

文章编号 1004-924X(2010)01-0029-08

1 200 mm 望远镜开环液晶自适应光学系统设计

陈浩^{1,2}, 宣丽¹, 胡立发¹, 曹召良¹, 穆全全^{1,2}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 为验证液晶自适应光学成像技术校正大气湍流所引起的波前像差的有效性, 提高光学系统的能量利用率, 应用 Zemax 软件设计出了与 1 200 mm 望远镜匹配的开环液晶自适应光学系统。针对开环自适应光学系统探测光路和校正光路自身的特殊要求, 制定了具体的公差原则, 并应用 Zemax 软件进行了公差分析。分析表明, 设计的自适应光学系统具备较宽松的公差条件, 容易加工和装调。评价了该光学系统的成像性能, 结果表明, 设计的自适应光学系统的 MTF 曲线接近衍射极限, 光学传递函数的模在 50 lp/mm 时可达到 0.4, 而成像 CCD 的极限分辨率为 31 lp/mm, 充分地利用了 CCD 相机的分辨资源。该自适应光学系统与 1 200 mm 望远镜对接匹配后的组合焦距为 19.9 m, F 数为 16, PV 值为 0.0314λ 。

关键词: 自适应光学; 光学系统; 望远镜; 离轴抛物面反射镜; 公差; Zemax 软件

中图分类号: TH743; TH703 **文献标识码:** A

Design of open-loop liquid crystal adaptive optical system for 1 200 mm telescope

CHEN Hao^{1,2}, XUAN Li¹, HU Li-fa¹, CAO Zhao-liang¹, MU Quan-quan^{1,2}

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: In order to verify the validity of the liquid crystal adaptive optics imaging technology for the correction of the aberration caused by atmospheric turbulence and to improve the energy utilization of the optical system, Zemax is used to design the liquid crystal adaptive optical system and to evaluate the characteristics of the system. Obtained Modulation Transfer Function (MTF) of the liquid crystal adaptive optical system is very closed to the diffraction limit and the modulus of the MTF is 0.4 at 50 lp/mm. For the specific requirements of detection and correction for a optical path in the open-loop adaptive optical system, the specific tolerance principle is established. According to the tolerance analysis, it is shown that the adaptive optical system has a more relaxed tolerance condition, and it is easier to achieve processing and alignment. The limited resolution of the CCD is 31 lp/mm, which means the resources of CCD has been utilized effectively. After matching a 1 200 mm telescope, the focal length of

收稿日期: 2008-12-03; 修订日期: 2009-01-16.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60736042; No. 60578035; No. 50703039); 吉林省与中科院科技合作资助项目 (No. 2008SYHZ0005)

the whole optical system is 19.9 m, the F number is 16 and the peak-valve(PV) value is 0.0314λ .

Key words: adaptive optics; optical system; telescope; off-axis parabolic reflective mirror; tolerance; Zemax software

1 引言

利用地基大口径望远镜进行天文观测时,大气湍流的动态扰动会使所观测的星像不断抖动,严重地影响天文观测效果。1953年,美国天文学家 Babcock 首次提出应用自适应光学技术来校正由大气湍流的动态扰动所引起的波前像差^[1],以提高天文望远镜的分辨能力。自适应光学系统主要由波前探测器、波前控制器和波前校正器组成,传统的自适应光学系统以变形镜作为波前校正器^[2-3],但其驱动单元少、成本高、加工周期长、并存在迟滞效应等问题,极大地限制了自适应光学技术的进一步发展和更广泛的应用。而液晶波前校正器具有空间分辨率高、价格低廉、加工周期短、体积小、质量轻、工作温度带较宽、无机械运动等优点,应用前景十分广阔^[4-12]。

许多大口径望远镜都匹配了自适应光学系统,以观测目标光非常弱的天体,这就要求整套光学系统具备较高的能量利用率。目前自适应光学系统大多能量利用率较低,光能损失偏大,使得 Hartmann 波前探测器和 CCD 相机所接收的光能量严重不足,极大地影响了自适应光学系统的校正效果。本文力求从两个方面最大限度地提高光学系统的光能利用率,一是应用开环光路形式^[13];二是应用反射式光学元件与透射式光学元件相结合的设计思路进行系统设计。利用在工程设计领域中有着非常广泛应用的 Zemax 软件^[14-18],进行了 1 200 mm 望远镜开环液晶自适应光学系统设计,并实现了该系统与 1 200 mm 望远镜的匹配和对接。

