

# 团 体 标 准

T/ZSA 161-2023

## 质子交换膜燃料电池用金属单极板

Proton exchange membrane fuel cell metallic plate

2023-10-20 发布

2023-10-21 实施

中关村标准化协会

发布

目 次

目 次 ..... I

前 言 ..... III

引 言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 总则 ..... 2

4.1 概述 ..... 2

4.2 取样 ..... 2

4.3 样品预处理 ..... 2

4.4 图样 ..... 2

4.5 试验（检测）器具精度 ..... 2

4.6 实验室一般条件 ..... 2

5 技术要求 ..... 2

5.1 极板表面划痕 ..... 2

5.2 极板表面凸凹点 ..... 2

5.3 极板表面污锈点 ..... 2

5.4 极板翘曲度 ..... 3

5.5 极板有效面积占比 ..... 3

5.6 极板厚度最大偏差 ..... 3

5.7 极板密封槽深度最大偏差 ..... 3

5.8 极板质量功率比 ..... 3

5.9 极板空气压降 ..... 3

5.10 极板渗透率 ..... 3

5.11 极板接触电阻 ..... 3

5.12 极板最大减薄率 ..... 3

5.13 极板压缩弹性模量和抗压强度 ..... 3

5.14 极板腐蚀电流密度 ..... 3

5.15 极板上涂层附着力 ..... 3

6 试验方法 ..... 3

6.1 极板表面划痕 ..... 3

6.2 极板表面凸凹点 ..... 4

6.3 极板表面污锈点 ..... 4

6.4 极板翘曲度 ..... 4

6.5 极板有效面积占比 ..... 4

6.6 极板厚度最大偏差 ..... 6

6.7 极板密封槽深度最大偏差 ..... 7

6.8 极板质量功率比 ..... 7

6.9 极板空气压降 ..... 8

6.10 极板渗透率..... 8

6.11 极板接触电阻..... 8

6.12 极板最大减薄率..... 9

6.13 极板压缩弹性模量与抗压强度..... 9

6.14 极板腐蚀电流密度..... 10

6.15 极板上涂层附着力（定性方法）..... 11

7 检验规则..... 11

7.1 出厂检验..... 11

7.2 型式检验..... 11

7.3 检验项目..... 11

8 包装、标记和运输..... 11

8.1 包装..... 11

8.2 标记..... 12

8.3 运输..... 12

附录 A （资料性） 极板翘曲度激光检测法..... 13

附录 B （规范性） 极板渗透率激光检测法..... 14

附录 C （资料性） 极板减薄率激光检测法..... 15

附录 D （资料性） 试验报告..... 16

参考文献..... 18

## 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。

本文件由中关村标准化协会技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：北京新研创能科技有限公司、上海交通大学、深圳市长盈精密技术股份有限公司、上海福宜真空设备有限公司、南京先进激光研究院、新研氢能科技有限公司、北京上电科赛睿科技有限公司、北京师范大学、国家电投集团氢能科技发展有限公司、北京亿华通科技股份有限公司、北京北方华创真空技术有限公司、安泰环境工程技术有限公司、北京实力源科技开发有限责任公司、北京科技大学、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、中关村氢能与燃料电池技术创新产业联盟。

本文件主要起草人：齐志刚、彭林法、何忠平、褚家宝、林盛、马春宏、卢琛钰、王浩琦、陆维、李飞强、曹志强、赵京辉、刘阳、庞晓露、杨培勇、方川、徐云飞、李桦、崔志云。

## 引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到本文件 6.1 条与金属极板表面划痕分布测量方法、6.10 b)条与金属极板渗透率激光检测法相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。专利权人或专利申请人同意在公平、合理、无歧视基础上，有偿许可任何组织或者个人在实施该中关村标准时实施专利。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：北京新研创能科技有限公司。

地址：北京市大兴区北京经济技术开发区永昌中路甲 6 号院 1 号楼。

邮箱：qizhigang@innoreagen.com。

专利持有人姓名：北京新研创能科技有限公司。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

# 质子交换膜燃料电池用金属单极板

## 1 范围

本文件规定了质子交换膜燃料电池用金属单极板的术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则及包装、标记和运输等。

