

文章编号 1004-924X(2008)10-1891-04

中波红外两档变焦光学系统

郜洪云¹, 熊涛²

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430070; 2. 华中光电技术研究所, 湖北 武汉 430074)

摘要:报道了一种适用于 320×240 制冷型探测器的中波红外两档变焦光学系统,该系统采用二次成像、前组透镜轴向移动变焦的光学结构。利用变焦原理和光学设计软件分析了系统的像质。设计结果表明,该系统可以实现焦距为180 mm/60 mm的两档变焦,工作波段为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$, F 数为1.96,满足100%冷光阑效率,在空间频率16 lp/mm处的光学传递函数值 >0.6 。应用结果表明,该系统结构简单,易于装调,像质好。

关键词:红外光学系统;两档变焦;光学设计

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A

Mid-wavelength infrared dual field-of-view optical system

GAO Hong-yun¹, XIONG Tao²

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. Huazhong Institute of Optoelectronic Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A middle infrared dual field-of-view optical system with staring focal plane array and re-imaging optics is presented for cool 320×240 detector. Based on zoom system principle and optical design software, the Modulation Transfer Function (MTF) curve, spot diagram, and the Root Mean Square value (RMS) of spot diameter are investigated. The design results show that this system can realize 180 mm/60 mm dual field-of-view at the spectrum region of $3\sim 5\ \mu\text{m}$ and the F number of 1.96, which can obtain the cold shield efficiency of 100% and the MTF more than 0.6 at the spatial frequency of 16 lp/mm. The optical system is analyzed in two modes of Narrow Field of View (NFOV) and Wide Field of View (WFOV), results show that it has the advantages of simple structure, high image quality, low price and easy to adjustment.

Key words: infrared optical system; dual field-of-view; optical design

1 引言

近年来,红外成像系统在警戒、侦察、地面防空和制导等领域中的广泛应用^[1-5],受到了众多相

关研究人员的关注。红外成像系统的变焦系统主要分为连续变焦和定档变焦两种。连续变焦光学系统虽然能实现焦距在一定范围内连续改变,从而实现像面景物的大小连续可变,但是,此类系统结构复杂,加工和装调难度大^[6]。与连续变焦光

学系统相比,定档变焦系统具有结构简单,大、小视场间的切换时间短,透过率高,成像质量好等优点。在两档变焦和三档变焦中,红外两档变焦光学系统是最常用的,因此研究此类系统显得尤为重要。目前,国内外已报道的两档红外光学系统为了改善像质一般都引入多个非球面或者衍射面,这不仅给生产和加工带来一定的不便,而且增加了系统的成本^[7-8]。

本文针对中波红外 320×240 制冷型探测器,设计了一个中波红外两档变焦光学系统。该系统首次采用二次成像、前组透镜轴向移动变焦的结构形式,仅包含一个高次非球面,这类设计至今鲜有报道。该系统可以实现 $180 \text{ mm}/60 \text{ mm}$ 两档变倍, F 数为 1.96,工作波段为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$,满足 100%冷光阑效率,在空间频率 16 lp/mm 处的 MTF 值 > 0.6 ,结构简单,易于装调,分辨率高,像质好。

2 设计参数

采用的探测器为中波 320×240 制冷型探测器,探测器像元尺寸为 $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ 。根据实际应用的需要,红外两档变倍光学系统的主要设计参数如表 1 所示。

表 1 光学设计参数

Tab. 1 Parameters of optical design

视场 (FOV)	$9.00 \times 6.75 / 3.00 \times 2.25$
F 数	1.96
工作波段	$3 \sim 5 \mu\text{m}$
透过率	$> 75\%$
像元尺寸	$30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$

3 结果和分析

3.1 设计结果

根据制冷式红外光学系统的特点,本设计采用二次成像的光学系统结构形式。这种结构形式的透镜口径较小,可保证达到 100%冷光阑效率,此时探测器的冷屏应作为系统的出射光瞳。整个光学系统分为前组和后组两部分,变倍功能在第一成像组件中实现。一次成像的前组完成变焦功能,其又由前固定组和变倍组组成,为负—正结

构。变倍组前后移动,在两个共轭位置形成两个放大倍率,放大倍率由 $1/\sqrt{3}$ 倍变为 $\sqrt{3}$ 倍,从而实现 3 倍的变焦比。

为了较好地保证像质和兼顾成本,系统中仅采用了一个高次非球面,而且非球面设置在尺寸较小的固定透镜上,能够保证加工精度。该透镜在变焦、调焦过程中都是不动的,有利于保证成像质量。系统所用的材料为锗、硅和硒化锌。光学系统外形结构如图 1 所示,(a)和(b)分别为窄视场和宽视场两种情况。系统的总长度 $< 260 \text{ mm}$ 。

