

国产化检测仪器设备验证评价指南  
PEM 电解槽测试设备

Guidance for verification and evaluation of domestic testing instruments and  
equipment — PEM electrolytic cell test equipment

(征求意见稿)

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

国家认证认可监督管理委员会 发布



# 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 评价方案 .....	3
4.1 评价指标 .....	3
4.2 评分依据 .....	3
4.3 评价结果 .....	3
4.4 评价方式 .....	3
5 指标及评分标准 .....	3
5.1 基础性指标 .....	4
5.2 性能指标 .....	5
5.3 安全性指标 .....	5
5.4 服务指标 .....	6
5.5 国产化指标 .....	7
6 评价方法 .....	7
6.1 试验环境条件 .....	7
6.2 基础性评价方法 .....	7
6.3 性能评价方法 .....	8
6.4 安全性评价方法 .....	11
6.5 服务指标评价方法 .....	11
7 评价结果的评定 .....	11
7.1 评价流程 .....	11
7.2 产品应用等级 .....	11
7.3 国产化应用等级评定 .....	12
附录 A（规范性） 验证评价指标与权重表 .....	13
附录 B（规范性） 性能指标评分标准 .....	15
附录 C（规范性） 关键件清单 .....	17
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。

本文件由国家认证认可监督管理委员会提出并归口。

本文件起草单位：×××、×××、×××、×××。

本文件主要起草人：×××、×××、×××、×××。

# 国产化检测仪器设备验证评价指南 PEM 电解槽测试设备

## 1 范围

本文件给出了国产化PEM电解槽测试设备的评价方案、指标及评分标准、评价方法和评价结果的评定。

本文件适用于开展PEM电解槽测试设备的国产化验证评价活动。

## 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 5832.2-2016 气体分析中微量水分测定
- GB/T 12113-2023 接触电流和保护导体电流的测量方法
- GB/T 16935.1-2023 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分：原理、要求和试验
- GB/T 24342-2009 工业机械电气设备 保护接地电路连续性试验规范
- GB/T 24499-2009 氢气、氢能与氢能系统术语
- GB/T 45539-2025 PEM电解槽技术要求
- RB/T 227-2023 国产化检测仪器设备验证评价指南 氢燃料电池堆测试设备

## 3 术语和定义

GB/T 24499、GB/T 45539和RB/T 227-2023界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### PEM 电解槽测试设备 **proton exchange membrane eletrolyzer test equipment**

由原料水供应系统、气液分离系统、循环水处理系统、压力控制系统、热管理系统、电气控制系统、测试软件等部分构成，用于PEM电解槽测试的专用设备。

注：又称质子交换膜电解槽测试设备。

## 4 评价方案

### 4.1 评价指标

PEM电解槽测试设备评价指标宜包括一级指标、二级指标和三级指标，具体的评价指标和权重宜符合附录A。

### 4.2 评分依据

根据第5章的指标及评分标准进行评分。

### 4.3 评价结果

单项指标的总分为10分，每一级评价指标的评分根据各自的评价项目采用加权平均计分。PEM电解槽测试设备最终的评价分值及国产化率等级，按照不同级别的评价指标依次进行加权平均计分。

### 4.4 评价方式

评价方式可分为以下三种：

- a) 通过认证第三方提供的客观证明材料核实仪器参数、性能、预期用途等满足使用条件的情况；
- b) 通过现场演示的方式确认仪器参数、性能、预期用途等满足指标的情况；
- c) 通过实验室活动考察仪器的性能和技术满足指标的情况。

## 5 指标及评分标准

## 5.1 基础性指标

### 5.1.1 功能性

PEM电解槽测试设备连接PEM电解槽后能正常运行，具有规格书或说明文件所包含的所有设备功能（包括各类传感器、自动及手动阀门、开关等）并正常使用；能通过上位机正确对应并实现表1内所有试验项目的功能。

表 1 PEM 电解槽测试设备基本功能

序号	设备功能
1	产氢/氧流量检测
2	氢中氧/氧中氢浓度检测
3	工作温度检测
4	工作压力（含额定产氢压力、产氢压力调节范围、产氧压力、产氧压力调节范围）检测
5	电流、电压检测
6	功率调节范围检测
7	冷启动检测
8	热启动检测
9	变载速率检测
10	压力/压差检测
11	极化曲线检测
12	耐久性测试检测
13	耗水量检测

