



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1552—2015

---

## 辐射测温用 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 黑体辐射源 校准规范

Calibration Specification for Blackbody Radiation Sources of  
Radiation Thermometry from  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

2015-12-07 发布

2016-03-07 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 辐射测温用 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 黑体辐射源校准规范

Calibration Specification for Blackbody Radiation

Sources of Radiation Thermometry from

$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

---

JJF 1552—2015

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

本规范委托全国温度计量技术委员会负责解释

本规范起草人：

王景辉（中国计量科学研究院）

邢 波（中国计量科学研究院）

原遵东（中国计量科学研究院）



## 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 1 )
4.1 用途 .....	( 1 )
4.2 原理与结构 .....	( 1 )
4.3 黑体辐射源的特性参数 .....	( 2 )
5 计量特性 .....	( 2 )
5.1 亮度温度 .....	( 2 )
5.2 温度稳定性 .....	( 2 )
5.3 温度均匀性 .....	( 2 )
5.4 绝缘电阻 .....	( 2 )
6 校准条件 .....	( 2 )
6.1 环境条件 .....	( 2 )
6.2 标准及辅助设备 .....	( 2 )
7 校准项目和校准方法 .....	( 3 )
7.1 校准项目 .....	( 3 )
7.2 校准方法 .....	( 3 )
8 校准结果表达 .....	( 7 )
9 复校时间间隔 .....	( 7 )
附录 A 黑体辐射源亮度温度校准模型 .....	( 8 )
附录 B 黑体辐射源亮度温度校准不确定度评定实例 .....	( 10 )
附录 C 校准报告内页参考格式 .....	( 14 )

## 引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》编写。

黑体辐射源作为标准辐射源，广泛用于辐射测温领域中，是研究辐射理论，复现温标及校准辐射温度计、红外热像仪等辐射测温仪表必需的设备。

本规范采用亮度温度直接比较测量法校准黑体辐射源有效亮度温度。

本规范为首次发布。



# 辐射测温用 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 黑体辐射源校准规范

## 1 范围

本规范适用于辐射测温用黑体辐射源在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内有效亮度温度校准。

## 2 引用文件

JJF 1007—2007 温度计量名词术语及定义

凡是注日期的引用文件，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

### 3.1 [绝对] 黑体 [absolute] blackbody

对任意方向、波长和偏振状态的入射辐射都能全部吸收的理想热辐射体。

[JJF 1007—2007, 5.9]

### 3.2 [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]

### 3.3 [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光谱辐射亮度之比。

### 3.4 [有效] 发射率 [effective] emissivity

黑体辐射源有效光谱辐射亮度与同温度黑体辐射亮度之比。

### 3.5 [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。

## 4 概述

### 4.1 用途

黑体辐射源用于校准辐射温度计、红外热像仪等辐射测温仪器。

### 4.2 原理与结构

等温封闭空腔内的热辐射为黑体辐射。黑体辐射源是具有小孔的等温空腔，其辐射特性近似绝对黑体。

黑体辐射源为温度已知并可稳定工作的热辐射源。

黑体辐射源通常由黑体空腔、温度测量与控制系统等构成。空腔通常为圆柱圆锥型、双圆锥型、圆柱型或球型等。

黑体辐射源在低于露点温度使用时，应有措施保证空腔内表面无结露和结霜。

### 4.3 黑体辐射源的特性参数

黑体辐射源特性参数包括腔口直径、有效发射率、亮度温度、温度均匀性和温度稳定性等。

## 5 计量特性

### 5.1 亮度温度

黑体辐射源亮度温度的不确定度应满足所开展的辐射温度计校准的不确定度要求。

### 5.2 温度稳定性

温度稳定性为正常工作状态下，在规定时间间隔内黑体辐射源空腔底部亮度温度变化的最大值。通常时间间隔为 10 min。

### 5.3 温度均匀性

温度均匀性为黑体辐射源有效辐射区域内各点相对于中心点的温差。绝对值应不大于  $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $0.15\% \times$  黑体辐射源温度(单位为  $^{\circ}\text{C}$ )中的大者。

