



中华人民共和国国家标准

GB/T 20042.6—2024

代替 GB/T20042.6—2011

质子交换膜燃料电池 第 6 部分:双极板特性测试方法

Proton exchangemembrane fuelcell—Part6:Testmethod ofbipolar
plateproperties

2024-03-15发布

2024-10-01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

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 双极板材料抗弯强度测试 2

5 双极板材料密度测试 3

6 双极板材料电阻测试 4

7 双极板材料腐蚀电流密度测试 6

8 双极板部件面积利用率测试 8

9 双极板部件厚度均匀性测试 9

10 双极板部件槽深均匀性测试 11

11 双极板部件平面度测试 12

12 双极板部件相对平整度测试 13

13 双极板部件接触电阻测试 14

14 双极板部件气密性测试 14

15 双极板部件水接触角测试 16

16 双极板部件涂层厚度测试 17

17 双极板部件涂层结合强度测试 18

18 双极板部件腐蚀电流密度测试 18

19 双极板部件比热容测试 19

20 双极板部件热导率测试 19

21 双极板部件析出离子成分和浓度测试 20

22 测试指标适用性、测试准备及试验报告 21

附录 A (规范性) 测试指标适用性 22

附录 B (资料性) 测试准备 23

附录 C (资料性) 试验报告 24

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。

本文件是 GB/T 20042《质子交换膜燃料电池》的第6部分。GB/T 20042已经发布了以下部分：

- 第1部分：术语；
- 第2部分：电池堆通用技术条件；
- 第3部分：质子交换膜测试方法；
- 第4部分：电催化剂测试方法；
- 第5部分：膜电极测试方法；
- 第6部分：双极板特性测试方法；
- 第7部分：炭纸特性测试方法。

本文件代替 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》。与 GB/T 20042.6—2011相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 删除了双极板材料和部件气体致密性测试(见2011年版的第4章和第9章)；
- 增加了双极板材料垂直电阻率测试(见第6章)；
- 删除了双极板阻力降测试(见2011年版的第10章)；
- 增加了双极板部件槽深均匀性测试(见第10章)；
- 增加了双极板部件相对平整度测试(见第12章)；
- 删除了双极板部件重量测试(见2011年版的第14章)；
- 增加了双极板部件气密性测试(见第14章)；
- 增加了双极板部件水接触角测试(见第15章)；
- 增加了双极板部件涂层厚度测试(见第16章)；
- 增加了双极板部件涂层结合强度测试(见第17章)；
- 增加了双极板部件腐蚀电流密度测试(见第18章)；
- 增加了双极板部件比热容测试(见第19章)；
- 增加了双极板部件热导率测试(见第20章)；
- 增加了双极板部件析出离子成分和浓度测试(见第21章)。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国燃料电池及液流电池标准化技术委员会(SAC/TC342)归口。

本文件起草单位：山东国创燃料电池技术创新中心有限公司、中国科学院大连化学物理研究所、上海神力科技有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、潍柴动力股份有限公司、同济大学、华北电力大学、中国质量认证中心、上海捷氢科技股份有限公司、上海治臻新能源股份有限公司、新源动力股份有限公司、浙江华熔科技有限公司、新研氢能源科技有限公司、上海电气集团股份有限公司、海卓动力(青岛)能源科技有限公司、中山市深中标准质量研究中心、北京长征天民高科技有限公司、上海骥翀氢能科技有限公司、北京亿华通科技股份有限公司、上海韵量新能源科技有限公司、特嗨氢能检测(保定)有限公司、东方电气(成都)氢燃料电池科技有限公司、未势能源科技有限公司、国创氢能科技有限公司、浙江高成绿能科技有限公司、珠海格力电器股份有限公司、深圳市雄韬电源科技股份有限公司、浙江天能氢能源科技有限公司、爱德曼氢能源装备有限公司、国鸿氢能科技(嘉兴)股份有限公司、无锡先导智

能装备股份有限公司、万新(厦门)新材料有限公司。

本文件主要起草人:陈文淼、侯明、甘全全、朱晓春、张亮、马天才、刘建国、王刚、赵小军、方亮、胡鹏、邢丹敏、周志强、齐志刚、杨敏、郝富强、杨彦博、谢佳平、陈伟亮、靳殷实、付宇、方川、刘会粉、段志洁、谢光有、靳少辉、韩福江、侯向理、张永、陈宏、曹寅亮、徐真、赵钢、邵孟、兰加水。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

- 2011年首次发布为 GB/T 20042. 6—2011;
- 本次为第一次修订。

引 言

鉴于质子交换膜燃料电池技术发展,为服务质子交换膜燃料电池发电系统上下游制造商及其用户。GB/T 20042提供了统一的术语及定义,并针对质子交换膜燃料电池堆及其关键零部件提供了统一的试验方法。

GB/T 20042《质子交换膜燃料电池》拟由以下七部分构成。

- 第 1 部分:术语。目的是界定质子交换膜燃料电池技术及其应用领域内使用的术语和定义。
- 第 2 部分:电池堆通用技术条件。目的是给出质子交换膜燃料电池堆的通用技术要求、试验方法、检验规则等内容。
- 第 3 部分:质子交换膜测试方法。目的是给出质子交换膜燃料电池中质子交换膜厚度均匀性、质子传导率等测试方法。
- 第 4 部分:电催化剂测试方法。目的是给出质子交换膜燃料电池电催化剂铂含量、电化学活性面积等测试方法。
- 第 5 部分:膜电极测试方法。目的是给出质子交换膜燃料电池膜电极厚度均匀性、Pt 担载量等测试方法。
- 第 6 部分:双极板特性测试方法。目的是给出质子交换膜燃料电池双极板抗弯强度、密度、电阻等测试方法。
- 第 7 部分:炭纸特性测试方法。目的是给出质子交换膜燃料电池炭纸厚度均匀性、电阻、机械强度等测试方法。

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

本文件规定了质子交换膜燃料电池双极板材料的抗弯强度、密度、电阻和腐蚀电流密度等测试方法;双极板部件的面积利用率、厚度均匀性、槽深均匀性、平面度、相对平整度、接触电阻、气密性等测试方法。

本文件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。

注:双极板材料及双极板部件的界定如下:

- a) 双极板材料:与成品双极板材料状态一致的板材;
- b) 双极板部件:与使用状态一致的成品双极板。

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 230.2 金属材料 洛氏硬度试验 第 2 部分:硬度计及压头的检验与校准
GB/T 1958 产品几何技术规范(GPS) 几何公差 检测与验证
GB/T 4472—2011 化工产品密度、相对密度的测定
GB/T 13465.2 不透性石墨材料试验方法 第 2 部分:抗弯强度
GB/T 19466.4—2016 塑料 差示扫描量热法(DSC) 第 4 部分:比热容的测定
GB/T 20042.1—2017 质子交换膜燃料电池 第 1 部分:术语
GB/T 20428—2006 岩石平板
GB/T 22588—2008 闪光法测量热扩散系数或导热系数
GB/T 28634 微束分析 电子探针显微分析 块状试样波谱法定量点分析
GB/T 30693—2014 塑料薄膜与水接触角的测量
GB/T 30707—2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法 划痕法
GB/T 30902 无机化工产品 杂质元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)
GB/T 31563—2015 金属覆盖层 厚度测量 扫描电镜法
GB/T 34672 化学试剂 离子色谱法测定通则
JJG 508 四探针电阻率测试仪检定规程

3 术语和定义

GB/T 20042.1—2017界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

腐蚀电流密度 corrosion current density

单位面积双极板材料或部件的表面在模拟燃料电池运行环境中,在腐蚀电位下由于电化学反应引

起破坏所产生的电流值。

注 1：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模拟燃料电池运行环境下耐腐蚀性能的物理量。

注 2：腐蚀电流密度单位为微安每平方厘米($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)。

3.2

接触电阻 interfacial contact resistance

两种材料检测区域之间由于接触所产生的电阻。

注 1：双极板的接触电阻主要指双极板对应膜电极有效面积区域与炭纸之间的接触电阻。

注 2：接触电阻单位为毫欧平方厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$)。

3.3

垂直电阻率 through-plane resistivity

双极板材料在垂直板面方向的电阻率值。

注：垂直电阻率单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$)。

3.4

平面电阻率 in-plane resistivity

双极板材料在平行板面方向的电阻率值。

注：平面电阻率单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$)。

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。

注：抗弯强度单位为兆帕(MPa)。

3.6

平面度 flatness

双极板在规定压力下，被测部分提取表面上的最高峰点和最低谷点到拟合平面的距离值之和。

注 1：双极板的平面度直接影响双极板与气体扩散层之间的接触电阻，从而影响电池性能。

注 2：平面度单位为毫米(mm)。

3.7

相对平整度 relative flatness

双极板在自由状态下的最大弯曲量占双极板长度的百分比。

注：双极板的相对平整度直接影响双极板在电池上的装配尺寸精度，从而影响电池性能。

4 双极板材料抗弯强度测试

4.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

- 试验机：精度满足 0.5 级要求；
- 试验夹具：不应造成样品破坏；施加负荷时，应满足样品的纵轴与通过夹具中心线的拉伸方向重合；
- 试验压头：半径 $5.0\text{ mm}\pm0.1\text{ mm}$ ；
- 测厚仪：精度为 $1\text{ }\mu\text{m}$ ，用于测量样品的厚度；
- 游标卡尺：精度为 0.02 mm ，用于测量样品的长度和宽度。

