

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1989—2022

## 光谱照度计校准规范

Calibration Specification for Spectral Illuminance Meters

2022-09-26 发布

2023-03-26 实施

国家市场监督管理总局 发布

# 光谱照度计校准规范

Calibration Specification for

Spectral Illuminance Meters

JJF 1989—2022

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

浙江省计量科学研究院

参加起草单位：陕西省计量科学研究院

中国测试技术研究院

本规范委托全国光学计量技术委员会解释

**本规范主要起草人：**

姜晓梅（中国计量科学研究院）

马 瑶（浙江省计量科学研究院）

吕 亮（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

张 文（陕西省计量科学研究院）

曾丽梅（中国测试技术研究院）



# 目 录

|                                                                          |        |
|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| 引言 .....                                                                 | ( II ) |
| 1 范围 .....                                                               | ( 1 )  |
| 2 引用文件 .....                                                             | ( 1 )  |
| 3 概述 .....                                                               | ( 1 )  |
| 4 计量特性 .....                                                             | ( 2 )  |
| 5 校准条件 .....                                                             | ( 2 )  |
| 5.1 环境条件 .....                                                           | ( 2 )  |
| 5.2 测量标准及其他设备 .....                                                      | ( 2 )  |
| 6 校准项目和校准方法 .....                                                        | ( 3 )  |
| 6.1 校准项目 .....                                                           | ( 3 )  |
| 6.2 校准方法 .....                                                           | ( 3 )  |
| 7 校准结果表达 .....                                                           | ( 7 )  |
| 8 复校时间间隔 .....                                                           | ( 7 )  |
| 附录 A 光谱照度计校准原始记录推荐格式 .....                                               | ( 8 )  |
| 附录 B 光谱照度计校准证书内页推荐格式 .....                                               | ( 11 ) |
| 附录 C 测量不确定度评定示例——照度示值误差 .....                                            | ( 12 ) |
| 附录 D 测量不确定度评定示例——波长示值误差 .....                                            | ( 16 ) |
| 附录 E 测量不确定度评定示例——CIE A 标准光源条件下的色度 ( $x$ , $y$ ) 示值<br>误差 .....           | ( 18 ) |
| 附录 F 测量不确定度评定示例——CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下<br>的色度 ( $x$ , $y$ ) 示值误差 ..... | ( 21 ) |

## 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 1071《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。



## 光谱照度计校准规范

### 1 范围

本规范适用于通过分光法测量可见光谱区光谱功率分布，进而得到照度和色度参数的光谱照度计的校准。

### 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 213 分布（颜色）温度标准灯

JJG 246 发光强度标准灯

JJG 453 标准色板

JJG 1034 光谱光度计标准滤光器

ISO/CIE 19476: 2014 (E) 照度计和亮度计性能表征方法 (Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters)

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 概述

光谱照度计是通过测量被测光源可见光谱区光谱功率分布进而计算得到照度和色度参数的测量仪器，此类仪器广泛应用于各类现场照明测量领域，也可用于光源产品的研发、生产线质量监控等环节。

图 1 为光谱照度计的工作原理示意图，入射光经过分光系统使得不同波长的光平铺成像到阵列式光电探测器上，从而阵列探测器的像素与波长形成对应关系，通过信号读取电路即可获取到有效波段内的光谱强度信息，阵列式光电探测器主要类型包括：电荷耦合元件（CCD）、互补性氧化金属半导体器件（CMOS）、光电二极管阵列器件（PDA）等。除采用阵列式光电探测器外，还可以在分光系统中增加出射狭缝，采用非阵列的光电探测器结合光谱扫描获取到光谱功率分布信息。信号读出电路将原始的光谱功率分布信息发送到微处理器后经过光谱修正、照度及色度计算等过程，最终显示照度、色度及光谱曲线等测量结果。

在图 1 给出的光谱照度计典型结构中，入射光学系统可以包含余弦修正器、光纤、积分球、必要的镜头等部件。分光系统一般基于光栅器件进行分光，光栅又包括反射光栅和透射光栅。

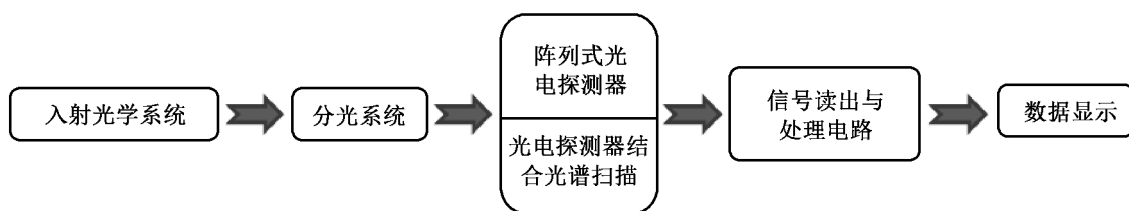


图 1 光谱照度计工作原理示意图

#### 4 计量特性

- 4.1 照度相对示值误差： $\pm 4.0\%$ 。
  - 4.2 方向性响应总误差： $\leq 4.0\%$ 。
  - 4.3 非线性： $\leq 1.0\%$ 。
  - 4.4 波长示值误差： $\pm 1\text{ nm}$ 。
  - 4.5 杂散光系数： $\leq 1.0\%$ 。
  - 4.6 CIE A 标准光源条件下，色度  $(x, y)$  示值误差： $\pm 0.003$ ；  
CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下，色度  $(x, y)$  示值误差： $\pm 0.04$ 。
- 注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。

#### 5 校准条件

##### 5.1 环境条件

温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；  
相对湿度：不超过  $85\%$ ；  
实验室应为暗室，室内不应有强烈震动或强电磁场干扰。

##### 5.2 测量标准及其他设备

###### 5.2.1 标准光源

###### 5.2.1.1 发光强度标准灯组

不少于 3 只、不低于二级的 2 856 K 发光强度标准灯。计量性能应符合 JJG 246《发光强度标准灯》检定规程的技术要求。

###### 5.2.1.2 色温标准灯

不少于 2 只，不低于二级的已知色度参数的 2 856 K 色温标准灯。计量性能应符合 JJG 213《分布(颜色)温度标准灯》检定规程的技术要求。

###### 5.2.2 光度测量装置

由光轨及滑车、灯架、转台、灯丝平面调整仪、光阑等组成。光轨长度应不小于 6 m，光轨直线度最大允许误差  $\pm 1\text{ mm}$ ，标尺间隔最大允许误差  $\pm 0.2\text{ mm/m}$ 。

