

文章编号: 1672-8785(2012)09-0019-04

低温背景红外目标成像实验研究

方凌菊 颜世荣

(哈尔滨工业大学远光光电仪器有限公司, 黑龙江哈尔滨 150078)

摘 要: 模拟低温背景红外场景是完成空间目标探测系统半实物仿真测试的关键技术, 但利用现有技术模拟太空低温背景存在一定的困难。使用高低温箱法建立了一种低温背景红外目标辐射特性试验系统, 并对红外目标在不同背景温度下的成像情况进行了研究, 最后获得了红外目标成像与背景辐射的关系。实验结果表明, 对于具有一定温度的黑体目标, 背景温度在一定范围内变化时, 探测器接收到的图像几乎没有变化, 而且正焦位置与离焦位置具有相同的规律。这一结论对于在红外半实物仿真中模拟更低温度背景的红外场景具有一定的参考意义。

关键词: 低温背景; 红外目标; 半实物仿真

中图分类号: V11 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.09.004

Experiment of Infrared Target Imaging against Cold Background

FANG Ling-ju, YAN Shi-rong

(Yuanguang Photoelectric Apparatus Co. Ltd., Harbin Institute of Technology, Harbin 150078, China)

Abstract: Simulation of infrared scenes against cold background is the key technology for the hardware-in-the-loop simulation test of a space target detection system. However, it is somewhat difficult to simulate the cold background in space with the existing technologies. A system for testing the radiation characteristics of an infrared target against cold background is established by using a high and low temperature chamber. The images of an infrared target obtained at different background temperatures are studied. Finally, the relation between the infrared target image and the background radiation is obtained. The experimental result shows that for a blackbody target with a certain temperature, the images received by the detector when the background temperature varies in a certain range have few changes. The same law can be obtained at both focal plane and defocusing plane. This conclusion is of reference value to the hardware-in-the-loop simulation of infrared scenes at lower background temperatures.

Key words: cold background; infrared target; hardware-in-the-loop simulation

0 引言

红外半实物仿真技术是红外热成像技术在军事上的应用日趋广泛的大背景下发展起来的^[1-6], 它可有效降低红外成像系统的研制成本,

缩短研制周期, 从而成为红外成像系统测试的主要手段。对低温背景红外场景的模拟是红外半实物仿真的核心技术^[3]。一般液氮生成的冷背景可达 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 半导体制冷器可达 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[4]。

收稿日期: 2012-07-03

基金项目: 航空科学基金项目 (20080177003)

作者简介: 方凌菊 (1966-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 工程师, 主要研究方向为红外光学系统设计与测试。

E-mail: fanglingju@163.com

但由于空间目标所处的太空环境温度很低,一般为 $3 \sim 4 \text{ K}$, 目前模拟低温背景红外场景所用的热电阻阵列法和高低温箱法等都很难实现这一目标, 因此空间目标探测系统的半实物仿真测试存在一定的困难。

本文使用高低温箱法模拟低温背景红外场景, 建立一种低温环境红外目标辐射特性试验系统, 并分析不同低温背景下红外目标的成像情况, 从而为空间目标探测系统的半实物仿真测试提供一定的参考。

1 实验装置及描述

本文采用高低温箱模拟低温背景环境, 其工作温度范围为 $-50 \sim 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 作为红外辐射源, 黑体发射器被放置在高低温箱内, 其工作温度范围为 $0 \sim 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 温度分辨率为 $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 发射率为 0.95 ± 0.01 。黑体辐射透过小孔作为红外目标。为了使小孔壁覆盖光学系统的视场 ($2\omega=2.3^{\circ}$), 设小孔的内径为 2 mm , 外径为 6 mm 。实验时, 小孔壁的温度和箱体温度一致, 以用作红外目标的环境背景。为了降低环境背景辐射对目标成像的影响, 孔壁材料选择青铜, 其在中波波段内的平均发射率在 0.2 左右。窗口采用双层 ZnS 窗口, 其工作波段为 $3 \sim 5 \text{ }\mu\text{m}$, 透过率为 0.81 (双层)。经过几何计算后, 设定其有效孔径为 80 mm 。探测器^[5-6]采用致冷型 HgCdTe 凝视焦平面, 其像元数为 320×256 , 像元尺寸为 $30 \text{ }\mu\text{m} \times 30 \text{ }\mu\text{m}$, 响应波段为 $3.7 \sim 4.8 \text{ }\mu\text{m}$, $\text{NETD} \leq 15 \text{ mK}$ ($F/2$), 帧频为 50 Hz 。小孔和黑体发射器被安装在高低温箱内, 并与双层 ZnS 窗口以及红外成像系统共轴; 红外探测器通过 USB 与工控机相连, 用于向工控机传输图像数据。图 1 为具体实验装置的示意图。

