

文章编号 1004-924X(2012)04-0739-06

小型可见光双视场光学系统的研制

魏 群*, 艾兴乔, 贾宏光

(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: 基于光学设计基本理论, 设计了一种体积小, 跟踪范围可以达到整个前半球的可见光双视场光学系统。系统由前部集束系统, 中间光路转折系统及后部成像系统 3 部分组成。集束系统采用望远镜式结构, 用于改变光束的口径; 光路转折系统采用库德光路, 由 4 片反射镜组成, 用于转折光路及扫描; 成像系统由长焦成像系统和短焦成像系统组成, 分别形成两个视场的像, 用于目标识别与跟踪。光学系统焦距分别为 60 mm 和 120 mm, 设计传递函数在 58 lp/mm 处均大于 0.5。加工装调后进行了成像试验验证, 结果表明, 该系统能够同时完成大视场及小视场的图像获取, 在可视范围内成像质量满足系统总体要求。

关键词: 双视场光学系统; 可见光镜头; 库德光路; 光学设计

中图分类号: TH703 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122004.0739

Development of small-scale and dual-field visible light optical system

WEI Qun*, AI Xing-qiao, JIA Hong-guang

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

* Corresponding author, E-mail: wei.q@hotmail.com

Abstract: On the basis of optical design theory, this paper designs a small-scale and dual-field optical system with a half sphere tracking field. This optical system takes a Code optical path as the main system and consists of three parts: tele-system at front, ray tuning system in the middle, and imaging system in the back. The first part is a telescope compound for adjusting the diameter of the light beam; the middle part is Code optical path made up four mirrors, which is used to turn the direction of the light beam; and the last part is an imaging system for long focal and short focal imaging and for tracking and recognizing targets. The focal lengths of the system are 60 mm and 120 mm and their Modulation Transfer Functions(MTFs) are all above 0.5 at 5.8 lp/mm. By imaging tests, this optical system has better imaging quality and can capture the images form the large field and small one at the same time.

Key words: dual-field optical system; visible light lens; Code system; optical design

收稿日期: 2011-02-16; 修订日期: 2011-04-19.

基金项目: 总装装备预研基金资助项目(No. 51301060207)

1 引言

光学成像跟踪在现代社会中的应用越来越广,大到飞机导弹,小到社区安防,其在航空、航天、军工、安防和民用等诸多领域均有着广泛应用。其中,可见光跟踪系统以其技术成熟,价格低廉而倍受关注。随着科技的发展,成像跟踪系统已朝着小型化、轻量化和集成化发展,其对光学系统的要求也越来越高。成像跟踪系统的光学系统是成像跟踪系统中的核心部分。针对目前的应用需求,跟踪系统中的光学系统应具备视场范围大、视场切换快、体积小和重量轻等特点。

目前,国内双视场光学系统的研究开展得比较广泛。中科院西安光学精密机械研究所的白瑜等通过衍射光学元件设计了一种双定焦光学系统,采用的是插入式光学系统,其传递函数表明成像质量良好^[1];有些研究也集中在切换变倍领域,有移动式、插入式及旋转式设计等^[2-6],但这些系统都存在一定的不足,不能实时双视场跟踪。

本文设计了一种小型可见光双视场光学系统,完成了可见光双视场光学系统及其支撑结构的设计。通过成像测试试验,验证了其光学系统成像质量满足系统要求。这种双视场光学系统在军用及民用领域都将发挥巨大的作用。

2 设计原则

本文设计的小型双视场光学镜头将应用于跟踪系统,因此,成像跟踪系统中的光学系统设计主要需注意以下几点:(1)成像质量高,要求能够在较远的距离分辨跟踪目标的细节,获得更多的信息;(2)透过率高,选择较少的镜片完成设计任务,同时在镜片表面镀高质量的增透膜,提高系统的透过率,增加光学系统的作用距离及对弱目标的探测能力;(3)体积小,跟踪范围大,跟踪系统希望能以最小的体积实现对目标运动区域最大的跟踪,提高跟踪系统的适用范围,增加跟踪系统的总体性能指标。根据以上要求,确定光学系统的指标如下:

焦距为 60 mm 和 120 mm;视场角为 6° 和 3° ; F 数为 6 和 12;探测波段为 400~700 nm;分辨率为 768 pixel \times 576 pixel;像元大小为 $8.3 \mu\text{m}\times 8.6 \mu\text{m}$ 。