###### 5.2.3 电源与电测仪表

电源：满足标准灯工作电压电流范围要求的直流电源(稳流、稳压)，输出电压连续可调，10 min 内输出电压变化应不大于  $0.02\%$ 。

电测仪表：不少于 5 位显示的数字电压表，0.01 级标准电阻。

###### 5.2.4 波长校准光源

建议使用峰值波长为 404.66 nm、435.83 nm、546.07 nm 的低压汞灯,及波长为 632.82 nm 的氦氖激光器,也可使用其他类似波段的自然基准谱线光源。

#### 5.2.5 截止型杂散辐射标准滤光片

由 JB510 型有色玻璃加工成厚 $(2\pm 0.05)$ mm,直径或最小边长不小于 40 mm 的截止滤光片一片,计量性能应不低于 JJG 1034《光谱光度计标准滤光器》检定规程二级杂散辐射标准滤色片的技术要求。

#### 5.2.6 透射式标准色板

由 HB650、CB565、JB510、LB6、QB3、ZB1 型有色玻璃加工成厚 $(2\pm 0.05)$ mm,直径或最小边长不小于 40 mm 的红、橙、黄、绿、蓝、紫 6 色滤光片一套。该套滤光片的计量性能应不低于 JJG 453《标准色板》检定规程二级标准色板的技术要求。

### 6 校准项目和校准方法

#### 6.1 校准项目

- a) 照度相对示值误差。
- b) 方向性响应误差。
- c) 非线性。
- d) 波长示值误差。
- e) 杂散光系数。
- f) 色度 $(x, y)$ 示值误差:
  - CIE A 标准光源条件下的色度 $(x, y)$ 示值误差;
  - CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下的色度 $(x, y)$ 示值误差。

#### 6.2 校准方法

##### 6.2.1 校准前检查

用目视方法对被校光谱照度计进行外观检查。光谱照度计外形结构应完好,面板标志字符应正确、清晰,各功能开关灵活可靠,外露部件应无松动,无明显机械损伤等。光谱照度计主机的光、机、电各部分应能正常工作。不应有任何影响计量性能及使用功能的缺陷。

##### 6.2.2 照度相对示值误差

6.2.2.1 调整校准装置。如图 2 所示,把被校光谱照度计和发光强度标准灯安装在光度测量装置上。调整发光强度标准灯的灯丝平面和被校光谱照度计探测器测试面,使它们垂直于光轨的水平测量轴线,且中心点位于该轴线上。然后,在探测器与发光强度标准灯之间放置若干光阑(其通光孔径大小要适当),以防止杂散光进入探测器,但不允许挡住由灯丝和玻壳所发出的光照射到探测器上。

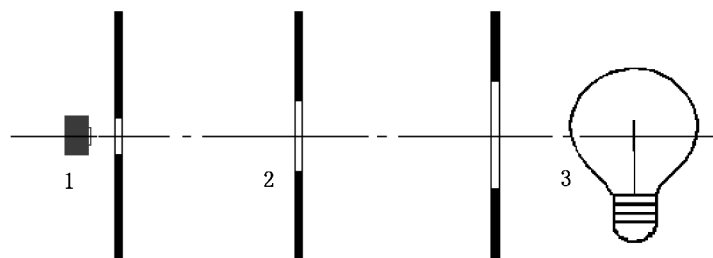


图 2 光谱照度计校准示意图

1—光谱照度计探测器；2—光阑；3—发光强度标准灯

6.2.2.2 固定探测器位置并遮光扣除零点，然后在 2 856 K 对应的工作电流下点燃标准灯，改变发光强度标准灯到探测器之间的距离，在探测器测试面上产生不同的照度值，标准照度值由公式 (1) 给出：

$$E = \frac{I}{l^2} \quad (1)$$

式中：

$E$ ——探测器测试面的标准照度值，lx；

$I$ ——发光强度标准灯的发光强度值，cd；

$l$ ——发光强度标准灯的灯丝平面到探测器测试面的距离，m。

校准时，发光强度标准灯的灯丝平面至探测器的距离至少大于发光面或探测器的测试面的最大线度（灯丝平面、探测器测试面的对角线长度或直径）的 15 倍以上。

按说明书操作被校光谱照度计，读取对应标准照度值的光谱照度计照度显示值。选取不少于 6 个测量点，选取的测量点应覆盖满量程（或校准装置测量范围）的 90% 以上；校准实验进行两轮，取两轮数据平均值作为最终结果。根据公式 (2) 计算光谱照度计各测量点的照度相对示值误差：

$$\Delta E = \left( \frac{E_t}{E_s} - 1 \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\Delta E$ ——照度相对示值误差；

$E_t$ ——照度显示值，lx；

$E_s$ ——标准照度值，lx。

### 6.2.3 方向性响应误差

6.2.3.1 将被校光谱照度计探测器安装在光度测量装置的带有度盘的转动平台上，使平台的转动轴线通过探测器测试面的中心线，按 6.2.2.1 要求调整校准装置。

6.2.3.2  $f_2(\epsilon, \varphi)$  规定的坐标示意图见图 3。首先按  $5^\circ$  间隔向左转动平台，读取光谱照度计在入射角  $\epsilon$  为  $0^\circ \sim 80^\circ$  范围内的照度显示值  $Y(\epsilon, 0)$ ，根据公式 (3) 计算由入射光方向引起的误差  $f_2(\epsilon, 0)$ ，根据公式 (4) 计算方位角  $\varphi$  为 0 时的方向性响应误差  $f_2(0)$ ；然后按  $5^\circ$  间隔向右转动平台，读取光谱照度计在入射角  $\epsilon$  为  $(0^\circ \sim 80^\circ)$  范围内的照度显示值  $Y(\epsilon, \pi)$ ，计算由入射光方向引起的误差  $f_2(\epsilon, \pi)$ ，方位角  $\varphi$  为  $\pi$  时的方向性误差  $f_2(\pi)$ 。

