

文章编号 1004-924X(2010)03-0593-09

# 主动补偿无热化技术在机载红外光学系统中的应用

沈宏海<sup>1,2</sup>, 王国华<sup>1</sup>, 丁金伟<sup>1</sup>, 王灵杰<sup>1</sup>, 撒芃芃<sup>1</sup>, 李永刚<sup>1</sup>

(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)

**摘要:** 为了提高机载红外光学系统的环境适应性, 分析了温度对光学系统的影响, 比较了各种无热化补偿措施的优缺点。对提出的红外光学系统的结构形式、无热化补偿量进行了研究。首先, 根据该系统无热化补偿的特点确定了主动无热化补偿的技术路线。接着, 指出常规的凸轮-电位计调焦机构无法满足要求, 确定了以高精度步进电机为执行元件的方案。然后, 针对该方法存在丢步的问题, 引入线性霍尔元件作为位置反馈元件, 采用局部拟合的方法实现了高精度无热化补偿。最后, 介绍了该镜头的变倍及无热化补偿机构的实现方法。实验数据表明, 此方案的补偿精度可以达到 0.02 mm, 实现了红外光学系统在全温度范围内 MTF 下降到 0.05 以内。该方法基本满足两档变倍红外光学系统在全温度范围内的性能要求。

**关键词:** 红外光学系统; 无热化; 主动补偿

**中图分类号:** TH216 **文献标识码:** A

## Application of active-athermal compensation to airborne IR optical systems

SHEN Hong-hai<sup>1,2</sup>, WANG Guo-hua<sup>1</sup>, DING Jin-wei<sup>1</sup>,  
WANG Ling-jie<sup>1</sup>, HAN Peng-peng<sup>1</sup>, LI Yong-gang<sup>1</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033 China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** In order to improve the environmental adaptability of airborne infrared optical systems, the effects of ambience temperature upon an IR optical system was analyzed, and several typical athermal compensation methods were compared. The optical layout and athermal compensation of the optical system were studied. Firstly, the active athermal compensation method was proposed based on the nonlinear speciality of the lens athermal compensation. Then, it pointed out that the normal cam-potentiometer method could not meet the demands, so the stepper motor with 0.006 mm was selected as a driver. Aim at the disadvantage of proposed method, a linear Hall sensor was introduced to be a position feedback component, and precision athermal compensation was realized by a partial fit method. Finally, the zoom and athermal compensation mechanical structures were discussed. Experimental results indicate that the method proposed can get 0.02 mm compensation precision, and the MTF atten-

收稿日期: 2009-05-19; 修订日期: 2009-06-01.

基金项目: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所三期创新工程资助项目

uation of IR optical system is within 0.05, which satisfies the system requirement of athermal compensation in the full temperature range.

**Key words:** IR optical system; athermalisation; active compensation

## 1 引言

随着现代侦察技术的发展,对红外光学系统的成像质量及其环境适应性的要求越来越高。机载红外系统往往需要在很宽的温度范围内工作,温度条件的改变将导致光学系统的光学材料和机械材料产生热效应,使光学系统的一些参数发生相应的变化,进而使系统的最佳像面发生偏离,从而导致光学系统性能急剧下降。因此,在设计光学系统的过程中有必要采用特定技术来消除温度效应的影响,使光学系统能够在较大的温度范围内保持良好的成像质量。这种消除或降低温度变化对光学系统成像质量影响的技术被称为无热化技术。从 20 世纪 30 年代开始,泊里(J. M. Perry)等研究人员相继阐述了均匀温度场中温度变化对光学系统成像质量的影响,进而提出了透镜无热设计(Athermalisation)的概念,后经过卡纳伽瓦(Kanagawa)等人的继续研究,从 70 年代中期到 80 年代中期,无热设计取得了长足的进展,特别对红外系统提出了几种无热化设计的技术路线,同时涌现了一批成功的设计实例和设计软件<sup>[1-9]</sup>。此后,无热设计开始逐步进入可操作阶段。

本文针对两档红外光学系统的特殊情况,分析了采取主动无热化补偿技术的必要性和技术途径,试验结果表明此方法可行。

## 2 温度对红外光学系统的影响及无热化措施

### 2.1 温度对红外光学系统的影响

机载红外光学系统因其工作高度处的温度、气压与地面相差极大,使得光学材料的折射率、厚度、曲率半径等参数都将发生变化,并将导致成像质量降低。因此,在设计中需要考虑温度、压力、

