文章编号　2095-1531(2014)04-0622-09

# 高速切换紧凑型双视场无热化红外光学系统设计

曲贺盟*,张　新
(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所
光学系统先进制造技术中国科学院重点实验室,吉林 长春 130033)

**摘要**:采用透射二次成像光学系统结构形式,实现了远射比为1,$F$数为1.67,变倍比为4.6的红外双视场光学系统设计。采用光学元件切换变倍方式,配合电磁阀切换机构实现了60 ms的变倍速率;采用光学被动补偿方式,通过适当的光学和结构材料匹配,实现了-40～+50 ℃无热化设计。设计结果表明:光学系统在不同温度下各视场调制传递函数在特征频率为20 lp/mm时接近衍射极限,空间排布紧凑,视场切换速度快,该双视场红外光学系统满足应用需求。

**关　键　词**:光学设计;红外光学系统;双视场;无热化;电磁驱动
**中图分类号**:TN215; TH703　　**文献标识码**:A　　doi:10.3788/CO.20140704.0622

# Design of athermalized infrared optical system with high-speed switching and compact dual-FOV

QU He-meng*, ZHANG Xin
(*Key Laboratory of Optical System Advanced Manufacturing Technology, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*)
* *Corresponding author, E-mail: quhemeng@126.com*

**Abstract**: In this paper, a refractive optical system with secondary image is adopted to realize 1.67 F number and 4.6 zoom ratio, and the ratio between the total length and focal length is 1, and the zooming lens group is driven by solenoid pilot actuated valve switching structure to complete zooming in 60 ms. In addition, an optical passive compensation method is used to realize an athermalized design in the range of -40 ~ +50 ℃ by choosing proper optical and structural materials. The design results show that the optical system's modulation transfer function in each field is close to the diffraction limit at different temperatures under the characteristic frequency of 20 lp/mm and the system size is compact with fast FOV switching. Finally, it is proved that this dual-FOV infrared optical system can meet the requirements for application.

**Key words**: optical design; infrared optical system; dual-FOV; athermalization; solenoid drive

**收稿日期**:2014-03-17;**修订日期**:2014-05-14
**基金项目**:国家自然科学基金资助项目(No.61007009)

## 1　引　言

随着红外探测技术的快速发展,高分辨红外成像技术在遥感、导引及导航方面的应用需求不断增长。对于诸如建筑、桥梁及汽车等自身辐射能量较小的低温目标探测,长波红外成像探测具有明显优势。但是由于现今探测目标的动态性能越来越高,隐身性能也越来越好,导致传统红外探测手段难以满足针对目标的有效探测和精准跟踪。因此发展一种大视场短焦距用于搜索目标,小视场长焦距用于判别和精准跟踪目标,同时在目标搜索和跟踪过程中,光学系统高速切换,保证在视场切换过程中目标不丢失,且具有良好的环境适应性的双视场红外探测技术十分必要[1-3]。

近年来,国内报道了关于红外成像探测光学系统设计方面的研究,为保证总体空间尺寸的紧凑性,多采用单视场透射或折反射式光学结构形式,由于其本身探测能力有限,对目标的探测和跟踪有一定的局限,而双视场的光学系统大多采用凸轮变倍方式,其空间尺寸均较长,变倍速率相对较慢,无法满足高性能红外系统的实际使用需求[4-5]。

鉴于上述因素,本文针对目前长波红外探测光学系统轻小型、高性能、高速视场切换和高环境适应性的要求,采用光学元件切入切出变倍方式,设计了工作波段为 7.7 ~ 10.3 μm,焦距为 28 ~ 128 mm,$F$ 数为 1.67 的长波红外光学系统,光学系统长焦端远射比达到了 1。采用二次成像结构形式,在一次像面处加入视场光阑,有效地提高了光学系统杂散辐射抑制能力;采用电磁阀变倍方式,实现了 60 ms 的光学系统变倍速度;针对光学系统无热化要求,采用光学被动消热差方式,通过不同材料的匹配使系统实现了 −40 ~ +50 ℃的无热化设计。设计结果在空间频率 20 lp/mm 处各视场调制传递函数接近衍射极限。在 −40 ~ +50 ℃温度范围内成像质量没有明显下降。

