

ICS 27.180

F 19

备案号: XXXXX-2019

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T XXXX—202X

碱性水电解制氢系统性能测试规范

Test Specification for Alkaline Water Electrolysis Hydrogen Production
System

(征求意见稿)

202X-X-XX 发布

202X-X-XX 实施

国家能源局 发布

目 次

前 言 II

碱性水电解制氢系统性能测试规范 1

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 5

5 测试总则 6

6 测试条件 6

7 测量仪器 7

8 测试准备 8

9 测试项目及方法 9

10 测试报告 19

附录 A 21

前 言

本标准依据 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这些专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

碱性水电解制氢系统性能测试规范

1 范围

本文件规定了碱性水电解制氢系统的测试总则、测试条件、测量仪器、测试准备、测试项目及方法、测试报告等。

本文件适用于额定产氢量 200 Nm³/h 及以上、应用于可再生能源制氢场景的碱性水电解制氢系统，其他产氢量和应用场景的碱性水电解制氢系统可参照执行。

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 3634.2 氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢

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/T 3863 工业氧

GB/T 6285 气体中微量氧的测定 电化学法

GB 12358 作业场所环境气体检测报警仪 通用技术要求

GB 16808 可燃气体报警控制器

GB/T 19774 水电解制氢系统技术要求

GB/T 24499 氢气、氢能与氢能系统术语

GB/T 29729 氢系统安全的基本要求

GB 32311 水电解制氢系统能效限定值及能效等级

GB/T 37562 压力型水电解制氢系统技术条件

GB/T 37563 压力型水电解制氢系统安全要求

GB 50177 氢气站设计规范

GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

端板 End plate

位于电解槽电流流动方向的两端，用于给叠在一起的电解槽组件传送所需压紧力的部件。

3.2

极板 Polar plate

电解槽中隔离电解小室、引导流体流动、传导电子的导电板。

3.3

电极 Electrode assembly

电解槽中由催化材料组合而成的具有电化学反应功能的组件。

3.4

电解槽体积 Volume of electrolyzer

电解槽所有极板占有的最大空间，不包含端板等附件，单位为 m^3 。

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单个小室可以参与电解水反应的电极面积，单位为 m^2 。

注：一般认为同一个电解槽的每个电解小室的有效电解面积相同。

3.6

电流密度 Current density

单位有效电解面积上通过的电流，单位为 A/m^2 。

3.7

小室电压极差 Cell voltage range

小室电压的最大值和最小值之间的差距，单位为 mV 。

3.8

小室电压标准差 Cell voltage standard deviation

反映各个小室电压与平均小室电压之间偏离程度的量，单位为 mV 。

3.9

热中性电压 Thermoneutral voltage

电解小室实现电化学反应可持续热平衡操作（不产生废热，不对外吸收热）的最小电压，单位为 V 。

3.10

最大工作电压 Maximum operating voltage

电解槽允许工作的最大电压，由制造商指定，单位为 V 。

3.11

额定工况 Rated operating status

碱性水电解制氢系统产品备案标志牌或铭牌标称的运行工况。

注：标志牌或铭牌主要技术参数应至少包括氢气产量（Nm³/h）、额定电流（A）、工作压力（MPa）、工作温度（℃）。

3.12

额定氢气产量 Rated hydrogen production

碱性水电解制氢系统产品备案标志牌或铭牌标称的氢气产量，单位为 Nm³/h。

注：本规范中氢、氧气体积为标准状态，即 0℃，101.325 kPa（绝压）状态下的气体体积，单位为 Nm³。

3.13

电解槽单位体积产氢量 Hydrogen production per unit volume of electrolyzer

单位产氢量所对应的电解槽体积，单位为 $\text{Nm}^3\text{H}_2/(\text{m}^3\cdot\text{h})$ 。

3.14

直流电耗 DC power consumption

在额定工况运行条件下，生产标准状态下 1 Nm³ 氢气所消耗的直流电量，单位为 kWh/Nm³。

注：本定义仅针对电解过程直接消耗的直流电能，不包含辅助设备能耗。

3.15

制氢系统单位能耗 Rated energy consumption of hydrogen producing system by water electrolysis

在额定工况运行条件下，生产标准状态下 1 Nm³ 氢气所消耗的电量，单位为 kWh/Nm³。

注：本标准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及控制等辅助设备用交流电耗，辅助设备包含的范围由制造商指定。