### 5.4 绝缘电阻

常温下，黑体辐射源的绝缘电阻不小于  $0.5\text{ M}\Omega$ 。

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度： $(23 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度： $20\% \sim 85\%$ 。

应满足标准及辅助设备、被校准设备的使用环境条件要求。应无影响校准结果的环境辐射和空气对流。

### 6.2 标准及辅助设备

黑体辐射源比较测量设备由标准黑体辐射源、比较用辐射温度计和辅助设备组成。

#### 6.2.1 标准黑体辐射源

标准黑体辐射源应符合表 1 的要求，建议使用热管或恒温槽黑体辐射源。

表 1 标准黑体辐射源技术要求

性能参数	技术指标
温度范围	满足校准温度范围要求
腔口直径	满足比较用辐射温度计的 2 倍以上视场直径要求，且直径一般不小于 40 mm
有效发射率	$\geq 0.998$
温度稳定性	$\leq 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ min}$
温度均匀性	$\leq 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$
参考温度计准确度	二等标准铂电阻温度计或不低于同等准确度的其他温度计

#### 6.2.2 比较用辐射温度计

比较用辐射温度计应符合表 2 的要求。

表 2 比较用辐射温度计技术要求

性能参数	技术指标
温度范围	满足校准温度范围要求
工作波段	(8~14) $\mu\text{m}$ 或接近波段, 其他波段可选
比较测量结果的噪声等效温差和分辨力	应不劣于校准结果的最小量化值。通常不大于 0.05 $^{\circ}\text{C}$
视场	不超过黑体辐射源腔口直径的 1/2
最大允许误差	$\pm(1\% \times \text{读数})^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 1.4^{\circ}\text{C}$

### 6.2.3 辅助设备

同尺寸光阑 2 个, 光阑温度应恒定, 且 2 个光阑温度相同(建议使用恒温槽为光阑提供恒温水)。光阑直径应大于比较用辐射温度计视场, 建议为辐射温度计视场的 1.5 倍。光阑表面应具备高吸收比。光阑温度的不确定度不大于 1  $^{\circ}\text{C}$ 。

