



# 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 879—2015

---

## 紫外辐射照度计

Ultraviolet Radiometers



2015-12-07 发布

2016-06-07 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 紫外辐射照度计

## 检定规程

Verification Regulation of

Ultraviolet Radiometers

---

JJG 879—2015  
代替 JJG 879—2002

归口单位：全国光学计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

北京师范大学

参加起草单位：北京市计量检测科学研究院

本规程委托全国光学计量技术委员会负责解释

**本规程主要起草人：**

代彩红（中国计量科学研究院）

于家琳（中国计量科学研究院）

张保洲（北京师范大学）

**参加起草人：**

吴志峰（中国计量科学研究院）

张卿贤（北京市计量检测科学研究院）



## 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 概述 .....	( 1 )
3 计量性能要求 .....	( 1 )
3.1 光谱响应与波段划分 .....	( 1 )
3.2 零值误差 (满量程 FS) .....	( 2 )
3.3 长波响应误差 .....	( 2 )
3.4 余弦特性 (方向性响应) 误差 .....	( 2 )
3.5 非线性误差 .....	( 2 )
3.6 换挡误差 .....	( 2 )
3.7 疲劳误差 .....	( 3 )
3.8 相对示值误差 .....	( 3 )
4 通用技术要求 .....	( 3 )
4.1 外观 .....	( 3 )
4.2 光衰减器 .....	( 3 )
4.3 光谱响应范围 .....	( 3 )
5 计量器具控制 .....	( 3 )
5.1 检定条件 .....	( 3 )
5.2 检定项目 .....	( 4 )
5.3 检定方法 .....	( 5 )
5.4 检定结果的处理 .....	( 9 )
5.5 检定周期 .....	( 9 )
附录 A 检定证书和检定结果通知书内页格式 .....	( 10 )
附录 B 检定原始记录 .....	( 11 )
附录 C 标准级紫外辐射照度计的测量不确定度评定实例 (UV-A 波段) .....	( 13 )
附录 D 一级紫外辐射照度计测量不确定度评定实例 (UV-A 波段) .....	( 18 )

# 引 言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1032《光学辐射计量名词术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1002《国家计量检定规程编写规则》共同构成支撑本规程制修订工作的基础性系列规范。

与 JJG 879—2002 相比，除编辑性修改外，本规程主要技术变化如下：

——将紫外辐射照度计分为标准级、一级和二级（见 3）；

——在保留原规程四个波段的基础上（原规程的 UVB 波段命名为 UV-310，UVA<sub>2</sub> 波段命名为 UV-365，UVC 波段命名为 UV-254），新增国际照明委员会 CIE 建议的三个波段范围：UV-A，UV-B 和 UV-C（见 3.1）；

——对紫外辐射照度比较测量装置的组成结构的参考示意图进行了修改（见 5.1.1.3 图 2））；

——修改了检定用紫外辐射源和交流稳压电源的性能（见 5.1.1.2）；

——修改了零值误差、长波响应误差、余弦特性（方向性响应）误差、非线性误差、换挡误差、疲劳误差和相对示值误差的要求（见 3.2~3.8）和检定方法（见 5.3）；

——修订了测量不确定度评定实例（见附录 C：标准级紫外辐射照度计的测量不确定度评定实例（UV-A 波段）、附录 D：一级紫外辐射照度计测量不确定度评定实例（UV-A 波段））。

本规程的历次版本发布情况为：

——JJG 879—2002；

——JJG 879—1994。

## 紫外辐射照度计检定规程

### 1 范围

本规程适用于符合紫外辐射 UV-A、UV-B、UV-C、UV-A<sub>1</sub>、UV-365、UV-310、UV-254 波段划分的标准级、一级和二级紫外辐射照度计的首次检定、后续检定和使用中检查。

### 2 概述

国际照明委员会 CIE 将紫外辐射划分为 UV-A (315 nm~400 nm)、UV-B (280 nm~315 nm) 和 UV-C (100 nm~280 nm) 三个波段。由于 100 nm~200 nm 的紫外辐射在空气中被强烈吸收, 因此对于 UV-C 波段, 本规程仅考虑 200 nm~280 nm 波长范围。

符合紫外辐射 UV-A、UV-B、UV-C、UV-A<sub>1</sub>、UV-365、UV-310、UV-254 波段划分的紫外辐射照度计是用于测量紫外辐射照度的仪器。广泛应用于医疗、防疫、光电子、探伤、电光源、化工、建材、气象、材料老化以及航空航天等领域。它主要由探测器、放大电路和显示仪表组成。其中探测器一般由光电探测器件、滤光器(带通玻璃或干涉滤光器)和漫射器组成。图 1 是紫外辐射照度计探测器的通用组成结构示意图。

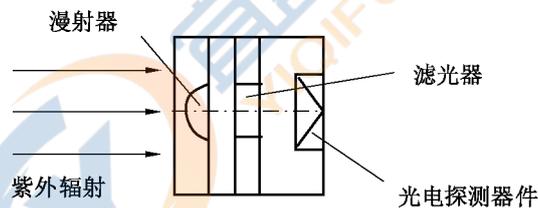


图 1 紫外辐射照度计探测器的通用组成结构示意图

### 3 计量性能要求

#### 3.1 光谱响应与波段划分

UV-A 波段: 315 nm~400 nm, 峰值波长  $\lambda_p = 365 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$ ;

UV-B 波段: 280 nm~315 nm, 峰值波长  $\lambda_p = 297 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$ ;

UV-C 波段: 200 nm~280 nm, 峰值波长  $\lambda_p = 254 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$ ;

UV-A<sub>1</sub> 波段: 320 nm~390 nm, 峰值波长  $\lambda_p = 365 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$ ;

UV-365 波段: 峰值波长  $\lambda_p = 365 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$ , 峰值半高宽度  $\Delta\lambda \leq 10 \text{ nm}$ ;

UV-310 波段: 290 nm~320 nm, 峰值波长  $\lambda_p = 310 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$ ;

UV-254 波段: 峰值波长  $\lambda_p = 254 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$ , 峰值半高宽度  $\Delta\lambda \leq 10 \text{ nm}$

对于一级和二级紫外辐射照度计的光谱响应和波段划分, UV-365 波段的峰值波长可由  $\lambda_p = 365 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$  扩至  $\lambda_p = 365 \text{ nm} \pm 3 \text{ nm}$ , 峰值半高宽度由  $\Delta\lambda \leq 10 \text{ nm}$  扩至  $\Delta\lambda \leq 15 \text{ nm}$ ; UV-254 波段的峰值波长可由  $\lambda_p = 254 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$  扩至  $\lambda_p = 254 \text{ nm} \pm 3 \text{ nm}$ , 峰值半高宽度由  $\Delta\lambda \leq 10 \text{ nm}$  扩至  $\Delta\lambda \leq 15 \text{ nm}$ 。

