

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1807—2020

光谱总辐射通量灯校准规范

Calibration Specification for Total Spectral Radiant Flux Lamps

2020-01-17 发布

2020-04-17 实施

国家市场监督管理总局 发布

光谱总辐射通量灯
校准规范

Calibration Specification for Total
Spectral Radiant Flux Lamps

JJF 1807—2020

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

参加起草单位：北京师范大学

陕西省计量科学研究院

本规范委托全国光学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

赵伟强（中国计量科学研究院）

刘 慧（中国计量科学研究院）

参加起草人：

刘 建（中国计量科学研究院）

卢利根（北京师范大学）

李 奕（陕西省计量科学研究院）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(1)
6 校准条件	(1)
6.1 环境条件	(1)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 光谱总辐射通量灯校准证书内页参考格式	(7)
附录 B 光谱总辐射通量灯校准的不确定度评定示例	(8)
附录 C 光谱吸收修正系数及计算方法	(11)

引 言

JJF 1001—2011《通用计量名词术语》、JJF 1032—2005《光学辐射计量名词及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》共同构成本校准规范制定工作的基础性技术文件。

本规范为首次发布。



光谱总辐射通量灯校准规范

1 范围

本规范适用于在带光谱辐射计的积分球校准装置内使用相对比较法校准光谱总辐射通量灯，光谱总辐射通量校准光谱范围为 350 nm~1 100 nm。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 247 总光通量标准白炽灯

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 术语

3.1 辐射通量的光谱密集度 spectral density of radiant flux

在波长 λ 处，包含 λ 的波长元 $d\lambda$ 内的辐射通量 $d\phi_e$ 与 $d\lambda$ 之比，该量的符号为 $\phi_{e\lambda}(\lambda)$ ，单位为 W/nm。

3.2 光谱总辐射通量 total spectral radiant flux

为全空间辐射通量的光谱密集度，单位为 W/nm。

3.3 光谱总辐射通量标准灯 standard lamp for total spectral radiant flux

用于保持和传递某波长或波长范围的光谱总辐射通量量值的特定光源。

4 概述

光谱总辐射通量灯用于传递某波长或波长范围的光谱总辐射通量量值，一般是特别挑选的白炽灯、溴钨灯、LED 灯或其他光源。根据规定条件老化后，按照规定点燃条件的光谱总辐射通量灯，光谱总辐射通量量值重复性好且长期较稳定。

对光源的特性评价中普遍使用积分球光谱辐射计进行光源总光通量和颜色参数的测量，光谱总辐射通量灯可同时实现这两个量值的传递，广泛用于光辐射测量领域。

5 计量特性

光谱总辐射通量（量值校准光谱范围 350 nm~1 100 nm）。

6 校准条件

6.1 环境条件

实验室的温度应处于在 $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ 范围内，在测量过程中温度的变化不得大于 3°C ，相对湿度 $\leq 80\%$ 。环境应清洁，无腐蚀性气体，周围无影响仪器正常工作的粉尘、震动和电磁场的干扰。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 光谱总辐射通量标准灯

标准灯的性能应符合 JJG 247《总光通量标准白炽灯》中一级标准灯的计量性能要求，功率不低于 100 W，色温不低于 2 856 K，给出其光谱总辐射通量值，并在有效校准周期内。

测量标准至少由 3 支标准灯组成，标准灯的不确定度和一致性要求见表 1。

表 1 标准灯光谱总辐射通量相对扩展不确定度和一致性要求

波长范围	相对扩展不确定度 ($k=2$)	灯组内一致性
$350\text{ nm} \leq \lambda < 380\text{ nm}$	$\leq 5.0\%$	$\leq 3.0\%$
$380\text{ nm} \leq \lambda < 450\text{ nm}$	$\leq 3.5\%$	$\leq 1.0\%$
$450\text{ nm} \leq \lambda < 780\text{ nm}$	$\leq 2.0\%$	$\leq 0.5\%$
$780\text{ nm} \leq \lambda \leq 1\,100\text{ nm}$	$\leq 2.5\%$	$\leq 1.0\%$

