

团 体 标 准

T/CPIA 0032—2022

钙钛矿光伏电池及组件的电流-电压(I-V) 特性测量方法

Test method of current-voltage (I-V) characterization of perovskite
photovoltaic cells and modules

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

2022 - 03 - 30 发布

2022 - 04 - 15 实施

中国光伏行业协会 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 设备要求.....	2
5 光伏电池的测量.....	3
6 组件的测量.....	5
7 数据处理.....	6
8 测试报告.....	6
附录 A（资料性） 测试报告.....	8
参考文献.....	11



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。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本文件主要起草单位：中国计量科学研究院、国家太阳能光伏产品质量检验检测中心、北京理工大学、北京大学、北京曜能科技有限公司、中国电子技术标准化研究院、杭州纤纳光电科技有限公司、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、武汉理工大学、常州大学、江南大学、陕西众森电能科技有限公司、莱茵技术（上海）有限公司。

本文件主要起草人：熊利民、恽旻、陈棋、周欢萍、刘桂林、彭勇、刘正新、孟海凤、陈晓达、袁宁一、颜步一、时强、段野、朱冰洁、宰华超、王书博。



钙钛矿光伏电池及组件的电流-电压 ($I-V$) 特性测量方法

1 范围

本文件规定了钙钛矿光伏电池(以下简称“光伏电池”)、钙钛矿组件(以下简称“组件”)电流-电压($I-V$)特性的术语和定义、设备要求、光伏电池测试方法、组件测试方法、数据处理和测试报告。

本文件适用于以钙钛矿材料为光吸收层的光伏电池与组件的电流-电压($I-V$)特性测量。

含钙钛矿活性层的叠层光伏电池及组件的电流-电压($I-V$)特性的测量可参照本文件。

注：光伏电池(Photovoltaic Cell)也称为太阳电池(Solar Cell)。

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 17025:2017 检测和校准实验室能力认可准则 (Accreditation criteria for the competence of testing and calibration laboratories)

IEC 60891:2009 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 60904-1:2020 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 60904-2:2015 光伏器件 第2部分：标准太阳电池的要求 (Photovoltaic devices—Part 2: Requirements for reference solar devices)

IEC 60904-3:2019 光伏器件 第3部分：地面光伏(PV)太阳能器件的测量原理与参考光谱辐照度数据 (Photovoltaic devices—Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data)

IEC 60904-4:2019 光伏器件 第4部分：标准光伏器件的溯源链建立程序 (Photovoltaic devices - Part 4: Photovoltaic reference devices - Procedures for establishing calibration traceability)

IEC 60904-9:2020 光伏器件 第9部分：太阳模拟器性能要求 (Photovoltaic devices—Part 9: Solar simulator performance requirements)

IEC 61215-1-4:2021 地面用光伏组件——设计鉴定和定型 第1-4部分：薄膜铜铟镓硒组件试验的特殊要求 (Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-4: Special requirements for testing of thin-film Cu(In, Ga) (S, Se)₂ based photovoltaic (PV) modules)

IEC 61215-2:2021 地面光伏组件——设计鉴定和定型：试验程序 (Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures)

IEC TR 63228:2019 有机、染料与钙钛矿光伏电池测试规范 (Measurement protocols for photovoltaic devices based on organic, dye-sensitized or perovskite materials)

ASTM E948 - 05a 使用标准电池在太阳模拟器下测量光伏电池电性能的标准测试方法 (Stand Test Method for Electrical Performance of Photovoltaic Cells Using Reference Cells Under Simulated Sunlight)

