

·测试、试验与仿真·

防空导弹武器试验拖曳式诱饵干扰应用分析

荣念通^{1,2}, 滕克难²

(1. 91851部队, 辽宁 葫芦岛 125000; 2. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

摘要:针对试验中超低空飞行的高亚音速靶弹, 对不同制导方式的防空导弹实施拖曳式诱饵干扰的效能进行了分析。首先在合理假设拖揽长度、供靶航路捷径等参数基础上, 分析了拖曳式诱饵对舰面搜索雷达的干扰效能, 并针对雷达导引、红外导引的防空导弹, 分析了拖曳式诱饵的干扰作用过程及干扰能力。最后, 以典型弹道实例仿真为基础, 定量分析了导弹的寻的过程, 给出了拖曳式诱饵试验使用意见。

关键词:防空导弹; 拖曳式诱饵; 应用分析

中图分类号: 0657.33; TN212

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2016)-03-0076-05

Application Analysis of Towed Decoy against Air Defense Missile Weapon in the Test

Rong Nian-tong^{1,2}, Teng Ke-nan²

(1. 91851 Army Unit, Huludao 125000, China;

2. Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: The jamming effectiveness of the towed decoy of the subsonic target flying at super low altitude in the test against the air defense missile with different guidance system is analyzed. Firstly, the jamming effectiveness of the towed decoy on the shipboard radar is analyzed on the basis of reasonable assumptions of the length of the towing cable and the route shortcut. And then, the process and the effectiveness of the towed decoy against air defense missile weapon with radar and infrared guidance system are analyzed. At last, based on typical trajectory simulation example, the guidance process of the missile is analyzed quantitatively and the views about the use of the towed decoy in test are proposed.

Key words: air defense missile; towed decoy; application analysis

拖曳式诱饵随载体一起运动, 有针对性地实施主动红外辐射、电磁辐射或进行转发干扰, 在防空导弹的搜索、导引系统视场内形成一个红外或电磁特性更强的假目标, 与载体一起形成两点源欺骗干扰, 迷惑防空导弹武器系统的搜索或跟踪过程。拖曳式诱饵与飞机配合使用可有效提高载机的战斗存活率, 由对舰或对地导弹拖带使用, 亦可有效提高导弹武器的突防概率。

舰载防空武器系统作战时, 先由舰面搜索雷达(或电子侦察系统、或相控阵雷达)远距离发现目

标, 待目标到达发射准备区后, 防空导弹发射, 而后采用主动或半主动作战方式拦截目标。在实施拖曳式诱饵干扰时, 反舰导弹和诱饵的电磁特性、红外特性可能是在频域、时域、空间等一个或多个方面作用于防空武器系统的搜索、制导、拦截过程。靶场试验条件下, 为有针对性地考核武器系统作战性能, 有必要对拖曳式诱饵作用于防空武器系统的干扰能力、干扰时机等进行深入分析, 为以后拖曳式诱饵干扰状态、武器系统试验方案拟定、试验组织实施等提供技术支撑。

收稿日期: 2016-06-15

作者简介: 荣念通(1988-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为导弹武器系统试验及飞行器系统设计与研究。

1 对舰面搜索雷达的干扰效能分析

防空导弹武器试验中,目标靶弹随诱饵同步运动,速度、高度特性相同,在距离试验舰较远时,受限于舰载搜索雷达的角度分辨能力,搜索雷达会将靶弹和诱饵视为同一个目标,只有近距离时,才有可能分辨出两个目标,防空导弹发射时及发射后靶弹、诱饵、导弹之间的相对位置关系对拖曳式诱饵干扰效果有重要影响,本节首先就三者之间的运动特性和几何关系进行分析。

搜索雷达搜索、发现目标是防空导弹武器系统作战流程中的一个前置环节,武器系统首先在远距离上搜索并稳定跟踪到目标后,才能进行防空导弹发射,才能进行制导交班。有源雷达依靠靶弹反射回波信号感知目标,须同时满足能量条件和直视条件,在假设始终能量条件满足搜索雷达信号检测要求前提下,只考虑雷达直视约束条件。由于防空导弹武器试验目的为检测防空导弹武器性能,靶弹模拟主要对象为反舰导弹,一般采用迎头攻击模式,为确保试验舰安全,采取带航路捷径式试验方案,这里设定航路捷径为 1 500 m。

设靶弹供靶平飞高度为 H_1 ,试验舰搜索雷达距海平面高为 H_2 ,考虑大气层引起的电波折射加大地球等效半径效应,海面上搜索雷达最大直视距离由以下经验公式给出

$$R = 4.1 \times (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}) \quad (1)$$

国内外主流反舰导弹飞行高度均在 30 m 以下,不妨设靶弹飞行高度范围为 0~30 m,试验舰搜索雷达距海平面高度为 15 m,根据式(1),得出试验舰搜索雷达最大视距随靶弹平飞高度的变化规律如图 1 所示。