## 2　光学系统结构选择

目前双视场成像光学系统实现方式主要为光学元件轴向运动变倍形式,如图 1 所示。通过在物像共轭点之间移动负组透镜,改变透镜间隔实现系统焦距的变化;采用电机带动变倍组和补偿组轴向运动及合理的凸轮曲线设计,实现一个电机带动两组元的运动。但采用该种变倍方式需要在光学系统轴向空间上为变倍组和补偿组预留较大的运动空间,不利于光学系统的小型化,且变倍组运动速度也相对较慢。另一种是光学元件切换变倍方式,即将光学元件切入和切出光学系统以改变光学系统焦距,如图 2 所示。该种方式无需为光学元件在轴向预留较大移动空间,光学元件

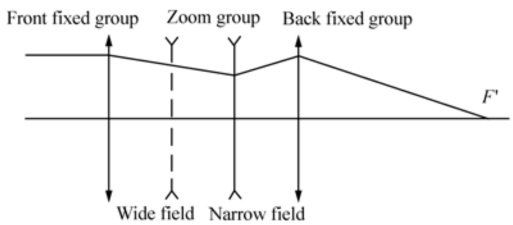



图 1　轴向运动变焦系统结构图

Fig. 1　Structure diagram of axial movement optical system

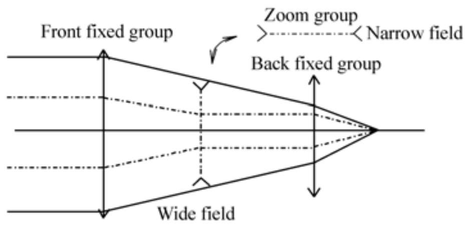



图 2　切换式双视场光学系统

Fig. 2　Rotate-zoom dual-FOV optical system

切换到系统垂轴方向,仅需保证元件的复位精度,以保证系统长短焦的光轴一致性,利于系统小型化,同时配合适当的驱动方式能够实现系统的大小视场快速切换。因此本文选取该种方式进行双视场红外光学系统的设计[6]。

变焦系统基本结构主要由前固定组、变倍组、补偿组和后固定组4部分组成，通过变倍组的运动实现系统组合焦距的变化，并通过补偿组的运动实现系统焦面位置的固定。由于该种变倍方式需要给变倍组和补偿组预留较大的轴向运动空间，因此系统轴向尺寸不可能很短，因此本设计使补偿组固定不动，仅变倍组运动，大大缩短了光学系统的轴向尺寸。

由于大多双视场光学系统置于万向架上，具有俯仰和方位方向的扫描功能，为了满足系统扫描角度、较小的转动惯量和合理的质量分布要求，光学系统的小型化是本设计的关键。首先，具有合理的冷阑匹配。为保证较高的成像质量，制冷型光学系统希望达到100%的冷阑匹配，因此在光学系统设计的过程需将系统光阑设置在探测器冷屏处。若采用传统的一次成像方式，由于系统孔径光阑距前组镜片较远，光学系统前组镜片会被放大较多，而采用二次成像方式，在满足冷阑效率的前提下能有效缩小系统的口径，利于双视场光学系统的小型化，同时在一次像面处设置视场光阑，能够有效地抑制红外光学系统的杂散辐射。其次，通过合理地优化变倍组和前后固定组的光焦度分配使系统小型化。红外光学系统的设计与可见光有所不同，但可见光变焦方式适用于红外光学系统，同时可以利用红外光学材料高折射率和低色散的特点，简化红外变焦光学系统结构形式。

# 3 光学系统设计

## 3.1 光学系统设计参数

光学系统采用制冷型288×4线阵探测器，像元尺寸为28 μm×25 μm，综合考虑系统体积、质量及性能方面总体要求，光学系统参数如表1所示。

表1 光学系统参数

Tab.1 Parameters of optical system

| | | |
|---|---|---|
| FPA frame size | 288×4 | |
| Detector pitch/$\mu m^2$ | 28×25 | |
| Wavelength/μm | 7.7~10.3 | |
| FOV/(°) | 16.38(WFOV) | 3.6(NFOV) |
| Focal length/mm | 28 | 128 |
| *F*# | 1.67 | |
| Operating temperature/℃ | -40~+50 | |
| Total length/mm | <130 | |

## 3.2 光学系统初始结构建立

制冷型红外光学系统需要100%的冷阑效率，因此，在设计阶段需要考虑系统冷阑匹配的问题。对于冷阑匹配系统，由于光阑位于系统后端，为了避免系统前组放大较多，选择二次成像结构形式，后组二次成像镜组放大倍率保持在-1倍左右，或者更小，目的是避免放大前组残留像差。

