

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2062—2023

光伏组件用紫外老化箱校准规范

Calibration Specification for Ultraviolet Test
Chambers of Photovoltaic Modules

2023-06-30 发布

2023-12-30 实施

国家市场监督管理总局 发布

光伏组件用紫外老化箱

校准规范

Calibration Specification for Ultraviolet
Test Chambers of Photovoltaic Modules

JJF 2062—2023

归口单位：全国光伏专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：福建省特种设备检验研究院

福建省计量科学研究院

广东省计量科学研究院

参加起草单位：中国测试技术研究院

苏州阿特斯阳光电力科技有限公司

本规范委托全国光伏专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

徐彩军（福建省特种设备检验研究院）

黎健生（福建省计量科学研究院）

周军红（广东省计量科学研究院）

参加起草人：

罗海燕（福建省计量科学研究院）

苏昌林（中国测试技术研究院）

赵长瑞（苏州阿特斯阳光电力科技有限公司）

陈彩云（福建省计量科学研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和定义	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(1)
5.1 紫外辐照度修正系数	(1)
5.2 紫外光谱积分辐照度	(1)
5.3 紫外辐照度不均匀度	(1)
5.4 紫外辐照度不稳定性	(1)
6 校准条件	(2)
6.1 校准条件	(2)
6.2 标准器及配套设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(2)
7.1 校准项目	(2)
7.2 校准前检查	(2)
7.3 紫外辐照度修正系数	(2)
7.4 紫外光谱积分辐照度	(4)
7.5 紫外辐照度不均匀度	(4)
7.6 紫外辐照度不稳定性	(5)
8 校准结果表达	(5)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 校准结果内页推荐格式	(6)
附录 B 校准原始记录内页推荐格式	(9)
附录 C 校准结果不确定度评定示例	(12)

引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定的基础性规范。

本规范为首次发布。



光伏组件用紫外老化箱校准规范

1 范围

本规范适用于光伏组件用紫外老化箱的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 2297—1989 太阳光伏能源系统术语

IEC 60904-9 光伏器件 第9部分：太阳模拟器性能等级分类（Photovoltaic devices—Part 9: Classification of solar simulator performance requirements）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和定义

GB/T 2297—1989 界定的和下列术语和定义适用于本规范。

3.1 紫外辐照度 ultraviolet (UV) irradiance

在波段（250～400）nm 内投射到单位面积上的辐射通量。

注：紫外辐照度的单位为 W/m^2 。

4 概述

光伏组件用紫外老化箱（以下简称紫外老化箱）是模拟太阳光光谱里紫外部分的装置，通常采用中空箱体式结构，光源侧置或顶置，配合适当的温度 [通常为 $(60 \pm 5)^\circ C$] 用于考核光伏组件抗紫外辐照能力的试验。

5 计量特性

5.1 紫外辐照度修正系数

紫外辐照度修正系数不超过（0.6～1.4）。

5.2 紫外光谱积分辐照度

UVC 波段：（250～280）nm、UVB 波段：（280～320）nm 和 UVA 波段：（320～400）nm 的积分辐照度。

5.3 紫外辐照度不均匀度

紫外老化箱内指定测量平面上的紫外辐照度不均匀度不超过 15%。

5.4 紫外辐照度不稳定性

紫外老化箱内的紫外辐照度不稳定性不超过 5%。

6 校准条件

6.1 校准条件

6.1.1 环境温度 $(25 \pm 10) ^\circ\text{C}$ ，环境相对湿度 $\leq 85\%$ 。

6.1.2 紫外老化箱内设定温度： $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 。

6.1.3 电网电压波动符合紫外老化箱和检测设备的使用要求，无影响其正常工作的电磁场、机械振动；校准地点应无影响辐照度和光谱测量的杂散光。

6.2 标准器及配套设备

6.2.1 紫外辐照度计

本规范使用的紫外辐照度计包含 UVA 紫外辐照度计、UVB 紫外辐照度计和 UVA + UVB 复合紫外辐照度计 3 种，分别对应 $(320 \sim 400) \text{ nm}$ 波段、 $(280 \sim 320) \text{ nm}$ 波段和 $(280 \sim 400) \text{ nm}$ 波段的紫外辐照度测量。

