

文章编号: 1005-5630(2015)04-0330-04

双波段经纬仪检定装置的光学系统

张冠阳, 车 英, 孙安信, 吕 超, 向 阳, 李 琦

(长春理工大学 光电工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 简单介绍了经纬仪检定装置, 设计一款可检定红外—可见双波段经纬仪的检定装置, 并对该装置中卡塞格林平行光管进行了设计, 运用 Zemax 光学设计软件对其系统进行了优化与分析, 确定其非球面系数, 通过点列图、MTF 函数及能量分布对其像质进行简要分析从而确定了该设计的可行性与合理性, 最后通过实验数据设计了与之匹配的光管的机械结构。

关键词: 经纬仪; 双波段; 卡塞格林平行光管; Zemax; 光学系统

中图分类号: TN06 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2015.04.010

Optical design of dual-band theodolite test device

ZHANG Guanyang, CHE Ying, SUN Anxin, LÜ Chao, XIANG Yang, LI Qi

(School of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: With the rapid development of modern technology, theodolite test device received a lot of attention. This paper introduces the structure of theodolite test device briefly. We designed a theodolite test device which could test dual-band theodolite, and designed the Cassegrain collimator. We utilized Zemax optical design tool to design and analyse the optical system. We determined the aspheric coefficient. In the analysis of the spot diagram, MTF function and energy distribution over the image quality, we determined the feasibility and rationality of the design. Finally based on the analysis, we designed mechanical structure.

Keywords: theodolite; dual-band; Cassegrain collimator; Zemax; optical system

引 言

双波段光学系统可以全天候工作, 并且具有很强的抗干扰能力及信息量互补性, 所以在天文测量、大地测量、工程测量以及军事等各个领域的应用十分广泛。随着科技的进步与发展, 双波段在经纬仪上的应用也引起世界各领域的重视, 为了适应国内外发展趋势, 设计了一款适用于双波段经纬仪的检验装置, 该检定装置由检定桁架, 中央检定台及光学系统组成。本文着重介绍了该装置的光学系统, 对该系统的各项参数进行优化与分析。

1 经纬仪检定装置结构设计

经纬仪检定装置结构形式比较多, 以测回水平方向标准偏差的检定方法来分有两种形式: 一种是多目标装置检定装置, 水平方向上以 4~6 只平行光管作为无穷远目标, 在全圆范围内随机分布组, 竖直方向上在 30° 范围内随机布设 5 个以上光管, 且中间位置光管绝对水平; 另一种是多齿分度台检定装置, 由

收稿日期: 2014-11-18

作者简介: 张冠阳(1989—)男, 硕士研究生, 主要从事测试计量技术及仪器方面的研究。E-mail: zhangguanyang8911@163.com

通信作者: 车 英(1964—)男, 博士, 主要从事测试计量技术及仪器方面的研究。E-mail: cheying@cust.edu.cn

多齿分度台和平行光管组成。我们所设计经纬仪检定装置采用第一种形式,结构如图1所示,检定桁架由大理石铸造,为保证能够有效全面的进行检定,水平角方向上,分别在 0° 、 30° 、 90° 、 180° 、 270° 、 330° 设置平行光管,竖直方向上:在 -30° 、 -15° 、 0° 、 15° 、 30° 位置布置平行光管,其中 0° 位置光管与水平检定叫装置共用,光管距经纬仪支撑台2500 mm。

2 光学系统设计

考虑到该经纬仪检定装置所检定经纬仪工作波段为可见光和红外波段,因此需要采用卡塞格林式平行光管。卡塞格林平行光管属于反射式平行光管,其优点在于没有色差,所有波长光线所成的像都完全重合;工作波长从紫外到红外,可以避免玻璃对红外光的吸收以及色散的影响;在材料方面,尤其是大口径零件,反射镜面的材料比透射镜材料容易制造。卡塞格林式光学系统具备无色差、无热化、结构紧凑、特别适于多光谱等优点。卡塞格林式平行光管的衍射分辨率在遮挡孔径尺寸不大的情况下有微小提高^[1],但体积相对于常规结构的平行光管却有大幅度的减小。综上分析,选用卡塞格林平行光管符合设计要求。

2.1 初始结构

使用 Zemax 光学设计软件辅助设计,设定初始结构:口径 $D=50$ mm,初始光学筒长233 mm,分划板直径15 mm,焦距 $f'=500$ mm,光学系统工作波段为可见、红外光波段波长,视场角根据公式:

$$\tan\omega = \frac{y'}{f'} \quad (1)$$

为使像充满分划板,半像高 y' 取8 mm,求得视场角 $\omega=0.9^\circ$ 。由于该系统为目视结构,截止频率按照以往经验给定为40 lp/mm。初始结构如图2所示。

2.2 非球面结构

由于所设计的卡塞格林平行光管属于大口径小视场的望远系统,无色差,所以只需矫正球差和慧差,而单透镜不能矫正,所以采用非球面结构进行矫正。非球面在像差矫正方面与传统球面相比有较大优势,采用非球面能够有效校正初级和高级像差,缩小光学系统外形尺寸,减轻系统重量,提高光学性能,改善成像质量。