其中, 入射光方向引起的误差  $f_2(\epsilon, \varphi)$ :

$$f_2(\epsilon, \varphi) = \left[ \frac{Y(\epsilon, \varphi)}{Y(0, \varphi) \cos \epsilon} - 1 \right] \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$\epsilon$ ——入射光与探测器测试面法线所成的入射角;

$\varphi$ ——入射光与探测器测试面水平线所成的方位角;

$Y(\epsilon, \varphi)$ ——光入射角为  $\epsilon$ 、方位角为  $\varphi$  时光谱照度计的显示值,  $lx$ ;

$Y(0, \varphi)$ ——光垂直照射在测试面上, 方位角为  $\varphi$  时光谱照度计的显示值,  $lx$ 。

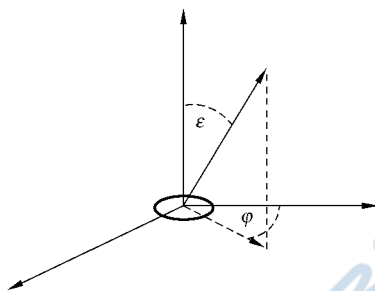


图3  $f_2(\epsilon, \varphi)$  规定的坐标示意图

光度头的方向性响应误差  $f_2(\varphi)$ :

$$f_2(\varphi) = \int_0^{80^\circ \frac{\pi}{180^\circ}} |f_2(\epsilon)| \sin 2\epsilon d\epsilon \quad (4)$$

6.2.3.3 沿探测器测试面水平线使探测器旋转  $90^\circ$ , 重复 6.2.3.2 的操作, 根据公式 (3) 分别计算得到  $f_2(\epsilon, \frac{1}{2}\pi)$ 、 $f_2(\epsilon, \frac{3}{2}\pi)$ , 根据公式 (4) 分别计算得到  $f_2(\frac{1}{2}\pi)$ 、 $f_2(\frac{3}{2}\pi)$ 。

6.2.3.4 根据公式 (5) 计算得到方向性响应总误差  $f_2$ , 实验进行两轮, 取两轮数据平均值作为最终结果。

$$f_2 = \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 f_2(\varphi = j \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

#### 6.2.4 非线性

按 6.2.2 进行操作, 把光谱照度计积分时间设置在自动条件下, 如有自动积分时间上限, 则设置为最高。首次测量光谱照度计接近满量程 (或校准装置测量范围上限) 的照度显示值  $Y_0$ , 然后按十倍倍率递减, 逐次测量照度显示值  $Y_i$ , 直至测量点覆盖满量程的 99% (或接近校准装置测量能力下限), 按公式 (6) 计算光谱照度计的非线性指标  $f_3(Y)$ 。实验进行两轮, 取两轮数据平均值作为  $f_3(Y)$  的结果, 然后按公式 (7) 得到非线性指标  $f_3$  的最终结果。

$$f_3(Y) = \left| \frac{Y_i}{Y_0} \cdot \frac{X_0}{X_i} - 1 \right| \times 100\% \quad (6)$$

式中:

$Y_0$ ——首次测量的光谱照度计照度显示值 (接近满量程或校准装置测量范围上限

的照度显示值), lx;

$X_0$ ——对应  $Y_0$  的标准照度值, lx;

$Y_i$ ——第  $i$  次测量的光谱照度计照度显示值, lx;

$X_i$ ——对应  $Y_i$  的标准照度值, lx。

$$f_3 = \max f_3(Y) \quad (7)$$

#### 6.2.5 波长示值误差

以低压汞灯和氦氖激光器作为校准光源,被校光谱照度计对准校准光源进行光谱测量,光源中心、光谱照度计入射光学系统中心应保证同轴,分别读取在 4 个特征波长 (404.66 nm、435.83 nm、546.07 nm、632.82 nm) 下的光谱照度计测量值,每个波长测量 3 次,根据公式 (8) 计算波长示值误差。

$$\Delta\lambda = \bar{\lambda}_i - \lambda_0 \quad (8)$$

式中:

$\bar{\lambda}_i$ ——各波长测量平均值, nm;

$\lambda_0$ ——相应波长的标准值, nm。

#### 6.2.6 杂散光系数

以发光强度标准灯为校准光源,在入射光的光路上插入 JB 510 杂散辐射标准滤光片,分别读取滤光片插入前、后光谱照度计在 420 nm 的光谱通道信号 (除暗电流),根据公式 (9) 计算杂散光系数。

$$\delta = \frac{s'(\lambda)}{s(\lambda)} \times 100\% \quad (9)$$

式中:

$\delta$ ——杂散光系数;

$s'(\lambda)$ ——插入滤光片在截止波段波长 420 nm 处采集的信号;

$s(\lambda)$ ——无滤光片在波长 420 nm 处采集的信号。

#### 6.2.7 色度 ( $x, y$ ) 示值误差

##### 6.2.7.1 CIE A 标准光源条件下的色度 ( $x, y$ ) 示值误差

把图 2 中的发光强度标准灯换成色温标准灯,按 6.2.2.1 要求调整校准装置。然后在 2 856 K 对应的工作电流下点燃色温标准灯,在 1 000 lx 照度水平下,固定标准灯与探测器位置,读取对应色品坐标标准值的光谱照度计色品坐标显示值。实验进行 3 次,取平均值作为最终结果。根据公式 (10) 计算仪器的色度示值误差:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x_t - x_s \\ \Delta y &= y_t - y_s \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中:

$\Delta x, \Delta y$ ——色度 ( $x, y$ ) 示值误差;

$x_s, y_s$ ——色品坐标标准值,即 2 856 K 色温标准灯的色品坐标值;

$x_t, y_t$ ——仪器色品坐标显示值。

##### 6.2.7.2 CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下的色度 ( $x, y$ ) 示值误差

保持 6.2.7.1 实验条件不变,紧贴光谱照度计探测器前分别放置 6 色透射式标准色

板，读取对应色品坐标标准值的光谱照度计色品坐标显示值。

实验进行两轮，取两轮数据平均值作为最终结果。根据公式（11）计算光谱照度计的色度示值误差：

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x_t - x_s \\ \Delta y &= y_t - y_s \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

