

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0058-04

主动光学技术在优化传统光学零件面型中的应用

段学霆^{1,2} 周仁魁¹ 魏顺根¹

(¹ 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 探讨了在一定条件下实现对传统光学零件,尤其是对几何尺寸较大的光学零件实现主动控制,从而达到改善零件面型,优化光学系统成像质量的目的。通过工程机理的分析,采用实例试验的方法,验证了用 K9 玻璃制造的 $\phi 640$ mm 口径的球面反射镜通过主动控制的方法可以实现面型优化,提高了光学系统的成像质量,并且在特定环境中具有一定的稳定性。结果表明,在一定的条件下,通过主动光学技术可以实现对传统大口径光学零件进行面型控制,具有工程应用价值。

关键词 光学制造;主动光学技术应用;大口径;长焦距平行光管

中图分类号 TH741 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s2.0058

Active Optics Application in Correcting the Surface Quality of Traditional Mirrors

Duan Xueting^{1,2} Zhou Renkui¹ Wei Shungen¹

(¹ Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The active optical technique on traditional optical accessory especially on large aperture mirrors in order to get better surface quality and small wavefront error of the optical system is discussed. The test is based on $\phi 640$ mm spherical surface, which is made of K9 optical glass. The surface quality is corrected by active controller, and the wavefront error of the system is reduced in evidence. The results show that the active optical technique can also be applied on traditional optical accessory.

Key words optical fabrication; active optics application; large aperture; long-focal length collimator

1 引言

主动光学(Active optics)源于一种应用于地面大型光学望远镜上的技术,通过促动器实时改变主镜镜面的形状,以修正由于重力、温度和风力造成的镜面本身的形变对成像带来的影响。主动光学是相对于被动光学而言的,它能够主动地改变镜面形状,克服由此产生的光学畸变,在专门设计的主动光学系统中,主镜的材料及结构往往是最为考究的设计难点。文献[1]中提到,1997年美国 Arizona 大学提出并完成的主动调节刚性支撑薄膜型反射镜系统,采用碳纤维混合物作为刚性框架,用光学玻璃制成的薄膜型反射镜同均匀分步的微量位移致动器刚性连接。文献[2]认为,主动的驱动器用于使镜面产

生微小弹性变形来补偿镜面由于重力变形、温度梯度产生的变形以及加工安装误差等引起的光学系统的波前误差,主要是径厚比较大的薄镜面;在一些必要的场合,用于主动光学控制的主镜甚至由多块子镜拼合而成^[3]。而在设计和制造之初就致力于增强镜胚比刚度,以力求加工安装过程镜面无应力变形的传统大口径光学零件,在特殊条件下,作为主动光学技术的应用对象,会产生怎样的结果,是本文的主要研究内容。

2 分析及调整结构

作为应用对象的大口径球面反射镜,是长焦距平行光管的主反射镜,该长焦距平行光管光学系统由球

作者简介: 段学霆(1977—),男,博士研究生,工程师,主要从事复杂光学系统装调及先进光学制造等方面的研究。

E-mail: duanxt126@126.com(中国光学学会会员号:39203)

导师简介: 周仁魁(1944—),男,研究员,博士生导师,主要从事光学工程、高速光电探测技术及红外探测技术的应用等方面的研究。E-mail: rkzhou@opt.ac.cn

面主反射镜、折轴反射镜和放大镜组成。其中主反射镜几何参数为： $R=15963\text{ mm}$ ， $D=\phi 640\text{ mm}$ ，中心厚度 $d_1=97\text{ mm}$ ，边缘厚度 $d_2=100\text{ mm}$ ；使用材料为 K9 光学玻璃，其力学性能为：弹性模量 81320 MPa ，泊松比 0.209 。

钢带支撑结构支撑近 10 年后，其面型发生的变化已经无法单纯通过几何量装调得到有效的改善，其面型的激光干涉检测结果为：P-V 值 0.546λ ，RMS 值 0.098λ ($\lambda=632.8\text{ nm}$)，已经远远超出设计允差，无法使用，检测结果如图 1 所示。

