

团 体 标 准

T/DZJN 296—2024

太阳能电池电性能检测技术规范

Technical Specification for electrical performance testing of solar cells

2024 - 08 - 10 发布

2024 - 08 - 10 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 仪器装置 3

5 样品规格和样品标号 3

6 测量要求 3

7 测试步骤 3

8 结果处理 4

9 检测结果记录与报告 4

10 标准太阳能电池的维护 4

附录 A（规范性） 太阳模拟器等级 6

附录 B（规范性） 实测 I-V 特性修正方法 7

附录 C（资料性） 检测报告 8

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。

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专利的责任。

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：宁波欧达光电有限公司、安徽华晟新能源科技股份有限公司、正泰新能科技股份有限公司、山西中来光能电池科技有限公司、江苏中清国投实业发展集团有限公司、重庆渝泰新能源科技有限公司、新疆大学智能制造现代产业学院、上海电机学院、北京世联中科国际能源应用科学研究院、北京汇文育才标准化技术服务有限公司

本文件主要起草人：谢小两、庞健、徐敏伟、魏文文、何胜、佟云飞、张耕、虞斌、王佳佳、贺正鸿、龚天祥、陈兵、陈洁、祁永庆、衣殿霞

太阳能电池电性能检测技术规范

1 范围

本文件规定了在稳态模拟太阳光下太阳能电池电性能检测的仪器装置、样品、测量要求、测试步骤、结果处理和报告等内容。

本文件适用于地面用太阳能电池的电性能检测，包括短路电流、开路电压、最大功率、最佳工作电压和最佳工作电流等。

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 6495.1 光伏器件 第 1 部分：光伏电流-电压特性的测量
- GB/T 6495.2 光伏器件 第 2 部分：标准太阳电池的要求
- GB/T 6495.4 晶体硅光伏器件的 I-V 实测特性的温度和辐照度修正方法
- GB/T 6495.9 光伏器件 第 9 部分：太阳模拟器性能要求
- GB/T 26071 太阳能电池用硅单晶片
- GB/T 27025 检测和校准实验室能力的通用要求
- GB/T 29055 太阳能电池用多晶硅片
- IEC 60904-7 光伏器件测量过程中引起的光谱失配误差的计算（Photovoltaic devices - Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

太阳能电池 solar cell

将太阳辐射能直接转换成电能的一种器件。

3.2

硅太阳能电池 silicon solar cell

以硅为基体材料的太阳能电池。

3.3

单晶硅太阳能电池 single crystalline silicon solar cell

以单晶硅为基体材料的太阳能电池。

3.4

多晶硅太阳能电池 polycrystalline silicon solar cell

以多晶硅为基体材料的太阳能电池。

3.5

太阳能电池面积 solar cell area

太阳能电池全部光照面（含栅线）的面积。

3.6

单体太阳能电池 single solar cell

具有正、负电极并能把太阳辐射能转换成电能的最小太阳能电池单元。

- 3.7
单体太阳能电池的有效光照面积 active area of a solar cell
单体太阳能电池受光面的几何面积与电极所占面积的差值。
- 3.8
太阳能电池的伏安特性曲线 I-V characteristic curve of solar cell
太阳能电池在一定的辐照度和温度以及不同的外电路负载下，流入负载的电流 I 和电池端电压 V 的关系曲线。
- 3.9
短路电流 short-circuit current
在一定的辐照度和温度条件下，太阳能电池在端电压为零时的输出电流，通常用 I_{SC} 表示。
- 3.10
开路电压 open-circuit voltage
在一定的辐照度和温度条件下，太阳能电池在空载（开路）情况下的端电压，通常用 V_{OC} 来表示。
- 3.11
最大功率 maximum power
在太阳能电池的伏安特性曲线上，电流和电压乘积的最大值，通常用 P_m 来表示。
- 3.12
最大功率点 maximum power point
在太阳能电池的伏安特性曲线上对应最大功率的点。
- 3.13
最佳工作电压 optimum operating voltage
在太阳能电池的伏安特性曲线上最大功率点所对应的电压，通常用 V_m 来表示。
- 3.14
最佳工作电流 optimum operating current
在太阳能电池的伏安特性曲线上最大功率点所对应的电流，通常用 I_m 来表示。
- 3.15
填充因子 fill factor
太阳能电池的最大功率与开路电压和短路电流乘积之比，通常用 FF 来表示。
- 3.16
转换效率 conversion efficiency
太阳能电池的最大功率与入射到该太阳能电池上的全部辐射功率的百分比，通常用 η 来表示。
- 3.17
电流温度系数 current temperature coefficient
在规定的试验条件下，被测太阳能电池温度每变化 1°C ，太阳能电池短路电流的变化值，通常用 α 来表示。
- 3.18
电压温度系数 voltage temperature coefficient
在规定的试验条件下，被测太阳能电池温度每变化 1°C ，太阳能电池开路电压的变化值，通常用 β 来表示。
- 3.19
太阳模拟器 solar simulator
模拟太阳光谱和辐照度的一种光源设备，通常用作测试太阳能电池电性能的光源。
- 3.20
稳态太阳模拟器 steady solar simulator
能够连续、稳定发光的太阳模拟器。
- 3.21
大气质量 1.5 条件 air mass 1.5 condition

