

文章编号: 0258-7025(2010)Supplement 1-0167-05

紫外激光双脉冲串放大实验中的光路自动准直

华恒祺 赵学庆 薛全喜 黄珂 郑国鑫 肖伟伟

(西北核技术研究所激光与物质相互作用国家重点实验室, 陕西 西安 710024)

摘要 对于准分子激光角多路主振荡功率放大器(MOPA)系统,脉冲串能量提取对确定光束路数、降低系统复杂性具有实际意义,然而脉冲串放大实验对光路准直有着严格的要求。根据近场调节平移、远场调节角移的原理进行了光路自动准直设计,编写了闭环控制软件,利用 He-Ne 光进行了原理性实验,获得了平移 $21\ \mu\text{m}$,角移 $1.3''$ 的调节精度,并将此系统应用于双脉冲串放大实验的光路准直,效果良好。

关键词 激光光学;自动准直;闭环控制;准分子激光;紫外

中图分类号 TN248.2 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL201037s1.0167

Optical Automatic Alignment on Amplification Experiment of Double Ultraviolet Laser Pulse

Hua Hengqi Zhao Xueqing Xue Quanxi Huang Ke Zheng Guoxin Xiao Weiwei

(State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an, Shaanxi 710024, China)

Abstract In angular multiplexing excimer laser system, studies on energy amplification of a train of laser pulses are crucial to determine beam number for reducing optical complexity, while strict requirements on alignment are needed for experiments. Based on principles of displacement and angular drift adjusted by near field and far field respectively, an optical automatic alignment system is designed, and corresponding computer software for closed-loop feedback control is compiled. High adjustment accuracy with alignment errors of $21\ \mu\text{m}$ in near field and $1.3''$ in far field is obtained by using He-Ne laser. This system is applied to two pulse amplification experiment and works effectively.

Key words laser optics; automatic alignment; closed-loop control; excimer laser; ultraviolet

1 引 言

高功率准分子激光具有波长短、光束均匀性好和可重复频率运行等特点,在直接驱动惯性约束聚变靶物理和聚变能源关键技术研究方面发挥着日益重要的作用。为满足靶物理实验要求,需要利用光学角多路技术将纳秒级窄脉宽种子光放大到高能量。对于光学角多路主振荡器脉冲放大系统,系统光学复杂性、造价和工程难度随光束路数非线性增加。在保证能量指标不受影响的情况下,脉冲串间如果选择较大时间间隔,可以减少光束路数,降低系统复杂性,但间隔太大会导致激光自发辐射增加。

然而通过实验研究脉冲串在放大器中的能量提取技术,对光路准直有着非常严格的要求,要求各路光束在放大器中的传输路径保持严格一致。

利用光路自动准直可以达到很高的精度,在大型固体激光装置中已得到成熟应用,大大提高了系统运行效率和准直精度。然而,光路自动准直技术在紫外准分子激光中的应用则滞后很多,目前国内现有的紫外准分子激光装置仍采用传统的手动调节方式,相应的自动准直研究工作尚未开展^[1-5]。

