



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 1032—2007

标准光电高温计

Standard Photoelectric Pyrometers

2007-11-21 发布

2008-02-21 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

**标准光电高温计
检定规程**

**Verification Regulation of
Standard Photoelectric Pyrometers**

JJG 1032—2007

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2007 年 11 月 21 日批准，并自 2008 年 2 月 21 日起实施。

归口单位：全国温度计量技术委员会

起草单位：中国计量科学研究院

本规程委托全国温度计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

原遵东（中国计量科学研究院）

邢 波（中国计量科学研究院）

柏成玉（中国计量科学研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 术语	(1)
3.2 计量单位	(1)
4 概述	(1)
4.1 工作原理	(1)
4.2 基本构成与性能	(2)
4.3 用途	(3)
5 计量性能要求	(3)
5.1 重复性	(3)
5.2 稳定性	(3)
6 通用技术要求	(3)
6.1 外观	(3)
6.2 光学系统	(3)
6.3 绝缘电阻	(3)
7 计量器具控制	(4)
7.1 检定条件	(4)
7.2 检定项目	(5)
7.3 检定方法	(5)
7.4 检定结果的处理	(9)
7.5 检定周期	(9)
附录 A 检定结果的不确定度评定举例	(10)
附录 B 检定证书内页格式	(13)

标准光电高温计检定规程

1 范围

本规程适用于用工作基准钨带灯对测量范围在 $(800 \sim 3\,200)^\circ\text{C}$ 内工作波长约为 660nm 的标准光电高温计的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1007—2007 温度计量名词术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 辐射源尺寸效应 size-of-source effect (SSE)

高温计输出随被测物大小而改变的现象，称为辐射源尺寸效应。函数 $\text{SSE}(l, d_1, d_2)$ 是高温计辐射源尺寸效应的定量描述。它表示在一个确定的测量距离 l 下，被测物直径由 d_1 增加到 d_2 时，高温计光电探测器的输出信号的相对变化。函数 $\text{SSE}(l, d_1, d_2)$ 是高温计的自身特性。

3.1.2 距离效应 distance effect (DE)

高温计输出随被测物与高温计之间的距离而改变的现象，称为距离效应。函数 $\text{DE}(d, l_0, l)$ 是高温计距离效应的定量描述。它表示对于一个可覆盖高温计的测量目标的确定直径 d 的被测物，测量距离由 l_0 增加到 l 时，高温计光电探测器的输出信号的相对变化。函数 $\text{DE}(d, l_0, l)$ 是高温计的自身特性。

3.2 计量单位

标准光电高温计按照 1990 国际温标 (ITS—90) 进行分度。温度单位为摄氏度 ($^\circ\text{C}$) 或开尔文 (K)。

4 概述

4.1 工作原理

标准光电高温计 (以下简称高温计) 属非接触测温仪表。此类高温计测量物体在确定波长下的光谱辐射亮度，并依据普朗克辐射定律确定物体的亮度温度。普朗克黑体辐射定律指出了黑体的光谱辐射亮度 $L_b(\lambda, T)$ 与波长 λ 、温度 T 之间的确定关系：

