

· 光学设计 ·

## 基于旋转扫描的大口径红外双视场光学系统设计

卢鑫

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

**摘要:** 讨论了大范围远距离目标探测的难点, 设计了基于旋转扫描的双视场大口径镜头, 增大系统探测范围。设计中采用分组设计方法, 将前组系统口径进行压缩, 利用振镜摆动来补偿旋转过程中的像移现象, 使生成的图像能够稳定, 提高了探测精度。经过仿真模拟得到较为理想的系统传递函数和弥散斑, 使大口径系统利用旋转扫描的方式可以实现大范围探测。设计提供了一种新的方式及思路, 用以改善凝视系统探测距离或探测范围的不足等问题。

**关键词:** 红外系统; 像移补偿; 双视场; 振镜

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-03-0006-04

## Design of Large Aperture Infrared Dual View Optical System Based on Rotary Scanning

LU Xin

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

**Abstract:** The difficulties of large-range long-distance detection are discussed. A dual field of view large aperture lens based on rotary scanning is designed to increase the detection range and distance of the system. The grouping design is used, the aperture of the front group system is compressed, and the galvanometer swing is used to compensate the image shift phenomenon during the rotation. So that the generated images can be stabilized and the detection accuracy is improved. The ideal system transfer function and dispersed spot are obtained through simulation, and large-range detection can be realized using rotary scanning of the large aperture system. This design provides a new way and idea to improve the insufficient of the detection distance or the range of the staring system.

**Key words:** infrared system; image shift compensation; dual field of view; galvanometer

大口径光学成像系统通常指光学入瞳较大的光学系统, 这种系统的主要作用是在特定的系统 $F$ 数下提高焦距, 同时增加通光量, 增加探测距离。但是通常系统焦距过长, 系统复杂, 为校正像差, 杂散光等因素增加了设计难度。同时, 视场较小, 导致观察很不方便, 不利于大范围观察。对于以上问题, 可以采用双视场光学系统, 该系统包含大小两个视场, 通过切换镜或镜组, 使光学系统在两个焦距的位置均成像清晰。大口径光学系统通过引入双视场, 可以有效的提升系统因单一视场带来的观察不变等问题, 同时对近距离较大范围及远距离小

范围的目标成像, 可以有效的提升探测范围。

提出基于旋转平台上的旋转扫描的凝视红外光学系统, 俯仰视场通过双视场切换来调节, 水平视场通过对 $360^\circ$ 区域图像获取并进行拼接, 达到大范围探测的目的。

### 1 光学系统组成

#### 1.1 光学系统主要参数

焦距 $f=116\sim 280$  mm; 全视场 $3.56^\circ\sim 8.6^\circ$ ; 相对孔

收稿日期: 2018-04-28

作者简介: 卢鑫(1984-), 男, 硕士, 主要研究方向为光学设计及光学镜头研制。

径  $F\#=2$ ; 中波工作波长  $3\sim 5\ \mu\text{m}$ ; 探测器分辨率为  $320\times 256$ ; 像元大小是  $30\ \mu\text{m}$ 。

## 1.2 系统结构及组成

光学系统主要包含望远变倍镜组、振镜、中继镜组和成像镜组四个部分。望远变倍镜组主要起到提高空间分辨率的作用,光线经变倍镜组后光线得到了压缩;振镜在积分时间内运动进行补偿,将望远系统出射的不同视场的光线依次反射进入中继成像镜组中;中继镜组将收集到的光线聚焦,形成一次像面;一次像面经成像组成像在探测器组件的像面上。

由于安装等原因,振镜镜片中心与系统光轴不重合,因此采用前后组平行光路对接方式克服振镜旋转中心与反射面不重合带来的影响,另外平行光路对接方式对前后组位置要求相对较低。扫描过程中使像的位置不变,需要对物方的位置移动进行补偿,其补偿的速度和角度需要和物方的移动量保持一致。

振镜也称为高速扫描振镜,由光学扫描头、电子驱动放大器和光学反射镜片组成。其原理是通过驱动电路控制电机在一定角度进行高频摆转,带动光学反射镜片进行往复摆动。通过在系统中添加振镜,利用振镜和转台速度在积分时间内同步反向转动,可以在积分时间内得到清晰稳定的图像。转台旋转扫描过程中,可以得到多幅目标区域图像,将这些图像拼接,即可达到全区域探测的目的。凝视系统光路图如图1所示。

