



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1976—2022

平均颜色温度标准灯校准规范

Calibration Specification for Averaged Color Temperature Standard Lamp

2022-06-28 发布

2022-12-28 实施

国家市场监督管理总局 发布

平均颜色温度标准灯校准规范

Calibration Specification for

Averaged Color Temperature Standard Lamp

JJF 1976—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

参加起草单位：陕西省计量科学研究院

深圳市计量质量检测研究院

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：

刘 慧（中国计量科学研究院）

赵伟强（中国计量科学研究院）

刘 建（中国计量科学研究院）

参加起草人：

李 奕（陕西省计量科学研究院）

李向召（深圳市计量质量检测研究院）

张晓颖（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 术语和计量单位	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(1)
5.1 平均颜色温度	(1)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及校准设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 校准证书内页格式	(7)
附录 B 原始记录格式 (推荐)	(8)
附录 C 平均颜色温度标准灯校准结果不确定度评定示例	(10)
附录 D 光源 (相关) 色温的计算方法	(13)

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 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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。



平均颜色温度标准灯校准规范

1 范围

本规范适用于积分球光谱辐射计测量光源在 4π 球面度空间发光的平均颜色温度，灯具的平均颜色温度的测量也可参照本规范执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 213—2003 分布（颜色）温度标准灯

GB/T 24824—2009 普通照明用 LED 模块测试方法

IES LM-79 固态照明产品（发光二极管）电参数和光度参数测量（Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products）

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 术语和计量单位

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

在波长 λ 处，包含 λ 的波长区元 $d\lambda$ 内的辐射通量 $d\Phi(\lambda)$ 除以该区元之商，即

$$\Phi_{\lambda}(\lambda) = \frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda}$$

注：其符号为 $\Phi_{\lambda}(\lambda)$ ，SI 单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ，在可见辐射波段常用单位为 $\text{W} \cdot \text{nm}^{-1}$ 或 $\text{mW} \cdot \text{nm}^{-1}$ 。

4 概述

平均颜色温度标准灯是用来保存和传递平均颜色温度量值的计量器具，是特制的或特别挑选的白炽灯、溴钨灯或其他适宜作为标准灯的 4π 球面度发光的光源，适于在积分球光谱辐射计中使用。光源在 4π 球面度各空间发出的光辐射其光谱组成不尽相同，即不同方向有不同的颜色温度，因此需要测量光源发出总辐射通量的平均颜色温度。

5 计量特性

5.1 平均颜色温度

平均颜色温度标准灯点燃后所发射的光谱在可见光范围（380~780）nm 内呈连续分布，其额定平均颜色温度为（2 700~3 000）K。

注：此项指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： (23 ± 3) ℃；相对湿度： $\leq 70\%$ 。

6.1.2 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 测量标准及校准设备

6.2.1 平均颜色温度标准灯组

平均颜色温度标准灯组由不少于 3 只标准灯组成，额定平均颜色温度在 $(2\ 700\sim 3\ 000)$ K 间，灯组内各灯之间的平均颜色温度偏差应小于 4 K，灯组平均颜色温度的扩展不确定度 $U\leq 12$ K ($k=2$)。

