 mm,用于测试双极板的长度和宽度。

11.2 样品准备

- 11.2.1 样品的流场部分有效面积至少为 25 cm² (5 cm×5 cm),样品的尺寸也可由测试双方协商决定。
- 11.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。
- 11.2.3 对于不同批次的双极板,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。

11.3 测试方法

- 11.3.1 测试双极板的总长度和总宽度。
- 11.3.2 测试流场部分的面积。

11.4 数据处理

双极板的面积利用率按式(9)计算:

$$U = S / (L \times D) \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- U —— 双极板的面积利用率,用百分数表示(%);
- S —— 双极板流场部分的面积,单位为平方厘米(cm²);
- L —— 双极板的总长度,单位为厘米(cm);
- D —— 双极板的总宽度,单位为厘米(cm)。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

12 双极板部件厚度均匀性测试

12.1 测试仪器

测试仪器包括:

- 测厚仪:精度为 1 μm,用于测试双极板的厚度;
- 卡尺:精度为 0.01 mm,用于测试双极板的长度和宽度。

12.2 样品准备

- 12.2.1 样品有效面积为 25 cm² (5 cm×5 cm),样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。
- 12.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。
- 12.2.3 对于不同批次的双极板,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。

12.3 测试方法

- 12.3.1 每次测量前应校准测试仪的零点,且在每组试样测量后应重新检查其零点。
- 12.3.2 测量时将测量头平缓放下,避免样品变形和破损。测试在室温条件下进行。
- 12.3.3 每 25 cm² 样品的测试点不少于 9 个,且均匀分布。

注:双极板的流场部分,主要测试双极板脊背部分的厚度,沟槽部分的厚度不考虑在内。

12.4 数据处理

- 12.4.1 样品的厚度均匀性用厚度最大值与最小值之差以及厚度相对偏差表示。
- 12.4.2 最大值与最小值之差按式(10)计算:

$$\Delta d = d_{\max} - d_{\min} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- Δd —— 双极板的最大值与最小值之差,单位为毫米(mm);
- d_{max} —— 双极板的厚度最大值,单位为毫米(mm);
- d_{min} —— 双极板的厚度最小值,单位为毫米(mm)。

- 12.4.3 平均厚度按式(11)计算:

$$d = \sum_{i=1}^n d_i / n \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- d —— 双极板的平均厚度,单位为毫米(mm);
- d_i —— 某一点双极板的厚度测量值,单位为毫米(mm);

n ——测量数据点数。

12.4.4 厚度相对偏差按式(12)计算:

$$S = (d_i - d) / d \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中:

- S ——双极板的相对厚度偏差;
 - d ——双极板的平均厚度,单位为毫米(mm);
 - d_i ——某一点双极板的厚度测量值,单位为毫米(mm)。
- 取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

13 双极板部件平面度测试

13.1 测试仪器

- 测试仪器包括:
- 平面度测试仪,精度为 1 μm ;
 - 测试台(平整、稳定)。

13.2 样品准备

13.2.1 样品有效面积为 25 cm^2 (5 $\text{cm} \times 5 \text{ cm}$),样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。

注:样品的有效面积为流场部分的面积。

13.2.2 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。

13.2.3 对于不同批次的双极板,应分别抽样;单一材料随机抽样,不同材料分别抽样。

13.3 测试方法

13.3.1 每次测量前应校准平面度测试仪,且在每组试样测量后应重新校准。

13.3.2 按照 GB/T 19922—2005 中所述的方法,确定样品测试区域尺寸和最佳参照平面。

注:推荐采用最小二乘法计算出参照平面。一般仪器具有自动进行局部平面度参考面构建及结果计算的能力。

13.3.3 测试双极板的平面度。

注:双极板的流场部分主要测试双极板的脊背部分,双极板的沟槽部分不考虑在内。

13.4 数据处理

样品最高的“凸出”值与最深的“凹下”值之差按式(13)计算:

$$\Delta d = d_{\text{max}} - d_{\text{min}} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

- Δd ——样品的最高“凸出”值与最深“凹下”值之差,单位为微米(μm);
 - d_{max} ——样品的最高“凸出”值,单位为微米(μm);
 - d_{min} ——样品的厚度最深“凹下”值,单位为微米(μm)。
- 取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

14 双极板部件重量测试

14.1 测试仪器

- 分析天平,精度为 0.1 mg ;

——卡尺：精度为 0.01 mm。

14.2 试样准备

14.2.1 样品有效面积为 25 cm² (5 cm×5 cm)，样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。

注：样品的面积为双极板部件的总体面积，即为双极板的总长度与总宽度的乘积，不考虑流场沟槽的面积。

14.2.2 样品数量为 5 个（保证得到 3 个有效值），应无褶皱、划痕和破损。

14.2.3 对于不同批次的双极板，应分别抽样；单一材料随机抽样，不同材料分别抽样。

14.3 测试方法

用分析天平称取样品的质量，精确度为±0.5%。

14.4 数据处理

按式(14)计算：

$$m = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n \cdot s} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

m ——双极板比重量，单位为克每平方厘米(g/cm²)；

m_i ——样品质量，单位为克(g)；

n ——样品数；

s ——样品的有效面积，单位为平方厘米(cm²)。

取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

15 双极板部件电阻测试

15.1 测试仪器

——低电阻测量仪：精度为 0.01 mΩ；

——拉力机。

15.2 样品准备

15.2.1 从完整双极板的流场部分截取有效面积为 25 cm² (5 cm×5 cm) 的正方形作为样品，样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。

