

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0342-03

大口径激光束参量直接诊断技术

彭勇, 胡晓阳, 周文超, 易亨瑜, 田小强, 张卫

(中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 随着激光技术的发展及其应用领域的不断拓展, 激光束参量测量工作变得尤为重要。采取常规的测量方法时, 随着光束尺寸的增加, 系统的价格和技术难度都会增长, 工程实现具有很大的难度和风险。提出了一种新的技术思路, 采用大口径透镜阵列对大口径激光束进行采样, 实现激光束波前测量。对测量方法的原理、测量系统的构成进行了论述。对大尺寸透镜阵列波前采样可行性进行分析, 并对各分系统的技术参量匹配关系以及标校方法进行了初步的探讨和研究。实验中采用大透镜阵列对激光束波前进行采样测量, 获得波前畸变信息, 并与激光干涉仪测量结果进行对比, 实验结果表明该方法在技术上是可行的。

关键词 激光物理; 激光测量; 夏克-哈特曼方法; 波前; 大尺寸透镜阵列

中图分类号 O348.11, TN247 **文献标识码** A

Measurement of Large-Aperture Laser Beam Parameters by Array-Lens

PENG Yong, HU Xiao-yang, ZHOU Wen-chao, YI Heng-yu,
TIAN Xiao-qiang, ZHANG Wei

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics,
Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract The parameters of laser beam is important to laser and laser optical system. The difficulties and price of measure system are increase with the aperture of laser beam increases. In this article an approach to measure the large-aperture laser beam parameters by using large array lens is given, the principle of measurement and the structure of system are introduced, the parameters of array lens and imagine system are discussed. A experimental equipment of large-aperture laser beam wavefront measurement system is designed, the wavefront aberration of a laser beam is measured and compared by array-lens and interferometer. The feasibility of the method is jested by result of experiment.

Key words laser physics; laser measurement; Shack-Hartmann method; wavefront; large-aperture array-lens

1 引言

不同的激光系统中感兴趣的光束参量是不同的, 对于能量输送型激光光学系统而言, 激光束的质量对目标上的激光能量集中度具有重要的影响。对中小口径的激光光束, 采用 M^2 测量, CCD 远场测量等方法能够较好地评价激光束的特性^[1,2], 在大口径激光束的测量中, 随着光束尺寸的增加, 上述测量系统的价格和技术难度非线性增长, 工程上难以实现。根据光学像差和激光传输理论^[3,4], 激光束波面特性决定了激光的远场特性, 因此通过测量激光波面, 能够得到光束发散角、激光的聚焦特性和远场

能量的分布特性等重要参量。本文采用大尺寸透镜阵列测量大口径激光束参量的技术, 并分析和讨论了大尺寸透镜阵列、图像处理等关键技术的可行性。

2 测量原理

经过大型透镜阵列对大口径经激光束进行采样形成光斑点阵, 通过成像系统, 获取点阵图像, 得到激光束波前信息。根据激光传输理论和光学系统像差理论, 光学系统成像能够由光瞳函数通过传输变换解析求出。根据光束的衍射成像理论, 可以求出经过聚焦后激光复振幅 $U(x, y)$

作者简介: 彭勇(1974—), 男, 安徽人, 中国工程物理研究院应用电子学研究所工程师, 主要从事光学检测和激光测试技术的研究。E-mail: fred_peng@www.163.com

$$U(x, y) = \frac{1}{(\lambda R)^2} \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} G(\xi, \eta) \exp\left[-\frac{2\pi i}{\lambda R}(x\xi + y\eta)\right] d\xi d\eta, \quad (1)$$

其中 $G(\xi, \eta)$ 为光瞳函数

$$G(\xi, \eta) = \begin{cases} B(\xi, \eta) \cdot \exp[-ikW(\xi, \eta)], & \text{光瞳内} \\ 0, & \text{光瞳外} \end{cases}$$

光强度 $I(x, y)$ 为复振幅模的平方

$$I(x, y) = |U(x, y)|^2. \quad (2)$$

当已知激光束的波前函数和强度分布时,可以求出激光束会聚后在焦面处任意位置的光强。因此激光束的波前、发散角、近场分布、远场分布等参量能够通过测量求解得到。

3 大口径激光束参量测量系统

系统的测量基于哈特曼波前测量方法^[5],测量系统组成如图 1 所示,包括激光波前采样器、光斑点阵成像探测系统、图像采集系统、数据处理和波前重构系统等部分。图 1 中 1 为单元透镜,2 为像屏,3 为 CCD 探测器,4 为成像光学系统。

