

团 体 标 准

T/SZS XXX—2024

室内用光动能电池转换效率测试方法

Test method for conversion efficiency of indoor photovoltaic energy cell

（征求意见稿）

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

深圳市深圳标准促进会 发布

目 次

前言 2

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 标准电池要求 3

5 电流-电压特性的测量 3

6 修正方法 5

7 光谱响应的测量方法 6

8 转换效率的计算方法 6

9 测量报告 7

附录 A（资料性） 标准光源的相对光谱辐照度 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。

本文件由深圳市深圳标准促进会提出并归口。

本文件起草单位：深圳市集束光能科技有限公司、深圳市标准技术研究院、深圳市创益新材料有限公司、上海名序科技有限公司、中国科学院深圳先进技术研究院、深圳市计量质量检测研究院、海信视像科技股份有限公司、北京握奇慧通技术有限公司、深检集团（东莞）质量技术服务有限公司。

本文件主要起草人：李嘉睿、廖雨恒、王丽娟、惠新朋、罗元清、李全相、王紫岳、张杰、李保军、沈润渊、徐雁菁、陈少辉。

室内用光动能电池转换效率测试方法

1 范围

本文件规定了室内用光动能电池的标准电池要求、电流-电压特性的测量、修正方法、光谱响应的测量方法、转换效率的计算方法和测试报告。

本文件适用于室内使用的光动能电池，主要包括有非晶硅光动能电池、有机光动能电池、色素增强光动能电池、钙钛矿光动能电池等，室外使用的光动能电池可参考本文件。

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 2297—1989 太阳能光伏能源系统术语

GB/T 6495.3—1996 光伏器件 第3部分 地面用光伏器件的测量原理及标准光谱辐照度数据

IEC 60891:2021 光伏器件 测量 I-V 特性的温度和辐照度校正程序 [PHOTOVOLTAIC DEVICES – Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics]

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]

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

辐照度 irradiance

入射到单位表面面积上的辐射通量，单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

[来源：GB/T 2297—1989，5.14，有修改]

3.2

光谱辐照度 spectral irradiance

在某特定波长上单位带宽内的辐照度，通常用 $E(\lambda)$ 表示，单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 。

[来源：GB/T 2297—1989，5.23，有修改]

3.3

光谱辐照度分布 spectral irradiance distribution

光谱辐照度相对波长的函数。

[来源：GB/T 2297—1989，5.25，有修改]

3.4

相对光谱辐照度分布 relative spectral irradiance distribution

归一化的光谱辐照度分布，确保 560 nm 处的相对光谱辐照度为 $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ，其他波长处的值为与其相比的百分数。

3.5

视见函数 luminosity function

为人眼对不同波长光的平均视觉灵敏度,是以实验方式得到的经验函数,经由国际照明委员会(CIE)确认后,现已成为所有色彩科学使用的标准函数,通常用 $V(\lambda)$ 表示。

3.6

光通量 luminous flux

人眼感受到的光功率。通常用 Φ 表示,光通量的物理表达式为公式(1)。

$$\Phi = K \int_0^{\infty} E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Φ ——光通量,单位为流明(lm);

$E(\lambda)$ ——光谱辐照度;

$V(\lambda)$ ——视见函数;

$d\lambda$ ——波长间隔,单位为微米(μm);

K ——光敏度,取定值为683.002 lm/W。

3.7

照度 illuminance

单位面积所接收到的光通量,单位为勒克斯(lx)。

3.8

标准光源 standard illuminant

可见光部分具有确定的光谱辐照度分布的理论光源。

3.9

室内用光动能电池 indoor photovoltaic energy cell

适合在室内光源下长期稳定工作,以半导体薄膜材料为光电转换层,具有光电转换功能和直流电能输出的光伏转换器件。

注:包括但不限于弱光性非晶硅薄膜太阳能电池、弱光性钙钛矿薄膜太阳能电池、弱光性太阳能有机电池等。

3.10

转换效率 conversion efficiency

光动能电池的最大功率输出与在规定的测试条件下测得的入射辐照度和光动能电池面积乘积之比,以百分数表示。

[来源 GB/T 2297—1989, 3.22, 有修改]

