



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 309—2011

500 K~1 000 K 黑体辐射源

Blackbody Radiators at the 500 K~1 000 K

2011-12-28 发布

2012-06-28 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

500 K~1 000 K 黑体辐射源

检定规程

Verification Regulation of Blackbody

Radiators at the 500 K~1 000 K

JJG 309—2011
代替 JJG 309—2001

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2011 年 12 月 28 日批准，并自 2012 年 6 月 28 日起施行。

归口单位：全国光学计量技术委员会

起草单位：中国测试技术研究院

中国计量科学研究院

本规程委托全国光学计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

苏红雨（中国测试技术研究院）

霍 超（中国计量科学研究院）

张宪亮（中国测试技术研究院）

参加起草人：

代彩虹（中国计量科学研究院）



目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 术语	(1)
5 计量性能要求	(2)
6 通用技术要求	(2)
6.1 外观	(2)
6.2 工作正常性检查	(2)
7 计量器具控制	(3)
7.1 检定环境条件	(3)
7.2 主要检定设备	(3)
7.3 辅助检定设备	(3)
7.4 检定项目和检定方法	(3)
7.5 检定结果处理	(7)
7.6 检定周期	(7)
附录 A 测量不确定度评定	(8)
附录 B 500 K~1 000 K 黑体辐射源检定记录格式	(9)
附录 C 500 K~1 000 K 黑体辐射源检定证书和检定结果通知书 (内页) 格式	(11)

本规程适用于 500 K~1 000 K 标准和工作黑体辐射源的首次检定、后续检定和使用中检查。500 K~1 000 K 黑体辐射源的型式评价中对有关计量性能的要求可参照本规程执行。