精密移动台或支架, 用于测量标准和被校准黑体辐射源时比较用辐射温度计的位置切换。

参考温度计配套的电测设备, 准确度不低于 0.01 级。

绝缘电阻测试仪, 准确度不低于 10 级。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表 3。

表 3 校准项目

序号	项目名称
1	绝缘电阻
2	温度稳定性
3	温度均匀性
4	亮度温度

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准原理

采用比较法, 以标准黑体辐射源为标准, 辐射温度计为比较器, 校准黑体辐射源亮度温度。校准装置如图 1 所示。



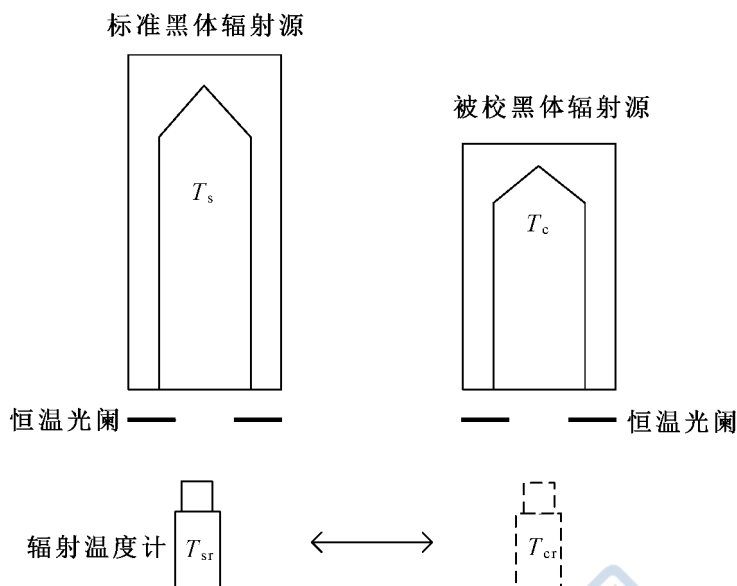


图 1 校准装置

将标准和被校准黑体辐射源稳定在相同温度。使用辐射温度计分别测量标准、被校准黑体辐射源亮度温度的示值，根据公式(1)计算被校准黑体辐射源的亮度温度：

$$T_c = T_s + T_{cr} - T_{sr} = T_s + \Delta T_r \quad (1)$$

式中：

$T_c$ ——被校准黑体辐射源的亮度温度，K；

$T_s$ ——标准黑体辐射源的亮度温度，K；

$T_{sr}$ ——辐射温度计测量标准黑体辐射源亮度温度示值，K；

$T_{cr}$ ——辐射温度计测量被校准黑体辐射源亮度温度示值，K；

$\Delta T_r$ —— $T_{cr}$ 与 $T_{sr}$ 的差，K。

标准黑体辐射源亮度温度  $T_s$  由公式(2)计算：

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda, T_s) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \epsilon_s L(\lambda, T_t) d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - \epsilon_s) L(\lambda, T_{am}) d\lambda \quad (2)$$

式中：

$L(\lambda, T)$ ——黑体光谱辐射亮度， $W/(m^3 \cdot sr)$ ；

$\lambda_2, \lambda_1$ ——辐射温度计工作波段的上、下限， $\mu m$ ；

$T_s$ ——标准黑体辐射源的亮度温度，K；

$T_t$ ——标准黑体辐射源参考温度计测量的实际温度，K；

$T_{am}$ ——标准黑体辐射源所处环境温度(近似采用光阑温度)，K；

$\epsilon_s$ ——标准黑体辐射源的有效发射率。

黑体辐射源亮度温度校准模型详见附录 A。

### 7.2.2 绝缘电阻测试

在不连接电源的情况下，将黑体辐射源电源开关打开。对使用接触器(需接通外部电源后才能接通的开关)的黑体辐射源，如可能，应设法使接触器处于接通状态。

使用绝缘电阻测试仪在 500 V 测试电压下，分别测量黑体辐射源电源输入端的相线

L 与地线 G、中线 N 与地线 G、相线 L 与仪器外壳的绝缘电阻。

取所有测量值中的最小值作为绝缘电阻的测量结果。

### 7.2.3 温度稳定性测试

#### 7.2.3.1 测试方法

1) 选择温度点,在黑体辐射源温度范围内均匀分布,优先选择整 10 °C 点,也可根据用户要求选择。

2) 被校准黑体辐射源温度设定在测试温度点,10 min 的温度控制稳定性不大于 0.1 °C 和 0.1% |  $t$  | 中的大者( $t$  为校准点温度值)。

3) 不使用光阑。

4) 调整辐射温度计方位,使得辐射温度计与黑体辐射源同轴。

5) 每个温度点共进行  $n$  次(通常为 11 次)测量。每次测量时间间隔通常为 1 min。记录辐射温度计测量值。

#### 7.2.3.2 数据处理

温度稳定性由公式(3)计算:

$$\Delta T_{cr} = T_{cr \max} - T_{cr \min} \quad (3)$$

式中:

$\Delta T_{cr}$ ——被校准黑体辐射源的温度稳定性, K;

$T_{cr \max}$ ——辐射温度计测量被校准黑体辐射源亮度温度示值最大值, K;

$T_{cr \min}$ ——辐射温度计测量被校准黑体辐射源亮度温度示值最小值, K。

注:在给出结果时温度单位可按习惯使用单位 °C。以下公式可相同处理。

### 7.2.4 温度均匀性测试

#### 7.2.4.1 测试方法

1) 选择温度点,在黑体辐射源温度范围内均匀分布,优先选择整 10 °C 点,也可根据用户要求选择。

2) 均匀性测试位置可选择黑体辐射源空腔底部的中部、上部、下部、左部和右部五个点,或按用户要求选择。

3) 被校准黑体辐射源温度设定在测试温度点,10 min 的温度稳定性不大于 0.1 °C 和 0.1% |  $t$  | 中的大者( $t$  为校准点温度值)。

