DOI:10.19650/j.cnki.cjsi.2017.05.018

可见光粗跟踪成像镜头光机结构设计*

王 槐,代 霜,范 磊,赵勇志
(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)

摘 要: 为某在研地基光学望远镜设备设计了 300 mm 口径的可见光粗跟踪成像镜头的光机结构。采用弯月形结构优化使主镜重量减少了 41.2%。针对传统胶粘接固定结构的不足提出了采用弹性压紧方式的主镜支撑结构,采用 Patran 有限元仿真软件对不同倾角、不同温度状态下,带支撑的主镜面形精度进行了分析;制定了装调方案,室内采用 Zygo 干涉仪检测带支撑的主镜面形精度检测结果为 0.04λ(RMS),可见光波长 λ 的设计参考值为 0.633 μm,长焦端和短焦端的系统波像差均为 0.132λ(RMS);室内采用平行光管进行星点检验、分辨率检验和外场对北极星成像试验结果显示,系统成像质量满足设备要求;验证了主镜支撑结构和镜头光机结构设计的合理性,为研制同类型镜头的光机结构提供了设计依据和技术途径。

关键词: 可见光镜头;成像;主镜支撑;光机结构
中图分类号: TH753.3 TH761.7 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

Opto-mechanical structure design of visible light rough tracking and imaging lens

Wang Huai, Dai Shuang, Fan Lei, Zhao Yongzhi
(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: The opto-mechanical structue of 300mm aperture visible light rough tracking and imaging lens was designed for a certain developing ground base optical telescope. The concave mirror structure contouring the rear surface was optimized and the primary mirror weight was reduced by 41.2%. Aiming at the deficiencies of the conventional cementing structure, the new primary mirror supporting structure with elastic compression was adopted. The Patran finite element method (FEM) simulation software was adopted to analyze the accuracy of the primary mirror surface figure with supporting structure at different tilt angle positions and different temperatures. The installation and test scheme was designed, Zygo interferometer was used to test the accuracy of the primary mirror surface figure with supporting structure indoor; and the test result of the surface figure is 0.04λ (RMS), the design reference value of the visible light wave length λ is 0.633 nm and the wavefront aberrations of the optical system both for long-focus lens and short-focus lens are 0.132λ (RMS). The test results of the indoor collimator star test, resolution test and outdoor polaris imaging test indicate that the system imaging quality meets the telescope requirement. The results verify the reasonability of the new primary mirror supporting structure and lens opto-mechanical structure design, which provides the design basis and technical path for developing the opto-mechanical structure of similar lenses.

Keywords: visible lens; imaging; primary mirror supporting; opto-mechanical structure

1 引 言

大口径光学望远镜在地基光电测量设备中发挥着重要的作用,其主口径一般为 1 ~ 10 m,由于主光学系统的视场较小,一般为十几至几十角分,因此设备上常配备有 300 mm 以下口径可见光波段的镜头,视场一般在 1°以上,用于对不同背景下空中目标实现快速捕获以及监视[1-3]。为实现结构紧凑,这类镜头一般采用反射镜作为主镜,支撑方式常采用被动支撑结构[6-8]。为减轻设备重

收稿日期: 2016-09 Received Date: 2016-09
* 基金项目: 国家自然科学基金(11403023)项目资助

量,在保持足够刚性的同时常对主镜进行轻量化设计,并尽可能采用简洁的机械结构,因此对镜面的支撑结构设计提出了更高的要求。

传统的可见光粗跟踪镜头仅实现对目标的捕获,系统精度要求不高,而某在研光学望远镜项目还有对目标成像的需求,因此需要更合理的光机结构设计[9-10]来保证镜头的光学系统达到较高的成像质量。本文对300 mm口径的可见光粗跟踪成像镜头的光机结构设计进行了较为详细的论述; 针对传统主镜粘胶固定的支撑方法存在的粘接强度不均匀、对温度变化敏感等问题,提出了改进的支撑结构; 在室内采用平行光管进行星点检验和分辨率检验,并在外场进行了对北极星的成像试验。

2　光机设计

2.1　光学设计

300 mm 可见光粗跟踪成像镜头的采用一次成像折反结构,在校正像差的同时尽可能提高光学效率,如图 1 所示。光束经过主、次镜,由调焦镜组准直和消像差后出射平行光,并采用滤光片提高不同天空背景下的信噪比,然后通过切换长焦和短焦的变倍镜组实现两档焦距和视场的改变。镜头的主要光学设计参数如表 1所示。