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

式中： c_1 ， c_2 ——第一、第二辐射常数；

λ ——真空中的波长。

高温计采用线性光电探测器实现光电转换，其入射辐射通量与输出电量之间具有良好的线性关系。

4.2 基本构成与性能

高温计通常由光学成像系统、单色器、光电探测器及电子线路等基本组成部分构成。单色器一般多采用窄带通干涉滤光片。典型的高温计光学系统示意图如图 1 所示。

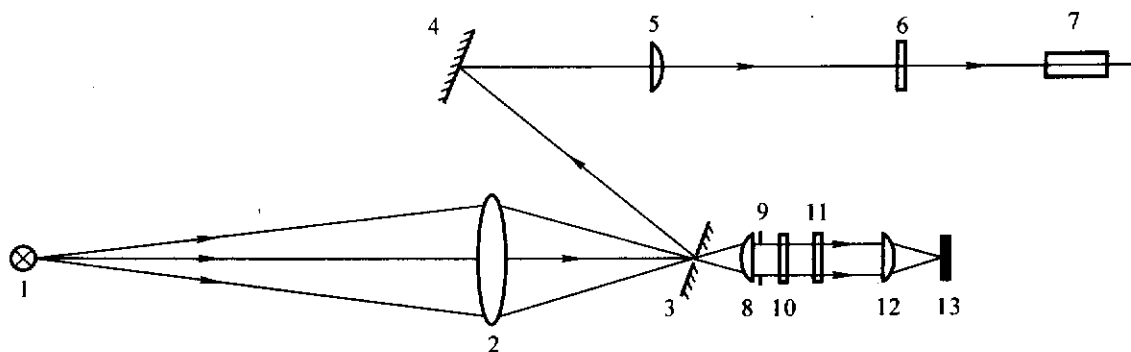


图 1 典型的高温计光学系统示意图

1—被测物；2—物镜；3—视场光阑；4—反射镜；5—瞄准物镜；6—减光片；

7—目镜；8、12—准直镜；9—限制光阑；10—干涉滤光片；11—减弱滤光片；13—光电探测器

高温计的输出量可以是温度、电压或电流的数字显示值，也可以是模拟输出（通常为电压输出）。没有温度输出量的高温计，通常用已知的输出量（电压或电流）与温度的函数关系 $t = f(U - U_z)$ 计算与输出量相对应的温度值。在函数 $f(U - U_z)$ 中， U 和 U_z 分别为高温计在测量状态和暗状态下的输出信号。部分高温计具有修正暗状态输出的功能，无此功能的高温计应采用在高温计物镜前放置镜头盖等方式测量其暗状态输出。

高温计的温度分辨力可达到 0.01°C 。

高温计的最小测量目标直径应能达到 0.8mm ，通常给出测量目标直径与测量距离的关系。

高温计的光谱范围用其光谱响应度或干涉滤光片光谱透过率的中心波长和半宽度表示。名义中心波长： 660nm 。半宽度：一般为 $(10 \sim 20)\text{nm}$ 。

高温计应原地测量（与使用状态相同条件下测量）相对光谱响应度，并计算高温计的测温范围内的极限有效波长和平均有效波长与被测温度的关系。在光电探测器响应的光谱范围内，高温计的相对光谱响应度应可测量到其峰值的 10^{-6} 。在测温范围内，极限有效波长应在 $647\text{nm} \sim 665\text{nm}$ 范围内。有效波长的扩展不确定度（ $k = 2$ ）应不超过 0.2nm 。

用工作基准钨带灯检定的高温计，应定期进行相对光谱响应度的原地测量，测量周期一般为 2 年～3 年。必要时应更换干涉滤光片。更换干涉滤光片或高温计测量光路经修理后，应重新测量高温计光谱响应度。

通常高温计在常用测量距离 l 下的辐射源尺寸效应 $SSE(l, 2\text{mm}, 40\text{mm}) \leq 0.004$ ；并定量给出高温计在常用测量距离范围的距离效应 $DE(d, l_0, l)$ 。

高温计在测温范围内的测量不确定度一般应达到表 1 中的相应要求。其中相邻温度点间的不确定度介于两温度点不确定度之间。

表 1 高温计的不确定度

℃

温度	800	1 000	1 200	1 400	1 700	2 000	2 200	2 500	2 800	3 200
U_{95}	1.0	0.7	0.8	0.9	1.1	1.7	1.9	2.4	3.3	4.8