用于校准的紫外辐照度计示值误差不应超过 $\pm 10\%$ ；零值误差不超过满量程示值的 $\pm 1\%$ ；受到大于 1 mW/cm^2 的稳定紫外辐射源稳定照射 10 min ，紫外辐照度计的初始和结束示值相对变化应小于 2% ；各量程测量的非线性不超过 $\pm 1\%$ ；校准紫外辐照度计时采用的上一级标准光源的类型应与紫外老化箱内紫外光源相一致。

6.2.2 光谱仪

最小光谱测量范围要覆盖 $(250 \sim 400) \text{ nm}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目列表

序号	校准项目	对应条款号
1	紫外辐照度修正系数	7.3
2	紫外光谱积分辐照度	7.4
3	紫外辐照度不均匀度	7.5
4	紫外辐照度不稳定性	7.6

7.2 校准前检查

用目视和手动检查，内容包括：制造厂名或商标、出厂编号、仪器名称、型号；灯管玻壳无发黑，通电后各个灯管均正常点亮；辐照度和温度测量和显示装置能正常工作。

7.3 紫外辐照度修正系数

紫外辐照度的修正系数由公式 (1) 定义：

$$\alpha = \frac{G_0}{G} \quad (1)$$

式中：

α ——紫外老化箱的紫外辐照度修正系数，无量纲；

G ——紫外老化箱的紫外辐照度指示值， W/m^2 ；

G_0 ——标准器的紫外辐照度测量值， W/m^2 。

紫外老化箱正常启亮后不少于 30 min，紫外老化箱内设定温度为 $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，待设备稳定后进行后续测量。

如图 1 所示，将 UVA 和 UVB 紫外辐照度计分别垂直放置于指定测试面的中心点，直接测得 UVA 波段和 UVB 波段的辐照度，分别测量 3 次，取平均值作为测量结果。

使用紫外辐照度计对紫外老化箱进行校准的过程中，应考虑紫外老化箱工作温度和校准紫外辐照度计时的温度之间的差异对紫外辐照度计性能产生的影响。如紫外辐照度计的额定工作温度范围能覆盖 65°C ，则应在测量时进行与紫外老化箱内工作温度相适应的温度修正。如紫外辐照度计的额定工作温度范围不能覆盖 65°C ，则不适合用于直接测量紫外老化箱的紫外辐照度，应考虑为其配置温控装置，使其在测量时工作在被校准时的温度（可通过查阅有效的校准报告得到）。注意温控装置受光面采用的材料在波段 $(250 \sim 400) \text{ nm}$ 的透过率是一致的。

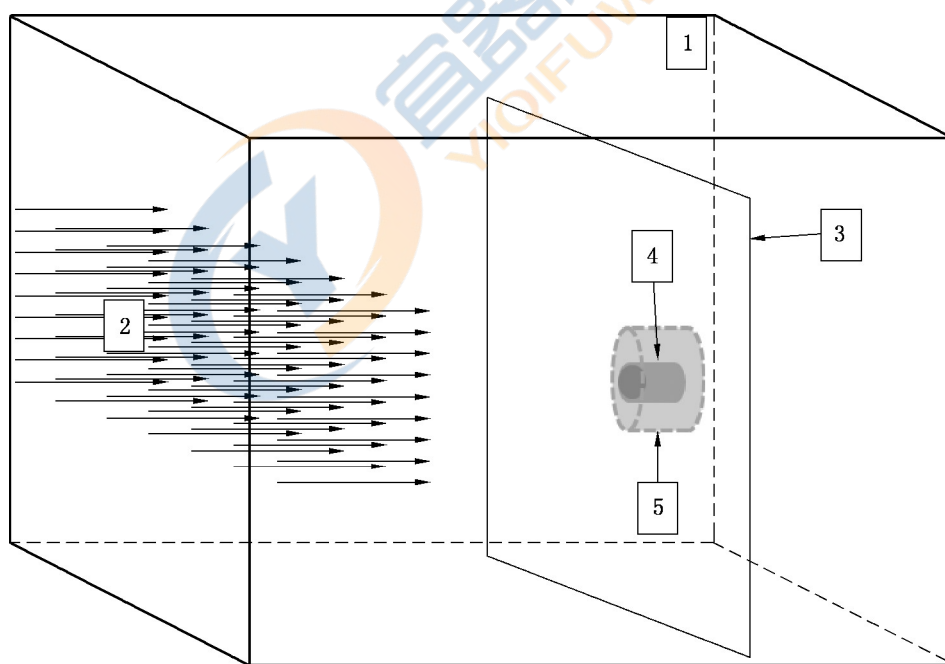


图 1 紫外辐照度测量示意图

1—紫外老化箱体；2—紫外辐射方向；3—指定测试面；4—标准紫外辐照度计；5—温控装置（如有）

也可使用 6.2.2 中的光谱仪进行紫外辐射的绝对光谱辐照度测量，然后根据公式 (2) 在需要波段的光谱范围对绝对光谱辐照度测量数据进行积分，得到该波段的紫外辐照度。

$$G = \int_{\lambda_B}^{\lambda_A} \text{SR}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2)$$