针对本套自适应光学系统自身的特点,制定了相应的公差原则,并应用 Zemax 软件进行了公差分析,分析表明本套自适应光学系统具备较宽松的公差条件,可以较容易地实现加工和装调。

2 液晶自适应光学系统设计

1 200 mm 天文望远镜的光学结构简图如图

1 所示,其主镜和次镜均为双曲面,设计波段为 550~850 nm, F 数为 9.17,出瞳直径为 15 mm,出瞳距离为 9.15 mm。

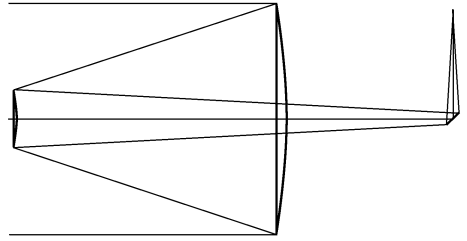


图 1 1 200 mm 望远镜

Fig. 1 1 200 mm telescope

2.1 自适应光学系统的设计参数

根据系统的使用要求,自适应光学系统的设计指标如下:

- (1) 外形尺寸 980 mm×800 mm;
- (2) 成像质量要求轴上和轴外的 MTF 曲线应尽量与衍射极限相重合。自适应光学系统与 1 200 mm 望远镜组合后,整套系统的轴上 MTF 曲线应在衍射极限的 3% 差值以内,轴外 MTF 曲线应在衍射极限的 5% 差值以内;
- (3) 系统的设计公差必须在可控的加工、装调误差范围之内;
- (4) 所设计的光学系统必须与波前校正器、Hartmann 波前探测器、CCD 相机的通光孔径相匹配(自适应光学系统核心器件的通光孔径、像素数、像元尺寸等参数见表 1)。

表 1 自适应光学系统核心器件参数

Fig. 1 Main parameters of adaptive optical system

仪器名称	通光孔径 /mm ²	像素数	像元尺寸 /μm ²
液晶校正器	4.61×4.61	256×256	18×18
Hartmann 探测器	3×3	128×128	23×23
CCD 相机	8.19×8.19	512×512	16×16

(5) 自适应光学系统与 1 200 mm 望远镜对接成像后, CCD 相机的分辨资源应该得到最大程度地利用。

2.2 自适应光学系统设计的几点考虑

(1) 系统的探测波段 1 200 mm 大口径天文望远镜的设计波段为 550~850 nm, 为保证 Hartmann 波前探测器能够探测到足够的光能量, 自适应光学系统的探测光路部分应依据该波段进行设计。

(2) 系统的校正波段 由于液晶校正器中的液晶材料本身具有色散特性^[19], 结合系统设计所用液晶校正器的校正特点, 应在液晶校正器之前放置窄带滤光片, 只对 600~700 nm 的窄波段进行校正成像。同时本设计也适用于利用多个校正器分别对不同子波段进行校正, 然后把多个子波段的像进行合成的宽波段并行校正自适应光学系统。所谓宽波段并行校正自适应光学系统是指应用不同的长波通滤光片对 550~850 nm 的光谱波段进行波段分割, 利用 4 片分色片将该全波段的光谱分成 3 个需要校正的子波段, 并分别入射到 3 个液晶校正器上, 经校正器校正后分别返回并汇聚于一点, 形成一个宽波段的像点, 再经其后的一组双胶合透镜, 最终进入 CCD 相机进行成像。

(3) 基于液晶校正器偏振效应的考虑 由于液晶校正器只能对线偏振光进行有效校正^[20], 因此需要在液晶校正器之前设置偏振片, 把非偏振光转化为偏振光。但是, 放置偏振片将损失 50% 的能量, 为最大限度地利用光能, 本设计采用开环光路形式对损失的 50% 光能量重新加以利用, 以提高系统的能量利用率。

(4) 提高探测光路能量密度 应用大口径望远镜进行天文观测时, 单位受照面积所接受的光通量是一定的, 为保证 Hartmann 波前探测器能够探测到足够的光能量, 在其前面放置一对离轴抛物面反射镜, 以减少光能损失, 而且还可以通过缩束的办法, 提高射入 Hartmann 探测器中的光能密度。