6.2.2 校准装置

校准装置由积分球、光谱辐射计、供电与电测仪器等组成（图 1）。

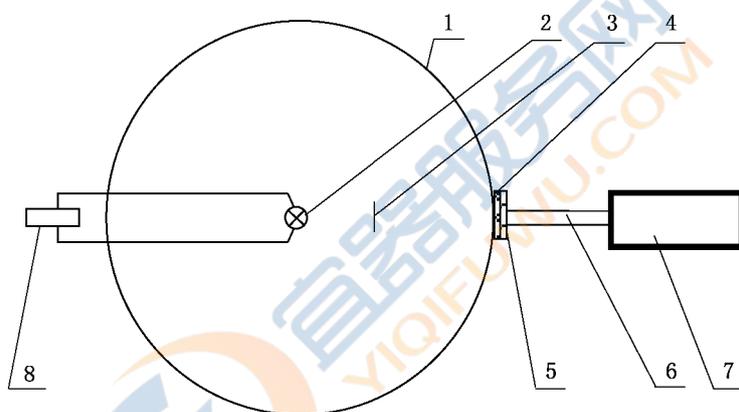


图 1 平均颜色温度校准装置示意图

1—积分球球体；2—标准灯（被测灯）；3—挡屏；4—平面余弦校正器；
5—快门；6—光纤；7—光谱辐射计；8—供电与电测仪器

6.2.2.1 积分球

积分球为一中空球壳，其赤道线上开有一个窗口。校准 150 W（含）以下的标准灯时，所用积分球的直径不得小于 0.5 m，校准 $(200\sim 500)$ W 的标准灯时，所用积分球的直径不得小于 1.5 m，校准 1 000 W 的标准灯时，所用积分球的直径不得小于 2.0 m。球壳应采用不易变形、不易受环境影响的材料制成。球壳内表面应为一完整球面，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、灯座等应均匀涂上白色漫反射涂料。在涂料明显变色、脱落和污染时应重新喷涂。球内设置的与测量有关的物件的表面积和件数应减小到最小。

球内设置的挡屏，其大小应遮住窗口，使之不被来自光源的光线（包括玻璃壳上的散射光和反射光）直接照射即可；其中心应位于球心与窗口中心的连线上，距离球心 $\frac{1}{2}\sim$

$\frac{1}{3}$ 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窗口（小圆孔），圆孔上嵌一块漫透射良好的平面余弦

校正器，该校正器可采用双面毛玻璃或毛面乳白玻璃，其向球内的一面应与球的内表面相截。

6.2.2.2 光谱辐射计

用于测量平均颜色温度标准灯的（相对）光谱功率分布或（相对）总光谱总辐射通量。采用光栅或棱镜作为色散器件，面阵 CCD 或光电探测器作为接收器件，最小输出带宽 ≤ 5 nm，最小采样间隔 ≤ 5 nm，波长示值最大允许误差 ± 0.5 nm，波长范围不小于（380~780）nm。

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。电源的最大输出电压和输出电流均应分别不小于工作电压和工作电流的 1.5 倍，电源稳定性和电测仪表等级的要求见表 1。电压必须从灯端测量（四线法连接），按图 2 或图 3 所示的电路图供电和测量电流及电压。

表 1 电源稳定性和电测仪表等级的要求

供电方式	电源	电测仪表
直流	直流稳流/稳压电源 10 min 内变化率不大于 0.02 %	不低于 0.02 级
交流	交流稳压电源 10 min 内变化率不大于 0.1 %	不低于 0.1 级

