

炭斗能量计的实验研究

王瑞华 于桂秋 戴美兰

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文对炭锥能量计在使用中出现的问题进行一些实验研究与分析, 指出了使用时应注意的问题, 及今后改进的意见。

Experimental research on carbon cone energy meter

Wang Ruihua, Yu Guiqiu, Dai Meilan

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

Abstract: Experimental research and analysis have been made on some problems of carbon cone energy meter in usage.

炭斗是我国较早用于激光能量测量的装置之一, 主要用于脉冲激光能量测量, 多年来在完成激光能量测量方面起过一定的作用。

但是, 随着激光技术的发展, 对测量的精度要求越来越高, 而炭斗在长期使用中确实发现一些问题, 为确保测量工作稳定可靠, 对出现的问题进行了一些实验研究, 供使用者参考。

一、炭斗的空间响应不均匀

炭斗的空间响应不均匀, 是造成各单位各部门能量测量有差异的主要原因之一。为了说明这个问题, 我们在光定标装置上分别用 $\phi 16$ 毫米、 $\phi 40$ 毫米、 $\phi 100$ 毫米的炭斗, 测定了不同口径的光束照射炭斗的不同部位; 用同一口径的光束照射不同热电偶分布的炭斗; 用同一口径的光束照射不同灵敏度

的炭斗, 观察炭斗输出响应的变化, 以及在铍玻璃激光器上测定炭斗在激光作用下照射不同部位时最大响应的变化。

在光定标装置上, 所测结果如图 1~4 所示。图中横坐标表示光束离开中心位置的移动量, (a) 表示光束左右移动, (b) 表示光束上下移动。

分析图 2 中的斗 3 (分别用 $\phi 5$ 毫米和 $\phi 10$ 毫米的光束) 和图 4 中的斗 8 (分别用 $\phi 10$ 毫米和 $\phi 30$ 毫米光束), 可以看出, 大光束测量比小光束测量产生的相对偏差小。因此在使用中, 建议用较大光束, 避免使用小光束或光束聚焦。为了减少光束逸出锥外而造成的损失, 通常采用的光束为炭斗开口的 60% 为宜。

由图 1 和图 3 可以看出, 灵敏度低的斗 1 和斗 6 比灵敏高的斗 2 和斗 7 引入的相对偏差大, 这就告诉我们, 在使用中应根据输出

收稿日期: 1981年7月30日。

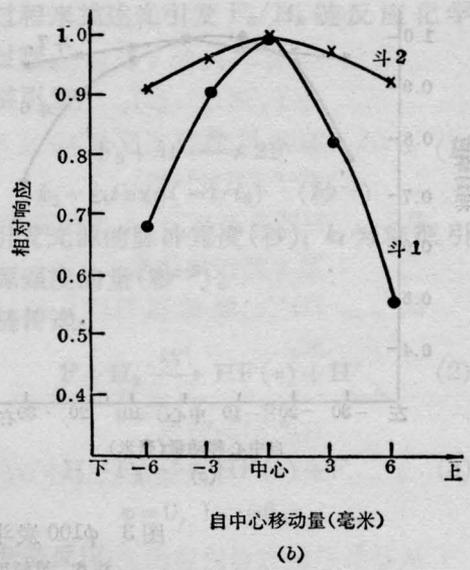
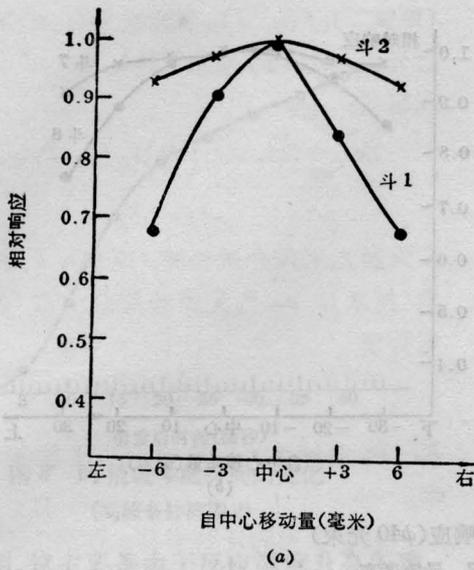