根据双视场变焦系统的基础理论，系统必须满足物像交换原则。系统确定采用二次成像方式，后组倍率为-1倍，进而确定前组焦距，前固定组、变倍组、后固定组焦距，另外必须保证系统在短焦处前固定组、变倍组及后固定组保持适当间隔，避免变倍过程引起光学元件相互干涉。

设计过程中所有参数为归一化参数，定义系统短焦焦距为$f_s$，长焦焦距为$f_l$，$M$为系统变倍比，$f'_1$为前固定组焦距，$f'_2$为变倍组焦距，$f'_3$为后固定组焦距，由于采用切换变倍方式，因此变倍组放大倍率为$M$，变倍组在短焦处物距及像距为$l_{2s}$、$l'_{2s}$，短焦处前固定组和变倍组的间距为$d_{12s}$，短焦处变倍组和后固定组间距为$d_{23s}$，可以得到系统长短焦焦距关系公式为[7-14]：

$$f_l = f_s \times M. \tag{1}$$

系统在短焦大视场时变倍组的物像距为：

$$l_{2s} = (1-M)/M \times f'_2, \tag{2}$$

$$l'_{2s} = l_{2s} \times M. \tag{3}$$

当红外双视场系统对于无穷远目标成像时，短焦处系统前固定的焦点成为变倍组的物点，规划系统变倍组和后固定组的最小间隔为$d$，因此得到前固定组焦距$f'_1$为：

$$f'_1 = d + l_s = (1-M)\cdot f'_2/M + d. \tag{4}$$

当红外双视场系统对于无穷远目标成像时，长焦处系统焦距为前固定组和后固定组的组合焦距为：

$$\frac{1}{f_l} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} - \frac{1}{d_{12s} + d_{23s}}. \tag{5}$$

最终根据系统实际焦距进行缩放,缩比为 $A$,得到:

$$A = f_1/FL \ , \tag{6}$$

$$f_1' = f_1' \times A \ , \tag{7}$$

$$f_2' = f_2' \times A \ , \tag{8}$$

$$f_3' = f_3' \times A \ , \tag{9}$$

$$d_{12s} = d_{12s} \times A \ , \tag{10}$$

$$d_{23s} = d_{23s} \times A \ . \tag{11}$$

通过以上公式可以得到双视场红外光学系统的初始高斯解,最终根据系统实际焦距进行缩放,可以得到设计过程中所需参数。在设计过程中保证系统的入瞳位于光学系统前固定组第一块镜片处,从而减小系统口径,同时增大前固定组光焦度,降低其他元件的口径,有利于系统小型化。

### 3.3　光学系统无热化设计

系统总体指标要求红外双视场光学系统工作温度需要满足 $-40 \sim +50$ ℃,由于红外系统受温度影响相对可见光敏感,例如单晶锗材料 $\partial n/\partial t$ 达到 $396 \times 10^{-6}$℃$^{-1}$,而 K9 材料 $\partial n/\partial t$ 仅为 $2.8 \times 10^{-6}$℃$^{-1}$,相差两个数量级。由于温度变化导致材料折射率、厚度、面形与空气间隔同时发生变化,会对系统焦距产生影响,这在无调焦光学系统中将严重影响光学系统成像质量。因此在本光学系统设计过程中必须进行无热化设计[15]。

目前较多采用的无热化技术手段主要包括 3 种方式:电子主动补偿、机械被动补偿和光学被动补偿。由于本系统工作环境对光学系统体量存在严格要求,因此为了满足系统的小型化,高可靠性等要求,对光学系统选择光学被动补偿方案进行无热化设计[16]。

光学被动补偿方式是通过光学材料 $\partial n/\partial t$ 的相互匹配,配合光学元件和机械元件的热胀系数,以达到各因素影响相互补偿,使光学系统在温度变化时保证成像质量。目前应用于红外长波的光学材料其光学特性与热特性如表 2 所示。其中 $\alpha_g$ 为膨胀系数,$\partial n/\partial t$ 为折射率温度变化系数,$V$ 为色散系数[17]。