3 详细设计

根据上述设计原则及指标要求,本文设计的可见光光学系统原理如图 1 所示。光学系统由三部分组成:第一部分为镜组 A(集束系统),来自目标的光线通过镜组 A 后,光线口径缩小,减小后部反射镜体积,缩短光路,最终减小整个光学系统的体积;第二部分为镜组 B(光学转折系统),由 3 片反射镜、1 片分光镜及 1 片场镜组成,主要负责转折光学,使光学系统的转动元件减少,其中的分光镜用来分光,将大小视场的光线分开,分别成像;第三部分为组镜 C(成像系统),长焦成像系统及短焦成像系统,负责将 2 个视场的光线分别成像到不同的 CCD 靶面上。镜组 A 及第一片反射镜安装在可旋转框架上,用来对目标视场进行扫描。

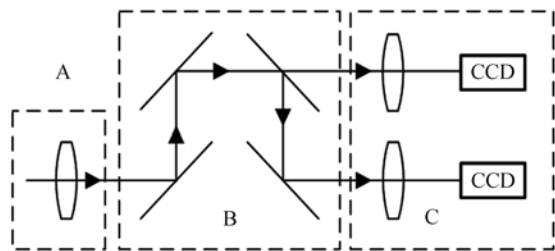


图 1 光学系统示意图

Fig. 1 Optical system sketch map

3.1 集束镜组设计

集束镜组 A 用来压缩对目标光线的口径,减小后镜组的体积和长度。采用望远镜式结构,“+”、“-”组合,为了控制像差,“+”、“-”镜组均采用胶合件,设计原理如图 2 所示。

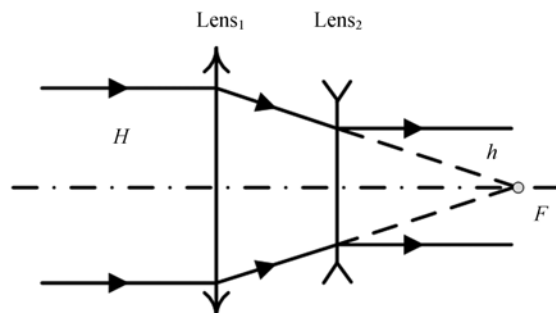


图 2 集束系统设计原理图

Fig. 2 Principle figure of telescope system

其中, H 为原始光束宽度, h 为集束后光束宽度, F 点为 lens_1 和 lens_2 的焦点, lens_1 是正透镜, lens_2 是负透镜, 其焦距分别为 f_1 和 f_2 。根据简单的几何关系, 可得下面公式