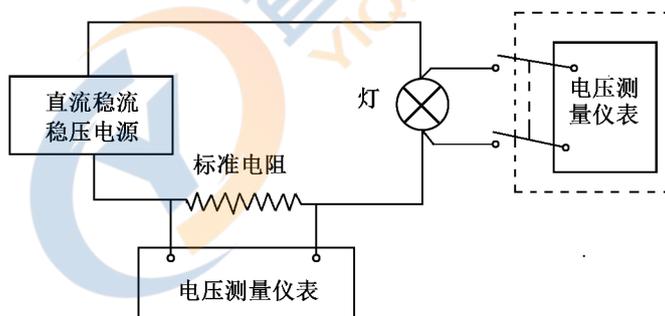


图 2 直流供电与电测电路图

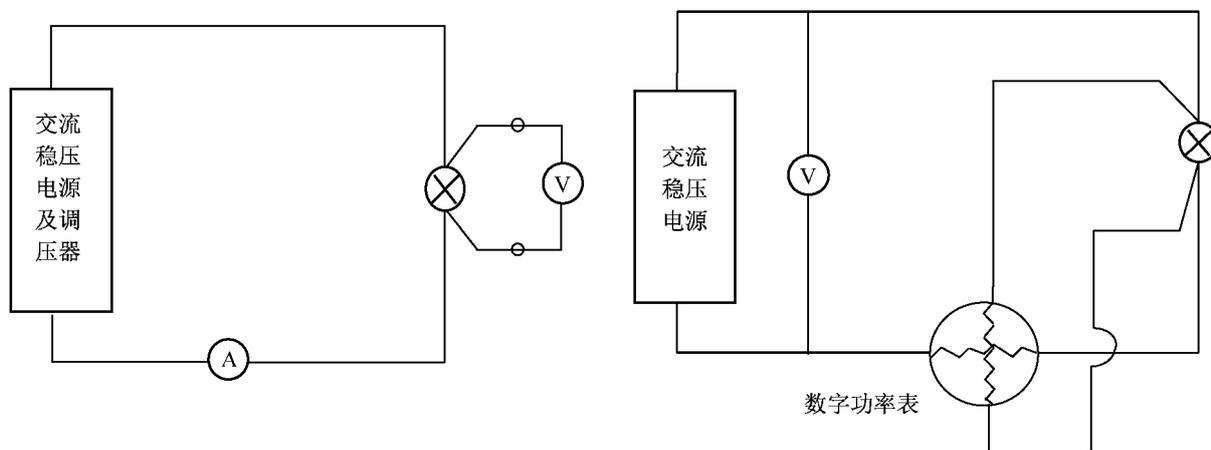


图 3 交流供电与电测电路图

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

平均颜色温度标准灯的校准项目为平均颜色温度。

7.2 校准方法

每次校准时，所用标准灯不得少于三只。

7.2.1 校准前检查

a) 外观：将灯泡玻壳擦拭干净，查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。外观有严重缺陷、影响正常使用者，不做量值校准。

b) 标识：标准灯上应清晰牢固地标明该灯的型号和编号。标示部位应靠近灯头或在灯头上。

7.2.2 量值校准

校准时，应按照客户要求的实验条件进行校准，可按以下两种实验条件同时或任意一种进行校准：1) 按规定电参数校准平均颜色温度；2) 按指定平均颜色温度校准电参数。

7.2.2.1 准备工作

打开光谱辐射计，开启供电电源，在积分球内点燃一只（50~200）W 的灯泡，以预照光谱辐射计和积分球，预照时间根据实验要求而定，通常为 30 min。

安装灯泡时应戴干净的手套或垫以洁净的纱布，灯头在上，玻壳在下，发光体位于球心。按额定电参数的 30% 点燃灯，调整灯的位置使挡屏的投影中心与接收器窗口中心重合。

设置光谱辐射计的参数，选择合适的量程（设置放大倍率、曝光时间或外加减光片）或设定为自动量程，使最大信号幅度为满量程时的 80% 左右；波长范围（380~780）nm，采样间隔 ≤ 5 nm（对于光谱分布变化缓慢的光源）或 ≤ 2 nm（对于光谱分布起伏较大的光源）。

7.2.2.2 积分球光谱辐射计的校准

a) 方法 1——实验验证法

将一只标准灯安装在积分球内用于校准光谱辐射计。灯燃点时加在灯泡上的电压应低于灯泡标称电压的 10%，然后缓慢升高电压，在约（20~30）s 内平缓地升到预定电流值或电压值，待稳定后开始测量。使用中电参数波动不得超过表 1 的规定。测量完毕，熄灭时应缓慢将电压降为零。预燃（3~7）min 待灯发光稳定后，在选定的波长点测得光电读数为 $m_j(\lambda_i)_s$ ，其中 $j=1,2,3$ 为标准灯的编号， $i=1,2,3,\dots,n$ 为波长编号。标准灯在相应波长点的辐射功率的相对光谱密集度为 $\Phi_{\lambda,j}(\lambda_i)_s$ ，则该灯相对光谱密集度的常数为：

$$c_j(\lambda_i)_s = \frac{\Phi_{\lambda,j}(\lambda_i)_s}{m_j(\lambda_i)_s} \quad (1)$$

由第一只标准灯 ($j=1$) 测得 $c_1(\lambda_i)_s$, 再重新测量该标准灯得到光电读数 $m_1^*(\lambda_i)_s$, 由此计算辐射功率分布的相对光谱密集度 $\Phi_{\lambda,1}^*(\lambda_i)_s = c_1(\lambda_i)_s \cdot m_1^*(\lambda_i)_s$, 据此计算标准灯的平均颜色温度与额定平均颜色温度的偏差应不大于 2 K, 否则应重新校准光谱辐射计。