6.2.2 校准装置

校准装置主要由积分球光谱辐射计、供电电源及电测仪器组成。使用相对比较法测量光源的光谱总辐射通量值。积分球光谱辐射计结构示意图如图 1 所示。

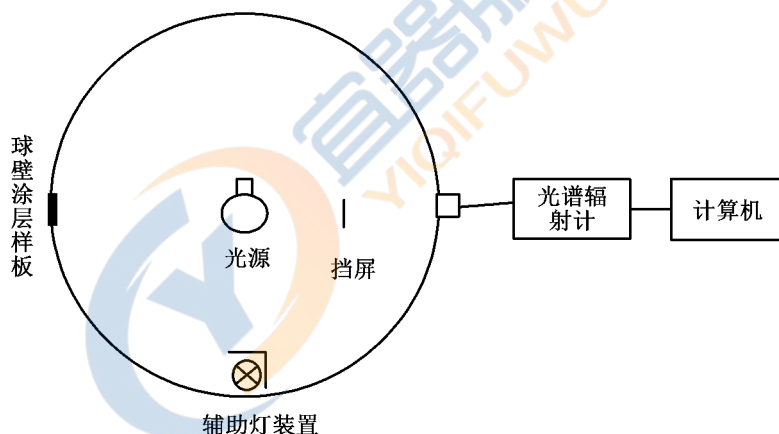


图 1 校准装置的结构示意图

6.2.2.1 光谱辐射计

光谱辐射计的最小输出带宽 $\leq 5\text{ nm}$ ，最小采样间隔 $\leq 5\text{ nm}$ ，波长示值最大允许误差为 $\pm 0.5\text{ nm}$ 。

6.2.2.2 积分球

积分球球壳内表面应力求为一完整球面，不应有裂痕和凹凸不平等缺陷，密闭性良好。球的内壁和球内物件如挡屏、导线、灯座等应均匀涂上一层白色漫反射涂料，涂层反射率 80% 以上。球内设置的与测量有关的物件的表面积和件数应减到最少。球内设置的挡屏，其大小以遮住探测器窗口使之不被球内光源直接照射即可，不宜过大。挡屏的中心处在球心与窗口中心的连线上，距离球心 $1/2 \sim 1/3$ 球半径处，且挡屏表面应与此连线垂直。在积分球的赤道线上开一个小圆孔，圆孔上嵌光纤收集面，收集面上安有

漫透射良好的平面余弦校正器，其向球内的一面应与球的内表面相截，且垂直于球心与窗口中心的连线。所用积分球的直径不小于 1.0 m。被测量光源的最大尺寸应不大于所使用积分球直径的 1/10。

6.2.2.3 供电电源及电测仪表

采用直流稳流/稳压电源或交流稳压电源供电。直流电源的最大输出电压和输出电流均分别不小于灯泡工作电压和工作电流的 1.2 倍。直流稳压或稳流电源，稳定输出时，10 min 内电压变化不大于 0.02%。交流电源的最大输出功率应不小于灯泡消耗功率的 1.5 倍，稳定输出时，10 min 内电压变化不大于 0.1%。两种电源的输出电压均能从 0 V 开始连续可调。

