

应用干涉仪对经纬仪光学系统主镜的装调和检测

王一凡

(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: 随着光电经纬仪的跟踪精度、图像像质质量等技术指标的提高,使光学系统的装调和检测要求也随之提高,传统的装调方法不能够满足新形势下经纬仪的安装精度需求。文中介绍了一种应用干涉仪对经纬仪系统主镜的装调和检测方法,分别从主镜的装配、调整、镀膜、光轴中心检测与校验对主镜的装调思路进行分步骤介绍。应用 ZYGO 干涉仪对主镜系统检测,从传统的刀口仪、显微镜的定性检测方法上升为使用 ZYGO 干涉仪对系统的定量检测。检测测试结果说明,应用干涉仪对经纬仪光学系统的检测完全满足光学设计的指标要求,从观察 70~80 km 航空飞机和 5 000 m 目标靶图像看到目标的图像清晰,图像的边缘对比度好,满足使用要求。干涉仪在经纬仪光学系统主镜装调中的应用,满足高精度经纬仪的需求,从而提高主镜装调精度。

关键词: 光电经纬仪; 干涉仪; 主镜; 装调; 检测

中图分类号: TH744.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)05-1275-05

Alignment and detecting of photoelectric theodolite system through utilizing interferometer

Wang Yifan

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

Abstract: Tracking accuracy and other technical criteria increasing leads to improving of alignment and detecting technology in optical system photoelectric theodolite. A new method of alignment and detecting for photoelectric theodolite main mirror, including assembling, adjustment, coating, axis detection and checking was introduced in this paper. Then, ZYGO interferometer was used in main mirror detecting, this method took the place of traditional detecting method. Ultimately, ZYGO interferometer technology got clear image both from aviation aircraft 70~80 km away and target in the distant of 5 000 m according to the field experiments. The main mirror meets accuracy of designing and alignment. So the application of interferometer in photoelectric theodolite primary mirror enhances the alignment accuracy.

Key words: photoelectric theodolite; interferometer; primary mirror; alignment; detecting

收稿日期: 2012-09-05; 修订日期: 2012-10-15

基金项目: 国家“863”计划(2010AA7034320)

作者简介: 王一凡(1958-),男,研究员,硕士生导师,主要从事光机电总体设计方面的研究。Email:wangyifan1958@163.com

0 引言

现代的光学经纬仪系统在常规武器的靶场任务实验中,其主要作用是观察目标的全过程,为指挥中心提供高清晰、直观的目标实况图像,提供实时观看平台和事后分析使用的有效数据^[1]。

在常用经纬仪光学系统中,最常用的是牛顿式光学系统和卡塞格林式光学系统。牛顿式是反射系统最简单的光学系统,为了消去球差,主镜一般制成抛物面,当相对孔径减小到 1/12 以下时,主镜可制作成球面。其结构简单,磨制比较容易,成本低廉。但由于轴外像差较大,视场不宜做得过大,且观测方向与镜筒指向方向不一致,而相对孔径较大的抛物面牛顿系统,往往被采用作为口径较大的物镜系统。卡塞格林式望远镜的主镜和副镜有经典卡塞格林系统和 R-C 系统,前者的主镜为抛物面,副镜为双曲面。后者的主、副镜均为双曲面。

这两类系统在大型望远镜的制作中经常用到^[2]。由于卡塞格林式望远镜焦距长而镜身短,放大倍率也大,所得图像清晰,因此得到了广泛应用,但其主、副镜均为非球面,加工难度甚大,制作成本昂贵。非球面光学系统检测由于其对称轴的唯一性,要获得非球面光学元件的波前以及理想像点都比球面光学元件困难的多。两个系统中都需要使用主反射镜(简称主镜),由于其安装方式和使用的特殊性,主镜支撑结构的安装和调试直接影响其系统精度,在光学系统成像中起着重要作用^[3]。非球面光学元件检测方法主要有干涉法、轮廓法、计算全息法、哈特曼法以及刀口法等,但都存在着各自不同的局限性,没有完全解决非球面光学元件面形检测问题。刀口仪具有灵敏度高、直观性强、操作方便、简单灵活、成本低、环境适用性强等特点,非常适合检验大口径长焦距光学元件的面形。数字刀口仪具有刀口仪的优点,并结合计算机技术以及数字图像处理技术对刀口仪进行数字化,是非球面光学元件面形检测的发展方向之一,如果刀口法与干涉仪配合使用,对光学系统装调精度的提高有着更大的效果。

文中从满足光学系统装调要求角度出发,对干涉仪在光电经纬仪的装调和检测中的应用,借鉴以往的非球面检测技术,从装调装置的组成、工作原理、系统布置、装配调整、后续检测等方面对应用干涉仪对经纬

