

# 直线电机驱动的经纬仪调焦机构设计

张春林, 宋立维

(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:** 传统的凸轮调焦机构和丝杆丝母调焦机构存在结构复杂; 加工、装调难度大; 在传动链中引入齿轮传动, 不可避免的会产生空回现象, 进而导致整个机构存在传动效率低、响应速度慢、重复定位精度差等问题。为了弥补传统调焦机构的不足, 设计了一种直线电机驱动的调焦机构, 给出了新调焦机构的设计计算过程。直线电机驱动的调焦机构已成功应用于光电经纬仪中。实验证明, 该机构的重复定位精度 $<0.004\text{ mm}$ , 优于传统的调焦机构。

**关键词:** 光电经纬仪; 调焦机构; 直线电机; 焦深

中图分类号: TH761.1

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI 20102711.0047

## Design of Focusing Mechanism Driven by Linear Motor for Photoelectric Theodolite

ZHANG Chun-lin, SONG Li-wei

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

**Abstract:** The traditional focusing mechanism has several disadvantages, such as complex structure, difficult alignment, slow response, poor positioning accuracy, etc. In order to compensate for the shortcomings of traditional focusing mechanism, a novel focusing mechanism driven by linear motor has been developed, and the calculation method about novel focusing mechanism is provided. This new focusing mechanism has been applied to a photoelectric theodolite. The measuring results show that the positioning precision of the focusing mechanism is less than  $0.004\text{ mm}$ , which is better than that of the traditional focusing mechanism.

**Keywords:** photoelectric theodolite; focusing mechanism; linear motor; focal depth

## 1 引言

光电经纬仪是采用光电技术、具有实时测量跟踪功能的经纬仪。而电视测量系统又是光电经纬仪的主系统,在光电经纬仪中起着对运动目标的实时测量作用<sup>[1]</sup>。为保证测量电视能够对运动目标清晰成像,调焦机构必不可少。为了适应现代靶场的要求,光电经纬仪测量电视光学系统的通光口径越来越大,光学系统的焦深越来越小,从而对调焦机构的调焦精度提出了更高要求。

本文在分析比较传统调焦机构缺点的基础上,设计了一种直线电机驱动的调焦机构,介绍了调焦机构的结构组成和工作特点,给出了选用直线电机时需要考虑的有关参数的计算方法。

## 2 传统的调焦机构

所谓调焦就是指沿光轴方向改变像面(或镜头)的位置,使物像关系满足高斯公式,以获取清晰的图像。根据光学系统的不同结构形式,光电经纬仪中常用的调焦方式有以下两种<sup>[2-7]</sup>:

(1) 镜组移动式:通过移动光学镜头中的调焦透镜,改变焦距,从而达到调焦的目的。

(2) 焦平面移动式:通过移动成像介质(胶片或 CCD)感光面,改变像距进行调焦,这是最直接的调焦方式。

调焦组件的主要作用是在目标距离改变或环境温度变化时,调整调焦镜组或数字 CCD 相机的位置,保证获取清晰的图像。光电经纬仪中传统的调焦机构主要有两种:丝杠丝母调焦和凸轮调焦。

凸轮调焦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 1 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,会带动镜组做往复直线运动。

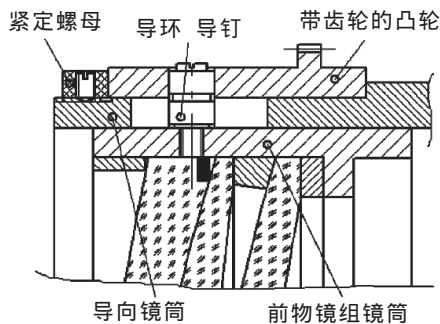


图 1 凸轮调焦机构简图

丝杠丝母调焦是旋转电机通过减速齿轮组驱动丝杆,从而带动与镜架(或者相机)连接的丝母,将旋转运动变为直线往复运动(如图 2 所示)。

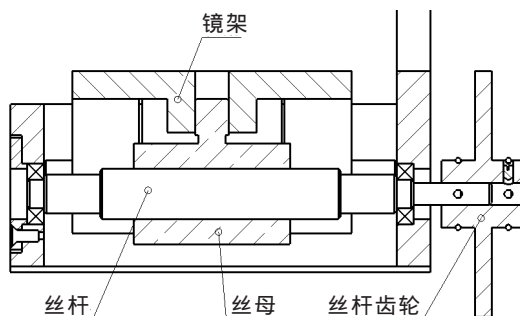


图 2 丝杠丝母调焦机构简图

上述两种机构的共同缺点是:结构复杂;加工、装调难度大;在传动链中引入齿轮传动,不可避免地会产生空回现象,进而导致整个机构存在传动效率低、响应速度慢、重复定位精度差等问题。