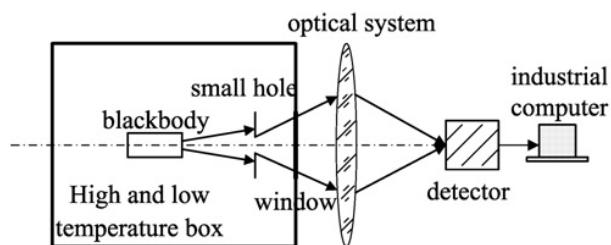


图 1 实验装置的示意图

2 实验结果及讨论

2.1 不同位置上的红外目标成像分析

图 2 所示为 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的黑体位于不同背景温度中时在光学系统焦面位置上的图像数据。图 3 所示为 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的黑体位于不同背景温度中时在光学系统离焦位置上的图像数据。从图 2 和图 3 中可以看出, 随着背景温度的降低, 焦面位置和离焦位置上的小孔像的变化趋势相同, 都是越来越清晰。

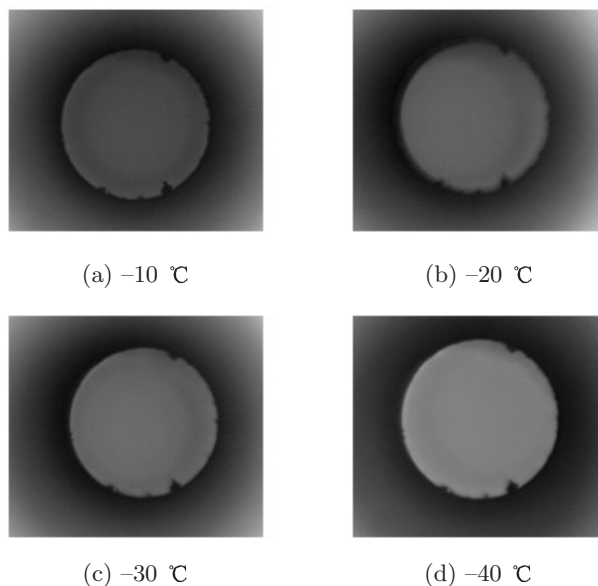


图 2 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 黑体在不同背景温度下的焦面位置图像

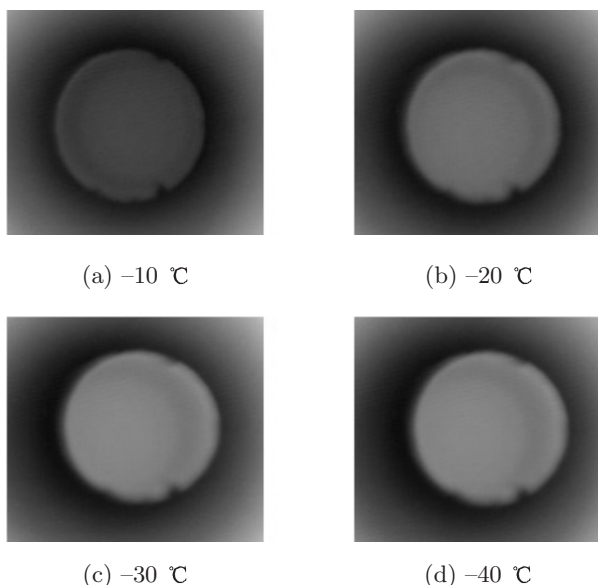
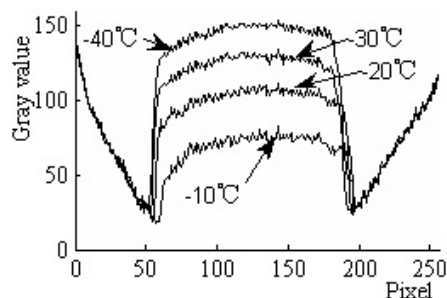


