

文章编号 1674-2915(2010)06-0649-04

连续变焦镜头焦距输出结构的设计

贾庆莲, 王春霞

(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: 根据光学设计中变倍组与补偿组的移动量与系统焦距的关系, 设计了一种在变焦距镜头连续变焦时能准确输出焦距值的结构。该结构由蜗轮蜗杆驱动, 以直线位移传感器为反馈元件, 采用一个连接杆将直线位移传感器与变焦镜组进行固定连接来保证镜组的移动量直接反馈为位移传感器的电压值。与传统的通过齿轮传动将焦距变化反馈到旋转电位器的结构相比, 该结构消除了由齿轮传动的空回、凸轮带动钉的间隙以及电位器的误差值等带来的影响。精度分析表明, 采用这种高精度的直线位移传感器, 加在其上的电压的变化可直接换算成焦距的变化, 因此提高了焦距输出的精度。

关键词: 变焦镜头; 结构设计; 焦距; 精度

中图分类号: TH703 **文献标识码:** A

Mechanism design of focal output for zoom lens

JIA Qing-lian, WANG Chun-xia

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

Abstract: A mechanism structure for the focal output of a zoom lens in varifocusing process was designed based on the relation of system focus, variable magnification unit and compensation unit in the optical design. A line displacement sensor was taken as feedback, a worm wheel and a worm as drive-elements in the mechanism structure, and a joint pole was adopted to fix and join the high-precision line displacement sensor and the zoom lens, so that the motion values of zoom lens was directly feeded back to the voltage of line displacement sensor. As compared with traditional mechanism structure that the focal-length was calculated by the relation of the cam rotational angle acquired by gear-driven potentiometer, the precision was low for the last motion error of gear, clearance of cam, drive nail and the potentiometer error. The results of precision analysis show that the focal-length can be obtained immediately based on the voltage of line displacement sensor which reflectes the displaces of zoom lens, therefore the precision for focal output is improved greatly.

Key words: zoom lens; structural design; focal length; precision

1 引言

变焦距镜头以其焦距在一定范围内连续可变而像面位置基本不变的特点,成为监视、测量运动目标的一种常用光学镜头^[1,2]。当系统焦距较短时,可以获得较大的视场,从而完成对快速小目标的近距离捕获;当焦距变长时,可以实现对目标的高精度跟踪。

根据变焦补偿方式的不同,变焦距镜头可分为机械补偿变焦镜头和光学补偿变焦镜头。光学补偿变焦镜头是将各透镜组连在一起做同向等速的移动,当其移动到特殊的位置时才能得到清晰稳定的像面,因而焦距是不能连续变化的。机械补偿变焦镜头是利用一组透镜即变倍组做线性移动以连续改变焦距,另一组透镜即补偿组作补偿式移动以保证像面位置基本不变。

本文根据光学设计中变倍组与补偿组的移动量与系统焦距的关系,设计了一种在变焦距镜头连续变焦时能准确输出焦距值的结构,由于采用了高精度的直线位移传感器,该结构提高了焦距输出的精度。

2 变焦距的光学设计原理

变焦距镜头的常见光学结构如图1所示。这两组透镜的运动有严格的对应关系,在实际结构设计中,常采用凸轮上加工两条曲线用以满足这种关系^[3]。当带动镜组运动的带动钉在凸轮槽内沿凸轮曲线移动时,一个凸轮角度就严格地对应着一个变倍镜组和补偿镜组的位置,根据变倍镜组与焦距的关系即可以计算出系统焦距^[4-5]。

由几何光学理论可知,在变焦过程中,变倍组的物点到补偿组的像点之间的距离 D 保持不变^[1],表示为:

$$D = 2(f_b + f_c) - f_b(m_b + \frac{1}{m_b}) - f_c(m_c + \frac{1}{m_c}), \quad (1)$$