除上述基本功能外，PEM 电解槽测试设备功能性评价也包括有效附加功能，满足以下全部条件的功能视为有效附加功能：

a) 该附加功能不属于表 1 中已明确的 13 项基础功能中的任何子项；

b) 提供基础功能未覆盖的新操作能力，如：新增测试模式（大小量程自动切换、电解槽并联输入（多通道）、电解槽温度场重构等）、自动化流程（如一键导出测试报告、测试报告模板支持用户自定义等）、安全防护层级（如独立 SIS 系统、数据安全平台等）；

c) 可验证性：该附加功能需具备明确的输入-输出逻辑，可以通过实际操作验证其存在性。

### 5.1.2 控制界面

控制界面宜满足以下条件：

a) 界面风格一致，画面显示主次分明，变量显示直观明了；相关变量控制组合得当，操作简单方便；

b) 界面支持多语言切换，至少含中/英文切换，中文界面时，各参数标签的描述也为中文。

c) 显示画面的分辨率不低于 1920×1080，数据刷新频率不低于 10Hz；

d) 字号可根据画面布局情况确定，但不同画面中的相同类型或级别的文字字号大小统一；

e) 控制界面以醒目方式展示各模块运行情况。

### 5.1.3 操作友好性

操作友好性宜满足以下条件：

a) 软件支持测量参数自定义保存/导出；

- a) 主控软件能对直流电源、气源端供气阀门、测试设备中各电动控制阀门等进行远程操控；
- b) 软件主界面设有一键启/停、紧急停机、复位等关键操作按钮，且位于固定区域。

#### 5.1.4 兼容性

兼容性宜满足以下条件：

- a) 设备的氢气、氧气、氮气、原料水、温度传感器、温度传感器等接口工装采用可快拆/换接口（含卡盘式、卡套式、螺压式等）；
- b) 设备主控软件程序包含自动工况程序，支持用户自定义编辑控制指令、测试工况；
- c) 设备硬件接口至少支持 RS485、CAN 两种工业通讯协议，并提供接口协议文档。

#### 5.1.5 基础性指标评分标准

基础性指标包含功能性、控制界面、操作友好性和兼容性，评分标准宜符合表2。

表 2 基础性指标评分标准

序号	指标项目	评分标准
1	功能性	满足表 1 中所有基本功能得 8 分，每增加 1 项有效附加功能得 1 分，最多得 2 分
2	控制界面	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 界面风格一致，画面显示主次分明，变量显示明了直观；相关变量控制组合得当，操作简单方便得 10 分，否则不得分；</li> <li>b) 界面支持多语言切换（至少满足中/英文切换），中文界面时，各参数标签的描述也为中文得 10 分，否则不得分；</li> <li>c) 显示画面的分辨率，不低于 1920×1080，数据数据刷新频率不低于 10 Hz 得 10 分，否则不得分；</li> <li>d) 字号可根据画面布局情况确定，不同画面中的相同类型/级别的文字字号大小统一得 10 分，否则不得分</li> <li>e) 控制界面以醒目方式展示各模块运行情况得 10 分，否则不得分。</li> </ul>
3	操作友好性	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 软件支持测量参数自定义保存/导出，得 10 分，否则不得分；</li> <li>b) 主控软件能对直流电源、气源端供气阀门、测试设备中各电动控制阀门等进行远程控制得 10 分，否则不得分；</li> <li>c) 软件主界面设有一键启/停、紧急停机、复位等关键操作按钮，且位于固定区域得 10 分，否则不得分；</li> </ul>
4	兼容性	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 设备的氢气、氧气、氮气、原料水、温度传感器、温度传感器等接口工装采用可快拆/换接口（含卡盘式、卡套式、螺压式等）得 10 分，否则不得分；</li> <li>b) 设备主控软件程序包含自动工况程序，且支持用户自定义编辑控制指令、测试工况得 10 分，否则不得分。</li> <li>c) 设备硬件接口至少支持 RS485、CAN 两种工业通讯协议，并提供接口协议文档得 10 分，否则不得分。</li> </ul>

#### 5.2 性能指标

性能指标包含准确性、可控性、稳定性和重复性，评分标准宜符合附录B。

#### 5.3 安全性指标

##### 5.3.1 电气安全

##### 5.3.1.1 接触电流

接触电流宜满足：

- a) 在正常工作条件下，设备接触电流应不大于 0.7mA（峰值）；
- b) 在单一故障条件下，设备接触电流应不大于 5mA（峰值）。

##### 5.3.1.2 介电强度

电源相、中连线与机壳间承受 1500 V、50 Hz 交流电压，历时1 min 无击穿和飞弧现象。

### 5.3.1.3 保护接地

保护接地电阻不大于 0.1 Ω。

### 5.3.2 结构安全

结构安全宜满足：

- a) 凡是造成伤害事故的运动部件均封闭或屏蔽，或采取其他避免操作人员接触的防护措施；
- b) 设备必须对可能因超负荷发生损害的部件设置超负荷保险装置；
- c) 设备机械结构部分根据需要设计可靠的限位装置。