湿度等影响因素。在上述因素中,温度是最主要的。由于机载设备的工作温度都不小于 $-40\sim+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在此温度范围内,光学材料的性能将随温度的变化发生很大的改变。因此,需要研究温度对光学系统的影响。

从本质上来讲,温度变化对光学系统成像质量的影响主要表现在以下 3 个方面:

- (1) 温度变化引起介质的折射率(包括空气的折射率)变化;
- (2) 温度变化引起光学元件折射面的曲率半径和中心厚度变化;
- (3) 温度变化引起光学系统中光学元件之间的间隔变化。

表 1 分别列出了各种常用红外透镜材料的折射率<sup>[2]</sup>、热膨胀系数 $\alpha_0$ 和温度系数 $dn/dt$ 。由这些数值得知,红外材料的温度参数比普通光学玻璃的数值大得多。比如红外锗单晶的 $dn/dt$ 典型值约为 $396\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ,而可见光 K9 玻璃的值只有 $2.8\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。在温度对成像质量的影响中,折射曲率的贡献最大,曲率半径的贡献次之,而中心厚度和间隔的影响最小。

表 1 常用红外材料的温度特性

Tab. 1 Temperature characteristics of normal infrared materials

材料	折射率 $n(\text{厚度}=10\ \mu\text{m})$	热膨胀系数 $\alpha_0/(10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	温度系数 $dn/dt/10^{-6}$
Ge	4.003 2	5.5~6.1	280~396
ZnS	2.198 6	6.6	43.3
GaAs	3.040 0	5.74	149.0
CdTe	2.675 13	4.5~5.9	107.0

### 2.2 无热化措施

为了消除或者减小温度效应引起成像质量的降低而采用的补偿技术,按照其实现方式,目前大致可以分为以下 3 大类<sup>[2-5]</sup>。

- (1) 机械被动式无热设计:通过使一个或者

一组透镜产生轴向位移,从而补偿由于温度变化所引起的焦移。

(2) 机械(电子)主动式无热技术:本质与机械被动式一样,通过使一个或一组透镜产生轴向位移以达到补偿效果,但是实现的方法不同。该方法首先利用传感器探测出温度,然后将信息传给处理器,处理器利用存贮在存贮器里的温度-位移对照表查出对应的位移,或利用关于温度的位

移多项式计算出对应的位移,接着驱动电机,带动透镜产生轴向位移。

(3) 光学被动式无热设计:利用光学材料热特性之间的差异,通过不同特性材料之间的合理组合来消除温度的影响。

由表2可以看出在3种无热技术中光学被动式技术的综合效率最高,其次是机电主动式。

表2 3种无热技术的比较

Tab.2 Comparison of three athermalisation methods

无热化方式	性能	质量	成本	是否需要供电	可靠性	环境适应性	可维护性
机械被动式	好	较重	较低	否	一般	好	好
机电主动式	好	重	高	要	取决于电子元件	取决于电子元件	一般
光学被动式	好	很轻	低	否	极好	取决于所选择的材料	极好

### 3 机载红外光学系统的无热化分析

#### 3.1 机载红外光学系统的结构形式

为了兼顾作用距离和捕获跟踪概率,机载红外光学系统普遍都采用多档变倍形式,其中以两档或三档变倍形式最为普遍<sup>[9-12]</sup>。本项目采用85,140 mm两档变倍形式。对设备做气密设计使得镜头所处气压恒定,光学系统环境适应性分析表明,在此气压下系统的MTF退化在0.01以内,可忽略该影响。对系统采用加入视场光阑、镜筒表面处理等消杂散辐射措施,ASAP建模分析表明,杂散辐射<0.1%,有效地抑制了地面背景杂散辐射或海面太阳眩光的影响。系统采用轻质可靠的结构形式,光路采用折射式结构,从而在减小系统质量的同时保证了系统的耐冲击振动能力,满足了系统可靠性要求。

光学系统的结构布局如图1~图2所示,长焦和短焦系统采用同一后组,冷阑匹配效率达到100%,大小视场的切换通过轴向机构运动实现。采用高次非球面简化系统结构,实现了光学系统的紧凑性。

