

DOI:10.3785/j.issn.1006-754X.2011.06.010

# 红外成像系统温度适应性设计

陈 宁,王 兵,陈兆兵,王恒坤,庄昕宇,韩旭东

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

**摘 要:**野外环境下的红外成像既要受到内部设备的散热影响又要受到外部环境的温度变化影响.温度变化导致的红外成像系统的机械结构变形及成像质量不稳定问题关系到各类成像系统能否有效工作.结合红外成像系统的特点,在机械结构设计与光学结构设计两方面对某型红外成像系统温度适应性进行研究,设计了合理的结构形式.后续的对比实验表明本设计在因温度造成的成像脱靶量约为未采用温度适应性设计系统的 17%.系统完全能够满足温度稳定性要求,能够保证较好的成像质量.

**关键词:**红外成像;环境适应性;隔热设计;散热设计

中图分类号:V 245.3

文献标志码:A

文章编号:1006-754X(2011)06-0453-04

## The temperature adaptability design of the IR imaging system

CHEN Ning, WANG Bing, CHEN Zhao-bing, WANG Heng-kun,

ZHUANG Xin-yu, HAN Xu-dong

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** The IR imaging system in the field circumstance is affected by the internal equipment dispelling hot and the exterior circumstance temperature changing. The key of all kinds of IR imaging systems' effective working is how to solve these questions such as the machine structure distortion and imaging quality unsteadiness. Based on the IR imaging system features, its temperature adaptability was researched in the machine structure design and optics structure design sections, and a reasonable structure was designed. The last contrast experiments show that the undershooting of the system adopting temperature adaptive design is 17% of that no adopting temperature adaptive design. The system can entirely satisfy the system temperature stability request and can ensure the good imaging quality.

**Key words:** IR imaging; environment adaptability; heat insulation design; dispelling hot design

室外环境非常复杂,温度变化对于各类成像系统均有一定程度的影响,对于野战环境下的红外成像系统而言,温度已经成为影响成像质量的关键因素之一<sup>[1-3]</sup>.红外成像系统是热成像系统,成像元件本身带有制冷设备,这会导致系统内部的温升.此外,外部环境温度的变化也会对成像系统产生影响,其主要表现在 2 个方面:一是环境温度的变化使红外系统的壳体产生变形;二是热量经过壳体传递到系统内部,影响成像质量<sup>[4-8]</sup>.因此,如何有效地减小

环境温度对系统的影响和有效地将系统内部热量散发出去成为系统设计成败的关键.在温度适应性设计方面一般采用光学设计与结构设计同时进行的方法进行<sup>[9-11]</sup>.

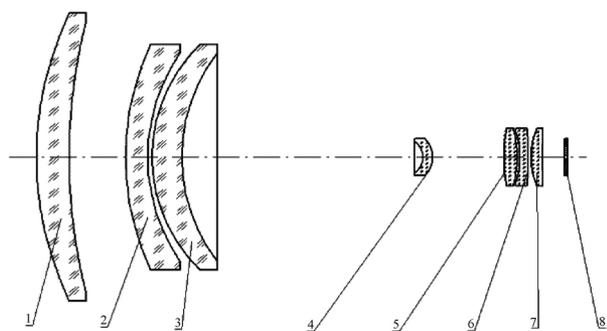
本文从当前的温度适应性设计方法出发,针对某型号红外成像系统进行了温度适应性设计.该设计以适应系统在野战条件下的恶劣温差变化为主要目的,通过对系统采取隔热设计、散热设计及调焦补偿等措施来实现上述目的.

收稿日期:2011-06-15.

作者简介:陈宁(1977—),男,吉林长春人,副研究员,本科,从事光电对抗光机系统研究,E-mail: cn\_9743@163.com.

### 1 系统温度适应性设计

红外跟踪设备由红外镜头、红外探测器组件和红外成像跟踪处理器组成,其中红外镜头和红外探测器组件构成了红外成像仪.系统在温度方面的要求较高,需要使设备正常工作时的温度始终保持一定范围内,因此有必要在结构设计中贯彻温度适应性控制的思路.红外跟踪设备由前镜组、调焦组、箱体、上罩、镜头盖和红外探测器组件组成.在温度控制方面需要在各个部件的设计中均进行适应性设计.图 1 为某型号红外成像系统光学系统组成图.