4.2 样品准备

4.2.1 样品的宽度为 $25\text{ mm}\pm0.5\text{ mm}$ 、长度为 $60\text{ mm}\pm1\text{ mm}$ ，样品尺寸也可由测试双方协商决定。

样品各处厚度与厚度平均值的偏差不应大于 2%，宽度与宽度平均值的偏差不应大于 3%，样品截面应是矩形且无倒角。对于经过辊压成型的样品，应在样品平行于辊轴和垂直于辊轴两个方向上分别进行试验。

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 对于不同批次的样品，应分别抽样。

4.3 测试方法

4.3.1 沿样品长度方向测量宽度和厚度各 3 次，分别取其平均值。

4.3.2 调整支座跨距为 $40\text{ mm} \pm 0.3\text{ mm}$ ，将制备好的样品对称地放在两个支座上，且使试验机压头、支座轴向垂直于样品，按照 GB/T 13465.2 应用三点弯曲法对样品抗弯强度进行测试。

4.3.3 压头以 1 mm/min 的加载速度均匀地给样品施加负荷，直至样品断裂，读取断裂负荷值。

4.4 数据处理

样品的抗弯强度按照公式(1)进行计算：

$$\sigma = (3P \times L)/(2b \times h^2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

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 —样品宽度，单位为毫米(mm)；

h —样品厚度，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，保留一位小数。

5 双极板材料密度测试

5.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

—分析天平：精度为 0.1 mg ；

—温度计：分度值为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，用于测定空气温度和水温；

—金属丝：镍铬铁或铂合金丝，也可由测试双方协商决定，直径小于 0.2 mm ，用于吊挂样品。

5.2 样品准备

5.2.1 样品形状为正方形($5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$)，面积为 25 cm^2 ；样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。

5.2.2 用乙醇等溶剂清洗样品表面并干燥。

5.2.3 除去金属丝上的油脂。

5.2.4 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值)。

5.2.5 对于不同批次的样品，应分别抽样。

5.3 测试方法

按照 GB/T 4472—2011 中 4.2.3 的静水力学称量法规定的方法进行试验。

5.4 数据处理

样品的密度按照 GB/T 4472—2011 中 4.2.3.4 规定的方法进行数据处理。

取 3 个有效样品为一组 ,计算出平均值作为试验结果 ,保留两位小数。

6 双极板材料电阻测试

6.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

- 四探针低阻测量仪 :精度为 $0.1\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$;
- 测厚仪 :精度为 $1\text{ }\mu\text{m}$,用于测量样品的厚度 ;
- 低电阻测量仪 :直流模式 ,精度为 $0.01\text{ m}\Omega$;加压装置精度满足 0.5 级要求。

6.2 样品准备

- 6.2.1 样品形状为正方形($5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$) ,面积为 25 cm^2 ;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 对于不同批次的样品 ,应分别抽样。

6.3 测试方法

6.3.1 平面电阻率测试

- 6.3.1.1 每次测试前应校准测试仪的零点。测试时应避免样品变形、样品表面灰尘等因素的影响。
- 6.3.1.2 用四探针低阻测量仪分别在样品靠近边缘和中心的至少 5 个部位测试 ,记录不同部位平面电阻率值。

6.3.2 垂直电阻率测试

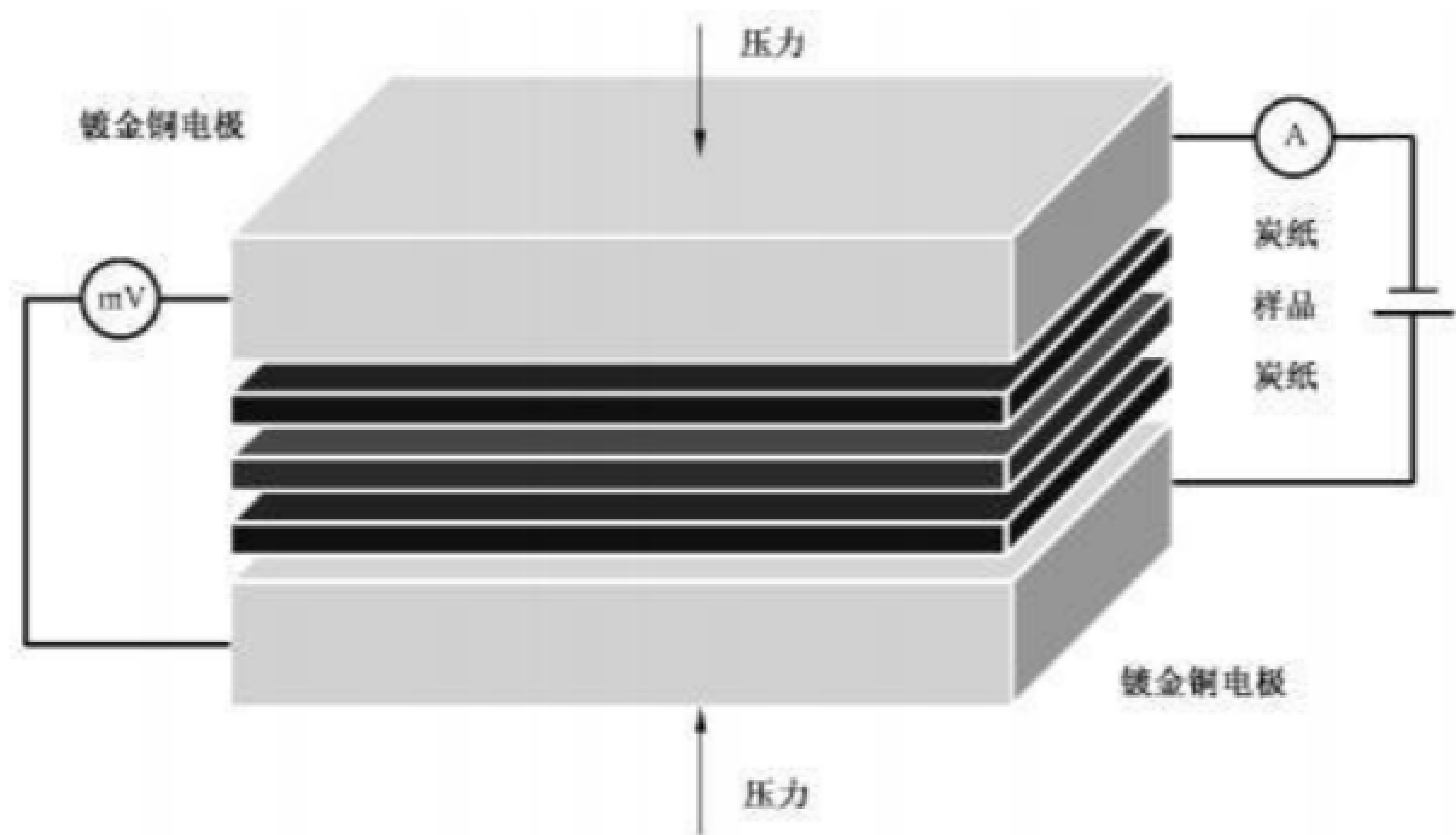
- 6.3.2.1 用低电阻测量仪测试电阻值 ,测试电极为镀金的铜电极。镀金铜电极与导线之间的连接方式由测试双方协商决定 ,将低电阻测量仪对测试结果的影响降至最低。
- 6.3.2.2 使用测厚仪测量样品厚度 ,测量位置不少于 3 个。
- 6.3.2.3 按图 1 所示将样品安装在测试装置上。测试时在样品两侧放置 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 的炭纸作为支撑物 ,以进一步改善接触状况。测试过程中 ,压力每增加 0.1 MPa 记录一个电阻值 ,直到当前电阻测试值相对前一电阻测试值的变化率 $\leq 5\%$,则认为达到电阻的最小值 ,停止测试。不同压力下的电阻值记录为 R_m 。
- 6.3.2.4 每次测试使用同种规格的新炭纸 ,试验报告中应注明炭纸厂家及型号。

注：测试电流密度为 $40\text{ mA}/\text{cm}^2$ 或由测试双方协商决定。测试压力范围一般为 $0.1\text{ MPa}\sim 2.0\text{ MPa}$,选取压力为 1.5 MPa 时的电阻值 ,或由测试双方协商决定。

6.3.3 接触电阻测试

- 6.3.3.1 用低电阻测量仪测试电阻值 ,测试电极为镀金的铜电极。镀金铜电极与导线之间的连接方式由测试双方协商决定 ,将低电阻测量仪对测试结果的影响降至最低。
- 6.3.3.2 按图 1 所示将样品安装在测试装置上。测试时在样品两侧放置 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 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相对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 。
- 6.3.3.3 按照相同方法 ,将 1 张 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 炭纸放置在两镀金铜电极间 ,按照 6.3.3.2 中所述的方法测试 ,记录不同压力下的电阻值 R_2 。

