



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 212—2003

色 温 表

Colour Temperature Meters

2003 - 05 - 12 发布

2003 - 11 - 12 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

色温表检定规程

Verification Regulation of
Colour Temperature Meters

JJG 212—2003
代替 JJG 212—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 概述	(1)
4 计量性能要求	(1)
4.1 示值重复性	(1)
4.2 线性偏差	(1)
4.3 方向性偏差	(1)
4.4 示值偏差	(1)
4.5 年稳定性	(2)
5 通用技术要求	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定条件	(2)
6.2 检定项目	(3)
6.3 检定方法	(3)
6.4 检定结果的处理	(4)
6.5 检定周期	(5)
附录 A 升温滤光片与标准灯组合, 透射光分布温度的计算	(6)
附录 B 检定证书格式 (背面)	(8)
附录 C 不确定度分析	(9)
附录 D 相关说明	(11)

色温表检定规程

1 适用范围

本规程适用于色温表（计）的首次检定、后续检定和使用中的检验。定型鉴定、样机试验中对计量性能的要求可参照本规程执行。

2 引用文献

GB 5702—1985《光源显色性评价方法》

JJG 213—2003《分布（颜色）温度标准灯检定规程》

引用时，应注意使用上述文献的现行有效版本。

3 概述

色温表是用双色比法测量光源在可见波长范围内的（光谱）分布温度的便携式仪表。使用的双色比通常为蓝红比（b/r）和绿红比（g/r）。仪表主要由探头部分（包括红、绿、蓝滤光器、光探测器）和电气显示（仪表）部分所组成。按显示方式可分为数字式和指针式两种。它主要用于测量摄影、摄像用照明光源及其他现代光源的分布温度。

色温和分布温度在概念上有严格的区别，“色温表”也是一种习惯叫法。不过，对于光谱功率分布与黑体相近的光源，如白炽钨灯，它的色温值和可见波长范围的分布温度值在数值上相差很小，在通常的测量误差范围内，可视为相同；然而对于光谱功率分布与黑体相差较大的光源，如荧光灯或其他类放电灯等，则它们的数值可能相差很大。

因色温表的测量原理是基于最简化的双色比法，所以它只适用于测量光谱功率分布与黑体相近的光源。

4 计量性能要求

色温表在 CIE-A 标准光源（即 2 856 K）照射下，用（b/r）挡测量，各有关性能应分别满足下列要求。

4.1 示值重复性

在 500 lx 照度下重复测量三次，示值的极差不超过 20 K。

4.2 线性偏差

在 250 lx 和 1000 lx 光照度下分别测量，其示值变化不超过 20 K。

4.3 方向性偏差

在 500 lx 照度下考查，当入射光偏离垂直照射方向 $\pm 15^\circ$ 时，示值变化不超过 20 K。

4.4 示值偏差

色温表在（2 000 ~ 9 000）K 范围内，其示值偏差，换算为温度倒数之差，对（b/r）

挡不超过 4 Mireds ($1 \text{ Mireds} = 1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), 对 (g/r) 挡不超过 6 Mireds。

4.5 年稳定性

示值的年变化量在 2 856 K 点不超过 60 K。

5 通用技术要求

色温表的机械、电气部分应工作正常; 转动机构必须运转灵活, 位置重复性好; 显示部分清晰, 外观完整无损; 对测量头具有滤光片互换机构的色温表, 还要求其定位准确可靠。每只表应标明其型号、出厂编号、生产厂家、生产日期等。

6 计量器具控制

6.1 检定条件

6.1.1 检定设备

6.1.1.1 光度测量装置

主要包括 2~3 m 长的导轨、灯架、灯座、安装色温表的云台、升色温滤光片夹具及与标准灯配套的孔径光阑和支撑座。所有部件表面呈黑色; 灯架要能进行升降、左右平移、转动及俯仰调节; 光阑的孔径大小要适宜, 不能遮挡灯丝任何部位的发光。

6.1.1.2 检定用标准光源

量值 (2 000~3 000)K: 二级分布温度充气钨丝标准灯, 不少于二只;

