

国防军工计量检定规程

JJG(军工)××××—2019

(-50~1000)°C辐射测温用参考黑体辐射源

Reference Blackbody Radiator for Radiation Thermometry from -50°C to 1000°C

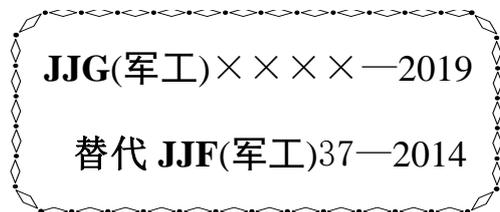
2019 - 06 - 26 发布

2019 - XX - XX 实施

国家国防科技工业局发布

(-50~1000)°C 辐射测温用参考黑
体辐射源检定规程

Verification Regulation of Reference Blackbody
Radiator for Radiation Thermometry from -50°C
to 1000°C



起草单位：国防科技工业第一计量测试研究中心

本规程起草人：

蔡 静（国防科技工业第一计量测试研究中心）

张 岚（国防科技工业第一计量测试研究中心）

张学聪（国防科技工业第一计量测试研究中心）

杨永军（国防科技工业第一计量测试研究中心）

目录

前 言	II
1 范围	1
2 引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 概述	1
4.1 原理	1
4.2 构造	2
4.3 分类	2
4.4 用途	2
5 计量性能要求.....	2
5.1 亮度温度示值误差	2
5.2 亮度温度年稳定性	2
5.3 亮度温度波动度	2
5.4 亮度温度均匀度	2
6 通用技术要求.....	3
6.1 外观	3
6.2 绝缘电阻.....	3
7 计量器具控制.....	3
7.1 检定条件.....	3
7.2 检定项目.....	4
7.3 检定方法.....	4
7.4 检定结果的处理	8
7.5 检定周期.....	8
附录 A 参考黑体辐射源原始记录内页参考格式	9
附录 B 参考黑体辐射源检定证书内页参考格式	11
附录 C 参考黑体辐射源亮度温度示值误差测量不确定度评定示例.....	12

前 言

辐射测温用参考黑体辐射源主要用于辐射温度计、红外热像仪等设备的检定/校准，是亮度温度进行准确溯源必不可少的标准装置。

本规程依据 JJF(军工)1-2012《国防军工计量检定规程编写规则》进行制订，同时参考 JJF1552-2015《辐射测温用-10℃~200℃黑体辐射源》校准规范进行编制。

本规程替代 JJF(军工)37-2014《(200~1000)℃辐射温度校准用黑体辐射源》校准规范，与 JJF(军工)37-2014 相比，本规程将参考黑体辐射源纳入标准器，对其相关技术指标给出明确的限定，主要技术变化如下：

——对亮度温度示值误差、亮度温度稳定性、亮度温度波动度以及亮度温度均匀度给出了明确的限定；

——增加了新的术语，对部分术语进行了重新定义；

——明确了检定点的确定方法。

本规程以标准黑体辐射源作为标准器，结合高稳定性传递用辐射温度计，采用亮度温度比较法，对(-50~1000)℃辐射测温用参考黑体辐射源进行检定。

(-50~1000)°C辐射测温用参考黑体辐射源检定规程

1 范围

本规程适用于(-50~1000)°C辐射测温用参考黑体辐射源（以下简称参考黑体辐射源）的首次检定、后续检定和使用中检查。

本规程不适用于浴式参考黑体辐射源的检定。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJF1001 通用计量术语及定义

JJG75-1995 标准铂铑 10-铂热电偶检定规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡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 术语和定义

JJF1001 界定的及下列术语和定义适用于本规程。

3.1 [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。

3.2 黑体辐射源 blackbody radiator

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。

3.3 参考黑体辐射源 reference blackbody radiator

具有检定或校准辐射温度计所需亮度温度及其他计量性能的黑体辐射源。

3.4 亮度温度波动度 radiance temperature fluctuation

正常工作状态下，在规定的时间内（通常为 10 min）参考黑体辐射源亮度温度变化的最大值。

3.5 亮度温度均匀度 radiance temperature uniformity

正常工作状态下，参考黑体辐射源空腔底部有效区域内各点亮度温度与中心点亮度温度之差绝对值的最大值。

4 概述

4.1 原理

等温封闭空腔内的热辐射为黑体辐射。黑体辐射源是将开有小孔的空腔放置在具有温

度调节功能的加热装置内，其辐射特性与理想黑体近似。黑体辐射源是温度已知并可稳定工作的热辐射源。

4.2 构造

黑体辐射源由黑体空腔、炉体、温度控制和温度测量等系统组成。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。

