



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 213—2003

分布（颜色）温度标准灯

Standard Lamps for Distribution (Colour) Temperature

2003 - 05 - 12 发布

2003 - 11 - 12 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

分布（颜色）温度标准灯 检定规程

**Verification Regulation of
Standard Lamps for Distribution
(Colour) Temperature**

JJG 213—2003
代替 **JJG 213—1990**

本规程经国家质量监督检验检疫总局于2003年05月12日批准，并自2003年11月12日起施行。

归口单位：全国光学计量技术委员会

起草单位：中国测试技术研究院

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：

张艳华 （中国测试技术研究院）

谢兴尧 （中国测试技术研究院）

目 录

1 适用范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语	(1)
3.1 光源的 [光谱] 分布温度	(1)
3.2 光源的颜色温度	(1)
4 概述	(1)
5 计量性能要求	(2)
5.1 标准灯的光电参数	(2)
5.2 标准灯的年稳定性	(2)
5.3 标准灯的不确定度	(2)
6 通用技术要求	(2)
6.1 外观要求	(2)
6.2 标记	(3)
6.3 包装	(3)
7 计量器具控制	(3)
7.1 检定条件	(3)
7.2 检定项目	(6)
7.3 检定方法	(6)
7.4 检定结果的处理	(10)
7.5 检定周期	(10)
附录 A 最佳直线斜率的计算方法	(11)
附录 B 计算光源分布温度的一般公式	(12)
附录 C 检定证书格式	(13)
附录 D 不确定度分析——用光电分布温度比较仪检定	(14)
附录 E 不确定度分析——用光谱辐射照度测量装置检定	(16)

分布（颜色）温度标准灯检定规程

1 适用范围

本规程适用于分布（颜色）温度标准灯的首次检定、后续检定和使用中的检验。

2 引用文献

GB 5702—1985《光源显色性评价方法》

引用时，应注意使用上述文献的现行有效版本。

3 术语

3.1 光源的〔光谱〕分布温度

在某一波长范围 $[\lambda_1, \lambda_2]$ 内，如果光源发射的辐射与某一温度下黑体的辐射具有最接近的光谱功率分布，那么此时黑体的绝对温度就定义为该光源在该波长范围 $[\lambda_1, \lambda_2]$ 内的光谱分布温度，简称分布温度。计算步骤及公式见附录 C。

3.2 光源的颜色温度

如果一个光源发射光的色品与某一温度下黑体的色品相同（匹配），那么此时黑体的绝对温度就叫作该光源的颜色温度，简称色温。

4 概述

分布（颜色）温度标准灯是用来保存和复现分布温度量值，进而复现可见波长范围内光源相对光谱功率分布标准的计量器具。它是按一定技术条件专门制作的，发光性能稳定的，具有无色泡壳的白炽钨丝灯和石英泡壳溴钨灯（以下简称标准灯）。在点燃后，它发射从紫外到红外波长范围内的连续光谱，其可见波长范围（380~780）nm 内的相对光谱功率分布，与某一温度下黑体的分布非常近似。

由它们的定义可知，光源的分布温度和颜色温度在概念上有很大区别，在数值上也不一定相同。但对于相对光谱功率分布与黑体相同的光源，它的色温值在数值上就等于可见波长范围内的分布温度值；对光谱功率分布与黑体相近的光源，如白炽钨灯，它的色温值与可见波长范围内的分布温度值相差很小，在通常的测量误差范围内，可认为是相同的。

另一方面，对一般白炽光源而言，不同波长范围内的分布温度值也不相同，在本规程中除非另有说明，均是指可见波长范围内的分布温度。

由于标准灯在发光时，灯丝各部分的温度不完全相同，本规程所讲的分布温度均是指灯丝各部分的辐射在测光方向上均匀混合后所复现的分布温度。

在正常工作温度范围内，标准灯灯电流 i_r 与对应分布温度值 T_d 的变化关系，可用下式表示：

$$i_T - i_0 = B(T_d - T_{d0}) + C(T_d - T_{d0})^2 \quad (1)$$

式中： T_{d0} ——参考点的分布温度值，K；
 i_0 ——对应于该参考点的灯电流值，A；
 B ——标准灯的线性项系数，A/K；
 C ——标准灯的二次项系数，A/K²。

对溴钨灯，系数 C 的值很小，因而二次项的值也很小，即可简化为近似的线性关系。

5 计量性能要求

5.1 标准灯的光电参数

分布温度标准灯的光电参数应符合表 1 的规定。

表 1

型号	额定分布温度 /K	额定电压 /V	额定电流 /A	发光强度 /cd	备注
BDQ-3	2 856	36	1.6	90	充气钨丝灯
BDQ-7	2 856	92	2.9	450	充气钨丝灯
BDQ-8	2 856	100	6.3	1 100	充气钨丝灯
BFZ	3 200	100	5.0	1 500	石英溴钨灯

5.2 标准灯的年稳定性

BDQ 型标准灯，在 2 856 K 点，分布温度的年变化量：一级不超过 6 K；二级不超过 10 K。

BFZ 型标准灯，在 3 200 K 点，分布温度的年变化量：一级不超过 10 K；二级不超过 15 K。

5.3 标准灯的不确定度

各级标准灯总的扩展不确定度 ($p = 0.99$)、检定中使用上一级标准灯的级别应符合表 2 中的规定。

表 2

单位：K

被检灯 级别	各级灯总的扩展不确定度 (单只灯, $p = 0.99$)				检定用上一级 标准灯的级别
	2 042	2 353	2 856	3 200	
一级	8	10	15	20	工作基准
二级	10	12	18	25	一级

6 通用技术要求

6.1 外观要求

标准灯按规定条件老化后, 玻壳应无色, 其工作面无明显反碱、发雾、波纹、气泡、砂粒、擦伤等缺陷; 灯丝与挂勾及电极的连接要牢固, 且不应有明显弯曲, 灯头与玻壳的固定要牢固, 导线电极应牢固地焊接在灯头上。

6.2 标记

标准灯应用刻蚀方法标明其型号及出厂编号。

6.3 包装

标准灯应用专门的灯盒包装存放, 并在灯盒上标明标准灯的名称、型号、出厂编号及生产厂家(公司)等。

7 计量器具控制

7.1 检定条件

7.1.1 基本检定设备

7.1.1.1 分布温度标准灯组

检定用上一级标准灯, 不少于 3 只, 并配备同型号的标准灯一只用作比较灯。

7.1.1.2 标准灯电源

见表 3。采用直流稳定电源(稳流, 稳压)或电子交流稳压电源, 经预热后, 0.5 h 输出电压的变化: 直流电源应小于 0.03%; 交流电源应小于 0.3%。

