

激光大功率计和大能量计的定标装置

袁海林 金承谦 邱慧珠 王元荣 汤红芬

(上海市测试技术研究所)

提要: 本文介绍一种激光大功率计和大能量计定标装置。它由激光器、电子线路控制的电磁快门、光分束器、倒锥式激光能量计和激光电定标仪等组成。定标范围: 功率为 5~1000 瓦, 能量为 5~1000 焦耳, 系统定标准确度优于 5%。

Calibrator for powermeters and calorimeters of high power and high energy lasers

Yuan Hailin, Jin Chengqian, Qiu Huizhu, Wang Yuanrong, Tang Hongfen

(Shanghai Institute of Testing Technology)

Abstract: The paper describes a calibrator for powermeters and calorimeters of high power and high energy lasers. It consists of a laser, an electronic circuit controlled electromagnetic shutter, a beam splitter, a laser calorimeter and a laser powermeter. The device can calibrate laser powermeters and calorimeters in the power range of 5~1000 W and energy range of 5~1000 J with a calibration accuracy of better than $\pm 5\%$.

一、激光定标装置

系统的装置如图 1 所示, 它由 CO₂ 激光器、光分束器、电子线路控制的电磁快门、He-Ne 激光器、光电计时器、测试用的能量计 K_1 和监视能量计 K_2 组成。

系统中所用激光源是输出波长为 10.6 微米、功率为 30 瓦或 70 瓦的 CO₂ 激光器, 也可根据所需定标功率或能量范围来选用不同输出光功率的激光器。

系统中选用砷化镓材料的光分束器, 它的光损伤阈值为 1 千瓦/厘米²。光分束器的

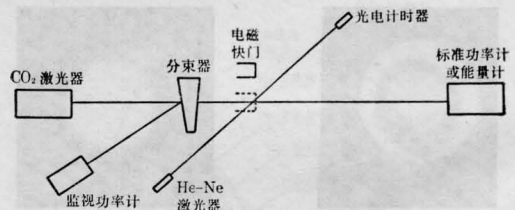


图 1

透射光占入射光的 70%, 当希望有较大的透射时可用氯化钾当光分束器, 它的透射功率为 92%。为了避免偏振光的干涉影响, 加工时应使光分束器具有约 1° 的楔角。在使用中将砷化镓光分束器置于一个外部可以通水

收稿日期: 1983 年 1 月 14 日。

冷却的调节架上,使它有更可靠的稳定性。

由于采用激光器功率很大,因此就不能应用一般的照相机快门。我们选用一电磁阀带动有二个通光孔 AB 的转动圆盘,结构如图 2 所示,图中 P 为电磁阀。电磁阀通电前,由圆盘挡住 CO_2 激光束和 He-Ne 激光束。当电磁阀 P 通电后,电磁铁芯和轴 C 动作,并带动连杆 D 使圆盘转动一个固定的角度 θ ,此时圆盘上的二个孔 A 和 B 分别通过定标用的 CO_2 激光束和计时用的 He-Ne 激光束。 CO_2 激光束注入定标系统, He-Ne 激光束则同时射入计时用的光电计时器上,进行测光脉宽的时间。光脉宽宽度由延时电路对电磁阀的通电时间来决定,实验中可根据需要进行调节,从而控制系统所需定标能量的范围。

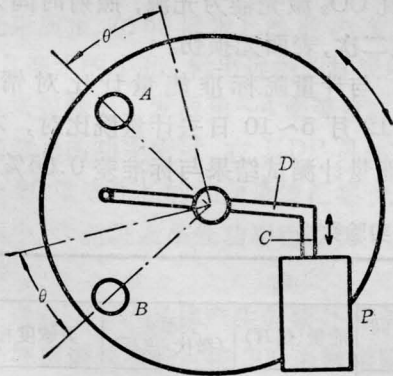


图 2 电磁快门示意图

在本系统中用光电计时器精确测定 CO_2 激光束通过电磁快门的时间。当 CO_2 激光束通过快门上的 A 孔时, He-Ne 激光束也同时通过 B 孔照射在光电接收器上(光电二极管 2DU),把光信号转为电信号,然后通过图 3 所示的电路,由频率计显示 CO_2 激光束注入