常见典型的黑体空腔形状（见图1），包括：①圆筒型（带盖或不带盖）；②圆锥-圆筒型（带盖或不带盖）；③内凸圆锥-圆筒型（带盖或不带盖）；④双锥型；⑤带盖锥型；⑥球型。

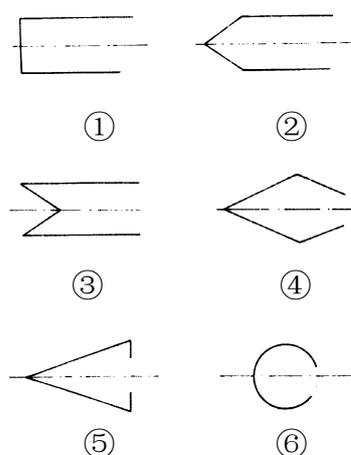


图1 各种形状黑体空腔示意图

4.3 分类

黑体辐射源有多种分类方式。

按照加热元件类型，可分为电阻丝加热、硅钼棒加热、石墨管加热等；

按照控温传感器类型，可分为接触式温度计控温和辐射温度计控温两种；

4.4 用途

参考黑体辐射源可用于检定/校准辐射温度计、红外热像仪以及其他亮度温度测量装置。

5 计量性能要求

5.1 亮度温度示值误差

亮度温度范围： $(-50\sim 1000)^\circ\text{C}$ ，最大允许误差： $\pm(0.5\%|t|+1^\circ\text{C})$ 。

5.2 亮度温度年稳定性

年稳定性： $\pm 0.3^\circ\text{C}$ ($-50^\circ\text{C}\sim 100^\circ\text{C}$)、 $\pm 0.25\%t$ ($>100^\circ\text{C}\sim 1000^\circ\text{C}$)。

5.3 亮度温度波动度

在10min内不大于 $(0.1^\circ\text{C}$ 与 $0.1\%|t|$ 的大者)。

5.4 亮度温度均匀度

不大于 $(0.15^\circ\text{C}$ 与 $0.15\%|t|$ 的大者)。

注：有效区域直径不小于有效辐射面直径的 80%。

6 通用技术要求

6.1 外观

参考黑体辐射源应标有型号规格、制造厂（或商标）和出厂编号；黑体空腔内表面涂层均匀，无剥落，无明显灰尘；参考黑体辐射源上或说明书中应标明黑体空腔的长度或黑体空腔底部与开口最前端之间的距离。非首次检定应附上周期检定证书。

仪表按键功能完好，指示屏显示正常，无可见缺陷。

6.2 绝缘电阻

参考黑体辐射源电阻丝等加热元件与外壳之间的绝缘电阻不小于 20MΩ。

7 计量器具控制

7.1 检定条件

7.1.1 检定用设备

检定用设备应经过计量技术机构检定或校准，满足检定使用要求，并在有效期内。

检定装置主要由标准黑体辐射源、传递用辐射温度计和辅助设备组成。其主要参数见表 1。

表 1 标准及配套设备技术要求

仪器设备名称	技术要求	用途
标准黑体辐射源	温度范围：满足检定温度范围要求，一般为（-50~1000）℃ 腔口直径：满足传递用辐射温度计的视场要求，一般 $\Phi \geq 40\text{mm}$ 有效发射率：不小于 0.999 温度波动度：10 min 内不大于（0.05℃或 0.03% t 的大者） 温度均匀度：不大于（0.1℃或 0.05% t 的大者） 参考温度计：二等标准铂电阻温度计、一等标准 S 型热电偶或满足要求的其他温度计	用比较法检定时的标准器，通常使用热管或者浴式参考黑体辐射源
传递用辐射温度计	温度范围：满足检定温度范围要求，一般为（-50~1000）℃ 温度分辨力：0.1℃ 工作波段：与被检参考黑体辐射源的使用波段相同或相近 最大允许误差： $\pm(1\% \times \text{读数}) \text{℃}$ 或 $\pm 1.4 \text{℃}$ 其他要求：配有瞄准和定位装置	用比较法检定时的传递用辐射温度计
同尺寸光阑 2 个	光阑温度应在室温附近，且 2 个光阑温度差不大于 2℃，光阑直径应大于传递用辐射温度计视场且小于标准和被检黑体辐射源的口径。光阑表面应具备高吸收比	辅助测量设备
电阻测量仪	量程：满足所需铂电阻的电阻范围要求，一般为 100Ω 准确度等级：0.005 级 其他：亦可使用满足要求的其它电阻测量仪器	测量铂电阻的阻值

