

中国可再生能源学会标准

T/CRES0040-2025

碱性电解槽制氢电极性能测试方法

Performance test method for hydrogen production electrodes
used in alkaline electrolytic cells

2025-07-17 发布

2025-08-16 实施

中国可再生能源学会 发布

目 录

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统边界及测试平台 2

5 测试条件 2

6 稳态工况性能测试 4

7 波动工况性能测试 6

8 测试报告 8

附 录 A 10

附 录 B 10

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。

本文件的某些内容有可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由有研工程技术研究院有限公司、有研（广东）新材料技术研究院提出。

本文件由中国可再生能源学会归口及发布。

本文件起草单位：有研工程技术研究院有限公司、有研（广东）新材料技术研究院、中国科学院大连化学物理研究所、重庆大学、天津大学、天津大陆制氢设备有限公司、国家电投集团科学技术研究院有限公司、北京化工大学、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、西安隆基氢能科技有限公司、江苏国富氢能技术装备股份有限公司、北京科技大学、内蒙古霍煤鸿骏铝电有限责任公司电力分公司、中车山东风电有限公司、兰州兰石能源装备工程研究院有限公司。

本文件主要起草人：于庆河、郝雷、米菁、李衫衫、刘皓、蒋利军、刘庆林、姚婷婷、魏子栋、张伶、张金利、许莉、许卫、刘伟、鲁仰辉、于文涛、马猛、庄姝娴、杜濮宇、唐阳、张畅、任志博、焦乐、王朝、吴俊升、王元凯、刘洵、唐晶、谢淑贤、王玉虎、乔健、邵明贤。

本文件在执行过程中的意见建议请反馈至中国可再生能源学会标准化工作办公室。

碱性电解槽制氢电极性能测试方法

1 范围

本文件规定了碱性电解槽制氢电极的系统边界及测试平台、测试条件、测试仪器仪表、稳态工况性能测试、波动工况性能测试和测试报告等。

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使用本文件；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 32311-2015 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 24499-2009 氢气、氢能与氢能系统术语

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

GB/T 45092-2024 电解水制氢用电极性能测试与评价

3 术语和定义

GB 32311-2015、GB/T 19774-2005、GB/T 24499-2009、GB/T 37562-2019、GB/T 37563-2019、GB/T 45092-2024 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 电功率输入 electrical power input

