

ICS 27.180

CCS F 19

T/CAB

中国产学研合作促进会团体标准

T/CAB 0166—2022

碱性水电解制氢系统“领跑者行动”
性能评价导则

Hydrogen Top Runner Program Evaluation Guidelines of
Alkaline Water Electrolysis System for Hydrogen Production

2022-09-21 发布

2022-09-21 实施

中国产学研合作促进会 发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构。除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 评价指标体系.....	2
附录 A（规范性） 制氢效率试验方法	5
附录 B（规范性） 电流密度测试方法.....	7
附录 C（规范性） 气密性试验方法.....	8
附录 D（规范性） 泄漏量试验方法	9
附录 E（规范性） 氢气产量计算方法.....	10
附录 F（规范性） 氢气纯度测试方法.....	11
附录 G（规范性） 静态试验测试方法	12

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。

本文件是通过中国氢能源与燃料电池产业创新战略联盟（以下简称“中国氢能联盟”）发起的氢能领跑者行动，基于 GB 32311《水电解制氢系统能效限定值及能效等级》、GB/T 19774-2005《水电解制氢系统技术要求》、GB/T 29729-2013《氢系统安全的基本要求》、GB/T 37562-2019《压力型水电解制氢系统技术条件》与 GB/T 37563-2019《压力型水电解制氢系统安全要求》等，提出碱性水电解制氢系统性能统一评价体系与测试方法。引导我国水电解制氢系统关键核心技术迭代升级，从而进一步推动整个氢能产业可持续高质量发展，提升国际技术竞争力。

本文件由中国氢能源与燃料电池产业创新战略联盟提出。

本文件由中国产学研合作促进会归口。

本文件起草单位：北京国氢中联氢能科技研究院有限公司、国家能源集团氢能科技有限责任公司、中国船舶重工集团公司第七一八研究所、考克利尔竞立(苏州)氢能科技有限公司、天津市大陆制氢设备有限公司、常熟高新技术产业开发区管委会、阳光氢能科技有限公司、必维质量技术服务（上海）有限公司、隆基氢能科技有限公司、同济大学、清华大学、中国科学院大连化学物理研究所、华北电力大学、海德氢能源科技(江苏)有限公司。

本标准主要起草人：刘玮、万燕鸣、薛贺来、熊亚林、刘聪敏、陶志杰、马军、许卫、肖晨江、王雪颖、俞红梅、刘建国、刘忠勇、杨福源、周星、王莹莹、郭小强、沈小军、王英歌、孔令国、王鹏、卢常佳。

碱性水电解制氢系统“领跑者行动”性能评价导则

1 范围

本文件规定了碱性水电解制氢系统的评价指标体系、综合评价方法与等级划分、评价模式、评测流程和测试方法。

本文件适用于碱性水电解制氢系统的“领跑者行动”性能评价。本标准将根据氢能产业技术发展情况适时进行修订。

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 19774-2005 水电解制氢系统技术要求
- GB/T 24499-2009 氢气、氢能与氢能系统术语
- GB/T 29729-2013 氢系统安全的基本要求
- GB 32311-2015 水电解制氢系统能效限定值及能效等级
- GB/T 37562-2019 压力型水电解制氢系统技术条件
- GB/T 37563-2019 压力型水电解制氢系统安全要求

3 术语和定义

GB 32311-2015、GB/T 19774-2005、GB/T 37562-2019、GB/T 37563-2019 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

静态标定工况 rated operating status

静态标定工况是指水电解槽运行的直流电流密度为 $2500 \text{ A/m}^2 \pm 100 \text{ A/m}^2$ ，制氢系统的温度为工作温度 $90^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，工作压力为 $0.1 \text{ MPa} \sim 5.0 \text{ MPa}$ 。

3.2

额定氢气产量 rated hydrogen production

碱性水电解制氢系统在产品标称的工作状态下的氢气产量，单位为 Nm^3/h 。

3.3

制氢系统标定单位能耗 rated energy consumption of hydrogen producing system by water electrolysis