## 3.2 零值误差（满量程 FS）

紫外辐射照度计的零值误差（FS）应不超过表 1 的要求。

表 1 最大允许零值误差（FS）要求

	标准级	一级	二级
最大允许零值误差（FS）/%	±1.0	±1.0	±2.0

## 3.3 长波响应误差

紫外辐射照度计的长波响应误差应不超过表 2 的要求。

表 2 长波响应误差要求

波段	标准级 长波响应误差/%	一级 长波响应误差/%	二级 长波响应误差/%
UV-A	10	15	20
UV-B	10	15	20
UV-C	30	60	90
UV-A1	10	15	20
UV-365	15	20	30
UV-310	15	20	30
UV-254	30	60	90

## 3.4 余弦特性（方向性响应）误差

紫外辐射照度计的余弦特性（方向性响应）应不超过表 3 的要求。

表 3 余弦特性（方向性响应）误差要求

	标准级	一级	二级
余弦特性（方向性响应）误差/%	6.0	10	15

## 3.5 非线性误差

紫外辐射照度计的非线性误差应不超过表 4 的要求。

表 4 非线性误差要求

	标准级	一级	二级
非线性误差/%	±1.0	±1.5	±2.5

## 3.6 换挡误差

紫外辐射照度计的换挡误差应不超过表 5 的要求。

表 5 换挡误差要求

	标准级	一级	二级
换挡误差/%	±1.0	±1.0	±2.0

### 3.7 疲劳误差

紫外辐射照度计的疲劳误差的绝对值应不超过表 6 的要求。

表 6 疲劳误差要求

	标准级	一级	二级
疲劳误差的绝对值/%	2.0	3.0	5.0

### 3.8 相对示值误差

紫外辐射照度计的最大允许相对示值误差应不超过表 7 的要求。

表 7 最大允许相对示值误差要求

	标准级	一级	二级
最大允许相对示值误差/%	±6.0	±8.0	±15

## 4 通用技术要求

### 4.1 外观

4.1.1 紫外辐射照度计的铭牌应标出商标、型号、产品号、出厂日期及 CMC 标志，对其使用的电源和操作中的安全防护应给出准确、醒目的说明性标记。

4.1.2 紫外辐射照度计应工作正常。光电探测器的接收面、滤光器和漫透射窗的表面应清洁无损伤，不允许有明显的划痕、斑点、指纹等缺陷。显示部分和按键等不应有影响正常工作的缺陷。

### 4.2 光衰减器

紫外辐射照度计如带有光衰减器，光衰减器应完好无损，并标明衰减率。

### 4.3 光谱响应范围

紫外辐射照度计的光谱响应范围应符合 3.1 的规定。

## 5 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检查。

### 5.1 检定条件

#### 5.1.1 检定用设备

##### 5.1.1.1 紫外辐射照度标准器

每个波段的紫外辐射照度标准器各三台。

检定标准级紫外辐射照度计的标准器应使用工作基准紫外辐射照度计，检定一级紫外辐射照度计的标准器应使用标准级紫外辐射照度计（或工作基准紫外辐射照度计）。检定二级紫外辐射照度计的标准器应使用一级紫外辐射照度计（或标准级紫外辐射照度计，工作基准紫外辐射照度计）。标准级、一级紫外辐射照度计的计量性能要求见 3.1~3.8。工作基准紫外辐射照度计的计量性能要求见 JJG 755。

##### 5.1.1.2 紫外辐射源

不同波段的检定用紫外辐射源各一只。

UV-A、UV-A<sub>1</sub> 和 UV-365 波段的检定用紫外辐射源采用黑光型高压汞灯、高压汞

灯、UV-A 荧光紫外灯、金属卤素灯、LED 光源（365 nm）等；UV-B 和 UV-310 波段采用 UV-B 荧光紫外灯；UV-C 波段采用低压汞灯。为减小光谱不匹配误差，检定用紫外辐射源应与检定紫外辐射照度标准器时采用的紫外辐射源的光谱分布一致。

各种紫外辐射源的紫外辐射变化率在 15 min 内不超过  $\pm 1.0\%$ ，紫外辐射源的实际可使用面积应大于探测器的有效接收面积，其不均匀性不超过  $\pm 2.0\%$ 。

紫外辐射源采用稳压电源供电，电压不稳定性不超过  $\pm 2.0\%/h$ 。

### 5.1.1.3 紫外辐射照度比较测量装置

紫外辐射照度比较测量装置的组成结构的参考示意图见图 2，主要由光学实验平台、光轨、可调探测器支架、挡屏、光阑、准直激光器及光屏蔽箱组成。光轨上应附有测距标尺，平直性误差应不超过  $\pm 1\text{ mm}$ 。

检定时，紫外辐射源与探测器之间的距离应大于光源有效辐射面最大尺寸的 5 倍以上。

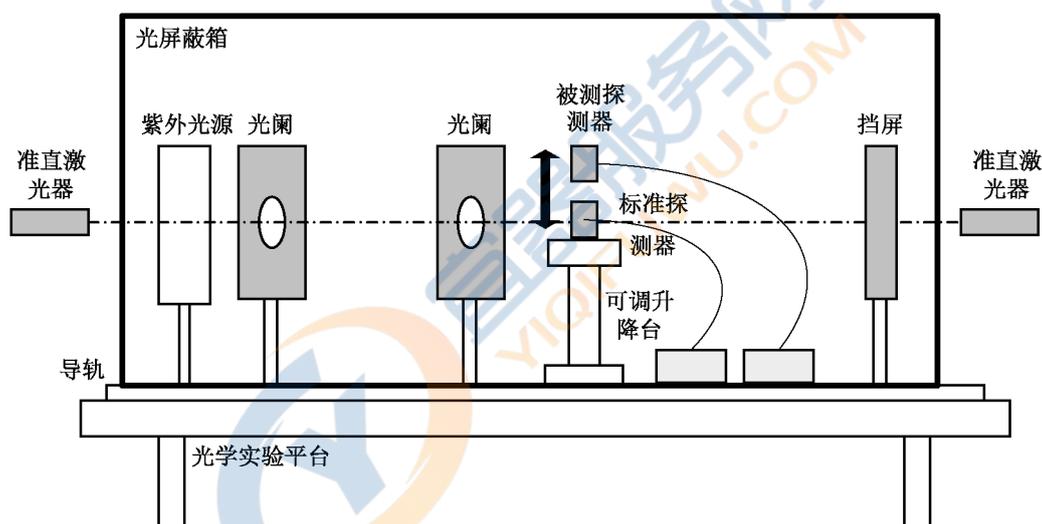


图 2 紫外辐射照度比较测量装置的组成结构的参考示意图

### 5.1.2 环境条件

室内温度  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度  $\leq 70\%$ 。

室内应采取遮光措施，防止太阳、白炽光源及其他光源的干扰。

### 5.2 检定项目

检定项目见表 8。

表 8 检定项目表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观	+	+	+
零值误差 (FS)	+	+	+
长波响应误差	+	-	-
余弦特性 (方向性响应) 误差	+	-	-