量值 (3 000~3 400)K: 二级分布温度石英溴钨标准灯, 不少于二只;

量值 > 3 400 K: 用上述标准灯与不同厚度升色温滤光片组合后的透射光。

6.1.1.3 升色温滤光片

升色温滤光片, 建议采用 SSB-200 型等蓝色玻璃滤光片。

当检定值范围为 (3 500~5 500)K 时, 采用厚度较薄 (如 2.2 mm) 的升色温滤光片;

当检定值范围为 (5 500~9 000)K 时, 采用厚度较厚 (如 3.7 mm) 的升色温滤光片;

升色温滤光片的大小, 应以其透射光束能全部均匀照射色温表的整个探头为宜。

升色温滤光片的光谱透射比 $\tau(\lambda)$, 用调整良好、具有双单色器色散及双光路系统的光谱光度计测量, 其测量不确定度 $U(\tau)$ 应不超过 0.004 ($k=2$)。滤光片与标准灯组合后透射光的分布温度值, 应以实际测量与计算的结果为准, 计算方法见附录 A。

6.1.1.4 标准光源的供电及电测设备

可用电子交流稳压器或直流稳定电源, 其不稳定度每 10 min 输出电流 (或电压) 的变化应小于 0.2%; 直流 (或交直流两用) 电流表、电压表各一只, 准确度应不低于 0.2 级。点燃标准灯时应以控制灯电流为主。电压测量线应单独从灯头两端引出, 测量电流时应先断开电压表。使用直流电源的电测线路, 参见 JJG 213—2003 《分布 (颜色) 温度标准灯检定规程》的相关图示; 使用交流电源的电测线路参见图 1。

6.1.2 检定环境条件

实验室应为暗室, 房间温度应为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, 相对湿度 < 85% RH。

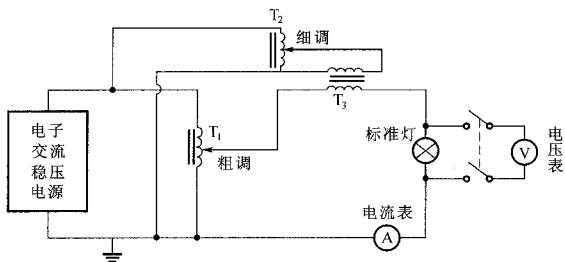


图 1 交流供电的电测线路

T_1 , T_2 —交流调压变压器; T_3 —220V/6V 固定隔离变压器

光路周围应用黑绒布作围帐, 避免背景杂光射入到色温表探头上, 特别应注意避免带色背景的反射杂光。

6.2 检定项目: 见表 1。

表 1

检定项目	首次检定	后续检定	使用中的检验
外观检查	+	+	+
示值重复性	+	+	+
线性偏差	+	+	-
方向性偏差	+	+	-
示值偏差	+	+	+ (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。

6.3 检定方法

6.3.1 外观检查: 用目测和手动方法对色温表进行外观检查, 应符合第 5 章要求。

6.3.2 安装与调试

首先将灯架、光阑、升色温滤光片夹具、色温表及云台等(按图 2 所示)安装在水平导轨上; 带白色洁净手套, 将标准灯安装在灯架上, 灯头在下, 小心固紧。

将色温表按使用说明书要求调整后安装在云台上, 将升色温滤光片擦干净, 小心安装在夹具上 ($\leq 3\ 400\text{ K}$ 时, 不用升色温滤光片)。

调整灯丝平面, 光阑孔径, 升色温滤光片及色温表探头诸中心在同一水平轴线上, 并与自身所在平面垂直。然后将标准灯点燃在给定分布温度值的电流下, 对 BDQ 型灯预热 (5~8)min; 对溴钨灯预热 (10~15)min。