制氢系统在静态标定工况下，生产标准状况下 1 m^3 氢气所消耗的电量。

注 1：本文件中氢、氧气体积为标准状态，即 0°C ， 101.325 kPa （绝压）状态下的气体体积，单位为 m^3 。

注 2：本文件中制氢系统能耗指水电解直流电耗及制氢系统内碱液循环泵、补水泵及控制用交流能耗。

注 3：直流能耗按照 3.2 MPa 氢气堆出口压力进行核算，当出口压力为其他工况时需按附录 A 方法进行换算。

3.4

标定电流密度 rated peak current density

标定电流密度是指制氢系统在稳压状态下（电压值为 2.0 V ），工作温度为 $90 \pm 2^\circ\text{C}$ ，压力为额定工作压力，平稳运行 30 min 以上可以达到的电流密度。

3.5

有效电解面积 effective electrolytic area

有效电解面积是指水电解制氢系统在运行过程中可以参与电解水反应的电极面积。

4 评价指标体系

4.1 评价指标分类

4.1.1 碱性水电解制氢系统“领跑者行动”的评价指标分为：核心指标和基础指标。

4.1.2 核心指标包括：制氢能耗、电流密度。

4.1.3 基础指标：气密性、泄漏量、额定氢气产量、氢气纯度与静态试验。

4.2 评价指标体系与领跑者行动目标

表1 碱性水电解制氢系统评价指标体系与领跑者行动目标

序号	指标类型	评价指标		领跑者行动目标	测试依据
		指标	规模 Nm^3/h	首期指标	
1	核心指标	制氢能耗 ($\text{kWh}/\text{m}^3@$ $2500 \text{ A}/\text{m}^2$)	$200 \leq$ 规模	≤ 4.3	附录 A
			< 500	(直流能耗)	
			$500 \leq$ 规模	≤ 4.6	
			规模 ≥ 1000	≤ 4.5	

2		电流密度 (A/m ² @2.0 V)		≥3000	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 0.1%/h		附录 D
5		额定氢气产量	符合系统设计指标要求		附录 E
6		氢气纯度	纯度≥99.8%		附录 F
7		静态试验	符合本文件要求		附录 G

注 1: 小于 200 Nm³/h 的碱性水电解制氢系统在氢能领域, 尤其是可再生能源与氢能融合领域几乎没有应用场景, 且其设备规模大小对制氢效率的影响大, 难以反映技术水平, 因此本评价规则体系没有纳入小于 200 Nm³/h 的碱性水电解制氢系统。

注 2: 200 Nm³/h ≤ 规模 < 500 Nm³/h 的碱性水电解制氢系统, 设备规模大小系统制氢效率的影响大, 难以反映系统技术水平, 但可以反映电解槽的技术水平, 因此 200 Nm³/h ≤ 规模 < 500 Nm³/h 的制氢效率评价选取直流能耗。对于 500 Nm³/h 及以上的设备的制氢效率评价选取交流能耗。

注 3: 氢气纯度为碱性水电解系统 (不含纯化装置) 堆出口氢气。

4.3 综合评价与等级划分

4.3.1 碱性水电解制氢系统“领跑者行动”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 碱性水电解制氢系统性能评价原则

满足条件						
综合评价	核心指标	规模 Nm ³ /h	核心指标水平分级			权重
			先进水平 ≥80 分	平均水平 [70 分-80 分)	基准水平 [60 分-70 分)	
综合评价	制氢能耗 (kWh/m ³ @ 2500 A/m ²)	200 ≤ 规模 < 500	≤ 4.3	(4.3-4.4]	(4.4-4.5]	60%
		500 ≤ 规模 < 1000	≤ 4.5	(4.5-4.6]	(4.6-4.7]	
		≥ 1000	≤ 4.3	(4.3-4.5]	(4.5-4.6]	
	电流密度 (A/m ² @2.0 V)	≥ 200	≥ 4000	[3000-4000)	[2500-3000)	40%

注: 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。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/m^3 ，分数增加 5 分，分数上限为 100 分。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^2 ，分数增加 5 分，分数上限为 100 分。

表3 碱性水电解制氢系统性能等级评定

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

该方法适用于碱性水电解制氢系统。

A.2 试验方法

A.2.1 制氢系统额定单位能耗保留一位小数。

A.2.2 测试工作在制氢系统的额定工况进行，额定工况是指水电解槽运行的直流电流密度为 $2500 \text{ A/m}^2 \pm 100 \text{ A/m}^2$ ，制氢系统的温度为工作温度 $90^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，工作压力为 $0.1 \text{ MPa} \sim 5.0 \text{ MPa}$ 。

