

文章编号 1004-924X(2009)11-2814-06

超声电机驱动的旋转变倍机构

王守印¹, 冷雪飞², 何锋赞¹, 贾庆莲¹, 张春林¹, 姚志远³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 南京航空航天大学 航天学院, 江苏 南京 210016;

3. 南京航空航天大学 精密驱动研究所, 江苏 南京 210016)

摘要:为了弥补传统的沿光轴切向移入移出变倍镜组方式与沿光轴同向移动变倍镜组方式的变倍机构存在占用空间大、机构复杂、变倍时间长、控制精度低以及断电不能自锁等缺点,设计了一种超声电机驱动的光轴旋转方式移入移出的变倍机构。新变倍机构具有占用空间小、机构简单、变倍完成时间短、转角控制精确、可重复性强以及断电自锁等优点。实验结果表明,该变倍机构在 100 次可重复性关断特性试验中,平均转速为 150 r/min,试验得到最长的关断时间为 0.756 ms,最短的关断时间为 0.748 ms,关断时间最大误差为 0.008 ms,旋转变倍机构的最大转角误差为 0.432'。最大转角误差在成像面上的偏移量 < 0.015 mm,其误差在系统所要求的范围内。

关键词:变倍机构;旋转;超声电机;光学变焦

中图分类号:TH703 **文献标识码:**A

Rotary varifocal mechanism driven by ultrasonic motor

WANG Shou-yin¹, LENG Xue-fei², HE Feng-yun¹,
JIA Qing-lian¹, ZHANG Chun-lin¹, YAO Zhi-yuan³

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. *College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;*

3. *Precision Driving Laboratory, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China*

Abstract: A rotary varifocal mechanism driven by ultrasonic motor was designed to remedy the shortcomings of a traditional varifocal mechanism in moving along the axial or radial directions, such as large occupation space, complicated configuration, long time consumption, low control precision, and the lack of self-locking function. This new varifocal mechanism has the advantages of the small space, simple configuration, short time for zoom completed, high control precision of rotating angle, strong repeatability, and self-locking function. The results of 100 shutoff characteristics of repeatability experiments show that the longest and the shortest shutoffs are 0.756 ms and 0.748 ms, respectively, when the average rotation speed is 150 r/min. Therefore, the maximum error of the shutoff time is

收稿日期:2009-06-03;修订日期:2009-07-23.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 50745039);南京航空航天大学引进人才科研基金资助项目(No. S0757-HT)

0.008 ms, the largest rotating angle error of the rotary varifocal mechanism is $0.432'$, and the largest angle error displacement in the imager is less than 0.015 mm. These data can meet the system requirement.

Key words: varifocal mechanism; rotation; ultrasonic motor; optical zoom

1 引言

现代光学改变着人们的生活,光学系统的成果已经日益广泛地应用于国计民生的各个领域,如工业、勘探、医疗、导航等^[1-13]。变倍功能是光学系统中常用的一种功能,完成变倍功能的载体一般被称为变倍机构^[9-10]。

变倍机构可以按焦距是否连续变化分为:连续变倍机构与非连续变倍机构,民用的光学成像产品,诸如照相机、摄像机等产品一般采用连续变倍机构;工业以及军事领域为了实现一些特殊功能有时会采用非连续变倍机构^[11]。按变倍机构与光轴的位置关系还可以分为沿光轴切向移入移出变倍镜组式^[5-6]和沿光轴同向移动变倍镜组式^[4,8]。

沿光轴切向移入移出变倍镜组式与沿光轴同向移动变倍镜组式变倍机构同时存在占用空间大、机构复杂、变倍时间长等缺点^[12];同时,使用传统的直流电机驱动还存在电磁辐射、控制精度低以及断电不能自锁等问题。

