

文章编号: 1001-4322(2008)09-1461-04

# 激光原型装置光纤前端系统 偏振稳定控制技术\*

林宏奂, 卢振华, 王建军, 陈德怀, 邓青华, 李明中, 李小群

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

**摘 要:** 分析了激光原型装置光纤前端系统的偏振特性, 针对激光原型装置光纤前端系统窄光谱、短脉冲的特点以及该原型装置对光纤前端系统输出偏振态的要求, 提出了一种稳定光纤前端系统输出偏振态的新方法。采用脉冲方式偏置光纤前端系统的幅度调制器, 通过光纤偏振稳定装置在线检测幅度调制器泄漏连续激光的偏振态进行自动调整, 实现了光纤前端系统偏振态的自动稳偏, 解决了波导幅度调制器长时间工作后消光比下降的问题。光纤前端系统长时间工作输出的稳定度达到了 2.9%。

**关键词:** ICF; 前端; 光纤系统; 偏振控制; 稳定性

**中图分类号:** TN241      **文献标志码:** A

前端系统是惯性约束聚变(ICF)激光器驱动器最关键的系统之一, 是 ICF 激光器驱动器的“种子源”<sup>[1-3]</sup>。继劳伦斯·利弗莫尔实验室(LLNL)国家点火装置(NIF)光纤前端系统<sup>[4]</sup>之后, 我们于 2002 年研制成功了某激光原型装置光纤前端系统, 可产生 3 ns, 10 W 任意整形的种子光脉冲<sup>[5]</sup>。但系统采用了大量单模光纤以及各种偏振器件, 如波导幅度调制器等, 由于光纤的双折射特性, 系统长时间工作后, 环境变化会改变光纤的偏振态, 从而使系统输出光脉冲的幅度发生改变。

光纤前端系统中的偏振控制可以采用将各偏振敏感器件间用保偏光纤并辅以偏振控制器的方法实现偏振匹配稳定, 但这种方法成本高, 光纤系统需要全面改造, 并且可能造成光脉冲时间波形畸变。邓青华等曾采用退偏的方法对光纤前端系统进行稳偏<sup>[6-7]</sup>, 但由于退偏器对任意偏振态的激光不能完全退偏, 系统长时间工作的偏振稳定性不能得到很好的保证。

针对光纤前端系统窄光谱、短脉冲的特点, 我们提出一种稳定光纤前端系统输出偏振态的新方法: 采用脉冲方式偏置光纤前端系统的幅度调制器, 通过光纤偏振稳定装置在线检测幅度调制器泄漏连续激光的偏振态进行自动调整, 实现了光纤前端系统偏振态的自动稳偏, 并很好地解决了波导幅度调制器长时间工作后消光比下降的问题, 该方法简单可靠, 无需对系统进行大的改造, 大大提高了光纤前端系统输出的稳定性。

## 1 光纤前端系统的偏振特性及输出稳定性分析

光纤前端系统的结构如图 1 所示。光纤单纵模振荡器输出连续激光, 经相位调制器调制产生梳状光谱特征, 该连续激光输入铌酸锂波导幅度调制器调制产生 5 ns 的方波激光脉冲信号, 并经过一级光纤放大器放大后输入后一级铌酸锂波导幅度调制器削波产生 3 ns 任意整形脉冲, 经过两级光纤放大器放大至 10 W, 再经过约 150 m 传输光纤传输分成 4 束并经过 4 台高增益放大器放大至 1 mJ。铌酸锂幅度调制器工作于连续消光模式, 即一直流半波电压加在两台幅度调制器上使之关断, 任意电脉冲波形发生器产生的 ns 级整形脉冲通过同步系统加在两台幅度调制器上, 这样就产生了与电脉冲波形一致的 3 ns 任意整形光脉冲。

光纤前端系统的振荡器、放大器、传输光纤以及各器件间的光纤跳线都是由单模光纤构成的。由于单模光纤的制造过程中不可避免地引入不规则性, 破坏了单模光纤的圆对称性, 单模光纤产生双折射效应, 即光纤  $x$  轴的有效折射率  $n_x$  与光纤  $y$  轴的有效折射率  $n_y$  不相等, 沿光纤  $x$  轴传播的偏振光分量与沿光纤  $y$  轴传播的偏振光分量具有不同的传播速度。 $n_x$  和  $n_y$  随环境变化(如温度、应力等)而改变, 这样单模光纤相当于一随环境变化改变状态的波片, 具有固定偏振态的激光经过光纤后的偏振态随环境变化。而光纤前端系统的两级幅