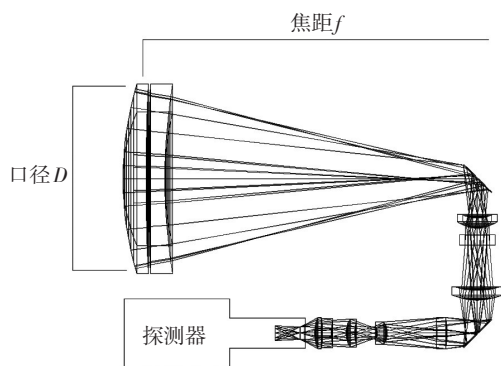


图1 凝视系统光路图

望远变倍组采用无焦设计,根据振镜镜片的口径,按照一定倍数将系统口径进行压缩,同时对前

端系统进行变焦设计,根据视场设定不同的焦距值,通过调整变焦切换镜组的位置以及各组镜片的光焦度,使出瞳大小和位置保持一致。

根据空间物象不变式

$$J=ny=n'u'y' \quad (1)$$

由于系统处于同一个空间,可以得到

$$uy=u'y' \quad (2)$$

对于近轴系统,由式(2)可以得到,光束口径缩小倍率和光束角度放大倍率成正比。

图2为系统缩束示意图。

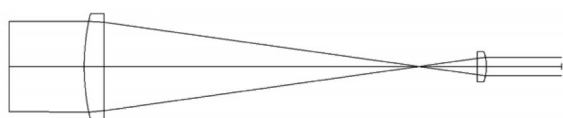


图2 缩束示意图

方案中振镜采用20 mm口径光斑的振镜,置于系统中部,将前端系统口径压缩至合适范围。振镜后采用二次成像系统,将出瞳位置设置在系统振镜所在平面,出瞳和制冷型探测器系统光阑重合,以减小杂散光和热辐射带来的影响。需要注意,振镜摆动角度需要将前端移动角度和角放大倍率相乘。

后端成像系统根据前端系统的视场进行设计,将前端系统出瞳作为系统入瞳,由于口径限制,采用二次成像的结构形式,中间采用场镜进行光路转折,以减小后端镜片口径。系统经过优化设计以后的光路图见图3和图4。

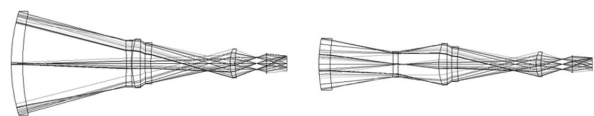


图3 前置系统光路图

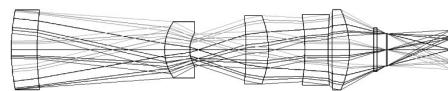


图4 后置系统光路图

## 1.3 补偿角度

由于光学系统采用光学振镜来补偿像移,因此在设计初始时就应考虑增大前端系统视场,以满足

补偿像移的角度需要。根据积分时间和下方转台的速度,可以计算出积分时间内补偿的角度为 $0.52^\circ$ ,为了使系统在转台不转动时凝视时零位调试方便,将镜头设置到系统零位,及往复摆动角度为 $1.04^\circ$ 。

按系统要求,系统凝视视场为: $2^\circ$ (俯仰) $\times 1.6^\circ$ (水平),系统像面计算如图5所示。

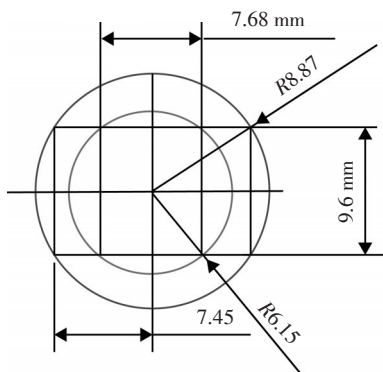


图5 系统视场计算

系统圆视场为: $2 \times \arctan(6.15/280) = 2.52^\circ$ ,通过计算,需要将前端系统增加视场设计,由图5可以看出,俯仰视场不变,水平视场变为: $2 \times \arctan(7.45/280) = 3.04^\circ$ ,因此通过增大视场设计,最终的视场变为 $2^\circ$ (俯仰) $\times 3.04^\circ$ (水平)。对于双视场要求,通过计算,系统圆视场为 $8.6^\circ/3.56^\circ$ 。