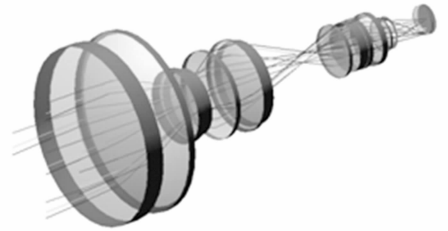


图1 短焦光学系统布局图  $f=85$  mm

Fig.1 Layout of WFOV system  $f=85$  mm

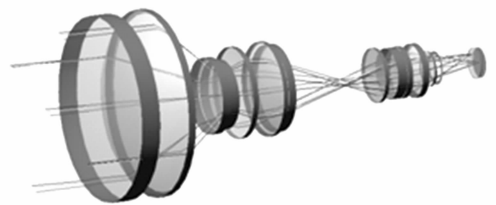


图2 长焦光学系统布局图  $f=140$  mm

Fig.2 Layout of NFOV system  $f=140$  mm

#### 3.2 两档变倍光学系统的无热化补偿机构

图3是光学系统的设计结果,由图可知光学系统的传递函数均高于0.7,接近衍射极限;图4是光学系统在 $-40$  °C不采取补偿措施时的MTF曲线,当温度变化而不采取补偿措施时的传递函数将急剧下降。为了保证光学系统的性能,必须采取无热化补偿措施。

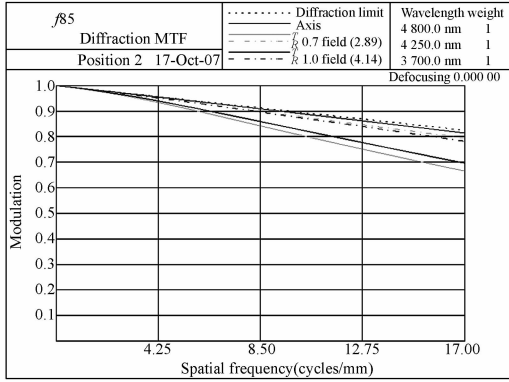
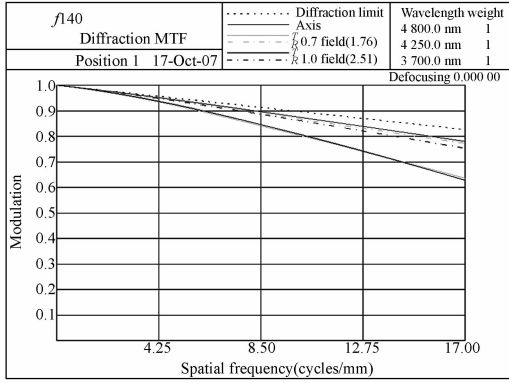


图 3 长焦和短焦的 MTFs

Fig. 3 MTFs of NFOV and WFOV systems

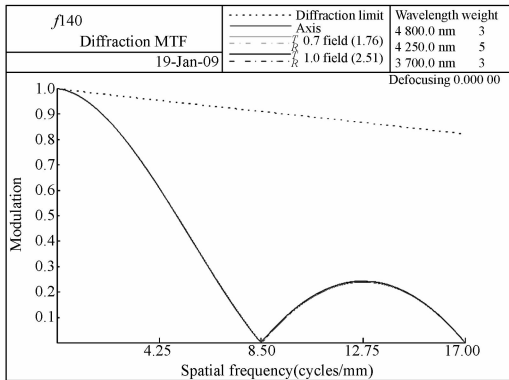
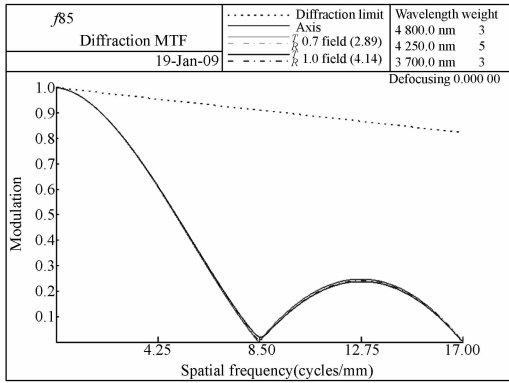


图 4 短焦、长焦在 -40 °C 不调焦时的 MTFs

Fig. 4 MTFs of WFOV and NFOV systems without compensation

3. 2. 1 光学系统无热化补偿量分析

经过对光学镜头的无热化分析,得到如表 3、表 4 所示长短焦下不同温度点前组镜片需要的调焦量并绘制出图 5 所示的曲线,可知镜头在同一温度点下长短焦所需调整量的正负极性不同,而且这种调整量差异并不是线性固定值,所以采用双金属片或不同镜片材料组合以期实现被动式无热化补偿是根本不可能的。