3.16

电流效率 Current efficiency

在额定工况条件下，制取 1 Nm³ 氢气所需理论电量与氢气产量的乘积与电解槽输入电流之比，用百分数表示。

3.17

电解槽能效 Stack energy efficiency

在额定工况条件下，电解小室的热中性电压与平均小室电压之比，用百分数表示。

3.18

电解槽总效率 Stack total efficiency

电解槽能效与电流效率的乘积，用百分数表示。

3.19

制氢系统总效率 Overall efficiency of hydrogen producing system by water electrolysis

在额定工况条件下，氢气高热值与制氢系统单位能耗之比，用百分数表示。

3.20

活化 Activation

在供应商提供的设定条件下运行电解槽使其达到设计性能或最优性能的过程。

3.21

极化曲线 Polarization curve

电解槽阴、阳极电势或两者的电势差随电流或电流密度变化的曲线。

3.22

衰减速率 Decay rate

单位时间内电解槽平均小室电压的上升值，单位为 $\mu\text{V/h}$ 。

3.23

冷态 Cold state

碱性水电解制氢系统在环境温度下，既没有功率输入也没有输出的非运行状态。

3.24

待机状态 Standby state

碱性水电解制氢系统存在功率输入、没有输出、但允许快速启动的运行状态。

3.25

标称功率 Nominal power

碱性水电解制氢系统中电解槽的额定功率，由制造商指定，单位为 MW。

3.26

功率安全可调范围 Power safety adjustable range

碱性水电解制氢系统中电解槽可安全稳定运行的最小功率和最大功率与标称功率之比的范围（以百分数区间形式表示，标称功率为 100 %）。

3.27

最小-最大功率响应时间 Minimum-maximum power response time

碱性水电解制氢系统从最小功率切换至最大功率需要的时间，单位为 s。

3.28

最大-最小功率响应时间 Maximum-minimum power response time

碱性水电解制氢系统从最大功率切换至最小功率所需要的时间，单位为 s。

3.29

标称-最大功率响应时间 Nominal-maximum power response time

碱性水电解制氢系统从标称功率切换至最大功率所需要的时间，单位为 s。

3.30

标称功率-待机状态响应时间 Nominal power-standby response time

碱性水电解制氢系统从标称功率切换至待机状态所需要的时间，单位为 s。

3.31

冷启动时间 Cold start-up time

碱性水电解制氢系统从冷态启动到标称功率所需要的时间，单位为 min。

3.32

热启动时间 Hot standby start-up time

碱性水电解制氢系统从待机状态到标称功率所需要的时间，单位为 min。

4 符号

本标准中所用的符号及其含义列于表1，包括相应的单位。

表 1 符号

符号	定义	单位
V	电解槽体积	m ³
R ₁	极板半径（圆形槽）	m
L	不含端板的电解槽长度	m
R ₂	有效电解半径	m
W	电解槽宽度（方形槽）	m
H	电解槽高度（方形槽）	m
L ₀	电极接触碱液的最大长度（方形槽）	m
W ₀	电极接触碱液的最大宽度（方形槽）	m
A	有效电解面积	m ²
ΔU	小室电压极差	mV
S	小室电压标准差	mV
U _{max}	小室电压最大值	V
U _{min}	小室电压最小值	V
U _{in}	电解槽输入端总电压	V
U _i	第i个电解小室的小室电压	V
n	电解小室数	/
Q _p	氢气产量	Nm ³ /h
Q ₀	测试开始时刻的氢气累积流量（流量计法）	Nm ³
Q _t	测试结束时刻的氢气累积流量（流量计法）	Nm ³
t	氢气产量测试时间	h
W _{dw}	单位产氢量原料水消耗量	L/Nm ³
Q _{dw}	额定工况原料水消耗量	L/h

W_d	电解槽直流电耗	kWh/Nm^3
I_{in}	额定工况电解槽输入端总电流	A
W_a	碱液循环泵等辅助设备交流单位能耗	kWh/Nm^3
P_a	碱液循环泵等辅助设备用电功率	kW
W	制氢系统单位能耗	kWh/Nm^3
η_c	电流效率	%
η_v	电解槽能效	%
U_{tn}	热中性电压	V
U_{avg}	小室电压平均值	V
η_e	电解槽总效率	%
η_{HHV}	制氢系统总效率	%
HHV	氢气高热值	$\text{kWh/Nm}^3 \text{H}_2$
P_{min}	最小功率	MW
P_{max}	最大功率	MW
$\tau_{min \rightarrow max}$	最小功率到最大功率的响应时间	s
$\tau_{max \rightarrow min}$	最大功率到最小功率的响应时间	s
P_{nom}	标称功率	MW
$\tau_{nom \rightarrow max}$	标称功率到最大功率的响应时间	s
$\tau_{max \rightarrow nom}$	最大功率到标称功率的响应时间	s
$P_{standby}$	待机功率	kW
$\tau_{nom \rightarrow standby}$	标称功率到待机的响应时间	s

5 测试总则

碱性制氢系统的安全测试包括：电气接地测试、气密性测试和泄漏量测试；性能测试包括：电解槽一致性测试、氢气产量测试、原料水消耗量测试、制氢能耗测试、极化曲线测试、耐久性测试等；此外，可再生能源具有间歇性和波动性特点，可再生能源制氢场景下的碱性水电解制氢系统必须具备合适的运行调节范围和动态性，相关动态性测试包括：功率调节范围测试、变载工况响应时间测试、冷启动测试和热启动测试。

典型碱性水电解制氢系统范围见附录A，由包括电解槽、直流电源、气液处理系统在内的各部件组成，系统中部件的定义按GB/T 24499、GB/T 37562或相关引用标准的要求。

6 测试条件

6.1 环境条件

6.1.1 碱性水电解制氢系统测试环境应清洁、通风良好，测试环境温度宜为5℃~45℃；相对湿度不高于75%；测试环境气压为75 kPa~106 kPa。

6.1.2 碱性水电解制氢系统所处的场所属于有爆炸危害环境，其爆炸危险区域等级范围划分、电气设施选型、线路接地等，应符合GB 50177、GB 50058的要求。