1—透镜 1;2—透镜 2;3—透镜 3;4—透镜 4;5—透镜 5;  
6—透镜 6;7—透镜 7;8—IRCCD.

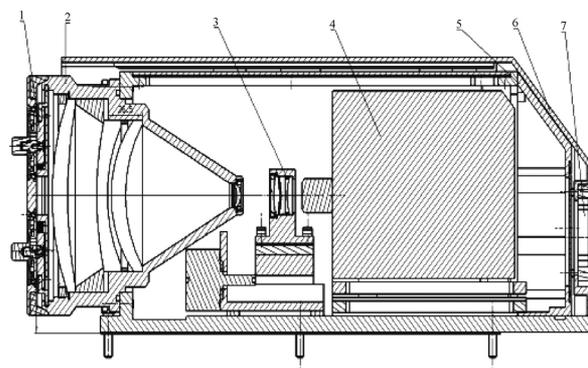
图 1 某型号红外成像系统光学结构图

Fig. 1 The structure diagram of the IR imaging system

从图 1 中可以看出透镜 1、透镜 2、透镜 3、透镜 4 安装在锥形镜筒中,这样同轴度容易保证,并且受温度冲击时组镜结构沿周围的形变均匀,能够始终保持各个透镜的光轴同轴.透镜 5、透镜 6、透镜 7 三块透镜组成补偿组,补偿组安装在一个可沿轴向运动的电动平台上,当温度变化导致像面移动时,可以通过调整补偿组的位置来补偿光学系统离焦.

在结构设计方面,为了使红外成像系统在受到温度冲击的情况下保持变形方向的一致性,尽量选择对称性结构,但由于安装、使用方式以及 IRCCD 元器件安装方式的局限性,无法选择中心对称的结构,本系统采用底部作为安装面、大致左右对称的结构形式.如图 2 所示,在设备受到温度冲击时,左右对称的结构能够保证系统沿左右方向均匀地变形.

补偿组和 IRCCD 组件在垂直于安装面方向是非对称结构,当其受到温度冲击时,变形量是不均的.为了解决这个问题,系统补偿组、IRCCD 组件底部调整垫片采用材料匹配的方式,通过低膨胀系数材料和镜筒材料的匹配,使系统的光轴受到冲击时沿周围的形变均匀,从而使光轴在整个温度冲击过



1—镜头盖;2—前镜组;3—补偿组;4—IRCCD 组件;  
5—壳体;6—外罩;7—风扇.

图 2 红外成像系统机械结构图

Fig. 2 The mechanical structure drawing of IR imaging system

程中能够始终保持不变.

另外为了最大限度降低温度对红外跟踪系统的影响,在结构设计上采用了双层的结构形式,即光学系统密封在箱体的内部,相对独立,箱体外部涂散热漆,使光学系统内部 CCD、电源等元件散发的热量尽可能散发到箱体外面.上罩罩在箱体外面,与内层箱体留有一定的空气间隔,上罩内部设置导风通道,并且内表面涂防晒隔热漆,阻止空气辐射的热量传入箱体内部,在上罩的后部设置通风口,上罩与箱体之间空气自然流通,可以将箱体内部散发的热量导到空气中,从而减少温度对系统成像的影响.在与四通接口方面,充分借鉴了以往的设计经验,合理布局螺钉的间距,使温度变化导致的箱体变形量控制在光学系统允许的误差范围内.在红外成像系统的研制过程中通过上述方式来实现系统对于野战环境下温度变化的适应性.

### 2 实验分析验证

为了对上述红外成像系统的环境适应能力进行定量判断,采用对比验证的方式进行分析.具体的方法为,采用上述温度适应性设计前的一套红外成像系统与该系统进行对比实验.2 套系统的基础参数一致,实验的环境条件也完全一致.具体的实验过程为将本红外成像系统与对比红外成像系统分别安装在高精度两轴转台上,然后分别对相距 10 km 的红外目标进行成像,在成像过程中按时间变化分别将外部温度进行调节,温度为 20~30 °C.在这个过程中红外目标同轴位置设置激光接收装置,此装置可以确定激光的能量中心.该实验是在跟踪点始终不变的条件下完成的.最后依据 2 套系统的成像脱靶量来判断系统的温度适应性能力.图 3 和图 4 分别

