

文章编号: 1672-8785(2014)08-0042-05

用红外成像导引头模拟设备测试 舰船烟幕的干扰效果

杨 洁 杨彦杰

(91404 部队 91 分队, 河北 秦皇岛 066001)

摘 要: 为了提高红外烟幕干扰效果试验结果的真实有效性, 基于红外成像导引头模拟设备研究了一种测试红外烟幕对舰船目标的干扰效果的试验方案, 并对其干扰效果评估方法进行了必要说明。与热像仪等测量设备相比, 该设备能够获得更加真实的试验数据, 因此对红外烟幕干扰效果测试更具实际意义。

关键词: 红外成像; 红外烟幕; 干扰效果; 试验方法

中图分类号: TN976 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.08.009

Testing of Jamming Effectiveness Using Infrared Imaging Seeker

YANG Jie, YANG Yan-jie

(Navy Unit 91404, Qinhuangdao 066001, China)

Abstract: To improve the reality and validity of the testing result of infrared smoke jamming, a method for testing the jamming effectiveness of infrared smoke for a naval ship based on an infrared imaging seeker simulation equipment is studied. Compared with the measurement equipment such as infrared imagers, this equipment can obtain much more authentic test data. So, it is of practical significance to the testing of the jamming effectiveness of infrared smoke.

Key words: infrared imaging; infrared smoke; effectiveness of jamming; test method

0 引言

从 20 世纪 70 年代中期开始, 红外成像制导技术迈进了一个新的时期。典型红外成像导引头的特点如下: 灵敏度高、空间分辨率高、动态范围大, 适用于探测微弱目标信号和鉴别多目标信号; 能够适应复杂背景和对抗人为干扰; 具备自动识别目标和选择命中点的能力; 可昼夜工作, 是一种全天候制导系统。红外成像制导反舰导弹的出现则为舰船光电对抗手段的更新以及测试与评估方法的研究提出了一个新的课

题。

作为红外对抗中的一种有效手段, 烟幕因其研制方便、效费比高而一直成为各国重视和研发的主要方向。例如, 美国 XM76 烟幕弹能够提供用于遮蔽可见光至中远红外波段辐射的烟幕; 瑞典某 155 mm 炮弹产生的红外烟幕可持续 180 s; 苏联研制的 MDSH 发烟箱和 SD-1 型发烟器已装备于“卡辛级”导弹驱逐舰。

1 红外成像导引头模拟设备

红外成像导引头模拟设备主要由红外成像

收稿日期: 2014-05-22

作者简介: 杨洁 (1980-), 女, 河北秦皇岛人, 本科, 工程师, 主要从事红外对抗研究。E-mail: yjbaby80@sina.com

导引头模拟器和显控单元两大部分组成(见图1)。

因为导引头模拟器必须具有真实导引头的工作模式和功能,所以本文首先按照真实导引头的参数要求进行设计。其中,显控单元等效于导弹中的弹上控制系统。

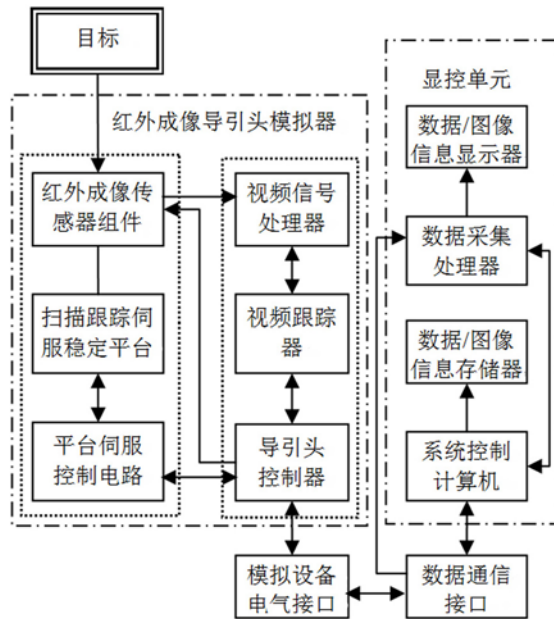


图1 红外成像制导模拟设备的结构框图

红外图像传感器能够通过红外光学镜头将远处目标和场景的红外辐射摄入到位于镜头焦面上的红外焦平面阵列探测器靶面上,然后将其转换成光电信号。该信号经视频信号处理器解算处理后形成与目标区域相对应的视频图像信号,再经由视频跟踪器进行图像处理,即从视频图像中识别和捕获目标图像信息,并对其实施多种模式的自动跟踪。