## 2 系统仿真

双视场条件下点列图如图6所示。

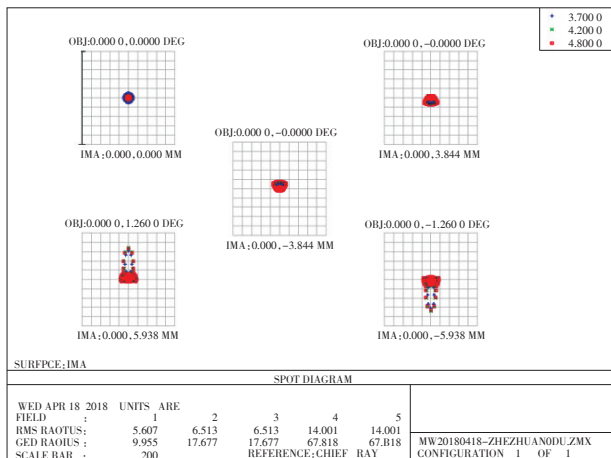


图6  $2^\circ \times 1.6^\circ$ 点列图

从图6中可以看出,RMS点斑均小于Airy斑尺寸,说明系统满足理想成像状态。

图7给出扫描视场为 $2^\circ$ 时MTF曲线,轴外和轴上MTF接近衍射极限,在特征频率 $17 \text{ lp/mm}$ 处全视场MTF大于0.7,表明长焦系统均具有很好的对比度和分辨率。

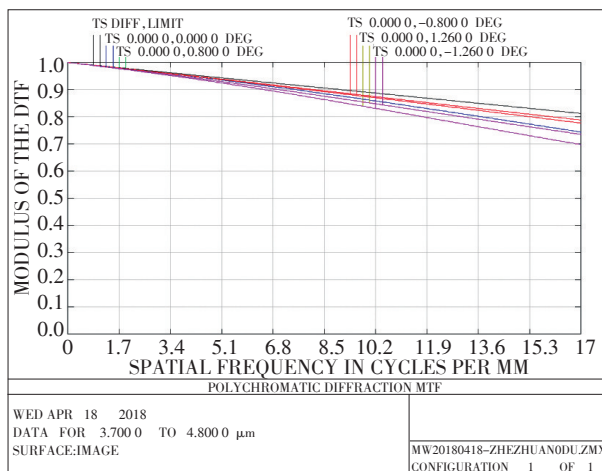


图7 红外系统 $2^\circ \times 1.6^\circ$ 视场MTF

经过各部分系统拼接,并进行系统优化,对系统进行了仿真设计,设计结果如图8。

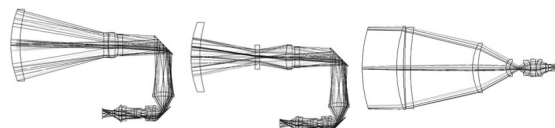


图8 双视场光学系统、单视场系统

可以看到双视场系统相对于单一视场,切换后扩大了2.5倍左右视场,对于较近距离的目标可以进行更大范围探测。

表1中列出了不同光学系统的设计参数。

表1 各类型系统设计参数对比

系统/指标	口径/mm	视场	成像质量	探测器要求
单视场	大于100	$3^\circ$	高	常规
双视场	大于100	$3^\circ \sim 9^\circ$	高	常规
旋转双视场扫描	大于100	$9^\circ \times 360^\circ$	较高	高帧频

