



江苏省地方计量技术规范

JJF（苏）149—2024

黑体辐射源校准规范

Calibration Specification for Blackbody Radiation Sources

2024-03-26发布

2024-05-01 实施

江苏省市场监督管理局 发布

黑体辐射源校准规范

Calibration Specification of Blackbody

Radiation Sources

JJF (苏) 149-2024
代替 JJF (苏) 149-2013

本规范经江苏省市场监督管理局于 2024 年 03 月 26 日批准, 并自 2024 年 05 月 01 日起施行。

归 口 单 位: 江苏省市场监督管理局

主要起草单位: 江苏省计量科学研究院

参加起草单位: 广州东部科技有限公司

本规范由江苏省热工计量专业技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

栾海峰（江苏省计量科学研究院）

刘虎生（江苏省计量科学研究院）

伊露璐（江苏省计量科学研究院）

参加起草人：

黄铭培（广州东部科技有限公司）

王征（江苏省计量科学研究院）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 术语.....	(1)
3.2 计量单位.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 孔内温度.....	(2)
5.2 辐射温度.....	(2)
5.3 温度稳定性.....	(2)
5.4 温度均匀性.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 测量标准及其他设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准、检查项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(4)
7.3 数据处理.....	(5)
8 校准结果表达.....	(6)
9 建议复校的时间间隔.....	(6)
附录 A 校准原始记录参考格式.....	(7)
附录 B 校准证书内页参考格式.....	(9)
附录 C 黑体辐射源孔内温度不确定度评定示例.....	(10)
附录 D 黑体辐射源辐射温度不确定度评定示例.....	(16)
附录 E 有效辐射面直径的确认方法.....	(19)

引 言

黑体辐射源是一种利用辐射传热学原理,提供发射率接近于 1.00 的辐射温度的设备,是检定和校准辐射温度计的主要设备之一,并被广泛应用于各类生产、检测、科研现场。

本规范依据 JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》起草,其中主要参考了 JJF 1552-2015 《辐射测温用-10℃~200℃黑体辐射源校准规范》、JJG 856-2015 《工作用辐射温度计检定规程》两本规程规范,测量结果不确定度的评定依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行。

本规范替代 JJF (苏) 149-2013 《黑体辐射源校准规范》。与 JJF (苏) 149-2013 《黑体辐射源校准规范》相比,主要内容变化如下:

- 适用范围进行了扩展;
- 更新并增加了引用文件;
- 修改了部分已有术语的定义 (3.1);
- 调整了温度稳定性的计量特性要求 (5.3);
- 增加了温度均匀性的计量特性要求 (5.4);
- 调整了相对湿度的要求 (6.1);
- 调整了对校准温度点选择的要求 (7.2.2);
- 调整了孔内温度校准时的偏离要求 (7.2.4);
- 修改了温度稳定性的表述和计算方法 (7.2.6、7.3.3);
- 增加了温度均匀性的校准和计算方法 (7.2.7、7.3.4);
- 增加了原始记录参考格式 (附录 A);
- 根据修改后的内容,调整了校准证书内页格式 (附录 B);
- 增加了辐射温度不确定度评定示例 (附录 D);
- 增加了有效辐射面直径的确认方法 (附录 E)。

本规范的历次版本发布情况:

- JJF (苏) 149-2013 《黑体辐射源校准规范》。

黑体辐射源校准规范

1 范围

本规范适用于温度范围为 $(-50\sim 3000)$ ℃的黑体辐射源等设备的校准，如黑体炉、面辐射源、热管黑体等类型的设备可参考本规范。

2 引用文件

本规范的编制参考下列文件：

JJG 856-2015 《工作用辐射温度计》

JJF 1552-2015 《辐射测温用 $-10^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 黑体辐射源》

凡是注明日期的引用文件，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 术语

3.1.1 黑体辐射源 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标称发射率且热辐射特性接近于黑体的凹形装置，亦称黑体炉、人工黑体或模拟黑体。[来源：JJG 856-2015，3.1.6]