依次换用另外两只标准灯如上法测得的光电读数分别为: $m_2(\lambda_i)_s$ 和 $m_3(\lambda_i)_s$, 则两只标准灯的辐射功率的相对光谱密集度分别为: $\Phi_{\lambda,2}(\lambda_i)_s = c_1(\lambda_i)_s \cdot m_2(\lambda_i)_s$ 和 $\Phi_{\lambda,3}(\lambda_i)_s = c_1(\lambda_i)_s \cdot m_3(\lambda_i)_s$ 。根据 $\Phi_{\lambda,2}(\lambda_i)_s$ 和 $\Phi_{\lambda,3}(\lambda_i)_s$ 分别计算它们的平均颜色温度, 这些平均颜色温度与它们的额定值相差应不大于 4 K, 则系统校准工作完成。如果相差大于 4 K, 则另换一只标准灯进行验证, 或重新标定光谱辐射计, 直到用一只灯校准光谱辐射计测量另外两只标准灯与它们额定值的偏差不大于 4 K。

b) 方法 2——平均值法

依次将三只标准灯置于积分球内, 测得它们的光电读数分别为 $m_1(\lambda_i)_s, m_2(\lambda_i)_s, m_3(\lambda_i)_s (i=1, 2, \dots, n)$, 它们的辐射功率的相对光谱密集度分别为 $\Phi_{\lambda,1}(\lambda_i)_s, \Phi_{\lambda,2}(\lambda_i)_s, \Phi_{\lambda,3}(\lambda_i)_s (i=1, 2, \dots, n)$, 则光谱密集度常数为:

$$c_j(\lambda_i)_s = \frac{\Phi_{\lambda,j}(\lambda_i)_s}{m_j(\lambda_i)_s} (j=1, 2, 3) \quad (2)$$

可得相对光谱密集度常数的平均值为:

$$\bar{c}(\lambda_i)_s = \frac{c_1(\lambda_i)_s + c_2(\lambda_i)_s + c_3(\lambda_i)_s}{3} \quad (3)$$

依据 $\bar{c}(\lambda_i)_s$ 计算各标准灯的相对光谱密集度分别为: $\Phi_{\lambda,1}^*(\lambda_i)_s = \bar{c}(\lambda_i)_s \cdot m_1(\lambda_i)_s$, $\Phi_{\lambda,2}^*(\lambda_i)_s = \bar{c}(\lambda_i)_s \cdot m_2(\lambda_i)_s$ 和 $\Phi_{\lambda,3}^*(\lambda_i)_s = \bar{c}(\lambda_i)_s \cdot m_3(\lambda_i)_s$ 。根据 $\Phi_{\lambda,1}^*(\lambda_i)_s, \Phi_{\lambda,2}^*(\lambda_i)_s$ 和 $\Phi_{\lambda,3}^*(\lambda_i)_s$ 分别计算它们的平均颜色温度, 这些平均颜色温度与它们的额定值相差若不大于 4 K, 则系统校准工作完成。如果某只灯的偏差大于 4 K, 则另换一只标准灯进行标定, 重新计算 $\bar{c}(\lambda_i)_s$, 直到每只灯用 $\Phi_{\lambda,j}^*(\lambda_i)_s$ 计算所得的平均颜色温度与额定值的偏差不大于 4 K。

7.2.2.3 测量

a) 按规定电参数校准平均颜色温度

将被测灯安装在积分球内, 按规定的电参数供电, 待发光稳定后, 在选定的波长点测得的光电读数为 $m(\lambda_i)_t (i=1, 2, \dots, n)$, 则被测灯在相应波长点的辐射功率的相对光谱密集度为 $\Phi_\lambda(\lambda_i)_t (i=1, 2, \dots, n)$ 。

$$\Phi_\lambda(\lambda_i)_t = c_1(\lambda_i) \cdot m(\lambda_i)_t \quad \text{或} \quad \Phi_\lambda(\lambda_i)_t = \bar{c}(\lambda_i) \cdot m(\lambda_i)_t \quad (4)$$