本文借鉴固体激光光路准直技术,利用 He-Ne 激光光路自动准直原理实验,实现光路调节的闭环

收稿日期: 2010-03-31; 收到修改稿日期: 2010-06-10

基金项目: 激光与物质相互作用国家重点实验室基金(SKL110904)资助课题。

作者简介: 华恒祺(1980—),男,硕士,助理研究员,主要从事激光测量和光路自动准直等方面的研究。

E-mail: dannisqi@sina.com

控制,在此基础上研究紫外激光脉冲串放大实验中的光路自动准直技术。

2 自动准直原理

光束自动准直系统是一套闭环控制的系统,如图 1 所示。激光束成像到 CCD 上,经图像卡采集后

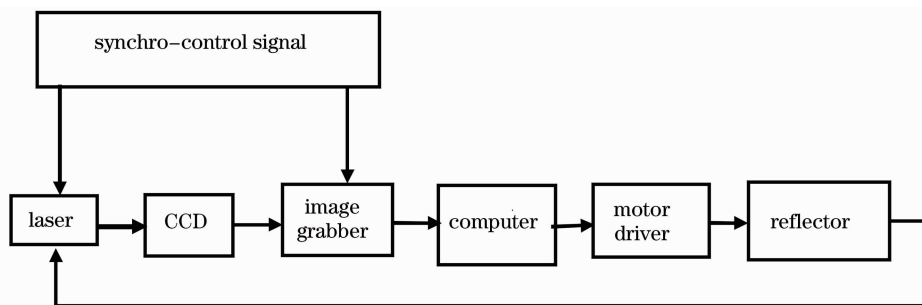


图 1 光路自动准直闭环控制系统

Fig. 1 Closed-loop control system of optic automatic alignment

由此可见,光路自动准直是通过调整伺服反射镜来校正光束的,两块反射镜调整一段光轴,这是几何上两点成一线的原理。两点的距离越大,精度越高,因此通常将一点取在一特定的有限位置处,称为近场;另一点取在焦点处,相当于无穷远的位置,称为远场。光路自动准直系统一般在光路以外设置光学系统和 CCD 面阵像机监视光束的位置,在近场监视光束的平移,在远场监视光束的角移。

在实际光路的准直中,如图 2 所示,实线代表的

进行 A/D 转换,由计算机读取,并对 CCD 图像数据进行动态阈值法处理,计算出激光光束的几何位置,并与基准位置相比较,得到被调整光束的偏差,驱动安装在伺服反射镜上的步进马达,调整光轴位置,直到将激光束调整到基准位置上为止。

是主光路激光,虚线代表的是探测光。主激光经过伺服反射镜 M1, M2 和反射镜 M3 后传输,用 M2 透射光作为近场探测光,近场 CCD(NFCCD)采集经过透镜 L1 缩小后的近场光斑,与近场基准比较后调节 M1;用经过透镜 L2 汇聚后的光作为远场光,远场 CCD(FFCCD)采集经过显微物镜 L3 放大后的远场光斑,与远场基准比较后调节 M2。如此交替调节伺服反射镜 M1, M2 直至近远场均与基准相符,完成该段光路的准直调节。

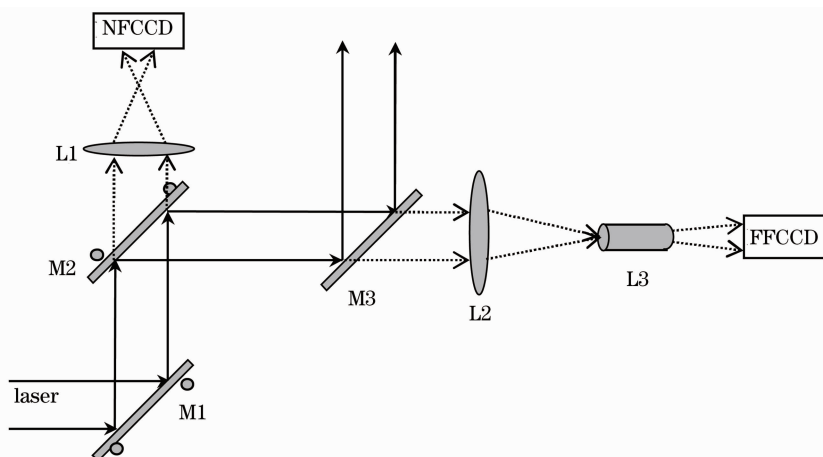


图 2 自动准直原理光路

Fig. 2 Schematic optical path of automatic alignment

3 光路自动准直闭环控制的实现

3.1 闭环反馈控制设计

自动准直闭环控制系统采用敏通 1132C 型 CCD 作为探测器,通过支持视频信号软件切换的

OK_M80 型图像采集卡进行激光信号采集,由计算机经过软件计算分析后通过研华 PCI-1711 型数据卡给出控制信号控制 4 个步进电机,从而实现激光光路的调节完成自动准直的闭环控制。

自动准直软件是一套集采集、计算、控制于一体的软件,图 3 为采集近远场激光光斑时的软件界面。软件可以对步进电机进行定量定向控制,也可以对某路视频信号进行采集,并根据采集到的光斑给出中心坐标,以亮点标出,并将其坐标值显示于界面下方,便于使用者查看。计算光斑中心位置时采用全屏求重心法,在边缘处理的基础上以整个屏幕为计算范围,计算得到光斑的中心坐标。采用全屏求重

心法的优点是,即使部分光斑偏出 CCD 范围时,仍能较为准确地计算出光斑位置,从而尽可能地扩大自动准直的调节范围。在进行自动准直过程时,会将基准坐标以不变十字线标出,而光斑的实时重心位置以可变十字线表示,调节过程中可以看到可变十字线中心逐渐向不变十字线中心逼近直到设置精度达到为止^[6~9]。

