

T/JLA

福建省计量测试学会团体标准

T/JLA XXXX—XXXX

钙钛矿光伏器件 I-V 特性参数的温度系数 测量方法

Measurement method to determine temperature coefficients of I-V characteristic
parameters for perovskite photovoltaic devices

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

福建省计量测试学会 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 环境条件与测量设备 2

 4.1 环境条件 2

 4.2 电性能参数测量设备 2

5 测量程序 2

6 测量方法 3

 6.1 准备工作 3

 6.2 温度控制 4

 6.3 I - V 特性测量 4

 6.4 I - V 特性参数的温度系数计算 4

7 测试报告 5

附 录 A （资料性） 钙钛矿光伏器件 I - V 特性参数的温度系数测量实例 6

 A.1 钙钛矿光伏器件 I - V 特性参数的温度系数测量 6

参 考 文 献 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。

本文件由福建江夏学院提出。

本文件由福建省计量测试学会归口。

本文件起草单位：福建江夏学院、广东脉络能源科技有限公司、福耀高性能玻璃（福建）有限公司、浙江晶科能源有限公司、福建旭展新能源科技有限公司、国兴能（广东）能源科技有限公司、福建农林大学。

本文件主要起草人：×××。

钙钛矿光伏器件 I-V 特性参数的温度系数测量方法

1 范围

本文件规定了钙钛矿光伏器件*I-V*特性参数的温度系数测量方法的测量设备要求、测量条件要求、技术要求及试验方法。

本文件可用于测量各种结构和成分的钙钛矿太阳电池开路电压、短路电流、最大功率的温度系数，为钙钛矿太阳电池及组件的研发、测试、生产等环节提供参考。

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。

ISO/IEC 17025 检测及校准实验室能力通用要求（General requirements for the competence of testing and calibration laboratories）

IEC 60891 光伏器件 测定*I-V*特性的温度和辐照度校正方法用程序（Photovoltaic devices-Procedures for temperature and irradiance corrections to measured *I-V* characteristics）

IEC 60904-1 光伏器件 第1部分：光伏电流-电压特性的测量（Photovoltaic devices-Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics）

IEC 60904-2 光伏器件 第2部分：参考太阳能器件的要求（Photovoltaic devices-Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices）

IEC 60904-4 光伏器件 第4部分：参考太阳能装置建立校准溯源性的程序（Photovoltaic devices-Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data）

IEC 60904-7 光伏器件 第7部分：光伏器件测量的光谱失配修正计算（Photovoltaic devices-Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices）

IEC 60904-9 光伏器件 第9部分：太阳模拟器特性的分类（Photovoltaic devices-Part 9: Solar simulator performance requirements）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

标准测试条件 standard test conditions; STC

光源总辐照度为 1000 W/m²，具有 AM 1.5G 太阳光谱辐照分布，测试温度为(25.0±2.0)°C，且用于标准太阳电池测量的测试条件。

注1：AM1.5G太阳光谱数据引自IEC 60904-3。

注2：标准测试条件的引自IEC 60904-1。

3.2

标定值 calibrated value

标准太阳电池在标准测试条件（STC）下产生的短路电流值。

3.3

太阳电池 *I-V*特性曲线 *I-V* characteristic curve of solar cell

受光照的太阳电池，在一定的辐照度和温度以及不同的外电路负载下，负载的电流和电压的关系曲线。

3.4

开路电压 open-circuit voltage; V_{oc}

光伏器件在空载（开路）情况下端电压，即 I - V 特性曲线在电压坐标轴的截距。

3.5

短路电流 short-circuit current; I_{sc}

光伏器件在端电压为零时的输出电流，即 I - V 特性曲线在电流坐标轴的截距。

3.6

最大功率 maximum power; P_{max}

光伏器件 I - V 特性曲线上，电流与电压乘积的最大值。

3.7

温度系数 temperature coefficient; TC

在规定的试验条件下，光伏器件温度每变化 1°C ，其电参数（短路电流、开路电压、最大功率）的变化值。

注：通常电流温度系数(current-temperature coefficient)用 α 表示，电压温度系数(voltage-temperature coefficient)用 β 表示，最大功率温度系数(maximum power-temperature coefficient)用 δ 表示。

4 环境条件与测量设备

4.1 环境条件

- a) 温度： $(23.0 \pm 5.0)^{\circ}\text{C}$;
- b) 湿度： $\leq 80\% \text{ RH}$;
- c) 供电电源：电压 $(220 \pm 22) \text{ V}$ ，频率 $(50 \pm 1) \text{ Hz}$;
- d) 其他条件：环境清洁通风、无易燃易爆和腐蚀性气体，光学暗室条件，无影响仪器正常工作的电磁场、机械振动。

