

变形镜及其驱动器的动态响应测试研究

林旭东, 刘欣悦, 李洪文, 王建立

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 变形镜是自适应光学系统中的关键部件之一, 它的动态响应性能直接决定了其对大气扰动的校正能力。提出了一种基于光电倍增管的测试方法, 用于对变形镜及其高压驱动器进行动态响应测试。测试表明, 变形镜的谐振频率优于 12 kHz, 促动器及其驱动器可以不失增益的工作到 2 kHz。

关键词: 自适应光学; 变形镜; 高压驱动器; 动态响应

中图分类号: P124; TB133 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2011)11-0659-03

Study on the Dynamic Response Test of the Deformable Mirror and Its Driver

LIN Xu-dong, LIU Xin-Yue, LI Hong-Wen, WANG Jian-Li

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Deformable mirror is one of the key components in the adaptive optics, and its correction capability of the atmosphere disturbance is directly depended on its dynamic response characteristics. A method utilizes the electron-multiplier phototube to measure the dynamic response performance of the deformable mirror and its high-voltage driver is presented. The tests showed that, the resonance frequency of the deformable mirror is better than 12 kHz, the actuator and its driver can change at a frequency up to 2 kHz.

Key words: Adaptive optics, Deformable mirror, High-voltage driver, Dynamic response

引言

自适应光学技术已经越来越多的应用于天文望远镜中, 用于校正大气扰动对望远镜成像质量的影响^[1,2]。变形镜作为自适应光学系统中的关键部件之一, 其静、动态性能的好坏直接决定了自适应光学系统对大气的校正效果。变形镜的静态性能一般指其对波像差的校正能力, 反映的是变形镜的空间校正特性; 而变形镜的动态性能指的是其促动器推拉镜片的快速响应能力, 反映的是粘接情况下的促动器时间响应性能, 一般要求变形镜的工作频率优于 1000 Hz^[3]。

本文针对快速动态响应测试的要求, 设计了一个基于光电倍增管的测试光路, 对自制变形镜的动态响应性能进行了测试。测试结果表明, 所研制的变形镜谐振频率优于 12 kHz, 高压驱动器可以在不损失增益的情况下, 使促动器的工作频率达到 2 kHz。

1 变形镜动态性能测试方法

文献[4]介绍了用光学外差式干涉仪对变形镜的动态性能进行测试的方法, 其最大测量频率为 10 kHz, 每次测量变形镜上面对应单个促动器的镜面响应情况, 可以进行多个促动器位置的测量以确定响应的差异情况。方法上面还可以利用激光测振仪^[5]对变形镜的固有谐振频率进行测量, 其应用的是非接触式激光多普勒测量原理。

由于实验室内尚未有激光测振仪, 所以希望构建一套方便、有效的测试系统能够对变形镜的动态性能进行测试, 而且该系统还能对高压驱动器的驱动能力进行同步的测试。图 1 所示为所构建的测试系统, 激光器发出的光束投射到变形镜面上对应压电促动器的位置, 经镜面反射之后通过一个针孔滤波器对光束进行滤波, 再到达光电倍增管的感光单元上。控制高压驱动器使压电促动器对变形镜面进行推拉变形, 测试中控制镜面的变形量为 $\pm 2.5 \mu\text{m}$, 镜面的变形表现为对激光光束的会聚或发散作用, 从而改变透过针孔滤波器的光能量, 而该变化量又易于被光电倍增管所

收稿日期: 2011-06-01; 修订日期: 2011-10-15.