视频跟踪器在完成目标跟踪的同时,可将视频信号处理器给出的视频图像信号分流传输给导引头控制器,经由电气接口输送到显控单元进行实时显示,并由显控单元的图像存储部件把红外视频图像录制下来。

显控单元包括硬软件两大部分:硬件部分由综合控制计算机(工控机)、数据采集处理器、数据/图像信息显示器、数据/图像信息存储记录器和数据通信接口等组成;软件部分由系统

显控软件、数据处理软件和制导模型数据库等组成。

2 红外烟幕的干扰机理

烟幕是一种在气体中含有悬浮固体或液体微粒的气溶胶。采用化学凝结法获得的气溶胶为烟($0.2 \sim 2 \mu\text{m}$);通过固体分散获得的气溶胶为尘($1 \sim 10 \mu\text{m}$);通过蒸汽凝结或液体分散获得的气溶胶为雾。

所谓热成像的原理是,由于热像视场内物体表面的温度、发射率和反射率各不相同,热像仪捕捉到的各点辐射的红外能量也不同;通过对视场内收集到的各点的红外辐射进行光电转换,即可得到人眼看得见的红外图像。因此,针对红外热成像系统的正常工作条件,红外烟幕能够起到良好的干扰作用。通过将烟幕放置在目标与红外成像制导系统之间,改变视场内目标和背景原有的红外辐射特性,使红外成像导引头失去对原有目标的跟踪能力,从而达到掩护和隐蔽的目的。

红外成像制导系统的正常工作必须满足以下两个条件:

(1) 在红外成像系统的工作波段,探测器必须接收到足够大的入射辐射能量。

(2) 目标与背景之间的辐射对比度必须达到红外成像系统的可区分水平,即

$$C = \frac{I_t - I_b}{I_t + I_b} \quad (1)$$

式中, C 为目标与背景之间的辐射对比度; I_t 为目标的辐射强度; I_b 为背景的辐射强度。

用目标和背景的辐射功率可以表示为

$$C_R = \frac{W_t - W_b}{W_t + W_b} \quad (2)$$

式中, C_R 为目标与背景之间的辐射对比度; W_t 为目标单位面积上的辐射功率; W_b 为背景单位面积上的辐射功率。

由此可见,通过改变目标和背景的辐射特性,减少两者之间的对比度,或者大幅减弱进入红外成像系统的辐射强度,可以使红外成像系统无法分辨目标与背景,从而达到干扰红外成像导引头的目的。

烟幕可以分为辐射式和吸收式两种。由于辐射式烟幕本身具有较强的红外辐射,一旦被识别就很容易暴露目标,所以目前的研究工作主要集中在吸收式(衰减式)烟幕上。该烟幕依靠对目标红外辐射的吸收、散射和反射作用来实现遮蔽,其中反射作用相当微弱,烟幕的自身辐射在一般情况下也可忽略不计。图 2 所示为吸收式烟幕对红外成像导引头的干扰原理。

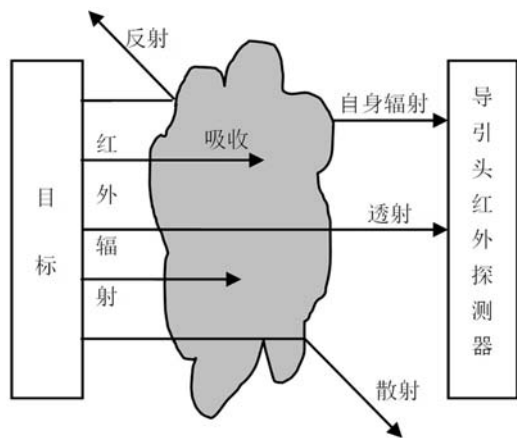


图 2 吸收式烟幕对红外导引头的干扰原理

3 红外烟幕干扰效果试验方法

在战场上,红外烟幕弹的发射数量需要根据敌情而定,即确保其干扰面积大于保护目标的 2 倍以上,在有条件的情况下要大于 3 倍。发射弹的高度视气候风向、风力而定,一般在 80 ~ 200 m 左右,以便形成最佳遮挡效果。与此同时,水面舰艇可以采取有效机动的对抗措施。