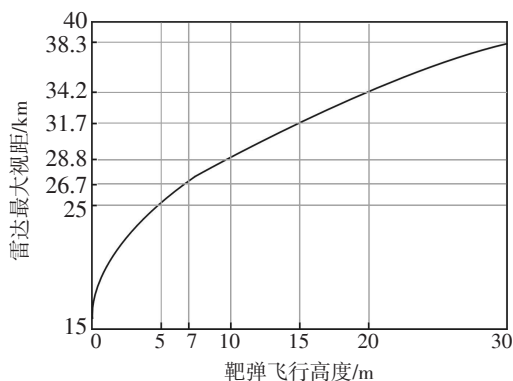


图1 试验舰搜索雷达最大视距

由图 1,采用平飞高度 10 m 掠海飞行时,搜索雷达能在 28.8 km 距离上发现目标,飞行高度越高,搜索雷达发现越早。

图 2 给出了靶弹拖带诱饵条件下供靶态势。

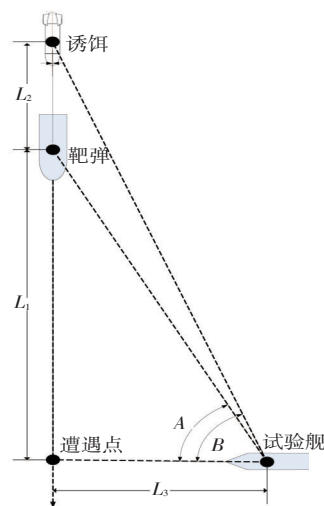


图2 靶弹供靶态势图(俯视)

从图中得出,从舰载搜索雷达角度看靶弹和诱饵的夹角表达式为

$$B - A = 57.3 \times [\arctan(\frac{L_1 + L_2}{L_3}) - \arctan(\frac{L_1}{L_3})] \quad (2)$$

在搜索雷达看来,角度 $B-A$ 必须大于搜索雷达自身的角度分辨率,才能分辨出是两个目标,否则会将靶弹和诱饵视为一个目标。假设舰载雷达角度分辨率为 2° ,飞行试验过程中,经过计算当靶弹距离遭遇点大于 30 km 时,拖揽长度 L_2 远小于 L_1 ,角度 $B-A$ 的值非常小,近似于 0° ,靶弹和诱饵都同时落在了搜索雷达的同一个波束宽度内,此时无论拖曳式诱饵开机辐射与否,舰载搜索雷达肯定会将二者作为一个目标处理。拖揽长度 L_2 暂定为 100 m,航路捷径 L_3 取 1 500 m,靶弹距遭遇点距离 L_1 由 30 km 变化至 0 过程中,角度 $B-A$ 的变化规律如图 3 所示。

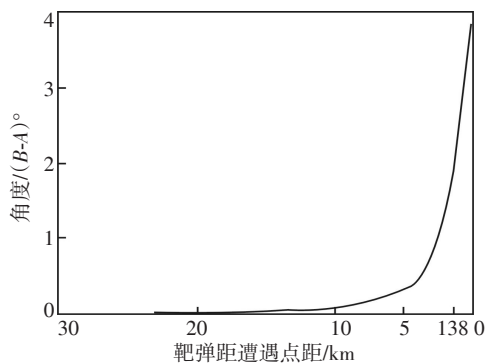


图3 角度 $B-A$ 随靶弹距遭遇点距离的变化规律

经计算得,靶弹距遭遇点 1.38 km 之前, $B-A$ 角度均小于 2° , 只有靶弹在距离遭遇点 1.38 km 以内, 舰上搜索雷达才能在角度上视为两个目标。

不同的防空武器系统作战空域不同, 对高亚音速反舰导弹目标, 防空系统的作战区域近界通常大于文中所计算出的最近可区分距离 (1.38 km), 亦即对防空导弹武器系统而言, 直到防空导弹发射, 搜索雷达始终将靶弹和诱饵视为同一个目标, 区分目标的任务完全由防空导弹独立完成, 拖曳式诱饵系统只可能干扰到导弹自动寻的阶段, 对前期雷达目标搜索阶段无干扰作用。事实上, 对于文中的分析对象, 若将拖曳式诱饵系统工作在有源转发状态, 在 1.38 km 之前即开机工作, 由于诱饵有源电磁辐射的信号增强作用, 靶弹和诱饵总体电磁特性比靶弹自身电散射能力要强, 此时, 拖曳式诱饵不但没有起到假目标干扰的作用, 反而起目标增强作用, 使舰面搜索雷达更早、更容易锁定目标; 若将拖曳式诱饵系统工作在与靶弹微波源相同工作状态或红外诱饵状态, 由于拖曳式诱饵目标反射特性较小, 此时, 舰面雷达将仅识别目标特性较大的靶弹。

