

红外目标模拟靶设计中的关键技术研究

武学颖^{1,2,3}, 刘 鹏³, 岳俊华^{1,2,4}, 郭永飞¹

(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; 3.长春理工大学, 吉林 长春 130022;
4.吉林建筑工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要: 对电阻阵列式红外舰船目标模拟靶的设计中的关键技术进行了探讨和论证。对参数中的红外靶标的温度、加热功率和辐射强度通过 matlab 进行了仿真; 同时对红外靶标的分辨率的选择进行了探讨, 提出了针对舰船特性的红外模拟靶的技术特点和实现方案并进行了必要的实验研究。同时文中针对电阻式红外舰船目标模拟靶的图像分辨率的选取和技术实现方案做了些有益的探讨。

关键词: 红外目标靶; 电阻阵列; 红外辐射; 图像分辨率

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2008)增(红外)-0373-04

Key technology on infrared target simulation

WU Xue-ying^{1,2,3}, LIU Peng³, YUE Jun-hua^{1,2,4}, GUO Yong-fei¹

(1.Changchun Institute of Optic, Fine, Mechanics and Physics, Chinese Academy and Sciences, Changchun 130033, China;
2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3.Changchun University of Science And Technology, Changchun 130022, China; 4.Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, China)

Abstract: The design and the key technology on the infrared target simulation of warships made with resistor array are discussed. Then how to choose the important parameters in the process of developing the infrared target simulation is analyzed and discussed. The simulations are made on the temperature, heating power and radiation intensity by MATLAB; and the selecting on the resolution of the infrared target simulation is involved. It advances the technical features and experiment project of the infrared target simulation aiming at the warships are studied. Finally how to select the image resolution and technique project for the infrared target simulation of warships made with resistor array is discussed..

Key words: Infrared target simulation; Resistor array; Infrared radiation; Image resolution

0 引 言

在红外成像制导武器大量装备的今天, 红外成像制导武器的试验和对其战斗性能的评估, 已经成为靶场和科研院所重要的研究课题^[1]。在以往的试验中, 为了验证新型装备的战斗性能, 普遍采用退役的舰船作为靶船。这种试验方式成本高、灵活性差。另外,

靶船的红外特性与战斗对象的红外特性有很大的区别, 这种试验方式的真实性较差, 并且由于受退役舰船的数量限制也很难进行大规模试验。根据这种情况, 我国急需一种低成本、高仿真性、使用方便灵活的新型舰船红外目标仿真靶。

20 世纪 80 年代开始国外就开始对红外目标红外模拟产生器进行研究, 并且取得了很好的研究成果。

收稿日期: 2008-06-06

作者简介: 武学颖(1979-), 女, 黑龙江肇东人, 博士, 主要从事光电检测技术、数字图像处理研究。Email:wuxueying1979@yahoo.com.cn

美国和英国先后研制出多款热电阻阵列的红外目标模拟器。英国研制的悬挂式 512×512 个像素的红外目标模拟器 TPS5, 采用复杂的电子控制系统对热电阻阵列的温度进行控制。通过控制每个电阻的温度, 形成目标的红外特性景象, 它可以模拟空中目标和地面目标, 并应用于红外导引头的测试。美国也研制了分辨率为 512×512 的红外目标模拟器, 通过调节红外模拟器的温度可以模拟波长范围 2~26 μm 的目标。国外通过多年的技术积累已经建立起从目标红外图像、大气传输、战场背景模拟到多种目标红外模拟器全套的目标红外模拟系统, 并已成的应用到靶场测试、军事演习等多种领域中^[2]。

目标的红外模拟器可以通过很多方式实现, 作为可用于野外工作的武器的试验靶, 热电阻阵列红外模拟靶标是比较成熟且成本较低的一种方式^[5]。文中就热电阻阵列式舰船红外目标模拟靶设计中最高温度及温度稳定性、空间分辨率、靶标建立时间等关键技术开展深入研究和探讨。

1 红外目标靶辐射特性研究

1.1 目标靶的设计

针对舰船目标设计一个目标靶, 与其它目标靶有很大的不同, 主要是尺寸较大, 目标辐射特性变化较慢。最终将红外目标靶设计尺寸为 8 m×2 m。采用模块化设计将 16 块目标靶模块进行拼接, 每块目标靶的有效尺寸为 1 m×1 m。这种模块化设计不仅减小系统的复杂程度、缓解驱动功率和便于试验应用, 而且提高系统的可靠性和提高系统灵活性。每个目标靶由 32×32 电阻加热膜构成。

