

# 用于百瓦级的连续激光功率计的研制

中国科学院大连化学物理研究所热化学组

## 提 要

用电铸成型工艺研制了适用于百瓦级的连续激光流水功率计。理论推算及标定实验均表明,本功率计的测量精度为5%。

## 一、导 言

随着激光应用和研究的迅速发展,激光功率和能量的测量也相继带来了大量的课题。它要求测量的波长范围从400毫微米到30微米;功率水平从 $10^{-6}$ 到 $10^{12}$ 瓦或更多;能量范围从 $10^{-3}$ 到 $10^3$ 焦耳或更大,工作条件也各不相同<sup>[1]</sup>。因此,不可能设计出一种对所有情况都能适用的仪器来测定其功率和能量,只能根据不同激光器件,用不同的方法来测定之<sup>[2~8]</sup>。

激光功率和能量的测定方法很多,但仍处于发展阶段,其方法、仪器尚未十分成熟,目前各国也仍在致力于这方面的研究工作。关于能量和功率标准的传递,美国、苏联及一些主要资本主义国家已经开始了这方面的工作<sup>[9,10]</sup>,我国也在1975~1977年建立了小功率和中功率的临时标准。

激光的输出功率和能量是表征激光器件性能的一个基本参数。为此,我们研制了百瓦级的连续激光流水功率计。

## 二、设计要求及仪器描述

一个较为理想的激光功率计需要有尽可能高的总吸收率,以保证其测量的准确性;需

要有较高的散热能力或耐热本领,以保证功率计在高能量密度的激光束照射下不致遭受永久性破坏;需要有较低的热容,以缩短仪器的响应时间和提高灵敏度<sup>[11]</sup>。薄壁夹层球体式流水功率计的优点首先在于有很高的总吸收率。分析表明,光线可在空心球体内进行多次的吸收—反射过程,这点,是锥体式、圆盘式都无法比拟的。另一优点为,当球体采用导热良好的材料制作,并用流水予以冷却保护时,它的比热和散热能力也将是符合要求的,同时,所能测定的功率范围亦较大。总之,这样的球体式结构能将高的总吸收率和高的散热能力、低的热容等这些因素很好地统一起来。

但是,一般球体式功率计的缺点是入射孔小,这对粗光束的百瓦级激光测量而言,又要增加衰减或聚焦等步骤。为弥补这一缺点,我们将锥体式的这方面优点移植到球体式来,在入射孔处加一个锥体式的喇叭口即可。

为提高球体内壁的单次吸收率,内壁表面被染黑,但为防止因大功率光束的照射而烧坏内壁,又取用了倒锥式的优点,即在球体的底部设一个 $60^\circ$ 顶角的锥体,此锥体表面涂金(或不染黑),以发散光束,保护功率计。

收稿日期:1978年5月15日。

我们所设计的一个“薄壁夹层”的流水功率计,其结构示意图见图1。图中,空心球体为一薄壁铜质壳体,内腔直径30毫米,内层壁厚0.10~0.12毫米,且涂黑。为了使该功率计有一定的机械强度,球体的外层壁厚为0.3毫米。夹层厚度也以薄为宜,经实验选定,其厚度定为1毫米。入射口直径为5毫米,喇叭口的圆锥顶角为40°。进出口水管的温差是用七对铜-康铜热电偶串接而成的,示差热电堆配用PZ8数字电压表来测量。夹层中水的流速是靠恒温高位槽保持恒定,用转子流量计来指示控制的。

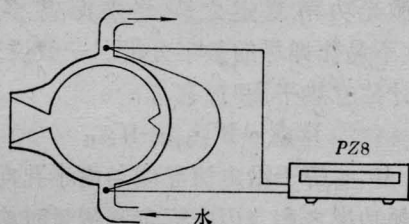


图1 激光功率计结构示意图

为防止室温扰动对温差测量的影响,整个吸收球安装在一金属外壳中,并以脱脂棉填充之。

### 三、流水功率计的加工制作

为加工出如上述要求的薄壁夹层空心球体,用一般的机械加工法是难于实现的。为此,我们试用电铸成型工艺,取得了满意的结果。其工艺过程大体如下:

将纯铝按吸收球内表面的几何形状加工成胎模(见图2)——镀铜(此即吸收球之内表面)——整形后镀锡,其镀层厚度即为所需之夹层厚度——整形后再镀铜(此即吸收球

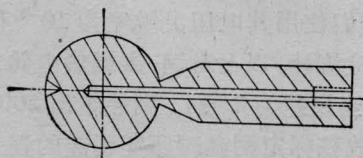


图2 功率计吸收球胎模

外表面)——在流水进出口处钻孔——用热熔法将夹层之锡全部化出——碱溶法将铝胎模全部溶出——X-光无损探伤检查。然后,焊上进出口水管,装上示差热电堆(接点的平面投影配置为每90°一个接点,分两层,两层之间各接点位错45°),经盐水试验检查,确认无漏电现象时,此吸收球即告完成。详细工艺参见我所有关报告<sup>[12]</sup>。

### 四、流水功率计的标定

我们采用电标定法,即用一稳定的直流电输入到功率计中,精确测定在一稳定的流速下其进出口的水流之温差。这样,在测定功率时,即可根据激光射入后引起的温差而确定其功率。标定的仪器和线路如图3所示:

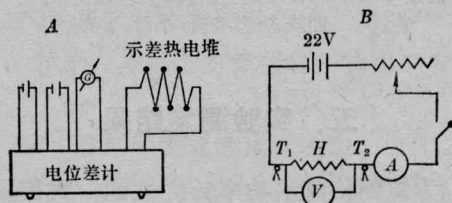


图3 激光功率计标定线路图

考虑到当小功率激光输入时,其温差热电势亦甚小,故我们采用电位差计测量标定的方式。图3(A)中为一用电位差计测量电压的典型线路。仪器为P306型低阻直流电位差计,并经省计量标准局检定校准。配用的示零仪器为M17/2型低阻检流计,其电压灵敏度为 $10^{-7}$ 伏/毫米/米。这样,能检出 $0.001^\circ$ 的温差信号。在加热器的功率测量方面,考虑其精度要求,配用0.5级的电流表和电压表即可。图3(B)中,H为体积小、功率大的电加热器。标定时,加热器悬置于功率计腔内,并用直流电加热之。此外,为计算顺电流导线之漏热,其上焊有 $\phi 0.1$ 的铜-康铜热电偶(图3(B)中之 $T_1$ 、 $T_2$ ),以供计算之用。

为能准确测定激光器的平均输出功率, 我们采用热平衡法标定。

将有效功率对温差热电势作图, 即得供激光测量用之工作曲线(如图4)。

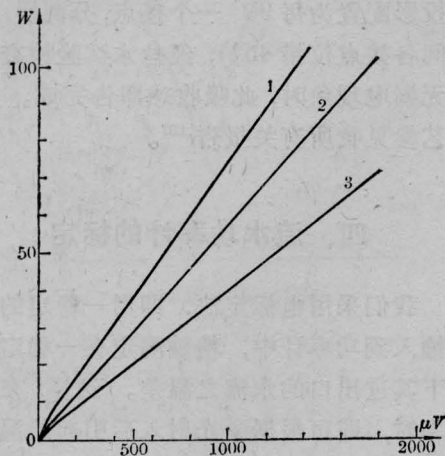


图4 功率计  $\mu V \sim W$  曲线  
曲线 1—13.5 升/小时 曲线 2—10.1 升/小时  
曲线 3—6.8 升/小时

## 五、实验测定结果

为检测该流水功率计之性能, 我们用它和另一已定型的功率计交替对一百瓦级的  $CO_2$  激光器进行了测量, 以资比较。该已定型的功率计之型号为: 日本横滨的 NIKON