标定和测试地面用太阳能电池所规定的太阳光谱辐照度分布，通常用 $AM1.5$ 来表示。

3.22

标准测试条件 standard test condition

太阳能电池的温度为 25 ± 2 °C，光源辐照度为 1000 W/m^2 ，太阳光谱辐照度分布为 $AM1.5$ 的条件，通常用 STC 来表示。

3.23

标准太阳能电池 reference solar cell

以标准太阳光谱辐照度分布为基准用于测量辐照度或调整太阳模拟器辐照度的太阳能电池。

3.24

光谱响应 spectral response

太阳能电池对不同波长入射光能转换成电能的能力。

4 仪器装置

太阳能电池电性能检测所需仪器装置应包括：

- 符合 GB/T 6495.9 规定的 C 级或更高级别的稳态太阳模拟器，太阳模拟器等级应符合附录 A 中的要求；
- 带积分器的辐照度检测装置；
- 电池和标准太阳能电池共平面的测试平台；
- 测量精度为 ± 1 °C 的温度测量装置；
- 使测试平台与入射光线保持垂直的装置；
- 符合 GB/T 6495.1 规定的测量 I-V 的装置；
- 符合 GB/T 6495.2 规定的标准太阳能电池。

5 样品规格和样品标号

5.1 样品规格

待测晶硅太阳能电池样品规格应符合 GB/T 26071 或 GB/T 29055 的规定。

5.2 样品标号

待测太阳能电池样品应带有清晰且不易抹掉的标号，以便查找相应的数据单。

6 测量要求

6.1 测量辐照度应使用经过标定的标准太阳能电池。

6.2 标准太阳能电池与被测样品的温度测量准确度应不超过 ± 1 °C。如果标准太阳能电池的实测温度与标定温度之差大于 2 °C，应对标定值按实测温度进行校正。

6.3 被测样品的有效面与标准太阳能电池的有效面应在同一个平面内，偏差在 $\pm 5^\circ$ 以内。

6.4 测量电压与电流时应从试样引出端上分别引出导线，电压和电流的测量准确度应达到 $\pm 0.5\%$ 。

6.5 短路电流应在零电压条件下测量。

6.6 电压表的内阻应不低于 $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ 。

6.7 测试所用的全部仪器均应经过校准，以保证达到测量所需要的精确度。

6.8 标准太阳能电池宜与样品具有相同的光谱响应。

6.9 C 级或更高级别的太阳模拟器应进行光谱失配修正，修正方法应符合 IEC 60904-7 的规定。

7 测试步骤

- 7.1 标准太阳能电池的有效面应安装在测试平面内，它的法线与光束的中心线平行，偏差小于 $\pm 5^\circ$ 。
- 7.2 调整测试平面上的辐照度，使标准太阳能电池的短路电流达到标准测试条件所要求的标定值。
- 7.3 取走标准太阳能电池，按 7.1 条的规定安装被测样品。对于被测样品是双面太阳能电池的情况，应分别将双面太阳能电池的正面和背面朝向太阳模拟器进行测试。
- 7.4 在不改变太阳模拟器设置的条件下，记录试样的电流-电压特性及温度。如果温度不能调控，应使被测样品不受光束照射，直到被测样品的温度与周围环境温度一致，偏差在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 内，再进行测量。
- 7.5 如果试样的测试温度不是 25°C ，则应按 GB/T 6495.4 的规定，将实测的电流-电压特性修正到标准测试条件。晶体硅太阳能电池的实测 I-V 特性应按照附录 B 中的公式进行修正 P_{in} 。

8 结果处理

- 8.1 太阳能电池的填充因子按下式计算：

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc} \times U_{oc}} \quad (1)$$

式中：

FF ——太阳能电池的填充因子；

P_m ——太阳能电池的最大功率，W；

I_{sc} ——太阳能电池的短路电流，A；

U_{oc} ——太阳能电池的开路电压，V。

- 8.2 太阳能电池的转换效率按下式计算：

$$\eta = \frac{P_m}{A \times P_{in}} \quad (2)$$

式中：

η ——太阳能电池的转换效率；

A ——太阳能电池的面积， m^2 ；

P_{in} ——单位面积上的入射光功率， $1000\text{W}/\text{m}^2$ 。

9 检测结果记录与报告

检测报告见附录 C，应符合 GB/T 27025 的要求，包含下列信息：

- 样品的说明和标号；
- 太阳模拟器的等级；
- 测试环境的温度；
- 标准测试条件下的短路电流；
- 标准测试条件下的开路电压；
- 标准测试条件下的最大功率；
- 标准测试条件下的最佳工作电压；
- 标准测试条件下的最佳工作电流；
- 标准测试条件下的填充因子；
- 标准测试条件下的转换效率。

