

# 团 体 标 准

T/DZJN/XXXX

## 电解水制氢系统温度适应性测试方法

Test method for temperature adaptability of water electrolysis  
system to produce hydrogen

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国电子节能技术协会 发布



# 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 测试条件 .....	2
4.1 测试边界 .....	2
4.2 测试条件 .....	3
5 试剂 .....	3
6 测试准备 .....	3
6.1 资料检查 .....	3
6.2 系统状态检查 .....	3
6.3 数据采集计划 .....	3
6.4 时间同步性 .....	3
7 测量仪器 .....	3
7.1 一般要求 .....	3
7.2 测量仪器与安装位置 .....	4
7.3 测试仪器精度 .....	4
8 测试项目 .....	4
9 测试方法 .....	5
9.1 启动测试 .....	5
9.2 额定工况稳态性能测试 .....	7
10 测试报告 .....	9

## 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。

本文件由中国电子节能技术协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 电解水制氢系统温度适应性测试方法

## 1 范围

本文件给出了碱性电解水制氢系统和质子交换膜电解水制氢系统的温度适应性测试条件、试剂、测试准备、测量仪器、测试项目、测试方法和测试报告。

本文件适用于碱性电解水制氢系统和质子交换膜电解水制氢系统。

## 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 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 37562—2019 压力型水电解制氢系统技术条件

GB/T 46104—2025 电解水制氢系统功率波动适应性测试方法

## 3 术语和定义

GB/T 19774、GB/T 24499、GB/T 37562 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**温度适应性 temperature adaptability**

电解水制氢系统在制造商允许的最大工作温度和最小工作温度范围内，系统工作稳定性的适应能力。

### 3.2

**额定工况 rated operating condition**

电解水制氢系统在制造商规定的额定压力、额定温度和额定电流下的运行状态。

[来源：GB/T 46104—2025, 3.1.2]

### 3.3

**冷待机状态 cold steady state**

电解水制氢系统的电源转换单元、电解槽、气液分离系统等主工艺设备在没有任何电能输入下的状态

注：电解液温度与环境温度一致，仪表、阀门、泵处于通电状态，控制和安全相关辅助设置处于运行状态，制氢系统已完成启动前的准备工作。启动前的准备工作包括置换、吹扫、补水、碱液/纯水循环、仪表预热等。

[来源：GB/T 46104—2025, 3.1.4]

### 3.4

**热待机状态 hot steady state**

电解水制氢系统的电解槽温度在制造商给定的工作温度范围内,电解槽输入电流为零且可随时输入电流再次启动的状态。

[来源：GB/T 46104-2025, 3.1.5]

### 3.5

#### 冷启动 cold start

电解水制氢系统从冷待机状态直接通电的启动。

[来源：GB/T 46104-2025, 3.1.5]

### 3.6

#### 热启动 hot start

电解水制氢系统从热待机状态直接通电的启动。

[来源：GB/T 46104-2025, 3.1.6]

### 3.7

#### 冷启动时间 cold start time

电解水制氢系统从冷待机状态达到某一指定状态的时间。

注：根据测试需要，本文件给出了冷启动至额定电流时间、冷启动至额定工况时间、冷启动至气体纯度合格时间的指标定义和测试方法。

[来源：GB/T 46104-2025, 3.1.7]

### 3.8

#### 热启动时间 hot start time

电解水制氢系统从热待机状态达到某一指定状态的时间。

注：根据测试需要，本文件给出了热启动至额定电流时间、热启动至额定工况时间、热启动至气体纯度合格时间的指标定义和测试方法。

[来源：GB/T 46104-2025, 3.1.8]

## 4 测试条件

### 4.1 测试边界

4.1.1 电解水制氢系统包括电解槽、电源转换单元、气液分离系统、热管理系统、氢气纯化系统(可选)、氧气纯化系统(可选)、控制系统、辅助设施、公用工程等,具体如下:

- a) 电解槽: 电解水制氢系统的主体设备, 串并联方式包含一正一负或一正两负(即中间极板接正极, 两端极板接负极);
- b) 电源转换单元: 将系统的输入电源转换为符合电解槽输入电能要求的设备。电源转换单元的输入电能可以是交流, 也可以为直流。若输入电能为交流, 一般包含整流变压器和整流电源两部分。电源转换单元的输入电压等级和交直流形式根据运行现场实际情况确定;
- c) 气液分离系统: 用于分离气体产品与液体介质并保持内部的碱液或纯水循环, 包含气水分离器、洗涤器、碱液/水循环泵等设备;
- d) 热管理系统: 为保持内部各设备温度在正常范围内而提供冷却、散热、加热或储能再利用的系统;
- e) 气体纯化系统: 用于去除产品气体中的杂质、水分等, 包含氢气纯化器、氧气纯化器等设备;
- f) 控制系统: 用于电解水制氢系统的自动控制和监测, 并且能够在系统发生故障时执行相应的应急动作;
- g) 辅助设施: 电解水制氢系统中不直接参与电解反应的部分设施, 包括气液分离系统、气体纯化系统、电解槽补水泵以及控制系统等;
- h) 公用工程: 维持电解水制氢系统运转的设施, 如综合热管理系统、给排水系统、水纯化系统、仪表供气系统、吹扫置换气系统等。

## 4.2 测试环境

电解水制氢系统功率波动适应性测试评价的目的是考察电解水制氢系统的稳态运行性能和适应可再生能源波动性的能力。测试场所宜为电解水制氢系统所安装的运行现场,也可在制造商的出厂测试场地或第三方测试场地。测试环境条件至少应符合下列规定:

- a) 相对湿度符合制造商的要求,且不超过 90%;
- b) 大气压强一般为 86 kPa~106 kPa,若测试环境压强低于 86 kPa 或海拔高度高于 1300 m,需注意选用符合该环境条件的测量仪器,并单独标明。

## 5 试剂

碱性电解水制氢系统和质子交换膜电解水制氢系统的测试用原料水品质应分别符合 GB/T 37562—2019 中 5.1.2.5、5.1.2.8 的要求。碱性电解水制氢系统的测试用电解液质量应符合 GB/T 37562—2019 中 5.1.2.7 的要求。

## 6 测试准备

### 6.1 资料检查

测试前应检查所有设备的合格证、检定或校准证书、技术文件(包括全部例行测试记录),压力设备、压力管道及安全附件等特种设备要求的证书、使用登记证等。文件资料齐全并逐一进行核对无误后才能进行测试。

### 6.2 系统状态检查

测试前制氢系统的气密性和泄漏率应符合 GB/T 37562—2019 中 6.2.2 和 6.2.3 的要求,制氢系统已完成吹扫和置换,电源和自控系统状态满足测试前状态要求,各种辅助设施均应达到开机所具备的条件。

### 6.3 数据采集计划

测试前应准备好符合数据采集时长和频次的数据采集设备和数据记录设备。启动、停机以及变功率动态性能测试的采集频次大于或等于 1 Hz。

### 6.4 时间同步性

测试前应对所有测试设备进行定时校准,设定同一个触发采样时间(精确到秒),确保数据时间的一致性及同步性。

## 7 测量仪器

### 7.1 一般要求

7.1.1 测量仪器应检定或校准合格,并在校准有效期内。测量仪器应满足测试环境条件要求,仪器的

7.1.2 量程范围应包含测试的最大和最小量程。

7.1.3 测量仪器的安装方法、安装位置、补偿方式等对测试结果影响较大,应按照仪器厂家的说明书进行安装。

7.1.4 测量仪器的安装位置应在测试报告中详细标明。安装位置若在防爆区,应按照防爆要求选用合适型号和信号传输方式。

## 7.2 测量仪器与安装位置

测量仪器安装位置及选用应按照 GB/T 46104-2025 中 7.2 要求进行。

## 7.3 测试仪器精度

测试仪器仪表准确度等级或最大允许误差应符合表 1 的规定。

表1 测试仪器仪表准确度要求

名称	准确度等级/最大允许误差
功率计	0.2 级
电压表	±0.5%
电流传感器	0.5 级
交流电能表	1 级
直流电能表	1 级
氢气质量流量计	1.5 级
氧气质量流量计	1.5 级
水流量计	0.5 级
温度传感器	±0.5 °C
压力传感器	0.5 级
氢中氧测试仪	±1%FS
氧中氢测试仪	±2%FS
微氧分析仪	±1%FS
数据采集装置	±0.2%
温度计	±1 °C
湿度计	±5% RH
绝压测量仪	±5 hPa
秒表	±0.5 S/d