## 3 直线电机驱动的调焦机构

直线电机通过一个内螺纹螺母和导螺杆完成了旋转运动向直线运动的转化,打破了传统“旋转电机+机械变换环节”的传动方式。因此,用直线电机进行直线驱动,具有结构简单紧凑、动态响应快、定位精度高、运行噪声低、传动效率高等优点<sup>[8]</sup>。

与传统的丝杠丝母调焦结构相比较,直线电机驱动的调焦机构省去了丝杠丝母以及齿轮变速箱,具有结构简单、定位精度高、传动效率高等优点。与凸轮调焦结构相比,省去了加工成本较高的凸轮

和齿轮传动机构，降低了生产成本。

图3所示为光电经纬仪测量电视光学系统图，该光学系统焦距为400-800 mm，通光孔径180 mm。光学系统采用了焦平面移动式调焦方式。下面以该光学系统为例详细介绍直线电机驱动的调焦机构设计过程。

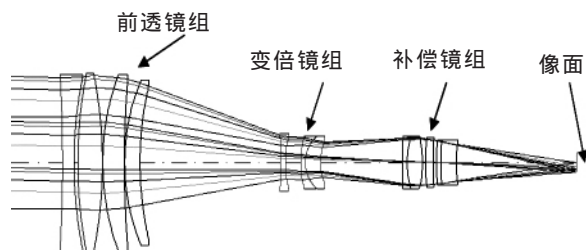


图3 测量电视光学系统图

图4表示为上述系统设计的采用直线电机驱动的调焦机构，主要包括直线步进电机、消除螺母、精密直线圆导轨、光栅尺、基座、滑架等。直线步进电机固定于调焦机构的基座上，消除螺母直接固定于滑架上。电机旋转直接推动滑架沿精密圆导轨做直线运动。同时滑架带动光栅尺做直线运动。

在结构设计上采用直线步进电机作为动力源、直线位移传感器作为反馈元件的方式，从而减少了以往设计中采用多组齿轮传动所带来的传动误差。

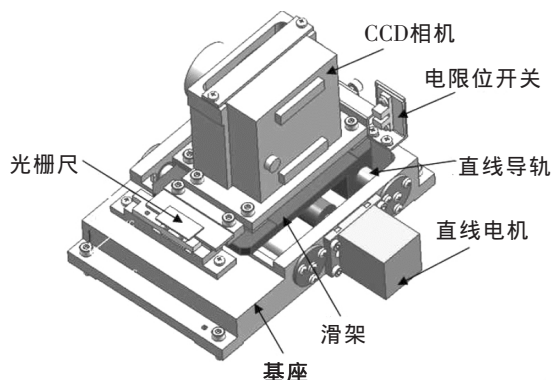


图4 直线电机驱动的调焦机构

## 4 有关参数的计算

在选用直线电机之前，需要进行一些计算，用来确定直线电机的行程、螺距、以及推力等，从而

选取适合型号的直线电机。

### 4.1 调焦量的计算

直线电机本身具有一定的行程，确定电机的行程首先要计算光学系统的调焦量。调焦包括距离调焦和温度调焦。

由成像公式可知，对于一定焦距的光学系统，当物距改变时，像距要相应地发生变化。因此，对于运动的物体，要获得清晰的像，需要进行距离调焦。由牛顿公式可以得到距离调焦量的计算公式如下：

