

文章编号: 0253-2239(2004)01-84-4

# 新型激光装置前端系统激光时间脉冲整形技术

沈 磊 陈绍和 葛夏平 许世忠

(高功率激光物理国家实验室, 上海 201800; 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘要:** 对惯性约束聚变实验而言, 激光时间脉冲整形具有非常重要的意义。随着惯性约束聚变技术的不断发展, 对终端脉冲的时间填充因子的要求越来越高, 直接导致了对前端系统时间脉冲整形技术的要求也越来越高。为了满足惯性约束聚变实验对前端时间脉冲整形技术的要求, 自行设计了“刀口器”装置。利用这一装置, 并结合改进的时空变换脉冲整形技术, 在“神光-II”的升级装置上, 实现了大功率激光装置上的激光时间脉冲整形, 在终端得到了脉宽 1.16 ns、上升沿 337 ps、下降沿 360 ps、时间填充因子为 81.2% 的方波激光脉冲, 满足了物理实验对前端系统激光时间脉冲整形的要求。同时, 提出了进一步改进的措施, 以满足今后物理实验的更高要求。

**关键词:** 激光技术; 时间脉冲整形; “刀口”器; 时间填充因子

中图分类号: TN24 文献标识码: A

## New Temporary Pulse Shaping Technique of the Front-End System in Laser Facility

Shen Lei Chen Shaohe Ge Xiaping Xu Shizhong

(National Laboratory on High Power Laser Physics, Shanghai 201800)

Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 12 December 2002; revised 6 January 2003)

**Abstract:** For inertial confine fusion experiment, temporary pulse shaping technique is of great significance. With the development of the ICF technology, the demand of the temporary fill rate of terminal pulse is higher and higher. To satisfy the requirement of ICF experiment, by using own-designed “knife edge” apparatus and improved temporary-space transform pulse shaping technique, the pulse shaping on “Shenguang-II” facility is realized. In the terminator, the square laser pulse with pulse width 1.16 ns, rise time 337 ps, fall time 360 ps, temporary filling factor 81.2%, is obtained. This pulse totally satisfies the requirements of the physical experiment. At the same time, some improvement is put forward to satisfy the higher experimental requirements in the future.

**Key words:** laser technique; inertial confine fusion (ICF); temporary pulse shaping; “knife edge” apparatus; temporary filling factor

### 1 引 言

对惯性约束聚变(ICF)实验而言, 前端系统的激光时间脉冲整形不仅能够对靶丸预热、减小惯性约束聚变过程中的瑞利-泰勒不稳定性、提高惯性约束聚变激光驱动能量的利用效率, 而且能有效地减少惯性约束聚变过程中的受激布里渊散射效应(SBS), 防止激光系

统中器件的损伤和激光波形的畸变。

随着惯性约束聚变技术的发展, 对终端脉冲的时间填充因子要求越来越高, 直接导致对前端时间脉冲整形技术的要求也越来越高。激光脉冲整形系统也经历了一个从无到有、从简单到复杂的过程<sup>[1~7]</sup>。有别于国外同类装置的技术方案, 我们设计了“刀口器”, 并结合改进的时空变换脉冲整形技术, 提出并实施了在大功率激光装置中实现激光脉冲时间整形的新技术。采用这一技术, 我们成功地

E-mail: lshen@mail.shcnc.ac.cn

收稿日期: 2002-12-12; 收到修改稿日期: 2003-01-06

360 ps、时间填充因子为81.2%的方波激光脉冲,满足了物理实验对前端系统激光时间脉冲整形的要求。同时,为了能适应将来发展的进一步需要,我们也提出进一步改进的方法和措施。

## 2 时空变换脉冲整形系统的基本原理和示意图

上海光机所高功率激光物理国家实验室在“神光-II”的升级装置上,在考虑到以往装置上输出脉冲振幅的不稳定性,设计了新型激光脉冲的整形方案——含有“刀口器”的时空变换脉冲整形系统。

含有“刀口器”的时空变换脉冲整形系统的基本原理是利用电光偏转器将入射激光脉冲随时间变化的光强分布扫描成随空间分布,在适当位置用我们设计的“刀口器”作为可调滤波光阑得到光强按特定形状分布的光斑,然后用另一个性能完全相同的电光偏转器将它还原成光强随时间按特定形状分布(反向扫描)的整形光脉冲后输出。