式中：

$\Delta x$ ， $\Delta y$ ——色度（ $x$ ， $y$ ）示值误差；

$x_s$ ， $y_s$ ——色品坐标标准值，即在 0/0 几何条件、CIE 标准照明体 A、2°标准色度观察者条件下测量得到的标准色板色品坐标值；

$x_t$ ， $y_t$ ——光谱照度计色品坐标显示值。

## 7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书至少应包括以下信息：

- 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) 证书或报告的唯一性标识（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有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及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，以及签发日期；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复印证书或报告的声明。

## 8 复校时间间隔

光谱照度计的复校时间间隔建议一般不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器自身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A

## 光谱照度计校准原始记录推荐格式

第 页/共 页

|                                                  |                             |                              |                                |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 原始记录编号：                                          |                             | 证书编号：                        |                                |
| 客户名称：                                            |                             | 送校日期：                        |                                |
| 客户联络信息：                                          |                             |                              |                                |
| 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"/> JJF 1989—2022 光谱照度计校准规范 |                             | <input type="checkbox"/> 其他： |                                |
| 所使用的主要计量器具：                                      |                             |                              |                                |
| 器具名称：                                            | 型号规格：                       | 编号：                          |                                |
| 测量范围：                                            | 测量不确定度：                     |                              |                                |
| 证书编号：                                            | 有效期至：                       |                              |                                |
| 实验室环境条件：                                         |                             |                              |                                |
| 温度：                                              | ℃                           | 相对湿度：                        | %                              |
|                                                  |                             | 其他：                          |                                |
| 校准日期：                                            |                             | 校准地点：                        |                                |
| 校准员：                                             |                             | 核验员：                         |                                |

## 一、照度相对示值误差：

| 照度标准值<br>$lx$ | 仪器显示值<br>$lx$ |     |     | 相对示值误差<br>% | 测量结果<br>不确定度<br>$U_{rel}(k=2)$<br>% |
|---------------|---------------|-----|-----|-------------|-------------------------------------|
|               | 第一轮           | 第二轮 | 平均值 |             |                                     |
|               |               |     |     |             |                                     |

## 二、方向性响应误差：

| $\varphi =$  | $Y(\epsilon, \varphi)$<br>$lx$ |     |     |
|--------------|--------------------------------|-----|-----|
| $\epsilon$   | 第一轮                            | 第二轮 | 平均值 |
| $0^\circ$    |                                |     |     |
| $5^\circ$    |                                |     |     |
| $10^\circ$   |                                |     |     |
| $15^\circ$   |                                |     |     |
| $20^\circ$   |                                |     |     |
| $25^\circ$   |                                |     |     |
| $30^\circ$   |                                |     |     |
| $35^\circ$   |                                |     |     |
| $40^\circ$   |                                |     |     |
| $45^\circ$   |                                |     |     |
| $50^\circ$   |                                |     |     |
| $55^\circ$   |                                |     |     |
| $60^\circ$   |                                |     |     |
| $65^\circ$   |                                |     |     |
| $70^\circ$   |                                |     |     |
| $75^\circ$   |                                |     |     |
| $80^\circ$   |                                |     |     |
| $f(\varphi)$ |                                |     |     |

余弦特性总误差  $f_2$ ：

## 三、非线性：

| 照度标准值 $X$<br>$lx$ | 仪器显示值 $Y$<br>$lx$ | 非线性 $f_3(Y)$<br>% |
|-------------------|-------------------|-------------------|
|                   |                   |                   |

非线性  $f_3$ ：

## 四、波长示值误差：

| 标准值<br>nm | 仪器测量值/nm |   |   | 平均值<br>nm | 示值误差<br>nm | 测量结果<br>不确定度<br>$U_{\text{rel}}(k=2)$ |
|-----------|----------|---|---|-----------|------------|---------------------------------------|
|           | 1        | 2 | 3 |           |            |                                       |
| 404.66    |          |   |   |           |            |                                       |
| 435.83    |          |   |   |           |            |                                       |
| 546.07    |          |   |   |           |            |                                       |
| 632.82    |          |   |   |           |            |                                       |

## 五、杂散光系数：

| 滤光片插入前光谱信号值 | 滤光片插入后光谱信号值 | 杂散光系数<br>% |
|-------------|-------------|------------|
|             |             |            |

六、色度 $(x, y)$ 示值误差：1. CIE A 标准光源条件下的色度 $(x, y)$ 示值误差：

|     | 标准<br>色品坐标 | 仪器色品坐标显示值 |   |   | 平均值 | 示值误差 | 测量结果<br>不确定度<br>$U(k=2)$ |
|-----|------------|-----------|---|---|-----|------|--------------------------|
|     |            | 1         | 2 | 3 |     |      |                          |
| $x$ |            |           |   |   |     |      |                          |
| $y$ |            |           |   |   |     |      |                          |

2. CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下的色度 $(x, y)$ 示值误差：

| 滤光片型号 |     | 标准色品<br>坐标 | 仪器色品坐标显示值 |     |     | 示值误差 | 测量结果<br>不确定度<br>$U(k=2)$ |
|-------|-----|------------|-----------|-----|-----|------|--------------------------|
|       |     |            | 第一轮       | 第二轮 | 平均值 |      |                          |
| HB650 | $x$ |            |           |     |     |      |                          |
|       | $y$ |            |           |     |     |      |                          |
| CB565 | $x$ |            |           |     |     |      |                          |
|       | $y$ |            |           |     |     |      |                          |
| JB510 | $x$ |            |           |     |     |      |                          |
|       | $y$ |            |           |     |     |      |                          |
| LB6   | $x$ |            |           |     |     |      |                          |
|       | $y$ |            |           |     |     |      |                          |
| QB3   | $x$ |            |           |     |     |      |                          |
|       | $y$ |            |           |     |     |      |                          |
| ZB1   | $x$ |            |           |     |     |      |                          |
|       | $y$ |            |           |     |     |      |                          |