6.3.3.4 每次测试使用同种规格的新炭纸,试验报告中应注明炭纸厂家及型号。
注:测试电流密度为 40 mA/cm²,或由测试双方协商决定。测试压力范围一般为 0.1 MPa~ 2.0 MPa,选取压力为 1.5 MPa时的电阻值,或由测试双方协商决定。



注:样品以在其两侧的炭纸作为支撑物,放置在两块镀金铜电极之间。在镀金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。支撑物采用炭纸,电极采用镀金铜电极。

图 1 垂直电阻测试装置示意图

6.4 数据处理

6.4.1 样品的平面电阻率按照公式(2)进行计算:

$$\rho_{bulk} = \sum_{i=1}^n (\rho_i \times G \times D) / n \dots\dots\dots (2)$$

式中:
 ρ_{bulk} —样品平面电阻率,单位为毫欧厘米(mΩ·cm);
 ρ_i —不同部位电阻率测试值,单位为毫欧厘米(mΩ·cm);
 G —样品厚度校正系数;
 D —样品形状校正系数;
 n —测试的数据点数。

注:G和D的取值按照JJG 508中所述的方法进行计算,一般从仪器使用说明附表中查到。
取3个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果,保留两位小数。

6.4.2 样品的垂直电阻率按照公式(3)和公式(4)进行计算:

$$\rho_t = \frac{(R_m - 2R_c) \times S}{d} \dots\dots\dots (3)$$

式中:
 ρ_t —样品垂直电阻率,单位为毫欧厘米(mΩ·cm);
 R_m —样品本体电阻、两个炭纸本体电阻、两个样品与炭纸间的接触电阻、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(mΩ);
 R_c —炭纸的本体电阻、样品与炭纸间的接触电阻、铜电极本体电阻及炭纸与铜电极间的接触电阻总和,单位为毫欧(mΩ);
 S —样品与炭纸接触面积,单位为平方厘米(cm²);
 d —样品的平均厚度,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,保留两位小数。

$$R_c = \frac{R_{m1} \times \overline{d_2} - R_{m2} \times \overline{d_1}}{2(\overline{d_2} - \overline{d_1})} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

R_{m1} —样品厚度为 d_1 时,样品本体电阻、两个炭纸本体电阻、两个样品与炭纸间的接触电阻、
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(mΩ)；
 $\overline{d_1}$ —样品 1 的平均厚度,单位为厘米(cm)；

R_{m2} —样品厚度为 d_2 时,样品本体电阻、两个炭纸本体电阻、两个样品与炭纸间的接触电阻、
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(mΩ)；
 $\overline{d_2}$ —样品 2 的平均厚度,单位为厘米(cm)。

R_c 取至少四组不同厚度样品计算值的平均值,保留两位小数。

注：两次测试样品厚度满足： $\overline{d_1} = (1.5 \sim 2.0)\overline{d_2}$,或由测试双方协商决定。

6.4.3 样品的接触电阻按照公式(5)进行计算：

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

式中：

R ——样品与炭纸间的接触电阻,单位为毫欧平方厘米(mΩ·cm²)；
 R_1 —样品本体电阻、两个炭纸本体电阻、两个样品与炭纸间的接触电阻、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(mΩ)；
 R_2 —两个铜电极本体电阻、炭纸本体电阻及炭纸与两个铜电极间的接触电阻的总和,单位为毫
欧(mΩ)；
 R_{BP} —样品垂直方向电阻,单位为毫欧(mΩ)；
 R_{CP} —炭纸垂直方向电阻,单位为毫欧(mΩ)；
 S ——样品与炭纸接触面积,单位为平方厘米(cm²)。

注：样品垂直方向电阻及炭纸垂直方向电阻相对于 R_1 ,数值比较小,因而忽略不计。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果,保留两位小数。

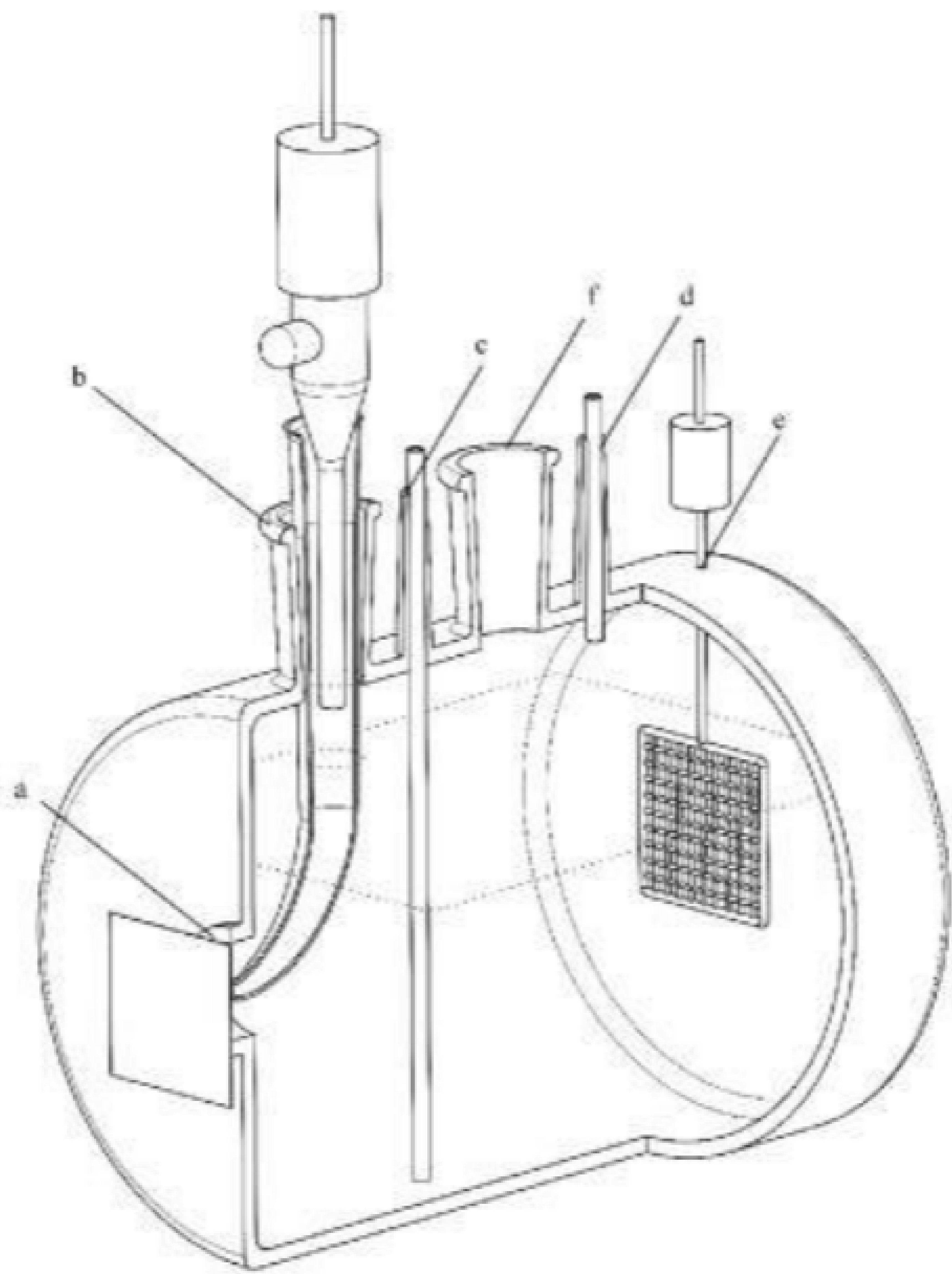
7 双极板材料腐蚀电流密度测试

7.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

- 电化学恒电位测试仪；
- 电化学测试池:测试池容量至少 300mL,用于盛放电解质溶液,材料为玻璃或塑料等耐腐蚀性材料。

注：测试池如图 2 所示,电解质溶液容量为测试池容量的三分之二。测试池侧面留有开口 a,测试时用于放置样品作为工作电极,利用样品对开口 a 进行密封,样品与电解质溶液接触侧的有效面积至少为 1 cm²,或由测试双方协商决定。测试池上部设有五个开口:开口 b 用于放置与参比电极相连的盐桥、开口 c 用于放置通气管、开口 d 用于放置出气管、开口 e 用于放置辅助电极、开口 f 用于置换溶液,开口 a、b、e 呈一字排布。辅助电极正对工作电极表面,间距 8 cm~10 cm。通气管远离侧壁,下端距离电极至少 5 cm。盐桥为鲁金毛细管盛装饱和 KCl 琼脂溶液所构成的体系,毛细管下端放置在距离工作电极表面 1 mm~3 mm 处。参比电极与盐桥相连以减小液体接界电势,下端在电解质溶液液面以上至少 5 mm 处。测试池配备控温装置,控温偏差在 ±2℃以内,控温装置如需插入电解质溶液,则远离电极至少 5 cm。