仪光学系统主镜的装调和检测方法进行了详细介绍。

1 主镜的装配

为了保证主镜的装配精度,主镜在装配与调整过程中,需要采取保护措施,并且严格按照预定的装配步骤与方法进行。

1.1 主镜初步安装与调整

经纬仪主镜是安装在主镜室中,主要由前支撑组件、侧支撑组件和底支撑组件组成,主镜室结构布局如图 1 所示。主镜室共装备六套前支撑组件,轴座与调节杆之间为锥面与球面接触,使轴座能在小范围内自由调节角度,保证其端面与主镜正面边缘贴紧,减小主镜的局部变形;三组底支撑组件在轴向上支撑主镜,支撑盘与三角支撑板之间通过钢球连接,三角支撑板与球头支撑之间也是球头接触,并都使用拉簧压紧,使支撑盘和三角支撑板都能在小范围内自由调节角度;六组侧支撑组件在径向上支撑主镜,正、倒镜时分别有三组起作用,支撑盘与主镜间隔有橡胶垫,使支撑盘与主镜有效接触,配重杆与支撑盘之间通过钢球连接,并使用四组拉簧压紧,使支撑盘能在小范围内自由调节角度,保证了与主镜的紧密接触。

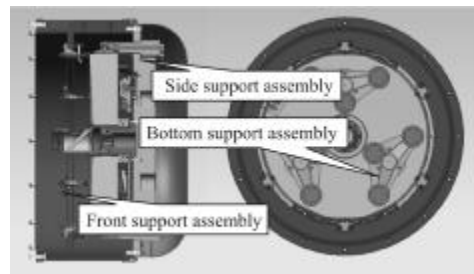


图 1 主镜支撑结构示意图

Fig.1 Support system of the main mirror

经纬仪主镜定位方式一般使用过渡轴套与主镜孔间隙配合安装^[4-5],过渡轴套与芯轴间隙配合,依靠胀圈固定。装配前,使用三坐标测量仪精确测量主镜内孔尺寸数据、圆度和锥度,根据测量的尺寸,加工芯轴外径尺寸和锥度尺寸,使配合间隙小于 0.01mm。经纬仪的主镜室的结构较复杂,除轴套与芯轴过盈配合外,还加装侧支撑和主镜底部多点浮动支撑,支撑点数目依据主镜直径的大小确定。底部多点浮动支撑要逐一修配对研,保证球头自由运动舒适、接触良好。

1.2 主镜加工和镀膜

为了保证主镜加工、装配和镀膜后的精度,在主

镜面型加工、检测达到要求后,就要装配主镜的心轴,并且在心轴和轴套之间注胶,保证主镜与心轴之间的强度,防止调整过程中产生的变形和偏移,之后进行主镜的镀膜,然后再次进行检测,见图 2 和图 3。与裸镜加工后的结果进行对比。结论是安装心轴后进行镀膜,主镜面型误差变化很小,检测主镜的 P-V 值为 0.171~0.245 λ, RMS 为 0.021~0.033 λ,从 P-V 和 RMS 值的变化可以看出,说明笔者选择的加工和镀膜方法是正确的,保证主镜精度在有效地变化区域。

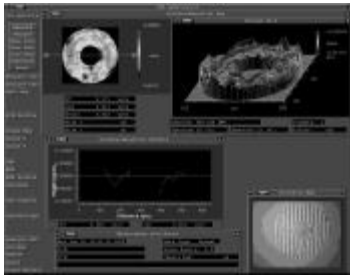


图 2 主镜加工完成检测结果

Fig.2 Test result after mechanical process

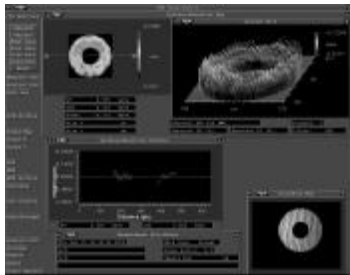


图 3 主镜镀膜后的检测结果

Fig.3 Test result after coating

1.3 主镜光轴中心检验与校正

主镜光轴中心检验与校正装置,主要有承载重量不小于 100 kg,转台轴系精度不大于 1"的调整转台,调整用平面反射镜、百分表、刀口仪、显微镜,水平和垂直调整机构等,具体的安装布置如图 4 所示。

