



国防军工计量检定规程

JJG (军工) 161—2019

800℃~3000℃辐射测温用参考 黑体辐射源

Reference Blackbody Radiators for Radiation Thermometry
from 800℃ to 3000℃

2019-12-20 发布

2020-04-01 实施

国家国防科技工业局 发布

800℃~3000℃辐射测温用
参考黑体辐射源检定规程

Verification Regulation of Reference
Blackbody Radiators for Radiation
Thermometry from 800℃ to 3000℃

JJG (军工) 161—2019
代替 JJF (军工) 16—2012

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.....	1
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.....	2
6.1 外观.....	2
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.....	3
7.3 检定方法.....	4
7.4 检定结果的处理.....	6
7.5 检定周期.....	6
附录 A 原始记录内页参考格式.....	7
附录 B 参考黑体辐射源检定证书内页参考格式.....	9
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.....	10

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。

本规程替代 JJF (军工) 16—2012《800℃~3000℃辐射温度校准用黑体辐射源校准规范》，与 JJF (军工) 16—2012 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、亮度温度年稳定性、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。

本规程以光电高温计作为标准器，对 800℃~3000℃辐射测温用参考黑体辐射源进行检定。

800℃~3000℃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 800℃~3000℃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。

2 引用文件

本规程引用了下列文件:

JJF 1001 通用计量术语及定义

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

JJF 1001 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、加热炉体、温度控制和温度测量等系统组成。

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。

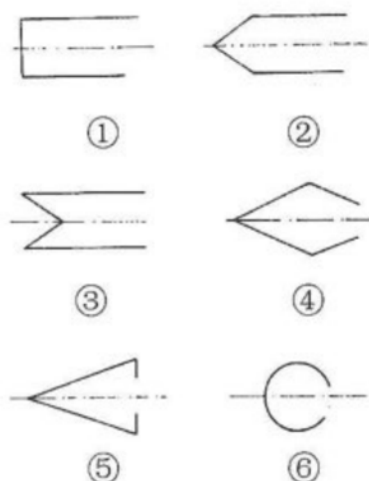


图 1 各种形状黑体空腔示意图

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;

按照控温传感器不同, 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: $800^{\circ}\text{C}\sim 3000^{\circ}\text{C}$, 最大允许误差: $\pm 0.5\% t$ 。

5.2 亮度温度年稳定性

年稳定性: $\pm 0.25\% t$ 。

5.3 亮度温度波动度

在 10min 内应不大于 $0.1\% t$ 。

5.4 亮度温度均匀度

不大于 $0.15\% t$ 。

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 $20\text{M}\Omega$ 。

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。

检定装置主要由光电高温计和配套设备组成。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	技术指标	用途
光电高温计	温度范围：满足检定温度范围要求 准确度等级：标准，或满足要求的其他温度计 波长：660nm 或其他有效波长 带宽：不大于 40 nm	直接法测量参考黑体辐射源的标准器
绝缘电阻表	量程：500M Ω 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 \pm 22) V, 50Hz 或 (380 \pm 38) V, (50 \pm 1) Hz；

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参考黑体辐射源的影响。

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	+	+	-

表 2 (续)

序号	检定项目名称	首次检定	后续检定	使用中检查
3	亮度温度示值误差	+	+	+
4	亮度温度年稳定性	-	+	-
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。对使用接触器（需接通外部电源后才能接通的开关）的参考黑体辐射源，如可能，应设法使接触器处于接通状态；

7.3.2.2 使用绝缘电阻表分别测量参考黑体辐射源加热元件与外壳（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 6.2 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的选择需覆盖整个温度范围，包含温度范围内下限、上限和所有整百度点；必要时可增加检定点。

7.3.3.2 光电高温计预热 2h。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 $0.1\%t$ （ t 为检定点温度值）即温度稳定以后开始检定。

7.3.3.3 从说明书中或设备标识上获取参考黑体辐射源的腔深（若无标识应在升温之前测量腔深），将光电高温计放置在距离腔口（腔深+ x ）mm 的位置，对腔口对焦。

注： x 为光电高温计的光学系统距离参考黑体辐射源腔口的距离，腔深+ $x >$ 光电高温计的最小焦距以便光电高温计能够对靶底对焦。

将光电高温计向前平行移动至距离炉口 x mm 的位置，此时光电高温计对靶底对焦。调整光电高温计的位置使得光电高温计的光轴与参考黑体辐射源的光轴重合。

7.3.3.4 读取光电高温计示值和参考黑体辐射源控温仪表（或测温温度计）示值。按照以下顺序进行读数：光电高温计→参考黑体辐射源→参考黑体辐射源→光电高温计。使用 1 种或以上不同有效波长的光电高温计分别进行测量。

7.3.3.5 参考黑体辐射源的亮度温度按照式（1）进行计算。

$$t_c = t_s + \Delta t_s - (t_{ci} - t_{cn}) \quad (1)$$

其中：

t_c ——参考黑体辐射源的亮度温度值, °C;

t_s ——光电高温计的两次读数平均值, °C;

