

文章编号: 0258-7025(2004)12-1483-04

神光 II 各级放大器小信号增益的在线测量

杨 琳¹, 蔡希洁¹, 张志祥¹, 刘仁红¹, 周华珍², 林尊琪¹

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理国家实验室, ² 上海激光等离子体研究所, ^{1,2} 上海 201800)

摘要 神光 II 装置精密化功率平衡要求 8 路子光束的输出能量平衡和脉冲波形一致, 即每条放大链的增益和透过率相同。但装置因日常打靶工作需要, 8 路子光束放大链中同级放大器的增益能力差异较大。针对该问题, 利用一种精度优于 1% 的小能量测量系统, 对神光 II 装置 8 路四级放大器的小信号增益进行在线测量, 分别得到了 40, 70 棒状放大器, 100 片状放大器和 200 双层片状放大器在正常工作电压下的小信号增益值, 掌握了每路各级放大器的增益特性, 精确量化了各路同级放大器的差异, 为神光 II 精密化功率平衡调试提供了宝贵的实验数据。

关键词 激光技术; 小信号增益; 在线测量; 功率平衡; 小能量测量系统

中图分类号 TN 248 **文献标识码** A

Research of Small Signal Gain Online Measurement in Amplifiers of SG-II

YANG Lin¹, CAI Xi-jie¹, ZHANG Zhi-xiang¹,
LIU Ren-hong¹, ZHOU Hua-zhen², LIN Zun-qi¹

*(¹ National Laboratory on High Power Laser Physics, Shanghai Institute of Optics
and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences,
² Shanghai Institute of Laser and Plasma, ^{1,2} Shanghai 201800, China)*

Abstract For precision SG-II power balance, there must have same output energy and output pulse waveform in the 8 beams, it means that the gain and transmissivity in every amplifier chain are same. But the gain abilities of the same type amplifiers in 8 beams are different for needing of daily operation. It was a first time that small signal gain of different amplifiers in SG-II were measured online by using a small energy measurement system which has superior 1% precision. The small signal gain values of 40 and 70 rod amplifiers, 100 slab amplifiers and 200 double slab amplifiers are got in the regular working voltages. The differences of the same type amplifiers are quantized and that provides valuable experimental data to power balance in SG-II precision.

Key words laser technique; small signal gain; online measurement; power balance; small energy measurement system

1 引 言

多级和多程放大器链是高功率固体激光器达到高功率、大能量激光输出的关键环节。而决定放大器增益能量高低的放大器小信号增益系数又是衡量放大器性能的重要参数之一。国内外许多著名实验室为提高单级放大器的增益性能做了大量实验研究工作, 取得了一些有意义的结果^[1~6]。

目前进行的神光 II 装置精密化项目^[7]要求进入靶球内的 8 路激光瞬时功率相同, 要达到这项指标就需要满足这 8 路输出能量平衡和输出脉冲波形一致, 这就要求 8 路放大器链具有相同的增益和透过率, 但神光 II 高功率激光装置在实际运行中, 经常由于光学元器件的损坏需要随时进行更换, 同级放大器通常为不同时期、不同批次的产品, 增益特性差异比较大。因此, 进行功率平衡调试前必须先了解放

收稿日期: 2003-11-11; 收到修改稿日期: 2004-03-12

基金项目: 国家 863 计划(2002AA842110)资助项目。

作者简介: 杨 琳(1978—), 女, 湖南湘潭人, 中国科学院上海光学精密机械研究所助理研究员, 硕士, 主要从事高功率激光系统功率平衡研究。E-mail: axiulowt@yahoo.com.cn

大链中各级放大器的增益特性,即进行各级放大器小信号增益在线精密测量。

本文介绍了一种精度优于 1% 的小能量测量系统,并利用其对神光 II 装置的各级放大器的小信号增益进行在线测量,分别得到在不同充电电压下 40,70 棒状放大器,100 片状放大器和 200 组合式双程放大器的小信号增益值。

2 测量原理

为了能正确测量出增益值,消除分光取样镜反射率、透镜和滤光片组透过率等测量元件在直接定标时所引进的系统误差,我们采用相对定标的方法,测量光路图如图 1 所示,其中,设分光取样镜 SM₁ 和 SM₂ 的反射率分别为 R₁ 和 R₂,透镜 L₁ 和 L₂ 的透过率为 T₁ 和 T₂,滤光片组 F₁ 和 F₂ 的透过率为 T'₁ 和 T'₂,卡计 C₁ 和 C₂ 在放大器不光抽运和光抽运时的读数分别为 D₁ 和 D'₁,D₂ 和 D'₂。