3.1.2 测试孔内等效温度 effective temperature in cable prot

在稳定状态下，使用接触式温度计（如热电阻、热电偶等）测量的黑体辐射源测试孔内的与辐射温度相对应的等效温度值（以下简称孔内温度）。

3.1.3 辐射温度 radiation temperature

热辐射体与黑体在某一相同波长范围内的有效辐射亮度相等时，称黑体的温度为热辐射体的辐射温度。[来源：JJF 1007-2007，5.23]

3.1.4 温度稳定性 temperature stability

在正常工作状态下，规定时间间隔内黑体辐射源空腔底部辐射温度变化的最大值。

[来源：JJF 1552-2015，5.2]

3.1.5 温度均匀性 temperature uniformity

黑体辐射源有效辐射区域内各点相对于中心点的温差。

[来源：JJG 856-2015，3.1.10]

3.2 计量单位

计量单位为摄氏度（℃）。

4 概述

工作在 $(-50\sim 3000)$ ℃温度范围的黑体辐射源主要用于光电高温计、辐射温度计、红外测温仪、红外探头、红外热像仪等利用红外原理测温的仪器的检定、校准、测试工作。

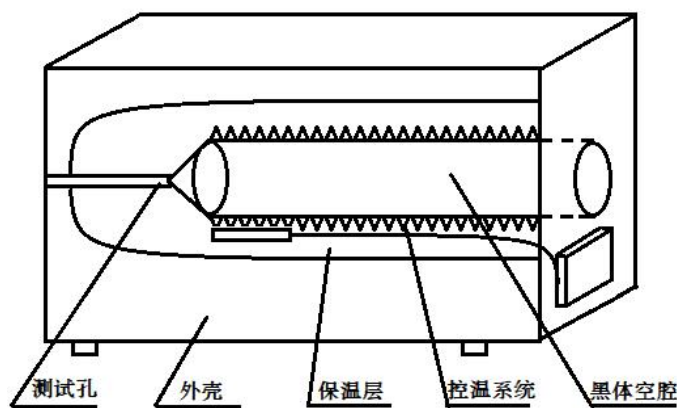


图1 黑体辐射源结构示意图

如图1所示，黑体辐射源主要由黑体空腔、控温系统、保温层及外壳等组成。常见的黑体空腔形状有圆柱形、圆锥形、球形等形状；控温传感器一般是热电阻温度计、热电偶温度计或辐射温度计。

5 计量特性

5.1 孔内温度

黑体辐射源的孔内温度在实验室条件下确定，其技术指标根据该设备出厂技术指标或使用单位的试验要求确定。

5.2 辐射温度

黑体辐射源的辐射温度在实验室条件下确定，其技术指标根据该设备出厂技术指标或使用单位的试验要求确定。

5.3 温度稳定性

在测试时间内，温度波动达到的最高温度值和最低温度值的差值。测量时间为10min，不大于 0.1°C 或 $0.1\%t$ 的大者。

5.4 温度均匀性

在偏离中心点规定距离的上、下、左、右处测得的辐射温度值和中心点测得值的差值。黑体辐射源的温度均匀性不大于 0.15°C 或 $0.15\%t$ 的大者。

注：1、 t 为黑体辐射源的辐射温度，℃。

2、以上指标要求不用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度：(18~25)℃；湿度：不大于 85%RH。

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黑体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产生不可忽略的影响。

6.2 测量标准及其他设备

校准黑体辐射源所需的测量标准及配套设备从表 1 中参考选择，选用原则：校准时，由标准器及配套设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校辐射源最大允许误差绝对值的 1/3。

表 1 测量标准及配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求	备注
1	铂电阻温度计	二等标准或 AA 级铂电阻温度计	测量孔内温度的标准器
2	标准铂铑 ₁₀ -铂热电偶	二等	
3	标准铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶	二等	
4	辐射温度计	发射率：可调至 1.00 不确定度 ($k=2$): (-50~100)℃: $\leq 0.5^\circ\text{C}$ (100~3000)℃: $\leq 0.3\% \cdot \text{温度示值}$	测量辐射温度的标准器
5	电测设备	准确度等级不低于 0.01 级	
6	零度恒温器	MPE: $\pm 0.1^\circ\text{C}$	0℃时
7	测量支架	可调节上下高度和左右位置	