作者简介: 林旭东 (1982-), 男, 福建莆田人, 博士, 中级, 主要从事自适应光学技术的研究。

基金项目: 中国科学院三期创新基金资助项目, 国家 863 计划基金 (2011AAXX1003B)。

测得。实验中所用的光电倍增管时间响应频率可以达到 20 MHz。

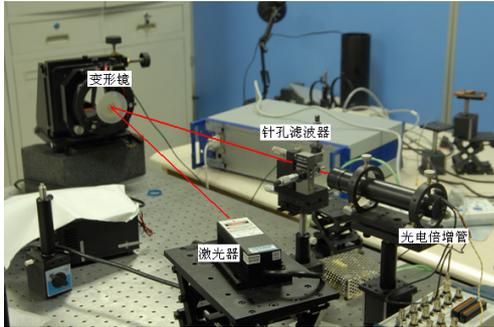


图1 变形镜动态性能测试系统

Fig.1 Dynamic performance testing system of the deformable mirror

变形镜的压电促动器为容性负载，其在大信号工作时的电容为 0.45 μF 。根据变形镜的动态工作性能要求，我们研制了高压驱动器，可以对 0~5 V（或 0~10 V，增益可调）的输入电压放大到压电陶瓷所需的工作电压。在自适应系统工作时，高压驱动器接收的是 D/A 转换器的信号，而在变形镜的动态性能测试时，方便起见，接收的是信号发生器的信号。测试用光电倍增管的输出电压范围为 0~5 V，既可以用示波器对输出电压进行测量，也可以用采集卡对其输出电压进行采集保存，以用于进一步的分析。

测试开始时，控制高压驱动器使所有的压电陶瓷促动器到其行程的一半位置，也就是信号发生器的输出为 2.5 V，之后再对单个陶瓷位置进行推拉响应测试（信号发生器输出 $2.5 \pm 2\text{ V}$ 的交变信号），而其它所有的促动器都维持在中间位置，图 2 至图 5 分别给出了单个陶瓷推拉镜面情况下的镜面面形图及对应的二维切面曲线。可以用同样方法依次进行对所有促动器的测试。

2 变形镜动态性能测试结果与分析

主要进行两个方面的测试，先进行的是对变形镜及其驱动器动态响应的从 100 Hz 到 2 kHz 的扫频测试；之后再进行的是变形镜的谐振频率测试。

因为变形镜工作过程中接收的基本都是阶跃变化的信号，所以我们采用方波控制信号对动态性能进行测试。图 6、图 7、图 8、图 9 分别给出了示波器所测得的波形信号，对应的驱动频率分别为 100 Hz，500 Hz，1 kHz，2 kHz，图中下方的蓝色波形为高压驱动器的输入信号，上方的黄色波形为对应的光电倍增管输出信号。