表 8 (续)

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
非线性误差	+	-	-
换挡误差	+	-	-
疲劳误差	+	-	-
相对示值误差	+	+	+

注：“+”表示应检项目，“-”表示可不检项目。

### 5.3 检定方法

#### 5.3.1 外观和零值误差

##### 5.3.1.1 外观

用目视法检查紫外辐射照度计的外观，应符合 4.1、4.2 条规定。

##### 5.3.1.2 零值误差 (FS)

显示仪表应先调节机械零点或电零点。关闭紫外辐射源后，记录紫外辐射照度计的显示值  $E_0$ ，设此时的满量程值为  $E$ ，则计算零值误差  $f_1$  为：

$$f_1 = (E_0/E) \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$f_1$ ——零值误差，%；

$E_0$ ——关闭紫外辐射源后，紫外辐射照度计的显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$E$ ——紫外辐射照度计的满量程值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）。

零值误差（满量程 FS）不得超过 3.2 的规定。

##### 5.3.2 长波响应误差

长波范围的响应误差  $r$  定义为：在选用的紫外辐射源前，加规定的长波截止滤光片，由紫外辐射照度计测量得  $Y_1$ ，不加滤光片时测量得  $Y$ ，两者之比与  $r_0$  的差。按照公式 (2) 计算长波带外杂光  $r$ 。

$$r = \left| \frac{Y_1}{Y} - r_0 \right| \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$r$ ——长波响应误差，%；

$Y_1$ ——在规定辐射源照射下，加长波截止滤光片时紫外辐射照度计的显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$Y$ ——在规定辐射源照射下，无长波截止滤光片时紫外辐射照度计的显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$r_0$ ——在规定辐射源辐照下的长波截止滤光片的积分透射比。

根据公式 (3) 计算：

$$r_0 = \frac{\int_0^{\infty} E_{\lambda, A}(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot S_{\text{eff, rel}}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{\lambda, A}(\lambda) \cdot S_{\text{eff, rel}}(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (3)$$

式中：

$E_{\lambda, \Delta}(\lambda)$  —— 实验中指定辐射源的相对光谱辐射照度分布；

$\tau(\lambda)$  —— 测量长波光谱响应的滤光片的光谱透射比；

$S_{\text{eff,rel}}(\lambda)$  —— 探测器的理想光谱响应函数。

进行长波响应误差测试时推荐的辐射源和滤光片见表 9。

表 9 推荐的辐射源和滤光片

需要测量的杂光类型	测试辐射源	滤光片
长波带外杂光	溴钨灯 (1 000 W, 色温 3 100 K) (辐射源的光谱辐射度随时间的变化应不大于 0.5%/h; 测试距离: $\geq 0.5$ m)。	金黄色截止型玻璃 JB 450: 透过界限波长 $\lambda_{\text{tr}} = (450 \pm 10)$ nm; 吸收曲线斜率 $K \geq 0.6$ ; 规定波长 $\lambda_0 = 560$ nm 的最低透过率 $T_{\lambda_0} \geq 85\%$ ; 玻璃厚度: 2 mm。

紫外辐射照度计的长波响应误差应符合 3.3 的规定。

### 5.3.3 余弦特性 (方向性响应) 误差

将紫外辐射照度计的探测器安装在带有刻度盘的转动平台上, 使平台的转动轴线通过探测器接收面的中心, 调整转动平台, 使过探测面中心的法线与紫外辐射源的法线一致。

在紫外辐射源和探测器之间放置若干光阑, 调整各光阑位置, 使其恰好不遮挡紫外辐射源投向接收面的光辐射。紫外辐射源与探测器之间的距离大于紫外辐射源发光面或探测器接收面最大线度的 15 倍 (例如: 圆形发光面的最大线度为圆的直径, 矩形发光面的最大线度为矩形的对角线)。

点燃紫外辐射源, 预热 30 min。然后将平台向左转, 使紫外辐射照度计显示值为某一值 (最大值的 50%~80%), 记下此时转盘角度; 再将平台向右转, 使紫外辐射照度计的显示值达到上述显示值, 记下此时转盘的角度。这两个角度的平均值为法线辐射照度入射角度 (即  $0^\circ$ ), 记录此角度下紫外辐射照度计的显示值。然后转动平台, 分别记录角度为  $\pm 5^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$ ,  $\pm 20^\circ$ , ...,  $\pm 85^\circ$  时紫外辐射照度计的显示值。

紫外辐射照度计的探测器应使入射辐射产生的响应符合余弦法则。按照公式 (4) 计算由入射辐射方向引起的误差  $f_2(\epsilon, \phi)$  (图 3):

$$f_2(\epsilon, \phi) = \left[ \frac{Y(\epsilon, \phi)}{Y(0, \phi) \cdot \cos \epsilon} - 1 \right] \times 100\% \quad (4)$$

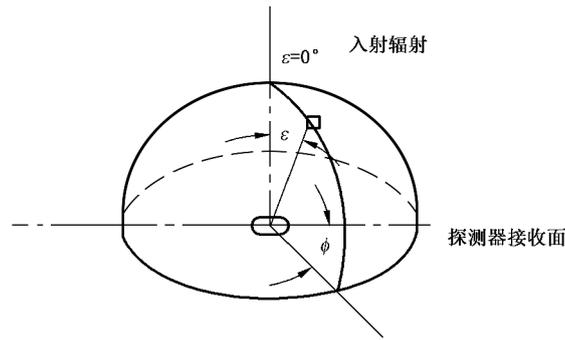
式中：

$\epsilon$  —— 入射辐射与探测器接收面法线所成的入射角, ( $^\circ$ );

$\phi$  —— 接收面沿光轴自转的方位角, ( $^\circ$ );

$Y(\epsilon, \phi)$  —— 当辐射的入射角为  $\epsilon$ 、方位角为  $\phi$  时, 辐射照度计的显示值,  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等);

$Y(0, \phi)$  —— 当辐射垂直照射、方位角为  $\phi$  时, 辐射照度计的显示值,  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等)。

图3  $f_2(\epsilon, \phi)$  规定的坐标示意图

根据公式 (5) 计算紫外辐射照度计探测器的方向性总误差  $f_2$ 。

$$f_2 = \int_{\epsilon=0}^{1.484} |f_2(\epsilon, \phi=0)| \cdot \sin 2\epsilon \cdot d\epsilon \quad (5)$$

式中：

$f_2$ ——探测器的方向性总误差，%；

$f_2(\epsilon)$ ——探测器的方向性误差，%；

$\epsilon$ ——入射辐射与探测器接收面法线所成的入射角，rad。

其中 1.484 rad 等于  $85^\circ$ 。

紫外辐射照度计的方向性响应误差应符合 3.4 的规定。

#### 5.3.4 非线性误差

在测量装置上，调整辐射源发光面和探测器接收面的位置，使其垂直于光轴，且中心位于测量光轴上。固定探测器位置不变，移动辐射源，使紫外辐射照度计的显示值  $Y$  达到 1/10 满量程，对应的标准辐射照度值为  $X$ 。然后移动辐射源，使紫外辐射照度计的显示值达到  $Y_{\max}$ （接近满量程），相应的标准辐射照度值为  $X_{\max}$ 。