碱性制氢系统中变压器、整流器、可编程电源及其他辅助用电设施等电输入端的有功电功率输入。

3.2 稳态 steady state

碱性制氢系统中电解槽输入功率随时间偏差不超过额定功率值 $\pm 5\%$ 范围内变化的状态。

3.3 波动状态 fluctuation state

碱性制氢系统电解槽输入功率随时间变化在额定功率值 20-110%范围内变化的状态。

3.4 稳态运行 steady state operation

碱性制氢系统处于规定的正常工作温度、压力、液位及液位差范围内，电解槽的输入功率处于稳态下，能保持预期产氢量的运行模式。

3.5 波动状态运行 operating in a fluctuating state

碱性制氢系统处于规定的正常工作温度、压力、液位及液位差范围内，电解槽的输入功率处于波动下的运行模式。

4 系统边界及测试平台

4.1 系统边界

本文件所适用的电解水制氢系统如下：

系统组件包括电解水槽及其他相关设备。

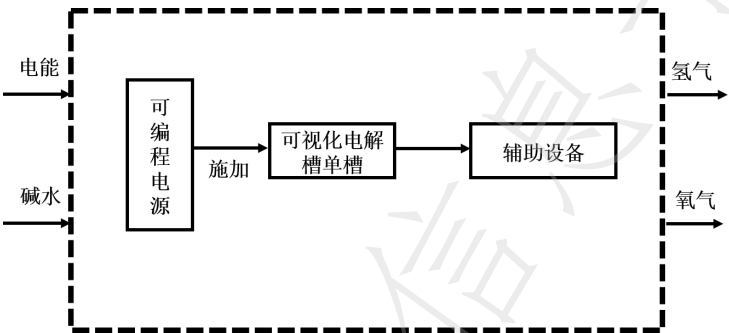


图 1 电解槽制氢系统通用结构边界

4.2 测试平台

测试平台示意图如图 2 所示，平台详细信息参见附录 A。

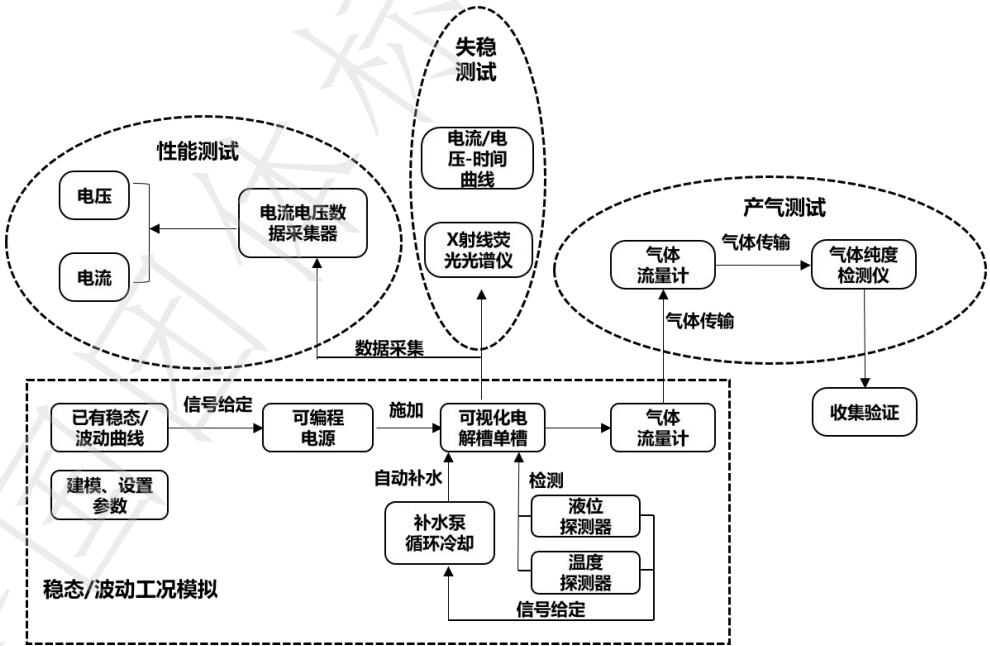


图 2 测试平台示意图

5 测试条件及测试仪器仪表

5.1 测试环境

除非测试需方单独要求，本文件中各项测试应在如下规定的环境中进行：

- a) 测试环境温度为室温，装槽工况测试温度 60-95℃；
- b) 大气压强为常压；
- c) 碱液浓度为 30 wt% KOH；
- d) 无霜、露水、渗水、雨淋、太阳辐射等；
- e) 电解水制氢系统应在测试全过程处于通风、排气畅通状态。

5.2 测试样品

- a) 样品为网、毡、泡沫状等金属基结构材料；
- b) 装槽电极直径 600 mm；
- c) 隔膜为商用 PPS 膜或需方指定隔膜

5.3 测试仪器仪表

碱性制氢系统稳态工况运行性能测试、波动工况运行性能测试需选择合适的测试仪器类型、量程及最大允许误差，应确保测量仪器满足测试要求的准确度及最大允许误差，见表 1。

表 1 测试仪器仪表列表

名称	量程及误差
可编程电源	输入:电压 AC 380 V, 频率 50 Hz 输出: 电压 0-10 V, 电压控制精度 $\leq 0.05\% + 0.05\% \text{ FS}$ 电流 0-2000 A, 电流控制精度 $\leq 0.1\% + 0.1\% \text{ FS}$
电流电压 数据采集器	电压 0-10 V 检测精度 $\leq 0.2\%$ 电流 0-2000 A 检测精度 $\leq 0.1\%$
X 射线 荧光光谱仪 (XRF)	手持式/便携式, 小点测试和内置 CCD 摄像头对焦功能, 可采用 1 mm 光路准直系统小测试区域针对性测试, 可分析低含量(ppm 级)至高百分比含量(%)
气体流量计	氢气流量计测试范围 0-3 Nm ³ /h, 检测精度 2% FS 氧气流量计测试范围 0-1.5 Nm ³ /h, 检测精度 2% FS
气体分析仪	氢中氧和氧中氢检测范围为 0-2%、分辨率 1 ppm
温湿度计	0-200℃ 温度控制精度 $\pm 0.2^\circ\text{C}$
绝压测量仪	压力量程 0-1200 hPa 精度在 $\pm 3 \text{ hPa}$, 分辨率 0.1 hPa
可视化电解槽	采用耐碱液的亚克力材质