本文件适用于以金属材料（如不锈钢或钛）为主要原料的质子交换膜燃料电池用金属单极板。

## 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 20042.1 质子交换膜燃料电池 第1部分：术语

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

GB/T 28816 燃料电池 术语

## 3 术语和定义

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

### 3.1

**金属单极板** **metallic plate**

由金属材料制作用于质子交换膜燃料电池的阴极板和/或阳极板。

注：本文件中以下将“金属单极板”简称为“极板”。

### 3.2

**极板面积** **plate area**

极板长度方向的最长距离与宽度方向的最长距离的乘积。

注：极板边缘用于连接电压巡检的凸起部分不计入极板面积。

### 3.3

**极板有效面积** **plate effective area**

**极板活性面积** **plate active area**

极板上与膜电极活性区域相对应的面积为极板有效面积或极板活性面积。

### 3.4

**极板有效面积占比** **plate effective area percentage**

极板有效面积占极板面积的百分比。

### 3.5

**极板最大减薄率** **plate maximum thinning ratio**

极板最薄处材料厚度与制作该极板板材厚度之差的绝对值占极板板材厚度的百分比。

### 3.6

**极板质量功率比** **plate mass to power ratio**

一片单极板的质量与一片与其相匹配使用的膜电极在额定电压下所发电功率的比值。

### 3.7

**极板抗压强度** **plate compressive strength**

在极板的应力-应变试验中，应力与应变开始偏离弹性直线关系时施加于极板上的压强。

注：考虑到极板的特殊性，本定义并不像常规定义一样把被测样品所能承受的最大压强定义为抗压强度。

### 3.8 极板翘曲度 **plate warpage percentage**

极板在垂直于基准平面方向的最大翘曲变形高度占极板长度的百分比。

## 4 总则

### 4.1 概述

4.1.1 极板是一件制品，多由 0.1 mm 金属板材通过冲压或液压成型，其加工过程对材质化学特性的影响可以忽略不计，但对材质厚度有一定的影响。

4.1.2 极板成品厚度（板材本身厚度+沟槽深度）大约在 0.35 mm~0.5 mm。

4.1.3 极板成品的长度和宽度方向最大尺寸一般均不超过 1000 mm。超过这个尺寸时制造商和用户可对检测方法或检测项目进行协商。

### 4.2 取样

除指明可以截取极板制品上的部分作为测试样品的特殊情况外，应以极板制品整体作为测试样品。

### 4.3 样品预处理

被测样品表面应保持洁净，无油污、异物等，测试前样品应达到室温状态。

### 4.4 图样

制造商应提供极板制品的图样，图样上应标明与测试项目相关的尺寸与精度信息。

### 4.5 试验（检测）器具精度

试验（检测）器具的精度应高于检测项目中要求达到的精度。

### 4.6 实验室一般条件

实验室环境条件应符合以下要求：

——环境温度：20 ℃±5 ℃；

——气压：86 kPa~106 kPa。

## 5 技术要求

### 5.1 极板表面划痕

极板气侧流场表面划痕达到表1所述任一状况则视为不合格。

表1 表面划痕判定表

| 极板上区域 | 划痕数量<br>个 | 划痕宽度<br>mm | 划痕深度<br>mm | 划痕长度<br>mm |
|-------|-----------|------------|------------|------------|
| 密封槽   | >5        | >0.07      | >0.005     | >50        |
| 反应区域  | >5        | >0.07      | >0.005     | >50        |
| 导流区域  | >7        | >0.1       | >0.005     | >50        |

### 5.2 极板表面凸凹点

极板气侧流场表面凸凹点达到表2所述任一状况则视为不合格。

表2 表面凹凸点判定表

| 极板上区域       | 凸凹点数量<br>个 | 凸凹点直径<br>mm | 凸凹点高度或深度<br>mm | 凸凹点间距离<br>mm |
|-------------|------------|-------------|----------------|--------------|
| 密封槽焊道中心线位置  | >2         | >0.15       | >0.02          | <30          |
| 密封槽非焊道中心线位置 | >3         | >0.3        | >0.02          | <30          |
| 反应区域        | >3         | >0.4        | >0.02          | <30          |
| 导流区域        | >5         | >0.6        | >0.02          | <30          |

### 5.3 极板表面污锈点

在密封槽、导流区和反应区不应有污锈点。

#### 5.4 极板翘曲度

极板翘曲度应不大于1%。

#### 5.5 极板有效面积占比

极板有效面积占比应不小于50%。

#### 5.6 极板厚度最大偏差

极板最大厚度（或最小厚度）与平均厚度的偏差应不大于30  $\mu\text{m}$ 。

注：极板厚度指垂直于极板平面方向不同区域极板正面楞表面与该区域极板背面楞表面之间的垂直距离。

#### 5.7 极板密封槽深度最大偏差

极板密封槽最大深度（或最小深度）与平均深度的偏差应不大于20  $\mu\text{m}$ 。

#### 5.8 极板质量功率比

不锈钢极板质量功率比应不大于0.15 g/W，钛极板质量功率比应不大于0.08 g/W。

#### 5.9 极板空气压降

对应2.0 A/cm<sup>2</sup>电流密度下2.2倍计量比的空气流量，阴极板上从空气入口到出口之间的压降应不大于50 kPa。

#### 5.10 极板渗透率

在0.3 MPa绝对压力下，氢气通过极板的渗透率应不大于0.02  $\mu\text{L}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 。

#### 5.11 极板接触电阻

在1.0 MPa的压强下，极板的反应区与气体扩散层之间的接触电阻应不大于5  $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 。

#### 5.12 极板最大减薄率

极板最大减薄率应不大于40%。

#### 5.13 极板压缩弹性模量和抗压强度

5.13.1 极板压缩弹性模量应不小于20 MPa。

5.13.2 极板抗压强度应不小于3 MPa。

#### 5.14 极板腐蚀电流密度

5.14.1 平衡电位下的腐蚀电流密度应不大于0.5  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。

5.14.2 如果在某一恒电位下（如0.84 V或1.0 V）测试极板腐蚀电流密度，应给出测试时的电压点。

#### 5.15 极板上涂层附着力

极板上涂层附着力应满足百格法零级要求。

### 6 试验方法

#### 6.1 极板表面划痕

在800 LUX~1200 LUX灯光下检查，如果有划痕，检查划痕的个数，并用激光轮廓仪或影像测量仪测量划痕的物理尺寸（长度、宽度和深度）。

注：如果需要获得整个极板所有划痕及其分布情况，可按中国发明专利《双极板表面划痕检测系统及方法》（202210234835.8）进行测量，具体方法为：通过合理布置第一偏振片和第二偏振片的位置对光学光路进行优化设计，从而得到划痕区域曝光被增强、其他区域曝光被减弱的光学图像，利用成像组件将极板上的划痕突显出来，使控制单元快速准确地判断出划痕的存在，并依此给出划痕分布图。



## 6.2 极板表面凸凹点

在800 LUX~1200 LUX灯光下检查,如果有凸凹点,检查凸凹点的个数及其之间的间距,并用菲林片测量凸凹点的直径,用高度规(或深度规)测量高度(或深度)。

注1:对于用菲林片测量时直径正好处在可接受值上限的凸凹点,建议在显微镜下放大后进行测量。

注2:表面凸凹点也可采用横向分辨率优于0.05 mm、纵向分辨率优于0.01 mm的激光扫描仪来进行整块极板的快速检测和识别。

## 6.3 极板表面污锈点

在800 LUX~1200 LUX灯光下观察,如果极板表面有污点且用水或酒精擦拭不掉,判定有污锈点。

## 6.4 极板翘曲度

测量极板翘曲最高处与基准平面的垂直距离( $h_w$ ),然后用式(1)计算极板的翘曲度( $\Gamma$ )。

$$\Gamma = h_w / L_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$\Gamma$ ——极板的翘曲度,单位为百分比(%);

$h_w$ ——极板的最大翘曲高度,单位为毫米(mm);

$L_1$ ——极板长度,单位为毫米(mm)。

注:附录A给出了一种利用平行光投射系统测量极板翘曲度的方法。

## 6.5 极板有效面积占比

### 6.5.1 极板面积( $S_1$ )

#### 6.5.1.1 规则形状极板

测量极板的长度( $L_1$ )和宽度( $W_1$ ),如图1所示,然后通过两者的乘积计算极板的面积( $S_1$ ),见式(2)。

$$S_1 = L_1 \times W_1 \quad (2)$$

式中:

