

文章编号: 1001-3806(2010)02-0157-04

神光-III原型装置多路激光近红外时间波形测量系统

刘 华,徐隆波,彭志涛,夏彦文,唐 军,孙志红

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心,绵阳 621900)

摘要: 为了解决大型高功率激光装置激光脉冲宽度窄、光束口径大、路束多,以及输出光束远场漂移量大等特点导致的激光脉冲时间波形难以准确测量的难题,研制了多路激光近红外时间波形测量系统。该系统使用光束匀滑进行光纤耦合取样的方法,采用时分复用的光纤传输技术,实现了神光-III原型装置8路纳秒激光脉冲时间波形的测试。结果表明,通过对2008年度原型装置时间波形的测量数据分析,该测量系统的测量相对扩展不确定度小于2.5%,提高了系统的抗干扰能力和可靠性,同时也降低了激光装置参量诊断系统的建造成本。

关键词: 测量与计量;测试技术;光纤光学;时分复用;脉冲波形;脉冲展宽

中图分类号: TN247 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.1001-3806.2010.02.004

Temporal multiplexing for measurement of temporal profile on SG-III prototype laser facility

LIU Hua, XU Long-bo, PENG Zhi-tao, XIA Yan-wen, TANG Jun, SUN Zhi-hong

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

Abstract: The system of measuring temporal profile for multi-beam of near infrared was developed, considering the multi-beams, the narrow pulse width of each beam, the great aperture of beam of light, and the large far-field drift for high power laser facility. The beam uniform assemble for fiber sampling of beam coupling was used, the technique of time multiplexing for the delay of time was adopted, and the power time history in the SG-III prototype laser facility's 8 beam laser was measured. After measuring and analyzing the temporal profile the SG-III prototype laser facility made in 2008, the relative expanded uncertainty of the measuring system was less than 2.5%. The results showed that the anti-jamming ability of the measuring system was improved. The measuring system is much more reliable and costly.

Key words: measurement and metrology; test technique; fiber optics; temporal multiplexing; pulse shaping; pulse broadening

引 言

惯性约束聚变(inertia confinement fusion, ICF)的研究和发展对驱动器的要求越来越高,即要求激光脉冲具有高度的稳定性、可重复性和多光束的一致性。在对驱动器的评价体系中,脉冲时间波形一直是激光器性能的重要参量。然而在进行脉冲时间波形取样测试时,由于其路数多、空间小、经常存在空间干扰的问题,因此,采用传统的“点”对“点”诊断取样已不现实,必须寻找既具有高动态测量范围、又能集成多路激光束的时间脉冲波形取样测试技术。光纤具有易弯曲、可集成、长距离传输等优点,采用光纤取样组件和时分复用技术可以大大降低整个测量系统的造价,更好地满足大型装置工程化的需求。在激光聚变领域,美国

国家点火装置(national ignition facility, NIF)和法国的兆焦耳激光装置都曾致力于研究适合大型高功率激光装置的高性能多路诊断系统^[1-4],但由于采用的数字化仪的带宽不够(1GHz),只得到1ns的上升时间。国外最近关于多路复合时间脉冲波形的取样测试技术未见报道。国内针对高功率激光脉冲的测量主要采用1个光电转换器和1个示波器通道对应1个测量点的诊断方法^[5-6],而采用多路复合时间脉冲波形测量的研究不多^[7-8]。