式中：

λ_A, λ_B ——关注波段范围内的波长上限和下限，nm；

$SR(\lambda)$ ——光谱仪测得的紫外辐射的绝对光谱辐照度， $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ 。

公式（2）中的辐照度 G_0 同样需要测量 3 次，取平均值作为测量结果。

7.4 紫外光谱积分辐照度

将光谱仪的受光探头垂直放置于测试面的中心点，以不大于 5 nm 的波长间隔测量（250~400）nm 范围内的紫外辐射光谱分布，应根据被校光源的特性合理选择积分时间。为了避免高温对光谱仪本体的影响，光谱仪应放置在紫外老化箱外，使用具有抗紫外封装的光纤进行耦合。测量后分别计算 UVC 波段（250~280）nm、UVB 波段（280~320）nm 和 UVA 波段（320~400）nm 积分辐照度占整个测量波段范围（250~400）nm 积分辐照度的比例。

7.5 紫外辐照度不均匀度

将图 1 中的指定测试面划分成面积不超过 20 cm×20 cm 的等分区域，每个测试点位于每一等分区域的正中央。将 UVA+UVB 复合辐照度计放置在测试点上，测量各个测试区域的紫外辐照度。



图 2 紫外辐照度不均匀度测量区域划分示意图

说明：示意图中指定测量面长 2.0 m、宽 1.0 m，被均匀划分为 50 个测量区域（每个区域 20 cm×20 cm）。

测量的温度设定和测量过程参照 7.3 测量完毕后，将数据按公式（3）计算得到指定测试面内的紫外辐照度不均匀度。

$$G_{NU} = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{G_{\max} + G_{\min}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

G_{NU} ——紫外老化箱内指定测量平面上的紫外辐照度不均匀度；

$G_{\max}$ ——紫外老化箱内指定测量平面上测得的紫外辐照度最大值；

$G_{\min}$ ——紫外老化箱内指定测量平面上测得的紫外辐照度最小值。

7.6 紫外辐照度不稳定性

将 UVA+UVB 复合辐照度计放置在指定测试面上的中心点上，每 2 min 记录该点的紫外辐照度一次，连续测量 30 min，共记录 16 次。测量完毕后，将数据按公式（4）计算得到紫外辐照度不稳定性。

$$G_{IS} = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{G_{\max} + G_{\min}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

G_{IS} —— 紫外老化箱内的紫外辐照度不稳定性；

$G_{\max}$ —— 在指定测量时间内指定测量平面中心点上测得的紫外辐照度最大值；

$G_{\min}$ —— 在指定测量时间内指定测量平面中心点上测得的紫外辐照度最小值。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性或应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及其有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校太阳电池有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

校准结果内页格式参照附录 A，格式上可依据实际情况做合理改动。被校准设备的计量特性测量数据应记入校准原始记录，按附录 B 的格式给出。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 12 个月。可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，但更换重要部件（特别是光源）、维修或对设备性能有疑异时，应随时校准。

附录 A

校准结果内页推荐格式

证书编号 * * * * *

校 准 结 果

一、校准方法：

二、校准结果：

1. 紫外辐照度修正系数

被校紫外老化箱紫外辐照度修正系数校准结果如下：

波段	标准值 W/m^2	显示值 W/m^2	修正系数
UVA			
UVB			

2. 紫外光谱积分辐照度

被校紫外老化箱紫外光谱积分辐照度校准结果如下：

UVA 波段（320~400）nm 紫外光谱积分辐照度占比：_____ %；

UVB 波段（280~320）nm 紫外光谱积分辐照度占比：_____ %；

UVC 波段（250~280）nm 紫外光谱积分辐照度占比：_____ %。

校 准 结 果

3. 紫外辐照度不均匀度

被校紫外老化箱紫外辐照度不均匀度校准结果如下：

紫外辐照度/(W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	...
A									
B									
C									
D									
E									
F									
G									
H									
...									

