

大视场红外扫描成像光学系统设计

邱民朴

(北京空间机电研究所, 北京 100076)

摘要: 对地红外扫描成像系统在获取地面目标图像方面具有快速、高效等诸多优点。基于旋转扫描成像方式提出了一种孔径光阑二次成像的光学系统方案, 并给出了一个工作谱段 $8\sim 10\ \mu\text{m}$ 、焦距 520 mm, 成像视场为 $1.4^\circ\times 72^\circ$ 的光学系统设计实例, 分析结果表明成像质量良好, 具有良好的实用性和应用前景。

关键词: 光学系统设计; 扫描成像系统; 光阑二次成像

中图分类号: V443⁺.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2012)11-0648-04

Optical Design of Wide FOV Infrared Scanning Imaging System

QIU Min-pu

(Beijing Institute of Space mechanics & Electricity, Beijing 100076, China)

Abstract: Infrared scanning imaging system provides the user with an effective means of achieving imaging situational awareness. This paper present an aperture stop re-imaging optical system for infrared scanning imaging system to achieve high-resolution, wide FOV imaging. As an example, optical system with operating waveband of $8\sim 10\ \mu\text{m}$, effective focal length of 520 mm, and imaging FOV of $1.4^\circ\times 72^\circ$ is also presented. The design results indicate that the optical system has perfect performance and can be used in many military and civil applications.

Key words: optical design, scanning imaging system, aperture stop, re-imaging

0 引言

最早的对地大视场红外扫描成像系统采用斧形扫描镜加单元探测器的方案, 斧形镜绕飞机航向旋转实现垂直于航向的扫描成像^[1], 通过飞行运动实现对地面的连续覆盖, 该方法具有简单、系统可靠性高、扫描视场大等特点, 缺点在于扫描条带较窄、效率低, 而且该扫描方式会带来图像的像旋转问题。

随后出现的分离孔径式红外扫描仪不仅解决了像旋转的问题, 而且由于采用了多面扫描镜, 使之可以适应更高的速高比, 但是系统构成较为复杂, 扫描机构外形尺寸一般比较大。

本文基于大视场旋转扫描成像技术^[1,2], 提出了一种孔径光阑二次成像形式的大视场红外扫描成像光学系统实现途径, 该方案具有布局紧凑, 加工、装调难度小等特点, 与长线阵红外探测器组件配合使用可实现大视场(扫描方向与垂直扫描方向)、高分辨率成像。

1 光学系统方案

对于大视场红外成像系统的实现途径而言, 一般可分为大视场光学系统加长线阵红外探测器的推扫成像方式和小视场光学系统加短线阵红外探测器的扫描成像方式两种。

由于目前长线阵红外探测器的获取存在一定困难, 而且高分辨率大视场红外光学系统的设计、加工与集成也存在较大难度, 所以对于大视场红外成像系统而言, 一般采用扫描成像的方式实现。

扫描镜摆扫成像的方式虽然也能实现大视场成像, 但是随着成像系统分辨率的提高以及扫描角度的增加反射镜的尺寸随之线性增大, 给扫描镜制作及扫描控制系统的研制带来一定的难度。

本文针对长焦距、大视场成像需求, 提出了一种采用孔径光阑二次成像形式的光学系统方案, 通过与旋转扫描镜和消像旋系统配合实现大视场成像, 孔径光阑二次成像光学系统具有大视场、高冷屏效率、消

收稿日期: 2012-08-07.

作者简介: 邱民朴(1979-), 男, 汉族, 陕西宝鸡人, 博士研究生。研究方向为空间光学遥感器技术研究。

旋系统尺寸小（孔径光阑一次像处）且位于平行光路等特点，可以与长线阵红外探测器配合实现高分辨率成像。

大视场扫描成像系统采用长线阵红外探测器，以扩大扫描幅宽、降低扫描速度，最终提高成像系统的温度分辨率；扫描镜绕光轴旋转实现垂直航向的大视场成像；为了消除扫描镜旋转扫描所带来的像旋问题，扫描成像光学系统中增加了相应的消旋系统。

1.1 光学系统原理

图1为一个典型的孔径光阑二次成像光学系统原理图，由望远光学系统（包括主光学系统和中继光学系统）与成像光学系统两部分组成；光学系统的出瞳位于焦面前一定距离并与探测器组件冷屏重合。望远光学系统的主要作用在于：对入射光束进行口径压缩后以平行光的形式出射，并在中继光学系统与成像光学系统之间形成孔径光阑的一次像；成像光学系统的作用在于：把望远光学系统出射的平行光以一定的光焦度聚焦成像，并把孔径光阑二次成像到探测器组件的冷屏处，形成整个光学系统的出瞳实现出瞳，最终与探测器组件的冷屏完全匹配。

1.2 光学系统组成

大视场红外扫描成像光学系统的组成如图2所示，系统组成及各部分的功能如下：

旋转扫描镜：绕光学系统的光轴旋转，实现垂直于飞行方向的大视场扫描；

主光学系统：收集地物目标的光辐射信号并聚焦到主焦面上；

中继光学系统：把主光学系统收集的光束转化为平行光，并且在消像旋系统处形成孔径光阑的一次像，这样有利于减小消像旋系统的外形尺寸；

消像旋系统：在平行光路中旋转，可以消除旋转扫描镜绕光轴旋转所带来的像旋；

成像光学系统：采用二次成像的系统形式对中继光学系统出射的平行光进行聚焦、成像到探测器焦平面处，并把孔径光阑二次成像在探测器前形成出瞳，实现冷屏的100%匹配，降低光机系统背景辐射影响。