6.2 测试条件

6.2.1 碱性水电解制氢系统的碱液、原料水品质应符合GB/T 19774、GB/T 37562的规定。

6.2.2 碱性水电解制氢系统的循环冷却水品质应符合GB/T 37562的规定。

6.2.3 氢气放空管道应设阻火器，阻火器的设置应符合GB 50177的相关规定。

7 测量仪器

7.1 测试所用检测器、仪表需符合表2中的精度要求，并符合相应的技术标准及规程。

7.2 从测试开始至测试完成时止，所用检测器、仪表等的校准报告或检定报告均在有效期内。

表2 碱性水电解制氢系统测试仪器仪表精度要求

序号	仪器仪表名称	检测精度	参考标准	备注
1	直流电流表	不低于0.5级	GB 32311	
2	直流电压表	不低于0.5级	GB 32311	
3	电流传感器	不低于0.5 %F.S.	本文件	
4	电压传感器	不低于0.02 %RDG+0.25 V	本文件	
5	功率因数表	不低于0.5级	本文件	
6	交流功率表	不低于0.5级	本文件	
7	其他电气仪表	不低于1级	GB 32311	
8	氧中氢分析仪	$\leq \pm 2\%$ F.S.	本文件	
9	氢中氧分析仪	$\leq \pm 2\%$ F.S.	本文件	
10	氢气质量流量计	$\leq \pm 1\%$ F.S.	本文件	选配
11	压差变送器	$\leq \pm 0.5\%$ F.S.	本文件	
12	温度变送器	$\leq \pm 0.5\%$ °C	本文件	

13	压力表	不低于 1.0 级	本文件	
14	卷尺	I 级精度	本文件	
15	温度计	不低于±1 °C	本文件	
16	湿度计	不低于±5 %RH	本文件	
17	绝压测量仪	不低于±0.3 hPa	本文件	

8 测试准备

8.1 系统检查与氮气吹扫

- 8.1.1 测试前，应检查碱性水电解制氢系统中所有设备的合格证、技术文件（包括全部试验记录）、压力容器和压力管道等特种设备产品安全质量监督检验证书和使用登记证等。在文件资料齐全，并逐一进行核对无误后，才能进行测试。
- 8.1.2 检查整套水电解制氢系统的外观和相关尺寸、各类液体、气体管路和电气线路连接的准确性等。
- 8.1.3 检查整套系统的原料水、碱液、电源和自控系统等均符合制造商的要求，达到系统开机条件。
- 8.1.4 分析测量原料水的离子电导率，碱液的质量分数等均符合制造商的要求，达到系统开机条件。
- 8.1.5 检查各生产辅助系统，如仪表气、冷却水供应等均达到系统开机条件。
- 8.1.6 对水电解制氢系统进行氮气吹扫置换，吹扫置换后系统中含氧量应小于0.5 %。
- 8.1.7 按照仪表阀门位号巡检表，检查所有位置的仪表、阀门等，达到系统开机条件。

8.2 电解槽几何尺寸测量

测量碱性水电解制氢系统电解槽的有效电解面积及电解槽体积，根据电解槽构型，测量步骤如下：
当电解槽构型为圆柱体时采用下述方法：

- 利用卷尺测定电解槽长度 L （不含端板）、极板半径 R_1 ，并与电解槽设计图纸核对；
- 利用卷尺测定有效电解半径 R_2 （电极能接触碱液的最大几何半径），并与电解槽设计图纸核对；
- 根据下式（8-1）计算电解槽体积；
- 根据下式（8-2）计算电解槽有效电解面积，计算结果保留两位小数。

$$V = \pi \cdot R_1^2 \cdot L \cdots \cdots (8-1)$$

式中：

- V ：电解槽体积，单位为 m^3 ，保留两位有效小数；
- R_1 ：极板半径，单位为 m ，保留两位有效小数；
- L ：不含端板的电解槽长度，单位为 m ，保留两位有效小数。

$$A = \pi \cdot R_2^2 \cdots \cdots \cdots (8-2)$$

式中：

R₂：有效电解半径，单位为 m，保留两位有效小数。

A：电解槽有效电解面积，单位为 m²，保留两位有效小数。

当电解槽构型为长方体型时，几何尺寸测量参照下述方法：

- a) 利用卷尺测定电解槽长度 L、宽度 W、高度 H，并与电解槽设计图纸核对；
- b) 根据下式（8-3）计算电解槽体积；
- c) 利用卷尺测定电极接触碱液的最大长度 L₀与宽度 W₀，根据下式（8-4）计算电解槽有效电解面积。