4) 不使用光阑。

5) 调整辐射温度计方位,使辐射温度计与黑体辐射源同轴。此时辐射温度计瞄准黑体辐射源的中心位置。

6) 测量顺序可按中→上、中→左、中→右、中→下顺序测量。

7) 每个位置上共进行  $n$  次(通常为 3 次)测量。

#### 7.2.4.2 数据处理

温度均匀性为各点温度与中心温度之差,根据公式(4)计算:

$$\Delta T_{Fi} = \overline{T_{cri}} - \overline{T_{crc}} \quad (4)$$

式中:

$\Delta T_{Fi}$ ——各点温度与中心温度之差, K;

$\overline{T_{cri}}$ ——黑体辐射源上部、下部、左部和右部的亮度温度测量平均值( $i = 1, 2, 3, 4$ ), K;

$\overline{T_{crc}}$ ——黑体辐射源中心位置亮度温度的平均值, K。

## 7.2.5 亮度温度校准

### 7.2.5.1 校准前的准备

1) 选择校准温度点。在黑体辐射源温度范围内均匀分布, 优先选择整 10 °C 点, 也可根据用户要求选择。

2) 电测设备预热。

3) 使标准和被校准黑体辐射源温度均处于校准温度点  $\pm 0.5$  °C 之内。标准黑体辐射源的温度稳定性满足表 1 的相应要求, 被校准黑体辐射源 10 min 的温度稳定性不大于 0.1 °C 和 0.1% |  $t$  | 中的大者( $t$  为校准点温度值)。

4) 将光阑分别放置在标准黑体辐射源和被校准黑体辐射源空腔之前。光阑应保持与辐射源同轴, 在不被显著加热和不影响黑体辐射源温度分布与有效发射率的前提下, 靠近黑体辐射源, 一般距黑体辐射源 5 cm。

5) 光阑的温度设定在环境温度附近, 温度稳定在 0.2 °C/10 min 以内认为达到稳定。

6) 辐射温度计的瞄准。

首先调整光阑和黑体辐射源的相对位置, 光阑与黑体辐射源同轴。调整辐射温度计方位, 使得辐射温度计与光阑同轴。标识或记录辐射温度计的两个位置。

### 7.2.5.2 亮度温度比较测量

1) 每组测量可按下列操作顺序进行:

瞄准标准黑体辐射源, 调整好位置后测量。记录  $n$  次(通常为 3 次)标准黑体辐射源参考温度计测量值和辐射温度计测量值。

瞄准被校准黑体辐射源, 调整好位置后测量。记录  $n$  次辐射温度计测量值。

2) 每个校准温度点共进行  $m$  组(通常为 3 组)的比较测量。

3) 每组比较测量中, 应交替、等时间间隔测量标准和被校准黑体辐射源, 通常时间间隔在 1 min 以内。

### 7.2.5.3 数据处理

1) 计算每次比较测量的标准黑体辐射源亮度温度  $T_s$  和  $\Delta T_r$ 。  $T_s$  可由公式(2)计算。

2) 根据式(5)、式(6)计算多次比较测量的  $T_s$  和  $\Delta T_r$  的平均值。

$$\overline{T}_s = \frac{\sum_{h=1}^m \sum_{k=1}^n T_{shk}}{m \times n} \quad (5)$$

式中:

$\overline{T}_s$ —— $T_s$  的平均值, K;

$m$ ——比较测量的组数;

$n$ ——每组测量的次数;

$T_{shk}$ ——第  $h$  组  $k$  次的标准黑体辐射源亮度温度。

$$\overline{\Delta T_r} = \frac{\sum_{h=1}^m \sum_{k=1}^n \Delta T_{rhk}}{m \times n} \quad (6)$$