偶次非球面可以表示为

$$x = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)c^2y^2}} + dy^4 + ey^6 + \dots \quad (2)$$

由式(2)可以看出,高次非球面与普通的球面相比,有更大的自由度。其中, c 是以顶点为计算标准的基准曲率, K 是二次圆锥曲率系数, y 是垂直于光轴计算的半径,其余项是高次非球面系数。

使用 Zemax 软件对非球面系统进行优化分析。项数越高,优化效果越好,但同时也需考虑项数增加会给加工与检验带来困难,使加工出镜片与设计曲线不符,所以这里采用八次项优化。其中主镜曲率半径为 -188.43 mm,次镜曲率半径为 -205.15 mm。

表1为 Zemax 所优化的平行光管主副镜非球面系数。

2.3 反射镜镀膜

图3所示为实验测定的铝、银、铜、金等几种常见金属的反射比随波长变化图线。可以看出,银和铝有的反射比较高,铜和金的反射比随波长变短而显著下降。在紫外区,银的反射比下降很快;在短波区,

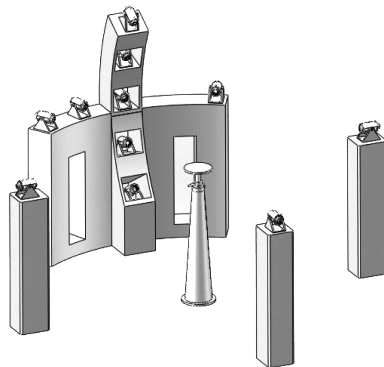


图1 检定装置结构示意图

Fig. 1 The structure of the verification device

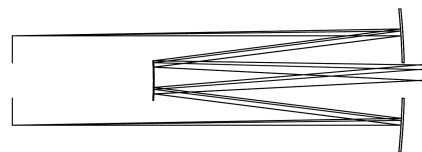


图2 光学系统初始结构图

Fig. 2 Original structure diagram of the optical system

银的反射比与玻璃的反射比接近,且银是透明的^[2]。铝在从红外到近紫外区都有很高的反射比,符合所要设计的红外可见光双工作波段要求。由此选择铝为该平行光管的反射膜材料。

表 1 非球面系数
Tab. 1 Aspheric coefficient

优化数据	主镜系数	副镜系数
多重结构	-20.006 720	-156.316 784
二次项系数	2.169 647E-006	-1.196 846E-006
四次项系数	-3.720 443E-008	-2.276 886E-006
六次项系数	-6.591 718E-012	1.032 159E-009
八次项系数	4.850 679E-015	3.293 003E-012

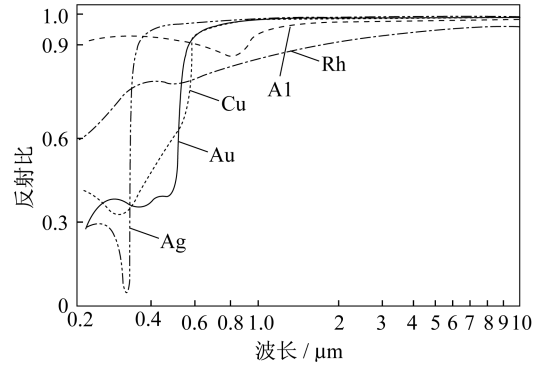


图 3 几种常用金属薄膜的反射比曲线
Fig. 3 Reflection ratio of several common metal film

2.4 像质评价

所设计的卡塞格林平行光管属于大口径小视场的望远系统,无色差,所以主要考虑点列图、光学传递函数、能量分布。

2.4.1 点列图

本文所设计的卡塞格林式平行光管的光学系统的点列图如图 4 所示。通过点列图可以看出,该系统大多数的能量都接近爱里斑,所以成像质量达到系统要求。

2.4.2 系统的传递函数 MTF

传递函数是能够对像质进行综合评估和判别的重要依据^[3]。光学传递函数与光学系统的像差和衍射效果有关,所以可用来评价光学系统成像的质量,评价结果客观可靠,并且在小像差光学系统和大像差光学系统中皆可应用^[4]。系统的传递函数曲线如图 5 所示,MTF 曲线比较平坦,说明系统边缘与中心成像差距小。

