



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 856—2015

工作用辐射温度计

Radiation Thermometers

2015-12-07 发布

2016-06-07 实施



国家质量监督检验检疫总局 发布

计量中国群 6177695

工作用辐射温度计检定规程

Verification Regulation of
Radiation Thermometers

JJG 856—2015

代替JJG 856—1994

JJG 415—2001

JJG 67—2003

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

湖北省计量测试技术研究院

参加起草单位：上海工业自动化仪表研究院

北京航天计量测试技术研究所

北京市计量检测科学研究院

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）

傅承玉（湖北省计量测试技术研究院）

邢 波（中国计量科学研究院）

柏成玉（中国计量科学研究院）

参加起草人：

范 铠（上海工业自动化仪表研究院）

王文革（北京航天计量测试技术研究所）

刘 芊（北京市计量检测科学研究院）

目 录

引言	(Ⅱ)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 术语	(1)
3.2 计量单位	(4)
4 概述	(4)
5 计量性能要求	(4)
5.1 固有误差	(4)
5.2 重复性	(4)
6 通用技术要求	(5)
6.1 外观	(5)
6.2 光学系统	(5)
6.3 绝缘电阻	(5)
7 计量器具控制	(5)
7.1 检定条件	(5)
7.2 检定项目	(8)
7.3 检定方法	(8)
7.4 检定数据处理	(10)
7.5 检定结果的处理	(12)
7.6 检定周期	(12)
附录 A 检定距离的确定	(13)
附录 B 辐射温度计瞄准方法	(15)
附录 C 黑体辐射源发射率偏离 1 引起的测量误差	(16)
附录 D 高温黑体辐射源玻璃窗口引入的窗口误差的修正	(20)
附录 E 辐射源尺寸效应	(22)
附录 F 检定记录参考格式	(26)
附录 G 检定数据处理举例	(27)
附录 H 检定证书/检定结果通知书参考格式	(29)
附录 I 固有误差不确定度评定示例	(31)

引 言

本规程参考 IEC/TS 62492-1—2008《工业过程控制装置 辐射温度计 第1部分：辐射温度计的技术数据》(Industrial process control devices—Radiation thermometers—Part 1: Technical data for radiation thermometers)、ASTM E2847—2013《宽波段红外温度计校准和准确度检定标准操作方法》(Standard Practice for Calibration and Accuracy Verification of Wideband Infrared Thermometers)、ASTM E1256—2011a《辐射温度计标准测试方法(单波段)》(Standard Test Methods for Radiation Thermometers (Single Waveband Type)) 和 OIML D24 (1996)《全辐射高温计》(Total Radiation Pyrometers) 进行制定。术语主要参考 IEC/TS 62492-1 和 ASTM E2847, 检定瞄准方式主要依据 IEC/TS 62492-1 的术语“仪表不确定度”的要求和 ASTM E2847 的方法。

本规程替代 JJG 856—1994《500 ℃以下工作用辐射温度计》、JJG 415—2001《工作用辐射温度计》和 JJG 67—2003《工作用全辐射温度计》检定规程。与 JJG 856—1994、JJG 415—2001 和 JJG 67—2003 相比, 主要技术变化如下:

——适用于工作用辐射温度计的全温区检定, 对计量标准、检定方法提出统一要求;

——增加了新的术语, 对部分术语重新进行定义, 修改了部分已有术语的定义(3.1);

——将黑体辐射源或它与参考温度计的组合作为计量标准器, 允许采用面辐射源, 增加了红外波长亮度温度溯源方法, 规定了不同技术指标的黑体辐射源的适用使用条件(7.1);

——明确了检定距离的确定方法(附录 A)和被检辐射温度计的瞄准方法(附录 B);

——数据处理增加了发射率修正(7.3)要求, 采用了适用于全部温度范围和光谱范围不局限于短波高温测量的修正方法(附录 C);

——增加了辐射源尺寸效应修正方法和辐射源尺寸效应温度示值差测试方法(附录 E);

——增加了检定数据处理示例(附录 G);

——针对主要计量标准形式和被检辐射温度计类型, 提供了适用于扩展后的计量标准和全温区检定的不确定度分析、评定方法和示例(附录 J)。

本规程的历次版本发布情况:

——JJG 856—1994《500 ℃以下工作用辐射温度计》;

——JJG 415—86《工作用辐射温度计》和 JJG 415—2001《工作用辐射温度计》;

——JJG 67—85《工作用辐射感温器》和 JJG 67—2003《工作用全辐射温度计》。

工作用辐射温度计检定规程

1 范围

本规程适用于在测温范围 $(-50\sim 3\,000)^{\circ}\text{C}$ 之内的工作用辐射温度计的首次检定和后续检定。本规程的工作用辐射温度计是指发射率设定值可设置为1的单波段辐射温度计和发射率比可设置为1的比色温度计,不包括红外耳温计、红外额温计和接触式辐射温度计。

2 引用文件

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1007—2007 温度计量名词术语及定义

IEC/TS 62492-1—2008 工业过程控制装置 辐射温度计 第1部分:辐射温度计的技术数据 (Industrial process control devices—Radiation thermometers—Part 1: Technical data for radiation thermometers)

ASTM E2847—2013 宽波段红外温度计校准和准确度检定标准操作方法 (Standard Practice for Calibration and Accuracy Verification of Wideband Infrared Thermometers)

凡是注明日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规程。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规程。

3 术语和计量单位

3.1 术语

以下术语和JJF 1001—2011及JJF 1007—2007中界定的其他术语适用于本规程。

3.1.1 [有效] 光谱亮度温度 [effective] spectral radiance temperature

在给定波长,光谱辐射亮度与被测热辐射体的有效光谱辐射亮度相等的黑体的温度。

注:

1 表示有效光谱亮度温度时,应说明其波长。

2 在不引起混淆时,可简称光谱亮度温度或亮度温度。

3 单波段辐射温度计实际测量的量可视为其有效波长下的有效光谱亮度温度。

4 经典亮度温度的定义:热辐射体与黑体在同一波长的光谱辐射亮度相等时,称黑体的温度为热辐射体在该波长的亮度温度。在实际应用中,温度计在一有限光谱范围的测量结果,也称为亮度温度 [JJF 1007—2007, 5.20]。在环境辐射可以忽略的情况下,有效光谱亮度温度即为经典亮度温度。

3.1.2 [有效] 亮度温度 [effective] radiance temperature

在给定波长范围,辐射亮度与被测热辐射体的有效辐射亮度相等的黑体的温度。

注：

- 1 表示有效亮度温度时，应说明其波长范围。
- 2 在不引起混淆时，可简称亮度温度。
- 3 单波段辐射温度计实际测量的量可近似视为与该温度计光谱范围对应的有效亮度温度。
- 4 经典辐射温度的定义：热辐射体与黑体在全波长范围的辐射亮度相等时，称黑体的温度为热辐射体的辐射温度 [JJF 1007—2007, 5.23]，有时也称为全辐射温度。在环境辐射可忽略时的全 [有效] 亮度温度与其对应。

3.1.3 [有效亮度温度测量的] 有效波长 effective wavelength [of effective radiance temperature measurement]

在单波段辐射温度计光谱范围内，使得被测热辐射体的有效光谱亮度温度等于该温度计示值的波长。

注：

- 1 与温度计光谱响应度、被测物体的光谱发射率以及环境辐射的光谱分布有关。
- 2 发射率趋于 1 时，有效波长的极限值称为极限有效波长。
- 3 测量高发射率辐射源时，有效波长可用极限有效波长近似。
- 4 窄波段辐射温度计的极限有效波长接近于温度计的中心波长。

3.1.4 比色温度 two-color temperature

与热辐射体在两个给定波长的光谱辐射亮度之比相等的黑体温度。

注：

- 1 根据热辐射体的光谱发射率与波长的关系特性，比色温度小于、等于或大于真实温度。
- 2 在 JJF 1007—2007 5.26 中的定义为：热辐射体与黑体在两个波长的光谱辐射亮度之比相等时，称黑体的温度为热辐射体的颜色 [比色] 温度。

3.1.5 [法向光谱] 发射率 [normal spectral] emissivity

物体的法向光谱辐射亮度与同温度黑体的光谱辐射亮度之比。

3.1.6 [空腔] 黑体辐射源 [cavity] blackbody radiation source

用于检定或校准辐射温度计、具有稳定控制的温度和明确的发射率、且热辐射特性接近于黑体的凹形装置 [ASTM E2847—2013, 3.1.2]。

注：

- 1 通常由辐射腔体和控温系统等部分构成。
- 2 用有效发射率表示其与同温度黑体的法向辐射亮度之比。黑体辐射源的有效发射率在不引起歧义的情况下可简称发射率。

3.1.7 [平] 面辐射源 [flat] plate radiation source

用于检定或校准辐射温度计、具有稳定控制的温度和明确的发射率的平表面 [ASTM E2847—2013, 3.1.8]。

注：

- 1 通常由平面辐射体（包括利用小尺度 V 型槽等增加有效发射率的面辐射体）和控温系统等部分构成。
- 2 主要用于具有较大视场或较低距离系数的辐射温度计的检定与校准。

3.1.8 [热] 辐射源 [thermal] radiation source

用于检定或校准辐射温度计、具有稳定控制的温度和明确的发射率的几何形状体 [ASTM E2847—2013, 3.1.12]。

包括空腔黑体辐射源（简称黑体辐射源）和〔平〕面辐射源。

3.1.9 参考辐射源 reference radiation source

具有检定所需亮度温度校准结果的辐射源。

包括参考黑体辐射源和参考面辐射源。

3.1.10 〔辐射源〕温度均匀性 [radiation source] temperature uniformity

辐射源有效辐射区域内各点相对于中心点的温差。

3.1.11 参考温度计 reference thermometer

用于确定辐射源温度或亮度温度，且不确定度满足检定要求的温度计。

注：

1 包括检定合格的标准温度计和校准不确定度与长期稳定性引起的不确定度的综合影响满足检定要求的精密温度计。

2 有接触式温度计和辐射温度计两种类型。

3.1.12 〔辐射温度计的〕光谱范围 spectral range [of radiation thermometer]