注：标准器和配套设备可选择更高等级或满足技术要求的其他仪器。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准、检查项目

a)检查项目：外观；

b)校准项目：孔内温度、辐射温度、温度稳定性、温度均匀性。

7.2 校准方法

校准前准备：辐射温度计及其他电测仪器按照相应的预热时间要求通电预热。

7.2.1 外观检查

目测检查，黑体辐射源应符合以下要求：

a) 辐射源的外壳、控温部件、加热部件、保温部件、按键、电器连接件等不应有影响测量的缺陷，结构合理，装配可靠；

b) 辐射面、腔体内表面涂料均匀，氧化膜无明显剥落，表面无划痕；无锈蚀、漏电等异常现象；

c) 铭牌上应标有产品的名称、型号规格、测量范围、制造厂或商标、出厂编号、制造年月等信息。

7.2.2 校准温度点的选择

校准温度点选择温度使用范围内均匀分布的温度点，一般不少于 5 个点，要求包括设备使用范围的上、下限和中间点，也可根据用户要求选择实际常用的温度点，一般为整百或整五十摄氏度。

7.2.3 校准的位置

黑体辐射源的测试孔一般开在靶面后，也有的开在前面板上，对于接触式的标准器（热电阻、热电偶）要插入测试孔底部，使其充分接触，如条件允许建议使用棉花或高温棉堵口；非接触式标准器（辐射温度计）的检测距离参照该辐射温度计的技术说明书或溯源证书确定，辐射温度计的探测器镜头中心应与黑体辐射源的靶面中心在同一光学轴线上，并且在测量过程中保持稳定。

7.2.4 孔内温度的校准

对黑体辐射源的测量一般从低温到高温进行，在每一个校准温度点，待黑体辐射源温度稳定后，进行不少于 4 次的连续读数。测量时，同时记录下标准器的测量值和被测黑体辐射源的面板显示值。

注：如黑体辐射源无测试孔，可不进行此项校准；

校准温度点 $\leq 1000^{\circ}\text{C}$ 时，标准器孔内温度偏离校准点的温度不得大于 5°C ；

校准温度点 $> 1000^{\circ}\text{C}$ 时，标准器孔内温度偏离校准点的温度不得大于 10°C 。

7.2.5 辐射温度的校准

辐射温度的校准采用标准辐射温度计或标准光电高温计等非接触测量仪器进行，在每一个校准温度点，待黑体辐射源温度稳定后，进行不少于 4 次的连续读数。测量时，同时记录下辐射温度计的波长和测量值和被测黑体辐射源的面板显示值。

注：对于具有有效发射率调整功能的辐射源，在校准时需将发射率调为 1.00。如有特殊要求，可调整辐射温度计的发射率进行测量，但需在结果页中注明。

7.2.6 温度稳定性的校准

温度稳定性的校准和孔内温度或辐射温度的校准同时进行，一般选择黑体辐射源温度范

围内的上、下限与中间点附近的整 50℃ 点进行测量,也可根据客户要求在某些特殊温度点进行稳定性测量。测量时,稳定时间可根据仪器说明书或客户要求设定,如客户未要求或说明书未给出,则一般待黑体辐射源达到设定温度并稳定 30min 后,开始进行 10min 的温度稳定性测量,每隔 1min 读取一次标准器的值共 10 次。读取的温度数值中,最大值与最小值之差即为黑体辐射源的温度稳定性。

7.2.7 温度均匀性的校准

温度均匀性的校准需使用配有测量支架的辐射温度计进行测量,可与孔内温度或辐射温度的校准同时进行。一般在选择温度范围内的上、下限与中间点附近的整 50℃ 点进行测量,测量位置可选择黑体辐射源空腔底部的中部、上部、下部、左部和右部五个位置,也可根据客户要求在某些特殊温度点或位置进行均匀性测量。

测量时,调整辐射温度计方位,使辐射温度计与黑体辐射源同轴,此时瞄准黑体辐射源的中心位置,测量顺序按中→上、中→左、中→右、中→下顺序测量。每个位置测量 3 次,不同位置的 3 次测量平均值与中心位置的平均值的差值为温度均匀性。