JJF 1622—2017 太阳电池校准规范：光电性能

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

总面积 total area

光伏电池或组件上表面外部边缘所确定的面积。

注：非平面型光伏电池或组件的总面积是投影到光源模拟器工作平面上的面积。

3.2

光阑面积 aperture area

掩膜版允许光照至光伏电池或组件的面积。

注：光阑面积应小于光伏电池或组件的总面积。

3.3

总面积光电转换效率 conversion efficiency of total area

光伏电池或组件的最大功率(P_{\max})与光功率的比值，光功率为总面积(S_t)与光源辐照度(E)的乘积，

即： $P_{\max}/(E \times S_t)$ 。光电转换效率也可简称效率。

3.4

光阑面积光电转换效率 conversion efficiency of aperture area

光伏电池或组件的最大功率(P_{\max})与光功率的比值，光功率为光阑面积(S_{ap})与光源辐照度(E)的乘积，

即： $P_{\max}/(E \times S_{ap})$ 。实际光电转换效率也可简称实际效率。

4 设备要求

4.1 预处理设备

组件的预处理设备满足 IEC 61215-2:2021 的 4.19 (MQT19) 条款中稳定性测试的设备要求。

光伏电池的预处理设备要求可参组件的预处理设备要求。

4.2 光伏电池的电流-电压(I-V)特性测量设备

光伏电池电流-电压(I-V)特性测量设备包括：

- 太阳模拟器：符合 IEC 60904-9:2020 中规定的 AAA 级要求；
- 标准光伏电池：符合 IEC 60904-2:2015 的要求；
- 测试架：使被测光伏电池样品处于标准光伏电池校准光源时所处位置，对于多光源模拟器，应使测量的光伏电池样品处于设备规定的工作平面上；
- 掩膜版：符合 IEC 60904-1:2020 的要求；
- 光伏电池功率测量设备：符合 IEC 60904-1:2020 第 5 条款的要求并且设备应具备 100 nA、50 μ V 精度的 MPPT 扫描测试功能；
- 温度监控设备：符合 IEC TR 63228:2019 第 10 部分的要求；
- 辐照度监测器：符合 IEC 60904-1:2020 第 5 条款的要求。

4.3 组件电流-电压(I-V)特性测量设备

组件电流-电压(I-V)特性测量设备包括：

- 太阳模拟器：设备要求同 4.2 a)；
- 标准光伏电池：设备要求同 4.2 b)；
- 测试架：设备要求同 4.2 c)；
- 掩膜版：设备要求同 4.2 d)；
- 组件功率测量设备：符合 IEC 60904-1:2020 第 5 章的要求并且设备应具备 10 μ A、5 mV 精度的 MPPT 扫描测试功能；
- 温度监控设备：设备要求同 4.2 f)；
- 辐照度监测器：设备要求同 4.2 g)。

4.4 光伏电池与组件的面积测量设备

光伏电池与组件的面积测量设备包括：

- a) 总面积测量设备：采用常规量具或专用测量器具(如影像测量仪)，其中量具精度与待测长度的百分比优于 0.4%。
- b) 光阑面积测量设备：量具精度与待测长度的百分比优于 0.1%。

5 光伏电池的测量

5.1 光伏电池的预处理(可选)

光伏电池测量前可进行预处理，预处理方法参照组件预处理步骤执行。

5.2 光伏电池电流-电压(I - V)特性测量

5.2.1 光伏电池测量准备

基本测试条件：环境湿度不高于70%RH，环境温度维持在 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

