

大口径高通量验证实验平台片状放大器 增益均匀性实验研究

刘 勇 陈远斌 郝 欣 谢旭东 赵军普 陈 林 李 森 梁 越 郑奎兴

中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900

摘要 惯性约束聚变(ICF)激光驱动器中,准确测定片状放大器系统增益均匀性是装置系统设计的基础。本文基于 CCD 成像法实验测量了我国第一台单束输出能量超过万焦耳的 ICF 激光驱动器—大口径高通量验证实验平台片状放大器在 5.28%/cm 高增益情况下的增益均匀性。实验结果表明,在平均小信号增益系数为 5.28%/cm 情况下,通光口径范围内增益均匀性为 1.09:1(最大值/平均值),360 mm×360 mm 光束口径范围内增益均匀性为 1.06:1,满足装置 19.6 kJ/5ns 大能量输出设计要求。

关键词 激光器;片状放大器;增益均匀性;CCD 成像法;实验测量

中图分类号 O436 **文献标识码** A

doi: 10.3788/AOS201535.s214003

Measurement on Gain Uniformity of Slab Amplifiers on Integration-Test-Bed

Liu Yong Chen Yuanbin Hao Xin Xie Xudong Zhao Junpu Chen Lin
Li Sen Liang Yue Zheng Kuixing

Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China

Abstract In inertial confinement fusion(ICF) laser facility, accurate measurement of the gain uniformity of disk amplifiers is the basis for device design. Based on CCD imaging method, the gain uniformity of disk amplifiers with the average small-signal gain coefficient is measured about 5.28%/cm on integration-test-bed(ITB) laser facility, which is the first laser facility with ten thousand joules output in single beam. Experimental results show that when the average small-signal gain coefficient is 5.28%/cm, the gain uniformity is 1.09:1 (maximum/average) within the aperture range, and within the range of 360 mm×360 mm laser beam, the gain uniformity is about 1.06:1 (maximum/average), which satisfied the 19.6 kJ/5 ns laser output on ITB laser facility.

Key words lasers; laser optics slab amplifier; gain uniformity; CCD method; experiment

OCIS codes 140.3580; 120.4820; 230.4480

1 引 言

大口径高通量实验平台(ITB)是继美国 NIF 装置、法国 LMJ 装置之后第三台单束激光超过万焦耳的驱动器,输出能量达到单束 19.6 kJ/5ns,其片状放大器采用 400 mm 单口径结构,钎玻璃尺寸为 810 mm×460 mm×40 mm,与光束呈布儒斯特角放置,可提供 400 mm 口径的正方形通光口径,输出平均小信号增益系数达到 5.28%/cm。

片状放大器增益均匀性定义为通光口径范围内增益最大值与平均值的比值。片状放大器通光口径范围内增益均匀分布是装置系统设计的基础,包括光束口径、主放大构型等。因此,准确测定片状放大器增益均匀性是装置总体设计的基础之一^[1-3]。本文基于 CCD 成像法^[4],实验测量了大口径高通量验证实验平台片

收稿日期:2015-01-30;收到修改稿日期:2015-03-01

作者简介:刘 勇(1972—),男,高级工程师,主要从事高功率固体激光方面的研究,E-mail:249133939@qq.com

*通信联系人。E-mail:linxiaoqiao@126.com

状放大器的增益均匀性。结果表明,在平均小信号增益系数为 $5.28\%/cm$ 情况下,通光口径范围内增益均匀性为 $1.09:1$ (最大值/平均值), $360\text{ mm}\times 360\text{ mm}$ 光束口径范围内增益均匀性为 $1.06:1$,片状放大器实现了高增益高增益均匀性输出,满足装置 $19.6\text{ kJ}/5\text{ ns}$ 大能量输出设计要求。

2 测量原理

测量每一幅增益分布总共要求 6 张图片:1)测量由于放大自发辐射(ASE)和抽运灯光产生的、却被 CCD 探测到的信号本底,此时氙灯放电,探测光束被阻止通过,分别测得输入与输出本底信号 x 与 y ;2)探测光束通过整个光路,片状放大器不工作,分别测得静态时输入与输出信号 a 与 b ;3)测试动态信号,片状放大器运行 1 发,探测光束在增益峰值的瞬间通过放大器,并测得输入端信号 A 及输出端信号 B 。