近年新发展起来的超声电机是基于压电换能器件的动力装置^[14]。该装置依靠定子上粘接的压电陶瓷的逆压电效应,将施加于压电陶瓷的电能转化为定子的振动变形能,然后再通过定、转子间的摩擦副把定子的机械能传递给转子运动来实现驱动功能。上述原理决定了超声电机零部件少、占用空间小、结构简单、可控性好、输出力矩及转速的可调范围大、扭矩体积比大、启动与关断用时短等优点,而且无电磁场产生。

本文研发出一种新型超声电机驱动的旋转变倍机构。提出了利用超声电机作为驱动源的旋转型变倍机构;利用超声电机驱动的旋转变倍机构进行试验并验证这种机构的有效性与优越性。

2 传统的变倍机构

图 1 所示为沿光轴切向移入移出变倍镜组式变倍机构的结构示意图。沿光轴切向移入移出变倍镜组式变倍机构是由在固定镜头组与成像位置之间加入的变倍机构所承载的变倍镜头组构成。图 1(a)所示为变倍机构移入光路之前各个元器件的位置示意图,图 1(b)所示为变倍机构移入光路之后各个元器件的位置示意图。而图中的变动镜头组的位置变化的载体变倍机构是由直流电机、变速箱、直线导轨、螺旋副以及限位装置等组成。

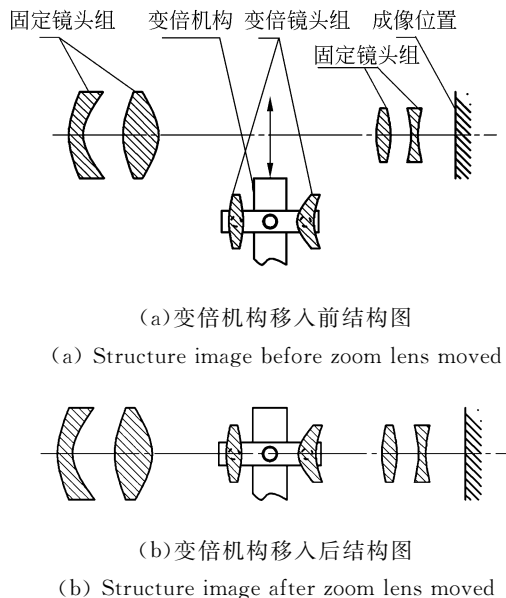


图 1 沿光轴切向移入移出变倍镜组变倍机构的结构示意图

Fig. 1 Structure image of a group of zoom lens moving across optical axis

图 2 所示为沿光轴同向移动变倍镜组式变倍机构的结构示意图。沿光轴同向移动变倍镜组式变倍机构是由在固定镜头组与成像位置之间加入的变倍机构所承载的变倍镜头组构成。图 2(a)所示为变倍机构在光路中最初成像点时各个元器

件的位置示意图,图 2(b)所示为变倍机构在光路中最终成像点时各个元器件的位置示意图。而图中的变倍镜头组的位置变化的载体变倍机构也是由直流电机、变速箱、直线导轨、螺旋副以及限位装置等组成。

