

ICS 17.180.99

CCS N35

团 体 标 准

T/CPIA 0033—2022

光伏电池量子效率测试系统技术要求

Technical requirements of quantum efficiency measurement systems for

photovoltaic cells

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.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 分类.....	2
4.1 小光斑光伏电池量子效率测试系统.....	2
4.2 大光斑光伏电池量子效率测试系统.....	2
5 组成.....	2
5.1 概述.....	2
5.2 单色光光源.....	2
5.3 斩波器.....	2
5.4 单色仪.....	2
5.5 偏置光光源.....	2
5.6 锁相放大器.....	2
5.7 前置放大器.....	3
6 技术要求.....	3
6.1 工作条件.....	3
6.2 外观.....	3
6.3 通用技术要求.....	3
7 试验方法.....	4
7.1 测试用的仪器及设备.....	4
7.2 单色光和偏置光辐照度不均匀性测试.....	5
7.3 偏置光辐照度范围和不稳定性测试.....	6
7.4 光谱响应测试.....	6
7.5 短路电流测量准确度测试.....	7
7.6 反射率测量准确度测试.....	7
7.7 波长准确度测试.....	7
7.8 光谱带宽测试.....	8
7.9 温控平台测试.....	8
8 标志、包装、运输和贮存.....	9
8.1 标志.....	9
8.2 包装.....	9
8.3 运输.....	10
8.4 贮存.....	10

T/CPIA 0033-2022

附录 A（资料性） 光谱响应与量子效率的换算关系.....	11
附录 B（资料性） 测试点分布.....	12
参考文献.....	13



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。

本文件起草单位：福建省计量科学研究院、北京卓立汉光仪器有限公司、中国电子技术标准化研究院、中国测试技术研究院、中国计量科学研究院、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、苏州伟信智能科技有限公司、勝焱電子科技（上海）有限公司、中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所、暨南大学、福建江夏学院、福建省闽量校准技术中心有限公司、国家太阳能光伏产品质量检验检测中心、苏州腾晖光伏技术有限公司、天合光能股份有限公司、晶科能源股份有限公司、泰州中来光电科技有限公司、福建金石能源有限公司、合肥晶澳太阳能科技有限公司、韩华新能源（启东）有限公司、泰州隆基乐叶光伏科技有限公司、嘉兴阿特斯技术研究院有限公司、中国科学院微电子研究所、厦门市计量检定测试院。

本文件主要起草人：罗海燕、黎健生、张素侠、康张李、杨爱军、庄天奇、张俊超、时强、熊利民、刘正新、张余、柯历亚、马昌期、闫萍、张昕宇、吴绍航、江琳沁、李宁、吴泓、朱冰洁、张树德、陈嘉、黄家容、刘象、葛华云、孙飞龙、李硕、阮育娇。



光伏电池量子效率测试系统技术要求

1 范围

本文件规定了光伏电池量子效率测试系统的通用技术要求和试验方法。
本文件适用于各种光伏电池量子效率测试系统的设计、制造、验收和使用。

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，仅该注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 191—2008 包装储运图示标志

GB/T 2297—1989 太阳光伏能源系统术语

GB/T 15464—1995 仪器仪表包装通用技术条件

JJF 1150—2006 光电探测器相对光谱响应度校准规范

IEC 60904-2 光伏器件 第2部分：标准太阳电池的要求（Photovoltaic devices - Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices）

IEC 60904-8: 2014 光伏器件 第8部分：光伏器件光谱响应的测量（Photovoltaic devices-Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device）

IEC 61215-2:2016 地面光伏组件 设计鉴定和定型 第2部分：试验程序（Terrestrial photovoltaic (PV) modules-Design qualification and type approval-Part 2: Test procedures）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光伏电池量子效率 quantum efficiency of photovoltaic cells

光伏电池量子效率是指某个波长的光子入射到光伏电池后产生的电子-空穴对的几率。

[来源：GB/T 2297—1989, 3.3, 有修改]

3.2

光谱响应（光谱灵敏度） spectral response (spectral sensitivity)

指各个波长上，单位辐照度所产生的短路电流密度与波长的函数关系。某个波长下光伏电池的光谱响应与量子效率的换算关系如附录A所示。

[来源：GB/T 2297—1989, 3.27]

3.3

相对光谱响应（相对光谱灵敏度） relative spectral response (relative spectral sensitivity)

指以某一特定的波长（通常是以光谱响应的最大值）进行归一化的光谱响应。

[来源：GB/T 2297—1989, 3.29]

