



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 309—2001

500 K~1 000 K 黑体辐射源

The Blackbody Radiators

at the 500 K~1 000 K

2001-06-05 发布

2001-10-01 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 the Blackbody Radiators

at the 500 K~1 000 K

JJG 309—2001
代替 JJG 309—1983

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2001 年 06 月 05 日批准，并自 2001 年 10 月 01 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

国防科工委光学计量一级站

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：

杨华元 （中国测试技术研究院）

梁 培 （国防科工委光学计量一级站）

苏红雨 （中国测试技术研究院）

参加起草人：

岳文龙 （国防科工委光学计量一级站）

目 录

1 范围·····	(1)
2 概述·····	(1)
3 术语·····	(1)
3.1 有效辐射面·····	(1)
3.2 有效腔长·····	(1)
3.3 有效发射率·····	(1)
3.4 等效发射率·····	(1)
3.5 材料表面发射率·····	(1)
4 计量性能要求·····	(1)
5 通用技术要求·····	(1)
5.1 外观·····	(1)
5.2 工作状态·····	(2)
6 计量器具控制·····	(2)
6.1 检定条件·····	(2)
6.2 检定项目·····	(3)
6.3 检定方法·····	(4)
6.4 检定结果处理·····	(8)
6.5 检定周期·····	(8)
附录 A 500 K~1 000 K 黑体辐射源检定记录格式·····	(9)
附录 B 500 K~1 000 K 黑体辐射源检定证书(背面)格式·····	(13)

500 K~1 000 K 黑体辐射源检定规程

1 范围

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验。500 K~1 000 K 黑体辐射源的定型鉴定和样机试验中对有关计量性能的要求可参照本规程执行。

2 概述

500 K~1 000 K 黑体辐射源（简称黑体）是指工作在 500 K~1 000 K 温度范围（固定温度点工作或可调温度点工作）内的，其辐射出射度 M 可用斯忒藩-玻尔兹曼定律 $M = \epsilon \sigma T^4$ 进行描述的红外辐射源。黑体常用于红外元器件以及红外仪器整机性能测试，按其计量特性分为标准黑体和工作黑体两种。

3 术语

3.1 有效辐射面

指检测器视场与黑体空腔相交所截取的面积。

3.2 有效腔长

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。

3.3 有效发射率

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。

3.4 等效发射率

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。

3.5 材料表观发射率

表面未经抛光的材料的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材料表观发射率。

4 计量性能要求

（如表 1 所示）

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 应有铭牌，铭牌上有名称、型号、编号、 标志等。

表 1 计量性能要求

序 号	性能指标	标准黑体	工作黑体
1 黑体腔几何参量	有效辐射面直径	$\geq 20 \text{ mm}$	$\geq 12 \text{ mm}$
	腔长比 L/R (L 腔的长度, R 腔开口半径)	≥ 10	≥ 5
	有效辐射面中心, 腔的开口中心, 黑体前表面开口中心应在同一轴线上, 其偏差不应超过	0.5 mm	0.5 mm
2 黑体的温度特性	应配有相应的控温仪, 达到设定温度值所需时间	3 h	3 h
	在到达温度稳定后, 其温度的稳定性	0.000 2 T/h	0.001 T/h
	测温的不确定度	$\leq 0.000 5 \text{ T}$	$\leq 0.003 \text{ T}$
	腔体的有效辐射面其温度的均匀性	$\leq 0.000 5 \text{ T}$	$\leq 0.005 \text{ T}$
	腔体纵向温度的均匀性	$\leq 0.001 \text{ T}$ (2/3 L 内)	$\leq 0.01 \text{ T}$ (1/2 L 内)
3 辐射特性	实测有效发射率	≥ 0.99	≥ 0.97
	在检定周期内, 实测有效发射率的变化	≤ 0.01	≤ 0.02

5.1.2 外形尺寸合理, 便于使用和检测。

5.1.3 结构紧凑, 坚固可靠。

5.1.4 腔体内表面氧化膜或涂料无明显剥落和污染。

5.1.5 应具有腔形结构图, 并标明具体尺寸和有效辐射面的位置。

5.2 工作状态

5.2.1 水冷式的水管无漏水, 风冷式的风扇应无震动和异常声响。

5.2.2 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。

5.2.3 黑体在规定的温度区域内正常工作时, 前表面温度不得超过环境温度 10 K。

6 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检验。

6.1 检定条件

6.1.1 检定环境条件

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

6.1.2 检定设备（如表 2 所示）

表 2 检定设备

序号	设备名称	技术指标要求
1	标准黑体一套	满足表 1 中所列的各项指标
2	温度控制器一台	控温稳定性优于 0.1 K/h ，显示分辨率 0.1 K
3	一等标准铂铑 10-铂或金-铂热电偶二支	测温不确定度优于 0.2 K
4	数字电压表一台	分辨 $0.1\text{ }\mu\text{V}$ ，符合 0.002% 级数字电压表的指标
5	表面温度计一支	最小分度值 0.1 K ，示值范围 $273\sim 330\text{ K}$
6	水银温度计一支	一级量程 $-5\sim 30\text{ }^\circ\text{C}$
7	辐射量度计一台	光谱响应范围 $1\sim 25\text{ }\mu\text{m}$ ，具有近似平坦的响应曲线，视场角 $\leq 1^\circ$