电测仪表的等级应与所使用灯的要求匹配，其中直流电测仪表不低于 0.02 级，交流电测仪表不低于 0.1 级。

标准灯与被校灯均采用四线法的接线方式。直流和交流供电与电测电路图如图 2 和图 3 所示。

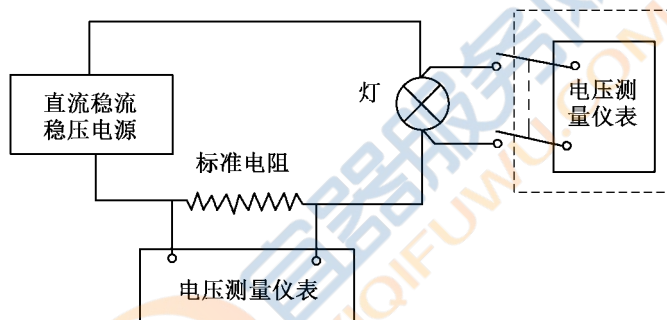
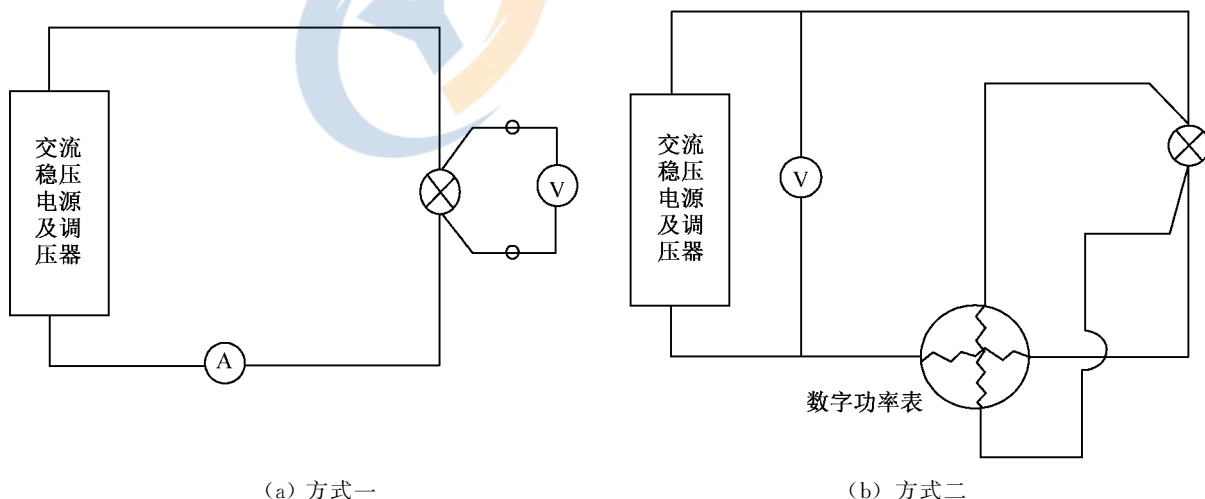


图 2 直流供电与电测电路图



(a) 方式一

(b) 方式二

图 3 交流供电与电测电路图

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

光谱总辐射通量灯的校准项目为光谱总辐射通量。

7.2 校准方法

7.2.1 实验前准备

7.2.1.1 外观检查

将灯泡玻壳擦拭干净，察看灯泡的外观以及灯头的装配质量。查看时不能用手触摸玻壳，应戴手套或垫纱布。玻壳应无色、透明度高，无明显反碱、发雾、波纹、气泡、砂粒、擦伤等缺陷；灯丝与电极的连接可靠，灯头与玻壳的固定牢固。

7.2.1.2 校准装置预热

装置定标前，应用一只和被校灯功率接近的普通灯在积分球内点燃，减少积分球内壁上附着的水汽；同时预热光谱辐射计，使其响应度稳定。预热时间根据经验确定，通常为 30 min。

7.2.2 灯的点燃方式

灯泡应装在积分球内部中心位置，发光体位于球心，灯头在上，玻壳在下。接通供电线路时，加在灯上的电压（或电流）应低于灯标称电压（或电流）的 10%，然后缓慢地升到规定的工作电流值或工作电压值。当挡屏遮挡光源形成的光影可分辨时，调整灯的位置使挡屏的投影中心与接收器窗口中心重合。白炽灯的预燃时间一般为 3 min～7 min。LED 灯的预燃时间一般不超过 30 min。待发光稳定后正式进行光参数和电参数的测量。测量完毕，在 10 s～20 s 内平缓地将电压降到灯标称电压的 10% 以下，才断开电源。

7.2.3 光谱辐射计的参数设置

设置光谱辐射计的参数，选择合适的量程和波长范围。对于阵列式 CCD 的光谱辐射计，设置光衰减片和积分时间，或者设定为自动量程，使得最大信号为满量程的 80% 左右；对于扫描式光栅型单色仪，应根据入射狭缝、出射狭缝和波长间隔，选择合适的灵敏度。工作的波长范围应该根据标准灯和被校灯的光谱范围确定，如 350 nm～1 100 nm。对于变化缓慢的宽光谱光源，采样间隔应小于或者等于 5 nm。对于准单色光源（如 LED）或者带窄光谱谱线的混合光谱光源（如荧光灯），采样间隔应小于或等于 2 nm。

7.2.4 校准装置的定标

在校准被校灯前，应先进行校准装置的定标操作。

积分球光谱辐射计的定标有两种方法，可采用其中一种方法进行。第一种方法采用 1 只标准灯定标校准装置的光谱总辐射通量光谱密集度常数，用另外 2 只标准灯验证。第二种方法采用 3 只标准灯的平均值作为校准装置的光谱总辐射通量光谱密集度常数。