式中：

$\Delta T_{rhk}$ ——第  $h$  组  $k$  次的  $T_{cr}$  与  $T_{sr}$  的差。

$\overline{\Delta T_r}$ —— $\Delta T_{rhk}$  的平均值，K。

3) 根据公式(7)计算被校准黑体辐射源的亮度温度  $T_c$ 。

$$T_c = \overline{T_s} + \overline{\Delta T_r} \quad (7)$$

式中：

$T_c$ ——被校准黑体辐射源的亮度温度，K；

$\overline{T_s}$ ——标准黑体辐射源的亮度温度平均值，K；

$\overline{\Delta T_r}$ —— $\Delta T_{rhk}$  的平均值，K。

## 8 校准结果表达

被校准黑体辐射源亮度温度的校准结果和温度稳定性、温度均匀性、绝缘电阻的测试结果应在校准证书或校准报告上反映。

校准结果应包含校准不确定度，稳定性测量结果应给出测试的时间，均匀性测量结果应给出测试点位置分布的定量说明及示意图。

校准证书或校准报告应注明校准时的亮度温度的波段、环境温度、环境湿度和光阑直径及温度。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年，或送校单位根据需求自定复校周期。

## 附录 A

## 黑体辐射源亮度温度校准模型

标准黑体辐射源的亮度温度、辐射温度计示值和两者之差关系可由公式(A.1)表示:

$$T_s = T_{sr} + \Delta T_1 \quad (\text{A.1})$$

式中:

$T_s$ ——标准黑体辐射源的亮度温度, K;

$T_{sr}$ ——辐射温度计测量标准黑体辐射源亮度温度的示值, K;

$\Delta T_1$ —— $T_s$  与  $T_{sr}$  的差, K。

被校准黑体辐射源的亮度温度、辐射温度计示值和两者之差间关系可由公式(A.2)表示:

$$T_c = T_{cr} + \Delta T_2 \quad (\text{A.2})$$

式中:

$T_c$ ——被校准黑体辐射源的亮度温度, K;

$T_{cr}$ ——辐射温度计测量被校准黑体辐射源亮度温度的示值, K;

$\Delta T_2$ —— $T_c$  与  $T_{cr}$  的差, K。

黑体辐射源亮度温度与温度计示值关系见图 A.1。

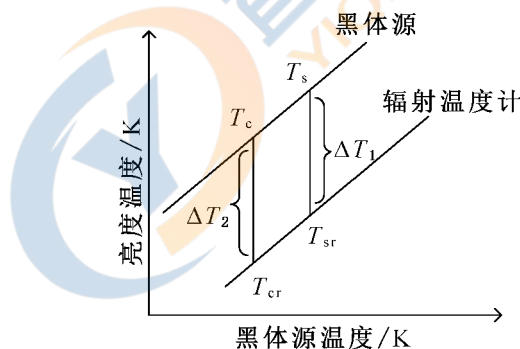


图 A.1 黑体辐射源亮度温度与温度计示值关系

校准时标准黑体辐射源与被校准黑体辐射源的实际温度相同, 与之对应两黑体辐射源亮度温度接近。可认为辐射温度计示值在小范围内与黑体辐射源亮度温度的差为常量, 即  $\Delta T_1 \approx \Delta T_2$ , 可以得到以下公式:

$$T_{cr} - T_{sr} \approx T_c - T_s \quad (\text{A.3})$$

式中:

$T_{cr}$ ——辐射温度计测量被校准黑体辐射源亮度温度示值, K;

$T_{sr}$ ——辐射温度计测量标准黑体辐射源亮度温度示值, K;

$T_c$ ——被校准黑体辐射源的亮度温度, K;

$T_s$ ——标准黑体辐射源的亮度温度, K。

根据公式(A.3)可以导出公式(A.4):

$$T_c = T_s + \Delta T_r \quad (\text{A.4})$$

式中:

$T_c$ ——被校准黑体辐射源的亮度温度, K;

$T_s$ ——标准黑体辐射源的亮度温度, K;

