

文章编号: 0258-7025(2001)04-0355-04

大口径片状放大器增益均匀性实验研究^{*}

王成程 郑万国 於海武 贺少勃 淳于咏梅 刘勇

(中国工程物理研究院高温高密度等离子体物理国家重点实验室 绵阳 621900)

提要 介绍了一台新型大口径片状放大器的实验研究以及放大器的结构组成。利用多束探针光系统测试了大口径片状放大器通光口径方向上的增益均匀性,不同抽运条件下的实验结果表明,在 22 kV 正常工作电压下,大口径片状放大器全口径的增益均匀性为 1.06:1。

关键词 大口径片状放大器,多束探针光系统,增益均匀性

中图分类号 TN 248.1⁺² 文献标识码 A

Research of Gain Uniformity in Large Aperture Slab Amplifier

WANG Cheng-cheng ZHENG Wan-guo YU Hai-wu

HE Shao-bo CHUNYU Yong-mei LIU Yong

(National Laboratory for Laser Fusion, CAEP, Mianyang 621900)

Abstract This paper presents the experimental research of a new large aperture slab amplifier. The structure of the amplifier is also introduced. With a multi-probe system, the gain uniformity over the slab clear aperture is tested. Experimental results under different pumping conditions indicate that the gain uniformity over the slab clear aperture is about 1.06:1 at the normal voltage of 22 kV.

Key words large aperture slab amplifiers, multi-probe system, gain uniformity

在惯性约束聚变中,主放大器是高功率固体激光驱动器的关键组成部分,优化主放大器的设计对于提高驱动器的性能价格比、激光束质量、保持功率平衡等具有重要意义。增益和储能效率是放大器性能的两个主要参数,增益特性包括小信号增益系数和增益均匀性两个方面。其中增益的均匀性是衡量放大器性能的一个重要特性,它定义为光束全口径上增益系数的峰值与平均值之比。增益均匀性的好坏对总体输出光束的质量有很大的影响,在很大程度上决定了最终到达靶丸上的激光能量。放大器增益的不均匀,将使工作物质产生非球面透镜效应和应力分布,造成激光束波面的严重畸变和偏振态的显著破坏。特别是它使光束的空间强度和位相产生微扰,经非线性介质中的传输,微扰迅速增大,致使光束小尺寸自聚焦,甚至对光路中的光学元件造成毁灭性的破坏。因此提高增益的均匀性对降低自聚

焦效应的影响具有重要的意义。本文针对大口径片状放大器的增益空间分布问题作了较详细的研究,通过理论模拟计算和实验测试研究得出了较为准确的实验结果,为高功率放大器的设计提供了有价值的参考依据。

1 大口径片状放大器的结构

片状放大器的通光口径为 24 cm × 24 cm,主要由我国自行研制的三张矩形 N₃₁ 钹玻璃片、隔板玻璃、氙灯、窗口玻璃以及镀银反射器等部件组成,如图 1 所示。钹玻璃片的几何尺寸为 246 mm × 486 mm × 38.5 mm,每张片的抽运体积 $V = 24 \text{ cm} \times 48 \text{ cm} \times 3.85 \text{ cm} = 4435.2 \text{ cm}^3$,表面粗糙度为 2 nm (rms),进行了包边处理,边缘反射率 < 0.01%,沿光轴方向呈锯齿形排列。氙灯采用内径分别为 $\phi 1.7 \text{ cm}$, $\phi 2.4 \text{ cm}$,弧长分别为 140 cm, 128 cm 的掺铈石英管脉冲氙灯,并且沿片长方向纵向排列,反射器的形状可以采用平板或圆柱形,抽运腔上下底板反射器间距可调。

^{*} 国家 863 惯性约束聚变领域资助项目。

收稿日期 2000-01-18;收到修改稿日期 2000-03-21

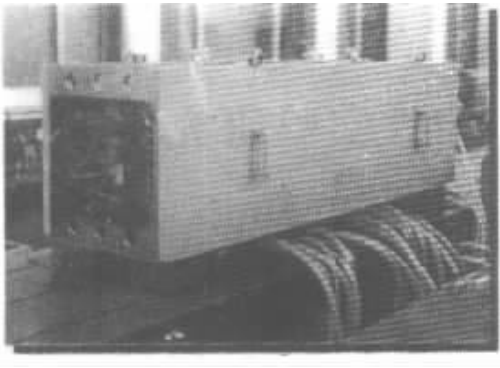


图 1 大口径片状放大器结构图

Fig.1 Schematic configuration of large aperture slab amplifier

2 实验装置

利用一套多束探针光增益测试系统,可测出放

大器的增益系数和增益均匀性,图 2 为系统光路排布图。测试系统中,一台准连续 Nd:YLF 振荡器输出水平偏振的 $1.054 \mu\text{m}$ 激光束,光束经分束器 P_1 后分成两束,一束经反射镜 M_1, M_2, M_3, M_4 进入经过严格定标的光电二极管作为探测光;另一束光经反射镜 M_5, M_6 进入光电二极管作为参考信号光。经过分束器 P_2 的光被分成两束,其中一束经全反射镜 M_7, M_8, M_9 进入光电二极管成为第二束探测光。为了减小氙灯光的干扰,测量过程中保持光电二极管与放大器之间有一定的距离,并且在放大器通光口径前面放置干涉滤光片,这样可以有效地降低氙灯光对探测信号的影响,保证测量准确性。由光电二极管接收的信号输入到计算机中去,信号的记录和处理以及分析就由计算机系统来完成。