图1 $\phi 16$ 炭斗的空间响应(用 $\phi 3$ 光束)
斗 1: 灵敏度低 斗 2: 灵敏度高

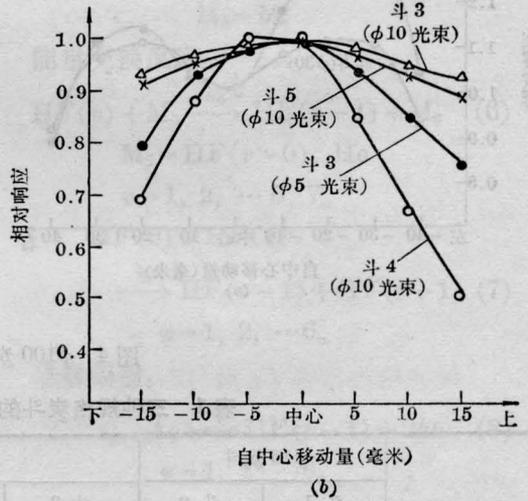
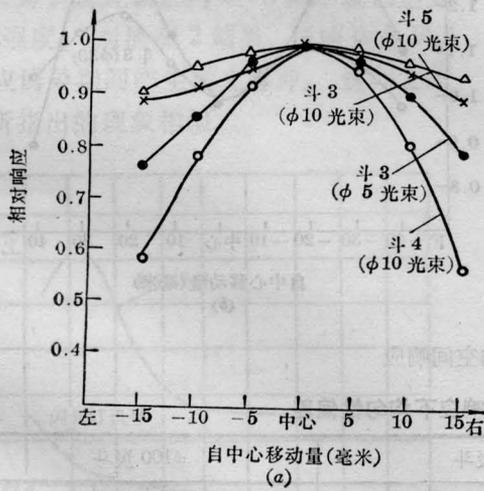


图2 $\phi 40$ 炭斗的空间响应

能量大小选择合适的炭斗与检流计，使其规格数大于标尺的 $2/3$ ，以减少读数误差。

从图 2 中的斗 4 和斗 5 (同是使用 $\phi 10$ 光束) 的对比看出，斗 5 的偏差小，斗 4 的偏差大。原因是斗 5 是自制的，较好地考虑了热电偶的分布，测其均匀性误差小于 5%；而斗 4 是批量生产的，热电偶分布没按规定的

位置排布，测其均匀性误差达 40%。由此可见，改进炭斗内热电偶的分布有助于改善响应均匀性。

纵观以上四个图不难发现，当光束离开中心位置时，相对偏差逐渐增大。表 1 列出了四个图中每个炭斗相对于中心位置的偏差，最大者竟达 60%，可见炭斗的空间响应

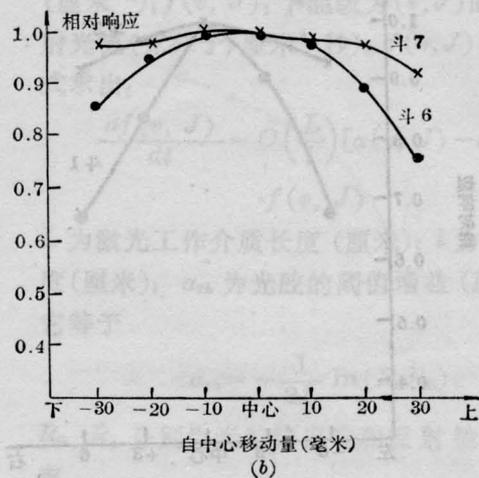
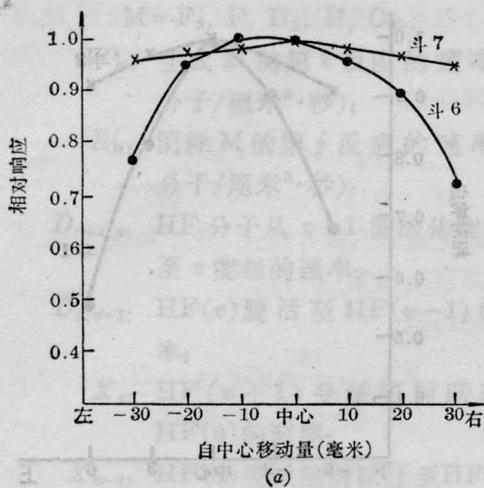