\* 收稿日期: 2007-11-22; 修订日期: 2008-07-23

基金项目: 国家高技术发展计划项目

作者简介: 林宏奂(1978—), 男, 四川人, 硕士, 助理研究员, 主要从事光纤光学方面的研究工作; happylin2003@yeah.net。

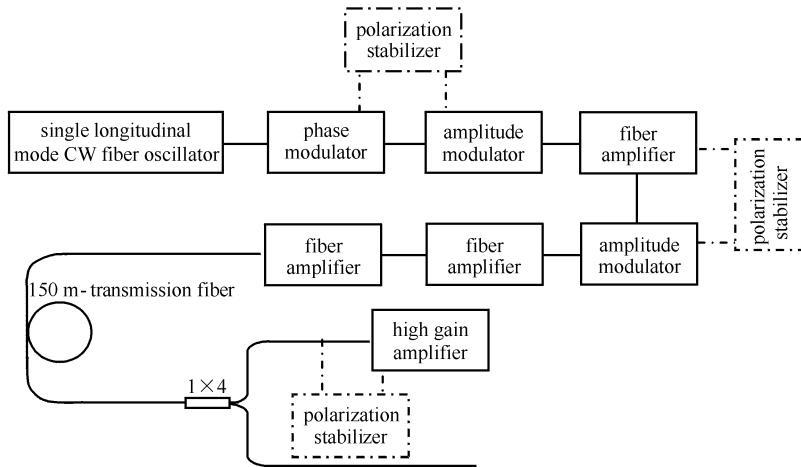


Fig. 1 Configuration of the fiber front-end

图 1 光纤前端系统结构

度调制器以及预放大系统的高增益放大器内置起偏元件,偏振态的变化必然引起系统输出幅度的改变,因此系统的长期运行稳定性将受环境剧烈影响,如图 2 所示。图 2 为高增益放大器输出的具有特定波形的光脉冲,前端系统长时间运行后,幅度发生剧烈变化。改变一级、二级或者高增益放大器前任意一段光纤的偏振态(对光纤施加应力),高增益放大器的输出都会产生剧烈起伏。

另外,由于铌酸锂幅度调制器工作于连续消光模式,长时间工作情况下,电荷累积在调制器上,幅度调制器的关断半波电压发生漂移,调制器输出消光比降低,造成输出光脉冲幅度下降,信噪比降低,影响了系统输出的稳定性。

综上所述,光纤前端系统的输出稳定性取决于单模光纤偏振态和幅度调制器消光比的稳定性。

## 2 光纤前端系统的偏振稳定控制

光纤前端系统的输出具有光谱窄、脉冲短的特点,目前还没有较好的方法对偏振随机变化的脉冲光进行稳偏。注意这样一个特点,即光纤前端系统的脉冲是通过连续单纵模激光器调制产生的,脉冲激光与连续激光经过相同的光纤传输,两者具有相同的偏振态,即使光纤状态由于外界环境变化而改变,两者偏振态的改变也是相同的。所以,如果检测连续激光的偏振态,发现其变化后通过改变光纤的应力将连续激光的偏振态纠正到外界环境变化前的状态,也相当于对脉冲激光进行了稳偏。但是,由于系统有两级工作于连续消光模式的幅度调