直流电压表	量程：满足所需标准热电偶的热电动势范围要求，一般为10mV 准确度等级：0.01级 分辨力：不低于0.1μV 其他：亦可使用满足要求的其它热电势测量仪器	测量热电偶的热电动势
冰点槽	恒温器深度：不小于200mm 工作区域温度：(0±0.05)°C	产生0°C的恒温装置
绝缘电阻表	量程：500MΩ 准确度等级：10级 直流电压：500V	测量参考黑体辐射源的绝缘电阻

7.1.2 环境条件

- a) 环境温度：18°C~25°C；
- b) 相对湿度：20%~85%；
- c) 供电电源：(220±22)V，50Hz；

d) 其他：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造成干扰；应避免空调气流、开门窗引起的对流对黑体辐射源的影响。

7.2 检定项目

参考黑体辐射源的检定项目见表2。

表2 检定项目

序号	检定项目名称	首次检定	后续检定	使用中检查
1	外观	+	+	+
2	绝缘电阻	+	+	-
3	亮度温度示值误差	+	+	+
4	亮度温度稳定性	-	+	-
5	亮度温度波动度	+	+	-
6	亮度温度均匀度	+	+	-

注：“+”为应检项目，“-”为可不检项目。

7.3 检定方法

7.3.1 外观

对参考黑体辐射源进行外观检查，应符合6.1的要求。

7.3.2 绝缘电阻

7.3.2.1 在不连接电源的情况下，将参考黑体辐射源电源开关打开；

7.3.2.2 使用绝缘电阻表分别测量参考黑体辐射源电阻丝等加热元件与外壳(L端子与G端子或N端子与G端子)之间的绝缘电阻，测量结果应符合6.3的要求。

7.3.3 亮度温度示值误差

7.3.3.1 参考黑体辐射源亮度温度检定点需覆盖整个温度范围，按照下列规则进行选取：

- a) 包含温度范围内下限、上限和所有整百度温度点；
- b) 如果在温度范围内，含有 -50°C ， -30°C ， 0°C ， 30°C ， 50°C ， 80°C 温度点，应予以检定；
- c) 必要时可增加检定点。

7.3.3.2 传递用辐射温度计、参考温度计配套电测设备预热。

7.3.3.3 将光阑分别放置在标准黑体辐射源和被检参考黑体辐射源之前，在不被显著加热和不影响参考黑体辐射源温度分布与有效发射率的前提下，靠近参考黑体辐射源，一般距离辐射源腔口 5cm 。调整光阑和参考黑体辐射源的相对位置，使光阑与参考黑体辐射源同轴。

7.3.3.4 传递用辐射温度计瞄准参考黑体辐射源。调整辐射温度计位置，使得辐射温度计与光阑同轴，标识或记录辐射温度计的位置。瞄准方法可以参照以下步骤进行，若瞄准部件结构特殊，也可按照仪器要求进行。

a) 带激光瞄准的辐射温度计的瞄准：打开辐射温度计的激光瞄准器，通过调整辐射温度计的位置，使激光照射到参考黑体辐射源空腔底部中心。激光瞄准器具有成像功能的，通过调整辐射温度计的偏摆和俯仰，使辐射温度计发出的激光完全进入黑体腔，在光阑处不被遮挡，调整辐射温度计与参考黑体辐射源之间的距离，使激光光斑在辐射源的空腔底部清晰成像。

b) 不带激光瞄准的辐射温度计的瞄准：使用辐射温度计的瞄准装置，通过调整辐射温度计的位置使得辐射温度计的光轴与参考黑体辐射源的光轴重合，必要时采用光源进行照明。

7.3.3.5 设定标准黑体辐射源和被检参考黑体辐射源的温度， 10min 的温度控制波动度不大于 $(0.1^{\circ}\text{C}$ 与 $0.1\%|t|$ 的大者) $(t$ 为检定点温度值)即标准黑体辐射源和被检参考黑体辐射源温度稳定后进行测量。每组测量可按照以下操作顺序进行：瞄准标准黑体辐射源，记录2次标准黑体辐射源参考温度计示值和传递用辐射温度计的示值；瞄准被检参考黑体辐射源，记录2次被检参考黑体辐射源控温仪表（或测温温度计）示值和传递用辐射温度计的示值。

