

红外连续变焦镜头的结构设计

李永刚, 张葆, 丁金伟

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 随着红外光学技术的长足发展及其实际应用范围的不断扩展, 对红外连续变焦光学系统的需求日益增强。为了验证红外连续变焦镜头的变倍性能及其成像质量, 根据某红外连续变焦镜头的光学设计特点, 通过对其机械结构进行选型, 最终采用不同形式的凸轮机构来实现红外变焦镜头变倍、调焦过程, 对凸轮机构、变倍导向机构、调焦机构等作了较详细的说明, 并从机械设计的角度出发, 对系统的杂散辐射提出了抑制措施。装调结果表明, 采用凸轮机构、变倍导向机构可以实现红外连续变焦镜头的变倍及调焦过程, 提出的杂散辐射措施可以有效地抑制系统的杂散辐射, 提高镜头的成像质量。

关键词: 红外连续变焦镜头; 凸轮机构; 导向机构; 杂散辐射

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2009) 01 - 0060 - 04

Mechanism Design of Continuous Infrared Zoom Lens

LI Yonggang, ZHANG Bao, DING Jinwei

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

Abstract: In recent years, the demand for infrared zoom systems is increasing in proportion with the development of infrared technology and its applications. In order to testify the varifocusing performance and image quality of one novel continuous infrared zoom lens, two kinds of cam mechanism were described according to the optic design of the infrared zoom lens, cam mechanism, guide mechanism and focusing mechanism was discussed in detail, and suppression methods on the stray radiation of the system were introduced. The tests show that cam mechanism and guide mechanism can achieve varifocusing of the continuous infrared zoom lens, and the suppression methods can improve the image quality of the infrared lens.

Key words: continuous infrared zoom lens; cam mechanism; guide mechanism; stray radiation

随着现代光学技术的发展, 可见光变焦镜头已经普及, 在军用和民用方面得到了广泛的应用。而红外连续变焦镜头因受到光学材料等方面的限制, 其发展相对缓慢。目前国内对红外连续变焦镜头的研究, 基本上处于理论设计或试验阶段, 对加工装调后的红外变焦镜头及其成像质量还未见相关报导。因此设计一套红外连续变焦镜头的机械结构, 用来验证所设计的红外镜头的变倍性能及其成像质量是很有必要的。

根据光学设计人员给出的某小型红外连续变焦镜头的光学特点, 本文采用不同形式的凸轮机构分别作为光学系统的变倍、调焦机构。同时, 为了提

高镜头的成像质量, 采用多种机械方法抑制杂散辐射措施, 使得红外镜头的杂散辐射得到有效的抑制。

1 光学结构及其主要机械结构选型

1.1 光学结构

本文所涉及的镜头为相对孔径 1:4, 焦距 25 ~ 450mm 的中波红外连续变焦镜头, 为机械补偿变焦镜头, 其光学结构由前固定组, 变倍组, 补偿组, 后固定组组成。其中变倍组作线性移动, 补偿组作相对少量非线性移动, 以达到光学系统既变倍而像面位置又稳定的要求。该镜头设计为透射系

统,共有 14 片透镜,包括变焦物镜系统和二次成像系统。镜片数目的增加,有利于校正像差,可提高像质;二次成像系统的作用是为了减小物镜的直径同时保证 100% 的冷屏效率。

1.2 变倍组导向机构选型

连续变焦镜头在连续变焦的过程中,光轴随着变倍和补偿镜组的位移始终在跳动,而光轴跳动量的大小直接影响系统的性能指标。所以变倍、补偿镜组的导向机构设计是此红外变焦距镜头结构设计的核心。变焦距镜头导向机构的种类很多,按接触摩擦性质可分成两大类:滑动摩擦机构和滚动摩擦机构。滑动摩擦机构是导轨与移动镜组之间采用滑动接触方式,滚动机构是导轨与移动镜组之间采用滚动方式^[1]。常用的变倍机构有以下几种形式^[2]:

1. 圆柱导轨滑动机构。这种结构变倍精度高,径向结构尺寸小,适用于变倍和补偿组光学通光口径较小的结构。

2. 两根圆柱导轨滑动机构。由于滑动部件为两根圆柱导轨,这种结构变倍精度高,承载的负荷也比第一种大。但是由于是超定位结构,光学通光口径太大,容易产生机构卡死现象,机构的径向尺寸也较大,一般适用通光口径 30 ~ 80 mm 的结构。

3. 三根圆柱导轨滑动机构。这种结构的优点是运动舒适、平稳,不容易产生卡死现象,可以带动通光口径较大的光学组件。缺点是运动精度较前两种低,一般适用通光口径 50 ~ 120 mm 的结构。