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

黑体辐射源的腔型结构如图 1 所示。主要包括黑体腔、加热线圈、保温层、温度控制器和测量与控制腔体温度的温度计等。

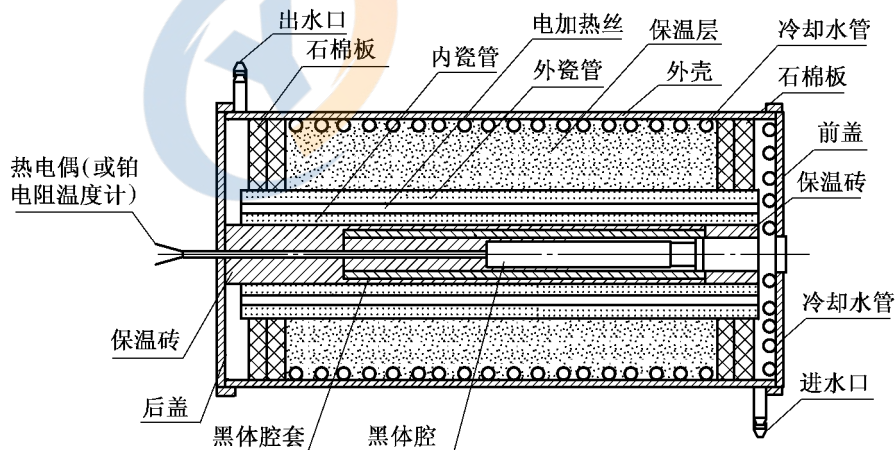


图 1 标准黑体辐射源的结构图

空腔纵向从底部到整个腔体长度的 $2/3$ 处的部分称为有效腔长。

4.3 有效发射率 effective emissivity

若黑体在有效腔长内其温度分布是均匀的，其辐射出射度与同温度下理想黑体的辐射出射度之比值称为有效发射率。

4.4 等效发射率 equivalent emissivity

若黑体在有效腔长内其温度分布有一定的温度梯度，其辐射出射度与同温度下理想黑体的辐射出射度之比值称为等效发射率。

5 计量性能要求

计量性能要求见表 1。

表 1 计量性能要求

序号	检定项目	技术指标	工作基准黑体	标准黑体	工作黑体
1	黑体腔几何参量	有效辐射面直径	$\geq 20 \text{ mm}$	$\geq 20 \text{ mm}$	$\geq 12 \text{ mm}$
		腔长比 L/R (L 为腔的总长度, R 为腔开口半径)	≥ 10	≥ 10	≥ 5
		同轴度偏差 (有效辐射面中心、腔的开口中心、黑体前表面开口中心)	$\leq 0.5 \text{ mm}$	$\leq 0.5 \text{ mm}$	$\leq 0.5 \text{ mm}$
2	黑体的温度特性	在达到温度稳定后, 其温度 T 的稳定性	$\leq 0.000 2 \text{ T/h}$	$\leq 0.000 2 \text{ T/h}$	$\leq 0.001 \text{ T/h}$
		腔体的有效辐射面其温度 T 的均匀性	$\leq 0.000 5 \text{ T}$	$\leq 0.000 5 \text{ T}$	$\leq 0.000 2 \text{ T}$
		腔体纵向温度 T 的均匀性	$\leq 0.001 \text{ T}$ ($2/3 L$ 内)	$\leq 0.001 \text{ T}$ ($2/3 L$ 内)	$\leq 0.01 \text{ T}$ ($1/2 L$ 内)
3	黑体的辐射特性	实测有效发射率	≥ 0.999	≥ 0.99	≥ 0.97
		在检定周期内, 实测有效发射率的变化	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.02
4	表面温差	前端表面温度与环境温度的差值 ΔT	$\leq 10 \text{ K}$	$\leq 10 \text{ K}$	$\leq 10 \text{ K}$

6 通用技术要求

6.1 外观

6.1.1 应有铭牌, 铭牌上有名称、生产厂家、型号、编号等。

6.1.2 腔体内表面氧化膜或涂料无明显剥落和污染。

6.1.3 应具有腔形结构图, 并标明具体尺寸和有效辐射面的位置。

6.2 工作正常性检查

6.2.1 水冷式的水管无漏水，风冷式的风扇应无震动和异常声响。

6.2.2 通电加温后壳体和空腔体不得带电，腔内无水汽或挥发物出现。

7 计量器具控制

7.1 检定环境条件

实验室应为暗室，无强空气对流；室内环境温度为 $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ ；无强电磁干扰和振动。

7.2 主要检定设备

主要检定设备见表 2。

表 2 检定设备

序号	设备名称	技术指标要求
1	工作基准黑体一套（检标准黑体）	满足表 1 中所列的各项指标
2	标准黑体一套（检工作黑体）	满足表 1 中所列的各项指标
3	温度控制器一台	控温稳定性优于 0.1 K/h ，显示分辨力 0.1 K
4	一等标准铂电阻温度计	测温不确定度优于 $2 \text{ mK} \sim 30 \text{ mK}$ ($k=2$)
5	一等标准铂铑 10-铂热电偶两支	测温不确定度优于 0.6 K ($k=3$)
5	数字电阻测量仪	分辨率 $0.1 \text{ m}\Omega$ ，符合 0.001% 级数表要求
6	数字电压表一台	分辨率 $0.1 \mu\text{V}$ ，符合 0.002% 级数字电压表的指标
7	表面温度计一支	最小分度值 0.1 K ，示值范围 $273 \text{ K} \sim 330 \text{ K}$
8	辐射亮度计一台	光谱响应范围 $1 \mu\text{m} \sim 25 \mu\text{m}$ ，具有近似平坦的响应曲线，视场角 $\leq 1^\circ$

7.3 辅助检定设备

7.3.1 水冷开关一个。

7.3.2 水冷挡屏一套。

7.3.3 水三相点杜瓦瓶两个。

7.3.4 光路调整器具：

a) 框式水平仪一台，精度： $0.02 \text{ mm/m} \sim 0.05 \text{ mm/m}$ ；

b) 光学水准仪两台，扩展不确定度为 $0.2'$ ($k=2$)；

c) 刻度间隔为 0.1 mm 的玻璃分划板两个；

d) 激光器，发射角小于 0.5 mrad 。

7.4 检定项目和检定方法

7.4.1 检定项目

检定项目见表 3。

表 3 检定项目

序号	检 定 项 目	首次检定	后续检定	使用中检验
1	外观	+	+	+
2	黑体腔几何尺寸	+	—	—
3	表面温差	+	+	+
4	温度稳定性	+	+	+
5	有效辐射面温度均匀性	+	+	—
6	纵向温度分布均匀性	+	+	—
7	有效发射率值	+	+	—