$$V = L \cdot W \cdot H \cdots \cdots \cdots (8-3)$$

式中：

V：电解槽计算体积，单位为 m³，保留两位有效小数；

L：不含端板的电解槽长度，单位为 m，保留两位有效小数；

W：电解槽宽度，单位为 m，保留两位有效小数；

H：电解槽高度，单位为 m，保留两位有效小数。

$$A = L_0 \cdot W_0 \cdots \cdots \cdots (8-4)$$

式中：

A：电解槽有效电解面积，单位为 m²，保留两位有效小数。

L₀：电极有效反应区域的长度，单位为 m，保留两位有效小数；

W₀：电极有效反应区域的宽度，单位为 m，保留两位有效小数；

注：如电极为不规则形状，与设计图纸校对进行核减/核增，以实际面积为准。

9 测试项目及方法

9.1 安全测试

9.1.1 电气接地测试

碱性水电解制氢系统的电气接地测试按照GB/T 37562进行。

9.1.2 气密性试验

碱性水电解制氢系统的气密性试验按照GB/T 37562进行。

9.1.3 泄漏率试验

碱性水电解制氢系统的泄漏率试验按照GB/T 37562进行。

9.2 性能测试

9.2.1 电解槽一致性测试

本测试的目的是验证碱性水电解制氢系统中的电解槽在运行过程中小室电压的一致性。测试步骤如下：

- a) 测试开始前，系统运行至额定工况；
- a) 待温度、压力均保持稳定后，开始测试；
- b) 利用小室电压检测仪器记录电解槽小室电压数据，并计算电解槽的小室电压分布；
- c) 将检测到的小室电压最大值记为 U_{max} ，将检测到的小室电压最小值记为 U_{min} ；
- d) 根据式（9-1）计算小室电压极差 ΔU ；
- e) 根据式（9-2）计算小室电压标准差。

$$\Delta U = 1000 \cdot (U_{max} - U_{min}) \dots\dots\dots (9-1)$$

式中：

ΔU ：小室电压极差，单位为 mV；

U_{max} ：小室电压最大值，单位为 V，保留三位有效小数；

U_{min} ：小室电压最小值，单位为 V，保留三位有效小数。

$$S = 1000 \cdot \sqrt{\frac{\sum_i^n (U_i - U_{in}/n)^2}{n}} \dots\dots\dots (9-2)$$

式中：

S ：小室电压标准差，单位为 mV；

U_{in} ：电解槽输入端总电压，单位为 V，保留三位有效小数；

n : 为电解小室数;

U_i : 第 i 个电解小室的小室电压, 单位为 V, 保留三位有效小数。

9.2.2 氢气产量测试

本测试测量碱性水电解制氢系统在额定工况下的产氢量。

测试步骤为: 启动系统后, 保持系统在额定工况下运行, 温度、压力、氢氧纯度等参数稳定后开始进行测试, 测试时长不宜低于 30 min, 测量结果应标注测试方法, 测试方法包括电解槽输入电流计算法、容积法和流量计法三种。

9.2.2.1 电解槽输入电流计算法

测试方法见 GB/T 37562、GB/T 19774 和 GB/T 32311。

9.2.2.2 容积法

测试方法见 GB/ 37562、GB/T 19774 和 GB/T 32311。

9.2.2.3 流量计法

使用氢气质量流量计测量氢气产量时, 氢气应经过冷却、干燥或纯化处理, 氢气露点等品质达到制造商规定的产品气要求。采用累积值法计算氢气产量, 计算方法如下:

$$Q_p = \frac{(Q_t - Q_0)}{t} \dots\dots\dots (9-3)$$

式中:

Q_p : 氢气产量, 单位为 Nm^3/h ;

Q_0 : 测试开始时刻的氢气累积流量, 单位为 Nm^3 ;

Q_t : 测试结束时刻的氢气累积流量, 单位为 Nm^3 ;

t : 测试时间, 单位为 h。

9.2.3 单位产氢量下的原料水消耗量测试

本测试测量碱性水电解制氢系统在额定工况下的原料水消耗量。测试步骤为: 启动系统后, 保持系统在额定工况下运行, 温度、压力、氢氧纯度等参数稳定后开始进行测试, 测试周期宜在 3~5 个不睡循环内, 测试时需保持氢、氧分离器液位高度不变 (液位差保持在 1mm 以下), 向系统补充环境温度下的原料水, 使用流量计测量原料水消耗量, 并采用累计值法计算原料水消耗量。使用下式计算碱性水电解制氢系统单位产氢量原料水消耗量:

$$W_{dw} = \frac{Q_{dw}}{Q_p} \dots\dots\dots (9-4)$$

式中:

W_{dw} : 单位产氢量原料水消耗量, 单位为 L/Nm^3 ;

Q_{dw} : 原料水消耗量, 单位为 L/h 。

9.2.4 制氢能耗测试

本测试测量碱性水电解制氢系统在额定工况下的能耗, 测试步骤如下:

- 启动系统后, 保持系统在额定工况下运行, 温度、压力、氢氧纯度等参数稳定后开始进行测试;
- 测量并记录电解槽的总直流电流和总直流电压;
- 测量并记录制氢系统内碱液循环泵、控制等辅助设备用交流电耗;
- 测试仪表精度要求应符合表 2 的规定;
- 直流能耗测试次数不宜少于 6 次, 间隔 10 min, 取平均值;
- 交流能耗测试设备接入相应的回路中, 测试时间为 1 h。

9.2.4.1 直流电耗

根据下式计算电解槽直流电耗:

$$W_d = \frac{U_{in} I_{in}}{1000 \cdot Q_p} \dots\dots\dots (9-5)$$

式中:

W_d : 电解槽直流电耗, 单位为 kWh/Nm^3 ;

I_{in} : 电解槽输入端总电流, 单位为 A, 保留三位有效小数。

9.2.4.2 制氢系统单位能耗

根据下式计算辅助设备 (与附录 A 对应) 交流单位能耗:

$$W_a = \frac{P_a}{Q_p} \dots\dots\dots (9-6)$$

式中:

W_a : 碱液循环泵等辅助设备交流单位能耗, 单位为 kWh/Nm^3 ;

P_a : 碱液循环泵等辅助设备用电功率, 单位为 kW。

制氢系统单位能耗 W (单位为 kWh/Nm^3) 可按下式计算:

$$W = W_d + W_a$$

9.2.4.3 电流效率

依据水电解制氢法拉第定律, 制取 $1 Nm^3$ 氢气所需理论电量为 2390 A。电解槽电流效率按照下式计算:

$$\eta_c = \frac{2390 \cdot Q_p}{I_{in} \cdot n} \cdot 100\% \quad (9-7)$$

式中：

η_c ：电流效率，%。

n ：理论所需电量，指根据法拉第定律计算的、制取标准状态下 1Nm³ 氢气时所需的理想电量，单位为 A · h/Nm³。

9.2.4.4 电解槽能效

能效的计算根据电化学原理，当小室电压为热中性电压时，则电解槽工作时不产生废热，此时的能效定为100 %。

电解槽能效可按式计算：

$$\eta_v = \frac{U_m}{U_{avg}} \cdot 100\% \quad (9-8)$$

式中：

η_v ：电解槽能效，%；

U_m ：热中性电压，取 $U_m = 1.48V$ ；

U_{avg} ：小室电压平均值， U_{avg} 可按式计算：

$$U_{avg} = \frac{\sum_1^n U_i}{n} \text{ 或 } \frac{U_{in}}{n} \quad (9-9)$$

n ：电解槽小室数；

U_i ：小室电压，单位为 V；

U_{in} ：总小室电压，单位为 V。

9.2.4.5 电解槽总效率

电解槽总效率按下式计算：

$$\eta_e = \eta_c \cdot \eta_v \cdot 100\% \quad (9-10)$$

式中：

η_e ：电解槽总效率，%。

9.2.4.6 制氢系统总效率

制氢系统总效率按下式计算：

$$\eta_{HHV} = \frac{HHV}{W} \cdot 100\% \dots\dots\dots (9-11)$$

式中：

η_{HHV} ：制氢系统总效率，%；

HHV ：氢气高热值，取 $HHV = 3.54 kWh / Nm^3 H_2$ 。

9.2.5 极化曲线测试

极化曲线测试是在工作温度下对碱性水电解制氢系统中的电解槽进行性能表征的基本测试方法，分为低压测试和带压测试两种。低压测试时，碱性水电解制氢系统运行压力为 0.1 MPa；带压测试时，碱性水电解制氢系统的运行压力为额定工况下的工作压力。

极化曲线测试前，应根据制造商规定对电解槽进行活化。

碱性水电解制氢系统运行在工作温度和测试压力下，采取恒电流方式，按照下表中的运行参数测试电解槽输入电流和输入电压，每个电流密度运行 15 min，记录电压值。

表 3 极化曲线运行参数表

序号 ^{注1}	电流密度（A/m ² ）	电压记录
1	150	
2	250	
3	500	
4	750	
5	1000	
6	1250	
7	1500	
8	1750	
9	2000	
10	2250	
11	2500	
12	2750	
13	3000	
14	3250	
15	3500	
16	3750	
17	4000	

18	4250	
19	4500	
.....	

注 1：根据制造商规定的功率安全可调范围，测试时，可以跳过部分低电流密度点，或从高电流密度开始降载到低电流密度测试。

从低电流密度加载到高电流密度和从高电流密度降载到低电流密度均需测试；当工作电压高于最大工作电压时终止测试。

注 2：电流变化速率应 $\geq 1\%I_n/s$ 。

9.2.6 耐久性测试

9.2.6.1 稳态耐久测试

- a) 稳态耐久测试前，应根据制造商规定对电解槽进行活化；
- b) 开始测试前，按照 9.2.5 测试一组电解槽极化曲线；
- c) 将碱性水电解制氢系统运行至额定工况，并保持 1000 h；
- d) 按照 9.2.5 再测试一组电解槽极化曲线；
- e) 计算电解槽的衰减速率，单位为 $\mu V/h$ 。

注：

电流（I）：指电解槽在额定工况下运行时的直流工作电流，单位为安培（A），该电流为制造商规定的额定电流值，是极化曲线测试和衰减速率计算的基准电流参数。

电压（U）：指电解槽在对应电流下的直流槽电压，单位为伏特（V），包含电解反应所需的理论分解电压、过电位及欧姆电阻压降，在极化曲线测试中为不同电流密度下实测的槽电压值，衰减速率计算时取额定电流下的槽电压变化量。

9.3 动态性测试

9.3.1 功率调节范围测试

本测试的目的是确定碱性水电解制氢系统在功率过载与低载工况下的性能，如最大功率、最小功率、调节范围等。该测试应重点测量并记录电能输入（含电压、电流、功率）、工作温度、气体输出（产氢量、氢气/氧气压力、氢中氧浓度、氧中氢浓度）等参数，测试步骤如下：