4.3 用途

高温计可作为标准铂带灯检定、高温热电偶检定和光辐射亮度、照度基准的温度标准器，可作为黑体辐射源的温度标准器，用于温度精密测量。

5 计量性能要求

5.1 重复性

在 800°C 不大于 0.2°C ，在 1000°C 不大于 0.3°C 。

5.2 稳定性

在 1 年内，高温计在 1200°C 示值变化的绝对值不大于 1.0°C 。

6 通用技术要求

6.1 外观

6.1.1 高温计的机械调节部件没有明显缺陷、功能正常，外露电气部件如接插件、接线端子、开关及按键等不应有明显缺陷，标识清晰，功能正常。

6.1.2 高温计测量结果为数字显示的，其显示面不应有影响读数的缺陷；高温计测量结果为模拟输出的，其输出端应标明输出量，并能区分不同档位。

6.1.3 高温计应标有制造商(或商号)、型号、编号和出厂日期。

6.2 光学系统

6.2.1 光学系统无明显影响测量或瞄准的气泡、条纹、霉斑、划损或松动。

6.2.2 高温计的光学系统，应能保证物镜中心沿着其光轴平滑地移动，并能清晰成像。

6.2.3 瞄准系统具备测量高温目标时的光衰减装置。

6.2.4 若具备多滤光片选择功能，应有挡位指示。

6.2.5 高温计的调节机构(或配套设备)，应能使其光学系统的主光轴处于水平。

6.3 绝缘电阻

在环境温度为 $(15 \sim 25)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $35\% \sim 75\%$ 的条件下，高温计的电源输入端与接地端子(或外壳)之间的绝缘电阻应不低于 $20\text{M}\Omega$ ；使用中的高温计，其绝缘电阻应不低于 $5\text{M}\Omega$ 。以安全电压或电池供电的高温计除外。

7 计量器具控制

计量器具的控制包括：首次检定、后续检定和使用中检验。

7.1 检定条件

7.1.1 标准器

工作基准钨带灯(以下简称钨带灯)组 1 套, 温度范围为 $800^{\circ}\text{C} \sim 1\,700^{\circ}\text{C}$ 的真空钨带灯和 $1\,700^{\circ}\text{C} \sim 2\,200^{\circ}\text{C}$ 的充气钨带灯各 1 只, 或 $800^{\circ}\text{C} \sim 1\,400^{\circ}\text{C}$ 的真空钨带灯和 $1\,400^{\circ}\text{C} \sim 2\,000^{\circ}\text{C}$ 的充气钨带灯各 1 只。

对于线性光电高温计, $2\,200^{\circ}\text{C}$ (或 $2\,000^{\circ}\text{C}$) 以上温度采用延伸方法确定温度量值。

7.1.2 配套设备

7.1.2.1 直流稳流电源

a) 输出电流: 能够满足钨带灯正常工作的输出范围。一般为 $(0 \sim 25)\text{ A}$ 。

b) 输出电压: 能够满足钨带灯正常工作的输出范围。一般为 $(0 \sim 12)\text{ V}$ 。

c) 电流稳定度: 电流漂移不超过 $0.01\%/ \text{min}$ 。采用自动测量系统修正电源电流漂移影响或采取统计测量措施使电流稳定度对测量结果的影响不大于 $0.01\%/ \text{min}$ 时, 可适当放宽此项指标。

d) 纹波系数: $<0.5\%$ 。

e) 电流最小调节量: 使钨带灯亮度温度改变不超过 2°C 。

调节电流时, 其输出电流不得有显著的过冲。

7.1.2.2 标准电阻

串联于钨带灯电流回路的 0.01 级标准电阻: 0.01Ω 、 0.001Ω 各一只, 分别用于真空和充气钨带灯电流测量。标准电阻允许通过的最大电流应不小于通过钨带灯的最大电流。

7.1.2.3 用于测量钨带灯电流的 0.01 级直流电压测量仪器: 分辨力不大于 $1\mu\text{V}$ 并满足标准电阻上电压测量的范围需要。

7.1.2.4 多路转换开关: 接触电势不大于 $1\mu\text{V}$ 。

7.1.2.5 用于测量高温计模拟输出电压的 0.02 级直流电压/电流测量仪表(如果需要)。

7.1.2.6 6 维钨带灯调节支架。

7.1.2.7 工作基准钨带灯正常使用所需的辅助设备, 如瞄准用辅助光源、灯座冷却用恒温水源。

7.1.2.8 额定直流电压为 500 V 的绝缘电阻表。

7.1.2.9 检定工作台。

7.1.3 环境条件

环境温度: $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$;