A.2.3 能耗测试用的原料水及碱液的技术指标应符合 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 10 min，取平均值。每次测试时待状态稳定 10 min 后读取数值。

A.2.6 单位交流能耗采用交流功率表（累计式），接入相应的回路中，测试时间为 1 h。

A.2.7 根据测得的直流电流值，电解槽的小室数，按照 GB 32311-2015 计算出制氢系统的氢气产量

A.2.8 根据测得的直流电压值，电解槽的小室数，按照 GB 32311-2015 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.2.9 制氢系统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 3.2 MPa 时，氢气压力提升至 3.2 MPa 所需耗电量按照如下公式进行计算：

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

$$E = \frac{nRT \times (\ln P_2 - \ln P_1)}{3.6 \times 10^6 \times \eta} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

其中：

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；

P1——压缩前的压力，单位为 Pa；

P2——压缩后的压力，值为 $3.2 \times 10^6 \text{ Pa}$ ；

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

T ——气体温度，值为 293.15 K；

η ——压缩机效率，值为 85%。

A. 2. 10 根据测得的碱液泵、补水泵及控制用电功率，按照 GB 32311-2015 计算出制氢系统的交流单位能耗 W_a 。

A. 2. 11 制氢系统标定单位能耗 ($\text{kWh}/\text{Nm}^3@2500 \text{ A}/\text{m}^2$) 等于 $W=W_{ds}+W_a$ 。

附 录 B
(规范性)
电流密度测试方法

B.1 范围

该方法适用于碱性水电解制氢系统。

B.2 试验方法

- B.2.1 制氢系统最大电流密度保持整数。
- B.2.2 测试工作在制氢系统的温度为工作温度 $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，工作压力为 0.1 MPa~5 MPa。
- B.2.3 能耗测试用的原料水及碱液的技术指标应符合 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 2.0 V 计算电解槽总电压，并设置电压值。
- B.2.5 根据制氢系统工作电流，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 系统在满足测试工作条件下，稳定运行 30 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

该方法适用于水电解制氢系统。

C.2 试验方法

C.2.1 气密性试验，对压力型水电解制氢系统以干燥、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，达到规定压力后，保持 30 min，检查所有连接处，焊接、法兰、垫片，以无漏气为合格。

对常压型水电解制氢系统的气密性试验压力为 0.05 MPa 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

该方法适用于水电解制氢系统。

D.2 试验方法

D.2.1 泄漏量试验。水电解制氢系统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。试验压力为系统设计压力；试验时间为 24 h。泄漏量试验过程中认真记录系统内气体的温度、压力。以平均每小时泄漏率不超过 0.1%/h 为合格。平均每小时泄漏率 A 按式 (D.1) 计算。

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

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)
氢气产量计算方法

E.1 范围

该方法适用于水电解制氢系统。

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 2×96500 C 电量，可电解 1 mol 水制氢 1 mol 氢和 1/2 mol 氧。

1 mol 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 m^3 氢所需理论电量为式 (E.1)：

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

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。

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

式中：

Q——氢气产量， m^3/h ；

I——通过电解小室的直流工作电流，A；

N——电解室数，个；

η ——电流效率，单位 (%) 表示，可设定为 100%。

附录 F
(规范性)
氢气纯度测试方法

F.1 范围

该方法适用于水电解制氢系统。

F.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象色谱仪对比过的仪表进行分析。分析仪的量程 0~1%O₂，刻度值小于 0.01%。

F.2.1 氢中氧含量测试

将氢气送入分析仪进口接头，分析仪就直接显示出体积氧含量值。

F.2.1.1 氢气纯度计算如下（仅对氧含量规定）；

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

式中：

C_{H_2} ——氢气纯度，用（%）表示；

C_{XO} ——仪表显示氧含量值。

附录 G
(规范性)
静态试验测试方法

G.1 范围

该方法适用于水电解制氢系统。

G.2 测试方法

G.2.1 制氢系统在额定工作温度和工作压力下运行，将系统实际工作电流分别调整至额定工作电流的 20%，30%，40%，60%，80%，100%，110%。

G.2.2 根据测得的直流电压值，电解槽的小室数，按照 GB 32311-2015 计算出电解槽在每个电流下的平均小室电压及直流能耗。

G.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。