$S_1$ ——极板面积,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ );

$L_1$ ——极板长度,单位为厘米(cm);

$W_1$ ——极板宽度,单位为厘米(cm)。

注:对于圆形极板,整个圆的面积为极板面积,通过 $\pi r^2$ 计算,其中r是圆的半径。

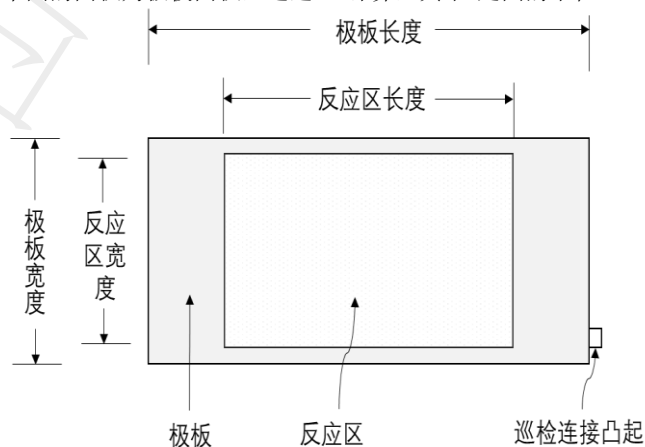


图1 规则形状极板示意图

#### 6.5.1.2 不规则形状极板

沿极板周边画一个矩形，该矩形应把极板整体紧框在其中（不包括电压巡检凸起部分），如图2所示，测量该矩形的长度（ $L_1$ ）和宽度（ $W_1$ ），然后通过两者的乘积计算极板的面积（ $S_1$ ），见式（2）。

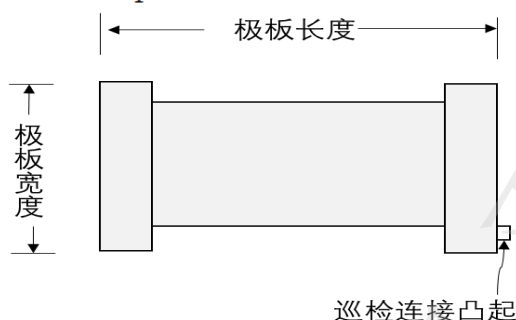


图2 不规则形状极板示意图

### 6.5.2 极板有效面积（ $S_2$ ）

极板有效面积示意图见图3。测量极板反应区最外围两条流道外边缘之间的直线距离，如果在不同处测得的距离略有差别，选择最长的距离，把该距离加上1.0 mm作为反应区的宽度（ $W_2$ ）；测量极板反应区流道入口到出口之间的直线距离，如果不同流道入口到出口的直线距离略有差别，取它们的平均值，把该平均值加上1.0 mm作为反应区的长度（ $L_2$ ）；然后通过两者的乘积，计算极板反应区的面积，即极板有效面积（ $S_2$ ），见式（3）。

$$S_2 = L_2 \times W_2 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$S_2$ ——极板反应区面积，单位为平方厘米（ $\text{cm}^2$ ）；

$L_2$ ——极板反应区长度，单位为厘米（cm）；

$W_2$ ——极板反应区宽度，单位为厘米（cm）。

注：对于反应区不规则或反应区难以判断的极板，可参考由送检单位提供的带有反应区精确尺寸的图纸。

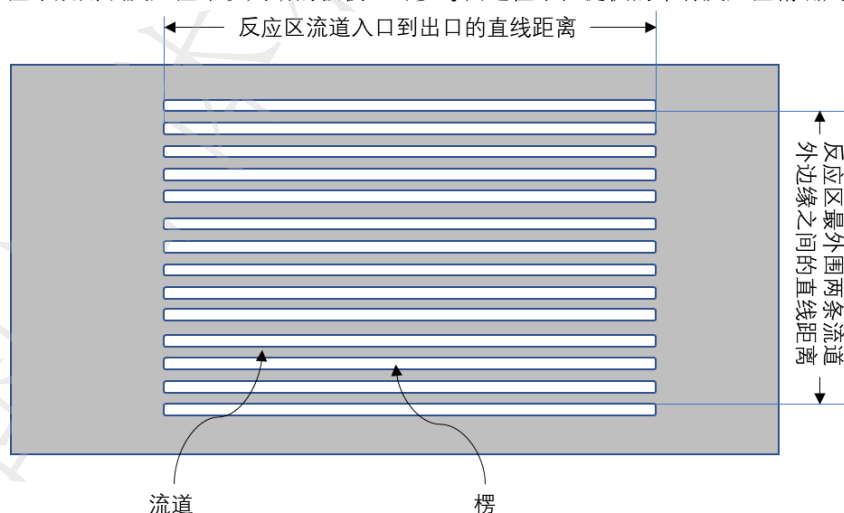


图3 极板有效面积示意图

### 6.5.3 极板有效面积占比

按照式（4）计算极板有效面积占比。

$$\eta_{EA} = S_2 / S_1 \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $\eta_{EA}$ ——极板有效面积占比，单位为百分比（%）；  
 $S_2$ ——极板反应区面积，单位为平方厘米（ $\text{cm}^2$ ）；  
 $S_1$ ——极板面积，单位为平方厘米（ $\text{cm}^2$ ）。

## 6.6 极板厚度最大偏差

把极板按其位置特征分为不少于20个测量点(如图4和图5所示),每个测量点的面积不宜超过 $10\text{ mm}^2$ ,用测厚仪、高度规或千分尺测量这些点的厚度 $d_i$ ,然后用式(5)、(6)、(7)分别计算平均厚度( $d$ )、最大厚度与平均厚度的偏差( $\Delta d_{max}$ )、最小厚度与平均厚度的偏差( $\Delta d_{min}$ ),取偏差大者为厚度最大偏差。

$$d = \sum_{i=1}^n d_i / n \quad (5)$$

式中:

$d$ ——平均厚度,单位为毫米(mm);

$d_i$ ——每次测量的厚度值,单位为毫米(mm)。

$$\Delta d_{max} = (d_{max} - d) \times 1000 \quad (6)$$

式中:

$\Delta d_{max}$ ——最大厚度与平均厚度的偏差,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$d_{max}$ ——最大厚度,单位为毫米(mm)。

$$\Delta d_{min} = (d - d_{min}) \times 1000 \quad (7)$$

式中:

$\Delta d_{min}$ ——最小厚度与平均厚度的偏差,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

$d_{min}$ ——最小厚度,单位为毫米(mm)。

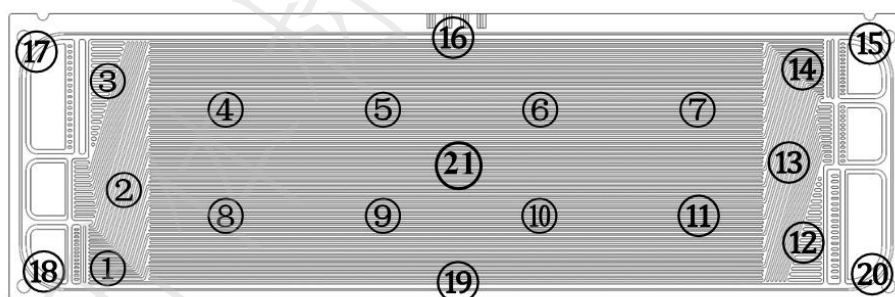


图4 长边方向开口型极板厚度测量点示意图

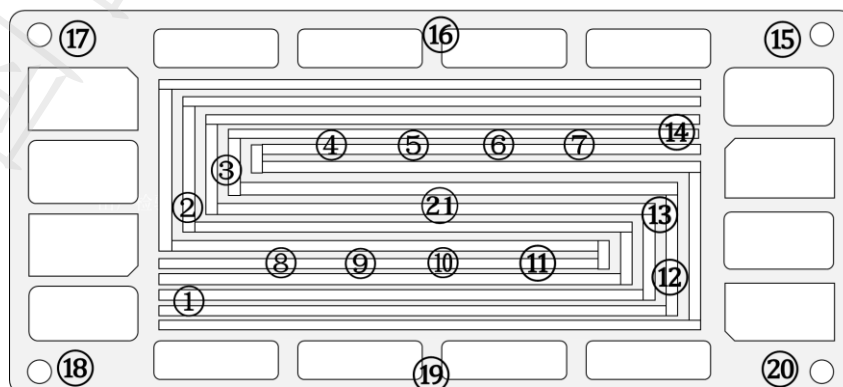


图5 四周开口型极板厚度测量点示意图

## 6.7 极板密封槽深度最大偏差

把极板上用于与膜电极相密封的密封槽按其位置特征分为不少于10个测量点（如图6所示），用高度规、深度规或激光轮廓测试仪对其深度进行测量。当用激光轮廓测试仪进行测量时，激光按与密封槽走向相垂直的方向进行扫描，得到密封槽截面轮廓（示意图如图7所示），测量点处脊顶基准线与槽顶基准线之间垂直距离为密封槽的深度（ $h_i$ ），然后用式（8）、（9）、（10）分别计算密封槽平均深度（ $h$ ）、最大深度与平均深度的偏差（ $\Delta h_{max}$ ）、最小深度与平均深度的偏差（ $\Delta h_{min}$ ），取偏差大者为密封槽深度最大偏差。

$$h = \sum_{i=1}^n h_i / n \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$h$ ——平均深度，单位为毫米（mm）；

$h_i$ ——每次测量的深度值，单位为毫米（mm）。

$$\Delta h_{max} = (h_{max} - h) \times 1000 \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\Delta h_{max}$ ——最大深度与平均深度的偏差，单位为微米（ $\mu m$ ）；

$h_{max}$ ——最大深度，单位为毫米（mm）。

$$\Delta h_{min} = (h - h_{min}) \times 1000 \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$\Delta h_{min}$ ——最小深度与平均深度的偏差，单位为微米（ $\mu m$ ）；

$h_{min}$ ——最小深度，单位为毫米（mm）。

注：测量时应避开有凸凹点的位置。

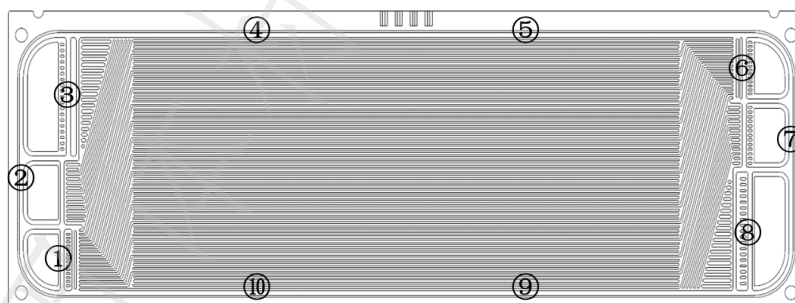


图6 密封槽深度测量点示意图

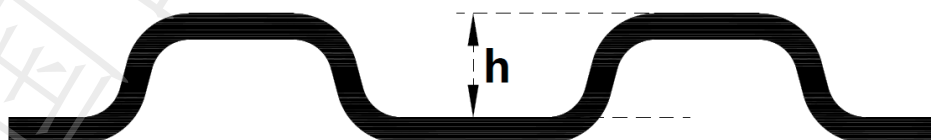


图7 密封槽深度示意图

## 6.8 极板质量功率比

称量极板的质量，然后用式（11）计算极板的质量功率比（ $m_p$ ）。

$$m_p = m / (P_{RV} \times S_2) \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$m_p$  ——质量功率比，单位为克每瓦（g/W）；

$m$ ——极板质量，单位为克（g）；

$S_2$ ——极板有效面积，单位为平方厘米（ $\text{cm}^2$ ）；

$P_{Rv}$ ——膜电极在额定电压时的功率密度（由供货商提供），单位瓦每平方厘米（ $\text{W}/\text{cm}^2$ ）。

注 1：额定电压应不低于 0.65 V。

注 2：在膜电极功率密度  $P_{Rv}$  未知的情况下，可以采用  $1.2 \text{ W}/\text{cm}^2$ 。

## 6.9 极板空气压降

把阴极板和阳极板通过焊接或两者间加密封圈的方式制作成双极板（也可直接选用供应商提供的双极板进行测量），通过阴、阳极板上的密封圈把该双极板密封在两块厚度至少为 1 cm 的上、下硬质压板之间，在 1.0 MPa 的绝对压力下形成一个密封的整体。在上压板上与空气进、出共用腔室相对应处分别开有与共用腔室横截面积相近的通孔，或直径不小于 5 mm 的通孔，使双极板空气侧与外界环境相通。把上压板上的一个通孔与空气源相连，把空气流量设置为  $2.0 \text{ A}/\text{cm}^2$  电流密度 2.2 倍计量比时的空气流量，测量空气入口处表压，即为空气压降。