相对湿度: 不大于 $75\% \text{ RH}$;

实验室可实现暗室条件。

7.2 检定项目

检定项目见表 2。

表 2 检定项目

检定项目		首次检定 (含修理后检定)	后续检定	使用中检验
计量性能要求	重复性	+	-	-
	稳定性	-	+	+
通用技术要求	外观和光学系统	+	+	-
	绝缘电阻	+	+	-
注：“+”表示需检项目，“-”表示不需检项目。				

7.3 检定方法

7.3.1 外观和光学系统

用目视方法对高温计按 6.1 和 6.2 的要求进行检查。

7.3.2 绝缘电阻

在高温计电源开关处于接通状态时,用绝缘电阻表分别测量高温计电源插头/端子的相线端与接地端、中线端与接地端之间的电阻。其结果均应符合 6.3 的要求。

7.3.3 计量性能要求检定的准备工作

7.3.3.1 一般情况下,高温计的有效波长与钨带灯检定证书的亮度温度所对应的波长不同。此时,需要将钨带灯检定证书中的灯电流值修正到高温计有效波长下亮度温度对应的电流值。根据高温计的有效波长 $\lambda_2(t)$ 和钨带灯的检定证书给出的钨带灯亮度温度 t 对应的有效波长 $\lambda_1(t)$ 、灯电流 $I(\lambda_1)$,利用灯电流修正公式(2)计算钨带灯电流 I 与在高温计有效波长下各分度温度点亮度温度 t 的关系,并计算电流变化率 $\frac{dI}{dt}$,用于高温计分度实验。对于选择不同减弱滤光片可覆盖或相交的温度测量范围,若高温计极限有效波长不同,应分别计算各分度温度点的高温计相应有效波长下钨带灯亮度温度对应的灯电流 I_{set} :

$$I_{\text{set}} = I[\lambda_1(t)] + [\lambda_1(t) - \lambda_2(t)] \cdot \frac{dt}{d\lambda} \cdot \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

式中,极限有效波长 λ_1 和 λ_2 的单位为 nm。

在 660nm 附近,钨带灯在电流一定的条件下,亮度温度随波长的变化率见表 3,也可用式 (3) 计算:

$$\frac{dt}{d\lambda} = \sum_0^2 a_i \cdot t^i \quad (3)$$

式中: $a_0 = -2.25 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{nm}$

$a_1 = 4.05 \times 10^{-6}/\text{nm}$

$a_2 = -1.047 \times 10^{-7}/(^\circ\text{C} \cdot \text{nm})$

亮度温度 t 的范围为 $800^\circ\text{C} \sim 2\,200^\circ\text{C}$ 。

表3 660nm附近钨带灯亮度温度 t 随波长的变化率 $\frac{dt}{d\lambda}$

$t/^\circ\text{C}$	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500
$\frac{dt}{d\lambda}$	-0.09	-0.10	-0.12	-0.14	-0.17	-0.19	-0.22	-0.25
$t/^\circ\text{C}$	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200	
$\frac{dt}{d\lambda}$	-0.28	-0.32	-0.35	-0.39	-0.43	-0.48	-0.52	

注：温度单位为 $^\circ\text{C}$ ，波长单位为nm。

表3和式(3)给出的660nm附近钨带灯亮度温度 t 随波长的变化率 $\frac{dt}{d\lambda}$ 的标准不确定度为10%。

7.3.3.2 在对高温计分度之前，应将钨带灯从包装箱中取出，在恒温室内放置不少于12h。

7.3.3.3 将真空钨带灯安装在调节支架上。

7.3.3.4 正确连接钨带灯电源以及用钨带灯电流测量适用的标准电阻和直流电压测量仪表。注意钨带灯标明“+”的电极应接电源正极。

7.3.3.5 灯座采用水冷却方式的钨带灯，钨带灯通电时灯座应接通冷却水，并保持适当流量。冷却水的温度应接近钨带灯证书的规定。

7.3.3.6 钨带灯经运输或长期放置未用前，应先用1A/min的电流速率将钨带灯平滑升至其最高使用温度，保持20min，随即以1A/min的速率将钨带灯电流降至0A。