表 3

标准灯级别	电源	电测仪表及准确度	备注
一级	直流稳流(稳压)电源	直流数字电压表 不低于 0.02 级	控电流
二级	直流稳流(稳压)电源 或电子交流稳压电源	直流数字电压表或 交直流电流(压)表 不低于 0.2 级	控电流

7.1.1.3 标准灯的电测仪表

采用直流数字电压表或交直流两用电流(压)表。电测仪表及有关配套设备均应按规定定期送检合格。

7.1.2 专用检定设备

专用检定设备主要有两种: 光谱辐射照度测量装置和光电分布温度比较仪。可采用其中一种或类似其中一种的设备进行检定, 但其性能应符合本规程的有关规定。

7.1.2.1 光谱辐射照度测量装置(如图 1)

1) 构成

主要由输入光路部件、单色仪、探测器、直流高压电源、示数仪表、导轨及其附件等组成。

输入光路部件包括导轨、孔径光阑、漫反射白板(或漫射积分球)及支撑转台消色差正透镜。单色仪工作波长范围不窄于(380~780)nm; 波长重复性优于 ± 0.2 nm; 波

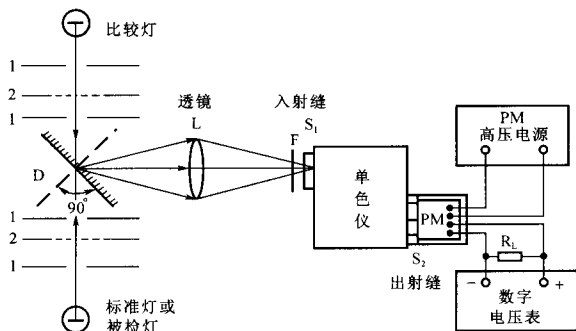


图1 光谱辐射照度测量装置示例

1—孔径光阑；2—快门；D—漫反射白板；F—滤光片；PM—光电倍增管； R_L —负载电阻（1 M Ω ）

长准确度优于 ± 0.5 nm；单色仪的内部杂光分别用低气压 Hg、Cd 灯的谱线 $\lambda_0 = 435.8, 546.1, 643.8$ nm 加相应干涉滤光片考查，在 $\lambda \leq (\lambda_0 - 2\Delta)$ 和 $\lambda \geq (\lambda_0 + 2\Delta)$ 的范围内，杂光信号应小于谱线峰值信号的 0.2%， Δ 为仪器的光谱狭缝宽度（半通带宽度）。

对光栅单色仪还应注意消除多级光谱引起的杂光；测量中应保持单色仪入射狭缝和出射狭缝等宽，并使仪器的光谱狭缝宽度近似等于 5 nm 左右。

探测器选用稳定的光电倍增管。配套用直流高压稳定电源，要求每 0.5 h 输出电压的变化不大于 0.01%。示数仪表可采用直流数字电压表。

整套装置稳定性总体要求：达到每 0.5 h 输出信号的漂移不超过 0.4%。

2) 测量原理

用上一级标准灯作可见区相对光谱辐射照度分布的标准，用该装置测定出被检灯相对光谱辐射照度分布，进而计算出被检灯的分布温度值。

用标准灯标定比较灯时，其计算方法如下：

若标准灯的分布温度值为 T_{ds} ，比较灯的分布温度值为 T_{dc} ，测得的比较灯与标准灯的相对光谱辐射照度比为 α_λ ，则：

$$\ln \alpha_\lambda = c_2 \left(\frac{1}{T_{ds}} - \frac{1}{T_{dc}} \right) \frac{1}{\lambda} + L = K \times \frac{1}{\lambda} + L \quad (2)$$

$$K = c_2 \left(\frac{1}{T_{ds}} - \frac{1}{T_{dc}} \right) \quad (3)$$

式中： λ ——波长；

L ——常数；

$$c_2 = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

以 $\ln \alpha_\lambda$ 为纵坐标， $1/\lambda$ 为横坐标作图，其图形应为一一直线，用计算法求出最佳直线的斜率 $K = \Delta(\ln \alpha_\lambda) / \Delta(1/\lambda)$ （见附录 A）。然后按下式计算出分布温度 T_{dc} ：

$$\frac{1}{T_{dc}} = \frac{1}{T_{ds}} - \frac{K}{c_2} \quad (4)$$

7.1.2.2 光电分布温度比较仪 (图 2)

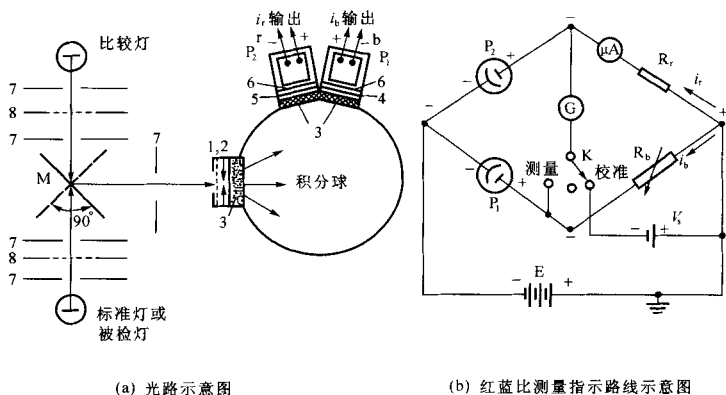


图 2 光电分布温度比较仪示例

- 1—积分球快门；2—可变光阑；3—漫透射毛玻璃（共三片）；4—蓝滤光片；5—红滤光片；
6—中性减光片；7—孔径光阑；8—快门（二个）；M—平面反射镜；P₁、P₂—光电倍增管一对；
R₁—固定电阻（40 kΩ）；R_b—可变电阻箱（0~100 kΩ）；G—检流计；K—单刀三位开关；
μA—微安表（0~10 μA）；V_s—校准 *i_a* 使等于 *i_{a0}* 用的标准电压（+80 mV/5 μA）

1) 构成

主要由导轨，孔径光阑，平面反射镜及转台，积分球，红、蓝滤光片，光电探测器，红蓝比显示部分及相关附件等组成。

积分球：内涂白色中性漫反射涂料，其上有一个入射窗口和两个出射窗口，在入射窗口上装有快门和可变光阑；在出射窗口上分别装有红、蓝滤光片，毛玻璃，中性减光片，光电探测器等；