(5) 应用反射式离轴抛物面 反射式离轴抛物面通常用来准直来自点光源的光线, 或者将一束

准直光束会聚于一点, 由于其还具有自动消除色差的优势故在工程领域中应用甚广^[21-25]。本设计采用两对反射式离轴抛物面对光束进行缩束和成像。因此, 所用材料必须性能稳定, 防止因温度等外部因素造成光学元件表面形变, 影响探测和成像质量。本设计中的离轴抛物面孔径偏小, 故而采用 K9 玻璃作为离轴抛物面的制作材料。

2.3 光学系统设计

设计的液晶开环自适应光学系统如图 2 所示。从 1 200 mm 望远镜出射的发散光经双胶合透镜 L_1 准直为平行光, 该平行光入射到倾斜镜上并被其反射, 再经离轴抛物面 1、2 进行缩束, 出射光仍为平行光, 然后经过偏振分光棱镜后变为两路线偏振光, 一路经过离轴抛物面 3、4 缩束后进入 Hartmann 波前探测器进行波前探测; 另一路经双胶合透镜 L_2 、平面反射镜和双胶合透镜 L_3 入射到波前校正器进行波前像差校正, 经过校正后的光波再经双胶合透镜 L_3 、双胶合透镜 L_4 和双胶合透镜 L_5 , 最终进入 CCD 相机进行成像。

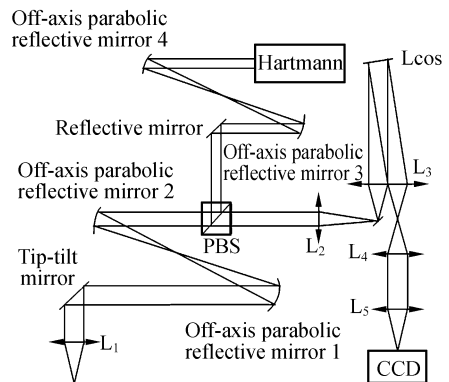


图 2 液晶自适应光学系统光路图

Fig. 2 Optical layout of liquid crystal adaptive optical system

3 自适应光学系统的性能评价

依据上述设计条件, 应用 Zemax 软件对自适应光学系统进行设计和优化, 图 3 为光学系统的 MTF 曲线, 可以看出, MTF 曲线接近衍射极限, 光学传递函数的模在 50 lp/mm 时可以达到 0.4, 而所用 CCD 相机的极限分辨率为 31 lp/mm, 可

知所设计的光学系统最大程度地利用了 CCD 相机的分辨能力。图 4 为系统的能量集中度曲线，在距质心半径 20 μm 处，能量集中度为 90%。

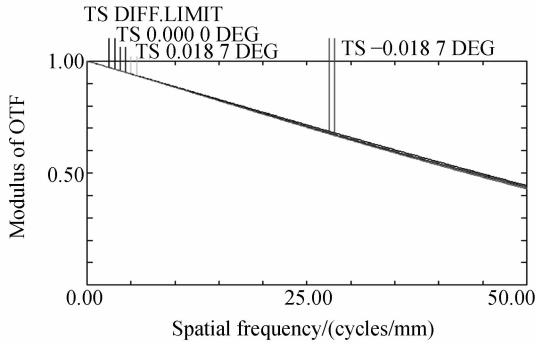


图 3 调制传递函数曲线

Fig. 3 Modulation transfer function curves

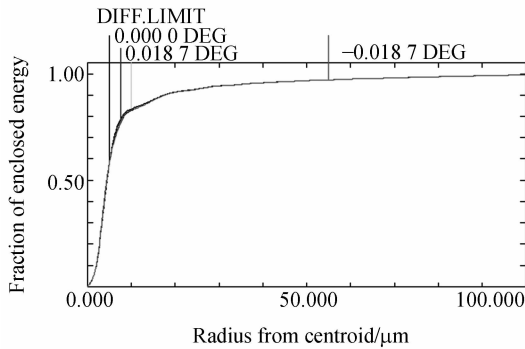


图 4 能量集中度曲线

Fig. 4 Encircled energy

图 5 和图 6 为系统的点列图和光程差曲线，点列图中的 RMS 值是表示大多数点分布范围的参量，三个视场中的 RMS 值分别为 1.613、1.617 和 1.686，点列图的图案均在艾里斑的范围之内，因此可判定成像较理想。从光程差曲线图中可以看出轴外和轴上的一致性很好。



