

‘神光’装置的激光能量测量

林康春 沈丽青 田 莉 周复正

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

本文叙述了在神光装置中测量激光能量的体吸收能量计的特点, 给出了其工作参数。实测了神光装置中激光系统末级输出能量、激光系统前部和中部定点发射能量及激光系统放大的自发辐射能量。并作了分析和讨论。

关键词: 能量计, 高功率激光。

一、新型激光能量计

神光装置^[1]的激光能量测量主要有: 激光系统末级输出激光能量测量, 激光系统前部和中部定点发射激光能量测量, 激光系统放大的自发辐射能量测量。六十年代初一直沿用的碳斗能量计由于其灵敏度低、面响应均匀性较差及抗激光破坏阈值低等缺点已不能满足高功率激光能量测量的要求。因此, 根据国外有关激光能量测量的发展趋势^[2~4]研制了新型体吸收激光能量计。其原理、结构在其他文章中已有叙述^[5, 6]。新型激光能量计和碳斗能量计相比主要有如下几个优点:

1. 体型吸收。激光能量是在整个接收体内而不是在表面层上吸收, 也就是说整个接收体分担承受激光能量, 使接收面不致被强激光打坏。而面吸收的碳斗能量计接收面容易被强激光打坏, 因为吸光层的瞬时温升 ΔT 与表面吸收层的吸收系数 A 、单位面积上的能量密度 E 和激光脉冲宽度 Δt 有关, 即 $\Delta T \propto AE \Delta t^{1/2}$ 。这就是面吸收能量计容易被强激光打坏的原因^[7, 8]。

2. 保证高功率激光能量测量真实可靠。众所周知, 碳斗能量计的接收面是内凹圆锥体, 激光经过多次反射到达锥顶, 高功率激光能量集中到锥顶就有可能在锥顶形成激光等离子体(气体电离), 而激光等离子体对光有很强的反射作用, 因此, 后来到达的激光就有可能被锥顶所形成的等离子体反射。使测量的激光能量值不真实。新型激光能量计采用光学抛光的中性玻璃作接收体, 没有形成等离子体的可能性, 其对激光的反射率可以测定, 所以测量激光能量的量值是真实可信的。

3. 灵敏度高、性能稳定。新型激光能量计接收器采用半导体合金材料组成的 P-N 元件多对串接作热电转换元件, 比采用金属丝作热电转换元件的碳斗能量计灵敏度有 1~2 个数量级的提高, 而且合金材料 P-N 元件是刚性固熔体, 焊接牢固, 其灵敏度经过标定后可以说是永久不变的, 因此, 接收器的性能十分稳定。而碳斗能量计采用形状易变的金属细丝作热电转换元件, 而且粘贴不牢固, 引起灵敏度易变, 性能不稳定。

4. 响应迅速、复原快。新型激光能量计的响应时间比碳斗能量计的快 3~5 倍, 测量周期比碳斗能量计缩短 1~2 数量级, 有利于实验工作的进行和实验数据的分析处理。

5. 实现激光能量的绝对测量。新型激光能量计可以采用电脉冲绝对能量, 模拟被测激光能量的作用方式对能量计灵敏度进行绝对标定, 使测量的激光能量是绝对量值。

新型激光能量计的主要性能指标列于表 1。其中接收口径为 $\phi 10$ mm 规格的能量计(一台)用于激光系统放大的自发辐射能量测量; 接收口径为 $\phi 20$ mm 和 $\phi 25$ mm 规格的能量计(各四台)用于激光系统前部和中部定点发射激光能量测量; 接收口径为 $\phi 80$ mm 规格的能量计(二台)用于激光系统末级输出激光能量测量。

Table 1 Properties of calorimeter

aperture (mm)	$\phi 10$	$\phi 20$	$\phi 25$	$\phi 80$
sensitivity ($\mu\text{V}/\text{J}$)	56000	13000	10000	4000
wavelength (μm)	0.3~11	0.3~11	0.3~11	0.3~11
response time (s)	1.5	2.0	2.5	4.0
cooling const. (s^{-1})	0.033	0.018	0.012	0.005
inhomogeneity	< $\pm 1\%$	< $\pm 1\%$	< $\pm 1\%$	< $\pm 2\%$
repeat error	< $\pm 1\%$	< $\pm 1\%$	< $\pm 1\%$	< $\pm 1\%$
inaccuracy	< $\pm 5\%$	< $\pm 5\%$	< $\pm 5\%$	< $\pm 5\%$

新型激光能量计测试标定的标准量值溯源于中国计量科学院的国家标准。新型激光能量计灵敏度优于美国利佛莫尔国家实验室(LLNL)研制的和美国阿波罗激光公司(Apollo Lasers Inc.)制造的同类型激光能量计^[4, 9, 10]。