7.3.3.7 用沾有酒精的脱脂棉或镜头纸擦拭钨带灯玻璃泡壳(或窗口)，再用干净的绸布擦净。

7.3.3.8 将高温计镜头外表面(或窗口)及目镜表面用镜头纸或干净的绸布轻轻擦净。

7.3.3.9 以模拟量输出的高温计，为测量其输出值，应连接相应的直流电压测量仪表。

7.3.3.10 高温计和其他实验用仪器应按要求进行预热。

7.3.3.11 按高温计的使用说明调节高温计目镜(或接目镜)，使观测者同时看清十字分划线等辅助瞄准标记(如果有)和视场光阑。

7.3.3.12 将高温计和钨带灯调节至适当高度，并使高温计水平放置。

7.3.3.13 调整钨带灯与高温计之间的距离，使高温计测量目标的大小与分度钨带灯所使用的面积(一般其直径约为0.8mm)尽量接近。

7.3.3.14 调节钨带灯调节支架和高温计物镜，使得从高温计目镜中观察到的钨带灯灯带清晰并接近规定的钨带灯瞄准方位。调节时，钨带灯后可放置辅助光源，以便于瞄准。

7.3.3.15 有干涉滤光片选择功能的高温计，应选用约660nm的干涉滤光片。

7.3.3.16 有数字滤波选择功能的高温计，应选用数字滤波。

7.3.3.17 具有发射率修正功能的高温计，应将发射率设定为1。

7.3.4 分度

用钨带灯对高温计进行两次分度。分度温度点为：800℃，1 000℃，1 200℃，1 400℃，1 700℃，2 000℃和 2 200℃。可根据需要，增加分度温度点。分度时优先使用真空钨带灯。

7.3.4.1 以 1A/min 的速率平滑调节电流，将钨带灯升至表 4 相应钨带灯的最低分度温度点附近。

表 4 高温计分度温度点及钨带灯稳定时间

min

温度/℃	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700
钨带灯										
800℃~1 700℃	30	10	5				2	2	2	2
800℃~1 400℃	60	30	15	10	5		2	—	—	—
温度/℃	1 600	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200				
钨带灯										
1 700℃~2 200℃	—	—	5			2	2			
1 400℃~2 000℃	20	10	5			2	—	—		

7.3.4.2 调节钨带灯调节支架和高温计物镜，使得从高温计目镜中观察到的钨带灯灯带清晰并符合规定的钨带灯瞄准位置。调节时，钨带灯后可放置辅助光源，以便于瞄准。

7.3.4.3 钨带灯稳定时间达到表 4 规定的时间后，重复 7.3.4.2 的操作，进行微调。若直流稳流电源在表 4 规定的时间内不能达到 7.2.1 c) 中规定的电流稳定度，钨带灯稳定时间应当延长。

7.3.4.4 微调灯电流，使亮度温度接近分度温度点，亮度温度偏离不得超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

7.3.4.5 测量并记录灯电流 I_L 和高温计输出值 t_i 或 U_i 。测量前，根据高温计说明书的规定，确认高温计选用了适用的减弱滤光片和放大器量程（如果有或需要人工选择）；对于需要在不同减弱滤光片和放大器量程下测量的温度点，应在不同选择下分别测量并记录；如果需要的话，在与测量高温计输出值 t_i 或 U_i 相同的放大器量程，对高温计在暗状态清零或测量零点输出 U_n 。高温计在实验室常规环境下和暗室环境下的测量结果之差大于 0.05°C 时，测量应在暗室环境下进行。