图 5 点列图

Fig. 5 Spot diagram

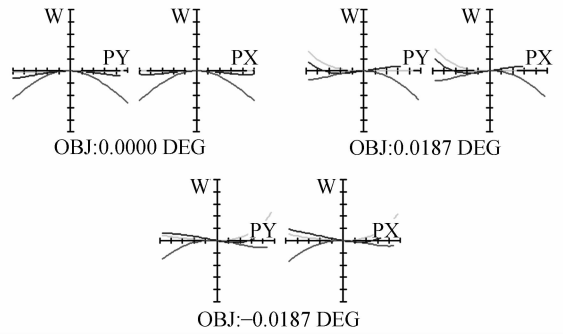


图 6 光程差像差曲线

Fig. 6 Curves of optical path difference aberration

4 自适应光学系统与 1 200 mm 望远镜组合后的整体性能评价

所设计的自适应光学系统需要与 1 200 mm 望远镜进行匹配和对接，图 7 为对接后光学系统的 MTF 曲线，可以看出 MTF 曲线也十分接近衍射极限，光学传递函数的模在 33 lp/mm 时可以达到 0.4，可知对接后的系统仍然最大程度地利用了 CCD 相机的分辨资源。图 8 为系统的能量集中度曲线，在距质心半径 40 μm 处，能量集中度为 90%。

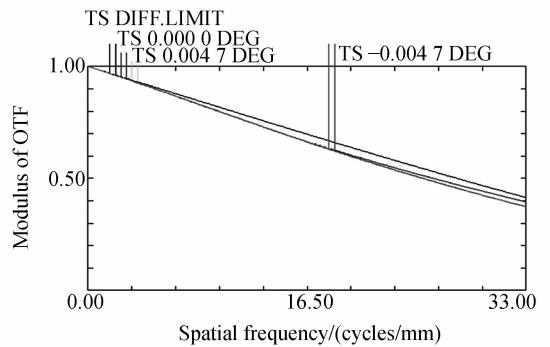


图 7 调制传递函数曲线

Fig. 7 Modulation transfer function curves

图 9 和图 10 为对接后系统的点列图和光程差曲线，可以看出点列图比较理想，光程差曲线中轴外和轴上的一致性仍然很好，光程差曲线限制在 $\pm 0.15\lambda$ 以内，满足设计要求。

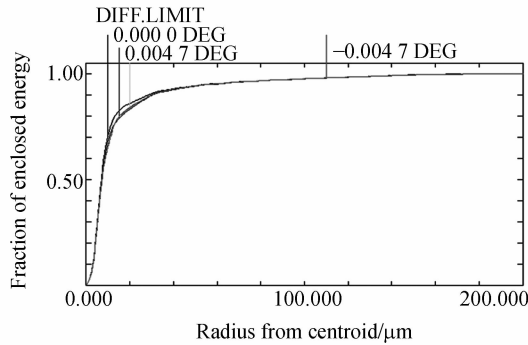


图 8 能量集中度曲线

Fig. 8 Encircled energy



图 9 点列图

Fig. 9 Spot diagram

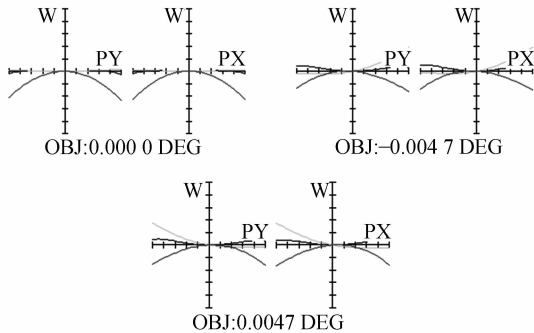


图 10 光程差像差曲线

Fig. 10 Curves of optical path difference aberration

5 自适应光学系统的公差分析

公差的制定在工程设计中十分重要^[26-28]。在自适应光学系统设计过程中,合理地制定出系统的加工和装配公差,不但保证了光学系统的成像质量,而且还能够有效地降低该系统的加工成本。

参考文献:

- [1] BABCOCK H W. The possibility of compensating astronomical seeing [J]. *Publ Astron. Soc. Pac.*, 1953, 65: 229-236.