表 3 两档变倍红外镜头的长焦调焦量

Tab. 3 Compensation of NFOV system

温度/°C	调焦间隔/mm	温度/°C	调焦间隔/mm
-40	0.55	10	0.09
-30	0.46	20	0
-20	0.37	30	-0.09
-10	0.28	40	-0.18
0	0.18	50	-0.27

表 4 两档变倍镜头的短焦调焦量

Tab. 4 Compensation of WFOV system

温度/°C	调焦间隔/mm	温度/°C	调焦间隔/mm
-40	0.34	10	0.07
-30	0.29	20	0
-20	0.23	40	-0.12
0	0.13	50	-0.18
-10	0.18	30	-0.06

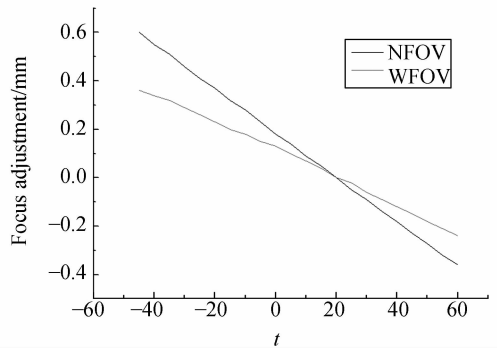


图 5 两档变倍镜头在不同温度下长短焦对应的调焦补偿量

Fig. 5 Compensation of NFOV and WFOV systems

基于上述分析,本系统必须采取主动无热化补偿措施,具体措施是镜头控制器基于温度传感器的温度信息和视场状态控制调焦机构的运动,

实现调焦量的补偿,确保图像在不同温度条件下始终清晰。

### 3.2.2 无热化驱动结构精度分析

常规的设计方法是在光学镜头中采用凸轮机构实现对焦距的调整,通过电位计检测镜头的焦距状态。根据作者的镜头设计经验,基于凸轮-电位计的检调焦机构的精度约为 0.11 mm。而根据本项目的光学设计分析,镜头无热化补偿精度需不低于 0.06 mm。显然,基于凸轮-电位计的方法难以满足镜头无热化补偿的需要。

为了保证精度传递,本系统采用步进电机直接驱动变倍镜头和补偿镜组运动实现无热化。步进电机选择 HAYDON 21000 系列的 SIZE8 直线步进电机,该步进电机的参数如表 5 所示,实验结果如表 6 所示。

表 5 变倍、调焦结构用的步进电机参数  
Tab.5 Parameter of stepper motre used in zoom and focusing structures

类型	步长/mm
变倍电机	0.04
调焦电机	0.006

表 6 调焦电机控制精度实验  
Tab.6 Drive test of focusing motor

反向脉冲控制数	实际位置	行程/ $\mu\text{m}$	正向脉冲控制数	实际位置	行程/ $\mu\text{m}$
0	300	0	0	-300	0
-20	162	138	20	-180	120
-20	41	121	20	-62	118
-20	-90	131	20	70	132
-20	-228	138	20	200	130
-10	-290	62	10	263	63

由实验结果可见,在相同脉冲的驱动下每次的行程并不相同,这表明调焦电机存在丢步的现象,单纯依靠步进电机步进角计数无法实现调焦量的精确控制。为了有效解决丢步问题,必须引入位移传感器实现移动位置的反馈。

尽管目前的位移传感器多种多样,但是由于本项目的镜头调焦总位移仅有 1.4 mm,受体积、分辨力、温度适应性的限制,无法采用常见的光栅、磁栅、电位计等传感器。综合考虑后,霍尔元件以其体积小、电路简单、精度高、抗干扰能力强

的优点成为应用到本镜头中的首选。系统选择 SS495A1 传感器的体积仅有 0.40 cm $\times$ 0.46 cm,内含激光修正的薄膜电阻从而提供精确的灵敏度和温度补偿性能,可工作于正或负的磁场内。

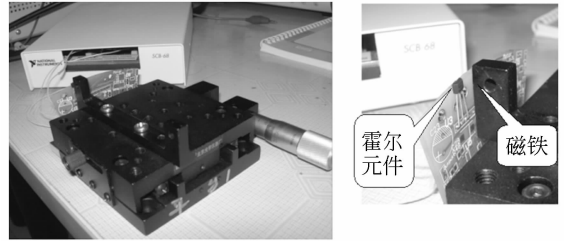


图 6 霍尔元件测量精度试验装置及传感器安装示意图  
Fig.6 Equipment for precision test of Hall sensor and installation of Hall sensor