可以看到,旋转扫描双视场系统成像区域的优势较明显。

对于系统使用中,在积分时间内需要进行像移补偿,因此通过后端系统振镜角度改变,得到如下

系统结果,可满足使用要求。图9为像移补偿过程传递函数。

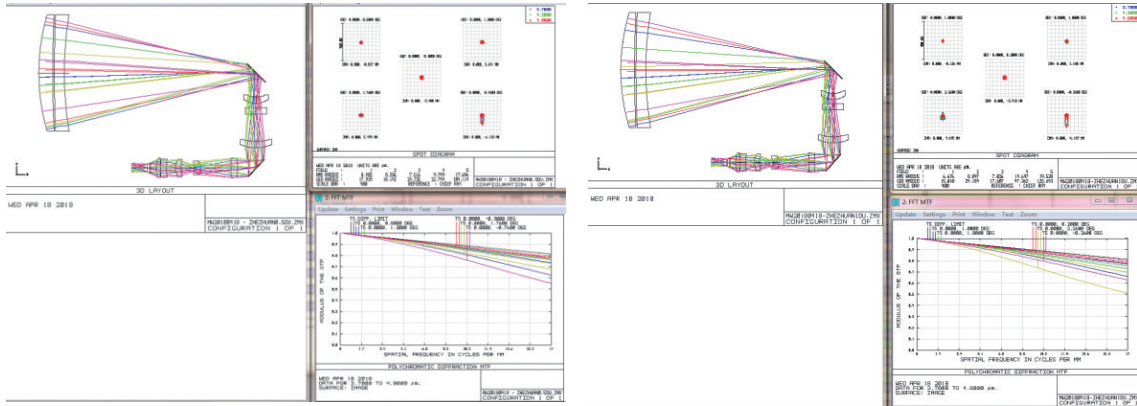


图9 像移补偿(0.5°, 1°)过程传递函数

图10为系统公差图。通过公差分析,可以看到在较为精细的装调下,可以达到较高的像质。

对较大范围目标的多距离探测。

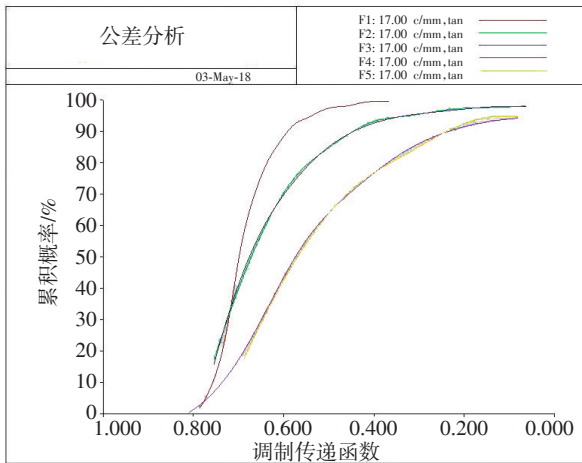


图10 系统公差/mtf

### 3 结论

分析了旋转扫描成像系统的特点,根据系统要求设计了相关光学系统的结构,系统采用了分组设计,通过振镜的使用改善了系统像移的影响。通过光学系统仿真可以看到,系统成像效果较好。对于远距离目标,可以通过大口径凝视来提高探测距离,对于较近目标,可以通过切换视场来提高探测范围。采用旋转扫描的凝视光学系统,利用振镜的像移补偿,同时增加双视场,从而在设计上可实现

### 参考文献

- [1] 张以谟. 应用光学(第三版)[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [2] 潘枝峰. 红外双波段/双视场望远系统设计[J]. 电光与控制,2014,9.
- [3] 张丽,汤恩生. 空间相机像移补偿方法研究[J]. 航天返回与遥感,2007,9.
- [4] 孙国斌. 光学振镜转角与扫描角度变化关系的研究[J]. 西安工业大学学报,2010,10.
- [5] 孟繁浩,丁亚林,王德金,等. 像移对长焦距高分辨率航空相机检调焦精度影响的分析[J]. 光学学报,2015,30(6):0611001-1-0611001-8.
- [6] 李延伟,远国勤. 面阵彩色航空遥感相机前向像移补偿机构精度分析[J]. 光学精密工程,2012,20(11):2439-2443.
- [7] 李伟雄. 高分辨率空间相机敏捷成像的像移补偿方法研究[D]. 北京:中国科学院大学,2012.
- [8] 赵志彬,刘晶红. 基于图像功率谱的航空光电平台自动检焦设计[J]. 光学学报,2010,30(12):3495-3500.
- [9] 王德江,李文明,徐永森,等. TDL-CCD全景航空相机快速自动检调焦方法[J]. 光电子·激光,2012,23(8):1452-1457.
- [10] 杨权,刘晶红,马晓飞. 基于图像处理的机载光电平台自动调焦方法[J]. 液晶与显示,2011,26(5):677-682.
- [11] 王昕,王海霞,徐抒岩,等. 遥感相机自动检焦技术研究[J]. 光学技术,2006,32:344-347.