文章编号:1001-5078(2010)08-0877-03

· 光电技术与系统 ·

# 切换式红外三视场光机组件的设计

温庆荣,徐明轩 (华北光电技术研究所,北京100015)

**摘 要:**针对切换式红外三视场光学系统的需求提出了一种新型的机械传动设计方案,采用直流微电机配合直齿轮-锥齿轮以及凸轮运动的方式实现三视场的切换功能,具有结构简单、切换快速、可靠性和定位精度高等特点。

关键词:视场变换;切换式;红外三视场

中图分类号:TN214 文献标识码:B

# Design of triplicate infrared FOV switching mechanics

WEN Qing-rong, XU Ming-xuan

(North China Research Institue of Electro-optics, Beijing 100015, China)

**Abstract**: A novel switching mechanics is described according to the demand of a triplicate IR optical system, which uses a DC-Micromotors as driver element in combination with a couple of straight-bevel gear and a cam face, making a feature of small size, quick switching, reliable and high position precision.

Key words: FOV translation; switching; triplicate infrared FOV

# 1 引言

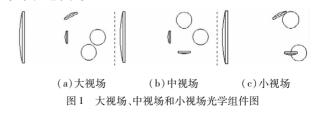
军用红外热成像的应用领域通常需要红外光学 系统能够同时提供高放大倍率的小视场图像和低放 大倍率的大视场图像以完成系统对目标的搜索、瞄 准和跟踪功能[1]。定焦系统难以满足需要,连续变 倍系统是最佳选择,但在设计上有较大难度;与连续 变焦红外光学系统相比,两档或多档变焦红外光学 系统更加简捷而实用[2],双视场红外光学系统是实 现上述要求的一种简便实用的途径[3],其中大视场或 低放大倍率模式可用于观察大的景物区域、搜索疑似 目标,小视场或高放大倍率模式可用于仔细观察或放 大目标,对目标进行识别、跟踪与瞄准[4]。当大视场 和小视场之间焦距变倍比比较大时,在两个视场中间 加入一个过渡视场,则可以对大视场和小视场起到一 个很好的补充作用。文中介绍了一种先进的3档中 波红外热成像视场切换组件,变倍比为1:4:10,组件采 用沿垂直光路的旋转轴进行光学组件的快速切入和 切出实现大中小视场的变换,具有结构简单紧凑、切 换速度快、定位可靠以及精度高等显著优点。

# 2 组件设计原理

# 2.1 切换式三视场光学系统原理

为了在实现高性能、高像质的同时,尽可能减小体积、质量,系统设计引入了非球面光学和衍射光学设计技术<sup>[5-6]</sup>,最终仅用 5 个光学零件获得大变倍比、高像质中波红外成像视场切换光学组件的设计结果。

视场组件包含两组光学镜片,切入光路内部则分别对应大视场和中视场,当两组光学镜片都不在 光路内部时,对应的是系统的小视场状态,光路原理 如图 1 所示。



作者简介:温庆荣(1979 - ),男,工程师,主要从事红外热像仪机械结构设计方面的工作。E-mail;qrwen@ sina.com

收稿日期:2010-06-02

# 2.2 机械传动设计原理

为了简化机械设计和电控设计,在不影响传动功能的情况下,本组件设计采用单个直流微电机作为驱动元件并配合接触式微动开关实现视场的切换功能。具体传动原理如图 2 所示。

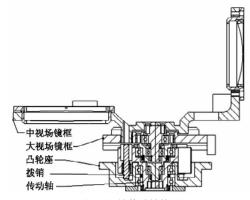
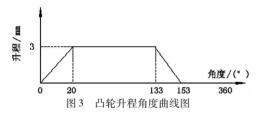


图 2 机械传动结构图

直流微电机出轴经两级齿轮传动(其中电机轴连接处为直齿轮,传动轴连接处为锥齿轮)驱动图中传动轴做旋转运动,传动轴圆周上间隔133°处内嵌两个导向直线轴承,轴承内各有可自由活动的拨销,拨销两端均为球状,通过弹簧分别与凸轮座和视场镜框接触,其中凸轮座本身升程随角度变化,拨销随着升程变化实现进入和离开视场镜框的动作,具体变化如图3所示。