由辐射温度计工作波长范围的下限波长和上限波长表示的参数。通常以光谱响应率为其最大值 50% 的两点的波长为下限和上限的波长范围表示。

注：

1 另一种表示方式为光谱范围的中心波长和/或波长间隔。对于窄波段辐射温度计，常简化为只说明中心波长。

2 比色温度计具有两个光谱范围。常简化为只说明其两个光谱范围的中心波长。

3.1.13 视场 field of view

发射辐射温度计所接收的辐射的被测区域，通常为圆型平面被测目标。

注：

1 辐射温度计的特性。

2 与声称的相对于半球视场（无限大辐射源）下的信号百分数有关。典型的百分数值为 90%，95% 和 99%。

3 与测量距离有关。

4 常使用图形、表格或公式表示辐射温度计的测量距离与视场直径的关系。

5 与使用者通过辐射温度计的瞄准系统观测到的区域是不同概念。

3.1.14 测量距离 measuring distance

辐射温度计与目标之间的距离（或距离范围）。

注：

1 辐射温度计的设计测量距离常为一个范围，其中某一距离为设计最佳测量距离。

2 应用中所采用的实际测量距离应在辐射温度计的设计测量距离范围内。

3 检定采用的测量距离，简称检定距离。

3.1.15 距离系数 distance ratio

目标聚焦状态下，测量距离与视场直径之比 [IEC/TS 62492-1—2008, 3.1.6]。

注：

1 辐射温度计的特性。

2 距离系数的符号常用 $D:S$ 表示。

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

由于光学系统不理想，当测量距离一定时，辐射温度计输出依赖于被测物大小的效

应 [JJF 1007—2007, 5.41]。

注：

- 1 辐射温度计的特性。
- 2 SSE 函数是 SSE 特性的函数表达 (见附录 E.2)。
- 3 辐射源尺寸效应温度示值差是在特定温度下, 不同辐射源直径下辐射温度计温度示值的差异, 是 SSE 特性的一种以℃为单位的直观表达。一种简化表达是在两个规定辐射源直径下辐射温度计温度示值的差异 (见附录 E.3)。

3.2. 计量单位

计量单位为摄氏度 (℃) 或开尔文 (K)。

4 概述

普朗克黑体辐射定律给出黑体的光谱辐射亮度与温度和波长的关系：

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

式中：

T ——温度, K;

λ ——波长, m;

$L_b(\lambda, T)$ ——黑体的光谱辐射亮度, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$;

c_1 ——第一辐射常数, 数值为 $3.741\,8 \times 10^{-16}$, $\text{W} \cdot \text{m}^2$;

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

辐射温度计是利用普朗克黑体辐射定律, 根据热辐射体辐射特性与其温度之间的函数关系测量表观温度的仪表。通常由光学系统、探测器和信号处理单元及输出指示装置四部分组成。输出类型为模拟量或数字量, 使用方式有手持式和固定安装式两种。按工作波段主要分为: 单波段辐射温度计和比色温度计。单波段辐射温度计分为宽波段辐射温度计和窄波段辐射温度计。

5 计量性能要求

5.1 固有误差

在工作用辐射温度计 (以下简称被检温度计) 的全部测温范围内, 均应不超过最大允许误差。

注：

- 1 最大允许误差 (或仪表不确定度、准确度) 应根据该型号说明书确定。
- 2 最大允许误差技术指标应注明与之相对应的测量距离与辐射源直径, 或检定 (校准) 的测量距离与辐射源直径。
- 3 温度计在不同的测温段可能存在不同的最大允许误差。

5.2 重复性

应不超过被检温度计技术指标中对重复性的要求, 同时应不超过最大允许误差绝对值的 1/2。

6 通用技术要求

6.1 外观

6.1.1 被检温度计上应标有型号规格、制造厂（或商标）和出厂编号。

6.1.2 被检温度计上或说明书中应有测温范围、视场或距离系数的数值（或图表、公式）以及光谱范围信息。

6.1.3 按键功能完好，指示屏显示正常，无可见缺损。

6.2 光学系统

光学系统应清洁、无损伤和松动等现象。目视瞄准系统或辅助瞄准装置能正常引导测温视场。

6.3 绝缘电阻

采用交流电源供电的被检温度计，电源端子、外壳与信号输出端子相互间的绝缘电阻均应大于 $20\text{ M}\Omega$ 。

7 计量器具控制

包括首次检定和后续检定。

7.1 检定条件

7.1.1 计量标准

可采用下列两类形式之一：

- a) 参考温度计与辐射源的组合；
- b) 参考辐射源。

7.1.1.1 适用范围

根据辐射源的空腔和面源的不同类型、发射率指标的差异以及是否为亮度温度溯源，辐射源限在表 1 规定的适用范围内使用。

表 1 对不同发射率的辐射源的适用范围

辐射源类型	发射率	适用检定范围	
黑体辐射源	1 ± 0.005 , 推荐指标 1 ± 0.002	与参考温度计组合	
		参考黑体辐射源	
	1 ± 0.01	与参考温度计组合	配参考接触式温度计
			配参考辐射温度计
		参考黑体辐射源	
面辐射源	≥ 0.95	与参考辐射温度计组合	
		参考面辐射源	

7.1.1.2 参考温度计与辐射源的组合

a) 参考温度计

不具有亮度温度校准结果的辐射源，必须配备参考温度计。

应根据所用辐射源结构及检定需要，选择能准确表征辐射源被瞄准区域的温度或亮度温度的参考温度计。

注：可选择铂电阻温度计、热电偶、辐射温度计等。优先选择适用的标准温度计。

1) 测温范围应满足检定所需的温度范围。

2) 参考辐射温度计的不确定度 ($k=2$) 不大于被检温度计最大允许误差绝对值的 $1/3$ ，参考接触式温度计的不确定度 ($k=2$) 不大于被检温度计最大允许误差绝对值的 $1/5$ 。

例如，对于最大允许误差为 ($\pm 1\% \times$ 温度示值) 的被检温度计的检定，可选用符合表 2 的参考温度计。

表 2 可采用的参考温度计

参考温度计种类	测温范围 ℃	不确定度 ($k=2$)
铂电阻温度计	-50~500	100 ℃ 以上， $\leq 0.1\%$ 温度示值；100 ℃ 以下， ≤ 0.1 ℃
标准热电偶	0~1 600	100 ℃ 以上， $\leq 0.2\%$ 温度示值；100 ℃ 以下， ≤ 0.2 ℃
辐射温度计	-50~3 000	100 ℃ 以上， $\leq 0.3\%$ 温度示值；100 ℃ 以下， ≤ 0.3 ℃

b) 辐射源

包括黑体辐射源和面辐射源。

1) 测温范围应满足检定所需的温度范围。

2) 稳定性与均匀性应满足表 2 的相应要求。

注：符合均匀性要求的辐射区域直径应不小于被检温度计目标直径的 1.4 倍或 20 mm，取大者。辐射源（特别是面辐射源）产品的均匀性技术指标所指的有效辐射区域通常大于某一检定要求的均匀辐射区域，含义不同。

3) 发射率应满足表 3 的相应要求，并在表 1 限定的适用范围内使用。

4) 早期的带有玻璃窗口的高温辐射源只适用于检定光谱范围处于窗口玻璃光谱透射比平坦区域之内的被检温度计。

5) 在露点温度以下使用的辐射源，应具备有效的防结露、防结霜或防止形成雾的措施；有防氧化专门要求的高温辐射源，应按其说明书的技术要求采取防氧化措施。

表 3 辐射源技术要求

类别	温度范围 ℃	稳定性 1/10 min	均匀性	发射率
黑体辐射源	-50~3 000	不大于 (0.1 ℃ 与 $0.1\%t$ 的大者)	不大于 \pm (0.15 ℃ 与 $0.15\%t$ 的大者)	1 ± 0.002 , 或 1 ± 0.005 , 或 1 ± 0.01
面辐射源	-50~500	不大于 (0.15 ℃ 与 $0.15\%t$ 的大者)	不大于 (0.2 ℃ 与 $0.2\%t$ 的大者)	≥ 0.95

注： t 为黑体辐射源温度或亮度温度，或面辐射源亮度温度。

7.1.1.3 参考辐射源

a) 应满足 7.1.1.2 b) 中的各项要求,并在表 1 限定的适用范围内使用。

b) 亮度温度的校准不确定度及校准周期内稳定性引起的不确定度的综合影响 ($k=2$) 不大于被检温度计最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

7.1.2 配套设备

7.1.2.1 电测仪器

a) 供标准器使用的电测仪表 (若需要), 如电桥、直流数字多用表、标准电阻。其测量引入的不确定度应不超过标准器不确定度的 $1/3$, 或不超过被检温度计最大允许误差绝对值的 $1/20$ 。

b) 用于测量被检温度计的模拟输出量的电测仪表。其测量引入的不确定度应不超过被检温度计最大允许误差绝对值的 $1/20$ 。如 0.01 级的直流数字多用表。

c) 绝缘电阻表: 直流 500 V, 不低于 10 级。

7.1.2.2 辅助设备

a) 用于确定检定距离的测长工具。

b) 满足辐射温度计的瞄准操作需要的, 具有平移和旋转等调节功能的检定工作台或支架。

c) 直流电源、转换开关等 (如果需要)。

7.1.3 环境条件

温度: $(18 \sim 25)^\circ\text{C}$ 。

相对湿度: $20\% \sim 85\%$ 。

实验环境无明显机械振动、强机械冲击和强电磁干扰; 实验过程中应避免阳光和强辐射源对实验用辐射源和辐射温度计的干扰; 应避免空调气流、开门窗引起的对流对面辐射源的影响; 环境温度波动不对辐射温度计测温产生不可忽略的影响。

7.1.4 交流供电

电源: $220\text{ V} \pm 22\text{ V}$, 50 Hz 。

7.1.5 检定装置示意图

检定装置的典型构成见图 1, 其中, 计量标准为辐射源与参考温度计的组合, 参考温度计可为接触式温度计或辐射温度计。使用参考辐射源时, 不需要参考温度计。

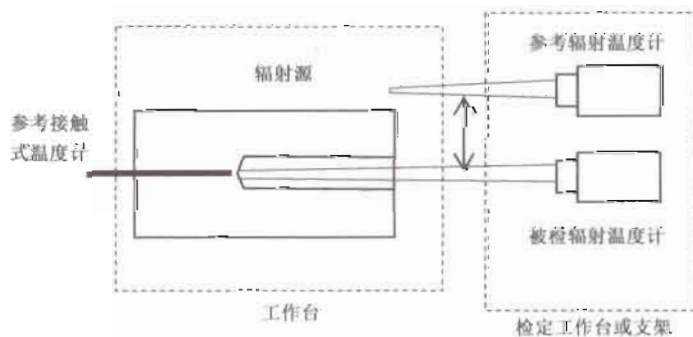


图 1 检定装置示意图

注: 图中未画出计量标准或被检温度计所需的电测仪器。

7.2 检定项目

对于首次检定和后续检定，分别按照表4的规定选取对应的检定项目。

表4 检定项目

检定项目		方法	首次检定	后续检定
通用技术要求	6.1 外观	7.3.1.1	+	+
	6.2 光学系统	7.3.1.2	+	+
	6.3 绝缘电阻	7.3.1.3	+	+
计量性能要求	5.1 固有误差	7.3.2~7.3.5和7.4.1	+	+
	5.2 重复性	7.3.2.2、7.3.6和7.4.2	+	—
注：“+”表示需要检定的项目，“—”表示可不检定的项目。				