对于以上数据信号,可通过以下表达式来计算增益 G 分布:

$$T = b/a, \quad (1)$$

$$G = \frac{(B-x)}{(A-y)} \times \frac{1}{T}, \quad (2)$$

式中 T 表示的是整个系统光路的静态透射率分布。平均增益系数 g 的分布可以通过增益的对数形式来表示:

$$g = \lg G / (N_p N_s L), \quad (3)$$

式中 N_p 是通过的放大器的次数, N_s 是激光片的数量, L 是单片单程光束路径长度。

按照以上方法所获取的增益分布不可避免地存在表现为衍射形式和干涉条纹形式的高频噪音,这是由于光学元件的缺陷造成的。因此为获得真实的片状放大器增益分布,必须除去这些噪音。由于图像的多样性和噪音本身的复杂性,目前所涉及的大部分滤波算法都是针对特定图像和特定噪音提出的,迄今为止没有一种通用的滤波算法能对不同类型的图像噪音都能取得很好的效果。根据片状放大器增益连续且塌边分布的特点,针对片状放大器初始增益中的噪音分布采取通过使加权离差最小化的方法分别去除横向与纵向两个方向初始增益分布中的噪音,获得最终增益均匀性分布。

3 实验结果与分析

大口径高通量验证实验平台 400 mm 口径片状放大器系统如图 1 所示,系统光路如图 2 所示。输入信号为装置预放系统输出信号,测量时该信号能量约为 $500\text{ mJ}/1053\text{ nm}/5\text{ ns}$,近场调制度 1.3 左右,系统洁净度保持在 100 级,可有效减少由于灰尘等杂质引起的光束衍射效应等。测量所使用的科学级 CCD 具备 1024×1024 的分辨率,可以使增益均匀性测量的空间分辨率在理论上达到 0.4 mm ,同时对激光相应的非线性度小于等于 1% 。注入信号与输出信号测量 CCD 均放置于诊断测量箱体中,除光束传输通道外箱体为洁净密封环境。氙灯以不同工作电压放电工作,探测光束被阻止通过,分别测得输入与输出本底信号 x 与 y 均为 0 ,有效去除了除氙灯本底信号的影响,同时减少测量不确定性的引入。



图 1 400 mm 单口径片状放大器系统

Fig. 1 Single-segment slab amplifiers with 400 mm aperture

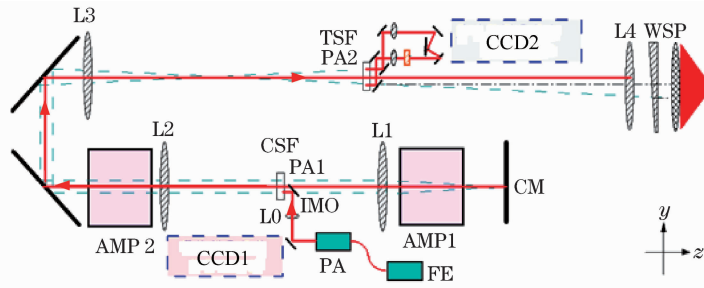


图 2 测量光路示意图

Fig. 2 Diagram of optical path for measurement

受系统立轴多程放大光路排布限制,此时所测量的光束区域范围如图 3 所示,测量口径为通光口径边缘 370 mm×370 mm 口径,由于钨玻璃片采取对称抽运方式,代表了 390 mm×390 mm 口径范围内增益均匀性结果。根据以上测量原理与方法,测试片状放大器工作电压分别为 18 kV(主放电)+20 kV(预电离)、20 kV(主放电)+20 kV(预电离)、22 kV(主放电)+20 kV(预电离)时候的增益均匀性分布如图 4~6 所示,对每个工作点仍采取了多次测量取平均值的方法。实验结果表明,大口径高通量验证实验平台 400 mm 口径片状放大器系统在 18 kV(主放电)+20 kV(预电离)工作点时增益均匀性值为 1.053:1;20 kV(主放电)+20 kV(预电离)工作点时增益均匀性值为 1.072:1;22 kV(主放电)+20 kV(预电离)工作点时平均小信号增益系数为 5.28%/cm,增益均匀性值为 1.09:1,360 mm×360 mm 光束口径范围内增益均匀性约为 1.06:1。基于以上测量结果,理论预测装置输出近场特性及注入信号补偿要求与实验测量值有较好的一致性^[5]。