检定时应注意杂光的屏蔽, 特别是外部带色背景的反射杂光。检查方法: 用黑色挡

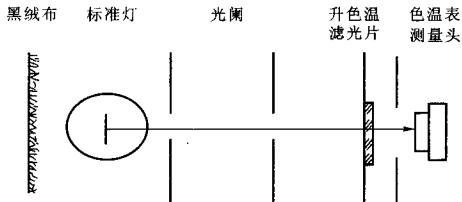


图2 检定色温表的光路示意图

板遮挡标准灯的直射光，此时，色温表探头处的光照度应为零。

6.3.3 示值重复性测量

将标准灯恒定点燃在 2 856 K 的电流下，改变色温表到标准灯的距离，使测量头处的光照度在 500 lx 左右，用 (b/r) 挡重复测量三次，示值的极差应符合 4.1 的要求。

6.3.4 线性偏差测量

改变表到标准灯的距离，使测量头处的光照度在 250 lx 和 1 000 lx 下，用 (b/r) 挡分别重复测量三次，其示值平均值的差值应符合 4.2 的要求。

6.3.5 方向性偏差测量

将标准灯恒定点燃在 2 856 K 的电流下，改变表到灯的距离，使测量头处的光照度在 500 lx 左右，在水平面内转动云台，使测量头平面法线正对标准灯、偏左 15°、偏右 15°时，用 (b/r) 挡分别重复测量三次，其偏左、偏右时的平均示值与正对时的平均示值的差值，应符合 4.3 的要求。

6.3.6 示值检定

检定点的选取：4 000 K 以下，每隔 200 K 检定一点；(4 000 ~ 9 500)K 范围内，每隔 500 K 检定一点。检定色温表的 (b/r) 挡时，用蓝、红两波段范围所确定的分布温度值；检定 (g/r) 挡时，用绿、红两波段范围所确定的分布温度值。

波段范围的划分如下：蓝：(410 ~ 500)nm，绿：(505 ~ 590)nm，红：(595 ~ 670)nm。计算时的波长间隔取 5 nm。

检定量值在(2 000 ~ 3 000)K 范围时，用二级充气钨丝标准灯；在(3 000 ~ 3 400)K 范围时，用二级石英溴钨标准灯；> 3 400 K 时，用上述标准灯与不同厚度升温温滤光片组合后的透射光。检定时应按色温表使用说明书规定的操作方法进行。每个检定点重复三次，取平均值为结果，并按式 (1) 计算其示值偏差的 Mireds (μrd) 值，应符合 4.4 的要求。

$$\Delta M = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_s} \right) \times 10^6 \quad (1)$$

式中： T_1 ——色温表的示值，K；

T_s ——标准值，K。

6.4 检定结果的处理

首次检定不计算色温表的年稳定性。待经周期检定后，再计算出 2 856 K 点下示值的年变化量，应符合 4.5 要求。

色温表的性能符合第 4 章、第 5 章要求者，给出检定证书；否则给出检定不合格通知书。

6.5 检定周期

色温表的检定周期一般不超过 1 年，每次送检应带上次检定证书。

附录 A

升温滤光片与标准灯组合，透射光分布温度的计算

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：

$$A(\alpha, T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[1 - \frac{E_\lambda(\lambda)}{\alpha P_\lambda(\lambda, T)} \right]^2 d\lambda \rightarrow \text{Min} \quad (\text{A1})$$

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 (积分值)；

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

$$P_\lambda(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (\text{A2})$$

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 (A1) 对 α 求偏导数，并根据极值条件，则解得：

$$\alpha = \frac{S(T)}{M(T)} \quad (\text{A3})$$

$$\text{式中：} \quad M(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda(\lambda) / P_\lambda(\lambda, T) d\lambda \quad (\text{A4})$$

$$S(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda^2(\lambda) / P_\lambda^2(\lambda, T) d\lambda \quad (\text{A5})$$

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

$$B(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[1 - \frac{M(T) E_\lambda(\lambda)}{S(T) P_\lambda(\lambda, T)} \right]^2 d\lambda \quad (\text{A6})$$

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 $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ ， $\lambda_2 = 700 \text{ nm}$ ；计算的波长间隔一般取 5 nm 或 10 nm 。被测光源与黑体光谱功率分布的最小均方根偏差 $\sigma(\%)$ 为：

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} \left[1 - \frac{M(T_d) E_\lambda(\lambda)}{S(T_d) P_\lambda(\lambda, T_d)} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \times 100 \quad (\text{A7})$$

