

红外光学系统无热化效果评估系统设计

Design of IR Athermal Optical Evaluating System

张运强^{1,2} 潘国庆^{1,2} 李福巍¹

1 中国空空导弹研究院 2 航空制导武器航空科技重点实验室

摘 要: 红外光学系统无热化效果评估, 需采用光学检测的方法对被测系统在不同温度情况下的焦点位置偏移和像点质量变化进行测试。本文介绍了一种中波红外光学系统无热化评估系统的工作原理及结构形式, 并给出了高低温箱温度效应、红外窗口凝霜、红外显微物镜设计等技术难点的解决方案。最终的评估效果表明, 系统设计满足使用要求。

关键词: 无热化评估; 红外光学系统; 像质分析; 中波红外

Keywords: athermal evaluating; infrared optical system; image quality evaluating; MWIR

0 引言

光学系统设计时假定的工作温度一般是20℃, 当光学系统所处的环境温度与设计温度不同时, 光学材料的折射率、厚度都会发生变化, 光学元件面型以及光学元件之间的间隔也会发生变化, 这一变化会影响焦距, 进而影响光学系统的成像质量, 导致系统性能下降, 因此红外光学系统设计过程中进行无热化设计是研制高性能红外成像系统不可缺少的环节^[1-2]。

红外成像光学系统无热化设计是当前研究的一个重点, 但与之相适应的测试技术、评估技术还比较落后, 测试设备尚不健全。本文介绍的光学系统无热化评估设备, 通过测试光学系统在不同温度下的成像质量, 对光学系统无热化设计效果进行评估^[3-5]。

1 系统工作原理及工作流程

评价光学系统成像质量的两个重要指标是焦点位置和光学系统像点大小、能量分布, 因此本设备通过测试上述两个指标随温度变化的情况从而对

光学系统无热化设计效果进行评估。

如图1所示, 常温下将被测光学系统装配在高低温箱内的结构件上, 调整被测光学系统的高度使其光轴与平行光管的光轴对准平行, 调整光学零件之间的间隔使其满足设计要求, 将黑体设定在预定温度并待温度稳定, 粗调移动平台, 使显微物镜的工作面与被测光学系统的焦平面大致重合。由光源组件提供一个红外点光源, 点光源经平行光管组件之后变为平行光, 为被测光学系统提供无穷远的目标, 平行光经被测光学系统汇聚以及红外显微物镜引出、放大后到达探测器敏感面, 探测器组件将落在其上的光能量转化为电信号, 经信号处理电路组件放大、A/D转换等处理后, 送至计算机进行数据处理, 经过图像评估软件的分析, 控制移动定位平台移动, 使红外显微物镜的工作面与被测光学系统的焦面重合, 得到所需的像

点大小、像点形状以及能量分布等技术数据。

在对常温下的成像质量测试完毕后, 保持目标源的温度和大小不变, 改变高低温设备的环境温度, 使被测光学系统处于一定的高低温环境。待被测光学系统的温度稳定后, 向移动平台施加信号, 使红外显微物镜与探测器焦平面相对位置不变, 控制显微物镜和红外探测器阵列组件的轴向移动, 直到探测器输出的信号由计算机判定为最佳像面, 当系统自动调焦完成后, 显微物镜和探测器组件偏离零位, 有一定的偏移量 Δx 。此偏移量即是在设定温度下被测光学系统的离焦量, 记录 Δx 和此时像点大小、像点形