- 标引序号说明：
- a—工作电极安装口；
 - b—参比电极安装口；
 - c—进气管安装口；
 - d—出气管安装口；
 - e—辅助电极安装口；
 - f——溶液置换及控温装置安装口。

图 2 测试池示意图

7.2 样品准备

- 7.2.1 裁取一定尺寸送试材料作为样品，保证样品有效面积至少为 1 cm²。
- 7.2.2 用乙醇等溶剂清洗样品表面，并在 80 °C 氮气环境下干燥 10 min。
- 7.2.3 按照电解池侧面开口形状对样品进行密封，保证试验时不会漏液。
- 7.2.4 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。
- 7.2.5 对于不同批次的样品，应分别抽样。

7.3 测试方法

7.3.1 开路电位测试

- 7.3.1.1 以样品为工作电极，以饱和甘汞电极作为参比电极，以铂片或铂网为辅助电极进行测试；参比电极类型也可由测试双方协商决定。
- 7.3.1.2 向温度为 80 °C、F⁻ 含量为 0.1 mg/L、pH= 3 的 H₂SO₄ 电解质溶液中以 20 mL/min 的流速通

入空气或氢气。通气 15 min 后,体系稳定即可开始试验。

注:使用 NaF、KF 或 HF 等含 F 溶液。相关化学品使用操作按照《危险化学品安全管理条例》要求执行。下文涉及 F⁻ 要求与此要求相同。

7.3.1.3 分别在模拟阴极、阳极环境下进行开路电位测试,测试持续至少 30 min 且电位在 2 min 内变化不超过 5 mV 可认为稳定,即可开始腐蚀电流密度测试。动电位测试和恒电位测试前均需执行一次该测试。

7.3.2 动电位测试

7.3.2.1 以样品为工作电极,以饱和甘汞电极为参比电极,以铂片或铂网为辅助电极进行测试;参比电极类型也可由测试双方协商决定,线性电位扫描范围根据所用参比电极类型进行相应转换。

7.3.2.2 向温度为 80℃、F⁻ 含量为 0.1 mg/L、pH = 3 的 H₂SO₄ 电解质溶液中以 20 mL/min 的流速通入空气或氢气,以模拟燃料电池阴极或阳极环境。通气体 15 min 后,体系稳定即可开始试验。

7.3.2.3 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 ~ 1.4 V(vs. SCE),不同气体环境下分别记录试验数据。

7.3.2.4 对测得的线性电位扫描曲线进行塔菲尔(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。

7.3.3 恒电位测试

7.3.3.1 以样品为工作电极,以饱和甘汞电极为参比电极,以铂片或铂网为辅助电极进行测试。参比电极类型也可由测试双方协商决定,测试电位根据所用参比电极类型进行相应转换。

7.3.3.2 向温度为 80℃、F⁻ 含量为 0.1 mg/L、pH = 3 的 H₂SO₄ 电解质溶液中以 20 mL/min 的流速通入空气或氢气,以模拟燃料电池阴极或阳极环境。

7.3.3.3 对模拟阴极和阳极环境中的样品分别施加 0.6 V(vs. SCE)和 -0.1 V(vs. SCE)的电位,并保持至少 4 h,实际时间也可由测试双方协商决定。

7.3.3.4 对测得的极化曲线进行数据处理,选取曲线最后 5 min 腐蚀电流的平均值为恒电位下的稳定腐蚀电流。

7.4 数据处理

样品的腐蚀电流密度按照公式(6)进行计算:

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

式中:

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

I — 腐蚀电流,单位为微安(μA);

S — 样品的有效测试面积,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,保留两位小数。

8 双极板部件面积利用率测试

8.1 测试仪器

测试仪器包括轮廓测量仪,精度为 5 μm 。

注:所有能实现轮廓测量的仪器设备均可。

8.2 样品准备

8.2.1 样品为完整双极板,数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。

8.2.2 对于不同批次的样品,应分别抽样。

8.3 测试方法

- 8.3.1 在 25 °C ±2 °C条件下进行测试。
- 8.3.2 用透明板施加一定的压力将样品压平,透明板的尺寸大于样品尺寸,透明板的材质、厚度及压力由测试双方协商决定。
- 8.3.3 利用轮廓测量仪测量样品平面投影的外围轮廓包含的几何面积,为样品总面积 S_0 。
- 8.3.4 由测试委托方提供与样品相匹配的膜电极的阴极活性面积,作为样品流场部分的面积 S 。
- 8.3.5 试验报告中应注明膜电极厂家及型号。

8.4 数据处理

样品的面积利用率按照公式(7)进行计算：

$$U = S/S_0 \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- U — 样品的面积利用率；
 - S —— 样品流场部分的面积,单位为平方厘米(cm^2)；
 - S_0 — 样品总面积,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,保留一位小数。

9 双极板部件厚度均匀性测试

9.1 测试仪器

- 测试仪器包含下列设备及工具：
- 测厚仪:精度为 1 μm ,用于测量样品的厚度；
 - 直尺:分度值为 1 mm,用于确定样品的测量位置。

9.2 样品准备

- 9.2.1 样品为完整双极板,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。
- 9.2.2 对于不同批次的样品,应分别抽样。

9.3 测试方法

- 9.3.1 在 25 °C ±2 °C条件下进行测试。
- 9.3.2 每次测量前应校准测厚仪的零点,且在每次样品测量后应重新检查其零点。
- 9.3.3 测量时将被测区域悬置或对被测区域施加一定压力,避免受到样品翘曲等因素的影响,具体方法可由测试双方协商决定。
- 9.3.4 测量时将测厚仪测量头平缓放下,避免样品变形和破损。
- 9.3.5 样品密封区域测量位置示意图如图 3 所示。在样品活性区域长度方向和宽度方向对称中心线与密封槽槽顶宽度方向中心线的交点处分别选取测量位置,测量位置应不少于 4处,如图 3 中 A1~ A4所示。在样品燃料腔、氧化剂腔、冷却腔到活性区域的进口和出口的对称中心线与密封槽槽顶宽度方向中心线交点处分别选取测量位置,测量位置应不少于 6处,如图 3 中 B1~ B6所示。
- 9.3.6 样品活性区域测量位置示意图如图 3 所示。沿样品活性区域宽度方向的中心,对称且均匀地选取至少 3条流场流道,最外侧流场流道距离样品活性区域宽度方向边界 20 mm~ 60 mm。在每条流场流道上沿样品活性区域长度方向的中心,对称且均匀地选取至少 3处测量位置,最外侧测量位置距离样