红、蓝滤光片：其透光的波长范围应互无重叠，与接收器组合的光谱响应曲线的峰值波长应分别在(660 ± 10) nm 和(460 ± 10) nm 范围内。总的光谱响应度对于波长 ≤ 380 nm 和波长 ≥ 750 nm 的范围应下降到峰值的 0.2% 以下。

光电探测器：挑选输出稳定的光电倍增管（Sb—Rb—Cs 阴极）一对。

红蓝比显示可用多种方式实现，图 2 中的桥式平衡电路检流计指示是其中之一例。

比较仪总的技术要求应达到：

灵敏度：当分布温度改变 1 K 时，显示红蓝比的检流计偏转应 ≥ 5 个最小分度值。

线性性：当积分球入射窗口处的光照度由 100 lx 升至 1 000 lx 时，红蓝比的变化应 ≤ 0.2%；

方向性：当入射积分球窗口的角度在垂直方向附近变化 ± 15° 时，红蓝比的变化应

$\leq 0.2\%$ 。

稳定性：红蓝比的漂移每 10 min 应 $\leq 0.2\%$ 。

2) 测量原理

用上一级标准灯作辐射照度红蓝比的标准，用分布温度比较仪直接测量被检灯的红蓝比，并调整被检灯电流使之与标准灯的红蓝比相等，此时被检灯的分布温度值即等于标准灯的分布温度值，其原理是用双色比法确定白炽灯的分布温度值。

若标准灯的分布温度为 T_d ，光谱辐照度为 $E(\lambda, T_d)$ ；在比较仪积分球中，若蓝滤光片光路中总的等效光谱透射率为 $\tau_b(\lambda)$ ，接收器的光谱响应度为 $r_b(\lambda)$ ，输出的光电流为 i_b ；对红滤光片光路，相应地分别为： $\tau_r(\lambda), r_r(\lambda), i_r$ ；则比较仪实测得到的红蓝比为：

$$\frac{i_r}{i_b} = \frac{\int E(\lambda, T_d) \tau_r(\lambda) r_r(\lambda) d\lambda}{\int E(\lambda, T_d) \tau_b(\lambda) r_b(\lambda) d\lambda} = f(T_d) \quad (5)$$

当积分球内的涂料，所用的红、蓝滤光片、毛玻璃、接收器等固定后，上式之值便只与标准灯的分布温度值有关，记为 $i_r/i_b = f(T_d)$ ，且是一一对应的关系。若用桥式平衡方法（见图 2）测量红蓝比，有：

$$i_b R_b = i_r R_r$$

即：

$$R_b = i_r R_r / i_b = f(T_d) R_r \quad (6)$$

若固定 R_r ，用只改变 R_b 的办法来测量红蓝比，则 R_b 的数值只和标准灯的分布温度有关，并一一对应；当桥路平衡检流计指零时，若 R_b 相同，则分布温度也相同。

在实践中，为了消除接收器暗电流等因素的影响，总是将 i_r 调到某一固定值 i_{r0} 后，再测定红蓝比 (R_b)。

7.1.3 检定环境条件

实验室应是暗室，无震动、无腐蚀性气体；光路周围应用黑绒布作围帐，避免环境杂光进入测量装置。

实验室温度应为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不超过 85% RH。

7.2 检定项目

见表 4。

表 4

检定及检查项目	首次检定	后续检定	使用中的检验
外观检查	+	+	+
量值检定	+	+	+ (仅 2 856 K 点)
年稳定性	-	+	-

注：“+”表示需要检定的项目，“-”表示不需要检定的项目。

7.3 检定方法

7.3.1 灯的外观检查：将被检灯的泡壳清洁后，以洁白纱布或纸张作背景，在明亮白光照明下，目视检查外观，应符合 6.1 和 6.2 的要求。

7.3.2 量值检定：

对每只被检灯一般应检定三个点，并计算出内插公式及相关系数的值。

7.3.2.1 用光谱辐射照度测量装置检定

1) 装置的调整（见图 1）

首先将单色仪及导轨调整水平，并使两条导轨的轴线垂直。调节漫反射板、透镜、入射狭缝三者中心在同一条水平轴线上，并与单色仪的内光轴重合。改变透镜到漫射板之间的距离，使漫射板中心按 1:1 左右清晰成像在入射狭缝上，并均匀充满单色仪内的第一个准直镜。调整孔径光阑、快门、漫射板的中心，使在同一水平轴线上；调整灯丝平面与该轴线垂直并通过灯丝平面中心。调整漫射板转角，当转向比较灯或标准灯时，漫射板平面与测光轴的夹角均为 45° 。杂散光的屏蔽：导轨周围用黑绒布作围帐，在灯与漫射板之间，放置适当个数的孔径光阑，以屏蔽杂散光，但不得遮挡任何部位灯丝的发射光。单色仪的波长鼓应使用低气压 Hg、Cd 灯等进行校准，并作出校准曲线。

2) 操作步骤

灯的安装：安装时戴洁白手套或垫以洁净的纱布，灯头在下，小心旋紧，使灯头与灯座之间有牢固的机械支撑及良好的电接触。

灯的点燃：分别将比较灯和标准灯安装在漫反射板两侧的灯架上点燃。灯的供电及电测线路分别如图 3、图 4 所示，其中电压测量线必须单独从灯头处接出，在图 3 中，测灯电流时应断开电压表。测量前，灯应在给定电流下预燃，对 BDQ 型灯至少需要 5~8 min，BFZ 型灯至少需要 (10~15) min。对于直流点燃的灯，每点燃 2 h 左右应交换一次供电极性。

灯点燃和熄灭时，应缓慢升降电压；使用中不得超过额定电流的 3% 或额定电压的 5% 点燃，并应特别注意防止和减少灯的震动。

仪器预热：灯电源预热 0.5 h，光接收器在一定输出下预照 0.5 h。

测量波长选定：可选用 460, 500, 560, 600, 660 nm 五个波长；或者 (400~700) nm 范围每间隔 10 nm 选定一个波长点，共 31 个。