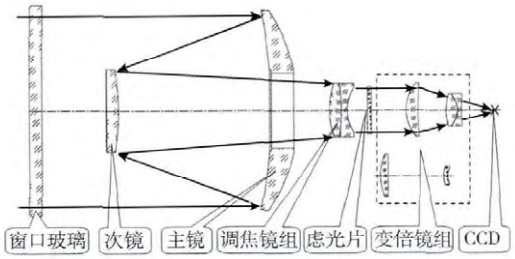


图 1　光学系统方案

Fig. 1　Optical system scheme

表 1　主要光学设计参数

Table 1　Major optical design parameters of the lens

光学参数名称	设计值
通光口径/mm	300
焦距/mm	600(短焦) /1 200(长焦)
视场角/(°)	1.1(短焦) //0.55(长焦)
工作波段/nm	500 ~ 850
分辨率/(lp·mm^{-1})	60(短焦和长焦)

其中,主镜反射面为双曲面形式的非球面,其表达式为:

$$s(r) = \frac{Cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)C^2r^2}} \tag{1}$$

$$C = 1/R \tag{2}$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \tag{3}$$

式中: C 为表面曲率; R 为基圆的曲率半径,$R = -750$ mm; r 为极坐标; k 为二次曲面系数,$k = -1.251\ 6$。主镜其他相关设计参数为如表 2 所示。

表 2　主镜相关设计参数

Table 2　Related design parameters of the primary mirror

(mm)

参数名称	参数值
外径	305
内径	114
厚度	49.4
后表面半径	283

主镜背部通过加工成弯月形结构实现轻量化设计,有利于降低在镜筒不同仰角情况下主镜自重对面形精度产生的影响。主镜背部弯月形结构优化设计的相关内容限于篇幅,将由后续文章论述,在此仅列出主要参数的计算公式[11]。优化结果相对背面为平面的镜体重量减少了 41.2%。

$$R_2 = R_1 + t_A \tag{4}$$

$$S_1 = R_1 - [R_1^2 - (D_G/2)^2]^{1/2} \tag{5}$$

$$S_2 = R_2 - [R_2^2 - (D_G/2)^2]^{1/2} \tag{6}$$

$$t_{E1} = t_A + S_1 \tag{7}$$

$$t_{E2} = t_A + S_1 - S_2 \tag{8}$$

$$V_B = \pi R_2^2 t_{E1} - (\pi/3)(S_1^2)(3R_1 - S_1) \tag{9}$$

$$V_M = V_B - \pi(D_G/2)^2 S_2 + (\pi/3)(S_2^2)(3R_2 - S_2) \tag{10}$$

式中: R_1 为前表面曲率半径,R_2 为后表面曲率半径。D_G、t_A、t_{E1}、t_{E2}、S_1、S_2 为外形相关几何参数,具体如图 2 所示。V_M 为背部弯月形减重后的体积; V_B 为背部弯月形减重前的体积。

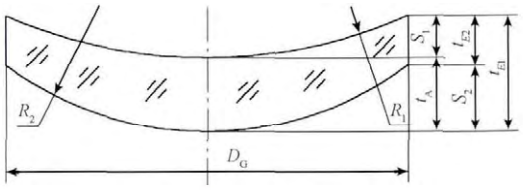
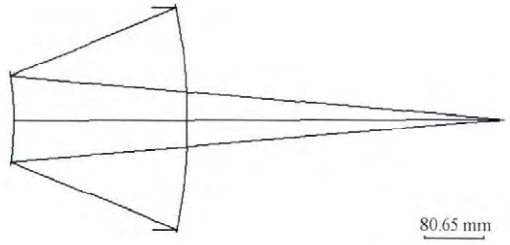


图 2　背部弯月形反射镜的减重计算参数

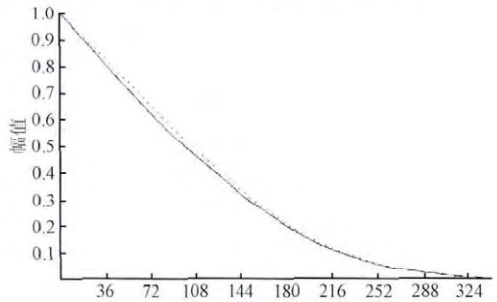
Fig. 2　Parameter calculation of the concave mirror with weight reduced by contouring the rear surface

影响系统最终成像质量的主要因素是主、次镜构成的二次反射光学结构,焦距 1 743 mm,如图 3 (a) 所示。

主、次镜光学加工后期的精磨阶段也是两者配合进行，而且系统装调阶段的关键步骤也是对主、次镜的装调。因此分析光轴上点的成像质量接近衍射极限，其传递函数如图 3(b) 所示。



