

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0263-04

## 神光 II 装置高功率激光能量测量研究\*

林康春 沈丽青 田莉 葛露艳 庄亦飞 许绍基 王柳水 彭永华 凌鸣逸 林尊琪

(中国科学院上海光机所高功率激光物理国家实验室, 上海 201800)

**摘要** 为了准确测量神光 II 装置多波长高功率的激光能量, 研制了七种规格的体吸收激光能量计, 经中国计量院测试标定, 其灵敏度、均匀性及稳定性等技术参数超过原设计指标的要求, 达到或超过美国阿波罗激光器公司制造的同类型激光能量计的水平, 满足了神光 II 装置多波长高功率激光能量测量的需要。分析了神光 II 装置中三种波长激光能量测量的取样方式及测量精度。

**关键词** 体吸收激光能量计, 基频激光, 二倍频激光, 三倍频激光, 对标方法

中图分类号 TH741.4 文献标识码 A

## Study on High Power Laser Energy Measurement on Shengguang II Laser Facility

LIN Kang-chun SHEN Li-qing TIAN Li GE Lu-yan ZHUANG Yi-fei  
XU Shao-ji WANG Liu-shui PENG Yong-hua LING Ming-yi LIN Zun-qi  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** 7 types of volume absorption laser energy meters for accurately measuring the output multi-wavelength high power energy from SG-II are developed. The technical parameters including sensitivity, homogeneity and stability etc, are better than the original designing objectives via the calibration and testing by Chinese Metrology Academy. These devices satisfy requirements of multi wavelength high power laser energy measurement for SG-II. The sampling modes and measuring accuracy of the laser energy measurement at 3 kinds of wavelengths at SG-II facility are also analyzed in this paper.

**Key words** bulk absorption laser calorimeter, fundamental frequency laser, double-frequency laser, frequency tripled laser, scaling method

### 1 引言

神光 II 装置是具有八路基频 ( $1\omega$ )、八路二倍频 ( $2\omega$ ) 及八路三倍频 ( $3\omega$ ) 三种波长激光能量输出的高功率激光实验装置, 激光脉宽分纳秒, 100 ps, 20 ps 三档可选择。在不同脉宽条件下, 有不同量级的激光能量输出。当物理实验要求激光脉宽为纳秒量级时,  $1\omega$  激光能量输出最大可达 6.0 kJ,  $2\omega$  激光能量输出大于 3.0 kJ,  $3\omega$  激光能量输出大于 2.5 kJ, 适用于惯性约束聚变 (ICF) 实验及 X 光激光 (XRL) 研究。

神光 II 装置激光能量测量是一项十分重要的课题。准确测定打靶激光能量对实验数据的分析处理, 得出正确的物理规律具有非常重要的意义。神光 II 装置的激光能量测量是实现八路能量平衡的唯

一手段, 也是实现八路功率平衡必须进行的测量。

### 2 高性能体吸收激光能量计的研制

在神光 II 装置中共设置了 68 个激光能量测量网点, 包括十项测量内容: 1) 八路  $1\omega$  激光能量测量; 2) 八路  $2\omega$  激光能量测量; 3) 八路  $3\omega$  激光能量测量; 4) 八路反激光能量测量; 5) 八路  $1\omega$  激光能量对标测量; 6) 八路  $2\omega$  激光能量对标测量; 7) 八路  $3\omega$  激光能量对标测量; 8) 激光系统前段定点发射激光能量测量; 9) 激光系统中段定点发射激光能量测量; 10) 激光系统放大的自发辐射 (ASE) 能量测量。前七项测量是为激光物理实验提供准确打靶激光能量必须进行的测量; 后三项测量是维护激光系统正常运转及调控打靶激光能量大小的重要手

段。在这些测量中,有的信息量很大,有的信息量很小,有的小光斑取样,有的大光束测量。为了适应神光II装置激光能量测量的需要,我们在调研国内外有关资料<sup>[1~5]</sup>的基础上,经过模拟实验,采用了热电堆的制作新工艺,成对设计的热电堆差分结构,双层热屏蔽的隔离外壳等措施,使研制的多种规格的体吸收激光能量计在灵敏度、均匀性、稳定性等方面都

有大幅度提高,经中国计量院测试标定,其性能超过原设计指标的要求,达到或超过美国阿波罗激光器公司(Apollo Laser Inc.)制造的同类型激光能量计水平,满足了神光II装置多波长高功率激光能量测量的需要。表1列出我们研制的激光能量计和国外同类型能量计的性能比较。