紫外辐照度最大值：_____W/m²；

紫外辐照度最小值：_____W/m²；

紫外辐照度不均匀度：_____％。

4. 紫外辐照度不稳定性

被校紫外老化箱紫外辐照度不稳定性校准结果如下：

紫外辐照度最大值：_____W/m²；

紫外辐照度最小值：_____W/m²；

紫外辐照度不稳定性：_____％。

校准结果

三、不确定度描述：

紫外辐照度修正系数： $U_{\text{rel}} = \quad (k=2)$ ；

紫外光谱积分辐照度：(250~280) nm： $U_{\text{rel}} = \quad (k=2)$ ；

(280~320) nm： $U_{\text{rel}} = \quad (k=2)$ ；

(320~400) nm： $U_{\text{rel}} = \quad (k=2)$ ；

紫外辐照度不均匀度： $U_{\text{rel}} = \quad (k=2)$ ；

紫外辐照度不稳定性： $U_{\text{rel}} = \quad (k=2)$ 。



附录 B

校准原始记录内页推荐格式

证书编号 _____ 记录编号 _____
 委托单位 _____ 委托单位地址 _____
 仪器型号/规格 _____ 出厂编号 _____
 光源类型 _____ 制造厂 _____
 校准地点 _____
 校准依据 _____
 校准环境条件：温度 _____ °C 相对湿度 _____ %

序号	主标准器名称	型号规格	编号	不确定度或准确度等级 或最大允许误差	证书编号	有效期至

B.1 外观检查

B.2 紫外辐照度修正系数

波长范围	标准器示值 W/m^2	标准器修正 系数	标准值 W/m^2	标准值平均 W/m^2	显示值 W/m^2	显示值平均 W/m^2	修正系数
UVA							
UVB							

B.3 紫外光谱积分辐照度

波长 nm	光谱辐照度 $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$	波长 nm	光谱辐照度 $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$	波长 nm	光谱辐照度 $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$
250		305		360	
255		310		365	
260		315		370	
265		320		375	
270		325		380	
275		330		385	
280		335		390	
285		340		395	
290		345		400	
295		350		—	—
300		355		—	—

(250~400) nm 紫外光谱积分辐照度： _____ W/m^2 ；

UVA 波段 (320~400) nm 紫外光谱积分辐照度: _____ W/m², 占比: _____ %;

UVB 波段 (280~320) nm 紫外光谱积分辐照度: _____ W/m², 占比: _____ %;

UVC 波段 (250~280) nm 紫外光谱积分辐照度: _____ W/m², 占比: _____ %。

B.4 紫外辐照度不均匀度

紫外辐照度/(W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	...
A									
B									
C									
D									
E									
F									
G									
H									
...									

紫外辐照度最大值: _____ W/m²;

紫外辐照度最小值: _____ W/m²;

紫外辐照度不均匀度: _____ %。

B.5 紫外辐照度不稳定性

测量次数	标准器读数 W/m ²	测量次数	标准器读数 W/m ²	测量次数	标准器读数 W/m ²
1		7		13	
2		8		14	
3		9		15	
4		10		16	
5		11			
6		12			

紫外辐照度最大值: _____ W/m²;

紫外辐照度最小值: _____ W/m²;

紫外辐照度不稳定性: _____ %。

校准结果的测量不确定度:

B.6 紫外辐照度修正系数: $U_{\text{rel}} =$ ($k=2$);

紫外光谱积分辐照度: (250~280) nm: $U_{\text{rel}} =$ ($k=2$);

(280~320) nm: $U_{\text{rel}} =$ ($k=2$);

(320~400) nm: $U_{\text{rel}} =$ ($k=2$);

紫外辐照度不均匀度： $U_{\text{rel}} =$ ($k=2$)；

紫外辐照度不稳定性： $U_{\text{rel}} =$ ($k=2$)。

校准员 _____

核验员 _____

校准日期 _____

核验日期 _____



附录 C

校准结果不确定度评定示例

C.1 紫外老化箱紫外辐照度修正系数测量结果不确定度评定示例

C.1.1 测量模型如公式 (C.1) 所示：

$$\alpha = \frac{G_0}{G} \quad (\text{C.1})$$

式中：

α ——紫外老化箱的紫外辐照度修正系数，无量纲；

G ——紫外老化箱的紫外辐照度指示值， W/m^2 ；

G_0 ——标准器的紫外辐照度测量值， W/m^2 。

C.1.2 不确定度来源包括：标准器读数重复性引起的不确定度，标准辐照度计校准溯源引起的不确定度，温度变化引起的不确定度，杂散光引起的不确定度，标准紫外辐照度计安装引起的不确定度，被校光源的不稳定性引起的不确定度，辐照不均匀性引起的不确定度等。