本文针对本套自适应光学系统的特点,制定了具体的公差原则^[29]。对于校正光路来说,如果某些双胶合透镜的厚度和空气间隔给出正公差,那么另一些则给出负公差。从第一片双胶合透镜算起,如果第一片透镜的厚度给出正公差,那么第二片透镜的厚度就给出负公差,以后交替变化;如果第一个间隔给出负公差,那么第二个间隔就给出正公差,以后交替变化。即双胶合透镜的厚度和空气间隔不能只存在一个方向的公差,公差分配应使校正光路的等效轴向总长度接近其初始设计数据。探测光路虽然应用了反射式离轴抛物面,但其装配公差亦应遵从上述公差分配原则,而所有光学元件曲率半径的加工公差则必须严格加以控制。

应用 Zemax 软件对该套自适应光学系统的公差进行分析,结果表明,透镜曲率半径的加工公差参量为 ± 0.1 mm,透镜厚度的加工公差参量为 ± 0.2 mm,可知本套自适应光学系统具备较宽松的公差条件,可以较容易地实现加工和装调。

6 结 论

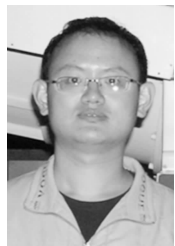
本文提出了一种透射与离轴反射相结合的自适应光学系统设计方案,该系统由两对反射式离轴抛物面和五片双胶合透镜组成,并采用开环光路形式,目的是在天文观测时最大程度地提高光能利用率,减少光能损失。设计出的自适应光学系统焦距为 2.49 m,其 MTF 曲线几乎与衍射极限重合,光学传递函数的模在 50 lp/mm 时可以达到 0.4,成像 CCD 的像元尺寸为 $16 \mu\text{m} \times 16 \mu\text{m}$,充分地利用了 CCD 相机的分辨资源。光程差像差限制在 $\pm 0.15\lambda$ 以内,满足设计要求。通过公差分析可知,该套开环自适应光学系统可以较容易地实现加工和装调,其与 1 200 mm 大口径望远镜对接匹配后的组合焦距为 19.9 m, F 数为 16, PV 值为 $0.031 4\lambda$ 。

- [2] 凌宁,官春林. 变形反射镜的发展[J]. *光电工程*, 1995, 22(1): 14-22.
- LING N, GUAN CH L. The development of deformable mirrors[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 1995, 22(1): 14-22. (in Chinese)