- a) 过载测试开始前，系统在标称功率下运行 30 min 以上；
- b) 开始测试，测试期间定时测量电流、电压、功率、压力、液位、碱液流量、气体纯度、、产气量、能耗、温度等数据等系统参数；
- c) 在额定功率基础上向上拉载功率 5 %，将系统停留在该功率值下运行 30 min 以上，期间测量系统功率是否平稳（功率波动在 2 %以内）；

d) 当系统可稳定运行后, 继续向上拉载功率 5 %, 并将系统停留在该功率至下运行 30 min 以上, 期间测量系统电压是否平稳, 工作温度、气体输出等是否正常;

e) 重复 c) -d) 步骤, 直至系统达到供应商规定的最大功率;

f) 若在下一次拉载后出现电解槽输入电压高于最大工作电压、或工作温度持续攀升无法下降等异常, 则将系统降载至当前功率, 当前功率值即为系统的最大功率 P_{\max} ;

g) 保持电功率输入在最大值下持续至少 2 h, ;

h) 开始低载测试, 将系统降载至额定功率下运行 30 min 以上;

i) 开始测试, 测试期间定时测量系统参数;

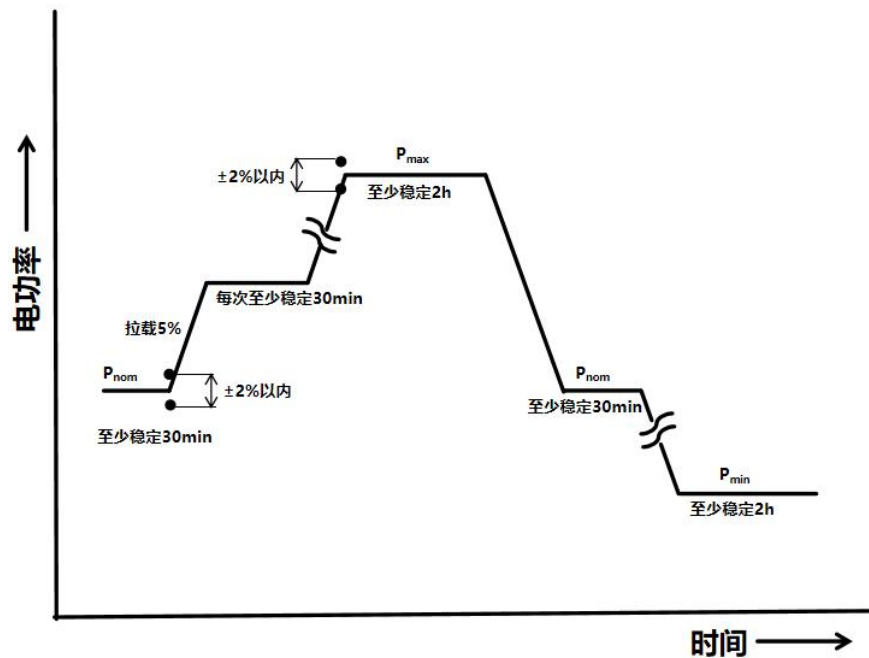


图 2 功率调节范围测试过程示意图

j) 在额定功率基础上向下降载功率 5 %, 将系统停留在该功率值下运行 30 min 以上, 期间测量系统功率是否平稳 (功率波动在 2 % 以内);

k) 重复 i) -j) 步骤, 直至系统达到供应商规定的最小功率;

l) 若在下次降载后出现工作温度持续下降、或氧中氢含量不满足制造商的要求等异常, 则关停系统, 当前功率值即为系统的最小功率 P_{\min} ;

m) 保持电功率输入在最小功率下持续至少 2 h, 且过程中氧中氢含量应满足制造商的要求。

9.3.2 变载工况响应时间测试

9.3.2.1 最小-最大功率响应时间测试

该测试是确定系统从最小功率切换到最大功率所需的时间, 反之亦然。测试流程如下, 图 3 示意性地显示了测试过程。

a) 系统在最小功率 P_{\min} 下运行 15 min;

- b) 将系统功率设置为 P_{\max} ;
- c) 等待系统功率稳定至 $\pm 2\% \cdot P_{\max}$;
- d) 系统在 P_{\max} 功率下保持 15 min;
- e) 将系统功率设置为 P_{\min} ;
- f) 等待系统功率稳定至 $\pm 2\% \cdot P_{\min}$;
- g) 将系统功率保持在 P_{\min} 下运行 15 min。