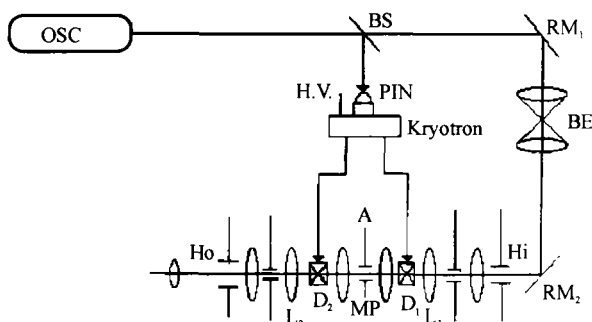


Fig. 1 Optics principle of the time-space transform pulse shaping system containing the “knife edge” apparatus

含有“刀口器”的时空变换脉冲整形系统的光路如图1所示,电光偏转器 $D_1$ 、 $D_2$ 性能相同,透镜 $L_1$ 、 $L_2$ 焦距相等。两个偏转器和透镜构成 $4f$ 系统, $A$ 平面是两个透镜的共焦面。在共焦面上放置我们设计的“刀口器”MP作为可调滤波光阑,电光偏转器 $D_1$ 将入射光脉冲在时域上扫描(扫描方向与光传播方向正交),不同时刻的光被偏转到MP的不同位置而形成一条扫描线,从而把随时间变化的光强分布变成随空间变化的光强分布。经过作为可调滤波光阑的、特殊设计的“刀口器”,通过调节它的形状和大小可以使上述扫描线的不同位置处透过不同强度的激光。 $L_2$ 完成光脉冲像的传递。由于两个偏转器性能相同、偏转方向相反,加在两个偏转器上的电脉冲幅值相等且与光脉冲同步,结果偏转器 $D_2$ 将 $D_1$

的偏转光复原到原光轴上传播。入射光脉冲经过这个系统后,被彻底地改造,形成新的出射激光脉冲。该光脉冲的形状由作为滤波光阑的“刀口器”的形状和大小决定,它的时间宽度取决于偏转器的扫描速度和光阑形状,从而实现了脉冲整形。从图1看出,该整形器主要由电光偏转器、高压同步脉冲电源和作为滤波光阑的“刀口器”构成。整个整形器的关键部件就是作为可调滤波光阑的“刀口器”。

## 3 使用时空变换脉冲整形系统得到的实验结果

以理论计算得到的结果做指导,我们进行了一系列的物理实验。在具体的实现过程中,我们采用了以下的实验装置。单纵模Nd:YLF调Q激光器输出脉宽约为20 ns、幅度稳定的激光脉冲;激光脉冲整形器由一对完全相同的 $\text{LiNbO}_3$ 电光偏转器、 $4f$ 变换系统和由电信号驱动的冷阴极管高压脉冲发生器组成。首先从主振荡器中分出一小部分激光去触发雪崩管,利用雪崩管输出的电脉冲去触发冷阴极管高压脉冲发生器,产生幅度约为10 kV的高压电脉冲。通过调节传输线的长度来调节延时,使高压电脉冲与主振荡器输出的激光脉冲同步到达两个电光偏转器。在第一个电光偏转器上,高压电脉冲的前后沿,随着时间的变化,光束将在垂直于传输方向上发生不同角度的偏转。于是,在 $4f$ 变换系统的第一个透镜的焦平面处,在垂直于光束传输方向的空间上,将形成一条随时间的变化而变化的扫描线。通过在扫描线上放置我们自行设计的“刀口器”,可以实现激光脉冲不同时刻幅度的控制。经过幅度调制后的光脉冲,由 $4f$ 变换系统的第二个透镜变换后,由第二个电光偏转器将空域的扫描线恢复为时域的脉冲形状,从而实现了激光脉冲的整形工作。

我们设计的作为可调滤波光阑的“刀口器”的具体结构和实物照片如图2所示。利用它,我们进行了调节激光脉冲波形的实验。在实验中,我们得到了复杂形状的脉冲和篱柱形激光脉冲,如图3所示。这一实验说明我们的装置具有较强的脉冲整形能力。

根据物理实验的实际需求,在靶场需要得到接近1 ns的方波光脉冲,我们调整“刀口器”中各刀口的位置,得到了前端所需的整形光脉冲如图4所示。该光脉冲经过增益系统的放大之后,在靶场得到的终端整形光脉冲如图5所示。从图中可看出经整形后终端激光为脉宽1.16 ns、上升沿337 ps、下降沿