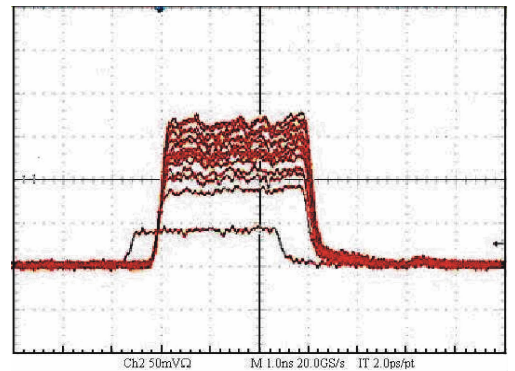


Fig. 2 Output of the high gain amplifier without polarization stabilizer

图 2 不加稳偏器时高增益放大器的输出

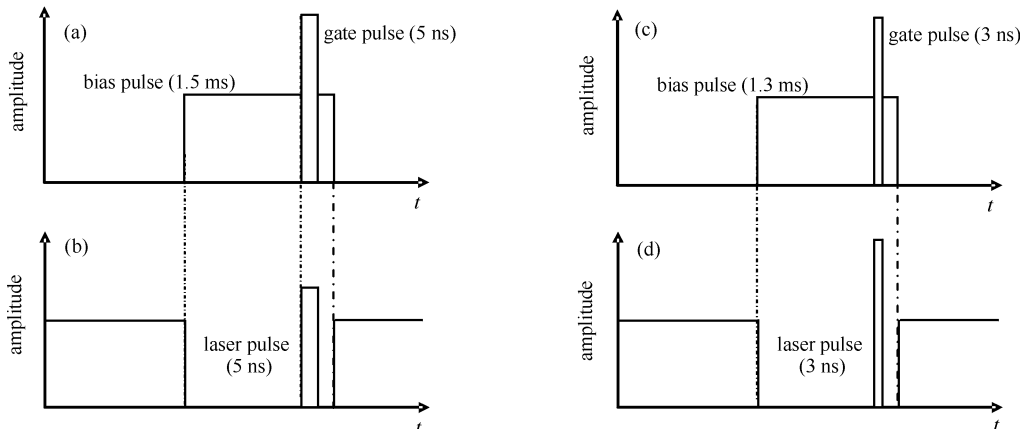


Fig. 3 Bias pulse and the output of the amplitude modulator

图 3 脉冲偏置方式及幅度调制器的输出

制器,对连续激光的损耗很大(达 60 dB),幅度调制器输出连续激光功率仅仅为 nW 水平,基本无法检测此类连续激光的偏振态,因此必须对幅度调制器的工作方式进行改造。采用脉冲偏置幅度调制的方式,可以很好地解决这个问题。图 3(a)~(d)分别为第一级幅度调制器偏置电压、第一级幅度调制器激光输出、第二级幅度调制器偏置电压、第二级幅度调制器激光输出。不加脉冲偏置时,由于幅度调制器上加不加直流电压,此时幅度调制器不完全消光,泄漏的连续激光功率可达 mW 量级,因此连续激光信号能够通过幅度调制器被检测到。考虑到放大器中掺 Yb<sup>3+</sup> 光纤的上能级寿命约 1 ms,为了使激光脉冲被充分放大,在脉冲偏置的后期(约 1.2 ms 处)给幅度调制器加开关脉冲。由于光纤系统的输出将经过后续具有光开关的放大器链放大,因此光纤前端输出的连续激光将被隔断,从而不影响原型装置的运行。

分别在两级幅度调制器和 4 台高增益放大器前插入偏振稳定器,检测连续激光的偏振,动态调整光纤的偏振态(如图 1 虚线部分所示)可稳定光纤前端系统的输出幅度。稳偏器的原理如图 4 所示。输入连续激光经过起偏器起偏后经 95:5 分束器取样,再输入光电转换器 OE 转换成直流电信号。动态偏振控制器内置反馈电路检测该直流信号。当光纤偏振状态发生改变后,直流信号幅度降低,反馈电路控制偏振控制器对光纤施加应力,改变光纤的偏振,使检测的直流信号保持最大,从而动态稳定光纤的偏振态。

采用稳偏器后,对输入两级幅度调制器和 4 台高增益放大器前的光纤施加应力以模拟运行环境改变造成的光纤偏振态的改变,光纤前端的输出幅度不发生变化(如图 5 所示)。图 5 为脉冲多次累积的波形,可见光纤偏振态的变化已经不影响光纤前端输出的稳定性。改进前,由于铌酸锂幅度调制器的电荷累积,光纤前端系统每工作 8 h,就需要对幅度调制器加反向直流偏置电压以补偿其半波电压的漂移,否则,光纤系统的输出幅度将连续下降,影响原型装置的稳定运行;改进后,由于铌酸锂幅度调制器工作于脉冲偏置方式,电荷没有积累,光纤前端系统输出幅度也不下降。

对光纤前端系统进行稳定性测量,其长期输出幅度稳定度达 2.9%,完全满足了原型装置稳定运行的需要。由于幅度调制器没有电荷累积,光纤前端系统可 24 h 连续工作,其输出幅度不变。