7.3.4.6 以 1A/min 的速率平滑调节电流，将钨带灯升至下一个分度温度点附近。

7.3.4.7 重复 7.3.4.3 至 7.3.4.6，直至完成在钨带灯或高温计上限分度温度点的分度。以 1A/min 的速率将钨带灯电流降至 0A。

7.3.4.8 更换充气钨带灯和灯电流测量用标准电阻。选择 1 800℃~2 200℃范围内的各分度温度点，重复 7.3.4.4 至 7.3.4.7 的操作。

7.3.4.9 重复 7.3.4.1 至 7.3.4.8 的操作，做第二次分度。

7.3.5 重复性

高温计的重复性以高温计分别在 5.1 指定的 2 个亮度温度下对真空钨带灯的 10 次测量的标准偏差 s 表示。

重复性测量参照 7.1 和 7.2 的有关操作。测量前应确保钨带灯瞄准方位正确, 测量并记录灯电流 I_i 、高温计输出值 t_i (清零后) 或 U_i 和零点输出 U_{zi} (如果需要)。重复性测量次数 $i=1, 2, \dots, 10$; 每次测量的时间间隔为 20min。

重复性实验可在分度实验之前进行。

7.3.6 稳定性

对于后续检定和使用中检验, 稳定性检验可直接利用 7.3.4 中在 1 200℃ 的分度数据。

7.3.7 检定数据处理

7.3.7.1 直接分度数据处理

a) 分度结果计算

若高温计输出量为电压(或电流), 则根据高温计说明书给出的亮度温度 t —电压 U 函数 $t=f(U)$ 计算两次测量的输出电压对应的亮度温度:

$$t_i = f(U_i - U_{zi})$$

不需或不能测量零点输出值的高温计, 设 $U_{zi}=0$ 。

将两次亮度温度测量值 t_i 修正到相应分度温度点灯电流 I_{set} 对应的亮度温度值 t_{li} :

$$t_{li} = t_i + (I_{\text{set}} - I_i) / \frac{dI}{dt} \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

$$t_l = \frac{1}{2}(t_{l1} + t_{l2}) \quad (5)$$

b) 分度一致性计算检验

计算所有分度温度点先后两次分度结果的差值的绝对值 Δt_l , 均不应超过表 5 中相应温度下的规定值:

$$\Delta t_l = |t_{l1} - t_{l2}| \quad (6)$$

表 5 分度一致性要求

℃

温度	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700
一致性	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
温度	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200		
一致性	0.8*	0.8*	0.8*	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8		

注: * 对 1 400℃~2 000℃ 的充气钨带灯的要求。

经检验不符合表 5 规定的分度温度点, 应重新进行两次分度。

c) 稳定性

将分度温度点为 1 200℃ 的本次分度结果 t_l 与上周期检定的分度结果 t'_l 进行比较, 其差值的绝对值应符合 5.2 的规定, 否则稳定性不合格。在使用中检验稳定性不合格的高温计应随即送检。

d) 重复性

若高温计输出量为电压(或电流),则根据高温计说明书给出的亮度温度—电压(或电流)函数 $t = f(U - U_z)$ 计算输出电压对应的亮度温度:

$$t_i = f(U_i - U_{zi}) \quad (7)$$

将各次亮度温度测量值 t_i 修正到相同灯电流对应的亮度温度值 t_{fi} :

$$t_{fi} = t_i + (I_1 - I_i) / \frac{dI}{dt} \quad (8)$$

则重复性为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \left(t_{fi} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{fi} \right)^2}{m-1}} \quad (9)$$

其中, $\frac{dI}{dt}$ 是钨带灯电流随钨带灯亮度温度的变化率, m 为重复性测量次数。一般取 $m = 10$ 。

高温计在 800℃ 和 1 000℃ 的重复性均应不超过 5.1 的规定, 否则重复性不合格。

7.3.7.2 钨带灯上限温度以上的延伸计算

若被检高温计需进行钨带灯组亮度温度上限 t_u 以上亮度温度的分度, 则根据钨带灯组上限亮度温度的示值误差 $\Delta t(t_u)$ 为

$$\Delta t(t_u) = \Delta t_l(t_u) - t_u \quad (10)$$

采用延伸计算方法确定各分度温度点 t_n 的亮度温度示值 $t(t_n)$ 。分度温度点 t_n 分别为 2 400℃, 2 600℃, …, 3 200℃。

$$t(t_n) = t_n + \Delta t(t_u) \cdot \left(\frac{t_n + 273.15^\circ\text{C}}{t_u + 273.15^\circ\text{C}} \right)^2 \quad (11)$$