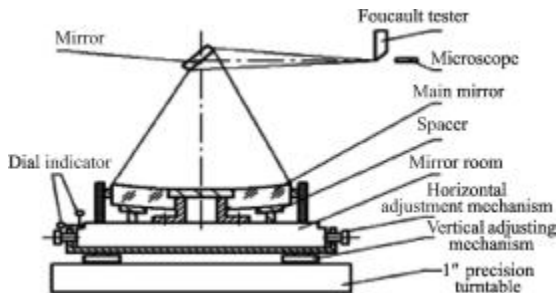


图 4 主镜中心晃动调整示意图

Fig.4 Adjustment center shaking

主镜中心差调整方法^[6-8]:首先,用手动吊车将已装好主镜的主镜室放在转台上,安装好调整结构,在主镜室的止口及端面所示的水平和垂直位置放置两块百分表;均匀缓速旋转转台,同时观察水平和垂直两个方向的百分表的读数,如读数大于 0.01 mm 时应使用调整螺钉和调整螺帽后;再次旋转转台观测百分表读数,反复几次逐渐逼近时使之百分表的读数小于 0.01 mm。

调整完毕后,将刀口仪安置在球心上,调整反射镜和刀口仪的相对位置直至其位于球心处;最后,通过显微镜观察的就是实际主镜中心差值。参照公式(1)和(2)修磨调整垫,直至主镜中心划圈量不大于 0.05 mm。

计算公式如下:

$$\Delta = \Phi \times L / (R \times 2\beta) \tag{1}$$

式中:Δ 为修研调整量;R 为主镜半径;Φ 为显微镜中观察到的主镜像划圈量;β 为显微镜倍率。

$$h = \Phi / 2\beta \tag{2}$$

式中:h 为旋转 180°的主镜像中心差。

2 用干涉仪检测经纬仪主镜

在主镜完成装调与调整后,要进行装调精度检测,与装配过程不同的是,这次检测是终极检测,需要更为精准的方法去得到主镜精度结论性数据,笔者采用干涉仪检测。

2.1 检测方法

主镜检测使用常用的自准直法,该方法常用于装配与检验,使用的设备是 ZYGO 干涉仪^[9-12]。干涉仪能够定量测出主镜的面形精度,检测机构如图 5 所示。使用 ZYGO 干涉仪,ZYGO 干涉仪属于共光路的斐索干涉仪一类,采用该结构减小了系统中除标准面以外



图 5 检测机构

Fig.5 Test system

的光学元件误差对测量结果的影响,降低了对这些元件质量的要求,其精度可以比标准面的精度低一个数量级。斐索球面干涉仪检验主镜面形偏差。是以一球面波同心地射到标准球面,并于待检球面形成共心干涉,再通过对于干涉图的判读得知待检面的面形偏差。

2.2 检测过程

为了能够更真实地检测经纬仪的主镜安装和装配精度,将主镜装入主镜室,按照技术要求调整好主镜室侧支撑机构、前支撑机构的弹簧参数,装配完成的主镜室如图6所示。



图 6 主镜室图片
Fig.6 Main mirror

2.3 检测结果

通过在上述装置上的检测测试,检测结果如图7所示,主镜室系统安装在经纬仪四通上。系统光学设计要求见表1,经过多次的测试,P-V值为 $0.295\ 0\lambda$,RMS值为 $0.051\ 9\lambda$ 。结果满足设计要求,首次在主镜室安装在经纬仪上定量的测量出主镜系统一次像面的误差。

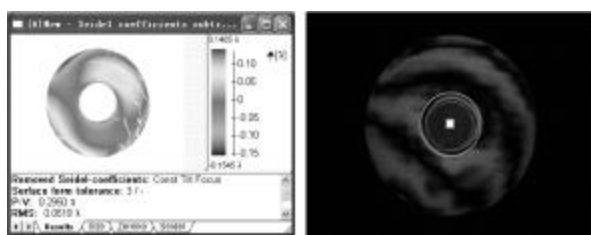


图 7 主镜系统的干涉图

Fig.7 Main mirror interferogram diagram

表 1 主镜技术指标

Tab.1 Primary mirror technology specifications

	Surface shape tolerances RMS	Image quality testing RMS
Main mirror	$\lambda/40$	-
Other mirror	$\lambda/50$	-
First image	-	$\lambda/10$
Last image	-	Short focal $\lambda/2$ Long focal $\lambda/5$

3 设备外场试验情况

设备装调完成后,在外场进行了实验。设备主系统焦距为 $2\ 000\sim 6\ 000\text{ mm}$ (连续变焦系统),口径为 $\Phi 600\text{ mm}$,探测器选用的是日本松下公司的E750型3CCD彩色模拟相机,靶面尺寸为2/3英寸。图8为观察民用航空飞机的图像,设备焦距为 $2\ 000\text{ mm}$,目标距离 $70\sim 80\text{ km}$ 。图9为观察目标靶标的图像,设备焦距 $2\ 000\text{ mm}$,目标距离为 $5\ 000\text{ m}$,目标靶标为镂空靶,间距为 100 mm 。