7.3.3.6 当标准黑体辐射源参考温度计选用标准铂电阻温度计时，通过电阻测量仪，读取其电阻值示值，采用四线制的测量方法。标准铂电阻温度计测得的温度值按照式(1)转化为温度值。其中 R_{tp} ， W_s ， dW_s/dt 依据该固定温度计的检定证书（标准铂电阻温度计分度表）获得。

$$t_s = t_{\text{cn}} + \left(\frac{R_s}{R_{\text{tp}}} - W_s \right) / (dW_s/dt) \quad (1)$$

式中：

R_s ——标准铂电阻温度计在检定点处测得的电阻值, Ω ;

R_{tp} ——标准铂电阻温度计在水三相点处的电阻值, Ω ;

$W_s, dW_s/dt$ ——标准铂电阻温度计的电阻比值和电阻比值对温度的变化率;

t_s ——标准黑体辐射源参考温度计示值平均值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{cn} ——检定点, $^{\circ}\text{C}$ 。

当标准黑体辐射源参考温度计选用标准热电偶温度计时, 配套使用直流电压表和冰点槽, 读取其热电动势。标准热电偶温度计测得的热电动势值按照式(2)转化为温度值。其中 E_{ss} , S_s 依据 JJG75-1995 附录 2 查表得出。

$$t_s = t_{cn} + (E_s - E_{ss})/S_s \quad (2)$$

式中:

E_s ——标准热电偶温度计在检定点处测得的热电动势, mV ;

E_{ss} ——标准热电偶温度计分度表上检定点处的热电动势, mV ;

S_s ——标准热电偶温度计在检定点的微分热电动势, $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.3.7 被检参考黑体辐射源的亮度温度按照式(1)进行计算。

$$t_c = t_s + (t_{cr} - t_{sr}) - (t_{ci} - t_{cn}) \quad (3)$$

式中:

t_c ——被检参考黑体辐射源的亮度温度值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{cr} ——传递用辐射温度计测量被检参考黑体辐射源的亮度温度示值平均值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{sr} ——传递用辐射温度计测量标准黑体辐射源的亮度温度示值平均值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{ci} ——被检参考黑体辐射源控温仪表(或测温温度计)示值的平均值, $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.3.8 被检参考黑体辐射源的亮度温度示值误差按照式(4)进行计算。

$$\Delta t_c = t_{cn} - t_c \quad (4)$$

式中:

Δt_c ——被检参考黑体辐射源的亮度温度示值误差。

7.3.3.9 亮度温度示值误差计算结果应符合 5.1 的要求。

7.3.4 亮度温度稳定性

各检定点的亮度温度检定结果与上一周期的检定结果之差, 应符合 5.2 的要求。

7.3.5 亮度温度波动度

7.3.5.1 选取亮度温度检定点的同时, 确定亮度温度波动度的检定点; 包含下限和上限温度点, 必要时可增加检定点。

7.3.5.2 被检参考黑体辐射源温度设定在检定温度点, 10min 的温度控制波动度不大于 (0.1°C 与 $0.1\%|t|$ 的大者) (t 为检定点温度值) 即温度稳定以后开始检定。每分钟测量 1 次, 共测量 10 次, 并记录测量结果。

7.3.5.3 亮度温度波动度由公式(5)计算:

$$\Delta t_f = t_{cr,max} - t_{cr,min} \quad (5)$$

式中:

Δt_f ——被检参考黑体辐射源的亮度温度波动度, °C;

$t_{cr,max}$ ——传递用辐射温度计测量被检参考黑体辐射源亮度温度示值最大值, °C;