式中： n ——求和计算的项数。

式 (A1) ~ (A6) 即为 CIE 所定义的分布温度值的计算公式。

对升温滤光片与分布温度标准灯组合后透射光的情况， $E_\lambda(\lambda)$ 为标准灯光谱功率分布与升温片光谱透射比 $\tau(\lambda)$ 的乘积，即：

$$E_\lambda(\lambda) = \tau(\lambda) \varepsilon(T_s) c_1 \lambda^{-5} \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T_s}\right) \quad (\text{A8})$$

式中： T_s ——标准灯的分布温度；

$\epsilon(T_s)$ ——比例因子，与波长无关。

式 (A8) 中，标准灯在可见区的光谱功率分布使用了简化的 Wien 公式。

由蓝 (410 ~ 500) nm、红 (595 ~ 670) nm 两波长范围所确定的分布温度值则由下式计算：

$$B(T) = \int_{410 \text{ nm}}^{500 \text{ nm}} \left[1 - \frac{M(T) E_\lambda(\lambda)}{S(T) P_\lambda(\lambda, T)} \right]^2 d\lambda + \int_{595 \text{ nm}}^{670 \text{ nm}} \left[1 - \frac{M(T) E_\lambda(\lambda)}{S(T) P_\lambda(\lambda, T)} \right]^2 d\lambda \quad (\text{A9})$$

式中：

$$M(T) = \int_{410 \text{ nm}}^{500 \text{ nm}} E_\lambda(\lambda) P_\lambda^{-1}(\lambda, T) d\lambda + \int_{595 \text{ nm}}^{670 \text{ nm}} E_\lambda(\lambda) P_\lambda^{-1}(\lambda, T) d\lambda \quad (\text{A10})$$

$$S(T) = \int_{410 \text{ nm}}^{500 \text{ nm}} E_\lambda^2(\lambda) P_\lambda^{-2}(\lambda, T) d\lambda + \int_{595 \text{ nm}}^{670 \text{ nm}} E_\lambda^2(\lambda) P_\lambda^{-2}(\lambda, T) d\lambda \quad (\text{A11})$$

由绿 (505 ~ 590) nm、红 (595 ~ 670) nm 两波长范围所确定的分布温度的计算公式与上类同。计算时的波长间隔均取 5 nm。

附录 B

检定证书格式 (背面)

检定结果

标准值		色温表示值/K			
T_s/K	$1/T_s$ $/\mu\text{rd}$	(b/r) 挡		(g/r) 挡	
		T_1/K	$\Delta M/\mu\text{rd}$	T_1/K	$\Delta M/\mu\text{rd}$
2 000	500.0				
2 200	454.5				
2 400	416.7				
2 600	384.6				
2 800	357.1				
3 000	333.3				
3 200	312.5				
3 400	294.1				
3 600	277.8				
3 800	263.2				
4 000	250.0				
4 500	222.2				
5 000	200.0				
5 500	181.8				
6 000	166.7				
6 500	153.8				
7 000	142.9				
7 500	133.3				
8 000	125.0				
8 500	117.6				
9 000	111.1				

按规定条件检定, 该色温表性能如下:

- | | |
|-----------|----------|
| 1. 外观: | 2. 示值偏差: |
| 3. 重复性: | 4. 线性偏差: |
| 5. 方向性偏差: | 6. 年稳定性: |

注: 色温表只适用于测量光谱功率分布与黑体相近的光源, 不宜用于光谱分布与黑体相差较大的光源。

附录 C

不确定度分析

被检色温表不确定度的主要来源有：标准光源本身和检定中引入的不确定度。

C.1 标准光源本身的不确定度

量值 $\leq 3\,400\text{ K}$ 的范围由二级分布温度标准灯确定，由分布温度标准灯检定规程给出；量值 $> 3\,400\text{ K}$ 的范围由二级标准灯与升温滤光片灯组合后的透射光确定，由高色温标准建标报告给出。其对应的标准不确定度为 u_1 ，列于表 C.1 中。估计 $\sigma(u_1)/u_1 \approx 0.2$ ，自由度 $\nu_1 \approx 12$ 。