- [3] 李开成, 苑伟政, 乔大勇, 等. 环形阵列微变形镜两种设计准则的分析比较[J]. 光电工程, 2006, 33(12):109-112.
LI K CH, YUAN W ZH, QIAO D Y, *et al.*. Comparison and analysis of two design criteria of ring array micro deformable mirror [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, 33(12):109-112. (in Chinese)
- [4] 胡立发. 用平行向列液晶空间光调制器制作相息图的研究[J]. 液晶与显示, 2005, 20(2):93-98.
HU L F. Kinoform using parallel-aligned nematic liquid crystal spatial light modulator [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2005, 20(2):93-98. (in Chinese)
- [5] HU L F, XUAN L, CAO ZH L, *et al.*. A liquid crystal atmospheric turbulence simulator[J]. *Optics Express*, 2006, 14(25):11911-11918.
- [6] HU L F, XUAN L, LIU Y J, *et al.*. Phase-only liquid-crystal spatial light modulator for wave-front correction with high precision[J]. *Optics Express*, 2004, 12(26):6403-6409.
- [7] LIU Y J, CAO ZH L, LI D Y, *et al.*. Correction for large aberration with phase-only liquid-crystal wavefront corrector [J]. *Optical Engineering*, 2006, 45(12):128001-128005.
- [8] 刘永军, 胡立发, 曹召良, 等. 位相可控液晶空间光调制器的研究[J]. 光子学报, 2005, 34(12):1799-1802.
LIU Y J, HU L F, CAO ZH L, *et al.*. The investigation of controllable phase liquid crystal spatial light modulator[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(12):1799-1802. (in Chinese)
- [9] 刘永军, 胡立发, 曹召良, 等. 一种用于光学成像系统的新型液晶相位调制器[J]. 光学学报, 2006, 26(4):527-530.
LIU Y J, HU L F, CAO ZH L, *et al.*. A novel liquid crystal phase modulator for the optical imaging system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 26(4):527-530. (in Chinese)
- [10] 刘永军, 宣丽, 胡立发, 等. 高精度纯相位液晶空间光调制器的研究[J]. 光学学报, 2005, 25(12):1682-1686.
LIU Y J, XUAN L, HU L F, *et al.*. Investigation on the liquid crystal spatial light modulator with high precision and pure phase[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, 25(12):1682-1686. (in Chinese)
- [11] 刘永军, 宣丽, 胡立发, 等. 平行排列液晶器件的波前调制特性[J]. 光子学报, 2006, 35(1):65-68.
LIU Y J, XUAN L, HU L F, *et al.*. The wavefront modulation characteristics of the parallel aligned liquid crystal device [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(1):65-68. (in Chinese)
- [12] 刘伯晗, 张健, 吴丽莹. 液晶空间光调制器的纯相位调制特性研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(2):213-217.
LIU B H, ZHANG J, WU L Y. Research of the phase-only modulation characterization of a liquid crystal spatial light modulator [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2):213-217. (in Chinese)
- [13] MU Q Q, CAO ZH L, LI D Y, *et al.*. Open-loop correction of horizontal turbulence: system design and result [J]. *Applied Optics*, 2008, 47(23):4297-4301.
- [14] 杨晓飞, 张晓辉, 韩昌元. Zemax 软件在离轴三反射镜系统计算机辅助装调中的应用[J]. 光学精密工程, 2004, 12(3):270-274.
YANG X F, ZHANG X H, HAN CH Y. Application of Zemax software in alignment of three-mirror off-axis aspherical optical system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(3):270-274. (in Chinese)
- [15] 雷广智, 张新, 张建萍, 等. 波前编码系统的新设计[J]. 光学精密工程, 2008, 16(7):1171-1176.
LEI G ZH, ZHANG X, ZHANG J P, *et al.*. Novel optimization method for wavefront coding system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(7):1171-1176. (in Chinese)
- [16] 张雷, 钟兴, 金光, 等. 高分辨率傅里叶变换透镜[J]. 光学精密工程, 2007, 15(9):1317-1321.
ZHANG L, ZHONG X, JIN G, *et al.*. High-resolution Fourier transform lens [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(9):1317-1321. (in Chinese)
- [17] 张建萍, 冯秀恒, 黄康卿, 等. 数字 X 线影像仪的激光扫描光学系统设计[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2):202-207.
ZHANG J P, FENG X H, HUANG L Q, *et al.*. Design of laser scanning optical system for computed radiography [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(2):202-207. (in Chinese)
- [18] 王红, 田铁印. 轴向温差对空间遥感器光学系统成像质量的影响[J]. 光学精密工程, 2007, 15(10):1489-1494.
WANG H, TIAN T Y. Effect of axial temperature difference on imaging quality of space remote sensor optical system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(10):1489-1494. (in Chinese)

- [19] 李大禹,穆全全,胡立发,等.液晶空间光调制器相位调制的色散特性研究[J].光子学报,2007,36(6):1065-1067.
LI D Y, MU Q Q, HU L F, *et al.*. The investigation of phase dispersive characteristics about phase-only liquid crystal spatial light modulator[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, 36(6): 1065-1067. (in Chinese)
- [20] 曹召良,穆全全,胡立发,等.600 mm 望远镜液晶自适应系统成像光路设计[J].光学学报,2008,28(6):1147-1150.
CAO ZH L, MU Q Q, HU L F, *et al.*. Design on liquid crystal adaptive optical system for 600 mm telescope[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(6): 1147-1150. (in Chinese)
- [21] 田海雷,汪岳峰,张伟,等.离轴抛物面反射式红外平行光管设计[J].红外技术,2007,29(12):701-707.
TIAN H L, WANG Y F, ZHANG W, *et al.*. Design of the off-axis parabolic reflective infrared collimator[J]. *Infrared Technology*, 2007, 29(12): 701-707. (in Chinese)
- [22] 赵茗,黄德修,刘小英,等.离轴抛物面反射式平行光管的结构设计[J].华中科技大学学报,2005,33(4):67-69.
ZHAO M, HUANG D X, LIU X Y, *et al.*. Structure design of the off-axis parabolic collimator[J]. *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech.*, 2005, 33(4): 67-69. (in Chinese)
- [23] 顾小超,胡雯雯,黄丽俐,等.一种离轴抛物面准直光管的设计[J].激光与红外,2008,38(5):472-473.
GU X CH, HU W W, HUANG L L, *et al.*. Design of the off-axis parabolic collimator[J]. *Laser & Infrared*, 2008, 38(5): 472-473. (in Chinese)
- [24] 常军,翁志成,姜会林,等.长焦距空间三反光学系统的设计[J].光学精密工程,2001,9(4):315-318.
CHANG J, WENG ZH C, JIANG H L, *et al.*. Design of long focal length space optical system with three reflective mirrors[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(4): 315-318. (in Chinese)
- [25] 常军,翁志成,姜会林,等.宽覆盖、离轴空间相机光学系统的设计[J].光学精密工程,2003,11(1):55-58.
CHANG J, WENG ZH C, JIANG H L, *et al.*. Design of optical system for space camera with long focal length, wide coverage and high resolution[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 11(1): 55-58. (in Chinese)
- [26] 赵贵军,陈长征,万志,等.推扫型 TDI CCD 光学遥感器动态成像研究[J].光学精密工程,2006,14(2):291-296.
ZHAO G J, CHEN CH ZH, WAN ZH, *et al.*. Study on dynamic imaging on push-broom TDI CCD optical remote sensor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2): 291-296. (in Chinese)
- [27] 赵玲玲,胡家升,李祥.非共轴掠入射 X 射线显微镜参数的误差分析[J].光学精密工程,2006,14(1):34-42.
ZHAO L L, HU J SH, LI X. Error analysis on the parameters of non-coaxial grazing X-ray microscope[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(1): 34-42. (in Chinese)
- [28] 沈为民,薛鸣球,余建军.长波红外广角地平仪镜头的光学设计[J].光学精密工程,2002,10(4):329-332.
SHEN W M, XUE M Q, YU J J. Optical design of a wide-angle lens for long-wave infrared earth sensors[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(4): 329-332. (in Chinese)
- [29] SHARMA K D, JHA S. Tolerances on lens parameters: a study[J]. *Applied Optics*, 1984, 23(12): 1917-1920.

