

T/CRES
T/CERS

中国可再生能源学会标准

T/CRES0037-2025
T/CERS0084-2025

平板式固体氧化物燃料电池 电池堆运行性能评价规范

Evaluation specification of operation performance for
planar solid oxide fuel cell stack

2025-07-17 发布

2025-08-16 实施

中国可再生能源学会
中国能源研究会

联合发布

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 符号	1
5 电池堆性能评价体系	2
6 电池堆性能评价合格性要求	3
7 电池堆性能测试方法	3
8 电池堆性能评价文件	5
参 考 文 献	7

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。

本文件由中国石油大学（华东）提出。

本文件由中国可再生能源学会和中国能源研究会联合归口及发布。

本文件起草单位：中国石油大学（华东）、中弗（无锡）新能源有限公司、中国矿业大学、天津大学、北京京能数字科技有限公司、中国科学院大连化学物理研究所、西南石油大学、清华大学、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、常州大学、中国科学院上海应用物理研究所、浙江氢邦科技有限公司、华东理工大学、中广核研究院有限公司、泛氢（上海）科技有限公司、山东科技大学、青岛理工大学、青岛质子动力科技有限公司。

本文件主要起草人：蒋文春、罗云、张秀成、王绍荣、张清贵、王世学、雷廷宙、程谟杰、周晓亮、官万兵、肖国萍、陈旭谦、刘荣军、岑岭山，张玉财、宋明、郑红祥、石亚洲、潘虎、董新良、张倩、安青松、朱禹、李晓江、王子曦、涂宝峰、周帼彦、王鑫鑫、汪玉、万娱、杨滨、周凡、王胜昆、杨钧、田云峰、李加杰、张旸、崔天成、洪春峰、邓飞、张彦欣、胡凯、孙锐、吕大伟。

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。

平板式固体氧化物燃料电池 电池堆运行性能评价规范

1 范围

本文件规定了固体氧化物燃料电池电池堆运行性能的评价体系、性能评价合格性要求、性能测试方法以及性能评价文件等方面的要求。

本文件适用于平板式氧离子传导型固体氧化物燃料电池电池堆的性能测试评价。

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，其最新版本适用于本文件。

GB/T 34582 固体氧化物燃料电池单电池和电池堆性能试验方法

NB/T 10193 固体氧化物燃料电池 术语

NB/T 10671 固体氧化物燃料电池 模块 通用安全技术导则

NB/T 10821 固体氧化物燃料电池 电池堆测试方法

IEC TS 62282-7-2 燃料电池技术-第 7-2 部分-试验方法-固体氧化物燃料电池

3 术语和定义

GB/T 34582、NB/T 10193、NB/T 10671、NB/T 10821 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热循环周期 thermal cycling period

电池堆以规定的高低温实现一个热循环的周期。

3.2

热循环衰减率 degradation ratio under thermal cycling state

电池堆在完成规定次数的热循环周期后在规定的稳定状态运行条件下输出电压的平均变化率。

3.3

稳定运行衰减率 degradation ratio under stable operation state

电池堆在规定的稳定状态运行条件下，在给定的时间周期内，输出电压的平均变化率。

3.4

电池堆进出口最大允许温度差 maximum temperature difference between the inlet and outlet of the fuel cell stack

电池堆运行过程中燃料进口与出口处的气体温度之差、空气进口与出口处的气体温度之差两者中的最大值。

4 符号

本文件中使用的符号及含义与单位见表 1，包括恰当的计量单位。

表 1 电池堆热/电性能的符号及其含义

符号	定义	单位
U_{OC}	开路电压	V
U	电池堆输出电压（近堆端）	V
U_1	在稳定性测试/热循环测试前电池堆输出电压	V
U_2	在稳定性测试/热循环测试后电池堆输出电压	V
U_{max}	电池堆中各重复单元电压最大值	V
U_{min}	电池堆中各重复单元电压最小值	V
n	重复单元数量	/
ΔU	电池堆中各重复单元电压最大值与最小值的差值	V
I	稳态状态下的工作电流	A
P_{out}	电池堆输出功率	W
η_1	稳定运行衰减率	%/kh
t	进行稳定运行衰减率测试的持续时间	kh
N	热循环次数	/
η_{ch}	热循环衰减率	%/次
η	电池堆发电效率	%
q_{fuel}	电池堆稳定运行条件下输入的燃料流量	L/min
η_{fuel}	燃料利用率	%