注：需检定的项目用“+”，在使用中可不检定的项目用“—”表示。

7.4.2 检定方法

7.4.2.1 检定准备

a) 黑体腔几何尺寸的检查

按表 1 中的黑体腔几何参量检定项目作判断。

b) 测量系统主光轴的确定

1) 按图 2 排列检测装置的各有关设备。

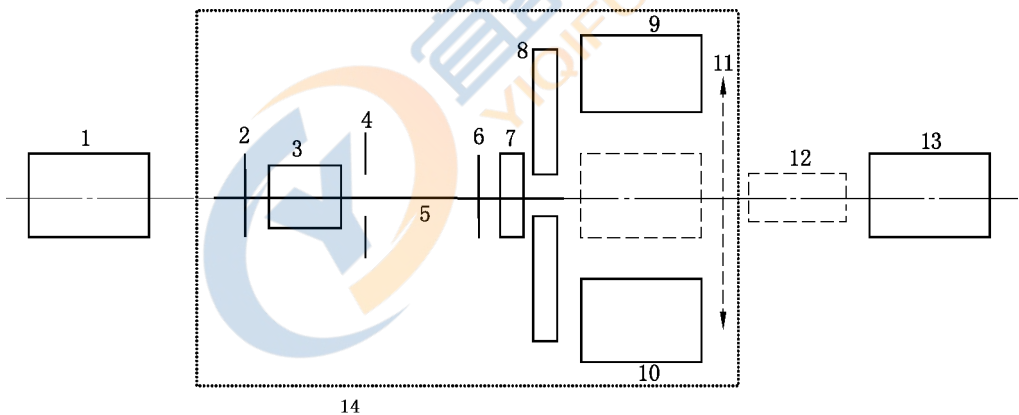


图 2 黑体检定系统框图

1, 13—光学水准仪；2, 6—玻璃分划板；3—辐射亮度计；4—光闸；5—光轨；7—水冷快门；
8—水冷挡屏；9—标准黑体；10—被检黑体；11—精密位移台；12—激光器；14—辐射屏蔽罩