$t_{cr,min}$ ——传递用辐射温度计测量被检参考黑体辐射源亮度温度示值最小值, °C。

7.3.5.4 亮度温度波动度计算结果应符合 5.3 的要求。

7.3.6 亮度温度均匀度

7.3.6.1 选取亮度温度检定点的同时, 确定亮度温度均匀度的检定点; 包含下限和上限的整百度(或整十度)温度点, 必要时可增加检定点。

7.3.6.2 亮度温度均匀度检定位置应选择被检参考黑体辐射源腔底的中部、上部、下部、左部和右部五个点, 见图 2。

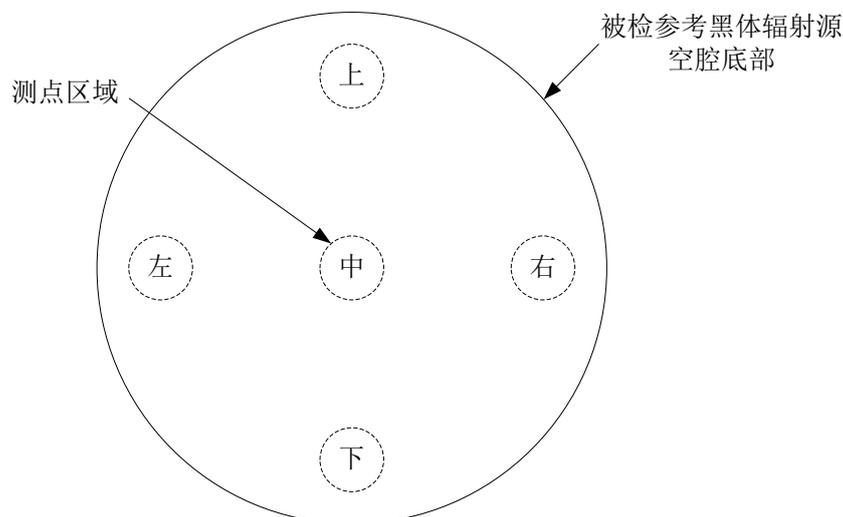


图 2 亮度温度均匀度检定位置选取示意图

7.3.6.3 被检参考黑体辐射源温度设定在检定温度点, 10min 的温度控制波动度不大于(0.1°C 与 0.1%|t|的大者)(t 为检定点温度值)即温度稳定以后开始检定。

7.3.6.4 不使用光阑, 辐射温度计瞄准参考黑体辐射源。

7.3.6.5 按照中→上→上→中, 中→左→左→中, 中→右→右→中, 中→下→下→中的顺序读取数值, 并记录测量结果。

7.3.6.6 亮度温度均匀度为各点亮度温度平均值与中心亮度温度平均值之差绝对值的最大值, 根据公式(6)计算。

$$\Delta t_u = |t_{cr,i} - t_{cr,c}|_{\max} \quad (6)$$

式中:

Δt_u ——被检参考黑体辐射源的亮度温度均匀度, °C;

$t_{cr,i}$ ——传递用辐射温度计测量被检参考黑体辐射源上部、下部、左部和右部的亮度温度示值平均值，°C；

$t_{cr,c}$ ——传递用辐射温度计测量被检参考黑体辐射源中心位置亮度温度示值平均值，°C。

温度均匀度测量结果应给出检定位置分布说明或示意图。

7.3.6.7 亮度温度均匀度计算结果应符合 5.4 的要求。

7.4 检定结果的处理

检定合格的参考黑体辐射源出具检定证书；检定不合格的参考黑体辐射源出具检定结果通知书，并注明不合格项。

7.5 检定周期

参考黑体辐射源检定周期一般不超过 12 个月。

附录 A

参考黑体辐射源原始记录内页参考格式

亮度温度示值误差和亮度温度稳定性

腔长:			口径:			外观检查:			绝缘电阻:			辐射温度计视场:					
最大允许误差:			发射率:			温度范围:			光阑直径:		测量距离:		环境温度:		环境湿度:		
检 定 点 ℃	标准黑体辐射源						被检参考黑体辐射源						检定结果				
	参考温度计			传递用辐射温度计			设 定 值 ℃	控温仪表或 测温温度计		传递用辐射温度计		检 定 点 ℃	亮 度 温 度 ℃	亮 度 温 度 示 值 误 差 ℃	亮 度 温 度 稳 定 性 ℃	扩 展 不 确 定 度 ℃	传 递 用 辐 射 温 度 计 波 长 μm
	示 值 ℃	平 均 值 ℃	修 正 值 ℃	测 量 值 ℃	平 均 值 ℃	示 值 ℃		平 均 值 ℃	测 量 值 ℃	平 均 值 ℃							

