

高功率脉冲激光的体吸收卡计

王瑞华 林文清

(中国科学院上海光机所)

提要: 研制了以中性有色玻璃为吸收器的固体体吸收卡计, 用于波长从0.4微米到1.1微米, 能量从1焦耳到50焦耳脉冲激光的能量测量, 绝对测量的精度为 $\pm 5\%$ 。卡计采用电加热校准, 校准的重复性优于 $\pm 0.5\%$ 。

Bulk-absorption calorimeter for high power pulsed lasers light

Wang Ruihua Lin Wenqing

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: A bulk absorption solid calorimeter with neutral coloured glass as its absorber has been developed. It can be used for the energy measurement of laser pulses whose wavelengths range from $0.4 \mu\text{m}$ to $1.1 \mu\text{m}$ and energies 1 joule to 50 joules, with an absolute accuracy of $\pm 5\%$. The calorimeter is calibrated by electrical heating, with a calibration reproducibility of better than $\pm 0.5\%$.

一、前言

用卡计测量激光束能量和功率应用十分广泛, 早期的卡计绝大多数都是面吸收型^[1], 即激光辐射在涂黑的表面上吸收, 或者在反射的表面上多次反射而吸收, 这种面吸收型卡计通常约在 0.5 焦耳厘米^{-2} 下就受到损伤^[2], 因此, 只适合于测量低功率或低能量的激光。

对于高功率脉冲激光, 由于在吸收表面上产生的瞬时温升比例于 $\alpha Et^{-1/2}$ ^[3], 其中 α 为吸收率, E 为能量密度, t 为脉冲宽度。随着脉冲宽度的缩短, 吸收表面的瞬时温升极高, 致使卡计遭到破坏。

为避免吸收表面破坏最有效的途径是采

用体吸收, 即脉冲能量在吸收体的实体厚度内吸收, 而使吸收体任何一点的温升都不过高, 这种体吸收的破坏阈值可达激光器件的破坏水平, 因此很适合测量高功率脉冲激光。

二、结 构

我们研制的体吸收卡计的结构如图1所示:

两个作得充分相似的接收铝盘, 各自都有吸收体和校准加热丝, 并有差分热电偶与其相联结, 成对设计对热电偶测温比较合理。铝盘直径 $\phi 40$ 毫米、厚为3毫米, 边缘开有小槽, $\phi 0.1$ 毫米的锰铜加热丝在槽内单层双股并绕, 电阻约110欧姆, 电流引线为 $\phi 0.17$

收稿日期: 1979年4月16日。

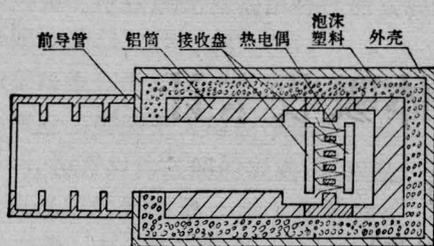


图1 卡计结构图

毫米铜丝，电位引线为 $\phi 0.14$ 毫米锰铜丝，连到冷热端之间的电流引线中间。铝盘经过阳极氧化处理，使之电绝缘。

检测器采用 $\phi 0.1$ 毫米的镍铬-康铜丝热电偶，21对串联，电阻约70欧姆，分布在铝盘背面21个等间距的小孔内，这种均匀分布促进了圆盘的热平衡。

吸收体采用抛光的 AB10 和 AB9 中性

有色玻璃，AB10 为 1.2 毫米厚，AB9 为 1.5 毫米厚，用银环氧胶粘在铝盘前面，其间充有导电胶以增加导热性。

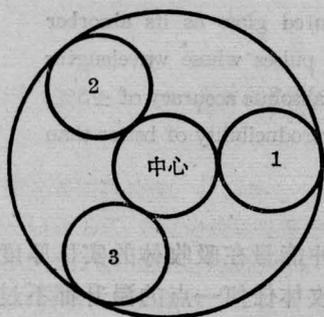
铝盘由三个尼龙螺钉支撑在大质量的铝筒内，外面包围泡沫塑料，使之绝热良好，开口端有带隔板的长的前导管，用来减少环境温度波动及杂散光的影响，最外面为铝制外壳。

热电偶输出经放大器放大，由数字电压表接收，并由打印机记录，在选定的等时间间隔内读数，通过指数外推法求得修正温升。从而计算出能量。

卡计的校准是通过直流电能替代法，即采用高稳定度的直流稳压电源，高精度的直流数字电压表，测量通过卡计加热丝和标准电阻两端的电压和时间来求得。

表1 卡计的均匀性

光斑位置	相对输出		与中心差%
中心	1.506 1.499	1.503	0
位置1	1.510 1.488	1.499	+0.3
位置2	1.495 1.496	1.496	+0.5
位置3	1.508 1.490	1.499	+0.3



