



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

## PEM 电解槽性能测试方法

Testing method for PME electrolyzer performance

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 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××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# PEM 电解槽性能测试方法

## 1 范围

本文件规定了PEM电解槽性能测试方法的术语和定义，包括功率测试、氢气产量、氢气纯度测试、单位制氢电耗、耐压测试等。

本文件适用于等压式、差压式的PEM电解槽制氢设备的检验、检测。产氢压力小于等于10 MPa，单槽产氢量不低于1 m<sup>3</sup>/h。

## 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 150 压力容器

GB 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备通用要求

GB 3836.14 爆炸性环境 第14部分：场所分类 爆炸性气体环境

GB 4962-2008 氢气使用安全技术规程

GB/T 6285 气体中微量氧的测定 电化学法

GB/T 37562-2019 压力型水电解制氢系统技术条件

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**PEM 电解槽** PEM electrolyzer

以质子交换膜为电解质，以纯水为反应物，通过直流电解水，在阴极、阳极分别产生氢气和氧气的电化学装置，包括质子交换膜、电极催化层、扩散层、双极板以及密封件，通常由多节上述结构构成的装置称为PEM电解槽。

### 3.2

**质子交换膜** proton exchange membrane

具有质子传导能力，且有阻气特性的高分子聚合物隔膜。

### 3.3

**催化剂覆膜** catalyst coated membrane

由阴、氧极催化层、质子交换膜构成的组件。

### 3.4

**膜电极** membrane electrode assembly

由质子交换膜与催化层组合而成的具有电化学反应功能的组件。

### 3.5

**气体扩散层/多孔传输层** gas diffusion layer/porous transport layer

放置在催化剂层和流场板之间形成电接触的多孔基层，该层允许反应物和反应产物的穿透传输。  
气体扩散层是气体扩散电极的组成部分。气体扩散层也称为多孔传输层 (PTL)。

[来源：IEC 60050-485:2020，485-04-05，有修改：定义中“双极板”修改为“流场板”，增加注

2]

### 3.6

**气体扩散电极** gas diffusion electrode

催化层附着在气体扩散层上而形成的电极。

### 3.7

**双极板** bipolar plate

与电极扩散层/多孔传输层接触，起到导电、分配反应物/产物、分隔相邻电解单池的隔板。

### 3.8

**集流板** current collector plate

用于收集、传导电解用电流的导电板。

### 3.9

**绝缘板** insulation plate

用于隔离电解槽内部电气连接的非导电材料制成的平板。

### 3.10

**端板** end plate

位于电解槽两端，用于固定和支撑电解槽内部组件的结构部件。

### 3.11

**最高单节（小室）电压** maximum cell voltage

电解槽中单节最高电压。

### 3.12

**阴极** negative electrode

质子得到电子，被还原产生氢气的电极。

注：也可称为氢电极。

### 3.13

**阳极** positive electrode

在直流电作用下，水失去电子被氧化产生氧气的电极。

注：也可称为氧电极。

### 3.14

**稳态** stable state

电解槽组件任何控制参数和输出/输入电压或输出/输入电流都能保持在其允许的变化范围内的状态。

### 3.15

**内窜** internal infiltration

在电解水过程中，氢气和氧气在电解槽内部发生交叉渗透，即氢气可能渗透到氧气侧，或者氧气渗透到氢气侧。

### 3.16

**冷态测试** cold state test

在设备或系统未运行或未加热到其正常工作温度的情况下进行的测试。

### 3.17

**额定工况** rated working conditions

达到标称产氢速率（等同于100%负荷）时电解槽可连续稳定运行的工况，包括温度、压力、流量等条件。

### 3.18

**波动范围 operating range**

电解槽可安全运行的最低至最大功率范围。

### 3.19

**产氢压力 pressure**

电解槽出口处氢气的压力。在本标准中，除注明者外，压力均指表压力。

### 3.20

**冷启动 cold startup**

电解槽在长时间停机后温度接近在正常环境温度下（一般为25℃）、压力接近常压值启动。

### 3.21

**热启动 warm startup**

电解槽在短暂停机状态下（制氢系统温度一般不低于50度、压力接近额定工况）启动。

### 3.22

**启动时间 startup time**

电解槽从待机状态，到额定产氢量所需的时间。

冷启动时间：电解槽从冷待机状态发出启动指令时刻到电解槽达到预定电流状态所经历的时间间隔；热启动时间：电解槽从热待机状态发出启动指令时刻到电解槽达到额定电流状态所经历的时间间隔。