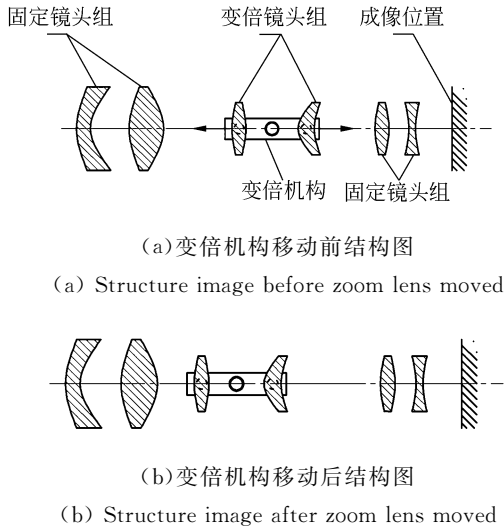


图 2 沿光轴同向移动变倍镜头组变倍机构的结构示意图

Fig. 2 Structure image of a group of zoom lens moving along optical axis

上述两种机构的共同缺点是,结构所占空间大,减少了光学系统设计的自由度;机构包括的元件较多也相对复杂;完成变倍所需要的时间较长。

3 旋转变倍机构

图 3 所示为超声电机驱动의 旋转变倍机构的结构示意图。超声电机的主轴连接可旋转变倍镜头组的安装架,变倍镜头组可随着超声电机的转动,转入与转出固定镜头组的光路系统,形成光路与光学系统焦距的改变。图 3(a)所示为超声电机驱动的旋转变倍机构转入光路之前各个元器件的位置示意图,图 3(b)所示为超声电机驱动的旋转变倍机构转入光路之后各个元器件的位置示意图。

图 4 所示为旋转变倍机构。其中滚动轴承与固定滑动轴承起着控制与限制晃动误差的作用,超声电机带动转动支架承载变动镜头组,在转动支架圆周上可以分布数组变动镜头组,这样可以实现多种焦距的切换。超声电机的断电自锁特性给旋转变倍机构增添了一种抗拒因振动而影响变

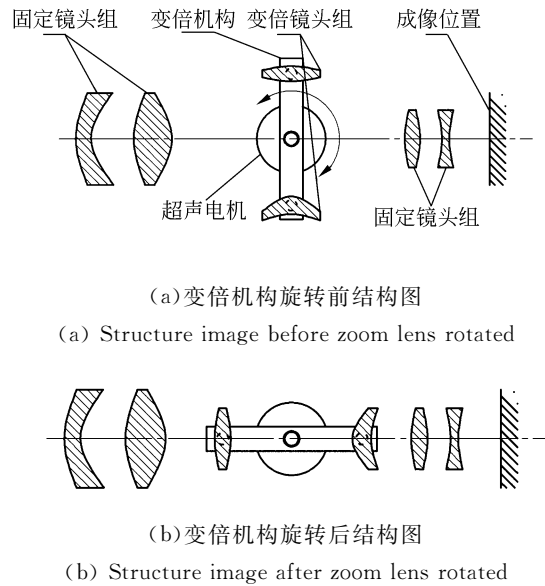


图 3 超声电机驱动的旋转变倍机构的结构示意图

Fig. 3 Structure image of rotary varifocal mechanism driven by ultrasonic motor

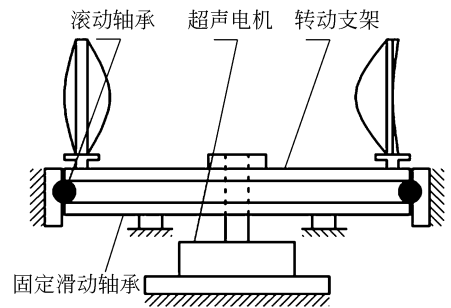


图 4 旋转变倍机构

Fig. 4 Rotary varifocal mechanism

倍机构调焦精度的能力。超声电机断电自锁力矩大于其驱动力矩 30%左右,所以只要图 3 中旋转变倍机构的各种连接的刚度足够大,就可以保证振动后不产生误差。这种特性对长时间保持或者是在特殊环境下使用(如:战场环境),提供了精确调焦的保证。

超声电机驱动的旋转变倍机构去除了传统变倍机构的直流电机、变速箱、直线导轨、螺旋副以及限位装置,替代使用了超声电机以及可旋安装架,结构简单可靠,并且占用空间小。同时,使用传统的步进电机驱动存在的诸如:电磁辐射、控制精度低(失步现象、矩角特性)以及断电不能自锁