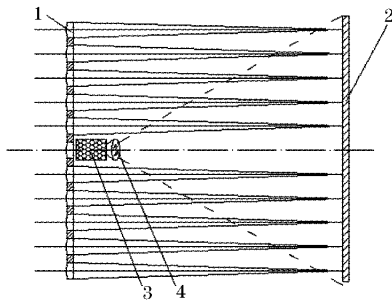


图 1 大口径激光束测量系统组成

Fig. 1 Structure of large aperture laser beam testing system

3.1 大口径波前采样器

采用大型透镜阵列对大口径激光波前进行采样,可以获得激光束波前信息。根据测量光束的尺寸,设计透镜阵列。大型透镜阵列不同于目前的微透镜阵列制作,采用较大尺寸的单元透镜组合而成,可以实现大口径光束的直接采样。

大型透镜阵列采用多个单透镜排列而成,单元透镜的光学结构对透镜阵列的装配有至关重要的影响。为了使透镜阵列的均匀性和子孔径光斑不会串扰,要求单元透镜对准直束的成像点偏离几何中心较小。波前函数可以采用查涅克(Zernike)多项式表示,根据哈特曼波前测量的理论,波前采样的空间频率和测量取得的查涅克多项式总项数是相关的,

透镜阵列的空间采样率由行、列单元总数决定。图 2 为设计的一阵列透镜结构。

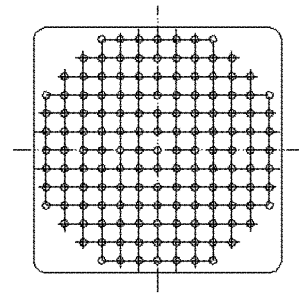


图 2 阵列透镜布局图

Fig. 2 Layout of the array-lens

3.2 成像探测系统

激光束经过透镜阵列采样后,形成光斑的点阵图像经过光电成像系统进行采集,并用于后续的计算处理,求解出子孔径中光波的倾斜。成像探测系统和透镜阵列一起决定了测试的动态范围和精度,两者间的参量需要进行合理匹配。透镜阵列为正方形分布,边长为 L ,透镜阵列的焦距为 f_1 ,有效通光口径为 d_0 ,探测器靶面尺寸为 a (取正方形),像素数 $m \times n$ 。正方形的光斑点阵被成像到光电探测器靶面上,探测器像素对应的实际空间分辨率分别为 L/m 和 L/n 。空间分辨率应与单元透镜在焦面上的光斑尺度相匹配,焦面处光斑的尺度近似为衍射极限尺寸。成像系统对分辨率的要求为

$$\begin{cases} L/m \leq 2.44\lambda f_1/d_0, \\ L/n \leq 2.44\lambda f_1/d_0. \end{cases} \quad (3)$$

3.3 图像处理与波前重构

图像处理是对原始探测器靶面上的图像进行采集、显示、存储、子孔径划分、质心计算。波前重构是根据质心计算结果,求出子孔径内的倾斜量,根据透镜阵列的参量恢复测量的激光束波前。

4 实验研究

按照一定的放缩比例设计并加工了一个实验用大口径阵列透镜,同时设计了一套光束波前采样及测量实验系统。实验系统包括平行光管、阵列透镜、

像屏、光学像差板、成像探测器和图像采集及处理系统,如图3所示。一束具有畸变波前激光束经过阵列透镜后在焦平面处的像屏上形成光斑点阵,通过光学系统将图像成像到 CCD 探测面上,记录图像信息,计算畸变波前。同时利用激光干涉仪测量畸变激光波前进行比较。平行光管口径为 110 mm,激光波长为 632.8 nm。采用 150 mm×150 mm 毛玻璃漫反射屏作为像屏,采用分辨率 512×480,帧频 25 Hz 的 CCD 实现图像采集和处理。