### 5.3.3 机械安全

设备机械结构稳定可靠，在安装、调整及运行过程中，不会因为设备本身或被测件而产生结构变形、性能突变等情况，不会对操作人员及相关人员产生机械类损伤或危害。

### 5.3.4 功能安全

功能安全宜满足：

- a) 设备具备氢气泄漏监测系统，氢气监测浓度范围涵盖 1 ppm ~ 10000 ppm；
- b) 设备具备分级报警功能并提供报警逻辑，在设备参数、测试参数和被测件性能参数超过警告值后能够发出报警信号并采取相应的动作，报警信号包括软件界面故障信息日志以及声、光报警等，超过急停值后设备能进行紧急停机动作；
- c) 设备具备硬件、软件停机功能，可实现手动和自动停机。涉及安全紧急停机范畴，如氢气泄漏，需具备相应安全措施，如氮气吹扫等。

### 5.3.5 安全性指标评分标准

安全性指标包含电气安全、结构安全、机械安全和功能安全，评分标准宜符合表3。

表 3 安全性指标评分标准

序号	指标项目	评分标准
1	电气安全	满足 5.3.1 的电气安全指标，得 10 分，否则不得分
2	结构安全	满足 5.3.2 的结构安全指标，得 10 分，否则不得分
3	机械安全	满足 5.3.3 机械安全设计指标，得 10 分，否则不得分
4	功能安全	满足 5.3.4 功能安全指标，得 10 分，否则不得分

## 5.4 服务指标

### 5.4.1 维修保养服务

供应商提供的维护保养服务宜满足：

- a) 设备关键部件的维修保养由国内工程师完成，维保人员具有较强的专业性，能进行设备远程故障诊断，能及时提供充足的备品备件，以保证维保工作的高效性；
- b) 当设备运行出现故障时，能在用户发出通知后 8 小时内给予响应，24 小时内有相关的技术人员抵达现场或采取能够有效实施的整改措施。

### 5.4.2 软件维护升级

供应商能够提供常规的系统软件维护、升级等服务（包括远程升级指导）。能够根据不同客户的需求和特性，提供定制化的软件升级服务，满足不同客户的需求。

### 5.4.3 服务指标评分标准

服务指标包含维修保养服务和软件维护升级，评分标准宜符合表4。

表4 服务指标评分标准

序号	评价指标	评分标准
1	维修保养服务	a) 国内工程师能够完成设备关键部件的维修保养服务，能够进行设备远程故障诊断，能够提供充足的备品备件，得10分，否则不得分； b) 当设备运行出现故障时，供应商能在用户发出通知后8小时内给予响应，24小时内有相关的技术人员抵达现场或采取能够有效实施的整改措施，得10分，否则不得分
2	软件维护升级	a) 供应商能够提供系统软件的常规维护、升级等服务（包括远程升级指导）得10分，否则不得分； b) 能够根据不同客户的需求和特性，提供定制化的软件升级服务，得10分，否则不得分

## 5.5 国产化指标

5.5.1 针对 PEM 电解槽测试设备的关键件清单（宜按照附录 C），需明确每类关键件的生产国别，知识产权属于中国或在国设计生产的关键件，认定为国产关键件。

5.5.2 知识产权属于国外或在国设计生产的配件，认定为进口关键件。同种类关键件国内外都有的，属进口关键件。

5.5.3 PEM 电解槽测试设备关键件国产化率宜不低于 50%，且具有国产化仪器设备软件。关键件国产化率超过 90%，则可等同视为高自主国产化 PEM 电解槽测试设备。

5.5.4 国产化认定基于 PEM 电解槽测试设备关键件国产化率，具体评价方法见 7.3。

## 6 评价方法

### 6.1 试验环境条件

设备工作环境：

- a) 环境温度：-5℃~45℃；
- b) 气压：85 kPa~105 kPa；
- c) 湿度：10%RH~90%RH；
- d) 供电电源：三相五线制，220VAC±10%，50Hz±1%（或 380VAC±10%，50Hz±1%）
- e) 无影响仪器使用的振动和电磁干扰；
- f) 室内无腐蚀性气体，有良好的通风装置。

### 6.2 基础性评价方法

#### 6.2.1 功能性评价

PEM电解槽测试设备连接PEM电解槽后能正常运行，检查设备规格书或说明文件所包含的所有设备功能（包括各类传感器、自动及手动阀门、开关等）是否全部具备并正常使用，检查是否能通过上位机正确实现表1中的各个功能。