根据 $\Phi(\lambda_i)_t (i=1, 2, \dots, n)$ 用附录 D 中的方法计算被测灯的平均颜色温度并记录电参数值。

b) 按规定平均颜色温度校准电参数

将被测灯安装在积分球内, 根据规定的平均颜色温度值, 按经验估计的电参数供电, 待发光稳定后, 在选定的波长点测得光电读数为 $m(\lambda_i)_t (i=1, 2, \dots, n)$, 根据式 (4) 计算被测灯在相应波长点的辐射功率的相对光谱密集度为 $\Phi_\lambda(\lambda_i)_t (i=1, 2, \dots, n)$, 再由 $\Phi_\lambda(\lambda_i)_t (i=1, 2, \dots, n)$ 依据附录 D 计算被测灯的平均颜色温

度，将其与规定的平均颜色温度比较。根据比较结果，重新调整供电参数，继续测量，直到与规定平均颜色温度相等为止。

7.2.2.4 数据处理

每只被测灯至少测量两轮，第二轮应重新安装和调整被测灯。两轮测量之间的间隔应大于 30 min。每轮的测量次数不得少于 3 次，取平均值作为该轮的测量值。如果单次测量值对平均值的偏差大于 2 K，则应适当增加测量次数，剔除偏差大的测量值，再将其余测量值重新平均作为该轮测量结果。

如果两轮测量结果的偏差不大于 4 K，两轮测量结果的平均值作为最终给出的校准值。如果超过，则必须重新测量，如果重新测量后两轮测量结果的偏差仍大于 4 K，则停止测量，取多轮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。

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，平均颜色温度应给出 4 位有效数字。

8 校准结果

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，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书编号、页码及总页数；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 送校样品的名称、制造厂、型号、规格及编号；
- g) 校准所依据的技术规范名称及代号；
- h) 本次校准所用计量标准的名称、溯源性及有效期；
- i) 校准环境温度、相对湿度；
- j) 校准项目结果及测量不确定度的说明；
- k) 校准证书或校准报告校准人签名、核验人签名、批准人签名以及签发日期；
- l) 校准结果仅对被校样品的有效性声明；
- m) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

平均颜色温度标准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。使用者可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

校准证书内页格式

平均颜色温度标准灯校准结果

灯号	电流/A	电压/V	平均颜色温度/K	扩展不确定度 ($k=2$) /K

波长范围 (380~780) nm 内以 * nm 为间隔的相对光谱辐射通量分布数据:

校准员:

核验员:

附录 B

原始记录格式（推荐）

平均颜色温度标准灯校准实验记录（一）

送检单位名称：

第 页 共 页

校准依据：

标准器名称、编号、有效期：

灯号	灯电流/A	灯电压/V	平均颜色温度/K	供电方式	控制方式	备注
				<input type="checkbox"/> 直流 <input type="checkbox"/> 交流	<input type="checkbox"/> 电流 <input type="checkbox"/> 电压	
				<input type="checkbox"/> 直流 <input type="checkbox"/> 交流	<input type="checkbox"/> 电流 <input type="checkbox"/> 电压	
				<input type="checkbox"/> 直流 <input type="checkbox"/> 交流	<input type="checkbox"/> 电流 <input type="checkbox"/> 电压	
				<input type="checkbox"/> 直流 <input type="checkbox"/> 交流	<input type="checkbox"/> 电流 <input type="checkbox"/> 电压	
				<input type="checkbox"/> 直流 <input type="checkbox"/> 交流	<input type="checkbox"/> 电流 <input type="checkbox"/> 电压	
				<input type="checkbox"/> 直流 <input type="checkbox"/> 交流	<input type="checkbox"/> 电流 <input type="checkbox"/> 电压	

校准员：

核验员：

温度：

℃

相对湿度：

%

平均颜色温度标准灯校准实验记录（二）

第 页 共 页

送检单位名称：

生产厂家：

型号规格：

出厂编号：

证书编号：

灯号	电参数	第一次		第二次		平均值		扩展不 确定度 ($k=2$)/K	备注
		电参数	平均颜色 温度/K	电参数	平均颜色 温度/K	电参数	平均颜色 温度/K		