### 3.23

**加载速度 loading speed**

电解槽阴阳极之间加载电流的速度。

### 3.24

**试验输入参数 test input parameter**

通过设置其值以定义试验系统的试验条件（包括试验对象的运行条件）的参数。试验输入参数应为可控和可测量的。在进行试验之前，就已经知道试验输入参数的数值。

提示：可以是静态的，也可以是动态的。静态试验输入参数应保持不变，而动态试验输入参数在试验期间是变化的。

### 3.25

**试验输出参数 test output parameter**

指示试验系统/试验对象由于一个或多个提示的变化而产生的响应的参数。试验输出参数值在进行试验前是未知的，将在试验期间测量。试验输出参数需是可衡量的。

## 4 通用要求

### 4.1 结构组成

#### 4.1.1 结构要求

4.1.1.1 PEM 电解槽由端板、绝缘板、集流板、双极板、膜电极等核心部件组装而成。PEM 电解槽的结构示意图如图 1 所示。

4.1.1.2 电解槽结构应能承受制造商标称工况范围内的温度与产气流量和压力波动。

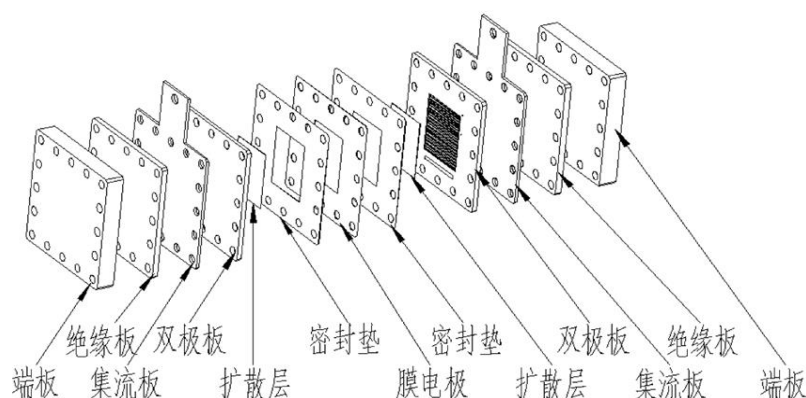


图1 PEM 电解槽结构示意图

#### 4.1.2 外观要求

PEM电解槽试样品的外观应符合下列要求：

- a) 端板、绝缘板、集流板、双极板、紧固件等所有外露件应无划痕、裂痕、损伤、剥落、锈蚀、毛刺等缺陷，且无油污、漆污等污点。
- b) 各单节功能件的结合面应整齐、匀称，不错位。
- c) 含有镀层的金属件表面不应有明显的机械损伤。
- d) 紧固件应连接牢固，无松动。
- e) 连接导线应焊接或压接良好。相互之间绝缘。

#### 4.1.3 外观检查

4.1.3.1 采用目测法检查 PEM 电解槽试样品的外观是否完好，有无损坏、划伤等缺陷。

4.1.3.2 采用目测法检查 PEM 电解槽试样品标签是否按要求粘贴在设计位置，标签的内容是否完整，清晰，且在模块表面是否有高压警示标识。

4.1.3.3 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 电解槽试样品接线端子极性。

4.1.3.4 应对 PEM 电解槽紧固螺栓进行扭矩校验，扭力应达到电解槽的出厂要求。

4.1.3.5 应对 PEM 电解槽的巡检线进行检查。

#### 4.2 基本技术要求

4.2.1.1 PEM 电解槽测试台的工作参数应满足或优于测试电解槽的功能要求。

4.2.1.2 PEM 电解槽测试环境应清洁，通风排气畅通并禁火。

4.2.1.3 PEM 电解槽测试系统应在无霜、露水、渗水、雨淋等环境下放置或测试。禁止在风、雨、进水、地震、外源火灾、烟雾等环境下测试。

4.2.1.4 PEM 电解槽的测试环境温度宜为 5~40℃，相对湿度宜为 1~75%。

4.2.1.5 PEM 电解槽的测试温度不宜超过 90℃。

4.2.1.6 PEM 电解槽原料水的电导率应 $\leq 0.01$  mS/m，且符合 GB/T 37562 的要求。

4.2.1.7 PEM 电解槽测试系统应满足氢气、氧气的安全存储或排放要求。

#### 4.3 测试条件与测试顺序

##### 4.3.1 环境条件

PEM电解槽测试工作环境应符合GB/T xxxx（PEM电解槽技术要求）中对于PEM电解槽工作环境的有关要求。

#### 4.3.2 水质条件

PEM电解槽原料水的电导率应 $\leq 0.1$  mS/m，且符合GB/T 37562的要求。

#### 4.3.3 测试系统条件

4.3.3.1 测试系统应符合 PEM 电解槽测试的工况范围内对供水、分离、冷却、供电系统的运行要求。

4.3.3.2 在 PEM 电解槽连接测试系统前，应对测试系统进行充分的管路清洗，并使用氮气等惰性气体进行吹扫。

4.3.3.3 测试系统应设置必要的检测点和相应的计量装置。所有计量装置应有适应于测试要求的计量精度和量程，确保计量装置在有效使用期内，并应有经计量检定机构出具的检定合格证明，以保证准确性和可靠性。测量仪表和精度的具体规定见附录 A。