(a) 二次反射光学结构
(a) Two-reflection optical structure



(b) 光轴上点的传递函数
(b) Transfer function of the point on the optic axis

图 3 主、次镜系统的光学设计分析

Fig. 3 Optical design and analysis of the primary mirror and secondary mirror system

2.2 光机结构设计

系统光机结构主要包括镜筒组件(含主次镜) 、调焦机构、滤光机构、变倍机构和 CCD 调整机构 5 个部分，如图 4 所示。镜筒组件为主、次镜的支撑结构、窗口玻璃等提供机械接口，保持光学间距; 调焦机构使调焦镜组能够补偿由于环境温度和物距变化产生的离焦; 滤光机构通过切换多档滤光轮提高系统在不同天空背景下的信噪比: 变倍机构根据目标的远近采用短焦(大视场) 和长焦(小视场) 切换实现对天空目标的快熟捕获和清晰成像; CCD 调整机构为成像器件提供调整平台。

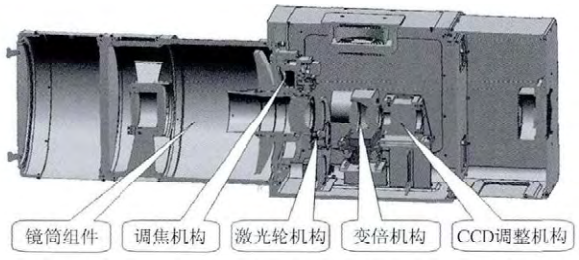


图 4 300 mm 可见光粗跟踪成像镜头光机结构方案

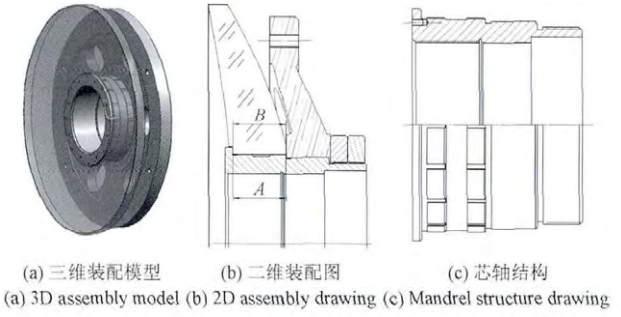
Fig. 4 Opto-mechanical structural scheme of 300 mm visible light coarse tracking and imaging lens

3 主镜支撑结构设计

由于系统在室外对天空不同位置目标进行观测，因此整套系统的重点在于在不同温度以及不同仰角情况下，主镜的支撑结构设计能否保证主镜面形精度。

3.1 方案设计

传统的小口径反射镜安装常采用胶粘主镜-芯轴结构，如图 5(a) 和(b) 所示。在芯轴上与反射镜对应的配合位置设计有柱面粘接环带，并且加工出圆周均布的倒胶槽，如图 5(c) 所示，用于流胶和干胶。粘胶位置包括芯轴的柱面与反射镜的内孔。芯轴第一轴肩与前段法兰的间距尺寸 A 比反射镜上对应的内孔尺寸 B 长 0.3 mm，当后端用 2 个锁紧螺母将背板固定在芯轴第一轴肩上时，反射镜仍可绕芯轴旋转，防止芯轴前端起保护作用的法兰对镜面施加压力引起镜面变形。



(a) 三维装配模型 (b) 二维装配图 (c) 芯轴结构
(a) 3D assembly model (b) 2D assembly drawing (c) Mandrel structure drawing

图 5 传统的小口径反射镜支撑结构

Fig. 5 Traditional small aperture concave reflection mirror supporting structure

由于该结构完全靠胶来限制反射镜的 6 个自由度，粘胶过程为人工操作，芯轴与反射镜内孔柱面配合间隙很小，一般为几十微米，很容易存在粘接强度不均匀、对温度变化敏感等问题，而且胶不可避免的会流到反射镜后表面的环带与背板之间，两者热膨胀系数的差异会导致镜面面形随温度变化而明显变差。一旦粘接失败需要很长时间脱胶及重新粘胶，严重影响项目研制周期。

因此设计了弹性压紧方式的改进结构，如图 6(a) 和(b) 所示，包括带有高精度环带的芯轴、3 个扇形压板、3 块硅橡胶垫、双侧带有扇形凸台的垫环、背板和两个锁紧螺母。高精度环带的剖面为圆弧形，如图 6(c) 标记 R 位置所示，反射镜可以绕环带进行二维摆动、轴向移动以及切向旋转。靠近反射镜前面的 3 块扇形压板环带上粘有软质硅橡胶垫，通过硅橡胶垫产生的预变形，与靠近反射镜背面的主镜垫环上的 3 段扇形环带共同施加压紧力和静摩擦力，约束反射镜的二维摆动、轴向移动以及切向旋