三、性能的测试

1. 响应均匀性

我们在 1.06 微米、 10^{-3} 秒钕玻璃激光器的分光装置上，用 $\phi 15$ 毫米的光束打在卡计的不同部位，测量卡计的均匀性，结果如表 1 所示。为避免激光器不稳定造成的影响，采用监视卡计。此外还在光校准装置上，用 $\phi 10$ 毫米光束照射卡计不同部位，测其均匀性，结果也与表 1 相符。

2. 线性、重复性

我们在电校准装置上，将电能从 1 焦耳

增加到 35 焦耳测量卡计的输出，发现灵敏度无显著变化，说明在此范围内线性良好，所测结果如图 2 所示。

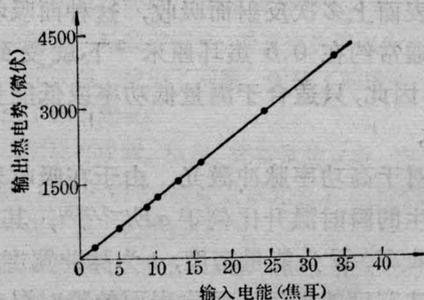


图2 卡计输出与输入电能的关系

卡计电校准的重复性相对均方差为

±0.5%。

3. 响应曲线

将卡计热电偶输出接到 XWC-400 型自动平衡记录仪, 测量卡计在激光和校准电能作用下的温度-时间响应曲线, 如图 3 (a) 所示, 两条曲线约在 50 秒以后趋于一致。

将卡计输出取对数, 并与时间作图, 得到图 3 (b), 可见卡计在输出最大值以后, 对数输出与时间是一线性关系, 说明卡计冷却过程确实符合单指数, 遵从牛顿冷却定律。

由此测得卡计的响应时间约 40 秒, 时间常数 390 秒, 恢复时间约 30 分钟。

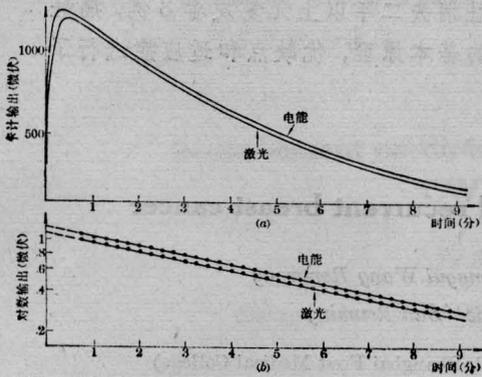


图 3

(a) 卡计的温度-时间响应曲线
(b) 对数输出与时间之关系

四、误差分析

(1) 电校准误差

电校准的极限误差表示为:

$$\frac{dE}{E} = \left| \frac{dV_1}{V_1} \right| + \left| \frac{dV_2}{V_2} \right| + \left| \frac{dR}{R} \right| + \left| \frac{dt}{t} \right| + \left| \frac{d\Delta T_o}{\Delta T_o} \right| \quad (1)$$

式中 V_1 、 V_2 分别由两台 PZ8 五位数字电压表测量, 不难作到使 $\left| \frac{dV_1}{V_1} \right| < 0.20\%$, $\left| \frac{dV_2}{V_2} \right|$

$< 0.20\%$; R 为 0.05 级进口的标准电阻, 其精度为 0.05%。时间 t 的测量误差由三部分引入, 一是加热回路与计时回路的不同步, 由于不同步小于 1 毫秒, 而加热时间大于 1 秒, 因此, 不同步引入误差小于 0.1%; 二是由频率计触发脉冲和停止脉冲引入, 由于触发脉冲和停止脉冲宽度为 0.6 毫秒, 因此由此引入误差小于 0.1%; 三是由频率计本身不稳定引入误差小于 0.002%, 在此可忽略。修正温升 ΔT_o 的误差估算为 0.2%。

根据上述分析, 得出电校准误差小于 1%。

(2) 由于光的不完全吸收引入误差

在我们的情况下, 光的不完全吸收主要是由玻璃的镜反射造成, 镜反射测量的不可靠性约为 1%。

(3) 由电校准脉冲和激光脉冲宽度不同, 激光突然加热空气及热辐射损失, 根据 Franzen 的计算为 0.4%。

(4) 由加热丝引线引入误差约为 0.2%。

(5) 由接收盘的非对称性引入误差测量为 0.5%。

(6) 电校准的重复性误差为 0.5%。

(7) 卡计均匀性误差为 0.5%。

(8) 测试仪表不稳定及非线性等引入误差为 0.3%。

在确定卡计的绝对精度时, 将上述误差求和, 则得卡计的总误差为 ±5% 左右。

参 考 文 献

- [1] Gunn. S. R; *J. Phys. E.*, No. 6, 105 (1973).
- [2] Franzen. D. L; *Appl. Opt.*, No. 12, 3115(1975).
- [3] Gunn. S. R; *Rev. Sci. Instrum.*, **45**, No. 7, 936 (1974).