3.4

光谱带宽 spectra bandwidth

指从单色器射出的单色光谱线强度轮廓曲线的二分之一高度处的谱带宽度。

4 分类

4.1 小光斑光伏电池量子效率测试系统

单色光光斑的有效测试尺寸小于（2 cm×2 cm），边长小于 2 cm，主要用于分析电池的精细结构性能。

4.2 大光斑光伏电池量子效率测试系统

单色光光斑的有效测试尺寸大于等于（2 cm×2 cm），边长大于等于 2 cm，根据面积大小不同，分别应用于测试标准太阳电池、单晶或多晶电池片和多结太阳电池的光谱响应。

5 组成

5.1 概述

光伏电池量子效率测试系统主要由光源、斩波器、单色仪、偏置光光源、锁相放大器、前置放大器、控制系统、数据记录和处理软件等组成。

5.2 单色光光源

为光伏电池量子效率测试系统提供（300~1700）nm范围内连续波长的光谱的光源，通常为稳态氙灯、卤钨灯或二者的组合。

5.3 斩波器

将连续光源调制成脉冲光源，并提供一同步的同调信号给锁相放大器，作为锁相放大器参考频率。

5.4 单色仪

单色仪系统主要功能是将连续波长的光，利用光栅衍射原理，分成各种不同波长的单色光，提供光谱扫描的单色光源。

5.5 偏置光光源

偏置光光源的分类如下：

- a) 为光伏电池量子效率测试系统提供模拟太阳光的偏置光光源；
- b) 带通波段与多结太阳电池对应的带隙组合结构相匹配，使待测子电池电流受限的偏置光源^[1]。

5.6 锁相放大器

锁相放大器是用来测量微弱调制信号的设备。测量被光调制器调制成某一特定频率的单色光入射到太阳电池后，产生的具有相同频率的交流电流信号，锁相放大器会将此交流电流微小信号与其他频率的噪声分开、滤波后，测得特定频率的交流电流信号。

5.7 前置放大器

将光电流信号放大后，再将信号送到锁相放大器测量，增加信号测量的准确度。

6 技术要求

6.1 工作条件

光伏电池量子效率测试系统在下列条件下应能正常工作。

- a) 环境温度：(20~40)℃；
- b) 环境相对湿度：(20~80)%；
- c) 周围无强电磁场干扰，无腐蚀性气体和无强烈震动；
- d) 供电电源：交流电压 220 V±22 V，频率 50 Hz±0.5 Hz。

6.2 外观

外观应满足如下要求：

- a) 外观完好、清洁，表面无缺损、无锈蚀；
- b) 所有紧固件不得松动、各种调节件灵活，功能正常。

6.3 通用技术要求

光伏电池量子效率测试系统主要技术要求见表1。

表1 光伏电池量子效率测试系统主要技术要求

序号	项 目	技术要求	
		小光斑系统	大光斑系统
1	单色光辐照度不均匀性	—	应≤10%
2	偏置光辐照度不均匀性	—	应<15%
3	偏置光辐照度范围和不稳定性	辐照度范围至少覆盖 (100~300) W/m ² ；不稳定性应≤1% (10 min)	
4	相对光谱响应测量准确度	(400~1000) nm：应不超过±1% 其它波段：应不超过±3%	(400~1000) nm：应不超过±1.5% 其它波段：应不超过±3.5%
5	光谱响应测量重复性	(400~1000) nm：应不超过 1%；其它波段：应不超过 2%	
6	短路电流测量准确度	—	应不超过±1%
7	反射率测量准确度	应不超过±2%	
8	波长准确度	应不超过±2 nm	
9	光谱带宽	(300~1200) nm：应≤15 nm；(1200~1700) nm：应<50 nm	
10	温控平台温度偏差、不稳定性 和不均匀性	温度偏差应不超过±1℃，不稳定性应不超过 1℃，不均匀性应不超过 2℃。	

7 试验方法

7.1 测试用的仪器及设备

7.1.1 总体要求

用于测试的所有仪器及设备应经计量技术机构检定合格或校准，并在有效期内。

7.1.2 标准太阳电池

应满足IEC 60904-2中规定的二级标准太阳电池的要求，为稳定的晶硅太阳电池。其光谱响应范围应覆盖（400~1100）nm，填充因子FF大于65%，参考WPVS（World Photovoltaic Scale）^[2]太阳电池的规格，电池本体包含一个电流信号输出口与一个温度信号输出口，两个信号输出口均采用四线法引出信号。内部电池片尺寸为（20 mm×20 mm）。