图3 $\phi 100$ 炭斗的空间响应($\phi 40$ 光束)

斗6: 灵敏度低 斗7: 灵敏度高

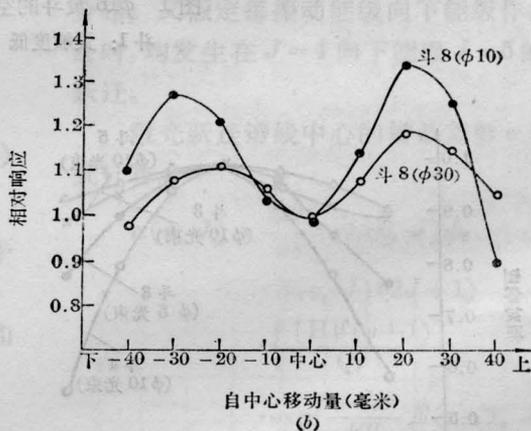
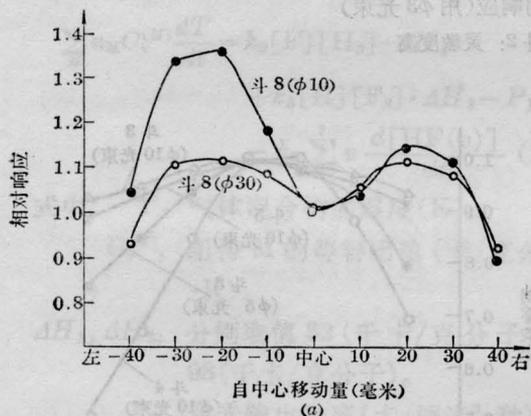


图4 $\phi 100$ 炭斗的空间响应

表1 三种规格炭斗的空间响应不均匀性偏差

	$\phi 16$ 炭斗		$\phi 40$ 炭斗			$\phi 100$ 炭斗		
	斗 1	斗 2	斗 3	斗 4	斗 5	斗 6	斗 7	斗 8
使用光束 (毫米)	$\phi 3$	$\phi 3$	$\phi 5$ (A) $\phi 10$ (B)	$\phi 10$	$\phi 10$	$\phi 40$	$\phi 40$	$\phi 10$ (C) $\phi 30$ (D)
相对中心的偏差 (%)	42	8.3	24(A) 10(B)	60	5	29	8	37(C) 22(D)

