

# 一种新型调焦机构设计

林为才, 王晶

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

**摘要:** 调焦机构是变焦距镜头中重要的组成部分, 目前对变焦距镜头调焦主要采用凸轮机构的变焦方式, 其缺点是体积大、效率低、精度差。为此本文提出了直线驱动的方式进行调焦的原理与方法, 介绍了一种应用系统, 其主要由直线电机、直线导轨、直线位移传感器、DSP控制器等组成, 从根本上改变了传统的调焦机械结构。具体给出了测量系统的组成结构和实验结果, 并进行了精度影响因素分析, 实验结果表明测量精度可保证在 0.005mm 内。

**关键词:** 直线电机 ; 直线导轨 ; 直线位移传感器

中图分类号: TM359.4 文献标识码: A 文章编号: 1672 - 9870 ( 2007 ) 04 - 0046 - 03

## A Design of New Focal System

LIN Weicai ,WANG Jin

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

**Abstract :** The focal system is an important part in zoom lens. The cam mechanism has been basically used in focal system now. The cam mechanism is bulky inefficient and low accuracy .The theory and methods for the zoom using beeline drive are discussed in the paper , and an applied system is also presented .The system was composed with liner motor , liner track , liner displacement sensor and digital signal processor etc. It drastically improved on traditional focal mechanism. The principle and structure of focal system are given in detail. The system accuracy was also analyzed , the system accuracy was controlled in 0.005 millimeter.

**Key words:** liner motor ; liner track ; liner displacement sensor

在现代光学镜头设计中, 变焦距镜头是一个不可缺少的部分, 为了实现对目标的连续跟踪捕获, 镜头焦距必须实时进行调整, 而实现变焦的关键在于调焦机构, 同时变焦精度也取决于调焦机构的精度。由于对镜头的要求不断提高, 目标也复杂化, 因此对变焦镜头的调焦精度也提出了越来越高的要求<sup>[1]</sup>。本文介绍了一套数字化调焦机构, 由直线电机、直线导轨、直线位移传感器等组成, 从根本上改变了传统的调焦机械结构, 提高了调焦精度。

### 1 调焦方案的确定

变焦距镜头已问世多年, 调焦机构的种类也有

多种, 但主要都采用凸轮机构的变焦方式。凸轮种类繁多多样, 按照凸轮形状分为盘式凸轮、移动凸轮、圆柱凸轮三类<sup>[2]</sup>。在镜头运动机构中, 主要采用圆柱型凸轮。在凸轮圆周上开有两组曲线槽, 两组槽按照光学性能曲线加工, 使变倍组移动时, 补偿组做相应的移动以做补偿用。在凸轮机构中, 主要有旋转电机、凸轮、导向销、移动镜组和带有直线槽的外镜筒等。通过旋转电机输出扭矩, 通过齿轮传动将扭矩传递给凸轮, 凸轮通过导向销将动能传递给移动镜组。因外镜筒上的直线槽限制了导向销的运动轨迹, 故凸轮正反转时, 会带动移动镜组做往复直线运动。但该变焦机构存在以下主要问

收稿日期: 2007 - 09 - 25

项目基金: 国防科技预研基金资助项目 ( 1040603 )

作者简介: 林为才 ( 1973 - ), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事光电经纬镜头结构设计的研究, E-mail: llinwei@sina.com。

通讯作者: 王晶 ( 1966 - ), 女, 研究员, 主要从事光电经纬仪总体机构的设计工作。

题。

(1) 采用凸轮精度要求很高,机械加工难度大,需要高精度的机床和镗床,提高了成本。

(2) 变倍滑架和补偿滑架易磨损,长时间使用会导致调焦精度降低。

(3) 由于采用了齿轮传动装置,以及导向销和凸轮之间存在间隙,造成空回较大,所以整个机构存在体积大、效率低、精度差等问题。

因此现在国外很多变焦镜头都不采用凸轮结构,而采用直线驱动的方式。直线驱动需要以下关键元件:直线电机、直线导轨、直线位移传感器,这些元件目前都有很好的发展和应用。直线电机可以将电能直接转换为直线运动机械能而不需要中间转换结构的传动装置,从而较传统方式有明显优势,如结构简单、速度快、精度高等特点。