7.3 检定方法

7.3.1 通用技术条件的检查

7.3.1.1 外观检查

检查被检温度计外观和说明书，应符合6.1的要求。

7.3.1.2 光学系统

以目视法检查被检温度计光学系统，应符合6.2的要求。

7.3.1.3 绝缘电阻

对于交流供电的被检温度计，测量绝缘电阻，应符合6.3的要求。

符合上述要求后方可进行以下计量性能的检定。

7.3.2 检定温度点的选取

不同检定项目依据表5选取检定温度点（以下简称检定点），可根据用户要求增加检定点。

7.3.2.1 固有误差

通常在被检温度计的测温范围内均匀选取检定点。

a) 包括接近下限和上限的检定点。

b) 接近均匀分布，一般为整百或整十摄氏度点。

c) 检定点在最大允许误差突变点附近时，应在最大允许误差较小的一侧选择接近突变点的检定点。

d) 多量程被检温度计的各量程视为不同温度计，按上述方法分别选取检定点。在相邻量程的重叠区，在较低量程和较高量程应选择相同检定点。

表5 各量程检定点

项目	首次检定	后续检定
固有误差	选取不少于5个检定点	选取不少于3个检定点
重复性	选取1个检定点	不选取

7.3.2.2 重复性

通常在测温范围中点附近选取检定点。

7.3.3 计量性能检定前的准备

- a) 根据说明书信息确定被检温度计的检定距离, 具体方法见附录 A。
- b) 根据说明书信息确认对辐射源直径的要求。说明书未直接给出此信息时, 查出与检定距离相对应的视场直径, 选用的黑体辐射源或面辐射源的直径一般应分别不小于被检温度计视场直径的 1.4 倍或 1.7 倍。
- c) 根据检定点和被检温度计技术指标, 选择计量标准。
- d) 将被检温度计放置于检定环境, 通常不少于 4 h。初始温度与检定环境有较大差异的, 应适当延长放置时间。
- e) 被检温度计及其他所需仪器按照规定的预热时间要求通电预热。
- f) 将参考辐射温度计 (如果使用) 和被检单波段辐射温度计的发射率设定值设为 1, 将被检比色温度计的发射率比设定值设为 1。

7.3.4 瞄准要求

- a) 按照检定距离的要求将被检温度计安装在辐射源空腔前方轴线延长线上, 并瞄准辐射源中心; 可调焦被检温度计还应使空腔底成像清晰或聚焦于检定距离处; 具体方法见附录 B。
- b) 采用参考辐射温度计时, 参考和被检温度计应交替瞄准, 或以机械方式可重复地切换位置。

注: 应考虑修正参考辐射温度计的校准条件与使用条件的差异对检定结果的影响, 参见附录 E。

7.3.5 固有误差

7.3.5.1 调整辐射源设定值, 使稳定后的辐射源量值与检定点的偏差不超过被检温度计最大允许误差的 2 倍。

7.3.5.2 对参考温度计或参考辐射源应与被检温度计尽量同步地记录两次数据。不能同步测量时, 可按照以下记录顺序: 标准 (S) → 被检 (T) → 被检 (T) → 标准 (S)。记录表格参见附录表 F-1。

注:

- 1 如果被检温度计在辐射源照射初期示值有漂移现象, 对于手持式被检温度计, 每次读数前, 应先用挡光板遮挡辐射源不少于 30 s, 并在移开挡光板并启动测量后的若干秒 (一般为响应时间的 3 倍) 后读数; 对于固定安装式被检温度计, 应在示值相对稳定后读数。如果说明书有明确要求的, 按使用说明进行操作。
- 2 同步是相对于辐射源稳定性而言的。若辐射源稳定性足够好, 则可依次检定多个被检温度计。

7.3.5.3 采用有玻璃窗口的黑体辐射源时, 进行参考辐射温度计的窗口误差 Δt_{sw} 和被检温度计的窗口误差 Δt_{tw} 的测量, 详见附录 D。

注:

- 1 与玻璃窗口一同进行检定校准的参考辐射温度计, 不再考虑窗口影响, 即 $\Delta t_{sw} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 2 使用时应注意保持窗口清洁。

7.3.5.4 改变检定点, 重复 7.3.5.1 至 7.3.5.3 的步骤, 完成其他检定点测量。

7.3.6 重复性

7.3.6.1 辐射源在重复性检定点稳定后, 使被检温度计瞄准辐射源。

7.3.6.2 用挡光板在被检温度计前遮挡不少于 30 s 后移开挡光板, 记录数据。若有漂移现象, 参见 7.3.5.2 注 1。

7.3.6.3 重复 7.3.6.2 的测量过程, 共进行 10 次。

注:

- 1 可在固有误差实验过程中进行。
- 2 对于手持式被检温度计, 应在移开被检温度计前的挡光板并启动测量后的几秒后读数; 对于固定安装式被检温度计, 应在移开挡光板后示值相对稳定后读数。如果说明书有明确要求的, 按使用说明进行操作。
- 3 必要时, 同时测量标准器读数, 以修正辐射源的温度漂移。

7.4 检定数据处理

7.4.1 固有误差

固有误差为被检温度计测量理想黑体示值与理想黑体温度的差。在实际检定计算中, 表示为:

固有误差 = 被检温度计实际示值与检定点的温度差 (Δt_T) - 计量标准实际标准值对检定点的温度差 (Δt_S) + 必要的修正项。

7.4.1.1 计量标准实测标准值对检定点的温度差 Δt_S 的确定

a) 计量标准采用参考温度计时

1) 对于温度显示的参考温度计, 计算辐射源亮度温度实测示值与在检定点 t_N 的示值的差 Δt_S :

$$\Delta t_S = t_S - t_{SN} \quad (2)$$

式中:

t_S ——参考温度计测量辐射源的两次实测示值 (t_{S1} 和 t_{S2} , 记录于表 F-1) 的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{SN} ——由参考温度计证书确定的对应于检定点 t_N 的示值, $^{\circ}\text{C}$ 。

2) 对于电参数输出的参考温度计 (以铂电阻温度计为例), 计算辐射源实测温度与检定点 t_N 的差 Δt_S :

$$\Delta t_S = \frac{R_S - R_{SN}}{dR_S/dt} \quad (3)$$

式中:

R_S ——参考温度计测量辐射源温度时的两次输出值 (R_{S1} 和 R_{S2} , 记录于表 F-1) 的平均值, Ω ;

R_{SN} ——参考温度计证书中对应于检定点 t_N 的输出值, Ω ;

dR_S/dt ——参考温度计输出量在检定点 t_N 的温度变化率, $\Omega/^{\circ}\text{C}$ 。

b) 计量标准为参考辐射源时

根据参考辐射源亮度温度的证书值, 修正参考辐射源指示温度的实测值与证书值之差, 计算辐射源实际亮度温度与检定点 t_N 的差 Δt_S :

$$\Delta t_S = t_{SC} - t_N + (t_{S1} - t_{S1C}) \quad (4)$$

式中:

t_{SC} ——由参考辐射源证书确定的对应于检定点 t_N 的亮度温度值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{SI} ——参考辐射源指示温度两次实测值 (t_{SI1} 和 t_{SI2} , 记录于表 F-1) 的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{SIC} ——由参考辐射源证书确定的对应于检定点 t_N 的指示温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

注: 指示温度为参考辐射源温度控制器或测温温度计指示的实际温度示值。

7.4.1.2 被检温度计实际示值与检定点的温度差 Δt_T 的确定

a) 对于温度显示的被检温度计

$$\Delta t_T = t_T - t_N \quad (5)$$

式中:

t_T ——被检温度计两次示值 (t_{T1} 和 t_{T2} , 记录于表 F-1) 的平均值, $^{\circ}\text{C}$ 。

b) 对于电参数输出的被检温度计 (以电流输出为例), 计算被检温度计两次实测值的平均值相对于检定点 t_N 的温度差 Δt_T :

$$\Delta t_T = \frac{I_T - I_{TN}}{dI_T/dt} \quad (6)$$

式中:

I_T ——被检温度计两次实测值 (I_{T1} 和 I_{T2} , 记录于表 F-1) 的平均值, mA ;

I_{TN} ——被检温度计在 t_N 的名义输出值, mA 。

7.4.1.3 固有误差的计算

根据 $\Delta t_T - \Delta t_S$, 修正辐射源发射率偏离 1、被检与参考温度计测量点温差以及窗口吸收等因素引入的不可忽略影响。

$$\Delta t = (\Delta t_T - \Delta t_S) - \Delta t_{Ve} - \Delta t_{TS} - \Delta t_W \quad (7)$$

式中:

Δt ——被检温度计在检定点 t_N 处的固有误差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_{Ve} ——辐射源发射率偏离 1 对固有误差的影响, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_{TS} ——被检温度计瞄准区域与参考温度计测温区域之间的温度差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_W ——高温黑体辐射源窗口引入的固有误差的窗口误差, $^{\circ}\text{C}$ 。

注:

- 1 对于单波段辐射温度计, 修正黑体辐射源发射率偏离 1 的影响的计算方法见附录 C; 当参考辐射温度计和被检温度计具有相同光谱范围时, 可忽略此项修正; Δt_{Ve} 的绝对值小于最大允许误差绝对值的 1/20 时, 可忽略此项修正。对于比色温度计, 可忽略此项修正。
- 2 被检温度计瞄准区域与参考温度计测温区域之间的温度差 Δt_{TS} 不超过 MPE 的 1/20 或参考温度计为辐射温度计时, 可忽略 Δt_{TS} 修正项。
- 3 被检温度计和参考辐射温度计的窗口误差的测量与计算的具体方法见附录 D。不带窗口的黑体辐射源, $\Delta t_W = 0^{\circ}\text{C}$; 当参考辐射温度计和被检温度计具有相同光谱范围时, $\Delta t_W = 0^{\circ}\text{C}$, 可忽略此项误差的影响。