滚动摩擦机构就是在上述滑动摩擦机构的基础上,加上精密轴承或者精密钢球等,来减小摩擦力矩,提高系统总体性能。

根据以上经验,本文选用两根圆柱导轨形式,并且在变倍、补偿镜组与圆柱导轨之间采用精密直线轴承配合,使该机构由滑动摩擦变为滚动摩擦。

1.3 调焦机构选型

调焦组的作用是通过调焦机构,使调焦镜组沿光轴方向移动,以保证在远近不同距离上的物体,都能清晰地成像在像面上。因此,它的机构优劣直接影响到变焦距镜头的成像质量。

光学系统调焦机构大体有三种方式,一种是凸轮调焦^[3],一种是采用直线电机调焦^[4],另一种是丝杠螺母调焦。考虑到调焦系统行程短,通光口径比较大,如果采用丝杠螺母调焦或者直线推进调焦机构,对加工装配要求就很严格,而且容易出现卡滞现象。而采用简单的凸轮机构实现调焦过

程,可以避免上述的缺点。

2 主要机械结构设计

2.1 凸轮机构设计

由于补偿组作非线性移动,直接的直线驱动很难控制其与变倍组线性同步,而采用圆柱凸轮,由凸轮的旋转同时带动变倍、补偿镜组实现直线移动,可使得驱动控制简单易行。

凸轮机构是实现由电机旋转运动转化为变倍、补偿镜组沿光轴方向平移运动的执行机构,凸轮机构主要由带齿轮的凸轮、轴承环、导轨、导钉、导环等组成,结构简图如图 1 所示。当电机带动带齿轮的凸轮转动时,通过导环、导钉将运动传递给变倍、补偿镜组,通过导轨的导向作用,将凸轮的旋转运动转化为变倍、补偿镜组光轴方向的平行移动。

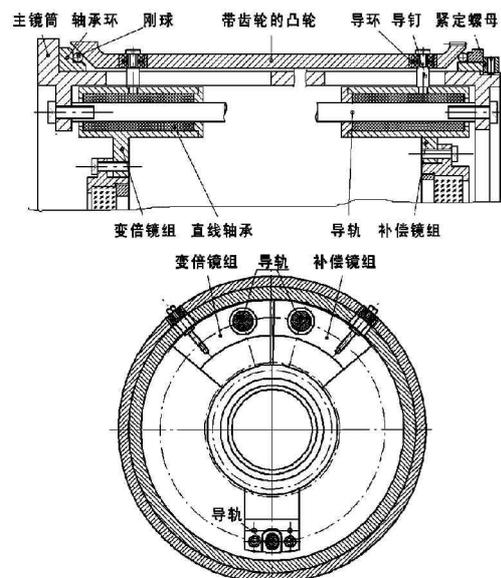


图 1 变倍、补偿镜组凸轮机构简图

Fig.1 Cam guide mechanism sketch of varifocusing and compensating



图 2 凸轮结构图

Fig.2 Sketch of cam configuration

凸轮圆周上开有两条空间曲线槽,通过这样的曲线轨迹实现确定的轨迹。其中一条为变倍用,一条为补偿用。使变倍镜组移动时,补偿镜组做相应

移动以做补偿用, 凸轮示意图如图 2 所示。凸轮槽等宽, 两条槽严格按照光学性能曲线加工, 加工后凸轮槽的两端可以用作机械限位。凸轮两端滚道做成轴承形式, 用精密钢球支撑, 与精密钢球接触的两滚道面通过激光淬火工艺, 其硬度可达 60 HRC, 使得转动时由滑动摩擦变为滚动摩擦, 减小摩擦力。前、后轴承环与主支撑镜筒组合加工, 这样可有效保证轴承环的同轴度、圆度等形位公差要求。装配时调整紧定螺母, 使凸轮运转自如, 且钢球相对凸轮及轴承环的间隙为零, 保证轴向、径向精度, 然后锁定紧定螺母。

2.2 变倍、补偿镜组导向机构设计

设计变倍、补偿镜组导向机构的关键就是要在变倍过程中, 尽量减小光轴的跳动量, 即保证两镜组的同轴度。为保证变倍、补偿镜组的同轴度, 主镜筒左端固定支承法兰与主镜筒右端一次镗孔, 保证两孔的同轴。使三根导轨平行光轴, 使两镜组同轴, 导轨外圆柱面必须一次装夹磨削, 这样其形位公差保持一定精度。两镜组与导轨采用直线轴承配合, 使其由滑动摩擦转化为滚动摩擦, 可有效的减小电机的输出力矩。