1.2 红外目标靶辐射特性研究

1.2.1 红外目标靶辐射波长和模拟最高温度的选择

根据普朗克定律, 能够得到黑体辐射度与波长和温度的表达式:

$$E_{b\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (1)$$

式中: $c_1 = 3.743 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$; $c_2 = 1.4387 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ 。

根据调研和测试研究, 舰船表面温度分布有效范围在 0~150 °C 间, 对应的峰值波长为 6.6~10.2 μm, 此波段绝大部分与 8~12 μm 的红外大气窗口和红外探测器实现良好匹配。图 2 所示为分布在 8~12 μm 范围内不同温度对应的辐射出射度, 从图中可以看

到: 随目标温度的不同, 红外目标的辐射出射度为 100~600 W/m²。目前红外图像制导系统中普遍采用分辨率为 8 bit 的红外图像芯片, 因此其温度分辨率应该不高于 0.5 °C, 因此也就要求红外目标模拟器的温度分辨率小于 0.5 °C。

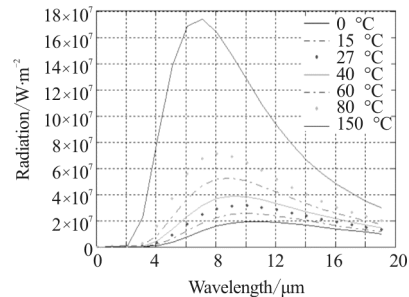


图 1 不同温度下的峰值波长和辐射度示意图

Fig.1 Diagram of peak wavelength and radiation under different temperatures

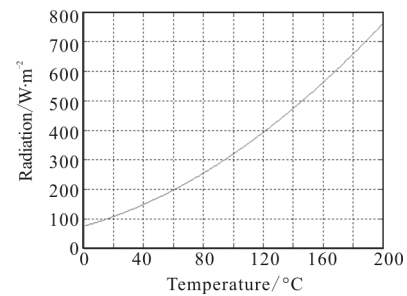


图 2 8~12 μm 范围内不同温度对应的辐射出射度

Fig.2 Radiation corresponding to different temperature of 8~12 μm

由于高温所对应的辐射功率分布在短波区域 (<8 μm), 而此区域间存在红外探测器灵敏度弱和大气信道衰减强等因素, 同时高温 (150 °C) 区域模拟靶标将引起电阻功耗和驱动器功耗的提高, 所以靶标模拟中可适当降低高温区靶标模拟要求。

1.2.2 电阻加热温度与加热功率分析

红外目标模拟靶采用加热电阻的方式获得温度; 当电阻获得的功率转化为热量, 使目标靶温度升高, 直至与外界环境达到热平衡后, 温度不再升高, 也就是目标靶的加热功率和与外界环境的热交换损失功率相等。本系统利用云母绝热材料将电阻加热膜单元进行物理隔离, 所以可近似任务仅存在对流、辐射两种热交换模式。由辐射换热量公式可知:

自然对流换热公式:

$$q_{\text{cov}} = h_{\infty} \times A \times (T - T_{\infty}) \quad (2)$$

式中: q_{cov} 为对流换热量; h_{∞} 为自然对流换热系数,

其大小和物体的尺寸、温度、物理特性有关,一般可以通过实验室测量得到; A 为物体换热面积; T_{∞} 为环境温度; T 为物体温度;其辐射换热公式:

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon \times A \times \sigma_0 \times (T^4 - T_{\infty}^4) \quad (3)$$

式中: q_{rad} 为辐射换热量; ε 为黑体辐射常数,其值为 $5.6 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$; σ_0 为辐射物体的黑度; A 为物体换热面积; T_{∞} 为环境温度; T 为物体温度。由能量守恒定律:

$$q_{\text{in}} = q_{\text{out}} = q_{\text{cov}} + q_{\text{rad}} \quad (4)$$

对于面积为 1 m^2 的红外目标靶,在环境温度为 27°C 时,取自然对流换热系数为 $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,红外目标靶的黑度为 0.8 ,得到红外目标靶的温度和需要的加热功率如图3所示。通过仿真分析,对于 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的红外目标靶,若加热到 150°C 需要的平均功率应该大于 2300 W 。若考虑驱动有源器件的损耗,系统的总耗电功率应大于 5000 W 。

