

# 《PEM 电解槽能效评价指标及试验方法》

## 团体标准编制说明

### 一、工作简况

#### 1.1 工作任务来源

贯彻落实《国务院关于印发“十四五”节能减排综合工作方案的通知》和《工业领域碳达峰实施方案》等文件精神，加快推进氢能产业发展，提高 PEM 电解槽能效水平而制定的。

经标准起草组及专家组多次调研论证，根据《团体标准管理规定》有关规定，特立项本系列标准。标准项目计划编号为 T/CASME-XXX-2024。

#### 1.2 主要工作过程

##### 1.2.1 主要参加单位

本标准主要起草单位：北京氢羿能源科技有限公司、广东卡沃罗氢科技有限公司、江苏氢芯动力科技有限公司、江苏国富氢能技术装备股份有限公司、淳华氢能源科技（湖南）有限公司、张家港氢云新能源研究院有限公司、华兴中科标准技术（北京）有限公司等。起草单位主要参与草案的修改，测试方法验证等标准工作。

##### 1.2.2 工作分工

###### 1.2.2.1 第一次工作会议

2024 年 7 月 18 日，线上开启《PEM 电解槽能效评价指标及试验方法》标准第一次启动会议，与会代表首次对标准的工作组讨论稿进行讨论，商定了工作进度，形成如下会议成果：

(1) 会上成立了标准工作小组。

成立《PEM 电解槽能效评价指标及试验方法》标准验证工作组，参与单位 7 家。

(2) 会上针对标准草案及标准立项论证方案提出以下建议：

2.1) 草案分发给工作组单位，由工作组单位逐一检查。

2.2) 会上工作组单位完成试验数据、产品技术要求和参数的确定及修改，并统一征集意见交由标准工作小组确认。

##### 1.2.3 工作进度安排

2023年11月，项目市场调研。  
 2023年12月，项目申报立项。  
 2024年7月，项目公示，召开标准启动会。  
 2024年8月，召开标准编制组内部讨论会。  
 2024年8月，公开征求意见。  
 2024年9月，召开标准审查会。  
 2024年11月，报批，发布。

## 二、标准编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前电磁分配阀的现状，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》的规定及相关要求编制。

## 三、标准的主要技术内容

### 1 评价指标体系

#### 1.1 评价指标分类

1.1.1 PEM 电解槽的性能评价指标包括：制氢能耗、电流密度、气密性、泄漏量、额定氢气产量、氢气纯度与静态试验。

#### 1.2 评价指标体系

表 1 PEM 电解槽能评价指标体系与领跑者行动目标

序号	指标类型	评价指标		指标数值	测试依据
		指标	规模 Nm <sup>3</sup> /h	首期指标	
1	核心指标	制氢能耗 (kWh/Nm <sup>3</sup> @ 12000 A/m <sup>2</sup> )	20≤规模<100	≤4.5 (直流能耗)	附录A
			100≤规模<200	≤4.6	
			规模≥200	≤4.6	
2		电流密度 (A/m <sup>2</sup> @1.8 V)		≥16000	附录B
3	基础指标	气密性	符合 GB/T 37562 要求		附录C
4		泄漏量	小于 0.5%/h		附录D
5		额定氢气产量	符合设计指标要求		附录E、附录F
6		氢气纯度	纯度≥99.9%		附录G
7		静态试验	符合本文件要求		附录H
8		差压试验	符合 GB/T 37562 要求		附录I

注：氢气纯度为PEM电解槽出口处（不含纯化装置）的氢气纯度。

### 1.3 综合评价与等级划分

1.3.1 PEM 电解槽的性能评价，应在满足基础指标的前提下，对核心指标进行综合评分，并根据综合评分结果进行评级。具体评分依据和等级划分分别见表 2 和表 3。

表 2 PEM 电解槽能效性能评价原则

满足条件							
综合评价	核心指标	项目	规模	核心指标水平分级			权重
			规模 Nm <sup>3</sup> /h	先进水平 ≥80 分	平均水平 (70 分-80 分)	基准水平 (60 分-70 分)	
		制氢能耗 (kWh/Nm <sup>3</sup> @ 12000 A/m <sup>2</sup> )	20≤规模<100	≤4.1	(4.1-4.3]	(4.3-4.5]	60%
			100≤规模<200	≤4.2	(4.2-4.4]	(4.4-4.6]	
			≥200	≤4.3	(4.3-4.4]	(4.4-4.6]	
		电流密度 (A/m <sup>2</sup> @1.8 V)	≥200	≥15000	[12000-15000)	[10000-12000)	40%