7.4 检定结果的处理

7.4.1 经检定符合本规程规定和要求的高温计为合格; 否则不合格。

7.4.2 经检定合格的高温计出具检定证书。证书应注明检定条件, 给出输出量在分度温度点的分度结果, 其有效数位应达到或相当于 0.1℃。对于没有温度显示的高温计, 在检定证书中应注明亮度温度计算公式。

7.4.3 检定不合格的高温计出具检定结果通知书, 并注明不合格项目。

7.5 检定周期

首次检定和修理后检定一般在半年后进行第一次后续检定; 之后, 后续检定周期一般不超过 1 年。送检时应附带前一周期的检定证书及有效波长测试/校准证书(或其复印件)。

附录 A

检定结果的不确定度评定举例

以 RT9031A 精密光电高温计为例, 评定用工作基准钨带灯组——800℃~1 700℃ 的真空钨带灯和 1 700℃~2 200℃ 的充气钨带灯检定高温计的不确定度。

假定高温计的极限有效波长 λ_2 与钨带灯检定证书亮度温度数据的波长 λ_1 相差 2nm, 高温计的极限有效波长在有效波长测量值范围之间的标准不确定度为 0.5nm, 高温计温度分辨力为 0.01℃。

A.1 800℃~2 200℃ 分度的不确定度评定

分度的数学模型为

其中, t 为钨带灯在高温计波长下的亮度温度, t_1 为高温计在灯电流 I_{set} 下的示值。

(1) 影响输入量 t ——钨带灯亮度温度的不确定度因素

a) 钨带灯检定证书数据引入的不确定度 u_1

参照表 A.1 计算。

表 A.1 工作基准钨带灯检定证书标准不确定度 U_{95}

	温度/℃	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700
真空钨带灯	U_{95}	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
充气钨带灯	温度/℃	1 700	1 800	1 900	2 000	2 100	2 200				
	U_{95}	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2				

b) 将灯电流修正到高温计波长下的亮度温度引入的不确定度

高温计有效波长 λ_1 的标准不确定度为 $u_c(\lambda_2)$ 时, 引起检定结果的不确定度包括确定钨带灯在波长 λ_2 的亮度温度的不确定度和根据钨带灯在 λ_2 的亮度温度修正得到在 λ_1 的亮度温度的不确定度。其中, 本规程中给出的 $\frac{dt}{d\lambda}$ 数值的相对标准不确定度为 10%。则

$$\begin{aligned}
 u_2 &= \sqrt{\left[u_c(\lambda_2) \frac{dt}{d\lambda} \right]^2 + \left[(\lambda_1 - \lambda_2) \cdot u_c\left(\frac{dt}{d\lambda}\right) \right]^2} \\
 &= \sqrt{\left[u_c(\lambda_2) \frac{dt}{d\lambda} \right]^2 + \left[0.1 \cdot \frac{dt}{d\lambda} \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) \right]^2} \\
 &= \sqrt{u_c(\lambda_2)^2 + 0.01 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)^2} \left| \frac{dt}{d\lambda} \right|
 \end{aligned}$$

