



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 249—2004

0.1mW ~ 200W 激光功率计

0.1mW ~ 200W Laser Power Meters

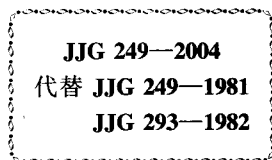
2004 - 06 - 04 发布

2004 - 12 - 01 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

0.1mW ~ 200W 激光功率计 检定规程

Verification Regulation of
0.1mW ~ 200W Laser Power Meters



本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2004 年 06 月 04 日批准，并自 2004 年 12 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：中国计量科学研究院

辽宁省计量科学研究院

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：

于 靖 （中国计量科学研究院）

艾明泽 （辽宁省计量科学研究院）

参加起草人：

杨 洁 （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 计量性能要求	(1)
4.1 计量范围	(1)
4.2 激光功率计的性能要求	(1)
5 通用技术要求	(2)
5.1 标志	(2)
5.2 其他要求	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定条件	(2)
6.2 检定项目与检定方法	(3)
6.3 检定结果的处理	(7)
6.4 检定周期	(7)
附录 A 检定记录格式	(8)
附录 B 检定证书和检定结果通知书 (内页) 格式	(10)

0.1mW ~ 200W 激光功率计检定规程

1 范围

本规程适用于光电型和量热型激光功率计的首次检定、后续检定和使用中检验。激光功率计的定型鉴定、样机试验中对计量性能的要求可参照本规程执行。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

- GB/T6360—1995 激光功率能量测试仪器规范
- JB/T6860—1993 测量激光辐射功率能量的探测器，仪器与设备
- GB11153—1989 激光小功率计性能检测方法
- GB/T13863—1992 激光辐射功率测试方法
- GB7247—1995 激光产品的辐射安全、设备分类、要求和用户指南
- JJC903—1995 激光标准衰减器
- JJF1059—1999 测量不确定度评定与表示

注：使用本规程时应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

激光功率计是用于测量激光功率的仪器。其工作原理是将光功率信号经探测器直接或间接转变为电信号，从而显示被测激光功率量值。由于探测器的这种光电转换不仅与光功率有关，而且与光功率的空域特性和时域特性相关。因此激光功率计测量误差主要由探测器的计量性能决定。