#### 6.2.2 操作友好性及控制界面评价

测试方法如下：

- a) 启动设备，通过上位机操控各非自动阀门，观察是否按操作指令正常开关；
- b) 采用目视法判断测试软件主界面是否设有一键启/停、紧急停机、复位等操作按钮，按钮位置是否固定；按照制造商规定操作流程，逐一验证上述按钮是否可以正常执行控制指令；
- c) 连接电解槽至测试设备，设置直流电源为恒流动模式，通过上位机下发加/降载指令，观察直流电源是否按照指令执行；

d)调节电解电流至 50%额定电流，运行 10min 以上，随机选取运行过程中的参数，核查测试软件是否支持参数的自定义保存与导出。

### 6.2.3 兼容性评价

测试方法如下：

- a)设备接口采用目视法判断是否为可快拆/换接口；
- b)按照制造商规定方法编辑控制指令、书写测试工况（工况需包含判断、循环、中止等逻辑），运行测试工况，判断测试设备是否按照工况执行；
- c)通过核查协议文档判断设备是否至少支持 RS485、CAN 通讯。

## 6.3 性能评价方法

### 6.3.1 准确性评价方法

准确性评价以具有CNAS资质的第三方计量/校准机构出具的校准证书作为评价依据。

### 6.3.2 可控性评价方法

#### 6.3.2.1 压力控制范围

压力控制范围通过核查测试设备中阴/阳极两侧的背压阀的技术资料来评定，以背压阀工作压力范围为测试设备压力控制范围。

#### 6.3.2.2 压力控制精度

试验介质为高纯氮气，参照物为校准合格的压力传感器。试验开始前，应与制造商确认测试设备的压力控制范围、标称压力控制精度。具体试验方法如下：

- a)将压力传感器加装至测试设备的背压阀前端，
- b)连接氮气源至测试设备阴/阳极的预增压管路中，按制造商规定关闭其它可能会造成压力泄漏的阀门；
- c)打开氮气源进行增压，分别设置阴/阳极背压压力为压力控制范围的最小值 $P_{min}$ 、中间值 $(P_{max}-P_{min})/2$ 、最大值 $P_{max}$ ；
- d)当阴/阳背压压力首次达到压力设定值的标称控制精度要求时，开始记录压力传感器数据，各压力下数据采集时间应不少于30min；计算试验过程中的压力平均值 $P_{ave}$ ，按式（1）计算测试设备的压力控制精度 $\eta_p$ ：

$$\eta_p = \pm \left| \frac{P_{ave} - P_{set}}{P_{max} - P_{min}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

式中：

- $\eta_p$ ——测试设备的压力控制精度，%F.S.；
- $P_{ave}$ ——试验过程中的压力平均值，MPa；
- $P_{set}$ ——压力设定值，MPa；
- $P_{max}$ ——阴/阳极背压控制最大值，MPa；
- $P_{min}$ ——阴/阳极背压控制最小值，MPa；

#### 6.3.2.3 升温/降温速率

试验介质为电导率不高于 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 的高纯水，参照物为校准合格的温度传感器；试验开始前应确认好PEM电解槽的额定工作温度。具体试验方法如下：

- a)连接PEM电解槽至测试设备中，将标定好的温度传感器加装至电解槽进口前端、电解槽阳极出口后端、电解槽阴极出口后端；
- b)按照制造商规定启动PEM电解槽测试设备，保持电解槽不通电状态，开始进行水循环；
- c)依次调整电解槽循环水流量为最小值 $Q_{min}$ 、最大值 $Q_{max}$ ；
- d)设置电解槽目标工作温度为额定温度，记录指令下发时刻 $t_0$ 以及此时的电解槽阳极出口温度 $T_0$ ；记录电解槽阳极出口温度首次达到额定工作温度的时刻 $t_1$ ，以及此时的电解槽阳极出口温度 $T_1$ ；

- e) 当电解槽出口温度达到额定工作温度后，持续运行15min以上；  
 f) 设定电解槽目标工作温度为室温（不低于25℃），记录指令下发时刻 $t_2$ 以及此时电解槽阳极出口温度 $T_2$ ；记录电解槽阳极出口温度首次降低至室温的时刻 $t_3$ ，以及此时的电解槽阳极出口温度 $T_3$ ；  
 g) 按照式（2）计算PEM电解槽测试的升温速率：

$$v_{heat} = \frac{60 \times (T_1 - T_0)}{t_1 - t_0} \quad (2)$$

式中：

- $v_{heat}$ ——测试设备的升温速率， $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；  
 $t_1$ ——电解槽阳极出口温度首次达到额定工作温度的时刻；  
 $t_0$ ——升温试验开始时刻；  
 $T_1$ ——电解槽首次达到额定工作温度时的阳极出口温度， $^{\circ}\text{C}$ ；  
 $T_0$ ——升温试验开始时刻，电解槽的阳极出口温度， $^{\circ}\text{C}$ 。  
 h) 按照式（3）计算PEM电解槽测试的降温速率：

$$v_{cold} = \frac{60 \times (T_3 - T_2)}{t_3 - t_2} \quad (3)$$

式中：

- $v_{cold}$ ——测试设备的降温速率， $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；  
 $t_3$ ——电解槽阳极出口温度首次达到室温的时刻；  
 $t_2$ ——目标工作温度的设定时刻；  
 $T_2$ ——电解槽首次达到室温时的阳极出口温度， $^{\circ}\text{C}$ ；  
 $T_3$ ——目标工作温度设定时，电解槽的阳极出口温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