品活性区域长度方向边界 20 mm~ 60 mm。测量位置应不少于 9 处,选取位置宜参照图 3 所示 C1~C9。

9.3.7 在样品测量位置处,使用测厚仪分别测量密封槽或流场流道两侧的密封槽沿或脊背的厚度,取测量值较大侧的数值为样品的厚度。

注：活性区域是单电池中膜电极活性面积所对应的几何轮廓在极板上的投影所包围的空间。

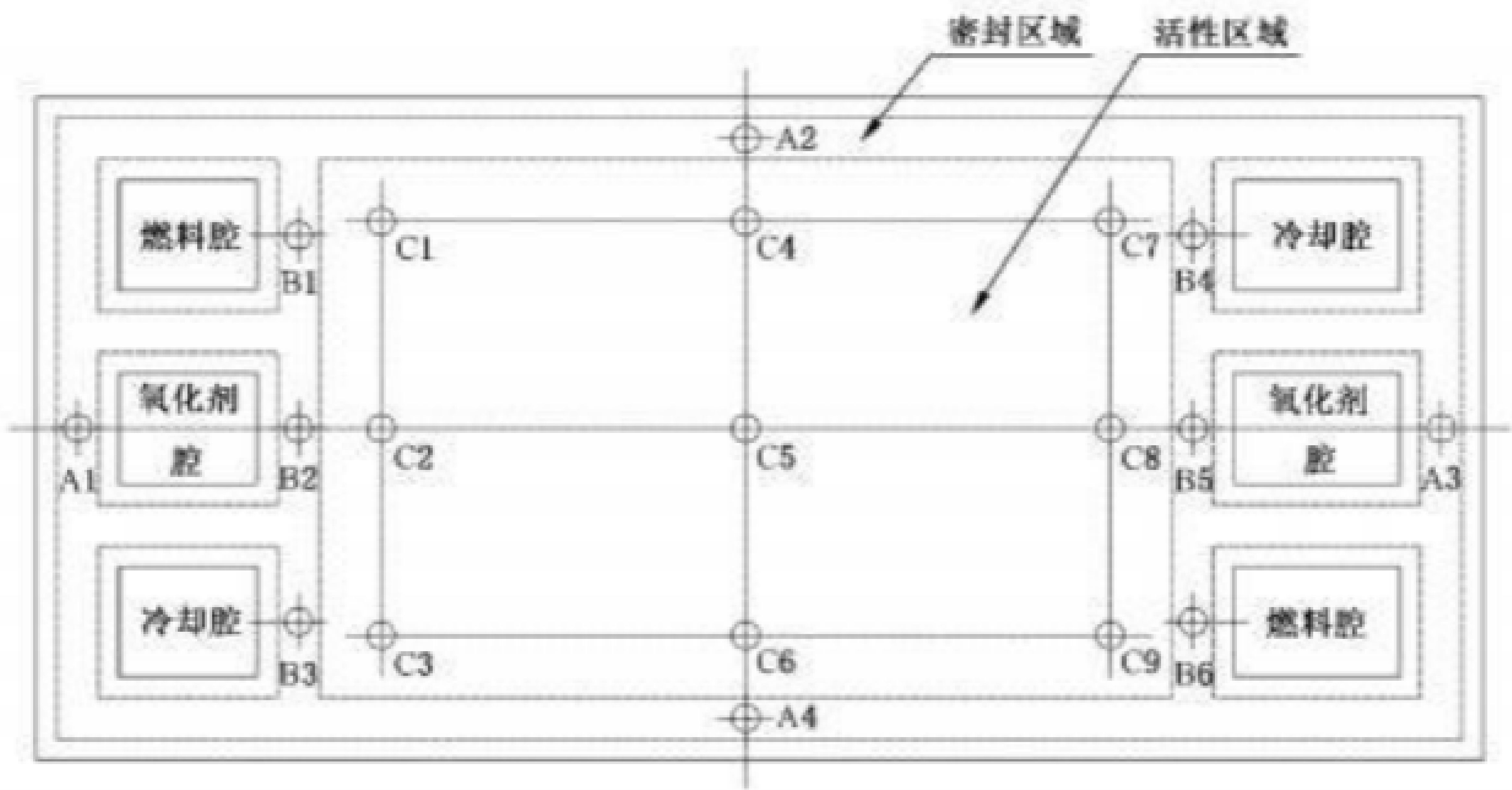


图 3 样品测量位置示意图

9.4 数据处理

9.4.1 对样品密封区域和活性区域的厚度均匀性分别进行数据处理。

9.4.2 样品的厚度均匀性用平均厚度、厚度极差以及厚度标准差表示。

9.4.3 样品的平均厚度按照公式(8)进行计算：

$$d = \sum_{i=1}^n d_i / n \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- d — 样品的平均厚度,单位为毫米(mm)；
 - d_i — 样品上测量点的厚度测量值,单位为毫米(mm)；
 - n — 测量数据点数。
- 取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果,保留三位小数。

9.4.4 样品的厚度极差按照公式(9)进行计算：

$$\Delta d = d_{\max} - d_{\min} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- Δd — 样品的厚度极差,单位为毫米(mm)；
 - d_{max} — 样品的厚度最大值,单位为毫米(mm)；
 - d_{min} — 样品的厚度最小值,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,保留三位小数。

9.4.5 样品的厚度标准差按照公式(10)进行计算：

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (d - d_i)^2 / n} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- σ — 样品的厚度标准差,单位为毫米(mm)；

- d 一样品的平均厚度,单位为毫米(mm) ;
 - d_i 一样品上测量点的厚度测量值,单位为毫米(mm) ;
 - n 一测量数据点数。
- 取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果,保留三位小数。

10 双极板部件槽深均匀性测试

10.1 测试仪器

- 测试仪器包含下列设备及工具：
- 轮廓测量仪:精度为 5 μm ;
 - 直尺:分度值为 1 mm,用于确定样品槽深的测量位置。
- 注：所有能实现轮廓测量的仪器设备均可。

10.2 样品准备

- 10.2.1 样品为完整双极板,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。
- 10.2.2 对于不同批次的样品,应分别抽样。
- 注：如无法提供完整双极板,冷却流场流道深度测试样品使用同批次阴极板和阳极板代替。

10.3 测试方法

- 10.3.1 在 25 $^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下进行测试。
- 10.3.2 对样品阴极板和阳极板在密封区域的密封槽深度分别进行测试,测量位置示意图如图 3 中 A1~A4 及 B1~B6 所示。
- 10.3.3 对样品阴极板和阳极板的气体流场及冷却流场在活性区域的流道深度分别进行测试,测量位置示意图如图 3 中 C1~C9 所示。
- 10.3.4 在样品测量位置处,使用轮廓测量仪垂直于密封槽或流场流道的槽顶宽度方向中心线进行轮廓扫描,获得密封槽或流场流道的横截面轮廓。对于两侧槽沿等高的密封槽或流场流道以两侧槽沿为基准平面;对于两侧槽沿不等高的密封槽或流场流道以较高侧槽沿为基准平面。测量密封槽或流场流道的槽底与基准平面间的垂直距离为样品深度 h ,如图 4 所示。

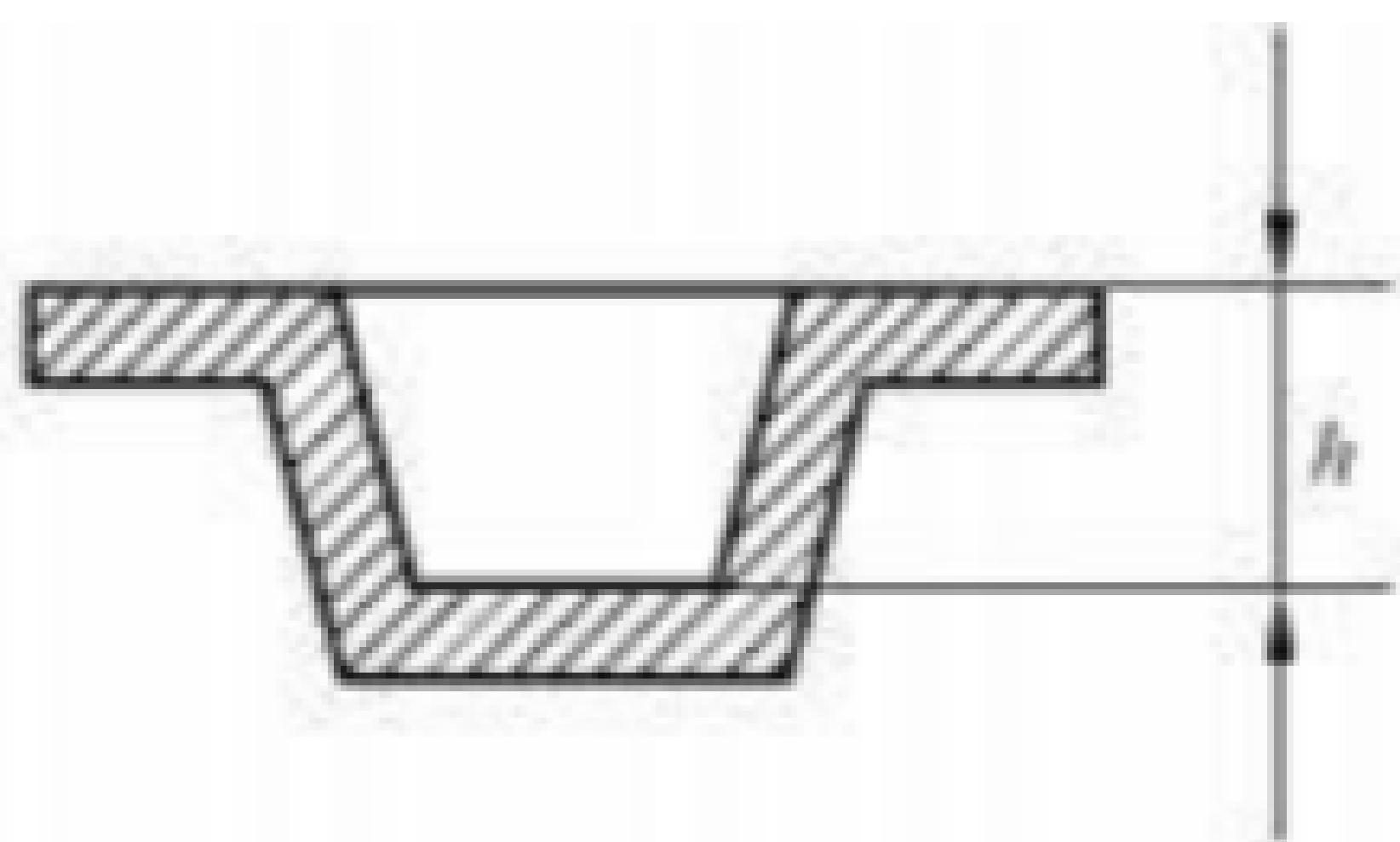


图 4 样品槽深示意图

10.4 数据处理

- 10.4.1 对样品密封区域和活性区域的槽深均匀性分别进行数据处理。
- 10.4.2 样品的槽深均匀性用平均深度、极差以及标准差表示。
- 10.4.3 样品的平均深度按照公式(11)进行计算：

$$h = \sum_{i=1}^n h_i / n$$

.....(11)

式中：
h — 样品的平均深度，单位为毫米(mm)；
h_i — 样品上测量点的深度测量值，单位为毫米(mm)；
n — 测量数据点数。
取 3 个有效样品为一组，计算出平均值作为试验结果，保留三位小数。