等缺点,由于使用超声电机上述问题均不复存在。特别值得一提的还有,超声电机驱动的旋转变倍机构完成变倍所需要的时间较传统机构要短很多。这在后面的试验中将重点证明。

4 试 验

表 1 所示为实验用超声电机驱动的旋转变倍机构的主要性能参数。利用图 3 所示的超声电机驱动的旋转变倍机构,进行了变倍机构启动与关断特性试验。

表 1 变倍机构的主要性能参数与几何尺寸

Tab.1 Main performance parameters and physical dimensions of varifocal mechanism

电机平均转速	150 r/min
电机最大扭矩	1.0 N·m
机构总重	0.75 kg
变动镜头组数	1~3
光学系统焦距(长焦/短焦)	300 mm/150 mm
像元尺寸	30 μm×30 μm
单个像元所占的角度	0.34'

所谓启动与关断特性就是在超声电机及被施加的负载,在启动过程中平均转速达到 95% 时(考虑到启动时的波动因素,所以定义为达到设定的最大转速的 95% 时)所需时间,关断过程中平均转速达到 5% 时(考虑到关断时的波动因素,所以定义为达到设定的最大转速的 5% 时)所需时间。对于长经时非频繁启动转动机构的能力,一般使用平均转速与转动稳定性来评价;而对于短经时频繁启动转动机构的能力,一般使用启动与关断特性与启动与关断的可重复性来评价。

超声电机驱动的旋转变倍机构显然属于上述的后一种情况,启动与关断时间的快慢体现了动力装置与负载的反应能力;启动与关断的可重复性比较,启动可重复性就上述机构实现的功能而言并不重要;关断可重复性显得十分重要,因为关断可重复性决定了变倍机构的位置也就决定的光学镜片微小偏移量。而正确的成像一是被焦距决定,二是被单个像元所占的角度决定。光学镜片微小偏移量又制约了这两个因素。为此进行了启动与关断特性试验和变倍机构的可重复性关断特

性试验。

驱动的旋转变倍机构启动与关断过程中,旋转变倍机构在图 5 与图 6 中给出了一组启动与关断的经时转速试验曲线。启动时间(瞬时最高转速为 152 r/min)为 0.752 ms,关断时间(瞬时最高转速为 150 r/min)为 0.600 ms。同样利用图 3 所示的超声电机驱动的旋转变倍机构,进行了如图 7 所示的 100 次变倍机构的可重复性关断特性试验,瞬时最高转速控制在 148 r/min 到 152 r/min 之间(平均转动速度 $n=150$ r/min),试验得到最长的关断时间为 0.756 ms,最短的关断时间为 0.748 ms。

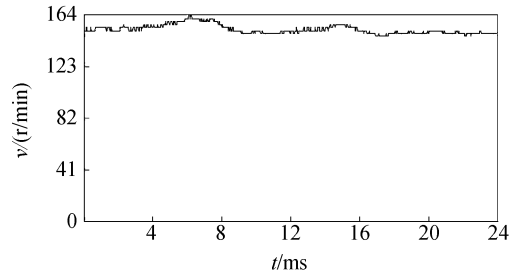


图 5 启动特性试验曲线

Fig.5 Starting characteristic testing curves

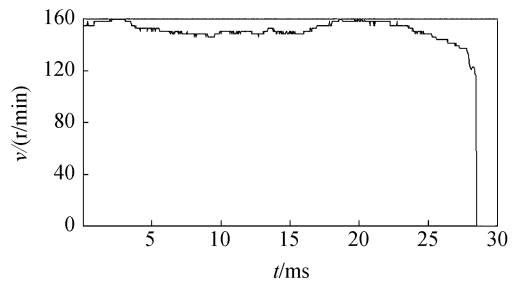


图 6 关断特性试验曲线

Fig.6 Shutoff characteristic testing curves

最长的关断时间与最短的关断时间的差就是最大的关断时间误差 δ 为 0.008 ms。可以得到旋转变倍机构的最大转角误差为 0.432'。

表 2 所示为利用光学设计软件 CODE-V 计算得到的数据。根据表 1 和表 2 分别所示的单个像元所占的角度 0.34' 及变倍组偏移量 1' 时光线在成像面上的偏移量 0.015 mm,可以判断,最大转角误差为 0.432' 时的光线在成像面上的偏移量小于 0.015 mm,也就是小于一个像元(30 μm)