按照公式 (6) 计算紫外辐射照度计的非线性误差  $f_3$ 。

$$f_3 = \left( \frac{Y}{Y_{\max}} \times \frac{X_{\max}}{X} - 1 \right) \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$f_3$ ——非线性误差，%；

$X$ ——标准辐射照度值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$Y$ ——标准辐射照度值  $X$  照射时，紫外辐射照度计的显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$X_{\max}$ ——对应于最大显示值  $Y_{\max}$  的标准辐射照度值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$Y_{\max}$ ——紫外辐射照度计的最大显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）。

紫外辐射照度计的非线性误差  $f_3$  应符合 3.5 规定。

#### 5.3.5 换挡误差

该检测在紫外辐射照度计的不同两量程间进行。具有单一量程的紫外辐射照度计不进行此项检测。

测量装置见图 2。调整辐射源发光面和探测器接收面的位置，使其垂直于光轴，且中心位于测量光轴上。调整辐射源与探测器之间各光阑的位置，使其恰好不遮挡辐射源

投向探测器接收面的辐射。点燃紫外辐射源，预热 30 min。

在低量程 A，调节探测器接收面与辐射源的距离，使紫外辐射照度计的显示值 Y (A) 大于满量程的 90%，此时对应的标准辐射照度值为 X (A)。调整接收器与辐射源的距离，使标准辐射照度值 X (B) 是 X (A) 的 k 倍，记录紫外辐射照度计显示值 Y (B)。按公式 (7) 计算出由于量程变化引起的换挡误差。

$$f_4 = \left( \frac{Y(B)}{kY(A)} - 1 \right) \times 100\% \quad (7)$$

式中：

$f_4$ ——换挡误差，%；

Y(A) ——紫外辐射照度计在低量程 A 的显示值，对应标准辐射照度值 X (A)， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等)；

Y(B) ——紫外辐射照度计在高量程 B 的显示值，对应标准辐射照度值 X (B)， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等)；

k——换挡系数，为量程 B 挡的满量程读数与量程 A 挡的满量程读数之比。

紫外辐射照度计的换挡误差应符合 3.6 的规定。

### 5.3.6 疲劳误差

将紫外辐射照度计的探测器和紫外辐射源安装在测量装置上 (图 2)。按照检定紫外辐射照度计的要求调整好光路，然后遮住探测器，使其 24 h 不曝光。

点燃紫外辐射源，预热 30 min。调节探测器的接收面与辐射源的距离，使 UV-A、UV-A<sub>1</sub> 和 UV-365 紫外辐射照度计的显示值  $\geq 1 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ，UV-B 和 UV-310 紫外辐射照度计的显示值  $\geq 500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，UV-C 和 UV-254 紫外辐射照度计的显示值  $\geq 250 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。分别记录探测器照射 10 s 和 30 min 的显示值 Y (10 s)、Y (30 min)，为消除紫外辐射源自身随时间的辐射度漂移，采用一台稳定的监测紫外辐射照度计进行对照测量，在 10 s 和 30 min 的显示值  $Y_s$  (10 s)、 $Y_s$  (30 min)。按照公式 (8) 计算紫外辐射照度计的疲劳误差  $f_5$ 。

$$f_5 = \left( \frac{Y(30 \text{ min})/Y_s(30 \text{ min})}{Y(10 \text{ s})/Y_s(10 \text{ s})} - 1 \right) \times 100\% \quad (8)$$

式中：

$f_5$ ——疲劳误差，%；

Y(30 min) ——紫外辐射照度计照射 30 min 的显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等)；

$Y_s$ (30 min) ——监测紫外辐射照度计照射 30 min 的显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等)；

Y(10 s) ——紫外辐射照度计照射 10 s 的显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等)；

$Y_s$ (10 s) ——监测紫外辐射照度计照射 10 s 的显示值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等)。

紫外辐射照度计的疲劳误差应符合 3.7 的规定。

### 5.3.7 相对示值误差

测量装置见图 2。检定不同波段紫外辐射照度计应选用不同的紫外辐射源，选择方

法参见 5.1.1.2。由于大多数紫外辐射照度计具有光谱选择性，建议检定用紫外辐射源与紫外辐射照度标准器证书中采用的紫外辐射源、以及待测紫外辐射源（被检紫外辐射照度计的测试对象）的光谱分布相同或接近，以减小测试误差。

调整紫外辐射源发光面和探测器接收面，使其垂直于光轴，且中心位于测量光轴上。调整辐射源与探测器之间各光阑的位置，使其恰好不遮挡辐射源投向探测器接收面的辐射。改变辐射源与探测器之间的距离，产生不同的辐射照度值。

点燃紫外辐射源，预热 30 min。将三台紫外辐射照度标准器的探测器依次装在夹具上，分别记录在此距离下的辐射照度值，取三台仪器的平均值作为标准辐射照度值。将被检紫外辐射照度计的探测器安装在夹具上，使其接收面与标准探测器的接收面位置相同。检定时，将探测器辐照 1 min 后记录显示值。每台被检紫外辐射照度计检测三遍，取平均。检定过程中，用一台稳定的紫外辐射照度计监测辐射源，如发现变化，应及时对标准值进行修正。按照公式（9）计算被检紫外辐射照度计的相对示值误差。

$$\Delta E = \left( \frac{E_m - E_s}{E_s} \right) \times 100\% \quad (9)$$

式中：

$\Delta E$ ——相对示值误差；

$E_m$ ——被检紫外辐射照度计的测量平均值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$E_s$ ——紫外辐射照度标准器的测量平均值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）。

每个量程至少应均匀地检定三个点。

紫外辐射照度计的相对示值误差应符合 3.8 规定。

#### 5.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的紫外辐射照度计，发给检定证书；不符合本规程要求的发给检定结果通知书，并注明不合格项。检定证书和检定结果通知书中必须注明检定所用紫外辐射源的名称、类型、波长范围和紫外辐射照度标准器的类别。

#### 5.5 检定周期

紫外辐射照度计检定周期一般不超过一年。

## 附录 A

## 检定证书和检定结果通知书内页格式

## A.1 紫外辐射照度计检定证书内页格式

## A.1.1 首次检定（检定结果栏）格式

首次检定项目	检定结果
外观	
零值误差/%	
长波响应误差/%	
余弦特性（方向性响应）误差/%	
非线性误差/%	
换挡误差/%	
疲劳特性/%	
相对示值误差/%或修正因子	

## A.1.2 后续检定（检定结果栏）格式

标准值 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 或 $\text{mW}/\text{cm}^2$	显示值 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 或 $\text{mW}/\text{cm}^2$	相对示值误差/% 或修正因子	量程