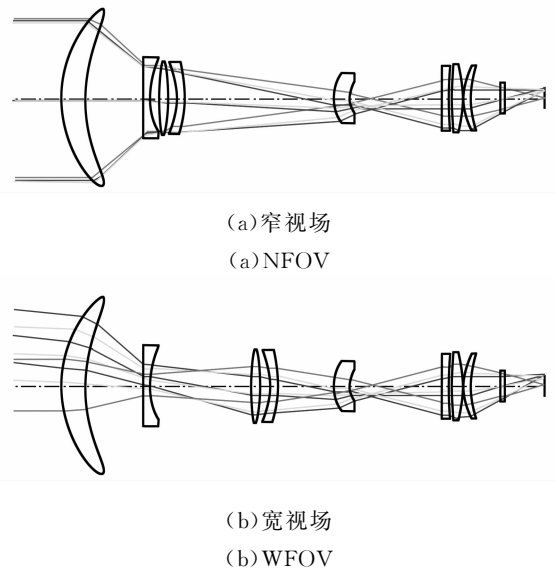


图 1 系统的外形结构示意图
Fig. 1 Schemes of system

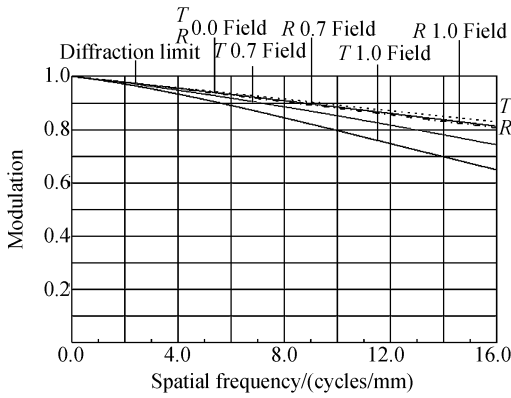
3.2 像质评价

3.2.1 传递函数

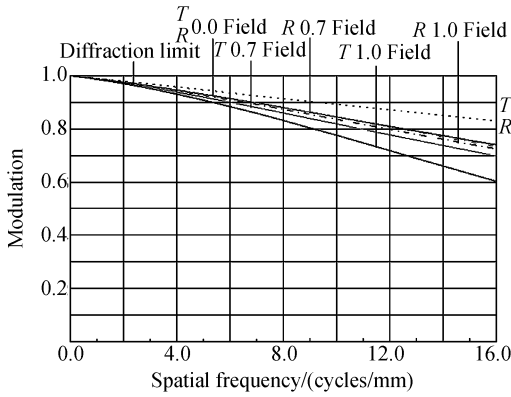
光学传递函数(MTF)是光学系统像质的重要评价手段。该系统的传递函数如图 2 所示,(a)和(b)分别为窄视场和宽视场两种情况。从图中可以看出, 16 lp/mm 空间频率下系统的 MTF 都 > 0.6 ,则说明该系统有较高的像质,即可以有一定的加工、装配裕度。

3.2.2 点列图

由于红外波段范围广,因此红外光学系统的像差校正比一般可见光系统要困难的多。系统的点列图如图 3 所示,(a)和(b)分别为窄视场和宽视场两种情况,图中圆圈表示爱里斑,其大小为 $20 \mu\text{m}$ 。表 2 为弥散斑直径的均方根值(RMS)。由此可见,在长焦和短焦位置的弥散斑直径均接近于爱里斑,达到了较好的成像质量。