注1：当核心指标值位于基准水平和平均水平的区间时，所得分数按照指标区间相对应的分数区间的线性关系进行打分。

注2：当制氢能耗优于先进水平时，能耗比先进水平值每降低 0.1 kWh/Nm<sup>3</sup>，分数增加 5 分，分数上限为 100。

注3：当电流密度优于先进水平时，电流密度比先进水平值每增加500 A/m<sup>2</sup>，分数增加 5 分，分数上限为 100 分。

表 3 PEM 电解槽能效性能等级评定

性能等级	综合评分
1	80 (含) 以上
2	70 (含) -80
3	60 (含) -70

## 附录 A

### (规范性)

#### 制氢效率试验方法

##### A.1 范围

该方法适用于质子交换膜电解槽。

##### A.2 试验方法

A.2.1 额定单位能耗保留一位小数。

A.2.2 测试工作在PEM电解槽的额定工况进行，额定工况是指电解槽运行的直流电流密度为 12000A/m<sup>2</sup>±500 A/m<sup>2</sup>，工作温度 70℃±5℃，工作压力为0.1MPa~5.0MPa。

A.2.3 能耗测试用的原料水的技术指标应符合 GB/T 19774 的相关要求。

A.2.4 试验用仪表等级要求，直流电流表和电流电压表不低于0.5级，其他仪表不低于1级，所用仪表应符合相应的技术标准及规程。

A. 2.5 单位直流能耗测试次数不宜少于6次，间隔10min，取平均值。每次测试时待状态稳定10min 后读取数值。

A. 2.6 根据测得的直流电流值，电解槽的小室数，按照 GB 32311计算出的氢气产能。

A. 2.7 根据测得的直流电压值，电解槽的小室数，按照 GB 32311计算出电解槽在测试条件下工作压力下的平均小室电压及单位直流能耗  $W_d$ 。

A. 2.8 标定单位能耗中直流能耗( $W_{ds}$ )按照 3.2 MPa 氢气堆出口压力进行核算，当出口压力低于3.2MPa 时，氢气压力提升至3.2MPa 所需耗电量按照如下公式进行计算：

$$W_{ds} = W_d + E \quad (\text{A. 1})$$

$$E = \frac{nRT(\ln p_2 - \ln p_1)}{3.6 \times 10^6 \times \eta} \quad (\text{A. 2})$$

式中：

$E$ ——压缩过程所耗电量，单位为千瓦时；

$n$ ——1 kg 氢气的摩尔数，值为500 mol；

$p_1$ ——压缩前的压力，单位为Pa；

$p_2$ ——压缩后的压力，值为 $3.2 \times 10^6$  Pa；

$R$ ——气体常数，为 $8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ；

$T$ ——气体温度，值为 293.15 K；

$\eta$ ——压缩机效率，值为 85%。

## 附录 B

(规范性)

### 电流密度测试方法

#### B.1 范围

该方法适用于质子交换膜电解槽。

#### B.2 试验方法

B.2.1 最大电流密度保持整数。

B.2.2 测试工作在PEM电解槽温度为工作温度 $70^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，工作压力为 $0.1 \text{ MPa} \sim 5 \text{ MPa}$ 。

B.2.3 能耗测试用的原料水的技术指标应符合GB/T 19774的相关要求。

B.2.4 根据电解槽小室数，按平均小室电压 $1.8 \text{ V}$ 计算电解槽总电压，并设置电压值。

B.2.5 根据电解槽工作电流，按照 $5\%/s$ 的速度进行电流调节，同时观察电压值的变化。

B.2.6 当电压值达到设定电压值时，停止调节电流，并记录电流值。

B.2.7 在满足测试工作条件下，电解槽稳定运行 $30 \text{ min}$  以上，如果电压值超过设定电压值，应及时调整电流、记录电流值，重新稳定运行 $30 \text{ min}$ 以上。