转。通过限制反射镜的 6 个自由度实现对其的精确定位,保证反射镜在不同俯仰角度下的面形不受影响,并且在运输工况下能够耐受轻微的冲击振动。

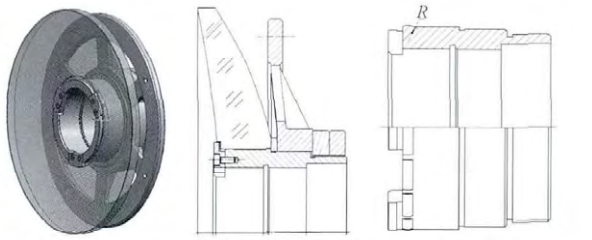


图 6　改进的小口径反射镜支撑结构

Fig. 6　Improved small aperture concave reflection mirror supporting structure

压板、芯轴以及垫环材料采用定制的 4J32 殷钢,其热膨胀系数为 $0.07\times10^{-6}/℃$,反射镜采用的微晶材料热膨胀系数为 $0.1\times10^{-6}/℃$,两者较为接近,通过设计合理的径向配合间隙,能够保证在较宽的温度变化范围内,芯轴的膨胀收缩不影响反射镜的面形精度。

3.2　仿真分析

采用 UG 软件对包含主镜的支撑结构建模,并采用 Patran 软件对不同位置、不同温度下带支撑的主镜面形进行仿真,有限元模型如图 7 所示。

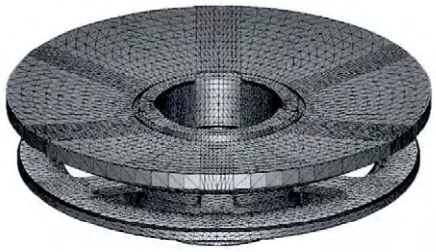


图 7　主镜支撑结构的有限元模型

Fig. 7　Finite-element model of the primary mirror supporting structure

首先对 20℃ 条件下,0°、45°和 90°状态下的主镜支撑结构进行仿真,镜面变形云图分别如图 8(a) ~(c)所示,经过对数据的后处理得到对应的面形精度均方根(root mean square, RMS)值分别为 2.53、3.26、3.86 nm,均远小于可见光波长的参考设计值 0.63 μm,能够满足设备的使用要求。其中,0°时面形精度较高,因为此时支撑力沿主镜刚度较好的径向施加,而 90°是面形精度较低,因为此时支撑力沿主镜刚度较差的轴向施加。

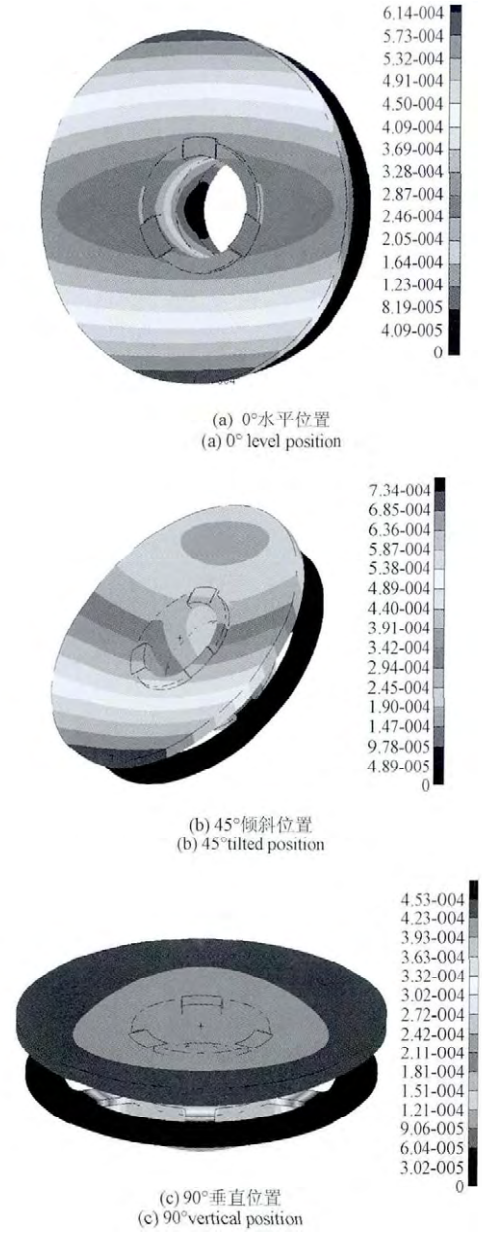


图 8　不同角度位置的主镜镜面变形云图(20℃)