在光轨两端处分别放一块玻璃分划板，并调整到光轨的中心轴线上，离地高度视装置的实际情况而定。

2) 将光学水准仪 1 的光轴调整成水平，并通过对光轨上的分划板中心的观察，反复调整光学水准仪的左、右、上、下位置，直至水准仪光轴与测量系统主光轴重合。

3) 同样将光学水准仪 13 调整到与测量系统主光轴一致。

c) 光路调整

1) 将黑体置于移动工作台上，使被检黑体的有效辐射面与标准黑体的有效辐射面位于同一垂直平面上。

- 2) 启动移动工作台, 使标准黑体逐渐到达测量系统的主光轴附近。
 - 3) 通过光学水准仪 1 观察, 调整移动工作台, 使标准黑体的光轴与测量系统的主光轴重合, 锁紧一切可移动的部件。
 - 4) 启动移动工作台, 使标准黑体逐渐移开光轴而被检黑体逐渐移至测量系统主光轴附近。
 - 5) 通过光学水准仪 1 观察, 调整移动工作台, 使被检黑体的光轴与测量系统的主光轴重合。
 - 6) 启动移动工作台使标准和被检黑体位于测量系统光轴之外。
 - 7) 取出辐射亮度计, 安装到光轨上的多维可调支架上, 利用玻璃分划板通过辐射亮度计目镜观察, 调节支架将辐射亮度计的光轴调到与测量主光轴重合。如辐射亮度计无目镜观察系统, 则通过光学水准仪 13 来观察, 将辐射亮度计的光轴调到与测量主光轴基本一致。
 - d) 开启冷却水源或冷却风扇电源, 使黑体外壳冷却。
 - e) 开启控温仪电源, 把标准黑体和被检黑体设置在同一工作温度点。将一等标准热电偶放置于空腔内测温参考点处, 并适当固定, 使热电偶测温点与腔壁有良好的热接触。
 - f) 开启两黑体的加热电源, 在控温仪控制下升温。当两黑体稳定地工作在设置温度上时, 通过测温热电偶测出两黑体的有效辐射面处的真实温度。当 $|T_s - T_t| \leq 5 \text{ K}$, 记下测量的温度值 T_s 和 T_t , 此时可以进行正式测量。
- #### 7.4.2.2 黑体前端表面温度与环境温度差值的测量
- 在黑体前端表面离黑体出射孔边缘 15 mm 处, 取上下左右四个温度测定点, 利用点接触表面温度计分别测量 4 点的温度, 取其最大值 $T_{\max}$ 作为前表面温度记录于附录表 B.1 中, 同时记录环境温度 T_0 。
- #### 7.4.2.3 黑体温度准确性和稳定性的测量
- 将标准热电偶测温头固定在黑体有效辐射面的测温参考点处, 并保持良好的热接触, 其冷端插入水三相点杜瓦瓶中。连接电测仪表。等温度稳定后, 测量热电偶的温差电动势, 记录于附录表 B.2 中。每 5 min 进行一次测量, 连续测量 1 h。
- #### 7.4.2.4 有效辐射面温度均匀性的测量
- 根据被检黑体的几何形状, 在有效辐射面后相应的腔体表面上选取 6 个不同部位进行温度测量, 记录于附录表 B.3 中。
- #### 7.4.2.5 有效腔长区域内纵向温度分布均匀性的测量
- 根据被检黑体的几何形状, 用热电偶从腔底向开口方向逐步移动进行温度测量, 移动的间距为 5 mm。每移动一次测量点, 需等测温热电偶输出充分稳定后 (约 10 min), 在附录表 B.4 中记录温度 T 的温差电动势 U 。如此逐点测量, 直至 $2/3$ 腔长处。
- #### 7.4.2.6 黑体有效发射率的测量
- 1) 启动移动工作台, 使标准黑体到达光路调整时预设的位置。
 - 2) 开启辐射亮度计, 预热 10 min。
 - 3) 标准黑体定位后, 测定腔体有效辐射面参考点的温度 T_s , 缓慢抽出测温热电

偶。打开水冷挡屏。

4) 打开辐射亮度计的镜头盖, 连续采样 1 min, 记下读数 L_s ; 关闭水冷挡屏。等待 2 min 后, 打开水冷挡屏, 再次进行辐射亮度值 L_s 测定。如此循环 5~7 次, 记录下各次测定辐射亮度值 L_s 。

5) 参照 7.4.2.6 1)~4) 的操作, 对被检黑体进行测量, 记录腔体有效辐射面参考点的温度 T_t 和辐射亮度值 L_t 。

6) 若因外界因素干扰或测量过程中有误动作, 则需重复 7.4.2.6 1)~5) 的测量。

7) 测量结束, 按黑体具体使用要求, 让其自然降温, 监测温度仪继续工作, 其他仪器则切断电源。待炉温降至 450 K 以下时, 关闭冷却装置和监测温度仪表的电源。

7.4.2.7 检定数据处理

7.4.2.7.1 前端表面温度与环境温度的差值

将附录表 B.1 中记录的前表面温度各点温度中最大值 $T_{\max}$ 与环境温度 T_0 相减, 得到二者温度差 $\Delta T = T_{\max} - T_0$, $\Delta T < 10$ K 判定合格。

7.4.2.7.2 黑体温度稳定性

根据 7.4.2.3 的方法所测量的数据, 找出 1 h 温度测量的最大差值, 即与温度平均值的最大差值 $\Delta T_{\max} = |\bar{T} - T_i|_{\max}$ 作为黑体温度稳定性, 对于标准黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.000 2 T$ 判定合格, 对于工作黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.001 T$ 判定合格。