15.2.2 样品数量为 5 个（保证得到 3 个有效值），应无褶皱、划痕和破损。

15.2.3 对于不同批次的双极板，应分别抽样；单一材料随机抽样，不同材料分别抽样。

15.3 测试方法

15.3.1 接触电阻测试

15.3.1.1 按图 3 所示将样品装在测试装置上。用低阻测量仪测量电阻值，测量电极为镀金的铜电极。测量时将样品两侧放置燃料电池扩散层的炭纸作为支撑物，以进一步改善接触状况。测试过程中，压力每增加 0.1 MPa 记录一个电阻值，直到当前电阻测试值与前一电阻测试值的变化率≤5%，则认为达到电阻的最小值，停止测试。不同压力下的电阻值记录为 *R₁*。

注：测量压力范围一般为 0.1 MPa~3.0 MPa，可选取压力为 1.5 MPa 时的电阻值。

15.3.1.2 按照相同方法，将一张炭纸放置在两铜电极间并施加一定压力，记录不同压力下的电阻值 *R₂*。

15.3.2 数据处理

按式(15)计算接触电阻:

$$R = (R_1 - R_2 - R_{BP} - R_{CP})/2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

R ——双极板与炭纸间的接触电阻,单位为毫欧($m\Omega$);

R_1 ——双极板材料本体电阻、炭纸本体电阻、两个双极板与炭纸间接触电阻、两个铜电极本体电阻及两个炭纸与铜电极间的接触电阻的总和,单位为毫欧($m\Omega$);

R_2 ——两个铜电极本体电阻、炭纸本体电阻及两个炭纸与铜电极间的接触电阻的总和,单位为毫欧($m\Omega$);

R_{BP} ——双极板的本体电阻,单位为毫欧($m\Omega$);

R_{CP} ——炭纸本体电阻,单位为毫欧($m\Omega$)。

注:双极板的本体电阻相对于 R_1 ,数值比较小,因而可以忽略。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

16 试验准备及试验报告

试验准备参见附录 A,试验报告参见附录 B。

附 录 A
(资料性附录)
测试准备

A.1 概述

本附录描述在进行测试之前应该考虑的典型项目。对于每项试验来说,应选择高精度的检测仪器及设备,以便将不确定因素减到最少。应准备一个书面的测试计划,下列各项应该列入测试计划:

- a) 目的;
- b) 测试规范;
- c) 测试人员资格;
- d) 质量保证标准(符合 ISO 9000 和相关标准);
- e) 结果不确定度(符合 IEC/ISO 检测值不确定度的表述指南);
- f) 对测量仪器及设备的要求;
- g) 测试参数范围的估计;
- h) 数据采集计划;
- i) 必要时,列出以氢气作为燃料的最低安全要求事项(由最终产品制造商提供说明文件)。

A.2 数据采集和记录

为满足目标误差要求,数据采集系统和数据记录设备应满足采集频次与采集速度的需要,其性能应优于性能试验设备。

附 录 B
(资料性附录)
试 验 报 告

B.1 概述

根据所做试验,试验报告应提供足够多的正确、清晰和客观的数据用来进行分析和参考。报告应包含各章中所有的数据。报告有三种形式,摘要式、详细式和完整式。每个类型的报告都应包含相同的标题页和内容目录。

B.2 报告内容

B.2.1 标题页

标题页应介绍下列各项信息:

- 国家标准代号;
- 样品名称、材料组成,规格;
- 试样状态调节及测试标准环境;
- 试验机型号;
- 每次测试的结果以及结果的平均值;
- 试验日期、人员。

标题页应包括下列内容:

- 报告编号;(可选择)
- 报告的类型;(摘要式、详细式和完整式)
- 报告的作者;
- 试验者;
- 报告日期;
- 试验的场所;
- 试验的名称;
- 试验日期和时间;
- 试验申请单位。

B.2.2 内容目录

每种类型的报告都应提供一个目录。

B.3 报告类型

B.3.1 摘要式报告

摘要式报告应包括下列各项数据:

- 试验的目的;
- 试验的种类,仪器和设备;

- 所有的试验结果；
- 每个试验结果的不确定因素和确定因素；
- 摘要性结论。

B.3.2 详细式报告

详细式报告除包含摘要式报告的内容外,还应包括下列各项数据:

- 试验操作方式和试验流程图；
- 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试验结果；
- 试验结果的讨论分析。

B.3.3 完整式报告

完整式报告除了包含详细内容,还应有原始数据的副本,此外还应包括下列各项:

- 试验进行时间；
 - 用于试验的测量设备的精度；
 - 试验的环境条件；
 - 试验者的姓名和资格；
 - 完整和详细的不确定度分析。
-