因为红外烟幕的长宽比一般大于导引头瞬时视场的长宽比,所以烟幕形成宽度可以不作为使烟幕充满视场测试距离的考量依据。红外成像导引头模拟设备的瞬时视场为 $9^{\circ} \times 6^{\circ}$ 。按照烟幕形成长度至少为舰船长度的 3 倍计算,使红外烟幕充满视场所需的最短测试距离为

$$L_M = \frac{180 * 3L_N}{9\pi} \quad (3)$$

式中, L_N 为目标舰艇的长度。假设试验舰为中型舰艇,其长度为 100 m, 则 $L_M \approx 2$ km。

由于实施烟幕干扰的时机是在导弹距离目标舰船 5 km 左右,红外成像导引头模拟设备与

试验舰的作用距离应为 2 ~ 6 km, 以便模拟导弹在飞近目标时被跟踪目标在探测器视场中的成像由小变大直至充满整个视场的过程。

3.1 岸基布站及试验方法

在合适的试验距离上,如果试验海域的水深能够满足目标舰船的航行要求,那么可将干扰效果试验设备架设在岸边阵地上,通过调动目标的位置满足不同试验距离的要求。例如,对于试验距离大于 5 km 的各站点的选定,在试验海域水深允许的情况下,可将红外成像导引头模拟设备架设在岸边测量阵地上,通过调动试验目标舰船完成不同试验距离的布站。

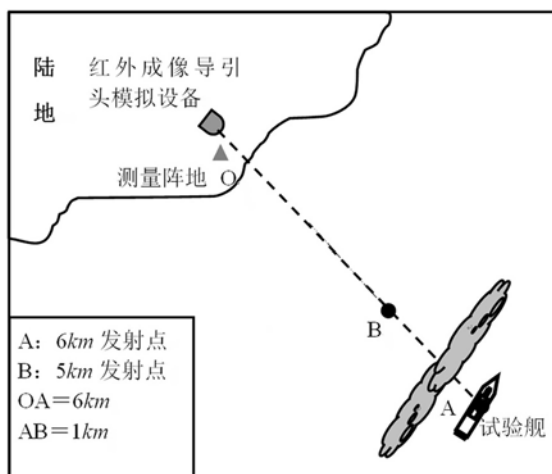


图 3 红外烟幕干扰效果试验的岸基布站图

红外成像导引头模拟设备应架设在位置固定的三角架或转台上,定位时需引入 GPS 设备。试验期间不得改变弹轴方向或转台零位,对整个过程需用时统设备进行定时,以确保评判结果真实有效。

当试验舰到达发射点后,改变舰艏方向,以确保红外成像导引头模拟设备能够观察到试验舰的最大面积。红外导引头模拟设备采取手动或外引导方式搜索和捕获试验舰,随后转入自动跟踪的工作方式。烟幕发控装置根据气候风向、风力等因素自动解算发射舷角、发射高度和发射距离,听令发射红外烟幕,直至整个对抗过程结束。其间需及时判定干扰效果,随时根据需要补射红外烟幕弹,同时试验舰按战术要求机

动安排。时统设备将第一发红外烟幕弹的出炮口时刻作为“零时”信号传送给红外成像导引头模拟设备终端, 作为记录的起始标记。红外成像导引头模拟设备接收到发射红外烟幕弹的时统信号后, 测量并记录不少于规定时间内的干扰效果。根据需要, 应确保对每个发射点各进行不少于 3 次的有效航次试验。

3.2 海上布站及试验方法

在受到试验海域的水深限制时, 仅凭调动试验目标舰船无法满足陆上布站的试验距离要求。此时可将红外成像导引头模拟设备装载在测量船上, 通过调动试验目标舰与测量船之间的距离来满足多试验站点选择的要求。