7.2.4.1 方法一：定标验证法

按照 7.2.2 规定方式点燃光谱总辐射通量标准灯，读取光谱辐射计相应波长点光谱响应值 $m_{\text{std}, 1}(\lambda)$ 。该标准灯在相应波长点的光谱总辐射通量值为 $\phi_{\text{std}, 1}(\lambda)$ ，则光谱总辐射通量的光谱密集度常数为

$$c(\lambda) = \frac{\phi_{\text{std}, 1}(\lambda)}{m_{\text{std}, 1}(\lambda)} \quad (1)$$

系统定标后，测量标准灯组内的另外 2 只标准灯。根据上述常数可测量光谱总辐射

通量值 $\phi_{\text{std},i}^{\text{TEST}}(\lambda) = c(\lambda) \cdot m_{\text{std},i}^{\text{TEST}}(\lambda)$ ($i = 2, 3$)。

比较标准灯的光谱总辐射通量值 $\phi_{\text{std},i}(\lambda)$ ($i = 2, 3$) 和测试值 $\phi_{\text{std},i}^{\text{TEST}}(\lambda)$ ($i = 2, 3$)，则光谱总辐射通量值的一致性偏差为

$$\delta_i(\lambda) = \frac{1}{2} \left| \frac{\phi_{\text{std},i}^{\text{TEST}}(\lambda) - \phi_{\text{std},i}(\lambda)}{\phi_{\text{std},i}(\lambda)} \right| \times 100\%, i = 2, 3 \quad (2)$$

$\delta_i(\lambda)$ 反映了灯组内各只灯的量值一致性和系统的测量重复性，应满足 6.2.1 中的一致性要求。若用于验证的标准灯光谱总辐射通量标准值和测试值偏差值超过给定值，应重测或更换标准灯，重新对系统进行定标操作，并重复前述的验证过程，直至偏差值小于给定值。

7.2.4.2 方法二：平均值法

按照 7.2.2 规定方式分别依次点燃光谱总辐射通量标准灯。测量光电读数为 $m_i(\lambda)$ ($i = 1, 2, 3$)。该标准灯在相应波长点的光谱总辐射通量值为 $\phi_{\text{std},i}(\lambda)$ ($i = 1, 2, 3$)，则波长点 λ 的光谱总辐射通量的光谱密集度常数是每只标准灯对应常数的平均值，即

$$c(\lambda) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 c_i(\lambda) \quad (3)$$

其中

$$c_i(\lambda) = \frac{\phi_{\text{std},i}(\lambda)}{m_i(\lambda)} \quad (4)$$

计算单只标准灯光谱总辐射通量光谱密集度常数的相对偏差

$$\delta'_i(\lambda) = \left| \frac{c_i(\lambda) - c(\lambda)}{c(\lambda)} \right| \times 100\%, i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

$\delta'_i(\lambda)$ 反映了灯组内各只灯的量值一致性和系统的测量重复性，应满足 6.2.1 中的一致性要求。若偏差值超过给定值，应重测或更换标准灯，并重复前述的验证过程，直至偏差值小于给定值。

7.2.5 校准及数据处理

校准装置定标完成后，进行被校灯的校准。

被校灯需按 7.2.2 方式点燃，独立装调并至少测量读数 2 次。测量所得第 1 次和第 2 次被校灯的光谱辐射计的光谱光电读数是 $m_{\text{test},j}(\lambda)$ ($j = 1, 2$)，则第 1 次和第 2 次被校灯的光谱总辐射通量为

$$\phi_{\text{test},j}(\lambda) = c(\lambda) \cdot m_{\text{test},j}(\lambda), j = 1, 2 \quad (6)$$

两次测量的偏差不应大于 2.0% ($350 \text{ nm} \leq \lambda < 380 \text{ nm}$)，0.5% ($380 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1100 \text{ nm}$)，若偏差超过上述给定值，应增加测量次数。取剔除离散值后的 n ($n \geq 2$) 次测量结果的平均作为校准值，同时根据实验情况重新评定测量不确定度。

剔除离散值后测量的平均值，即

$$\phi_{\text{test}}(\lambda) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \phi_{\text{test},i}(\lambda), n \geq 2 \quad (7)$$