5.4 测试辅助系统

气液分离器 $\phi 160 \text{ mm}$, 液面最大高度 500 mm 尺寸, 初次补充碱液补充至气液分离器内液面高 300 mm 处; 补水泵为 25-250 L/h 可控循环量(气液分离器内液位下降 100mm 时进行补充); 碱水循环泵为 0-80 L/h 可控循环量; 氢氧两侧气液分离器位置分别安装压力传感器和液位差变送

器，压力传感器传输信号控制氧气气动隔膜调节阀开度，液位差变送器传输信号控制氢气气动隔膜调节阀开度（气动隔膜调节阀全开至全关时间优于 2 s）；工装出气口位置设有温度传感器，稳态温度控制精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ；

6 稳态工况性能测试

稳态工况下，参见附录 B，碱性电解槽制氢阴极/阳极性能可通过碱性电解槽制氢测试进行衡量，该测试分为三种类型：失稳测试、产气测试及性能测试。

6.1 测试步骤

测试步骤包括准备阶段、测试阶段、计算阶段、停机或继续其他类型测试。

6.1.1 准备阶段

测试开始前，电解水制氢系统应在额定功率下稳态运行 15 min 以上，并记录测试开始时刻，测试过程中应保持电解水制氢系统电解槽的输入功率设定值为额定功率。

6.1.2 测试阶段

测试过程以 10 min 为时间间隔，测试持续时间不应低于 1 h，测量数据次数不宜少于 6 次，记录测试参数详见各个测试类型。

6.1.3 计算阶段

每种不同测试类型计算方式不同，详见各个测试类型。

6.1.4 停机或其他类型测试

测试完成，导出测试数据；其它功率输入稳定运行状态下的性能指标可参照以上测试方法进行测试或继续其他类型测试。

6.2 失稳测试

测试过程记录电极同一位置的瞬态 X 射线荧光光谱变化情况。X 射线荧光光谱仪记录测试前电极/碱液的 XRF 光谱及测试后电极/碱液的 XRF 光谱。对比图谱判断电极元素变化情况。

6.3 稳态工况产气测试

6.3.1 产氢/产氧测试

分别测量输出氢气/氧气的流量；若测试过程中输出氢气/氧气流量的测量采用体积流量计，应以相同的采样时间间隔，进一步测量输出氢气/氧气的温度、压力，记录产氢/产氧气量。

标况氢气产量，电解水制氢系统的标况氢气产量检测方法有容积法、直流电流测试值计算法和平均流量算法。

6.3.1.1 直流电流测试值算法：按照 GB 32311-2015 附录 A 的相关规定计算氢气产量。

6.3.1.2 容积法：按照 GB/T 37562-2019 附录 B 的相关规定计算氢气产量。

6.3.1.3 平均流量算法：采用无累积功能的体积流量，测试 n 个稳态气体产量数据值，再使用理想气体状态方程，将检测期间氢气/氧气的工况产量转换为标况平均值：

$$F_p = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \times \frac{273.15 \times (P_i + 101.3)}{101.3 \times (t_i + 273.15)}}{n} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F_p ——电解水制氢系统稳态运行过程中的平均氢气产量/平均氧气产量 (Nm^3/h)；

P_i ——测试过程中每个记录时间间隔下氢气输出压力/氧气输出压力 (kPa)；

101.3——标准状况下气体的压力 (kPa)；

t_i ——测试过程中每个记录时间间隔下氢气输出温度/氧气输出温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

273.15——标准状况下气体的开尔文温度；

V_i ——测试过程中每个记录时间间隔下氢气/氧气输出的工况实时体积流量 (m^3/h)；

n ——从测试初始到测试结束总记录数据个数；

采用无累计功能的质量流量计，测试 n 个稳态气体产量数据值，再按照下式计算稳态运行过程中的系统氢气产量：

$$F_p = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \times 11.2 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

F_p ——电解水制氢系统稳态运行过程中的平均氢气产量 (Nm^3/h)；

m_i ——测试过程中每个记录时间间隔下氢气输出的实时质量流量 (kg/h)；

11.2——标准状况下氢气的比重 (Nm^3/kg)；

n ——从测试初始到测试结束总记录数据个数；

注：计算氧气产量时，将上述公式 (2) 中标准状况氢气比重 11.2，换成标准状况下氧气比重 0.7，其他换成氧气相对应的测试数据)