外观：

零值检查：

检定结论：合格，可作为\_\_\_\_\_级紫外辐射照度计使用。

## A.2 紫外辐射照度计检定结果通知书内页格式

要求同上，并注明不合格项目。

## 附录 B

## 检定原始记录

检定原始记录 (一)

第 页 / 共 页

原始记录编号:	证书编号:	-
客户名称:	电话:	送检日期:
客户地址:	邮编:	联系人:
检测类别: <input type="checkbox"/> 检定	<input type="checkbox"/> 校准	<input type="checkbox"/> 测试
制造厂:	型号规格:	出厂编号:
外观检查: <input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> 有缺陷	<input type="checkbox"/> 其他说明:
所依据的技术文件:		
<input type="checkbox"/> JJG 879—2015 紫外辐射照度计检定规程 <input type="checkbox"/> 其他文件:		
校准/检测使用的主要基(标)准装置或主要标准器:		
装置名称:	标准器级别:	
测量范围:	测量不确定度:	
证书编号:	证书有效期至:	
<p>检定方法: 与紫外辐射照度标准器比较替代法</p> <p>用三台紫外辐射照度标准器分别测量紫外辐射源的辐射照度, 再用被检仪器在同等条件下进行测量。通过比较替代法得到被检仪器的相对示值误差或修正因子。</p>		
实验室环境条件: 温度:	℃	相对湿度: %
检定日期:	检定地点:	
检定员:	核验员:	

## 检定原始记录 (二)

第 页 / 共 页

检定结果：(紫外辐射照度标准器的级别：           ；型号：           ；探测器编号：           )

标准值		标准值 平均	显示值			显示值 平均	相对示值误差/%或 修正因子

检定结果不确定度的描述：  $U_r =$            % ( $k=2$ )

说明：

- 外观检查： 合格        不合格
- 零值误差：
- 相对示值误差 = (测量值 - 标准值) / 标准值 × 100%；修正因子 = 标准值 / 显示值
- 单位：  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$      $\text{mW}/\text{cm}^2$      $\mu\text{J}/\text{cm}^2$      $\text{mJ}/\text{cm}^2$    其他：
- 标准探测器波长范围及峰值波长：
  - 315 nm ~ 400 nm (UV-A) 峰值波长  $\lambda_p$ : 365 nm ± 5 nm
  - 280 nm ~ 315 nm (UV-B) 峰值波长  $\lambda_p$ : 310 nm ± 5 nm
  - 200 nm ~ 280 nm (UV-C) 峰值波长  $\lambda_p$ : 254 nm ± 5 nm
  - 320 nm ~ 390 nm (UV-A<sub>1</sub>) 峰值波长  $\lambda_p$ : 365 nm ± 5 nm
  - 365 nm (UV-365) 峰值波长  $\lambda_p$ : 365 nm ± 2 nm, 峰值半高宽度  $\Delta\lambda \leq 10$  nm
  - 290 nm ~ 320 nm (UV-310) 峰值波长  $\lambda_p$ : 310 nm ± 5 nm
  - 254 nm (UV-254) 峰值波长  $\lambda_p$ : 254 nm ± 2 nm, 峰值半高宽度  $\Delta\lambda \leq 10$  nm
  - 其他波段：
- 检定辐射源： 黑光高压汞灯    紫外荧光灯    低压汞灯    其他辐射源
- 其 他： 不加光衰减器        加光衰减器

检定结论：

合格，可作为 \_\_\_\_\_ 级紫外辐射照度计使用。

不合格。

## 附录 C

## 标准级紫外辐射照度计的测量不确定度评定实例 (UV-A 波段)

本附录对标准级紫外辐射照度计的测量不确定度进行评定，采用的标准器为工作基准紫外辐射照度计。

### C.1 检定方法概述

采用与工作基准紫外辐射照度计比较替代法，得到被检标准级紫外辐射照度计的相对示值误差。首先调整好整个光路系统，点燃紫外辐射源，预热。将三台工作基准紫外辐射照度计依次安装在夹具上，取三台仪器的测量平均值作为该距离下的标准紫外辐射照度值。在同样的几何条件下安装被检标准级紫外辐射照度计，取值。计算被检标准级紫外辐射照度计的修正因子或相对示值误差。

### C.2 不确定度评定的测量模型

被检标准级紫外辐射照度计的修正因子的测量模型为：

$$K = \frac{E_s}{E_m} \quad (\text{C.1})$$

式中：

$K$ ——修正因子；

$E_s$ ——工作基准紫外辐射照度计组的平均测量值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$E_m$ ——被检标准级紫外辐射照度计的测量值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

被检标准级紫外辐射照度计的相对示值误差的测量模型为：

$$\Delta E = \frac{E_m - E_s}{E_s} \times 100\% \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\Delta E$ ——相对示值误差，%；

$E_m$ ——被检标准级紫外辐射照度计的测量值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$E_s$ ——工作基准紫外辐射照度计组的平均测量值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

不确定度来源包括：工作基准紫外辐射照度计的量值溯源不确定度，工作基准紫外辐射照度计的不稳定性，工作基准紫外辐射照度计的测量重复性，工作基准紫外辐射照度计的装调误差，被检标准级紫外辐射照度计的测量重复性，被检标准级紫外辐射照度计的装调误差，紫外辐射源的不稳定性，紫外辐射源的不均匀性，杂散辐射，余弦误差，非线性以及其他不确定度来源等。

因此，不确定度计算公式可表示为：

$$u_{\text{cr}}^2(\Delta E) = \sum_{i=1}^{11} u_r^2(E_i) = \sum_{i=1}^{11} u_{ir}^2 \quad (\text{C.3})$$

### C.3 输入量的相对标准不确定度评定

#### C.3.1 工作基准紫外辐射照度量值溯源的不确定度 $u_{1r}$

以 UV-A 波段的标准级紫外辐射照度计检定为例，工作基准紫外辐射照度计的测量溯源不确定度为： $u_{1r}=2.0\%$  ( $k=1$ )，按正态分布考虑，自由度  $\nu_1=\infty$ 。

### C.3.2 工作基准紫外辐射照度计的不稳定性 $u_{2r}$

UV-A 波段工作基准紫外辐射照度计的年变化率应优于  $\pm 2.0\%$ ，取均匀分布，则工作基准紫外辐射照度计不稳定性的不确定度为：

$$u_{2r} = \frac{2.0\%}{\sqrt{3}} = 1.155\% \quad (\text{C.4})$$

自由度  $\nu_2=\infty$ 。

### C.3.3 工作基准紫外辐射照度计的测量重复性 $u_{3r}$

在均匀稳定的紫外辐射源辐照下，测量条件固定，进行 10 次工作基准紫外辐射照度计的重复测量，测量数据如表 C.1 所示。

表 C.1 工作基准紫外辐射照度计的多次重复测量数据表 ( $n=10$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