红外成像导引头模拟设备应架设在测量船的固定位置或转台上, 船上需搭载 GPS 设备。试验期间不得改变弹轴方向或转台零位, 对整个过程中需用时统设备进行定时, 以确保评判结果真实有效。

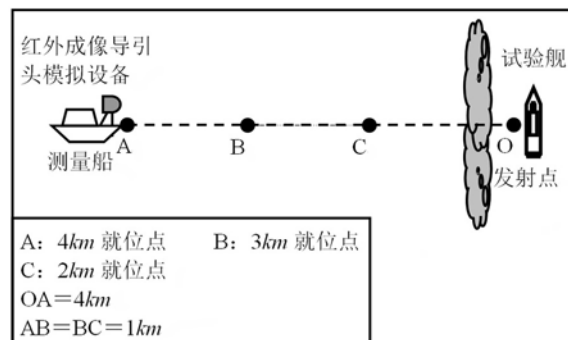


图 4 红外烟幕干扰效果试验的海上布站图

当测量船进入就位点、试验舰到达发射点后, 试验舰应改变舰艏方向, 以确保红外成像导引头模拟设备能够观察到试验舰的最大面积。其余试验步骤同 3.1 节。

4 干扰效果评估方法

4.1 干扰情况

在红外烟幕的形成过程中, 目标试验舰在红外成像导引头模拟设备的视场内将会发生变化。这时, 可能会出现以下 4 种情况:

(1) 目标始终未丢失, 红外成像导引头模拟设备保持稳定的目标跟踪状态, 直至 $\times\times$ 秒后本航次试验结束。

(2) 红外成像导引头模拟设备在 t_1 时刻丢失目标, 转入搜索状态; 此后再次发现目标, 对其进行捕获并保持稳定的跟踪状态; 此时甚至会出现目标反复丢失和捕获, 但最终仍能稳定跟踪, 直至 $\times\times$ 秒后本航次试验结束。

(3) 红外成像导引头模拟设备在 t_1 时刻丢失目标, 转入搜索状态; 此后再次发现目标, 对其进行捕获并保持稳定的跟踪状态; 若试验舰补射烟幕或采取有效的机动规避, 则会再次丢失目标, 转入搜索状态; 此后未能发现目标, 直至 $\times\times$ 秒后自动结束本航次试验。

(4) 红外成像导引头模拟设备在 t_1 时刻丢失目标, 转入搜索状态; 此后未发现目标, 直至 $\times\times$ 秒后自动结束本航次试验。

4.2 干扰效果判定

对于前两种干扰情况, 红外成像导引头模拟设备能够跟踪目标试验舰, 应被判定为干扰无效。

对于后两种干扰情况, 红外成像导引头模拟设备丢失目标, 无法继续进行识别和跟踪, 应被判定为干扰有效。

根据试验中获取的多项数据信息, 可以分析并计算出烟幕弹发射后任一 t 时刻导引头的脱靶量 (见图 5)。

根据 GPS 系统可以得到试验舰相对于红外成像导引头模拟设备的真实位置数据, 即方位

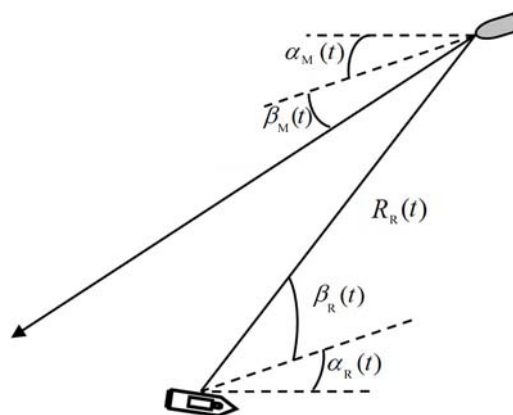


图 5 t 时刻导引头脱靶量的判定示意图

角 $\alpha_R(t)$ 、俯仰角 $\beta_R(t)$ 和距离 $R_R(t)$ ；根据红外成像导引头模拟设备的自身记录值以及测量船的 GPS 信息和转台的转角值等，可以得到末制导指向的方位角 $\alpha_M(t)$ 和俯仰角 $\beta_M(t)$ 。因此，导引头在 t 时刻的脱靶量为