7.4.1.4 被检温度计在检定点 t_N 的示值

a) 电量输出的被检温度计

$$I_{TC} = I_{TN} + \Delta t \cdot dI_T/dt \quad (8)$$

式中:

I_{TC} ——检定点 t_N 处被检温度计实际电量输出, mA;

I_{TN} ——检定点 t_N 处被检温度计电量输出标称值, mA。

b) 温度显示的被检温度计

$$t_{TC} = t_N + \Delta t \quad (9)$$

t_{TC} ——检定点 t_N 处被检温度计实际温度示值, °C。

7.4.2 重复性

重复性通常表示为单次测量的实验标准偏差 s 的 2 倍。

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2} \quad (10)$$

式中:

n ——测量次数;

δ_i ——被检温度计单次测量结果与参考温度读数的差值, °C;

$\bar{\delta}$ —— δ_i 的平均值, °C。

7.5 检定结果的处理

检定结果应包含:

a) 被检温度计在各检定点的示值和以温差表示的固有误差。对于数字式输出的被检温度计, 根据分辨力确定结果的有效数字位数; 对于模拟输出的被检温度计, 结果的有效数字末位通常应与最大允许误差绝对值的 1/10 相当。

b) 被检温度计具有不同量程时, 应注明量程。

c) 在对检定结果的说明中, 注明检定时的检定距离、辐射源直径和辐射源类型(空腔黑体辐射源或面辐射源), 注明被检温度计光谱范围的信息。

对经检定符合本规程要求的被检温度计, 出具检定证书; 对检定不合格的被检温度计, 出具检定结果通知书, 并注明不合格项。

7.6 检定周期

被检温度计检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

检定距离的确定

A.1 可调焦被检温度计

可调焦被检温度计的检定距离应在其允许的测量距离范围内选取，一般可选 1 m。说明书给出检定（或校准）距离的，直接采用说明书的规定值。

检定距离是指在检定中被检温度计清晰成像时的测量距离。

A.2 不可调焦被检温度计

A.2.1 说明书中给出辐射温度计的检定（或校准）距离或设计最佳距离时，直接采用该规定值为检定距离。说明书中未给出上述信息时，采用 A.2.2 中的方法，确定检定距离。

A.2.2 根据 D - S 图表按下述方法确定检定距离：

- a) 最小目标直径对应的测量距离。当该测量距离为一个范围时，取最大值。
- b) D - S 图表中 D 与 S 的比值最大时对应的测量距离。

A.2.3 根据本方法确定的检定距离在瞄准辐射源时有可操作性困难时，在可获得有效检定结果的前提下，允许适当调整瞄准位置。参见附录 B.2c) 和 d)。

A.3 确定方法实例

例 1：可调焦辐射温度计。说明书技术参数中关于测量距离的信息为：0.5 m（视场直径 3 mm） $\sim \infty$ 。可选择 1 m 为检定距离。

例 2：图 A.1 所示为一种不可调焦辐射温度计的说明书给出的测量距离与视场直径的关系。由图可知，在测量距离为 0.3 m，0.9 m 和 1.5 m 时，视场直径分别为 19 mm，18 mm 和 42 mm。可计算得出相应的 D 与 S 的比值分别为 16，50 和 36。则 D 与 S 的比值最大为 50，其对应的测量距离 0.9 m 即为检定距离。

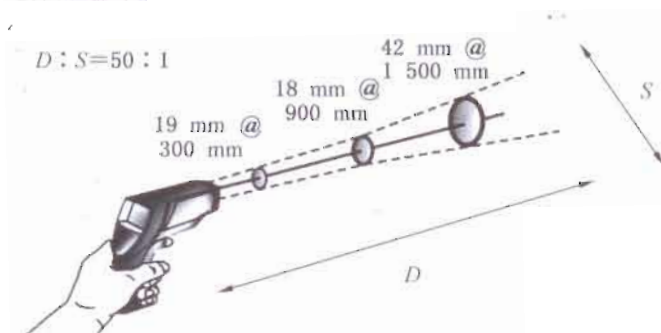
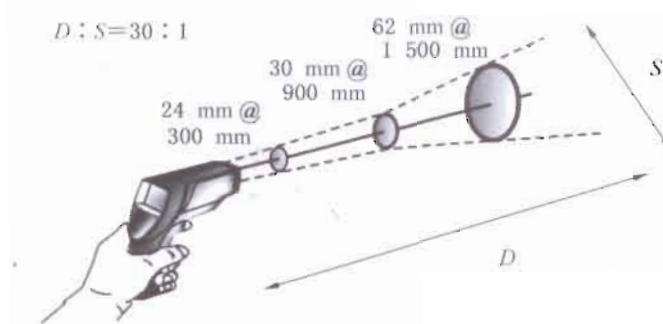


图 A.1 一种典型的测量距离与视场关系图（ D - S 图）

例 3：图 A.2 所示为一种不可调焦辐射温度计的说明书给出的测量距离与视场直径的关系图。由图可知，在测量距离为 0.3 m，0.9 m 和 1.5 m 时，视场直径分别为 24 mm、30 mm 和 62 mm。可计算得出相应的 D 与 S 的比值分别约为 12，30 和 24。则 D 与 S 的比值最大为 30，其对应的测量距离 0.9 m 即为检定距离。

图 A.2 一种典型的测量距离与视场关系图 (D - S 图)

附录 B

辐射温度计瞄准方法

B.1 温度计应安装在辐射源前方中心轴线的延长线上。

B.2 轴向瞄准

- a) 按说明书规定的方法进行被检温度计瞄准；
- b) 说明书中没有明确规定检定距离的具体含义的，默认瞄准空腔底部；
- c) 当辐射源无法在瞄准空腔底部的条件下满足检定距离的要求时，在可获得有效检定结果的前提下，允许适当调整瞄准位置。例如，当检定距离接近或小于空腔黑体辐射源的腔口到腔底距离时，在保证被检温度计瞄准黑体辐射源的有效亮度等温区的前提下，允许将被检温度计的瞄准面从腔底向腔口方向移动。
- d) 对于不超过 $2\ \mu\text{m}$ 的短波段辐射温度计和比色温度计，在保证被检温度计瞄准黑体辐射源的有效亮度等温区的前提下，允许将被检温度计的瞄准面从腔底向腔口方向移动。

B.3 中心瞄准

- a) 可利用辐射温度计的辅助瞄准（激光或发光二极管）光束确定瞄准位置。需要注意的是某些温度计的辅助瞄准光束点不一定是测量光路的中心点，对此，可用下述方法进一步验证。
- b) 可利用被检温度计观测辐射源温度场，分别根据水平与垂直温场的对称性确定对辐射源中心点的瞄准方向。

附录 C

黑体辐射源发射率偏离 1 引起的测量误差

本附录给出了检定中参考辐射温度计和被检温度计受黑体辐射源发射率偏离 1 的影响而引起的测量误差的计算方法,此方法适用于修正发射率偏离 1 的影响及计算其不确定度。

为简化公式表达与计算,凡涉及单波段辐射温度计测量的亮度温度时,以极限有效波长下的亮度温度表示。

C.1 黑体辐射源的亮度温度模型

由于黑体辐射源的发射率偏离 1,其亮度温度有别于其实际温度,两者关系为:

$$L_b[\lambda, T_{\text{RAD}}(\lambda)] = \epsilon L_b(\lambda, T_{\text{BB}}) + (1 - \alpha) L_b(\lambda, T_{\text{AM}}) \quad (\text{C.1})$$

式中:

T_{BB} ——黑体辐射源实际温度, K;

T_{RAD} ——黑体辐射源在波长 λ 下的亮度温度, K;

T_{AM} ——环境温度, K;

ϵ ——黑体辐射源发射率;

α ——黑体辐射源吸收比;

L_b ——黑体的光谱辐射亮度, 见公式 (1)。

对黑体空腔,通常近似认为 $\alpha = \epsilon$ 。以下分析也基于该假设。

C.2 发射率偏离 1 引起的误差计算

辐射源或参考辐射源的发射率偏离 1 引起固有误差测量结果的误差 Δt_{Ve} 可分解为以参考值表示辐射源实际温度引起的误差 Δt_{Se} 和以被检温度计测量的亮度温度或比色温度代表辐射源实际温度引起的误差 Δt_{Te} 两部分:

$$\Delta t_{\text{Ve}} = \Delta t_{\text{Te}} - \Delta t_{\text{Se}} \quad (\text{C.2})$$

式中:

Δt_{Te} ——辐射源发射率偏离 1 引入的被检温度计示值误差, °C;

Δt_{Se} ——以参考辐射源亮度温度或参考温度计示值表示的辐射源实际温度因辐射源发射率偏离 1 引入的误差, °C。

C.2.1 Δt_{Se} 的计算

采用接触式参考温度计时,测量结果即为辐射源实际温度,故 $\Delta t_{\text{Se}} = 0$ °C。

以标准器在(极限有效)波长 λ_s 的亮度温度 T_{RAD_s} 表示辐射源实际温度所引起的误差 Δt_{Se} 为:

$$\Delta t_{\text{Se}} = T_{\text{RAD}_s} - T_{\text{BB}} = \frac{c_2}{\lambda_s} \frac{1}{\ln \left[\frac{\epsilon}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda_s T_{\text{BB}}}\right) - 1} + \frac{1 - \epsilon}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda_s T_{\text{AM}}}\right) - 1} + 1 \right]} - T_{\text{BB}} \quad (\text{C.3})$$

对于波长不大于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 、温度不低于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温短波测量,可忽略式 (C.3) 中的环境辐射反射项:

$$\Delta t_{\text{Se}} = T_{\text{RAD}_S}(\lambda_S) - T_{\text{BB}} = (\epsilon - 1) \frac{\lambda_S T_{\text{BB}}^2}{c_2} \quad (\text{C.4})$$

C.2.2 Δt_{Te} 的计算

被检温度计为比色温度计时,可忽略黑体辐射源发射率的光谱选择性,即认为辐射源实际温度等于比色温度,故 $\Delta t_{\text{Te}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