**表 2　长波红外透镜材料光学特性及热特性**

**Tab. 2　Optical and thermal properties of long infrared material available**

| Material | $N$(10 μm) | $\alpha_g \times 10^{-6}$(m · cm$^{-1}$/℃) | $\partial n/\partial t \times 10^{-6}$℃$^{-1}$ | $V$(8 ~ 12 μ) |
|---|---|---|---|---|
| Ge | 4.003 2 | 5.5 ~ 6.1 | 280 ~ 396 | 834.3 |
| ZnS | 2.198 6 | 6.6 | 43.3 | 22.9 |
| ZnSe | 2.406 52 | 8.54 | 100 | 58 |
| GaAs | 3.04 | 5.7 | 149 | 16.3 |
| AMTIR-1 | 2.197 6 | 12.8 | 72 | 115.2 |
| Irtran2 | 2.198 6 | 6.9 ~ 7.4 | 51 | 22.9 |
| Irtran4 | 2.406 52 | 7.4 ~ 8.0 | 48 ~ 58 | 58 |
| CdTe | 2.675 13 | 4.5 ~ 5.9 | 107 | 150.6 |

光学系统设计过程中实现无热化设计,必须满足系统的消热差、消色差和光焦度的要求。

由于光学元件的色散引起光学系统不同谱段光焦度变化为[18-21]:

$$\Delta f_c = \left(\frac{1}{h_1\phi}\right)^2 \sum_{i=1}^{k} (h_i^2 \omega_i \Phi_i) \ , \tag{12}$$

式中,$h_i$ 为第一近轴光线在透镜上的入射高度,$\Phi_i$ 为透镜光焦度,$\omega_i$ 为透镜色散因子。

由于光学元件温度变化引起的光学系统焦距变化为:

$$\Delta f_T = \left(\frac{1}{h_1\phi}\right)^2 \int (h_i^2 \alpha_{gi} \chi_i \Phi_i) \mathrm{d}T \ , \tag{13}$$

式中：$\chi_i$ 为归一化热差系统，$x_i = dn/(n-1) - \alpha_{gi}$。$\alpha_{gi}$为透镜的线胀系数。

为了满足系统的无热化设计，光学系统光焦度满足：

$$\Phi = \frac{1}{h_1}\sum_{i=1}^{k} h_i \Phi_i \quad . \tag{14}$$

系统无热化消热差满足：

$$\Delta f_c = \left(\frac{1}{h_1\phi}\right)^2 \sum_{i=1}^{k} (h_i^2 \omega_i \Phi_i) = 0 \; . \tag{15}$$

系统消热差满足：

$$\Delta f_T = \left(\frac{1}{h_1\phi}\right)^2 \int (h_i^2 \alpha_{gi} \chi_i \Phi_i)\, dT = \alpha_m L \; , \tag{16}$$

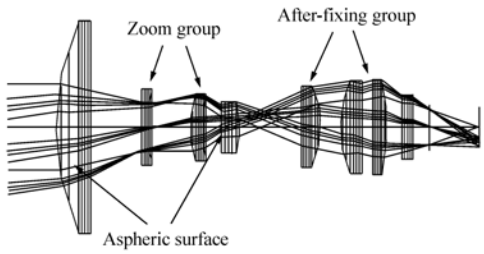
式中，$\alpha_m$ 为系统结构元件材料的线胀系数，$L$ 为系统结构件长度。光学系统被动无热化设计必须满足式(14)、(15)和(16)。通过上述计算可以得到满足光学系统无热化要求的系统近轴关系，通过镜筒材料与透射元件的材料匹配得到满足系统无热化要求的光学系统初始结构。

## 4 光学系统设计

### 4.1 设计结果

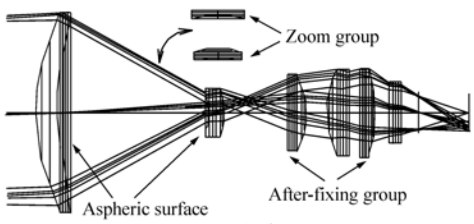
由于总体对光学系统尺寸严格限制，系统前固定组采用折射率较大的 Ge 透镜，同时为了减小其引入像差，在内表面加入非球面设计。变倍组和二次成像镜组单独设计，变倍组变倍比为 4.6，优化时控制变倍组口径。二次成像镜组焦距为 9.9 mm，光学系统孔径光阑位于探测器冷阑位置，系统入瞳位于前固定组。