注1：试验过程中，应持续记录电解槽进口温度、阴极出口温度、阳极出口温度。

注2：试验过程中：“电解槽进口温度与阳极出口温度的温差、电解槽阴阳极出口温度的温差”均应在电解槽制造商规定的范围内，如不满足，则应立刻停止试验，待电解槽冷却至室温后重新开始试验。

#### 6.3.2.4 稳态温度控制精度

试验介质为电导率不高于 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 的高纯水，参照物为校准合格的温度传感器；试验开始前应确认好PEM电解槽的工作温度范围、测试设备的标称温度控制精度。具体试验方法如下：

- 连接PEM电解槽至测试设备中，将标定好的温度传感器加装至电解槽进口前端、电解槽阳极出口后端、电解槽阴极出口后端；
- 按照制造商规定启动PEM电解槽测试设备，保持电解槽不通电状态，开始进行水循环；
- 依次调整电解槽循环水流量为最小值 $Q_{\min}$ 、最大值 $Q_{\max}$ ；
- 待流量稳定后，调节电解槽阳极出口温度至其最低工作温度 $T_{\min}$ ，启动制氢电源使电解槽进入带电状态；使电解槽在最低工作温度 $T_{\min}$ 、工作温度中间值 $(T_{\min}+T_{\max})/2$ ，最大工作温度 $T_{\max}$ 下稳定运行；
- 电解槽阳极出口温度首次达到目标温度的标称控制精度要求时，开始记录温度传感器数据，数据采集时间不少于30min；
- 计算试验过程中的电解槽阳极出口温度平均值 $T_{ave}$ ，按照式（4）计算其与温度控制目标值 $T_{set}$ 的相对误差 $\Delta T$ ：

$$\Delta T = \pm |T_{ave} - T_{set}| \quad (4)$$

式中：

- $\Delta T$ ——测试设备的稳态温度控制精度， $^{\circ}\text{C}$ ；  
 $T_{ave}$ ——试验过程中的电解槽阳极出口温度平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；  
 $T_{set}$ ——温度控制目标值， $^{\circ}\text{C}$ 。

#### 6.3.2.5 动态温度控制精度

试验介质为电导率不高于 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 的高纯水，参照物为校准合格的温度传感器；试验开始前应确认好PEM电解槽的工作温度范围。具体试验方法如下：

- a) 连接PEM电解槽至测试设备中，将标定好的温度传感器加装至电解槽进口前端、电解槽阳极出口后端、电解槽阴极出口后端；
- b) 按照制造商规定启动PEM电解槽测试设备，保持电解槽不通电状态，开始进行水循环；
- c) 依次调整电解槽循环水流量为最小值 $Q_{\min}$ 、最大值 $Q_{\max}$ ；
- d) 待流量稳定后，调节电解槽阳极出口温度至其最低工作温度 $T_{\min}$ ，启动制氢电源使电解槽进入带电状态；设置电解槽阳极出口目标温度为电解槽最大工作温度 $T_{\max}$ ，开始记录温度传感器数据，以指定下发时刻为试验开始时刻 $t_s$ ；
- e) 以系统加热速率计算电解槽工作温度从最小值到最大值的理论调节时间 $\Delta t$ ；
- f) 当电解槽工作温度首次达到稳态控制精度下限时，记录此时刻 $t_c$ ，并保持电解槽在该温度下持续稳定运行1h以上；
- g) 当 $t_c > \Delta t$ 时：以 $\Delta t$ 时刻后，电解槽阳极出口温度 $T_m$ 计算测试设备动态温度控制精度；
- h) 当 $\Delta t > t_c$ 时：以 $t_c$ 时刻后，电解槽阳极出口温度 $T_m$ 计算测试设备动态温度控制精度；
- i) 动态温度控制精度计算公式见式（5）：

$$\Delta T_d = \pm |T_m - T_{\max}| \quad (5)$$

式中：

$\Delta T_d$ ——测试设备的动态温度控制精度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_m$ ——电解槽阳极出口温度最大值/最小值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_{\max}$ ——电解槽最大工作温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

#### 6.3.2.6 流量控制精度

试验介质为电导率不高于 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 的高纯水，参照物为校准合格的水流量传感器；试验开始前，应与制造商确认测试设备的标称水流量控制精度。具体试验方法如下：