3.11

电池温度 cell temperature

温度传感器接触电池表面测量的温度,或者由测量开路电压求出。

[来源 GB/T 6495.3—1996, 附录 A, 有修改]

3.12

标准室内用光动能电池 reference indoor photovoltaic energy cell

以指定光源的辐照度分布为基准进行标定的室内用光动能电池。简称标准电池。

注:用于测量辐照度或调整测试光源辐照度的光伏器件,可通过其电压—电流特性表征测试光源辐照度。

3.13

光谱响应 spectral response

在各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。

[来源: GB/T 2297—1989, 3.27, 有修改]

3.14

相对光谱响应 relative spectral response

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, 有修改]

4 标准电池要求

4.1 基本要求

标准电池应满足以下要求：

- a) 标准电池与被测样品的封装方式相同，至少标定两片标准电池；
- b) 标准电池的光伏特性变化值不大于其初始标定值的 5%；
- c) 标准电池的结温准确度公差在±1℃内；
- d) 标准电池的电连接由四线接触方式（Kelvin 探针）组成；
- e) 标准电池在（25±1）℃以标准 LED 及荧光光谱辐照度分布下每单位辐照度的短路电流值来表示，单位为 $A \cdot W^{-1} \cdot m^2$ ；
- f) 经常使用的标准电池的标定值至少一个月校对一次，在同一辐照度下比较它们的短路电流，短路电流之比的变化值超出±1%时，重新对这些标准电池进行标定；
- g) 所有的标准电池至少每 12 个月重新标定一次。

4.2 标定方法

短路电流标定值的计算方法见公式（2）。

$$I_{STC} = K_s \int S_{ref}(\lambda) E_{ref}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- I_{STC} ——短路电流标定值；
- $E_{ref}(\lambda)$ ——标准光源的相对光谱辐照度，见附录 A；
- $S_{ref}(\lambda)$ ——标准电池的光谱响应，见第 7 章；
- K_s ——缩放参数，应使相对光谱辐照度 $E_{ref}(\lambda)$ 缩放至光谱辐照度 $E_\lambda = K_s E_{ref}(\lambda)$ ，并带入公式（1），使公式（1）计算的光通量，等于标准照度条件（200 lx， 500 lx， 1000 lx）中的任意一个。

4.3 标定要求

- 4.3.1 标定后的标准电池的应满足 4.1 的要求。
- 4.3.2 每次标定的标准电池，数据单中应记录下列内容：
 - 识别号；
 - 电池制造厂；
 - 材料类型；
 - 封装类型；
 - 标定机构；
 - 标定地点和日期；
 - 标定方法；
 - 标准光源类型；
 - 相对光谱响应；
 - 短路电流的温度系数；
 - 标准测试条件（STC）下的标定值；
 - 准确度要求。

5 电流-电压特性的测量

5.1 标准光源

可任意选择一种国际照明委员会（CIE）提供的常见光源（即色温为4200 K的荧光灯、4200 K的LED灯或5100 K的LED灯）作为标准光源。标准光源曲线见图1。标准光源的相对光谱辐照度分布数据见附录A。