表 1 不同功率计之测量值的相互比较

| 激光器<br>电 流<br>(毫安) | 输 出 测 得 值<br>(瓦) |       |       |       | 冷却水<br>流 速<br>(升/小时) |
|--------------------|------------------|-------|-------|-------|----------------------|
|                    | PML-4 型          |       | 流水功率计 |       |                      |
|                    | No. 1            | No. 2 | No. 1 | No. 2 |                      |
| 16                 | 62               | 58    | 62    | 63    | 6.8                  |
| 18                 | 66               | 65    | 70    | 74    |                      |
| 20                 | 71               | 72    | 78    | 80    |                      |
| 22                 | 76               | 78    | 83    | 83    |                      |
| 16                 | 59               | 62    | 62    | 65    | 10.1                 |
| 18                 | 65               | 66    | 74    | 77    |                      |
| 20                 | 70               | 73    | 83    | 80    |                      |
| 22                 | 75               | 76    | 83    | 84    |                      |
| 16                 | 58               | 60    | 65    | 67    | 13.5                 |
| 18                 | 67               | 66    | 74    | 77    |                      |
| 20                 | 71               | 73    | 80    | 82    |                      |
| 22                 | 80               | 82    | 84    | 86    |                      |

\* 测量时因条件所限, 冷却水流速未经高位槽恒定。

KOSHUHA 公司制作的 PML-4 型功率计, 其测定结果如表 1 所示。

实验表明, 两功率计之测定结果是相应的。同时, 在用不同水流速的情况下, 所测功率数值一致, 这说明, 流水功率计在不同灵敏度时所测得的结果是重复可靠的。此外, 当百瓦级的激光射入球腔时, 其冷却水的出口温度并不高, 这说明, 这种结构的功率计尚可测更大功率的激光而不致遭到永久性破坏。

## 六、误差分析

激光功率测定之误差来源甚多且复杂<sup>[2]</sup>, 不易作详尽的数字分析。一般说来, 当功率计建立热平衡时, 有

$$W_{\text{输入}} = W_{\text{功率计}} + W_{\text{损耗}}$$

其中,  $W_{\text{损耗}}$  等于沿电流导线与由小孔向外辐射损耗功率之和。因在标定和测量时均有小孔辐射热之存在, 故此项误差近乎抵消。这样整个测定的误差由  $W_{\text{输入}}$ 、 $W_{\text{功率计}}$  和  $W_{\text{损耗}}$  之测定误差所决定。而  $W_{\text{输入}}$  为加热器之功率。故

$$W_{\text{输入}} = IV$$

按照误差理论<sup>[13]</sup>,  $W_{\text{输入}}$  之测定误差为:

$$E_{r1} = \left| \frac{\Delta I}{I} \right| + \left| \frac{\Delta V}{V} \right|$$

因我们配用的测量仪器为 0.5 级仪表, 故  $E_{r1} \leq 0.01$ 。

在  $W_{\text{功率计}}$  的测量中, 主要误差来源于进出口水温之差的测定上, 因  $W_{\text{功率计}} = c\Delta Tq$ , 式中  $c$ 、 $q$  各为水之比热和流速。当流速恒定且水的温升不高时, 则  $c$ 、 $q$  均可视为常数, 故  $W_{\text{功率计}}$  之测定误差为:

$$E_{r2} = \left| \frac{\Delta(\Delta T)}{\Delta T} \right|$$

由于我们使用其电压灵敏度为  $10^{-1}$  伏/毫米/米的检流计, 以七对铜-康铜热电偶来测温。这样, 当误差为  $1^\circ$  时, 则能给出 260 微伏的信号, 故在标定测温时所能引起的误差  $E_{r2} \leq 0.0004$ ; 但在测量时, 由于采用灵敏度为