c) 灯座温度和环境温度偏离钨带灯检定条件引入的不确定度, 忽略。

d) 灯电流测量引入的不确定度 u_3 , 包含标准电阻、直流电压测量、转换开关接触电势引入的不确定度。

e) 直流稳流电源的纹波及漂移引入的不确定度, 忽略。

(2) 影响输出量 t_f ——高温计温度示值的不确定度因素

a) 高温计瞄准钨带灯的重复性引入的不确定度 u_4

b) 检定的环境温度偏离规定值 20℃ 对高温计示值影响引入的不确定度 u_5

c) 高温计分辨力、测量重复性引入的不确定度, 忽略。

d) 实际灯电流偏离灯电流设定值 I_{set} 对高温计示值的修正引入的不确定度, 忽略。

e) 高温计测量钨带灯时的 SSE 引入的不确定度, 忽略。

各不确定度分量的数值及合成结果见表 A.2。

表 A.2 标准光电高温计 800℃ ~ 2 200℃ 分度的不确定度

℃

温度	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_c	U_{95}
800	0.37	0.05	0.09	0.15	0.12	0.42	0.8
1 000	0.25	0.07	0.09	0.10	0.12	0.31	0.6
1 200	0.25	0.09	0.09	0.10	0.12	0.32	0.6
1 400	0.25	0.12	0.09	0.10	0.12	0.33	0.7
1 700	0.28	0.17	0.09	0.10	0.12	0.37	0.7
2 000	0.58	0.23	0.17	0.20	0.17	0.70	1.4
2 200	0.58	0.28	0.17	0.20	0.17	0.72	1.4

A.2 2 200℃ 以上分度的不确定度评定

基于线性高温计、有效波长确定和 t_u - 2 200℃ 分度结果的温度延伸方法的理论基础普朗克黑体辐射定律:

$$\frac{L_b(\lambda_e, T)}{L_b(\lambda_e, T_u)} = \frac{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda_e T_u}\right) - 1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda_e T}\right) - 1}$$

其中, c_2 为第二辐射常数; λ_e 为高温在真空中的有效波长; T_u 为钨带灯组分度高温计的上限温度; T 为延伸温度。

影响延伸方法分度高温计的不确定度因素有:

a) 参考点——高温计在钨带灯分度温度点上限 t_u 分度结果引入的不确定度 u_1

根据 Wien 定律, 计算参考点温度 t_u 分度不确定度对更高温度点 t_n 的不确定度传播:

$$u_1 = u_c(t_u) \cdot \left(\frac{T_n}{T_u}\right)^2$$

b) 平均有效波长引入的不确定度 u_2

根据 Wien 定律, 计算有效波长的不确定度对参考点温度 t_u 以上温度点 t_n 的不确

定度传播:

$$u_2 = \frac{u_c(\lambda_e)}{\lambda_e} \cdot \left(\frac{T_n^2}{T_u} - T_n \right)$$

c) 高温计光谱响应的非线性等因素引入的不确定度 u_3 。

d) 高温计放大器不同量程增益比引入的不确定度, 忽略。

2 200℃ 以上高温计光谱响应的倍增非线性不超过 0.000 37, 则各不确定度分量的数值及合成结果见表 A.3。

表 A.3 标准光电高温计 2 200℃ 以上的不确定度

℃

温度	u_1	u_2	u_3	u_c	U_{95}
2 200	0.72	0.00	0.00	0.72	1.4
2 400	0.84	0.16	0.18	0.88	1.8
2 600	0.97	0.35	0.39	1.10	2.2
2 800	1.11	0.56	0.62	1.39	2.8
3 000	1.26	0.80	0.88	1.74	3.5
3 200	1.42	1.06	1.17	2.13	4.3

附录 B

检定证书内页格式

证书编号××××××××××××××××

检 定 结 果

- 一 外观和光学系统：
 二 绝缘电阻：_____ M Ω 。
 三 重复性：800℃为_____℃，1 000℃为_____℃。
 四 1 200℃的年稳定性：_____℃。
 五 分度结果

亮度温度		高温计 示值 /℃·mV ⁻¹	亮度温度		高温计 示值 /℃·mV ⁻¹
温度/℃	极限有效 波长/nm		温度/℃	极限有效 波长/nm	
800.00			2 400.00		
1 000.00			2 600.00		
1 200.00			2 800.00		
1 400.00			3 000.00		
1 700.00			3 200.00		
2 000.00			—	—	—
2 200.00			—	—	—

注：

- 1 高温计设置：
- 2 极限有限波长值由高温计极限有限波长测量证书给出。
- 3 下次送检时请携带此证书及使用说明书。

以下空白

第 页 共 页