## 附录 B

## 光谱照度计校准证书内页推荐格式

第 页/共 页

一、照度相对示值误差：

| 照度标准值<br>lx | 仪器显示值<br>lx | 相对示值误差<br>% | 测量结果不确定度<br>$U_{\text{rel}}(k=2)$<br>% |
|-------------|-------------|-------------|----------------------------------------|
|             |             |             |                                        |

二、方向性响应总误差：

三、非线性：

四、波长示值误差：

| 标准值/nm | 仪器测量值/nm | 示值误差/nm | 测量结果不确定度<br>$U(k=2)$ |
|--------|----------|---------|----------------------|
| 404.66 |          |         |                      |
| 435.83 |          |         |                      |
| 546.07 |          |         |                      |
| 632.82 |          |         |                      |

五、杂散光系数：

六、色度 $(x, y)$ 示值误差：

1. CIE A 标准光源条件下的色度准确度：

|     | 标准色品坐标 | 色品坐标显示值 | 示值误差 | 测量结果<br>不确定度 $U(k=2)$ |
|-----|--------|---------|------|-----------------------|
| $x$ |        |         |      |                       |
| $y$ |        |         |      |                       |

2. CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下的色度 $(x, y)$ 示值误差：

| 滤光片型号 |     | 标准色品坐标 | 色品坐标显示值 | 示值误差 | 测量结果<br>不确定度 $U(k=2)$ |
|-------|-----|--------|---------|------|-----------------------|
| HB650 | $x$ |        |         |      |                       |
|       | $y$ |        |         |      |                       |
| CB565 | $x$ |        |         |      |                       |
|       | $y$ |        |         |      |                       |
| JB510 | $x$ |        |         |      |                       |
|       | $y$ |        |         |      |                       |
| LB6   | $x$ |        |         |      |                       |
|       | $y$ |        |         |      |                       |
| QB3   | $x$ |        |         |      |                       |
|       | $y$ |        |         |      |                       |
| ZB1   | $x$ |        |         |      |                       |
|       | $y$ |        |         |      |                       |

## 附录 C

## 测量不确定度评定示例 ——照度示值误差

本附录仅就用二级标准灯校准光谱照度计一处示值（标准照度值为 100 lx）的示值误差的测量结果不确定度做评定实例分析。实际工作中，可按客户要求逐点评定不确定度。

## C.1 测量方法

按本规范规定的相关步骤，将一只 2 856 K 发光强度二级标准灯和被校光谱照度计安装在光度测量装置上，并调整好它们的位置。改变标准灯到光度头之间的距离，读取被校光谱照度计在测量点的显示值，并进行两轮实验，取平均值作为最后结果。

## C.2 测量模型

## C.2.1 建立测量模型

$$\Delta E = E_t - m - E_s = E_t - m - \frac{I(i)}{l^2} \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta E$ ——示值误差，lx。

$E_t$ ——照度显示值，lx；

$E_s$ ——标准照度值，lx；

$m$ ——杂散光引入的照度示值，lx；

$I(i)$ ——发光强度标准灯的发光强度， $I(i) = 1\,180\text{ cd}$ ；

$i$ ——供给发光强度标准灯的电流， $i = 6.702\,4\text{ A}$ ；

$l$ ——发光强度标准灯的灯丝平面到光谱照度计测试面的距离， $l = 3.435\text{ m}$ 。

## C.2.2 灵敏系数

$$E_t \text{ 的灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \Delta E}{\partial E_t} = 1;$$

$$m \text{ 的灵敏系数: } c_2 = \frac{\partial \Delta E}{\partial m} = -1;$$

$$I(i) \text{ 的灵敏系数: } c_3 = \frac{\partial \Delta E}{\partial I(i)} = -\frac{1}{l^2} = -0.085\text{ m}^{-2};$$

$$l \text{ 的灵敏系数: } c_4 = \frac{\partial \Delta E}{\partial l} = \frac{2I(i)}{l^3} = 58.23\text{ cd/m}^3。$$

## C.3 输入量的标准不确定度评定

C.3.1 输入量  $E_t$  的标准不确定度  $u(E_t)$  的评定

$u(E_t)$  的来源主要由照度示值的测量重复性、光度头和灯丝平面角度调整引入的不确定度组成。

C.3.1.1 照度示值的测量重复性  $u_1(E_t)$

照度示值的测量重复性，反映了各种随机因素的综合影响。因此采用 A 类方法评定，重复性测量结果见表 C.1。

表 C.1 照度示值重复性测量结果

| 序号                                                            | 显示值 $E/\text{lx}$ |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1                                                             | 100.2             |
| 2                                                             | 100.1             |
| 3                                                             | 100.2             |
| 4                                                             | 100.0             |
| 5                                                             | 100.1             |
| 6                                                             | 100.3             |
| 7                                                             | 100.2             |
| 8                                                             | 100.2             |
| 9                                                             | 100.1             |
| 10                                                            | 100.2             |
| $\bar{E}$                                                     | 100.16            |
| 单次实验标准差<br>$s(E) = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}$ | 0.084 3           |
| 2 轮实验平均值的标准差<br>$s(E)/\sqrt{2}$                               | 0.060             |

### C.3.1.2 光度头测试面与灯丝平面角度调整引入的标准不确定度 $u_2(E_t)$

由于不能将探测器与灯丝平面调整到与测量轴线严格垂直，它们与测量轴线间的夹角不会超过  $2^\circ$ ，引入的投影误差的标准不确定度为：

$$u(E_{t2}) = \frac{3}{10} \delta_{\max} \times E_t = \frac{3}{10} (1 - \cos A) \times E_t = 0.018 \text{ lx}$$