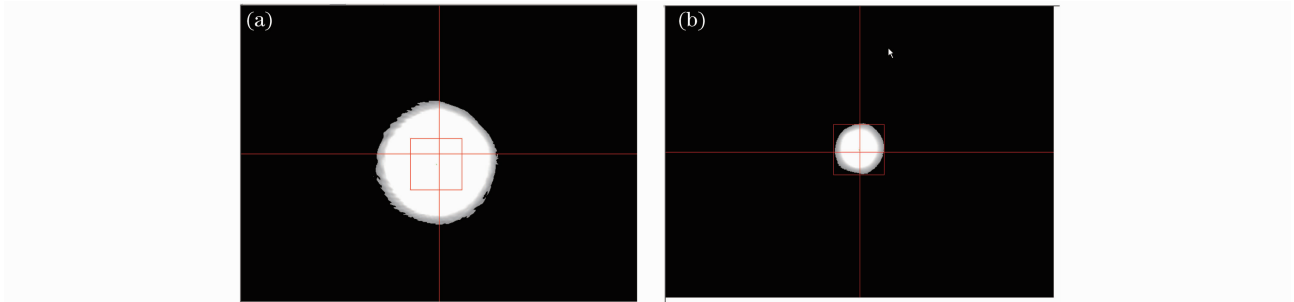


图 3 近场(a)和远场(b)采集图像

Fig. 3 Image grabbed at near-field (a) and far-field (b)

此外,针对脉冲激光的采集,传统方法为通过同步信号控制采集^[10,11],这会使系统更为复杂,并引入同步控制方面的问题,为此在可对连续激光进行自动准直控制的基础上,改进闭环控制软件,让探测器在没有激光照射时处于等待状态,脉冲激光照射时能够被激活为有效采集,从而实现无同步控制的

脉冲激光采集,简化了自动准直闭环控制系统。

3.2 原理性实验

根据光路自动准直设计原理,在对光路自动准直中几项关键技术开展研究的基础上,搭建了一套光路自动准直的原理性实验系统,如图 4 所示。

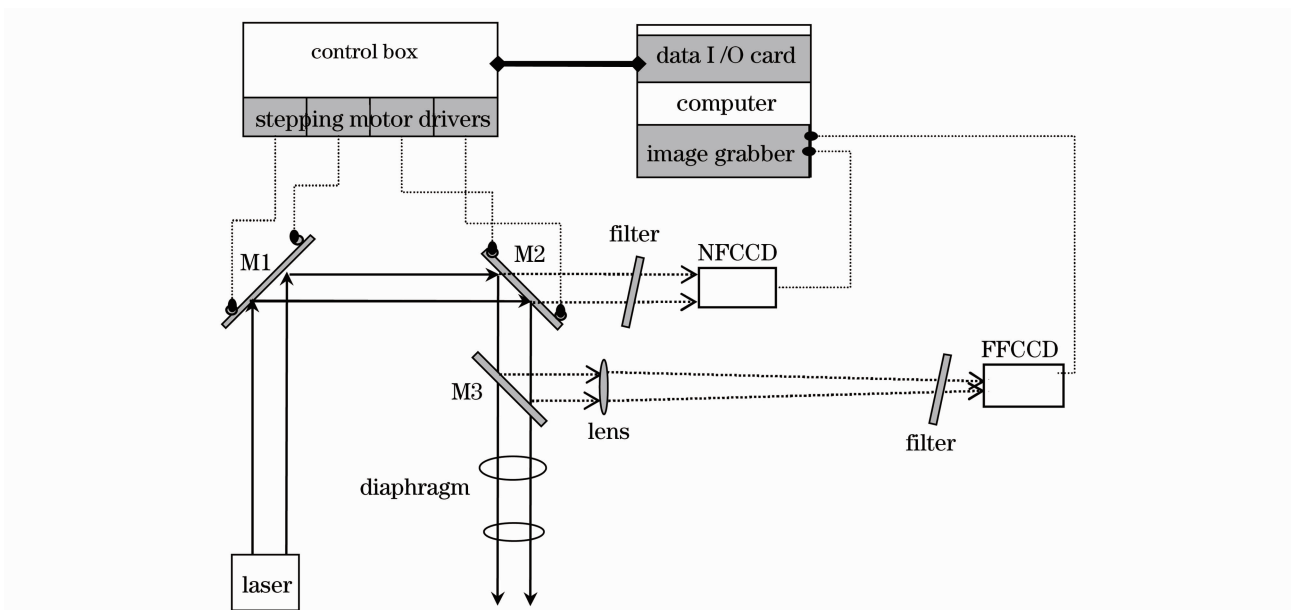


图 4 光路自动准直实验系统

Fig. 4 Experimental system of optic automatic alignment

实验中采用 He-Ne 激光作为光源,在主光路后端布置两个相距 1 m,孔径分别为 1 mm 和 3 mm 的光阑作为检验基准,在光楔 M2 和 M3 后引出探测