注：如果需要测试空气在某一指定入口压强时极板的空气压降，可以在上述测试装置空气出口管路上安装一背压阀，通过调节该背压阀的压强，使空气流量为  $2.0 \text{ A}/\text{cm}^2$  电流密度 2.2 倍计量比时空气入口表压达到指定压强，空气入口处表压与背压阀的表压压强之差即为极板在该指定空气入口压强下的压降。

## 6.10 极板渗透率

极板渗透率的检测可选用以下两种方法：

### a) 气相色谱法

沿极板共用腔室内边缘的平面部分安置密封圈，极板正面和反面均安置一个密封圈，密封圈合围的区域是极板的导流区和反应区；然后在 1.0 MPa 的压力下把两侧带有密封圈的极板压在上、下两块厚度至少为 1 cm 的硬质压板之间，形成一个密封的整体。在密封圈合围的范围内，在上、下压板上均开有一个通孔，使极板上下表面均与外界环境相通。把上压板上的通孔与氦气源相连，入口绝对气压设置在 300 kPa，把下压板上的通孔与一台气相色谱仪相连，通气至少 0.5 h，测量所检测到的气体流量（ $q$ ），按式（12）计算气体渗透率（ $C$ ）。

$$C = q / S_3 \quad (12)$$

式中：

$C$ ——气体渗透率，单位为微升每分钟每平方厘米（ $\mu\text{L}/\text{min} \cdot \text{cm}^2$ ）；

$q$ ——所检测到的气量，单位为微升每分钟（ $\mu\text{L}/\text{min}$ ）；

$S_3$ ——密封圈内部极板的投影面积，单位为平方厘米（ $\text{cm}^2$ ）。

注：如果极板上有翻转口，密封圈合围的区域不包括该翻转口。

### b) 激光检测法

按本文件附录 B 的方法进行测试和判定。

## 6.11 极板接触电阻

参照 GB/T 20042.6-2011 中第 7.3.2 条款，在 1.0 MPa 压力下进行测试。如果送样单位提供带有同样涂层、同样板材材质、同样厚度的平板板材，或从极板的边缘可以裁切下大小能够满足测试要求的平板板材，可选用所述平板板材进行测试；否则，采用全尺寸极板进行测试，所用气体扩散层的大小与极板反应区大小相同，所用镀金铜电极的大小不小于气体扩散层的大小，然后通过式（13）计算极板与气体扩散层之间的接触电阻  $R_{\text{接触}}$ 。

$$R_{\text{cont}} = (R_1 - R_2 - R_{\text{GDM}} - R_{\text{B}}) \times S_{\text{cont}} / 2 \quad (13)$$

式中：

$R_{\text{cont}}$ ——极板与气体扩散层间的接触电阻，单位为毫欧平方厘米（ $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ ）；

$R_1$ ——极板材料本体电阻、两片气体扩散层本体电阻、极板与两片气体扩散层间的接触电阻、两个镀金铜电极本体电阻及两片气体扩散层与镀金铜电极间的接触电阻的总和，单位为毫欧（ $\text{m}\Omega$ ）；



$R_2$ ——一片气体扩散层本体电阻、两个镀金铜电极本体电阻及一片气体扩散层与镀金铜电极间的接触电阻的总和，单位为毫欧（mΩ）；

$R_B$ ——极板材料本体电阻（由制造商提供，或根据板材标准电阻率进行计算），单位为毫欧（mΩ）；

$R_{GDM}$ ——一片气体扩散层本体电阻，单位为毫欧（mΩ）；

$S_{cont}$ ——极板与气体扩散层有直接接触部位的几何面积，单位为平方厘米（cm<sup>2</sup>）。

注1：如果极板与气体扩散层有直接接触部位的几何面积 $S_{cont}$ 不好确定，可采用极板有效面积 $S_2$ 的1/2（即 $0.5S_2$ ）代替 $S_{cont}$ 进行计算。通常情况下， $0.5S_2$ 略大于 $S_{cont}$ ，故采用 $0.5S_2$ 计算出的接触电阻比实际情况可能略微偏大。

注2：不锈钢或钛材料的本体电阻都很小，可以在计算接触电阻过程中把 $R_B$ 忽略不计。

注3：测试过程中也可以逐渐增加压力，得到不同压力下极板与气体扩散层的接触电阻。

注4：给出测试过程中所用气体扩散层的型号。

## 6.12 极板最大减薄率

把位于极板共用腔室之间的导流区和反应区的流场按其特征分区，如图8所示的极板分了A到H共8个区。这些区域板材被拉伸程度最大，尤其是带有圆弧或类似圆弧的位置。按图8中所示直线对极板进行切割，对断面进行抛光处理后，用影像测量仪（OMM）测量切面处板材的厚度，记录最小值（ $d_2$ ），通过式（14）计算极板最大减薄率（ $h_{MTR}$ ）。

$$H_{MTR} = [(d_1 - d_2)] / d_1 \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$H_{MTR}$ ——极板最大减薄率，单位为百分比（%）；

