

# 神光-Ⅲ原型装置全光路系统波前测量方法

代万俊 张 崑\* 张 鑫 蒋学君 邓 武 周 维 赵军普 胡东霞

(中国工程物理研究院激光聚变中心, 四川 绵阳 621900)

**摘要** 为进一步提高神光-Ⅲ原型装置 8 束三倍频激光焦斑的能量集中度, 需要对神光-Ⅲ原型装置的全光路系统波前进行校正。其中的关键技术之一就是要准确获得全光路系统的波前畸变。神光-Ⅲ原型装置的 8 束激光主放诊断包内均配置了一套哈特曼波前传感器, 可以较为方便地获得主放大系统输出波前, 但却无法直接获得靶场系统波前。解决方法主要有逆向标定和靶点直接测量两种, 通过比较两种方法的技术复杂性、测量准确性等指标, 结合对校正前后远场焦斑的测量, 最终确定采用靶点直接测量的方法能简单、有效地获得全光路系统波前畸变。

**关键词** 激光光学; 高功率固体激光; 标定; 哈特曼波前传感器; 波前; 焦斑

**中图分类号** TN247; TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201138.0202007

## Entire Beam Wavefront Measurement in Prototype of SG-III Facility

Dai Wanjun Zhang Kun Zhang Xin Jiang Xuejun Deng Wu

Zhou Wei Zhao Junpu Hu Dongxia

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

**Abstract** In order to improve focal spot concentration of  $3\omega$  laser, entire beam wavefront should be corrected. One of key technologies is to get entire beam wavefront aberration exactly. With Hartman wavefront sensor located at parameters diagnosis unit of main amplifier, wavefront of output main amplifier can be obtained. However, wavefront of target system can't be measured directly. There are two methods to solve this problem including reverse calibration and direct measurement at target point. By comparing complexity and accuracy of the two methods, and combining far field measurement with and without correction, direct measurement at target point is a simple and correct method to get entire beam wavefront.

**Key words** laser optics; high power solid-state laser; calibration; Hartman wavefront sensor; wavefront; focal spot

**OCIS codes** 140.0140; 120.0120; 220.1000; 220.1080

## 1 引 言

目前, 自适应光学(AO)技术已越来越广泛地应用于国内外各大型激光装置, 作为目前世界上规模最大、输出能量最大的固体激光装置, 美国国家点火装置(NIF)上采用了  $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$  的大口径变形镜, 置于主放大系统腔反射镜位置, 由于激光在主放大系统内两次通过腔反射镜位置变形镜, 有效提高了变形镜的实际校正能力。NIF 采用了“四程放大”技术, 主放输出的波前(包括静态和动态波前)达到了数十微米, 若不采取补偿措施, 将导致激光在主

放大系统内部出现严重的堵孔问题, 造成近场缺光。因此 NIF 上变形镜的补偿对象主要为主放大系统输出的静态和动态波前, 以确保主放大系统的顺利通光。另外, NIF 采用了连续相位板(CPP)匀滑技术, 提高靶面三倍频焦斑的均匀性, 以满足惯性约束聚变(ICF)实验对焦斑均匀性的指标要求<sup>[1~4]</sup>。神光-Ⅲ原型装置主放大系统采用了“四程放大十口径变换+ $90^\circ$ 反转技术”, 主放大系统输出波前较小, 在不采用补偿措施的情况下, 激光在主放大系统内部可顺利通光, 为了提高 8 束三倍频焦斑的能量集中

收稿日期: 2010-04-20; 收到修改稿日期: 2010-08-20

基金项目: 中国工程物理研究院科学技术发展基金(2009A0401023)资助课题。

作者简介: 代万俊(1981—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事高功率固体激光光束质量控制技术方面的研究。