$$n = \frac{h}{H} = \frac{f_2}{f_1} \quad (1)$$

其中, n 为光束的缩比, 是负透镜和正透镜的焦距比。选择合适的缩比设计集束镜组, 设计结果如图 3 所示。

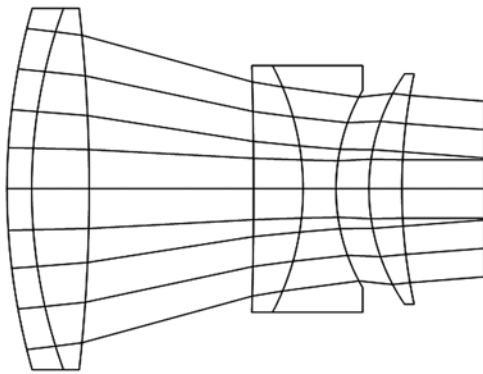


图 3 集束光学系统

Fig. 3 Telescope optical system

为了检验集束系统的光学性能, 在镜组后加入光阑和理想透镜, 其 MFT 如图 4 所示, 点斑如图 5 所示。

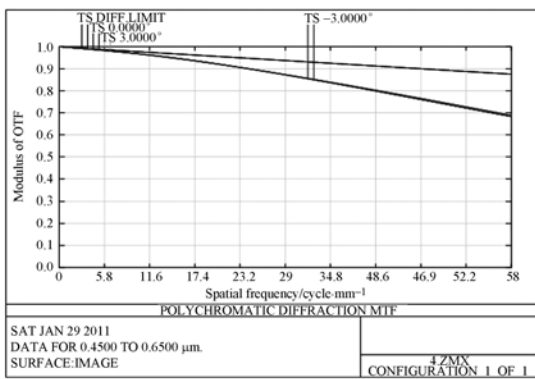


图 4 集束系统光学传递函数

Fig. 4 MTF of telescope system

3.2 转折镜组设计

转折光路系统由 3 片反射镜、1 片分光镜及 1 片场镜组成。3 片反射镜主要负责转折光路, 分

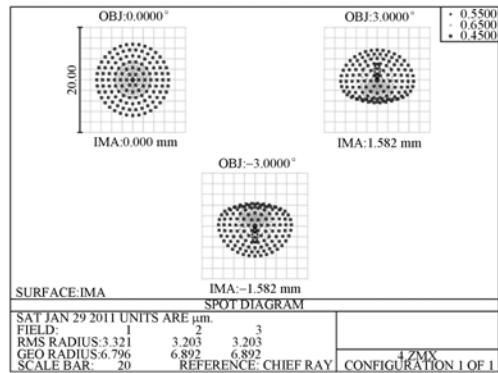


图 5 集束系统点斑图

Fig. 5 Spot program of telescope system

光镜用来分开进入长焦光学系统及短焦光学系统的光线。

靶面照度公式为

$$E = \frac{\pi}{4} I \tau_0 \left(\frac{D}{f'} \right)^2 \quad (2)$$

其中, E 为靶面照度, I 为进入光学系统的光亮度, τ_0 为光学系统的透过率, D 为光学系统的孔径光阑直径, f' 为光学系统焦距。为了保证长焦镜头和短焦镜头 CCD 靶面照度一致, 即:

$$E_l = E_s \quad (3)$$

$$E_l = \frac{\pi}{4} I_l \tau_l \left(\frac{D_l}{f_l'} \right)^2 \quad (4)$$

$$E_s = \frac{\pi}{4} I_s \tau_s \left(\frac{D_s}{f_s'} \right)^2 \quad (5)$$

其中, 下标为 l 的量代表长焦光学系统相关参数, 下标为 s 的量代表短焦光学系统相关参数。

从而有:

$$\frac{\pi}{4} I_s \tau_s \left(\frac{D_s}{f_s'} \right)^2 = \frac{\pi}{4} I_l \tau_l \left(\frac{D_l}{f_l'} \right)^2 \quad (6)$$

简化为:

$$n = \frac{I_l}{I_s} = \frac{\tau_s (D_s / f_s')^2}{\tau_l (D_l / f_l')^2} = \frac{4 \tau_s}{\tau_l} \quad (7)$$

其中, 根据后面的设计, $\tau_s \approx \tau_l$, 则进入长焦光学系统的光强和进入短焦系统的光强之比为 4/1, 根据此数值设计分光镜的分光比。