10.4.4 样品的深度极差按照公式(12)进行计算：

$$\Delta h = h_{\max} - h_{\min} \dots\dots\dots (12)$$

式中：
Δh — 样品的深度极差，单位为毫米(mm)；
h_{max} — 样品的深度最大值，单位为毫米(mm)；
h_{min} — 样品的深度最小值，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，保留三位小数。

10.4.5 样品的深度标准差按照公式(13)进行计算：

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (h - h_i)^2 / n} \dots\dots\dots (13)$$

式中：
σ — 样品的深度标准差，单位为毫米(mm)；
h — 样品的平均深度，单位为毫米(mm)；
h_i — 样品上测量点的深度测量值，单位为毫米(mm)；
n — 测量数据点数。
取 3 个有效样品为一组，计算出平均值作为试验结果，保留三位小数。

11 双极板部件平面度测试

11.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：
— 平面度测量仪：精度为 1 μm；具有自动构建局部平面度参考面及结果计算的能力；
— 测量台：准确度至少满足 GB/T 20428—2006 中 8.3 规定的 2 级平板要求。

11.2 样品准备

11.2.1 样品为完整双极板，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。
11.2.2 对于不同批次的样品，应分别抽样。

11.3 测试方法

11.3.1 在 25 °C ±2 °C 条件下进行测试。
11.3.2 每次测量前应校准测量仪的零点，且在每次样品测量后应重新检查其零点。
11.3.3 按照 GB/T 1958 中所述的方法，确定样品被测表面及测量界限。使用正压压平或负压吸平等方法对被测区域投影面积施加至少 0.3 MPa 的压力，测量压力也可由测试双方协商决定，以保证被测区域平整。按一定的提取方案对被测平面进行提取，得到提取表面。
11.3.4 对提取表面采用最小区域法进行拟合，得到拟合平面。
11.3.5 测量样品的平面度。
注：主要测量样品的脊背部分，样品的沟槽部分不考虑在内。

11.4 数据处理

样品的平面度为样品提取表面上的最高峰点和最低谷点到拟合平面的距离值之和,按照公式(14)进行计算:

$$d = d_h + d_l \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

d — 样品被测表面的平面度,单位为微米(μm);

d_h — 样品提取表面上的最高峰点到拟合平面的距离值,单位为微米(μm);

d_l — 样品提取表面上的最低谷点到拟合平面的距离值,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,保留一位小数。

12 双极板部件相对平整度测试

12.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具:

— 高度测量仪:精度为 0.01 mm;

— 游标卡尺:精度为 0.02 mm,用于测量样品的长度;

— 测量台:准确度至少满足 GB/T 20428—2006 中 8.3 规定的 2 级平板要求。

12.2 样品准备

12.2.1 样品为完整双极板,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。

12.2.2 对于不同批次的样品,应分别抽样。

12.3 测试方法

12.3.1 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下进行测试。

12.3.2 每次测量前应校准测量仪的零点,且在每次样品测量后应重新检查其零点。

12.3.3 将样品放置在测量台平面上,放置时样品的装配基准面与测量台平面自由接触,使用高度测量仪测量样品上表面最高处到测量台平面的垂直距离 h 。

12.3.4 对样品施加一定压力以保证样品平整,使用游标卡尺测量样品外围轮廓上任意两点间的最大直线距离 l 。

12.3.5 按照 9.3 规定的方法,测量样品活性区域的平均厚度 d 。

12.4 数据处理

样品的相对平整度,按照公式(15)进行计算:

$$\Phi = \frac{h-d}{l} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

Φ — 样品的相对平整度;

h — 样品上表面最高处到测量台平面的垂直距离,单位为毫米(mm);

d — 样品活性区域的平均厚度,单位为毫米(mm);

l — 样品外围轮廓上任意两点间的最大直线距离,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,保留两位小数。

13 双极板部件接触电阻测试

13.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

—低电阻测量仪：直流模式，精度为 0.01 mΩ；加压装置精度满足 0.5 级要求。

13.2 样品准备

13.2.1 样品为完整双极板，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。

13.2.2 对于不同批次的样品，应分别抽样。

13.3 测试方法

按照 6.3.3 规定的方法对样品的接触电阻进行测试，被测区域为样品活性区域的中心，炭纸面积与低电阻测量仪压头面积相同。

样品与炭纸接触面积按被测区域脊背面积的 1.1 倍计算，并在试验报告中注明被测区域脊背的图纸尺寸。

13.4 数据处理

样品的接触电阻按照 6.4.3 规定的方法对测试结果进行处理。

14 双极板部件气密性测试

14.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

—压力表：准确度等级满足 0.4 级要求；

—气体管路及阀门：通过阀门封闭或开放样品三腔的进口和出口；

—质量流量计：测量范围为 0 mL/min~10 mL/min，准确度等级满足 0.1 级要求。

注：质量流量计布置在三腔（燃料腔、氧化剂腔及冷却腔）进口前的总管、冷却腔进口前的支管、冷却腔出口后的支管、燃料腔出口后的支管上。分别使用多个质量流量计，或者通过阀门和气体管路配合实现质量流量计共用。

14.2 样品准备

14.2.1 样品为完整双极板，样品供应方同时提供与样品配套的夹具和密封件。

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 对于不同批次的样品，应分别抽样。

14.3 测试方法

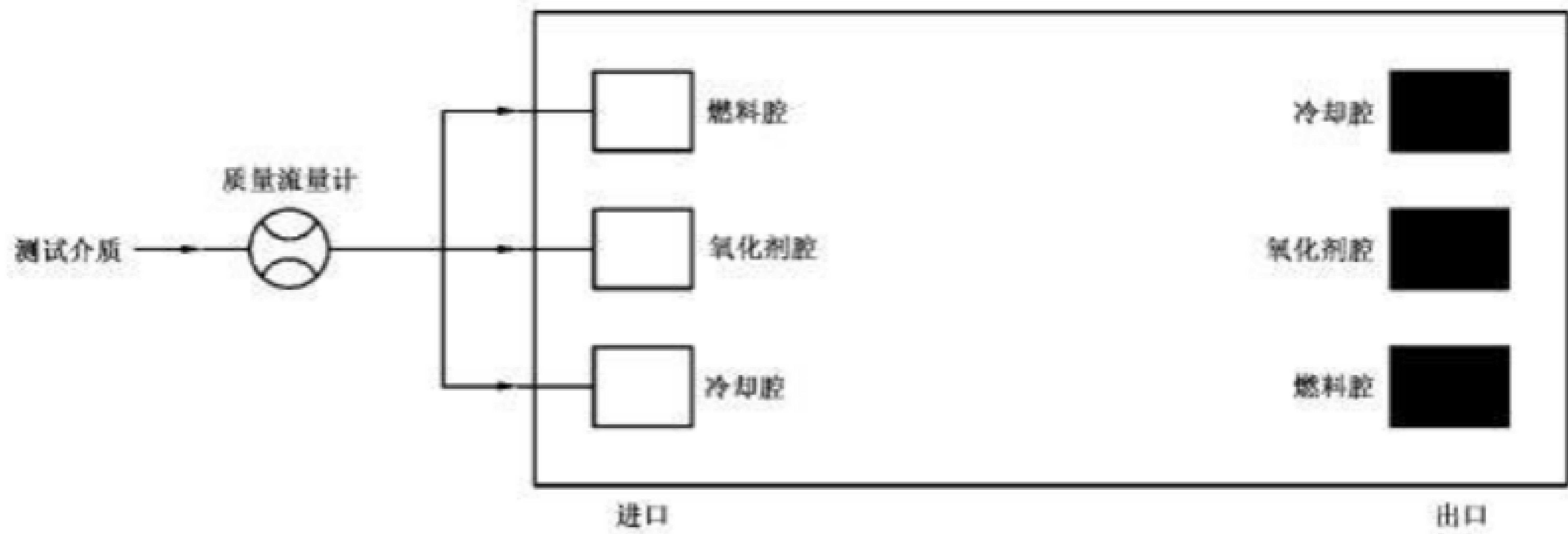
14.3.1 在 25℃±2℃条件下，将样品置于配套的夹具之间，通过夹具密封并隔离样品的三腔，随后对样品进行外漏测试和窜漏测试，测试前确保夹具密封性能良好。

14.3.2 测试介质为氮气，测试介质也可由测试双方协商决定。试验报告中应注明测试介质、样品各腔的最大运行压力以及各腔间的最大运行压差。

注：最大运行压差是由制造商规定的燃料电池可安全连续运行的内部燃料、氧化剂及冷却介质任意两者间的最大压差。

14.3.3 总外漏测试示意图如图 5 所示，测试介质压力不小于样品三腔中最大运行压力最大值的 1.1

倍。封闭样品三腔出口,开放样品三腔进口,将测试介质通过总管同时通入样品的三腔进口,待总管前的质量流量计示数稳定时间不少于 30 s且稳定期间的数值变化率不大于 30%后记录数值,即为总外漏量,单位为 mL/min。