注:黑体辐射源炉口直径 < 30mm 时,上下左右各位置偏离中心的距离为 5mm,
黑体辐射源炉口直径 ≥ 30mm 时,上下左右各位置偏离中心的距离为 10mm。

7.3 数据处理

7.3.1 孔内温度的计算

$$t_s = \bar{t}_b + \Delta t_s \quad (1)$$

式中: t_s ——在该校准温度点的孔内温度,℃;

\bar{t}_b ——标准器在校准温度点上读取的温度平均值,℃;

Δt_s ——根据证书,标准器在该校准温度点的修正值,℃。

注:测量数据如为电测信号,需根据相关规程或规范将其换算成温度值。

7.3.2 辐射温度的计算

$$t_f = \bar{t}_c + \Delta t_f \quad (2)$$

式中: t_f ——在该校准温度点上的辐射温度,℃;

\bar{t}_c ——辐射温度计在校准温度点上读取的温度平均值,℃;

Δt_f ——根据证书,辐射温度计在该校准温度点的修正值,℃。

7.3.3 温度稳定性的计算

$$\Delta t_w = t_{\max} - t_{\min} \quad (3)$$

式中: Δt_w ——温度稳定性,℃/10min ;

t_{\max} ——10 次测量中的最高温度,℃;

t_{\min} ——10 次测量中的最低温度，℃。

7.3.4 温度均匀性的计算

$$\Delta t_{ji} = \bar{t}_{ci} - \bar{t}_{zi} \quad (4)$$

式中： Δt_{ji} ——各点温度与中心温度之差，℃；

\bar{t}_{ci} ——黑体辐射源不同位置的温度测量平均值，℃；

\bar{t}_{zi} ——黑体辐射源中心位置辐射温度的平均值，℃。

注：i=1、2、3、4，分别代表上部、左部、右部、下部。

8 校准结果表达

经校准的黑体辐射源出具校准证书。校准证书应给出：孔内温度、辐射温度、温度稳定性、温度均匀性及校准结果的扩展不确定度。

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用性有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用性有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 建议复校的时间间隔

黑体辐射源的复校时间间隔可根据使用环境条件、频繁程度和重要性由送校单位自主决定，建议复校的时间间隔为 1 年。

附录 A

校准原始记录参考格式

记录编号			校准日期		
客户名称			地址		
器具名称		型号规格		设备编号	
制造厂		出厂编号		校准地点	
环境温度	℃	环境相对湿度	%RH	校准依据	

一、检测条件：

测量范围		测量距离		炉口直径	
------	--	------	--	------	--

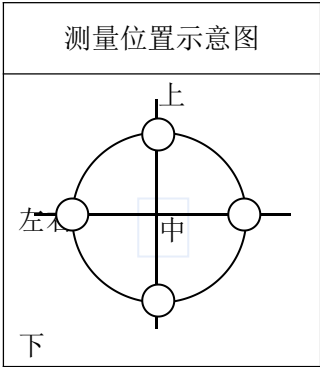
二、校准数据：

校准点/℃	辐射源显示值/℃	孔内温度/℃				平均值/℃	测量不确定度 U/℃ (k=2)
校准点/℃	辐射源显示值/℃	辐射温度/℃				平均值/℃	测量不确定度 U/℃ (k=2)

三、温度稳定性

校准点/℃	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	温度稳定性 (℃/10min)

四、温度均匀性



校准点：（）℃	1	2	3	4	平均值 /℃	温度均匀 性/℃	距离中心点 位置/mm
中心						——	——
上部							
左部							
右部							
下部							
校准点：（）℃	1	2	3	4	平均值 /℃	温度均匀 性/℃	距离中心点 位置/mm
中心						——	——
上部							
左部							
右部							
下部							
校准点：（）℃	1	2	3	4	平均值 /℃	温度均匀 性/℃	距离中心点 位置/mm
中心						——	——
上部							
左部							
右部							
下部							