Fig. 8　Primary mirror deforming contour at different angle positions (20℃)

然后对 −35 ~ +65℃ 下,45°倾斜位置的主镜支撑结构进行仿真,镜面面形精度结果如表 3 所示。可见,在 15℃ 时镜面面形精度较好,因为这与主镜在室内的装调温度 18℃ 较为接近,而以 15℃ 为中心,升温和降温对镜面的面形影响近似对称,也说明支撑结构中芯轴随温度的变化不会对主镜的面形精度影响较小。

表 3 在不同温度下的主镜镜面面形精度(45°位置)

Table 3 Primary mirror surface figure accuracy at different temperatures (45° titled position)

温度/℃	面形精度 RMS/nm
65	5.52
55	4.41
45	3.31
35	2.21
25	1.10
15	2.48×10^{-7}
5	1.10
-5	2.21
-15	3.31
-25	4.41
-35	5.52

最后,模拟室外观测北极星的状态,倾角 43°,温度 -20℃下的仿真结果,镜面变形云图如图 9 所示,经过对数据的后处理得到对应的面形精度 RMS 值为 6.71 nm,远小于可见光波长的参考设计值 0.63 μm,能够满足设备的使用要求。

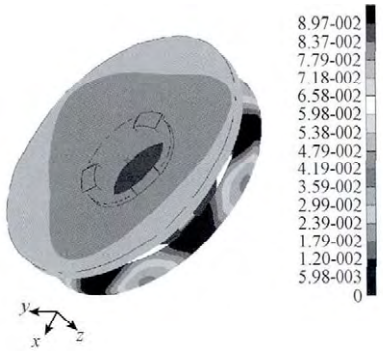


图 9 43°倾斜位置 -20℃条件下的变形云图

Fig. 9 Primary mirror deforming contour at 43° tilted position and -20℃ condition

4 装调方案和检测结果

4.1 装调方案

镜头光学元件和机械零件加工完成后,需要制定合理的装调方案和严格合理的检测方法,通过在室内和室外检定光学系统的成像质量等各项指标[12-15]。针对本文设计的系统制订了装调方案:

1) 装配主镜支撑结构,并通过选用适当的硅橡胶垫改变压板对反射镜中心孔前台阶环带的压紧力,采用 Zygo 干涉仪、补偿器检测带支撑主镜面形,如图 10 所示;

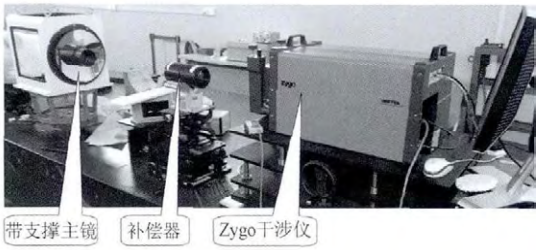


图 10 带支撑主镜面形检测方案

Fig. 10 Surface figure accuracy test scheme of the primary mirror with supporting structure

2) 将主镜调转 180°方向,安装次镜,在出光方向放置标准平面镜,在主、次镜系统的主点位置放置干涉仪检测主次镜波像差,并调整次镜支撑机构,如图 11 所示;

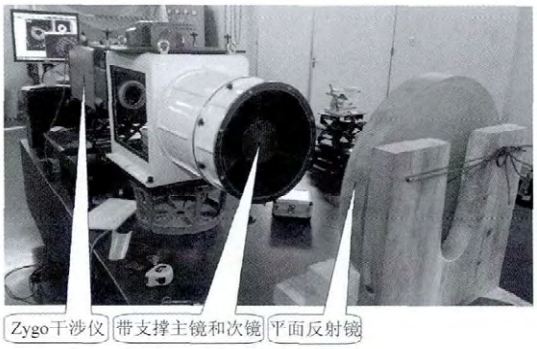


图 11 主、次镜联合波像差检测方案

Fig. 11 Wavefront aberration test scheme of the primary mirror combining with secondary mirror

3) 安装并调整调焦机构,保证调焦机构机械轴线与主光轴同轴;

4) 安装变倍机构,调整长焦和短焦镜座,采用平面镜和干涉仪检测系统波像差;