作者针对原型激光装置脉冲参量测量点多、分布广的特点,利用光纤取样组件对各诊断点进行信号取样,采用光纤延时取样的时分复用技术对多路激光脉冲时间波形进行了测试。

1 多路激光时间波形测量技术

多路光纤时间脉冲波形测试系统由光强衰减器、光束准直耦合器、时分延时光纤和高速双平面二极管及数字示波器等组成,测量系统如图1所示。测试的

作者简介:刘 华(1966-),男,工程师,主要从事高功率激光参量诊断工作。

E-mail: liuhua1966@163.com

收稿日期:2009-02-20;收到修改稿日期:2009-04-02

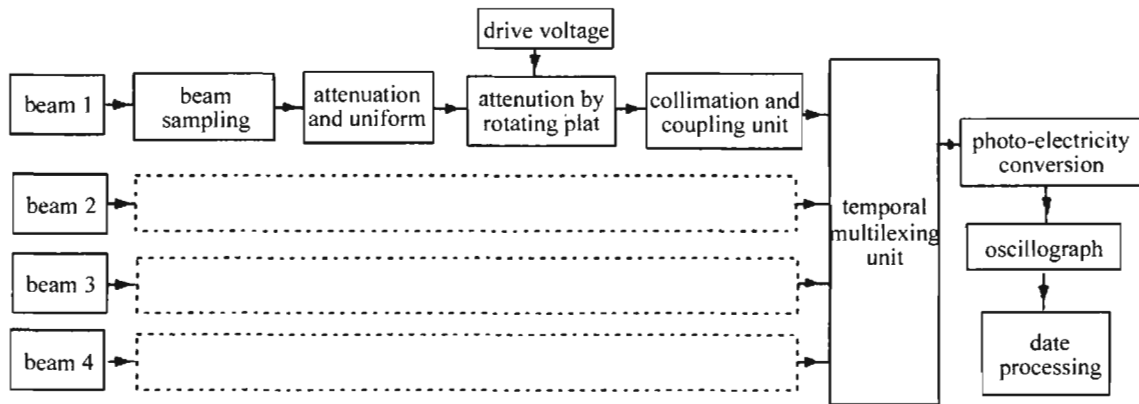


Fig. 1 Schematic drawing of system of measuring temporal profile for near infrared by time multiplexing

4束1053nm激光束分别经大口径耦合镜进行全口径光束取样,取样光束经缩束、大倍率光强衰减后,再通过旋转式衰减器进一步控制诊断束组的光强一致性,得到强度一致的脉冲光然后经光束准直耦合器进入时分延时光纤组件,延时后的4束脉冲光由1台光电探测器进行光电转换,得到的电信号耦合进高速示波器进行采集,然后通过时间切分、时间轴放大、分析等数据处理,完成时间波形的取样测量。根据集成化、系统化的要求,该诊断系统具备以下功能:可控光强衰减、全口径光束耦合、光纤时分延迟、光纤耦合、光电转换、实时数字化、实时数据记录、脉冲波形复合、波形特征参量测量显示等。

原型装置基频脉冲时间波形测量取样点共16个,其中预放、主放大器诊断包各8个,每4个取样点为1组。因此,基频脉冲波形测量系统需要16套大口径光束缩束器、大倍率光强衰减劈板组、电控旋转衰减轮盘、光束准直耦合器,4套时分复用光纤组件、光电转换器,2台数字示波器,1套电控系统及数据处理系统。测量系统中对原型装置主放大器输出的290mm×290mm的近红外激光经取样镜取样,反向输入空间滤波器进行缩束,使中箱体输出至主放诊断包的光束口径变为60mm×60mm以满足其它参量测试要求的尺度;通过调节主放诊断包内的移动大劈板对的位置实现光强的大倍率衰减,衰减后的光束经诊断包内的缩束透镜组将光束口径缩小为3mm×3mm。通过控制旋转式衰减器轮盘上的衰减倍率来保证最终各束的脉冲功率平衡。时分光纤取样组件内有4个通道,每通道连接不同的光纤长度,根据脉冲时间长度的变化来确定束间的脉冲延迟,这样从光电探测器输出的是一个在时间上分开的4个脉冲,测试的波形经数据处理系统输入到参量诊断控制中心进行集中处理。

1.1 光纤耦合技术

原型装置光路长、光学元器件多,外部环境复杂,

导致光束偏移量较大,因此传统的静态耦合方式不适用。为了解决因光束漂移量大而导致的取样成功率低,采用在光纤耦合器前加光束匀化器的办法^[9],利用光束匀化器的漫反射原理,“抹平”激光束的空间信息,同时保证由此带来的时间畸变在容许的范围内,这样使得匀化器出射面短距离范围内,任一方向的光束都能代表待测激光的时间特性,保证耦合效率对激光束在较大范围内的漂移不敏感,实现激光脉冲时间波形的稳定测量。光束耦合工作原理如图2所示。入射