主要计量 器具	名称/编号	测量范围	准确度等级/最大允 许误差/不确定度	证书编号/有效期	使用状态
					<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常
					<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常
					<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常
测量结果不确定度 (U) (k=)		引用于	<input type="checkbox"/> 技术报告 <input type="checkbox"/> 不确定度评定文件 <input type="checkbox"/> 其他		

☐校准 结论：建议校准周期年

CNAS 认可：☐ 是 ☐ 否

检/校人员核验人员

附录 B

校准证书内页参考格式

证书编号：

黑体辐射源编号：

一、校准条件：

1.测量范围：		2.测量距离：		3.炉口直径：	
---------	--	---------	--	---------	--

二、校准结果：

校准点/℃	辐射源 显示值/℃	孔内温度/℃	测量不确定 度/℃ ($k=2$)	辐射温度/℃	测量不确定 度/℃ ($k=2$)

三、温度稳定性：

校准点（℃）	温度稳定性（℃/10min）

四、温度均匀性：

测量位置示意图	位置	温度均匀性/℃	距离/mm
	中→上		
	中→左		
	中→右		
	中→下		

附录
C
黑

体辐射源孔内温度不确定度评定示例

C.1 概述

设置黑体辐射源在所需的校准温度，待黑体辐射源温度稳定后，用数字多用表测量标准的电信号。根据所使用的标准器的不同，在 $(-50\sim 300)^\circ\text{C}$ 、 $(300\sim 1000)^\circ\text{C}$ 、 $(1000\sim 3000)^\circ\text{C}$ 这三个温度段，分别以显示分辨力为 0.01°C 的黑体辐射源在校准点 100°C 、显示分辨力为 0.1°C 的黑体辐射源在校准点 600°C 、显示分辨力为 1°C 的黑体辐射源在校准点 1200°C 的测量为例，分析其测量不确定度。

C.2 数学模型

$$t_s = \bar{t}_b + \Delta t_s$$

式中： t_s ——在该校准温度点的孔内温度， $^\circ\text{C}$ ；

\bar{t}_b ——标准器在校准温度点上读取的温度平均值， $^\circ\text{C}$ ；

Δt_s ——根据证书，标准器在该校准温度点的修正值， $^\circ\text{C}$ 。

C.3 方差与灵敏系数

式(1)中 \bar{t}_b ， Δt_s 互为独立，因而得

$$c_1 = \frac{\partial t_s}{\partial \bar{t}_b} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial t_s}{\partial \Delta t_s} = 1$$

$$u_c^2 = u^2(\bar{t}_b) + u^2(\Delta t_s)$$

C.4 不确定度来源及分析

C.4.1 以显示分辨力为 0.01°C 的黑体辐射源在校准点 100°C 为例

C.4.1.1 标准器引入的不确定度分量

根据标准铂电阻温度计检定证书，在 $(-200\sim 419.527)^\circ\text{C}$ 的扩展不确定度为 0.02°C ， $k=2$ ，服从正态分布，标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.02}{2} = 0.01 \quad (^\circ\text{C})$$

在 100°C 进行4次重复测量，其温度测量值分别为：99.97，99.98，99.95，99.93 $(^\circ\text{C})$ ，按照极差法计算重复测量引入的不确定度计算，服从正态分布，则：

$$u_2 = \frac{0.05}{2.06 \times \sqrt{4}} = 0.02 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

使用电测设备进行电阻测量，其年稳定性为 $\pm(0.005\% \times \text{读数} + 0.0035\% \times \text{量程})$ ，对标准铂电阻温度计，在 100°C 电阻约为 139.355Ω ，电阻变化率为 $0.387\Omega/^\circ\text{C}$ ，服从均匀分布，则电测设备引入的不确定度为：

$$u_3 = \frac{139.355 \times 0.005\% + 200 \times 0.0035\%}{0.387 \times \sqrt{3}} = 0.02 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.4.1.2 黑体辐射源引入的测量不确定度分量