5) 安装 CCD 及计算机终端,将系统放置在平行光管前端,通过 CCD 对星点和鉴别率板的成像判定系统成像质量和分辨率是否满足要求,如图 12 所示;



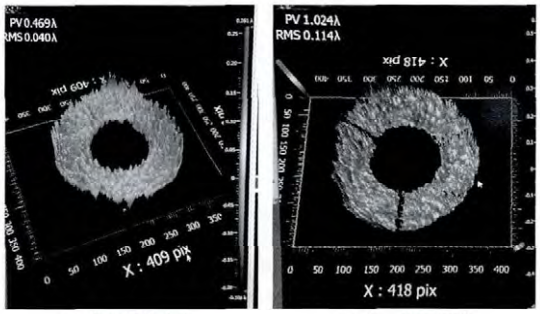
图 12 系统星点和分辨率检测方案

Fig. 12 System star test and resolution test scheme

6) 在室外与望远镜设备装配,然后进行对北极星成像检测。

4.2　室内检测结果

在室内温度 20℃条件下,采用 Zygo 干涉仪检测带支撑结构的主镜面形精度,如图 13(a) 所示,结果为 0.04λ(RMS) ,接近主镜加工的面形精度 0.033λ(RMS) ,可见光波长 λ 的设计参考值为 0.633 μm,说明主镜支撑结构设计较合理。装调次镜后检测主、次镜联合波像差为 0.114λ(RMS) ,如图 13(b) 所示。



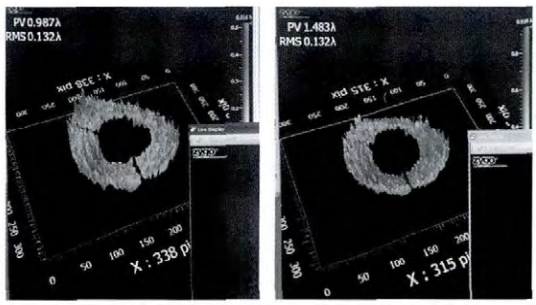
(a) 带支撑的主镜
(a) Primary mirror with supporting structure

(b) 主、次镜联合
(b) Primary mirror combining with secondary mirror

图 13　主、次镜波像差的检测结果

Fig. 13　Wavefront aberration test results of primary mirror and second mirror

当调焦机构、滤光机构和变倍机构装调完毕后,检测长、短焦端光学系统的波像差均为 0.132λ(RMS) ,分别如图 14 所示。



(a) 长焦系统
(a) System with long-focus lens

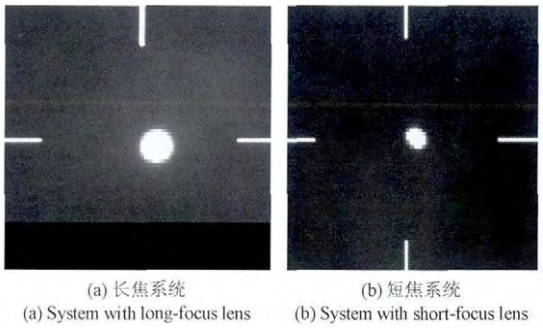
(b) 短焦系统
(b) System with short-focus lens

图 14　长、短焦端光学系统波像差检测结果

Fig. 14　Wavefront aberration test results of the optical system with long-focus lens and short-focus lens

将镜头在室内对准平行光管进行星点检测,长焦端和短焦端结果分别如图 15 所示,可见长焦端星点像较圆,短焦端星点像略差,但可接受。

镜头在室内平行光管上进行的分辨率检测,长焦端和短焦端结果分别如图 16 所示,通过折算,能够满足长焦和短焦端 60 lp/mm 的设计要求。

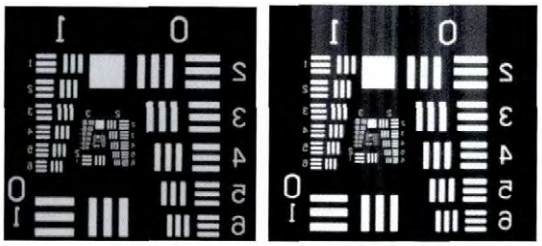


(a) 长焦系统
(a) System with long-focus lens

(b) 短焦系统
(b) System with short-focus lens

图 15　镜头在室内对平行光管星点检测结果

Fig. 15　Indoor collimator star test results of the lens



(a) 长焦系统
(a) System with long-focus lens

(b) 短焦系统
(b) System with short-focus lens

图 16　镜头在室内对平行光管分辨率检测结果

Fig. 16　Indoor collimator resolution test results of the lens

4.3　外场试验结果

系统完成室内检测后,运抵外场与望远镜机架装配,如图 17 所示。在倾角 43°,环境温度为 -20℃的状态下进行对北极星的成像检测,长焦端和短焦端的检测结果分别如图 18 所示,成像较为清晰,像点圆度较为比较理想,说明改进结构能够满足设备的设计要求。