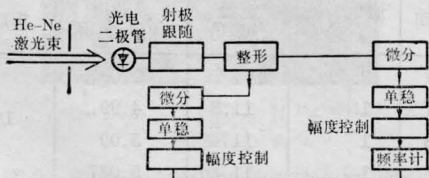


图 3 光电计时器电原理图

被验功率计或能量计的时间。系统中标准功率计采用锥型激光中功率计,监视功率计采用圆盘功率计。

二、倒锥式激光能量计

1. 能量计结构

我们选用图 4 所示的倒锥式能量计。图中 2 为能量计吸收圆筒,它的几何尺寸是内径 50 毫米,壁厚 1.5 毫米,材料选用铝氧化发黑。倒锥 4 顶角为 35° ,壁厚 0.5 毫米,系用铜电铸而成,外表经光度抛光后蒸镀黄金,2 为能量计电加热线圈,用直径 0.4 毫米锰铜丝绕在吸收筒外壁的半圆螺纹槽内。图中 5 为能量计热沉,6 为热电堆,1 为绝热材料制成的支杆,用它把吸收体悬空在不锈钢筒中间。

光线入射后在吸收器内的反射吸收情况如图 5 所示。第一次反射与锥体表面的夹角为 θ ,第二次反射与吸收筒表面的夹角为 2θ ,第三次反射与锥体表面的夹角为 3θ ,第 n 次反射与锥体或吸收筒的夹角为 $n\theta$ 。若激光束入射时与锥体轴线有一夹角 α ,则 n 次反射后与表面的夹角为 $n\theta + \alpha$,当 $n\theta + \alpha = 90^\circ$ 时,则光线产生回反射。回反射光线在各表

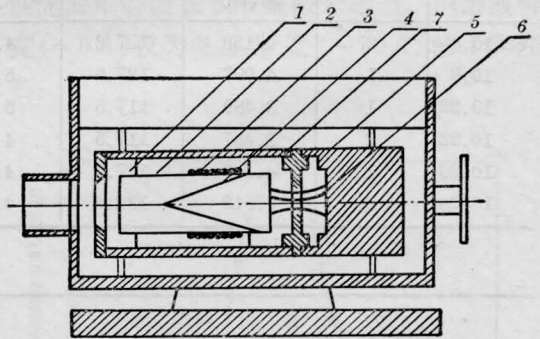


图 4 能量计结构示意图

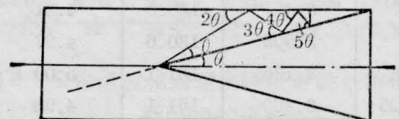


图 5 能量计光路示意图

面反射的次数相同,沿原路反射出吸收体。本能量计的锥顶角 $2\theta=35^\circ$, $\theta=17.5^\circ$, 光线在吸收筒表面吸收的次数可求出 $n \times 17.5^\circ + \alpha = 90^\circ$, α 一般控制在 $\pm 1^\circ$, 故 $n=4$ 次。若镀金表面的反射系数为 0.90, 铝发黑后的表面反射系数为 0.25 的话, 则由于镜反射而带来的回反射损失为 $1 \times 0.9^4 \times 0.25^4 = 0.0024$, 可见这种形式的吸收腔镜反射损失是很小的。但表面还存在漫反射, 而且倒锥尖顶曲率半径不可能等于零, 据 M. M. Birky 的实验^[1], 倒锥型吸收器的总反射损失约为 0.5%。显然, 这种倒锥型吸收器的黑度系数是相当高的。

为了给吸收器造成一个恒定环境, 除了仪器的外壳, 还在吸收器和外壳间加了一层不锈钢套筒, 用尼龙螺钉把吸收器支持于不锈钢套筒中, 以减小传导和对流引起的能量损失。热沉与不锈钢套筒联接, 电校是通过测量电加热器上的直流电压、电流及加电功率的时间来实现的。

2. 能量计实验

(a) 光定标和电定标的比对实验

我们采用上述将连续光转换成脉冲光的光定标装置和电定标仪(见本文三), 光源采用 30 瓦的 CO_2 激光器。测量光功率的功率计采用标准锥型中功率计, 准确度为 $\pm 3\%$ 。电校用的电源使用稳定度优于 $\pm 0.01\%$ 的直流稳压电源。实验结果如表 1 所示。

(b) 重复性实验: 重复性实验以电校进行, 采用稳定度优于 $\pm 0.01\%$ 的直流稳压电源, 测量电流电压的数字电压表精度为 0.02 级, 标准电阻精度为 0.01 级, 通电时间大于 1 秒时, 计时精度优于 0.1% (详见本文三, 电定标仪)。实验数据列于表 2。