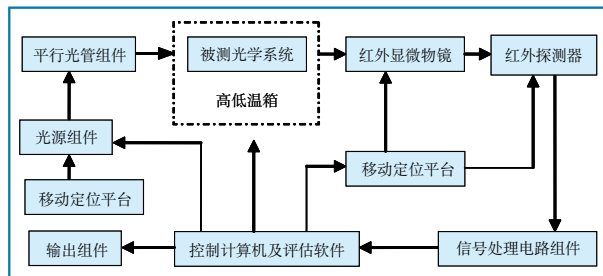


图1 光学系统无热化设计评估设备原理框图

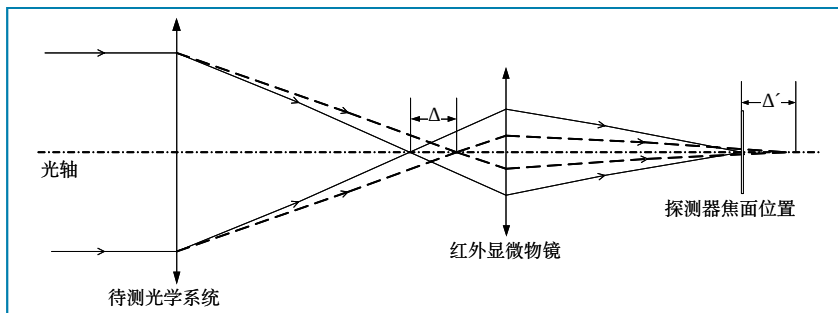


图2 被测光学系统高低温环境下离焦原理图

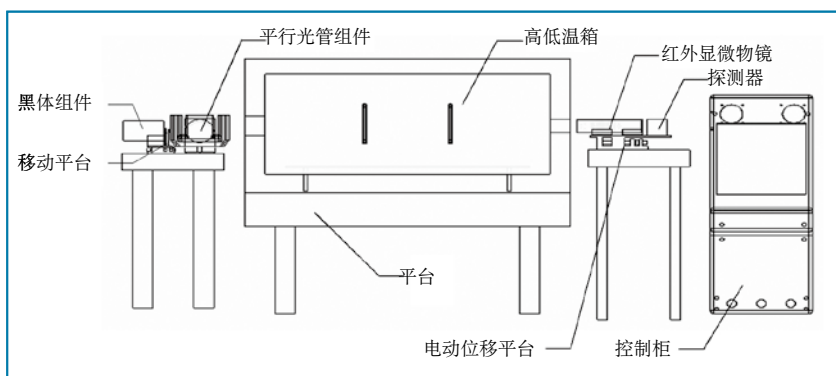


图3 评估设备系统结构图

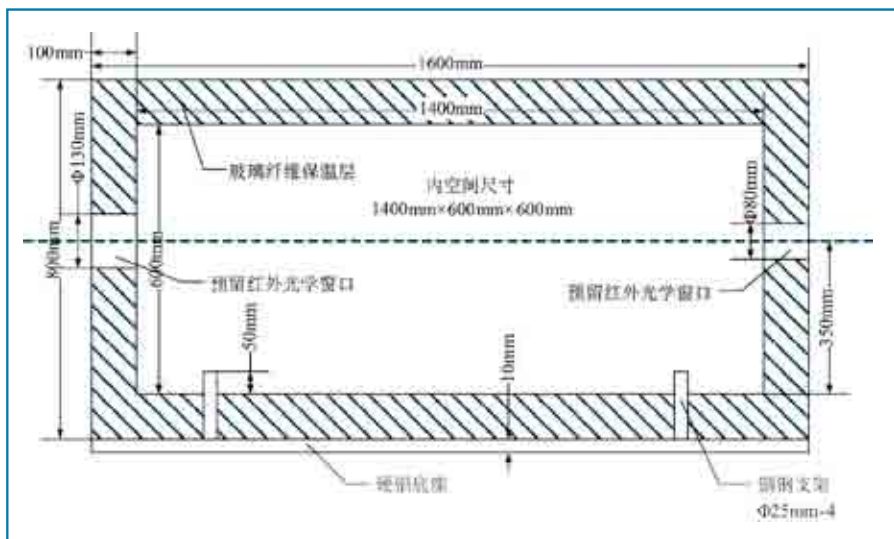


图4 经改造的高低温箱结构图

状以及能量分布等技术数据,与常温下测量得到的数据进行比较,即可知道被测光学系统无热化的设计效果。移动红外显微物镜与探测器进行调焦时,不存在原理性误差,其离焦光学原理如图2所示。

2 系统方案及技术难点解决措施

系统总体结构如图3所示,从左至右依次为黑体组件、平行光管、高低温箱、红外显微物镜、探测器及控制柜。

系统在构建与使用中的技术难题及解决措施如下。

2.1 高低温箱和工装的温度效应

当高低温箱温度变化时,箱体以及处于其中的工装会产生变形,造成测量结果失真。为防止高低温环境以下及载重时箱体不锈钢板变形引起的测量误差,使用4个直径为25mm的钢钢支柱直接支撑在箱体支撑底面上,支撑底面为10mm厚的硬铝板,测试时,在4个钢钢支柱上加放一定厚度的载物平台。光学系统的装夹工装也选用低膨胀系数的钢钢材料,从而有效地解决了高低温箱和工装的温度效应。经改造的高低温箱结构如图4所示。

2.2 高低温箱红外窗口在低温环境下凝霜

为满足红外光学系统的测试需求,在高低温箱两侧箱体上分别加装了一定尺寸的ZnS光学窗口,在高低温箱温度变化时,由于与外部环境之间有热传递,ZnS窗口出现结霜或水汽,导致系统无法完成像点测量工作。

为防止窗口在低温环境下凝霜,测试前先将干燥的氮气充入高低温箱,以排走箱内的水汽,窗口玻璃采用两片式中间抽真空设计,使两片ZnS窗口之间湿度为零,避免了内壁结霜,同时用小流量的氮气对窗口吹风,避免窗口外侧凝霜。如图5所示。