## 2 调焦机构的工作原理和组成

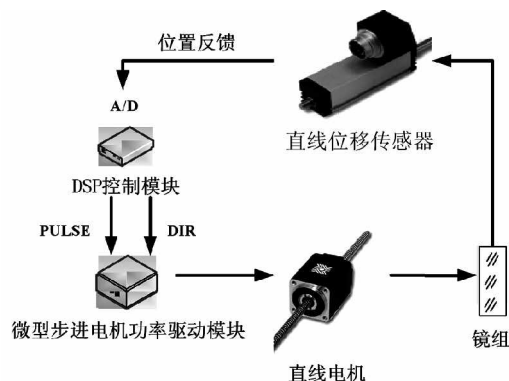


图1 系统原理图

Fig.1 The principle diagram of system

如图1所示。由单片机构成的调焦系统,调整放置在望远镜光路中的镜组,移动镜组改变空间的光程。镜组的移动量,是根据机下计算机发出的距离信息,由DSP模块控制。自动调焦系统利用直线位移传感器作为检测元件,直线位移传感器将直线的位移变化转换成脉冲信号,脉冲信号的数量对应移动的距离。根据牛顿公式,计算镜组位置误差,如果误差不等于零,DSP控制直线电机带动镜组移动,同时也带动直线位移传感器向减小误差方向运动,直至误差趋近于零,系统处于平衡状态。

如图2所示,调焦机构主要有以下几部分组成:精密直线导轨、直线电机、直线位移传感器、数显千分尺、电控系统等组成。直线电机驱动镜组在导轨上滑动,直线位移传感器检测镜组滑动的位移量并给电控系统提供反馈信号,利用数显千分尺显示的镜组实际位移量与光栅检测的镜组位移量比

较,得出调焦机构的调焦精度。

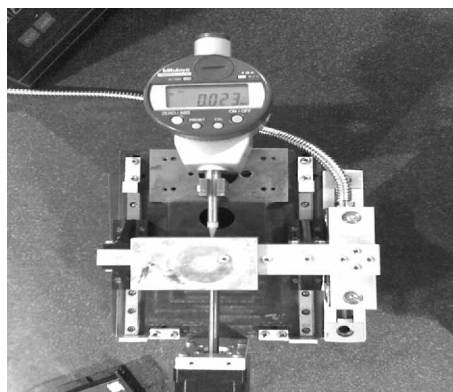


图2 系统结构图

Fig.2 The configuration of system

## 3 调焦机构的设计

### 3.1 直线电机的选用

直线电机的工作原理与旋转电机相似,是将切割磁力线部分的转子变成了具有直线运动的杆。打破了传统“旋转电机+机械变换环节”的传动方式。因此在镜头结构设计中,可简化结构,直接将直线电机输出的机械运动施加在移动镜组上。用直线电机进行直线驱动有以下优点。

(1) 动态响应快、定位精度高。直线电动机直接驱动系统由于取消了机械中间传动环节,消除了反向间隙,系统的弹性变形大大减少,运动惯量也减少,使整个闭环控制系统动态响应性能和定位精度大大提高,目前定位精度最高可达  $1\mu\text{m}$ 。

(2) 直线移动速度快。由于无离心力作用,直线速度可不受限制。目前,在机床上的直线电动机实际可用的最大进给速度达  $2.5 \sim 3.5 \text{ m/s}$ 。

(3) 加速度大。加速度最高可达  $10g$ ,从而实现在起动瞬间达到高速,高速运行时又能瞬间准停,这对于精密调焦等短行程进给非常有利。

(4) 起动推力大。目前直线电动机的最大推力已达  $20000 \text{ N}$ ,从理论上讲,直线电动机不存在任何推力极限。

(5) 运行噪声低、传动效率高。由于无中间传动环节,大幅度减少了机械摩擦,使运动噪声大大下降,而由摩擦、弹性变形所引起的能量损耗也大大减少。

因此直线电机选用苏州海顿电机有限公司的4300系列Size17直线步进电机,步长为  $0.00006$  ( $0.001524\text{mm}$ ),可提供  $23\text{kg}$  的推力。