500.3	499.6	500.1	500.5	500.0
500.0	500.1	500.0	500.6	500.0

测量的辐射照度平均值：

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{10} E_i}{10} = 500.120 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \quad (\text{C.5})$$

工作基准紫外辐射照度计的不稳定性：用多次重复测量引起的相对标准不确定度  $u_{3r}$ （即相对实验标准偏差，根据贝塞尔公式计算）来表示：

$$u_{3r} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.057\% \quad (\text{C.6})$$

自由度  $\nu_3=9$ 。

### C.3.4 工作基准紫外辐射照度计装调重复性 $u_{4r}$

在均匀稳定的紫外辐射源辐照下，重复安装工作基准紫外辐射照度计的探测器 10 次，并记录测量的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, 10$ )，计算平均辐射照度  $\bar{E}$ ，根据贝塞尔公式计算 10 次测量中任一单次测量的相对实验标准偏差，即为工作基准紫外辐射照度计的装调带来的测量不确定度  $u_{4r}$ 。测量数据如表 C.2 所示。

表 C.2 工作基准紫外辐射照度计的装调测量数据表 ( $n=10$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

500.5	500.2	500.3	499.6	500.1
499.6	500.3	500.0	500.1	499.5

$$u_{4r} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.069\% \quad (\text{C.7})$$

自由度  $\nu_4=9$ 。

### C.3.5 被检标准级紫外辐射照度计的测量重复性 $u_{5r}$

在均匀稳定的紫外辐射源辐照下，测量条件固定，重复测量被检标准级紫外辐射照度计的辐射照度 10 次，并记录测量的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, 10$ )，计算平均辐射照度  $\bar{E}$ ，根据贝塞尔公式计算 10 次测量中任一单次测量的相对实验标准偏差，即为被检标准级紫外辐射照度计的测量重复性带来的测量不确定度  $u_{5r}$ 。测量数据如表 C.3 所示。

表 C.3 被检紫外辐射照度计多次重复测量的辐射照度数据表 ( $n=10$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

501.2	502.6	502.1	502.4	502.1
502.3	502.3	502.0	502.3	502.6

$$u_{5r} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.080\% \quad (\text{C.8})$$

自由度  $\nu_5=9$ 。

### C.3.6 被检标准级紫外辐射照度计的装调重复性 $u_{6r}$

在均匀稳定的紫外辐射源辐照下，重复安装被检标准级紫外辐射照度计的探测器 10 次，并记录测量的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, 10$ )，计算平均辐射照度  $\bar{E}$ ，根据贝塞尔公式计算 10 次测量中任一单次测量的相对实验标准偏差，即为被检标准级紫外辐射照度计的装调带来的测量不确定度  $u_{6r}$ 。测量数据如表 C.4 所示。

表 C.4 被检标准级紫外辐射照度计的装调测量数据表 ( $n=10$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

500.2	500.3	500.6	501.6	501.3
499.2	499.3	500.6	500.2	500.8

$$u_{6r} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.152\% \quad (\text{C.9})$$

自由度  $\nu_6=9$ 。

### C.3.7 紫外辐射源的不稳定性带来的测量不确定度 $u_{7r}$

待紫外辐射源稳定后，采用一台性能稳定的紫外辐射照度计，固定好测试位置，间隔 1 min，重复测量紫外辐射源的辐射照度 10 次，并记录测量的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, 10$ )，计算平均辐射照度  $\bar{E}$ ，根据极差法计算相对实验标准偏差，即为紫外辐射

源的不稳定性带来的测量不确定度  $u_{7r}$ 。测量数据如表 C.5 所示。

表 C.5 紫外辐射源的不稳定性数据表 ( $n=10$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

502.5	501.8	501.1	501.3	501.1
501.0	501.2	501.3	498.9	498.5

$$u_{7r} = \left[ \frac{\text{Max}(E_i) - \text{Min}(E_i)}{3.08 \times \bar{E}} \right] \times 100\% = 0.259\% \quad (\text{C.10})$$

自由度  $\nu_7=9$ 。

### C.3.8 紫外辐射源的不均匀性带来的测量不确定度 $u_{8r}$

待紫外辐射源稳定后, 采用一台性能稳定的具有小孔径 (例如  $\phi \approx 3 \text{ mm}$ ) 接收面的紫外辐射照度计 (可在普通紫外辐射照度计探测器前加小孔光阑), 在与辐射源光轴垂直的测量平面上, 移动探测器位置, 记录在不同测量位置的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 计算平均辐射照度  $\bar{E}$ , 再根据 (C.11) 计算紫外辐射源的不均匀性带来的测量不确定度  $u_{8r}$ 。测量点应均匀选取 (图 C.1), 均匀性测量的最大圆形直径范围应覆盖由于装调等各种因素探测器可能放置的位置。测量数据如表 C.6 所示。

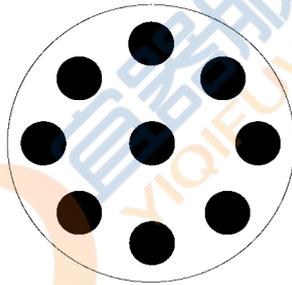


图 C.1 紫外辐射源的不均匀性测量位置示意图

表 C.6 紫外辐射源的不均匀性数据表 ( $n=9$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

502.7	502.2	505.1	505.3	503.0
506.2	502.2	502.0	502.5	

$$u_{8r} = \left[ \frac{\text{Max}(E_i) - \text{Min}(E_i)}{2.97 \times \bar{E}} \right] \times 100\% = 0.281\% \quad (\text{C.11})$$

当  $n=9$  时, 自由度  $\nu_8=8$ 。

### C.3.9 检定光路中的杂散辐射带来的测量不确定度 $u_{9r}$

由于光路设置不完善, 来自周围环境中的杂散辐射引起的测量不确定度  $u_{9r} = 1.000\%$ 。

自由度  $\nu_9 = \infty$ 。

### C.3.10 余弦误差带来的测量不确定度 $u_{10r}$

由于紫外辐射照度计的余弦误差引起的测量不确定度  $u_{10r} = 0.500\%$

自由度  $\nu_{10} = \infty$ 。

C. 3. 11 紫外辐射照度计的非线性带来的测量不确定度  $u_{11r}$ 

由于紫外辐射照度计的非线性引起的测量不确定度  $u_{11r} = 1.000\%$   
自由度  $\nu_{11} = \infty$ 。

## C. 4 合成相对标准不确定度

合成相对标准不确定度的各分量如表 C. 7 所示。

表 C. 7 不确定度来源列表

No.	不确定度来源	不确定度 %	自由度	类型
1	工作基准紫外辐射照度计量值溯源的不确定度 $u_{1r}$	2.000	$\infty$	B
2	工作基准紫外辐射照度计的稳定性 $u_{2r}$	1.155	$\infty$	B
3	工作基准紫外辐射照度计的测量重复性 $u_{3r}$	0.057	9	A
4	工作基准紫外辐射照度计的装调带来的测量不确定度 $u_{4r}$	0.069	9	A
5	被检标准级紫外辐射照度计的测量重复性 $u_{5r}$	0.080	9	A
6	被检标准级紫外辐射照度计的装调带来的测量不确定度 $u_{6r}$	0.152	9	A
7	紫外辐射源的不稳定性带来的测量不确定度 $u_{7r}$	0.259	9	A
8	紫外辐射源的不均匀性带来的测量不确定度 $u_{8r}$	0.281	8	A
9	杂散辐射带来的测量不确定度 $u_{9r}$	1.000	$\infty$	B
10	余弦误差带来的测量不确定度 $u_{10r}$	0.500	$\infty$	B
11	非线性带来的测量不确定度 $u_{11r}$	1.000	$\infty$	B
合成相对标准不确定度 $u_{cr}/\%$		2.79	44 745	