7.4.2.7.3 有效辐射面温度的均匀性

根据 7.4.2.4 方法所测量的数据, 取 6 点温度间的最大差值 $\Delta T_{\max} = |\bar{T} - T_i|_{\max}$ 作为有效辐射面温度均匀性, 对于标准黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.000 5 T$ 判定合格, 对于工作黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.001 T$ 判定合格。

7.4.2.7.4 有效腔长区域内纵向温度分布均匀性

根据 7.4.2.5 方法所测量的数据, 取各点温度间的最大差值 $\Delta T_{\max} = |\bar{T} - T_i|_{\max}$ 作为有效腔长区域内纵向温度分布均匀性, 对于标准黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.001 T$ 判定合格, 对于工作黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.01 T$ 判定合格。

7.4.2.7.5 黑体有效发射率

根据 7.4.2.6 4) 条测量所记录的数据, 计算标准黑体辐射亮度值的平均值 $\bar{L}_s$, 腔体有效辐射面温度的平均值 $\bar{T}_s$ 和测量值相对标准偏差 s_{L_s} , s_{T_s} 。

根据 7.4.2.6 5) 条测量所记录的数据, 计算被检黑体辐射亮度值的平均值 $\bar{L}_t$, 腔体有效辐射面温度的平均值 $\bar{T}_t$ 和测量值相对标准偏差 s_{L_t} , s_{T_t} 。

将 $\bar{L}_s$, $\bar{T}_s$ 和 $\bar{L}_t$, $\bar{T}_t$ 值代入式 (1), 计算出被检黑体的有效发射率 ϵ_t :

$$\epsilon_t = \epsilon_s \frac{\bar{L}_t \bar{T}_s^4}{\bar{L}_s \bar{T}_t^4} \quad (1)$$

式中: ϵ_s ——标准黑体的有效发射率。

对测量的发射率 ϵ_t , 对于标准黑体, 当 $\epsilon_t \geq 0.99$ 判定合格; 对于工作黑体, 当 $\epsilon_t \geq 0.97$ 判定合格。

7.5 检定结果处理

按本规程要求检定合格的黑体发给检定证书；不合格的黑体发给检定结果通知书，并指出不合格项。

7.6 检定周期

标准黑体的检定周期为 2 年，工作黑体的检定周期为 1 年。



附录 A

测量不确定度评定

在检定黑体的发射率时,采取与高一级的标准黑体进行对比测量,按照相对辐射测量来计算被检黑体的发射率,可得:

$$u_{\epsilon_t} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \quad (\text{A.1})$$

A.1 u_1 为上一级黑体的发射率的不确定度,按传递要求为 0.1%。

$$u_1 = u(\epsilon_s) / \epsilon_s \quad (\text{A.2})$$

A.2 u_2 为被检黑体的辐亮度 L_t 的测量不确定度。

$$u_2 = u(L_t) / L_t \quad (\text{A.3})$$

A.3 u_3 为标准黑体的辐亮度 L_s 的测量不确定度。

$$u_3 = u(L_s) / L_s \quad (\text{A.4})$$

由于采用对比法,辐射亮度是相对测量,因此 u_2, u_3 只需考虑测量数据的标准偏差。

A.4 u_4 为被检黑体的有效辐射面温度的测量不确定度。

$$u_4 = 4[u(T_t) / T_t] \quad (\text{A.5})$$

其中,一等标准铂电阻温度计 ($-200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 630.74\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的传递不确定度为 2 mK ~ 30 mK,考虑到扩展不确定度的包含因子 $k=2$,则标准不确定度为 1 mK ~ 15 mK,即

$$u^2(T_t) = 0.015^2 + \left[\frac{1}{n-1} \sum_i (T_{t_i} - \bar{T}_t) \right]^2 \quad (\text{A.6})$$

一等铂铑 10-铂热电偶 ($419.58\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1\,084.88\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的传递不确定度为 0.6 K,考虑到扩展不确定度的包含因子 $k=3$,则标准不确定度为 0.2 K,即

$$u^2(T_t) = 0.2^2 + \left[\frac{1}{n-1} \sum_i (T_{t_i} - \bar{T}_t) \right]^2 \quad (\text{A.7})$$