10 标准太阳能电池的维护

- 10.1 应保持标准太阳能电池的封装窗口清洁，避免划痕。
- 10.2 应防止无封装的标准太阳能电池遭受损伤、污染或衰变。
- 10.3 经常使用的标准太阳能电池的标定值应至少一个月校对一次，在相同辐照度下比较每次的短路电流。如果短路电流之比的变化值超出 $\pm 1\%$ ，应重新对标准太阳能电池进行标定。
- 10.4 标准太阳能电池至少每 12 个月标定一次。

10.5 标准太阳能电池的标定应符合 GB/T 6495.2 的规定。

附录 A (规范性) 太阳模拟器等级

A.1 光谱匹配

太阳模拟器光谱辐照度分布应与标准光谱辐照度分布匹配。太阳模拟器光谱匹配度的等级见表 A.1，太阳模拟器标准光谱辐照度分布见表 A.2。

A.2 均匀度

在测试平面上，指定测试区域内的辐照度应达到一定的均匀度，辐照度用专业的探测器测量，表 A.1 规定了相应等级太阳模拟器均匀性的要求。对于太阳能电池，探测器最大尺寸应小于电池最小尺寸的一半。

$$\text{不均匀度} = \pm \frac{\text{最大辐照度} - \text{最小辐照度}}{\text{最大辐照度} + \text{最小辐照度}} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

其中，最大辐照度与最小辐照度是在指定范围内探测器在任意指定点的测量值（已对辐照不稳定性给予修正）。

A.3 辐照稳定度

数据采集期间，辐照度应具有一定的稳定度，表 A.1 规定了太阳模拟器的辐照稳定度等级。

$$\text{不稳定性} = \pm \frac{\text{最大辐照度} - \text{最小辐照度}}{\text{最大辐照度} + \text{最小辐照度}} \times 100\% \quad (\text{A.2})$$

其中，最大辐照度与最小辐照度是数据采集期间在测试平面内探测器在任意指定点的测量值。

表 A.1 太阳模拟器等级分类

特性	等级A+	等级A	等级B	等级C
光谱匹配度（每个波长范围实际测试的总辐照度的百分比与表 A.2 列出的标准光谱辐照度分布的百分比的比率）	0.875~1.125	0.75~1.25	0.6~1.4	0.4~2.0
辐照不均匀度	$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 5\%$	$\leq \pm 10\%$
短期不稳定性	$\leq \pm 0.25\%$	$\leq \pm 0.5\%$	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 10\%$
长期不稳定性	$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 5\%$	$\leq \pm 10\%$

表 A.2 标准光谱辐照度分布

波长范围[nm]	波长 300nm 到 1200nm 之间总辐照度的百分比[%]
300 ~ 470	16.61
470 ~ 561	16.74
561 ~ 657	16.67
657 ~ 772	16.63
772 ~ 919	16.66
919 ~ 1200	16.69

附录 B (规范性) 实测 I-V 特性修正方法

B.1 实测 I-V 特性修正方法

实测 I-V 特性应按照以下公式修正到标准测试条件 (STC) :

$$I_2 = I_1 + I_{sc} \left(\frac{I_{SR}}{I_{MR}} - 1 \right) + \alpha(T_2 - T_1) \quad (\text{B. 1})$$

$$V_2 = V_1 - R_S(I_2 - I_1) - KI_2(T_2 - T_1) + \beta(T_2 - T_1) \quad (\text{B. 2})$$

式中:

I_1, V_1 —— 实测特性点的坐标;

I_2, V_2 —— 修正特性对应点的坐标;

α 和 β —— 试样在标准辐照度下的电流温度系数和电压温度系数;

I_{SC} —— 试样的实测短路电流;

I_{MR} —— 标准太阳能电池的实测短路电流;

I_{SR} —— 标准太阳能电池在标准辐照度下的短路电流;

T_1 —— 试样的实测温度;

T_2 —— 标准温度;

R_S —— 试样的内部串联电阻;

K —— 曲线修正系数。

附录 C
(资料性)
检测报告

C.1 太阳能电池电性能检测报告

太阳能电池电性能检测报告见表 C.1 。

表 C.1 太阳能电池电性能检测报告

设备名称		测试温度		模拟器等级			
样品标号	正面测试的电性能参数（已修正至STC下）						
	I_{SC} [A]	U_{OC} [V]	P_m [W]	I_m [A]	U_m [V]	FF [%]	η [%]
背面测试的电性能参数*）（已修正至STC下）							
	I_{SC} [A]	U_{OC} [V]	P_m [W]	I_m [A]	U_m [V]	FF [%]	η [%]
注：*）背面测试的电性能参数仅适用于双面太阳能电池的背面测试。 I_{SC} ——电流， U_{OC} ——开路电压， P_m ——最大功率， U_m ——最佳工作电压， I_m ——最佳工作电流， FF ——填充因子， η ——转换效率。							