按照JJF 1622—2017 太阳电池校准规范的要求将太阳模拟器调整至稳定的工作状态。

对被测样品进行外观检查，并排除其他影响测试结果的因素。

将被测样品的温度稳定在测试规定的温度范围内。

检查电流-电压(I - V)特性测量设备的工作状态及设备与被测样品的连接性能。

完成测量准备后可按下述的三种方法之一进行测量。

5.2.2 方法一：快速测量法

通过改变偏置电压点，同时进行电流测量，可获得被测样品的 I - V 特性。

- a) 将标准光伏电池置于样品架上，使其位于测量平面内，并保证标准光伏电池位于太阳模拟器出射光斑的中心位置（或光伏电池法线与太阳模拟器光源出射光束的中心线平行）；使用测温装置测量标准光伏电池的温度，并通过控温装置控温，使得在测量过程中，标准光伏电池维持在 $(25.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ ；根据标准光伏电池的标定值，调整太阳模拟器在样品面上辐照度（同时测量光源的辐照度不均匀度满足 IEC 60904-9:2020 中的 A 级要求），样品所接收辐照度为 $1000\text{W}/\text{m}^2$ ；
- b) 在不改变太阳模拟器设置的条件下，调整测试架高度和位置，将被测样品加装掩膜版，随后替换标准光伏电池，中心位置对准，样品面高度与标准光伏电池一致；用温度监控设备对光伏电池的温度进行控制，使得在测量过程中^[1]，被测样品的温度维持在 $(25.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ ；

注：如缺乏温度监控设备，则需对其温度进行测量，测量方法可参照附录3中的方法进行。然后参照IEC 60891:2009的方法1或方法2进行修正。

- c) 设置扫描方向、电压范围、扫描间隔电压和扫描间隔时间等。建议其中扫描间隔不大于 0.02V ，相邻两点的间隔时间不小于 0.3s 。测量被测光伏电池的正反扫电流-电压特性，记录开路电压 V_{oc} ，短路电流 I_{sc} ，最大输出功率 P_{max} 等参数；如必要，可恒定加载最大功率电压对应的偏压，连续采集电流信号，得到稳态输出曲线，得到稳态输出功率 P_s 。

注：由短路电流 I_{sc} 扫描至开路电压 V_{oc} 为正向扫描(简称正扫)；由开路电压 V_{oc} 扫描至短路电流 I_{sc} 为反向扫描(简称反扫)。

5.2.3 方法二：十点准稳态拟合法^[2](仲裁法)

当被测样品具有较高的稳定性，可在一系列偏置电压点分别进行独立的电流测量，获得较为稳定的电流值，通过对一系列测试结果的拟合可获得被测样品的 I - V 特性。

- a) 在 5.2.2 的步骤 c) 的基础上取得开路电压 V_{oc} 、短路电流 I_{sc} 的信息进而设定测试范围，随后执行以下测试步骤；
- b) 设置扫描方向、电压范围、扫描间隔电压和扫描间隔时间等，执行方法一中的正扫或反扫测试，记录测得非稳态开路电压 $V_{TBD,oc}$ ，非稳态短路电流 $I_{TBD,sc}$ ，非稳态最大输出功率 $P_{TBD,max}$ （包括 $V_{TBD,max}$ 与 $I_{TBD,max}$ ）等参数。
- c) 根据快速测试的得到的被测光伏电池非稳态开路电压值，通过持续检测电流信号（每隔 1s 取一次测量值）直至开路电压的电压值的相对变化在 0.1% 以内，确定并记录最后一次测量的电压值为待测光伏电池的准稳态开路电压值（ $V_{s,oc}$ ）；

- d) 选取零电压（短路）点至开路电压点中的 8 处（共 10 处测量点）偏置电压点，偏置电压点选取的推荐方法为：
- 1) 零电压（短路）点（ $V_{s,sc}$ ）、准稳态开路电压点（ $V_{s,oc}$ ）、步骤 b) 测得的准稳态最大功率点电压（ $V_{TBD,max}$ ）；
 - 2) 在零电压点与最大功率点之间取 3 处电压点分别为 $0.50 \times V_{TBD,max}$ 、 $0.80 \times V_{TBD,max}$ 、 $0.90 \times V_{TBD,max}$ ；
 - 3) 准稳态开路电压点与最大功率点之间取 4 处电压点分别为 $V_{TBD,max}$ 、 $0.15 \times V_{s,oc} + 0.85 \times V_{TBD,max}$ 、 $0.45 \times V_{s,oc} + 0.55 \times V_{TBD,max}$ 、 $0.60 \times V_{s,oc} + 0.40 \times V_{TBD,max}$ 、 $0.80 \times V_{s,oc} + 0.20 \times V_{TBD,max}$ 。