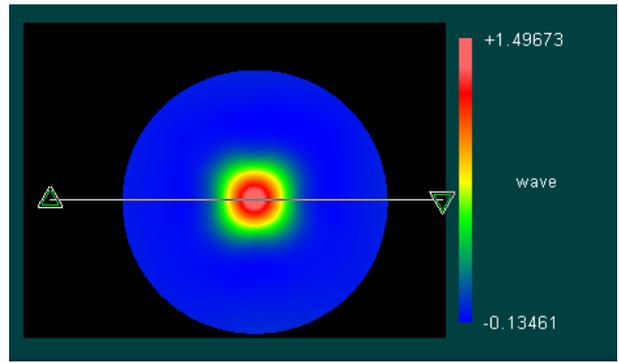


图2 单个促动器推镜面时的镜面面形

Fig.2 Surface map of the mirror when an actuator pushes the mirror

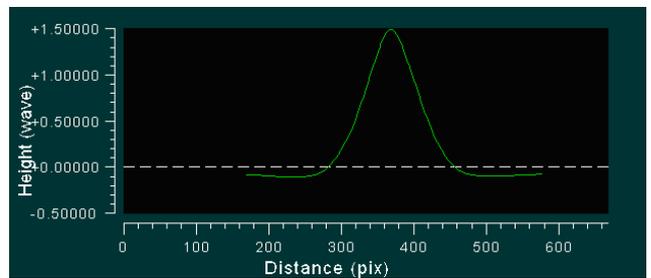


图3 对应图2的二维曲线

Fig.3 Section curve of Fig.2

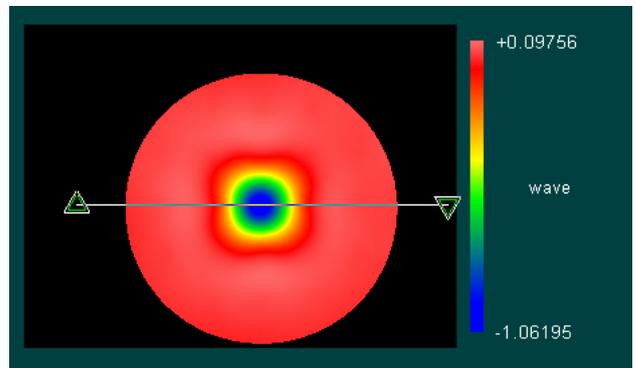


图4 单个促动器拉镜面时的镜面面形

Fig.4 Surface map of the mirror when an actuator pulls the mirror

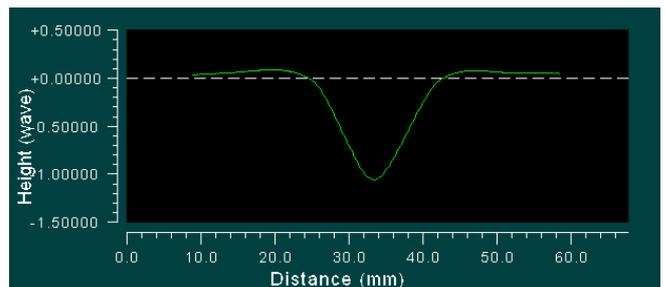


图5 对应图4的二维曲线

Fig.5 Section curve of Fig.4

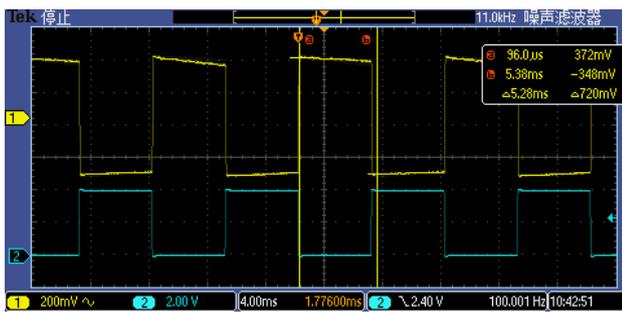


图6 驱动信号为100 Hz时的响应波形

Fig.6 The response waveform when the drive signal's frequency is 100 Hz

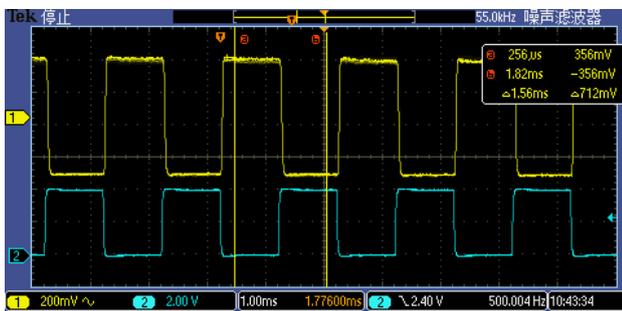


图7 驱动信号为500 Hz时的响应波形

Fig.7 The response waveform when the drive signal's frequency is 500 Hz

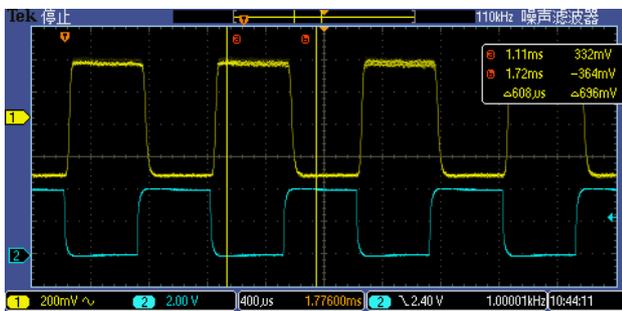


图8 驱动信号为1 kHz时的响应波形

Fig.8 The response waveform when the drive signal's frequency is 1 kHz

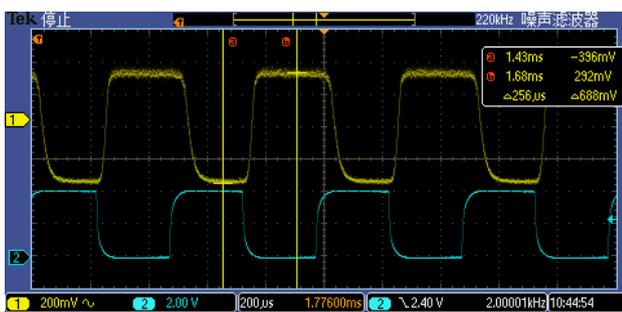


图9 驱动信号为2 kHz时的响应波形

Fig.9 The response waveform when the drive signal's frequency is 2 kHz