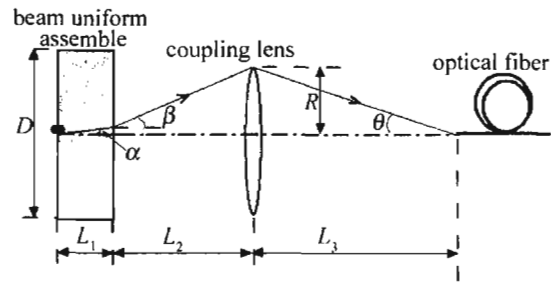


Fig. 2 The principle chart of beam uniform system

激光束投射到磨沙毛化处理过的匀化器前端面进行空间匀化,匀化后的部分透射光束经匀化器边沿透射出去(透射角 α),另一部分经匀化器后端面出射,经该端面出射的部分光(出射角不大于 β)经耦合透镜聚焦后耦合进光纤。

光束匀化系统的参量包括匀化器直径 D 、厚度 L_1 、材料折射率 n 、匀化器与耦合器之间的距离 L_2 以及耦合透镜的焦距 L_3 等,耦合透镜的半径 R ,耦合透镜的会聚角 θ ,其选择依据是根据入射光束的光斑大小、漂移量、系统允许引入的脉冲展宽量来决定,经耦合透镜聚焦的会聚光束的会聚角必须满足光纤的数值孔径的要求。

光束匀化器必须具备3个特性:(1)匀化光束的空间信息;(2)保留光束的脉冲时间信息,匀化器引入的脉冲展宽必须满足测量系统对带宽的要求;(3)匀化器的通光冗余量必须大于光束的漂移量,保证经匀化器输出的光束对输入光束的横向、指向漂移不敏感,

符合全口径光束取样的特性。

1.2 时分复用延时技术

采用光在不同长度的光纤中传输的方法实现脉冲间的延迟。根据原型装置脉冲波形的特点,选取每路光纤相差 3m,光纤长度分别选为 1m,4m,7m,11m,对应的延时分别约为 5ns,20ns,35ns 和 50ns,延迟脉冲经合束器后用同一只快响应双平面二极管和高速数字示波器探测,高速数字示波器要求有足够的时间记录长度及带宽,取样示意图如图 3 所示。

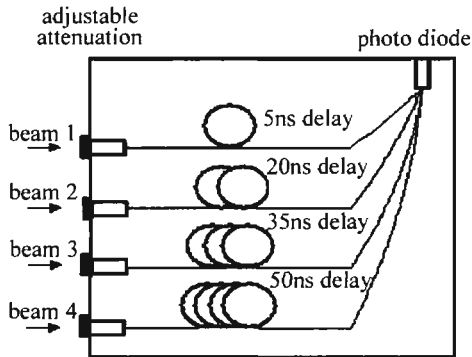


Fig. 3 The principle chart of sampling of optical fiber by time multiplexing

1.3 光纤传输特性测试

采用高速数字示波器与快响应双平面二极管相结合的方法,通过不同芯径的光纤传输后的激光脉冲波形进行测量,采用空气传输和光纤传输的方法进行脉冲波形比对测量^[10]。激光束经衰减、空间滤波后被分光镜分成两束,一束经透镜耦合进耦合光纤,再经不同长度的被测光纤传输,另一束经空气延迟。两束光最后用同一个 60ps 上升时间的快响应双平面二极管探测,由 20GHz 采样率的示波器记录。

2 实验及结果

首先对测量系统测量准确性进行验证,采用快响应双平面二极管数字示波器组成测试系统,系统响应

时间为 110ps。激光束经时分复用光纤取样及光纤延时(长度约 60m 传输后)取样测量系统与通过空气传输取样测试的脉冲波形比对,从而比较两者的差异,两套测量系统比对结果见表 1,表中每一组脉宽测试数据都取 6 发实验数据的平均值。

Table 1 The contrast results of temporal profiles transmitting through optics fibers and the air separately