$10^{-5}$  伏的数字电压表, 故在测量时  $E_{r2} \leq 0.04$ 。

$W_{\text{损耗}}$  则为沿电流导线之热漏失。当按细杆传热模型处理时<sup>[14]</sup>, 有

$$Q = \sqrt{hckA} (t_1 - t_f) \tan hmL。$$

又因在我们的实验条件下,  $\tan hmL \approx 1$ , 而  $h = 75A_1[\Delta t/d^5]^{1/8}$ , 其  $\Delta t$  的误差对  $h$  贡献甚小, 故整个漏热的误差主要由  $(t_1 - t_f)$  的测量误差所决定, 即

$$E_{r3} = \left| \frac{\Delta t_1}{t_1} \right|$$

因测温仪表系 0.5 级精度, 故  $E_{r3} \leq 0.005$ 。

总的测量误差为

$$E_r = E_{r1} + E_{r2} + E_{r3} \approx 0.05$$

### 参 考 文 献

[1] D. A. Jennings *et al.*; NBS TN 382 (1969)  
 [2] H. G. Heard, "Laser Parameter Measurements

Handbook" Chap. 4 ("激光译丛", 1972. 1, 后字 419 部队译)。

[3] R. M. Baker, *Electronics*, **36**, 36 (1963)  
 [4] J. W. Sfeary; *J. Sci. Instrum.*, **44**, 218 (1967).  
 [5] H. A. Kellock; *J. Sci. Instrum.*, Series 2, **2**, 377 (1969)  
 [6] D. A. Jennings, E. D. West; *Rev. Sci. Instrum.*, **41**, 565 (1970).  
 [7] J. Fosler; AD 682083.  
 [8] E. Bayer, G. Schaack; *J. Sci. Instrum.*, **2**, 208 (1969)  
 [9] E. P. West *et al.*, *J. Res. NBS*, «Phys. d Chem.» No. 1, 13 (1972)  
 [10] P. A. Валитов и др., *Изв. техника*, №. 4, 28 (1970).  
 [11] B. F. Scott; *J. Sci. Instrum.*, **43**, 685 (1966).  
 [12] 中国科学院大连化学物理研究所, "流水功率计吸收球的电铸成形"(1975)(内部资料).  
 [13] 冯师颜, "误差理论与实验数据处理", 科学出版社, 1964.  
 [14] E. R. G. 埃克尔特, R. M. 德雷克著, 徐明德译, "传热与传质", p. 41. 科学出版社, 1963.

## He-Ne 激光治疗中心性浆液性视网膜病

洛阳市第二人民医院 激光室  
 眼 科

中心性浆液性视网膜病是眼科的常见病, 有一部分顽固难治, 常常迁延很长时间, 目前有多种治疗方法, 但是要想在短期内治愈也是很困难的。我院自 1977 年采用 He-Ne 激光治疗本病以来, 感到比过去的其他疗法要好, 不仅简便易行, 而且疗效高(总有效率 92.2%), 收效快(平均治疗 2.6 次开始有效), 疗程短(平均治疗 24.7 次), 不用任何药物, 没有痛苦, 病人乐于接受。与氩激光和红宝石激光相比, 不需要附加设备和特殊操作(如裂隙灯、接触镜等), 因而宜于普及、推广。同时, 由于低功率的 He-Ne 激光是通过生物效应发挥治疗作用的, 它不损伤视网膜组织, 不象高能量激光封闭渗漏点那样要留下治疗瘢痕。

激光治疗眼底病的机制还不十分清楚, 但以下两点值得考虑:

(1) 小剂量的激光对机体和组织有刺激作用, 能增强机体的代谢过程, 增强酶活性, 加速蛋白质合成, 活跃机体的免疫机制。而大剂量激光则有抑制作用, 剂量过大则有破坏和摧毁组织的作用。He-Ne 激光正是低功率、低能量激光。

(2) 激光被组织吸收后可以转变为热能。小剂量的激光转变为低微的热量, 对娇嫩的视网膜组织是一个良性刺激, 能改善局部循环, 促进炎症吸收, 发挥治疗作用。

一年来在随访的病人中仅有两眼视力下降, 继续用激光治疗, 仍然有效。其余病人都能保持治疗后的视力, 有不少病人在停止治疗后视力继续提高, 眼底继续改善, 总之, 近期疗效是稳定的。