传动轴旋转至0°时,此时光学系统处于小视场位置,大视场拨销开始向上进入大视场镜框的导向槽,中视场拨销处于133°的位置,开始离开中视场镜框的导向槽。

传动轴继续旋转,在0°~20°范围内,大视场拨销逐渐上升,直到达到3 mm 的升程,此时拨销完全进入大视场镜框的导向槽,相对应的中视场拨销从133°旋转至153°位置,在弹簧的弹力作用以及直线轴承的导向作用下逐渐离开中视场镜框至完全脱开。随着传动轴继续旋转,大视场拨销带动大视场镜框到达旋转轴的83°位置,此时大视场镜框完全进入光路组件,而中视场镜框由于拨销已经脱离则保持原位置不动,此时系统处于大视场状态。

传动轴反向旋转,从83°旋转至20°,此时大视 场拨销一直带动大视场镜框反向旋转至小视场位 置,从20°~0°位置大视场拨销则逐渐离开大视场 镜框的导向槽,相反中视场拨销则逐渐进入中视场 镜框的导向槽。随着传动轴的继续反向旋转,大视 场镜框保持位置不动,中视场镜框则受拨销带动直 到大视场拨销转到-90°的位置则完全进入光路,此 时到达系统处于中视场的位置。

# 3 设计选型

切换组件需要的设计计算主要为传动电机的参数选取,由于切换组件的定位方式采取永磁铁(固定在主框架上)与磁钢(固定在大视场和中视场镜框上)的吸力配合完成,因此电机需要克服的阻力为磁铁的吸力相对于转轴的力矩和切换组件快速切换的启动力矩。

#### 3.1 磁力矩的计算

为了能够满足设备冲击振动等环境试验要求,组件在视场的定位上选用了外径为 10 mm,固定内孔直径为 3.5 mm,厚度为 4 mm 的钕磁铁,其表面磁通密度为 0.4 T,接触面产生的磁场吸力为 18.6 N。由于不同视场定位点距离旋转轴的中心距离不同,取其中最大一个为 60 mm,因此,磁铁定位产生的最大磁力矩为 18.6 × 60 = 1116 N·mm = 1.116 N·m。

#### 3.2 切换启动力矩

切换组件完成大、中和小视场之间进行切换对应转动轴的旋转角度各不一样,其中从中视场切换到大视场所需要的角度最大为153°,以0.5 s 作为视场切换的时间则可以推导出切换组件所需的最大启动力矩。

由于电机本身需要大约 0.1 s 的时间达到最大连续转速,因此切换组件的最大角速度和最大角加速度分别为:

$$W_{\text{max}} = (153^{\circ} \times \pi/180^{\circ})/0.4 = 6.67 \text{ rad/s}$$
  
 $\alpha_{\text{max}} = \frac{W_{\text{max}}}{0.1} = 66.7 \text{ rad/s}^2$ 

因此,切换组件快速完成切换所需的最小驱动力矩为:

 $N_{\text{min}} = J \times \alpha_{\text{max}} = 2.4 \times 10^{-3} \times 66.7 = 0.16 \text{ N} \cdot \text{m}$  其中,  $J = 2.4 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  为切换组件相对于转动轴的转动惯量。

# 3.3 切换组件电机选型

由于传动过程中还有摩擦力矩  $N_1$  和不可预见力矩  $N_2$ ,其值分别估算为:

$$N_1 = 0.17 \text{ N} \cdot \text{m}$$
  
 $N_2 = 0.17 \text{ N} \cdot \text{m}$ 

因此,传动组件的负载峰值力矩为:

 $N = N_{\min} + N_1 + N_2 = 0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 

按照 N 电机  $\geq 2 \cdot N$  负载的经验公式,则电机的堵转扭矩应取值为  $1 \cdot N \cdot m$ 。同时考虑电机需要克服定位过程中的磁力矩,则电机的连续堵转扭矩取为  $1.2 \cdot N \cdot m$ 。