7.1.3 直流数字电压表

6位半以上直流数字源表，准确度等级应不低于0.01级。

7.1.4 I/V 变换器

变换器的负载阻值大小与短路电流的乘积应小于开路电压值的3%，并满足响应时间要求。

7.1.5 标准探测器

已知绝对或相对光谱响应的光电探测器，测量波长范围内应有足够高的绝对光谱响应度，较低的暗噪声，符合JJF 1150—2006中6.2.1的要求。参考IEC 60904-8：2014中6.8建议采用硅（Si）、锗（Ge）或铟镓砷（InGaAs）光电探测器。

7.1.6 参考电池片

应为稳定的晶硅太阳电池片，依据IEC 61215-2:2016中4.19进行短路电流变化率测试，其短路电流变化率应不超过±1%。

7.1.7 标准白板或标准灰板

标准白板和标准灰板反射率年变化率不超过±1.0%，直径d应不小于50 mm，应至少能覆盖积分球的出光口。

7.1.8 标准线光谱灯源

建议特征波长为253.652 nm、365.016 nm、435.833 nm、546.075 nm、696.543 nm和912.297 nm的汞-氩灯或相应波长范围内的标准线光谱灯源。

7.1.9 窄带标准滤光片

建议中心波长为（632.8±2.0）nm、（1330.0±2.0）nm的滤光片或相应波长范围内的窄带标准滤光片。

7.1.10 光谱辐射计

工作波长范围覆盖（350~1100）nm，波长允许误差优于±2 nm。

7.1.11 温度测量装置

温度测量范围覆盖（15~45）℃，分辨力不低于0.1℃，最大允许误差±0.3℃。

7.2 单色光和偏置光辐照度不均匀性测试

若光伏电池量子效率测试系统（以下简称仪器）的单色光斑尺寸大于等于20 mm×20 mm，选取单色光光斑测试有效区域的上中下和左中右9个测试位置（典型示意图如图1所示），主要采用WPVS标准太阳电池作为光检测器，在每个测试位置测量单色光辐照度，产生与辐照度成正比的短路电流，用精密

数字电压表记录经 I-V 变换器放大后与辐照度等效的电压信号 V_{MWn} (n 是测试点的编号), 找出最大值 V_{MWmax} 和最小值 V_{MWmin} , 按公式 (1) 计算单色光辐照度的不均匀性:

$$J_{MW} = \frac{V_{MWmax} - V_{MWmin}}{V_{MWmax} + V_{MWmin}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

J_{MW} ——单色光辐照度的不均匀性, 单位为百分率 (%);

V_{MWmax} ——测试点中单色光电压信号最大值, 单位为毫伏 (mV);

V_{MWmin} ——测试点中单色光电压信号最小值, 单位为毫伏 (mV)。

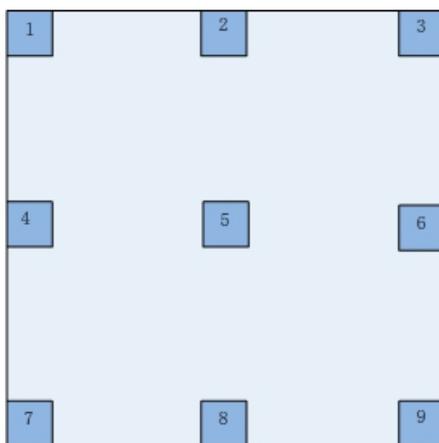


图 1 光斑测试区域内 9 个测试位置示意图

其中作为光检测器的标准太阳电池也可以替换成其他符合要求的检测器。典型的单色光评估波长为 400 nm、532 nm、650 nm 和 900 nm。可根据需求选择检测其他波长。

偏置光辐照度的不均匀性采用类似前述单色光辐照度的不均匀性试验方法进行检测。将偏置光光斑测试有效区域划分成 9 个测量位置, 采用增加了光阑的标准太阳电池或 Si 光电探测器作为检测器, 在每个测试位置测量辐照度, 产生与辐照度成正比的短路电流, 用精密数字电压表记录短路电流经 I-V 变换器放大后的与辐照度等效的电压信号 V_{BWn} (n 是测试点编号), 找出最大值 V_{BWmax} 和最小值 V_{BWmin} , 根据公式 (2) 计算偏置光辐照度的不均匀性 J_{BW} :

$$J_{BW} = \frac{V_{BWmax} - V_{BWmin}}{V_{BWmax} + V_{BWmin}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中:

J_{BW} ——偏置光辐照度的不均匀性, 单位为百分率 (%);

V_{BWmax} ——测试点中偏置光电压信号最大值, 单位为毫伏 (mV);

V_{BWmin} ——测试点中偏置光电压信号最小值, 单位为毫伏 (mV)。

不均匀性试验采用的点数, 也可在上述要求的基础上根据光斑面积大小和试验需求增加测量点进行检测, 推荐的测试点分布如附录 B 所示。

7.3 偏置光辐照度范围和不稳定性测试

将 WPVS 标准太阳电池作为光检测器, 在测试区域中心点位置测量偏置光辐照度的范围和不稳定性,

用精密数字电压表记录经 I-V 变换器放大后与辐照度等效的电压信号，每隔 1s 记录一次数据，记录 10 min，找出最大值 V_{max} 和最小值 V_{min} ，根据公式 (3) 计算偏置光辐照度不稳定性 W_{BW} ：

$$W_{BW} = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- W_{BW} —— 偏置光辐照度不稳定性，单位为百分率 (%) ；
- V_{max} —— 测试期间偏置光电电压信号最大值，单位为毫伏 (mV) ；
- V_{min} —— 测试期间偏置光电电压信号最小值，单位为毫伏 (mV) 。

7.4 光谱响应测试

7.4.1 相对光谱响应测量准确度

对于只能产生小光斑单色光的仪器或工作在产生小光斑单色光状态的仪器，在其样品台放置标准光电探测器进行相对光谱响应测量。（300~1000）nm 波段采用标准 Si 光电探测器，（1000~1700）nm 波段采用标准 Ge 光电探测器或 InGaAs 光电探测器。在无偏置光照射的情况下，重复测量 3 次，记录以光谱响应的最大值进行归一化的相对光谱响应值，取其算术平均值作为仪器的相对光谱响应的测量值，按公式(4)计算仪器的相对光谱响应测量值准确度。

$$\delta_{SR} = \frac{\overline{SR} - SR_s}{SR_s} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- δ_{SR} —— 相对光谱响应测量准确度，单位为百分率 (%) ；
- \overline{SR} —— 仪器 3 次相对光谱响应测量值的平均值，单位为百分率 (%) ；
- SR_s —— 标准探测器的相对光谱响应校准值，单位为百分率 (%) 。

对于大光斑的仪器，采用光谱响应测量模式，在其样品台放置标准太阳电池进行相对光谱响应测量，在无偏置光照射的情况下，重复测量 3 次，记录以光谱响应的最大值进行归一化的光谱响应值，取其算术平均值作为仪器的相对光谱响应的测量值，按公式(4)计算仪器的相对光谱响应测量准确度结果。

也可以采用已知光谱响应的参考电池片进行大光斑的相对光谱响应测量准确度的检测。

7.4.2 光谱响应测量重复性

对于小光斑的仪器，在其样品台放置标准光电探测器进行光谱响应重复性测量，（300~1000）nm 波段采用标准 Si 光电探测器，（1000~1700）nm 波段采用标准 Ge 光电探测器或 InGaAs 光电探测器，重复测量 6 次，记录每次的光谱响应值 SR_i ，计算平均值 \overline{SR} ，按公式(5)计算光谱响应测量重复性。

$$s(SR) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^6 (SR_i - \overline{SR})^2 / 5}}{\overline{SR}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$s(SR)$ ——光谱响应测量重复性，单位为百分率（%）；

\overline{SR} ——6次光谱响应测量值的平均值，单位为百分率（%）；

SR_i ——单次的光谱响应测量值，单位为百分率（%）。

也可以采用已知光谱响应的标准太阳电池进行小光斑的光谱响应测量重复性的检测。

对于大光斑的仪器，采用性能稳定的参考电池片进行光谱响应重复性测量，重复测量6次，按公式(5)计算重复性。取测量波段内绝对值最大的重复性为重复性测量结果。

7.5 短路电流测量准确度测试

采用短路电流测量模式，在其样品台放置标准参考电池片或者标准太阳电池进行测量，重复测量3次，取其算术平均值作为仪器的短路电流的测量值，按公式(6)计算仪器的短路电流测量准确度。

$$\delta_{I_{sc}} = \frac{\overline{I_{sc}} - I_{scs}}{I_{scs}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\delta_{I_{sc}}$ ——短路电流测量准确度，单位为百分率（%）；