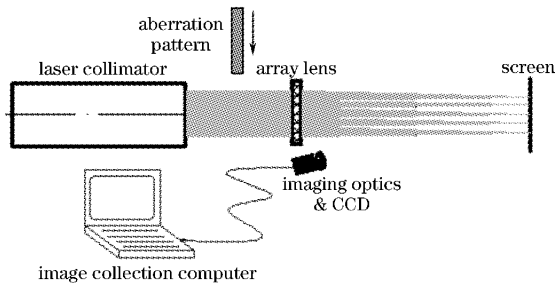


图 3 实验系统布局图

Fig. 3 Layout of experimental system

不插入光学像差板时,经过阵列透镜后,在像屏上形成 7×7 光斑点阵。采用 CCD 对像屏上光斑点阵进行成像,图像信息由计算机采集处理,作为参考波前 $W_0(x,y)$ 。插入光学像差板后,由于像差板的作用,将改变光束波前,对应的光斑点阵分布也随之发生变化,通过后续系统得到 $W_1(x,y)$,根据波前相互作用理论,可以求解出像差板引起的波前畸变 $\Delta W(x,y)$ ^[4,5]

$$\Delta W(x,y) = W_1(x,y) - W_0(x,y), \quad (4)$$

通过波前处理分析软件对获得的光斑点阵图像进行

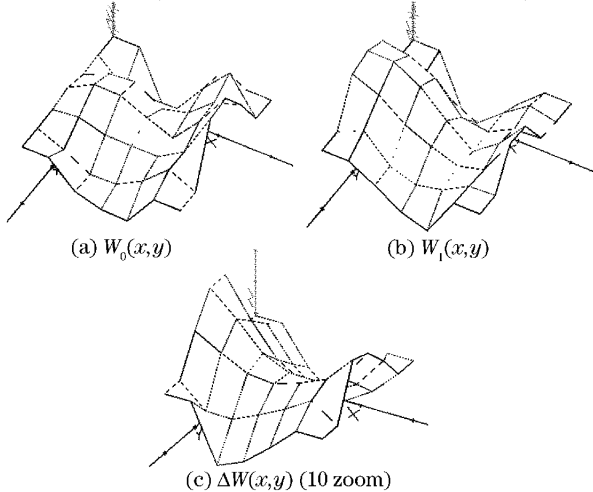


图 4 透镜阵列测量得到的波前结果

Fig. 4 Result of wavefront measured by array-lens

分析,处理得到 $W_0(x,y)$, $W_1(x,y)$ 和 $\Delta W(x,y)$,如图4所示。

用激光干涉仪对光学像差板测量,得到像差板的透射波前 $\Delta W'(x,y)$,比较 $\Delta W(x,y)$ 和 $\Delta W'(x,y)$,判断阵列透镜波前采样器获得的波前是否正确,光学像差板激光干涉仪测量结果如图5所示。

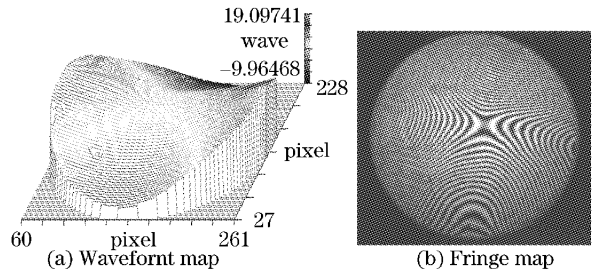


图 5 像差板干涉测量结果

Fig. 5 Wavefront of aberration plate measured by ZYGO interferometer

从图4和图5看出,采用阵列透镜波前采样获得的像差板波前 $\Delta W(x,y)$ 与干涉仪测量的像差板透射波前 $\Delta W'(x,y)$ 的形态分布和基本像差类型是一致的。

5 结 论

本文提出的方法和技术路线是对大口径激光束参量测试的一种探索。通过这种方法可以得到激光束的多种参量,如波前、发散角、近场分布、远场分布等。此方法的优点是避免了大口径缩束器或聚焦镜的加工问题。实验结果表明阵列透镜波前采样器在技术上是可行的。

参 考 文 献

- 1 Lü Baida. Propagation and Control of High Power Lasers [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999. 65~68
吕百达. 强激光的传输与控制 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 65~68
- 2 Mai Weilin. Optical Transfer Function and Basal Theoretics [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1979. 239~242, 248~250
麦伟麟. 光学传递函数及其数理基础 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1979. 239~242, 248~250
- 3 Yang Zhiwen. Optical Measurement [M]. Beijing: Beijing University of Techonloy Press, 2001. 188~195
杨志文. 光学测量 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2001. 188~195
- 4 Daniel Malacara. Optical Shop Testing [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1978. 295~305
- 5 Brian K. McComas, Edward J. Friedman. Wavefront sensing for deformable space-based optics exploiting natural and synthetic guide stars [J]. *Opt. Eng.*, 2002, 41(8): 2039~2049