为了试验研制霍尔元件的位移测量精度,搭建了图 6 所示的试验装置,该装置是将焊接了霍尔元件的 PCB 板固定在微动平台的底座上,将安装有磁铁的支架固定在微动平台上,微动平台相对于底座的位移采用游标卡尺测量,游标卡尺的测量精度为 0.01 mm。为了避免电源品质影响测量精度,采用了线性直流稳压电源给霍尔元件供电,霍尔元件的输出信号电压接到 NI PXI1042Q 计算机的 16 位数据采集卡上,根据上述试验装置所采集到的试验数据绘制出如图 7 的曲线。

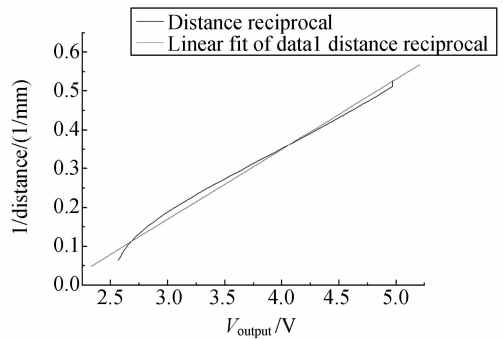


图 7 霍尔元件 SS495A1 的输出电压与位移的关系曲线  
Fig.7 Output voltage and displacement of SS495A

由曲线可见,对近 10 mm 的距离内线性拟合时的误差偏大。结合镜头调焦范围为 1.4 mm 的实际情况,截取部分数据进行了拟合,得到如图 8 所示的曲线,所采用的拟合公式为:

$$Y = -0.54479 + 0.30187x - 0.01935x^2$$

拟合误差如表 7 所示,可见从 2.55~6.05

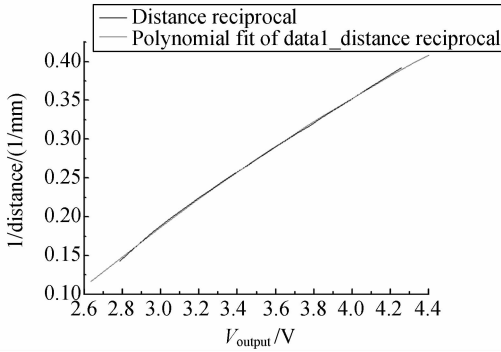


图 8 霍尔元件 SS495A1 的输出电压与位移的关系曲线(局部拟合)

Fig. 8 Output voltage and displacement(part fit) of ss495A

mm 的拟合误差都小于 0.02 mm, 拟合精度都满足使用要求。

表 7 局部拟合误差

Tab. 7 Fit error

输出电压 /V	距离 /mm	拟合误差 /mm	输出电压 /V	距离 /mm	拟合误差 /mm
4.255	2.55	-0.018 48	3.41	3.85	-0.002 33
4.161	2.65	-0.007 69	3.37	3.95	-0.006 39
4.074	2.75	0.001 745	3.331 5	4.05	-0.012 95
3.992	2.85	0.008 382	3.296	4.15	-0.017 32
3.914	2.95	0.011 407	3.262	4.25	-0.023 26
3.843	3.05	0.0153 11	3.23	4.35	-0.028 79
3.775 5	3.15	0.016 162	3.2	4.45	-0.033 3
3.713	3.25	0.016 758	3.172	4.55	-0.036 1
3.654	3.35	0.015 414	3.051	5.05	-0.049 6
3.599	3.45	0.013 614	2.958	5.55	-0.041 79
3.547	3.55	0.010 133	2.886	6.05	-0.001 78
3.498	3.65	0.005 48	2.829	6.55	0.070 694
3.453	3.75	0.002 619	2.783 6	7.05	0.180 133

### 3.2.3 两档变倍镜头的无热化补偿机构

红外光学镜头主要由镜组、基板、探测器和无热化补偿机构等几部分构成。其中, 基板是红外镜头与内部框架连接机构, 也是主镜筒与红外探测器的安装基座; 无热化补偿机构在主镜组后部, 由电机、移动支架、导杠等部分构成。镜头照片如图 9 所示。