作者简介:



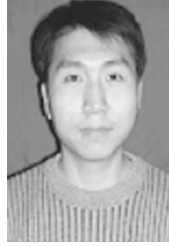
陈浩(1985—),男,吉林长春人,博士研究生,2007年于长春理工大学获学士学位,主要从事大气湍流的液晶自适应光学系统设计及光学系统对天观测方面的研究。E-mail: chha7@126.com



宣丽(1957—),女,江苏常州人,博士研究生,研究员,博士生导师,1983年于吉林大学获学士学位,1986年于中国科学院长春物理研究所获硕士学位,1998年于日本东北大学获工学博士学位,1999年入选中国科学院“百人计划”,主要从事液晶自适应光学、液晶光学器件及液晶高分子化学等方面的研究。E-mail: xuanli@ciomp.ac.cn



胡立发(1974—),男,湖北武汉人,博士,副研究员,1997年,2003年分别于东北大学获得学士、博士学位,主要从事液晶自适应光学研究。E-mail: hulifa@ciomp.ac.cn



穆全全(1980—),男,山西吕梁人,助理研究员,博士研究生,2003年于南开大学获学士学位,主要从事自适应光学系统总体设计和液晶材料及自适应光学核心器件方面的研究。E-mail: muquanquan@ciomp.ac.cn



曹召良(1974—),男,河南济源人,博士,副研究员,1998年于河南师范大学获学士学位,2003年、2008年于长春光学精密机械与物理研究所获得硕士和博士学位,主要从事液晶自适应光学技术理论、光学系统总体设计及液晶光学器件调试方面的研究。E-mail: caozlok@yahoo.com.cn

● 下期预告

FY-3A 紫外臭氧垂直探测仪程控设计与实现

汪龙祺^{1,2},王淑荣¹,李福田¹,阚珊珊¹,刘海波¹,宋克非¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

我国自主研制的星载紫外臭氧垂直探测仪(SBUS)首次投入在轨应用,从根本上改变了我国大气臭氧探测和研究的现状。本文描述了FY-3A气象卫星紫外臭氧垂直探测仪的工作模式,在此基础上对在轨运行的任务进行了分析说明,针对仪器运行参数多、测量模式转换复杂等特点,提出了合理的在轨运行控制方案,详细介绍了其程控设计要点与实现。给出了FY-3A星紫外臭氧垂直探测仪在轨测量的太阳、大气模式紫外辐射遥感数据,结果表明:FY-3A星紫外臭氧垂直探测仪在轨工作正常,测量模式的转换、执行准确,运控参数设置有效,软件功能已全部实现,满足使用要求,其运控方案完备,数据获取有效,仪器在轨工作在最佳的性能状态。