由于系统总体要求变倍过程中正反行程光轴晃动小于 $60''$, 而直线轴承与直线导轨的倾角与镜组的倾角为 1:1, 变倍、补偿镜组中的直线导轨与直线轴承相接触的有效长度为 34 mm, 故直线导轨与轴承的配合间隙应小于 $b = 34 \tan 60'' = 0.01 \text{ mm}$, 因此, 直线导轨要求与直线轴承配作, 间隙为 $0.008 \sim 0.01 \text{ mm}$ 。

变倍、补偿镜组各采用两根导轨导向, 其中与直线轴承配合的两根导轨分别与两镜组相连, 限制镜组的径向运动, 第三根导轨共用, 限制镜组的转动, 从而保证镜组平稳的轴向运动。另外, 导环与凸轮中的两条凸轮槽配合, 导环材料选用二硫化钼, 二硫化钼是一种优质固体润滑剂, 在运动过程中有自润滑的作用。

2.3 调焦系统及其凸轮机构设计

红外光学材料的折射率温度变化系数较大, 比可见光大一个数量级以上, 所以折射式红外光学系统的像面热漂移比可见光系统大同样的数量级, 环境温度变化会造成红外光学系统产生热离焦并导致像质降低。因此在设计红外光学系统时就要考虑对因温度变化而引起的系统离焦现象。而对于红外光学镜片来说, 相对厚度 h/D 越小, 其膨胀系数越

大, 则温度差对成像质量影响越大; 反之, 相对厚度 h/D 越大, 其膨胀系数越小, 则温度差对像质影响就越小。在本系统中, 前物镜组的相对厚度 h/D 比其他几组小很多, 故在前物镜组处设计调焦系统。

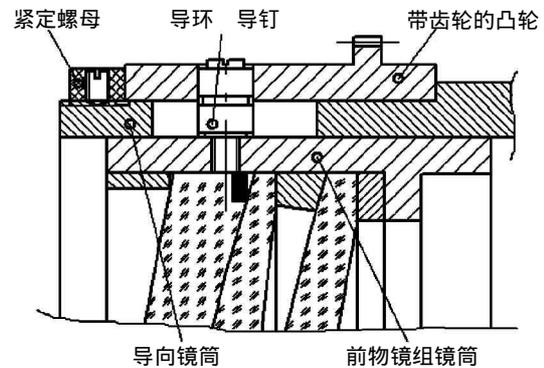


图 3 调焦凸轮机构简图

Fig.3 Cam mechanism sketch for focusing

调焦凸轮机构主要由带齿轮的凸轮、导向镜筒、导钉、导环等组成, 其结构简图如图 3 所示。凸轮圆周上加工两条等宽的曲线槽, 当电机带动凸轮转动时, 通过导环、导钉将运动传递给前物镜组, 导向镜筒开有两个等宽的导向槽, 因导向镜筒的直线导向槽限制了导环的运动轨迹, 故凸轮正反转时, 会带动前物镜组做往复直线运动。

前物镜组镜筒外圆与导向镜筒内圆配作, 配作间隙要求为 0.01 mm , 前物镜组镜筒长 44 mm, 所以调焦过程中的光轴晃动角 $\alpha < 48''$ 。

与变倍、补偿凸轮机构相比, 调焦凸轮机构结构比较简单、紧凑。但这种机构因为配合面较大, 而且配合面之间是滑动摩擦, 所以所需的力矩就相对比较大。

3 抑制杂散辐射的机械措施

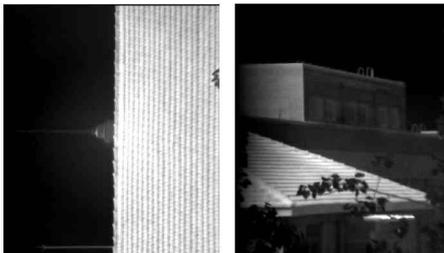
红外杂散辐射的来源有两个, 即物空间视场以外的杂散辐射和红外系统本身的辐射^[5]。红外系统中, 杂散光使像面产生明亮背景, 降低像面对比度和调制传递函数; 使整个画面的层次减少, 清晰度变坏, 探测距离下降。在明确分析杂散辐射来源的基础上, 接下来的工作就是提出相应的改进措施。从机械角度考虑, 消除杂散辐射的措施大体有放置光阑、镜筒内壁加工齿纹、镜筒表面处理等措施。

在光学系统中加进阻挡杂光通过的辅助光阑是比较有效的消杂光方法^[6]。所以在杂散辐射的抑制方面, 光阑要放在首要位置。由光学设计可以得到光学系统中孔径光阑和视场光阑的位置及尺寸大