C.1.3 标准不确定度分量的评定

C.1.3.1 标准器读数重复性引起的不确定度评定 $u_1(G_0)$

通过用标准紫外辐照度计进行 10 min 的连续测量，1 min 测量 1 次，得到测量数据见表 C.1。

表 C.1 标准紫外辐照度计测量重复性数据

序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值/ (W/m^2)	187.7	187.4	188.5	188.5	188.0	187.6	187.3	187.3	187.3	187.8

其算术平均值：

$$\bar{G} = \frac{1}{n} \sum G_i = 187.7 \text{ W}/\text{m}^2$$

单次试验标准差：

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (G_i - \bar{G})^2 / (10 - 1)} = 0.46 \text{ W}/\text{m}^2$$

实际测量中是重复测量 3 次取平均值，则可得到：

$$u_1(G_0) = \frac{s}{\bar{G} \times \sqrt{3}} = 0.14\%。$$

C.1.3.2 标准辐照度计校准溯源引起的不确定度 $u_2(G_0)$ 的评定

根据校准证书，校准不确定度为 13.0% ($k=2$)，标准不确定度为 6.5%，或表示为 $u_2(G_0) = 6.50\%$ 。

C.1.3.3 温度变化引起的不确定度 $u_3(G_0)$ 的评定

根据实验，在 $(23 \sim 60)^\circ\text{C}$ 标准紫外辐照度计的示数随温度的变化率约为

$-0.26\%/^{\circ}\text{C}$ ，估计为均匀分布，则 $u_3(G_0)=0.15\%$ 。

C.1.3.4 杂散光引起的不确定度 $u_4(G_0)$ 的评定

由于紫外老化箱内壁基本为不锈钢材料，光反射情况复杂，来自周围环境中的杂散辐射引起的测量不确定度按实验室环境的 1 倍估算为 $u_4(G_0)=2.00\%$ 。

C.1.3.5 标准紫外辐照度计安装引起的不确定度 $u_5(G_0)$ 的评定

标准器重复装调后测量 10 次，测量数据见表 C.2。

表 C.2 标准紫外辐照度计安装重复性数据

序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值/(W/m ²)	182.2	180.1	183.6	184.7	182.1	184.8	185.8	183.6	182.1	182.7

标准紫外辐照度计的安装与装调给测量结果带来的测量不确定度：

$$u_5(G_0) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (G_i - \bar{G})^2 / (10 - 1)}}{\bar{G}} = 1.00\%$$

C.1.3.6 被校光源的不稳定性的不确定度 $u_6(G_0)$ 的评定

通过用标准紫外辐照度计进行 10 min 的连续测量，1 min 测量 1 次，得到测量数据见表 C.3。

表 C.3 紫外老化箱自身示值重复性数据

序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值/(W/m ²)	202.4	202.5	202.3	202.0	202.1	201.8	201.6	201.7	201.8	202.1

其算术平均值：

$$G = \frac{1}{n} \sum G_i = 202.2 \text{ W/m}^2$$

单次试验标准差：

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (G_i - \bar{G})^2 / (10 - 1)} = 0.435 \text{ W/m}^2$$

实际测量中是重复测量 3 次取平均值，则可得到：

$$u_6(G_0) = \frac{s}{\bar{G} \times \sqrt{3}} = 0.13\%$$

C.1.3.7 辐照不均匀性引起的不确定度 $u_7(G_0)$ 的评定

取覆盖均匀性测量指定试验平面中央 9 个点的均匀性，由于箱体内辐照度不均匀带来的测量不确定度 $u_7(G_0)=2.7\%$ 。

C.1.4 合成标准不确定度和扩展不确定度

C.1.4.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量一览表见表 C.4。

表 C.4 标准不确定度分量与灵敏系数计算列表

分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度分量/%
$u_1(G_0)$	标准器读数重复性引起的不确定度	0.14
$u_2(G_0)$	标准辐照度计校准溯源引起的不确定度	6.5
$u_3(G_0)$	温度变化引起的不确定度	0.15
$u_4(G_0)$	杂散光引起的不确定度	2.0
$u_5(G_0)$	标准紫外辐照度计安装引起的不确定度	1.0
$u_6(G_0)$	被校光源的不稳定性引起的不确定度	0.13
$u_7(G_0)$	辐照不均匀性引起的不确定度	2.7