注：所有偏置电压点的有效位数均保留到测量仪器最小有效位数。

- e) 在设定的测量辐照度与环境条件下依次对设定的 8 处偏置电压（ $V_{s,oc}$ 与 $V_{s,sc}$ 已测）点进行电流值的测量（每隔 1s 取一次测量值），当每处电压点测得的电流值波动相对变化在 0.1% 以内时，确定每一处偏置电压点的电流值并记录最后一次测量得到的电流值；
- f) 将上述 10 点测得的稳定的电压值与电流值使用适当的拟合方法（如，ASTM E948-05a 推荐的多项式拟合法）进行拟合，确定该测量钙钛矿光伏电池的准稳态电流-电压（ $I-V$ ）特性曲线，并随后根据准稳态电流-电压（ $I-V$ ）特性曲线的结果对其进行光电转换效率的计算；
- g) 以步骤 f) 的 10 点测量的准稳态结果给出钙钛矿光伏电池的转换效率评定，若在准稳态测量过程中待测器件输出的电流的相对变化无法满足上述 c) 中的规定，则使用方法一的电流-电压（ $I-V$ ）特性快速测量法重新进行评定，并在最终报告中标注未通过十点准稳态拟合法的测量；
- h) 根据上述测量流程计算待测钙钛矿光伏电池的最大输出功率与转换效率。

5.2.4 方法三：最大功率点跟踪法

当因被测样品稳定性、温度控制或其他原因无法或不需要得到完整的稳态输出 $I-V$ 曲线时，可通过在估算的最大功率点电压附近扫描来获得被测样品的最大功率输出特性。

- a) 将待测样品放置于与方法一中相同辐照度的稳态光源下，并对被测样品的温度进行监测与控制。
- b) 对被测样品恒定加载方法一中确定的最大功率点电压值，连续采集电流信号，一般的每个点之间的采集间隔不少于 1s，当连续 2 min 内，电流波动值小于 1.0% 时，即认为达到稳态输出状态，取最后 1 min 的数据的平均值作为被测样品的最大输出功率。
- c) 因为实际最大功率点电压可能与方法一中确定的有差异，可选的，对步骤 b) 中加载的电压值执行较小的变化（通常为原测试 V_{max} 附近 $\pm 2\%$ 的量级），以找到实际的最大功率点电压，每次变化后，都需要测量该电压点的电流值，当连续 2 min 内，电流波动值小于 1.0% 时，认为待测样品到达稳态输出状态，取最后 1 min 的测量数据的平均值作为被测样品的最大输出功率。

注：在使用上述三种方法扫描 $I-V$ 曲线时，读取光伏电池的电流和电压，若条件允许，可同时记录辐照度监测器和温度监控设备的输出结果。对于温度的记录来说，若测量时间较短不足以引起温度变化，在 $I-V$ 曲线采集期间或之前或之后，对每个待测样品进行一次温度测量即可。

5.3 光伏电池面积的测量

5.3.1 光伏电池光阑面积的测量

使用影像测量仪测量光伏电池的光阑面积 S_{ap} 。

对于光阑面积较小的光伏电池，宜使用影像测量仪进行测量，测定待测器件的光阑面积，使用测量量具的精度与待测光阑长度的百分比优于 0.1%。

5.3.2 光伏电池总面积的测量

用组件面积测量设备测量电池总面积 S_t 。

对于面积较小的光伏电池，宜使用影像测量仪进行测量，测定待测器件的总面积，使用测量量具的精度与待测器件长度的百分比优于 0.4%。

对于规则的矩形光伏电池，使用常规尺寸量具测量光伏电池外部边缘尺寸，再计算光伏电池的总面积。

6 组件的测量

6.1 总则

所有组件在测量前都应保证电学参数处于稳定状态。所有组件都应按照规定步骤执行测量，并直接测量其输出功率。只有经过了多次重复测试得到了稳定输出功率的组件，方可进行输出功率测量。测量需在温度和光源（光谱以及光强）稳定的条件下进行。