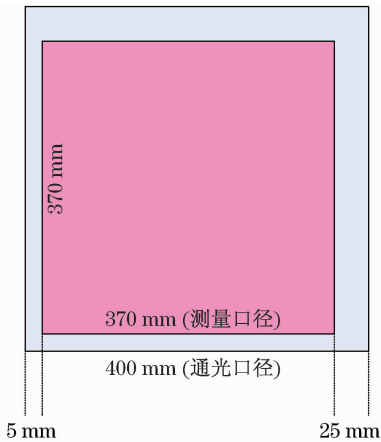


图 3 测量口径示意图

Fig. 3 Schematic of measuring caliber

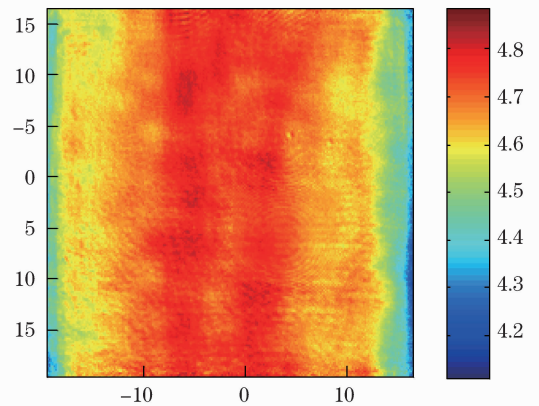


图 4 18 kV(主放电)增益均匀性

Fig. 4 Gain uniformity at 18 kV main discharge

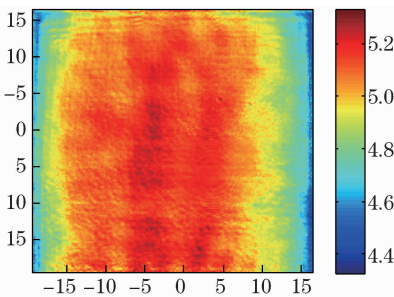


图 5 20 kV(主放电)增益均匀性

Fig. 5 Gain uniformity at 20 kV main discharge

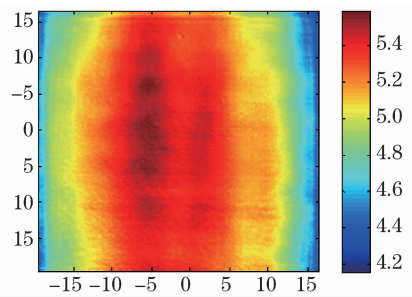


图 6 22 kV(主放电)增益均匀性

Fig. 6 Gain uniformity at 22 kV main discharge

大口径高通量验证实验平台采取了“离轴多程+光束反转”的主放大结构,光束口径为 360 mm×360 mm,激光输出近场调制度 M 约为 1.56:1,对比度 C 约为 0.12,如图 7 所示,片状放大器增益均匀性指标满足装置大能量输出要求。

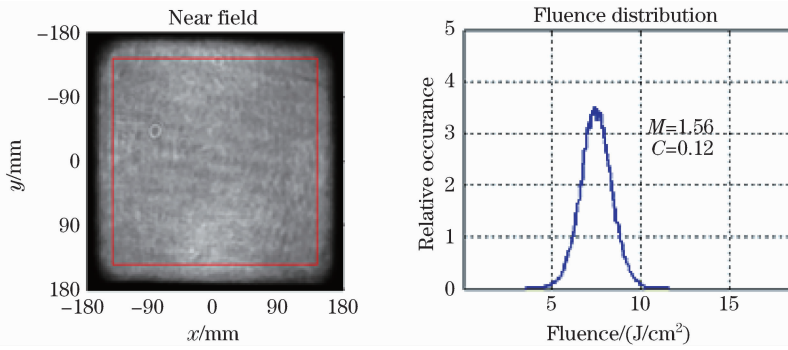


图 7 装置激光输出近场特性

Fig. 7 Near-field characteristics of laser output

4 结 论

文基于 CCD 成像法实验研究了我国第一台单束激光输出超过万焦耳的激光装置-大口径高通量验证实验平台片状放大器系统的增益均匀性特性。获得 $390\text{ mm} \times 390\text{ mm}$ 通光口径范围内的增益分布,增益均匀性值为 $1.09:1$ (最大值/平均值),对应平均小信号增益系数为 $5.28\%/cm$, $360\text{ mm} \times 360\text{ mm}$ 光束口径范围内增益均匀性为 $1.06:1$,实现了高增益情况下高增益均匀性输出,保障装置成功实现了 $19.6\text{ kJ}/5\text{ ns}$ 激光输出。

参 考 文 献

- 1 T Alger, P Amendt, A Erlandson *et al.*. Physics basis for optical performance of the NIF amplifiers[J]. Lawrence Livermore National Laboratory Report, 1999,1(11):15-20.
- 2 W H Williams. NIF Gain with 7/9 Gain Calculations[J]. NIF-0036844, 1999,8(5):12-18.
- 3 A C Erlandson, K S Jancaitis, R W Mcracken, *et al.*. Gain uniformity and amplified spontaneous emission in multisegment amplifiers[J]. ICF Quarterly Report 92-2,1992,92(3):105-114.
- 4 Hao Xin,Chen Lin,Chen Yuanbin, *et al.*. Studies of measurement methods for gain uniformity of large diameter amplifiers [J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(s1):s108001.
- 郝 欣,陈 林,陈远斌,等,大口径片状放大器增益均匀性测量方法研究[J]. 中国激光,2014, 41(s1):s108001-1-6.
- 5 Wang Wenyi, Geng Yuanchao,Chen Lin ,Influence of the 400 mm-aperture Nd:glass slab-amplifier gain nonuniformity on $1\omega(1053\text{ nm})$ nearfield performance[C]. SPIE, 2013, 8904: 89041E.

栏目编辑: 宋梅梅