光分别测量近远场光斑,步进电机驱动器分别控制 M1 和 M2 的调节架从而调节主光路。实验时首先调节两个光学调节架 M1, M2 使激光通过两个光

集、光斑中心的计算、准直激光与基准位置的比较、伺服反射镜的控制等操作,解决了光路自动准直中的多项关键技术,研制了一套光路自动准直的原理性实验系统,并且通过软件手段实现了对脉冲激光的无同步控制采集。该系统在紫外激光双脉冲串放大研究实验中进行了实际应用,通过测量得知该系统的准直精度完全满足双脉冲串放大实验的要求。

参 考 文 献

- 1 Birchard L, Kortegaard. A precision alignment control system for multiple laser beams self-adaptive through the use of noise[J]. *Fusion Technol.*, 1987, **11**(5): 671~683
- 2 Liu Daizhong, Xu Renfang, Fan Dianyuan. Evolution of beam automatic alignment system in laser-fusion facility[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2004, **41**(2): 1~5
刘代中,徐仁芳,范滇元. 激光聚变装置光束自动准直系统的研究进展[J]. *激光与光电子学进展*, 2004, **41**(2): 1~5
- 3 Liu Daizhong, Zhu Jianqiang, Xu Renfang *et al.*. Study of beams automatic alignment in four-pass amplifiers[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(5): 582~586
刘代中,朱健强,徐仁芳等. 4程放大光路自动准直系统研究[J]. *强激光与粒子束*, 2004, **16**(5): 582~586
- 4 Wei Pengfei, Liu Jun, Li Xiaofang *et al.*. Design of laser beam real-time monitoring and adaptive collimation system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1590~1595
尉鹏飞,刘军,李晓芳等. 激光光束实时监测与自动准直系统设计[J]. *光学学报*, 2008, **28**(8): 1590~1595
- 5 Wang Zixin, Li Heng, Li Jiaming *et al.*. Implement of a high precision laser beam automatic collimation system[J]. *Applied Laser*, 2009, **29**(5): 423~426
王自鑫,李亨,李佳明等. 一种高精度激光光路自动准直系统的实现[J]. *应用激光*, 2009, **29**(5): 423~426
- 6 Lü Fengnian, Liu Daizhong, Xu Renfang *et al.*. Performance of image processing in beams automatic alignment system [J]. *Optical Technique*, 2005, **31**(3): 335~337
吕凤年,刘代中,徐仁芳等. 图像处理在光路自动准直系统中的应用[J]. *光学技术*, 2005, **31**(9): 335~337
- 7 Zhou Wei, Hu Dongxia, Zhao Junpu *et al.*. Optimizing on algorithm and flow of beam alignment in high power solid-state laser driver[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(1): 78~81
周维,胡东霞,赵军普等. 高功率固体激光器光路自动准直算法与流程优化[J]. *中国激光*, 2010, **37**(1): 78~81
- 8 Kong Bing, Wang Zhao, Tan Yushan. Algorithm of laser spot detection based on circle fitting [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, **31**(3): 275~279
孔兵,王昭,谭玉山. 基于圆拟合的激光光斑中心检测算法[J]. *红外与激光工程*, 2002, **31**(3): 275~279
- 9 Chen Xingmei, Yan Zhuangzhi. Real-time detection of infrared spot based on FPGA [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, **34**(4): 401~405
陈兴美,严壮志. 基于FPGA的红外光斑中心实时检测[J]. *红外与激光工程*, 2005, **34**(4): 401~405
- 10 Guo Zhongping, Hu Qian, Gao Bingning *et al.*. Study and analysis of controlling problem on computer controlling system of optic automatic alignment [J]. *Computer Measurement & Control*, 2002, **10**(7): 456~458
魏仲平,胡倩,高炳宁等. 计算机光路自动准直控制系统的控制问题研究与分析[J]. *计算机测量与控制*, 2002, **10**(7): 456~458
- 11 Liu Ming, Chen Xingwu, Yan Yun. Multi-laser beam integration system under computer control [J]. *Laser Technology*, 2003, **27**(5): 398~399
刘鸣,陈兴梧,闫运. 计算机控制下的多路激光束合成系统[J]. *激光技术*, 2003, **27**(5): 398~399