黑体辐射源的分辨力为 0.01°C ，取半宽为 0.005°C ，服从均匀分布，则：

$$u_4 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

黑体辐射源稳定时温度波动为 $0.1^\circ\text{C}/10\text{min}$ ，取半宽 0.05°C ，服从均匀分布，则：

$$u_5 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.4.2 以显示分辨力为 0.1°C 的黑体辐射源在校准点 600°C 为例

C.4.2.1 标准器引入的不确定度分量

根据一等标准铂铑 10-铂热电偶的系统溯源图，其扩展不确定度为 0.6°C ， $k=3$ ，服从正态分布，标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.6}{3} = 0.20 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

在 600°C 进行 4 次重复测量，其温度测量值分别为：599.5, 599.9, 599.8, 599.4 ($^\circ\text{C}$)，按照极差法计算重复测量引入的不确定度计算，服从正态分布，则：

$$u_2 = \frac{0.5}{2.06 \times \sqrt{4}} = 0.12 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

使用电测设备进行电势测量，其年稳定性为 $\pm(0.005\% \times \text{读数} + 0.0035\% \times \text{量程})$ ，对标准铂铑 10-铂热电偶，在 600°C 电势约为 5.239mV ，微分电势为 $10.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ，服从均匀分

布，则电测设备引入的不确定度为：

$$u_3 = \frac{5.239 \times 0.005\% + 100 \times 0.0035\%}{0.0102 \times \sqrt{3}} = 0.22 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

用零度恒温器进行冷端补偿，在 0°C 偏离不大于 0.1°C ，取半宽为 0.05°C ，服从均匀分布，则冷端补偿引入的不确定度为：

$$u_4 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.4.2.2 黑体辐射源引入的测量不确定度分量

黑体辐射源的分辨力为 0.1°C ，取半宽为 0.05°C ，服从均匀分布，则：

$$u_5 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

黑体辐射源稳定时温度波动为 $0.3^\circ\text{C}/10\text{min}$ ，取半宽 0.15°C ，服从均匀分布，则：

$$u_6 = \frac{0.15}{\sqrt{3}} = 0.09 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.4.3 以显示分辨力为 1°C 的黑体辐射源在校准点 1200°C 为例

C.4.3.1 标准器引入的不确定度分量

根据标准铂铑 30-铂铑 6 热电偶的系统溯源图，在 1200°C 的扩展不确定度为 3.2°C ， $k=3$ ，服从正态分布，标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{3.2}{3} = 1.07 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

在 1200°C 进行 4 次重复测量，其温度测量值分别为：1200.1，1200.7，1200.9，1200.3 ($^\circ\text{C}$)，按照极差法计算重复测量引入的不确定度计算，服从正态分布，则：

$$u_2 = \frac{0.8}{2.06 \times \sqrt{4}} = 0.20 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

使用电测设备进行电势测量，其年稳定性为 $\pm(0.005\% \times \text{读数} + 0.0035\% \times \text{量程})$ ，对标准铂铑 30-铂铑 6 热电偶，在 1200°C 电势约为 6.786mV ，微分电势为 $10.4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ，服从

均匀分布，则电测设备引入的不确定度为：

$$u_3 = \frac{6.786 \times 0.005\% + 100 \times 0.0035\%}{0.0104 \times \sqrt{3}} = 0.22 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

用零度恒温器进行冷端补偿，在 0°C 偏离不大于 0.1°C ，取半宽为 0.05°C ，服从均匀分布，则冷端补偿引入的不确定度为：

$$u_4 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.4.3.2 黑体辐射源引入的测量不确定度分量

黑体辐射源的分辨力为 1°C ，取半宽为 0.5°C ，服从均匀分布，则：

$$u_5 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

黑体辐射源稳定时温度波动为 $0.5^\circ\text{C}/10\text{min}$ ，取半宽 0.25°C ，服从均匀分布，则：

$$u_6 = \frac{0.25}{\sqrt{3}} = 0.15 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.5 不确定度分量一览表

C.5.1 显示分辨力为 0.01°C 的黑体辐射源在校准点为 100°C 的一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 ($^\circ\text{C}$)	c_i	$ c_i u(x_i)$ ($^\circ\text{C}$)
u_1	标准器	0.01	1	0.01
u_2	重复测量	0.02	1	0.02
u_3	电测设备	0.02	1	0.02
u_4	分辨力	0.003	1	0.003
u_5	波动度	0.03	1	0.03