为未采用温度适应性设计的红外成像系统与本文所探讨的红外成像系统的实验结果。

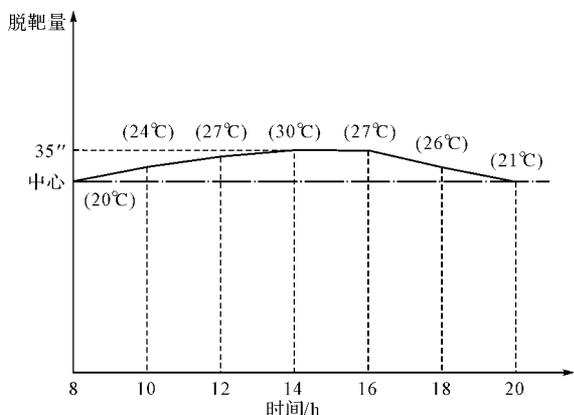


图3 优化前的偏移曲线

Fig. 3 The offset curve before optimizing

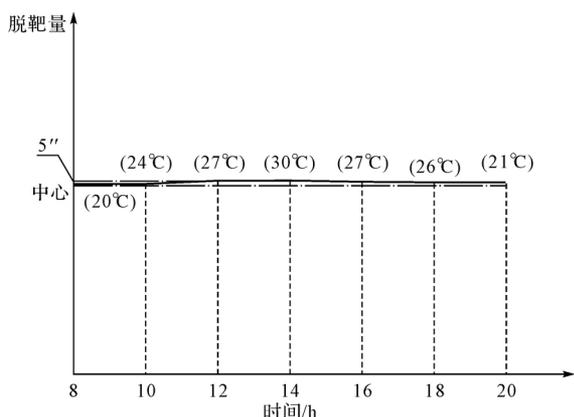


图4 优化后的偏移曲线

Fig. 4 The offset curve after optimizing

由图中曲线可以看出,未采用环境适应性设计的红外成像系统在温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时跟踪点与指示激光的偏差为 $30''$ ,并且随温度的变化产生波动较大;而本文所探讨的采用温度适应性设计的红外成像系统在相同的实验条件下,跟踪点与指示激光的最大偏差为 $5''$ ,随温度变化的波动较小,在误差允许的范围。采用温度适应性设计的红外成像系统比未采用环境温度适应性设计的系统在成像质量方面要好得多,前者因温度影响导致的脱靶量变化约为后者的 $17\%$ 。

### 3 结论

本文对某型红外成像系统进行了温度适应性设计,从光学设计与机械设计两方面完成了温控设计。通过后续的对比实验可以证明本文所探讨的温度适应性设计完全适用于野战环境下的红外成像系统的高质量成像。本文所探讨的温控设计方法完全可拓展到其他光电成像系统中。

### 参考文献:

- [1] 陈立会. 飞机吊舱自动温度控制系统研究[J]. 中国制造业信息化, 2008, 37(9): 41-45.  
CHEN Li-hui. Study on automatic temperature control system of airplane nacelle[J]. Manufacture Information Engineering of China, 2008, 37(9): 41-45.
- [2] 马洪宇, 黄庆安, 秦明. 谐振式 MEMS 温度传感器设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(9): 2022-2027.  
MA Hong-yu, HUANG Qing-an, QIN Ming. Design of resonant MEMS temperature sensor[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(9): 2022-2027.
- [3] 杨桢, 张士成, 杨立. 反射温度补偿法及其实验验证[J]. 光学精密工程, 2010, 18(9): 1959-1964.  
YANG Zhen, ZHANG Shi-cheng, YANG Li. Reflected temperature compensation method and its experimental verification [J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(9): 1959-1964.
- [4] 张峰. 高精度离轴凸非球面反射镜的加工及检测[J]. 光学精密工程, 2010, 18(12): 2557-2563.  
ZHANG Feng. Fabrication and testing of precise off-axis convex aspheric mirror[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(12): 2557-2563.
- [5] 鲁亚飞, 范大鹏, 范世珣, 等. 快速反射镜两轴柔性支承设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(12): 2574-2582.  
LU Ya-fei, FAN Da-peng, FAN Shi-xun, et al. Design of two-axis elastic support for fast steering mirror[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(12): 2574-2582.
- [6] 吴丽雄, 王立君, 林新伟, 等. 用于材料反射率测量的共轭反射计设计与分析[J]. 光学精密工程, 2010, 18(12): 2521-2529.  
WU Li-xiong, WANG Li-jun, LIN Xin-wei, et al. Design of conjugated reflectometer for reflectance measurement[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(12): 2521-2529.
- [7] 章亚男, 沈丽丽, 沈卫星, 等. 大口径透镜姿态调整机构的支承分布设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(12): 2624-2632.  
ZHANG Ya-nan, SHEN Li-li, SHEN Wei-xing, et al. Design of support distribution for attitude-adjusting mechanism of large lens[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(12): 2624-2632.
- [8] 李威, 刘宏伟, 郭权锋, 等. 空间相机主次镜间的薄壁筒和支杆组合支撑结构[J]. 光学精密工程, 2010, 18(12): 2633-2641.  
LI Wei, LIU Hong-wei, GUO Quan-feng, et al. Combined supporting structure of thin wall joint cylinder and supporting bar between primary mirror and second mirror in space camera[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(12): 2633-2641.