激光功率计通常由衰减器与漫射器（如果需要），光功率探测器，信号处理系统和显示器组成。

按光谱响应特性可分为光谱响应平坦型和光谱响应选择型；按是否具有自校功能还可分为绝对型和相对型。

4 计量性能要求

4.1 计量范围

4.1.1 功率范围：0.1mW ~ 200W

4.1.2 光谱范围：0.2 μ m ~ 11 μ m

4.2 激光功率计的性能要求

4.2.1 探测器（功率计）接收面响应度不均匀性： $\pm 5\%$

4.2.2 响应度在辐照时的变化： $\pm 2\%$

4.2.3 响应度随入射功率或能量的变化（非线性）： $\pm 5\%$

4.2.4 修正系数不确定度：5%（ $k=2.5$ ）

5 通用技术要求

5.1 标志

名称、型号、编号、厂名及出厂日期。

5.2 其他要求

5.2.1 测量使用的各类附件、配件、相关资料（技术说明书、使用说明书）应齐全。

5.2.2 激光功率计无影响计量性能的电气、光学及机械故障和损伤。

5.2.3 对使用该功率计可能产生的危险辐射需有明确的防护要求或说明。

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 环境条件

环境温度： $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$

检定期间内温度变化：优于 $\pm 2^\circ\text{C}$

相对湿度： $< 80\%$

电源电压： $(220 \pm 11)\text{V}$ ，或 $(110 \pm 5)\text{V}$ ，50Hz

其他要求：检定区域内无可感觉到的空气波动、无影响测量数据的电磁干扰和背景辐射干扰。

6.1.2 计量标准器和主要设备

6.1.2.1 标准激光功率计

功率范围： $0.1\text{mW} \sim 200\text{W}$

光谱范围： $(0.2 \sim 16)\mu\text{m}$ （或用于特定波长）

扩展不确定度：不大于 1.6% （ $k=2.5$ ）

6.1.2.2 激光标准衰减器

衰减倍数：3；10；30；100

功率范围： $0.1\text{mW} \sim 200\text{W}$

光谱范围： $(0.2 \sim 16)\mu\text{m}$ （或用于特定波长）

扩展不确定度： $0.2\% \sim 0.6\%$ （ $k=2.5$ ）

注：使用标准衰减器时应保证衰减器与探测器和激光器出射窗口间无影响实际衰减量值的反射和干涉影响。

6.1.2.3 激光源与输出功率稳定或监测系统

功率范围： $0.1\text{mW} \sim 200\text{W}$

波长：满足检定要求的工作波长，中心波长变化优于 $\pm 20\text{nm}$

光源（功率或功率监测比）稳定度：优于 $\pm 0.5\%$

6.1.3 计量标准装置检定结果的不确定度要求

针对不同准确度等级的激光功率计检定，由标准激光功率计、标准激光衰减器、激光源及电测仪器和机械装置组成的计量标准装置应满足以下不确定度要求：

$$\sqrt{U_s^2 + U_A^2 + U_L^2 + U_E^2} < U_M / 3 \quad (1)$$

式中： U_s ——标准激光功率计的扩展不确定度；

U_A ——激光标准衰减器的扩展不确定度；

U_L ——检定用激光源输出功率或功率监测比稳定度引起的测量扩展不确定度；

U_E ——电测仪器测量结果的扩展不确定度；

U_M ——被检激光功率计准确度等级要求的扩展不确定度（ $k=2.5$ ）。

6.2 检定项目与检定方法

6.2.1 检定项目（见表1）

表 1

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观功能检查	+	+	+
响应度在辐照时的变化 (对应最大辐射功率与辐照度下)	-	-	-
响应度的面不均匀性	+	+	-
响应度的非线性	+	-	-
修正系数（或响应度）	+	+	+

注：“+”表示须检项目，“-”表示可不检项目。

6.2.2 检定方法

6.2.2.1 外观与功能检查

按 5.1~5.3 规定的内容，采用目视与手动方法检查。

6.2.2.2 修正系数（或响应度）的检定与计算方法

a. 检定装置框图

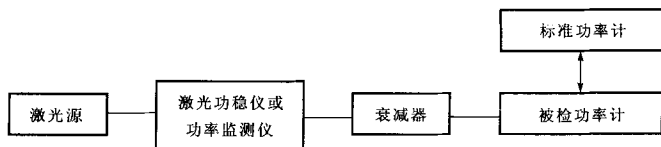


图 1 修正系数（或响应度）检定装置框图

b. 检定方法

开机预热，标准功率计和被检激光功率计垂直对准待测激光束；选择调整激光或激光衰减器使光功率处于检定要求的量限内；检查激光功率和辐照度是否在被检功率计参数要求的范围内；测量采用等时间间隔或最大值读数方式（根据探测器和激光功率计特征而定，但整个测量过程均应采用同一种方式）。测量采用被检功率计，标准功率计，

标准功率计, 被检功率计顺序交替测量同一束激光的方法进行, 共测量三次, 同时记录功率监测值, 记录数据数字应取 3~4 位有效数。

c. 数据处理

修正系数:

$$C_K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_{s_i}}{V_{s_i}} / \frac{P_{m_i}}{V_{m_i}} \right) \quad (2)$$

示值误差:

$$\delta_K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{V_{s_i}}{V_{m_i}} \cdot P_{m_i} - P_{s_i} \right) \quad (N=3) \quad (3)$$

式中: P_{s_i} ——标准激光功率计第 i 次测量值;

P_{m_i} ——被检激光功率计第 i 次测量值;

V_{s_i} ——标准激光功率计第 i 次测量时的功率监测值;

V_{m_i} ——被检激光功率计第 i 次测量时的功率监测值。

当未采用功率监测装置时, (2)、(3) 式中的 V_{s_i} 和 V_{m_i} 均表示为 1。

6.2.2.3 探测器响应度面不均匀性的检定与计算方法

a. 检定装置框图

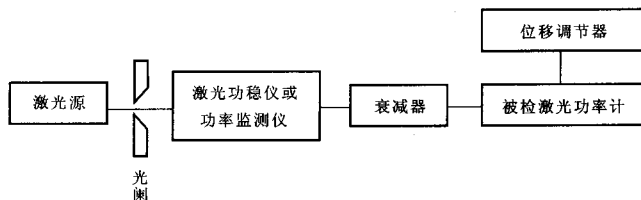


图 2 探测器响应度面不均匀性检定装置框图

b. 检定方法

检定用光束直径应不大于探测器有效靶面直径的 1/10, 检测区域直径应不小于接收靶有效靶面直径的 2/3。可采用激光功率稳仪或激光功率分束监测两种方法中的任意一种, 以减小激光功率不稳定对测量的影响, 也可同时采用。激光功率 (或功率监测比) 稳定度不应大于被测激光响应度面不均匀性测量结果的 1/3, 否则对测量结果应做误差分析处理。