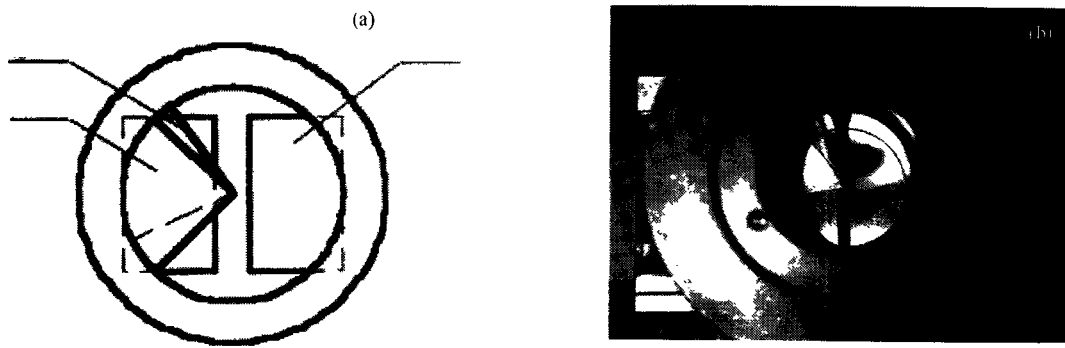


Fig. 2 Structure of the "knife edge" apparatus and the practicality photo

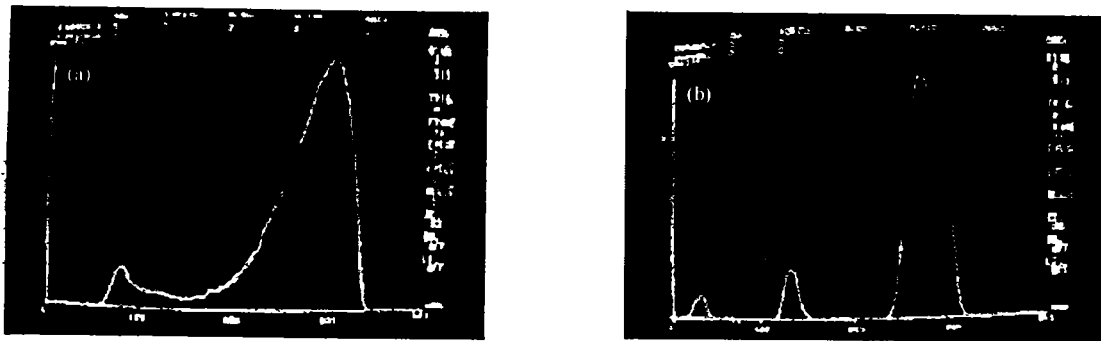


Fig. 3 Pulse of complicated shape (a) and fence pulse (b) obtained by using the temporary-space transform pulse shaping system