其中, f_b , f_c 分别为变焦过程中变倍组和补偿组的焦距, m_b , m_c 分别为初始长焦状态的变倍组和补偿组的垂轴放大率。

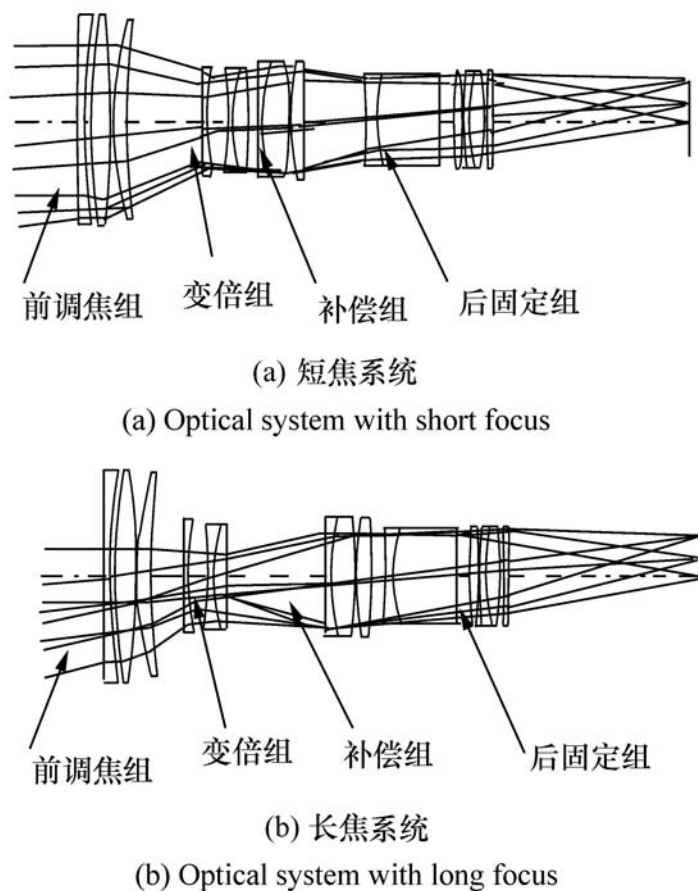


图1 变焦光学系统

Fig. 1 Varifocus optical systems

在变焦开始后,设 x_b , x_c 分别为变倍组和补偿组沿光线方向的移动量,则有:

$$x_b = f_b \left(\frac{1}{m_b} - \frac{1}{m_b} \right). \quad (2)$$

$$x_c = f_c (m_c + m_c)$$

光学设计完成后, x_b , x_c 以及变倍补偿组的焦距都为已知量^[7],在满足结构刚度允许的前提下,计算出凸轮的变倍、补偿转角,由此可获得 x_b , x_c 与系统焦距之间的一一对应关系。

3 变焦距的机械结构实现

为了保证光轴在系统俯仰角不同时能保持稳定,凸轮的驱动机构选用能自锁的蜗轮蜗杆结构。当高速直流电机驱动传动组件并带动凸轮旋转时,变倍组和补偿组沿着设定的凸轮曲线做连续移动,实现系统焦距的连续变化,结构如图2所示。为了保证系统输出焦距的精确,采用一个连接杆连接补偿镜组与直线位移传感器,连接杆的一端与补偿镜组通过螺钉固连,另一端与直线位移传感器轴上的消间隙螺母固连,同时保证直线位移传感器的轴在自由状态,如图3所示,此后固定住直线位移传感器就可满足使用要求。