4.3.3.4 测试时使用的测试设备和仪表不应妨碍 PEM 电解槽的正常运行和操作。

#### 4.3.4 电源条件

PEM电解槽测试电源应符合GB/T xxxx（PEM电解槽技术要求）中对于PEM电解槽电源配置的有关要求。

#### 4.3.5 测试顺序

4.3.5.1 完整的 PEM 电解槽测试过程主要包括冷态测试和电化学测试。如测试时包括了上述两类，则为了确保测试安全，宜先进行冷态测试，然后再进行电化学测试，且电化学测试过程中，PEM 电解槽槽内压力应不超过冷态测试最大压力。

4.3.5.2 如涉及到同一电解槽的多次校核测试，则可仅在第一次测试时进行冷态测试。后续每做完一组电化学测试，宜重新进行拧紧力校验，并按照制造商提供的 PEM 电解槽运行维护要求，对槽内进行彻底清理后，再进行下一次的重复测试工作。

#### 4.3.6 测试内容

4.3.6.1 PEM 电解槽冷态测试一般包括气密性测试、内窜测试和电气绝缘。

4.3.6.2 PEM 电解槽电化学测试一般包括产氢量、产氢纯度、产氢压力、电流密度、功率波动范围、变载速率、冷/热启动时间、电压衰减率、电池电压均一性等内容。

4.3.6.3 本标准仅列出常用的性能测试项目。未涵盖在本标准范围内的测试内容，宜按照本标准关于量程、精度和数据处理的有关原则参照执行。

### 5 安全要求

#### 5.1 气密性/内窜

##### 5.1.1 气密性

以氮气进行电解槽气密性试验。试验压力为电解槽设计压力，试验时间为12 h，试验过程应认真记录系统内气体的温度、压力。按照平均每小时泄漏率不超过0.5 vol.%为气密性试验合格。

##### 5.1.1.1 试验仪器和设备

- a) PEM电解槽;
- b) 温度计;
- c) 检漏液 (或其他检漏工具);
- d) 压力表;
- e) 氮气。

5.1.1.2 试验步骤

将电解槽正极腔、负极腔的出气口连通并安装压力表 (图2), 封闭电解槽其他进出口, 向正极腔和负极腔通入氮气, 压力稳定后关闭进气阀门。试验压力为电解槽设计压力, 试验时间为12h, 记录试验开始时和结束时的时间 (精确至分钟)、环境温度、电解槽压力。

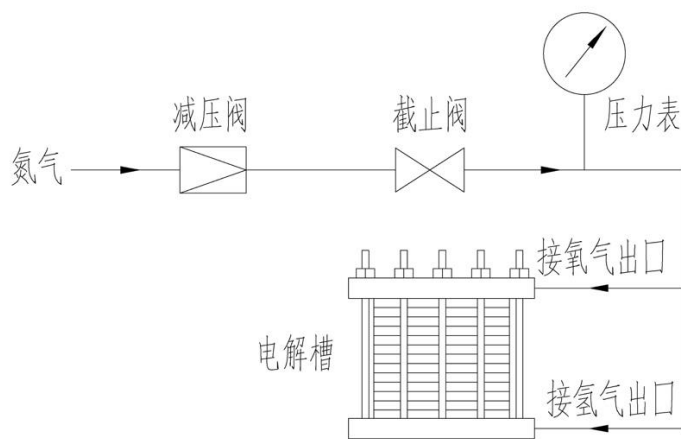


图2 气密性试验过程示意图

5.1.1.3 数据处理

分别对正极腔、负极腔按式 (1) 进行外漏率的计算。

$$A = \frac{100}{t} (1 - \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}) \dots\dots\dots (1)$$

式中:  
A—体积泄漏率, %;  
t—试验时间, h;  
T1, T2—实验开始、结束电解槽温度, K;  
p1, p2—实验开始、结束电解槽压力, MPa。

5.2 内窜

电解槽气密性试验合格后, 以氮气为试验介质进行内窜试验。试验压力为电解槽隔膜两侧允许最大工作压力差, 试验时间为1h。质子膜浸满水状态时, 氢氧侧0.05MPa压差下, 内窜速率不超过0.02 mL/(min • cm²)为合格; 或质子膜干态下, 内窜速率不超过0.002 mL/(min • cm²)为合格。

5.2.1 试验仪器

- a) PEM电解槽, b) 温度计, c) 氮气, d) 压力表, d) 皂泡流量计



5.2.2 试验环境

温度：20±5℃；湿度：≤60%。

5.2.3 试验步骤

将电解槽正极腔进口、负极腔出口以及冷却液腔（若有）进出口全部封住。在正极腔的出气口接皂膜流量计，由负极腔的进口通入氮气（图3），缓慢调整压力至试验压力（电解槽质子膜两侧允许最大工作压力差），试验过程中负极腔压力应稳定不变，保持5 min后，在皂膜流量计上读取负极腔向正极腔的窜气速度L1。