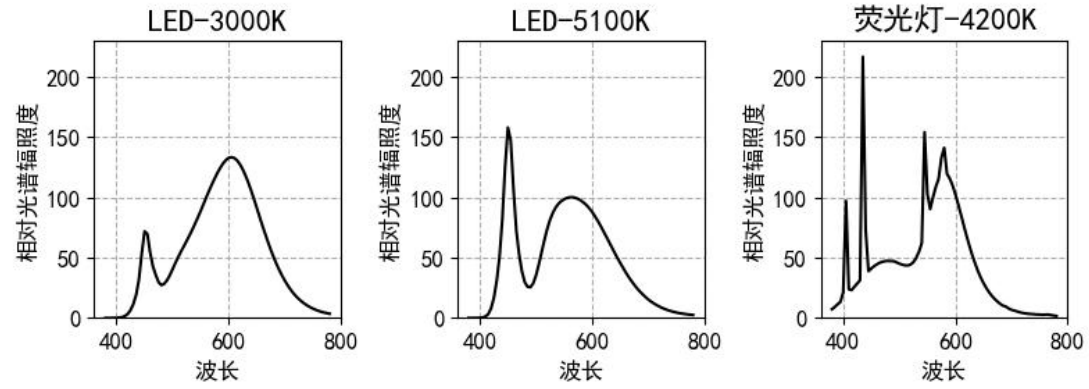


图1 标准光源曲线

5.2 测量要求

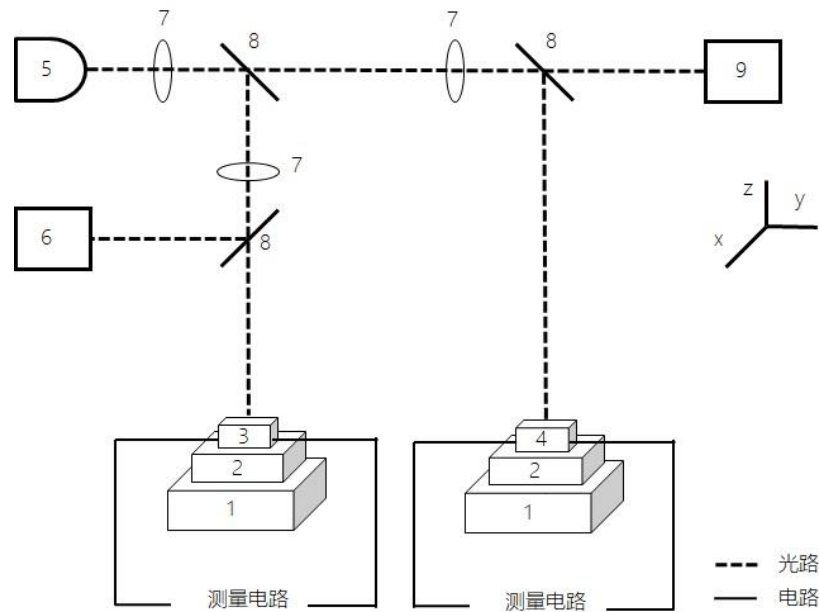
测量时满足以下要求：

- a) 测量辐照度应使用经过标定的标准电池；
- b) 标准电池与被测样品属于同一类型的光动能电池，具有基本相同的相对光谱响应；
- c) 标准电池与被测样品的温度应该在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。温度测量准确度应为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，重复性为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，如果标准电池的实测温度与标定温度差大于 2°C ，应对标准电池的标定值按实际温度进行校正；
- d) 在 5.1 标准光源的照度（200 lx，500 lx，1000 lx）下测量。

5.3 测量设备

测量设备包括以下设备：

- a) 测量光箱（见图 2）；
- b) 光功率计。



标引序号说明：

- 1——xyz测试台；
- 2——温度控制器；
- 3——标准电池；
- 4——被测样品；
- 5——人造光源；
- 6——光谱仪；
- 7——ND滤波器；
- 8——分光器；
- 9——照度计。

图2 测量光箱

5.4 测量方法

按照以下方法进行测量：

- a) 调整标准电池分支、被测样品分支内的 ND 滤波器，使分支内对应的照度计读数一致；
- b) 将标准电池和被测样品的分别安装在如图 2 所示的 xyz 载物台上，使其重心与 xyz 载物台的照明区域中心点标记重合，偏差均需小于±1 cm；
- c) 调整人造光源后的 ND 滤波器，使标准电池的短路电流达到按照 6.2 光谱失配修正后的标定值，照度计分支的读数在标准照度±5%范围内；
- d) 记录被测样品的电流-电压特性、温度与照度；
- e) 如果测量时的温度为非标准温度，需要根据 6.1 修正到标准温度。