在镜头结构中采用图 10 所示的离焦补偿机构。离焦补偿机构由直线步进电机驱动, 通过步进电机带动调焦移动架进而带动调焦镜组移

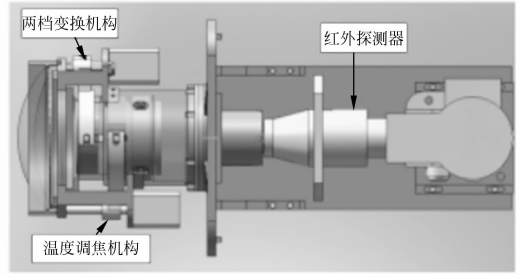


图 9 两档变倍红外镜头的照片

Fig. 9 3D photo of IR lens with two fields of view

动到准确的调焦位置。其镜组前后位置直接由电控系统控制步进电机脉冲数实现, 步进电机步距为 0.006 mm, 步进精度可以满足系统的位置精度要求。其移动过程中的径向精度由镜筒与镜组架的配合间隙来保证, 确保移动过程中光轴晃动量 < 1"。而步进电机驱动轴的运动精度, 由精密导杠与移动架的滑动轴承配合精度保证。该离焦补偿机构具有传动零件少, 装配简单, 控制精确的特点。

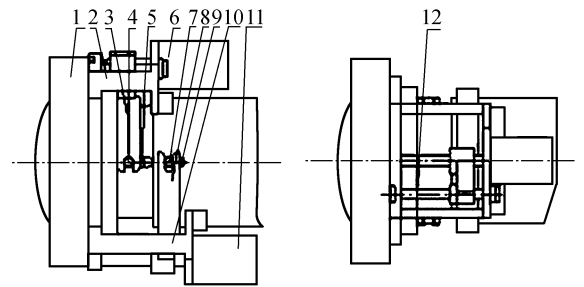


图 10 镜头变倍、调焦结构

Fig. 10 Zoom and focusing structures

### 3.2.4 实验结果

基于上述标定得到拟合公式, 进行了图 11 所示的基于镜头控制电路实现对镜头焦距补偿的闭环控制试验。镜头控制电路采集霍尔元件输出的电压信号, 并根据拟合公式计算出实际位移, 根据位移误差大小控制步进电机运动的方向和步距数。以电感测微仪为正值, 测量调焦组件的位移控制精度。图 12 是采用此方法的闭环控制精度曲线, 图中的  $D$  为给定位置,  $E$  为实际到达位置,  $F$  为定位误差, 由图可见最大误差不超过 0.02 mm, 满足无热化调焦精度要求。