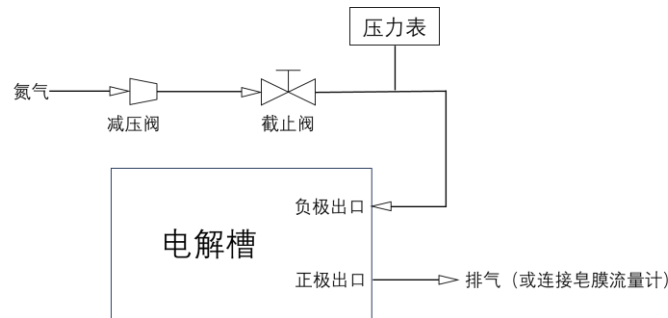


图3 内窜试验过程示意图

5.2.4 数据处理

相应窜气速度X1按式（2）计算：

$$X_1 = 2 \times R \times L_1 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- X1——负极腔向正极腔的窜气速度，mL/(min·cm²)；
- R——当质子膜为干态时，R取3.74；当质子膜浸满水状态时，R取1.92；
- L1——负极腔向正极腔的氮气窜气速度，mL/(min·cm²)。

5.3 电气绝缘

5.3.1 试验仪器和设备

- a) PEM电解槽， b) 绝缘电阻测试仪

5.3.2 试验步骤(需验证)

试验前，电解槽的端电压应小于36VDC。将绝缘电阻测试仪设置到指定的档位，将电压稳步增加到指定值，维持至少5 s以便获得稳定的绝缘电阻读数。试验过程中，电解堆应与台架绝缘。绝缘电阻值应在500 Ω/V以上，如果不能满足这个值，则应停止后续试验。

测量位置：

- a) 电解槽集流体与电解槽端板（设计中端板接地）；
- b) 电解槽集流体与电解槽固定点（设计中固定点接地）或其他指定接地点。

表1规定了绝缘电阻试验的试验电压取值。

表1 绝缘电阻试验电压

序号	电解槽最高电压Vstack的1.5倍/V	试验电压V <sub>iR</sub> /V
1	(V <sub>stack</sub> ×1.5) ≤250	250
2	250<(V <sub>stack</sub> ×1.5) ≤500	500
3	500<(V <sub>stack</sub> ×1.5) ≤1000	1000
4	1000<(V <sub>stack</sub> ×1.5)	2500 <sup>a</sup>
V <sub>stack</sub> ——电解槽最高电压，单位为伏特（V）； V <sub>iR</sub> ——绝缘电阻试验的试验电压，单位为伏特（V）。 a：当被测样品的最高电压>667 V时，试验电压可由制造商和买方协商确定。		

5.3.3 数据处理

绝缘电阻值按式（3）求得：

$$R = R_x \times 10^6 / V_{iR} \dots\dots\dots (3)$$

式中：  
R——绝缘电阻值计算结果，单位为欧每伏特（Ω/V）；  
R<sub>x</sub>——绝缘电阻测试仪读数，单位为兆欧（MΩ）；  
V<sub>iR</sub>——绝缘电阻试验的试验电压，单位为伏特（V）；  
绝缘电阻值的计算结果应保留小数点后一位。

5.4 水循环量

5.4.1 试验仪器和设备

- a) PEM电解槽；
- b) 水泵；
- c) 流量计。

5.4.2 试验步骤

启动供水水泵，在额定工况与最高电解槽功率输入工况（温度、压力）下测量供水量。

5.5 氢中氧

5.5.1 试验仪器和设备

- a) PEM电解槽；
- b) 气相色谱（或气体纯度分析仪）。宜采用气相色谱或气相色谱比对过的仪表进行检测。分析仪表的量程宜为0-0.2% O<sub>2</sub>，精度为±1% FS。

5.5.2 试验步骤

检验电解槽产气纯度是否满足技术要求。分析氢气中含氧量的氧分析仪，按GB/T 3634.2中对氧气含量采用同手工分析或气相色谱仪比对过的仪表进行分析。精度不低于0.01%。在测试台上运行PEM电解槽，以氢中氧传感器连续测试，在设定工况下测量电解槽排出的氢中氧气的体积百分比。

- a) 试验开始前，电解槽出口水温调整到设定温度；
- b) 开始启动操作，按设定工况加载电流值至电流、压力稳定，记录电解槽氢气出口处氢中氧气体浓度。

5.5.3 数据处理

氢气纯度按式（5）计算：

$$C_{H_2} = (1 - C_{xO}) \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$C_{H_2}$ —氢气纯度，%；

$C_{xO}$ —仪表显示氧含量值。

## 5.6 氧中氢

### 5.6.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 气相色谱（或气体纯度分析仪）。宜采用气相色谱或气相色谱比对过的仪表进行检测。分析仪表的量程宜为0-0.2% O<sub>2</sub>，精度为±1% FS。