### C.3.2 输入量 $m$ 的标准不确定度 $u(m)$ 的评定

通过光路杂散光屏蔽效果实验，得到杂散光引入的照度示值变化量不超过  $0.2\%$ ，此项服从均匀分布，则杂散光引入的标准不确定度为：

$$\frac{0.2}{\sqrt{3}} \times \frac{100.16}{100} = 0.12 \text{ lx}$$

### C.3.3 输入量 $I$ 的标准不确定度 $u(I)$ 的评定

$u(I)$  的来源主要由光强值的不确定度及电测系统的不确定度两部分组成，均用 B 类方法评定。

#### C.3.3.1 光强值的标准不确定度 $u_1(I)$

发光强度二级标准灯的测量结果相对扩展不确定度为： $u_{\text{rel}} = 0.8\%$  ( $k=2$ )，则光

强值的标准不确定度为：

$$u_1(I) = \frac{1.2\%}{2} \times 1\,180 = 7.08 \text{ cd}$$

#### C.3.3.2 供给标准灯电流的标准不确定度 $u_2(I)$

电流值  $i = \frac{U}{R}$ ，电流  $i$  的不确定度由标准电阻  $R$  和电阻两端电压  $U$  测量的不确定度导出。

由证书得到， $5_{1/2}$  DVM 的直流电压的测量结果相对扩展不确定度为  $U_{\text{rel}} = 8 \times 10^{-5}$  ( $k=2$ )，则 DVM 引入的电压的相对标准不确定度：

$$u_{\text{rel}}(U) = \frac{0.008\%}{2} = 0.004\%$$

标准电阻为 0.01 级，按  $k=3$  计算，则电阻的相对标准不确定度：

$$u_{\text{rel}}(R) = \frac{0.01\%}{3} \approx 0.003\%$$

电流的合成相对标准不确定度：

$$u_{\text{rel}}(i) = \sqrt{0.004\%^2 + 0.003\%^2} = 0.005\%$$

由经验公式： $\frac{dI}{I} = 6 \frac{di}{i}$  得知，由于电流的不确定度带给光强的标准不确定度为：

$$u_2(I) = 6 \times 0.005\% \times 1\,180 = 0.354 \text{ cd}$$

#### C.3.4 输入量 $l$ 的标准不确定度 $u(l)$ 的评定

$u(l)$  的来源主要由测量距离的不确定度及探测器和灯丝平面位置调整的不确定度两部分引入，用 B 类方法评定。

##### C.3.4.1 测量距离的标准不确定度 $u_1(l)$

光轨测长最大误差不超过  $\pm 0.2 \text{ mm/m}$ ，此项服从均匀分布，如标准灯到光度头测试面的距离为  $3.546\,8 \text{ m}$ ，测量距离的标准不确定度为：

$$u_1(l) = \frac{\sqrt{3.546\,8 \times 0.000\,2^2}}{\sqrt{3}} \approx 0.000\,22 \text{ m}$$

##### C.3.4.2 光度头与灯丝平面位置调整的标准不确定度 $u_2(l)$

根据实验经验与相关资料判定，光度头与灯丝平面的位置调整带来的对  $l$  值的影响不会超过  $\pm 1 \text{ mm}$ ，且服从三角分布。标准不确定度为：

$$u_2(l_2) = \frac{0.001}{\sqrt{6}} \approx 0.000\,41 \text{ m}$$

#### C.4 合成标准不确定度的计算

不确定度信息一览表见表 C.2。

表 C.2 不确定度信息一览表

| 不确定度来源       | 输入量的标准不确定度<br>$u_i$                                          | 灵敏系数<br>$c_i$             | 标准不确定度分量<br>$u_i =  c_i  u_i(x)$<br>lx |
|--------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| 测量重复性        | 0.060 lx                                                     | 1                         | 0.060                                  |
| 光度头与灯丝平面角度调整 | 0.018 lx                                                     | 1                         | 0.018                                  |
| 杂散光          | 0.12 lx                                                      | 1                         | 0.120                                  |
| 光强值          | 7.08 cd                                                      | $-0.085 \text{ m}^{-2}$   | 0.602                                  |
| 标准灯电流        | 0.354 cd                                                     | $-0.085 \text{ m}^{-2}$   | 0.030                                  |
| 测量距离         | 0.000 22 m                                                   | $58.23 \text{ cd/m}^{-3}$ | 0.013                                  |
| 光度头与灯丝平面位置调整 | 0.000 41 m                                                   | $58.23 \text{ cd/m}^{-3}$ | 0.024                                  |
| 合成标准不确定度     | $u_c(\Delta E) = \sqrt{\sum (c_i u_i)^2} = 0.618 \text{ lx}$ |                           |                                        |

## C.5 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则光谱照度计照度示值误差的扩展不确定度为：

$$U(\Delta E) = k u_c(\Delta E) = 2 u_c(\Delta E) = 1.3 \text{ lx}$$

相对扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = 1.3\% \quad (k=2)$$

## 附录 D

# 测量不确定度评定示例 ——波长示值误差

本附录对光谱照度计的波长示值误差测量结果进行不确定度评定。

## D.1 测量模型

## D.1.1 建立测量模型

$$\Delta\lambda = \bar{\lambda} - \lambda_0 \quad (\text{D.1})$$

式中：

$\Delta\lambda$ ——波长示值误差，nm；

$\bar{\lambda}$ ——测得的波长平均值，nm；

$\lambda_0$ ——波长标准值，nm。

## D.1.2 灵敏系数

$$\bar{\lambda} \text{ 的灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \Delta\lambda}{\partial \bar{\lambda}} = 1;$$

$$\lambda_0 \text{ 的灵敏系数: } c_2 = \frac{\partial \Delta\lambda}{\partial \lambda_0} = -1。$$

## D.2 输入量的标准不确定度评定

不确定度来源主要包括：测量重复性引入的测量不确定度，校准光源特征谱线引入的测量不确定度。

D.2.1 波长重复性测量引入的标准不确定度  $u(\bar{\lambda})$  的评定

根据 6.2.5 的校准方法，用被测光谱照度计对汞灯进行重复测量共 10 次，以 435.83 nm 谱线为例，波长重复性测量结果见表 D.1。

表 D.1 波长重复性测量结果

| 序号 | 测量结果<br>nm |
|----|------------|
| 1  | 436.1      |
| 2  | 436.1      |
| 3  | 436.0      |
| 4  | 436.1      |
| 5  | 436.1      |
| 6  | 436.1      |
| 7  | 436.0      |
| 8  | 436.1      |
| 9  | 436.1      |

表 D.1 (续)

| 序号                                                                              | 测量结果<br>nm |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10                                                                              | 436.1      |
| $\bar{\lambda}$                                                                 | 436.08     |
| 单次实验标准差<br>$s(\lambda) = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}}$ | 0.042      |
| 3 轮实验平均值的标准差<br>$s(\lambda)/\sqrt{3}$                                           | 0.024      |