- a) 将水流量计加装至PEM电解槽入水口前端，连接电解槽至测试设备；
- b) 按照制造商规定启动测试设备，使电解槽进入带电状态；
- c) 依次调整电解槽循环水流量为最小值 $Q_{\min}$ 、中间值 $(Q_{\max}-Q_{\min})/2$ 、最大值 $Q_{\max}$ ；
- d) 当电解槽入水口流量首次达到理论进水流量的标称控制精度要求时，开始记录水流量计数据，各流量下数据采集时间不少于30min；
- e) 计算试验过程中的流量平均值 $Q_{\text{ave}}$ ，按照式（6）计算其与流量控制目标值 $Q_{\text{set}}$ 的相对误差 $\eta_Q$ ：

$$\eta_Q = \pm \frac{Q_{\text{ave}} - Q_{\text{set}}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$\eta_Q$ ——测试设备的流量控制精度，%F.S.；

$Q_{\text{ave}}$ ——试验过程中的流量平均值，L/min；

$Q_{\text{set}}$ ——流量设定值，L/min；

$Q_{\max}$ ——循环水流量控制最大值，L/min；

$Q_{\min}$ ——循环水流量控制最小值，L/min；

#### 6.3.2.7 气液分离度

参照物为校准合格的高精度露点仪（精度不低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ），具体试验步骤如下：

- a) 将露点仪加装至测试设备的终端气液分离出口处，具体点位以实际预留为准；如未预留则加装至产氢出口后端；
- b) 将PEM电解槽连接至测试设备中，按照制造商规定启动测试设备，使电解槽进入带电状态；
- c) 调整测试设备使其在额定工况下稳定持续运行30min以上；
- d) 记录整个试验过程中的露点，计算稳定运行过程的露点平均值，对照GB/T 5832.2-2016附录A，获取气体的水含量。

#### 6.3.2.8 电导率控制能力

试验介质为电导率不高于 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 的高纯水，参照物为校准合格的水流量传感器；试验开始前，应与制造商确认测试设备的标称水流量控制精度。具体试验方法如下：

- a) 将电导率仪加装至PEM电解槽入水口前端，连接电解槽至测试设备；
- b) 按照制造商规定启动测试设备，使电解槽进入带电状态；
- c) 按照制造商规定执行电导率控制策略，并同步调节测试设备使其在额定工况下稳定运行1h以上；
- d) 记录整个试验过程中的水电导率，以整个试验过程中的水电导率最大值作为测试设备的电导率控制能力。

### 6.3.3 稳定性试验

设备不停机连续稳定运行 1000 h，累计运行时间不低于5000 h，监测其可控性指标，均满足指标。

### 6.3.4 重复性试验

在同一实验室由同一操作人员，在30日之内，宜按 6.3.2 重复进行3次试验。

## 6.4 安全性评价方法

### 6.4.1 电气安全试验

#### 6.4.1.1 接触电流试验

宜按GB/T 12113-2023中 6.1 规定的方法进行。

#### 6.4.1.2 介电强度试验

宜按GB/T 16935.1-2023 中 6.2 规定的方法进行。

#### 6.4.1.3 保护接地试验

宜按GB/T 24342-2009 中 6 规定的方法进行。

### 6.4.2 结构和机械安全评价

采用目测的方法评估设备内外部结构是否稳定、合理，相关指标宜满足5.3.2和5.3.3的指标。

### 6.4.3 功能安全试验

测试方法如下：

- a) 氢气浓度报警功能：当 PEM 电解槽测试设备与电解槽相连并运行稳定时，将装有氢气浓度超过报警设定值的气袋在设备测试仓内氢浓度传感器附近释放，记录设备氢气浓度报警情况；
- b) 停机功能：在分级报警功能的下，验证设备超过停机限值后的自动停机情况。

## 6.5 服务指标评价方法

宜按 5.4 服务指标，逐项对相关指标进行客观评价。

## 7 评价结果的评定

### 7.1 评价流程

PEM电解槽测试设备指标评价流程如下：

- a) 确定申请方提供资料，确定评价方案；
- b) 对指标试验项目进行逐条验证；
- c) 记录试验流程中的图像及数据采集的原始信息；
- d) 原始信息处理，得出结果；
- e) 将结果与评价项指标比对，进行加权打分；
- f) 得出等级评定结论。

### 7.2 产品应用等级

依据各指标评分标准，对每一级评价指标评分进行加权平均计算分数。按照不同级别的评价指标加权得分计算，最终形成PEM电解槽测试设备的产品使用层面评定总分。

评定总得分宜按照式 (7) 和式 (8) 计算:

$$Q_n = T_n \times [U_1 \times (M_1 \times a_x + \dots + M_x \times a_x) + \dots + U_y \times (M_1 \times a_x + \dots + M_x \times a_x)] \quad (7)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (8)$$