亮度温度波动度

检定点: °C						
时间 min	1	2	3	4	5	亮度温度 波动度 °C
温度 °C						
时间 min	6	7	8	9	10	
温度 °C						

亮度温度均匀度

单位: °C

检定点:			亮度温度均匀度:			与中部温度差 的绝对值
测量值						
上部	上部	平均值	中部	中部	平均值	
下部	下部	平均值	中部	中部	平均值	
左部	左部	平均值	中部	中部	平均值	
右部	右部	平均值	中部	中部	平均值	

附录 B

参考黑体辐射源检定证书/检定结果通知书内页参考格式

1、外观

2、绝缘电阻

绝缘电阻：_____MΩ

3、亮度温度示值误差和亮度温度稳定性

检定点 $t_{cn}/^{\circ}\text{C}$	控温仪表或 测温温度计示值 $t_{ci}/^{\circ}\text{C}$	亮度温度 $t_c/^{\circ}\text{C}$	亮度温度 示值误差 $\Delta t_c/^{\circ}\text{C}$	亮度温度 稳定性 $\Delta t/^{\circ}\text{C}$	扩展不确 定度 $U(k=2)/^{\circ}\text{C}$	传递用辐 射温度计 波长 $\lambda/\mu\text{m}$

4、亮度温度波动度

检定点 $t_{cn}/^{\circ}\text{C}$	亮度温度波动度 (10min) $\Delta t_f/^{\circ}\text{C}$

5、亮度温度均匀度

检定点 $t_{cn}/^{\circ}\text{C}$	亮度温度均匀度 $\Delta t_u/^{\circ}\text{C}$	检定位置图示

说明：

1. 传递用辐射温度计距参考黑体辐射源为_____mm，视场为_____mm；
2. 检定用光阑直径_____mm。

附录 C

参考黑体辐射源亮度温度示值误差测量不确定度评定示例

C.1 方法

将标准黑体辐射源和被检参考黑体辐射源分别设置在检定温度点，使用传递用辐射温度计分别测量标准黑体辐射源和被检参考黑体辐射源的亮度温度，即可计算得到被检参考黑体辐射源的亮度温度。检定点与亮度温度的差值即亮度温度示值误差。

对（-50~1000）℃范围内亮度温度示值误差进行不确定度评定，以下以 200℃温度点为例，进行不确定度评定。

C.2 测量模型

被检参考黑体辐射源的亮度温度示值误差测量模型见式(C.1)。

$$\Delta t_c = t_{cn} - t_c = t_{ci} - t_s - (t_{cr} - t_{sr}) \quad (\text{C.1})$$

式中：

Δt_c ——被检参考黑体辐射源的亮度温度示值误差，℃；

t_{cn} ——检定点，℃；

t_c ——被检参考黑体辐射源的亮度温度值，℃；

t_{ci} ——被检参考黑体辐射源控温仪表（或测温温度计）示值的平均值，℃。

t_s ——标准黑体辐射源参考温度计示值平均值，℃；

t_{cr} ——传递用辐射温度计测量被检参考黑体辐射源的亮度温度示值平均值，℃；

t_{sr} ——传递用辐射温度计测量标准黑体辐射源的亮度温度示值平均值，℃。

C.3 主要检定设备

以萘热管黑体辐射源 CR-NHP-40 作为标准装置，使用传递用辐射温度计 TRT 4，检定参考黑体辐射源 HW112。检定中使用的主要设备性能见表 C.1 和 C.2。

标准黑体辐射源的技术指标见表 C.1。

表 C.1 标准黑体辐射源技术指标

参数	技术指标
型号	CR-NHP-40
温度范围	(200~400)℃
有效发射率	≥0.999
空腔直径	40 mm
温度波动度	(0.05~0.1)℃/10min
温度均匀度	(0.1~0.2)℃
参考温度计	二等标准铂电阻温度计

传递用辐射温度计的技术指标见表 C.2。

表 C.2 传递用辐射温度计 TRT 4 技术指标

性能参数	技术指标
温度范围	(-50~1000)°C
温度分辨力	0.1 °C
工作波段	(8~14) μm
稳定性	(0.2~1.0) °C
最大允许误差	(1.4~8.2) °C

C.4 不确定度分量来源

C.4.1 标准黑体辐射源的亮度温度 t_s 引入的不确定度 u_s

- a) 参考温度计测量标准黑体辐射源亮度温度引入的不确定度
 - 1) 参考温度计传递引入的不确定度
 - 2) 参考温度计配套电测仪表引入的不确定度
 - 3) 参考温度计温度测量点与空腔底参考点温差引入的不确定度
- b) 标准黑体辐射源有效发射率引入的不确定度
- c) 环境温度变化引入的不确定度