#### 4 结 论

通过上述过程设计,原理样机目前已经完成了整机光机电的分系统联调试验,视场切换组件具有如下几个特点:

# 4.1 小型化简洁设计

光学系统设计引入了非球面光学和衍射光学设计技术以减小光学元件的体积,同时整机系统的空间尺寸要求也限制了分组件的设计尺寸,因此切换组件设计力求小型化。

切换组件采用单个直流微电机作为执行元件,配合设计合理的凸轮驱动曲实现视场的切换动作,传动链简洁明了,同时简化了电路控制的需求,降低了设计难度;电机输入与传动组件之间采取直齿轮 - 锥齿轮两级传动,通过锥齿轮进行轴系的垂直调整,在保证最大传动效率的同时充分利用光路折转的间隙实现结构的紧凑布局,并避免了在视场切换过程中可能对光路产生的干涉。

### 4.2 快速切换

军用热成像设备需要在短时间内完成不同视场 之间的变换,以避免视场变换之后失去对观测目标 的捕获和跟踪。

切换组件通过直流微电机驱动,并在每个视场的位置采取机械限位结合电限位的方式实现视场的切换。通过设计选型,切换组件选用的直流微电机连续转速可达到 1.04×10² rad/s,理论计算切换时间将 < 0.1 s。为避免视场镜组在机械限位出由于速度过快产生冲击进而伤害光学元件,切换组件将电限位前移,通过电信号提前对电机进行转速控制,使电机转速沿曲线平稳下降,直至视场镜组到达机械限位。通过机械和电控的相互结合补充,切换组件的视场之间相互切换时间实测为 < 0.5 s。

#### 4.3 可靠、高精度定位

切换组件的定位方式采取永磁铁与磁钢的吸力配合完成,通过机械面完全接触定位。永磁体和磁

钢之间的吸力通过设计选型能保证切换组件承受相应的环境冲击和振动,并且永磁体的性能在军标的环境温度条件下不会发生退化,接触定位面不会因为环境条件改变而发生偏移,因此切换组件的定位具有高可靠性。切换组件在-40°~+60°的极限环境温度下以及在加速度为2g(5 Hz~500 Hz~5 Hz)的振动实验三方向各工作 1 h 均能保持正常工作状态。

切换组件的定位机械零件沿接触面有一定的调整量,通过微调机械零件的距离可以保证不同视场情况下相互之间对同一目标观测满足高精度的定位,原理样机的视场切换之后重合度不大于1个像素。

# 参考文献:

- [1] 黄士科. 空空导弹多光谱红外成像制导技术研究[J]. 红外与激光工程,2006,35(2):16-20.
- [2] Meng Jian-qi. Dual field zoom(6 × ) infrared imaging optical system[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37 (1):89 92. (in Chinese)
  孟剑奇. 双视场 6 倍变焦红外热成像光学系统[J]. 红外与激光工程,2008,37(1):89 92.
- [3] Huang He-ping, Gao Hong-yan. Design of moving FOV translation mechanic [J]. Laser & Infrared, 2004, 34(6): 455-456. (in Chinese) 黄和平,高鸿艳. 移动式视场变换机构的设计 [J]. 激光与红外, 2004, 34(6): 455-456.
- [4] He Hong-xing, Feng Sheng-rong. IR Optical system with dual field of view and dual-image[J]. Infrared Technology, 2007, 29 (1):12-16. (in Chinese) 何红星,冯生荣. 双像双视场红外光学系统[J]. 红外技术,2007,29 (1):12-16.
- [5] Fan Zhong-wei. Binary optical element in optical system [J]. Optics and Precision Engineering, 1995, 3(2):1-10. (in Chinese) 
  樊仲维,光学系统中的二元光学元件[J]. 光学 精密工程,1995,3(2):1-10.
- [6] Guo Yong-hong, Shen Mang-zuo, Lu Zu-kang. Athermal design for infrared diffractive/refractive[J]. Optical system Sinica,2000,20(10):2392-2395. (in Chinese) 郭永红,沈忙作,陆祖康. 折/衍射红外消热差设计[J]. 光学学报,2000,20(10):2392-2395.