式中:

- a<sub>x</sub>——三级指标得分
- M<sub>x</sub>——第 x 个三级指标得分权重;
- U<sub>y</sub>——第 y 个二级指标得分权重;
- T<sub>n</sub>——第 n 个一级指标得分权重;
- Q<sub>n</sub>——第 n 个一级指标得分;
- Q——PEM电解槽测试设备应用等级评定总得分。

根据评定总得分将PEM电解槽测试设备的应用等级评定结果分为五个等级, 宜符合表5。

表 5 应用等级评定

评定得分 (Q)	9≤Q≤10	8≤Q<9	7≤Q<8	6≤Q<7	Q<6
评定等级	一级	二级	三级	四级	五级

### 7.3 国产化应用等级评定

基于PEM电解槽测试设备的关键件国产化率和产品应用等级得分情况, 进一步综合性评价国产PEM电解槽测试设备的国产化应用等级评定得分及国产化应用等级。

国产化应用等级评定得分宜按照式 (9) 和式 (10)计算:

$$f(P) = \begin{cases} 1 & P > 0.9 \\ P & 0.5 < P \leq 0.9 \\ 0 & 0 < P \leq 0.5 \end{cases} \quad (9)$$

$$A = f(P) \times Q \quad (10)$$

式中:

- P——PEM电解槽测试设备关键件国产化率;
- Q——PEM电解槽测试设备应用等级评定得分;
- A——PEM电解槽测试设备国产化应用等级评定得分。

PEM电解槽测试设备的国产化应用等级评定宜符合表6。

表 6 国产化应用等级评定

评定得分 (A)	8≤A≤10	6≤A<8	4≤A<6	2≤A<4	A<2
评定等级	一级	二级	三级	四级	五级

附录 A  
(规范性)  
验证评价指标与权重表

表 A.1 给出了 PEM 电解槽测试设备的各级验证评价指标与权重。

表 A.1 验证评价指标与权重

一级指标 $Q_n$	一级指标权重 $T_n$	二级指标	二级指标权重 $U_y$	三级指标	三级指标权重 $M_x$
基础性指标	0.1	功能性	0.25	试验功能	1
		控制界面	0.25	界面风格	0.2
				语言	0.2
				分辨率与数据刷新频率	0.2
				文字字号	0.2
				模块运行展示	0.2
		操作友好性	0.25	参数设置/保存/导出	0.3
				远程控制	0.4
				一键启/停/复位	0.3
		兼容性	0.25	设备接口	0.4
				主控软件程序	0.3
				通讯协议	0.3
		性能指标	0.5	准确性	0.3
压力测量精度	0.1				
电压巡检测量精度	0.1				
氢中氧浓度测量精度	0.1				
氧中氢浓度测量精度	0.1				
氢气流量测量精度	0.1				
氧气流量测量精度	0.1				
液体流量测量精度	0.1				
电导率测量精度	0.1				
露点测量精度	0.1				
可控性	0.3			压力控制范围	0.125
				压力控制精度	0.125
				升温/降温速率	0.125
				稳态温度控制精度	0.125
				动态温度控制精度	0.125
				流量控制精度	0.125
				气液分离度	0.125
电导率控制能力	0.125				
稳定性	0.2			稳定性	1
重复性	0.2			重复性	1

表 A.1 验证评价指标与权重(续)

一级指标 $Q_n$	一级指标权重 $T_n$	二级指标	二级指标权重 $U_y$	三级指标	三级指标权重 $M_x$
安全性指标	0.3	电气安全	0.25	接触电流	0.4
				介电强度	0.3
				保护接地	0.3
		结构安全	0.25	防护措施	0.4
				超负荷保险装置	0.3
				限位装置	0.3
		机械安全	0.25	机械安全	1
		功能安全	0.25	氢气泄漏检测	0.3
				分级报警	0.4
				停机联控	0.3
服务指标	0.1	维修保养服务	0.5	国内维修保养能力	0.5
				响应时间	0.5
		软件维护升级	0.5	常规软件维护、升级	0.5
				定制化软件升级	0.5