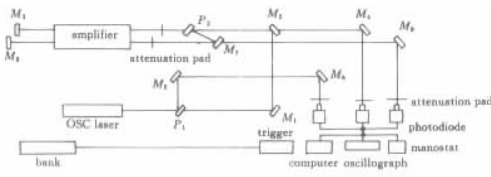


图 2 增益系数测量装置

Fig.2 Gain coefficient measurement layout

3 片状放大器增益均匀性实验结果与分析

实验测量过程中,利用 3 束激光探针,测量平板反射器条件下放大器通光口径方向横截面上的增益分布情况。通过改变固定在光束升降平台上的全反射镜 M_2 的位置和高度,就可以完成对放大器整个口径上选取点的测量。放大器通光口径方向上的各点划分情况如图 3 所示,在水平方向和垂直方向每间隔 3 cm 的距离上均匀选取了 7 个点,这样在整个口径上共选取了 49 个点。

经过大量的实验测试以后,得到了不同电压下放大器通光口径方向横截面上增益分布的测量结果,如图 4 所示。为了确切地反映横截面上的增益分布情况,图 4 的数据处理采用了在实验测试点的基础上进行插值处理的方法,实验结果的数据处理表明:对平板反射器,在电压为 18 kV, 19 kV, 20 kV, 21 kV, 22 kV 时,片状放大器增益 g 的均匀性分别为 1.057:1, 1.13:1, 1.13:1, 1.06:1, 1.06:1。

由图 4 (分别在 5 种电压下),图 5 可以看出,在

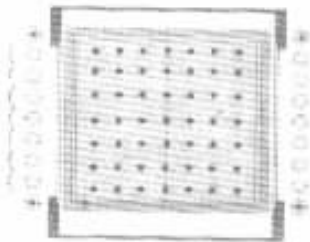


图 3 放大器通光口径方向上选取点划分情况

Fig.3 Schematic configuration of the divided case label list at beam transferred in amplifier

放大器全口径范围内,小信号增益的分布在中心较高,四周边缘相对偏低。产生这一现象的原因可以从放大器增益介质的工作机理和抽运腔的结构中得到。事实上影响放大器增益分布的因素是很多的,抽运腔内氙灯光的分布、钨玻璃片内放大的自发辐射(ASE)现象的存在、介质材料的不均匀、钨玻璃片通光方向上透过率的差异等。在这些因素中,增益的均匀性主要是由通过片的氙灯光的分布和放大的自发辐射的影响来决定的。由于片状放大器采用了

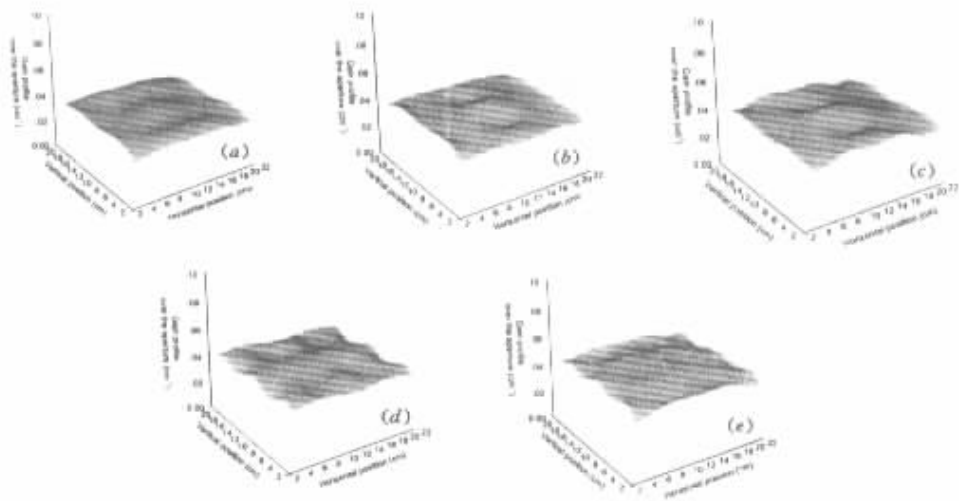


图 4 不同电压下放大器全口径通光方向增益分布变化情况

Fig. 4 Gain profile in full aperture over the slab clear aperture of amplifier under different voltage

(a) voltage :18 kV , g_{\min} :0.032/cm , g_{\max} :0.037/cm , g_{mean} :0.035/cm , U_{18} :1.057:1 ;