测量方法:

响应度面不均匀性测量至少应在相互垂直的二维方向上进行, 每一维方向的测量最少取三个等间隔点。

调整被检激光功率计使光束垂直照射在探测器靶面上, 分别沿 X 、 Y 方向等间距对被探测器扫描测量每一点并记测量值 P_{x_i} 、 P_{y_i} , 同时记录监测功率计显示值 V_{x_i} 、 V_{y_i} ,

其比值记为 R_{x_i} ($R_{x_i} = P_{x_i} / V_{x_i}$)、 R_{y_i} ($R_{y_i} = P_{y_i} / V_{y_i}$)。

注：稳定度 (S) 计算公式如下：

$$S = \pm \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} \quad (4)$$

式中： $P_{\max}$ ——测量过程中的最大值；

$P_{\min}$ ——测量过程中的最小值。

c. 计算方法

灵敏度面不均匀性用 δ 表示，计算公式如下：

$$\delta = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{\bar{P}} \quad \left(\text{或 } \delta = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\bar{R}} \right) \quad (5)$$

式中： $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$ ($R_{\max}$ 、 $R_{\min}$) 分别表示测量的最大值和最小值 (或最大和最小监测比值)， $\bar{P}$ ($\bar{R}$) 表示测量结果的平均值 (或监测比的平均值)。

6.2.2.4 探测器 (功率计) 响应度的非线性检定

激光功率计响应度的非线性检定是根据线性系统应具备的齐次性原理和可加性原理实现的。其数学表达式为：

$$f(Kx) = Kf(x) \quad (\text{齐次性原理}) \quad (6)$$

$$f(x_1 + x_2) = f(x_1) + f(x_2) \quad (\text{可加性原理}) \quad (7)$$

当使用的衰减器是可以保证在确定的功率和光谱范围内具有稳定衰减倍数和满足误差要求的标准衰减器时，可以采用齐次性原理检定，使用非标准衰减器只能采用可加性原理检定。

a. 检定装置框图

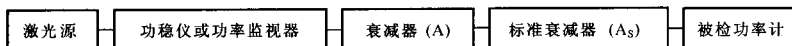


图3 响应度非线性检定装置 (根据齐次性原理框图)

b. 检定方法 (根据齐次性原理)

1) 调整激光源或标准衰减器 (A_s)，使被测激光功率在激光功率计检定挡位的低功率示值 (P_1) 并记录。

2) 移开标准衰减器 (A_s)，记录被检功率计示值 (P_2)。

3) 将标准衰减器 (A_s) 移入光路中，调整激光源和衰减器 (A_x)，使被检功率计示值在 P_2 左右并记录。

4) 移去标准衰减器 (A_s)，记录被检功率计示值 (P_3)。

5) 重复以上步骤直至被检功率计示值为该挡最大示值 ($P_{\max}$)。

c. 检定方法 (根据可加性原理)

1) 调整激光器和激光功稳仪 (或功率监测仪器) 使其处于稳定工作状态。

2) 调整相位调节器使入射光偏振态达到要求的状态。

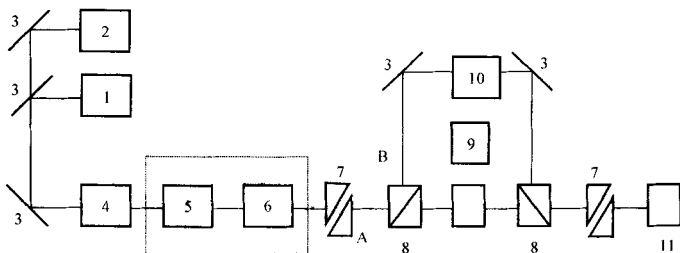


图4 响应度非线性检定装置（根据可加性原理框图）

- 1, 2—激光器组；3—反射镜；4—激光功稳仪或功率监测仪；5, 6—偏振棱镜；
7—相应调节器；8—偏振光束棱镜；9—挡光板；10—衰减器；11—被检功率计