$$\Delta\alpha(t) = \alpha_R(t) - \alpha_M(t) \quad (4)$$

$$\Delta\beta(t) = \beta_R(t) - \beta_M(t) \quad (5)$$

综合考虑导弹的杀伤半径以及舰船的宽度、长度、航向和姿态等容易获得的数据，能够对红外烟幕的干扰效果作出准确评判。

5 结束语

随着红外制导武器的不断发展，烟幕对抗技术作为一种高性价比的无源干扰手段已受到人们的高度重视，许多国家也都加大了对烟幕武器的研发力度。而烟幕武器的研制工作依赖

于相应的理论指导和科学评价。烟幕干扰效果评估研究是烟幕武器研制鉴定中的重要一环。红外成像导引头模拟设备是一种用于评估红外烟幕对抗红外成像制导武器的干扰效果的有效试验装备，其试验结果更加真实。随着各类红外对抗装备的不断研发，其试验应用范围也将会变得更加广泛。

参考文献

- [1] 周遵宁, 潘功配, 关华, 等. 烟幕对红外成像探测干扰作用研究 [J]. 兵工学报, 2005, 26(3): 348-352.
- [2] 周亚凡, 任冰明, 蔡志宽. 光电对抗综合测量技术在烟幕干扰效果试验中的应用 [J]. 航天电子对抗, 2001, 5: 29-32.
- [3] 刘勇波, 樊祥, 水心恒. 抗红外成像制导技术浅析 [J]. 光电对抗与无源干扰, 2002, 3: 5-9.
- [4] 韩洁, 张建奇, 何国经. 红外烟幕干扰效果评价方法 [J]. 红外与激光工程, 2004, 33(1): 1-4.
- [5] 姚禄玖, 高钧麟, 肖凯涛, 等. 烟幕理论与测试技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.

(上接第 41 页)

3 结束语

本文针对水雾的扩散现象，基于高斯扩散模型与 Mie 散射理论建立了一种水雾对红外辐射产生衰减的模型，并通过分析建模及仿真结果得到了以下结论：

(1) 对于由点源生成的人造水雾来说，随着 α 的不断增加，水雾的遮蔽性能可能会出现波动情况；从总体上来看，遮蔽性能有所提高，但却存在一个临界值。当 α 大于这一数值时，水雾的遮蔽性能会急剧下降。

(2) 对于由点源生成的人造水雾来说，随着 β 的不断增加，水雾的红外辐射透过率普遍得到提高，遮蔽性能便不断下降。

(3) 通过对比 α 和 β 的变化可以发现，水雾的有效遮蔽区域呈矩形，能够遮挡较高的目标，但是其遮蔽宽度较小。对于由点源生成的水雾来说，有效遮蔽区域宽度较小的问题可以在制定对抗策略时通过采取多点生成等手段来解决。

参考文献

- [1] 乔亚. 红外成像制导对抗技术研究 [J]. 激光与红外, 2005, 35(12): 913-916.
- [2] Chen Z W, Liang X, Xu X H, et al. Infrared Attenuation Analysis of Lognormal Distribution Water Mist in the Atmosphere Windows [C]. International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009, 2009, 738337: 1-10.
- [3] 陈兵, 李澄俊. 水雾的红外衰减性能实验与分析 [J]. 光电工程, 2008, 35(3): 48-52.
- [4] Wang X. Application of FTIR Spectrometer to the Test of Extinction Performance of Water Fog with Infrared Emission [C]. 4th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Optical Test and Measurement Technology and Equipment, 2009, 72833: 1-5.
- [5] 孙超, 王红霞, 傅关新, 等. 雾对激光的衰减特性研究 [J]. 光散射学报, 2011, 23(3): 201-205.
- [6] 麦卡特尼 E J. 大气光学: 分子和粒子散射 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [7] 葛琦. 水雾的近/中红外消光性能研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [8] 姚禄玖, 高钧麟, 肖凯涛, 等. 烟幕理论与测试技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.