$d_1$ ——极板成型前厚度，单位为微米（μm）；

$d_2$ ——极板最薄处厚度，单位为微米（μm）。

注1：在极板成型前厚度未知的情况下，可以测试极板最边缘处的厚度，以此作为 $d_1$ 。

注2：附录C给出了一种采用激光进行测量的方法。

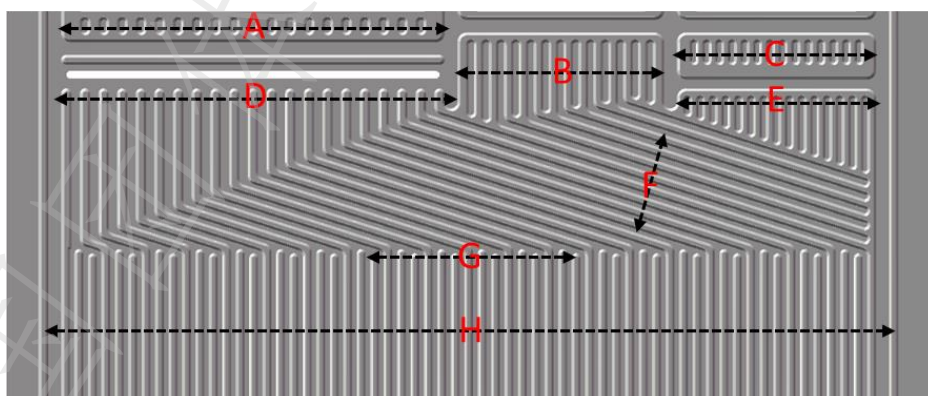


图8 极板减薄区域划分示意图

## 6.13 极板压缩弹性模量与抗压强度

### 6.13.1 试验方法

把整片极板置于厚度不小于1 cm的两块硬质钢块之间，每块钢块的面积不小于极板的面积，钢块与极板的接触面积为 $S_5$ ，上下钢块的工作表面应平行，平行度不低于1: 0.0002 mm/mm。压缩试验机准确度应为1级或优于1级，并参考GB/T 7314-2017和GB/T 16825.1进行试验。在两块钢块之间施加垂直于它们表面的力（ $F$ ），测量不同压力下两块钢块内表面之间的距离（即极板在不同受力状态下的厚度 $H_2$ ），以极板厚度变化量与初始厚度的比值（即 $(H_1 - H_2) / H_1$ ）为横坐标，以极板单位接触面积受力情况为

纵坐标, 绘制极板应力-应变图, 极板应力-应变示意图见图9。应力-应变曲线包括三个特征段:  $M_0-M_1$  段、 $M_1-M_2$  直线段、 $M_2-M_3$  弯曲段。

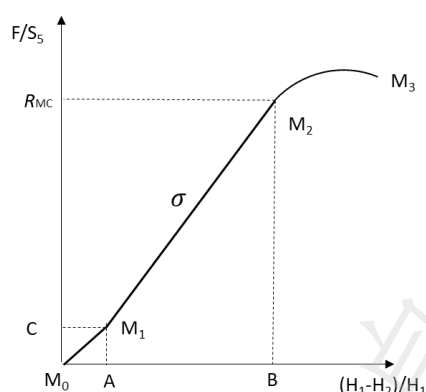


图9 极板应力-应变示意图

标引符号说明:

$F$ ——施加于钢块之间的力, 单位为牛 (N);

$S_5$ ——极板与钢块之间的接触面积 (即极板凸起部分总面积), 单位为平方毫米 ( $\text{mm}^2$ );

$H_1$ ——极板在初始状态下的厚度, 单位为微米 ( $\mu\text{m}$ );

$H_2$ ——极板在受力状态下的厚度, 单位为微米 ( $\mu\text{m}$ );

$\sigma$ ——极板的压缩弹性 (杨氏) 模量, 单位为兆帕 (MPa);

$R_{Mc}$ ——极板的抗压强度, 单位为兆帕 (MPa)。

### 6.13.2 极板压缩弹性模量计算

通过图9, 计算 $M_1-M_2$ 直线段 (或其中一部分) 的斜率, 即为该极板的压缩弹性 (杨氏) 模量 ( $\sigma$ )。

### 6.13.3 极板抗压强度计算

在图9中, 从 $M_2$ 点开始, 应力-应变关系不再保持线性,  $M_2$ 点处的压强即为该极板的抗压强度 ( $R_{Mc}$ )。

## 6.14 极板腐蚀电流密度

### 6.14.1 样品处理

从极板的边缘裁切大小合适于电化学测试池的样品, 除被测样品的被测部分外, 其余部分应用绝缘材料 (如环氧树脂或硅胶) 彻底覆盖。

### 6.14.2 平衡电位下腐蚀电流密度测试方法

按GB/T 20042.6-2011中第8.3节规定的条件和方法进行测试, 所得两条塔菲尔曲线直线段的交点处的电流即为平衡电位下的腐蚀电流  $I$  ( $\mu\text{A}$ ), 即俗称的腐蚀电流, 然后用式 (15) 计算腐蚀电流密度  $j_{\text{corr}}$ 。

$$j_{\text{corr}} = I / S_4 \quad (15)$$

式中:

$j_{\text{corr}}$ ——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 ( $\mu\text{A}$ );

$S_4$ ——被测样品被测部分的几何面积, 单位为平方厘米 ( $\text{cm}^2$ )。

### 6.14.3 恒电位下腐蚀电流密度测试方法

按GB/T 20042.6-2011中规定的条件和方法进行测试,把被测样品的电压恒定设置在0.84 V (或1.0 V) vs. SHE (标准氢电极), 30分钟后纪录腐蚀电流 $I_{0.84V}$  (或 $I_{1.0V}$ ), 然后用式(12)计算0.84 V (或1.0 V) 恒定电位下腐蚀电流密度 $j_{0.84V}$  (或 $j_{1.0V}$ )。

注1:  $j_{0.84V}$ 、 $j_{1.0V}$ 或其它更高电位下的腐蚀电流给出涂层在相对高的电位下的抗腐蚀能力, 这些电位可能会出现在燃料电池低电流密度下运行阶段或开关机过程中, 对极板涂层和膜电极的寿命都可能有一定的负面影响。

注2:  $j_{0.84V}$ 或 $j_{1.0V}$ 通常比 $j_{corr}$ 大很多, 主要取决于涂层材料, 但 $j_{0.84V}$ 或 $j_{1.0V}$ 与 $j_{corr}$ 之间是否有定量关系难以确定。

## 6.15 极板上涂层附着力 (定性方法)

采用百格测试法, 在极板上的平面部位用刀片划一些方格, 方格长、宽各约2 mm~3 mm, 划线深度不小于涂层厚度, 用手把3M600胶带或具有同等粘着力的胶粘带紧压粘贴在所划出的方格上30 s, 然后一次性揭掉胶带, 在放大镜下观察, 涂层没有脱落, 认为达到零级要求。