$$\Delta = \frac{f'^2}{L}$$

其中， $\Delta$ 为距离调焦量， $f'$ 为光学系统焦距， $L$ 为目标距离。

测量电视的焦距为400-800 mm。当目标位于无穷远时，调焦量设定为 $\Delta=0$ 。距离调焦的范围为200 m~ $\infty$ 。

长焦距 $f'=800$  mm， $L=200$  m，则CCD像面的调焦量为：

$$\Delta = \frac{f'^2}{L} = \frac{800 \times 800}{200\,000} = 3.2 \text{ mm}$$

短焦距 $f'=400$  mm， $L=200$  m，则CCD像面的调焦量为：

$$\Delta = \frac{f'^2}{L} = \frac{400 \times 400}{200\,000} = 0.8 \text{ mm}$$

另外，温度变化会使零件因结构上受到约束而产生热应力和变形，同时也表现为电视镜筒的线性膨胀或收缩，玻璃零件的曲率半径、厚度和直径的变化等。这些变化将使像面位置产生移动。因此，也需要通过调整相机的位置，使目标清晰地成像到相机靶面上。

一般技术指标要求温度调焦范围为-35~+60℃，设装调或检测时标准温度为20℃，镜筒材料为铝。经过光学计算，温度变化所引起的像面位置变化如表1所示。

由上述两项计算可以得到：系统正的调焦量为4.47 mm，负的调焦量为1.014 mm，总的调焦量为5.484 mm。考虑到实际应用，直线电机的行程应在8 mm以上。

表1 长、短焦距光学系统的温度调焦量 (单位: mm)

温度 (°C)	焦距 (mm)	
	800	400
-30	1.270	0.313
-20	1.016	0.251
-10	0.762	0.188
0	0.508	0.126
10	0.254	0.063
20	0	0
30	-0.254	-0.063
40	-0.507	-0.126
50	-0.760	-0.188
60	-1.014	-0.251

#### 4.2 调焦机构的分辨力

直线电机驱动的调焦机构的分辨力取决于所选用的直线步进电机的步长。光电经纬仪中, 可见光电视通常允许的离焦量是光学系统的  $1/2$  焦深, 即:

$$\delta = 2\Delta x \approx 4\lambda / (D/f)^2$$

式中:  $\delta$  为焦深,  $\Delta x$  为离焦量,  $D/f$  为相对孔径,  $\lambda$  为工作波长。

当焦距为长焦时, 焦深为 0.12 mm, 离焦量为 0.06 mm; 当焦距为短焦时, 焦深为 0.04 mm, 离焦量为 0.02 mm。综合考虑影响离焦量的其他因素, 调焦机构的分辨力应优于  $\delta/4$  (即 0.01 mm)。根据上述计算, 可选用海顿 28000 系列直线步进电机, 其步长为 0.003 2 mm。

#### 4.3 调焦机构的载荷计算

调焦机构中直线步进电机直接推动滑架做直线运动。极限情况下, 直线电机驱动的载荷主要是滑

架、相机的重力以及滑架和圆导轨之间的摩擦力。设相机的质量为 0.3 kg, 滑架的质量为 0.5 kg, 滑架和精密圆导轨的材质均为钢, 在有润滑剂的情况下, 二者的静摩擦系数取 0.12。在极限情况下, 整个载荷为:  $(0.3+0.5) \times (1+0.12) = 0.9$  kg。

为保证系统可靠地运行, 考虑安全系数为 2, 则需要直线步进电机的推力为:  $0.9 \times 10 \times 2 = 18$  N。

图 5 为海顿公司生产的 28000 系列电机的速度与推力曲线图。图中最上方的曲线为拟选用的电机曲线。从曲线可以看出, 当速度为 1 600 pps 时, 推力约为 20 N。

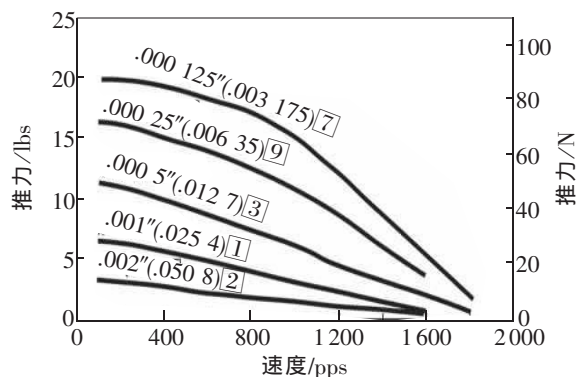


图5 电机速度-推力曲线图

## 5 结 论

本文设计了一套采用直线电机驱动的调焦机构, 具有结构简单、紧凑, 模块化程度高, 易于装调等优点。该机构已成功应用于光电经纬仪中。实验证明, 该机构的重复定位精度为 0.004 mm, 其重复定位精度大大优于传统的调焦机构。同时, 该调焦机构经过简单的改动, 即可在两档变倍的光学系统中作为变倍机构应用。