3) 测量顺序

先用标准灯组标定比较灯，再用比较灯标定被检灯。

用标准灯组标定比较灯：固定标准灯在导轨一侧，比较灯在导轨的另一侧。标准灯点燃在给定的分布温度值下，比较灯点燃在分布温度值与标准灯大致相同的某一电流下。首次用全组标准灯标定比较灯，且以后每年一次。以三只标准灯为例，其标准灯一侧的测量顺序如下：

标准灯 #1, #2, #3——标准灯 #3, #2, #1

当比较灯电流固定时，前后得到比较灯的分布温度值共六个，其最大差值，应不超过表 5 的规定，并取平均值为其结果。

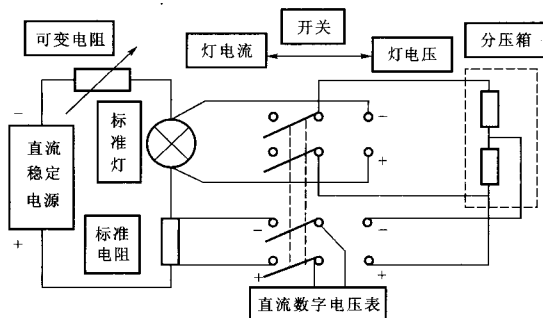


图3 直流供电的电测线路图

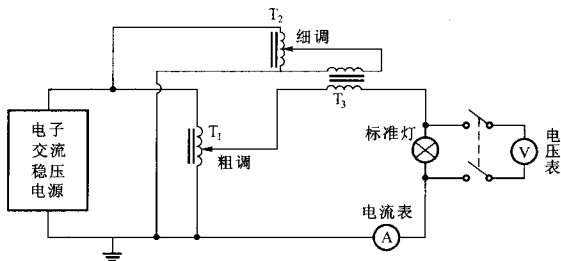


图4 交流供电的电测线路图

T_1 、 T_2 —交流调压器 (220 V/0 ~ 250 V); T_3 —固定隔离变压器 (220 V/6 V)

用比较灯标定被检灯：先用一只标准灯复查标定比较灯，然后用比较灯再标定被检灯。以三只被检灯为例，其导轨标准灯一侧的测量顺序如下：

标准灯 #1——被检灯 #1, #2, #3——被检灯 #3, #2, #1

当比较灯电流固定时，复查得到比较灯的分布温度值一个，加上以前标准灯组标定的平均值共二个，其差值应不超过表5的规定，否则应启用第二只标准灯。

对被检灯，两次结果的偏差也不应超过表5的规定，并取平均值作为检定结果。

表 5

被检灯级别	标定比较灯结果的最大差值及标定被检灯两次结果的差值	
	2 856 K 点	3 200 K 点
一级	≤ 4 K	≤ 6 K
二级	≤ 6 K	≤ 9 K

4) 测量方法

标准灯标定比较灯：将漫射板转向标准灯一侧，在指定的多个波长点下，由短波到长波，再由长波到短波往返读取各波长下的光电流值共 2 次，取平均值并以 $i_s(\lambda)$ 表示。再将漫射板转向比较灯一侧，用同样的方法读取光电流，取平均值并以 $i_c(\lambda)$ 表示，然后按下式计算出（相对）光谱辐射照度比 α_λ ：

$$\alpha_\lambda = i_c(\lambda)/i_s(\lambda) \quad (7)$$

将 α_λ 值代入式 (2)，再利用式 (3)、(4) 即可算出比较灯的分布温度值。

比较灯标定被检灯：测量方法同上，不过此时比较灯相当于前一步的标准灯。

7.3.2.2 用光电分布温度比较仪检定

1) 仪器的调整 (图 2)

将比较仪积分球、孔径光阑安装在一条较短的水平导轨上，平面反射镜、孔径光阑、快门、灯架等安装在另一条水平导轨上，调整两条导轨中心轴线垂直。

将标准灯和比较灯分别安装在平面反射镜两侧的灯架上；调整积分球入射窗口、孔径光阑、平面反射镜三者中心位于同一水平轴线上。

固定平面镜，调整长轨上的灯丝平面、孔径光阑、快门等，使诸中心与平面镜中心在同一水平轴线上，并使灯丝平面与该轴线垂直。

调整反射镜转角，当转向标准灯或比较灯时，与测光轴的夹角均为 45° 。

杂散光的屏蔽：在灯与平面反射镜、平面镜与积分球之间，应放置适当个数的孔径光阑，以屏蔽杂散光，但不得挡住灯丝任何部位的发射光进入积分球。

2) 操作步骤

灯的安装、点燃、仪器预热同 7.3.2.1 中 2) 的相关要求。

3) 测量顺序

同 7.3.2.1 中 3) 的有关规定。不过在用标准灯组标定比较灯时得到的是比较灯的电流，用比较灯标定被检灯时得到的是被检灯的电流。

将比较灯和被检灯电流的差值分别换算为分布温度的差值，其结果也应符合表 5 中的规定。否则该循环内的检定无效，若复查标定比较灯时超差，应启用第二只标准灯。

4) 测量方法

标准灯标定比较灯时 (见图 2) 标准灯点燃在给定的分布温度下，比较灯点燃在分布温度大致与标准灯相近的某一电流下；平面镜转向标准灯一侧，开关 K 倒向“校准”挡，改变积分球可变光阑的大小，使检流计指零，即调整 i_r 的大小，使等于某一固定值 i_{r0} (如 $2 \mu\text{A}$ ，也可直接用 i_r 电路中的微安表测量控制)；然后将开关 K 倒向“测量”挡，改变电阻 R_1 ，使检流计指零；再将平面反射镜转向比较灯一侧，开关 K 倒向“校准”挡，适当移动比较灯的距离 (或改变可变光阑的大小)，使检流计指零。再将开关倒向“测量”挡，检流计一般不指零，此时改变比较灯的电流 (固定 R_1 不变)，使检流计指零，如此反复几次，直至开关倒向“校准”和“测量”挡，平面镜转向标准灯和比较灯时，检流计均指零，记下此时比较灯的电流值，其分布温度就等于标准灯的分布温度。

用比较灯标定被检灯时测量方法同上，不过此时比较灯相当于前一步的标准灯。

7.4 检定结果的处理

7.4.1 首先对比较灯，然后对被检灯的每个分布温度点，计算出平均值和平均值的 A 类标准不确定度，取平均值为最终检定结果，其不确定度应符合表 2 相关规定（见附录 B）。