$\phi_{\text{test}}(\lambda)$ 为该被校灯的光谱总辐射通量。

若被校灯与定标用的标准灯的外形和表面积有明显差异，应进行光谱吸收修正，具

体方法见附录 C。

对于校准结果，电流应给出 5 位或 4 位有效数字，电压应给出 4 位有效数字，光谱总辐射通量应给出 3 位或 4 位有效数字。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映，校准证书数据页格式见附录 A。校准证书或校准报告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（如果与实验室地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数标识；
- 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受日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，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) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

光谱总辐射通量灯的复校时间间隔建议为 1 年。若累计使用时间达到 100 h，或发现测量结果异常时，应随时进行校准。使用者可根据实际的使用情况，自主决定复校时间间隔。

光谱总辐射通量灯校准证书内页参考格式

证书编号:

灯号	灯电流 A	灯电压 V

[illegible]

校准员：

核验员：

附录 B

光谱总辐射通量灯校准的不确定度评定示例

本附录以 780 nm 波长位置为例,对用 24V 100W 型光谱总辐射通量标准灯组,在直径 2.0 m 的积分球光谱辐射计内校准 24V 100W 型光谱总辐射通量灯的测量结果,进行不确定度评定,其他波长以此类推。

B.1 校准方法

24V 100W 型光谱总辐射通量标准灯(下面简称“标准灯”)和被校准的 24V 100W 型光谱总辐射通量灯(下面简称“被校灯”)在配用光谱辐射计的积分球内按 JJF 1807—2020 的相关规定顺序点燃,将它们各自的光谱总辐射通量光电读数和光通量光电读数相互比较,计算出被校灯的光谱总辐射通量量值。

B.2 测量模型

用积分球光谱辐射计测量,使用 3 只标准灯的光谱总辐射通量光谱密集度常数平均值作为定标后光谱密集度常数,则被校灯光谱总辐射通量按公式 (B.1) 计算

$$\phi_{\text{test}}(\lambda) = c(\lambda) \cdot \overline{m}_{\text{test}}(\lambda) \cdot C_{\text{abs}}(\lambda) \quad (\text{B.1})$$

式中:

$c(\lambda)$ ——校准装置的光谱密集度常数;

$\overline{m}_{\text{test}}(\lambda)$ ——被校灯的光谱密集度测量读数;

$C_{\text{abs}}(\lambda)$ ——光谱吸收修正因子。

B.3 合成相对标准不确定度计算公式

$$u_{\text{c,rel}}^2[\phi_{\text{test}}(\lambda)] = u_{\text{rel}}^2[c(\lambda)] + u_{\text{rel}}^2[\overline{m}_{\text{test}}(\lambda)] + u_{\text{rel}}^2[C_{\text{abs}}(\lambda)] \quad (\text{B.2})$$

本示例中, $\lambda = 780 \text{ nm}$ 。

B.4 $c(\lambda)$ 的不确定度评定

$c(\lambda)$ 的不确定度主要包含三个分量:

a) 标准灯光谱总辐射通量的不确定度分量

定标校准装置用的标准灯量值是通过变角辐射计导出。依据变角辐射计不确定度评定,该分量为 $u_{11} = 0.8\%$ 。

b) 电测系统差异的不确定度分量

因所用的电测系统差异,所以定标校准装置用标准灯的电流与标准电流值存在微小差异,估计最大差异为 0.02% ,同时根据经验,光谱总辐射通量对电流差异的敏感系数在微小范围约等于 6,因而,该分量为

$$u_{12} = \frac{0.02\%}{\sqrt{3}} \times 6 = 0.07\%$$

c) 各种随机因素的影响的不确定度分量

测量中,使用了 6 只标准灯,它们的常数 $c(780)_i$ 分别为 2.434×10^{-5} , 2.437×10^{-5} , 2.438×10^{-5} , 2.438×10^{-5} , 2.438×10^{-5} , 2.436×10^{-5} 。计算平均值的相对实验标准差,得 $u_{13} = 0.027\%$ 。

则 $c(780)$ 的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}[c(780)]$ 为上述三项的方和根

$$u_{\text{rel}}[c(780)] = \sqrt{(0.8\%)^2 + (0.07\%)^2 + (0.027\%)^2} = 0.804\%$$