No.	pulse width/ns		ratio	relative error/%
	through fiber	through air path		
1	1.120	1.115	0.996	1.2
2	1.083	1.090	1.006	1.5
3	1.101	1.100	0.999	0.9
4	1.08	1.077	0.997	1.2
5	1.09	1.085	0.995	2.2
6	1.03	1.023	0.993	1.2
7	1.05	1.045	0.995	1.7
8	1.075	1.085	1.009	1.6

从表 1 可以看出,纳秒量级的红外激光脉冲经多路激光时间脉冲测试系统,与直接通过空气传输取样的脉宽测试结果的相对偏差在 1.2% ~ 2.2% 之间,在允许的测量误差范围内,所设计的多路激光时间脉冲测试系统符合参量诊断系统要求。

图 4 为采用多路时间脉冲测试系统应用到原型装

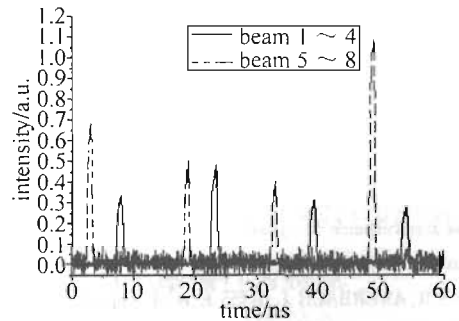


Fig. 4 The signals of temporal profile of 8 laser beams tested by oscillograph

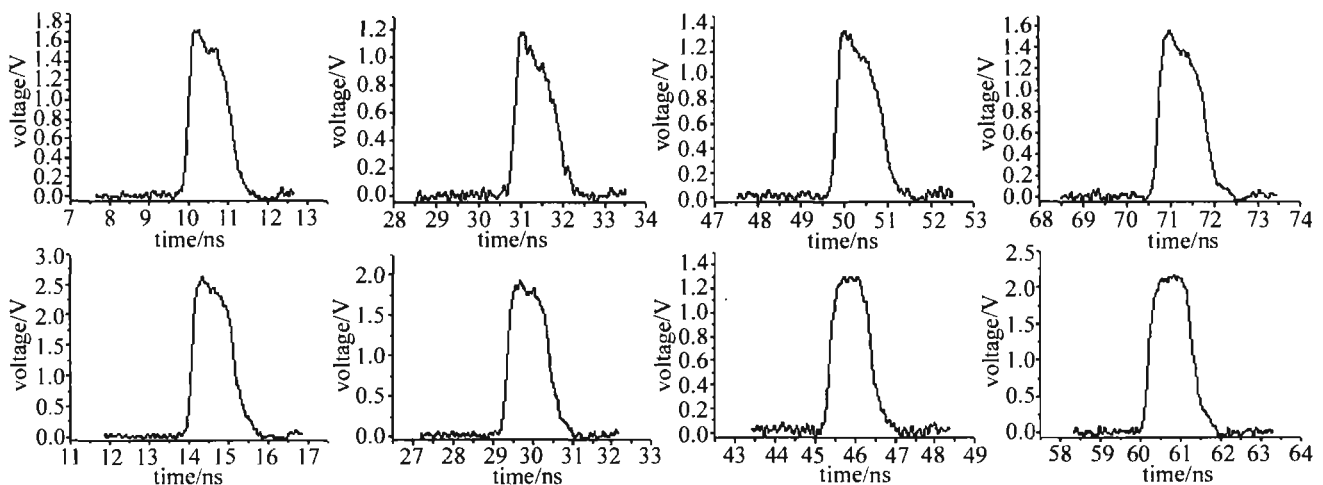


Fig. 5 Measured results of temporal profile of 8 laser beams

置中所得到的示波器采集的信号,图5为8路时间脉冲波形测试结果,表2为8路激光输出的能量和脉冲宽度测试结果。

Table 2 The energy and pulse broadening of 8 laser beams

No. of beam	1	2	3	4	5	6	7	8
energy/J	2766	2839	2323	2551	2370	2432	2223	2701
pulse width/ns	1.09	1.07	1.11	1.14	1.09	1.07	1.07	1.08