以上各不确定度分量不相关，因此合成相对标准不确定度  $u_{cr}$  计算如下：

$$u_{cr} = \sqrt{\sum_{i=1}^{11} (E_i)^2} = 2.79\% \quad (\text{C. 12})$$

合成自由度  $\nu_{\text{eff}}$  为：

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_{cr}^4}{\sum_{i=1}^{11} \frac{u_i^4}{\nu_i}} = 44\ 745 \quad (\text{C. 13})$$

## C. 5 扩展不确定度的评定

取包含概率  $p = 95\%$ ，根据  $t$  分布表查得  $t_{95}(44\ 745) = 1.960$ ，本次检定测量结果的相对扩展不确定度为：

$$U_{r95} = t_{95}(44\ 745) \cdot u_{cr} = 1.960 \times 2.79\% = 5.5\% \quad (\text{C. 14})$$

## 附录 D

一级紫外辐射照度计测量不确定度评定实例  
(UV-A 波段)

本附录对一级紫外辐射照度计的测量结果进行不确定度评定，采用的标准器为标准级紫外辐射照度计。

## D.1 检定方法

采用与标准级紫外辐射照度计比较替代法，得到被检紫外辐射照度计的相对示值误差。首先调整好整个光路系统，点燃紫外辐射源，预热。将三台标准级紫外辐射照度计依次安装在夹具上，取三台仪器的测量平均值作为该距离下的标准紫外辐射照度值。在同样的几何条件下安装被检紫外辐射照度计，取值。计算被检紫外辐射照度计的修正因子或相对示值误差。

## D.2 不确定度评定的测量模型

被检紫外辐射照度计的修正因子的测量模型为：

$$K = \frac{E_s}{E_m} \quad (\text{D. 1})$$

式中：

$K$ ——修正因子；

$E_s$ ——标准级紫外辐射照度计的测量值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$E_m$ ——被检紫外辐射照度计的测量值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

被检紫外辐射照度计的相对示值误差的测量模型为：

$$\Delta E = \frac{E_m - E_s}{E_s} \times 100\% \quad (\text{D. 2})$$

式中：

$\Delta E$ ——相对示值误差，%；

$E_m$ ——被检紫外辐射照度计的测量值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

$E_s$ ——标准级紫外辐射照度计的测量值， $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ （或  $\text{mW}/\text{cm}^2$  等）；

不确定度来源包括：标准级紫外辐射照度计的量值溯源不确定度，标准级紫外辐射照度计的不稳定性，标准级紫外辐射照度计的测量重复性，标准级紫外辐射照度计的装调误差，被检紫外辐射照度计的测量重复性，被检紫外辐射照度计的装调误差，紫外辐射源的不稳定性，紫外辐射源的不均匀性，杂散辐射，余弦误差，非线性以及其他不确定度来源等。

因此，不确定度计算公式可表示为：

$$u_{cr}^2(\Delta E) = \sum_{i=1}^{11} u_r^2(E_i) = \sum_{i=1}^{11} u_{ir}^2 \quad (\text{D. 3})$$

## D.3 输入量的相对标准不确定度评定

D.3.1 标准级紫外辐射照度计量值溯源的不确定度  $u_{1r}$

以 UV-A 波段的紫外辐射照度计检定为例，标准级紫外辐射照度计的量值溯源不确定度为： $u_{1r}=2.800\%$  ( $k=1$ )，按正态分布考虑，自由度  $\nu_1=\infty$ 。

#### D. 3. 2 标准级紫外辐射照度计的不稳定性 $u_{2r}$

UV-A 波段标准级紫外辐射照度计的年变化率为  $\pm 3.0\%$ ，取均匀分布，则标准级紫外辐射照度计不稳定性的不确定度为：

$$u_{2r} = \frac{3.0\%}{\sqrt{3}} = 1.730\% \quad (\text{D. 4})$$

自由度  $\nu_2=\infty$ 。

#### D. 3. 3 标准级紫外辐射照度计的测量重复性 $u_{3r}$

在均匀稳定的紫外辐射源辐照下，测量条件固定，进行 10 次标准级紫外辐射照度计的重复测量，测量数据如表 D. 1 所示。

表 D. 1 标准级紫外辐射照度计多次重复测量的数据表 ( $n=10$ ，单位： $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

500.3	499.6	500.1	500.5	500.0
500.0	500.1	500.0	500.6	500.0

测量的辐射照度平均值：

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{10} E_i}{10} = 500.120 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \quad (\text{D. 5})$$

标准级紫外辐射照度计的不稳定性：用多次重复测量引起的相对标准不确定度  $u_{3r}$ （即相对实验标准偏差，根据贝塞尔公式计算）来表示：

$$u_{3r} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.057\% \quad (\text{D. 6})$$

自由度  $\nu_3=9$ 。

#### D. 3. 4 标准级紫外辐射照度计装调的重复性 $u_{4r}$

在均匀稳定的紫外辐射源辐照下，重复安装标准级紫外辐射照度计的探测器 10 次，并记录测量的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, 10$ )，计算平均辐射照度  $\bar{E}$ ，根据贝塞尔公式计算 10 次测量中任一单次测量的相对实验标准偏差，即为标准级紫外辐射照度计的装调带来的测量不确定度  $u_{4r}$ 。测量数据如表 D. 2 所示。

表 D. 2 标准级紫外辐射照度计的装调测量数据表 ( $n=10$ ，单位： $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

500.5	500.2	500.3	499.6	500.1
499.6	500.3	500.0	500.1	499.5

$$u_{4r} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.069\% \quad (\text{D. 7})$$

自由度  $\nu_4=9$ 。

#### D.3.5 被检紫外辐射照度计的测量重复性 $u_{5r}$

在均匀稳定的紫外辐射源辐照下，测量条件固定，重复测量被检紫外辐射照度计的辐射照度 10 次，并记录测量的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, 10$ )，计算平均辐射照度  $\bar{E}$ ，根据贝塞尔公式计算 10 次测量中任一单次测量的相对实验标准偏差，即为被检紫外辐射照度计的测量重复性带来的测量不确定度  $u_{5r}$ 。测量数据如表 D.3 所示。