在环境稳定(恒温、空气无对流)的条件下, 重复性优于 $\pm 1.5\%$ 。

(c) 测量上限实验: 在上海光机所采用横流千瓦 CO_2 激光器为光源, 照射时间为 1 秒, 重复二次, 表面无损伤。

(d) 与计量院标准能量计比对情况: 1982 年 12 月 5~10 日去计量院比对, 本系统中的能量计测试结果与标准差 0.05%。

表 1 激光能量计光电定标比对实验数据

实验时间	仪器编号	光 照			电 校			
		快门开放时间(秒)	能量(焦耳)	灵敏度(微伏/焦耳)	电校时间(秒)	能量(焦耳)	灵敏度(微伏/焦耳)	灵敏度相差
82.10.8	2	4.133	127.3	4.62	3.159	117.9	4.96	2.9
10.8	1	4.097	127.6	5.00	3.196	137.1	5.00	0
10.22	1	3.489	117.5	5.12	3.479	132.3	5.54	
10.22	2	3.487	117.5	4.73	3.473	132.2	4.70	0.64
10.26	1	4.500	147.3	4.92	3.426	137.7	4.95	0.61
10.26	2	4.512	138.6	4.75	3.413	144.1	4.69	1.3

表 2

大 能 量 计 7801 号					大 能 量 计 7802 号				
实验时间	通电时间(秒)	能量(焦耳)	灵敏度(微伏/焦耳)	相对差	实验时间	通电时间(秒)	能量(焦耳)	灵敏度(微伏/焦耳)	相对差
82.10.7	3.497	130.5	4.81	3%	82.10.7	3.529	131.7	5.09	1%
	3.502	130.6	4.97		12.7	1	11.3	4.99	
10.8	3.196	137.1	5.00	12.8	1	11.48	5.09		
10.25	3.460	151.1	4.93	12.8	1	11.36	5.037		
10.27	3.430	136.1	4.91						

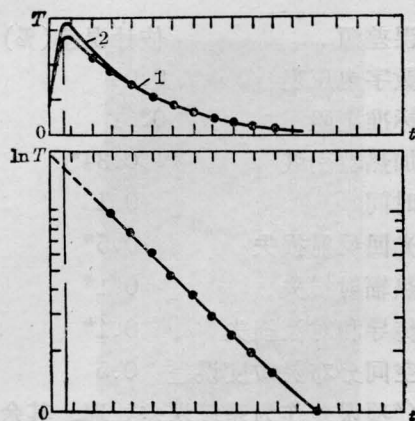


图6 能量计的输出曲线及对数曲线

(e) 能量计数据处理:

图6为本能量计的典型的输出-时间曲线,即能量计的冷却曲线。纵座标表示能量计的电势输出,横座标表示时间。光照曲线1和电校曲线2开始时形状不相同,在3分钟后趋向一致。将该曲线的纵座标取对数,以对数输出为纵座标、冷却时间为横座标作图,可得出图6中的半对数曲线。从曲线中可看出曲线在3分钟到12分钟之间趋于直线,即能量计在这段时间处于测定期。这时能量计的冷却曲线为单指数函数,即

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-t/\tau}$$

取对数为

$$\ln \Delta T = -t/\tau + \ln \Delta T_0$$

按上式,可根据一组该时间区域的输出

电势数值,通过作图法或列出代数方程组,以对数外推法求出 ΔT_0 , 然后求测定的能量值和能量计的灵敏度。

三、激光电定标仪

本装置电路的工作原理由图7所示。具体电路由图8所示。由晶体管 T_1 、电阻 R_{b1} 及开关 K_1 组成一个方脉冲产生电路。在 R_{c1} 端产生一个负方波,经微分电路 C_1 和 R_1 后,负尖脉冲加到由晶体管 T_2 、 T_3 组成的延时电路上,延时时间 $t_{K1} = 0.7 \times R_{b2} \times C_2$,

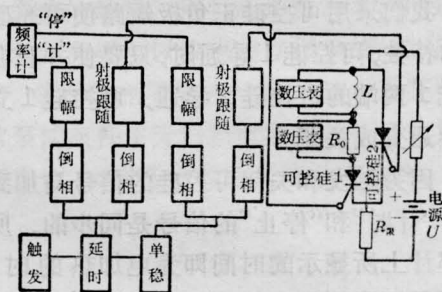


图7 激光电定标仪方框图

可根据所需的不同加热时间适当选择 C_2 , 在本电路中延时时间分别选用1秒、2秒、5秒、10秒、15秒和20秒。 R_{b2} 采用可调电位器,用来微调延时时间。由延时电路 \bar{Q} 端输出一个负方波加在晶体管 T_6 、 T_7 组成的倒相整形电路上,从 T_6 集电极输出的正方波经限幅电路后,开门脉冲信号加到频率计“计时”端。