6.3.2 氢气中氧含量/氧气中氢含量测试

记录氢气中氧气含量/氧气中氢含量，测试 n 个稳态气体含量数据值，再按照下式计算稳态运行过程中的系统输出氢气中氧含量/氧中氢含量：

$$M_m = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} \dots\dots\dots (3)$$

M_m ——电解水制氢系统稳态运行过程中的平均氢气中氧含量/氧气中氢含量 (%)；

M_i ——测试过程中每个记录时间间隔下氢气中氧含量/氧气中氢含量 (%)；

n ——从测试初始到测试结束总记录数据个数；

6.4 性能测试

6.4.1 电流稳定性测试

测试过程中记录电流值，记录 n 个稳态电流数据值，计算电流变化以判断电流稳定性，应按下式计算稳态运行过程中的系统输出电流稳定性：

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{i+1} - I_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

G ——电解水制氢系统稳态运行过程中的电流稳定性，以电流变化方差表示(mA 或 A)；

I_i ——测试过程中每个记录时间间隔下电流(mA 或 A)；

n ——从测试初始到测试结束总记录数据个数。

6.4.2 单位能耗

测试过程中记录电流值、电压值，按照 GB 32311-2015 附录 B 计算单位能耗。系统的单位能耗包含电解槽的单位直流能耗与辅助设施的交流单位能耗。

7 波动工况性能测试

波动工况下，参见附录 B，碱性电解槽制氢阴极/阳极性能可通过碱性电解槽制氢测试进行衡量，该测试分为三种类型：失稳测试、产气测试及性能测试。

7.1 测试步骤

测试步骤可分为电压范围调节、准备阶段、测试阶段、计算阶段、停机或继续其他类型测试。

7.1.1 波动范围调节

电解水制氢系统在波动状态运行下，测量系统的最大和最小电功率以及变化所需要的时间。导入与电解槽功率相匹配的可再生能源模拟发电输入功率，重复数周期，观察测试平台是否稳定。

7.1.2 准备阶段

测试开始前，电解水制氢系统应在额定功率下稳态运行 15 min 以上，并记录测试开始时刻，导入与电解槽功率相匹配的可再生能源模拟发电输入功率，记录开始时间，电流电压，温度以及压强。

7.1.3 测试阶段

测试过程中以完成一套模拟功率数据为时间间隔，测试持续时间不应低于 72 h（不少于 3 个或多个波动工况周期 n ），测量数据取点有效时间 10 min，记录测试参数详见各个测试类型。

7.1.4 计算阶段

每种不同测试类型计算方式不同，详见各个测试类型。

7.1.5 停机或其他类型测试

测试完成，导出测试数据；其它功率输入稳定运行状态下的性能指标可参照以上测试方法进行测试或继续其他类型测试。

7.2 失稳测试

测试过程记录电极同一位置的 X 射线荧光光谱变化情况；X 射线荧光光谱仪记录测试前电极/碱液的 XRF 光谱及波动工况下运行 n 个周期测试完成后电极/碱液的 XRF 光谱。对比光谱判断电极元素变化情况。

7.3 产气测试

7.3.1 产氢/产氧测试

测量有效数据测试时间段内输出氢气/氧气累计流量；若测试过程中输出氢气/氧气流量的测量采用体积流量计，进一步测量输出氢气/氧气的温度、压力，记录产氢/产氧气量。

标况氢气产量，电解水制氢系统的标况氢气产量检测方法有容积法、直流电流测试值计算法。

7.3.1.1 直流电流测试值计算法：按照 GB 32311-2015 附录 A 的相关规定计算氢气产量。

7.3.1.2 容积法：按照 GB/T 37562-2019 附录 B 的相关规定计算氢气产量。

7.3.2 氢气中氧含量/氧气中氢含量测试

记录氢气中氧气含量/氧气中氢含量，以 10 min 为数据测试时间间隔，测量 n 个波动周期内气体含量，应按照下式计算波动运行过程中的系统输出氢气中氧含量/氧中氢含量：

$$M_{max} = \{M_1, \dots, M_i, \dots, M_n\} \dots \dots \dots (5)$$

M_{max} ——电解水制氢系统波动运行过程中的最大氢气中氧含量/氧气中氢含量（%）；

M_i ——测试过程中每个波动周期时间间隔下氢气中氧含量/氧气中氢含量（%）；

n ——从测试初始到测试结束波动周期个数；

7.4 性能测试

7.4.1 抗波动性测试

测试过程中记录电流值，测量记录 n 个波动周期中相同功率输入时的电流值，计算电流变化以判断电极抗波动性，应按照下式计算波动运行过程中的系统输出电流稳定性：

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{i+1} - I_i)^2}{n}} \dots \dots \dots (6)$$