7.4.2 对每只被检灯应按公式（1）的形式，由三个分布温度点的检定结果计算出内插公式及相关系数 B 、 C 的值。

7.4.3 检定结果的有效位数：应符合表 6 规定。同时应注明检定时所使用的设备及其他有关事项。

表 6

被检灯级别	灯电流（或电压）的有效位数	分布温度值（K）的有效位数
一级	5 位	4 位
二级	4 位	4 位

7.4.4 首次检定不计算标准灯的年稳定性。待经周期检定后，根据最近两次的检定结果再计算出标准灯的年变化量，应符合 5.2 规定，并据此定级。

7.4.5 标准灯经检定后，符合第 5 章、第 6 章要求者，给出检定证书；否则给出检定不合格通知书。

7.4.6 因使用检定设备不同而引起对检定结果争议时，应以光谱辐射照度装置的检定结果为准。

7.4.7 每只分布温度标准灯必须建立技术档案，其内填写历次的检定结果，累计点燃时间及使用情况等。

7.5 检定周期

标准灯的检定周期一般不超过 1 年。若不到 1 年而累计点燃时间达到 50 h 者也应送检。每次送检应带上次检定证书。

附录 A

最佳直线斜率的计算方法

将测量波长 λ_i , ($i = 1, 2, 3, \dots, m$, m 为测量波长的总个数) 及测得的该波长下的相对光谱辐射照度比 (α_{λ_i}) 值填入下表, 并完成表中其余各项的计算:

i	1	2	3	4	...	m
λ_i	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	...	λ_m
α_{λ_i}						
$x_i = 1/\lambda_i$						
$y_i = \ln \alpha_{\lambda_i}$						

由于以 $\ln(\alpha_{\lambda_i})$ 为纵坐标, $1/\lambda_i$ 为横坐标作图, 其图形为一直线, 设最佳直线的方程为:

$$\ln \alpha_{\lambda} = K \times \frac{1}{\lambda} + L \quad (\text{A1})$$

当波长 λ_i 的不确定度相对于 α_{λ_i} 的不确定度较小时, 最佳直线的斜率 K 的计算方法如下:

$$\text{令 } x_i = 1/\lambda_i, \quad y_i = \ln \alpha_{\lambda_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (\text{A2})$$

$$\text{则 } K = \frac{m \sum_{i=1}^m (x_i y_i) - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2} \quad (\text{A3})$$

例如对规程中所推荐的五个测量波长 (460, 500, 560, 600, 660 nm) 的情况, 当标准灯的分布温度为 2 856 K, 被检灯约为 3 200 K 时, 其 α_{λ_i} 的测量值分别为: 3.239, 2.960, 2.630, 2.471, 2.267。上式计算过程即为:

$$\sum_{i=1}^5 (x_i y_i) = 9.200 1 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}, \quad \sum_{i=1}^5 x_i = 9.141 4 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}, \quad \sum_{i=1}^5 y_i = 4.950 7$$

$$\sum_{i=1}^5 x_i^2 = 1.698 8 \times 10^{-5} \text{ nm}^{-2}, \quad \left(\sum_{i=1}^5 x_i \right)^2 = 8.356 6 \times 10^{-5} \text{ nm}^{-2}$$

$$K = \frac{5 \times 9.200 1 \times 10^{-3} - 9.141 4 \times 10^{-3} \times 4.950 7}{5 \times 1.698 8 \times 10^{-5} - 8.356 6 \times 10^{-5}} = 541.6 \text{ nm}$$

由前式 (4) 即可计算出被检灯的分布温度值为 3 200 K。因截距 L 的值和需要的结果无关, 可不考虑。

附录 B

计算光源分布温度的一般公式

按国际照明委员会 (CIE) 关于光源分布温度的定义, 若某光源在波长范围 $[\lambda_1, \lambda_2]$ 内的光谱辐射照度 (或相对光谱功率分布) 测得为 $E_\lambda(\lambda)$, 并与某一温度下黑体的光谱功率分布近似, 则该光源在该波长范围内的分布温度值的计算步骤如下:

$$A(\alpha, T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[1 - \frac{E_\lambda(\lambda)}{\alpha P_\lambda(\lambda, T)} \right]^2 d\lambda \rightarrow \text{Min} \quad (\text{B1})$$

式中: $A(\alpha, T)$ ——被测光源与黑体源相对光谱分布偏差的平方和 (积分);

$E_\lambda(\lambda)$ ——被测光源的光谱功率分布;

$P_\lambda(\lambda, T)$ ——黑体的光谱功率分布, 由 Planck 公式给出:

$$P_\lambda(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (\text{B2})$$

T ——黑体的温度;

α ——调整常数;

$$c_2 = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

适当选取 α 和 T 的值, 当使得上式积分值 $A(\alpha, T)$ 为最小值 (Min) 时的 T 的数值, 就是所求的分布温度值。将式 (B1) 对 α 求偏导数, 并根据极值条件解得:

$$\alpha = \frac{S(T)}{M(T)} \quad (\text{B3})$$

$$\text{式中: } M(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda(\lambda) / P_\lambda(\lambda, T) d\lambda \quad (\text{B4})$$

$$S(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda^2(T) / P_\lambda^2(\lambda, T) d\lambda \quad (\text{B5})$$

此时 $A(\alpha, T)$ 对参数 α 取得极小值, 用 $B(T)$ 表示即为:

$$B(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[1 - \frac{M(T) E_\lambda(\lambda)}{S(T) P_\lambda(\lambda, T)} \right]^2 d\lambda \quad (\text{B6})$$

选取不同的 T , 当 $B(T)$ 再取极小值时, 此时的 T 就是所求的分布温度值 T_d 了。对白炽钨丝灯和可见区, 一般取 $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 700 \text{ nm}$; 计算的波长间隔 $\Delta\lambda$ 取 10 nm 或 5 nm 。被测光源与黑体光谱功率分布的最小均方根偏差 σ (%) 为:

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} \left[1 - \frac{M(T_d) E_\lambda(\lambda)}{S(T_d) P_\lambda(\lambda, T_d)} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \times 100 \quad (\text{B7})$$

式中: n ——求和计算的项数。

式 (B1) 到 (B6) 即为计算 CIE 所定义的分布温度值的公式。

若标准灯在可见区的光谱功率分布用简化的 Wien 公式表示, 可以证明, 按式 (B1) ~ (B6) 的计算结果与本规程中式 (2) ~ (4) 的计算结果是等同的。

附录 C

检定证书格式 (背面)