为了满足系统无热化设计和消色差，系统采用了 Ge 和 ZnSe 两种材。前固定组采用一片高折射率低色散的 Ge 材料单透镜，目的是增加前固定组光焦度，减小后组口径；变倍组选择两片透镜，均为折射率较高 Ge 材料，第一片为负透镜，第二片为正透镜，光焦度正负分离以校正前固定组残留较大像差；后固定组采用单透镜，材料为 Ge，规划为负光焦度，虽然相比于选择 ZnSe 在色差校正方面相对较差，但是在无热化过程中为保证一次成像镜组在温度变化时的光焦度，负光焦度 Ge 材料更具优势。二次成像镜组采用 3 片透镜，分别为 Ge、ZnSe 和 Ge，用以补偿前组剩余的高级像差。其中 ZnSe 以其较小的阿贝数和$\partial n/\partial t$起到校正系统色差和平衡热差的作用。系统采用 2 个非球面，分别位于透镜 1 后表面和透镜 4 前表面，非球面的加入是为了校正系统球差和像散，以提高光学系统整体成像质量。系统镜筒选择三段式，前、后组镜筒为线胀系数较大的铝合金材料，目的是保证在温度变化时系统前、后组焦距变化量较小；前、后镜筒中间连接段选择线胀系数较小的钛合金材料，目的是保证在温度变化时前组焦距变化对后组的物距影响最小，进而实现系统的无热化设计。系统总体长度为 128 mm，经过光学设计软件对光学系统进行反复优化，得到最优的设计结果如图 3 所示。




(a) 短焦

(a) Short focus




(b) 长焦

(b) Long focus

图 3 光学系统结构图

Fig. 3 Configuration of optical system

### 4.2 变倍驱动方式

系统变倍组围绕规划的回转中心转动切入/切出成像光路，以实现系统组合焦距的变化。在变倍组机械限位的两个位置分别设置电磁阀，并在变倍镜筒两侧设置电磁铁，如图 4 所示，系统初始段短焦位置电磁阀工作，保证光学系统位于大视场搜索模式；系统发现目标，长焦端电磁阀工