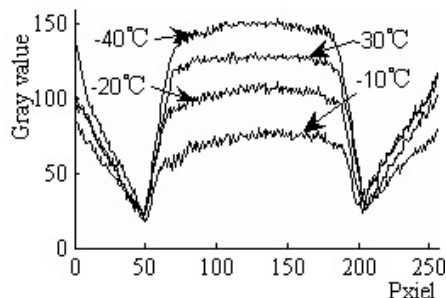
图 3 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 黑体在不同背景温度下的离焦位置图像

分别对焦面位置和离焦位置上的图像进行以下处理: 取每幅图像中间一排像元的灰度值绘制曲线, 其结果见图 4。从图 4(a) 中可以看出, 随着背景温度的降低, 小孔边缘附近像元的

灰度值差值越来越大, 即图像越来越清晰, 这与肉眼观察结果相符。从图 4(b) 中也可以得出相同的结论。由此可知, 正焦位置与离焦位置具有相同的变化规律。



(a) 焦面位置



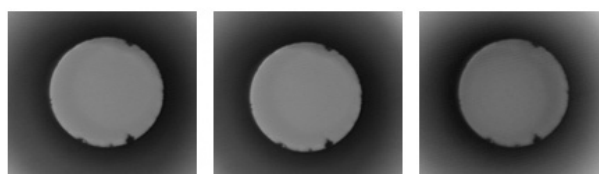
(b) 离焦位置

图 4 100 °C 黑体在不同背景温度下的图像灰度值曲线

此外, 从灰度值曲线中可以看出, 小孔中心所对应的像元的灰度值最大; 随着向两边延伸, 灰度值有所降低, 这是由于光学系统视场边缘像点的光照度按 $\cos^4 \omega$ (ω 为光学系统的半视场角) 的因子下降。虽然本实验所用显微镜的视场很小, 但也存在一定的影响; 而且由于受系统杂散光和背景噪声的影响, 小孔像所对应的灰度值曲线存在波动, 并不是平滑的。由于外部环境辐射进入探测系统, 其边缘位置像元的灰度值明显上升。

2.2 不同温度红外目标成像的对比分析

图 5 和图 6 所示分别为 150 °C 黑体和 200 °C 黑体位于不同背景温度中时在系统焦面位置上采集的图像数据。由图 5 和图 6 可知, 随着背景温度的升高, 150 °C 黑体透过小孔所成图像的清晰度下降, 而 200 °C 黑体几乎没有变化。分别取每幅图像中间一排像元的灰度值绘制曲线, 其结果见图 7 和图 8。由图 7 和图 8 可以得到与上面相同的结论, 即 150 °C 黑体透过小孔所成图像会随背景温度的升高而逐渐变得清晰, 但 200 °C 黑体在不同背景温度下的成像效果是一致的。因此当黑体目标温度足够高时, 背景温度在小范围内的变化对成像效果几乎没有影响。此外, 图