3) 调整或选择衰减器（10），使 A 光束和 B 光束功率近似相等。

4) 移动挡光板，分别测量 A 光束，B 光束和 A + B 光束，得测量结果 P_A 、 P_B 、 P_{A+B} 。

5) 将光功率增大一倍，重复以上步骤在更高功率范围继续检定响应度的非线性。

d. 计算方法

根据齐次性测量原理的计算方法测量挡位内各段的非线性系数 C_{L_i} 为：

$$C_{L_i} = \frac{P_{i+1}/P_i}{A_s} \quad (8)$$

测量挡位内各段的线性误差为：

$$\delta_{L_i} = 1 - C_{L_i} \quad (9)$$

根据可加性测量原理的计算方法测量挡位内各段的非线性系数 C'_{L_i} 和线性误差 δ'_{L_i} 按下式计算：

$$C'_{L_i} = \frac{P_A + P_B}{P_{A+B}} \quad (10)$$

$$\delta'_{L_i} = 1 - C'_{L_i} \quad (11)$$

注：当测量光源的稳定度大于 δ_{L_i} （或 δ'_{L_i} ）/3 时，测量结果应考虑由此引入的误差。

6.2.2.5 最大辐射功率和辐照度的检定与计算方法

a. 检验装置框图

b. 检定方法

用不低于被检功率计最大允许测量功率 80%、波长为 λ 的激光功率测试，调整被检激光功率计与聚光镜位置，使接收的辐照度不低于被检功率计最大允许辐照度，比较测试前和测试后被检功率计在任选的低功率下量值的不可逆相对变化值（ δ ）。

操作步骤：

1) 选择合适光阑（半径为 R ），使通过光阑的激光功率不大于原激光功率的 90%。

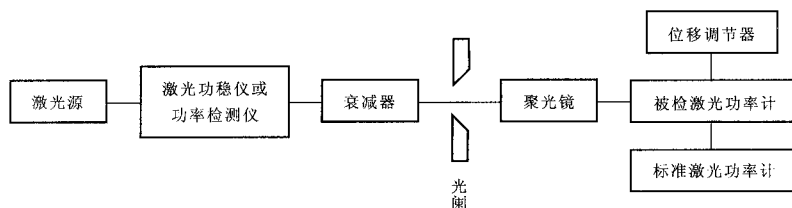


图5 最大辐射功率和辐照度检验原理框图

2) 用被检激光功率计在任选的低功率激光下测量激光功率得 P_{L1} ，同时记下功率监测值 (V_1)。

3) 调整激光源或衰减器并用标准功率计测出被检功率计允许的最大辐射功率 ($P_{\max}$)。

4) 调整被检功率计接收器与聚光镜 (焦距为 F) 间的距离 (L)，使辐照度达到被检功率计最大允许辐照度值 ($E_{\max}$)， $E_{\max}$ 可近似表示为：

$$E_{\max} \approx \frac{P_{\max}}{\pi (1 - L/F)^2 R^2} \quad \left(L < 0.9F, R \gg \sqrt{\frac{\lambda F}{\pi}} \right) \quad (12)$$

在不低于仪器规定的最大允许辐射功率和辐照度条件及测量时间内照射接收器。

5) 再回到原低功率下测量激光功率得 P_{L2} ，同时记下功率监测值 (V_2)。

c. 计算方法

最大辐射功率和辐照度照射下探测器的相对不可逆变化用下式计算：

$$\Delta = 1 - \frac{P_{L1}/V_1}{P_{L2}/V_2} \quad (13)$$

6.3 检定结果的处理

根据检定项目进行检定，所得数据参照表 A 记录，计算结果。对于检定项目，如果达到计量性能要求给出检定合格结论。达不到要求则给出检定结果不合格通知书，并注明不合格项。

6.4 检定周期

激光功率计检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

检定记录格式

送检单位		仪器名称	
仪器型号、 编号		制造厂	
仪器等级		环境温度	
相对湿度		证书编号	

1. 外观检查记录

检查内容	有	无	数量	备注
前次检定证书				
仪器相关资料				
电气、光学及机械故障				

2. 修正系数检定记录

项 目 序 号	标准功率计		被检功率计		挡位	波长	修正 系数
	功率示值	监测值	功率示值	监测值			
1							
2							
3							
平均值							

3. 响应度非线性检定记录（根据齐次性原理）

序 号 项 目	1	2	3	4	5	6	7	8
P_j								
V_i								
P_{j+1}								
V_{i+1}								

光源：_____；波长：_____

响应度非线性检定（根据可加性原理）

序 号 项 目	1	2	3	4	5	6
P_{A_i}						
V_{A_i}						
P_{B_i}						
V_{B_i}						
$P_{A_i+B_i}$						
$V_{A_i+B_i}$						

光源：_____；波长：_____

4. 响应度面均匀性检定记录

照射位置/mm (X 方向)					中心				
测量示值 (P_{x_i})									
监测值 (V_{x_i})									
面不均匀性 (X 方向)									

照射位置/mm (Y 方向)					中心				
测量示值 (P_{y_i})									
监测值 (V_{y_i})									
面不均匀性 (Y 方向)									