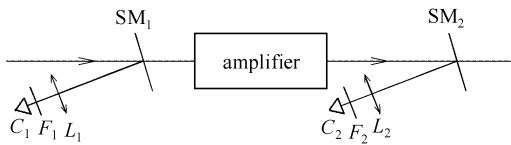


图 1 放大器增益测量光路图

Fig. 1 Schematic structure of gain measurement of amplifier

当被测放大器不光抽运(静态)时,放大器实际输入能量 E₁ 和输出能量 E₂ 分别为

$$E_1 = \frac{D_1}{T_1 T'_1 R_1} (1 - R_1) \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{D_2}{T_2 T'_2 R_2} \quad (2)$$

此时放大器的透过率 T 为

$$T = E_2 / E_1 \quad (3)$$

由公式(1),(2)可得放大器光抽运(动态)时放大器的实际输入能量 E'₁ 和输出能量 E'₂,此时放大器的净增益 GT 为

$$GT = E'_2 / E'_1 \quad (4)$$

将(3)式代入(4)式可得放大器的增益 G

$$G = \frac{E'_2 / E'_1}{E_2 / E_1} = \frac{D'_2 / D'_1}{D_2 / D_1} \quad (5)$$

即只需要测量出放大器不光抽运与光抽运时的两个卡计的读数就可求出被测放大器的增益,因为除去了透过率,该增益 G 是放大器的总增益,而 D₂/D₁ 就是两个卡计的相对定标值。

3 各级放大器小信号增益在线测量实验

神光 II 装置采用两级分光系统,第一级实施一分为二,第二级实施一分为四,于是将一束光分成了 8 束子光束。由振荡器输出激光脉冲后,经过前级放大器放大后,一分为二,各经过 B21,B22 放大器,再一分为四,在 8 路子光束依次经过 40,70 棒状放大器,100 片状放大器和 200 双层片状放大器,需要测量的是神光 II 装置的 8 个子光束放大链四级放大器各自的小信号增益。根据测量原理,为实现神光 II 高功率激光装置 8 路各级放大器小信号增益在线测量,全系统在线测量布局如图 2 所示,在第一次分光后,B21,B22 棒状放大器的输出端放置两路能量卡计,在第二次分光后,8 路 70 棒状放大器和 200 双层片状放大器的输出端分别放置 70 和 200 小能量测量系统,40 和 70 棒状放大器的小信号增益值的输入和输出能量分别由 B21/B22 卡计和 70 小能量测量系统来测定,100 片与 200 双层片状放大器的小信号增益值计算所需的输入和输出能量分别由 70 和 200 小能量测量系统测出。

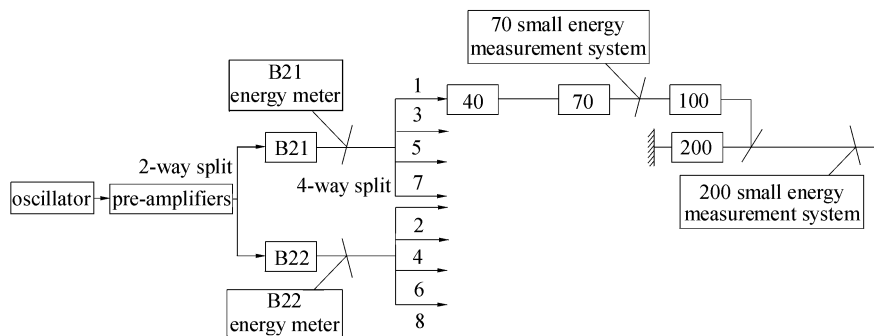


图 2 神光 II 各级放大器小信号增益在线测量示意图

Fig. 2 Schematic structure of small signal gain online measurement in different amplifiers of SG-II

3.1 小能量测量系统

神光 II 原有的能量测量系统只适应高能量打靶测量需要,为了更接近小信号增益测量,实现小信号输入,则输出信号也需要向低能量扩展动态测量范围,因此我们设计了一种具有 3 个量级可灵活换挡且精度优于 1% 的小能量测量系统^[8],并将其分别安装在 70 放大器和 200 主放大器的输出端。该系统是自主开发的光电探头高灵敏能量测量系统,采用了三级滤光方案,除了步进电机控制的四通道连续量级通光滤光片以外,还设有前置滤光片、初始化滤光片,将量程向下扩展至三个量级,整个系统具有消除氙灯光等杂散光、稳定性好、抗干扰能力强、可进行计算机自动控制与数据采集等优点。