3.3 成像系统设计

基于前面的设计基础设计成像系统, 长焦镜头的设计结果系统的 MTF、短焦系统设计结果、短焦系统的 MTF 分别如图 6-9 所示。

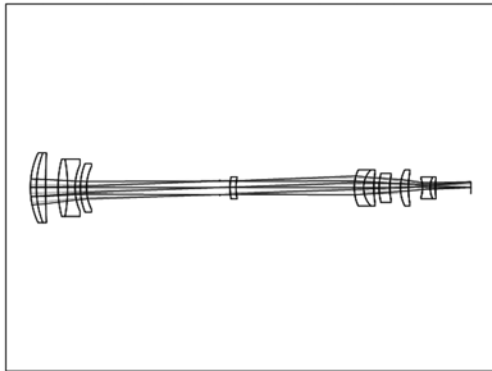


图 6 长焦光学系统

Fig. 6 Long focus optical system

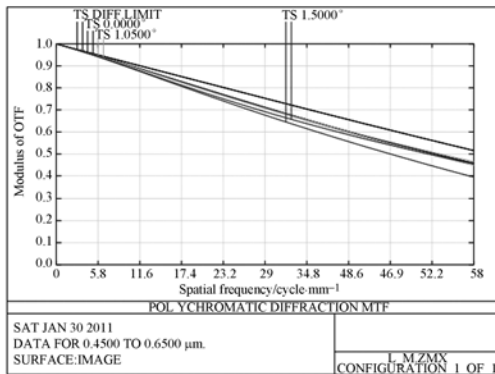


图 7 长焦光学系统传递函数

Fig. 7 MTF of long focus optical system

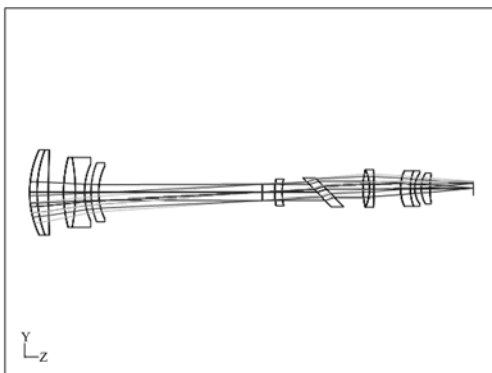


图 8 短焦光学系统

Fig. 8 Short focus optical system

从上面 MTF 图可知,系统设计满足成像要求。

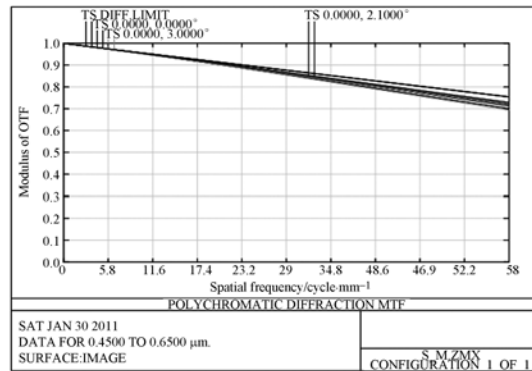


图 9 短焦系统传递函数

Fig. 9 MTF of short focus optical system

4 样机研制与成像试验

根据上面设计的光学系统设计镜头结构及框架支撑结构,结构设计如图 10 所示。

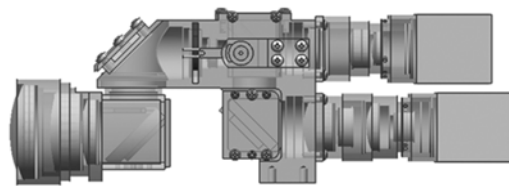


图 10 镜头结构设计图

Fig. 10 Lens structure design

根据设计加工光学系统及结构件,安装完成的镜头如图 11 所示。

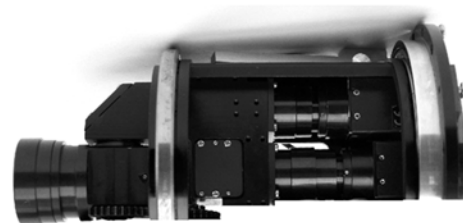


图 11 双视场镜头系统

Fig. 11 Dual-field lens

对目标成像^[7],长焦成像效果如图 12 所示,短焦成像效果图如图 13 所示。

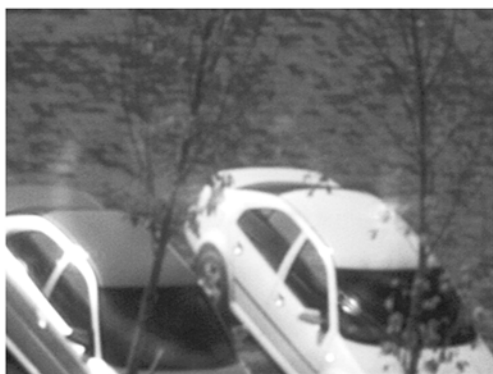


图12 长焦镜头成像图

Fig. 12 Photo of long focus lens



图13 短焦镜头成像图

Fig. 13 Photo of short focus lens

5 结 论

研制了一种小型可见光双视场成像光学系统,焦距分别为 60 mm 和 120 mm,系统传递函数

均大于 0.5。完成了镜头及结构的设计,进行了试验验证。通过试验验证可知,系统成像质量好,能够同时完成大视场及小视场的图像获取。这种双视场光学系统在军用和民用领域都有巨大的应用前景。

参考文献:

- [1] 白瑜,杨建峰,薛彬,等. 非制冷长波红外热像仪衍射混合双视场光学系统设计[J]. 应用光学,2009,30(5):853-858.
BAI Y, YANG J F, XUE B, et al.. Design of refractive/diffractive dual FOV optical system for uncooled LWIR thermal imager[J]. *Journal of Applied Optics*, 2009,30(5):853-858. (in Chinese)
- [2] 耿亚光,张明谦. 红外成像导引头双视场光学系统小型化技术[J]. 红外与激光工程,2007,36(6):887-890.
GENG Y G, ZHANG M Q. Miniaturization technique of dual field optical system in imaging infrared seeker [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007,36(6):887-890. (in Chinese)
- [3] 王海涛,耿安兵,杨长城. 切换变倍光学系统设计[J]. 光学学报,2010,30(3):872-875.
WANG H T, GENG A B, YANG CH CH. Design of rotate-in-group zoom optical system[J]. *ACTA Optical Sinica*, 2010,30(3):872-875. (in Chinese)
- [4] 陈吕吉. 非制冷焦平面热像仪用双视场红外光学系统[J]. 红外技术,2007,29(11):645-647.
CHEN L J. A dual field of view optical system for infrared uncooled focal plane arrays[J]. *Infrared Technology*, 2007, 29(11):645-647. (in Chinese)
- [5] 邓键,张伟,龙夫年. 大口径拼接合成孔径光学系统设计[J]. 光学精密工程,2008,16(1):29-34.
DENG J, ZHANG W, LONG F N. Optical design of large aperture segmented mirror system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(1):29-34. (in Chinese)
- [6] 董科研,潘玉龙,王学进,等. 谐衍射红外双波段双焦光学系统设计[J]. 光学精密工程,2008,16(5):764-770.
DONG K Y, PAN Y L, WANG X J, et al.. Optical design of a HDE infrared dual-band step-zoom system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(5):764-770. (in Chinese)
- [7] 兰海滨,王平,龙腾. 图像拼接中相机镜头非线性畸变的校正[J]. 光学精密工程,2009,17(5):1196-1202.
LAN H B, WANG P, LONG T. Nonlinear aberration correction of lens in image mosaic[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(5):1196-1202. (in Chinese)
- [8] 陈浩,宣丽,胡立发,等. 1 200 mm 望远镜开环液晶自适应光学系统设计[J]. 光学精密工程,2010,18(1):30-36.
CHEN H, XUAN L, HU L F, et al.. Design of open-loop liquid crystal adaptive optical system for 1 200 mm telescope[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(1):30-36. (in Chinese)
- [9] 冯宇平,戴明,孙立悦,等. 图像自动拼接融合的优化设计[J]. 光学精密工程,2010,18(2):470-476.

FENG Y P, DAI M, SUN L Y, *et al.*. Optimized design of automatic image mosaic[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(2):470-476. (in Chinese)

[10] 魏群, 艾兴乔, 姜湖海, 等. 超音速光学导引头整流罩的形状优化[J]. *光学 精密工程*, 2010, 18(2):

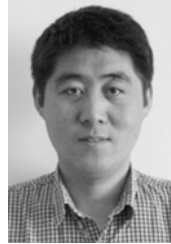
384-389.

WEI Q, AI X Q, JIANG H H, *et al.*. Optimizing design of dome figure for supersonic seekers[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(2): 384-389. (in Chinese)

作者简介:



魏 群(1983—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,助理研究员,2005年于浙江大学获得学士学位,2010年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事共形光学与气动光学方面的研究。E-mail: wei. q@hotmail. com



贾宏光(1971—),男,黑龙江五常人,博士,研究员,博士生导师,2000年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事光机电系统微型化与精确制导技术方面的研究。E-mail: jiahg@ciomp. ac. cn



艾兴乔(1982—),男,湖北荆门人,博士研究生,2006年于中南大学获得学士学位,主要从事结构优化设计方面的研究。E-mail: aixingqiao@163. com

●下期预告

磁驱动飞片的超高速激光阴影扫描摄影技术

汪 伟,王桂吉,罗振雄,莫建军,尚长水
(中国工程物理研究院 流体物理研究所,四川 绵阳 621900)

针对磁驱动飞片的物理过程,设计了显微装置和激光阴影照明装置,结合超高速转镜式扫描相机,利用串联式光电开关避免相机像面重复曝光,有效地解决了被碰撞飞片过程中严重影响测试结果的自发强光现象,获得了磁驱动飞片运动过程清晰的一维扫描试验图像。图像分析数据表明,在充电电压为55.9~64 kV时,可将尺寸为8 mm×6 mm×0.7/0.9 mm的Ly12铝飞片发射至9~14 km/s的超高速。该项工作为磁驱动飞片运动过程的研究提供了一种重要的测试手段,也可为相关物理实验研究提供试验数据。本测试方法也适用于其它产生强烈杂光的高速碰撞的测试工作研究。