表 D.3 被检紫外辐射照度计多次重复测量的数据表 ( $n=10$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

501.2	502.6	502.1	502.4	502.1
502.3	502.3	502.0	502.3	502.6

$$u_{5r} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.080\% \quad (\text{D.8})$$

自由度  $\nu_5=9$ 。

#### D.3.6 被检紫外辐射照度计的装调的重复性 $u_{6r}$

在均匀稳定的紫外辐射源辐照下，重复安装被检紫外辐射照度计的探测器 10 次，并记录测量的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, 10$ )，计算平均辐射照度  $\bar{E}$ ，根据贝塞尔公式计算 10 次测量中任一单次测量的相对实验标准偏差，即为被检紫外辐射照度计的装调带来的测量不确定度  $u_{6r}$ 。测量数据如表 D.4 所示。

表 D.4 被检紫外辐射照度计的装调测量数据表 ( $n=10$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

500.2	500.3	500.6	501.6	501.3
499.2	499.3	500.6	500.2	500.8

$$u_{6r} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.152\% \quad (\text{D.9})$$

自由度  $\nu_6=9$ 。

#### D.3.7 紫外辐射源的不稳定性带来的测量不确定度 $u_{7r}$

待紫外辐射源稳定后，采用一台性能稳定的紫外辐射照度计，固定好测试位置，间隔 1 min，重复测量紫外辐射源的辐射照度 10 次，并记录测量的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, 10$ )，计算平均辐射照度  $\bar{E}$ ，根据极差法计算相对实验标准偏差，即为紫外辐射源的不稳定性带来的测量不确定度  $u_{7r}$ 。测量数据如表 D.5 所示。

表 D.5 紫外辐射源的不稳定性数据表 ( $n=10$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

502.5	501.8	501.1	501.3	501.1
501.0	501.2	501.3	498.9	498.5

$$u_{7r} = \left[ \frac{\text{Max}(E_i) - \text{Min}(E_i)}{3.08 \times \bar{E}} \right] \times 100\% = 0.259\% \quad (\text{D.10})$$

自由度  $\nu_7=9$ 。

#### D.3.8 紫外辐射源的不均匀性带来的测量不确定度 $u_{8r}$

待紫外辐射源稳定后, 采用一台性能稳定的具有小孔径 (例如  $\phi \approx 3 \text{ mm}$ ) 接收面的紫外辐射照度计 (可在普通紫外辐射照度计探测器前加小孔光阑), 在与辐射源光轴垂直的测量平面上, 移动探测器位置, 记录在不同测量位置的辐射照度值  $E_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 计算平均辐射照度  $\bar{E}$ , 再根据 (D.11) 计算紫外辐射源的不均匀性带来的测量不确定度  $u_{8r}$ 。均匀性测量的最大圆形直径范围应覆盖由于装调等各种因素探测器可能放置的位置。测量点应均匀选取 (图 D.1 是一个示例)。测量数据如表 D.6 所示。

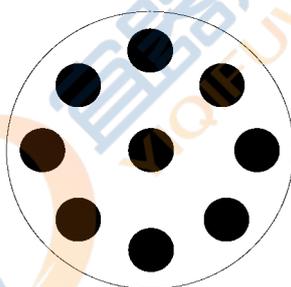


图 D.1 紫外辐射源的不均匀性测量位置示意图

表 D.6 紫外辐射源的不均匀性数据表 ( $n=9$ , 单位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

502.7	502.2	505.1	505.3	503.0
506.2	502.2	502.0	502.5	

$$u_{8r} = \left[ \frac{\text{Max}(E_i) - \text{Min}(E_i)}{2.97 \times \bar{E}} \right] \times 100\% = 0.281\% \quad (\text{D.11})$$

当  $n=9$  时, 自由度  $\nu_8=8$ 。

#### D.3.9 检定光路中的杂散辐射带来的测量不确定度 $u_{9r}$

由于光路设置不完善, 来自周围环境中的杂散辐射引起的测量不确定度  $u_{9r} = 1.000\%$ 。

自由度  $\nu_9 = \infty$ 。

D. 3. 10 余弦误差带来的测量不确定度  $u_{10r}$ 

由于紫外辐射照度计的余弦误差引起的测量不确定度  $u_{10r}=0.500\%$

自由度  $\nu_{10}=\infty$ 。

D. 3. 11 紫外辐射照度计的非线性带来的测量不确定度  $u_{11r}$ 

由于紫外辐射照度计的非线性引起的测量不确定度  $u_{11r}=1.000\%$

自由度  $\nu_{11}=\infty$ 。

## D. 4 合成相对标准不确定度

合成相对标准不确定度的各分量如表 D. 7 所示。

表 D. 7 不确定度来源列表

No.	不确定度来源	不确定度 %	自由度	类型
1	标准级紫外辐射照度计量值溯源的不确定度 $u_{1r}$	2.800	$\infty$	B
2	标准级紫外辐射照度计的不稳定性 $u_{2r}$	1.730	$\infty$	B
3	标准级紫外辐射照度计的测量重复性 $u_{3r}$	0.057	9	A
4	标准级紫外辐射照度计的装调带来的测量不确定度 $u_{4r}$	0.069	9	A
5	被检紫外辐射照度计的测量重复性 $u_{5r}$	0.080	9	A
6	被检紫外辐射照度计的装调带来的测量不确定度 $u_{6r}$	0.152	9	A
7	紫外辐射源的不稳定性带来的测量不确定度 $u_{7r}$	0.259	9	A
8	紫外辐射源的不均匀性带来的测量不确定度 $u_{8r}$	0.281	8	A
9	光路中的杂散辐射带来的测量不确定度 $u_{9r}$	1.000	$\infty$	B
10	余弦误差引起的测量不确定度 $u_{10r}$	0.500	$\infty$	B
11	紫外辐射照度计的非线性引起的测量不确定度 $u_{11r}$	1.000	$\infty$	B
合成相对标准不确定度 $u_{cr}/\%$		3.64	130 683	

以上各不确定度分量不相关，因此合成相对标准不确定度  $u_{cr}$  计算如下：

$$u_{cr} = \sqrt{\sum_{i=1}^{11} (E_i)^2} = 3.64\% \quad (\text{D. 12})$$

合成自由度  $\nu_{\text{eff}}$  为：

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^{11} \frac{u_i^4}{\nu_i}} = 130\ 683 \quad (\text{D. 13})$$

#### D.5 扩展不确定度的评定

取包含概率  $p=95\%$ ，根据  $t$  分布表查得  $t_{95}(130\ 683) = 1.960$ ，本次检定测量结果的相对扩展不确定度为：

$$U_{r95} = t_{95}(130\ 683) \cdot u_{\text{cr}} = 1.960 \times 3.64\% = 7.1\% \quad (\text{D. 14})$$