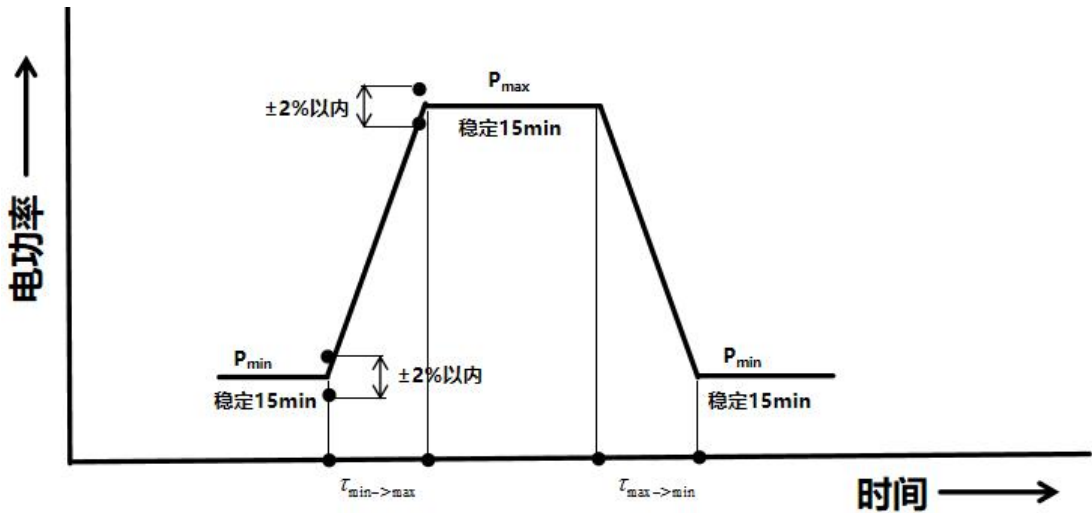


图 3 最小-最大功率响应时间测试过程示意图

最小功率到最大功率的响应时间 $\tau_{\min \rightarrow \max}$ 定义为从步骤 b 开始到步骤 c 结束。

最大功率到最小功率的响应时间 $\tau_{\max \rightarrow \min}$ 定义为从步骤 e 的开始到步骤 f 的结束。

9.3.2.2 标称-最大功率响应时间测试

测试流程如下，图 4 示意性地显示了测试过程。

- a) 系统在标称功率 P_{nom} 下稳定运行 15 min;
- b) 将系统功率设置为 P_{\max} ;
- c) 等待系统功率稳定至 $\pm 2\% P_{\max}$;
- d) 系统在 P_{\max} 功率下保持 15 min;
- e) 将系统功率设置为 P_{nom} ;
- f) 等待系统功率稳定至 $\pm 2\% P_{\text{nom}}$;
- g) 将系统功率保持在 P_{nom} 下运行 15 min。

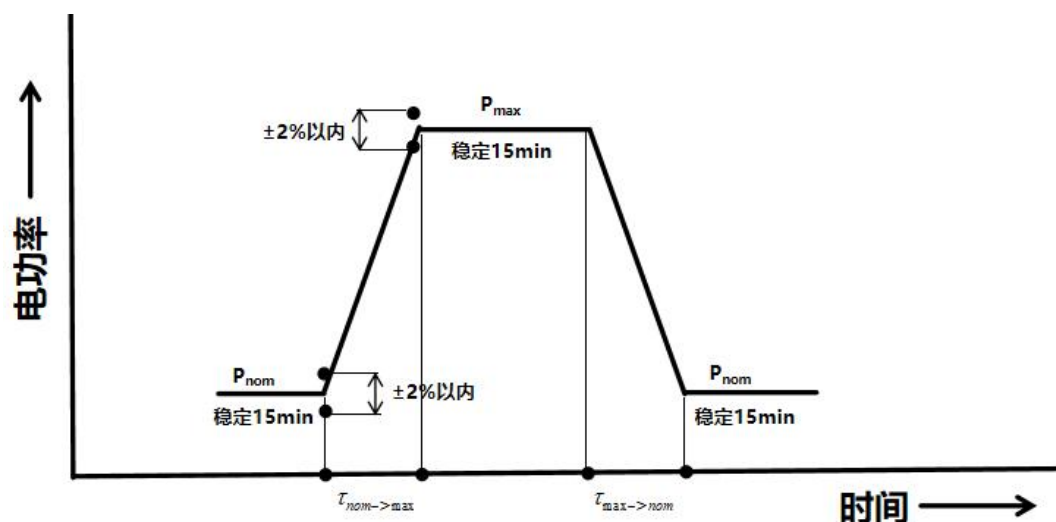


图4 标称-最大功率响应时间测试过程示意图

标称功率到最大功率的响应时间 $\tau_{nom \rightarrow max}$ 定义为从步骤 b 开始到步骤 c 结束。

最大功率到标称功率的响应时间 $\tau_{max \rightarrow nom}$ 定义为从步骤 e 开始到步骤 f 结束。

9.3.2.3 标称-待机响应时间测试

该测试是确定系统从标称功率切换到制造商规定的待机状态所需的时间，测试步骤如下：

- 系统在标称功率下运行 1 小时；
- 将系统功率设置为待机功率 $P_{standby}$ ；
- 等待氢气产量为 0，且系统功率稳定至 $\pm 2\% P_{standby}$ 。

标称功率到待机的响应时间 $\tau_{nom \rightarrow standby}$ 定义为从步骤 b 开始到步骤 c 结束。

待机状态下系统输入功率的平均值为待机功率 $P_{standby}$ （单位为 kW）。

注：在 9.3.2 变载工况响应时间测试期间，应全程实时监测氧中氢、氢中氧数据，并保证系统联锁处于正常工作状态，能在紧急情况发生时触发联锁，保证人员和设备的安全。