2 光学设计实例

2.1 光学系统指标

- 1) 工作波长：8~10 μm；
- 2) 通光口径：200 mm；
- 3) 焦距：520 mm；

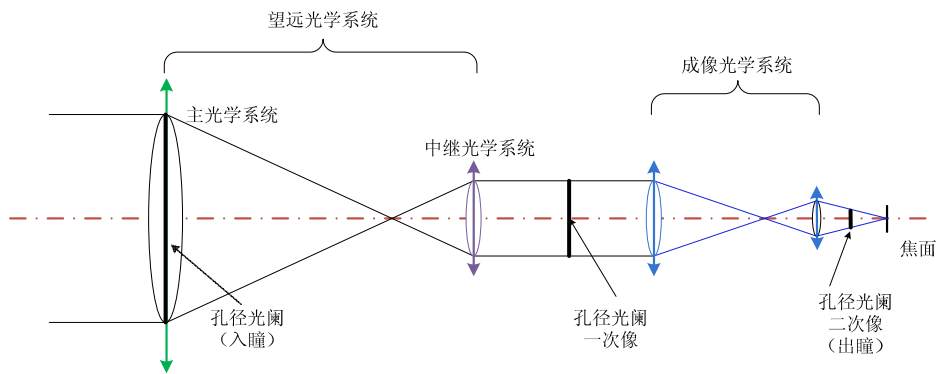


图1 二次成像光学系统原理图
Fig.1 First order layout of a Re-Imaging optical system

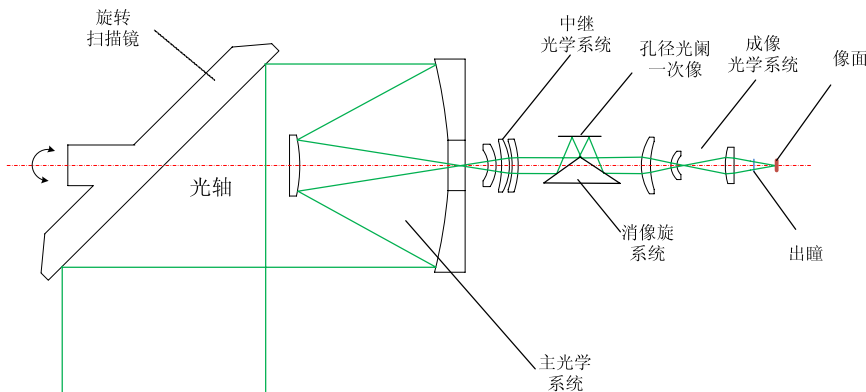
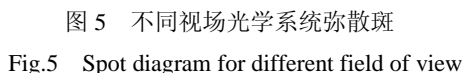


图2 大视场红外扫描成像光学系统组成图
Fig.2 Sketch of infrared scanning optical system

本文提出的大视场红外扫描成像光学系统较为复杂,包括旋转扫描镜、主光学系统、中继光学系统、消像旋系统以及成像光学系统等环节,使得光学系统的检测、装配和调试等工作具有一定的困难。



为了解决上述问题,在光学系统设计过程中对上述问题予以重点考虑。按照对光学系统的性能影响机理不同,把整个系统分为两大类进行考虑:即只影响光学系统的消旋效果和指向精度的K镜消旋系统以及影响光学系统分辨率的成像系统两部分(主光学系统、中继光学系统以及聚焦成像系统)。

成像光学系统的设计按照分段设计^[3,4],组合优化的思路进行,同时兼顾红外扫描成像光学系统的整体性能和分系统的成像效果,这样做的好处在于分系统测试方便;并使得扫描光学系统整体装调简单(减少了调试环节)。

消旋系统^[5]的误差主要体现在几何畸变、指向精度、消旋效果等几个方面,通过系统分析、分类控制,可以实现很好的消旋效果,并且指向精度满足要求。

4 结束语

高分辨率、大视场成像是红外成像系统的重要发展方向之一,本文基于旋转扫描成像方式,提出了一种光阑二次成像的光学系统方案,配合长线阵红外探

测器实现大视场成像,具有冷屏效率高、消旋系统尺寸小、光学测试装调相对简单、布局紧凑等特点。设计和分析结果表明,成像质量良好,具有较好的应用前景,可满足航空、航天应用领域多种大视场、高分辨率成像需求。

参考文献:

- [1] Stephen B. Campana. *The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook, Volum 5:Passive Electro-Optical Systems*[M]. Bellingham: SPIE Optical Engineering Press, 1993: 23-97
- [2] 张镔, 龚惠兴. 消除 45°旋转扫描反射镜像旋转系统的研究及应用[J]. 红外与毫米波学报, 1999, 18(2).
- [3] 陈吕吉, 李萍, 马琳. 紧凑中波红外连续变焦光学系统设计[J]. 红外技术, 2010, 32(11), 645-648.
- [4] 刘均, 高明. 光学设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.
- [5] 金宁, 李力, 曹红曲等. 消除 45°旋转扫描反射镜像旋转系统的研对光电系统中的光学系统二次成像的分析与计算[J]. 红外技术, 2005, 27(5): 375-378.