(b) voltage :19 kV , g_{\min} :0.035/cm , g_{\max} :0.043/cm , g_{mean} :0.038/cm , U_{19} :1.13:1 ;

(c) voltage :20 kV , g_{\min} :0.036/cm , g_{\max} :0.046/cm , g_{mean} :0.041/cm , U_{20} :1.13:1 ;

(d) voltage :21 kV , g_{\min} :0.037/cm , g_{\max} :0.046/cm , g_{mean} :0.043/cm , U_{21} :1.06:1 ;

(e) voltage :22 kV , g_{\min} :0.04/cm , g_{\max} :0.048/cm , g_{mean} :0.045/cm , U_{22} :1.06:1

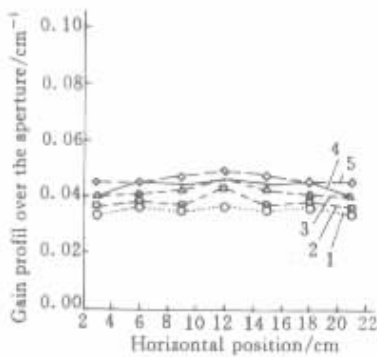


图 5 不同电压下放大器全口径水平中轴线方向增益变化情况

Fig. 5 Gain profile at horizontal midline axis in full aperture of amplifier under different voltage

1 :18 kV ; 2 :19 kV ; 3 :20 kV ; 4 :21 kV ; 5 :22 kV

沿光轴方向呈锯齿形排列的钨玻璃片,沿光轴方向纵向排列的多灯抽运,片是面抽运的,因此抽运光在腔内的分布比较均匀。理论分析表明,增益的不均匀主要源于放大器钨玻璃片中存在放大的自发辐射的影响,当放大器的口径较大时,ASE的影响是很大的。ASE的存在导致了钨玻璃片在片的四周边缘地区增益的退抽运,并优先耗尽了介质的增益。另外,在放大器工作过程中由氙灯光热解而产生的弹性材

料和有机介质的微小颗粒沉积在钨玻璃片的局部表面,当这些表面受到强光照射后会对钨玻璃片的表面造成不同程度的损坏,引起钨玻璃片表面透过率的差异,并在一定程度上影响了放大器增益介质中增益的分布。

实验测试过程中的误差来源主要有两个方面,即整套装置固有的系统误差和测试过程中的抽运重复精度带来的偶然误差。实验过程中使用的光电二极管和为减小氙灯光干扰而放置在放大器通光口径前面的干涉滤光片都经过了严格的定标,保证了它们线性和透过率的同一性。由于采用了相对测量的方法,即以参考光束为基准光束,记录两束测试光束的测量结果,因此消除了系统误差的影响。在正常工作条件下,放大器氙灯抽运的重复精度主要由能库充电电压的重复精度来决定。实验测试表明,片状放大器能库充电电压的重复精度优于3%,放大器的储能效率仅为2.43%,这样放大器每两发之间抽运光在激光上能级储能的差异小于0.06%,对放大器增益分布的影响可以忽略不计。

4 结 论

随着高功率激光技术的发展,单元器件所承受

的功率密度越来越高,光束质量的好坏决定着整个装置的最终输出能力,因此提高光束的质量就显得非常重要。小信号增益的空间分布情况是改善光束质量的重要依据,较高的增益均匀性不仅可以提高系统的性能价格比,同时还可以降低对系统光路中光学元件的损坏,提高光学元件的使用寿命。大量的实验测试表明,在 22 kV 的正常工作电压下,大口径片状放大器的增益均匀性为 1.06:1。这一实验结果与美国里弗莫尔实验室中 Beamlet 装置 1.05:1 的增益均匀性是非常接近的,可为高功率激光放大器的设计和实验研究提供参考。

致谢 在本文完成过程中,作者与张小民研究员进行了有益的讨论,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Feng Guoying, Lü Baida, Zheng Wanguo. Computational simulation of the single-segment Nd:glass amplifier. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(8): 673 ~ 677 (in Chinese)
- 2 Wang Chengcheng, Zheng Wanguo, Yu Haiwu *et al.*. Research of small signal gain character in large aperture square beam slab amplifiers. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 2000, **12**(2): 155 ~ 158 (in Chinese)
- 3 I. F. Stowers, J. A. Horvath, J. A. Menapace *et al.*. Achieving and maintaining cleanliness in NIF amplifiers. *SPIE*, 1998, **3492**: 609 ~ 620
- 4 L. E. Zapata, R. W. McCracken, J. A. Horvath *et al.*. LLNL. Large aperture diagnostic system for gain and wavefront measurements on NIF/LMJ amplifiers. *SPIE*, 1996, **3047**: 643 ~ 648
- 5 C. Gamache, D. Descamps, D. Husson *et al.*. Energy storage efficiency and small signal gain measurements in Nd:phosphate amplifiers. *SPIE*, 1998, **3492**: 752 ~ 760