

大口径望远镜主镜中心定位机构研究

杨 飞 张景旭

(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 通过对大口径光电望远镜中主镜中心定位机构的研究分析,设计了一种胀紧圈球头形式的中心定位机构,指出了其优缺点和在望远镜中适合应用的口径大小以及工况要求。定位机构在望远镜主镜支撑结构中,实现了主镜在垂直于光轴方向的平面内的有效定位,并且与主镜底支撑和侧支撑联合作用,承担部分主镜的载荷,保证了主镜的面形精度。同时,定位机构还具备温度适应特性,满足实际应用过程中的环境温度要求。研究结果成功地应用到 300~1230 mm 口径的主镜支撑结构中,取得了预期的效果。

关键词 光学设计;光机结构;主镜支撑;中心定位机构;大口径望远镜

中图分类号 TH751 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.032202

Central Hub Radial Support of Primary Mirror in Large Aperture Telescope

Yang Fei Zhang Jingxu

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

Abstract The central hub radial support structure of primary mirror in large aperture telescope is analyzed. A kind of central hub with an expanding ball has been designed, and its capability in different aperture mirror and situation is demonstrated. It has been used in mirror support structure, and can efficiently restrict two displacement degrees in the plane perpendicularly to the optical axis. At the same time, it cooperates with the axial and radial support of primary mirror, which can bear partial weight of primary mirror and guarantee the deformation accuracy of optical surface. The central hub structure can also accommodate different temperatures of environment. The results are successfully applied in some primary mirrors from aperture 300 to 1230 mm.

Key words optical design; optomechanical structure; primary mirror support structure; central hub structure; large-aperture telescope

OCIS codes 220.4880; 120.4610; 120.1680; 230.4040

1 引言

在大口径望远镜的光机结构设计中,主镜作为光学系统的基础,支撑结构必须保证其位置的相对较高的稳定性,并且在望远镜不同工况下,主镜的面形精度需满足系统指标要求^[1]。这就给望远镜的主镜支撑结构提出了严格的要求。对于一般小口径的望远镜,比如口径在 300 mm 以下的望远镜系统,传统镜面的径厚比为 6~8,但是随着望远镜口径的不断增大,主镜的重量也随之增加,其重量与主镜直径的平方和主镜厚度成正比,约束主镜的难度也随之加大。对于边缘制成圆盘形的主镜,文献[2]研究了其直径、厚度与自重变形的关系,由经验公式可知,主镜在重力的作用下会产生变形,对于形状相同、支撑条件相同的主镜,主镜变形量与主镜直径的四次方成正比,与其厚度的平方成反比。所以在主镜口径增大的同时,主镜的变形也成为一个必须面对和解决的问题。主镜的支撑结构有多种形式,其目的就是在对主镜起稳定支撑的前提下,安全可靠地保证主镜的面形精度,以满足光机系统对主镜的要求。在地基大口径望远镜中,主镜会随着望远镜系统的

收稿日期: 2010-06-09; **收到修改稿日期**: 2010-12-03

基金项目: 中国科学院三期创新基金资助课题。

作者简介: 杨 飞(1982—),男,硕士,助理研究员,主要从事地基大口径光电望远镜光机系统方面的研究。

E-mail: yangflying@163.com

要求而指向不同的俯仰角,在这过程中主镜的自重^[3,4]、望远镜系统运行的速度和加速度、环境震动^[5]和温度^[6]等因素,都会对主镜的面形精度和位置精度造成影响。

本文主要讨论的是在重力场下保证主镜的位置精度所采取的中心定位机构。作为主镜的中心定位机构应具备有效定位,适当承载,方便装调等功能特性。

2 中心定位机构设计与分析

作为主镜支撑结构的一部分,主镜中心定位机构将对主镜在垂直光轴方向的平面内(即 X-Y 平面内)的两个平移自由度进行有效约束^[7],并在主镜光轴指向不同位置、环境温度变化时对主镜面形精度的保持起到一定的作用。如图 1 所示。为了满足系统装调需要,主镜还需能满足绕 X 轴和 Y 轴做倾斜角度的调整^[8]。

对于口径在 $\phi 300$ mm 以下的地基望远镜主镜,由重力引起的变形影响比较小,可视作刚体,中心定位机构只需有效地对其进行定位约束即可。因此在机构的设计上,只需将主镜中心孔与一定球头进行配合即可,定位球头具备较大的抗弯刚度,能承受主镜的重力载荷。如图 2 所示。为了保证主镜在不同温度下的稳定面形精度,中心定位机构所用材料的线性膨胀系数应与主镜材料的线性膨胀系数相匹配^[9]。

该机构同样也适合于较大口径的望远镜主镜,在实际的应用中,曾将这种球头配合的中心定位机构成功应用到 $\phi 1000$ mm 口径的望远镜主镜中。但是随着口径的增大,该机构的缺陷也凸显出来。首先是对机械加工的精度要求越来越高,尤其是轴孔配合关系方面,既要保证中心定位的精度,又要保证轴孔的安装顺畅,其配合公差带需保证在很小的范围内。其次,在实际的安装调试过程中,由于主镜口径的增加,主镜的重量也随之成指数级增长,给主镜与中心定位机构的拆装带来很大难度,一般为了顺利安装主镜的中心定位机构,不得不配备比较繁琐的辅助工装。总之,简单的球头定位机构能满足有效定位、适当承载的要求,但是随着口径的增加,该机构不方便装调。