单次测量标准差  $s(\lambda)$  为：

$$s(\lambda) = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}}$$

实际测量结果取 3 次测量值，即  $u_1 = \frac{s(\lambda)}{\sqrt{3}} = \frac{0.042}{\sqrt{3}} \approx 0.024 \text{ nm}$ 。

#### D.2.2 校准光源特征谱线引入的标准不确定度 $u(\lambda_0)$ 的评定

汞灯为自然光源，其特征谱线的半宽度约为 0.01 nm，按正态分布计算；

$$\text{所以：} u(\lambda_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.01}{2} = 0.005 \text{ nm}。$$

#### D.2.3 合成标准不确定度的计算

不确定度信息一览表见表 D.2。

表 D.2 不确定度信息一览表

| 不确定度来源             | 输入量的标准不确定度<br>$u_i$                                               | 灵敏系数<br>$c_i$ | 标准不确定度分量<br>$u_i =  c_i  u_i$<br>lx |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------|
| 波长重复性测量引入的标准不确定度分量 | 0.024 nm                                                          | 1             | 0.024 nm                            |
| 校准光源特征谱线引入的标准不确定度  | 0.005 nm                                                          | -1            | 0.005 nm                            |
| 合成标准不确定度           | $u_c(\Delta\lambda) = \sqrt{\sum (c_i u_i)^2} = 0.024 \text{ nm}$ |               |                                     |

#### D.2.4 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则光谱照度计波长示值误差的扩展不确定度为：

$$U(\Delta\lambda) = k u_c(\Delta\lambda) = 2 u_c(\Delta\lambda) = 0.1 \text{ nm}$$

## 附录 E

## 测量不确定度评定示例

### ——CIE A 标准光源条件下的色度( $x, y$ )示值误差

本附录对用色温标准灯校准光谱照度计 CIE A 标准光源条件下的色度( $x, y$ )示值误差测量结果进行不确定度评定。

## E.1 测量模型

## E.1.1 建立测量模型

$$\Delta V = V_t - V_s \quad (\text{E. 1})$$

式中：

$\Delta V$ ——在标准光源条件下的色度示值误差；

$V_t$ ——光谱照度计测得的色品坐标( $x, y$ )平均值；

$V_s$ ——已知标准光源的色品坐标( $x, y$ )标准值。

## E.1.2 灵敏系数

$$V_t \text{ 的灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \Delta V}{\partial V_t} = 1;$$

$$V_s \text{ 的灵敏系数: } c_2 = \frac{\partial \Delta V}{\partial V_s} = -1。$$

## E.2 输入量的标准不确定度评定

不确定度来源包括：测量重复性引入的测量不确定度，电源电压变化引入的测量不确定度，标准光源上级溯源引入的测量不确定度，以及其他不确定度来源。

以色品坐标  $x$  值为例，进行测量不确定度的评定。

E.2.1 实际测量值  $V_t$  引入的标准不确定度分量  $u_1$  ( $u_1$  由下列不确定度分量构成)E.2.1.1 测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_{11}$ 

按照 6.2.9.1 的校准方法，用光谱照度计对标准 A 光源进 10 次重复测量，测得  $x$  的数据见表 E.1。

表 E.1 色坐标重复性测量结果

| 序号 | 测量结果    |
|----|---------|
| 1  | 0.447 8 |
| 2  | 0.447 6 |
| 3  | 0.447 5 |
| 4  | 0.447 7 |
| 5  | 0.447 6 |
| 6  | 0.447 8 |

表 E.1 (续)

| 序号                                                            | 测量结果     |
|---------------------------------------------------------------|----------|
| 7                                                             | 0.447 5  |
| 8                                                             | 0.447 8  |
| 9                                                             | 0.447 7  |
| 10                                                            | 0.447 8  |
| $\bar{x}$                                                     | 0.447 68 |
| 单次实验标准差<br>$s(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ | 0.000 12 |
| 3 轮实验平均值的标准差<br>$u_{11} = s(x)/\sqrt{3}$                      | 0.000 07 |

单次测量标准差  $s$  为：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.000 12$$

实际测量结果取 3 次测量值，即  $u_{11} = \frac{s(x)}{\sqrt{3}} = \frac{0.000 088}{\sqrt{3}} \approx 0.000 07$ 。

#### E.2.1.2 电源电压变化引入的标准不确定度分量 $u_{12}$

按 5.2.3 的要求电源电压变化不超过 0.02%。实验经验得到，当电源电压变化不超过 0.02% 时，色品坐标  $x$  值最大的变化量为 0.000 5，按均匀分布，则：

$$u_{12} = \frac{\Delta}{k} = \frac{0.000 5}{\sqrt{3}} \approx 0.000 3$$

由于这两个标准不确定度分量互不相关，则：

$$u_1 = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2} = \sqrt{0.000 05^2 + 0.000 3^2} \approx 0.000 3$$

#### E.2.2 标准光源上级溯源引入的标准不确定度分量 $u_2$

在校准实验中采用色温标准灯，根据上一级检定部门给出的不确定度为  $U(V_s) = 0.001 5$  ( $k=2$ )，则：

$$u(V_0) = \frac{0.001 5}{2} \approx 0.000 8$$

#### E.3 合成标准不确定度的计算

不确定度信息见表 E.2。

表 E.2 不确定度信息一览表

| 不确定度来源                  | 输入量的<br>标准不确定度 $u_i$<br>%                         | 灵敏度系数<br>$c_i$ | 标准不确定度分量<br>$u_i =  c_i  u_i$ |
|-------------------------|---------------------------------------------------|----------------|-------------------------------|
| 实际测量值的测量<br>不确定度分量      | 0.000 07                                          | 1              | 0.000 07                      |
| 标准光源上级溯源引起的<br>测量不确定度分量 | 0.000 8                                           | -1             | 0.000 8                       |
| 合成标准不确定度                | $u_c(\Delta V) = \sqrt{\sum (c_i u_i)^2} = 0.001$ |                |                               |