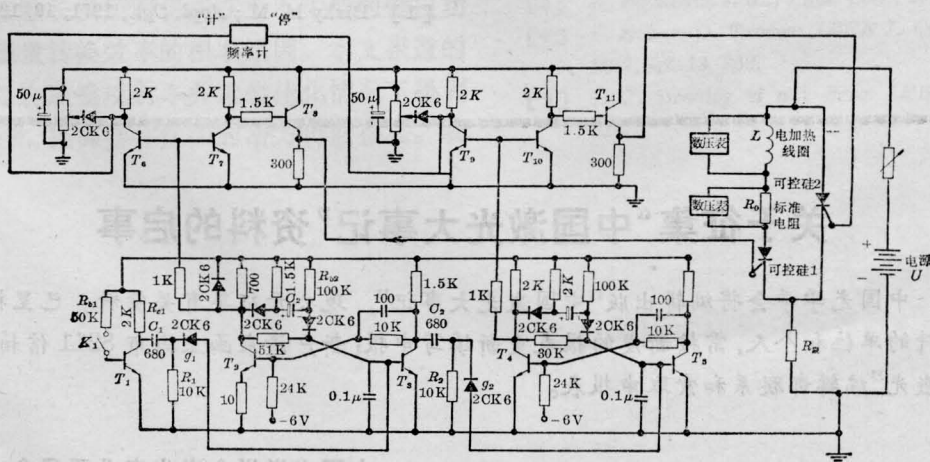


图8 激光能量电定标电路图

T_7 集电极输出的正方波经晶体管 T_8 射极跟随器加到可控硅 1 的触发极上。由延时电路 Q 端输出的正方波经微分电路 C_2 、 R_2 后, 其负尖脉冲经过二极管 g_2 加到由晶体管 T_4 、 T_5 组成的单稳电路上, 单稳电路的翻转时间 t_K 为 3 微秒, 在单稳电路 \bar{Q} 端输出一个脉宽 3 微秒的负方波加到由 T_9 、 T_{10} 组成的倒相整形电路。 T_9 集电极输出的正方波窄脉冲经限幅电路后加到频率计“停止”端, 同时由 T_{10} 集电极输出的正窄方波经射极跟随器 T_{11} 输出一正方波信号加在可控硅 2 的触发极上。

我们采用可控硅正负极短路使可控硅关断的特性, 可控硅 1 导通时, 只要使并联在可控硅 1 两端的可控硅 2 导通, 可控硅 1 立即由导通变成关断。

因为触发和关闭可控硅的信号与加到频率计“计时”和“停止”的信号是同步的, 所以频率计上所显示的时间即为电加热的时间, 从而保证了测量电加热时间的准确性。加热线圈上的电能可由式 $Q_{电} = V \times I \times T$ 进行计算。该电路经分析, 当电加热脉宽大于 1 秒时, 电定标仪所引起的误差小于 0.1%。

四、误差分析

现将本系统中各项误差源列出并进行计算。

误差源	估计误差(%)
数字电压表	0.04
标准电阻	0.01
加热器引线	0.34*
时间	0.1
光回反射损失	0.5*
热辐射损失	0.1*
传导和对流损失	0.1*
空间分布灵敏度误差	0.5

(*项误差作为系统误差处理, 其余作为偶然误差)

$$\Delta = 0.15 + 0.5 + 0.1$$

$$+ 3\sqrt{\frac{(0.04)^2 + (0.01)^2 + (0.1)^2}{(0.1)^2 + (0.5)^2}} \approx 3\%$$

实验结果与理论计算相符。

五、讨 论

本系统在光定标装置中采用标准锥型中功率计时, 可对能量计进行定标。如在系统中使用能量计时, 可用来测量千瓦级连续激光器的输出功率或脉冲激光器输出的千焦耳级能量。我们已对上海光机所功率为一千瓦的横流 CO_2 激光器进行测试, 情况良好。

在本工作中得到秦书乐同志的帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Birky M. M.; *Appl. Opt.*, 1971, 10, 133.

关于征集“中国激光大事记”资料的启事

中国光学学会将编辑出版“中国激光大事记”, 现公开征集有关资料。已呈报过资料的单位和个人, 需按新发的报表重新填写申报; 新用户请来函上海市 8211 信箱“中国激光”编辑部联系和索取申报表。

中国光学学会激光专业委员会