$\Delta T_r$ —— $T_{cr}$ 与  $T_{sr}$ 的差, K。



## 附录 B

## 黑体辐射源亮度温度校准不确定度评定实例

## B.1 黑体辐射源亮度温度校准不确定度模型

黑体辐射源亮度温度比较法校准模型为：

$$T_c = T_s + \Delta T_r \quad (\text{B.1})$$

式中：

$T_c$ ——被校准黑体辐射源的亮度温度，K；

$T_s$ ——标准黑体辐射源的亮度温度，K；

$\Delta T_r$ —— $T_{cr}$ 与 $T_{sr}$ 的差，K。

根据黑体辐射源亮度温度校准模型将影响分量分为三类：

a) 标准黑体辐射源的亮度温度引入的不确定度

1) 标准铂电阻温度计测量黑体辐射源实际温度引入的不确定度  $u_1$ ：

① 标准铂电阻温度计传递引入的不确定度。

② 标准铂电阻温度计配套电测仪表准确度引入的不确定度。

③ 标准铂电阻温度计温度与空腔底参考点温度温差引入的不确定度。

2) 辐射温度计的波段确定引入的不确定度  $u_2$ 。

3) 黑体辐射源有效发射率引入的不确定度  $u_3$ 。

4) 环境温度变化引入的不确定度  $u_4$ 。

b) 温差  $\Delta T_r$  引入的不确定度

1) 辐射温度计定位重复性引入的不确定度  $u_5$ 。

2) 辐射温度计的测量特性引入的不确定度  $u_6$ ：

① 辐射温度计的测量分辨力的不确定度。

② 辐射温度计的短期稳定性引入的不确定度。

③ 辐射温度计比较测量噪声引入的不确定度。

④ 辐射温度计源尺寸效应(SSE)引入的不确定度。

⑤ 环境温度对辐射温度计输出影响引入的不确定度。

c) 被校准黑体辐射源特性引入的不确定度

1) 被校准黑体辐射源亮度温度稳定性引入的不确定度  $u_7$ 。

2) 被校准黑体辐射源亮度温度均匀性引入的不确定度  $u_8$ 。

黑体辐射源亮度温度校准的不确定度  $u_c$  由标准黑体辐射源的亮度温度引入的不确定度  $u_b$ 、辐射温度计测出的温差  $\Delta T_r$  引入的不确定度  $u_t$  和被校准黑体辐射源特性引入的不确定度  $u_{cb}$  组成。

各不确定度分量相互独立，黑体辐射源亮度温度校准的合成标准不确定度  $u_c$  由下式计算：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^8 u_i^2} \quad (\text{B.2})$$



## B.2 黑体辐射源校准的设备

在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,通过对 976 黑体辐射源、BBR-30 黑体辐射源的亮度温度校准说明黑体辐射源亮度温度校准不确定度评定。

标准和被校准黑体辐射源技术指标见表 B.1。

表 B.1 黑体辐射源技术指标

参数	被校准黑体辐射源		标准黑体辐射源	
	BBR-30	976	BB-01	BF-200
温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	$-30\sim 50$	$50\sim 700$	$-10\sim 50$	$50\sim 200$
空腔直径/mm	60	65	60	60

比较辐射温度计技术指标见表 B.2。

表 B.2 比较辐射温度计技术指标

参数	技术指标	
	RAYTEK TX LT	HEITRONICS TRT II
响应波段/ $\mu\text{m}$	$8\sim 14$	$8\sim 14$
测温范围/ $^{\circ}\text{C}$	$-18\sim 500$	$-50\sim 300$
测量距离与目标直径比( $D:S$ )	$33:1$	距离 387 mm 处目标直径 7.0 mm
输出/分辨力	$4\text{ mA}\sim 20\text{ mA}$	温度数字输出,分辨力 $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$

## B.3 黑体辐射源亮度温度校准不确定度计算

## B.3.1 标准黑体辐射源亮度温度引入的标准不确定度

B.3.1.1 标准铂电阻温度计测量黑体辐射源实际温度引入的不确定度  $u_1$ a) 标准铂电阻温度计传递引入的不确定度  $u_{\text{sprt1}}$ 