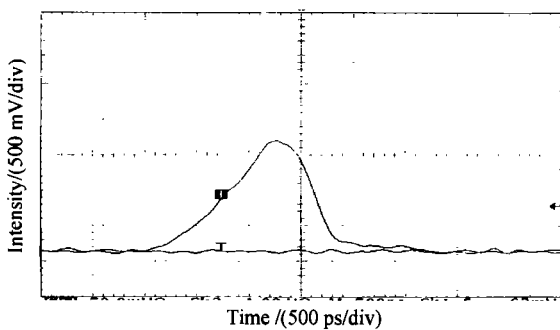


Fig. 4 Front-end shaping laser pulse obtained by the "knife edge" apparatus

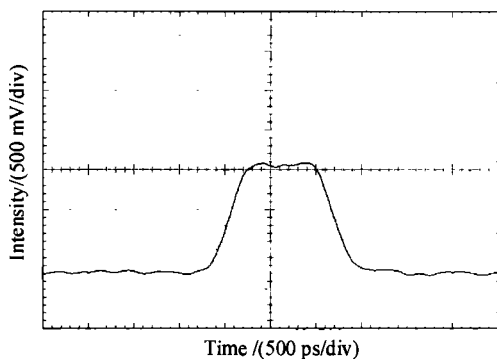


Fig. 5 Terminal laser pulse shape when the terminal laser energy is 454.35 J

360 ps、时间填充因子为 81.2% 的方波激光脉冲, 满足了物理实验对前端系统激光时间脉冲整形的要求。

## 4 讨 论

“神光-Ⅱ”升级装置上的激光脉冲整形系统的稳定性主要取决于激光振荡和同步控制的高压电脉冲发生器。振荡器的稳定性主要是指单纵模调 Q 激光器输出的激光脉冲的幅度稳定性。在“神光-Ⅱ”升级装置的主振荡器系统中, 采用了双折射晶体选单纵模和被动调 Q 技术, 使主振荡器输出的幅度不稳定性小于 5%。同步控制的高压电脉冲发生器对激光脉冲整形的影响是指, 由于电脉冲的触发抖动, 造成整形脉冲从调 Q 脉冲中选出的位置的变化从而影响了整形激光脉冲的幅度。在“神光-Ⅱ”升级装置的脉冲整形系统中, 利用冷阴极管触发级联的雪崩管, 作为高压脉冲发生器, 最后输出整形激光脉冲的幅度不稳定性小于 10%。

经过一段时间的时间考验, 目前时间脉冲任意整形的方案基本满足了物理实验的需求。但是在实验过程中, 我们也遇到了一些问题。

首先, 由于前端振荡器输出的光脉冲很小, 如果

缺少自动准直系统,一旦激光束指向晃动,必然使目前使用的“刀口器”在光斑上的切削位置发生变化。这里面,又以激光束径向位置的变化对于整个激光脉冲形状的影响为最大。考虑到以上原因,我们打算在振荡器输出口到“刀口器”之间增加一套自动准直系统,以确保光斑每次均能入射在“刀口器”的同一位置。另外,目前“刀口器”的调整系统,仍然采用人工调节的办法。这难免使每次调整的重复性很难保证。对于这个问题,我们准备在以后的改进中,通过监视“刀口器”后的输出光斑,将其与我们得到的标准光斑进行比对,然后利用计算机自动调整的办法来实现每次调整的一致性。

其次,根据物理实验的需求,时间脉冲整形方案不仅需要能够得到 1 ns 任意整形的光脉冲,还需要得到 2 ns 的整形光脉冲。对于物理实验的这一新要求,我们初步打算采用改变加在  $\text{LiNbO}_3$  电光偏转器上的电压的方法来实现。由于加在电光偏转器上的电压直接决定了扫描线的扫描速度,当加在电光偏转器上的电压减少的时候,扫描线的扫描速度减小,相应地,输出的激光脉冲的脉宽也就增加了。适当调整加在  $\text{LiNbO}_3$  电光偏转器上的电压,无需改变“刀口器”上刀口的位置,应该可以得到与 1 ns 整形光脉冲形状相同的 2 ns 整形光脉冲。这将可以利用我们现有的 1 ns 脉冲整形的已有实验结果,大大简化 2 ns 整形光脉冲的调整。

第三,考虑到时空变换脉冲整形方案中关键光学元件电光偏转器要求具有良好的光学性能,而且

起转和回复偏转器的性能必须完全一致,这就给光学材料的选择和加工带来了极大的难度。针对这一困难,我们提出了采用单模光纤代替回复偏转器  $D_2$  进行空间光束复原的办法,在实验过程中证实了完全可以实现原先预想的目标,从根本上解决了空间变换复原能力的问题。

感谢高功率激光物理国家实验室刘仁红硕士和复旦大学王滔博士与本人进行的有益讨论。

### 参 考 文 献

- 1 Speck D R, Bliss E S, Glaze J A. The SHIVA laser fusion facility. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1981, **QE-17**(9): 1599~1619
- 2 Chuang Y H, Kessler T J, Skupsky S. Laser-beam pulse shaping using dispersive filtering. *Proc. SPIE*, 1993, **1870**:34~46
- 3 Wilcox R B, Behrendt W, Browning D F *et al.*. Fusion laser oscillator and pulse-forming system using integrated optics. *Proc. SPIE*, 1993, **1870**:53~63
- 4 Soures J, Kumpan S, Hoose J. High power Nd: glass laser for fusion applications. *Appl. Opt.*, 1974, **13**(9): 2081~2094
- 5 Mourou G, Bunkenburg J, Seka W. Electro optic prepulse suppression for fusion laser system. *Opt. Commun.*, 1980, **34**(2):252~254
- 6 Bunkenberg J, Boles J, Brown D C. The OMEGA high-power phosphate-glass system design and performance. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1981, **QE-17**(9):1620~1628
- 7 Boehly T R, Craxton R S, Hutchison R J *et al.*. The upgrade to the OMEGA laser system. *Proc. SPIE*, 1992, **1627**:236~245