相当的长度。所以利用超声电机驱动的旋转变倍机构的可重复性关断特性试验,其误差在系统所要求的范围内。

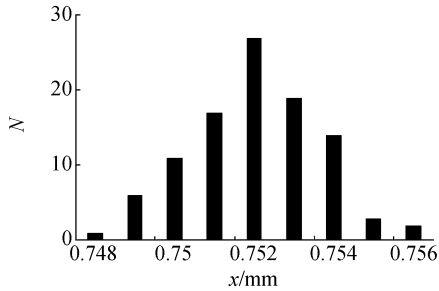


图 7 100 次变倍机构的关断特性试验关断时间分布
Fig. 7 Temporal distribution of 100-time shutoff characteristic testing of varifocal mechanism

表 2 变倍组偏移量所对应的成像偏移量

Tab. 1 Image displacement errors corresponding to varifocal mechanism displacement errors

变倍组偏移量/(′)	光线在成像面上的偏移量/mm
1	0.034
2	0.067
5	0.168
10	0.336

5 结 论

开发了一种有别于传统的沿光轴切向移入移出变倍镜组式变倍机构与沿光轴同向移动变倍镜组式变倍机构的以超声电机为驱动元件的旋转型变倍机构。新变倍机构与传统变倍机构相比较具有占空间小、机构简单、变倍完成时间短、转角控制精确、可重复性强以及断电自锁等优点。利用新开发的超声电机驱动的旋转变倍机构进行了启动与关断特性测试与试验。启动时间(瞬时最高转速为 152 r/min)为 0.752 ms,关断时间(瞬时最高转速为 150 r/min)为 0.600 ms。利用新开发的超声电机驱动的旋转变倍机构进行了 100 次可重复性关断特性试验。瞬时最高转速控制在 148 r/min 到 152 r/min 之间(平均转动速度 $n=150$ r/min),试验得到最长的关断时间为 0.756 ms,最短的关断时间为 0.748 ms。最大的关断时间误差为 0.748 ms。变倍机构的最大转角误差为 0.432′,可以判断:最大转角误差为 0.432′时的光线在成像面上的偏移量小于 0.015 mm,也就是小于一个像元(30 μm)相当的长度。其误差在系统所要求的范围内。试验验证了新变倍机构的有效性 with 优越性。

参考文献:

- [1] 董斌,丁亚林,田海英,等. 新型航空光学传感器减振结构设计[J]. 光学 精密工程, 2008, 16(12): 2454-2459.
DONG B, DING Y L, TIAN H Y, et al.. Design of vibration absorbing structure for aerial remote sensor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(12): 2454-2459. (in Chinese)
- [2] 徐刚,杨世模,龚雨兵. 大型光学望远镜副镜位姿精调机构的优化设计[J]. 光学 精密工程, 2008, 16(7):1181-1189.
XU G, YANG SH M, GONG Y B. Optimal design of pose and position fine tuning apparatus for secondary mirror in large optical telescope [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(7):1181-1189. (in Chinese)
- [3] 张运梅,赵改娜,张中华,等. 免散瞳眼底照相机的精密调焦[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(5):1014-

1019.

ZHANG Y M, ZHAO G N, ZHANG ZH H, et al.. Accurate focusing of non-mydratric fundus camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(5): 1014-1019. (in Chinese)

- [4] 韩莹,王肇圻,吴环宝,等. 紧凑型 8~12 μm 波段折/衍混合双位置两档变焦光学系统[J]. 光子学报, 2007, 36(5):886-889.

HAN Y, WANG Z Q, WU H B, et al.. Diffractive/refractive two-position step-zoom optical system in 8 ~ 12 μm [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, 36(5):886-889. (in Chinese)

- [5] 李刚,张恒全. 红外两档变倍光学系统设计[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(4):472-475.