编号 03614 的标准铂电阻温度计的扩展不确定度为  $0.018\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,分布为正态分布,包含因子  $k$  为 2,  $u_{\text{sprt1}}$  为  $0.009\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

b) 标准铂电阻温度计电测仪表准确度引入的不确定度  $u_{\text{sprt2}}$ 

使用 keithley2010 数字表测量铂电阻标准温计的电阻。根据数字表说明书,数字表测电阻准确度表示为  $A = \pm(52 \times \text{reading} + 9 \times 100\ \Omega) \times 10^{-6}$ ,其中 reading 为数字表测量的铂电阻标准温计电阻值。使用  $25\ \Omega$  标准铂电阻温度计,按均匀分布计算,包含因子  $k$  为 1.732。电测设备引入的标准不确定度  $u_{\text{sprt2}}$  见表 B.3。

表 B.3 电测设备引入的标准不确定度

温度/ $^{\circ}\text{C}$	测量误差限/ $^{\circ}\text{C}$	标准不确定度/ $^{\circ}\text{C}$
100	$\pm 0.031$	0.018

c) 标准铂电阻温度计温度与空腔底参考点温度的温差引入的不确定度  $u_{\text{sprt3}}$ 

标准铂电阻温度计与空腔底参考点的温差估计在  $\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$  以内。标准不确定度按



温差为均匀分布计算, 包含因子  $k=1.732$ ,  $u_{\text{sprt3}}$  为  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/1.732=0.006\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

标准铂电阻温度计测量实际温度引入的不确定度  $u_1$  见表 B. 4。

表 B. 4 标准铂电阻温度计测量实际温度引入的不确定度  $u_1$

黑体辐射源	温度/ $^{\circ}\text{C}$	不确定度/ $^{\circ}\text{C}$			
		$u_{\text{sprt1}}$	$u_{\text{sprt2}}$	$u_{\text{sprt3}}$	$u_1$
BF-200	100	0.009	0.018	0.006	0.021

### B. 3. 1. 2 辐射温度计的波段确定引入的不确定度 $u_2$

辐射温度计的名义波段与实际波段的偏离忽略不计。引入的不确定度  $u_2$  为  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### B. 3. 1. 3 黑体辐射源有效发射率引入的不确定度 $u_3$

黑体辐射源有效发射率引入的不确定度可以根据黑体辐射源有效发射率引入的温度修正量  $T_s - T_t$  计算, 分布为均匀分布。

黑体辐射源有效发射率引入的温度修正量  $T_s - T_t$  可由标准黑体辐射源的参考温度计温度  $T_t$ 、波长、光阑温度、有效发射率根据公式(2)计算。计算条件为环境温度  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 波长(8~14) $\mu\text{m}$ 。

用温度修正量的绝对值除以包含因子( $k=1.732$ )作为标准不确定度(见表 B. 5)。

表 B. 5 标准黑体辐射源有效发射率修正引入的不确定度  $u_3$

黑体辐射源	有效发射率	温度/ $^{\circ}\text{C}$	温度修正量/ $^{\circ}\text{C}$	标准不确定度/ $^{\circ}\text{C}$
BF-200	$0.999 \pm 0.001$	100	-0.06	0.035

### B. 3. 1. 4 环境温度引入的不确定度 $u_4$

环境温度引入的不确定度由公式(2)计算, 当有效发射率大于 0.999, 光阑温度为  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 对亮度温度的影响在  $\pm 0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$  以内, 按均匀分布计算, 包含因子  $k$  为 1.732, 标准不确定度为  $0.00058\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## B. 3. 2 黑体辐射源亮度温度差测量引入的标准不确定度

### B. 3. 2. 1 辐射温度计定位重复性引入的不确定度 $u_5$

本实验中电动平移台的定位重复性在  $0.1\text{ mm}$ , 可忽略此项不确定度。

### B. 3. 2. 2 比较用辐射温度计的测量特性引入的不确定度 $u_6$

a) 辐射温度计的测量分辨力引入的不确定度  $u_s$ 。RAYTEK TX LT 温度计使用了模拟输出并用七位半数字表测量, 温度分辨力可以达到  $\text{mK}$  以下, 可忽略此项不确定度。HEITRONICS TRT II 温度计的分辨力为  $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 分布为均匀分布, 标准不确定度为  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/1.732=0.006\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