(a) -30 °C (b) 20 °C (c) 70 °C

图 5 150 °C 黑体在不同背景温度下的焦面位置图像



(a) -30 °C (b) 20 °C (c) 70 °C

图 6 200 °C 黑体在不同背景温度下的焦面位置图像

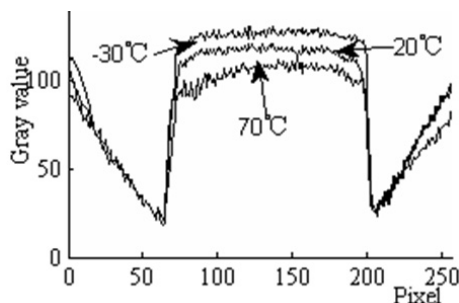


图 7 150 °C 黑体温度在不同背景温度下焦面位置图像的灰度值曲线

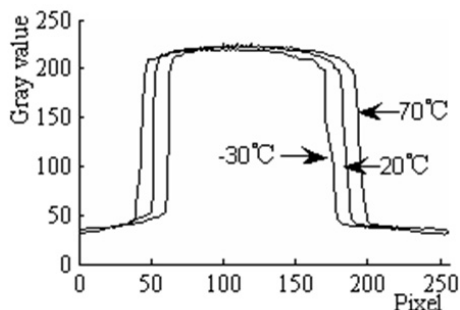


图 8 200 °C 黑体温度在不同背景温度下焦面位置图像的灰度值曲线

7 中的曲线抖动得较厉害, 而图 8 相对较圆滑, 因此当黑体与背景的温差较大时, 噪声对系统的影响减小, 图像比较均匀。

3 结论

在现有技术水平下模拟较低的温度环境难度较大, 因此在低温背景红外场景下使用探测系统进行红外半实物仿真测试也存在一定的困难。本文研究了黑体目标在不同背景温度下的成像特性。我们发现对于具有一定温度的黑体目标, 当背景温度在一定范围内变化时, 探测器接收到的红外图像几乎没有变化。利用这一结论, 在红外半实物仿真中根据目标温度在一定范围

内适当地提高背景温度, 可以降低模拟低温背景红外场景的难度。同时, 由正焦位置与离焦位置的比较分析可知, 离焦位置与正焦位置具有相同的成像规律, 因此可以不考虑离焦带来的影响。

此外, 在半实物仿真实验中应充分考虑系统杂散光、背景噪声以及系统外部环境对实验结果的影响, 并对其采取相应的措施, 将可以获得更好的实验结果。

参考文献

- [1] 黄德天, 吴志勇. 红外图像增强技术在 TMS320DM-642 上的应用 [J]. **红外**, 2012, **33**(4): 14-19.
- [2] 赵勋杰, 李成金. 红外半实物仿真系统的关键技术 [J]. **红外与激光工程**, 2007, **36**(3): 326-328.
- [3] 成娟, 高教波, 尹涛. 室温下低温背景红外场景生成方法实验研究 [J]. **应用光学**, 2009, **30**(5): 844-848.
- [4] 杨贵军, 柳钦火, 黄华国, 等. 基于场景模型的热红外遥感成像模拟方法 [J]. **红外与毫米波学报**, 2007, **26**(1): 1-7.
- [5] Dong L, Yue R F, Liu L T. An Uncooled Microbolometer Infrared Detector based on Poly-Si Ge Thermistor [J]. *Sensors and Actuators*, 2003, **105**(3): 286-292.
- [6] 李凯, 周云, 蒋亚东. 一种用于非制冷红外焦平面读出电路的带隙基准源 [J]. **红外**, 2011, **32**(9): 1-4.
- [5] 李志良, 冯进军, 王峨峰, 等. 太赫兹回旋管的现状及其发展 [J]. **中国电子科学研究院学报**, 2009, **9**(3): 238-242.
- [6] 鄢杨, 刘盛纲, 黎晓云, 等. 0.22 THz 回旋管振荡器的研制与实验 [J]. **中国科学**, 2009, **59**(4): 522-526.
- [7] 字张雄. 大功率行波管的现状与发展 [J]. **真空电子技术**, 2008, **21**(5): 58-61.
- [8] 吴振华, 张开春, 刘盛刚. 扩展相互作用谐振腔的模拟分析 [J]. **强激光与粒子束**, 2007, **19**(3): 483-486.
- [9] 李嘉, 吴振华, 张开春, 等. 0.1 THz 扩展相互作用谐振腔的研究 [J]. **真空电子技术**, 2009, **43**(1): 23-26.
- [10] 吴振华, 张开春, 刘盛纲. 0.1 THz 折叠波导扩展相互作用振荡器辐射源研究 [J]. **材料导报**, 2007, **32**(S2): 151-153.

(上接第 5 页)

的成果, 由于能力有限, 文章中难免会有错漏和不足之处, 欢迎大家批评指正。

参考文献

- [1] 自由电子激光器 [EB/OL]. <http://wapbaike.baidu.com/view/962072.htm>, 2010.
- [2] 付强. 基于 FEL 的 THz 源的光腔设计及仿真研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [3] 王明红, 薛谦忠, 刘濮鲲. 太赫兹真空电子器件的研究现状及其发展评述 [J]. **电子与信息学报**, 2008, **23**(7): 1766-1772.
- [4] 王磊, 李颀. 太赫兹波及其产生方法的研究 [J]. **中国科技信息**, 2011, **30**(7): 15-17.