被检温度计为(极限有效)波长为 λ_T 的单波段辐射温度计时,以辐射源实际温度表示被检温度计测量的亮度温度 T_{RAD_T} 引起的误差 Δt_{Te} 为:

$$\Delta t_{\text{Te}} = T_{\text{RAD}_T} - T_{\text{BB}} = \frac{c_2}{\lambda_T} \frac{1}{\ln \left[\frac{1}{\frac{\epsilon}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda_T T_{\text{BB}}}\right)} - 1} + \frac{1 - \epsilon}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda_T T_{\text{AM}}}\right)} - 1} + 1 \right]} - T_{\text{BB}} \quad (\text{C.5})$$

对于波长不大于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 、温度不低于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温短波测量,式 (C.5) 可简化为:

$$\Delta t_{\text{Te}} = T_{\text{RAD}_T}(\lambda_T) - T_{\text{BB}} = (\epsilon - 1) \frac{\lambda_T T_{\text{BB}}^2}{c_2} \quad (\text{C.6})$$

C.2.3 分类汇总

上述参考标准器和被检温度计类型下的 Δt_{Ve} 的汇总表见表 C.1。

表 C.1 计算 Δt_{Ve} 汇总表

参考	被检	Δt_{Ve}			
		表达式	$T_{\text{BB}} > T_{\text{AM}}$	$T_{\text{BB}} = T_{\text{AM}}$	$T_{\text{BB}} < T_{\text{AM}}$
接触式温度计 $\Delta t_{\text{Se}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	比色温度计 $\Delta t_{\text{Te}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$= 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	—	—	—
	单波段辐射温度计	$= \Delta t_{\text{Te}}$	$< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$= 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
亮度温度溯源温度计或辐射源	比色温度计 $\Delta t_{\text{Te}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$= -\Delta t_{\text{Se}}$	$> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$= 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
	单波段辐射温度计	$\lambda_T > \lambda_S$	$< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$= 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
		$\lambda_T = \lambda_S$	$= 0\text{ }^{\circ}\text{C}$		
		$\lambda_T < \lambda_S$	$> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$= 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

C.2.4 宽波段辐射温度计的极限有效波长

对于宽波段辐射温度计,可利用其极限有效波长计算发射率偏离 1 引起的误差。

(8~14) μm 和 (7~18) μm 辐射温度计在温度 t 下的极限有效波长数值见表 C.2,其拟合公式分别为式 (C.7) 和式 (C.8),单位为 μm ,拟合最大相对偏差均不超过 $\pm 1\%$ 。

$$\lambda_{(8\sim 14)\mu\text{m}} = 9.60 + 221/(t + 273.15) \quad (\text{C.7})$$

$$\lambda_{(7\sim 18)\mu\text{m}} = 8.70 + 525/(t + 273.15) \quad (\text{C.8})$$

表 C.2 (8~14) μm 和 (7~18) μm 辐射温度计的极限有效波长 μm

$t/^\circ\text{C}$	-60	-20	20	60	100	200	300	400	600	800	1 000	1 200	1 500
(8~14) μm	10.65	10.49	10.36	10.26	10.19	10.01	9.97	9.91	9.85	9.81	9.78	9.77	9.72
(7~18) μm	11.21	10.81	10.49	10.26	10.07	9.75	9.56	9.43	9.28	9.20	9.15	9.11	9.08

在发射率修正计算时将这两种辐射温度计的极限有效波长近似取为 10 μm 引起的发射率修正误差一般不超过 10%。

C.3 查表计算法

当环境温度为 20 $^\circ\text{C}$ 、黑体辐射源发射率为 0.99 时, 在辐射温度计常用波长或波段下, 黑体辐射源亮度温度与实际温度的差异见表 C.3。其他数值发射率 ϵ 下的差异 $\Delta t_{V\epsilon}$, 可根据表 C.3 中的数据 $\Delta t_{V0.99}$ 采用内插方法计算误差值:

$$\Delta t_{V\epsilon} \approx \Delta t_{V0.99} \cdot \frac{1-\epsilon}{1-0.99} = 100 \cdot (1-\epsilon) \cdot \Delta t_{V0.99} \quad (\text{C.9})$$

表 C.3 在环境温度为 20 $^\circ\text{C}$ 时 0.99 发射率引起的亮度温度误差 $^\circ\text{C}$

$t/^\circ\text{C}$ \ $\lambda/\mu\text{m}$	0.65	0.9	1.6	2.2	4	10	8~14	7~18	Total
-50						1.26	1.20	1.15	1.10
-20					1.03	0.52	0.51	0.51	0.50
0					0.30	0.22	0.22	0.22	0.22
20					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50					-0.20	-0.26	-0.27	-0.27	-0.26
100				-0.21	-0.36	-0.62	-0.63	-0.62	-0.58
200			-0.25	-0.34	-0.62	-1.26	-1.27	-1.25	-1.01
300			-0.37	-0.50	-0.91	-1.92	-1.92	-1.87	-1.34
400		-0.28	-0.51	-0.70	-1.26	-2.63	-2.61	-2.54	-1.63
500		-0.38	-0.67	-0.92	-1.65	-3.37	-3.35	-3.25	-1.90
600		-0.48	-0.85	-1.17	-2.09	-4.15	-4.12	-3.99	-2.16
800	-0.52	-0.72	-1.29	-1.76	-3.10	-5.79	-5.74	-5.56	-2.68
1 000	-0.74	-1.02	-1.81	-2.47	-4.25	-7.51	-7.44	-7.23	-3.19
1 200	-0.98	-1.36	-2.42	-3.29	-5.52	-9.29	-9.21	-8.96	-3.69
1 500	-1.43	-1.97	-3.49	-4.70	-7.60	-12.04	-11.94	-11.65	-4.45
2 000	-2.34	-3.24	-5.65	-7.47	-11.42				-5.70
2 500	-3.49	-4.81							
3 000	-4.85	-6.67							

注: Total 表示引起的全波长亮度温度误差。

C.4 不确定度计算

发射率 ϵ 的不确定度 $u(\epsilon)$ 引起 $\Delta t_{V\epsilon}$ 的不确定度 $u(\Delta t_{V\epsilon})$ ，可由式 (C.10) 或 (C.11) 计算：

$$u(\Delta t_{V\epsilon}) \approx \frac{u(\epsilon)}{1-\epsilon} \cdot |\Delta t_{V\epsilon}| \quad (\text{C.10})$$

$$u(\Delta t_{V\epsilon}) \approx 100 \cdot u(\epsilon) \cdot |\Delta t_{V0.99}| \quad (\text{C.11})$$

附录 D

高温黑体辐射源玻璃窗口引入的窗口误差的修正

早期的高温黑体辐射源（在本附录中以下简称辐射源）带有玻璃窗口。玻璃窗口引入的窗口温度误差（简称窗口误差），是在辐射源与辐射温度计之间引入和不引入窗口玻璃的情况下，辐射温度计温度示值的差值。以下以移出窗口玻璃的实验方法确定窗口误差。

D.1 准备工作

将辐射源按其使用要求进行抽真空和充保护气清洗后，关闭真空泵，并按说明书要求向辐射源内充入规定的保护气体。

D.2 测量实验

D.2.1 将辐射源升至所需温度点，待温度稳定。

D.2.2 读出带窗口玻璃时辐射温度计的示值，然后迅速将窗口玻璃移出视场，读出不带窗口玻璃时辐射温度计的示值。

D.2.3 尽快将窗口玻璃移回视场。

D.2.4 重复 D.2.1、D.2.2 的过程，直至完成所有温度点的测量实验。

D.3 计算

D.3.1 被检温度计在该温度点的窗口误差

D.3.1.1 被检温度计输出为温度示值（或可转换为温度示值）

$$\Delta t_{TW} = t_{TW} - t_{TNW} \quad (D.1)$$

式中：

Δt_{TW} ——被检温度计示值的窗口误差，℃；

t_{TW} ——辐射源带窗口玻璃时的被检温度计示值，℃；

t_{TNW} ——辐射源不带窗口玻璃时的被检温度计示值，℃。

D.3.1.2 被检温度计的输出为与探测器输出成正比的信号

以输出电压信号为例。计算透射比，修正检定中的被检温度计示值的窗口误差。

a) 计算该温度点的窗口透射比 τ ：

$$\tau = \frac{U_w}{U_{NW}} \quad (D.2)$$

式中：

U_w ——辐射源带窗口玻璃时的被检温度计示值，mV；

U_{NW} ——辐射源不带窗口玻璃时的被检温度计示值，mV；

b) 计算修正窗口透射比后的被检温度计示值：

$$U_T = \frac{\bar{U}_w}{\tau} \quad (D.3)$$

式中：

\bar{U}_w ——辐射源带窗口玻璃时的被检温度计电量示值平均值，mV；

U_T ——修正窗口玻璃吸收后的被检温度计示值, mV。

c) 将修正窗口透射比后的被检温度计示值带入与式 (6) 相应的被检温度计输出电量公式, 可直接计算相对于检定温度点 t_N 的修正了窗口误差的温度偏差 Δt_T 。由于被检温度计的窗口误差已修正, 在 D. 3. 3 中的固有误差的窗口误差计算取 $\Delta t_{TW}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

D. 3. 2 计算参考辐射温度计在该温度点的窗口误差

$$\Delta t_{SW} = t_{SW} - t_{SNW} \quad (\text{D. 4})$$

式中:

Δt_{SW} ——参考辐射温度计示值的窗口误差, $^{\circ}\text{C}$;

t_{SW} ——辐射源带窗口玻璃时的参考辐射温度计示值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{SNW} ——辐射源不带窗口玻璃时的参考辐射温度计示值, $^{\circ}\text{C}$ 。

不使用参考辐射温度计时, $\Delta t_{SW}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

D. 3. 3 计算固有误差的窗口误差

$$\Delta t_W = \Delta t_{TW} - \Delta t_{SW} \quad (\text{D. 5})$$

式中:

Δt_W ——高温黑体辐射源窗口引入的固有误差的窗口误差, $^{\circ}\text{C}$ 。

检定中将窗口误差 Δt_W 带入式 (7), 修正其对固有误差计算结果的影响。

D. 4 说明

a) 带窗口玻璃检定的参考辐射温度计不需考虑窗口误差对其的影响。不带窗口玻璃检定或校准的参考辐射温度计与被检温度计具有相同光谱范围时, 因相互抵消, 可同时忽略二者的窗口误差。

b) 对同一辐射源和窗口玻璃, 对同型号被检温度计可以采用以前的测量结果或统计平均结果。

c) 对于工作波长较短、波段较窄 (远小于窗口的透明波段) 的被检温度计时, 允许使用一块尺寸和材料与辐射源窗口相同的备用窗口, 用叠加法确定窗口误差; 也允许采用窗口光谱透射比测量值计算窗口误差。但 D. 1 和 D. 2 的实验方法优先。