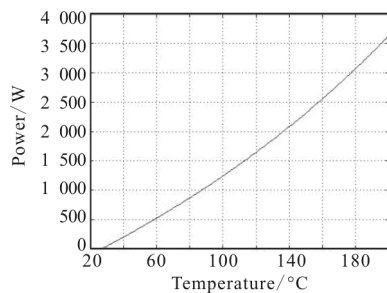


图3 红外目标靶的温度和需要的加热功率

Fig.3 Temperature and heating power of infrared target simulation

因为每个红外靶标由 32×32 电阻加热膜点阵构成,每个单元加热到 150°C 所需的最大平均功率为 2.3 W 。为了降低系统的复杂程度和成本,加热膜驱动采用行列扫描驱动方式工作。为了提高温度稳定度,场扫描刷新频率为 5 Hz ,行扫描周期为 6 ms ,对于最高工作温度,每个电阻的瞬态功率为 38 W ,对于 1Ω 电阻加热膜,对应的瞬态峰值电流约为 38 A 。

2 红外目标靶空间特性研究

空间分辨率是红外目标靶的重要参数之一,它对系统的仿真性能和复杂程度都有重要的影响。如何选择目标靶的分辨率是系统优化选取的重要参数。下面

先从图像的角度对目标靶图像分辨率的选择做一下分析。取一张军舰红外图像降低红外图像的分辨率可以得到以下的图像,如图4~图7所示。

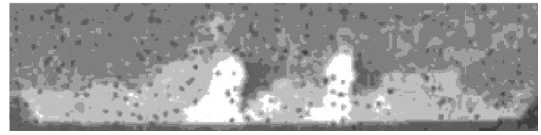


图4 某军舰红外图像

Fig.4 Infrared image of a warship

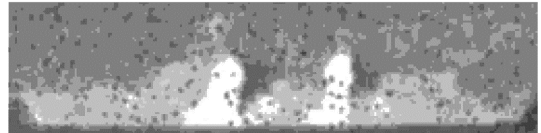


图5 分辨率为 64×256 图像

Fig.5 Image of resolution of 64×256

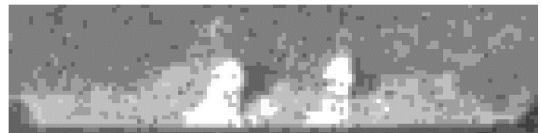


图6 分辨率为 32×128 图像

Fig.6 Image of resolution of 32×128



图7 分辨率为 16×64 图像

Fig.7 Image of resolution of 16×64

通过以上图片分析,纵向分辨率为 64 的图片效果较好,纵向分辨率为 32 的图片也能反映舰船的一些主要特征,纵向分辨率为 16 的图片已经十分模糊了,只能反映出舰船的概貌。因此在现在红外图像跟踪制导系统的技术条件下一般选择纵向分辨率大于 32 的红外目标靶。由于文中舰船红外目标靶采用 8 块小的目标靶拼接而成,因此若采用 64×256 的分辨率图像就要求每一模块的图像分辨率为 32×32 。若采用高分辨率的图像就会大大增加系统的复杂程度和技术难度,若系统的分辨率增加 1 倍则系统的控制路数就要增加 1 倍。由于采用行列扫描方式,其加热扫描系统的路数随分辨率的增加急剧增加,若选用 32 行 32 列的模块行列扫描分别有 32 套,若分辨率提高 1 倍则行列模块的数量也相应提高 1 倍,系统的价格也提高很多,系统的复杂性也提高了,从而会使系统

的稳定性和可靠性大大降低。在目前装备的红外探测器分辨率大都较低的情况下,选择 64×256 的分辨率已经可以满足现在靶场测试的需要了。

3 结 论

文中对电阻阵列式红外目标模拟靶的一些重要参数进行了讨论。这些讨论将为电阻阵列式红外目标模拟靶的制作提供一些有指导意义的重要参数。

参考文献:

- [1] 杨晓段,陈鸿林.红外制导武器仿真系统的发展概况[J].红外与激光工程,1998,27(6):16-19.
- [2] 芦汉生,白廷柱,邹正峰.电阻阵列红外动目标源的研究[J].红外与激光工程,1998,27(1):20-22.
- [3] 韩玉阁,宣益民.地面目标与背景红外热像模拟的现状、问题及对策[J].红外技术,2003,25(5):22-25.
- [4] 李守荣,梁平治.动态红外景象产生技术[J].红外与激光工程,2001,30(3):184-189.
- [5] 李守荣.微桥电阻的辐射特性研究[J].红外与激光工程,2005,34(4):442-445.