A.5 u_5 为标准黑体的有效辐射面温度的测量不确定度。

$$u_5 = 4[u(T_s) / T_s] \quad (\text{A.8})$$

其中,一等标准铂电阻温度计 ($-200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 630.74\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的传递不确定度为 2 mK ~ 30 mK,考虑到扩展不确定度的包含因子 $k=2$,则标准不确定度为 1 mK ~ 15 mK,即

$$u^2(T_s) = 0.015^2 + \left[\frac{1}{n-1} \sum_i (T_{s_i} - \bar{T}_s) \right]^2 \quad (\text{A.9})$$

一等铂铑 10-铂热电偶 ($419.58\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1\,084.88\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的传递不确定度为 0.6 K,考虑到扩展不确定度的包含因子 $k=3$,则标准不确定度为 0.2 K,即

$$u^2(T_s) = 0.2^2 + \left[\frac{1}{n-1} \sum_i (T_{s_i} - \bar{T}_s) \right]^2 \quad (\text{A.10})$$

A.6 将上述公式代入式 (A.1),即可得到合成不确定度 u_{ϵ_t} 。取 $k=2$,则

$$U_{\epsilon_t} = k u_{\epsilon_t}$$

即可给出检定结果的扩展不确定度。

附录 B

500 K~1 000 K 黑体辐射源检定记录格式

表 B.1 外观及前表面温度实验记录

仪器名称				出厂编号		型号规格	
送检单位				黑体设置 温度/K		送检日期	
外观检查		前表面温度 $T_{\max}/\text{K}$		环境温度 T_0/K		表面温升 $\Delta T/\text{K}$	
腔形几何 尺寸							
相对湿度		检定员		核验员		检定日期	

表 B.2 发射率实验记录

型号规格				出厂编号			名义温度/K				黑体分类			
序号	记录时间	标准黑体工作温度		标准黑体辐亮度		序号	记录时间	被检黑体实测温度		被检黑体辐亮度		序号	记录时间	被检黑体辐亮度
		U_s/mV	T_s/K	序号	L_s			U_t/mV	T_t/K	序号	L_t			
平均值					/		平均值					/		
温度稳定性			S_{T_s}		S_{L_s}		温度稳定性			S_{T_t}		S_{L_t}		
标准黑体发射率 ϵ_s				被检黑体发射率 ϵ_t				不确定度						

表 B.3 有效辐射面温度均匀性实验记录

型号规格		出厂编号		工作温度 /K		名义温度 /K	
序号	部 位		热电偶电势 U/mV		温度/K		
温度均匀性					备注		

表 B.4 纵向温度均匀性实验记录

型号规格		出厂编号		工作温度 /K		名义温度 /K	
序号	距腔底的距离/mm		热电偶电势 U/mV		温度/K		
温度均匀性					备注		

附录 C

500 K~1 000 K 黑体辐射源检定证书和检定结果通知书（内页）格式

C.1 检定证书内页格式

证书编号：××××××-××××

检 定 结 果

通用技术要求	外观	
	前表面与环境温差/K	
温度特性	名义温度值/K	
	实测温度值/K	
	温度稳定性/(K/h)	
	辐射面温度均匀性/K	
	纵向温度均匀性/K	
发射率测定值		
检定结论		
检定结果 不确定度	有效发射率的不确定度	
备注： 1 当黑体分类是标准黑体时，给出有效发射率； 当黑体分类是工作黑体时，给出等效发射率。 2 下次送检带此证书。		

以下空白

第 页 共 页

C.2 检定结果通知书内页格式

证书编号：××××××-××××

检 定 结 果

通用技术要求	外观	
	前表面与环境温差/K	
温度特性	名义温度值/K	
	实测温度值/K	
	温度稳定性/(K/h)	
	辐射面温度均匀性/K	
	纵向温度均匀性/K	
发射率测定值		
检定结论		

不合格项：

以下空白

第 页 共 页