由于不可避免地受到重力的影响，在采用原有

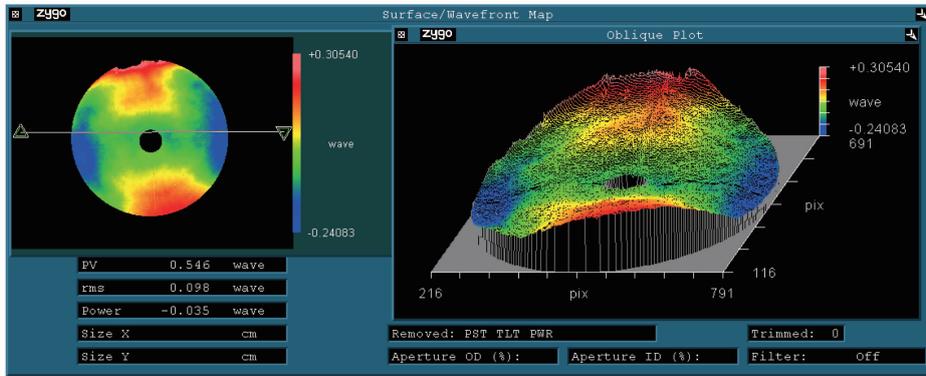


图 1 装调前主反射镜面型检测结果

Fig. 1 Surface test result of the primary mirror before alignment

根据激光干涉检测结果，球面大反射镜的面型主要表现为马鞍形像散特征，分析其形成原因主要是重力和支撑力分布失调，以及环境条件波动等因素对其工作表面形成的力学干扰所致。由大型光学零件重力作用和支撑方式不合理引起的光学零件反射面面型变化^[4]或透射波前畸变^[5]是光学工程中经常遇到的实际问题，但由于工作时间所限，已经不允许对支撑结构进行重新设计和调整，所以决定采用快速的主动调整结构解决这一问题。

主反射镜原有的吊带式承力结构所提供的可能空间，采用对该球面反射镜轴线方向端面定位、背部施加作动力的面型干预方式，背部作动点的选择，与干涉检测结果的马鞍型像散面型相对应，对低点位置背部施加压力，高点位置布置端面定位支撑点。对于作动力大小的调整，采用了可调节力臂大小的重锤杠杆结构，该结构通过加减重锤数量和调节力臂长度改变作用于大球面背面的作动力，该结构布局如图 2 所示，调整结构的基本特点可以归纳为与大镜面马鞍型像散相对应的两点式正交主动装调结构。

根据对有限元模型的分析，结合长焦距平行光管

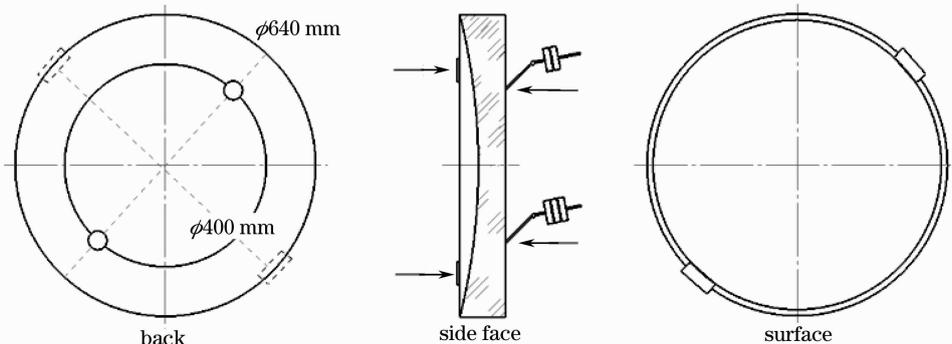


图 2 两点式主动装调结构

Fig. 2 Two point active alignment structure

3 实验结果

在实验中还比较了作动力作用点和端面支撑点选为 3 点对称分布和 2 点对称分布(图 3)时的调节效果差异，发现 2 点对称分布时镜面面型校正效率

较高，通过一到三轮调整即可达到较满意效果，而 3 点分布时由于镜面受力关系变得更为复杂，调整效率较低，这与对事先建立的力学模型进行有限元分析得到的结论是一致的。

用上述2点式正主动装调结构作动机构,结合实时激光干涉检测的反馈信息,这块大口径球面反射镜的面型被校正到P-V值 0.195λ ,RMS值 0.029λ ($\lambda=632.8\text{ nm}$),检测结果如图4所示;包含这块大口径球面反射镜的长焦距平行光管的出射波前误差达

到P-V值 0.363λ ,RMS值 0.057λ ($\lambda=632.8\text{ nm}$),并且该结果在外界平均气温低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的12月份,室内温度人工调节至 $16\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境中,保持了72 h以上,检测结果如图5所示。

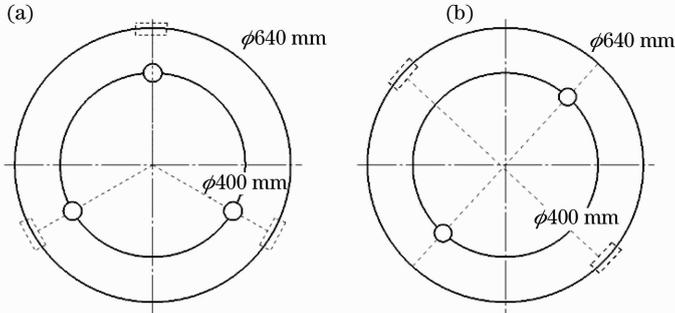


图3 3点式主动装调结构(a)与2点式主动装调结构(b)比较

Fig. 3 Comparison of three point active alignment structure (a) and two point active alignment structure (b)