检定结果

灯型号			
灯电流 i/A			
灯电压 U/V			
分布温度 T_d/K			
外观检查			
测光方向			
内插公式	$i_1 - i_0 = B (T_d - T_{d0}) + C (T_d - T_{d0})^2$		
	$i_0 =$	A	$T_{d0} =$ K
	B =	A/K	C = A/K ²

使用注意事项:

- 1 在点燃时,应缓慢升、降电压,避免突然通、断电源;且不得超额定电压的5%或额定电流的3%点燃;直流供电点燃时,每隔2h左右应交换一次供电极性。
- 2 在保存、运输、特别是在点燃过程中应避免碰撞、震动及接触有害气体等。

注:下次送检时,请注明累计点燃时间,并带此证书。

附录 D

不确定度分析——用光电分布温度比较仪检定

分布温度标准灯不确定度的主要来源有二：检定用上一级标准灯的不确定度及检定过程中装置引入的不确定度。以一级被检灯为例分析评定如下：

首先用工作基准灯组（3只），借助于比较仪标定一只同型号的比较灯，再用比较灯标定被检灯，以实现工作基准灯组所复现平均量值的向下传递。

D.1 比较灯不确定度来源（见表 D.1）

1) 工作基准灯组的不确定度：由建标报告给出，对 2 353 K 点和 2 856 K 点，其灯组平均值的标准不确定度分别约为：

$$u_1 = 2.7, 4.0 \text{ K}, \text{估计 } \sigma(u_1) / u_1 \approx 0.2, \text{自由度 } \nu_1 \approx 12.$$

2) 比较灯电流测控：其扩展不确定度为 0.01%，按均匀概率密度分布估计，由此引起分布温度的标准不确定度，对 2 353 K 点和 2 856 K 点（下同），分别约为：

$$u_2 = 0.10, 0.12 \text{ K}, \text{估计 } \sigma(u_2) / u_2 \approx 0.1, \text{自由度 } \nu_2 \approx 50.$$

3) 比较灯电流平均值的 A 类标准不确定度，包括各工作基准灯间的差异，换算为分布温度，分别约为：

$$u_3 = 1.0, 1.5 \text{ K}, \text{测量数为 } 6 \text{ (3 只灯} \times 2 \text{ 次)}, \text{自由度 } \nu_3 = 5.$$

4) 比较灯的年变化约为：

$$u_4 = 0.2 \text{ K}, \text{估计 } \sigma(u_4) / u_4 \approx 0.2, \text{自由度 } \nu_4 \approx 12.$$

此外背景杂光影响，当屏蔽较好时，背景杂光中非中性部分引起的不确定度可忽略。

D.2 比较灯平均值的合成标准不确定度 u_c

综合上述分析，可认为各分量相互大致独立，可算得合成标准不确定度 u_c 及有效自由度 ν_{eff} ，对 2 353 K 点和 2 856 K 点，分别约为：

$$u_c = 2.9, 4.3 \text{ K}, \text{有效自由度 } \nu_{\text{eff}} \approx 15. \text{其结果列于表 D.1.}$$

表 D.1 比较灯的不确定度来源

序号 j	来源	符号	数值		自由度	
			2 353 K 点	2 856 K 点	符号	数值
1	工作基准灯组	u_1	2.7 K	4.0 K	ν_1	12
2	比较灯电测	u_2	0.10 K	0.12 K	ν_2	50
3	比较灯平均值 (A 类)	u_3	1.0 K	1.5 K	ν_3	5
4	比较灯年变化	u_4	0.2 K	0.2 K	ν_4	12
合成标准不确定度		u_c	2.9 K	4.3 K	ν_{eff}	15

D.3 一级被检灯的不确定度来源（见表 D.2）

1) 比较灯的合成标准不确定度：由前面分析，对 2 353 K 点和 2 856 K 点，分别约

为：

$u_{11} = 2.9, 4.3 \text{ K}$ ，自由度 $\nu_{11} \approx 15$ 。

2) 被检灯电流测控：其相对扩展不确定度为 0.02%，由此引起的标准不确定度，分别约为：

$u_{12} = 0.20, 0.23 \text{ K}$ ，估计 $\sigma(u_{12})/u_{12} \approx 0.1$ ，故取自由度 $\nu_{12} \approx 50$ 。

3) 被检灯的 A 类标准不确定度，换算为分布温度差，分别约为：

$u_{13} = 0.3, 0.5 \text{ K}$ ，读数次数为 16 (2 轮 \times 8 次)，自由度 $\nu_{13} = 15$ 。

4) 被检灯与比较灯光谱分布的差异，通常在灯型号相同的情况下影响很小 (应注意普通与石英泡壳的差异)，估计分别约为：

$u_{14} = 1.5, 2.0 \text{ K}$ ， $\sigma(u_{14})/u_{14} \approx 0.25$ ，自由度 $\nu_{14} \approx 8$ 。

此外背景杂光影响，当屏蔽较好时，背景杂光中非中性部分引起的不确定度，可忽略。

D.4 被检灯的合成标准不确定度 u_{1c}

综合上述分析，可认为各分量相互大致独立，可算得合成标准不确定度 u_{1c} 及有效自由度 $\nu_{1,\text{eff}}$ ，分别约为： $u_{1c} = 3.3, 4.8 \text{ K}$ ，有效自由度 $\nu_{1,\text{eff}} \approx 21 \sim 22$ 。其结果列于表 D.2。

表 D.2 一级被检标准灯的不确定度

序号 j	来源	符号	数值		自由度	
			2 353 K 点	2 856 K 点	符号	数值
1	比较灯	u_{11}	2.9 K	4.3 K	ν_{11}	15
2	被检灯电测	u_{12}	0.20 K	0.23 K	ν_{12}	50
3	被检灯平均值 (A 类)	u_{13}	0.3 K	0.5 K	ν_{13}	15
4	光谱分布的差异	u_{14}	1.5 K	2.0 K	ν_{14}	8
合成标准不确定度		u_{1c}	3.3 K	4.8 K	$\nu_{1,\text{eff}}$	21
置信因子		$t_{0.99}$	2.85	2.85		
扩展不确定度		U_T	9.4 K	14 K		

D.5 被检灯的扩展不确定度 U_T

在得到了—级被检灯的合成标准不确定度 u_{1c} 及其有效自由度 $\nu_{1,\text{eff}}$ 以后，取 $p = 0.99$ ，查表得： $t_{0.99}(\nu_{1,\text{eff}}) = 2.85$ ，按公式 $U_T = t_{0.99}(\nu_{1,\text{eff}}) \times u_{1c}$ 计算它的扩展不确定度，稍作放宽后，对 2 353 K 点和 2 856 K 点分别取为： $U_T = 10, 15 \text{ K}$ 。