组件执行电流-电压 ($I-V$) 特性测量的可进行预处理，若要执行预处理，可参照6.2步骤执行。

6.2 预处理(可选)

组件执行电流-电压 ($I-V$) 特性测量前的预处理，按照IEC 61215-1-4:2021中11.19 (MQT 19) 预处理方法和IEC 61215-2:2021的中4.19 (MQT 19) 规定的稳定性预处理方法进行。

根据公式 (1) 判断待检组件是否达到稳定：

$$\frac{P_1 - P_2}{P_{\text{average}}} < x \dots \dots \dots (1)$$

式中：

P_1 ——是连续进行三次功率测量时得到的组件最大功率的极大值；

P_2 ——是连续进行三次功率测量时得到的组件最大功率的极小值；

P_{average} ——是连续进行三次功率测量时得到的组件最大功率的平均值；

$x=0.02$ 。

6.3 组件电流-电压($I-V$)特性的测量

6.3.1 使用模拟光源的室内测量

当采用室内测量时，可采用以下步骤实施：

- 使用符合 IEC 60904-9:2020 中 AAA 级或者更高等级的太阳模拟器；
- 需有标准器(标准光伏电池或标准组件)用于校准辐照度；
- 组件需与光源保持垂直，辐照度监测器需与组件保持共面；
- 使用规定装置将光源辐照度调整为 1000 W/m^2 ，要求辐照度偏差不超过 $\pm 2.0\%$ ，如偏差较大，建议对测量结果进行修正； 950 W/m^2 至 1050 W/m^2 ；
- 组件温度的检测方法：使用符合 IEC TR 63228:2019 第 10 章要求的温度传感器测量温度。将组件置于光源下 10 min 后，将温度传感器按照 IEC 60891:2009 4.2 d 规定情况所示在 4 个位置上测量其温度，当所有位置上温度监控设备示的温度变化在 $\pm 2.0^\circ\text{C}$ 的范围内，且同一位置上 3 次重复测量得到的温度值变化在 $\pm 2.0^\circ\text{C}$ 范围内时，视为温度稳定。取测得的温度平均值为组件平均温度，测试报告中需标明测量时组件的实际平均温度。

注：温度的测量方法可参照参考文献^[1]中的方法进行。

- 打开太阳模拟器光源照射组件，待组件温度保持恒定之后，记录下组件平均温度，即可进行输出功率测量。
- 输出功率测量和 $I-V$ 曲线的获得：使用 5.2.3 所述的 10 点准稳态拟合法，分别对组件的电压进行偏压准稳态测量，通过拟合计算待测组件的 $I-V$ 曲线，也可采用 5.2.4 所述的最大功率点跟踪法测量组件的最大输出功率。

6.3.2 使用自然太阳光的室外测量

当实验室不具备室内设备及条件时，也可采用以下方法：

- 组件需按照厂商规定安装支架，组件测量过程中需面向光源；
- 在组件同面处安装辐照度监测器，实时测量辐照度；
- 当天气良好、无雨雪等恶劣天气条件下，组件表面辐照度大于 700 W/m^2 时，进行检测。
- 组件温度的测量方法与 6.3.1 e) 一致；
- 组件曝露在自然太阳光下后，待组件温度保持恒定之后，记录下组件平均温度。即可进行输出功率测量；

f) 输出功率和 $I-V$ 曲线的获得与 6.3.1 g) 一致;