作,将变倍组两块镜片瞬间切出系统光路,系统变为长焦小视场工作模式,对目标进行精准跟踪。长短焦切换速度达到 60 ms 以内,保证在视场切换过程中,目标不丢失。

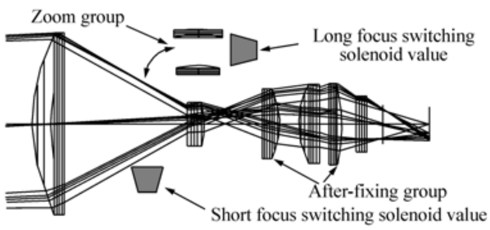


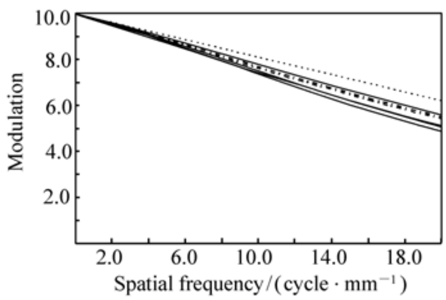

图 4　系统切换方式

Fig. 4　Rotate-zoom mode of optical system

### 4.3　像质评价

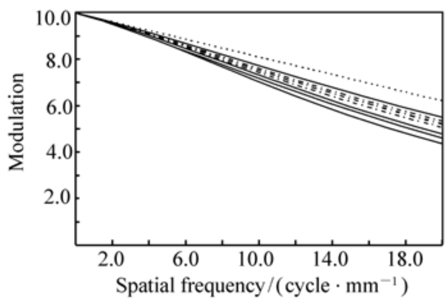
#### 4.3.1　调制传递函数

系统选择探测器为 28 μm × 25 μm,特征频率为 20 lp/mm。系统在 −40、20、50 ℃ 调制传递函数如图 5、图 6、图 7 所示。




(a) 短焦传递函数

(a) MTF of short focus



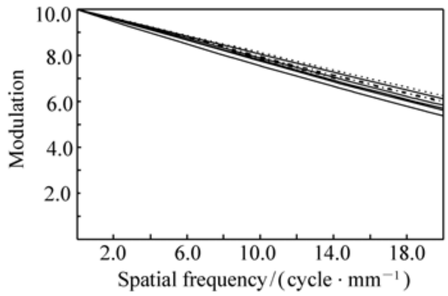

(b) 长焦传递函数

(b) MTF of long focus

图 5　−40 ℃ 光学系统调制函数曲线

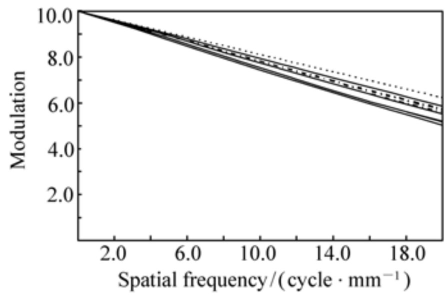
Fig. 5　MTF curves at −40 ℃

图 5 至图 7 展示了光学系统大小视场不同温度的调制传递函数,可以看出不同温度下光学系统传递函数接近衍射极限,因此可以证明光学系




(a) 短焦传递函数

(a) MTF of short focus

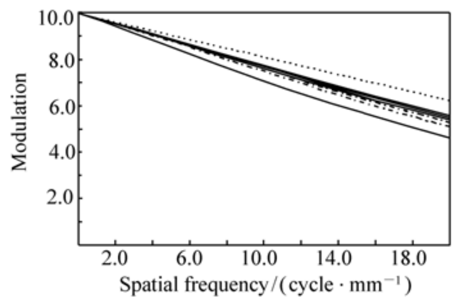



(b) 长焦传递函数

(b) MTF of long focus

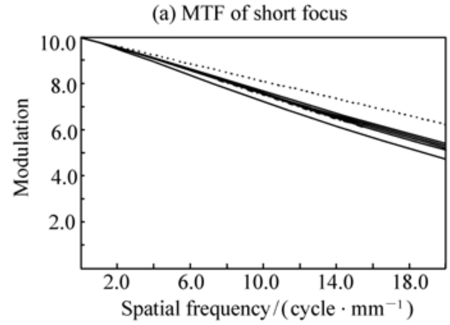
图 6　20 ℃ 光学系统调制函数曲线

Fig. 6　MTF curves at 20 ℃




(a) 短焦传递函数

(a) MTF of short focus




(b) 长焦传递函数

(b) MTF of long focus

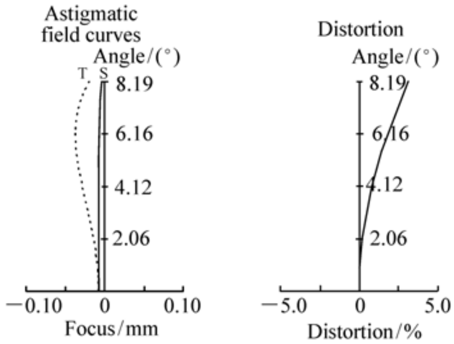
图 7　50 ℃ 光学系统调制函数曲线

Fig. 7　MTF curves at 50 ℃

统在 -40 ~50 ℃温度范围内实现了无热化设计。

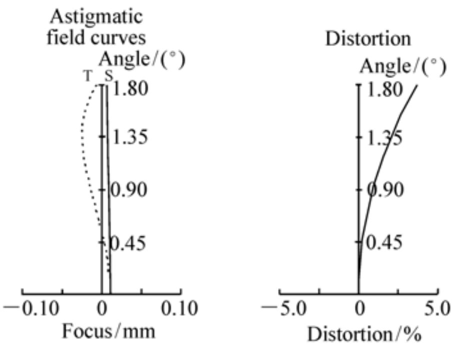
### 4.3.2 像散与畸变

光学系统大小视场像散与畸变曲线如图8所示,从图中可以看出系统大视场畸变小于3%,小视场畸变小于5%,满足系统指标要求。




(a) 短焦像散畸变

(a) Astigmatism and distortion curves of short focus




(b) 长焦像散畸变

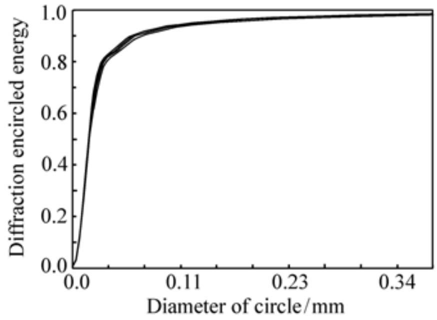
(b) Astigmatism and distortion curves of long focus