校准员：

核验员：

温度：

℃

相对湿度：

%

附录 C

平均颜色温度标准灯校准结果不确定度评定示例

本附录以采用平均颜色温度标准灯组在积分球光谱辐射计内校准 24 V/100 W 溴钨灯平均颜色温度的测量结果，进行不确定度评定。

C.1 校准方法

平均颜色温度标准灯（以下简称标准灯）和被测灯在积分球光谱辐射计内按本校准方法的相关规定顺序点燃，根据标准灯的光谱密集度校准被测灯的光谱密集度，再计算出被测灯的平均颜色温度。

C.2 测量模型

根据标准灯的光谱密集度校准被测灯的光谱密集度的测量模型为：

$$\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t = \frac{\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_s}{m(\lambda_i)_s} \cdot m(\lambda_i)_t \cdot C_{\text{abs}}(\lambda_i)_t = c(\lambda_i)_s \cdot m(\lambda_i)_t \cdot C_{\text{abs}}(\lambda_i)_t \quad (\text{C.1})$$

式中：

- $\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t$ —— 被测灯的相对光谱密集度；
- $\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_s$ —— 标准灯的相对光谱密集度；
- $m(\lambda_i)_t$ —— 被测灯的光电读数；
- $m(\lambda_i)_s$ —— 标准灯的光电读数；
- $c(\lambda_i)_s$ —— 测试系统的相对光谱密集度常数；
- $C_{\text{abs}}(\lambda_i)_t$ —— 被测灯的光谱吸收修正因子。

由于标准灯和被测灯的类型相同，故不考虑吸收修正， $C_{\text{abs}}(\lambda_i)_t = 1$ 。则

$$\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t = c(\lambda_i)_s \cdot m(\lambda_i)_t \quad (\text{C.2})$$

由被测灯的相对光谱密集度 $\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t$ ，按附录 D 的方法计算得出平均颜色温度。

由光源的颜色温度 T 的计算过程可见其与色品坐标 (u, v) 呈函数关系，颜色温度 T 的标准不确定度的表达式如下：

$$u^2(T) = \left(\frac{\partial T}{\partial u}\right)^2 \cdot u^2(u) + \left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)^2 \cdot u^2(v) + 2 \cdot \gamma_{uv} \cdot \frac{\partial T}{\partial u} \cdot \frac{\partial T}{\partial v} \cdot u(u) \cdot u(v) \quad (\text{C.3})$$

式中， γ_{uv} 为 u, v 之间的相关系数。

$$\gamma_{uv} = \frac{\sum \frac{\partial u}{\partial \Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t} \frac{\partial v}{\partial \Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t} u^2(\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t)}{\left[\sqrt{\sum \left(\frac{\partial u}{\partial \Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t}\right)^2 u^2(\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t)} \sqrt{\sum \left(\frac{\partial v}{\partial \Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t}\right)^2 u^2(\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t)} \right]} \quad (\text{C.4})$$

由式 (C.3) 和式 (C.4) 可见，相关色温的不确定度与色品坐标 u, v 及被测光源的相对光谱功率分布 $\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t$ 相关，而 u, v 由 $\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t$ 与 CIE 1931 的色匹配函数按

照相关计算得到，因此色温的不确定度与被测光源的相对光谱功率分布成函数关系，可由被测光源的相对光谱功率分布的不确定度计算色温不确定度。

由式 (C.2) 得：

$$u_{c, \text{rel}}^2(\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_t) = u_{\text{rel}}^2(c(\lambda_i)_s) + u_{\text{rel}}^2(m(\lambda_i)_t) \quad (\text{C.5})$$

C.3 输入量 $c(\lambda_i)_s$ 的标准不确定度评定

C.3.1 标准灯平均颜色温度的不确定度对 $c(\lambda_i)_s$ 的影响

标准灯的扩展不确定度为 $U=12 \text{ K}$ ($k=2$)，则标准灯的平均颜色温度不确定度对 $c(\lambda_i)_s$ 的标准不确定度的贡献为 6 K 。

C.3.2 $\Phi_{\lambda}(\lambda_i)_s$ 的来源主要是平均颜色标准灯组量值的一致性，反映在灯组平均颜色温度测量值与额定值的差异。校准方法中规定偏差的最大允许值为 4 K ，按均匀分布，即不确定度为 $\frac{4 \text{ K}}{\sqrt{3}}=2.3 \text{ K}$ 。