图 8 民用航空飞机
Fig.8 Civil aircraft



图 9 5 000 m 目标靶标图像
Fig.9 Target image in 5 000 m

从观察 $70\sim 80\text{ km}$ 航空飞机和 $5\ 000\text{ m}$ 目标靶图像可以看到,目标的图像清晰,图像的边缘对比度好,说明光学系统设计和装调达到了设计要求,满足使用要求。

4 结论

在经纬仪系统的装调过程中,应用干涉仪系统,测量主镜室安装在四通上主镜的变形,定量的测量出主镜的在经纬仪上变形量,对经纬仪的光学系统的装调和最终结果的认定有指导意义,为主镜的装调和检测提供了更加权威、准确有效的方法,且该技术的进一步发展有望实现大口径非球面光学元件的

面形检测,因此具有相当大的潜力及发展前景。

参考文献:

- [1] You Rui, Wang Jing, Wang Wenge, et al. Adjustment and error analysis of the large mirror of test system [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2008, 31(3): 20-23. (in Chinese)
尤锐, 王晶, 王文革, 等. 大口径测量系统主反射镜装调及精度分析[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2008, 31(3): 20-23.
- [2] Zhang Junqiang, Wu Qingwen, Yang Changxiang. Stray light measurement technologies for space-borne imaging spectrometer [J]. Chinese Journal of Optics and Applied Optics, 2010, 3(4): 0337-0342. (in Chinese)
张军强, 吴清文, 颜昌翔. 星载成像光谱仪杂散光检测技术[J]. 中国光学与应用光学, 2010, 3(4): 337-342.
- [3] Cheng Ziqing, Luo Jinfeng, Hu Jixian. Application of OTF instrument in the alignment of IR optical system [J]. Optical Instruments, 2007, 29(3): 9-13. (in Chinese)
程子清, 罗劲峰, 胡际先. 光学传递函数仪在红外光学系统装调中的应用[J]. 光学仪器, 2007, 29(3): 9-13.
- [4] Wang Jiaqi. Optical Instrument Collectivity Design [M]. Changchun: Department of Graduate of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, 2003: 67-91. (in Chinese)
王家骥. 光学仪器总体设计[M]. 长春: 长春光机所研究生部, 2003: 67-91.
- [5] Ma Hong, Wang Jinbo. Instrumentation Precision Theory [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press. 2009: 223-236. (in Chinese)
马宏, 王金波. 仪器精度理论[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 223-236.
- [6] Sun Ning. Optimal design of support system for a 1 m diameter primary mirror [J]. Chinese Journal of Optics and Applied Optics, 2010, 3(6): 644-648. (in Chinese)
孙宁. 1 m 口径主反射镜支撑系统的优化设计 [J]. 中国光学与应用光学, 2010: 3(6): 644-648.
- [7] Song Helun, Jiang Wenghan, Xian Hao, et al. Technology of co-phasing of the segmented mirrors based on a Michelson interferometric system [J]. Chinese Journal of Lasers, 2008, 35(5): 748-751. (in Chinese)
宋贺伦, 姜文汉, 鲜浩, 等. 基于迈克尔孙干涉仪系统的拼接主镜共相位检测技术[J]. 中国激光, 2008, 35(5): 748-751.
- [8] Liu Yujuan, Bayin Hexige, et al. Interferometric alignment of imaging spectrometers with convex gratings [J]. Opt Precision Eng, 2011, 19(8): 1736-1742. (in Chinese)
刘玉娟, 巴音 贺希格. 凸面光栅成像光谱仪的干涉法装调 [J]. 光学 精密工程, 2011, 19(8): 1736-1742.
- [9] Qiu Songfa, Mao Jinghua. Assemblage and Adjustment of Spectromete [M]. Beijing: China Machine Press. (in Chinese)
邱松发, 毛精华. 光谱仪器装配与调整 [M]. 北京: 机械工业出版社.
- [10] Shi Yali, Gao Yuguo, Deng Weijie. Design and analysis of anovel assistant instrument for aligning the optical-axis parallelism [J]. Laser & Infared, 2007, 37(10): 1098-1100. (in Chinese)
史亚莉, 高云国, 邓伟杰. 新型光轴平行度装调仪的设计与分析 [J]. 激光与红外, 2007, 37(10): 1098-1100.
- [11] Zhang Xiangxiang, Fu Yutian, Han Changpei. Design and adjustment of the coaxial three-mirror optical system used in field bias [J]. Opto Electronic Engineering, 2007, 34(12): 118-123. (in Chinese)
张祥翔, 傅雨田, 韩昌佩. 一种离轴使用的同轴三反射系统的设计和装调 [J]. 光电工程, 2007, 34(12): 118-123.
- [12] Li Lingyin, Wang Yifan. Error analysis for varifocal optical system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(5): 1329-1334. (in Chinese)
李零印, 王一凡. 变焦系统误差分析 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(5): 1329-1334.