从图中的波形可以看出,由于所研制的高压驱动器能够提供足够大的电流,所以变形镜镜面变形响应的上升沿很陡,上升时间可以忽略;而且陶瓷促动器运动没有出现超调现象;但是从图6中我们可以观测到陶瓷促动器运动有微小的蠕变现象,对于陶瓷促动器的蠕变现象及其影响我们可见参考文献[7]。对于所研制的变形镜和高压驱动器,能够响应高达2 kHz的驱动信号,而不损失增益,只是有小量($<15^\circ$)的相位延迟(有文献^[8]表明该量级的相位延迟对系统控制带宽的影响不大,而且对于一般的自适应光学系统1 kHz的工作带宽是可以满足要求的)。

我们还对其它的促动器位置进行了相同的测量,没有发现与上述分析结果有明显的差异。

借助于该测量系统,我们还在较为保守(防止变形镜震荡破损)的情况下,对变形镜可在多大的驱动频率信号下工作进行了一个测试。我们让信号发生器依次输出100 Hz到12 kHz(按100 Hz递增)的正弦信号。图10所示的是信号发生器输出12 kHz的正弦信号(图示中下方的蓝线),经过高压驱动器放大之后驱动压电陶瓷使镜面发生变形,虽然镜面变形信号(图示中上面的黄线)发生失真(这是由高压驱动器的增益带宽积约束造成的),但是我们仍然能够判断出变形镜在这种情况下没有发生谐振,变形镜的谐振频率优于12 kHz。

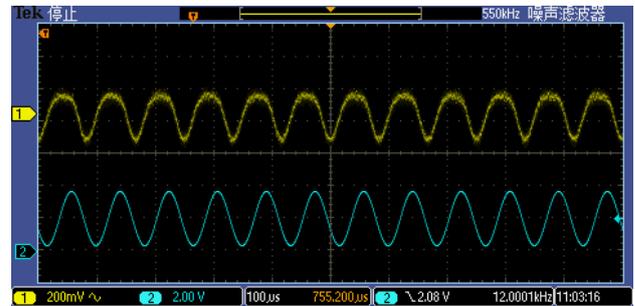


图10 驱动信号为12 kHz时的响应波形

Fig.10 The response waveform when the drive signal's frequency is 12 kHz

3 结论

为了对变形镜的动态性能指标有定量的了解,我们设计了一个测试系统用于对从驱动器到变形镜镜面整个系统的动态响应进行测试。测试结果表明,变形镜及其驱动器可以不失增益的工作在2 kHz,而在1 kHz时,变形镜及其驱动器的响应只有很小($<4\%$)的增益衰减和相位延迟,在自适应控制系统中可以看作为一个比例环节,方便了控制算法的设计、实现。

同时,我们对变形镜的谐振进行了初步的测试,

测量结果表明,变形镜可以稳定的工作在 12 kHz 的驱动频率下,也就是所测变形镜的谐振频率大于 12 kHz。对于变形镜固有谐振频率的判断,可以借助于有限元方法进行分析,并与实测结果进行比对以优化变形镜的设计,这方面的工作将在后续的工作中进一步完善。

参考文献:

[1] J.M.Spinhirne, JG Mien, G.A. Ameer, et, al. The Starfire Optical Range 3.5m Telescope Adaptive Optical System[C]//SPIE, 1998, **3355**: 22-33.
 [2] Francois Rigant, Review of astronomical adaptive optics systems on medium-sized (1.5-5m) telescopes[C]//OSA 's Summer Topic Meeting on Adaptive Optics, Maui, Hawaii, USA, July 7-12, 1996.
 [3] John W.Hardy. Adaptive optics for astronomical telescopes[M]. New York Oxford, Oxford University Press, 1998.
 [4] B. R. Oppenheimer, D. Palmer, R. Dekany, et, al. Investigating a Xinetics Inc. Deformable Mirror[C]//SPIE, 1997, **3126**: 569-579.
 [5] 邵兵, 孙立宁, 曲东升, 等. 自由空间光通信 ATP 系统中精瞄偏转镜的设计[J]. 光学精密工程, 2006, **14**(1): 43-47
 [6] William G. Thorburn, Leonard Kaplan. A low voltage electrodistortive mirror system for wave front control[C]//SPIE, 1991, **1543**: 52-63.
 [7] S. M. Hues et, al. Effect of PZT and PMN Actuator Hysteresis and Creep on Nanoindentation Microscopy[J]. IEEE, 1994, 65: 1561.
 [8] Michael F.Smutko. Design and construction of deformable mirrors for the University of Chicago adaptive optics system[C]//Publictions of the Astronomical society of the Pacific, 1997, **109**: 804-814.
 [9] Gleb Vdovin, Oleg Soloviev, Alexander Samokhin,et,al. Correction of low order aberrations using continuous deformable mirrors[C]//OPTICS EXPRESS, 2008, **16**(5): 2859-2866.

昆明物理研究所 2011 年研究生招生简章

昆明物理研究所始建于 1958 年,是国内最早从事红外科学与技术研究的高新技术研究所之一,隶属于中国兵器工业集团公司。所区本部占地 156 亩,位于昆明市五华区,光电子产业基地占地 250 亩,位于昆明市经济技术开发区,两区建筑面积 12 万平方米,资产总额 10 亿余元。现有在职员工千余人,围绕红外热成像技术的发展,主要研究开发与生产领域包括红外探测器材料、红外探测器、杜瓦瓶、微型制冷、红外特种加工工艺、电子信号处理、光学系统、热成像系统以及相关的红外测试与检测技术。

我们的目标是建设高科技国际化兵器事业,打造有抱负、负责任、受尊重的兵器团队。我所拥有光学工程硕士、博士一级学位授予权和博士后科研工作站。2010 年我所已招收硕士研究生 8 名,博士研究生 3 名。硕士研究生报名招收时间与全国同步;博士研究生每年 3 月初开始报名,5 月下旬在所本部进行初试和复试。希望考生尽可能多地了解导师的研究方向和科研工作,以便慎重地做出专业选择。2011 年我所计划招收硕士研究生 8 名,博士研究生 4 名。

热忱欢迎广大考生报考!

单位代码: 83104 联系部门: 人教处 联系人: 冯 竹, 李 萍
电 话: 0871—5105242 传 真: 0871—5152601

	专业代码、名称及研究方向	招生人数	考 试 科 目		备注
硕士 招生	080300 光学工程	8	①101 政治理论(含法律硕士)②201 英语(含法律硕士)③301 数学一④801 光电信号处理 ①101 政治理论(含法律硕士)②201 英语(含法律硕士)301 数学一④802 半导体物理 ①101 政治理论(含法律硕士)②201 英语(含法律硕士)③301 数学一④803 固体物理 ①101 政治理论(含法律硕士)②201 英语(含法律硕士)③301 数学一④804 低温制冷技术 ①101 政治理论(含法律硕士)②201 英语(含法律硕士)③301 数学一④805 应用光学 ①101 政治理论(含法律硕士)②201 英语(含法律硕士)③301 数学一④806 光学计量与测试		
	01 光电系统工程				
	02 光电子技术				
	03 光电材料				
	04 制冷及低温工程				
	05 红外光学系统设计				
	06 光学计量与测试				
	专业代码、名称及研究方向	指导教师	招生人数	考 试 科 目	备注
博士 招生	080300 光学工程	潘顺臣 01 苏君红 02 史衍丽 03 姬荣斌 04 陈晓屏 05	4	①1001 英语②2002 热成像系统③3003 应用光学或 3004 光电技术 ①1001 英语②2005 高等固体物理学③3006 半导体材料与器件 ①1001 英语②2007 低温制冷原理③3008 高等传热学	
	01 光学技术与光电仪器				
	02 光电系统工程				
	03 光电子技术				
	04 光电材料				
	05 制冷及低温工程				