6.4 组件面积的测量

如图1所示，组件的面积可以分为：组件总面积和光阑面积两种类型，这两种面积类型需在测试报告中分别标明。使用光阑面积测量时，需使用掩膜版界定光阑面积。

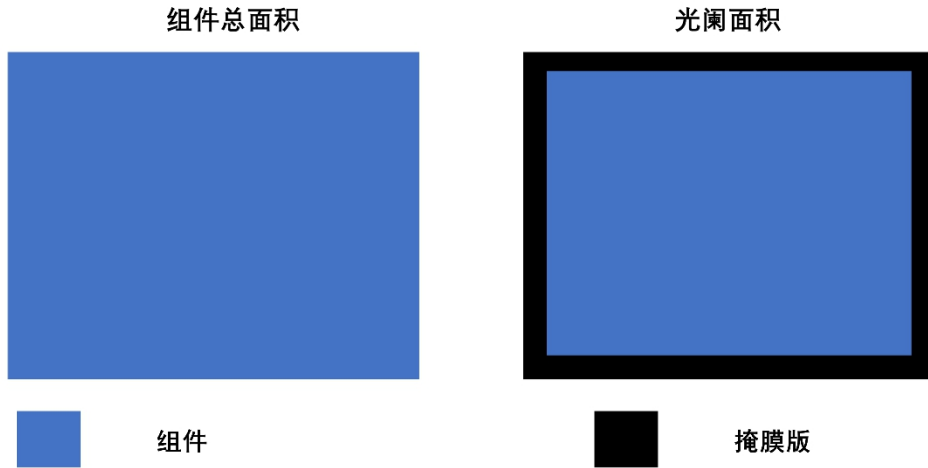


图 1 组件面积界定方式

组件实际面积和光阑面积的测量方式如下：

- a) 组件总面积测量设备：可采用常规量具，精度优于 1 mm。对于面积较小(面积小于 0.09 m²)的组件，宜使用影像测量仪，精度优于 0.001 mm。
- b) 组件光阑面积测量设备：宜使用影像测量仪，精度优于 0.001 mm。

7 数据处理

7.1 总面积光电转换效率计算

总面积光电转换效率按照 (2) 计算：

$$\eta_t = \frac{P_{max}}{E \times S_t} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- η_t —— 光伏电池或组件的总面积光电转换效率；
- P_{max} —— 电流-电压 ($I-V$) 特性测量中测得的光伏电池或组件的最大功率；
- S_t —— 被测光伏电池或组件的总面积；
- E —— 被测光伏电池或组件上表面入射光的辐照度。

7.2 光阑面积光电转换效率计算

光阑面积光电转换效率按照 (3) 计算：

$$\eta_a = \frac{P_{max}}{E \times S_{ap}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- η_a —— 光伏电池或组件的光阑面积光电转换效率；
- P_{max} —— 电流-电压 ($I-V$) 特性测量中测得的光伏电池或组件的最大功率；
- S_{ap} —— 被测光伏电池或组件的光阑面积；
- E —— 被测光伏电池或组件上表面入射光的辐照度。

8 测试报告

测试机构应给出符合ISO/IEC 17025要求的测试报告，报告包括但不限于下列信息，测试报告格式可参照附录A；

- a) 报告的每一页均有唯一性标识；
- b) 标题；
- c) 测试机构的名称、地址和完成测试的地点；
- d) 委托检测的客户名称和地址；
- e) 相关的取样方式；
- f) 采用的测量标准和测量方法；
- g) 测试样品的信息描述，必要时附加样品照片；
- h) 测试样品的特点和条件；
- i) 收到测试样品的日期和测试日期；
- j) 测量结果需包括光伏电池的总面积、光阑面积、特定测试条件、光伏电池的最大功率、光电转换效率等影响测试结果的参数；
- k) 测试结果不确定度的申明（必要时）；
- l) 测试人员和报告批准人员的签名和标识，其对报告的内容及签发日期负责；
- m) 对测试仪与相关测试项目结果的申明（必要时）；
- n) 测试机构出具的报告应完整采用，只有经测试机构书面许可才可使用部分的申明。



附录 A
(资料性)
测试报告

A.1 光伏电池测试报告格式如下:

测试报告编号*****-*****

光伏电池测试报告

测量方法: 快速测量法 十点准稳态拟合法 最大功率点跟踪法

1. 测试条件
 标准光伏电池:
 太阳模拟器: 等级:
 温度监控设备/控制系统:
 环境湿度:
 掩膜版光阑面积:

2. *I-V* 特性曲线和参数
 以上述标准光伏电池标定太阳模拟器辐照度至 1000 W/m², 校准被测钙钛矿光伏电池的 *I-V* 特性。

[1] 快速测量法(未使用该测量方法该部分可删除)
 扫描方向: 扫描间隔电压:
 扫描范围: 扫描间隔时间:
 扫描点数:
 测量所得被测光伏电池的 *I-V* 特性曲线和参数如下:
 正扫&反扫:

根据正反扫测得迟滞因子:

关键参数如下表:

扫描类型	短路电流 <i>I</i> _{sc} (mA)	开路电压 <i>V</i> _{oc} (V)	填充因子 <i>FF</i> (%)	最大功率 <i>P</i> _m (mW)
正扫				
反扫				
光谱失配系数 <i>M</i>	最大功率电流 <i>I</i> _{max} (mA)	最大功率电压 <i>V</i> _{max} (V)	转换效率 <i>η</i> (%)	有效面积 (mm ²)

[2] 十点准稳态拟合法 (未使用该测量方法该部分可删除)
 测量所得被测光伏电池的 *I-V* 特性曲线和参数如下:

关键参数如下表:
 是否通过十点准稳态测量 是 否

扫描点数	稳态短路电流 $I_{s,sc}$ (mA)	稳态开路电压 $V_{s,oc}$ (V)	填充因子 $FF(\%)$	最大功率 P_{max} (mW)	测量面积 (mm ²)
十点					
扫描点数	稳态最大功率电流 $I_{s,max}$ (mA)	稳态最大功率电压 $V_{s,max}$ (V)	转换效率 $\eta(\%)$	扫描总时间 t (s)	光谱失配 系数 M
十点					

[3] 最大功率点跟踪法(未使用该测量方法该部分可删除)

测量所得被测光伏电池 P_{max-t} 及其他参数如下:

关键参数如下表:

短路电流 I_{sc} (mA)	开路电压 V_{oc} (V)	填充因子 $FF(\%)$	最大功率 P_m (mW)	光谱失配 系数 M
最大功率电流 I_{max} (mA)	最大功率电压 V_{max} (V)	转换效率 $\eta(\%)$	有效面积 (mm ²)	

测试/检验 人员签字	日期:
报告批准 人员签字	日期:

A.2 组件测试报告格式如下：

测试报告编号*****-*****

组件测试报告

1. 测试条件					
<input type="checkbox"/> 室内测量			<input type="checkbox"/> 室外测量		
标准光伏电池：		扫描区间：			
太阳模拟器等级：		扫描总时间：			
温度监控设备/控制系统：		掩膜版光阑面积：			
环境湿度：					
2. <i>I-V</i> 特性曲线和参数					
以上述标准光伏电池标定太阳模拟器辐照度或室外光强至设定值，校准被测钙钛矿组件的 <i>I-V</i> 特性。					
测量所得被测组件的 <i>I-V</i> 特性曲线和参数如下：					
关键参数如下表： 是否通过十点准稳态测量 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否					
扫描点数	稳态短路电流 $I_{s,sc} (mA)$	稳态开路电压 $V_{s,oc} (V)$	填充因子 $FF(\%)$	最大功率 $P_{max}(mW)$	测量面积 (cm^2)
十点					
扫描点数	稳态最大功率电流 $I_{s,max} (mA)$	稳态最大功率电压 $V_{s,max} (V)$	转换效率 $\eta(\%)$	扫描总时间 $t(s)$	光谱失配系数 M
十点					
测试/检验 人员签字	日期：				
报告批准 人员签字	日期：				

参考文献

- [1] 段野,张鹏翔,朱城,等. 钙钛矿光伏电池和组件温度场分布测试分析[J]. 信息技术与标准化, 2021, 12: 37-40.
- [2] 张鹏翔,王书博,段野,等. 钙钛矿光伏电池十点准稳态测试法[J]. 信息技术与标准化, 2021, 12: 41-44.