### 5.6.2 试验步骤

在测试台上运行PEM电解槽，以氧中氢传感器连续测试，在设定工况下测量电解槽排出的氧气中氢气的体积百分比。

a) 试验开始前，电解槽出口水温调整到设定温度；

b) 开始启动操作，按设定工况加载电流值至电流、压力稳定，保证氧中氢仪表不被水淹，记录电解槽出口处氧中氢气体浓度。

### 5.6.3 数据处理

氧气纯度按式（5）计算：

$$C_{O_2} = (1 - C_{xH}) \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$C_{O_2}$ —氢气纯度，%；

$C_{xH}$ —仪表显示氧含量值。

## 6 电化学技术要求

### 6.1 产氢速率测试方法

#### 6.1.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 氢气质量流量计（按需）

#### 6.1.2 试验步骤

PEM电解槽的氢气产量检测，应按照直流电流测量电流后计算，或流量计测量。依据水电解定律，任何物质在电解过程中，数量上的变化服从法拉第定律。在标准状况下，2×96500 C电量，可电解1 mol水制取1 mol氢气和1/2 mol氧气。1 mol氢气在标准状况下的体积为22.43×10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>。故在标准状况下，制取1 m<sup>3</sup>氢所需理论电量见式（7）：

$$2 \times 96500 \times 1000 / (3600 \times 22.43) = 2390 \text{ A} \cdot \text{h/m}^3 \dots\dots\dots (6)$$

#### 6.1.3 数据处理

气体产量应根据式（8-9）计算：

$$Q_L = I_L \times n \times \eta / 2390 \dots\dots\dots (7)$$

$$M = \rho Q_L \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$I_L$ —工作电流 A；

$n$ —电解槽节数，个；

$\eta$ —电流效率，%；

$M$ —氢气产量（质量），kg/h；

$\rho$ —氢气密度，标准状况下为 0.0899 kg/m<sup>3</sup>。

## 6.2 产氢纯度

### 6.2.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 气相色谱（或气体纯度分析仪）宜采用气相色谱或气相色谱比对过的仪表进行检测。分析仪表的量程宜为0-0.2% O<sub>2</sub>，精度为±1% FS。

### 6.2.2 试验步骤

在测试系统中电解槽直接相连的气体分离器取样

### 6.2.3 数据处理

氢气纯度按照式（10）计算，（仅对氧含量规定）：

$$C_{H_2} = (1 - C_{O_2}) \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$C_{H_2}$ —氢气纯度，用（%）表示；

$C_{O_2}$ —仪表显示氧含量值。

## 6.3 产氢压力

### 6.3.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) PEM电解槽测试系统

### 6.3.2 试验步骤

在测试台上运行PEM电解槽，电解槽氢/氧侧出口设置压力传感器，当电解槽达到设定工作状态时，以压力传感器测量电解槽氢/氧侧出口的压力值，并记录。（附录B）

a) 试验开始前，电解槽出口水温调整到设定温度；

b) 开始启动操作，加载电流至额定电流 $I_0$ ，至运行稳定；

c) 调节电解槽产气压力至设定值，待运行稳定后，记录电解槽氢侧出口的气体压力。

## 6.4 电流密度

### 6.4.1 电压-电流密度性能测试

#### 6.4.1.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 电流传感器，c) 电压传感器

6.4.1.2 试验步骤

采用精度为xx mm的长度度量工具对膜电极的反应区域进行尺寸测量，计算出电极反应面积S（按燃料电池的面积来）。将电解槽的温度和压力设定在工作范围内，测量PEM电解槽单节电压，取单节电压平均值V。按照表2中的运行参数测试并记录单节电压平均值、电流和电流密度。

表2 运行参数表（槽温范围：±3℃，压力范围：10%设定压力）

序号	工作电流密度 mA/cm <sup>2</sup>	单节电压平均值 V	温度、压力
0	.....	.....	
1	.....	.....	
2	.....	.....	
3	取点间隔：按百分比来		
4	额定的 10%为 1 个点		
5	1A 以下 100 mA 步长		
6	1A 以上 10%步长		
7			
8	停留时间：1 分钟		
9			
10			
...			
...			
...			
...			
...	标称最大电流密度		

- 1) 试验开始前，电解槽出口水温调整到设定温度，电解槽水流量按制造商要求设定并记录；
- 2) 开始启动操作，加载至额定电流值I1，待电压、压力稳定后运行，记录电解单池电压/电解槽平均电压。

6.4.1.3 数据处理

a) 根据有效电解面积和记录的计算的电流值，计算电流密度，公式如下：

$$J = \frac{I_{test}}{S}.....$$

(10)

式中：

- J —— 电流密度，A/cm<sup>2</sup>；
- I<sub>test</sub> —— 试验测量的电流平均值，A；
- S —— 有效电解面积，cm<sup>2</sup>。

b) 电解槽单电压计算，公式如下：

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}.....$$

(11)