## 8 测试项目

8.1 温度适应性测试应分别在 5 °C ±1 °C、25 °C ±1 °C、55 °C ±1 °C 以及其他需要的环境温度下进行。

8.2 温度适应性测试项目应按照表 2 进行。

表2 测试项目

测试类型	测试对象	测试指标
冷启动测试	电解槽	冷启动至额定电流时间
		冷启动功率曲线
	系统	冷启动至额定工况时间
		冷启动至气体初度合格时间
冷启动氧中氢、氢中氧浓度曲线		
	额定工况稳态性能测试	电解槽
电压效率		

测试类型	测试对象	测试指标
	系统	电流密度
		标称产氢量
		实测产氢量
		电流效率
热启动测试	电解槽	热启动至额定电流时间
		热启动功率曲线
		热启动电流-电压曲线
	系统	热启动至额定工况时间
		热启动至气体纯度合格时间
		热启动氧中氢、氢中氧浓度曲线

## 9 测试方法

### 9.1 启动测试

#### 9.1.1 通则

9.1.1.1 未通入纯化系统的气体纯度的合格范围为氧中氢浓度 $\leq 1.5\%$ 且氢中氧浓度 $\leq 0.3\%$ 。

9.1.1.2 电解水制氢系统的安全运行范围为氧中氢浓度 $\leq 2.0\%$ 且氢中氧浓度 $\leq 1.0\%$ ，制造商也可自行增加氢氧分离器液位、液位差等其他安全相关参数。

9.1.1.3 热待机状态的碱性电解槽出口的电解液温度在  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上，质子交换膜电解槽出口的纯水温度在  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上。

#### 9.1.2 测试步骤

##### 9.1.2.1 冷启动测试

冷启动测试步骤如下：

- 测试开始前，电解水制氢系统通过自然冷却或强制冷却等方式，在冷待机状态下保持 2h 以上，该状态下电解槽出口的电解液温度与环境温度的偏差应在 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内；
- 测试开始前，电解水制氢系统应完成控制、安全相关辅助设施的启动以及吹扫、置换操作，循环泵处于运行状态；
- 启动电解水制氢系统，记录发出启动指令时刻为冷启动开始时刻 ( $t_{s1}$ )，并以此时的电解槽出口的电解液温度为冷启动温度；
- 启动过程按照制造商提供的启动程序自动进行；
- 测试过程中，以 1 s 或更短时间间隔分别测量电解槽的电流、电压以及系统的氧中氢浓度、氢中氧浓度；
- 记录电解槽输入电流首次达到额定电流的时刻 ( $t_{s2}$ )；
- 记录电解水制氢系统的运行温度、运行压力和输入电流同时达到额定温度、额定压力和额定电流的时刻 ( $t_{s3}$ )；
- 当氧中氢浓度和氢中氧浓度分别稳定在气体纯度合格组分范围内至少 5 min 后，记录氧中氢浓度和氢中氧浓度首次同时达到合格组分范围的时刻 ( $t_{s4}$ )；
- 绘制启动过程中的功率曲线、氧中氢浓度曲线和氢中氧浓度曲线；

j) 应确保测试过程中系统始终处于制造商允许的安全运行范围。

9.1.2.2 热启动测试

热启动测试步骤如下:

- a) 测试开始前, 电解水制氢系统应在热待机状态下保持至少 15 min, 碱液/纯水循环泵处于运行状态;
- b) 启动电解水制氢系统, 记录发出启动指令时刻为热启动开始时刻 ( $t_{s1}$ ), 并以此时的电解槽出口电解液温度为热启动温度;
- c) 测试过程中, 以 1 s 或更短时间间隔分别测量电解槽的电流、电压以及系统的氧中氢浓度、氢中氧浓度;
- d) 启动过程按照制造商提供的启动程序自动进行;
- e) 记录电解槽输入电流首次达到额定电流的时刻 ( $t_{s2}$ );
- f) 记录电解水制氢系统的工作温度、工作压力和输入电流同时达到额定温度、额定压力和额定电流的时刻 ( $t_{s3}$ );
- g) 当氧中氢浓度和氢中氧浓度分别稳定在气体纯度合格组分范围内至少 5 min 后, 记录氧中氢浓度和氢中氧浓度首次同时达到合格组分范围的时刻 ( $t_{s4}$ );
- h) 绘制启动过程中的功率曲线、氧中氢浓度曲线和氢中氧浓度曲线;
- i) 应确保测试过程中系统始终处于制造商允许的安全运行范围。

9.1.3 数据处理

9.1.3.1 冷/热启动至额定电流时间

冷/热启动至额定电流时间按式 (1) 计算:

$$\Delta t_{s1} = t_{s2} - t_{s1} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

- $\Delta t_{s1}$  ---启动至额定电流时间, 单位为秒或分 (s 或 min);
- $t_{s2}$  ---启动后电解槽首次达到额定电流点的时刻, 单位为秒或分 (s 或 min);
- $t_{s1}$  ---启动开始时刻, 单位为秒或分 (s 或 min)。

9.1.3.2 冷/热启动至额定工况时间

冷/热启动至额定工况时间按式 (2) 计算:

$$\Delta t_{s2} = t_{s3} - t_{s1} \dots \dots \dots (2)$$

式中:

- $\Delta t_{s2}$  ---启动至额定工况时间, 单位为秒或分 (s 或 min);
- $t_{s3}$  ---启动后电解水制氢系统首次达到额定工况点的时刻, 单位为秒或分 (s 或 min);
- $t_{s1}$  ---启动开始时刻, 单位为秒或分 (s 或 min)。

9.1.3.3 冷/热启动至气体纯度合格时间

冷/热启动至气体纯度合格时间按式 (3) 计算:

$$\Delta t_{s3} = t_{s4} - t_{s1} \dots \dots \dots (3)$$

式中:

- $\Delta t_{s3}$  ---启动至气体纯度合格时间, 单位为秒或分 (s 或 min);
- $t_{s4}$  ---启动后氧中氢和氢中氧浓度首次达到合格气体组分范围的时刻, 单位为秒或分 (s 或 min);
- $t_{s1}$  ---启动开始时刻, 单位为秒或分 (s 或 min)。

### 9.1.3.4 冷/热启动功率曲线

冷/热启动的功率曲线的横坐标为时间，纵坐标为电解槽的功率。功率由电解槽每一时刻的输入电流乘以电压得到。

### 9.1.3.5 冷/热启动氧中氢、氢中氧浓度曲线

冷/热启动的氧中氢、氢中氧浓度曲线的横坐标为时间，纵坐标为系统的氧中氢浓度或氢中氧浓度。横坐标的时间范围应与功率曲线保持一致。

### 9.1.3.6 热启动电流-电压曲线

电解槽的热启动电流-电压的横坐标为电解槽的输入电流( $I_s$ ),纵坐标为电解槽的电压( $U_s$ )。

## 9.2 额定工况稳态性能测试

### 9.2.1 总则

额定工况稳态性能测试的目的是测试当电解水制氢系统在额定工况下稳定运行时,电解槽以及整个电解水制氢系统的各项性能指标。

### 9.2.2 测试步骤

额定工况稳态性能测试步骤如下:

- 测试开始前,电解水制氢系统应在相应环境温度中的额定工况下稳定运行 15 min 以上;
- 测试过程中应保持电解槽的输入电流设定值为额定电流,电流测量值与设定值的误差应在 $\pm 2\%$ 以内;
- 测试过程中,应保持不同类型数据采样时间的同步性;
- 氧中氢浓度和氢中氧浓度达到稳定(15 min 内的波动偏差应小于 5%)后才能开始测试;
- 记录测试开始时刻,记录采用累积值测量的数据初始值,包括氢气/氧气质量流量初始值、原料水流量初始值、电解槽的电能输入值等;
- 测试过程中,每间隔至少 5 min 记录一次数据,包括电解槽的电流和电压值、氧中氢浓度、氢中氧浓度、系统出口处产氢压力、温度等,测量数据次数不少于 6 次;
- 测试完成后,记录结束时刻,记录采用累积值测量的数据结束值。

注1:采用累积值测量的数据值等于测试结束和启动时各数据的差值。

注2:采用平均值测量的数据值等于所有测量数据的算术平均值。

### 9.2.3 数据处理

#### 9.2.3.1 电解槽额定功率

电解槽额定功率按式(4)计算:

$$P_{rat} = \frac{I_{rat} \times U_{rat}}{1000} \dots \dots \dots (4)$$

式中:

$P_{rat}$  ——电解槽额定功率。单位为千瓦(kW);

$I_{rat}$  ——电解槽在额定工况下的输入电流,单位为安培(A);

$U_{rat}$  ——电解槽在额定工况下的电压,单位为伏特(V)。

#### 9.2.3.2 电解槽电压效率

电解槽电压效率按式（5）或式（6）计算：

$$\eta_v = \frac{U_s \times E_{th}}{U_s} \times 100\% \text{ (一正一负)} \dots\dots\dots (5)$$

$$\eta_v = \frac{(N_s/2) \times E_{th}}{U_s} \times 100\% \text{ (一正两负)} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $\eta_v$  —— 电解槽的电压效率；
- $N_s$  —— 电解槽的小室个数，单位为个；
- $E_{th}$  —— 热中性电压，单位为伏特（V）；
- $U_s$  —— 电解槽的电压，单位为伏特（V）。

热中性电压按式（7）计算

$$E_{th} = \frac{\Delta H}{n_e \times F} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $E_{th}$  —— 热中性电压，单位为伏特（V）；
- $\Delta H$  —— 运行温度下电解水制氢反应的焓变，单位为焦耳没摩尔（J/mol）；
- $n_e$  —— 参与反应的电子摩尔数，单位为摩尔（mol）；
- $F$  —— 法拉第常数，取 96485 C/mol。

### 9.2.3.3 电解槽电流密度

电解槽电流密度按式（8）或式（9）计算：

$$J_s = \frac{I_s}{A_s} \text{ (一正一负)} \dots\dots\dots (8)$$

$$J_s = \frac{I_s}{2 \times A_s} \text{ (一正两负)} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $J_s$  —— 电解槽的电流密度，单位为安培每平方米（A/m<sup>2</sup>）；
- $I_s$  —— 电解槽的输入电流，单位为安培（A）；
- $A_s$  —— 电解槽的电机活性区面积，单位为平方米（m<sup>2</sup>）。

### 9.2.3.4 产氢量

电解槽的标称产氢量按照式（10）或式（11）计算：

$$F_n = \frac{I_s N_s \eta_c}{2391.5} \text{ (一正一负)} \dots\dots\dots (10)$$

$$F_n = \frac{(I_s/2) N_s \eta_c}{2391.5} \text{ (一正两负)} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $F_n$  —— 电解槽的标称产氢量，单位为立方米每小时（m<sup>3</sup>/h）；
- $I_s$  —— 电解槽的输入电流，单位为安培（A）；
- $N_s$  —— 电解槽的小室个数，单位为个；
- $\eta_c$  —— 电解水制氢系统的电流效率，%；
- 2391.5 —— 标准状况下制取 1 m<sup>3</sup> 氢气所需的理论电量，单位为安培小时每立方米（A·h/m<sup>3</sup>）。