注：黑色填充部分表示对应进口或出口为封闭状态,否则为开放状态;图 6~ 图 8表示方法相同。

图 5 总外漏测试示意图

14.3.4 冷却腔泄漏测试示意图如图 6所示,测试介质压力不小于样品冷却腔最大运行压力的 1.1 倍。封闭样品三腔出口,开放样品三腔进口,将测试介质通过总管同时通入样品三腔进口,待冷却腔进口支管前的质量流量计示数稳定时间不少于 30 s且稳定期间的数值变化率不大于 30%后记录数值,即为冷却腔泄漏量,单位为 mL/min。

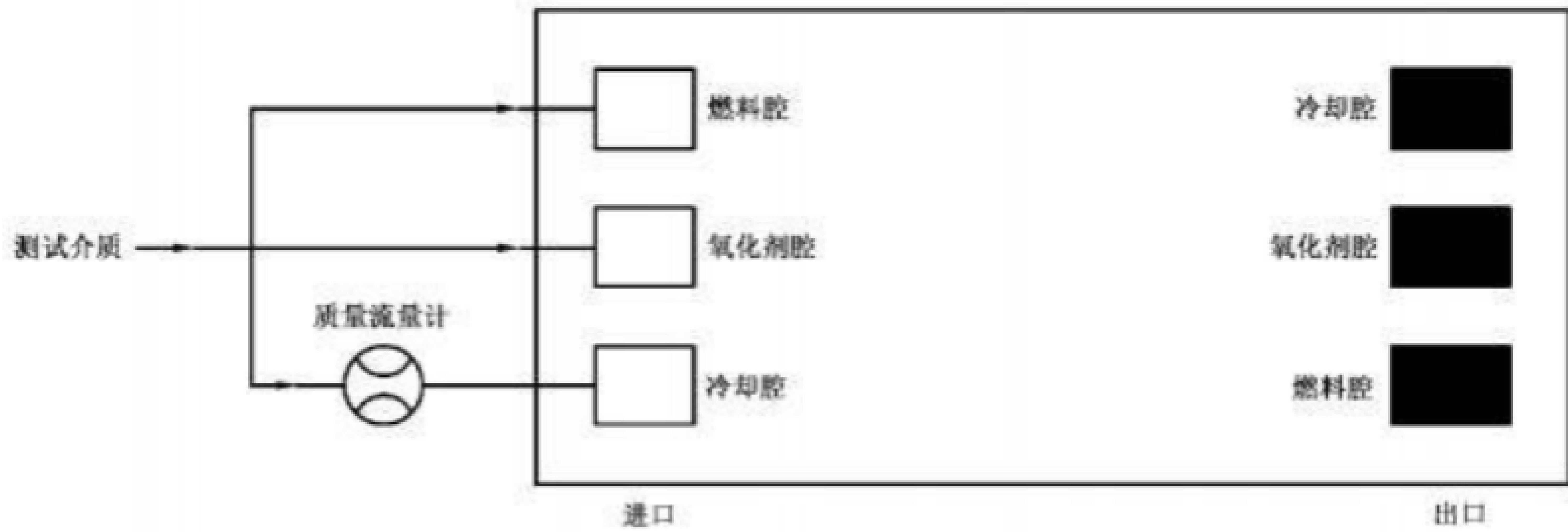


图 6 冷却腔泄漏测试示意图

14.3.5 燃料腔、氧化剂腔到冷却腔窜漏测试示意图如图 7 所示,测试介质压力不小于燃料腔到冷却腔或氧化剂腔到冷却腔最大运行压差最大值的 1.1 倍。封闭样品燃料腔出口、氧化剂腔出口及冷却腔进口,开放样品燃料腔进口、氧化剂腔进口及冷却腔出口,将测试介质通过总管同时通入样品的燃料腔及氧化剂腔进口,待冷却腔出口支管后的质量流量计示数稳定时间不少于 30 s且稳定期间的数值变化率不大于 30%后记录数值,即为燃料腔、氧化剂腔到冷却腔窜漏量,单位为 mL/min。



图 7 燃料腔、氧化剂腔到冷却腔窜漏测试示意图

14.3.6 氧化剂腔到燃料腔窜漏测试示意图如图 8 所示,测试介质压力不小于氧化剂腔到燃料腔最大运行压差的 1.1 倍。封闭样品燃料腔进口、冷却腔进口及氧化剂腔出口、冷却腔出口,开放样品氧化剂腔进口及燃料腔出口,将测试介质通入样品的氧化剂腔进口,待燃料腔出口支管后的质量流量计示数稳定时间不少于 30 s 且稳定期间的数值变化率不大于 30% 后记录数值,即为氧化剂腔到燃料腔窜漏量,单位为 mL/min。



图 8 氧化剂腔到燃料腔窜漏测试示意图

14.4 数据处理

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果,保留一位小数。

15 双极板部件水接触角测试

15.1 测试仪器

测试仪器包括接触角测量仪。

15.2 样品准备

15.2.1 对于阴极板和阳极板表面处理工艺不同的双极板,应分别裁取样品。

15.2.2 样品取样尺寸和位置由测试双方协商决定。

15.2.3 用乙醇等溶剂清洗样品表面并干燥。

15.2.4 注意保护好样品表面,不应触摸待测区域。

15.2.5 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。

15.2.6 对于不同批次的样品,应分别抽样。

15.3 测试方法

按照 GB/T 30693—2014 中第 10 章规定的方法进行试验。

15.4 数据处理

15.4.1 样品水接触角的平均值按照公式(16)进行计算：

$$\theta = \sum_{i=1}^n \theta_i / n$$

.....(16)

式中：

- θ 一样品的平均接触角,单位为度(°)；
- θ_i—不同样品水接触角测量值,单位为度(°)；
- n 一样品数量。

15.4.2 对于阴极板和阳极板表面处理工艺不同的双极板,试验报告中应分别注明测试结果。

16 双极板部件涂层厚度测试

16.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

- 金相显微镜 :测量不确定度为 0.5 μm;
- 扫描电子显微镜；
- 电子探针显微分析仪。

16.2 样品准备

16.2.1 对于阴极板和阳极板表面处理工艺不同的双极板,应分别裁取样品。

16.2.2 按照 GB/T 31563—2015 中第 7 章规定的方法制备样品。

16.2.3 从待测样品活性区域均匀裁取样品,样品数量不少于 5 个(保证得到 3 个有效值)。

16.2.4 对样品进行金相镶嵌,并对切割横截面进行研磨、抛光。

16.2.5 经处理后的横截面垂直于涂层表面。

16.2.6 表面平整,测量时涂层整个厚度在使用的放大倍数下可同时聚焦。

16.2.7 排除所有在切割或者制备横截面时形成的材料变形。

16.2.8 涂层横截面的边界要能够通过对比外观或有窄而明显的界线,明显区分。

16.2.9 对于不同批次的样品,应分别抽样。

16.3 测试方法

根据涂层厚度、涂层界线选择合适的测试方法：

- a) 涂层厚度为微米级别 :采用校正过的金相显微镜测量涂层横截面的厚度,沿横截面长度方向至少取五个位置进行测量。
- b) 涂层厚度在亚微米至十纳米级别,且涂层界线清晰时 :采用扫描电子显微镜进行距离测量,测试方法及数据处理按照 GB/T 31563—2015 规定的方法进行。
- c) 涂层厚度小于 50 nm,且涂层界线不明显时 :采用电子探针显微分析仪进行成分线扫描,测试方法及数据处理按照 GB/T 28634 规定的方法进行。

16.4 数据处理

16.4.1 样品的涂层平均厚度按照公式(17)计算：

$$d = \sum_{i=1}^n d_i / n$$

.....(17)

式中：

d —样品的涂层平均厚度 ,单位为微米(μm) ；

d_i—不同样品涂层厚度测量值 ,单位为微米(μm) ；

n —样品数量 。

16.4.2 对于阴极板和阳极板表面处理工艺不同的双极板 ,试验报告中应分别注明测试结果 。

17 双极板部件涂层结合强度测试

17.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

—划痕仪；

—金刚石压头 :符合 GB/T 230.2 的洛氏(HRC)硬度计要求 。

17.2 样品准备

- 17.2.1 对于阴极板和阳极板表面处理工艺不同的双极板 ,应分别裁取样品 。
- 17.2.2 按照 GB/T 30707—2014 中第 5 章规定的方法制备样品 ,取样尺寸和位置 由测试双方协商决定 。
- 17.2.3 清洗样品并干燥 ,样品表面应无明显油污、水汽和污渍 。
- 17.2.4 样品的基体、界面和涂层在划擦经过的范围内 ,应保持平整 ,组分、显微结构、密度、残余应力和厚度等应均匀一致 。
- 17.2.5 样品的表面粗糙度 Ra<0.5 μm 。
- 17.2.6 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 。
- 17.2.7 对于不同批次的样品 ,应分别抽样 。