E-mail: dwj8wy@163.com

\* 通信联系人。E-mail: zk1969@163.com

度,各路激光均配置了一套小口径的自适应光学系统<sup>[5~7]</sup>。为了实现对靶面焦斑的控制,关键技术之一一是解决全光路系统波前的测量问题。

## 2 全光路系统波前测量方法

图 1 为神光-III 原型装置单束光路示意图,自适

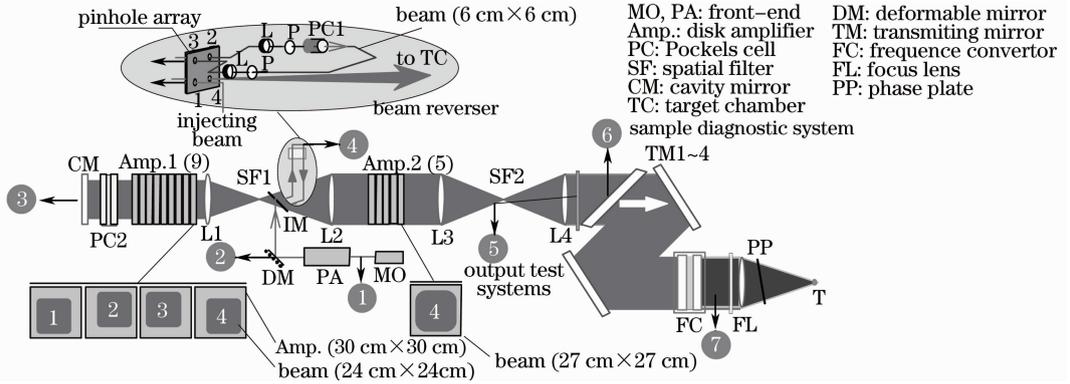


图 1 神光-III 原型装置光路示意图

Fig. 1 Schematic drawing of the multi-pass TIL design

全光路系统波前测量主要有两种方法:第一种方法,利用主放诊断包内的波前传感器,对靶场系统波前进行标定,将标定结果与哈特曼波前传感器直接测量得到的主放波前相加,可以得到全光路系统波前。主放测量取样孔距助推孔为 30 mm, L4 焦距为 17.4 m, 按此计算, 逆向返回的光需偏折 0.1°。如果用靶场引导反射镜来调节偏转角度, 则近场会偏移 40 mm, L4 对近场偏移的冗余量为 20 mm 左右, 将导致激光近场经过 L4 后将不完整。为解决上述问题, 在 L4 附近采用一块小角度的劈板来实现光束的指向偏折。计算得出, 附加一块 0.2° 的劈板(SM2)来完成偏折, 如图 2(a) 所示。

应光学系统由变形镜(DM)、波前传感器(HS)和波前控制器组成。其中变形镜口径为 70 mm×70 mm, 驱动器数目为 45, 置于主放注入位置。哈特曼波前传感器探测口径为 5 mm×5 mm, 微透镜阵列为 22×22, 置于主放大系统参数诊断包内, 以实现主放大系统输出静态和动态像差的跟踪测量。

第二种方法, 在靶点附近架设一套波前测量系统, 如图 2(b) 所示。基于该波前测量系统, 可以直接测量得到全光路系统静态波前。实际动态发射过程中, 该测量系统需要移出光路, 无法利用该波前测量系统获得装置的动态波前, 只能通过主放诊断包内的波前传感器测量得到, 因此, 需要将两个波前测量器获得的数据进行处理, 以获得全光路系统的静态和动态波前。假设主放大系统静态波前为 A, 靶场系统波前为 B, 主放诊断包系统波前为 C, 主放大系统动态波前为 D。静态条件下, 主放诊断包内波前测量系统直接测量得到的波前为 A + C, 靶场波前测量系统直接获得的波前为 A + B, 利用小口径变形镜对 A + B 进行校正, 主放诊断包内波前测量系统测量得到的波前为 C - B + Δ, 其中 Δ 为校正残差, 实验中测量得到的校正残差较小, 可以忽略。将该结果作为主放诊断包内波前测量系统的参考波前, 主放诊断包测量得到的数据为 A + C - (C - B) = A + B, 即为全光路系统静态波前, 在动态发射时, 可以直接获得 A + B + D, 即为全光路系统静态和动态波前。

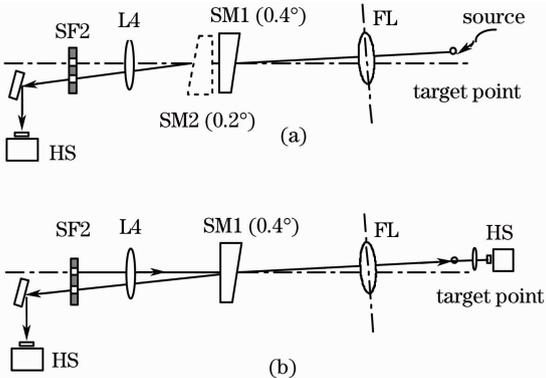


图 2 (a) 逆向标定方案示意图, (b) 直接测量标定方案示意图

Fig. 2 (a) Schematic drawing of reverse calibration, (b) schematic drawing of direct measurement at target point

## 3 测量结果准确性比较

第一种方法, 标定过程较为复杂, 且引入的误差因素较多。首先, 附加劈板的透射面形畸变会带来

测量结果的误差;其次,光路上已经存在的劈板反射和透射面形误差也会引入较大的误差;最后,还需要对主放诊断包系统波前进行标定。图3是利用小口径变形镜对逆向标定获得的全光路波前闭环校正前后,在靶点获得的焦斑分布,从校正结果来看,能量集中度虽有一定的改善,但仍然有待进一步提高。

第二种方法在主放诊断包较为稳定的前提下,主放诊断包自身衰减和取样系统波前畸变不需要标定。图4是利用小口径变形镜对靶点直接测量法获得的全光路波前闭环校正前后,在靶点获得的焦斑分布,从校正结果来看,能量集中度有了明显改善。证明了标定结果的准确性,误差主要源自变形镜的校正残差。