C.3.3 由于电测系统的不确定度，供给标准灯的实际电流值与规定值存在差异，估计最大差异可达 0.03% ($k=2$)，认为服从均匀分布，则电流值的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(i) = \frac{0.015\%}{\sqrt{3}} = 0.0087\% \quad (\text{C.6})$$

实测电流相差 1% 时，平均颜色温度相差约 20 K ，则由于电流调整造成的平均颜色温度的标准不确定度为 0.17 K 。

C.4 输入量 $m(\lambda_i)_t$ 的标准不确定度的评定

C.4.1 测量时被测灯要进行两次独立装调的测量，两次测量结果的最大偏差为 4 K ，借鉴国际比对中对两次测量结果不确定度评估的方法，被测灯的两次测量重复性引起的颜色温度的标准不确定度为 2 K ，属 B 类不确定度。

C.4.2 由于电测系统的不确定度，供给被测灯的实际电流值与规定值存在差异，由此引起的标准不确定度与标准灯相同，为 0.17 K 。

C.5 光谱仪引入的标准不确定度的评定

光谱仪的波长准确性、带外杂散光、线性是影响相对光谱密集度测量准确性的主要因素。这里标准灯与被测灯十分接近，可不考虑带外杂散光和线性的影响。通过实测光谱计算得到当波长偏差 0.3 nm 时，平均颜色温度测量结果偏差为 2 K ，波长偏差 1 nm 时，平均颜色温度测量结果偏差为 7 K 。本测量系统所用光谱仪的波长准确性优于 0.3 nm 。认为由此带来的标准不确定度为 2 K 。

C.6 合成标准不确定度和扩展不确定度的评定

不确定度分量及相关信息，见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度分量及相关信息

不确定度的来源		标准不确定度/K	评定方法
标准灯	标准灯组平均颜色温度	6.0	B
	标准灯组的一致性	2.3	A
	电流调整	0.17	B
被测灯	测量重复性	2.0	B
	电流调整	0.17	B
其他	波长准确性	2.0	B
合成标准不确定度		7.0	
扩展不确定度 ($k=2$)		14	

用平均颜色温度标准灯校准 24 V/100 W 溴钨灯平均颜色温度的扩展不确定度为 $U=14$ K ($k=2$)。

附录 D

光源（相关）色温的计算方法

当测得光源的辐射功率的相对光谱密集度 $\Phi_\lambda(\lambda)$ 数值后，就可以按照如下方法计算被测光源的（相关）色温。

D.1 计算被测光源的三刺激值 X 、 Y 、 Z

根据 CIE 1931 的色匹配函数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 及被测光源辐射功率的相对光谱密集度 $\Phi_\lambda(\lambda)$ 可以求出在 CIE 1931 xyz 色度空间中被测光源的三刺激值：

$$\begin{cases} X = \int_{380}^{780} \Phi_\lambda(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y = \int_{380}^{780} \Phi_\lambda(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z = \int_{380}^{780} \Phi_\lambda(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (\text{D.1})$$

一般取 $\Delta\lambda = 5 \text{ nm}$ 、 2 nm 或 1 nm 。

D.2 计算被测光源在 CIE 1960 UCS 均匀色度空间中的色品坐标 u 、 v

被测光源在 CIE 1931 xyz 色度空间中的色品坐标为：

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X + Y + Z} \\ y = \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z = \frac{Z}{X + Y + Z} \end{cases} \quad (\text{D.2})$$

被测光源在 CIE 1960 UCS 均匀色度空间中的色品坐标为：

$$\begin{cases} u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \\ v = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z} \end{cases} \quad (\text{D.3})$$

D.3 计算黑体在 CIE 1960 UCS 均匀色度空间中的色品坐标 u 、 v

将式 (D.1) 中的 $\Phi_\lambda(\lambda)$ 换为式 (D.4) 中的 $P(\lambda, T)$ ，代入式 (D.1) 和式 (D.3)，可求得黑体在某温度下的色品坐标 (u_i, v_i) 。

$$P(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} \quad (\text{D.4})$$

式中：

T —— 黑体的热力学温度，K，一般选取的计算范围为 $(2\ 000 \sim 10\ 000)$ K；

λ —— 波长，nm；

c_1 —— 第一辐射常数， $c_1 = 3.741\ 774\ 9 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$ ；

c_2 —— 第二辐射常数， $c_2 = 1.438\ 8 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ 。