B.5 被校灯量值 $\overline{m}_{\text{test}}(\lambda)$ 的不确定度评定

a) 被校灯测量值读数重复性的不确定度评定

被校灯的测量值，测量 10 个读数，分别是 0.026 653，0.026 665，0.026 687，0.026 667，0.026 654，0.026 660，0.026 690，0.026 650，0.026 690，0.026 685。计算平均值的相对实验标准差，得 $u_{21} = 0.019\%$ 。

b) 被校灯重复点燃时量值分散性

灯在重复点燃时，光谱总辐射通量会在一定范围起伏，根据经验，其分散性约为 $u_{22} = 0.1\%$ 。

c) 因光谱辐射计非线性的不确定度分量

标准灯和被校灯的量值大小存在差异，因光谱辐射计非线性，根据经验，评定该不确定度分量得 $u_{23} = 0.1\%$ 。

d) 因积分球空间响应不均匀引入的不确定度评定

标准灯和被校灯的光分布存在差异。根据经验，评定该不确定度分量得 $u_{24} = 0.1\%$ 。

则 $\overline{m}_{\text{test}}(780)$ 相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}[\overline{m}_{\text{test}}(780)]$ 为上述四项的方和根

$$u_{\text{rel}}[\overline{m}_{\text{test}}(780)] = \sqrt{(0.019\%)^2 + (0.10\%)^2 + (0.10\%)^2 + (0.10\%)^2} = 0.174\%$$

B.6 修正因子不确定度的评定

由于标准灯和被校灯的类型相同，故不考虑吸收修正。

B.7 相对标准不确定度来源的评定结果

相对标准不确定度分量及相关信息，见表 B.1。

表 B.1 780 nm 位置相对标准不确定度来源的评定值

不确定度来源		相对标准不确定度	灵敏系数	类别
光谱密集度常数	标准灯光谱总辐射通量	0.8%	1	B
	电测系统差异	0.07%	1	B
	标准灯组的随机因素的影响	0.03%	1	A
测量读数	被校灯的测量值读数重复性	0.02%	1	A
	被校灯重复点燃时量值分散性	0.1%	1	B
	光谱辐射计非线性	0.1%	1	B
	积分球空间响应不均匀	0.1%	1	B
修正系数	吸收修正	—	1	—

B.8 相对合成标准不确定度

不考虑吸收修正。上述各不确定度来源独立，不相关。相对合成标准不确定度的计算公式简化为

$$\begin{aligned} u_{c, \text{rel}}[\phi_{\text{test}}(780)] &= \sqrt{u_{\text{rel}}^2[c(780)] + u_{\text{rel}}^2[\overline{m}_{\text{test}}(780)]} \\ &= \sqrt{(0.804\%)^2 + (0.174\%)^2} = 0.82\% \approx 0.9\% \end{aligned}$$

B.9 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = 0.9\% \times 2 = 1.8\%$$

本次校准结果的相对扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = 1.8\% \quad (k=2)$$



附录 C

光谱吸收修正系数及计算方法

在积分球内适当位置点燃一只辅助灯（通常是一只发光稳定的钨丝灯）并遮挡住其射向测量窗口和被校灯的直射光。在正常安装标准灯的位置上安装上一只定标用的标准灯（不点燃），闭合积分球，待辅助灯发光稳定后读取此时的光信号读数 $A_{\text{std}}(\lambda)$ 。取下标准灯，在相同的位置上装上被校灯（不点燃），同样闭合积分球并读取光信号读数 $A_{\text{test}}(\lambda)$ ，则该只被校灯吸收修正因子 $C_{\text{abs}}(\lambda)$ 按公式 (C.1) 计算

$$C_{\text{abs}}(\lambda) = \frac{A_{\text{std}}(\lambda)}{A_{\text{test}}(\lambda)} \quad (\text{C.1})$$

光谱吸收修正按公式 (C.2) 计算

$$\phi(\lambda) = \phi_0(\lambda) \cdot C_{\text{abs}}(\lambda) \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\phi(\lambda)$ ——是修正后的光谱总辐射通量值；

$\phi_0(\lambda)$ ——该只灯的光谱总辐射通量测量值；

$C_{\text{abs}}(\lambda)$ ——该只灯的吸收修正因子。