图8 光学系统像散畸变曲线

Fig. 8 Optical system astigmatism and distortion curves

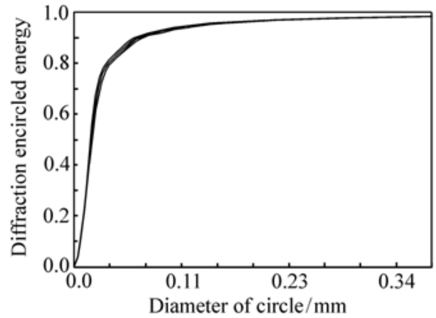
### 4.2.3 能量集中度

红外双视场光学系统大小视场能量集中度曲线如图9所示,探测器单像元内能量集中度为68%,满足使用需求。




(a) 短焦能量集中度

(a) Energy distribution of short focus




(b) 长焦能量集中度

(b) Energy distribution of long focus

图9 光学系统能量集中度

Fig. 9 Curves of energy distribution

## 5 结 论

本文基于288×4红外长波制冷探测器设计了一种紧凑型无热化双视场红外光学系统,实现了远射比1,$F$数1.67。通过光学元件切换变倍方式,配合电磁阀切换机构,实现了60 ms的系统变倍速率,同时采用光学被动补偿方式,在不增大系统体量的前提下,实现了 -40 ~ +50 ℃温度范围内的光学系统无热化设计。设计结果表明:光学系统大小视场成像质量接近衍射极限,在 -40 ~ +50 ℃温度范围内成像质量无明显变化,满足总体指标要求。

**参考文献:**


[1] AKRAM M N. Design of a multiple-field-of-view optical sys-tem for 3 to 5 μm infrared focal-plane arrays[J]. *SPIE*, 2003,42(6):1704-1714.

[2] ALDRICH R E. Three element optically compensated two-position zoom for commerical FURs[J]. *SPIE*,1995,2589:87-107.

[3] JOHNSON R B. Zoom lenses with a single moving eelement[J]. *SPIE*,1990,1354:676-682.

[4] 王涌天,崔桂华. 红外扫描成像系统中冷像的分析与控制[J]. 光学学报,1994,14(6):650-655.
WANG Y T,CUI G H. Analysis and control of Narcissus effect in scanning infrared system[J]. *Acta Optica Sinica*,1994,14(6):650-655. (in Chinese)

[5] 白瑜,杨剑峰,薛彬,等. 非制冷热成像长波红外两档变焦光学系统[J]. 红外技术,2009,31(3):156-159.
BAI Y,YANG J F,XUE B,*et al.*. Design of uncooled LWIR thermal imager Switch-Zoom optical system[J]. *Infrared Technology*,2009,31(3):156-159. (in Chinese)

[6] 田海霞,杨建峰,马小龙. 可见光变焦距电视光学系统设计[J]. 光学学报,2008,37(9):1797-1799.
TIAN H X,YANG J F,MA X L. Design for visible video zoom optical system[J]. Acta Photonica Sinica,2008,37(9):1797-1799. (in Chinese)

[7] 白瑜,杨建峰,阮萍. 长波红外连续变焦光学系统设计[J]. 光电技术应用,2008,23(5):15-17.
BAI Y,YANG J F,RUAN P. Design of LWIR continuous zoom optical system[J]. *Electro-optic Technology Application*,2008,23(5):15-17. (in Chinese)

[8] SIMMONS R. Athermalisation of a fast infrared telescope objective[J]. *SPIE*,2007,2539:137-149.

[9] GOODMAN W A. Athermal glass by design[J]. *SPIE*,2007,6666:666604-1-11.

