

绝对辐射计用于激光测量

成都计量所绝对辐射计组

由于激光器件的生产和激光技术的应用迅速发展，特别是近几年来我国将激光技术越来越广泛地应用于农业育种、工业切割、打孔、焊接和医学以及测距、通讯等方面，对激光参量测量的准确性要求也就越来越高。尤其是激光功率和能量的测量方法和量值的统一更是当务之急。

激光功率和能量的测量是一个比较新的领域，包括的范围也很广，要求测量的波长、能量、功率的量程非常宽，工作条件也多种多样，有单次脉冲、重复脉冲，还有连续工作等。对于能量或功率测量器件，一般要求无波长选择性和量程足够宽就行了。绝对辐射计基本上能满足上述要求。

我们研制出的补偿平面型和补偿空腔黑体型两种接收器，在均匀辐射场中，它们所测得的辐射度值的一致性约 0.3%。空腔黑体型辐射计与黑体炉相比，符合程度在 0.2% 以内。以空腔黑体型辐射计作标准，其准确度优于 1%。

一、原 理

绝对辐射计是基于电加热接收面代替光辐射加热接收面，从而对辐射能量进行绝对测定的。与黑体炉相比，其优点在于它的准确度不受温度的绝对测量及有关参量的影响，同时工作也方便。具体程序是：首先移开绝对辐射计的档屏，因吸收了外来的光辐射，接收面的温度升高了 ΔT ，热电堆相应地产生一温差电动势 V 输出，再将档屏遮住光路，而将电开关 K 合上，给附于接收面的电加热器中通以电流 I ，由于欧姆热使接收面有温升 $\Delta T'$ ，热电堆产生一个相应的电动势 V' 输出。如果我们仔细地调节可变电阻 R 使之达到 $V = V'$ ，因而 $\Delta T = \Delta T'$ ，那

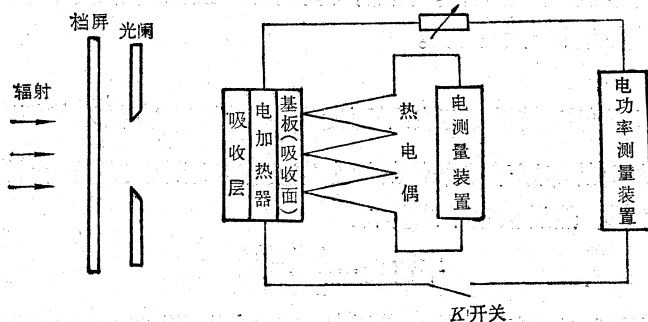


图1 绝对辐射计的工作原理

么接收面所吸收的辐射功率 W 等于电功率 IV ，即：

$$W = IV/\varepsilon$$

式中 V 是加热器上的电压降， ε 为吸收层的吸收系数。绝对辐射计的基本结构示于图 1。

二、结构性能

为了相互校准起见，我们制作了平面型和空腔黑体型两种接收器。

1. 平面型接收器

如图 2 所示，它由底座 1、热电堆 2、接收面 3、加热器 4 等元件组成。

接收面的材料是纯铝，其直径有 10 毫米和 6 毫米两种。底座由硬铝制成，经阳极氧化处理以保证电绝缘。

热电偶材料为直径 0.1 毫米、0.08 毫米的康铜—镍铬二种金属丝用电容放电点焊而成。热电堆由九排热偶组成，每排热偶数分别为 5、6、7、8、9、8、7、6、5 共 61 对串联而成。

加热器是蒸镀于云母片上的金膜，形状如图 2 中的 4 所示，其电阻值约为 200~400 欧姆。加热器的尺寸略比吸收面小，以使受辐照面与加热面基本上保持一致，为了修正通电加热的影响，故电极设有三个接头。

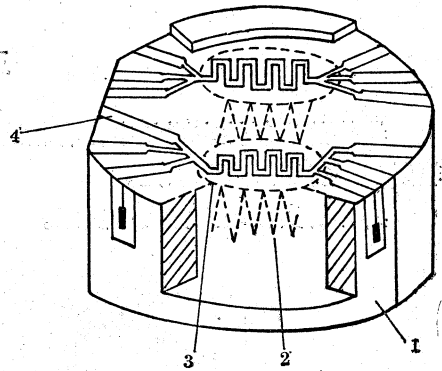


图 2 平面型接收器示意图和外形

接收器的吸收层物质，我们采用灯烟黑，但该物质受潮后易脱落，且吸收系数有一定的变化，在我们的实验中发现，未受潮前吸收系数为 0.984，而受潮后降至 0.96 以下。