C.1.4.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关，因此合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^7 u_i^2} = 7.4\%$$

C.1.4.3 扩展不确定度的确定

取 $k=2$ ，得到扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = u_c \times k = 7.4\% \times 2 \approx 15\%$$

C.2 紫外老化箱紫外光谱分布占比测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

测量模型如公式 (C.2) 所示：

$$G = \int_{\lambda_B}^{\lambda_A} SR(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{C.2})$$

式中：

λ_A, λ_B ——关注波段范围内的波长上限和下限，nm；

$SR(\lambda)$ ——光谱仪测得的紫外辐射的绝对光谱辐照度， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ 。

C.2.2 不确定度来源

包括：测量重复性引起的不确定度，光纤光谱仪辐照度校准溯源结果引起的不确定度，光纤光谱仪探测器余弦修正引起的不确定度和温度偏差引起的不确定度等。

C.2.3 标准不确定度分量的评定

C.2.3.1 测量重复性引起的不确定度 $u_1(s)$ 评定

通过用光纤光谱仪进行连续 10 次测量，得到测量数据见表 C.5。

表 C.5 光纤光谱仪测量重复性数据

单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$

波长/nm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
250	0.852 5	0.784 6	0.781 4	0.741 6	0.795 8	0.825 7	0.825 0	0.834 3	0.834 7	0.850 9
260	0.964 5	0.925 9	0.933 9	0.897 3	0.885 9	0.931 5	0.905 0	0.899 8	0.945 2	0.947 4
270	0.902 6	0.867 8	0.887 9	0.838 8	0.835 7	0.879 7	0.846 7	0.864 6	0.895 8	0.887 3
280	1.095	1.029	1.025	0.969 1	0.997 3	1.056	1.030	1.028	1.052	1.072
290	1.149	1.105	1.087	1.006	1.049	1.130	1.091	1.077	1.113	1.128
300	1.586	1.563	1.614	1.451	1.442	1.574	1.623	1.525	1.568	1.576
310	4.087	4.11	4.655	3.695	3.532	4.054	4.587	4.182	4.110	4.142
320	4.890	4.94	5.627	4.420	4.219	4.845	5.539	5.016	4.940	4.986
330	17.03	16.82	18.38	15.51	14.93	16.74	18.187	17.04	16.98	16.94
340	17.97	17.78	19.40	16.36	15.86	17.70	19.19	18.04	17.92	17.88
350	29.19	28.37	29.85	26.87	26.33	28.74	29.75	28.65	28.82	28.78
360	36.24	34.70	36.29	33.59	33.01	35.63	36.04	35.18	35.59	35.62
370	36.54	34.92	36.51	33.85	33.33	35.94	36.29	35.39	35.84	35.91
380	47.81	45.54	47.15	44.51	43.87	47.00	46.78	46.16	46.75	46.94
390	48.73	46.41	48.07	45.36	44.74	47.94	47.69	47.03	47.70	47.76
400	57.89	54.99	56.79	53.92	53.20	56.80	56.31	55.67	56.65	56.71

按照公式 (2) 可计算出各个波段的积分辐照度占比的重复性数据, 见表 C. 6。

表 C.6 各波段积分辐照度占比重复性数据

波段	1	2	3	4	5
(250~280) nm	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.3%
(280~320) nm	3.8%	4.0%	4.2%	3.7%	3.7%
(320~400) nm	94.9%	94.8%	94.6%	95.1%	95.1%
波段	6	7	8	9	10
(250~280) nm	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%
(280~320) nm	3.8%	4.2%	4.0%	3.9%	3.9%
(320~400) nm	94.9%	94.6%	94.8%	94.9%	94.8%

分别按 $\bar{S} = \frac{1}{n} \sum S_i$ 和 $s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 / (n - 1)}$ 计算平均值和单次实验标准差,