表1 与国外同类型能量计性能比较

Table 1 Comparison between our calorimeter and those abroad

	Our work							Apollo laser Inc.		
	$\phi 10$	$\phi 20$	$\phi 40$	$\phi 50$	$\phi 60$	$\phi 80$	$\phi 100$	$\phi 25$	$\phi 50$	$\phi 100$
hole /mm	$\phi 10$	$\phi 20$	$\phi 40$	$\phi 50$	$\phi 60$	$\phi 80$	$\phi 100$	$\phi 25$	$\phi 50$	$\phi 100$
absolute sensitivity / $\mu\text{V}/\text{mJ}$	>50	>10	>8	>4	3	2	1.5	0.8	0.7	0.5
response time /s	1	1.5	2	2	3	4	5	2	3	5
power density / $\text{W}/\text{cm}^2$	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$
energy density / $\text{J}/\text{cm}^2$	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
nonuniformity /%	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1.5$	$\pm 2$	$\pm 2$	$\pm 2$
measuring accuracy /%	$< \pm 1$	$< \pm 1$	$< \pm 1$	$< \pm 1$	$< \pm 1$	$< \pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$
accuracy /%	$< \pm 5$	$< \pm 5$	$< \pm 5$	$< \pm 5$	$< \pm 5$	$< \pm 5$	$< \pm 5$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 3$

### 3 64路高精度数据采集仪的研制

64路高精度数据采集仪的功能是将各路能量计输出的电信号进行采集、处理和存储,主要技术指标是:1)输入信号为非对称性的双极性信号,输入范围: $-1.2\text{ mV} \sim +60\text{ mV}$ ,分辨率为 $1\ \mu\text{V}$ ;2)放大器非线性: $\pm 0.004\%$ ;3)数字化非线性: $\pm 0.05\%$ ;4)共模抑制比: $\geq 110\text{ dB}$ ;5)采集速率: $\geq 3\text{ 次}/\text{s}$ ;6)数字显示: $-1200 \sim +60000\ \mu\text{V}$ 。

1997年初试用采集仪时已和神光I时使用的PT-1A放大显示器作了对比。比对曲线如图1所示,得到比对精度误差的值为 $1.07\%$  (RMS),符合要求。

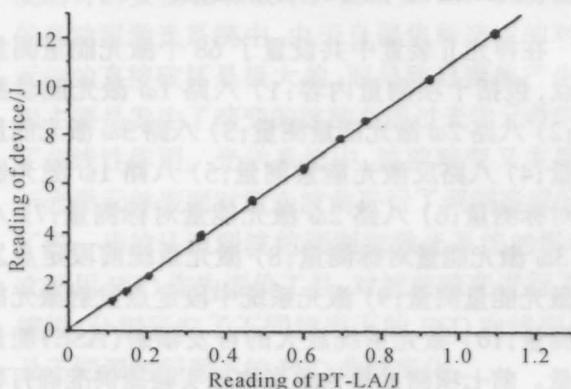
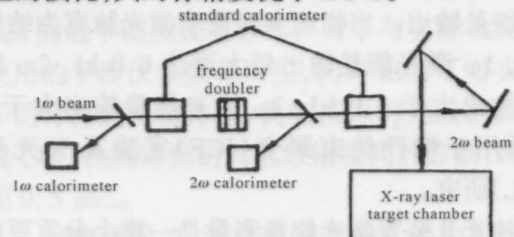


图1 对比曲线

Fig. 1 Contrast curve

### 4 激光能量测量取样方式的选择

当物理实验要求 $1\omega$ 激光打靶时,在激光系统末级空间滤波器前基频激光输出的主光路上插入 $\text{K}_9$ 玻璃平板(反射面不镀膜层,另一面镀 $1.06\ \mu\text{m}$ 增透膜层),小角度反射取样测量 $1\omega$ 激光能量;当物理实验要求 $2\omega$ 激光打靶时,在二倍频器前的主光路上再插入 $\text{K}_9$ 玻璃平板(反射面不镀膜层,另一面镀 $0.53\ \mu\text{m}$ 增透膜层),小角度反射取样测量 $2\omega$ 激光能量,如图2所示。放在取样光路上用于测量 $1\omega$ 和 $2\omega$ 激光的能量计同样都采用临时放在主光路上的标准能量计(经中国计量院测试标定)来对标,给出测量 $1\omega$ 和 $2\omega$ 激光的能量计转换灵敏度系数。这种小角度反射取样测量的对标方法与每次发射激光能量的重复性无关,也不必知道分光比及取样光路上的损耗,其对标精度优于 $\pm 1\%$ 。