附 录 B  
(规范性)  
性能指标评分标准

表 B.1 给出了 PEM 电解槽测试设备的性能指标评分标准。

表 B.1 性能指标评分标准

序号	二级指标	三级指标	评分标准	分值
1	准确性	温度测量精度	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	10
			$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	6
			$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (稳态)以上	3
2		压力测量精度	$\pm 0.3\% \text{ FS}$	10
			$\pm 0.5\% \text{ FS}$	6
			$\pm 0.5\% \text{ FS}$ 以上	3
3		电压巡检测量精度	$\pm 1\text{mV}$	10
			$\pm 2\text{mV}$	6
			$\pm 2\text{mV}$ 以上	3
4		氢中氧浓度测量精度	$\pm 2\% \text{ FS}$	10
	$\pm 5\% \text{ FS}$		6	
	$\pm 5\% \text{ FS}$ 以上		3	
5	氧中氢浓度测量精度	$\pm 1\% \text{ FS}$	10	
		$\pm 2\% \text{ FS}$	6	
		$\pm 2\% \text{ FS}$ 以上	3	
6	氢气/氧气流量测量精度	$\pm 0.5\% \text{ FS}$	10	
		$\pm 1\% \text{ FS}$	6	
		$\pm 1\% \text{ FS}$ 以上	3	
7	液体流量测量精度	$\pm 1\% \text{ FS}$	10	
		$\pm 3\% \text{ FS}$	6	
		$\pm 3\% \text{ FS}$ 以上	3	
8	电导率测量精度	$\pm 2\% \text{ FS}$	10	
		$\pm 5\% \text{ FS}$	6	
		$\pm 5\% \text{ FS}$ 以上	3	
9	时间测量精度	$\pm 0.5\text{ms}$	10	
		$\pm 1\text{ms}$	6	
		$\pm 1\text{ms}$ 以上	3	
10	露点测量精度	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	10	
		$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	6	
		$\pm 1^{\circ}\text{C}$	3	
		$\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以上	0	
11	压力控制范围	覆盖: 常压 $\sim 5\text{MPa}$	10	
		覆盖: 常压 $\sim 3\text{MPa}$	6	
		不能覆盖: 常压 $\sim 3\text{MPa}$	3	
12	压力控制精度	$\pm 0.5\% \text{ FS}$	10	
		$\pm 1\% \text{ FS}$	6	
		$\pm 1\% \text{ FS}$ 以上	3	

表 B.1 性能指标评分标准（续）

序号	二级指标	三级指标	评分标准	分值
13	可控性	升温/降温速率	$\geq 3^{\circ}\text{C}/\text{min}$	10
			$\geq 1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$	6
			$< 1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$	3
14		稳态温度控制精度	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	10
			$\pm 1^{\circ}\text{C}$	6
			$\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以上	3
15		动态温度控制精度	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	10
			$\pm 2^{\circ}\text{C}$	6
			$\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以上	3
16		流量控制精度	$\pm 1\% \text{ FS}$	10
			$\pm 3\% \text{ FS}$	6
			$\pm 5\% \text{ FS}$	3
			$\pm 5\% \text{ FS}$ 以上	0
17		气液分离度	终端气液分离后，气体水含量体积分数 $\leq 0.01\%$	10
			终端气液分离后，气体水含量体积分数 $> 0.01\%$	4
18	电导率控制能力	$\leq 0.1\mu\text{S}/\text{cm}$	10	
		$\leq 0.5\mu\text{S}/\text{cm}$	6	
		$\leq 1\mu\text{S}/\text{cm}$	3	
19	稳定性	设备不停机连续稳定运行1000 h，累计运行时间5000h，其可控性指标均为10分	10	
		设备不停机连续稳定运行500 h，累计运行时间5000h，其有1项及以上可控性指标不为10分	4	
20	重复性	可控性测试结果偏差不超过 5%。	10	
		可控性测试结果偏差超过 5%。	4	

附 录 C  
(规范性)  
关键件清单

表 C.1 给出了 PEM 电解槽测试设备的关键件清单。

表 C.1 关键件清单

序号	分类	名称	备注
1	测量仪器仪表	氢气流量计	电解槽性能测试核心参数，属于核心传感器
2		氧气流量计	
3		水流量计	
4		压力传感器	
5		温度传感器	
6		液位计	
7		露点仪	
8		电导率仪	
9		氢中氧、氧中氢	
10		电压巡检模块	
11	阀件	电磁阀	控制用基础阀件
12		背压阀	
13		安全阀、泄压阀	
14	泵	循环泵	用于气体/液体流量控制，属于重要部件
15	电气控制设备	可编程逻辑控制器（PLC）控制系统	下达试验命令、数据处理及信号通讯，属于核心件
16		通讯模块	

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 29411-2012 水电解氢氧发生器技术要求
  - [2] GB 32311-2015 水电解制氢系统能效限定值及能效等级
  - [3] GB/T 37244-2018 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气
  - [4] GB/T 45541-2025 PEM电解槽性能测试方法
  - [5] RB/T 160-2017 分析化学仪器设备验证与综合评价指南
  - [6] T/CES 175-2022 质子交换膜水电解制氢系统性能试验方法
-