如果极板上没有长、宽各约2 mm~3 mm的平面部位, 供货商应提供带有同样涂层的同材质平板样品。

## 7 检验规则

### 7.1 出厂检验

产品出厂前应按本7.3的要求进行出厂检验。

### 7.2 型式检验

相同原料、相同工艺的同类产品每三年内应进行不少于1次型式检验。有下列情况之一时, 也应进行型式检验:

- 极板原料、工艺发生重大改变时;
- 极板首次投产或停产6个月以上后恢复生产时;
- 生产场所发生改变时;
- 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

### 7.3 检验项目

出厂检验项目为常规检验项目, 型式检验项目包含所有检验项目, 检验项目应符合表3的要求。

表3 检验项目

| 序号 | 检验项目          | 出厂检验 | 型式检验 | 要求章条号 | 检验方法章条号 |
|----|---------------|------|------|-------|---------|
| 1  | 极板表面划痕        | ●    | ●    | 5.1   | 6.1     |
| 2  | 极板表面凸凹点       | ●    | ●    | 5.2   | 6.2     |
| 3  | 极板表面污锈点       | ●    | ●    | 5.3   | 6.3     |
| 4  | 极板翘曲度         | —    | ●    | 5.4   | 6.4     |
| 5  | 极板有效面积占比      | —    | ●    | 5.5   | 6.5     |
| 6  | 极板厚度最大偏差      | —    | ●    | 5.6   | 6.6     |
| 7  | 极板密封槽深度最大偏差   | —    | ●    | 5.7   | 6.7     |
| 8  | 极板质量功率比       | —    | ●    | 5.8   | 6.8     |
| 9  | 极板空气压降        | —    | ●    | 5.9   | 6.9     |
| 10 | 极板渗透率         | —    | ●    | 5.10  | 6.10    |
| 11 | 极板接触电阻        | —    | ●    | 5.11  | 6.11    |
| 12 | 极板最大减薄率       | —    | ●    | 5.12  | 6.12    |
| 13 | 极板压缩弹性模量和抗压强度 | —    | ●    | 5.13  | 6.13    |
| 14 | 极板腐蚀电流密度      | —    | ●    | 5.14  | 6.14    |
| 15 | 极板上涂层附着力      | —    | ●    | 5.15  | 6.15    |

注: “●”表示检测该项目, “—”表示不检测该项目。

## 8 包装、标记和运输

### 8.1 包装



极板应采用专制托盘进行放置，托盘尺寸应能满足极板尺寸要求，保证极板在盘内无窜动。托盘采用包装箱进行包装，托盘之间可堆叠，每个包装箱中托盘数量应不大于50个，包装材料强度应确保极板不受损。包装箱应标明产品名称、数量、规格、包装箱体积（长×宽×高）、生产日期等标志。

## 8.2 标记

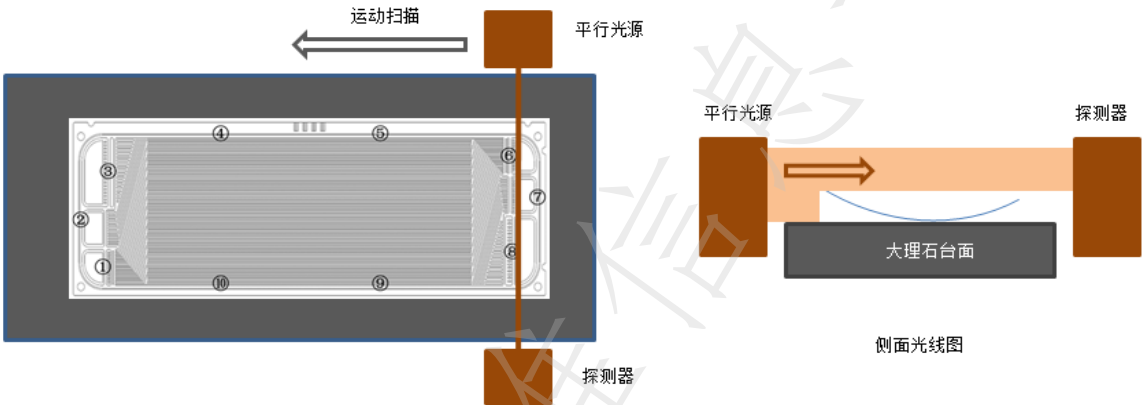
包装箱中应包含（或注明）出厂检验报告，产品型号或规格、识别标记等。

## 8.3 运输

极板运输过程中应注意采用防撞、防压等措施。

附录 A  
(资料性)  
极板翘曲度激光检测法

检测装置为一种专用的平行光投射成像系统，在基准平面上待测极板的一侧发出完全平行于基准平面的光束，该光束为准直的平行光；在另一侧设置相机，用以成像得到极板在垂直方向上的投影距离，通过沿极板长度方向连续扫描光束，获取整块极板的翘曲最高处 $h_{\text{翘曲}}$ ，利用式（1）计算得到极板翘曲度，极板翘曲度激光检测方法示意图如图A. 1。



图A. 1 极板翘曲度激光检测方法示意图

## 附 录 B (规范性) 极板渗透率激光检测法

### B.1 测试环境及设备

#### B.1.1 测试环境

具有检测口的暗室，检测口应能被被测样品完全覆盖

#### B.1.2 测试设备

激光器、激光控制器、光线探测器。

### B.2 测试方法

B.2.1 将制作极板的板材置于暗室检测口，用激光器通过板材向暗室内发射激光，将激光控制器反馈的光子数量 ( $N_1$ ) 记录，通过式 (B.1) 进行计算制作极板板材的光子能量数值。

$$E_1 = [hc/\lambda] \times N_1 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$E_1$ ——制作极板板材的光子能量数值，单位为焦耳秒 (J·s)；

$h$ ——普朗克常量， $6.6 \times 10^{-34}$ ，单位为焦耳秒 (J·s)；

$c$ ——光的速度， $3 \times 10^8$ ，单位为米每秒 (m/s)；

$\lambda$ ——激光波长，400，单位为纳米 (nm)；

$N_1$ ——通过板材的光子数量，单位为个。

B.2.2 将极板至 (置) 于暗室检测口，用激光器通过板材向暗室内发射激光，将激光控制器反馈的光之数量 ( $N_2$ ) 记录，通过式 (B.2) 进行计算极板的光子能量数值。

$$E_2 = [hc/\lambda] \times N_2 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