图2  $1\omega, 2\omega$ 激光能量取样方式(单路)Fig. 2 Sampling way of  $1\omega, 2\omega$  laser energy measurement (one beam)

当物理实验要求  $3\omega$  激光打靶时,由于靶室空间场地的限制,不可能在三倍频器前的主光路上插入石英玻璃平板,小角度反射取样测量  $3\omega$  激光能量,而是利用  $3\omega$  激光束进入靶室最后一块  $45^\circ$  全反射镜(石英材料)透过的激光作取样光来测量  $3\omega$  激光能量(兼测剩余  $2\omega$  和  $1\omega$  激光能量),如图3所示。用于测量  $3\omega$  激光能量(兼测剩余  $2\omega$  和  $1\omega$  激光)的能量计,采用放在靶室打靶透镜对称窗口上的标准能量计(经中国计量院测试标定)来对标,给出测量  $3\omega$  激光(兼测剩余  $2\omega$  和  $1\omega$  激光)的能量计

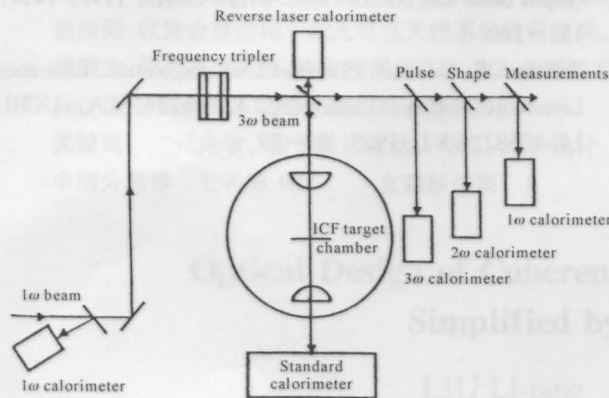


图3  $3\omega$  激光能量测量取样方式(单路)

Fig. 3 Sampling way of  $3\omega$  laser measurement (one beam)

转换灵敏度系数。进入标准能量计的三种波长激光能量,在真空靶室中可以利用打靶透镜对不同波长激光的色散特性,使三种波长的激光能量通过不同焦平面的小孔来区分。这种对标方法原则上也有很高的精度,但是,由于测量  $3\omega$  激光(兼测剩余  $2\omega$  和  $1\omega$  激光)的能量是利用激光束进入靶室最后一块  $45^\circ$  全反射镜透过的激光作取样光,激光束的入射角及激光束偏振方向的变化对  $45^\circ$  全反射镜透射比影响是非常敏感的。如图4所示,若激光束偏振方向与

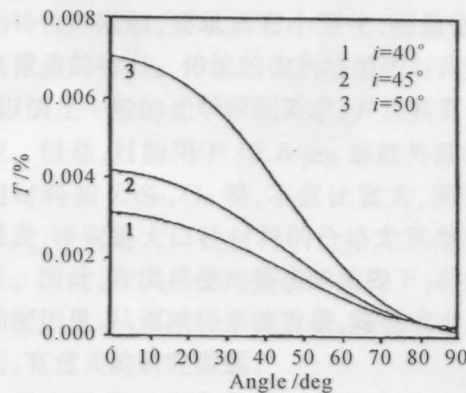


图4  $45^\circ$ 全反射镜的透过率曲线

Fig. 4 High reflectivity surface transmissive curve

入射面的夹角稍微有点变化,透射比就会发生明显变化,引起  $3\omega$  激光能量测量较大的误差。为了减少测量误差,在物理实验打靶运行过程中,要严格监控激光偏振方向同入射面夹角的变化以及严格检测  $45^\circ$ 全反射镜的膜层质量。