是极不均匀的。

在钹玻璃激光器上, 我们用函数记录仪记录了 $\phi 40$ 毫米炭斗在激光作用下的时间-温度响应曲线, 结果如图 5 所示。

当激光束照射炭斗中心位置和离开中心位置时, 响应曲线的最大值有明显的差异, 这就再一次证实了炭斗的空间响应不均匀性。

造成炭斗空间响应不均匀的主要原因是

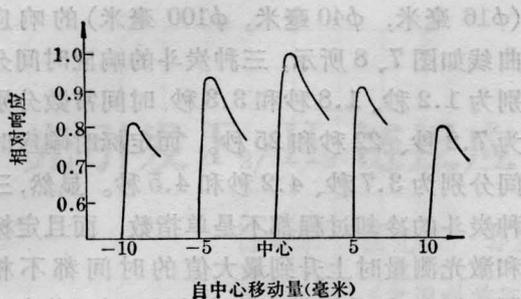


图5 炭斗在激光作用下的空间响应

石墨材料的导热性很差。如能合理地考虑热电偶的分布将会使这种不均匀性大大改善。比如老式炭斗,热电偶是按面积分布的,改进型的JN-1炭斗中热电偶按开口边缘分布,这不仅改善光电等效性,而且大大改善响应的不均匀性。因此建议今后生产的 $\phi 40$ 毫米炭斗或 $\phi 100$ 毫米炭斗,包括定型的JN-2炭斗能量计尽可能采用这种分布。

二、炭斗位置偏斜的影响

通常使用炭斗时,入射光束垂直于炭斗开口平面,并且光束打在炭斗的中心位置。如果炭斗调整不准,偏斜某一角度,将会改变光束的入射角,结果也引入误差。

我们分别用 $\phi 40$ 毫米炭斗和 $\phi 100$ 毫米炭斗作了炭斗倾斜放置的实验,观测倾斜放置时输出的变化,结果如图6和表2所示。

表中的倾斜角度表示炭斗绕轴线的旋转

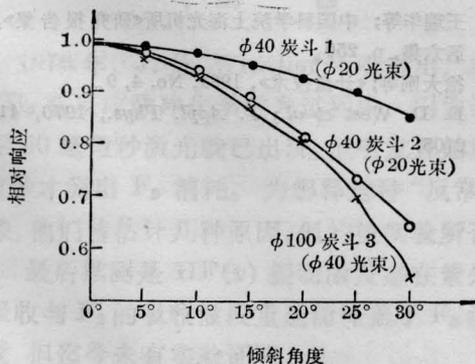


图6 炭斗位置倾斜放置时的输出响应

表2 炭斗位置倾斜时的偏差

倾斜角度	相对于垂直位置时的偏差		
	$\phi 40$ 斗 1	$\phi 40$ 斗 2	$\phi 100$ 斗 3
0°			
5°	0.2%	2%	4%
10°	1.3%	6%	8%
15°	2.5%	11%	11%
20°	5%	19%	19%
25°	7.5%	27%	30%
30°	15%	35%	45%

角,其相对偏差表示在每一个转角位置对垂直位置时相差的百分比。由表可以看出,当炭斗位置倾斜放置时,随着倾斜角度的增大,偏差也增大。

炭斗位置倾斜放置时,输出响应有变化,一方面是由于炭斗的空间响应不均匀,另一方面是由于倾斜某一角度时,会有一部分光束未被吸收而逸出斗外,因此,使用炭斗时,最好是调整好位置,以保证入射光束与炭斗开口平面相垂直,从而减少倾斜放置时引入的测量误差。

三、采用最大值读数法会造成误差

根据 E. D. West 对恒温卡计的理论分析指出,在最终的测定期间,冷却曲线可用单一指数表示为

$$T - T_{\infty} = W_{in} \frac{\alpha_1 \phi_1}{b_1 \tau} e^{-b_1 t} (e^{b_1 \tau} - 1) \quad (1)$$

式中 $T - T_{\infty}$ 为观测的温度; W_{in} 为输入能量; α_1 为常数; ϕ_1 为与能量分布有关的几何因子; τ 为脉冲宽度; b_1 为冷却常数; t 为时间。

当 $b_1 \tau \ll 1$ 时, $e^{b_1 \tau} \approx 1 + b_1 \tau$, 故 (1) 式可写为

$$T - T_{\infty} \approx W_{in} \alpha_1 \phi_1 e^{-b_1 t} \quad (2)$$

当采用最大值法读数时, (2) 式为

$$T - T_{\infty} \approx W_{in} \alpha_1 \phi_1 e^{-b_1 t_{max}} \quad (3)$$

分析 (3) 式, 只要定标和测量时 t_{max} 是常数,

所测温升 $T - T_{\infty}$ 与入射能量 W_{in} 成正比, 此法读数是合理的。

根据以上分析指出, 采用最大值法读数必须满足 3 条: 1) 冷却过程为单指数, 这意味着高次项指数所引起的热交换可以忽略; 2) $b_1\tau \ll 1$, 这意味着冷却常数 b_1 足够小(或时间常数足够大), 热交换小, 故卡计要绝热性能好; 3) t_{max} 是常数, 即定标和测量时, 上升到最大值的时间相同。