### 3.2 直线位移传感器的选用

本机构直线位移传感器选用上海海智有限公司的 MS12 精密小型光栅测量系统,测量长度为 12.5mm,分辨率为  $1\mu\text{m}$ ,准确度为  $\pm 1\mu\text{m}/12\text{mm}$ ,输出信号为矩形方波,A、B 相相差  $90^\circ$  的两路波形,能够指示出移动距离和方向。Z 相波形为零位脉冲信号,位于测量长度的中间位置。

### 3.3 直线导轨的选用

直线导轨是在滑块与导轨之间放入适当的钢球,使滑块与导轨之间的滑动摩擦变为滚动摩擦,大大降低二者之间的运动摩擦阻力,从而使得动、静摩擦力之差很小,随动性极好,驱动功率只相当于普通机械的十分之一,适应高速直线运动,容易实现高定位精度和重复定位精度。在直线导轨表面过渡渡金属硫化物,如  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$  和  $\text{TaS}_2$ ,由于结构和电子组态的特殊性而具有很好的润滑性能,可以有效的防止真空情况下的冷焊问题。

本文选用日本 THK 株式会社的小型可调整式(RSR)滚动直线导轨,摩擦系数为 0.002 ~ 0.005,且动、静摩擦系数相差级小,可以有效的避免爬行现象,定位精度可达到  $1\mu\text{m}$ 。

## 4 实验结果和精度影响因素

### 4.1 实验结果

为了测试调焦机构实际定位精度,利用数显千分表做为检测工具,将光栅尺测量的位移数与数显千分表测量的位移数进行对比,对比结果如表 1 所示,测试现场环境条件如下:大气压力 102.53kPa;室温 21.03;相对湿度 70.25%;直线电机温度 22.07。

由表 1 数据可以看出,在正反四组共 40 次的测量的中,最大绝对误差在 0.005mm 内,而光学系统的焦深都大于 0.01mm,所以本调焦机构的精度可以满足系统调焦的要求。

### 4.2 精度影响因素分析

本系统产生误差的原因主要有以下几点:

(1) 光栅尺的制造误差。直线电机的定位精度主要取决于位置检测元件的精度,如分辨率、线

表 1 实验数据对比表

Tab.1 The data system experiment contrast

正向 1	数显表	反向 1	正向 2	数显表	反向 2	最大绝对误差 $\delta$
0	0	0	0	0	0	0
0.0125	0.012	0.124	0.013	0.012	0.135	0.0015
0.0235	0.024	0.0245	0.024	0.024	0.0255	0.0015
0.033	0.036	0.0335	0.0355	0.036	0.035	0.003
0.0455	0.048	0.047	0.05	0.048	0.055	0.007
0.0555	0.06	0.0575	0.0605	0.06	0.0605	0.0045
0.068	0.072	0.07	0.0735	0.072	0.0755	0.008
0.795	0.08	0.083	0.086	0.08	0.088	0.0045
0.0905	0.092	0.091	0.0965	0.092	0.0955	0.0035
0.1045	0.104	0.1055	0.1055	0.104	0.1085	0.0045
0.1155	0.112	0.1155	0.1145	0.112	0.1135	0.0043

性度等<sup>[4]</sup>。

(2) 直线电机自身精度的影响。直线电机在运行过程中的发热、隔磁、防护等问题对定位精度都有影响,因此对直线电机的控制系统要求也很高。

(3) 直线导轨的直线以及安装误差也会影响系统的精度。

## 5 结论

直线电机的出现已经有了上百年的历史,但直到最近 20 ~ 30 年才被广泛用与工业生产,在计算机、自动化仪表、精密直线电机的机械手等方面大有取代依靠螺旋电机来产生直线运动之势。而本文所讨论的直线电机在调焦系统中应用,简化了结构,减小了加工难度,节省了设计与加工周期,使调焦精度提升了一个等级,推动了直线电机在调焦机构中的发展和应用。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 王波.光学镜头中的驱动技术研究[J].机械工程师,2007(2):84 - 86.
- [3] 王志伟.基于直线电机和光栅测量系统的精确定位平台设计[J].苏州大学学报,2004,24(6):38 - 41.
- [4] 吴玉厚,宋德儒.PMAC 下直线电机定位精度分析与误差补偿技术[J].沈阳建筑大学学报,2005,21(5):586 - 590.