C.5.2 显示分辨力为 0.1°C 的黑体辐射源在校准点为 600°C 的一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 ($^{\circ}\text{C}$)	c_i	$ c_i u(x_i)$ ($^{\circ}\text{C}$)
u_1	标准器	0.20	1	0.20
u_2	重复测量	0.12	1	0.12
u_3	电测设备	0.22	1	0.22
u_4	冷端补偿	0.03	1	0.03
u_5	分辨力	0.03	1	0.03
u_6	波动度	0.09	1	0.09

C.5.3 显示分辨力为 1°C 的黑体辐射源在校准点为 1200°C 的一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 ($^{\circ}\text{C}$)	c_i	$ c_i u(x_i)$ ($^{\circ}\text{C}$)
u_1	标准器	1.07	1	1.07
u_2	重复测量	0.20	1	0.20
u_3	电测设备	0.22	1	0.22
u_4	冷端补偿	0.03	1	0.03
u_5	分辨力	0.29	1	0.29
u_6	波动度	0.15	1	0.15

C.6 合成标准不确定度

显示分辨力为 0.01°C 的黑体辐射源在校准点为 100°C 时为例，以上各量互不相关，故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.043 (^{\circ}\text{C})$$

显示分辨力为 0.1°C 的黑体辐射源在校准点为 600°C 时为例，以上各量互不相关，故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 0.34 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

显示分辨力为 1°C 的黑体辐射源在校准点为 1200°C 时为例, 以上各量互不相关, 故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 1.16 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.7 扩展不确定度

在 $(-50\sim 300)^\circ\text{C}$ 温度段, 分辨力为 0.01°C 的黑体辐射源在校准点为 100°C 时为例, 取 $k=2$, 扩展不确定度为

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 0.043 \approx 0.09 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

在 $(300\sim 1000)^\circ\text{C}$ 温度段, 分辨力为 0.1°C 的黑体辐射源在校准点为 600°C 时为例, 取 $k=2$, 扩展不确定度为

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 0.34 \approx 0.7 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

在 $(1000\sim 3000)^\circ\text{C}$ 温度段, 分辨力为 1°C 的黑体辐射源在校准点为 1200°C 时为例, 取 $k=2$, 扩展不确定度为

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 1.16 \approx 2.4 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

附录 D

黑体辐射源辐射温度不确定度评定示例

D.1 概述

设置被校黑体辐射源的温度点，待辐射源温度稳定后，用辐射温度计对黑体辐射源进行辐射温度的测量。根据所使用的辐射温度计温度范围的不同，以显示分辨力为 1°C 的黑体辐射源在 1000°C 的校准为例，分析黑体辐射源辐射温度的测量不确定度。

D.2 数学模型

$$t_f = \bar{t}_c + \Delta t_f$$

式中： t_f ——在该校准温度点上的辐射温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

\bar{t}_c ——辐射温度计在校准温度点上读取的温度平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

Δt_f ——根据证书，辐射温度计在该校准温度点的修正值， $^{\circ}\text{C}$ 。

D.3 方差与灵敏系数

式 (1) 中 \bar{t}_c ， Δt_f 互为独立，因而得

$$c_1 = \frac{\partial t_f}{\partial \bar{t}_c} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial t_f}{\partial \Delta t_f} = 1$$

$$u_c^2 = u^2(\bar{t}_c) + u^2(\Delta t_f)$$

D.4 不确定度来源及分析

D.4.1 标准的辐射温度计引入的不确定度分量

D.4.1.1 根据辐射温度计校准证书，在 1000°C 时的扩展不确定度为 1.6°C ， $k=2$ ，标准不确定度为： $u_1 = \frac{1.6}{2} = 0.80^{\circ}\text{C}$

D.4.1.2 统计辐射温度计四年的数据变化，长期稳定性约为 $1.2^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ，取半宽 0.6°C ，按均匀分布计算，引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.6}{\sqrt{3}} = 0.35^{\circ}\text{C}$$