B.2.8 根据有效电解面积和记录的电流值，计算出电流密度。

**附录 C**  
(规范性)  
气密性试验方法

**C.1 范围**

该方法适用于质子交换膜电解槽。

**C.2 试验方法**

**C.2.1 气密性试验**，对压力型电解槽以干燥、洁净空气或氮气进行气密性试验。气密性试验压力为设计压力，试验开始后逐渐升压，达到设计压力后，保持30min，检查所有连接处，焊接、法兰、垫片，以无漏气为合格。

对常压型电解槽的气密性试验压力为0.2MPa或注满水静置试验。

**附录 D**  
(规范性)  
泄漏量试验方法

**D.1 范围**

该方法适用于质子交换膜电解槽。

**D.2 试验方法**

**D.2.1 泄漏量试验**。电解槽在气密性试验合格后，以干燥、洁净空气或氮气进行泄漏量试验。试验压力为设计压力；试验时间为24h。泄漏量试验过程中认真记录电解槽内气体的温度、压力。以平均每小时泄漏率不超过0.5%/h为合格。平均每小时泄漏率A按式 (D.1) 计算。

$$A = \frac{100}{t} \left( 1 - \frac{p_2 t_1}{p_1 t_2} \right) \quad (\text{D.1})$$

式中：

$A$ ——平均每小时泄漏率，%/h；

$T$ ——试验时间，h；

$p_1, p_2$ ——试验开始、结束时的绝对压力，MPa；

$T_1, T_2$ ——试验开始结束时的气体绝对温度，K。

**附录 E**  
(规范性)  
电流测试值计算氢气产量

**E.1 范围**

该方法适用于质子交换膜电解槽。

## E.2 计算方法

E.2.1 依据电解定律—任何物质在电解过程中，数量上的变化服从法拉第定律。

### E.2.2 水电解制氢时的法拉第定律

在标准状况下，用 $2 \times 96500$ C电量，可电解1mol水制氢1mol氢和1/2mol氧。1mol氢气在标准状况下的体积为 $22.43 \times 10^{-3} \text{m}^3$ ；

故在标准状况下，制取 $1 \text{m}^3$ 氢所需理论电量为式(E.1)：

$$\frac{2 \times 96500 \times 1000}{3600 \times 22.43} = 2390 \frac{\text{h}}{\text{m}^3} \quad (\text{E.1})$$

### E.2.3 电流测试值计算气体产量

电流测试值计算气体产量按式(E.2)进行。

$$Q = \frac{In\eta}{2390} \quad (\text{E.2})$$

式中：

$Q$ ——氢气产量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$I$ ——通过电解小室的直流工作电流，A；

$n$ ——电解室数，个；

$\eta$ ——电流效率，单位(%)表示，可设定为100%。

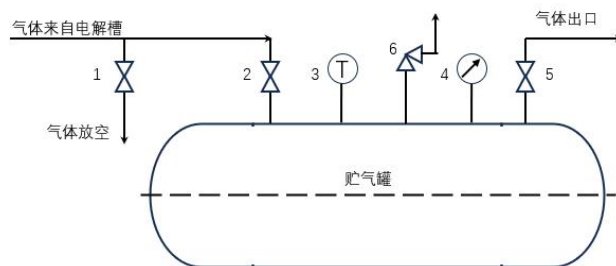
## 附录 F (规范性) 容积法测试氢气产量

### F.1 范围

该方法适用于质子交换膜电解槽。

### F.2 计算方法

F.2.1 容积法测试系统流程如图所示F.1所示。



1——阀-1；2——阀-2；3——温度计；4——压力表；5——阀-3；6——安全阀。

图F.1 容积法测试系统示意图

### F.2.2 测试方法

测试前应对贮气罐的结构容积进行实测。

开阀-1，关闭阀-2、阀-3，准确记录贮气罐内气体的起始压力和温度。  
 开阀-2，关闭阀-1、阀-3，记录起始时间。  
 经一定时间充灌气体后，关闭阀-2，开阀-1，记录终止时间、贮气罐内压力和温度。  
 气体产量 $Q$  (Nm<sup>3</sup>/h)按式 (F.1) 计算。

$$Q = \frac{T_0 V}{t p_0} \left( \frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) \quad (\text{F.1})$$