C.4.2 温差($t_{cr} - t_{sr}$)引入的不确定度 u_r

- a) 传递用辐射温度计定位重复性引入的不确定度
- b) 传递用辐射温度计的测量特性引入的不确定度
 - 1) 传递用辐射温度计的测量分辨力（或重复性，二者取大值）引入的不确定度，此处以分辨力计算
 - 2) 传递用辐射温度计的短期稳定性引入的不确定度
 - 3) 传递用辐射温度计比较测量噪声引入的不确定度
 - 4) 传递用辐射温度计源尺寸效应（SSE）引入的不确定度
 - 5) 环境温度对传递用辐射温度计输出影响引入的不确定度
- c) 被检参考黑体辐射源引入的不确定度
 - 1) 被检参考黑体辐射源波动度引入的不确定度
 - 2) 被检参考黑体辐射源均匀度引入的不确定度
 - 3) 被检参考黑体辐射源分辨力引入的不确定度
 - 4) 被检参考黑体辐射源线性度引入的不确定度

C.5 不确定度分量评定

C.5.1 标准黑体辐射源亮度温度引入的标准不确定度 u_s C.5.1.1 参考温度计测量标准黑体辐射源亮度温度引入的不确定度 u_1 a) 参考温度计传递引入的不确定度 u_{11}

(-50~400) °C时, 使用二等标准铂电阻温度计; (400~1000) °C时, 使用一等标准 S 型热电偶作为标准器。二等标准铂电阻温度计扩展不确定度为 0.008°C, 一等标准 S 型热电偶扩展不确定度为 0.5 °C, 包含因子 k 为 2。200°C时, $u_{11} = 0.004^\circ\text{C}$ 。

b) 参考温度计配套电测仪表引入的不确定度 u_{12}

(-50~400) °C时, 使用电阻测量仪测量标准铂电阻温度计的温度值。200°C时, 根据电测设备测量铂电阻温度时的最大允许误差为 $\pm 0.012^\circ\text{C}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_{12} = 0.012/1.732 = 0.007^\circ\text{C} \quad (\text{C.2})$$

c) 参考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_{13}

参考温度计与空腔底参考点的温差估计在 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 以内, 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_{13} = 0.2/1.732 = 0.115^\circ\text{C} \quad (\text{C.3})$$

C.5.1.2 标准黑体辐射源有效发射率引入的不确定度 u_2

标准黑体辐射源有效发射率引入的不确定度可以根据发射率偏离 1 引入的温度修正值计算, 分布为均匀分布。

发射率引入的温度修正值可由标准黑体辐射源的参考温度计温度、波长、光阑温度、发射率计算。计算条件为光阑温度 20°C。用温度修正量的绝对值除以包含因子 $k = \sqrt{3}$ 作为标准不确定度 u_2 。

表 C.3 给出了不同温度下, 使用不同波段的辐射温度计, 标准黑体辐射源发射率为 0.999 时引入的温度修正量的绝对值。

表 C.3 不同温度、不同波长下, 标准黑体辐射源发射率为 0.999 时的修正量

温度 $t/^\circ\text{C}$	修正量 ($\varepsilon=0.999$) $\Delta t/^\circ\text{C}$					
	$\lambda=(8\sim 14)\mu\text{m}$	$\lambda=1.6\mu\text{m}$	$\lambda=3.9\mu\text{m}$	$\lambda=8\mu\text{m}$	$\lambda=10\mu\text{m}$	$\lambda=12\mu\text{m}$
200	0.13	0.03	0.06	0.11	0.13	0.14

依据表 C.3, 200°C, (8~14) μm 时标准黑体辐射源发射率引入的不确定度为

$$u_2 = 0.13/1.732 = 0.075^\circ\text{C} \quad (\text{C.4})$$

C.5.1.3 环境温度变化引入的不确定度

由于标准黑体辐射源的有效发射率大于 0.999, 因此环境温度变化引入的不确定度可以忽略不计。

C.5.2 标准黑体辐射源和被检参考黑体辐射源的亮度温度差引入的不确定度 u_r

C.5.2.1 传递用辐射温度计定位重复性引入的不确定度

本实验中电动平移台的定位重复性在 0.5mm，可忽略此项不确定度。

C.5.2.2 传递用辐射温度计的测量特性引入的不确定度 u_3 a) 传递用辐射温度计的测量分辨力引入的不确定度 u_{31}

TRT 4 的分辨力为 0.1 °C，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，标准不确定度为 0.029°C，由于分别测量标准和被检参考黑体辐射源，因此计算两次，则：

$$u_{31} = 0.041^\circ\text{C} \quad (\text{C.5})$$

b) 传递用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) 传递用辐射温度计噪声引入的不确定度 u_{32}