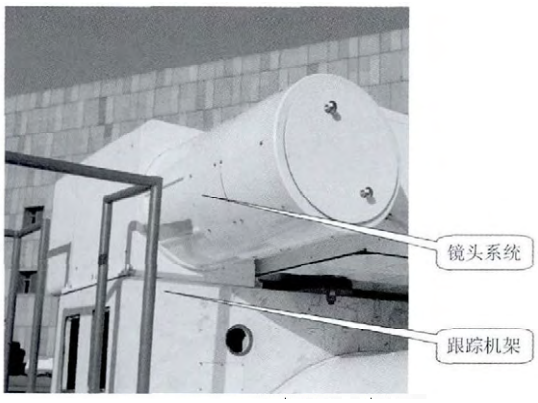


图 17　外场装机试验

Fig. 17　Outdoor installation test

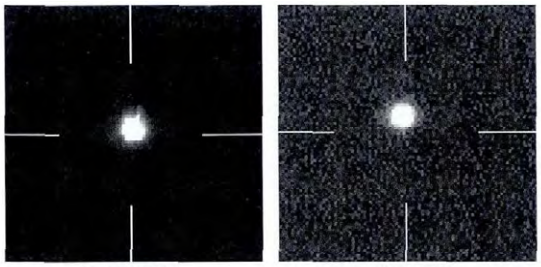


图 18 镜头在外场对北极星成像检测结果

Fig. 18 Outdoor polaris imaging test results of the lens

5 结 论

本文为某在研地基光学望远镜设备设计了 300 mm 可见光粗跟踪成像镜头的光机结构。采用弯月形结构优化使主镜重量减少了 41.2%。针对传统粘接芯轴的支撑结构容易存在粘接强度不均匀、对温度变化敏感等问题,提出了采用弹性压紧方式的主镜支撑结构。

采用 Patran 有限元仿真软件对不同倾角、不同温度状态下,带支撑的主镜面形精度进行了分析;制定了装调方案,采用 Zygo 干涉仪检测带支撑的主镜面形精度为 0.04λ(RMS),可见光波长 λ 的设计参考值为 0.633 nm,长焦端和短焦端的系统波像差均为 0.132λ(RMS);室内对平行光管星点检验、分辨率检验和外场对北极星成像试验结果显示,系统成像质量较理想,工作稳定可靠,满足系统的使用要求。

通过软件仿真、室内像质检测和外场对恒星成像的检测,验证了主镜支撑结构和系统光机结构设计的合理性。为研制同类型镜头的光机结构提供了设计参考。

参考文献

[1] BIDA T A, DUNHAM E W, et al. First-generation instrumentation for the discovery channel telescope [C]. SPIE, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy V, 2014, 9147: 2N1-2N11.

[2] ALLER-CARPENTIER E, MARCHETTI E, DORN R, et al. A software based de-rotation algorithm concept for the new adaptive optics module (NAOMI) for the auxiliary telescopes of the VLTI [C]. SPIE, Adaptive Optics Systems IV, 2014, 9148: 4A1-4A12.

[3] BARNSLEY R M, STEELE I A, BATES S D, et al. An update on the development of IOI a NIR imager for the Liverpool telescope [C]. SPIE, Software and Cyberinfrastructure for Astronomy Ⅲ, 2014, 9152: 2L1-2L10.

[4] GLADYSZ S, GALLÉ R B, JOHNSON R L, et al. Image reconstruction of extended objects: Demonstration with the starfire optical range 3.5 m telescope [C]. SPIE, Optics in Atmospheric Propagation and Adaptive Systems XV, 2012, 8535: 0M1-0M13.

[5] GUZMÁN D, ANGELONI R, PUZIA T, et al. BOMBOLO: A 3-arms optical imager for SOAR observatory [C]. SPIE, Ground-based and Airbone Instrumentation for Astronomy V, 2014, 9147: 5V1-5V10.

[6] 潘越,徐熙平,乔杨. 8 ~ 12 μm 红外动态热像模拟器光机结构设计 [J]. 仪器仪表学报,2015,36(8):1853-1860.
PAN Y, XU X P, QAIO Y. Opto-mechanical structural design for 8 ~ 12 μm infrared dynamic thermal image simulator [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(8): 1853-1860.