[10] 骆守俊,何伍斌. 大面阵中波红外连续变焦光学系统设计[J]. 光学 精密工程,2012,20(10):2117-2122.
LUO SH J,HE W B. Design of middle infrared continuous zoom optical system with a large FPA[J]. *Opt. Precision Eng.*,2012,20(10):2117-2122. (in Chinese)

[11] 孙强,王肇圻,李凤友,等. 红外 3.2 ~ 4.5 μm 波段折射/衍射光学系统的减热差设计[J]. 光学 精密工程,2002,10(2):121-125.
SUN Q,WANG ZH Q,LI F Y,*et al.*. Design on the athermal infrared diffractive/refractive optical system in 3.2 ~ 4.5 μm[J]. *Opt. Precision Eng.*,2002,10(2):121-125. (in Chinese)

[12] 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):1038-1041.
GAO H Y,XIONG T,YANG CH CH. Middle infrared continuous zoom optical system[J]. *Opt. Precision Eng.*,2007,15(7):1038-1041. (in Chinese)

[13] 郜洪云,熊涛. 中波红外两档变焦光学系统[J]. 光学 精密工程,2008,16(10):1891-1894.
GAO H Y,XIONG T. Mid-wavelength infrared dual field-of-view optical system[J]. *Opt. Precision Eng.*,2008,16(10):1891-1894. (in Chinese)

[14] TAMAGAWA Y. Dual-band optical systems witha projective athermal chart:design[J]. *Appl. Opt.*,1997,36(1):297-301.

[15] KRYSZCZYNSKI T. Material problem in athermalization of optical systems[J]. *Opt. Eng.*,1997,36(6):1596-1601.

[16] PILKINGTON. Athermalization techniques in infrared systems[J]. *SPIE*,1986,0655:142-153.

[17] RAYCES J L. Thermal compensation of infrared achrcmatic objectives with three optical materials[J]. *SPIE*,1990,1354:752-759.

[18] 郭永洪 沈忙作. 折射/衍射红外光学系统的消热差设计[J]. 光学学报,2000,20(10):1392-1395.
GUO Y H,SHEN M Z. Athermal design for infrared diffractive/refractive optical system[J]. *Acta Optic Sinica*,2000,20(10):1392-1395. (in Chinese)

[19] 薛慧. 红外搜索与跟踪系统中光学系统的设计[J]. 光学学报,2010,30(8):2383-2386.
XUE H. Optical design of infrared search and trace system[J]. *Acta Optic Sinica*,2010,30(8):2383-2386. (in Chinese)

[20] 佟静波,崔庆丰,薛常喜,等. 离轴双通道头盔显示器光学系统设计[J]. 光学学报,2010,30(9):2662-2667.
TONG J B,CUI Q F,XUE CH X,*et al.*. Optical design of a off-axis dual-channel helmet mounted display[J]. *Acta Optic Sinica*,2010,30(9):2662-2667. (in Chinese)

[21] 曲贺盟,张新,王灵杰,等. 大相对孔径紧凑型无热化红外光学系统设计[J]. 光学学报,2012,32(3):0322003-1-8.
QU H M,ZHANG X,WANG L J,*et al.*. Design of a low f-number compact athermalizing infrared optical system[J]. *Acta Optic Sinica*,2012,32(3):0322003-1-8.

**作者简介：**

曲贺盟(1984—),男,吉林长春人,博士,助理研究员,主要从事光学系统设计等方面的研究。E-mail: quhemeng@126.com

张　新(1968—),男,吉林省吉林市人,博士,研究员,1991年于清华大学获得学士学位,1994年、2005年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所分别获得硕士、博士学位,主要从事成像、非成像光学系统的总体设计方面的研究。E-mail:optlab@ciomp.ac.cn

# 《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊,A4开本;刊号:ISSN 2095-1531/CN 22-1400/O4;国内外公开发行,邮发代号:国内12-140,国外BM6782。

- ★ 荷兰Scopus数据库
- ★ 美国《乌利希国际期刊指南》
- ★ 美国《化学文献》
- ★ 波兰《哥白尼索引》
- ★ 俄罗斯《文摘杂志》
- ★ 中国光学学会会刊
- ★ 中国科技核心期刊数据库
- ★ 中国期刊全文数据库
- ★ 万方数字化期刊全文数据库
- ★ 中国科技期刊数据库
- ★ 中国光学期刊网数据库

**主要栏目**:微纳光学、信息光学、集成光电子、光谱学和光谱仪器、激光技术与应用、光学功能材料、光学设计与工艺、大气与空间光学、光学仪器与测试、综述等。

**发稿类型**:学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿。

主管单位:中国科学院
主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
编辑出版:《中国光学》编辑部
投稿网址:http://chineseoptics.net.cn
邮件地址:chineseoptics@ciomp.ac.cn; zggxcn@126.com
联系电话:0431-86176852; 0431-84627061　　传　　真:0431-84627061
编辑部地址:长春市东南湖大路3888号(130033)