6.1.3 辐射测量附属装置

6.1.3.1 水冷快门一个。

6.1.3.2 水冷挡屏一套。

6.1.3.3 光轨一套。

6.1.3.4 黑体移动工作台一套，定位重复性 $\leq 0.2\text{ mm}$ 。

6.1.4 光路调整器具

6.1.4.1 框式水平仪一台。

6.1.4.2 光学水准仪二台，扩展不确定度 $0.2'$ 。

6.1.4.3 刻度间隔为 0.1 mm 的玻璃分划板二个。

6.1.4.4 水三相点杜瓦瓶二个。

6.1.5 其他设备

3 kV 交流稳压器一台，稳定性优于 0.5% 。

6.2 检定项目（如表 3 所示）

表 3 检定项目

编号	检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
1	外观	+	+	+
2	工作状态	+	+	+
3	温度稳定性	+	+	-
4	有效辐射面温度均匀性	+	+	-
5	纵向温度分布均匀性	+	+	-
6	有效或等效发射率值	+	+	-

注：需检定的项目用“+”表示，在使用中可不检的项目用“-”表示。

6.3 检定方法

6.3.1 检定准备

6.3.1.1 测量系统主光轴的确定。

6.3.1.1.1 按图 1 排列检测装置的各有关设备

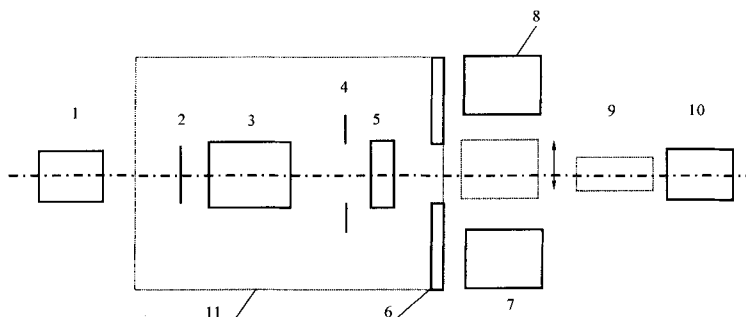


图 1 测量系统方框图

- 1, 10—光学水准仪；2—玻璃分划板；3—探测器；
4—精密辐射光阑；5—水冷快门；6—水冷挡屏；7—标准黑体；
8—被检黑体；9—He-Ne 激光器；11—辐射屏蔽罩

在光轨两端外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。

6.3.1.1.2 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。

6.3.1.1.3 同样将光学水准仪 10 调整到与测量系统主光轴一致。

6.3.1.2 外观检查

按 5.1 检查黑体的外观并作判断。

6.3.1.3 工作状态检查

按 5.2 检查黑体的工作状态并作判断。

6.3.2 光路调整

6.3.2.1 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。

6.3.2.2 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。

6.3.2.3 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。

6.3.2.4 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。

6.3.2.5 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。

6.3.2.6 启动移动工作台使标准和被测黑体位于测量系统光轴之外。

6.3.2.7 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 10 来观察，将辐射亮度计的光轴调到与测量主光轴基本一致。

6.3.3 开启冷却水源或冷却风扇电源，使黑体外壳冷却。

6.3.4 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。

6.3.5 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，通过测温热偶测出两黑体的有效辐射面处的真实温度 T_s 和 T_t 。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。

6.3.6 测量

6.3.6.1 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 4 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 A.1 中，同时记录环境温度。

6.3.6.2 黑体温度稳定性的测量

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 U ,记录于附录 A.2 中。每 5 min 进行一次测量,连续测量一个小时。

6.3.6.3 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 A.3 中。

6.3.6.4 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,需等测温热偶输出充分稳定后(约 10 min),在附录 A.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。

6.3.6.5 黑体有效发射率的测量

6.3.6.5.1 启动移动工作台,使标准黑体到达光路调整时预设的位置。

6.3.6.5.2 开启辐射亮度计的工作电源,预热 10 min。

6.3.6.5.3 标准黑体定位后,测定腔体有效辐射面参考点的温度 T_s ,缓慢抽出测温热偶。打开水冷挡屏。

6.3.6.5.4 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_{s0} 。

6.3.6.5.5 按照 6.3.6.5.1~6.3.6.5.4 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 。