$\overline{I_{sc}}$ ——仪器3次测量值的平均值，单位为安培（A）；

I_{scs} ——标准参考电池片或者标准太阳电池的短路电流标准值，单位为安培（A）。

7.6 反射率测量准确度测试

经自校后的仪器，采用反射率测量模式，在其样品台放置标准白板或灰板进行反射率测试，重复测量3次，取算术平均值作为仪器的反射率测量值，按公式(7)计算仪器的反射率测量准确度。

$$\delta_R = \overline{R} - R_s \dots\dots\dots (7)$$

式中：

δ_R ——反射率测量准确度，单位为百分率（%）；

\overline{R} ——仪器3次反射率测量值的平均值，单位为百分率（%）；

R_s ——标准白板或灰板反射率校准值，单位为百分率（%）。

7.7 波长准确度测试

经自校后的仪器，采用透射率测量模式，在其样品台放置中心波长约为632.8 nm或1330.0 nm的窄带标准滤光片进行波长测量，重复测量3次，取测得波峰的中心波长算术平均值作为仪器的波长测量值，按公式(8)计算仪器的波长准确度。

$$\delta_\lambda = \overline{\lambda} - \lambda_s \dots\dots\dots (8)$$

式中：

δ_λ ——波长准确度，单位为纳米（nm）；

$\overline{\lambda}$ ——仪器3次波长测量值的平均值，单位为纳米（nm）；

λ_s ——标准滤光片中心波长校准值，单位为纳米（nm）。

波长准确度也可采用标准线光谱灯源进行测量。将标准线光谱灯灯源对准仪器的探测器接收口，采用透射率测量模式，记录仪器显示的中心波长示值，重复测量3次，根据平均值计算波长准确度结果。

7.8 光谱带宽测试

光谱带宽采用光谱辐射计进行测量，重复测量3次，根据3次测量值的平均值计算光谱带宽*BW*。

$$BW = (BW_1 + BW_2 + BW_3) / 3 \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- BW* ——光谱带宽 3 次测量值的平均值，单位为纳米（nm）；
- BW*₁ ——光谱带宽第一次测量值，单位为纳米（nm）；
- BW*₂ ——光谱带宽第二次测量值，单位为纳米（nm）；
- BW*₃ ——光谱带宽第三次测量值，单位为纳米（nm）。

7.9 温控平台测试

选取温控平台测试有效区域的中心点位置，采用温度测量装置记录温度示值*T_s*，重复测量3次，求平均值 $\overline{T_s}$ ，与温控平台的温度设定值或示值*T_i*比较，根据公式（10）计算温控平台的温度偏差：

$$\delta_T = T_i - \overline{T_s} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- δ_T ——温控平台的温度偏差，单位为摄氏度（℃）；
- T_i* ——温控平台的温度设定值或示值，单位为摄氏度（℃）；
- $\overline{T_s}$ ——温度测量装置 3 次测量得到的温度的平均值，单位为摄氏度（℃）。

之后每隔 2 min 记录一次中心点位置温度测量装置的温度示值，记录 30 min，找出最大值 *T_{max}* 和最小值 *T_{min}*，根据公式（11）计算温控平台温度的不稳定性 *W_T*：

$$W_T = T_{max} - T_{min} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- W_T* ——温控平台温度的不稳定性，单位为摄氏度（℃）；
- T_{max}* ——温度测量装置测试期间测得的温度最大值，单位为摄氏度（℃）；
- T_{min}* ——温度测量装置测试期间测得的温度最小值，单位为摄氏度（℃）。

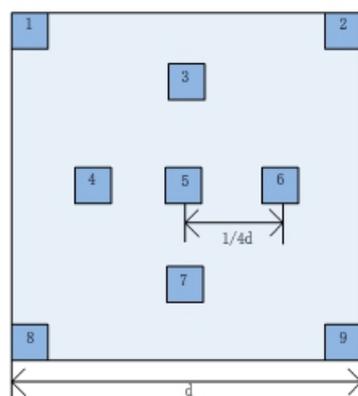


图2 温控平台测试区域内9个温度测试位置示意图

选取温控平台测试有效区域的上中下和左中右9个测试位置（典型示意图如图2所示），在每个测试位置测量3次温度，采用温度测量装置记录温度示值 T_i ，找出最大值 $T_{i,max}$ 和最小值 $T_{i,min}$ ，根据公式（12）计算温控平台温度的不均匀性 J_T ：

$$J_T = T_{i,max} - T_{i,min} \quad (12)$$

式中：

- J_T ——温控平台温度的不均匀性，单位为摄氏度（℃）；
 $T_{i,max}$ ——温度测量装置所有测试点内测得的温度最大值，单位为摄氏度（℃）；
 $T_{i,min}$ ——温度测量装置所有测试点内测得的温度最小值，单位为摄氏度（℃）。