附录 E

不确定度分析——用光谱辐射照度测量装置检定

以工作基准灯组 (3 只) 检定一级被检灯为例: 先用工作基准灯的 2 856 K 点标定一只约 2 850 K 的比较灯, 再用比较灯标定约 3 201 K 的被检灯, 分析评定如下:

在此情况下, 要准确计算被检灯的不确定度是困难的, 但若取 $\lambda_1 = 460 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 660 \text{ nm}$ 用双色比过渡公式却可近似地估算出来。由式 (4) 得到简化的测量数学模型:

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_s} - \frac{\lambda_2 \lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1) c_2} \times \ln R \quad (\text{E1})$$

式中: T_s ——已知 (标准) 分布温度值;

T_1 ——待测分布温度值;

R ——待测灯与标准灯蓝红比的比值;

$$R = \frac{\alpha_{\lambda_1}}{\alpha_{\lambda_2}} = \frac{E_1(\lambda_1)/E_s(\lambda_1)}{E_1(\lambda_2)/E_s(\lambda_2)} = \frac{E_1(\lambda_1)/E_1(\lambda_2)}{E_s(\lambda_1)/E_s(\lambda_2)} = \frac{(b/r)_1}{(b/r)_2} \quad (\text{E2})$$

其中: $E_1(\lambda)$, $E_s(\lambda)$ 分别为待测灯和标准灯的光谱辐射照度。

其误差传递系数为:

$$K_1 = \frac{\partial T_1}{\partial T_s} = \left(\frac{T_1}{T_s} \right)^2 \quad (\text{E3})$$

$$K_2 = \frac{\partial T_1}{\partial \lambda_1} = \frac{\lambda_2 T_1 (T_1 - T_s)}{\lambda_1 T_s (\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (\text{E4})$$

$$K_3 = \frac{\partial T_1}{\partial \lambda_2} = \frac{\lambda_1 T_1 (T_1 - T_s)}{\lambda_2 T_s (\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (\text{E5})$$

$$K_4 = \frac{\partial T_1}{\partial R} = \frac{T_1^2 \lambda_1 \lambda_2}{c_2 (\lambda_2 - \lambda_1) R} \quad (\text{E6})$$

式中: R 仍由式 (E1) 反算得到。

可见, 其误差传递系数皆是 T_s , T_1 的函数。

E.1 比较灯不确定度来源

用工作基准灯的 2 856 K 点标定一只约 2 850 K 的比较灯, 此时, $T_s = 2 856 \text{ K}$, $T_1 = 2 850 \text{ K}$, $R = 0.993$, 比较灯的不确定度来源分析见表 E.1。

表 E.1 比较灯的不确定度来源 (2 856 K → 2 850 K)

序号 j	X_j (不确定度来源)	a_j (X_j 的扩展不确定度分量)	k_j (置信因子, $p \approx 0.99$)	$u(X_j)$ (X_j 的标准不确定度分量)	$ K_j $ (传递系数)	u_j (T_1 的标准不确定度分量)	ν_j (自由度)
1	工作基准 T_s	12 K	3	4.0 K	0.996	4.0 K	12
2	λ_1 (460 nm) 测量	0.50 nm	$\sqrt{6}$	0.2 nm	0.043 0 K/nm	0.008 6 K	12

表 E.1 (续)

序号 j	X_j (不确定度来源)	a_j (X_j 的扩展 不确定度分 量)	k_j (置信 因子, p ≈ 0.99)	$u(X_j)$ (X_j 的标准 不确定度分 量)	$ K_j $ (传递系数)	u_j (T_1 的标准 不确定度分 量)	ν_j (自由度)
3	λ_2 (660 nm) 测量	0.50 nm	$\sqrt{6}$	0.2 nm	0.020 9 K/nm	0.004 2 K	12
4	R 测量, ΔR	0.005	3	0.001 7	863 K	1.5 K	5
5	比较灯电测	0.01%	$\sqrt{3}$	0.005 8 %	20 K/(1%) (实测得到)	0.12 K	50
6	比较灯年变化	0.4 K	$\sqrt{3}$	0.23 K	1	0.23 K	12
	比较灯合成标 准不确定度	—	—	—	—	$u_c = 4.3$ K	$\nu_{\text{eff}} \approx 15$
* : 等同于比较灯分布温度平均值的 A 类标准不确定度。							

1) 工作基准灯组的不确定度: 由建标报告, 2 856 K 灯组平均值的扩展不确定度为:

$a_1 = 12$ K, 按 t 分布计算, $k_1 = 3$, $u(X_1) = 4.0$ K, $u_1 = |K_1| u(X_1) = 4.0$ K, 估计 $\sigma(a_1)/a_1 \approx 0.2$, 自由度 $\nu_1 \approx 12$ 。

2) 波长 λ_1 的测量: 其 $a_2 = 0.50$ nm, 波长鼓转动重复定位, 按三角形概率密度分布计算, $k_2 = \sqrt{6}$, $u(X_2) = 0.2$ nm, $u_2 = |K_2| u(X_2) = 0.009$ K, 估计 $\sigma(a_2)/a_2 \approx 0.2$, 自由度 $\nu_2 = 12$ 。

3) 波长 λ_2 的测量: 其 $a_3 = 0.50$ nm, 按三角形概率密度分布计算, $k_3 = \sqrt{6}$, $u(X_3) = 0.2$ nm, $u_3 = |K_3| u(X_3) = 0.004$ K, 估计 $\sigma(a_3)/a_3 \approx 0.2$, 自由度 $\nu_3 = 12$ 。

可见在 $T_1 \approx T_2$ 的情况下, 因波长测量误差引起 T_1 的不确定度是很小的。

4) 蓝红比比值 R 的测量: 包括各工作基准灯间的差异, 多种随机因素的影响, 系统灵敏度的漂移等, 因 $\Delta R/R = 0.5\%$, $R = 0.993$, 所以 $a_4 = \Delta R \approx 0.005$, 按近似正态分布计算, $k_4 = 3$, $u(X_4) = 0.001 7$, $u_4 = |K_4| u(X_4) = 1.5$ K, 测量数 6 次(3 只灯 \times 2 次), 自由度 $\nu_4 \approx 5$ 。