我们在钨玻璃激光器上测定了三种炭斗

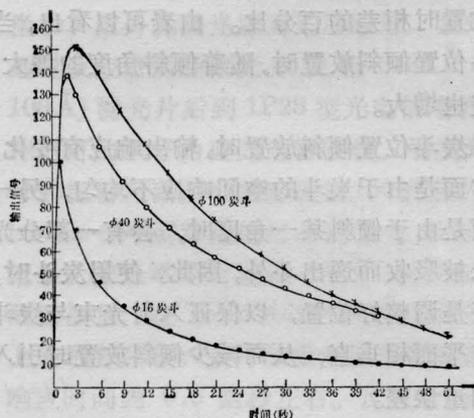


图 7 三种炭斗的温度—时间响应曲线

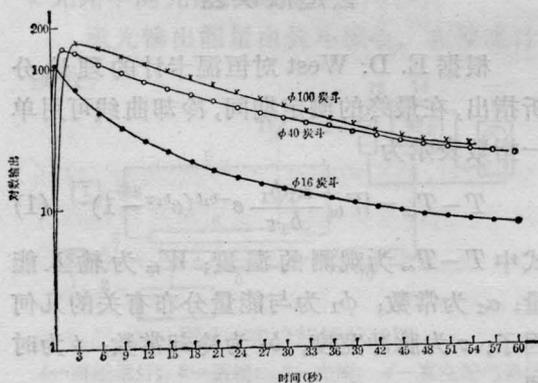


图 8 三种炭斗的对数曲线

($\phi 16$ 毫米, $\phi 40$ 毫米, $\phi 100$ 毫米) 的响应曲线如图 7、8 所示, 三种炭斗的响应时间分别为 1.2 秒、1.8 秒和 3.3 秒, 时间常数分别为 7.2 秒、22 秒和 25 秒。而定标时响应时间分别为 3.7 秒、4.2 秒和 4.5 秒。显然, 三种炭斗的冷却过程都不是单指数, 而且定标和激光测量时上升到最大值的时间都不相同, 这时, 如采用最大值读数法, 对三种炭斗分别会引入约 34%、10% 和 5% 的误差。

四、使用炭斗时注意的问题及改进的意见

为了使测量结果稳定重复, 使用炭斗时应做到: 1) 尽量采用炭斗口径的 60% 的光束进行测量, 如 $\phi 16$ 炭斗用 $\phi 10$ 毫米光束, $\phi 40$ 炭斗用 $\phi 24$ 毫米的光束, $\phi 100$ 炭斗用 $\phi 60$ 毫米光束; 2) 根据所测能量水平, 选用合适的炭斗灵敏度, 使其偏格数超过检流计标尺的 2/3; 3) 测量时, 调整炭斗或光束的位置, 对准炭斗中心, 避免倾斜和偏离。

生产炭斗的单位应尽量改进炭斗结构, 加大时间常数, 增加隔热措施, 采用微伏数字式显示仪器等, 并逐步采用近年来研制的新的激光卡计取代炭斗。

对于炭斗在标定过程中出现的问题, 有关文献已有详细实验, 在此不另复述。

参 考 文 献

- [1] 王瑞华等; 中国科学院上海光机所《研究报告集》, 第六集, p. 250.
- [2] 徐大刚等; 《计量技术》, 1981, No. 4, 9.
- [3] E. D. West et al.; *J. Appl. Phys.*, 1970, **41**, 2705.