## 参考文献

- [1] 刘满林, 郝斌, 熊仁生, 等. 可见光测量电视系统设计与视轴精度分析[J]. 光电技术应用, 2008, 23(6): 49-52.
- [2] 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.
- [3] 安源, 齐迎春. 空间相机直线调焦机构的设计[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(3): 609-614.
- [4] 张继超, 丁亚林, 张洪文. 一种航空画幅遥感相机调焦机构设计[J]. 光学仪器, 2007, 29(7): 51-52.

- [5] 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.
- [6] 张新洁, 颜昌翔, 谢涛. 星载光学遥感器调焦机构的设计[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(11): 2757-2761.
- [7] 黄和平, 夏寅辉, 安成斌, 等. 大口径、长焦距红外系统调焦机构设计[J]. 激光与红外, 2005, 35(10): 745-747.
- [8] 林为才, 王晶. 一种新型调焦机构的设计[J]. 长春理工大学学报, 2007, 30(4): 46-48.

作者简介: 张春林(1973-), 男, 汉族, 河北唐山人, 硕士, 助理研究员, 2005年于中科院长春光机所获得硕士学位, 主要从事光电设备的研发工作。E-mail: alin412@163.com

## 新技术让电子在分子间来回流动

据报道, 美国研究人员找到了一种方法, 可以让电子在两个分子之间来回流动, 这一新技术为有机电池的研发奠定了基础, 也将促进人工光合作用技术的发展, 将太阳光变成燃料。相关研究论文发表在近期出版的《科学》杂志上。

这项研究的领导者、德克萨斯州大学奥斯汀分校的化学家克里斯多弗·比洛斯基和乔纳森·赛斯勒指出, 当分子“碰头”时, 它们常常通过交换电子形成新的化合物。在某种情况下, 这种电子交换过程会产生一个带正电荷的分子和一个带负电荷的分子。带相反电荷的分子会紧紧地“依偎”在一起, 相互组合从而形成一些新分子。

然而, 在上述最新的研究中, 研究团队制造出了两个分子, 这两个分子能够“会面”并且交换电荷, 但是, 它们不会结合而形成新化合物。比洛斯基解释道, 这两个分子就像被弹簧连着一样, 相互会面后又被分开。

研究人员发现, 分子“碰面”交换电子后, 会形成两个带正电荷的分子, 这两个分子会互相排斥。研究人员也安装了一个化学开关, 使得这种电子交换过程能够在相反的方向进行。赛斯勒补充到, 这是研究人员首次在分子层面上, 通过开关让电子前后流动。

比洛斯基表示, 该系统为制造出高效的有机电池提供了重要的线索。理解这些分子中的电子交换过程可以让研究人员设计出有机材料来制造电池, 存储电能, 这样的电池不仅不会污染环境, 还可以被回收利用。

有机电池由有机材料而不是有毒的重金属组成, 它们更轻薄, 能做成任何形状, 存储更多能量, 与传统的电池相比, 其生产过程可能更加安全和便宜。有机电池一直广受科研人员的青睐。

比洛斯基表示, 如果配备了有机电池, 手机将会更纤细、更轻薄, 而且电池的使用时间可能达到一周甚至一个月, 而不是现在的一天。他们的新实验解决了制造出这种理想的商业电池所需要解决的基本的化学问题。

研究人员打算进一步证明这种电子交换过程能够以一种更加紧凑的形式出现, 比如在一个薄膜内进行, 而不是仅仅出现在溶液中。

赛斯勒表示, 借助这个分子开关, 研究人员有望研发出人工光合作用技术来模拟植物, 将收集到的光线转变为能量, 而不借助玉米等植物媒介。