### 3 结 论

针对激光原型装置光纤前端系统窄光谱、短脉冲的特点,提出了一种稳定光纤前端系统输出偏振态的新方法。采用脉冲方式偏置光纤前端系统的幅度调制器,通过光纤偏振稳定装置在线检测幅度调制器泄漏连续激光的偏振态进行自动调整,实现了光纤前端系统偏振态的自动稳偏,并有效地抑制了波导幅度调制器长时间工作后消光比的下降。该方法简单,无需对系统进行大的改造,满足了原型装置的运行要求。

### 参考文献:

- [1] Nuckolls J, Wood L, Hiessen A T, et al. Laser compression of matter to super-high densities: thermonuclear(CTR) application[J]. *Nature*, 1972, **239**(15): 139-142.
- [2] Chuang Y H, Kessler T J, Skupsky S. Laser-beam pulse shaping using dispersive filtering[C]//Proc of SPIE. 1993, **1870**: 34-46.
- [3] Deng X M, Yu W Y. Development of high-power laser system for laser fusion research[J]. *IEEE J Quantum Electron*, 1981, **11**(9): 1650-1628.
- [4] Wilcox R B, Behrendt W, Browning D F. Fusion laser oscillator and pulse-forming system using integrated optics[C]//Proc of SPIE. 1993, **1870**: 53-63.
- [5] 林宏兔,王建军,隋展,等. 用于激光聚变驱动器的全光纤、全固化光脉冲产生系统[J]. *物理学报*, 2008, **57**(3): 1771-1777. (Lin H H, Wang J J, Sui Z, et al. Integrated all fiber optical pulse generation system for laser fusion driver. *Acta Physica Sinica*, 2008, **57**(3): 1771-1777)

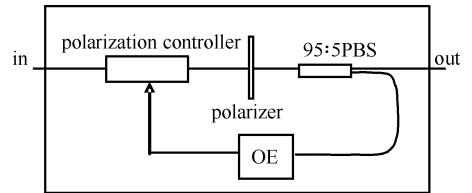


Fig. 4 Principle of the polarization stabilizer

图 4 稳偏器工作原理

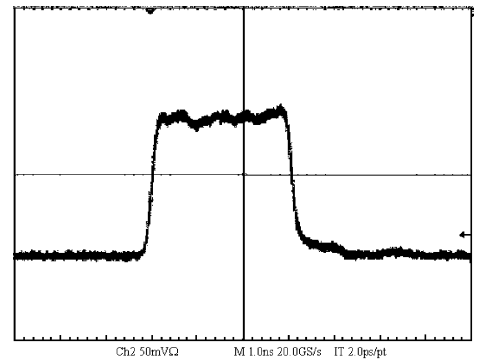


Fig. 5 Output of the high gain amplifier with polarization-stabilizer

图 5 稳偏后高增益放大器的输出

- [6] 邓青华, 隋展, 李明中, 等. 用于 ICF 的新型单色退偏器[J]. 强激光与粒子束, 2005, **17**(9):1391-1393. (Deng Q H, Sui Z, Li M Z, et al. A new homochromous depolarizer applied in ICF. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, **17**(9): 1391-1393)
- [7] 王建军, 李明中, 邓青华, 等. ICF 驱动器光纤前端系统偏振控制技术[J]. 强激光与粒子束, 2006, **18**(5):803-806. (Wang J J, Li M Z, Deng Q H, et al. Polarization control technology of fiber front-end system in ICF driver. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, **18**(5): 803-806)

## Polarization stabilization of all fiber front-end system for laser facility prototype

LIN Hong-huan, LU Zhen-hua, WANG Jian-jun, CHEN De-huai, DENG Qing-hua, LI Ming-zhong, LI Xiao-qun  
(*Research Center of Laser Fusion, CAEP, P. O. Box 919-988, Mianyang 621900, China*)

**Abstract:** The polarization characteristics of the all fiber front-end for a laser facility prototype were analyzed. According to the polarization control demand of the laser facility prototype, a new method was developed to stabilize the polarization of the fiber system with narrow bandwidth and short-pulse output. The amplitude modulator of the fiber system was pulse-biased and the auto-stabilization of the fiber system polarization was obtained by on-line detecting the polarization state of CW laser leakage from the amplitude modulator. The decrease of the extinction ratio of the amplitude modulator in longtime operation was restrained and the stability of the all fiber front-end system was improved to 2.9%.

**Key words:** ICF; Front-end; All fiber system; Polarization control; Stability