5) 比较灯电流测控: 其 $a_5 = 0.01\%$, 按均匀密度分布计算, $k_5 = \sqrt{3}$, $u(X_5) = 0.005 8\%$, $u_5 = |K_5| u(X_5) = 0.12$ K, 估计 $\sigma(a_5)/a_5 \approx 0.1$, 自由度 $\nu_5 = 50$ 。

6) 比较灯的年变化: 在 2 856 K 点附近, 实测约为 $a_6 = 0.4$ K, 按均匀密度分布计算, $k_6 = \sqrt{3}$, $u(X_6) = 0.23$ K, $u_6 = |K_6| u(X_6) = 0.23$ K, 估计 $\sigma(a_6)/a_6 \approx 0.2$, 自由度 $\nu_6 = 12$ 。

此外背景杂光影响,当屏蔽较好时,背景杂光中非中性部分引起的不确定度可忽略。

比较灯 2 850 K 平均值的合成标准不确定度 u_c :

综合上述分析,可认为各分量相互大致独立,可算得合成标准不确定度 u_c 及有效自由度 ν_{eff} 分别为: $u_c = 4.3$ K, 有效自由度 $\nu_{\text{eff}} \approx 15$, 结果列于表 E.1。

其扩展不确定度 ($p = 0.99$) 为: $U_c = 2.95 \times 4.3$ K = 12.7 K。

E.2 一级被检灯的不确定度来源

用标得的 2 850 K 比较灯再标 3 201 K 的被检灯,分析评定如下。此时, $T_s = 2$ 850 K, $T_1 = 3$ 201 K, $R \approx 1.440$, 一级被检灯的不确定度来源分析见表 E.2。

表 E.2 一级被检灯的不确定度来源 (2 850 K→3 201 K)

序号 j	X_j (不确定度来源)	a_j (X_j 的扩展 不确定度分 量)	k_j (置 信 因子, p ≈ 0.99)	$u(X_j)$ (X_j 的标准 不确定度分 量)	$ K_j $ (传递系数)	u_j (T_1 的标准 不确定度分 量)	ν_j (自由度)
1	比较灯 T_s	12.7 K	2.95	4.3 K	1.261 5	5.4 K	15
2	λ_1 (460 nm) 测量	0.50 nm	$\sqrt{6}$	0.2 nm	2.83 K/nm	0.57 K	12
3	λ_2 (660 nm) 测量	0.50 nm	$\sqrt{6}$	0.2 nm	1.37 K/nm	0.27 K	12
4	R 测量, ΔR	0.006 5	3	0.002 2	751 K	1.7 K	1
5	被检灯电测	0.02%	$\sqrt{3}$	0.012%	20 K/(1%) (实测得到)	0.24 K	50
6	光谱分布的差异	—	—	—	—	2.0 K	8
	被检灯合成标 准不确定度	—	—	—	—	$u_c = 6.1$ K	$\nu_{\text{eff}} \approx 20$

1) 比较灯的扩展不确定度:由前面的分析得 $a_1 = 12.7$ K,按 t 分布计算, $k_1 = 2.95$, $u(X_1) = 4.3$ K, $u_1 = |K_1| u(X_1) = 5.4$ K, 自由度 $\nu_1 \approx 15$ 。

2) 波长 λ_1 的测量:其 $a_2 = 0.50$ nm, 波长鼓转动重复定位,按三角形分布计算, $k_2 = \sqrt{6}$, $u(X_2) = 0.2$ nm, $u_2 = |K_2| u(X_2) = 0.57$ K, 估计 $\sigma(a_2)/a_2 \approx 0.2$, 自由度 $\nu_2 = 12$ 。

3) 波长 λ_2 的测量:其 $a_3 = 0.50$ nm, 按三角形分布计算, $k_3 = \sqrt{6}$, $u(X_3) = 0.2$ nm, $u_3 = |K_3| u(X_3) = 0.27$ K, 估计 $\sigma(a_3)/a_3 \approx 0.2$, 自由度 $\nu_3 = 12$ 。

4) 蓝红比比值 R 的测量: 包括多种随机因素的影响, 系统灵敏度的漂移等, 因 $\Delta R/R = 0.45\%$, $R = 1.440$, 所以 $a_4 = \Delta R \approx 0.0065$, 按近似正态分布计算, $k_4 = 3$, $u(X_4) = 0.0022$, $u_4 = |K_4| u(X_4) = 1.7\text{ K}$, 测量数 2 (2 轮), 自由度 $\nu_4 \approx 1$ 。

5) 一级被检灯的电流测控: 其 $a_5 = 0.02\%$, 按均匀密度分布计算, $k_5 = \sqrt{3}$, $u(X_5) = 0.012\%$, $u_5 = |K_5| u(X_5) = 0.24\text{ K}$, 估计 $\sigma(a_5)/a_5 \approx 0.1$, 自由度 $\nu_5 = 50$ 。

6) 被检灯与标准灯间光谱分布的差异, 通常在灯型号相同的情况下影响很小 (应注意普通与石英泡壳的差异), 估计约为: $u_6 = 2.0\text{ K}$, $\sigma(u_6)/u_6 \approx 0.25$, 自由度 $\nu_6 \approx 8$ 。

此外背景杂光影响, 当屏蔽较好时, 背景杂光中非中性部分引起的不确定度可忽略。

E.3 被检灯 3 201 K 点的合成标准不确定度 u_{ic}

综合上述分析, 可认为各分量相互大致独立, 可算得合成标准不确定度 u_{ic} 及有效自由度 $\nu_{i,\text{eff}}$, 分别为: $u_{ic} = 6.1\text{ K}$, 有效自由度 $\nu_{i,\text{eff}} \approx 20$ 。其结果列于表 E.2。

E.4 被检灯 3 201 K 点的扩展不确定度 U_i

在得到了一级被检灯的合成标准不确定度及其有效自由度以后, 取 $p = 0.99$, 查表得出: $t_{0.99}(\nu_{i,\text{eff}}) = 2.85$, 按公式 $U_i = t_{0.99}(\nu_{i,\text{eff}}) \times u_{ic}$ 计算出其扩展不确定度, 稍作放宽后, 对 3 201 K 点取为: $U_i = 18\text{ K}$ 。

可见小于 20 K, 符合表 2 的要求。

类似, 可估算出任意 $T_s \rightarrow T_i$ 情况下被检灯的扩展不确定度。