5 电池堆性能评价体系

性能评价体系包括安全指标和性能指标两个部分，具体分类如表2所示。

表2 平板式SOFC电池堆性能评价体系

安全指标	气密性
	绝缘电阻
性能指标	开路电压
	发电功率
	电池堆中重复单元电压一致性
	电池堆进出口最大允许温度差
	发电效率
	燃料利用率
	稳定运行衰减率
	热循环衰减率
	连续运行时间

6 电池堆性能评价合格性要求

6.1 安全指标评价合格性要求

6.1.1 气密性

在运行温度下，采用气压保持法检测气密性，分别向阳极侧和阴极侧通入一定初始压力（推荐 3kPa）的氮气，在保压 1 min 后，压力降低值不超过初始压力值的 1%。

6.1.2 绝缘电阻

在电池堆处于热待机状态，且温度达到工作温度时，用 500V 兆欧表，检测对地绝缘电阻不小于 0.15MΩ。

6.2 性能指标评价合格性要求

6.2.1 开路电压

电池堆开路电压需大于电池堆中的重复单元数量 n × 单层理论开路电压 V （重复单元数量、单层理论开路电压由制造商给定，单层理论开路电压推荐值为 1.1V，以工业氢^①为燃料，在指定工作温度下测试）。

6.2.2 发电功率

由制造商或用户自主确定。

6.2.3 电池堆中重复单元电压一致性

由制造商自主确定；推荐电池堆中各重复单元电压最大偏差不大于 80mV（在指定燃料流量、工作温度及额定工作电流下测试）。

6.2.4 电池堆进出口最大允许温度差

电池堆运行过程中燃料侧/空气侧入口与出口处气体温度差中两者中的最大值不大于 100℃（在指定燃料流量及工作温度下测试）。

6.2.5 发电效率

由制造商或用户自主确定；推荐发电效率不小于 50%（在指定燃料流量、工作温度及额定工作电流下测试，燃料类型为工业氢^①）。

6.2.6 燃料利用率

由制造商或用户自主确定；推荐燃料利用率不小于 75%（在指定燃料流量、工作温度及额定工作电流下测试，燃料类型为工业氢^①，测试系统不带阳极尾气循环）。

6.2.7 稳定运行衰减率

由制造商或用户自主确定；推荐稳定运行衰减率不超过 1%/kh（额定功率输出）。

6.2.8 热循环衰减率

由制造商或用户自主确定；推荐热循环衰减率不高于 0.2%/次（10 次以上）。

6.2.9 连续运行时间

由制造商或用户自主确定；推荐连续运行时间不低于 168h 以上（在额定功率输出下稳定运行）。

^①注：工业氢纯度及杂质成分要求参照 GB/T 3634.1 执行。

7 电池堆性能测试方法

7.1 测试总则

本标准适用的测试条件及测试范围按照[NB/T 10821-2021, 6.1]执行。

7.2 安全指标测试方法

7.2.1 气密性

测试方法和步骤按照[NB/T 10671-2021, 5.2]执行。

7.2.2 绝缘电阻

测试方法和步骤按照[NB/T 10671-2021, 5.4]执行。

7.3 性能指标测试方法

7.3.1 开路电压

将电池堆置于测试总则的规定条件下，电池堆活化后达到稳定状态时，每 10min 测试并记录电池堆的开路电压，共记录 3 次，取平均值，作为该电池堆的开路电压。

7.3.2 发电功率

测试方法及步骤按照[GB/T 34582-2017, 10.1]执行。以测试时间段内电池堆平均输出电压与稳态电流的乘积作为电池堆发电功率：

$$P_{out} = I \times U \dots\dots\dots (1)$$

7.3.3 电池堆中重复单元电压一致性

测试方法及步骤如下：

- a) 参考测试总则中对起始活化的规定对电池堆进行还原和起始活化；
- b) 阳极通入燃料，阴极通入空气。阶梯式改变电流，从 0A 开始，依次增加一定幅值电流（具体增幅可与制造商协商确定，推荐值 1A），直至额定电流，记录对应的电流、电压；
- c) 保持系统工况参数不变，稳定运行 1h 后，分别测量并记录电池堆中各重复单元的实时电压，每 10min 记录一次电压值，共记录 3 次。
- d) 计算电池堆中各重复单元电压最大值与最小值的差值，取 3 次测量的平均值，表示重复单元电压一致性：

$$\Delta U = U_{max} - U_{min} \dots\dots\dots (2)$$

7.3.4 电池堆进出口最大允许温度差

测试方法及步骤如下：

电池堆达到稳定工作状态时，记录燃料侧/空气侧入口与出口处的气体温度，每 5min 记录一次，共记录 3 次。分别计算燃料侧入口与出口的温度差和空气侧入口与出口的温度差，3 次计算取平均值，作为该电池堆的燃料侧/空气侧进出口温度差，取燃料侧进出口温度差与空气侧进出口温度差两者中的最大值作为电池堆进出口温度差。