在 CIE 1960 UCS 均匀色品图中，一组色品坐标 (u_i, v_i) 对应一种光源的光色。

当黑体的温度从较低的值逐渐升温至 ∞ K，在 UCS 色品图中，代表黑体光色的色品坐标点将会形成一段连续的曲线，称为黑体色轨迹（简称黑体迹），等相关色温线是一系列垂直于黑体色轨迹（曲线）的直线簇，如图 D.1 所示。

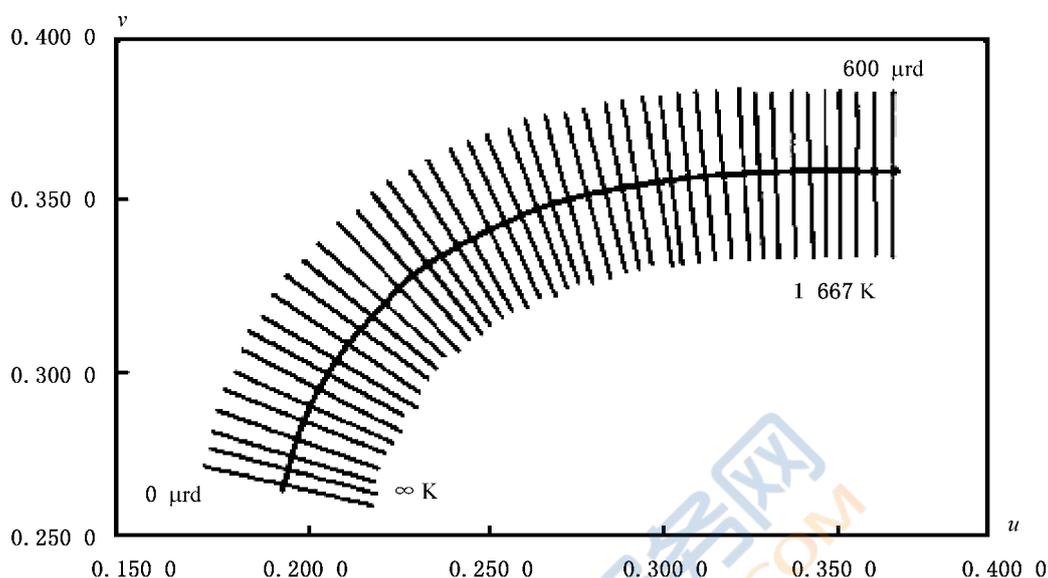


图 D.1 CIE 1960 UCS 均匀色品图中的黑体色轨迹及等相关色温线

图 D.1 黑体轨迹上色温的倒数（倒色温，麦勒德 μrd ， $1 \mu\text{rd} = 1 \text{K}^{-1}$ ）差值相等的点都是等间距的，代表相等的颜色差别。被测光源至黑体各等色温线之间的距离最小时所对应的黑体色温即为被测光源的（相关）色温。

D.4 计算被测光源的色品坐标至黑体各等色温线之间的距离

计算过程可以通过计算机编排的程序自动进行。以 1 K 为间隔依次计算（2 000～10 000）K 间色温在黑体轨迹上的色品坐标 (u_i, v_i) 及它们的等温线的斜率值 (m_i) ，依次计算被测光源至黑体各等色温线之间的距离 d_i 。

$$d_i = [(u_t - u_i) - m_i(v_t - v_i)] / (1 + m_i^2)^{\frac{1}{2}} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, 8000) \quad (\text{D.5})$$

D.5 计算被测光源的色温

按照式 (D.5) 依次求得 8 001 个 d_i 值，找出 d_i 的最小值，其所对应的黑体的温度 $T_i = 2000 + i \times 1$ ($i = 0, 1, 2, \dots, 8000$) 为被测光源的（相关）色温。

参考文献

- [1] J. L Gardner. Correlated colour temperature—Uncertainty and estimation [J]. Metrologia, 2000, 37 (5): 381-384
-