C.2 检定中引入的不确定度

C.2.1 灯电流测控：其扩展不确定度为 0.2% ，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为 u_2 ，其值也列于表 C.1 中。估计 $\sigma(u_2)/u_2 \approx 0.1$ ，自由度 $\nu_2 \approx 50$ 。

C.2.2 示值的 A 类标准不确定度：根据多次检定实践得到，约为 0.3 Mireds ，由此换算为分布温度的差值对蓝红比挡为 u_3 。估计 $\sigma(u_3)/u_3 \approx 0.2$ ，自由度 $\nu_3 \approx 12$ 。

C.2.3 背景杂光：引起蓝红比的变化估计 $\leq 0.2\%$ ，由此换算为分布温度的差值为 u_4 。估计 $\sigma(u_4)/u_4 \approx 0.25$ ，自由度 $\nu_4 \approx 8$ 。

表 C.1 被检色温表的不确定度来源

序号 j	来源	符号	分布温度点/K							自由度	
			2 400	2 856	3 200	4 500	5 500	6 500	7 500	符号	数值
1	标准光源	u_1	5 K	6 K	8 K	15 K	22 K	30 K	40 K	ν_1	12
2	标准灯电测	u_2	2	2.3	3.1	5.7	8.5	12	16	ν_2	50
3	示值 (A 类)	u_3	2	2.5	3	6	9	12	17	ν_3	12
4	背景杂光	u_4	1.1	1.6	2	4	7	9	13	ν_4	8
合成标准不确定度 (b/r 挡)		u_c	5.9	7.1	9.3	18	26	36	48	ν_{eff}	21 ~ 23
置信因子		$t_{0.99}$	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85		
扩展不确定度 (b/r 挡)		U/K	17	21	27	51	75	110	140		
扩展不确定度 (g/r 挡)		U/K	18	22	30	60	85	120	150		

C.3 被检色温表的合成标准不确定度 u_c

综合上述分析，认为各分量大致相互独立，即可算得 (b/r) 挡合成标准不确定度 u_c 及有效自由度 ν_{eff} 。

C.4 被检色温表的扩展不确定度 U

在得到了合成标准不确定度 u_c 及其有效自由度 ν_{eff} 以后，取 $p = 0.99$ ，查表得出对

应 $t_{0.99}(\nu_{\text{eff}})$ 的值,按公式 $U = t_{0.99}(\nu_{\text{eff}}) \times u$ 。计算出它 (b/r) 挡的扩展不确定度,分别列于表 C.1。用同样的方法,可评估出被检色温表 (g/r) 挡的扩展不确定度,也列于表 C.1 中 (最后一行),其值比 (b/r) 挡的扩展不确定度大一些。

被检色温表的不确定度主要取决于检定用的标准光源。

附录 D

相 关 说 明

对于大于 3 400 K 的范围,用标准光源加升温滤光片的透射光复现,对理想的升温滤光片,其光谱透射比 $\tau(\lambda)$ 在可见波长范围内应满足如下的随波长变化关系:

$$\tau(\lambda) = k \times \frac{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T_1}\right) - 1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T_2}\right) - 1} \quad (\text{D1})$$

式中: k ——比例常数;

λ ——波长。

加此片子后,分布温度由 T_1 升为 T_2 。但实际上我们经过试制能得到的升温片,其 $\tau(\lambda)$ 很难完全满足这个条件,而有一定的偏离。因此标准灯加此片子后,透射光的光谱功率分布对黑体分布有一定的偏离。这就引起了透射光相关色温度值 T_c ,分布温度 $T_d(\text{b/r})$ 和 $T_d(\text{g/r})$ 在数值上也有较大的差异,特别是后两者的差异更大。

在色温表检定中,如果对(b/r)挡与(g/r)挡均用色温 T_c 值作标准,这不仅引入了隐藏的系统误差,而且在换升温滤光片时,还会出现示值不能平滑衔接的问题。这次修订规程从色温表测量的是“分布温度”而不是色温的实际情况出发,分别改用(b/r)和(g/r)所确定的分布温度值 $T_d(\text{b/r})$ 和 $T_d(\text{g/r})$ 。