7.3.5 发电效率

测试方法及步骤如下：

- a) 参考测试总则中对起始活化与还原的规定对电池堆进行还原和起始活化；
- b) 阳极通入氢气，阴极通入空气。阶梯式改变电流，从 0A 开始，依次增加一定幅值电流（具体增幅可与制造商协商确定，推荐值 1A），直至额定电流，记录对应的电流、电压；
- c) 保持系统工况参数不变，稳定运行 1h 后，开始记录电子负载稳态电流值、电池堆近堆端输出电压值。测试 3 次，每两次测试间隔 10min，计算平均电压值。
- d) 在测量电池堆电压、电流时，同步测量、记录燃料质量流量控制器所指示的电池堆进气的流量 q_{fuel} （氢气低位热值 LHV 为 241.72kJ/mol）。
- e) 计算电池堆发电效率 η ，用 % 表示，发电效率的计算公式如下：

$$\eta = \frac{P_{\text{out}} \times 60 \times 22.4}{q_{\text{fuel}} \times LHV} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

7.3.6 燃料利用率

测试方法及步骤按照[GB/T 34582-2017, 10.3]执行。指参与电化学反应、产生额定电流的燃料的量和进入电池堆的燃料总量的比值，推荐在恒定阳极气体流量情况下增加电流来进行测试。

7.4.7 稳定运行衰减率

测试方法及步骤按照[GB/T 34582-2017, 10.4]执行。采用稳定工况下运行 t 时间后电池堆输出电压的变化率表示稳定运行衰减率 η_1 ：

$$\eta_1 = \frac{U_1 - U_2}{U_1 \times t} \dots\dots\dots (4)$$

7.4.8 热循环衰减率

测试方法及步骤按照[GB/T 34582-2017, 10.5]执行。采用N次热循环周期后电池堆输出电压变化率表示热循环衰减率 η_{ch} ：

$$\eta_{\text{ch}} = \frac{U_1 - U_2}{U_1 \times N} \dots\dots\dots (5)$$

7.4.9 连续运行时间

测试方法及步骤按照[GB/T 34582-2017, 10.4]执行。

8 电池堆性能评价文件

8.1 概述

电池堆性能评价文件应准确、清晰并客观地表达出充分的信息以证明电池堆性能检验的所有目的已经达到，并给出检验结论，包括性能检验报告和性能测试报告两个部分。

8.2 性能检验报告内容

性能评价文件至少包括以下信息：

- a) 报告题目；
- b) 报告作者；
- c) 报告日期；
- d) 报告参考号或编号；
- e) 检验或验收地点和（开始）日期/时间；
- f) 使用的检验平台或设备；
- g) 检验单元数据（见8.3）；
- h) 检验项目测试数据（见8.4）；
- i) 检验结论。

8.3 检验单元数据描述

检验单元数据应至少包括如下信息：

T/GRES0037-2025

T/GERS0084-2025

- a) 电池堆的制造商；
- b) 电池堆编号；
- c) 电池堆制造日期；
- d) 电池堆的性能参数：发电功率、发电效率、额定电压、额定电流、额定工作气体流量等；
- e) 电池堆的规格：几何尺寸、单电池片数目、有效面积等。

8.4 检验项目测试数据描述

检验项目测试数据描述应至少包括如下信息：

- a) 检验名称；
- b) 检验运行条件；
- c) 检验测试结果；
- d) 检验测试条件。

8.5 性能测试报告

按照[GB/T 34582-2017, 11]中规定执行。

8.6 性能评价文件

需要包括以下项目：

- a) 电池堆编号；
- b) 评价指标；
- c) 测试数据；
- d) 指标评价结论；
- e) 性能检验报告；
- f) 性能测试报告。

参 考 文 献

- [1] GB/T 34582-2017 固体氧化物燃料电池单电池和电池堆性能试验方法
 - [2] NB/T 10193-2019 固体氧化物燃料电池 术语
 - [3] NB/T 10821-2021 固体氧化物燃料电池 电池堆测试方法
 - [4] NB/T 10822-2021 固体氧化物燃料电池 小型固定式发电系统通用安全技术导则
 - [5] IEC TS 62282-7-2-2014 燃料电池技术-第7-2部分-试验方法-固体氧化物燃料电池(SOFC)
 - [6] NB/T 10671-2021 固体氧化物燃料电池模块通用安全技术导则
-

全国团体标准信息平台