平面型接收器的主要参数如下：

有效光阑面积	0.1898 厘米 ²
灵敏度	57.8 毫伏/瓦/厘米 ²
热电堆电阻	66 欧姆
加热器电阻	400 欧姆
面积灵敏度的均匀性	<1%

为了补偿零点漂移，将另一个性能近于相同的接收器安装在同一底座上，但此接收器在测量时，不受待测辐射源的辐照，只起补偿环境的热起伏的影响。经一段时间使用，基本上没有发现零点漂移。

2. 空腔黑体型接收器

为了提高接收器的有效吸收系数和保证它的稳定性，以及消除对光谱的选择，我们制作了黑体型接收器。它的空腔是电镀而成的紫铜圆锥筒，其内外表面用离心法摔上一层薄薄的明胶以便绝缘，腔的长度 L 为 25 毫米，开口直径为 10 毫米。

接收器的加热电阻是以直径 0.03 毫米的高强度铜丝和直径 0.05 毫米的铂丝绕制成的，用胶固定在腔内表面上。腔体内部黑化时，先摔上一层无光漆，然后再熏一层灯烟黑，整个空

腔的有效吸收系数约为 0.9978。

敏感元件是在空腔外表面周围均匀地安装了四层热电偶串联而成的热电堆，各层热偶数分别为 12、16、20、24 共 72 对，热偶材料亦是镍铬-康铜。图 3 是黑体型接收器的外形。

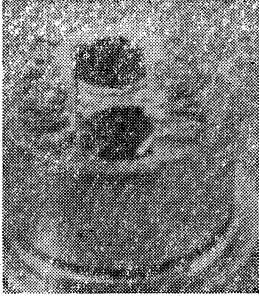


图 3 黑体型接收器

黑体型接收器的主要参数如下：

有效光阑面积	0.2646 厘米 ²
灵敏度	21.9 毫伏/瓦/厘米 ²
热电堆内阻	72 欧姆
加热器电阻	140 欧姆
面积灵敏度的均匀性	<1%

经几年测定，这种接收器的稳定度在 0.2% 以内。

三、测量的重复性

器件的重复性在测量中占有相当重要的地位。为此我们利用同类辐射计对同一稳定均匀辐射场进行了照度的测定。

具体的实验装置如图 4 所示。

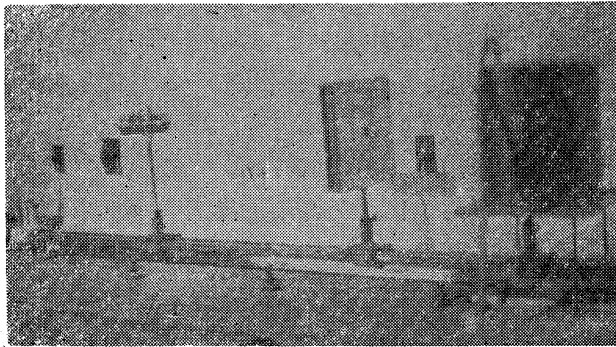


图 4 测量重复性的实验装置

我们使用光度基准中 6 号标准灯为辐射源。为了确保它的稳定性，我们采用直流供电且降低色温使用，它的稳定度可达 0.1% 以下，在测量中接收器离光源的距离严格地保持一致，且有效光阑都用同一个。这样我们可以不必考虑大气吸收和散射的影响，亦不必考虑测距和光阑面积的测量误差。此外，对光源的杂散光加以严格的屏蔽。

四、对比

1. 两种接收器的对比

由于黑体型辐射计的吸收系数近似地可以看作等于 1，且它的电流负载对加热影响可以忽略不计。平面型辐射计的吸收物质存在着一定的反射。我们对灯烟黑进行了测量，其反射系数 ρ 为 $1.5\% \pm 0.07\%$ ，电流负载加热的影响实测值约为 1% 左右。这样两种接收器都能

独立地对同一辐射源的辐照度进行准确测定,从而看出它们的符合程度。对比结果如表 1 所示。

表 1

时 间	平面型接收器所得照度 (毫瓦/厘米 ²)	黑体型接收器所得照度 (毫瓦/厘米 ²)	对应平面型之吸收系数 ϵ
1970	3.057	3.105	98.3
1971	2.297	2.337	98.2
1973	0.4535	0.4622	98.1