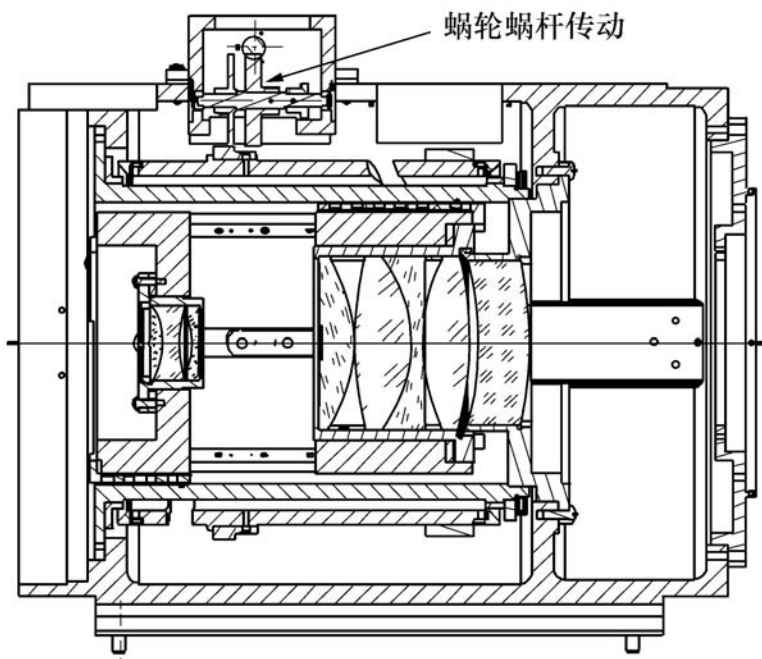


图2 蜗轮蜗杆驱动变焦机构

Fig. 2 Worm wheel-driven varifocal structure

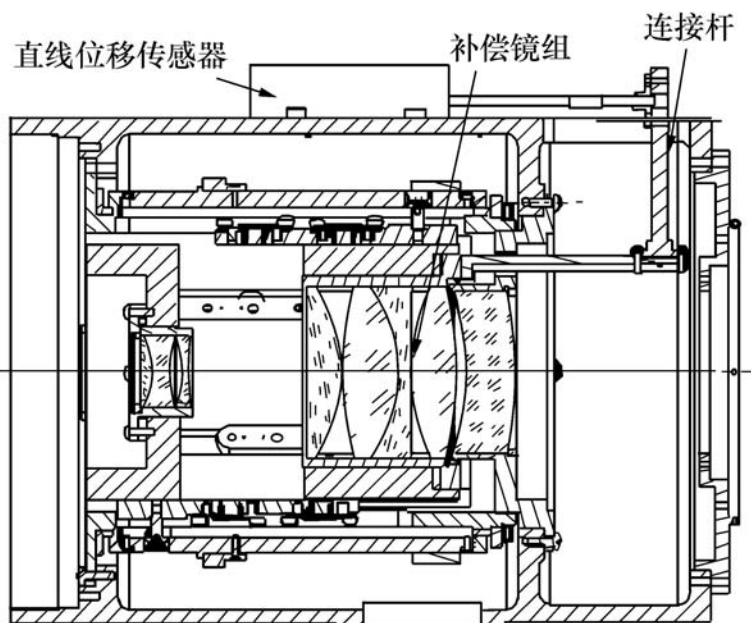


图3 焦距输出机构

Fig. 3 Focal output structure

4 变焦距的输出精度分析

4.1 传统旋转电位器反馈的精度

根据变焦距镜头及其焦距输出装置的工作原理,影响焦距输出误差的主要因素有3个:(1)精密电位器的测量误差;(2)齿轮的传动误差;(3)凸轮曲线的加工及与导钉之间存在间隙造成的误差。其中(1)和(2)主要体现的是电位器对凸轮转角的测量误差。对同样的转角误差,若凸轮曲线不同,其对应的镜组沿光轴方向的位移相对误差不同,则电位器电压值换算成的焦距的相对误差不同。(3)直接带来镜组沿光轴方向的位移误

差,凸轮曲线对其影响不大。

设变焦补偿组轴向移动量 l_{bc} 为 43 mm, 凸轮转角为 160° ; 凸轮到电位器速比为 7.2。按 7 级精度齿轮来计算, 旋转电位器到凸轮为一级传动, 则齿轮传动空回值引起的电位器轴上的空回角度值为 50', 则由此引起的变焦镜组的空回值为:

$$\frac{50' \times 43}{60 \times 7.2 \times 160} = 0.031 \text{ mm} \quad (3)$$

电位器使用范围为 $1 \sim 152^\circ$; 选用 5 圈电位器, 其线性误差为 0.3%, 则由其引起的焦距输出误差为:

$$\frac{1152 \times 43 \times 0.003}{5 \times 7.2 \times 160} = 0.026 \text{ mm} \quad (4)$$

采用数控高精度加工, 以及在装配阶段进行研配, 凸轮曲线与导钉之间的间隙很小, 可以忽略不计。

由上述分析可以看出, 当系统焦距每变化 1 mm 时, 传统旋转电位器反馈结构引起的焦距输出误差为:

$$0.031^2 + 0.026^2 = 0.04 \text{ mm} \quad (5)$$

由上式可以看出, 由光学设计给出的凸轮曲线、凸轮转角与系统总焦距有一定的函数关系。这种函数的一阶导数越小, 也就是变化速率越慢, 焦距值输出精度越高, 测量精度也就越高。

由于凸轮的转角与变倍和补偿透镜组沿光轴方向位移成对应关系, 因而凸轮的转角也与镜头的焦距值成对应关系。因此, 对电位器输出电压值进行换算即可获得焦距值, 达到输出变焦距镜头焦距值的目的。