附录 E

辐射源尺寸效应

本附录给出辐射源尺寸效应的概念及其修正方法,以及被检温度计的辐射源尺寸效应温度示值差的测试方法等补充信息。

参考辐射温度计在检定被检温度计中的使用条件应尽量保持与其检定或校准条件一致。否则,应评价测量条件间的差异引起的不确定度,必要时修正其影响。本附录以单波段辐射温度计为例说明辐射源尺寸效应的测量与影响修正。被检温度计在应用中的测量条件不同于检定条件时,也可参照本附录考虑测量条件偏离检定条件的影响。

E.1 辐射源尺寸效应

E.1.1 概念

理想辐射温度计的输出信号只与来自于由其光学系统确定的视场之内的目标辐射亮度有关。而实际辐射温度计的输出信号还与其视场以外的背景辐射的强弱有关,表现为输出信号与被测辐射源的大小有关,被称为辐射温度计的辐射源尺寸效应(size-of-source effect, SSE)。

可调焦辐射温度计的 SSE 是在正确调焦条件下的特性。

不可调焦辐射温度计的 SSE 测量的默认测量距离是检定距离,其结果适用于在该距离下的测温结果之间的修正。SSE 修正应依据相同测量距离下的 SSE 特性曲线。

E.1.2 SSE 函数

SSE 函数 σ 为辐射温度计测量半径为 r 的亮度均匀辐射源的响应与无限大半径的亮度均匀辐射源的响应之比。实际应用中,常将辐射温度计测量半径为 r 的亮度均匀辐射源的响应与测量可获得的最大半径为 r_{\max} 的亮度均匀辐射源的响应之比作为 SSE 函数。其计算式为:

$$\sigma(r, r_{\max}) = \frac{\frac{1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T(r)}\right] - 1} - \frac{1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_b}\right] - 1}}{\frac{1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T(r_{\max})}\right] - 1} - \frac{1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_b}\right] - 1}} \quad (\text{E.1})$$

式中:

$T(r)$, $T(r_{\max})$ ——分别为辐射温度计测量半径为 r 和 r_{\max} 的辐射源时的示值, K;

T_b ——辐射温度计瞄准的辐射源以外的背景温度,通常可用环境温度表示, K;

λ ——辐射温度计的极限有效波长,对于窄波段辐射温度计可近似取其中心波长, m。

当辐射温度计的探测器温度与其瞄准辐射源的背景温度相同时,式 (E.1) 也适用

于固定发射率辐射温度计的 SSE 计算。

对于高温测量, 式 (E. 1) 简化为:

$$\sigma(r, r_{\max}) = \frac{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T(r_{\max})}\right] - 1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T(r)}\right] - 1} \quad (\text{E. 2})$$

SSE 函数具有以下特性:

$$\sigma(r_1, r_2) = \frac{\sigma(r_1, r_3)}{\sigma(r_2, r_3)} \quad (\text{E. 3})$$

E. 1.3 测量结果举例

根据说明书信息, 某 (8~14) μm 参考辐射温度计的测量距离约为 0.5 m, 目标直径约为 9 mm; 某 (8~14) μm 工业辐射温度计的设计测量距离为 0.9 m, 目标直径 30 mm。在各自的测量距离下, 它们的 SSE 测量结果见图 E. 1。

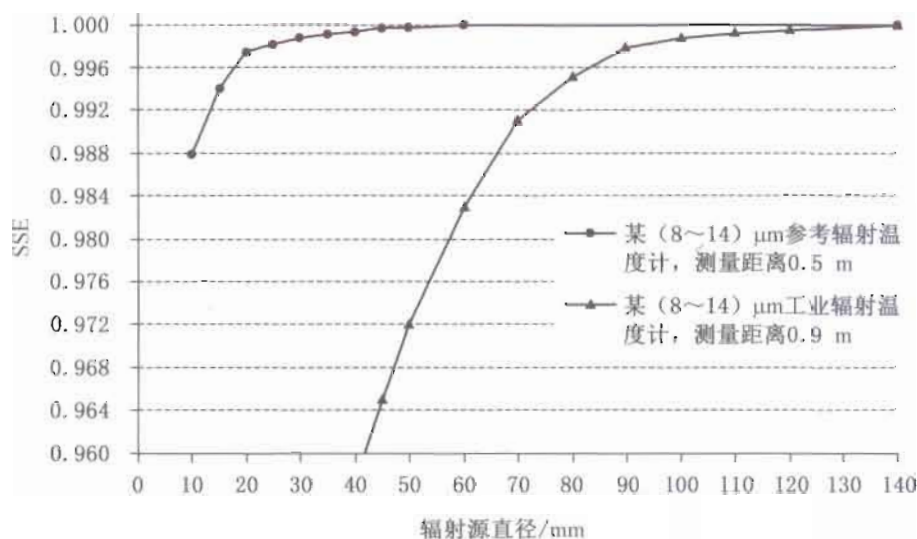


图 E. 1 SSE 函数曲线

E. 2 SSE 修正

实际测温中, 为测量结果间的比较, 需要将不同条件下的测量结果修正到同一测量条件。将测量结果 $T(r_1)$ 从辐射源 (光阑) 半径为 r_1 的测量条件修正到半径为 r_2 的测量结果 $T(r_2)$ 时, 根据式 (E. 4) 计算 $T(r_2)$ 。

$$\sigma(r_2, r_1) = \frac{\frac{1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T(r_2)}\right] - 1} - \frac{1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_b}\right] - 1}}{\frac{1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T(r_1)}\right] - 1} - \frac{1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_b}\right] - 1}} \quad (\text{E. 4})$$

可推导出: $\sigma(r_2, r_1) = \frac{\sigma(r_2, r_{\max})}{\sigma(r_1, r_{\max})}$ 。

对于高温测量可用简化公式:

$$T(r_2) - T(r_1) \approx \frac{\lambda T(r_1)^2}{c_2} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{c_2}{\lambda T(r_1)} \right] \right\} [\sigma(r_2, r_1) - 1] \quad (\text{E.5})$$

参考辐射温度计瞄准空腔黑体辐射源底部时, 辐射源直径的取值应考虑辐射源在瞄准物面(空腔底平面)形成的等效平面辐射源的放大效应。

E.3 辐射源尺寸效应温度示值差

如果送检用户要求测试辐射源尺寸效应温度示值差, 可参照以下要求进行测试。

本测试一般仅针对名义中心波长大于 $8 \mu\text{m}$ 的宽波段辐射温度计。

为了简化结果, 可只选择两个与辐射温度计视场直径有关的辐射源直径进行测试。通常分别为被测辐射温度计视场直径的 1 倍和 1.4 倍, 或 1.4 倍和 2 倍。一般用于简明直观和半定量地反映该温度计的辐射源尺寸效应特性。

E.3.1 实验设备

a) 辐射源

通常可采用面辐射源, 被测辐射温度计视场很小时, 也可采用空腔黑体辐射源。

b) 光阑组或光圈

光阑为中心具有同心圆孔的金属板。将其置于面辐射源之前, 用于模拟不同直径的面辐射源。

光阑外径大于面辐射源辐射区直径, 为满足实验所需的内径分别为被检辐射温度计视场直径的 1.4 倍和 2 倍(或 1 倍和 1.4 倍)的要求。通常需要一组不同直径的光阑, 可根据测试的被检温度计的视场直径逐步补充。

也可以采用覆盖所需直径范围的光圈。

采用面辐射源时, 光阑面向辐射源的一侧应具有亚光黑漆或其他高红外吸收比表面。

E.3.2 测试温度点

一般选取 400°C 。

E.3.3 测试方法

以选择辐射源直径为辐射温度计的视场直径的 1.4 倍和 2 倍为例。

将面辐射源的亮度温度控制在 400°C 附近。

在面辐射源前 $0.2\text{ m} \sim 0.1\text{ m}$ 范围内安装孔直径为 1.4 倍视场直径的光阑, 在距光阑为检定距离之处安装辐射温度计, 并使得三者同轴。

微调辐射温度计的方向, 以示值最大值方向为瞄准方向。

读取并记录辐射温度计读数和光阑直径。

将光阑更换为孔直径为 2 倍视场直径的光阑, 并保持与上一光阑的安装位置同心, 读取并记录辐射温度计读数和光阑直径。

计算辐射温度计的辐射源尺寸效应温度示值差 Δt_{SSE} :

$$\Delta t_{\text{SSE}} = t_{\text{D2}} - t_{\text{D1.4}} \quad (\text{E.6})$$

式中:

$t_{\text{D1.4}}$ ——光阑直径为视场直径的 1.4 倍时辐射温度计的示值, $^\circ\text{C}$;

t_{D2} ——光阑直径为视场直径的 2 倍时辐射温度计的示值, $^\circ\text{C}$ 。

E.3.4 其他测量温度下的辐射源尺寸效应温度示值差的换算

辐射源尺寸效应温度示值差测量结果是辐射温度计测温示值随辐射源直径而改变的一种直观表达,用于半定量地反映该温度计的辐射源尺寸效应特性。该结果的数值仅适用于上述辐射源名义亮度温度(400℃)、测量距离和背景温度。

相同测量距离下,在其他示值温度和环境温度下的辐射源尺寸效应温度示值差可利用式(E.7)估计。

$$\Delta t_{\text{SSE}}(T, T_b) \approx \frac{1 - \frac{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T}\right] - 1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_b}\right] - 1}}{1 - \frac{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_v}\right] - 1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_{bv}}\right] - 1}} \cdot \frac{1 - \exp\left[-\frac{c_2}{\lambda T}\right]}{1 - \exp\left[-\frac{c_2}{\lambda T_v}\right]} \cdot \frac{T^2}{T_v^2} \cdot \Delta t_{\text{SSE}}(T_v, T_{bv}) \quad (\text{E.7})$$

式中:

$\Delta t_{\text{SSE}}(T, T_b)$ ——在其他示值温度 T 和背景温度 T_b 下的辐射源尺寸效应温度示值差,℃;