### 9.2.3.5 实测产氢量

采用容积法进行测量，按以下步骤进行：

- 测试前应对气体储罐的容积 ( $V$ ) 进行测量，可根据设计图纸进行体积尺寸计算，或采用注水法直接测量储罐的水容积。气体储罐的容积建议至少能存储电解水制氢系统 2 h 的产氢量；
- 当系统达到 9.2.2a) ~ 9.2.2d) 的要求后，开始进行测试；
- 记录测试开始时刻 ( $t_{ts}$ ) 和此时的储罐内气体压力 ( $p_{ts}$ ) 和温度 ( $T_{ts}$ )，然后打开气体储罐入口阀门，关闭旁路阀门和出口阀门，开始进行气体充灌；
- 经至少 1 h 的气体充灌后，关闭气体储罐入口阀门，打开旁路阀门，将系统所产氢气引入其他旁路，记录测试结束时刻 ( $t_{te}$ )；
- 静置一段时间，待储罐内部温度均匀后记录储罐内气体压力 ( $p_{te}$ ) 和温度 ( $T_{te}$ )。具体静置时间与测试环境条件和储罐体积相关，根据现场实际情况确定。

根据理想气体的体积计算方法，改稳态运行过程中的平均氢气产量按式 (12) 计算：

$$F_p = \frac{T_0 V}{p_0 (t_{te} - t_{ts})} \left( \frac{p_{te}}{T_{te}} - \frac{p_{ts}}{T_{ts}} \right) \dots \dots \dots (12)$$

式中：

- $F_p$  —— 实测产氢量，单位为立方米每小时 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )；
- $T_0$  —— 标准状况的气体温度，单位为开尔文 (K)，取值为 273.15 K；
- $V$  —— 气体储罐的水容积，单位为立方米 ( $\text{m}^3$ )；
- $p_0$  —— 标准状况的气体压力，单位为帕斯卡 (Pa)，取值为 101325 Pa；
- $t_{te}$  —— 测试结束时刻；
- $t_{ts}$  —— 测试开始时刻；
- $p_{te}$  —— 测试结束静置后的储罐的气体压力，单位为帕斯卡 (Pa)；
- $p_{ts}$  —— 测试开始时刻的储罐的气体压力，单位为帕斯卡 (Pa)；
- $T_{te}$  —— 测试结束静置后的储罐的气体温度，单位为开尔文 (K)；
- $T_{ts}$  —— 测试开始时刻的储罐的气体温度，单位为开尔文 (K)。

### 9.2.3.6 电流效率

电流效率的计算依据电解水制氢时的法拉第定律，在标准状况下，制取  $1 \text{ m}^3$  氢气所需理论电量为  $2391.5 \text{ A} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，对应氢气产量下所需理论电流为  $2391.5 \times F_p$ 。电解水制氢系统的电流效率按式(13)或式(14)计算：

$$\eta_c = \frac{2391.5 \times F_p}{I_s \times N_s} \times 100\% \text{ (一正一负)} \dots \dots \dots (13)$$

$$\eta_c = \frac{2391.5 \times F_p}{(I_s/2) \times N_s} \times 100\% \text{ (一正两负)} \dots \dots \dots (14)$$

式中：

- $\eta_c$  —— 电解水制氢系统的电流效率；
- $F_p$  —— 实测产氢量，单位为立方米每小时 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )；
- $I_s$  —— 电解槽的输入电流，单位为安培 (A)；
- $N_s$  —— 电解槽的小室个数，单位为个。

## 10 测试报告

测试报告应至少包含以下内容：

- a) 测试日期；
  - b) 测试对象；
  - c) 所使用的标准；
  - d) 测试场所；
  - e) 测试边界以及测试边界范围内的设备组成和主要技术参数；
  - f) 测量仪器安装位置；
  - g) 测试条件, 包括: 环境条件等, 若电解水制氢系统的电源转换单元、电解槽、气液分离系统、气体纯化系统、公用工程等处于不同的厂房或构筑物, 应记录所有设备所处场所的环境温度和湿度；
  - h) 测试系统的额定工况参数；
  - i) 测试方法；
  - j) 测试结果。
-