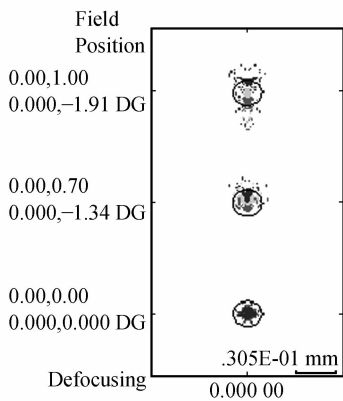


(a)窄视场
(a)NFOV

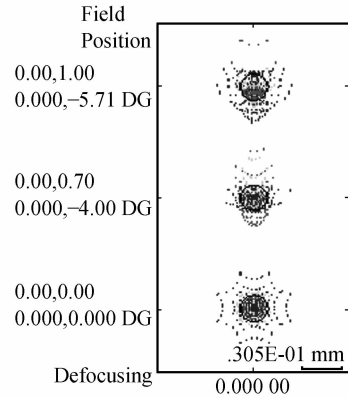


(b)宽视场
(b)WFOV

图 2 系统的传递函数曲线
Fig. 2 MTF curves of system



(a)窄视场
(a)NFOV



(b)宽视场
(b)WFOV

图 3 点列图
Fig. 3 Spot diagrams

表 2 弥散斑直径的均方根值
Tab. 2 RMS spot diameter

	视场	RMS(μm)
窄视场	0	7.3
	0.7	9.9
	1	16.3
宽视场	0	16.5
	0.7	19.1
	1	21.7

4 结 论

报道了一个适用于中波红外制冷型 320×240 凝视焦平面阵列探测器的两档变焦光学系统。该系统可以实现 $180 \text{ mm}/60 \text{ mm}$ 两档变倍, F 数为 1.96, 工作波段为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$, 满足 100% 冷光阑效率, 结构简单, 易于装调, 较好的成像质量可以满足使用要求。此外, 在尼奎斯特空间频率内, 光学系统都有较好的像质, 即可以有一定的加工、装配裕度。可以预见, 该系统在导航、搜索、警戒、侦察等方面将得到广泛的应用。

参考文献:

- [1] CHANG J, WEND Z C, WANG Y T, *et al.*. Design of infrared afocal zoom system[J]. *SPIE*, 2006, 6034: 1-5.
- [2] KEVIN G, TOM K, BRIAN B, *et al.*. An advanced infrared thermal imaging module for military and commercial applications[J]. *SPIE*, 2005, 5796:186-192.
- [3] HYUH S K, CHANG W K, SEOK M H. Compact mid-wavelength infrared zoom camera with 20:1 zoom range and automatic athermalization[J]. *Opt. Eng.*, 2002, 41(7):1661-1667.
- [4] LIU H, WANG Y S, GUO C J. Research on optical system of airborne infrared search and tracking with stared array sensor[J]. *SPIE*, 2002, 4927:838-846.
- [5] 孙强,王肇圻,李凤友,等. 红外 3.2~4.5 μm 段折射衍射光学系统的减热差设计[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(2): 121-124.
- SUN Q, WANG ZH Q, LI F Y, *et al.*. Design on the thermal infrared diffractive/refractive optical system in 3.2~4.5 μm [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(2): 121-124. (in Chinese)
- [6] 郜洪云,熊涛,杨长城. 中波红外连续变焦光学系统[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(7): 1038-1043.
- GAO H Y, XIONG T, YANG CH CH. Middle infrared continuous zoom optical system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(7): 1038-1043. (in Chinese)
- [7] 董科研,潘玉龙,王学进,等. 谐衍射红外双波段双焦光学系统设计[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(5): 764-770.
- DONG K Y, PAN Y L, WANG X J, *et al.*. Optical design of a HDE infrared dual-band step-zoom system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(5): 764-770. (in Chinese)
- [8] MUHAMMAD N A. Design of a dual field-of-view optical system for infra-red focal-plane arrays[J]. *SPIE*, 2002, 4767:13-23.

作者简介:郜洪云(1978—),女,安徽濉溪人,讲师,博士,主要从事光学设计、激光光束整形技术等方面的研究。E-mail: ccyun@126.com

(本栏目编辑 严寒)

●下期预告

一种新型的波导矩阵光开关

张 鹰^{1,2}, 孙德贵³, 金光¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022)

为了实现波导矩阵光开关一对多、多对多的通信方式,设计了一种新型的多路可用波导矩阵光开关。首先,在分析马赫-曾德尔干涉仪(MZI)基本结构的基础上,定义了二种开关形式。接着,以二者作为结构单元,设计了 2×2 、 4×4 矩阵光开关结构,该类光开关可实现 $1:k(k>1)$ 多路连接的功能。然后,分析了Banyan网络中交叉连接损耗与交叉角度的关系,对MZI结构进行了性能模拟和优化,并由此对整个开关的插入损耗进行了分析。最后,基于PLC技术制作出相应的MZI开关单元及 2×2 、 4×4 波导 SiO_2 光开关实物。测试结果表明: 2×2 光开关的插入损耗为2.25 dB, 4×4 光开关的插入损耗为4.3 dB,开关时间均 <1 ms。该类光开关能够很好地实现多路开关的功能。