二、激光系统末级输出激光能量测量

神光装置激光系统末级输出能量有三种规模: 100 J/beam, 0.1 ns; 800 J/beam, 1 ns; 960 J/beam, 3 ns。即最高输出功率达 10^{12} W, 对这类大能量、高功率激光能量测量, 我们采用有一定厚度的离子着色中性玻璃(AB_9)作能量计的接吸体, 其抗激光破坏强度比碳斗能量计高 1~2 个量级。神光装置国家级鉴定时激光系统末级输出激光能量用分光法实测为 803 J(指标为 800 J), 经计算能量计接收面的功率负载密度为 1.2×10^9 W/cm², 检查能量计接收体没有丝毫损坏, 该能量计使用一年后送往中国计量科学院检测, 性能指标和原来测试标定结果一致。说明用于神光装置末级输出激光能量测量的 $\phi 80$ mm 规格能量计设计是合理的, 使用是安全可靠的。表 2 是神光装置投入有明确物理目标实验时南路和北路

Table 2 Measured energies of south and north beam in independent run

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
south beam(J)	351	400	434	405	475	502	511	503	490	539
north beam(J)	137	330	304	473	553	520	500	490	530	450

末级输出激光能量测量的部分结果。

三、激光系统前部和中部定点发射激光能量测量

神光装置激光系统前部和中部加设了几个激光能量检测点有如下几个目的：第一，在进行激光聚变打靶物理实验时可以检测激光系统前部和中部各个区域输出能量的稳定性情况，有助于确定产生不稳定的区域，及时排除产生不稳定的因素；第二，在进行激光聚变打靶物理实验时可以有意识地增加或减少激光系统前部和中部放大器光泵电压值，控制末级输出激光能量的量值以满足各种物理目标打靶实验的需要；第三，在进行两路激光同时相对打靶物理实验时，为了获得均匀照明的压缩效果可以调节南、北两路激光系统前部和中部放大器光泵电压的比值，使两路激光输出能量达到理想平衡。表3列出神光装置进行物理实验时南、北两路能量不平衡最大偏差为15%左右，但只要我们仔细调节南、北两路激光系统前部和中部放大器光原电压的比值，南、北两路激光能量不平衡误差可以减少到10%，甚至更好，使激光聚变物理实验得到非常满意的结果。

Table 3 Unbalances of beam energies in counter direction with synchronization

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
south beam(J)	25.9	55.0	151.7	99.9	61.7	37.4	49.7	58.8	58.5	73.2
north beam(J)	21.2	52.0	159.1	113.9	63.2	33.9	54.2	63.2	64.0	76.0
unbalance(%)	13	1	11	20	9	4	15	13	15	10

四、激光系统放大的自发辐射(ASE)能量测量

激光系统放大的自发辐射能量(ASE)是指振荡器不开动，其余各级放大器按正常打靶实验充电光泵，激光系统本身放大的自发辐射能量。ASE输出脉冲为光泵脉宽量级，其前半部是构形主激光到达靶面之前的“前激光”。ASE前激光经打靶透镜会聚到达靶点，虽然很小，但如果超过一定量值，对激光聚变实验是很不利的。神光装置鉴定时，无论南路或北路在靶点实测表明全系统的ASE能量均在0.7 mJ~0.8 mJ之内，甚优于原定2 mJ的指标，但放置在靶点处0.2 μm厚的铝箔仍被烧蚀击穿，就是0.4 mJ的ASE能量也能使铝靶表面烧蚀出可辨识的疤痕，只有进一步采取隔离措施，把ASE能量减少到0.1 mJ左右时，才免于破坏直径为φ80 μm壁厚为0.5 μm的空心玻璃壳靶，即是说ASE能量小到这样的量级才满足聚变打靶物理实验的要求。这0.1 mJ左右的微小能量测量只有用φ10 mm规格的高灵敏度、高分辨率的能量计才能准确检测。

参加本工作的还有：葛露艳、张洪林、刘凤翹、黄关龙、戴达智、吴逢春、蔡希洁等同志。林尊琪、范滇元同志审阅了本文。在此表示感谢！

参 考 文 献

- [1] 余文炎, 雷仕湛;《自然杂志》, 1988, 11, No. 5 (May), 352.
[2] R. L. Smith *et al.*; *IEEE T*, 1972, **IM-21**, No. 2 (Nov), 434.
[3] G. E. Chamberlain *et al.*; *IEEE T*, 1978, **IM-27**, No. 1 (Mar), 81.
[4] S. R. Gunn; *LLNL report*, 1976, UCID-17308.
[5] 林康春, 周复正等;《中国激光》, 1983, **10**, No. 3 (Mar), 186.
[6] 林康春, 周复正等;《核聚变与等离子体物理》, 1983, **3**, No. 1 (Mar), 41.
[7] S. R. Gunn; *Rev. Sci. Instrum.*, 1974, **45**, No. 7 (Jul), 936.
[8] D. L. Franzen, L. E. Schmidt; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 12 (Dec), 3115.
[9] 向立人;《激光》, 1979, **6**, No. 9 (Sep), 58.
[10] 美国 ALC 激光公司 84 年产品介绍。

Absolute measurement of laser energy for “Sheng Guang” high power laser facility

LIN KANGCHUN, SHEN LIQING, TI AN LI AND ZHOU FUZHENG

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

(Received 2 July 1990; revised 12 November 1990)

Abstract

The characteristics of absorption calorimeter used for the measurement of laser energy output from the “Sheng Guang” Facility are described, and its parameters are given. We have measured the energy outputs from the final stage and from the front and middle stages of this system, as well as the energy of amplified spontaneous emission from the system. The measured results are discussed and analysed.

Key words: calorimeters, high-power laser.