光源：_____；波长：_____；光斑直径：_____

检定员：_____；核验员：_____

检定日期：_____年_____月_____日

附录 B

检定证书和检定结果通知书（内页）格式

B1 检定证书（内页）格式

所使用的计量标准器：

计量标准器证书编号：

所依据的技术文件：

1. 修正系数检定

标准示值	测量值	挡 位	修正系数

检定技术条件：光源：_____ 波长：_____ μm 检定环境条件：温度：_____ $^{\circ}\text{C}$ 湿度：_____ % RH

2. 响应度非线性检定（根据齐次性原理）

i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_{i+1}								
P_i								
$C_i = \frac{P_{i+1}/P_i}{A_s}$								
挡位								

响应度非线性检定（根据可加性原理）

i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_{A_i}								
P_{B_i}								
$P_{A_i+B_i}$								
$C_i = \frac{P_{A_i} + P_{B_i}}{P_{A_i+B_i}}$								
挡位								

检定技术条件：光源：_____ 波长：_____ μm

检定环境条件：温度：_____ $^{\circ}\text{C}$ 湿度：_____ %RH

3. 响应度面不均匀性检定

照射位置/mm (X 方向)					中心				
测量示值									
面不均匀性 (X 方向)									

照射位置/mm (Y 方向)					中心				
测量示值									
面不均匀性 (Y 方向)									

检定技术条件：光源：_____ 波长：_____ μm

功率：_____ 光斑直径：_____

检定环境条件：温度：_____ $^{\circ}\text{C}$ 湿度：_____ %RH

4. 最大辐射功率与辐照度检定

P_{L_1}		V_1	
$P_{\max}$		$V_{\max}$	
P_{L_2}		V_2	
$E_{\max} \approx \frac{P_{\max}}{\pi (1 - L/F)^2 R^2}$			
$\delta_p = 1 - \frac{P_{L_1}/V_1}{P_{L_2}/V_2}$			

检定技术条件：光源：_____ 波长：_____ μm

F ：_____ mm L ：_____ mm

R ：_____

检定环境条件：温度：_____ $^{\circ}\text{C}$ 湿度：_____ %RH

扩展不确定度： $U =$ _____ % ($k =$ _____)

- 声明：
1. 检定结果仅对送检样品有效。
 2. 未经本实验室书面批准，不得部分复制该证书。
 3. 本证书未加盖公章无效。

B2 检定结果通知书（内页）格式

所使用的计量标准器：

计量标准器证书编号：

所依据的技术文件：

1. 修正系数检定

标准示值	测量值	挡位	修正系数

检定技术条件：光源：_____ 波长：_____ μm 检定环境条件：温度：_____ $^{\circ}\text{C}$ 湿度：_____ %RH

2. 响应度非线性检定（根据齐次性原理）

i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_{i+1}								
P_i								
$C_i = \frac{P_{i+1}/P_i}{A_s}$								
挡位								

响应度非线性检定（根据可加性原理）

i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_{A_i}								
P_{B_i}								
$P_{A_i+B_i}$								
$C_i = \frac{P_{A_i} + P_{B_i}}{P_{A_i+B_i}}$								
挡位								

检定技术条件：光源：_____ 波长：_____ μm
 检定环境条件：温度：_____ $^{\circ}\text{C}$ 湿度：_____ % RH

3. 响应度面不均匀性检定

照射位置/mm (X 方向)					中心				
测量示值									
面不均匀性 (X 方向)									

照射位置/mm (Y 方向)					中心				
测量示值									
面不均匀性 (Y 方向)									

检定技术条件：光源：_____ 波长：_____ μm
 功率：_____ 光斑直径：_____
 检定环境条件：温度：_____ $^{\circ}\text{C}$ 湿度：_____ % RH

4. 最大辐射功率与辐照度检定

P_{l_1}		V_1	
$P_{\max}$		$V_{\max}$	
P_{l_2}		V_2	
$E_{\max} \approx \frac{P_{\max}}{\pi (1 - L/F)^2 R^2}$			
$\delta_p = 1 - \frac{P_{l_1}/V_1}{P_{l_2}/V_2}$			

不合格项目：_____

检定技术条件：光源：_____ 波长：_____ μm
 F ：_____ mm L ：_____ mm
 R ：_____

检定环境条件：温度：_____ $^{\circ}\text{C}$ 湿度：_____ % RH

声明: 1. 检定结果仅对送检样品有效。

2. 未经本实验室书面批准, 不得部分复制该通知书。

3. 本通知书未加盖公章无效。