9.3.3 冷启动测试

本测试的目的是确定碱性水电解制氢系统冷启动时的启动时间。测试步骤如下：

- 测试开始前，系统应处于冷态下至少 2 h（系统温度与环境温度保持一致）；
- 开始启动操作，将装置电源开关置于开启位置，系统上电，以此记录启动操作开始的时间点；
- 测量并记录制氢系统的电能输入、气体输出等参数，直至系统达到标称功率并在 15 min 内波动不超过 $\pm 2\%$ 、且电解槽输入电压不超过最大工作电压、氧气与氢气纯度满足制造商的规定时，启动完成；
- 记录启动操作完成的时间点；
- 计算启动时长，冷启动时长按记录的启动完成时间点与启动初始时间点做差计算（扣除在标称功率稳定运行的 15 min 时长）。

9.3.4 热启动测试

本测试的目的是确定碱性水电解制氢系统热启动时的启动时间及待机状态输入功率。测试步骤如下：

- a) 测试开始前，系统应处于待机状态下至少 1 h；
- b) 开始启动操作，将系统功率设置为标称功率 P_{nom} ；
- c) 测量并记录制氢系统的电能输入、气体输出等参数，直至系统达到标称功率并在 15 min 内波动不超过 $\pm 2\%$ 、且电解槽输入电压不超过最大工作电压、氧气与氢气纯度满足制造商的规定时，启动完成；
- d) 记录启动操作完成的时间点；
- f) 计算启动时长，热启动时长按记录的启动完成时间点与启动初始时间点做差计算（扣除在标称功率稳定运行的 15 min 时长）。

10 测试报告

10.1 概述

测试报告应提供足够多的准确、清晰和客观的测试数据用来进行分析和参考。报告的最低要求包括标题页、目录和总结报告。

10.2 标题页

标题页应展现以下信息：

- a) 报告编号(可选)；
- b) 报告作者；
- c) 测试执行单位；
- d) 报告日期；
- e) 测试地址；
- f) 测试名称；
- g) 测试日期和时间；
- h) 系统标识和制造商名称。

10.3 目录

目录应按顺序展现报告中每章的标题、副标题及页码。

10.4 总结报告

总结报告应包含以下信息：

- a) 测试目的；
- b) 测试仪器及设备参数描述；
- c) 测试执行者的姓名和资质；

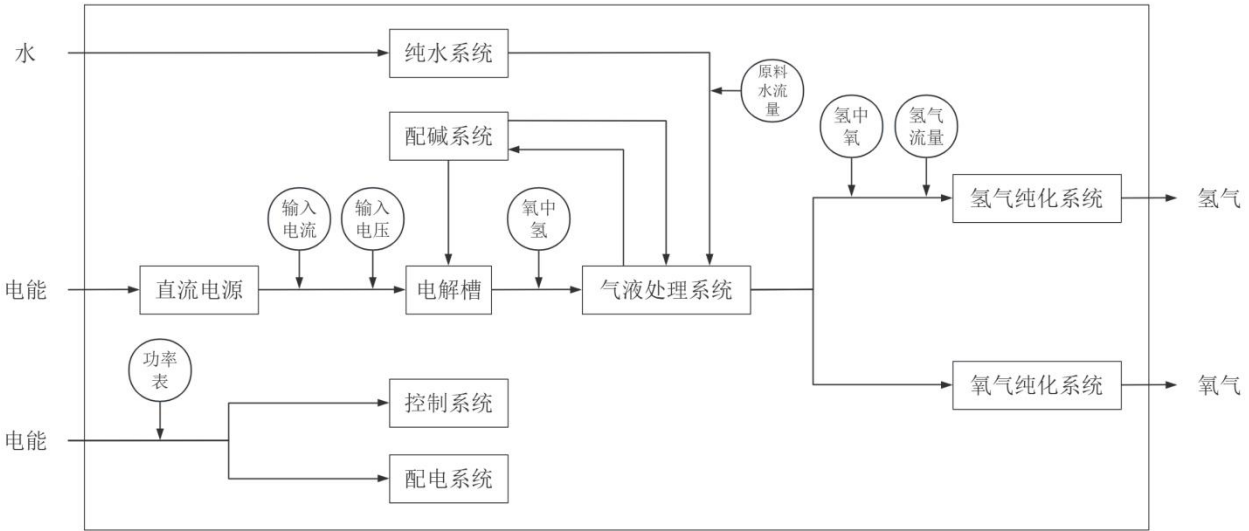
NB/T XXXXX—XXXX

- d) 数据计算方法；
- e) 显示测试结果的表格、图片；
- f) 测试结论。

附录 A
(资料性附录)

典型碱性水电解制氢系统范围及测点位置

碱性水电解制氢系统是一种利用电能电解水产生氢气的装置，输入的是电能，输出的是氢气，包括电解槽、直流电源、气液处理系统、纯化系统、控制系统等。典型碱性水电解制氢系统范围及测点位置见图 A.1、表 A.1。



注：使用氢气质量流量计测量氢气产量时，氢气应经过冷却、干燥或纯化处理，氢气露点等品质达到制造商规定的产品气要求。

图 A.1 典型碱性水电解制氢系统范围及测点位置

表 A.1 测试仪表典型测点位置示意表

序号	仪表名称	测点位置
1	输入直流	电解槽正极铜排或电缆
2	输入电压	电解槽正极和负极
3	氧中氢	电解槽氧侧出口
4	氢中氧	气液处理系统氢侧出口
5	氢气流量	气液处理系统氢侧出口
6	功率表	碱液循环泵及控制等辅助设备输入电缆
7	原料水流量	纯水系统输出端