17.3 测试方法

按照 GB/T 30707—2014 中 6.1 规定的方法进行试验 。

17.4 数据处理

- 17.4.1 按照 GB/T 30707—2014 中 6.2 规定的方法进行数据处理得到样品的涂层结合强度 。
- 17.4.2 对于阴极板和阳极板表面处理工艺不同的双极板 ,试验报告中应分别注明测试结果 。

18 双极板部件腐蚀电流密度测试

18.1 测试仪器

按照 7.1 规定的仪器进行试验 。

18.2 样品准备

- 18.2.1 对于阴极板和阳极板表面处理工艺不同的双极板 ,应分别裁取样品 。

18.2.2 从待测双极板活性区域均匀裁取样品,保证样品有效面积至少为 1 cm^2 ,有效面积按样品的投影面积计算。双极板活性区域如有焊点,样品表面应至少包含一个焊点且位于样品中心。

18.2.3 用乙醇等溶剂清洗样品表面,并在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 氮气环境下干燥 10 min 。

18.2.4 按照测试池侧面开口形状对样品进行密封,保证试验时不会漏液。

18.2.5 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。

18.2.6 对于不同批次的样品,应分别抽样。

18.3 测试方法

按照 7.3 规定的方法进行试验。

18.4 数据处理

18.4.1 按照 7.4 规定的方法进行数据处理得到样品的腐蚀电流密度。

18.4.2 对于阴极板和阳极板表面处理工艺不同的双极板,试验报告中应分别注明测试结果。

19 双极板部件比热容测试

19.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具:

- 差示扫描量热仪:符合 GB/T 19466.4—2016 中 5.1 的规定;
- 坩埚:符合 GB/T 19466.4—2016 中 5.2 的规定;
- 分析天平:符合 GB/T 19466.4—2016 中 5.3 的规定。

19.2 样品准备

19.2.1 从待测双极板活性区域均匀裁取样品,样品质量 $\geq 1\text{ mg}$ 。

19.2.2 用乙醇等溶剂清洗样品表面并干燥。

19.2.3 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。

19.2.4 对于不同批次的样品,应分别抽样。

19.3 测试方法

按照 GB/T 19466.4—2016 中第 8 章规定的方法进行试验。

19.4 数据处理

按照 GB/T 19466.4—2016 中 9.1 规定的方法进行数据处理得到样品的比热容。

20 双极板部件热导率测试

20.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具:

- 差示扫描量热仪:符合 GB/T 19466.4—2016 中 5.1 的规定;
- 激光导热仪:符合 GB/T 22588—2008 中第 7 章的规定;
- 千分尺:分度值为 0.01 mm 。

20.2 样品准备

- 20.2.1 从待测双极板活性区域均匀裁取样品,样品为圆形,直径 6 mm~ 18 mm。
- 20.2.2 用乙醇等溶剂清洗样品表面并干燥。
- 20.2.3 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。
- 20.2.4 对于不同批次的样品,应分别抽样。

20.3 测试方法

按照 GB/T 22588—2008中第 10章规定的方法进行试验。

20.4 数据处理

20.4.1 热扩散系数 α

按照 GB/T 22588—2008中第 11章规定的方法进行数据处理得到样品的热扩散系数。

20.4.2 导热系数 λ

按照 GB/T 22588—2008中 5.4规定的方法进行数据处理得到样品的导热系数。

21 双极板部件析出离子成分和浓度测试

21.1 测试仪器

测试仪器包含下列设备及工具：

- 广口容器,容积为 500 mL;
- 加热器;
- 温度控制器;
- 电感耦合等离子体发射光谱检测设备及离子色谱仪。

21.2 样品准备

21.2.1 石墨双极板样品溶液的制备

- 21.2.1.1 阴极板和阳极板应分别裁取样品。
- 21.2.1.2 从待测双极板活性区域均匀裁取样品,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。
- 21.2.1.3 在广口容器中加入250 mL、F⁻含量为0.1mg/L、pH=3 的 H₂SO₄溶液,作为腐蚀溶液。
- 21.2.1.4 将样品放入腐蚀溶液中,使样品完全浸没,反应期间广口容器处于封闭状态。
- 21.2.1.5 将广口容器加热到 80 °C,恒温至少 1 000 h;测试温度及时间也可由测试双方协商决定,但温度不低于燃料电池堆工作温度。
- 21.2.1.6 采集广口容器中的溶液,作为待测溶液。

21.2.2 金属双极板样品溶液的制备

- 21.2.2.1 按照 18.3规定的电解质溶液作为腐蚀溶液。
- 21.2.2.2 按照 18.3规定的方法进行恒电位测试。
- 21.2.2.3 采集测试后的溶液作为待测溶液。
- 21.2.2.4 试验报告中应注明样品有效面积,有效面积按样品的投影面积计算。

21.3 测试方法

21.3.1 按照 GB/T 30902规定的方法,使用电感耦合等离子体发射光谱检测设备分别对腐蚀溶液和待测溶液中的铝、钙、铬、铜、铁、钠、镍等金属离子进行检测并记录,金属离子种类也可由测试双方协商决定。

21.3.2 按照 GB/T 34672规定的方法,使用离子色谱仪分别对腐蚀溶液和待测溶液中的 F^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 I^- 、 Br^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 等阴离子进行检测并记录,阴离子种类也可由测试双方协商决定。

21.4 数据处理

21.4.1 按照 GB/T 30902规定的方法分别对腐蚀溶液和待测溶液中的金属离子质量浓度进行定量分析。

21.4.2 按照 GB/T 34672规定的方法分别对腐蚀溶液和待测溶液中的阴离子质量浓度进行定量分析。

21.4.3 按照公式(18)进行计算:

$$C_M = C_A - C_B \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

C_M — 样品析出金属离子或阴离子质量浓度,单位为微克每毫升($\mu g/mL$);

C_A — 待测溶液中金属离子或阴离子质量浓度,单位为微克每毫升($\mu g/mL$);

C_B — 腐蚀溶液中金属离子或阴离子质量浓度,单位为微克每毫升($\mu g/mL$)。

21.4.4 样品析出金属离子质量浓度取阴极板和阳极板中的较大值。

21.4.5 样品析出阴离子质量浓度取阴极板和阳极板中的较大值。

22 测试指标适用性、测试准备及试验报告

本文件涉及双极板材料特性及双极板部件特性的测试方法,不同双极板类型测试项目应按照附录 A 执行。

测试准备见附录 B,试验报告见附录 C。

附录 A
(规范性)
测试指标适用性

测试指标适用性见表 A.1。

表 A.1 测试指标适用性

序号	测试指标	金属双极板		石墨双极板		章节编号
		材料	部件	材料	部件	
1	抗弯强度			•		第 4 章
2	密度			•		第 5 章
3	平面电阻率	•		•		第 6 章
4	垂直电阻			•		第 6 章
5	接触电阻	•	•	•	•	第 6 章、第 13 章
6	腐蚀电流密度	•	•			第 7 章、第 18 章
7	面积利用率		•		•	第 8 章
8	厚度均匀性		•		•	第 9 章
9	槽深均匀性		•		•	第 10 章
10	平面度		•		•	第 11 章
11	相对平整度		•		•	第 12 章
12	气密性测试		•		•	第 14 章
13	水接触角		•		•	第 15 章
14	涂层厚度		•			第 16 章
15	涂层结合强度		•			第 17 章
16	比热容				•	第 19 章
17	热导率		•		•	第 20 章
18	析出离子成分和浓度		•		•	第 21 章
注 1：复合双极板根据复合材料的特性要求选择对应的测试项目。						
注 2：• 代表适用。						

附录 B

(资料性)

测试准备

B.1 总则

本附录描述在进行测试之前宜考虑的典型项目。对于每项试验来说,宜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。宜准备一个书面的测试计划,下列各项宜列入测试计划:

- 目的;
- 测试规范;
- 测试人员资格;
- 质量保证标准(符合 ISO 9000和相关标准);
- 结果不确定度(符合 IEC/ISO 检测值不确定度的表述指南);
- 对测试仪器及设备的要求;
- 测试参数范围的估计;
- 数据采集计划;
- 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)。

B.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宜满足采集频次与采集速度的需要,其性能宜优于性能试验设备。

附 录 C
(资料性)
试验报告

C.1 总则

根据所做试验,试验报告宜提供足够多的正确、清晰和客观的数据用来进行分析和参考。报告宜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。每个类型的报告宜包含相同的标题页和内容目录。

C.2 报告内容

C.2.1 标题页

标题页介绍下列各项信息:

- 国家标准代号;
- 样品名称、材料组成、规格;
- 样品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。

C.2.2 内容目录

每种类型的报告宜提供一个目录。

C.3 报告类型

C.3.1 摘要式报告

摘要式报告包括下列各项数据:

- 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。

C.3.2 详细式报告

详细式报告除包含摘要式报告的内容外,宜包括下列各项数据:

- 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。

C.3.3 完整式报告

完整式报告除包含详细内容,宜包含原始数据的副本及下列各项:

- 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;
- 完整和详细的确定度分析。

参 考 文 献

[1] 危险化学品安全管理条例
[2] ISO 9000 Quality managementsystems—Fundamentals and vocabulary