[7] 邵帅. 多波段共口径红外系统光机热一体化设计 [J]. 仪器仪表学报,2013, 34(2): 387-393.
SHAO SH. Integrated design of optical-mechanism and heat for shared aperture infrared system with multi-spectrum band [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(2): 387-393.

[8] 曹立华,韩光照,万春明,等. 飞行目标实况记录系统光机结构设计 [J]. 仪器仪表学报,2012, 33(8): 1897-1901.
CAO L H, HAN G ZH, WAN CH M, et al. Opto-mechanical structural design of flying object live recording system [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(8): 1897-1901.

[9] 于向阳. 双视场多通道成像仪的光机结构 [J]. 光学精密工程,2015,23(10): 2870-2876.
YU X Y. Opto-mechanical structure of imager with two field of views and multiple channels [J]. Optics Precision Engineering, 2015, 23(10): 2870-2876.

[10] 辛宏伟,刘巨,刘磊,等. 小型光学遥感器主镜室的光机结构 [J]. 光学 精密工程,2015,23(4): 1027-1033.
XIN H W, LIU J, LIU L, et al. Support structure of primary mirror for small optical remote sensor [J]. Optics Precision Engineering, 2015, 2323(4): 1027-1033.

[11] YODER P R. Mounting optics in optical instruments [M]. Bellingham: SPIE Press, 2002.

[12] 彭太乐,张文俊,汪友宝,等. 基于多特征的视频镜头检测方法 [J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(9): 2013-2020.
PENG T L, ZHANG W J, WANG Y B, et al. Video shot boundary detection algorithm based on multi-features [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(9): 2013-2020.

[13] 熊文卓,孙明超. 采用最小二乘法提高变焦距镜头的焦

距值输出精度 [J]. 仪器仪表学报,2014,35(增刊 1):151-154.
XIONG W ZH, SUN M CH. Improving focal output accuracy of zoom lens through least square method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(Suppl. 1):151-154.

[14] 艾华. 航空变焦可见光镜头结构设计与检测 [J]. 仪器仪表学报,2014,35(增刊 1):107-110.
AI H. Structure design and test of aviation zoom visible lens [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2014, 35(Suppl. 1):107-110.

[15] 刘阳,刘巍,徐鹏涛,等. 基于纯平移两视图几何的镜头畸变参数标定 [J]. 光学 精密工程,2016,24(4):922-929.
LIU Y, LIU W, XU P T, et al. Calibration of lens distortion parameters based on two view geometry of translation motion [J]. Optics Precision Engineering, 2016,24(4): 922-929.

作者简介



王槐,2003 年于大连理工大学获得学士学位,2009 年于长春光机所获得博士学位(硕博连读),现为长春光机所副研究员,主要研究方向为大型光电望远镜光机结构设计。
E-mail: playsnail@sina.com

Wang Huai received his B. Sc. degree from Dalian University of Technology in 2003, and Ph. D. degree from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences in 2009 (joint master and doctor program). Now, he is an associate research fellow in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics. His main research interest is opto-mechanical structure design of large electro-optical telescope.



代霜,2003 年于东北师范大学获得学士学位,2006 年于长春光机所获得硕士学位,现为长春光机所副研究员,主要研究方向为嵌入式系统设计。
E-mail: dai-dai123@163.com

Dai Shuang received her B. Sc. degree from Northeast Normal University in 2003, and M. Sc. degree from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS in 2006. Now, she is an associate research fellow in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS. Her main research interest is embedded system design.



范磊,2008 年于吉林大学获得学士学位,2013 年于长春光机所获得博士学位(硕博连读),现为长春光机所助理研究员,主要研究方向为大型光电望远镜光机结构设计和仿真分析。
E-mail: fanlei1995@sina.com

Fan Lei received his B. Sc. degree from Jilin University in 2008, and Ph. D. degree from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences in 2013 (joint master and doctor program). Now he is an assistant researcher in Changchun Institute of Optics Physics, CAS. His main research interest include the opto-mechanical structure design and simulation analysis research of large electro-optical telescope.



赵勇志,分别在 2001 年和 2005 年于吉林大学获得学士学位和硕士学位,2012 年于长春光机所获得博士学位,现为长春光机所副研究员,主要研究方向为大型光电望远镜结构设计。
E-mail: zyz0715@sohu.com

Zhao Yongzhi received his B. Sc. and M. Sc. degrees both from Jilin University in 2001 and 2005, respectively, and received his Ph. D. degree from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS in 2012. Now he is an associate research fellow in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS. His main research interest include the structure design of large electro-optical telescope.