实验结果表明,利用多路时间脉冲波形测试系统可实现多路激光束脉宽的同步测试,得到的激光束脉宽符合系统测试精度要求。

3 结论

采用所设计的多路时间脉冲波形测试系统,对于多路激光的时间脉冲波形测试是可行的,它避免了由于长距离传输采用宽频带电缆带宽急剧降低的难题,可以得到准确可靠的脉冲波形测试结果,并且大大降低了激光装置的造价成本。多路光纤取样技术已成功应用于神光-III原型装置的预放和主放级诊断包中的激光脉冲波形测量中,通过对2008年度的测量数据分析,该测量系统的测量扩展不确定度小于2.5%,满足原型装置的设计指标及ICF物理实验的要求。该测量系统运行可靠,为神光-III主机装置的时间波形测量奠定了技术基础。

参考文献

- [1] THOMAS S, BOYD B, DAVIS D T, *et al.* Temporal multiplexing for economical measurement of power versus time on NIF [J]. Proc SPIE, 1997, 3047: 700-706.
- [2] BOYD R D, BLISS E S, BOEGE S J. Alignment and diagnostics on the national ignition facility laser system [J]. Proc SPIE, 1999, 3782: 496-501.
- [3] LECLERC P, ALLOUCHE V. Temporal response diagnostic for the megajoule laser [J]. Proc SPIE, 1999, 3492: 843-850.
- [4] McEWAN T E, KILENNY J D, DALLUM G. World's fastest solid-state digitizer [J]. Energy and Technology Review, 1994, 10(4): 1-6.
- [5] XIA Y W, YE J X, LIU H, *et al.* Study on the propagation characteristic of ultraviolet laser pulse in step index multimode fiber [J]. High Power Laser and Partical Beams, 1999, 11(3): 284-288 (in Chinese).
- [6] YAN W Z, SUN L J, LUO Y T, *et al.* Measurement system using fiber delay sampling [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2005, 26(5): 464-467 (in Chinese).
- [7] SONG Y, WANG L. Effect of fiber dispersion on pulse width [J]. Laser Technology, 2008, 32(6): 568-571 (in Chinese).
- [8] WANG G, LI K, KONG F M. Study of characteristics of polarization mode dispersion in single mode fibers with elliptical birefringence [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 465-468 (in Chinese).
- [9] XU L B, LIU H, PENG Z T, *et al.* Experimental research on pulse-shape measurement of high power laser with the use of fiber sampling techniques [J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2008, 6(3): 35-37 (in Chinese).
- [10] XIA Y W, SUN Z H, TANG J, *et al.* Research on propagation characteristics of temporal profile in optical fibers [J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2008, 6(6): 5-8 (in Chinese).
- [5] LU Q, KUGLER N, WEBER H, *et al.* A novel approach for compensation of birefringence in cylindrical Nd:YAG rods [J]. Opt & Quant Electron, 1996, 28(1): 57-69.
- [6] SACKS R, AUERBACH J, BLISS E, *et al.* Application of adaptive optics for controlling the NIF laser performance and spot size [J]. Proc SPIE, 1999, 3492: 344-354.
- [7] JIANG X Y, XU M J, JIANG D B, *et al.* Study about thermal characteristics of a V-shape active mirror heat capacity laser [J]. Laser Technology, 2009, 33(1): 21-23 (in Chinese).
- [8] BARRETT H H, JACOBS S F. Retro-reflective arrays as approximate phase conjugators [J]. Opt Lett, 1979, 4(6): 190-192.
- [9] LÜ B D. Laser optics [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 1992: 53-57 (in Chinese).
- [10] YUAN X D, JIANG X Y, CAO D X, *et al.* Theoretical research on output performance of laser resonator at heat capacity model [J]. Chinese Journal of Lasers, 2006, 33(s0): 93-97 (in Chinese).
- [11] DUAN W T, YU H W, XU M J, *et al.* Experiments on output scaling and amplification of a novel active-mirror laser [J]. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(10): 1367-1370 (in Chinese).

(上接第148页)