$\Delta t_{\text{SSE}}(T_v, T_{bv})$ ——在检定证书测量条件下的辐射源尺寸效应温度示值差,℃;

T ——辐射温度计示值, K;

T_b ——背景温度, K;

T_v ——检定证书给出的辐射源尺寸效应温度示值差测量中的辐射温度计示值, K;

T_{bv} ——检定证书给出的辐射源尺寸效应温度示值差测量中的背景温度, K;

λ ——有效波长, μm 。

(8~14) μm 和 (7~18) μm 辐射温度计的有效波长 λ 可近似取 10 μm 。

对于 (8~14) μm 辐射温度计,在 $t_v=400^\circ\text{C}$ 、 $t_{bv}=20^\circ\text{C}$ 时,若 $\Delta t_{\text{SSE}}=1^\circ\text{C}$,则不同温度示值和背景温度下对应的 Δt_{SSE} 见表 E.1。

表 E.1 (8~14) μm 辐射温度计不同温度示值和环境温度下的 Δt_{SSE} ℃

$t_b \backslash t$	-50	-20	0	20	50	100	200	400	600	1 000
15	-0.435	-0.169	-0.062	0.019	0.115	0.247	0.488	1.005	1.584	2.866
20	-0.486	-0.200	-0.086	0.000	0.101	0.237	0.481	1.000	1.580	2.862
25	-0.539	-0.232	-0.110	-0.020	0.086	0.226	0.474	0.995	1.576	2.858

检定记录及数据处理表参考格式见表 F.1。其中未包括窗口误差和重复性等测量内容。

表 F.1 辐射温度计检定记录

[illegible]

附录 G

检定数据处理举例

G.1 标准器：精密铂电阻温度计与黑体辐射源的组合

采用发射率 0.998 的黑体辐射源和精密铂电阻温度计，检定显示分辨力 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、光谱范围 $(7\sim 18)\text{ }\mu\text{m}$ 的辐射温度计，发射率设定置于 1.00；检定距离 0.9 m ，环境温度 $20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；在检定点 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，已知黑体辐射源靶面的有效辐射区域的表面温度与精密铂电阻温度计测量点的温度差约 $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，参考温度计两次读数平均值 $138.691\text{ }\Omega$ ，被检温度计两次读数平均值 $100.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，计算检定点处被检温度计的固有误差。已知：精密铂电阻温度计证书值： $R_{100.00\text{ }^{\circ}\text{C}}=138.502\text{ }\Omega$ ， $dR/dt|_{t=100\text{ }^{\circ}\text{C}}=0.379\text{ }\Omega/^{\circ}\text{C}$ 。

G.1.1 根据式 (3) 计算 Δt_s

$$\Delta t_s = \frac{\frac{1}{2}(R_{s1} + R_{s2}) - R_{SN}}{dR_s/dt} = \frac{138.691 - 138.502}{0.379} = 0.50\text{ }^{\circ}\text{C}$$

G.1.2 计算 Δt_T

$$\Delta t_T = \frac{1}{2}(t_{T1} + t_{T2}) - t_N = 100.6 - 100 = 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$$

G.1.3 计算 Δt_{Te}

按照附录 C.2.2 得出 $\Delta t_{Te} = -0.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

G.1.4 Δt_{TS}

被检温度计瞄准区域与参考温度计测温区域之间的温度差 $\Delta t_{TS} = -0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

G.1.5 计算 Δt

按照公式 (7) 计算固有误差， $\Delta t = (0.6 - 0.5) - (-0.2) - (-0.12) = 0.42\text{ }^{\circ}\text{C} \approx 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

G.2 标准器：标准光电高温计与黑体辐射源的组合

采用有效波长 $0.66\text{ }\mu\text{m}$ 的标准光电高温计和发射率 0.996 的黑体辐射源，检定显示分辨力 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、中心波长 $0.9\text{ }\mu\text{m}$ 的辐射温度计；检定时，发射率设定置于 1.00，测量距离 1.0 m ，环境温度 $23.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在 $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 检定点，标准温度计两次读数平均值为 $1398.62\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，被检温度计两次读数平均值为 $1396\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，计算检定点处被检温度计的固有误差。已知标准光电高温计证书值：在 $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的示值为 $1400.43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

G.2.1 根据式 (2) 计算 Δt_s

$$\Delta t_s = \frac{1}{2}(t_{s1} + t_{s2}) - t_{SN} = 1398.62 - 1400.43 = -1.81\text{ }^{\circ}\text{C}$$

G.2.2 计算 Δt_T

$$\Delta t_T = \frac{1}{2}(t_{T1} + t_{T2}) - t_N = 1396 - 1400 = -4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

G.2.3 计算 Δt_{Te}

按照附录 C.2.2 得出 $\Delta t_{Te} = -0.70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

G.2.4 计算 Δt_{Se}

按照附录 C.2.1 得出 $\Delta t_{\text{Se}} = -0.51\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

G.2.5 计算 Δt

按照公式 (7) 计算固有误差, $\Delta t = [-4.0 - (-1.81)] - [-0.70 - (-0.51)] = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

G.3 标准器: 参考黑体辐射源

采用经校准赋予 $(8\sim 14)\text{ }\mu\text{m}$ 亮度温度量值的黑体辐射源作为标准, 检定显示分辨力 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、光谱范围 $(8\sim 14)\text{ }\mu\text{m}$ 的辐射温度计; 检定时, 发射率设定置于 1.00, 测量距离 0.4 m , 环境温度 $21.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 检定点, 辐射源所带温度计两次读数平均值 $401.00\text{ }^{\circ}\text{C}$, 被检温度计两次读数平均值 $397.55\text{ }^{\circ}\text{C}$, 计算检定点处被检温度计的固有误差。已知辐射源证书值: 辐射源温度计示值为 $400.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 所对应的亮度温度为 $397.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

G.3.1 根据式 (4) 计算 Δt_{S}

$$\Delta t_{\text{S}} = (t_{\text{SN}} - t_{\text{N}}) + \left[\frac{1}{2}(t_{\text{SI1}} + t_{\text{SI2}}) - t_{\text{SIN}} \right] = (397.3 - 400.0) + (401.0 - 400.2) = -1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

G.3.2 计算 Δt_{T}

$$\Delta t_{\text{T}} = \frac{1}{2}(t_{\text{T1}} + t_{\text{T2}}) - t_{\text{N}} = 397.55 - 400 = -2.45\text{ }^{\circ}\text{C}$$

G.3.3 计算 Δt

按照公式 (7) 计算固有误差, $\Delta t = [-2.45 - (-1.9)] - 0 = -0.55\text{ }^{\circ}\text{C} \approx -0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

附录 H

检定证书/检定结果通知书参考格式

H.1 检定证书/检定结果通知书第 2 页参见 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》的附录 G。

H.2 检定证书检定结果页

证书编号 ××××××—××××

检 定 结 果

外观					
光学系统					
绝缘电阻 MΩ					
标准温度 ℃	温度计示值 示值单位	固有误差 ℃	检定距离 m	辐射源直径 mm	辐射源类型
重复性实验温度点/℃			重复性/℃		

说明：

1. 被检辐射温度计的光谱范围：_____；
2. 下次送检请带此证书（或复印件）。

以下空白

H.3 检定结果通知书检定结果页

证书编号 ××××××—××××

检 定 结 果

外观					
光学系统					
绝缘电阻 MΩ					
标准温度 ℃	温度计示值 示值单位	固有误差 ℃	检定距离 m	辐射源直径 mm	辐射源类型
重复性实验温度点/℃			重复性/℃		

说明:

1. 被检辐射温度计的光谱范围: _____;
2. 说明检定结果不符合项;
3. 下次送检请带此证书(或复印件)。

以下空白

附录 J

固有误差不确定度评定示例

J.1 固有误差不确定度分析

J.1.1 固有误差为被检温度计测量理想黑体示值与理想黑体温度的差,按本规程检定计算方法,根据式(7)、式(C.2)和式(D.5),测量模型为:

$$\Delta t = (\Delta t_T - \Delta t_S) - \Delta t_{TS} - (\Delta t_{Te} - \Delta t_{Se}) - (\Delta t_{TW} - \Delta t_{SW}) \quad (\text{J.1})$$

式中:

Δt ——被检温度计在检定点 t_N 处的固有误差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_T ——被检温度计读数 t_T 相对于检定点 t_N 的温度偏差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_S ——辐射源校准量(通常为亮度温度) t_S 相对于检定点 t_N 的偏差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_{Te} ——辐射源发射率偏离 1 引入的被检温度计示值误差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_{Se} ——以参考辐射源校准量或参考温度计示值表示的辐射源实际温度因辐射源发射率偏离 1 引入的误差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_{TS} ——被检温度计瞄准区域与参考温度计测温区域之间的温度差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_{TW} ——高温黑体辐射源窗口引入的被检温度计窗口误差, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_{SW} ——高温黑体辐射源窗口引入的参考辐射温度计窗口误差, $^{\circ}\text{C}$ 。

J.1.2 固有误差的测量不确定度来自计量标准装置、被检温度计和检定操作三个方面:

(1) 计量标准装置,包括标准器自身示值和辐射源特性的影响两方面,对应于式(J.2)中的 $u(\Delta t_S)$ 、 $u(\Delta t_{TS})$ 、 $u(\Delta t_{Te}) - u(\Delta t_{Se})$ 和 $u(\Delta t_{TW}) - u(\Delta t_{SW})$ 。

量值溯源(校准不确定度与长期稳定性);

测量(重复性、分辨力、辅助仪表);

辐射源控温复现性或短期稳定性;

辐射源温度均匀性,包括标准器测量点(或目标)与被检温度计目标之间的温差;

辐射源发射率和环境温度影响修正;

辐射源窗口影响修正。

(2) 被检温度计特性

测量(重复性、分辨力、辅助仪表);

光谱范围的不确定性对有关修正的影响,忽略。

(3) 检定操作过程

参考辐射温度计(若使用)与被检温度计的瞄准;