可得光纤光谱仪测量重复性引入的不确定度 $u_1(s)$, 见表 C. 7。

表 C.7 光纤光谱仪测量重复性引起的不确定度 $u_1(s)$

波段	$u_1(s)$
(250~280) nm	0.03%
(280~320) nm	0.17%
(320~400) nm	0.15%

C.2.3.2 光纤光谱仪辐照度校准溯源结果引入的标准不确定度 $u_2(s)$

光纤光谱仪经过中国计量科学研院校准，辐照度校准结果不确定度：

250 nm~300 nm: $U_{\text{rel}}=8.0\%(k=2)$; 310 nm~400 nm: $U_{\text{rel}}=6.0\%(k=2)$ ，则：

250 nm~300 nm: $u_2(s)=4.0\%$; 310 nm~400 nm: $u_2(s)=3.0\%$ 。

C.2.3.3 光纤光谱仪探测器余弦修正后引入的标准不确定度 $u_3(s)$

引用相关经验分析结果， $u_3(s)=0.7\%$ 。

C.2.3.4 温度偏差引入的标准不确定度 $u_4(s)$

引用相关经验分析结果，在环境温度 10 °C、25 °C、30 °C 测量， $u_4(s)=0.7\%$ 。

C.2.4 合成标准不确定度和扩展不确定度

C.2.4.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量一览表见表 C.8。

表 C.8 标准不确定度分量一览表

分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度分量
$u_1(s)$	测量重复性引起的不确定度	如表 C.7
$u_2(s)$	光纤光谱仪辐照度校准溯源引起的不确定度	250 nm~300 nm: $u_2(s)=4.0\%$; 310 nm~400 nm: $u_2(s)=3.0\%$
$u_3(s)$	光纤光谱仪探测器余弦修正后引起的不确定度	0.7%
$u_4(s)$	温度偏差引起的不确定度	0.7%

C.2.4.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为 $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_i^2}$ ，可得紫外光谱积分辐照度占比测量合成标准不确定度 $u_c(s)$ ，见表 C.9。

表 C.9 紫外光谱积分辐照度占比测量合成标准不确定度

波段	$u_c(s)$
(250~280) nm	4.1%
(280~320) nm	4.1%
(320~400) nm	3.2%

C.2.4.3 扩展不确定度的确定

取 $k=2$ ，得到扩展不确定度为：

a) (250~280) nm: $U_{\text{rel}} = u_c \times k = 4.1\% \times 2 = 8.2\%$ ；

b) (280~320) nm: $U_{\text{rel}} = u_c \times k = 4.1\% \times 2 = 8.2\%$ ；

c) (320~400) nm: $U_{\text{rel}} = u_c \times k = 3.2\% \times 2 = 6.4\%$ 。

C.3 紫外老化箱紫外辐照度不稳定性测量结果不确定度评定

C.3.1 测量模型

测量模型如公式 (C.3) 所示：

$$G_{\text{IS}} = \frac{G_{\text{max}} - G_{\text{min}}}{G_{\text{max}} + G_{\text{min}}} \times 100\% \quad (\text{C.3})$$

式中：

G_{IS} ——紫外老化箱内的紫外辐照度不稳定性；

G_{max} ——在指定测量时间内指定测量平面中心点上测得的紫外辐照度最大值， W/m^2 ；

G_{min} ——在指定测量时间内指定测量平面中心点上测得的紫外辐照度最小值， W/m^2 。

C.3.2 不确定度来源

包括：紫外辐照度计不稳定性引起的不确定度和紫外老化试验箱辐照度不稳定引起的不确定度。

C.3.3 标准不确定度分量的评定

C.3.3.1 紫外辐照度计不稳定性引起的不确定度 $u_1(\text{IS})$ 评定

根据公式 (C.3)，可得：

$$u_1(\text{IS}) = u_1(\text{NU}) = (R_{\text{max}} - R_{\text{min}}) / (R_{\text{max}} + R_{\text{min}}) = 1.0\%$$

C.3.3.2 紫外老化试验箱辐照度不稳定引入的不确定度 $u_2(\text{IS})$ 评定

以某一紫外老化试验箱为例，在 30 min 内，同一区域重复测量，其辐照度的重复性引入的不确定度 $u_2(\text{IS}) = 0.8\%$ 。

C.3.4 合成标准不确定度和扩展不确定度

C.3.4.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量一览表见表 C.10。

表 C.10 标准不确定度分量一览表

分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度分量/%
$u_1(\text{IS})$	紫外辐照度计不稳定性引起的不确定度	1.0
$u_2(\text{IS})$	紫外老化试验箱辐照度不稳定引起的不确定度	0.8

C.3.4.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_1^2 u_i^2} = 1.28\%$$