LI G, ZHANG H J. Design of the infrared switch-zoom optical system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(4):472-475. (in Chinese)

- [6] 白瑜,杨建峰,马小龙,等. 长波红外两档 5 倍变焦光学系统设计[J]. 红外技术, 2008, 30(8):439-441.

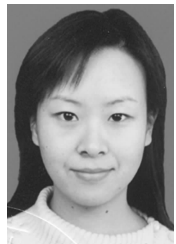
BAI Y, YANG J F, MA X L, et al.. Design of

- long-wave infrared switch-zoom optical system with five zoom ratio [J]. *Infrared Technology*, 2008,30(8):439-441. (in Chinese)
- [7] 张波,李林,安连生,等. 等倍变焦全动型变焦距物镜理论分析[J]. 光学技术,2001,27(3):226-228. ZHANG B, LI L, AN L SH, *et al.*. Theory of equivalent magnification zoom lens with all lens elements movable [J]. *Optical Technique*, 2001, 27(3):226-228. (in Chinese)
- [8] 任德清, B. J. Rauscher. 红外双视场透镜系统的光学设计[J]. 红外技术,1998,20(3):19-22. REN D Q, RAUSCHER B J. The optical design of an infrared dual field lenses [J]. *Infrared Technology*, 1998,20(3):19-22. (in Chinese)
- [9] 陶纯堪. 变焦距光学系统设计[M]. 北京:国防工业出版社,1988. TAO CH K. *Zoom Focus Optics System Design* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1988. (in Chinese)
- [10] NEIL I A. Optimization glitches in zoom lens design [J]. *SPIE*, 1997,3129:158-180.
- [11] AKRAM M N. A step-zoom dual field-of-view IR telescope [J]. *SPIE*, 2002,4832:328-333.
- [12] ALDRICH R E. Three-element infrared optically compensated two-position zooms for commercial FILRs [J]. *SPIE*, 1995,2539:87-107.
- [13] 冷雪飞,刘建业,熊智. 基于遗传算法的导航实时图像匹配算法[J]. 通信学报,2008,29(2):17-21. LENG X F, LIU J Y, XIONG ZH. Real-time image matching for navigation system based on genetic algorithm [J]. *Journal on Communications*, 2008,29(2):17-21. (in Chinese)
- [14] 赵淳生. 超声电机技术与应用[M]. 北京:科学出版社,2007. ZHAO CH SH. *The Technology and Application of Ultrasonic Motor* [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)

作者简介:



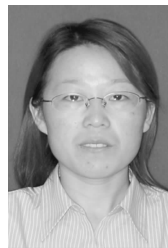
王守印(1956—),男,吉林长春人,研究员,1981年于长春光学精密机械学院获得学士学位,主要从事光电测控设备方面的研究。E-mail: ciomp_wsy@163.com



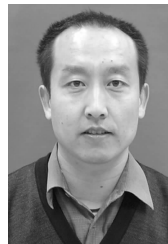
冷雪飞(1978—),女,江苏扬州人,博士,讲师,硕士生导师,2000年,2007年于南京航空航天大学分别获得学士、博士学位,主要从事图像处理及导航控制系统等方面的研究。E-mail: lengxuefei@nuaa.edu.cn



何锋贇(1978—),男,浙江丽水人,副研究员,主要从事光学系统设计的研究。E-mail: hefy_78@163.com



贾庆莲(1976—),女,山东莒县人,助理研究员,主要从事光电测控设备的研究。E-mail: jqlian@sohu.com



张春林(1973—),男,河北唐山人,助理研究员,硕士,2005年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事光电设备的研发工作。E-mail: alin412@163.com



姚志远(1961—),男,江苏镇江人,博士,副教授,2004年于东南大学获得博士学位,主要从事结构力学分析和超声电机技术等方面的研究。E-mail: zyyao@nuaa.edu.cn