数据处理中的简化与舍入。

J.1.3 灵敏系数及合成标准不确定度

式(J.1)为温差的代数和公式,且等号右侧各项的系数绝对值均为 1,因此与之对应的温度不确定度分量的灵敏系数的绝对值也为 1。影响固有误差的不确定度因素

中,同一辐射源发射率对参考辐射温度计与被检温度计示值的影响,同一窗口的吸收对参考辐射温度计和被检温度计的影响,应按照完全相关的分量处理,分别采用算术相减合成方法;此后,各不相关分量依据不确定度传播率计算合成标准不确定度:

$$u^2(\Delta t) = u^2(\Delta t_S) + u^2(\Delta t_{TS}) + [u(\Delta t_{Te}) - u(\Delta t_{Se})]^2 + [u(\Delta t_{Tw}) - u(\Delta t_{Sw})]^2 + u^2(\Delta t_T) + u^2(\Delta t_{OP}) \quad (J.2)$$

式中:

$u(\Delta t_{OP})$ ——检定操作和测量条件影响等引入的标准不确定度,℃。

J.2 不确定度评定实例

给出三个典型的实例:(1)以宽波段光谱范围的辐射温度计为参考温度计,检定相同波段范围的被检温度计;(2)以接触式标准温度计为参考温度计,检定宽波段辐射温度计;(3)以窄波段辐射温度计为参考温度计检定不同波段的辐射温度计。

J.2.1 例1:以光谱范围(8~14) μm、分辨力0.01℃辐射温度计作为参考温度计,使用发射率 0.97 ± 0.02 辐射面直径100 mm的面辐射源;被检温度计的光谱范围(8~14) μm、温度分辨力0.1℃,准确度 $\pm(1\%t + 0.2℃)$,检定距离0.9 m,相应的目标直径为23 mm。计算在200℃的检定结果——固有误差的不确定度。

J.2.1.1 影响固有误差的不确定度来源为:

(1) 计量标准——参考辐射温度计与黑体辐射源引入的不确定度,包括的分量为:

参考辐射温度计校准不确定度 u_1 ;

参考辐射温度计在校准周期内的稳定性影响 u_2 ;

参考辐射温度计分辨力影响,忽略;

测量辐射源温度的重复性 u_3 ;

辐射源短期稳定性 u_4 ;

辐射源均匀性对瞄准的影响 $u(\Delta t_{TS})$ 记为 u_5 ;

辐射源发射率修正的不确定度对固有误差的影响不确定度 $u(\Delta t_{Ve})$,因参考与被检温度计的名义波段相同, $\Delta t_{Ve} = 0℃$, $u_6 = u(\Delta t_{Ve}) = u(\Delta t_{Te}) - u(\Delta t_{Se}) = 0℃$;

辐射源窗口吸收对标准辐射温度计与被检温度计的影响引入的不确定度 $u(\Delta t_w)$ 。由于没有窗口, $u(\Delta t_w) = u(\Delta t_{Tw}) - u(\Delta t_{Sw}) = 0℃$ 。

(2) 被检温度计引入的不确定度 $u(\Delta t_T)$ 包括的分量为:

测量重复性 u_7 ;

分辨力 u_8 。

(3) 检定操作引入的标准不确定度 $u(\Delta t_{OP})$ 的分量为:

瞄准的影响,包含在 u_4 中;

检定数据修约 u_9 。

J.2.1.2 各不确定度分量的数值见表J.1。

表 J.1 固有误差的不确定度分量表

序号	不确定度来源	类别	数值	分布	k	灵敏系数 c_i	$ c_i u_i$ ℃
1	参考温度计	校准不确定度 u_1	0.3 ℃	正态	2	-1	0.15
2		校准周期内的稳定性 u_2	0.2 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	-1	0.12
3		测温重复性 u_3	0.03 ℃	正态	1	-1	0.03
4	黑体辐射源	短期稳定性 u_4	0.2 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.06
5		均匀性对瞄准的影响 u_5	0.2 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.12
6		发射率修正对确定固有误差的影响 u_6	0.005	均匀	$\sqrt{3}$	0 ℃	0.0
7	被检温度计	测量重复性 u_7	0.05 ℃	正态	1	1	0.05
8		分辨力 u_8	0.1 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.03
9	检定操作	数据修约 u_9	0.05 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.03

由于各分量不相关,合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^9 u_i^2} = 0.25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

扩展不确定度为:

$$U = 2 \cdot u_c = 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

J.2.2 例2:采用精密铂电阻温度计作为参考温度计,黑体空腔辐射源的发射率 0.995 ± 0.003 ,辐射面有效直径 65 mm;被检温度计的光谱范围 $(8 \sim 14) \mu\text{m}$ 、温度分辨力 $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$,最大允许误差为 $\pm 1\%t$, t 为温度测量值,检定距离 1.15 m,相应的目标直径为 40 mm。检定时被检温度计的发射率设置在 1.00,环境温度 $23.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。计算在 $400 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的检定结果——固有误差的不确定度。

J.2.2.1 影响固有误差的不确定度主要来源:

(1) 计量标准——参考温度计与黑体辐射源引入的不确定度 $u(\Delta t_s)$,包括的分量为:

精密铂电阻温度计校准不确定度 u_1 ;

精密铂电阻温度计在校准周期内的稳定性影响 u_2 ;

测量辐射源温度的重复性 u_3 ;

辐射源短期稳定性 u_4 ;

辐射源有效辐射面温度均匀性和精密铂电阻温度计测量点与辐射源有效辐射面温度不一致的不确定性的影响 u_5 ;

辐射源发射率修正的不确定度对固有误差的影响的不确定度 $u(\Delta t_{ve})$,即 u_6 。

(2) 被检温度计引入的不确定度 $u(\Delta t_T)$ 包括的分量为:

测量重复性 u_7 ;

分辨力 u_8 ;

环境温度影响,忽略。

(3) 检定操作引入的标准不确定度 $u(\Delta t_{OP})$ 的分量为:

瞄准的影响,包含在 u_4 中;

检定数据修约 u_9 。

J.2.2.2 各不确定度分量的数值见表 J.2。

表 J.2 固有误差的不确定度分量

序号	不确定度来源	类别	数值	分布	k	灵敏系数	u_i ℃
1	参考温度计	校准不确定度 u_1	0.4 ℃	正态	2	-1	0.2
2		校准周期内的稳定性 u_2	0.2 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	-1	0.12
3		测温重复性 u_3	0.03 ℃	正态	1	-1	0.03
4	黑体辐射源	短期稳定性 u_4	0.4 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.23
5		均匀性对瞄准的影响 u_5	0.6 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.35
6		发射率修正对确定固有误差的影响 u_6	0.003	均匀	$\sqrt{3}$	262 ℃	0.45
7	被检温度计	测量重复性 u_7	0.05 ℃	正态	1	1	0.05
8		分辨力 u_8	0.1 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.03
9	检定操作	数据修约 u_9	0.05 ℃	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.03

由于各分量不相关,合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^9 u_i^2} = 0.66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

扩展不确定度为:

$$U = 2u_c = 1.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

J.2.3 例3:以中心波长 $0.660 \mu\text{m}$ 、显示分辨力 $0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的标准光电高温计作参考温度计,其光谱发射率设定值设为 1.000,测量距离 1.5 m 时的目标直径为 3 mm;黑体辐射源的圆柱-圆锥黑体空腔直径为 50 mm,发射率 0.995 ± 0.005 ;被检温度计的中心波长 $0.9 \mu\text{m}$,测量范围 (600~3 000) $^\circ\text{C}$,准确度等级 0.5 级,温度分辨力 $1 \text{ } ^\circ\text{C}$,检定距离 1.5 m 时的目标直径为 8 mm;检定选用直径 50 mm 黑体辐射源。计算在 1 500 $^\circ\text{C}$ 的检定结果——固有误差的不确定度。

J.2.3.1 影响固有误差的不确定度来源为:

(1) 计量标准——标准光电高温计与黑体辐射源引入的不确定度 $u(\Delta t_s)$ 包括的分量为:

参考温度计——标准光电高温计检定不确定度(或校准不确定度及在校准周期内的稳定性) u_1 ;

参考辐射温度计分辨力影响,忽略;

测量辐射源温度的重复性 u_2 ;

辐射源短期稳定性 u_3 ;

辐射源均匀性对瞄准的影响 u_4 ;

辐射源发射率修正的不确定度对固有误差的影响不确定度 $u(\Delta t_{V_e})$ 包括的分量为:

辐射源发射率不确定度 $[u(\epsilon) = 0.005/\sqrt{3}]$ 对参考温度计的影响 $u_{5,1} = 0.42\text{ }^{\circ}\text{C}$;

被检温度计的中心波长为 $0.9\text{ }\mu\text{m}$, 辐射源发射率不确定度 $[u(\epsilon) = 0.005/\sqrt{3}]$ 对被检温度计的影响 $u_{5,2} = 0.57\text{ }^{\circ}\text{C}$;

两者以代数和方式合成, $u_5 = u(\Delta t_{V_e}) = 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$;

辐射源窗口吸收对标准辐射温度计与被检温度计的影响引入的不确定度 $u(\Delta t_w)$ 。由于没有窗口, $\Delta t_w = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $u(\Delta t_w) = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 被检温度计引入的不确定度 $u(\Delta t_T)$ 包括的分量为:

测量重复性 u_6 ;

分辨力 u_7 。

(3) 检定操作引入的标准不确定度 $u(\Delta t_{OP})$ 的分量为:

瞄准的影响, 包含在 u_3 中;

检定数据修约 u_8 。

J.2.3.2 各不确定度分量的数值见表 J.3。

表 J.3 固有误差的不确定度分量表

序号	不确定度来源		类别	量值	分布	k	灵敏系数	u_i $^{\circ}\text{C}$
1	参考温度计	检定不确定度 u_1	B	$0.70\text{ }^{\circ}\text{C}$	正态	2	-1	0.35
2		测温重复性 u_2	A	$0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$	正态	1	-1	0.01
3	黑体辐射源	短期稳定性 u_3	B	$0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.29
4		均匀性对瞄准的影响 u_4	B	$1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	均匀	1	1	0.87
5		发射率修正偏离对被检温度计的影响 u_5	B	0.005	均匀	$\sqrt{3}$	$54\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.15
6	被检温度计	测量重复性 u_6	A	$0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$	正态	1	1	0.4
7		分辨力 u_7	B	$1\text{ }^{\circ}\text{C}$	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.29
8	检定操作	数据修约 u_8	B	$0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.29

由于各分量不相关, 合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^8 u_i^2} = 1.15\text{ }^{\circ}\text{C}$$

扩展不确定度为:

$$U = 2 \cdot u_c = 2.3\text{ }^{\circ}\text{C} \approx 3\text{ }^{\circ}\text{C}$$