4.2 电性能参数测量设备

钙钛矿太阳电池 I - V 特性测量设备包括：

- a) 稳态太阳模拟器：应符合 IEC 60904-9 中规定的 AAA 级要求；
- b) 标准太阳电池：应符合 IEC 60904-2 或 IEC 60904-4 的要求；
- c) 太阳电池功率测试设备：应符合 IEC 60904-1 的要求；
- d) 温度监控设备：应符合 IEC 60904-1 的要求。

5 测量程序

钙钛矿光伏器件温度系数测量程序见图1。

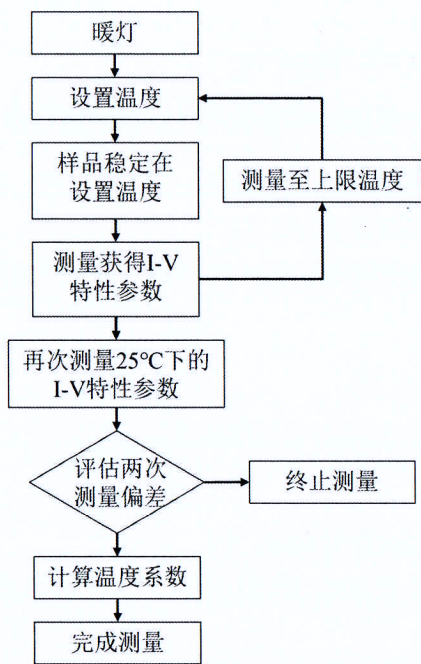


图1 钙钛矿光伏器件温度系数测量程序

6 测量方法

6.1 准备工作

6.1.1 太阳模拟器的校准和调试

按如下步骤进行太阳模拟器的设置。

- a) 开启太阳模拟器，暖机 30 min 以上；
- b) 将标准太阳电池置于测试平台上，调整平台高度使电池位于测试平面内，并确保电池位于太阳模拟器出射光斑的中心位置；
- c) 根据标准太阳电池的标定值（考虑光谱失配修正因子），调整太阳模拟器在样品面上辐照度使得样品所接受辐照度为 $(1000 \pm 20) \text{ W/m}^2$ 。

6.1.2 被测样品的放置和接线

- a) 维持太阳模拟器的设置不变，取下标准太阳电池；
- b) 将导热垫贴敷在钙钛矿光伏器件背面，并固定在温控平台上，调整平台高度，使被测样品的受光面与标准太阳电池的受光面高度一致；
- c) 将贴片式测温探头放置在器件上，测温探头可按需放置，图 2 提供一种放置方式。对于较小面积的样品，可只使用一个测温探头监控温度；面积特别小的样品可使用红外测温仪测温；
- d) 开启 $I-V$ 数据采集装置，将导线与钙钛矿光伏器件的电极引出线相连接，并将测温探头连接至温度监控设备上。

注： $I-V$ 数据采集装置包含源表、数据采集卡、控制软件等。

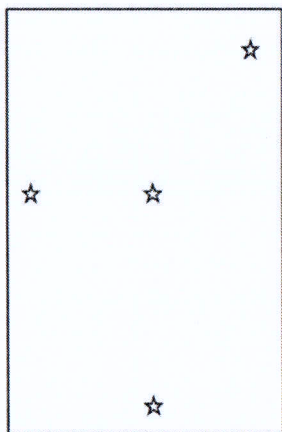


图2 测温探头放置位置示意图

6.2 温度控制

被测器件的温度范围应至少为30℃（如20℃-50℃），且须覆盖25℃，并至少有六个大致相等的步进量。在给定的温度范围内，温度从低温向高温调节，待完成各温度点下器件的*I-V*特性测量后，再将温度降至25℃，测量器件的*I-V*特性。

- 通过测试平台的温控模块调节钙钛矿光伏器件的温度，直至温度监控设备的示值达到目标温度；
- 开启太阳模拟器快门，在光照下对器件控温至少 0.5 h，直至温度稳定；
- 进行 *I-V* 特性测量，测量过程中保持温度在±2℃的范围内；
- 待 *I-V* 特性测量完成后，按步骤 a) 至 c) 进行钙钛矿光伏器件的下一个温度点的控温。