6.3.6.5.6 如果因外界因素干扰或测量过程中有误动作。则需重复 6.4.6.5.1 至 6.3.6.5.5 条的测量。

6.3.6.5.7 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。

6.3.7 检定数据处理

6.3.7.1 前端表面温度与环境温度的差值

将附录表 A.1 中记录的前表面各点温度中最大值 $T_{\max}$ 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 判断合格, $\Delta T \geq 10$ K 判断不合格。

6.3.7.2 黑体温度的稳定性

根据 6.3.6.2 的方法所测量的数据,找出 1 h 中温度测量的最大差值,即 $\Delta T_{\max} = |\bar{T} - T_{\max}|$ 或 $\Delta T_{\max} = |\bar{T} - T_{\min}|$ 作为黑体温度稳定性,对于标准黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.0002 T$ 判断合格,对于工作黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.001 T$ 判断合格。

6.3.7.3 有效辐射面温度的均匀性

根据 6.3.6.3 方法所测量的数据,取 6 点温度间的最大差值即 $\Delta T_{\max} = |\bar{T} - T_{\max}|$ 作为有效辐射面温度均匀性,对于标准黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.0005 T$ 判断合格,对于工作黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.001 T$ 判断合格。

6.3.7.4 有效腔长区域内纵向温度的均匀性

根据 6.3.6.4 的方法所测量的数据, 取各点温度间的最大差值 $\Delta T_{\max} = |\bar{T} - T_{\max}|$ 作为有效腔长区域内纵向温度的均匀性, 对于标准黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.001 T$ 判断合格, 对于工作黑体 $\Delta T_{\max} \leq 0.01 T$ 判断合格。

6.3.7.5 黑体有效发射率

根据 6.3.6.5.4 条测量所记录的数据, 计算标准黑体辐射亮度值的平均值 $\overline{L_s}$, 腔体有效辐射面温度的平均值 $\overline{T_s}$ 和测量值相对标准偏差 s_{L_s} , s_{T_s} 。

根据 6.3.6.5.5 条测量所记录的数据, 计算被检黑体辐射亮度值的平均值 $\overline{L_t}$, 腔体有效辐射面温度的平均值 $\overline{T_t}$ 和测量值相对标准偏差 s_{L_t} , s_{T_t} 。

将 $\overline{L_s}$ 、 $\overline{T_s}$ 和 $\overline{L_t}$ 、 $\overline{T_t}$ 值代入下面公式计算出被检黑体的有效发射率 ϵ_t :

$$\epsilon_t = \epsilon_s \frac{\overline{L_t} \overline{T_s}^4}{\overline{L_s} \overline{T_t}^4} \quad (1)$$

ϵ_s 为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 $\epsilon_t \geq 0.99$ 判断合格; 对于工作黑体, 当 $\epsilon_t \geq 0.97$ 判断合格。

6.3.7.6 测量不确定度的评定

在检定黑体的有效发射率时, 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有效发射率, 由公式 (1) 可得:

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

(2) 式中:

$$u_1 = u(\epsilon_s) / \epsilon_s \quad (3)$$

u_1 为上一级标准黑体的有效发射率的不确定度, 按传递要求为 0.1%。

$$u_2 = u(L_t) / L_t \quad (4)$$

u_2 为被检黑体的辐射亮度 L_t 的测量不确定度。

$$u_3 = u(L_s) / L_s \quad (5)$$

u_3 为标准黑体的辐射亮度 L_s 的测量不确定度。

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。

$$u_4 = 4(u(T_t) / T_t) \quad (6)$$

u_4 为被检黑体的有效辐射面温度的测量不确定度。

其中:

$$u^2(T_t) = 0.1^2 + \left[\frac{1}{n-1} \sum_i (T_{t_i} - \overline{T_t})^2 \right] \quad (7)$$

一等铂铑 10-铂热电偶温度的传递不确定度为 0.2 K，考虑到扩展不确定度的 $k=2$ ，则标准不确定度为 0.1 K。

$$u_5 = 4(u(T_s)/T_s) \quad (8)$$

u_5 为标准黑体的有效辐射面温度的测量不确定度。

其中：

$$u^2(T_s) = 0.1^2 + \left[\frac{1}{n-1} \sum_i (T_{si} - \overline{T_s}) \right]^2 \quad (9)$$

取 $k=2$ ，则 $U_{e_i} = k u_{e_i}$

给出检定结果的扩展不确定度。

6.4 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。

6.5 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

500 K~1 000 K 黑体辐射源检定记录格式

表 A.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	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			

[illegible]

表 A.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	热偶电势/mV			温度 / K		
温度均匀性				备注			

表 A.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	热偶电势/mV	温度/K
温度均匀性		备注	

附录 B

500 K~1 000 K 黑体辐射源检定证书（背面）格式

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	
	等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。		