式中：

- V——平均单电压，V；

$V_i$ —第*i*节单电压，V；  
*n*—电解槽节数。

## 6.4.2 直流电压检测

### 6.4.2.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 电压巡检仪，c) 专用电压表检测，d) 单节电压采用万用表

### 6.4.2.2 试验步骤

PEM电解槽的总直流电压用直流电压表检测，检测位置在电解槽的正极、负极端板处，电压表的精度等级不低于0.5级。

### 6.4.2.3 数据处理

单节电压应分布均匀，额定工况下的极差应不大于100 mV。且，单节电压应在制造商规定的安全范围内。

## 6.4.3 直流电流检测

### 6.4.3.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 电流传感器，c) 钳流表（按需），

### 6.4.3.2 试验步骤

调整PEM至待测状态，记录电流传感器电流值，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

## 6.4.4 电解槽额定输入功率测试

### 6.4.4.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 电流传感器，c) 电压传感器。

### 6.4.4.2 试验步骤

在测试台上运行PEM电解槽，采用电流传感器测量电解槽的总电流，采用电压传感器测量电解槽正极、负极端板间总电压。额定工况下施加于电解槽上的电压与电流的乘积，为电解槽额定输入功率。

- 试验开始前，电解槽出口水温调整到设定温度；
- 开始启动操作，加载电流至额定电流 $I_0$ ；
- 调节电解槽产气压力至设定值，待运行稳定后，记录电解槽总电压 $V_0$ 。

### 6.4.4.3 数据处理

电解槽电流达到额定电流对应的的电解槽功率作为额定值， $P_0$

$$P_0 = V_0 \times I_0 \cdots \cdots (12)$$

式中：

$P_0$ —电解槽额定输入功率，kW；

$V_0$ —电解槽总电压，V；

$I_0$ —电解槽额定电流，A。

#### 6.4.5 额定电流密度下的电解效率

##### 6.4.5.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 电流传感器，c) 电压传感器。

##### 6.4.5.2 试验步骤

调整电解槽至待测状态，测取电解槽电流、电压值。

##### 6.4.5.3 数据处理

根据电解定律——任何物质在电解过程中，数量上的变化服从法拉第定律。在标准状态下，用 $2 \times 96500$ 库仑电量，可电解1 mol水，制取1 mol氢和0.5 mol氧。1 mol氢气在标准状态下的体积为 $22.43 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 。故在标准状态下，制取1  $\text{m}^3$ 氢所需理论电量为：

$$\frac{2 \times 96500 \times 1000}{3600 \times 22.43} = 2390 \text{ A} \cdot \text{h} / \text{m}^3 \dots\dots\dots (13)$$

根据电化学原理，当电解单池电压为热中性电压时，则水电解槽工作时不产生废热，此时的能效设定为100%。

$$\eta = \frac{1.48 \times 2390}{1000W} \% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$\eta$ —能效，%；

1.48—热中性电压，V；

W—单位能耗值， $\text{kWh} / \text{Nm}^3 \text{ H}_2$ 。

电解电压效率

电压效率是电解反应的理论分解电压与电化学反应器工作电压之比。

$$\eta = \frac{1.48}{\bar{V}} \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\bar{V}$ —电解槽平均电压。

#### 6.4.6 额定电流密度下的产氢电耗

##### 6.4.6.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 电流传感器，c) 电压传感器

##### 6.4.6.2 试验步骤

调整电解槽至待测状态，测取电解槽电流、电压值。

##### 6.4.6.3 数据处理

水电解槽单位制氢的直流电耗(WH2)，按式(20)计算：

$$WH2 = IUt / (QH2 \times 103) \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$W_{H_2}$ —单位制氢直流电耗，kW·h/m<sup>3</sup>；

$I$ —水电解槽的总直流电流，A；

$U$ —水电解槽的总直流电压，V；

$Q_{H_2}$ —检测期间氢气产量，m<sup>3</sup>/h；

$t$ —检测时间，h。

## 6.5 波动范围

### 6.5.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽，b) 电流传感器，c) 电压传感器

### 6.5.2 试验步骤

在测试台上运行PEM电解槽，将电解槽分别设定在最低电流、额定电流和最高电流下运行，分别记录电解槽电压值。最低电流、最高电流对应的电解槽输入功率与额定功率的比值为电解槽输入功率允许波动范围的上下限。

a) 试验开始，将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，加载至最低载电流值 $I_1$ ，电解槽运行稳定后，记录电解槽总电压 $V_1$ ；