6 修正方法

6.1 电池温度和辐照度修正方法

- 6.1.1 将被测样品在温度（ T_1 ）和辐照度（由 I_{SR} 体现）下的 I-V 实测特性曲线，修正到标准测试条件或另外选定温度（ T_2 ）和辐照度（由 I_{MR} 体现）下所形成的 I-V 修正特性曲线。
- 6.1.2 修正过程为将实测曲线中的每一个点（ I_1, V_1 ），映射到修正特性曲线的每一个点（ I_2, V_2 ）上。
- 6.1.3 实测的电流-电压特性应按照公式（3）和（4）修正到标准测试条件或另外选定的电池温度和辐照度值。

$$I_2 = I_1 + I_{SC} \left[\frac{I_{SR}}{I_{MR}} - 1 \right] + \alpha(T_2 - T_1) \dots\dots\dots (3)$$
$$V_2 = V_1 - R_S(I_2 - I_1) - KI_2(T_2 - T_1) + \beta(T_2 - T_1) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $I_1、V_1$ ——实测特性点的坐标值；
- $I_2、V_2$ ——修正特性点的坐标值；
- I_{SC} ——被测样品的实测短路电流；
- I_{MR} ——标准电池的实测短路电流，在测量 I_{MR} 时，如有必要应对标准电池的温度作修正；
- I_{SR} ——标准电池在标准辐照度或设定辐照度的短路电流；
- T_1 ——被测样品的实测电池温度；
- T_2 ——标准电池温度，或设定电池温度；
- $\alpha、\beta$ ——被测样品在标准辐照度或设定辐照度下，以及在设定的温度范围内的电流和电压温度系数（ β 为负值）；
- R_S ——被测样品的内部串联电阻；

K ——曲线修正系数。

注：上式中所有参数的单位保持统一，温度系数、内部串联电阻与曲线修正系数按照 IEC 60891：2021 中列出的方法测量。

6.2 光谱失配修正方法

6.2.1 测量测试光源的相对光谱辐照度 $E_{meas}(\lambda)$ 、试样的相对光谱响应 $S_{DUT}(\lambda)$ 与标准电池的相对光谱响应 $E_{ref}(\lambda)$ ，按照公式（5）计算光谱失配修正系数。

$$SMM = \frac{\int E_{ref}(\lambda) S_{ref}(\lambda) d\lambda \int E_{meas}(\lambda) S_{DUT}(\lambda) d\lambda}{\int E_{meas}(\lambda) S_{ref}(\lambda) d\lambda \int E_{ref}(\lambda) S_{DUT}(\lambda) d\lambda} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

SMM ——光谱失配修正系数；

$E_{meas}(\lambda)$ ——测试光源的相对光谱辐照度；

$S_{DUT}(\lambda)$ ——试样的相对光谱响应；

$E_{ref}(\lambda)$ ——标准光源的相对光谱辐照度，见附录 A。

6.2.2 按照 5.4 的方法调整光源光量，并在标准电池的短路电流为标准光源标定值的 $1/SMM$ 时，进行 I-V 曲线测量。

7 光谱响应的测量方法

7.1 按照 IEC 60904-8：2014 中的方法，测量试样的微分光谱响应 $\tilde{S}(\lambda, I_{bias})$ ，此处的 I_{bias} 代表白偏置光下产生的短路电流。在 5.2 与附录 A 中给出的标准室内光源的光谱条件下，按照 IEC 60904-8：2014 中的方法，测量试样的微分光谱响应 $\tilde{S}(I_{bias})$ ，计算方法见公式（6）。

$$\tilde{S}(I_{bias}) = \frac{\int_0^\infty \tilde{S}(\lambda, I_{bias}) \times E_{ref}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty E_{ref}(\lambda) d\lambda} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\tilde{S}(I_{bias})$ ——微分光谱响应；