- [9] 孟祥龙, 张伟, 丛明煜, 等. 天基红外图像的点目标检测[J]. 光学精密工程, 2010, 18 (9): 2094-2100.  
MENG Xiang-long, ZHANG Wei, CONG Ming-yu, et al. Detection of point targets in space-based infrared images[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18 (9): 2094-2100.
- [10] 陈大庆, 韩九强, 于志坚. 融合距离信息的红外自适应相关跟踪[J]. 光学精密工程, 2010, 18 (8): 1862-1868.  
CHEN Da-qing, HAN Jiu-qiang, YU Zhi-jian. Infra-red adaptive correlation tracking of fusing distance information[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18 (8): 1862-1868.
- [11] 刘英, 王靖, 曲锋, 等. 广角  $f-\theta$  静态红外地平仪镜头的光学设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18 (6): 1243-1248.  
LIU Ying, WANG Jing, QU Feng, et al. Optical design of high precision wide-angle lens for static infrared earth sensors[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18 (6): 1243-1248.

~~~~~

(上接第 436 页)

- [12] CLEARY P W. Large scale industrial DEM modeling [J]. Engineering Computations, 2004, 21 (2/4): 169-204.
- [13] CLEARY P W. DEM prediction of industrial and geophysical particle flows[J]. Particology, 2010, 8 (2): 106-118.
- [14] KRUSE D, LEMMON R. Using the discrete element method as an everyday design tool[J]. Bulk Solids Handling, 2005, 25(6):358-367.
- [15] OWEN P J, CLEARY P W. Prediction of screw conveyor performance using the discrete element method [J]. Powder Technology, 2009, 193(3):274-288.
- [16] ZHU H P, ZHOU Z Y, YANG R Y. Discrete particle simulation of particulate systems; a review of major applications and findings[J]. Chemical Engineering Science, 2008, 63(23):5728-5770.
- [17] ROBERTS A W. Chute design considerations for feeding and transfer [EB/OL]. [2011-07-23]. <http://www.saimh.co.za/beltcon/beltcon11/beltcon1103.htm>.
- [18] DONOHUE T J, IIC D, BELL R. The use of DEM in the design and analysis of weatback transfer chutes[J]. Australian bulk handling review, 2010(11/12):62-67.
- [19] GRIMA A, WYPYCH P. Discrete element simulation of a conveyor impact-plate transfer; calibration, validation and scale-up[J]. Australian Bulk Handling Review, 2010(3/4):64-72.
- [20] GROGER T, KATTERFELD A. Application of the discrete element method in materials handling—part 3: transfer station[J]. Bulk solids handling, 2007, 27 (3):158-166.
- [21] HASTIE D B, WYPYCH P W. Experimental validation of particle flow through conveyor transfer hoods via continuum and discrete element methods[J]. Mechanics of Materials, 2010, 42(4):383-394.
- [22] KESSLER F, PRENNER M. DEM-simulation of conveyor transfer chutes[J]. FME Transactions, 2009, 37 (4):185-192.
- [23] MATON A E. Transfer station design for iron ore; a review—using DEM technology[J]. Bulk Solids Handling, 2007, 27(5):302-306.