温度不均匀性试验采用的点数，也可在上述要求的基础上根据平台面积大小和试验需求减少或增加测量点进行检测。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

仪器表面应有产品铭牌，且包含下列清晰耐久标志：

- 产品名称；
- 型号；
- 制造厂名称或商标；
- 生产日期出厂编号。

8.2 包装

仪器包装应符合 GB/T 15464—1995 中防潮、防震包装规定，并包含以下随机文件

- 装箱单；
- 合格证；
- 使用说明书；
- 包装贮存图示标志：“易碎物品”、“向上”、“怕雨”等应符合 GB/T 191—2008 规定。

8.3 运输

8.3.1 运输在包装完整的情况下，可用一般的交通工具运输。

8.3.2 运输过程中应按印刷的运输标志要求进行运输作业。

8.3.3 应防止雨淋、翻倒、曝晒及剧烈冲击。

8.4 贮存

8.4.1 仪器在包装状态下，应贮存在温度为（-20~50）℃的环境下。

8.4.2 仪器贮存的室内环境，相对湿度应不大于 85%。

8.4.1 贮存仪器的室内空气中不应含有腐蚀性气体。



附录 A

(资料性)

光谱响应与量子效率的换算关系

某个波长下光谱响应 $SR(\lambda)$ 与量子效率 $EQE(\lambda)$ 的换算关系如下式所示：

$$EQE(\lambda) = \left(\frac{hc}{e} \right) \times \left(\frac{SR(\lambda)}{\lambda} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

式中：

λ ——单色光波长，单位为米 (m)；

h ——普朗克常数，单位为焦耳秒 (J·s)， 6.626×10^{-34} J·s；

c ——光速，单位为米每秒 (m/s)， 3.0×10^8 m/s；

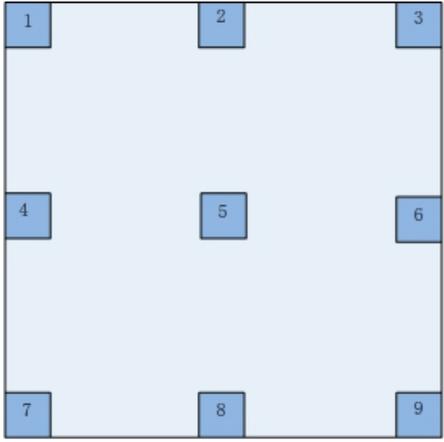
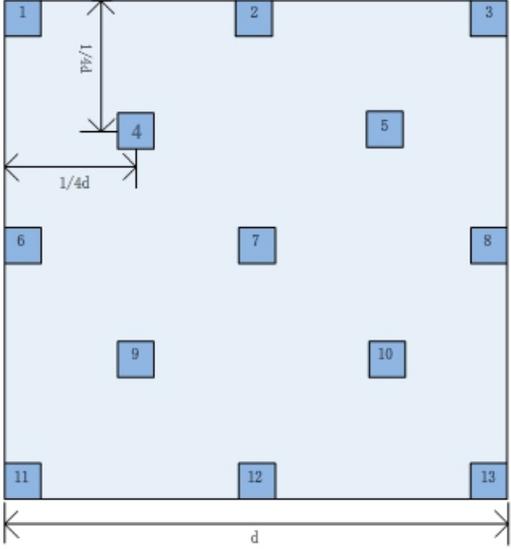
e ——基本电荷，单位为库伦 (C)， 1.6×10^{-19} C。



附录 B
(资料性)
测试点分布

光伏电池量子效率测试系统的单色光和偏置光辐照度不均匀性测试根据测试面积的不同选取不同的测试点，推荐的测试点分布如表 B.1 所示。

表 B.1 测试点分布

序号	单色光斑尺寸 (方形)	测试点分布
1	$d < 20 \text{ mm}$	—
2	$20 \text{ mm} \leq d < 210 \text{ mm}$	
3	$210 \text{ mm} \leq d$	

参 考 文 献

- [1]GB/T 38200—2019 太阳能电池量子效率测试方法.
- [2]C. R. Osterwald, S. Anevsky, K. Bücher, et al, The world photovoltaic scale an international reference cell calibration program, Progress in Photovoltaics Research and Applications, vol. 7, pp. 287-297, 1999.
-