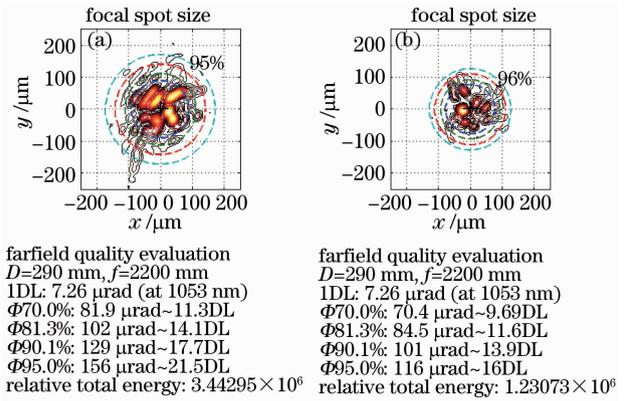


图3 对逆向标定结果的检验。(a)校正前焦斑分布, (b)校正后焦斑分布

Fig. 3 Verification for first method calibration results (a) without correction, (b) with correction

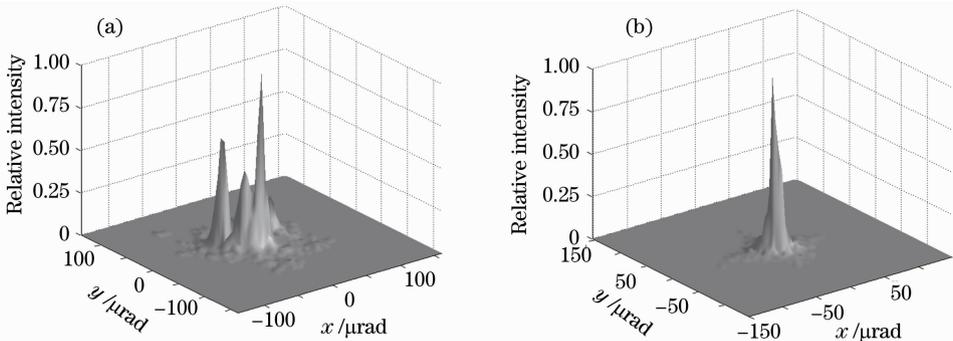


图4 对直接测量法结果的检验。(a)校正前焦斑分布,(b)校正后焦斑分布

Fig. 4 Verification for direct measurement at target point results. (a) without correction, (b) with correction

## 4 结 论

通过比较得出,采用靶点直接测量法可以简单地获得全光路系统波前,2009年利用该方法,完成了原型装置8束全光路系统波前的闭环校正,获得8束对打模式下穿 $600\text{ }\mu\text{m}$ 腔靶90%以上的能量效率。为了解决神光-III主机装置48束激光的全光路波前闭环校正,需要设计一套抽样取样系统,实现对48束激光的分时取样。

**致谢** 本次实验得到了中国科学院光电技术研究所杨泽平、李恩德等相关技术人员的支持和帮助,在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 M. L. Spaeth, K. R. Manes, C. C. Widmayer *et al.*. National ignition facility wavefront requirements and optical architecture [J]. *Opt. Eng.*, 2004, **43**(12): 2854~2865
- 2 Y. D. Zhang, Z. P. Yang, H. F. Duan *et al.*. Characteristics of wavefront aberration in the single beam principle prototype of the

- next generation ICF system [C]. *SPIE*, 2002, **4825**: 249~256
- 3 J. T. Salmon, E. S. Bliss, J. L. Byrd *et al.*. An adaptive optics system for solid-state laser systems used in inertial confinement fusion [C]. *SPIE*, 1997, **2633**: 105~113
- 4 R. A. Zacharias, E. S. Bliss, S. Winters *et al.*. Wavefront control of high-power laser beam in the national ignition facility [C]. *SPIE*, 2000, **3889**: 332~343
- 5 Dai Wanjun, Hu Dongxia, Zhou Wei *et al.*. Application of adaptive optics technique in TIL facility [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(s1): 102~106
- 代万俊, 胡东霞, 周 维等. TIL装置原型自适应光学系统应用技术研究[J]. *光学学报*, 2008, **28**(s1): 102~106
- 6 Dai Wanjun, Hu Dongxia, Zhou Wei *et al.*. Reasearch of wavefront correction system in laser driver [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(s1): 225~230
- 代万俊, 胡东霞, 周 维等. 激光驱动器波前补偿系统的方案设计[J]. *中国激光*, 2009, **36**(s1): 225~230
- 7 Dai Wanjun, Hu Dongxia, Zhou Wei *et al.*. Calibration of Hartmann-Shack sensor for measurement of wavefront in prototype system [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2008, **20**(9): 1413~1416
- 代万俊, 胡东霞, 周 维等. 高功率固体激光装置哈特曼传感器参考波前标定方法 [J]. *强激光与粒子束*, 2008, **20**(9): 1413~1416