为了方便装调,将定位球头设计成可拆装的胀紧球头。这种改良后的中心定位机构即能满足有效定位、适当承载、方便装调的功能要求,如图 3 所示。在该机构中,胀紧圈的外圈为球头,可与主镜中心孔进行配合;里圈为锥面,与定位中心轴进行配合;胀紧圈在径向切割出不同类型的半封闭开口,获得径向上的柔性。

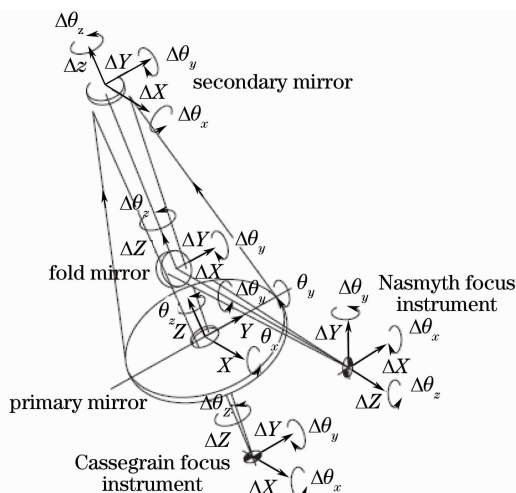


图 1 主镜在望远镜光学系统中的位置关系
Fig. 1 Definition of the various deformations relevant to a Cassegrain/Nasmyth optical system

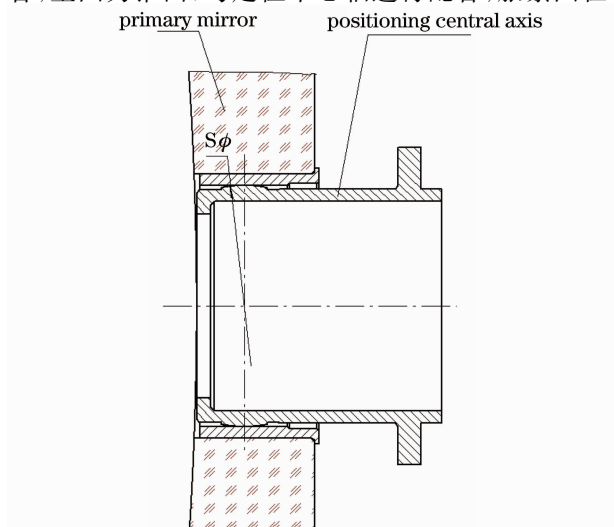


图 2 定位球头机构

Fig. 2 Ball structure of the restriction of displacement

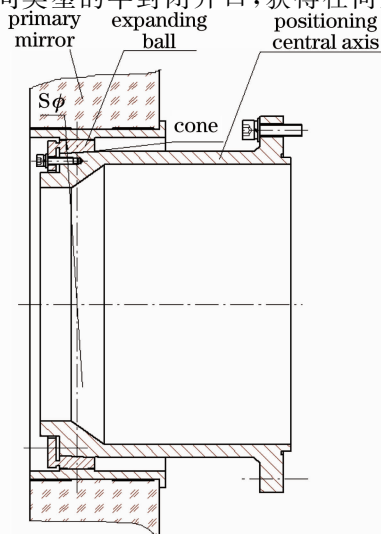


图 3 改良后的中心定位机构

Fig. 3 Improved central hub

如图 4 所示,通过对压紧螺钉施力,可使胀紧圈沿轴向产生位移,并且由于锥面配合的作用,胀紧圈在径向产生一定的变形,从而与主镜中心孔进行充分的配合,达到有效定位的目的。胀紧圈、定位中心轴所选用的材料,其线性膨胀系数应与主镜材料的线性膨胀系数相匹配^[10]。该机构成功地应用到 $\phi 700 \sim 1230$ mm 口径的望远镜主镜中,并取得了良好的效果。

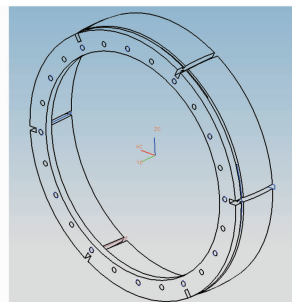


图 4 胀紧圈结构

Fig. 4 Structure of expanding ball

3 实验验证

将中心定位机构与主镜进行安装调试,并用干涉仪

对主镜的面形精度进行检测。在 $\phi 700 \sim 1230$ mm 口径的望远镜主镜系统中均采用了这种中心定位机构。

如图 5(a)所示,为 $\phi 700$ mm 口径主镜采用这种中心定位机构后,与主镜底支撑、侧支撑等结构共同作用,经 Zygo 干涉仪检测,主镜的面形精度稳定均方根(RMS)误差为 0.045λ ($\lambda = 632.8$ nm),满足了系统要求。如图 5(b)所示,为 $\phi 1230$ mm 口径主镜采用这种中心定位机构后,与主镜底支撑、侧支撑等结构共同作用,经 Zygo 干涉仪检测,主镜的面形精度稳定 RMS 误差为 0.038λ ($\lambda = 632.8$ nm),满足了系统要求。