式中：

- $Q$ ——标准状况下氢气产量，单位为立方米每小时 (Nm<sup>3</sup>/h)；
- $p_0$ ——标准状况下气体压力 (0.101325)，单位为兆帕 (MPa)；
- $p_1$ ——起始时贮气罐内气体绝对压力，单位为兆帕 (MPa)；
- $p_2$ ——终止时贮气罐内气体绝对压力，单位为兆帕 (MPa)；
- $T_0$ ——标准状况下气体温度，单位为开尔文 (K)；
- $T_1$ ——起始时贮气罐内气体温度，单位为开尔文 (K)；
- $T_2$ ——终止时贮气罐内气体温度，单位为开尔文 (K)；
- $V$ ——贮气罐结构容积，单位为立方米 (m<sup>3</sup>)；
- $t$ ——测试时间，单位为小时 (h)。

## 附 录 G

### (规范性)

### 氢气纯度测试方法

#### G.1 范围

该方法适用于质子交换膜电解槽。

#### G.2 测试仪器

分析氢气中氧含量，按照 GB/T 3634 中对氧气含量采用同手工分析或气相色谱仪对比过的仪表进行分析。分析仪的量程 0~1%O<sub>2</sub>，刻度值小于 0.01%。

##### G.2.1 氢中氧含量测试

将氢气送入分析仪进口接头，分析仪显示出体积氧含量值。

##### G.2.1.1 氢气纯度计算如下 (仅对氧含量规定)：

$$C_{H_2} = (1 - C_{X_0}) \times 100 \quad (\text{F.1})$$

式中：

- $C_{H_2}$ ——氢气纯度，用 (%) 表示；
- $C_{X_0}$ ——仪表显示氧含量值。

## 附 录 H

### (规范性)

### 静态试验测试方法

## H.1 范围

该方法适用于质子交换膜电解槽。

## H.2 测试方法

H.2.1 电解槽在额定工作温度和工作压力下运行，将实际工作电流分别调整至额定工作电流的 20%，30%，40%，60%，80%，100%，120%。

H.2.2 根据测得的直流电压值，电解槽的小室数，按照 GB 32311 计算出电解槽在每个电流下的平均小室电压及直流能耗。

H.2.3 以电流密度为横坐标，平均小室电压和直流能耗为纵坐标，绘制电流密度—平均小室电压—直流能耗标准曲线。

## H.2.4

# 附录 I (规范性) 差压试验测试方法

## I.1 范围

该方法适用于差压式质子交换膜电解槽。

## I.2 测试方法

I.2.1 对于差压式电解槽的电解小室应在设计工况下进行差压试验，试验使用纯水作为介质。压力应单独施加在正极或负极小室上，试验压力应为1.3倍最大操作压力差，整个试验过程（包括升压、保压和泄压）中的任一时刻，氢氧侧压力差不超过允许压差，产品随机文件中应注明这一要求和允许压差值。

I.2.2 试验电解槽内的气体应当排净并充满液体，试验过程中，应保持容器观察表面的干燥。

I.2.3 当试验电解槽器壁金属温度与液体温度接近时，方可缓慢升压至设计压力，确认无泄漏后继续升压至规定试验压力，保压时间一般不小于30min；然后降至设计压力，保压足够时间进行检查，检查期间压力应保持不变。

I.2.4 试验过程中，电解槽无渗漏，无可见的变形和异常声响即为试验合格。

I.2.5 水电解制氢系统在泄漏试验合格后应缓慢泄压。

## 四、与国际、国外同类标准水平的对比情况

经查，暂无相同类型的国际标准与国外标准，故没有相应的国际标准、国外标准可采用。本标准达到国内先进水平。

## 五、与国内相关标准的关系

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律法规和强制性国家标准的规定。

## 六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 七、其他

本标准不涉及专利。由于本标准首次制定，没有特殊要求。

团体标准起草组

2024年08月