从表中可以看出几年来吸收系数的重复性在 0.2%, 而平面型的吸收系数与空腔型的吸收系数符合程度在 0.3% 以内。亦可看出三年内空腔辐射计的有效吸收系数基本上保持不变。

2. 辐射计与黑体炉对比

由于辐射计都是以电功率加热来校准接收器所接收的辐射功率的,特别是加热丝的外表面还存在一层黑化物,两者之间存在着因黑层的热阻所引起的系统误差,热阻的准确测量特别是空气热阻的测量是非常困难的,所以对辐射计准确度的最后确定是与黑体炉对比而进行的。

我们用的黑体炉是金点炉,其基本特点是稳定性好,在整个测量中不超过 0.3°C,等温区长,整个腔体温度不均匀性不超过 1°C。我们使用了石墨腔,几何尺寸是:开口直径为 18 毫米,腔长为 135 毫米,即 $L/R=15$ 。石墨在金点的物质发射系数 $\epsilon=0.8$,计算得空腔底部的有效发射系数为 0.9998。炉温的测量是用铂-铑铂热电偶,在金点的误差为 0.5°C。

为了保证测量有足够的精度,没有直接利用空腔辐射计与炉子对比,而是用平面型辐射计分别与炉子及空腔辐射计作对比,看其一致性。即首先用黑体炉定出平面型辐射计的有效吸收系数。然后再以空腔辐射计定出平面型辐射计的有效吸收系数。其结果列于表 2、表 3。

表 2 炉子与平面型辐射计的对比结果

次 序	计算所得的炉子的能量			辐射计本身测得的值 $W \times 10^{-4}\pi$	$\epsilon_{\text{平}}$ (%)
	T (K)	T_0 (K)	$W \times 10^{-4}\pi$		
1	1339.1	295.2	1.345	1.290	95.9
2	1344.4	300.6	1.363	1.303	95.6
3	1348.4	294.5	1.399	1.323	95.9
平均					95.8

表 3 空腔型辐射计与平面型辐射计的对比结果

次 序	空腔型辐射计所得的结果 (毫瓦/厘米 ²)	平面型辐射计所得结果 (毫瓦/厘米 ²)	$\epsilon_{\text{平}}$ (%)
1	0.3417	3.271	95.7
2	0.3417	3.269	95.7
3	0.3427	3.285	95.9
平均			95.8

五、误差分析

用绝对辐射计测量均匀辐射场中辐照度时, 以下面公式计算:

$$E = W_{\text{电}} \times \frac{u_{\text{光}}}{u_{\text{电}}} / \varepsilon S$$

其中 $W_{\text{电}} = IV$, I 、 V 分别为加热校准时的电流和电压。 $u_{\text{光}}$ 、 $u_{\text{电}}$ 分别为接收器在辐照和电加热下的热电势输出, ε 为空腔有效吸收系数, S 为有效光阑的面积。

$$\frac{\Delta E}{E} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta W_{\text{电}}}{W_{\text{电}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta u_{\text{光}}}{u_{\text{光}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta u_{\text{电}}}{u_{\text{电}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2}$$

其中 IV 用高准确度数字电压表测量。

$$\left|\frac{\Delta I}{I}\right|, \left|\frac{\Delta V}{V}\right| \leq 0.0002, \quad \left|\frac{\Delta W_{\text{电}}}{W_{\text{电}}}\right| \leq 0.0004$$

$u_{\text{光}}$ 、 $u_{\text{电}}$ 也用高准确度数字电压表测量。

$$\left|\frac{\Delta u_{\text{光}}}{u_{\text{光}}}\right|, \left|\frac{\Delta u_{\text{电}}}{u_{\text{电}}}\right| \leq 0.003$$

空腔的有效吸收系数 ε 估计为 $\left|\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right| = 0.002$ 。

S 有效光阑直径为 6 毫米, 测量误差为 ± 0.003 毫米, 其直径测量的相对误差等于 0.001, $\left|\frac{\Delta S}{S}\right| = 0.002$, 则 $\frac{\Delta E}{E} = \pm \sqrt{23.16 \times 10^{-3}} = \pm 0.48\%$ 。