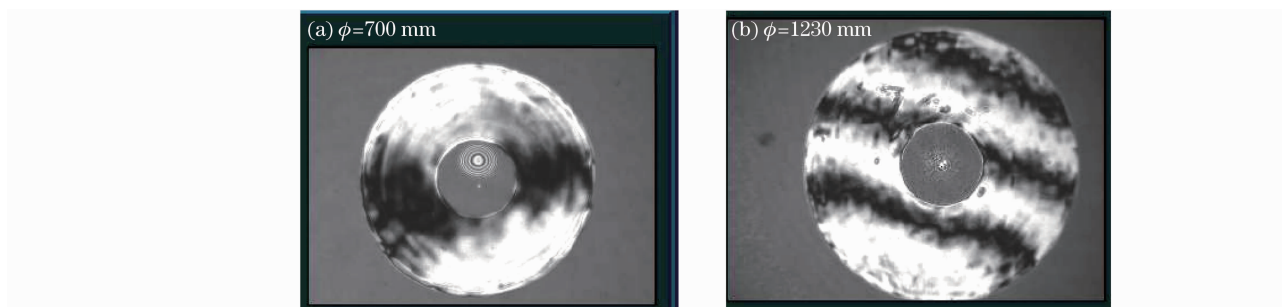


图 5 主镜检测结果

Fig. 5 Surface measuring result of primary mirror

4 结 论

为方便主镜的安装,在中心定位机构的设计上应使其具备一定的导向功能和适当的调整功能,既能对主镜有效约束,又能保证主镜的面形精度。中心定位机构的在材料的选择上,应尽可能与主镜材料的线性膨胀系数一致,以保证中心定位机构在不同温度下与主镜的关系稳定。

参 考 文 献

- 1 Yang Fei, Guo Jin. Design of the supporting structure of large-aperture primary mirror[J]. *J. Harbin Institute of Technology*, 2006, **38**(10): 1754~1761
杨 飞, 郭 劲. 大口径主反射镜支撑方案的设计[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, **38**(10): 1754~1761
- 2 Zhang Xuejun, Li Zhilai, Zhang Zhongyu. Space telescope aspherical mirror structure design based on SiC material[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, **36**(5): 577~582
张学军, 李志来, 张忠玉. 基于 SiC 材料的空间相机非球面反射镜结构设计[J]. 红外与激光工程, 2007, **36**(5): 577~582
- 3 Cheng Jingquan. Principles of Astronomical Telescope Design[M]. Beijing: China Science & Technology Press, 2003. 174~184
程景全. 天文望远镜原理和设计 [M]. 北京:中国科学技术出版社, 2003. 174~184
- 4 Gao Minghui, Yang Jinsong, He Bin. Support technique of ultra thin mirror[J]. *Optical Technique*, 2003, **29**(5): 611~613
高明辉, 杨劲松, 何 斌. 超薄反射镜支撑技术 [J]. 光学技术, 2003, **29**(5): 611~613
- 5 Wang Yong, Jiang Xiaoru. Mounting system of the primary mirror of the 1.2 m Alt-Az telescope[J]. *Publications of*

- Yunnan Observatory, 1991, **4**: 35~39
- 王永, 蒋筱如. 1.2米地平式望远镜主镜的支撑装置[J]. 云南天文台台刊, 1991, **4**: 35~39
- 6 Feng Shulong, Zang Xin, Weng Zhicheng *et al.*. Study on deformation of surface figure of large-aperture mirror in temperature field[J]. *Optical Technique*, 2005, **31**(1): 41~43
- 冯树龙, 张新, 翁志成等. 温度对大口径主镜面形变形的影响分析[J]. 光学技术, 2005, **31**(1): 41~43
- 7 Yao Zhengqiu, Zhou Bifang, Wang Daxing. 1.2 m Infrared telescope[J]. *Acta Astronomica Sinica*, 1990, **31**(3): 284~290
- 姚正秋, 周必方, 汪达兴. 1.2 m 红外望远镜[J]. 天文学报, 1990, **31**(3): 284~290
- 8 Pierre Y. Bely. The Design and Construction of Large Optical Telescopes[M]. New York: Springer-Verlag, 2003. 214~224
- 9 Liao Zhichun. The mounting structure of reflection mirror in collimator[J]. *Spacecraft recovery & Remote Sensing*, 2003, **24**(1): 19~23
- 廖知春. 平行光管反射镜的支撑结构[J]. 航天返回与遥感, 2003, **24**(1): 19~23
- 10 Liu Hongwei, Zhang Qin, Ding Yalin *et al.*. Design of strip primary mirror supporting structure based on finite element analysis[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2003, **11**(6): 555~559
- 刘宏伟, 张芹, 丁亚林等. 基于有限元分析的长条状主镜支撑结构设计[J]. 光学精密工程, 2003, **11**(6): 555~559