6.3 *I-V*特性测量

- 根据器件情况设置合适的电压扫描范围和电流量程，使用 *I-V* 数据采集装置对钙钛矿光伏器件进行连续的 *I-V* 特性测量；
- 记录器件的 *I-V* 特性和测量时的温度，确定 I_{SC} 、 V_{OC} 和 P_{max} 的值；
- 在不同的温度下完成步骤 a) 和 b)；
- 在 25℃下再进行 *I-V* 特性测量，获得 I_{SC} 、 V_{OC} 和 P_{max} 的值；
- 对比前后两次在 25℃下的测量值，若以相对误差方式表示的两次测量结果的差异在±5%的范围内，表明在指定的温度范围内，温度系数测量结果有效，可进行后续步骤；反之，表明被测器件在测量过程中发生变化，需缩小测量温度范围并重新测量。

6.4 *I-V*特性参数的温度系数计算

- 将 I_{SC} 、 V_{OC} 和 P_{max} 的值作为测量温度的函数，计算每组数据的最小二乘法线性拟合值，并绘制数据点图，以便直观地检查数据点；
- 若最小二乘法线性拟合系数 R^2 大于 0.90，表明 *I-V* 特性参数与温度呈较好的线性关系，温度系数在指定温度范围内有效；反之，需要重新测量以进一步确认 *I-V* 特性参数与温度是否存在线性关系；
- I_{SC} 、 V_{OC} 和 P_{max} 的最小二乘法线性拟合斜率，分别作为被测器件的短路电流温度系数 α 、开路电压温度系数 β 和最大功率温度系数 δ ；
- 将温度系数 α 、 β 和 δ 的值除以 STC 下的短路电流、开路电压和最大功率，得到相对温度系数 α_{rel} 、 β_{rel} 和 δ_{rel} 。

$$\alpha_{rel} = \frac{\alpha}{I_{SC}(STC)} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

α_{rel} ——短路电流相对温度系数；
 α ——短路电流温度系数；
 $I_{sc}(STC)$ ——STC下的短路电流。

$$\beta_{rel} = \frac{\beta}{V_{oc}(STC)} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 β_{rel} ——开路电压相对温度系数；
 β ——开路电压温度系数；
 $V_{oc}(STC)$ ——STC下的开路电压。

$$\delta_{rel} = \frac{\delta}{P_{max}(STC)} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 δ_{rel} ——最大功率相对温度系数；
 δ ——最大功率温度系数；
 $P_{max}(STC)$ ——STC下的最大功率。

7 测试报告

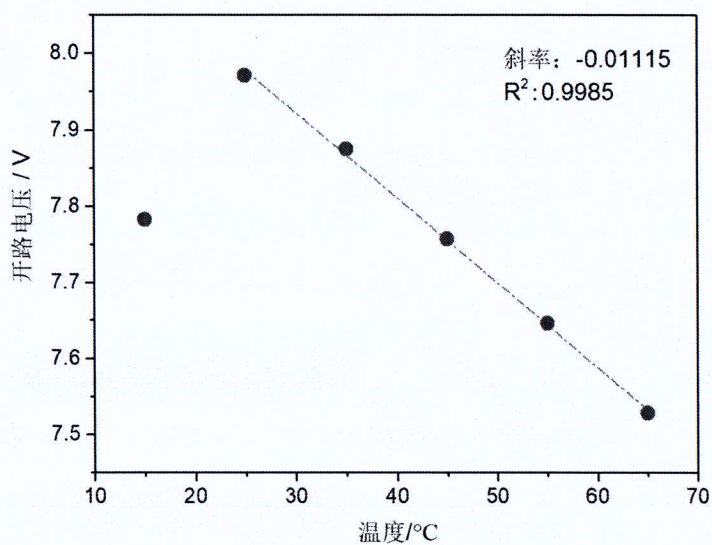
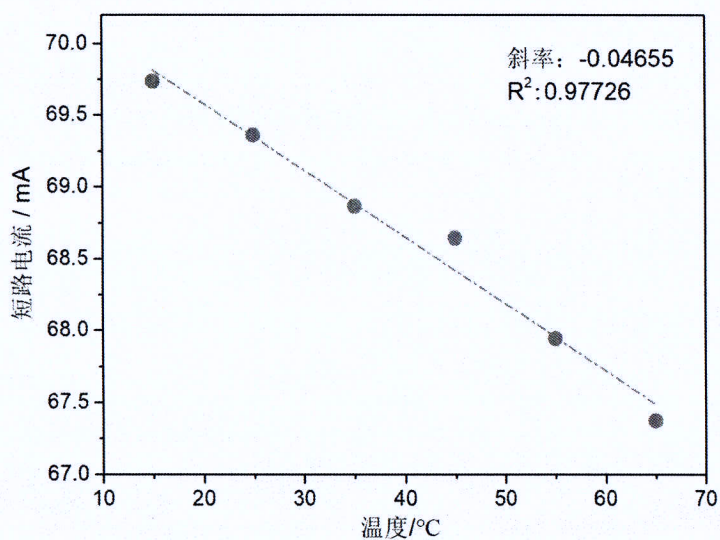
- 测试报告应包含以下内容：
- a) 关于被测样品的描述；
 - b) 测量条件，包括太阳模拟器辐照度、温度探头布置方式、测量温度范围等；
 - c) 被测样品在不同温度下 I - V 特性参数，包括 V_{OC} 、 I_{SC} 、 P_{max} ；
 - d) 二次测量样品在 25℃的 I - V 特性参数，以及以相对误差方式表示的它们与首次测量结果的差异；
 - e) 被测样品的 V_{OC} 、 I_{SC} 、 P_{max} 与温度绘制的数据点图，以及它们的拟合直线、线性拟合系数 R^2 ；
 - f) 被测样品的温度系数，包括 α 、 β 、 δ 、 α_{rel} 、 β_{rel} 和 δ_{rel} 。