D.4.2 被校黑体辐射源引入的测量不确定度分量

D.4.2.1 黑体辐射源的分辨力引入的不确定度，分辨力 1°C ，取半宽为 0.5°C ，服从均匀

分布则： $u_3 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29^\circ\text{C}$

D.4.2.2 黑体辐射源的有效发射率引入的不确定度， 1000°C 的温度修正量为 0.38°C ，服从均匀分布，则： $u_4 = \frac{0.38}{\sqrt{3}} = 0.22^\circ\text{C}$

D.4.2.3 黑体辐射源的稳定性为 $0.9^\circ\text{C}/10\text{min}$ ，取半宽为 0.45°C ，服从均匀分布，则：

$$u_5 = \frac{0.45}{\sqrt{3}} = 0.26^\circ\text{C}$$

D.4.2.4 黑体辐射源靶面均匀性，在 1000°C 是为 1.0°C ，取半宽为 0.5°C ，服从均匀分布，则：

$$u_6 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29^\circ\text{C}$$

D.4.2.5 黑体辐射源的辐射温度测量重复性引入的不确定度，在 1000°C 重复测量 10 次，测量得到的数据为： 1001.2°C ， 1001.4°C ， 1001.5°C ， 1001.7°C ， 1002.0°C ， 1002.0°C ， 1001.8°C ， 1001.6°C ， 1001.3°C ， 1001.6°C 。

$$\text{单次实验标准偏差：} s = \sqrt{\frac{\sum (t - \bar{t})^2}{n-1}} = 0.28^\circ\text{C}$$

实际测量时，测量次数为 4 次，以测得值的平均结果为测量结果，故：

$$u_7 = \frac{0.28}{\sqrt{4}} = 0.14^\circ\text{C}$$

D.5 不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u(x_i)$
u_1	标准器溯源证书	0.80	1	0.80
u_2	标准器长期稳定性	0.35	1	0.35
u_3	被校辐射源分辨力	0.29	1	0.29
u_4	被校辐射源发射率	0.22	1	0.22
u_5	被校辐射源稳定性	0.26	1	0.26
u_6	被校辐射源均匀性	0.29	1	0.29
u_7	辐射温度测量重复性	0.14	1	0.14

D.6 合成标准不确定度

显示分辨力为 1°C 的黑体辐射源在校准点为 1000°C 时为例, 以上各量互不相关, 故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} = 1.04^{\circ}\text{C}$$

D.7 扩展不确定度

分辨力为 1°C 的黑体辐射源在校准点为 1000°C 时为例, 取 $k=2$, 扩展不确定度为

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 1.04 = 2.1^{\circ}\text{C}$$

附录 E

有效辐射面直径的确认方法

黑体辐射源有效辐射面的大小通常用“有效辐射面直径”来表述，是衡量一个黑体辐射源技术性能优劣的技术指标之一。有效辐射面直径通常定义为辐射面范围内温度均匀性满足不大于 0.15°C 或 $0.15\%t$ 中的大者的最大直径。其测量方法同 7.2.5、7.2.7，如图所示，在测量时通过移动标准辐射温度计的位置，找出温度均匀性满足不大于 0.15°C 或 $0.15\%t$ 中的大者的 R 的最大距离，之后根据式 E.1 计算出有效辐射面直径。

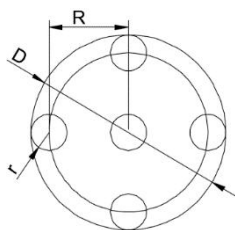


图 E.1 有效辐射面直径示意图

有效辐射面直径： $D=2(R+r)$ (E.1)

其中， D —有效辐射面直径，mm；

R —辐射温度计瞄准点移动的距离，mm；

r —辐射温度计视场半径，mm；

注：辐射温度计视场半径可根据辐射温度计的说明书获得。

江苏省地方计量技术规范

黑体辐射源校准规范

JJF(苏) 149—2024

江苏省市场监督管理局发布

*

江苏省计量协会印刷

版权所有不得翻印

*

开本 880 mm×1230 mm 16 开本

2024 年 04 月 印刷