$E_2$ ——极板的光子能量数值，单位为焦耳秒 (J·s)；

$h$ ——普朗克常量， $6.6 \times 10^{-34}$ ，单位为焦耳秒 (J·s)；

$c$ ——光的速度， $3 \times 10^8$ ，单位为米每秒 (m/s)；

$\lambda$ ——激光波长，400，单位为纳米 (nm)；

$N_2$ ——通过板材的光子数量，单位为个。

B.2.3 通过式 (B.3) 计算两个所测光子能量数值之差占极板板材的光子能量数值的百分比。

$$F = (E_1 - E_2) / E_1 \times 100\% \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$F$ ——两个所测光子能量数值之差占极板板材的光子能量数值的百分比，单位为百分比 (%)；

$E_1$ ——制作极板板材的光子能量数值，单位为焦耳秒 (J·s)；

$E_2$ ——极板的光子能量数值，单位为焦耳秒 (J·s)。

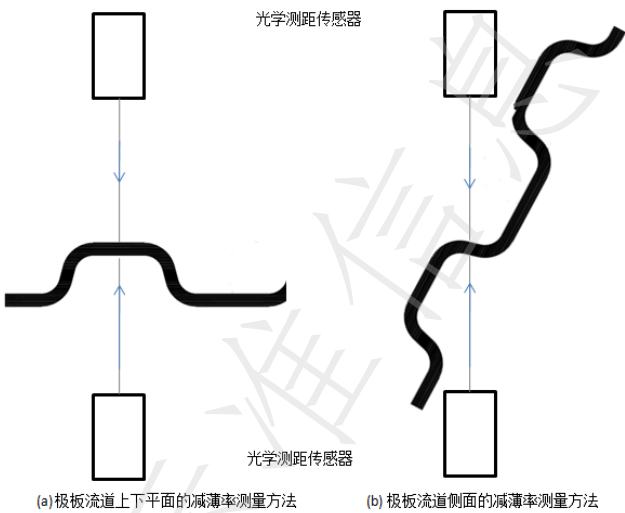
### B.3 判定

如果两个所测光子能量数值相差不超过5%，极板渗透率记录为小于  $0.02 \mu\text{L}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ ；否则，极板渗透率记录为大于  $0.02 \mu\text{L}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 。

附录 C  
(资料性)  
极板减薄率激光检测法

极板减薄率激光检测方法示意图见图C.1。该方法是一种非破坏式测量方法，采用非接触式激光距离传感器形成共焦点对射测量系统，在极板扫描移动过程中，对极板不同位置处的厚度做实时测量，并记录极板成型前厚度，及极板最薄处厚度。通过式（14）计算极板最大减薄率。

在一些流道结构过密或过深的场景下，该方法并不适用，应结合实际情况选择检测方法。



图C.1 极板减薄率激光检测方法示意图

附录 D  
(资料性)  
试验报告

D.1 概述

试验检测应由有相应资质的人员进行，试验报告应提供清晰、客观和真实的试验数据。每个试验报告都应包含标题页和实验结果。

D.2 报告内容

D.2.1 标题页

- 标题页应包含下列信息：
- 试验名称；
  - 标准代号；
  - 送样单位；
  - 送样时间；
  - 样品名称；
  - 样品规格；
  - 试验场所；
  - 试验环境；
  - 试验设备；
  - 试验人员；
  - 试验日期；
  - 报告作者；
  - 报告日期；
  - 报告编号 (可选) ；
  - 报告类型 (摘要式、详细式或完整式) 。

D.2.2 试验结果

报告人员可参考表D.1填报试验项目和试验结果。试验人员可检测表D.1中所列15个项目的部分或全部内容。

表D.1 试验项目和试验结果

| 序号 | 试验项目                |             | 试验结果  |         |            |          |
|----|---------------------|-------------|-------|---------|------------|----------|
| 1  | 极板表面划痕<br>(尺寸单位mm)  | 具体情况        | 划痕数量  | 划痕最大宽度  | 划痕最大深度     | 划痕最大长度   |
|    |                     | 密封槽         |       |         |            |          |
|    |                     | 反应区域        |       |         |            |          |
|    |                     | 导流区域        |       |         |            |          |
| 2  | 极板表面凸凹点<br>(尺寸单位mm) | 具体情况        | 凸凹点数量 | 凸凹点最大直径 | 凸凹点最大高度或深度 | 凸凹点间最大距离 |
|    |                     | 密封槽焊道中心线位置  |       |         |            |          |
|    |                     | 密封槽非焊道中心线位置 |       |         |            |          |
|    |                     | 反应区域        |       |         |            |          |
|    |                     | 导流区域        |       |         |            |          |
| 3  | 极板表面污锈点 (有或无)       |             |       |         |            |          |
| 4  | 极板翘曲度 (%)           |             |       |         |            |          |
| 5  | 极板有效面积占比 (%)        |             |       |         |            |          |
| 6  | 极板厚度最大偏差 (μm)       |             |       |         |            |          |
| 7  | 极板密封槽深度最大偏差 (μm)    |             |       |         |            |          |

| 序号                           | 试验项目                              | 试验结果      |                  |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------------|
| 8                            | 极板质量功率比 (g/W)                     |           |                  |
| 9                            | 极板空气压降 (kPa)                      |           |                  |
| 10                           | 极板渗透率 (μL/min • cm <sup>2</sup> ) | 气相色谱法     | 激光检测法            |
|                              |                                   |           |                  |
| 11                           | 极板接触电阻 (mΩ • cm <sup>2</sup> )    |           |                  |
| 12                           | 极板最大减薄率 (%)                       |           |                  |
| 13                           | 极板压缩弹性模量和抗压强度 (MPa)               | 弹性模量      | 抗压强度             |
|                              |                                   |           |                  |
| 14                           | 极板腐蚀电流密度 (μA/cm <sup>2</sup> )    | 平衡电位下腐蚀电流 | 恒电压下腐蚀电流 (给出电压值) |
|                              |                                   |           |                  |
| 15                           | 极板上涂层附着力 (脱落与否)                   |           |                  |
| 注：一个试验单位可检测表中所列15个项目的部分或全部内容 |                                   |           |                  |

### 参考文献

- [1] GB/T 7314-2017 金属材料 室温压缩试验方法
  - [2] GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第1部分:拉力和(或)压力试验机测力系统的检验与校准
-