3.2 放大器小信号增益测量步骤

在线实验具体步骤^[9]分为三个部分:第一步测量动态情况下放大器的氙灯光本底,在小能量测量系统的设计中,考虑到神光 II 装置运行过程中杂散光比较严重,对测量系统光路进行了管道化,且放大器抽运过程中所产生的氙灯光是杂乱的漫反射光,有较长的光路,沿光路方向进入探头前的能量很低,且探头前进行了前置滤光片设计,在放大器正常工作,无激光输出时,小能量测量系统无读数,即放大器的动态本底为零;第二步进行相对定标实验,如在测量 40 与 70 棒状放大器增益时,需进行 70 小能量

测量系统与神光 II 原有的能量卡计 B21, B22 的相对定标,卡计单位为 mJ,而 70 小能量测量系统只能读取数值,无单位,则相对定标的单位 mJ;第三步分别对各级放大器进行小信号增益测量,为保证输入待测量放大器的输入能量是小信号,可通过调节前端振荡器的输出幅度以及前级放大器是否充电来控制。例如,在保证 B21/B22 能量卡计读数在系统线性范围内的前提下,8 路输入 40 放大器的能流密度均小于 0.03 J/cm^2 。然后在各级放大器预设的光抽运电压值下,测量每级放大器静态与动态的输入和输出能量,即可计算得到在该光抽运电压下放大器的小信号增益值。

4 实验数据与分析

在保证两套小能量测量系统的稳定性前提下,按照不同放大器的增益情况,需要合理选择合适的滤光片通道,以保证所得数据是位于系统线性范围内的。在整个实验过程中,均采用了多次测量取平均值的方法,实验数据结果稳定,表 1 列出了 5 发 8 路 70 小能量测量系统与 B21, B22 卡计进行相对标定的标定结果与重复精度标准偏差,表 2 列出 2 发 8 路 40 棒状放大器在 11.5 kV 光抽运电压下小信号增益测量结果和平均值。

表 1 8 路 70 小能量测量系统与 B21, B22 卡计相对定标结果

Table 1 8 beams calibration result of 70 small energy measurement system and B21/22 energy meter

Shot		1	2	3	4	5	6	7	8
1		5.256	8.678	4.03	6.847	3.683	4.085	1.946	9.214
2	Relative	5.159	8.66	3.967	6.808	3.628	4.077	1.957	9.175
3	calibration	5.116	8.643	4.052	6.85	3.688	4.132	1.974	9.472
4	value / mJ	5.185	8.541	4.005	6.952	3.577	4.136	1.953	9.557
5		5.239	8.433	4.041	7.012	3.586	4.129	1.982	9.328
	Mean	5.191	8.591	4.019	6.894	3.633	4.112	1.962	9.349
	Standard deviation / %	1.11	1.20	0.85	1.23	1.44	0.70	0.77	1.75

表 2 8 路 40 棒状放大器在 11.5 kV 光抽运电压下的小信号增益

Table 2 Small signal gain of 8 beams 40 rod amplifiers in charge voltage of 11.5 kV

Beam	1	2	3	4	5	6	7	8
G_{40}	8.77	7.74	9.48	7.82	8.04	10.94	8.35	10.25
G_{40}	8.60	7.82	9.29	7.71	7.96	11.01	8.27	10.11
G_{mean}	8.69	7.78	9.38	7.76	8.00	10.98	8.31	10.18