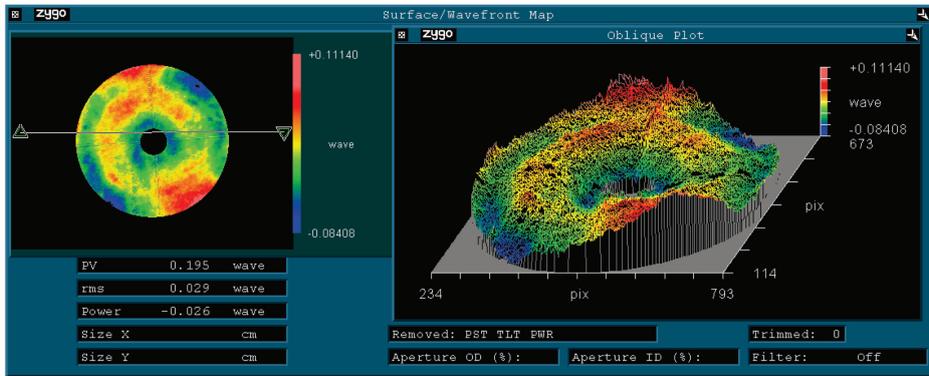


图4 装调后主反射镜面型检测结果

Fig. 4 Surface test result of the primary mirror after alignment

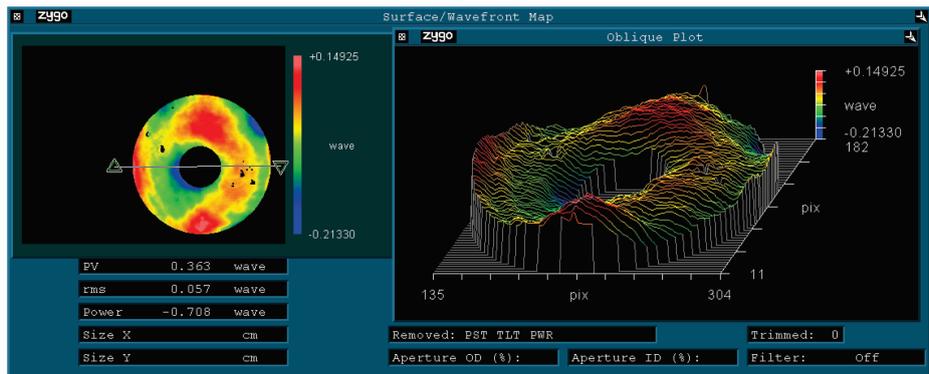


图5 装调后长焦距平行光管系统出射波前检测结果

Fig. 5 Wavefront test result of the long-focal length collimator after alignment

4 结论

在特殊情况下,主动光学技术可以快速应用于径厚比较小、普通光学材质的传统光学零件,用于改善零件面型,这对于大口径光学零件的光学装调和

光学加工都有工程应用价值。

以上主动装调结构存在的不足之处在于:受限于原有支撑结构,重锤提供的作动力只能是压力,无法产生拉力,在一定程度上局限了调整策略,可以预

见,如果条件允许,可按文献[6]专门设计拉压作动器,将会有更好的应用效果。

参 考 文 献

- 1 Luo Yong. Membrane mirror system with active rigid support [J]. *Infrared*, 2006, **27**(8): 39~43
罗 勇. 主动调节刚性支撑薄膜型反射镜系统[J]. 红外, 2006, **27**(8): 39~43
- 2 Wang Fuguo, Yang Hongbo, Li Hongzhuang *et al.*. Application and algorithm research of active optics in thin mirrors [J]. *Infrared Technology*, 2007, **29**(12): 704~707
王富国, 杨洪波, 李宏壮 等. 主动光学技术在薄镜面中的应用及算法研究[J]. 红外技术, 2007, **29**(12): 704~707
- 3 Lin Xudong, Chen Tao, Wang Jianli *et al.*. Active optics figure control of segmented mirror [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2009, **17**(1): 98~103
林旭东, 陈 涛, 王建立 等. 拼接镜的主动光学面形控制[J]. 光学精密工程, 2009, **17**(1): 98~103
- 4 Tan Fanjiao, Qiao Yanfeng, Li Yaobin *et al.*. Finite element analysis for surface shape deformation of photo-electronic theodolite primary mirror[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 756~763
谭凡教, 乔彦峰, 李耀彬 等. 光电经纬仪主镜面型变化的有限元分析[J]. 光学学报, 2008, **28**(4): 756~763
- 5 Liu Zhigang, Zhu Jianqiang. Integrated optomechanical analysis of large octagonal Nd:glass support system [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(3): 307~312
刘志刚, 朱健强. 大口径八边形钕玻璃片支撑系统的光机集成分析[J]. 中国激光, 2007, **34**(3): 307~312
- 6 Yu Yang, Su Peng, Cao Genrui. Application of active optics in large standard mirrors [J]. *Optical Technique*, 2002, **28**(3): 207~209
于 洋, 苏 鹏, 曹根瑞. 主动光学技术在制造标准大反射镜中的应用[J]. 光学技术, 2002, **28**(3): 207~209