c) 在制造商推荐的条件下，加载电流至额定电流值 $I_0$ ，电解槽运行稳定后，记录电解槽总电压 $V_0$ ；

d) 在制造商推荐的条件下，加载电流至最高电流值 $I_2$ ，电解槽运行稳定后，记录电解槽总电压 $V_2$ ；

### 6.5.3 数据处理

a) 电解槽电流达到额定电流时的电解槽功率作为额定值， $P_0$ ：

$$P_0 = V_0 \times I_0 \cdots \cdots (17)$$

式中：

$P_0$ —电解槽额定输入功率，kW；

$V_0$ —电解槽总电压，V；

$I_0$ —电解槽额定电流，A；

b) 电解槽电流为最低电流值时的电解槽功率作为功率谷值， $P_1$ ：

$$P_1 = V_1 \times I_1 \cdots \cdots (18)$$

式中：

$P_1$ —电解槽峰谷功率，kW；

$I_1$ —电解槽谷值电流，A；

$V_1$ —电解槽在谷值电流时的总电压，V；

$$\theta_1 = \frac{P_1}{P_0} \times 100\% \cdots \cdots (19)$$

式中：

c) 电解槽电流为设定最高电流值的电解槽功率作为功率峰值， $P_2$ ：

$$P_2 = V_2 \times I_2 \cdots \cdots (20)$$

式中：



$P_2$ —电解槽峰值功率, kW;  
 $V_2$ —电解槽峰值总电压, V;  
 $I_2$ —电解槽峰值总电流, A;  
 电解槽功率波动上限,  $\theta_2$ :

$$\theta_2 = \frac{P_2}{P_0} \times 100\% \dots\dots\dots (21)$$

## 6.6 变载速率

### 6.6.1 试验仪器和设备

测试台, PEM 电解槽。

### 6.6.2 试验步骤

以电解槽额定电流密度的百分比作为步长, 对电解槽电流进行变载。以电解槽最高单电池电压未超过警戒值, 氧中氢浓度未超过停机保护阈值的最大变载速度作为电解槽最大变载调节速度  $v$ 。

### 6.6.3 数据处理

$$v = \frac{\Delta I}{I_0 \times t} \times 100\% \dots\dots\dots (22)$$

式中:

$v$ —电解槽最大变载调节速度, %/s;  
 $\Delta I$ —电解槽电流变化值, A;  
 $t$ —电流变化所用时间, s;  
 $I_0$ —电解槽额定运行电流密度。

## 6.7 冷启动

### 6.7.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽, b) 电流传感器, c) 电压传感器, d) 温度传感器

### 6.7.2 试验步骤

将电解槽在室温下启动后逐步加电流, 记录下启动时的电解槽进水口水温, 以及从启动到加至额定电流密度工况下所需的时间, 该时间即为电解槽在该温度下的冷启动时间。在该项测试中电解系统不可对电解槽或电解槽用水提供额外的热量补充。

## 6.8 热启动

### 6.8.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽, b) 电流传感器, c) 电压传感器, d) 温度传感器, e) PEM测试系统

### 6.8.2 试验步骤

将电解槽在较高温度下（一般为40-90℃）启动后逐步加电流，记录下启动时的电解槽进水口水温，以及从启动到加至额定电流密度工况下所需的时间，该时间即为电解槽在该温度下的热启动时间。在该项测试中电解系统不可对电解槽或电解槽用水提供额外的热量补充。

## 6.9 衰减率

### 6.9.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽, b) 电流传感器, c) 电压传感器, d) 温度传感器, e) PEM测试系统

### 6.9.2 试验步骤

额定测试工况下，对电解槽测试指定时长，对电解槽初始测试及结束测试时的电解电压进行测试，根据电解槽初始测试时的电解电压 $V_1$ 、结束测试时的电解电压 $V_2$ 及测试时长 $t$ ，求出电解槽平均单节电压衰减率 $\delta V_s$ 。

### 6.9.3 数据处理

$$\delta V_s = 1000000 \times \frac{(V_1 - V_2)}{n \times t} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

$\delta V_s$ —平均单节电压衰减率， $\mu V$ ；

$V_1$ —电解槽初始测试时电解电压，V；

$V_2$ —电解槽结束测试时电解电压，V；

$n$ —电解槽单池节数，个；

$t$ —测试时间，h。

## 6.10 单节电压

### 6.10.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽, b) 电流传感器, c) 电压传感器, d) PEM测试系统

### 6.10.2 试验步骤

调整电解槽至待测状态，通过电压传感器测量指定单池电压。

## 6.11 氢氧压差

### 6.11.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽, b) 压力传感器, d) PEM测试系统

### 6.11.2 试验步骤

在测试台上运行PEM电解槽，将电解槽的温度和压力设定在工作范围内，在保证设备安全的条件下，测试允许的氢侧与氧侧的最大压力差。

a) 试验开始前，电解槽出口水温调整到设定温度；

b) 开始启动操作，加载电流至额定电流 $I_0$ ，至运行稳定；

c) 调节电解槽产气压力至制造商设定值，维持氢氧两侧压力差至运行稳定，记录电解槽氢氧两侧产气压力差值。此时，两侧气体纯度应在爆炸限之外

注：稳定工作是指电解槽在该工况下至少保持各项参数稳定不低于60 min。

## 6.12 单池/短堆测试

### 6.12.1 试验仪器和设备

a) PEM电解槽, b) 压力传感器, d) PEM测试系统

### 6.12.2 试验步骤

电解槽在某工况稳定运行状态下, 监测电解槽氢气出口处压力, 可采用压力传感器测量。稳定工作是指电解槽在该工况下至少保持各项参数稳定不低于60 min。

将电解池/短堆安装到电解测试平台上, 与电解池/短堆测试系统连接, 并设定相应的测试程序。电解槽测试前先通入去离子水, 电解槽温度控制在额定工况温度, (温度探头探测温度为膜电极中心位置处或电解槽出口处的温度); 待温度稳定后开始加载额定电流; 调节阴阳两侧压力, 压差 (MPa), 活化4 h后进行稳态极化曲线测试。极化电流从小到大进行, 记录电压与电流值。