根据以上实验步骤,得到在不同光抽运电压下的 8 路四级放大器的小信号增益情况,如图 3 所示,

其中,(a)为 40 棒状放大器在 11.5 kV, 13 kV 和 14.5 kV 电压下的增益分布情况;(b)为 70 棒状放

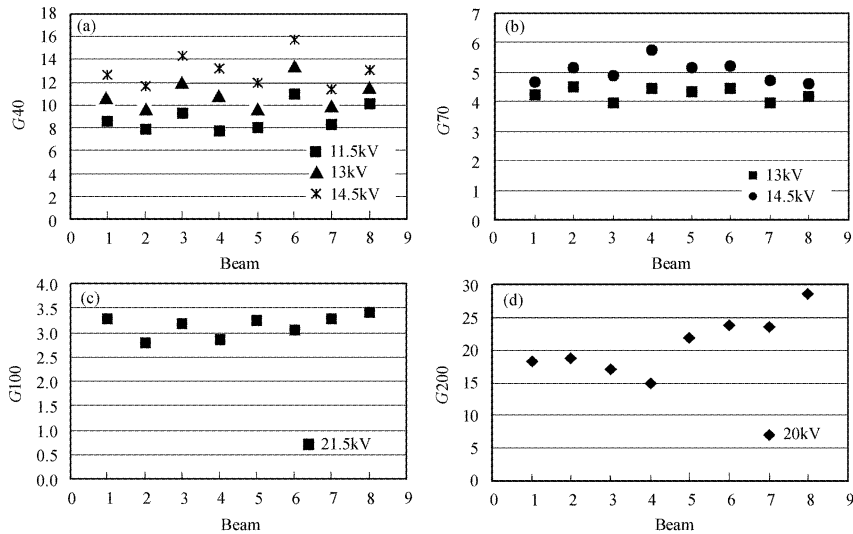


图 3 8 路各级放大器的小信号增益

Fig. 3 Small signal gain of 8 beams different amplifiers

大器在 13 kV 和 14.5 kV 电压下的增益分布情况；(c)为 100 片状放大器在 21.5 kV 光抽运电压下的增益分布情况；(d)为 200 双层片状放大器在 21 kV 光抽运电压下的小信号增益分布情况。

5 结 论

由以上实验数据,可以看出神光 II 装置同级 8 路放大器在同一光抽运电压下的小信号增益不尽相同,尤其是主放大器的增益不同,这是由于同一级放大器的损坏以及更新情况不同,本次实验前北 4 路主放是新更换的,与南 4 路属于不同时期、不同批次的产品,因此增益特性差异比较大。

以上实验结果,实现了神光 II 高功率激光装置 8 路各级放大器的小信号增益在线测量,为精密化功率平衡调试中,采用改变充电电压调节各级放大器的增益平衡提供了有力的实验依据,并且为增益饱和和参量的理论计算提供了实验参考,同时对各放大器的损坏情况进行实时检测。

致谢 在实验过程中,上海激光等离子体研究所马伟新老师提供了有益的意见,神光 II 装置运行组和能源组的同志给予了大力支持,在此表示感谢。

参 考 文 献

1 A. C. Erlandson, M. D. Rotter, D. N. Frank *et al.*. Design

and performance of the beamlet amplifier [R]. UCRL-LR-105821-95-1

2 C. Gamache, D. Descamps, D. Husson *et al.*. Energy storage efficiency and small signal gain measurements in Nd: phosphate amplifier [C]. *SPIE*, 1998, **3492**:752~760

3 L. E. Zapata, R. W. McCracken, J. Horvath *et al.*. Large aperture diagnostic system for gain and wavefront measurements on NIF/LMJ amplifier [C]. *SPIE*, 1996, **3047**:643~648

4 Wang Chengcheng, Zheng Wanguo, Yu Haiwu *et al.*. Research of small signal gain character in large aperture square beam slab amplifiers [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, **12**(2):155~158

王成程,郑万国,於海武等. 大口径方光束片状放大器小信号增益特性实验研究[J]. *强激光与粒子束*, 2000, **12**(2):155~158

5 Wang Chengcheng, Yu Haiwu, He Shaobo *et al.*. Research of gain character in 2×1 mutli-slab-amplifiers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(9):769~771

王成程,於海武,贺少勃等. 2×1 组合式片状放大器增益特性实验研究[J]. *中国激光*, 2001, **A28**(9):769~771

6 Wang Chengcheng, Zheng Wanguo, Yu Haiwu *et al.*. Research of gain uniformity in large aperture slab amplifiers[J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(4):355~358

王成程,郑万国,於海武等. 大口径片状放大器增益均匀性实验研究[J]. *中国激光*, 2001, **A28**(4):355~358

7 Zunqi Lin, Ximing Deng, Dianyan Fan *et al.*. SG-II laser elementary reseach and precision SG-II program [J]. *Fusion Engineering and Design*, 1999, **44**:61~66

8 Yu Tianyan, Cai Xijie, Liu Renhong *et al.*. Study on the precision energy measurement sytem for high power laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(3):267~270

于天燕,蔡希洁,刘仁红等. 高功率激光精密小能量测量系统研究[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(3):267~270

9 Wang Chengcheng, Yu Haiwu, Tang Jun *et al.*. Research of small signal gain by a probe beam in a new mutli-slab-amplifiers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(6):489~493

王成程,於海武,唐军等. 新型阵列式片状放大器点探针光小信号增益实验研究[J]. *中国激光*, 2003, **30**(6):489~493