$E_{ref}(\lambda)$ ——标准光源的相对光谱辐照度，见附录 A。

7.2 当 $\int_0^{I_{STC}} \frac{1}{\tilde{S}(I_{bias})} dI_{bias}$ 与标准光源的相对光谱辐照度 $E_{ref}(\lambda)$ 相等时，其积分上限 I_{STC} 即为标准室内条件下的短路电流 I_{STC} ，由此通过公式（7）得到作为标准室内光谱下的光谱响应 $S(\lambda, I_{STC})$ ：

$$S(\lambda, I_{STC}) = \frac{I_{STC}}{\int_0^{I_{STC}} \frac{1}{\tilde{S}(\lambda, I_{bias})} dI_{bias}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$S(\lambda, I_{STC})$ ——标准室内光谱下的光谱响应；

I_{STC} ——标准室内条件下的短路电流；

$\tilde{S}(\lambda, I_{bias})$ ——微分光谱响应。

8 转换效率的计算方法

根据第5章测量得到电流-电压特性曲线，需要修正的按第6章进行修正。找到曲线上最大的电流电压乘积为最大功率 P_{max} ，标准光源的辐照度 P_{in} 根据4.2求解的缩放参数 K_S ，按照公式（8）求解缩放后的辐照度。根据公式（9）得到光动能电池的转换效率 η 。

$$P_{in} = K_S \int E_{ref}(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in} \times A} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

η ——换效率；

- A ——光动能电池接受光的面积；
- P_{in} ——标准光源的辐照度；
- K_s ——缩放参数；
- $E_{ref}(\lambda)$ ——标准光源的相对光谱辐照度，见附录 A。

9 测量报告

- 应包含以下内容：
- a) 光动能电池试样（电池类型）的说明和标志；
 - b) 光源类型，辐照度与照度；
 - c) 试样和标准光动能电池的温度、湿度；
 - d) 试样的测定数据；
 - e) 标准光动能电池的标定数据；
 - f) 和标准测试方法相比较的差别；
 - g) 测试结果。

附 录 A
(资料性)
标准光源的相对光谱辐照度

标准光源分别为LED(色温3000 K和5100 K)和荧光灯(色温4200 K)的相对光谱辐照度,见表A.1。

表A.1 标准光源的相对光谱辐照度分布

光源: LED-3000 K		光源: LED-5100 K		光源: 荧光灯-4200 K	
波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)	波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)	波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)
380.00	0.00	380.00	0.00	380.00	7.30
385.00	0.00	385.00	0.00	385.00	9.16
390.00	0.00	390.00	0.00	390.00	11.39
395.00	0.07	395.00	0.06	395.00	13.30
400.00	0.14	400.00	0.18	400.00	21.29
405.00	0.34	405.00	0.49	405.00	97.09
410.00	0.75	410.00	1.28	410.00	23.82
415.00	1.63	415.00	3.29	415.00	23.14
420.00	3.40	420.00	7.98	420.00	25.93
425.00	6.53	425.00	16.75	425.00	28.59
430.00	11.63	430.00	30.69	430.00	31.31
435.00	19.18	435.00	50.61	435.00	216.46
440.00	32.04	440.00	81.43	440.00	73.08
445.00	53.54	445.00	125.52	445.00	38.80
450.00	71.84	450.00	157.80	450.00	41.03
455.00	69.66	455.00	146.89	455.00	42.88
460.00	54.01	460.00	106.39	460.00	44.49
465.00	42.52	465.00	72.47	465.00	45.79
470.00	35.58	470.00	52.50	470.00	46.66
475.00	29.66	475.00	38.61	475.00	47.15