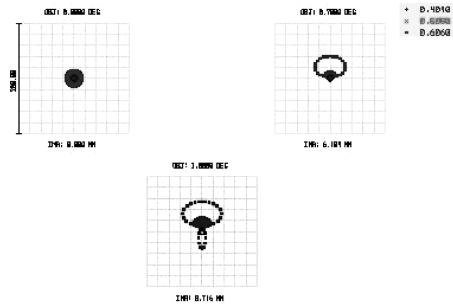


图 4 点列图
Fig. 4 Spot diagram

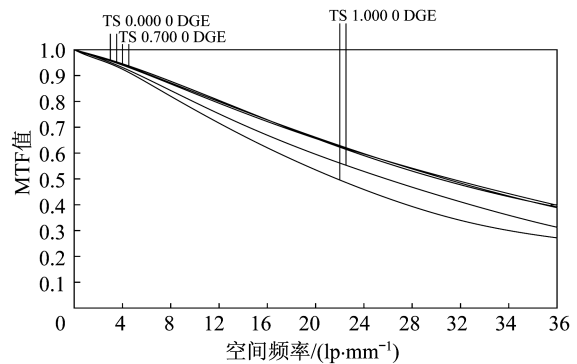


图 5 传递函数
Fig. 5 Transfer function

2.4.3 能量分布

系统的能量分布如图 6 所示。由系统能量分布图可以看出,在对应的工作波段中,系统能量分布都在 90%以上,说明系统能量集中度高,图像接受清晰,满足设计要求。

2.5 系统最终效果

根据平行光管设计指标,结合像差理论,通过光学设计软件 Zemax 对初始结构进行优化分析,最终系统效果图如图 7 所示。设计符合要求,成像质量好并具有很高的分辨率,能够很好的对红外与可见光经纬仪进行检定。图 8 为所设计平行光管结构图。

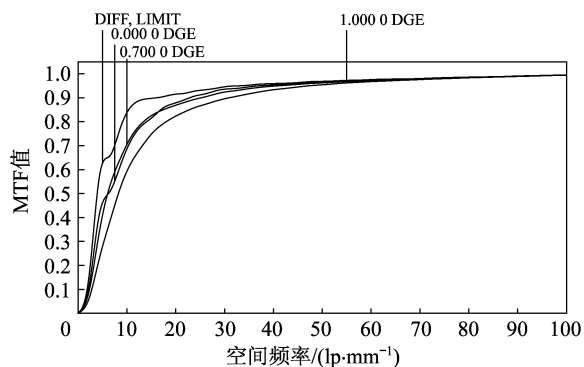


图6 能量分布

Fig. 6 Energy distribution

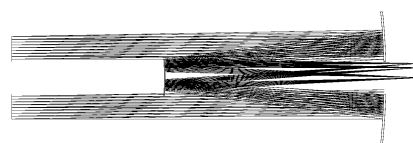


图7 系统效果图

Fig. 7 System effect diagram

2.6 平行光管的机械结构

经前文设计数据最后确定平行光管总长度 240 mm,高度 170 mm,主镜与次镜间距为 93 mm,后截距离为 155 mm。平行光管使用铝为制作材料,结构图如图 9 所示。光管具有大角度俯仰粗调与轴向微调结构,通过调节光源室内灯源位置,可以将灯源调整到最佳照明位置。调整完毕后,将各连接处用螺钉锁紧。所有零件均发黑处理,可以有效的消除系统杂光。

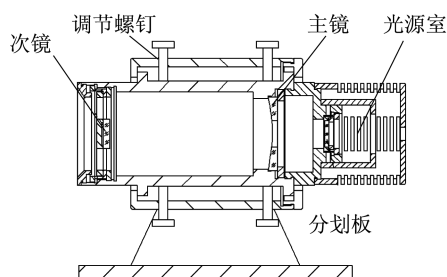


图8 平行光管结构图

Fig. 8 Collimator structure

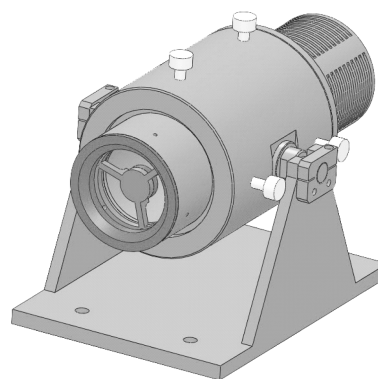


图9 平行光管总体构造图

Fig. 9 The structure of collimator

3 结论

本文所设计红外-可见光双波段卡塞格林式平行光管结构紧凑,加工可行性强。目前,已完成该光学系统的结构设计工作和镜头的试制,光管已经加工成型并安装完毕,并已完成检定测试阶段,光管可稳固的安装在检定桁架上,在工作温度内($20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$)使用某型号经纬仪观测,分划板刻线清晰,在同一焦面内,视场清晰,亮度均匀,无目视可见亮暗差异,可以有效对红外-可见光双工作波段的经纬仪进行全天候检定。该设计扩展了经纬仪检定范围,提高了装置稳定性,并能确保量传精度,并为今后开展双波段经纬仪的检定工作奠定基础,起到积极的推进作用。

参考文献:

- [1] 李捷,明景谦,卢若飞.一种改进型的红外卡塞格林光学系统设计[J].红外技术,2010,32(2):76-80.
- [2] 郁道银.工程光学[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [3] 王鑫,向阳,车英,等.校靶镜检定装置光学系统设计[J]光学与光电技术,2014,14(2):83-88.
- [4] 李姝.静态测角场用平行光管设计[D].长春:长春理工大学,2008.