C.3.4.3 扩展不确定度的确定

取 $k=2$ ，得到扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = u_c \times k = 1.28\% \times 2 = 2.6\%$$

C.4 紫外老化箱紫外辐照度不均匀度测量结果不确定度评定

C.4.1 测量模型

测量模型如公式 (C.4) 所示：

$$G_{\text{NU}} = \frac{G_{\text{max}} - G_{\text{min}}}{G_{\text{max}} + G_{\text{min}}} \times 100\% \quad (\text{C.4})$$

式中：

G_{NU} ——紫外老化箱内指定测量平面上的紫外辐照度不均匀度，无量纲；

G_{max} ——紫外老化箱内指定测量平面上测得的紫外辐照度最大值， W/m^2 ；

G_{min} ——紫外老化箱内指定测量平面上测得的紫外辐照度最小值， W/m^2 。

C.4.2 不确定度来源

包括：紫外辐照度计不稳定性引起的不确定度，位置重复性引起的不确定度，紫外老化试验箱辐照度不稳定引起的不确定度等。

C.4.3 标准不确定度分量的评定

C.4.3.1 紫外辐照度计不稳定性引起的不确定度 $u_1(\text{NU})$ 评定

将紫外辐照度计放置于高稳定标准紫外光源下，稳定 30 min 后，测量 60 min 内紫外辐照度计的输出信号如图 C.1。

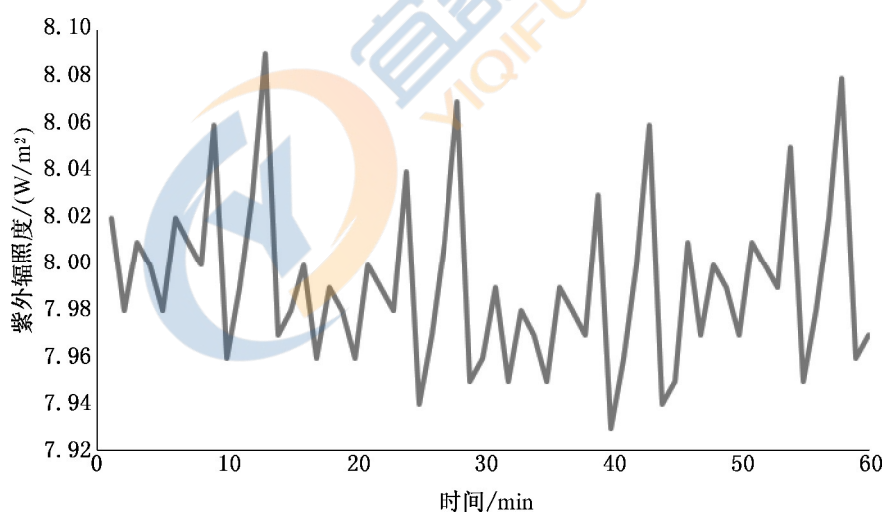


图 C.1 紫外辐照度计读数随时间变化曲线

按照紫外辐照度计不稳定性计算如下：

$$u_1(\text{NU}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{30} (G_i - \bar{G})^2 / (30 - 1)} = 0.4\%$$

C.4.3.2 位置重复性引起的不确定度 $u_2(\text{NU})$ 评定

由于划分区域与紫外辐照度计几何尺寸不一致，因放置位置不同引入的不确定度 $u_2(\text{NU}) = 0.5\%$ 。

C.4.3.3 紫外老化试验箱辐照度不稳定引入的不确定度 $u_3(\text{NU})$ 评定

以某一紫外老化试验箱为例，在 30 min 内，同一区域重复测量，其辐照度的重复

性引入的不确定度 $u_3(\text{NU})=0.8\%$ 。

C.4.4 合成标准不确定度和扩展不确定度

C.4.4.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量一览表见表 C.11。

表 C.11 标准不确定度分量一览表

分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度分量/%
$u_1(\text{NU})$	紫外辐照度计不稳定性引起的不确定度	0.4
$u_2(\text{NU})$	位置重复性引起的不确定度	0.5
$u_3(\text{NU})$	紫外老化试验箱辐照度不稳定引起的不确定度	0.8

C.4.4.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^3 u_i^2} = 1.0\%$$

C.4.4.3 扩展不确定度的确定

取 $k=2$ ，得到扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = u_c \times k = 1.0\% \times 2 = 2.0\%$$