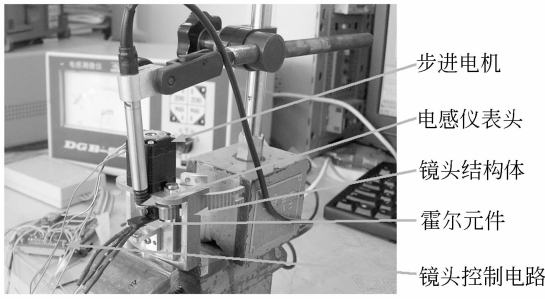


图 11 红外镜头中的焦距补偿精度测试

Fig. 11 Focus compensated precision test of IR lens

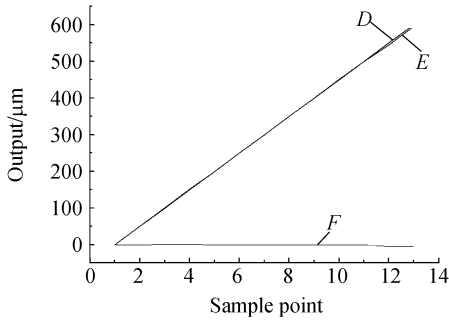


图 12 基于霍尔元件的闭环控制精度

Fig. 12 Closeloop control result based on Hall effect sensor

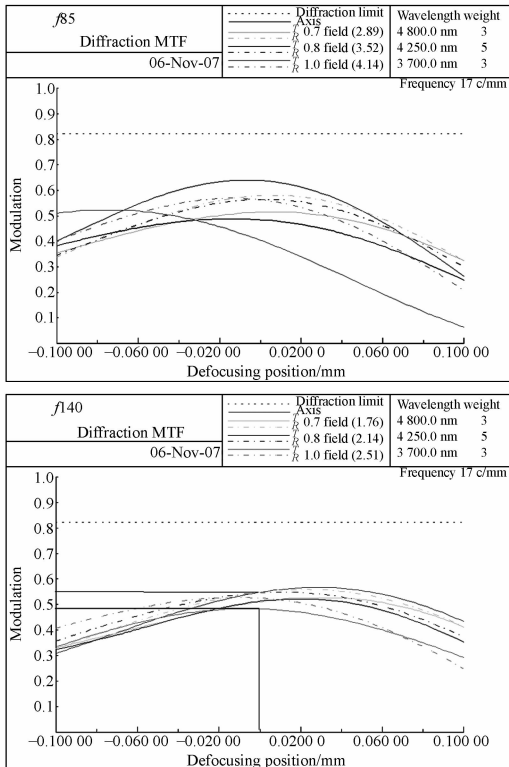


图 13 短焦、长焦在 +60 °C 调焦完成后的离焦曲线图

图 13 Defocus curves of WFOV and NFOV in +60 °C after compensation

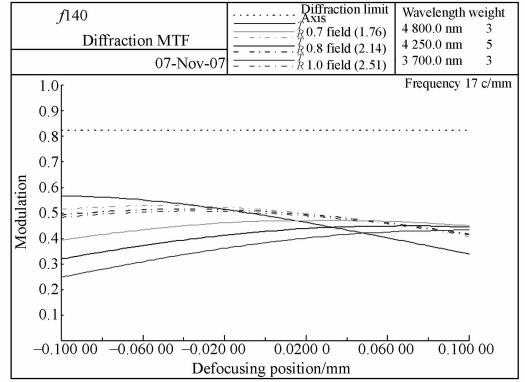
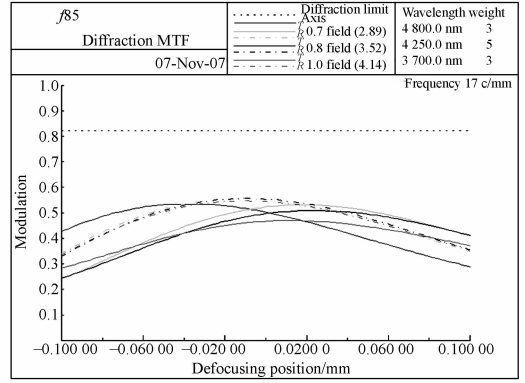


图 14 短焦、长焦在 -40 °C 调焦完成后的离焦曲线图

图 14 Defocus curves of WFOV and NFOV in -40 °C after compensation

试验验证表明上述方法可精确保证调焦位置,确保图像效果。对光学系统进行的温度效应分析表明,采用主动调焦的无热化光机机构像面离焦补偿措施,可以实现系统 MTF 在 -40~+60 °C 下降到 0.05 以内。由于常温下系统 MTF 在全视场范围内都大于 0.75,因此即使 MTF 有所衰减也不会影响系统的工作性能。图 13、图 14 为系统在 -40,60 °C 调焦补偿后的 MTF 曲线。

### 4 结 论

本文介绍了红外光学镜头的材料、结构形式,分析了温度对光学系统的影响,对比了常用的无热化措施的优缺点。针对两档变倍红外成像光学系统的特点,分析了光学系统无热化调焦补偿量对执行机构的精度要求。分析表明,采用常规的

凸轮-电位计的检调焦机构难以满足要求,采用高精度步进驱动又存在丢步的隐患,因此,进一步引入微位移传感器,有效保证了无热化补偿精度。

## 参考文献:

[1] 冯生荣,李凯. 红外光学系统的热效应[J]. 红外技术 1990,12(2):6-12.

FENG SH R, LI K. Heat effect of infrared optical system [J]. *Infrared Technology*, 1990,12(2):6-12. (in Chinese)

[2] 李林,王焯. 环境温度对光学系统影响的研究及无热系统设计的现状与展望[J]. 光学技术,1997,23(5):26-29.

LI L, WANG X. Current status and prospects for thermal effects on optical systems and athermalisation techniques [J]. *Optical Technology*, 1997, 26(5):26-29. (in Chinese)

[3] 奚晓. 红外光学系统无热设计[D]. 杭州:浙江大学,2005.

XI X. *Infrared optical system athermalisation design*[D]. Hangzhou: Zhe Jiang University, 2005. (in Chinese)

[4] 吴晓靖,孙赤全,孟军和. 红外光学系统无热化设计与变焦距镜头的关系[J]. 红外与激光工程,2005,31(3):249-252.

WU X J, SUN C Q, MENG J H. Relationship between athermalizing infrared optical system and zoom lens [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002,31(3):249-252. (in Chinese)

[5] 王学新,焦明印. 红外光学系统无热化设计方法的研究[J]. 应用光学,2009,30(1):129-133.