2.3 红外显微物镜设计

为了保证红外探测组件的稳定

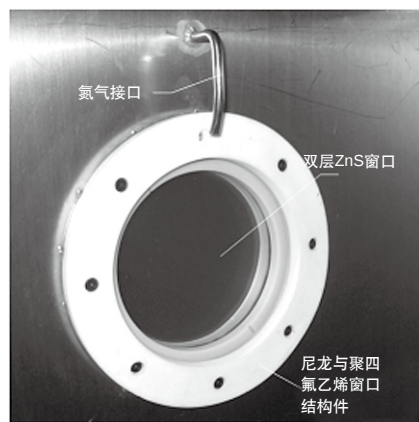


图 5 双层ZnS窗口

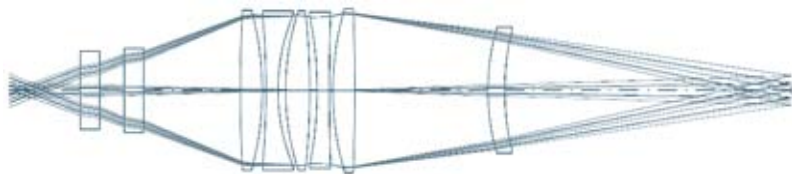


图6 红外显微物镜结构图

表1 试验中不同位置下的成像效果图

图像位置 黑体温度	正焦位置	前离焦30 μm	后离焦30 μm	自动对焦位置 μm
100 $^{\circ}\text{C}$				
200 $^{\circ}\text{C}$				

性,设计中将其放在高低温箱之外,由于被测光学系统的像点位于高低温箱内部,故需要一个红外显微物镜组将其引出并传至探测器。另外,当被测系统对远场点目标成像时,像点只有几十微米,也需红外显微物镜将像点放大,以便于红外探测系统对其准确测量。

由于探测器大小是固定的,显微物镜的放大倍率过大,则其物方线视场越小,系统调试时寻找像的过程就越困难。综合考虑之后,将放大倍率选定为7倍,此时最小的像高为 $0.169 \times 7 = 1.185\text{mm}$,成像在 40×40 个像元里,此时图像处理系统可较为准确地采取成像的像点。

红外显微物镜的结构如图6所示,由8片透镜组成,由于高低温箱上的两片ZnS窗口对红外显微物镜的成像存在一定影响,因此在设计中将这两片红外光学窗口也加在光路中。

3 系统测试结果及分析

本系统最重要的功能应是在高

低温环境下自动对焦、寻找系统焦面的偏移量。为验证系统工作的有效性,设计并制作了一个高低温环境下无热化效果良好的镜头,装配在评估设备上,设定黑体温度和目标光栏大小保持不变。在 -45°C 和 60°C 下,采用手控的方式找到系统的最佳焦面位置后,驱使红外焦平面组件前离焦 $30\mu\text{m}$,然后使设备自动寻找当前最佳的焦面位置。重复以上步骤,仅更改方法为后离焦 $30\mu\text{m}$ 。比对系统自动对焦后找出的焦平面偏移量及当前输出图像的清晰度,判断设备的有效性。

试验证明,经多次平均后在不同温度、不同的离焦位置下,设备最终找出的离焦量在 $29 \sim 31\mu\text{m}$ 之间,绝对偏差小于 $1\mu\text{m}$,系统自动对焦后成像清晰且可输出当前的能量分析图,如表1、图7所示。

4 结 论

红外光学系统无热化设计是高像质红外光学系统研制中的一项重要工

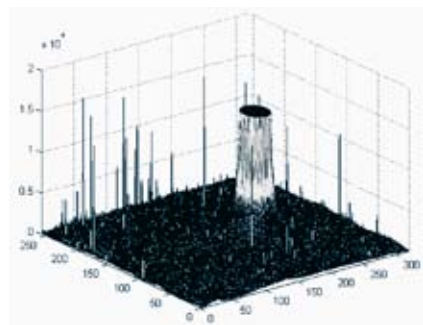


图7 系统输出的三维能量分布图(正焦位置)

作,本设备可方便地在高低温环境下,对光学系统在不同温度下的成像质量进行自动测量和结果评估,对保障高像质红外光学系统的研究有重要的意义。同时该设备的设计思路可为类似设备的设计提供一定的参考借鉴。

AST

参考文献

- [1] 李林,安连生. 计算机辅助光学设计的理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [2] Behr Mann G P, Brown J P. Influence of temperature on diffractive lens performance [J]. Appl. Opt, 1993, 32(14): 2483-2489.
- [3] 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.
- [4] 黄秋,陈亦庆等. 红外导引头成像系统无热化设计及试验验证[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(3):78-80.
- [5] 李华,韩维强等. 中波红外光学系统被动无热化设计及测试[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(4):687-689.

作者简介

张运强,高级工程师,研究方向是红外光学系统设计。