小,然后设置一孔径光阑,其大小与光学孔径光阑的像相同,位置放在光学孔径光阑的像面处,使得孔径光阑前的所有非成像物体都不能被像面看到,而在孔径光阑到像面之间的诸多表面则可见,这样系统的表现就会得到改善;与孔径光阑相反,设置一视场光阑,其大小与光学视场光阑的像相同,位置放在光学视场光阑的像面处,使得视场光阑后的镜筒表面不能从视场外的物空间看到,即视场光阑限制了被照射表面的面积。按上述原则给镜头加入光阑后,即不降低像面照度,也不减小视场,更不会引起渐晕,但却可以有效地抑制杂散辐射。图4(a)为没有加光阑之前的图像,(b)为加光阑之后的图像,可以看出,图像质量明显有所提高。



(a) 未加光阑的图像



(b) 加光阑之后的图像

图4 光阑对系统杂散辐射的影响

Fig.4 Effect of stop on stray radiation

其次,在镜筒的内表面加工出若干条0.35 mm宽的齿纹,并且镜筒经过染黑处理,利用镜筒内壁对杂散辐射的散射和吸收,从而对到达像面的杂散辐射能量进行有效衰减,达到抑制杂散辐射的目的。或者光机结构表面采用消杂光涂料,以利用涂料的表面粗糙度和多孔性散射和吸收杂散光,也是消除杂散辐射的有效途径。

4 装调后镜头的检测与成像

对装调好的红外镜头进行光学检测,结果表明,变倍过程中光轴晃动量小于1。对一景物进行实时成像,可以看出,该系统在从长焦到短焦的变化过程中成像连续清晰,目标与背景的对比如较鲜明,高、低温,振动环境下变倍、调焦机构运转正常,满足一般情况下的使用。图5为装调后镜

头的变焦过程。

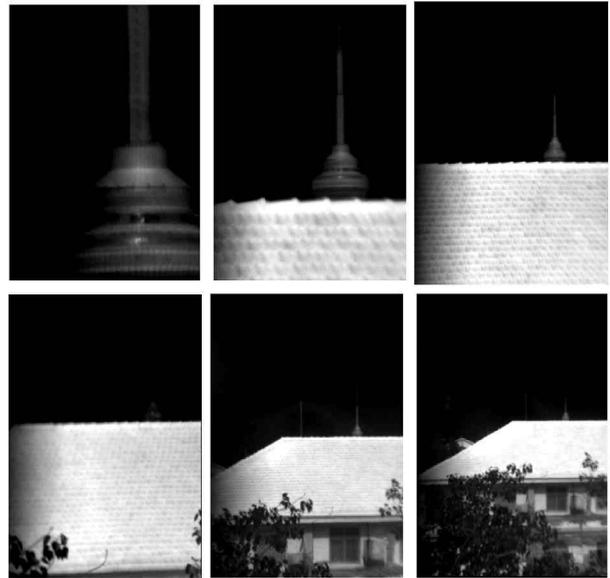


图5 装调后红外镜头的变焦过程

Fig.5 Zoom process of infrared zoom lens

当然,由于系统采用透射式光路,且镜片数目很多,从而造成红外镜头整体的透过率不是很高,使得其成像质量不如定焦或者两档红外镜头的成像质量高。不过作为对红外连续变焦镜头的一次尝试探索,其结果对红外变焦镜头的进一步研究还是有很大指导意义。

5 结论

欲验证红外连续变焦镜头的变倍性能及成像质量,设计一套精密的、满足性能指标要求的、安全可靠的、适用的变倍、调焦机构是必要的。经过初步的实验证明,本文采用的凸轮机构、导向机构均获得了较好的结果,能很好地达到所需要的目的,并具有很好的可靠性。抑制杂散辐射措施切实可行,为以后进一步完善红外连续变焦镜头的各项性能指标打下了坚实的基础。

参考文献

- [1] 张治中,李晓惕.变焦距镜头导向机构的类型[J].光学机械,1991(5):50-55.
- [2] 王一凡,薛育.一种大口径高精度凸轮变焦机构的设计[J].光学精密工程,2007,15(11):1756-1759.
- [3] 丁亚林,田海英,王家骥.空间遥感相机调焦机构设计[J].光学精密工程,2001,9(1):35-38.
- [4] 林为才,王晶.一种新型调焦机构设计[J].长春理工大学学报,2007,30(4):46-48.
- [5] 王骞,张景旭,郭劲.红外系统中杂散辐射的抑制方法[J].光机电信息,2002(12):21-24.
- [6] 胡家升.光学工程导论[M].大连理工大学出版社,2006.