根据 TRT 4 说明书计算得到，如表 C.4 所示。

表 C.4 传递用辐射温度计噪声等效温差

单位：°C

温度	噪声等效温差
200	0.015
400	0.012
1000	0.009

辐射温度计的噪声一般为正态分布，扩展因子 $k = 2$ ，则：

$$u_{32} = 0.015/2 = 0.008^\circ\text{C} \quad (\text{C.6})$$

d) 传递用辐射温度计 SSE 引入的不确定度

使用两个相同的光阑，保障传递用辐射温度计测量标准和被检辐射源时的 SSE 相同，可忽略此项不确定度。

e) 环境温度对传递用辐射温度计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。

C.5.2.3 被检参考黑体辐射源引入的不确定度 u_4 C.5.2.3.1 被检参考黑体辐射源亮度温度均匀度引入的不确定度 u_{41}

按照本规程的要求，在 200°C 时亮度温度均匀度不大于 0.3°C，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{41} = 0.3/1.732 = 0.173^\circ\text{C} \quad (\text{C.7})$$

C.5.2.3.2 被检参考黑体辐射源亮度温度波动度引入的不确定度 u_{42}

按照本规程的要求，在 200°C 时亮度温度波动度不大于 0.2°C，服从均匀分布，区间半宽度为 0.1°C，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{42} = 0.1/1.732 = 0.058^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.8})$$

C.5.2.3.3 被检参考黑体辐射源分辨力引入的不确定度 u_{43}

被检黑体辐射源控温仪表分辨力为 0.1°C ，服从均匀分布，区间半宽度为 0.05°C ，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{43} = 0.05/1.732 = 0.029^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.9})$$

C.5.2.3.4 被检参考黑体辐射源与辐射温度计线性度引入的不确定度 u_{44}

传递用辐射温度计的线性度误差相对于被检参考黑体辐射源来说相对较小，可忽略不计，仅考虑被检参考黑体辐射源的线性度影响。

假设被检参考黑体辐射源的最大线性度误差等于其温度与标准黑体辐射源温度之差的0.3%，在 200°C 时，规程要求被检参考黑体辐射源的温度与被检温度点之差不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{44} = 2 \times 0.3\%/1.732 = 0.003^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.10})$$

C.6 不确定度分量汇总

主要的不确定度分量如表 C.5 所示。

表 C.5 不确定度分量汇总

序号	不确定度来源		分量代号	类型	分布	置信/包含因子 k	$u_i/^{\circ}\text{C}$
1	标准黑体辐射源参考温度计传递	标准黑体辐射源的亮度温度引入的不确定度	u_{11}	B	正态	2	0.004
2	标准黑体辐射源参考温度计配套电测仪表		u_{12}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.007
3	参考温度计与标准黑体辐射源空腔底部参考点温度差		u_{13}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.115
4	标准黑体辐射源有效发射率		u_2	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.075
5	传递用辐射温度计测量分辨力	标准黑体辐射源和被检参考黑体辐射源的亮度温度差引入的不确定度	u_{31}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.041
6	传递用辐射温度计噪声		u_{32}	B	正态	2	0.008
7	被检参考黑体辐射源亮度温度均匀度		u_{41}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.173
8	被检参考黑体辐射源亮度温度波动度		u_{42}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.058
9	被检参考黑体辐射源分辨力		u_{43}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.029
10	被检参考黑体辐射源线性度		u_{44}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.003

C.7 扩展不确定度 U 计算

根据以上的分析，参考黑体辐射源辐检定的合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2 + u_{13}^2 + u_2^2 + u_{31}^2 + u_{32}^2 + u_{41}^2 + u_{42}^2 + u_{43}^2 + u_{44}^2} = 0.23^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.11})$$

扩展不确定度($k=2$)为

$$U = 2 \times u_c = 0.5^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.12})$$

国防军工计量检定规程
(-50~1000)°C辐射测温用参考黑体辐射源
JJG(军工)×××××—×××××
国家国防科技工业局发布