b) 辐射温度计的短期稳定性引入的不确定度。采用比较测量的方式, 利用统计方法消除漂移的影响, 可忽略不计。

c) 辐射温度计比较测量噪声引入的不确定度  $u_d$ 。 $u_d$  为比较测量噪声等效温差, 可用比较测量出的温差平均值的实验标准偏差计算得  $0.014\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

d) 比较用辐射温度计 SSE 的不确定度。使用两个相同的光阑, 使辐射温度计测量

两个源的 SSE 相同，可忽略此项不确定度。

e) 环境温度对比较用辐射温度计输出影响引入的不确定度。对辐射温度计恒温控制，可忽略此项不确定度。

比较用辐射温度计的测量特性引入的不确定度见表 B. 6。

表 B. 6 比较用辐射温度计的测量特性引入的不确定度

标准黑体辐射源	被测黑体辐射源	温度/°C	$u_s$ /°C	$u_d$ /°C	$u_6$ /°C
BF-200	976	100	0.006	0.014	0.015

### B. 3. 3 被校准黑体辐射源特性引入的标准不确定度

#### B. 3. 3. 1 被校准黑体辐射源亮度温度稳定性引入的标准不确定度 $u_7$

被校准的 976 黑体辐射源 100 °C 时亮度温度稳定性为 0.04 °C。分布为均匀分布，包含因子  $k$  为 1.732，标准不确定度  $u_7$  为 0.023 °C。

#### B. 3. 3. 2 被校准黑体辐射源亮度温度均匀性引入的标准不确定度 $u_8$

被校准的 976 黑体辐射源 100 °C 时亮度温度均匀性绝对值的最大值为 0.09 °C。分布为均匀分布，包含因子  $k$  为 1.732，标准不确定度  $u_8$  为 0.52 °C。

#### B. 3. 4 黑体辐射源校准合成标准不确定度 $u_c$ 和扩展不确定度 $U$ 计算

根据以上的分析计算 -10 °C ~ 200 °C 温度范围黑体辐射源校准不确定度(见表 B. 7)。

表 B. 7 黑体辐射源亮度温度校准不确定度

标准黑体源	被校准黑体源	温度/°C	$u_1$ /°C	$u_3$ /°C	$u_4$ /°C	$u_6$ /°C	$u_7$ /°C	$u_8$ /°C	$u_c$ /°C	$U$ /°C ( $k=2$ )
BB-01	BBR-30	-10	0.016	0.012	0.000 58	0.052	0.023	0.058	0.084	0.17
		10	0.017	0.000	0.000 58	0.053	0.023	0.058	0.084	0.17
		20	0.017	0.000	0.000 58	0.032	0.023	0.058	0.072	0.14
		50	0.018	0.006	0.000 58	0.032	0.023	0.058	0.073	0.15
BF-200	976	100	0.021	0.035	0.000 58	0.015	0.023	0.052	0.072	0.14
		200	0.023	0.075	0.000 58	0.016	0.023	0.104	0.133	0.27

## 附录 C

## 校准报告内页参考格式

## 校准结果

## 一、绝缘电阻测试结果

测试电压/V	绝缘电阻/M $\Omega$

## 二、温度稳定性测试结果

设定温度/°C	温度稳定性°C/10 min

## 三、温度均匀性测试结果

设定温度/°C	温度均匀性/°C	测试位置

## 四、亮度温度校准结果

设定温度/°C	亮度温度/°C	扩展不确定度( $k=2$ )/°C

备注：

1. 设定温度为被校准黑体辐射源温度控制器的设定温度。
2. 亮度温度为被校准黑体辐射源在相应设定温度时，在(\_\_\_\_ ~ \_\_\_\_) $\mu\text{m}$  波长下的亮度温度。

3. 测试、校准用辐射温度计波长为(\_\_\_\_~\_\_\_\_) $\mu\text{m}$ 。
  4. 辐射温度计距离黑体辐射源腔底\_\_\_\_m, 视场直径为\_\_\_\_mm。
  5. 校准用光阑直径\_\_\_\_mm, 温度\_\_\_\_ $^{\circ}\text{C}$ 。
- 