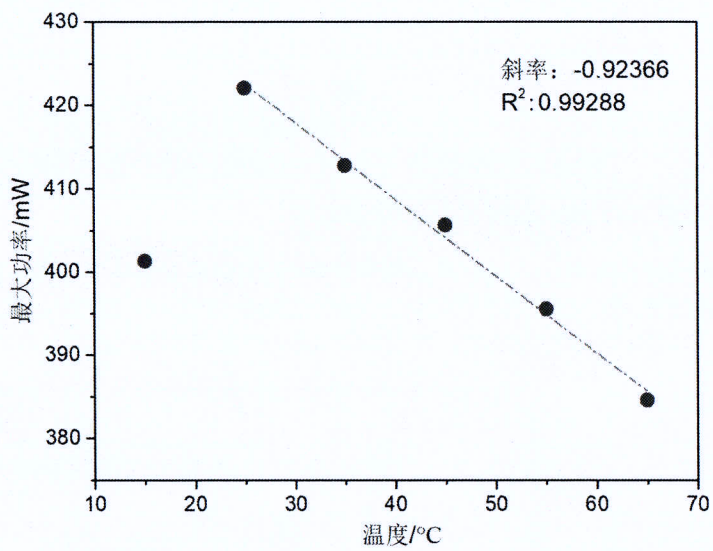
附录 A

(资料性)

钙钛矿光伏器件 I - V 特性参数的温度系数测量实例A.1 钙钛矿光伏器件 I - V 特性参数的温度系数测量

某一钙钛矿光伏器件的 V_{OC} 、 I_{SC} 、 P_{max} 随温度的变化趋势见图A.1、图A.2和图A.3，相应的温度系数及必要信息见表A.1。

图A.1 标准测试条件下，钙钛矿光伏器件的 V_{OC} 随温度的变化图A.2 标准测试条件下，钙钛矿光伏器件的 I_{SC} 随温度的变化



图A.3 标准测试条件下，钙钛矿光伏器件的 $P_{\max}$ 随温度的变化

表A.1 钙钛矿光伏器件温度系数测量结果

温度系数		R^2	相对温度系数		
α	-0.011 V/°C	0.998	α_{rel}	-0.14%/°C	
β	-0.047 mA/°C	0.977	β_{rel}	-0.07%/°C	
δ	-0.924 mW/°C	0.993	δ_{rel}	-0.22%/°C	
STC下的I-V特性参数			两次STC下的I-V特性参数差异		
V_{OC}	I_{SC}	P_{max}	V_{OC}	I_{SC}	P_{max}
7.971	69.357	422.11	0.26%	-2.31%	-2.30%

参 考 文 献

- [1] Jiang Q, Tirawat R, Kerner R A, et al. Towards linking lab and field lifetimes of perovskite solar cells[J]. Nature, 2023, 623(7986): 313-318.
- [2] Dupré O, Vaillon R, Green M A. Physics of the temperature coefficients of solar cells[J]. Solar energy materials and solar cells, 2015, 140: 92-100.
-