式中：

G ——电解水制氢系统波动运行 n 个周期电流稳定性，以电流变化方差表示；

I_i ——测试过程中每个波动工况下的电流(mA 或 A)；

n ——从测试初始到测试结束波动周期个数。

7.4.2 单位能耗

测试过程中记录电流值、电压值，按照 GB 32311-2015 附录 B 计算波动工况运行 n 个周期过程中单位能耗。系统的单位能耗包含电解槽的单位直流能耗与辅助设施的交流单位能耗。

8 测试报告

8.1 概述

测试报告应准确、清楚、客观的提供信息，以证明测试所有目的均已达到。报告建议包含以下条款中列出的所有信息。

8.2 系统描述及相关说明

系统描述及相关说明建议至少包含如下信息，可由制造商或委托方提供：

- a) 电解水制氢系统的类型、规格、运行参数以及测试边界等；
- b) 电解水制氢系统电解槽相关参数；
- c) 电解水制氢系统关键辅助设施（如电源转换单元）相关参数；
- d) 电解水制氢系统电解液、冷却水参数；

8.3 测试条件描述

测试条件描述建议至少包含如下信息：

- a) 测试环境条件；
- b) 测试仪器名称、型号、制造商、校准情况；
- c) 测试仪器和设备的安装布置情况；

8.4 测试内容描述

测试内容描述建议至少包含如下信息：

- a) 测试项目、类型；
- b) 测试性能指标；
- c) 测试检测过程，数据采样周期；
- d) 测试工况设定；

8.5 测试结果描述

测试结果描述建议至少包含如下信息：

- a) 测试项目、类型；
- b) 测试结果以及对应计算方法；
- c) 电极材料稳定性评估

附录 A
(资料性附录)

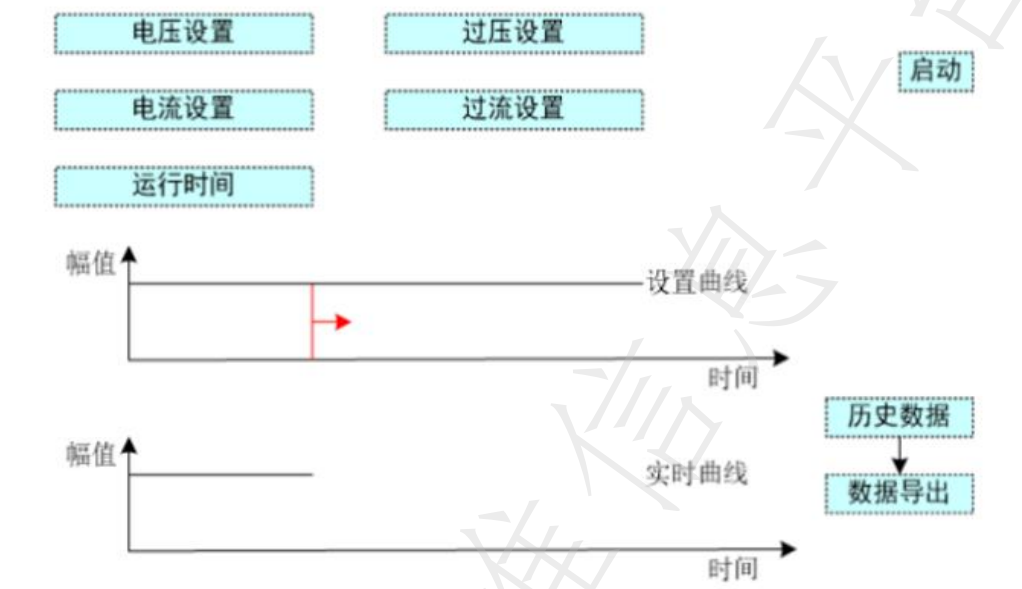
为系统研究可再生能源碱性电解槽制氢中面临的高能耗、电极性能退化等问题，建立电解水稳态/波动工况下电极性能测试方法，形成面向工业电解水场景下的电极性能通用测试体系，本团体标准完成稳态/波动工况测试平台搭建，采用 X 射线荧光光谱仪对电极在稳态/波动工况后的元素进行研究和分析；采用电流电压数据采集器记录稳态/波动工况下电流电压数据，分析稳态/波动工况电解水过程中电极性能的演变过程，平台各部件及其功能如表 A 所示。