4.2 直线位移传感器为反馈元件的精度

直线位移传感器直接固定在补偿组镜筒上, 而补偿组镜筒沿光轴方向的运动由凸轮曲线所决定, 因此这种方式的焦距输出误差是由直线位移传感器的线性误差造成的。

由光学设计可以得到补偿组沿光轴方向的位移与焦距的关系, 而在整个补偿镜组位移过程中, 从短焦到长焦, 一定的镜组位移误差 Δl_{bc} 对应的焦距相对误差 $\Delta f/f$ 是不同的, 具体数据由凸轮曲线可以得到。

直线位移传感器的线性误差为 $\pm 0.5\%$, 其移动量为 43 mm, 则误差值为 $43 \times 0.01 = 0.43 \text{ mm}$ 。

由光学设计与结构设计结果可以得到补偿组

移动与系统焦距从短焦到长焦的比例关系 k 为 0.020 3, 0.01, 0.008, 此值随着焦距的增加而逐渐减小, 由此可得到直线位移传感器的数值与系统焦距的关系。

以 k 值来看, 在系统从短焦到长焦的变化过程中, 要求电位器灵敏度越来越高, 因此长焦处直线位移传感器的线性误差对系统焦距的误差影响逐渐增大。

当系统焦距从 2 000 mm 变化到 6 000 mm 时, 系统焦距每变化 1 mm, 由直线位移传感器线性误差造成的焦距输出误差为: $l_{bc} \times 0.01 / k = 0.01$ mm。

若给直线位移传感器加电压, 则其输出的电压信号需经 A/D 转换为与焦距相关的数据后显示出来, 这期间信号处理的误差也会影响焦距输出精度, 对比发现实际误差为 0.015 mm, 这个数

据与传统旋转电位器反馈的结构相比, 精度还是提高了很多。

5 结 论

本文所设计的焦距输出结构, 经过加工装调后已实际应用于变焦镜头中。给高速直流电机通电后, 电机旋转带动凸轮转动, 由此带动连接到补偿镜组的焦距输出连接杆, 拉动直线位移传感器的轴运动, 连续记录其电压值并换算成焦距值, 得出系统在变焦过程中的实际焦距。但在实际使用过程中, 发现直线位移传感器的精度达不到长焦时所要求的高精度, 不过采用这种结构焦距输出误差能控制在 0.015 mm 内, 因此寻求更高精度的位移传感器是提高到变焦镜头焦距输出精度的关键因素。

参考文献:

- [1] 胡家升. 光学工程导论[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2002.
HU J SH. *Introduction to Optical Engineering*[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2002.
- [2] 王平, 张葆, 程志峰, 等. 变焦距镜头凸轮结构优化设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(4): 893-898.
WANG P, ZHANG B, CHENG ZH F, *et al.*. Optimal design of cam structure of zoom lens[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(4): 893-898. (in Chinese)
- [3] 李永刚, 张葆, 丁金伟. 红外连续变焦镜头的结构设计[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2009, 32(1): 60-63.
LI Y G, ZHANG B, DING J W. Mechanism design of continuous infrared zoom lens[J]. *J. Changchun University Sci. and Technol. (Natural Science Edition)*, 2009, 32(1): 60-63. (in Chinese)
- [4] 史亚莉, 王一凡, 宋春鹏, 等. 连续变焦距镜头焦距实时输出问题研究[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 50-52.
SHI Y L, WANG Y F, SONG CH P, *et al.*. Active focal length output of zoom lens[J]. *Chinese J. Sci. Instrument*, 2006, 27(6): 50-52. (in Chinese)
- [5] 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.
WANG Y F, XUE Y. Design of heavy calibre and high precision cam-varifocal mechanism[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(11): 1756-1759. (in Chinese)
- [6] 崔继承. 大口径折反射式变焦距物镜的设计[J]. 光学精密工程, 2008, 16(11): 2087-2091.
CUI J CH. Design of large aperture refractive-reflective zoom lens[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11): 2087-2091. (in Chinese)
- [7] 田海霞, 杨建峰, 马小龙. 可见光变焦距电视光学系统设计[J]. 光子学报, 2008, 37(9): 1797-1799.
TIAN H X, YANG J F, MA X L. Design for visible video zoom optical system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, 37(9): 1797-1799. (in Chinese)
- [8] 陈志坚, 杨小君, 李哲. 高速电视测量仪中精密变焦系统控制方法的研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(13): 3145-3148.
CHEN ZH J, ANG X J, LI ZH. Study on the methods of control and calibrated focal length in high-speed TV measurement instrument[J]. *Sci. Technol. Eng.*, 2007, 7(13): 3145-3148. (in Chinese)