Δt_s ——光电高温计修正值, °C;

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

t_{cn} ——检定点, °C。

7.3.3.6 参考黑体辐射源的亮度温度示值误差按照式(2)进行计算。

$$\Delta t_c = t_{cn} - t_c \quad (2)$$

式中:

Δt_c ——参考黑体辐射源的亮度温度示值误差, °C。

7.3.3.7 亮度温度示值误差计算结果应符合 5.1 的要求。

7.3.4 亮度温度年稳定性

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 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% t (t 为检定点温度值) 即温度稳定以后开始检定。

7.3.5.3 优先使用 660nm 有效波长光电高温计进行检定, 也可按照用户需求选择其他有效波长的光电高温计; 每分钟测量 1 次, 共测量 10 次, 并记录测量结果。

7.3.5.4 亮度温度波动度由公式(3)计算:

$$\Delta t_f = t_{s,max} - t_{s,min} \quad (3)$$

式中:

Δt_f ——参考黑体辐射源的亮度温度波动度, °C;

$t_{s,max}$ ——光电高温计温度示值最大值, °C;

$t_{s,min}$ ——光电高温计温度示值最小值, °C。

7.3.5.5 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。

7.3.6.3 光电高温计瞄准参考黑体辐射源。

7.3.6.4 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% t

(t 为检定点温度值)即温度稳定以后开始检定。

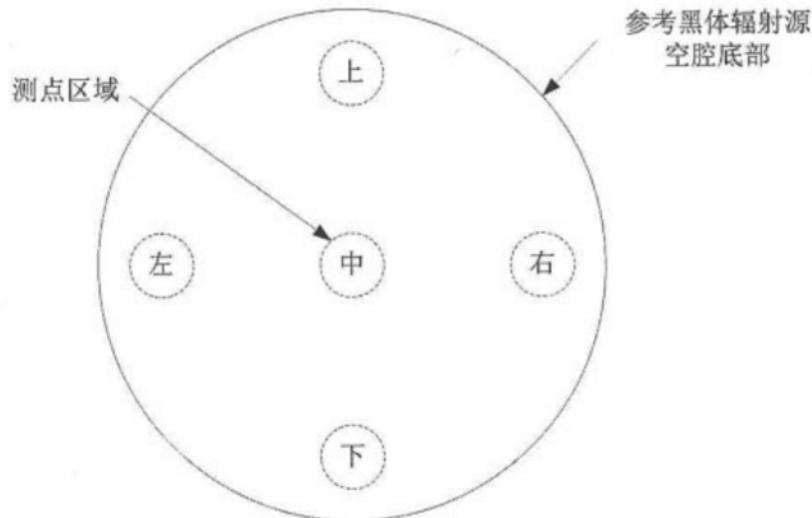


图2 亮度温度均匀度检定位置选取示意图

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温度平均值与中心温度平均值之差绝对值的最大值，根据公式(4)计算。

$$\Delta t_u = |t_{s,j} - t_{s,c}|_{\max} \quad (4)$$

式中：

Δt_u ——参考黑体辐射源的亮度温度均匀度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{s,i}$ ——光电高温计测量参考黑体辐射源上部、下部、左部和右部的温度示值平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{s,c}$ ——光电高温计测量参考黑体辐射源中心位置温度示值平均值， $^{\circ}\text{C}$ 。

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。

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	

国防军工

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年稳定性

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 年稳定性 $\Delta t/^{\circ}\text{C}$	扩展不确定度 $U(k=2)/^{\circ}\text{C}$	光电高温计 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

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

将光电高温计放置于位移机构上, 瞄准参考黑体辐射源的靶底并使光电高温计光轴与参考黑体辐射源光轴重合。读取光电高温计示值和参考黑体辐射源控温仪表 (或测温温度计) 示值, 即可计算得到参考黑体辐射源的亮度温度。

对 (800~3000) °C 范围内亮度温度示值误差进行不确定度评定, 以下以 1200°C 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示值误差由式 (C.1) 计算

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

式中:

Δt_c ——参考黑体辐射源的亮度温度示值误差, °C;

t_{cn} ——检定点, °C;

t_c ——参考黑体辐射源的亮度温度, °C;

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

t_s ——光电高温计的两次读数平均值, °C;

Δt_s ——光电高温计修正值, °C;

在进行不确定度评定时, 需要考虑参考黑体辐射源引入的不确定度, 因此, 测量模型表示为式 (C.2)

$$\Delta t_c = t_{ci} - t_s - \Delta t_s + \Delta t_1 \quad (\text{C.2})$$

式中:

Δt_1 ——参考黑体辐射源带来的影响, °C。

C.3 主要检定设备

以光电高温计作为标准装置, 检定参考黑体辐射源 HT162。检定中使用的主要设备即光电高温计的技术指标见表 C.1。

表 C.1 光电高温计技术指标

参数	技术指标
型号	RT9031
温度范围	(1000~2700) °C
温度分辨力	0.1 °C
工作波段	660nm
扩展不确定度	$U=(0.4\sim 2.2)^\circ\text{C}, k=2$

C.4 不确定度分量来源

影响 Δt_c 的主要因素有参考黑体辐射源引入和光电高温计引入两部分。

表 C.2 测量不确定度的来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	光电高温计传递	钨带灯校准光电高温计时引入的不确定度
2	光电高温计年稳定性	光电高温计的年稳定性按照标准光电高温计检定规程要求为 1.0°C
3	参考黑体辐射源线性度	参考黑体辐射源的亮度温度与检定点之差不超过 $\pm 0.5\%t$
4	参考黑体辐射源分辨力或测量重复性	对于分辨力和测量重复性引入的不确定度两者取大者
5	参考黑体辐射源均匀度	参考黑体辐射源空腔底部有效区域内各点与中心点温差绝对值的最大值
6	参考黑体辐射源波动度	10min 内参考黑体辐射源亮度温度变化的最大值

C.5 不确定度分量评定

C.5.1 光电高温计亮度温度 $t_s + \Delta t_s$ 引入的标准不确定度 u_1 C.5.1.1 光电高温计引入的不确定度 u_{11}

根据光电高温计的检定证书,在 1200°C 时,其扩展不确定度为 0.42°C , $k=2$,引入的标准不确定度 $u_{11}=0.21^{\circ}\text{C}$ 。

C.5.1.2 光电高温计的年稳定性引入的不确定度 u_{12}

光电高温计的年稳定性按照标准光电高温计检定规程要求为 1.0°C ,符合均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$,则:

$$u_{12} = 1.0 / 1.732 = 0.58^{\circ}\text{C}$$

C.5.2 参考黑体辐射源 $t_{ci} + \Delta t_1$ 引入的标准不确定度 u_2 C.5.2.1 参考黑体辐射源的线性度引入的不确定度 u_{21}

假设参考黑体辐射源的最大线性度误差等于其温度与检定温度之差的 0.3% ,在 1200°C 时,参考黑体辐射源的温度与被检温度点之差不超过 $\pm 6^{\circ}\text{C}$,按均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$,则:

$$u_{21} = 6 \times 0.3\% / 1.732 = 0.01^{\circ}\text{C}$$

C.5.2.2 测量重复性或者分辨力引入的不确定度 u_{22}

测量重复性与温度分辨力引入的不确定度,只考虑大者。此处考虑测量重复性引入的不确定度。用 A 类标准不确定度评定。检定时重复测量 10 次,如下表所示。

表 C.3 测量重复性数据

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1200	1200.1	1200.3	1200.2	1200.1	1200.3	1200.4	1200.2	1200.4	1200.0	1200.1

计算其实验标准偏差 $s=0.14^{\circ}\text{C}$ ，由于测量结果为两次测量的平均值，因此重复性引入的不确定度分量为：

$$u_{22} = s / \sqrt{2} = 0.10^{\circ}\text{C}$$

C.5.2.3 参考黑体辐射源的亮度温度均匀度引入的不确定度 u_{23}

按照本规程要求，在 1200°C 时，亮度温度均匀度不大于 1.8°C ，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{23} = 1.8 / 1.732 = 1.04^{\circ}\text{C}$$

C.5.2.4 参考黑体辐射源的亮度温度波动度引入的不确定度 u_{24}

按照本规程的要求，在 1200°C 时，亮度温度波动度不大于 1.2°C ，服从均匀分布，区间半宽度为 0.6°C ，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{24} = 0.6 / 1.732 = 0.35^{\circ}\text{C}$$

C.6 不确定度分量汇总

主要的不确定度分量如表 C.3 所示。

表 C.4 主要标准不确定度汇总表（ 1200°C 时）

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	光电高温计传递	光电高温计引入的不确定度	u_{11}	B	正态	2	0.21
2	光电高温计的年稳定性		u_{12}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.58
3	参考黑体辐射源的线性度	参考黑体辐射源引入的不确定度	u_{21}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.01
4	测量重复性或者分辨力		u_{22}	A	/	/	0.10
5	参考黑体辐射源的亮度温度均匀度		u_{23}	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.04
6	参考黑体辐射源的亮度温度波动度		u_{24}	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.35

C.7 扩展不确定度 U 计算

根据以上的分析，黑体辐射源辐射检定结果的合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2 + u_{21}^2 + u_{22}^2 + u_{23}^2 + u_{24}^2} = 1.26^{\circ}\text{C}$$

扩展不确定度($k=2$)为

$$U = 2 \times u_c = 2.5^{\circ}\text{C}$$

国防军工计量检定规程
800℃~3000℃辐射测温用参考黑体辐射源
JJG (军工) 161—2019
国家国防科技工业局发布