表A.1 标准光源的相对光谱辐照度分布（续）

光源：LED-3000 K		光源：LED-5100 K		光源：荧光灯-4200 K	
波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)	波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)	波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)
480.00	27.21	480.00	29.78	480.00	47.34
485.00	28.37	485.00	25.88	485.00	47.15
490.00	31.22	490.00	25.52	490.00	47.15
495.00	35.44	495.00	28.62	495.00	46.10
500.00	40.54	500.00	35.14	500.00	45.05
505.00	45.71	505.00	44.28	505.00	44.25
510.00	50.61	510.00	54.45	510.00	43.63
515.00	55.17	515.00	64.56	515.00	43.56
520.00	59.46	520.00	73.75	520.00	44.31
525.00	63.88	525.00	81.36	525.00	46.23
530.00	68.44	530.00	87.09	530.00	49.75
535.00	73.13	535.00	91.47	535.00	54.95
540.00	78.16	540.00	94.64	540.00	61.94
545.00	83.33	545.00	96.83	545.00	153.96
550.00	88.78	550.00	98.36	550.00	102.97
555.00	94.29	555.00	99.45	555.00	90.28
560.00	100.00	560.00	100.00	560.00	100.00
565.00	105.44	565.00	100.12	565.00	108.66
570.00	110.75	570.00	99.63	570.00	115.22
575.00	115.65	575.00	98.66	575.00	132.86
580.00	120.34	580.00	97.32	580.00	141.03
585.00	124.56	585.00	95.62	585.00	119.37
590.00	128.10	590.00	93.54	590.00	115.47
595.00	130.88	595.00	90.93	595.00	109.72
600.00	132.72	600.00	87.94	600.00	102.35
605.00	133.27	605.00	84.41	605.00	94.12

表A.1 标准光源的相对光谱辐照度分布（续）

光源：LED-3000 K		光源：LED-5100 K		光源：荧光灯-4200 K	
波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)	波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)	波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)
610.00	132.52	610.00	80.63	610.00	85.40
615.00	130.54	615.00	76.55	615.00	76.49
620.00	127.35	620.00	72.11	620.00	67.76
625.00	123.13	625.00	67.72	625.00	59.72
630.00	117.96	630.00	63.22	630.00	51.98
635.00	112.04	635.00	58.77	635.00	45.30
640.00	105.51	640.00	54.26	640.00	39.05
645.00	98.57	645.00	49.88	645.00	33.60
650.00	91.29	650.00	45.74	650.00	28.96
655.00	83.88	655.00	41.78	655.00	24.88
660.00	76.60	660.00	37.82	660.00	21.35
665.00	69.66	665.00	34.10	665.00	18.32
670.00	62.93	670.00	30.76	670.00	15.78
675.00	56.46	675.00	27.65	675.00	13.55
680.00	50.48	680.00	24.67	680.00	11.70
685.00	44.90	685.00	22.05	685.00	10.15
690.00	39.80	690.00	19.67	690.00	9.47
695.00	35.17	695.00	17.48	695.00	7.86
700.00	30.95	700.00	15.41	700.00	6.81
705.00	27.14	705.00	13.64	705.00	6.13
710.00	23.74	710.00	12.12	710.00	5.45
715.00	20.68	715.00	10.72	715.00	4.70
720.00	18.03	720.00	9.44	720.00	4.21
725.00	15.71	725.00	8.34	725.00	3.77
730.00	13.67	730.00	7.37	730.00	3.47

表A.1 标准光源的相对光谱辐照度分布（续）

光源：LED-3000 K		光源：LED-5100 K		光源：荧光灯-4200 K	
波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)	波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)	波长 (nm)	相对光谱辐照度 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)
735.00	11.90	735.00	6.52	735.00	3.34
740.00	10.34	740.00	5.79	740.00	3.16
745.00	8.98	745.00	5.18	745.00	2.91
750.00	7.82	750.00	4.57	750.00	2.91
755.00	6.80	755.00	4.08	755.00	2.66
760.00	5.92	760.00	3.71	760.00	2.85
765.00	5.17	765.00	3.35	765.00	2.91
770.00	4.56	770.00	3.05	770.00	2.48
775.00	4.01	775.00	2.74	775.00	2.04
780.00	3.54	780.00	2.56	780.00	1.67