表 A 稳态/波动工况测试平台部件及功能汇总

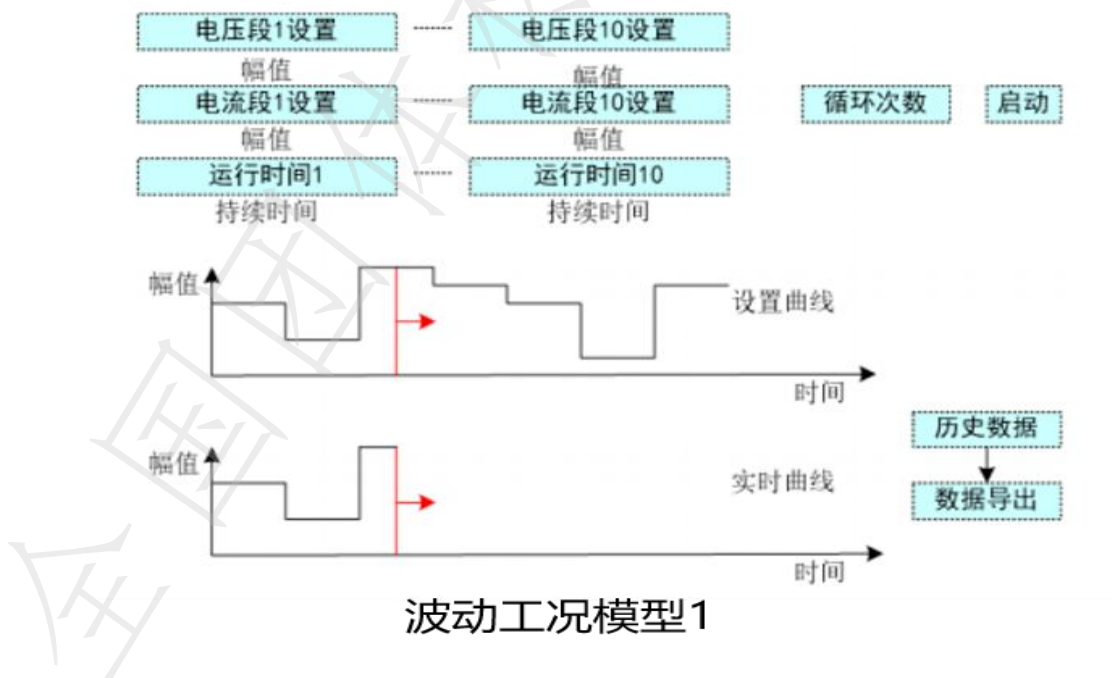
组成	功能详情
可编程电源	将析氢阴极/析氧阳极放入待测物工装内（高透大面积，单室测试装置），可编程电源施加稳态/波动电能，辅助系统保证电解水制氢过程稳定运行，并对气体进行干燥处理并对产气量、氢中氧、氧中氢含量进行检测。
可视化测试装置	
辅助系统	
气体检测仪器仪表	
可编程电源	利用可编程电源实现动电位变化，采用动电位方法测试电极在稳态工况下电流稳定性、单位能耗；波动工况下电极抗波动性、单位能耗。
电流电压检测仪	
可编程电源	稳态/波动工况条件下，使用 X 射线荧光光谱仪检测长时间运行后电极表面催化剂中间态物种的价态变化、物相变化。
X 射线荧光光谱	

该平台根据功能划分，主要包含四个模块：1）稳态/波动工况模拟模块（可编程电源、可视化测试装置和辅助系统）；2）性能测试模块（稳态/波动工况、电流电压检测仪）；3）失稳测试模块（稳态/波动工况、X 射线荧光光谱（XRF）、电流电压数据采集器）；4）产气测试模块（稳态/波动工况、气体检测仪器仪表、电流电压数据采集器）。

附录 B
(资料性附录)



稳态工况模型



波动工况模型1