### 5 激光能量测量结果的数据分析处理

1) 在2000年这一年中,我们对神光II装置八路基频激光进行了磨合实验,对其中成功的48发能量平衡状况作了数据统计,处理结果如图5所示。

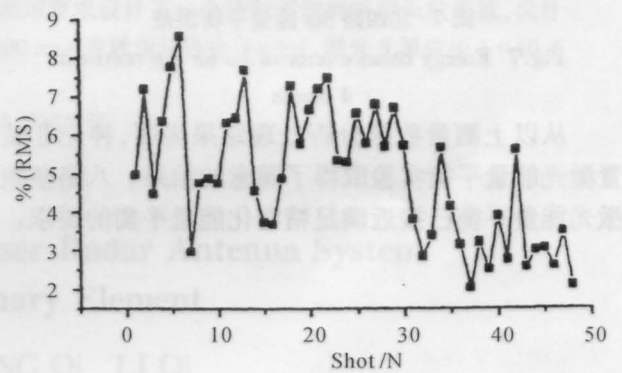


图5 八路  $1\omega$  能量平衡误差

Fig. 5 Energy balance error of 8 beam  $1\omega$

2) 在2001年初,神光II装置还不具备八路三倍频激光打靶实验的条件下,先对北四路三倍频激光进行了60发模拟打靶实验,实测计算了靶面  $3\omega$  激光能量,数据处理结果如下:

北四路60发  $3\omega$  激光发射中,总能量涨落达到  $\leq 15\%$  (RMS) 的有45发,成功率达到75%;60发中总能量涨落误差为14.1% (RMS),如图6所示。

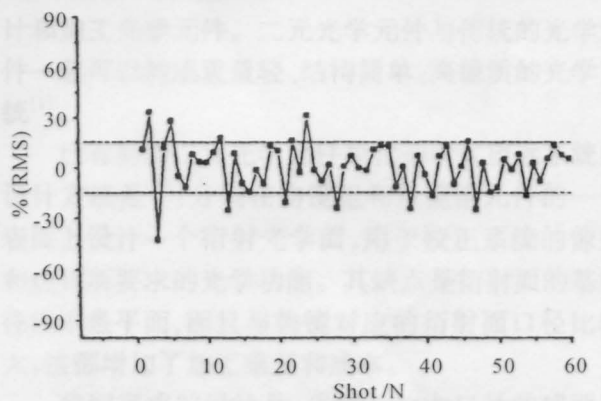


图6 北四路  $3\omega$  能量平衡涨落

Fig. 6 Energy balance fluctuation of  $3\omega$  for the northern 4 beams

北四路60发  $3\omega$  激光发射中,能量平衡达到  $\leq 15\%$  (RMS) 的有58发,成功率达到97%;60发中

能量平衡误差为 9.2% (RMS), 如图 7 所示。

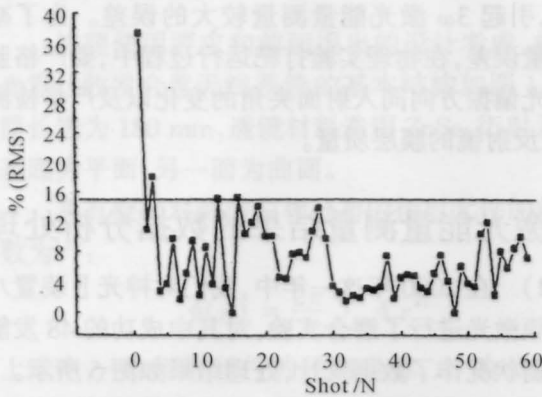


图 7 北四路 3ω 能量平衡误差

Fig. 7 Energy balance error of 3ω for the northern 4 beams

从以上测量数据分析处理结果表明,神光 II 装置激光能量平衡实验取得了满意的结果。八路基频激光能量平衡已接近满足精密化能量平衡的要求。

参 考 文 献

- 1 Lin Kangchun *et al.*. Measurement of laser energy for "Sheng Guang" facility. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1991, **18**(5):444~447 (in Chinese)
- 2 Lin Kangchun *et al.*. Measurement of frequency-doubled energy from "Sheng Guang" facility. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1994, **21**(6):453~456 (in Chinese)
- 3 Ling Mingyi *et al.*. Error analysis of 3ω energy measuring. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1997, **17**(6):750~753 (in Chinese)
- 4 Laumann C. W. *et al.*. Development of third harmonic output beam diagnostics Nova. *Proc. SPIE*, 1991, **1414**: 151~160
- 5 Burkhart S. C. *et al.*. Beamlet laser diagnostics. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, UCRL LR-105821-95-1, 1995. 68~79