### 6.12.3 数据处理

以电流密度堆电压做i-V曲线。

## 7 试验报告

试验报告应给出以下内容:

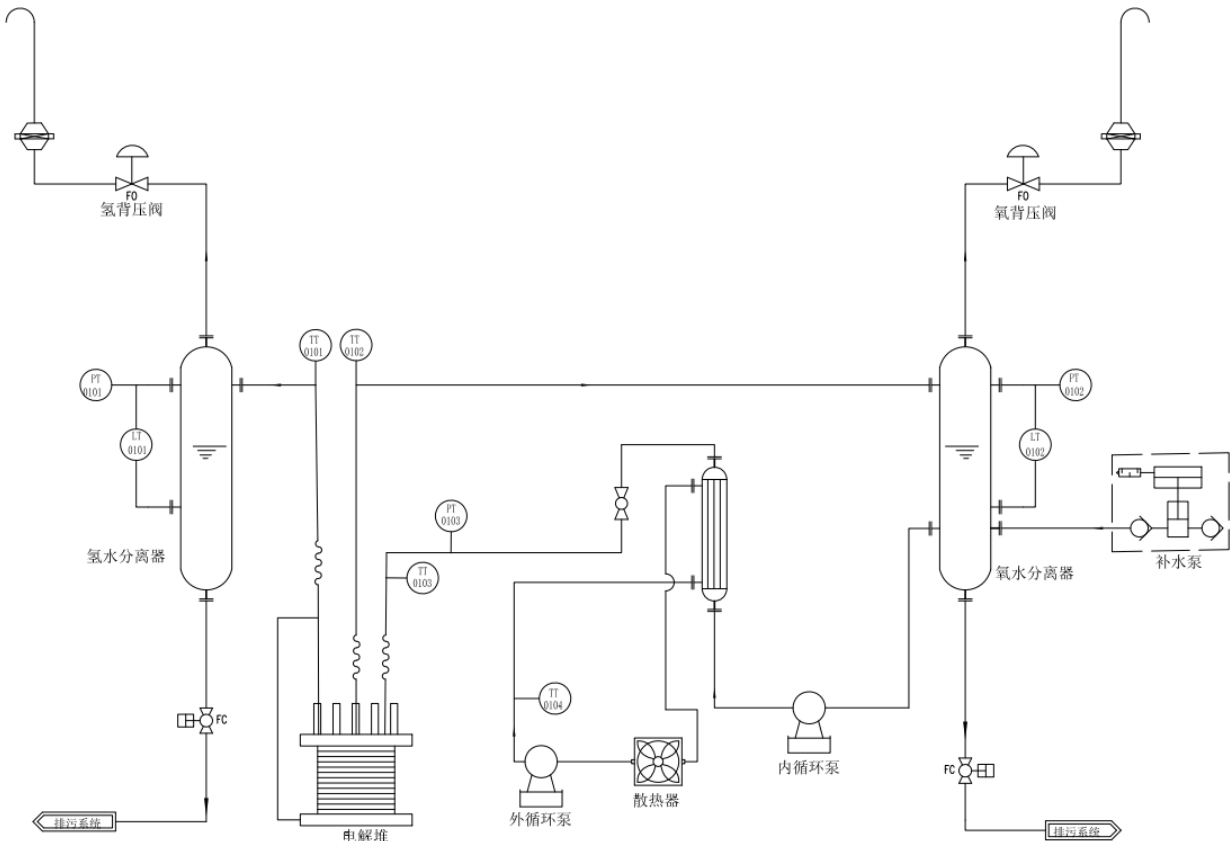
试验日期、试验对象、所使用的标准、试验条件、所使用的方法、试验输入参数、试验输出参数以及异常现象。

附 录 A  
(规范性)  
仪器设备精度要求

表A. 1 性能测试项目使用计量设备量程及精度要求

序号	测试项目	设备名称	量程范围要求	测量精度	备注
1	气密性				
2	内窜				
3	电气绝缘				
4	水循环量				
5	氢中氧				
6	氧中氢				
7	产氢速率				
8	产氢纯度				
9	产氢压力				
10	电流密度				
11	波动范围				
12	变载速率				
13	冷启动				
14	热启动				
15	衰减率				
16	均匀性				
17	单节电压				
18	压力压差				

附 录 B  
(资料性)  
测试台架



图B.1 测试台架流程图