由不确定度来源分析上来看，不论是重复性或是上级传递的不确定因素对于色品坐标  $x$ 、 $y$  来说都是同样影响的，且其不确定来源数值近似相等，所以认为  $U(x)$  与  $U(y)$  相等。

#### E.4 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则光谱照度计在 CIE A 标准光源条件下的色度  $(x, y)$  示值误差的扩展不确定度为：

$$U_x(\Delta V) = U_y(\Delta V) = k u_c(\Delta V) = 2 u_c(\Delta V) = 0.002$$

## 附录 F

## 测量不确定度评定示例

### ——CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下的色度( $x, y$ )示值误差

本附录对光谱照度计的 CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下的色度( $x, y$ )示值误差测量结果进行不确定度评定。

## F.1 测量模型

## F.1.1 建立测量模型

$$\Delta V = V_t - V_s \quad (\text{F.1})$$

式中：

$\Delta V$ ——在标准光源与透射式标准色板组合条件下的色度示值误差，

$V_t$ ——仪器测得的色品坐标( $x, y$ )；

$V_s$ ——透射式标准色板的色品坐标( $x, y$ )标准值；

$V$ ——色品坐标  $x, y$ 。

## F.1.2 灵敏系数

$$V_t \text{ 的灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \Delta V}{\partial V_t} = 1;$$

$$V_s \text{ 的灵敏系数: } c_2 = \frac{\partial \Delta V}{\partial V_s} = -1。$$

## F.2 输入量的标准不确定度评定

不确定度来源包括：测量重复性引入的测量不确定度，电源电压变化引入的测量不确定度、标准光源上级溯源引入的测量不确定度，以及其他不确定度来源。

以色品坐标  $x$  值为例，进行测量不确定度的评定。

F.2.1 实际测量值  $V_t$  引入的标准不确定度分量  $u_1$  ( $u_1$  由下列不确定度分量构成)(1) 测量重复性引入的标准不确定分量  $u_{11}$ 

在标准光源与红色透射式标准色板 (HB650) 组合的条件下，按照 6.2.9.2 的校准方法，用光谱照度计对其进行重复测量共 10 次，色坐标重复性测量结果见表 F.1。

表 F.1 色坐标重复性测量结果

| 序号 | 测量结果    |
|----|---------|
| 1  | 0.696 2 |
| 2  | 0.696 0 |
| 3  | 0.696 2 |
| 4  | 0.696 0 |
| 5  | 0.696 3 |
| 6  | 0.696 3 |

表 F.1 (续)

| 序号                                                            | 测量结果    |
|---------------------------------------------------------------|---------|
| 7                                                             | 0.696 2 |
| 8                                                             | 0.695 9 |
| 9                                                             | 0.695 9 |
| 10                                                            | 0.696 0 |
| $\bar{x}$                                                     | 0.696 1 |
| 单次实验标准差<br>$s(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ | 0.000 2 |
| 2 轮实验平均值的标准差<br>$u_{11} = s(x) / \sqrt{2}$                    | 0.000 1 |

单次测量标准差  $s$  为：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.000\ 2$$

实际测量结果取 2 次测量的平均值，即  $u_{11} = \frac{s(x)}{\sqrt{2}} = 0.000\ 1$ 。

(2) 电源电压变化引入的标准不确定度分量  $u_{12}$

按 5.2.3 的要求电源电压变化不超过 0.02%。实验经验得到，当电源电压变化不超过 0.02% 时，色品坐标  $x$  值最大的变化量为 0.000 5，按均匀分布，则：

$$u_{12} = \frac{\Delta}{k} = \frac{0.000\ 5}{\sqrt{3}} \approx 0.000\ 3$$

由于这两个标准不确定度分量互不相关，所以：

$$u_x = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2} = \sqrt{0.000\ 1^2 + 0.000\ 3^2} \approx 0.000\ 3$$

F.2.2 色品坐标标准值  $V_s$  上级溯源引入的不确定度分量  $u_2$  ( $u_2$  是合成标准不确定度，由下列不确定度分量构成)

F.2.2.1 标准光源上级溯源引起的标准不确定度分量  $u_{21}$  的评定

在校准实验中采用的色温标准灯，根据上一级检定部门给出的不确定度为  $U = 0.001\ 5$  ( $k=2$ )，则：

$$u_{21} = \frac{\delta}{k} = \frac{0.001\ 5}{2} \approx 0.001$$

F.2.2.2 标准色板上上级溯源引起的标准不确定度分量  $u_{22}$  的评定

透射式标准色板根据上一级检定部门给出的不确定度为  $U = 0.004$  ( $k=2$ )，则

$$u_{22} = \frac{\delta}{k} = \frac{0.004}{2} = 0.002$$

由于这两个标准不确定度分量互不相关，所以：

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.001^2 + 0.002^2} \approx 0.0022$$

### F.3 合成标准不确定度的计算

不确定度信息一览表见表 F.1。

表 F.1 不确定度信息一览表

| 不确定度来源          | 输入量的<br>标准不确定度<br>$u_i$                            | 灵敏度系数<br>$c_i$ | 标准不确定度分量<br>$u_i =  c_i  u_i$ |
|-----------------|----------------------------------------------------|----------------|-------------------------------|
| 实际测量值的测量不确定度分量  | 0.0003                                             | 1              | 0.0003                        |
| 上级溯源引起的测量不确定度分量 | 0.0022                                             | -1             | 0.0022                        |
| 合成标准不确定度        | $u_c(\Delta V) = \sqrt{\sum (c_i u_i)^2} = 0.0022$ |                |                               |
| 扩展不确定度          | $U = 0.005 \ (k=2)$                                |                |                               |

由不确定度来源分析上来看，不论是重复性或是上级传递的不确定因素对于色品坐标  $x$ 、 $y$  来说都是同样影响的，且其不确定来源数值近似相等，所以认为  $U(x)$  与  $U(y)$  相等。

### F.4 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则光谱照度计在 CIE A 标准光源与透射式标准色板组合条件下的色度  $(x, y)$  示值误差的扩展不确定度为：

$$U_x(\Delta V) = U_y(\Delta V) = k u_c(\Delta V) = 2 u_c(\Delta V) = 0.005$$