WANG X X, JIAO M Y. Athermalization design for infrared optical systems[J]. *Journal of Applied Optics*, 2009,30(1):129-133. (in Chinese)

[6] 孟庆超,潘国庆,张运强,等. 红外光学系统的无热化设计[J]. 红外与激光工程,2008,37(增刊):723-727.

MENG Q C, PAN G Q, ZHANG Y Q, *et al.*. De-

sign of athermalizing infrared optical system[J]. *Infrared and laser engineering*, 2008, 37(supp):723-727. (in Chinese)

[7] 李婕,张志明,冯生荣. 弹载红外光学系统被动消热技术[J]. 红外技术,2005,27(3):196-201.

LI J, ZHANG Z M, FENG S R. Passive athermalisation technique of infrared optical system loading in missile[J]. *Infrared Technology*, 2005, 27(3):196-201. (in Chinese)

[8] 孙强,王肇圻,李凤友,等. 红外 3.2~4.5 μm 段折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)

[9] 王灵杰,张新,杨皓明,等. 超紧凑型红外折反式光学系统设计[J]. 应用光学,2007,28(3):288-291.

WANG L J, ZHANG X, YANG H M, *et al.*. Design of a compact infrared catadioptric system[J]. *Journal of Applied Optics*, 2007, 28(3):288-291. (in Chinese)

[10] 郇洪云,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)

Jane's electro-optics systems 2007-2008 [M]. 2008, thirteenth edition.

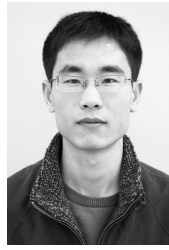
[11] 郇洪云,熊涛,杨长城. 中波红外连续变焦光学系统[J]. 光学精密工程,2007,15(7):1038-1043.

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)

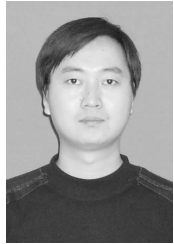
## 作者简介:



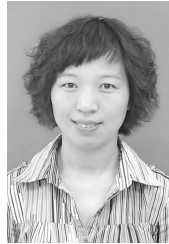
沈宏海(1976—),男,博士研究生,主要从事机载光电设备的研究。E-mail: shenhh@ciomp. ac. cn



王灵杰(1979—),男,助理研究员,主要从事光学系统设计及检测的研究。E-mail: wanglingjie@126. com



王国华(1977—),男,助理研究员,主要从事机载光电设备的研究。E-mail: jlwanggh@126. com



撇芃芃(1977—),女,助理研究员,主要从事光电仪器总体设计、精密仪器设计等方面的研究。E-mail: cuihanpeng@sina. com. cn



丁金伟(1976—),男,副研究员,主要从事光电仪器的光机总体设计的研究。E-mail: jinweid@yeah. net



李永刚(1979—),男,助理研究员,主要从事光电仪器结构设计的研究。E-mail: ciomliyong@tom. com

## ●下期预告

## 高功率 CO<sub>2</sub> 激光对远场 HgCdTe 探测器的干扰实验

王思雯<sup>1,2</sup>, 郭立红<sup>1</sup>, 赵帅<sup>1</sup>, 刘洪波<sup>1</sup>, 崔爽<sup>1</sup>, 于洋<sup>1</sup>, 李姜<sup>1</sup>

(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)

针对高功率 CO<sub>2</sub> 激光对远场光导型长波红外 HgCdTe 探测器的干扰损伤进行了理论分析和实验研究。采用激光辐照探测器的温升理论模型, 根据实际实验参数, 讨论了高功率激光对长波红外探测器的损伤机理, 计算了温升随辐照时间和功率的关系, 并和 CO<sub>2</sub> 激光器在距离 15 km 处辐照光导型长波红外 HgCdTe 探测器的实验结果进行对比分析。实验结果表明: 2.5 kW 连续 CO<sub>2</sub> 激光经过大气衰减后在 15 km 处激光功率密度可达 0.161 W/cm<sup>2</sup>, 计算可知此时会聚到探测器靶面处的功率密度为 140 W/cm<sup>2</sup>; 靶面处功率密度为 20.5 W/cm<sup>2</sup> 时, 探测器达到干扰; 靶面处功率密度为 110 W/cm<sup>2</sup> 时, 达到损伤, 计算表明, 此时探测器表面温度已达到 Hg 析出温度, 这一实验现象和理论计算预期结果相吻合。本实验结论对研究探测器的激光防护和激光干扰星载探测器技术具有一定的指导意义。