从上面的分析和历年来所得的数据, 我们可以得出结论, 利用空腔型辐射计来测定辐射照度, 其准确度优于 $\pm 1.0\%$ 。

六、激光功率的绝对测量方法

激光测量的具体装置如图 5 所示。在测量时光源的发光面与辐射计有效光阑面保持相互平行, 光源中心与接收器中心处于同一光轴上, 这些工作在测量前必须仔细进行。操作的具体步骤如下:

1. 把激光点燃, 控制好光源的供给电流(或电压)到指定的数值, 经一段时间内保持稳定

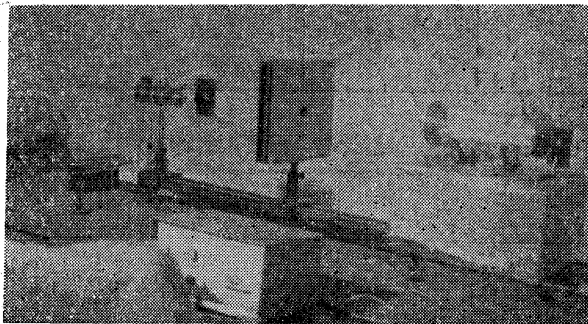


图 5 激光测量装置

后,方可进行测定; 2. 从光路中拿开挡板, 让激光全部进入辐射计上的光阑孔而射入接收面上, 待接收器输出达到恒定时, 测出热电堆的输出讯号 u_1 ; 3. 把挡板放入光路, 遮住激光束, 待热电堆输出稳定后读出接收器的背景输出 u_0 , 则测得光源的净输出 $u_{\text{光}} = u_1 - u_0$ 。2、3 两步反复进行数次, 得到热电堆在该辐射场中输出的平均电压值 $\bar{u}_{\text{光}}$; 4. 电加热校准, 其校准回路如图 6 所示, 将开关 K_1 、 K_2 同时向一方向合上, 仔细调节电阻 R_2 , 使接收器在电加热时的输出讯号 u_2 与光加热时的输出讯号 $u_{\text{光}}$ 近似相同, 且同时测出加热电流 I 和加热器上的电压降 V_0 。然后将 K_1 、 K_2 断开, 测定背景输出 u'_0 , 则电加热之净输出为 $u_{\text{电}} = u_2 - u'_0$, 这样亦反复几次分别测出平均值 \bar{I} 、 \bar{V} 和 $\bar{u}_{\text{电}}$, 由此得出激光束的功率 W 为:

$$W_{\phi} = \left(\bar{I} \bar{V} \times \frac{\bar{u}_{\text{光}}}{\bar{u}_{\text{电}}} \right) / \varepsilon$$

式中 ε 为接收器有效吸收系数。

以电加热对光进行校准时, 加热器的电流负载因通有电流被加热, 这与光照时所处的状态不同, 为此须对电流负载因电加热产生的影响加以修正。

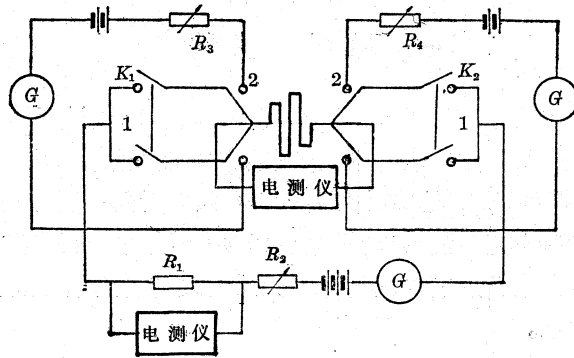


图 6 电加热器校准回路

* * * * *

(上接第 44 页)

7. 在激光光谱学上的应用

氮激光脉冲宽度很窄, 因此, 它可以用来进行分子、原子光谱的高分光; 可以用来研究分子、原子的能级寿命、荧光光谱等等。例如, 有人^[13]用 10 千瓦、3 毫微秒、50 次/秒的氮激光器研究了四氯青苯的荧光光谱, 测出了荧光的上升和衰减曲线。

氮激光器还可以应用在快速摄影上, 也能在工业和科研的其他方面得到应用。

参 考 资 料

- [9] *Appl. Phys. Lett.*, 1967, 10, 3.
- [10] *J. Phys. E.Sci. Instr.*, 1973, 6, No. 12, 1193.
- [11] *OMI*, 1974, № 3, 32~34.
- [12] *Appl. Phys. Lett.*, 1966, 8, 159.
- [13] *Chem. Phys. Lett.*, 1971, 8, 108.