2 对不同制导系统干扰效能分析

为方便分析, 假设防空导弹各制导系统波束宽度为 $\alpha=1^\circ$, 拖曳式诱饵拖缆长度设定为 $L_2=100$ m, 有下式

$$D = L_2 / \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (3)$$

根据式 (3), 波束宽度为 $W=200$ m 时, 防空导弹距离靶弹距离 D 约为 11.5 km。图 4 为靶弹与防空导弹距离示意图。

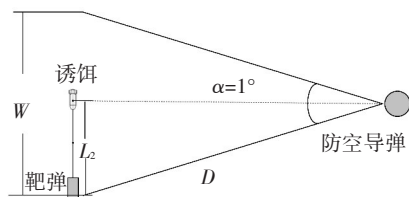


图4 靶弹与防空导弹距离示意图

2.1 对主动雷达制导防空导弹武器系统干扰能力分析

对主动制导系统防空导弹武器系统, 由于其制导原理为实时接收目标回波不断调整导弹飞行方

向, 因此可将拖曳式诱饵设计工作于有源转发模式。图 5 为拖曳式诱饵诱骗主动雷达制导防空导弹示意图。

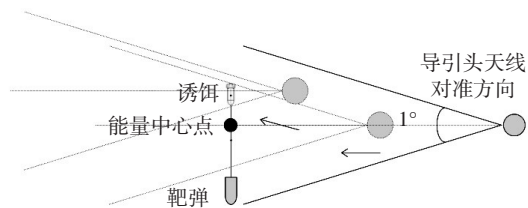


图5 拖曳式诱饵诱骗主动雷达制导防空导弹示意图

防空导弹起飞后使用弹载微波导引天线搜索并瞄准目标 (诱饵开机时为目标特性最强处, 诱饵未开机则为靶弹), 在弹目距离较远时 (大于 11.5 km) 诱饵开机, 靶弹和诱饵都会位于防空导弹主动导引波束范围内, 其主动辐射的能量远大于靶弹自身的反射回波能量, 随着导弹逐渐逼近靶弹, 从目标特性强弱角度, 反射能量回波的等效能量中心逐渐向诱饵靠近, 直至靶弹本身偏移出导弹的导引波束范围之外, 最终诱骗导弹至拖曳式诱饵; 在弹目距离较近时 (11.5 km 以内) 诱饵开机, 由于导弹发射后对准目标为靶弹, 此时诱饵已不在导弹导引头波束范围内, 因此, 此时诱饵开机不会对防空导弹武器系统跟踪产生干扰。据此认为, 针对主动雷达制导防空导弹拖曳式诱饵开机工作时间越早越好。

2.2 对被动制导防空导弹干扰能力分析

被动制导的防空导弹武器系统一般用于针对主动雷达寻的制导的反舰导弹武器系统, 一般通过判断波束范围内有效脉冲个数来进行方位修正, 采取迎头攻击的方式毁伤反舰导弹。由于反舰导弹一般采取单脉冲雷达导引头, 对被动制导防空导弹武器系统而言, 防空导弹发射后始终位于反舰导弹雷达照射波束内, 因此若可实现干扰, 则可将拖曳式诱饵设计为与反舰导弹导引头相同的工作模式。导弹发射后, 被动制导防空导弹会以迎头方式飞向靶弹, 距离靶弹越近, 靶弹的目标特性就越强, 因此, 直线平飞状态下, 拖曳式诱饵对被动制导防空导弹武器系统的诱骗作用基本无效。若在防空导弹距离靶弹较近时, 靶弹进行纵向或水平机动,

使靶弹与拖曳式诱饵均位于防空导弹波束内或使靶弹脱离防空导弹波束,则有可能实现对该防空导弹的干扰,但此种使用方式在实际使用中存在较大难度。

2.3 对红外制导防空导弹干扰能力分析

防空导弹红外制导主要利用目标的红外特性(整流罩或发动机红外特性)控制导弹搜索、识别、锁定并攻击目标。由于红外制导方式的作用距离较近(一般不大于10 km),此种制导方式主要用于近程防空导弹武器系统中。根据上文分析,在假设红外导引头波束宽度也为 1° 的前提下,无论拖曳式诱饵在何时工作,导弹发射后均会根据舰上提供的指示信息锁定靶弹发动机,此时诱饵已不在红外视场内,因此不会对防空导弹造成干扰。据此认为,拖曳式诱饵对红外制导防空导弹武器系统无干扰作用,采用靶弹上连续抛射红外干扰弹的方式可起到较好的干扰效果。

3 实例仿真及结论

图6为典型防空导弹和靶弹的飞行仿真图。红线为导弹飞行轨迹,蓝线为靶弹飞行轨迹。从图上可看出,导弹发射至拦截遭遇点,靶弹基本处于匀速直线平飞状态。设导弹的实时坐标为 (T, X_1, Y_1, Z_1) ,靶弹的实时坐标为 (T, X_2, Y_2, Z_2) ,拖曳式诱饵的实时坐标为 (T, X_3, Y_3, Z_3) ,计算得出,靶弹和拖曳式诱饵(100 m拖揽)与导弹的视线夹角总体变化规律见图7。斜距5 km以内变化情况见图8。

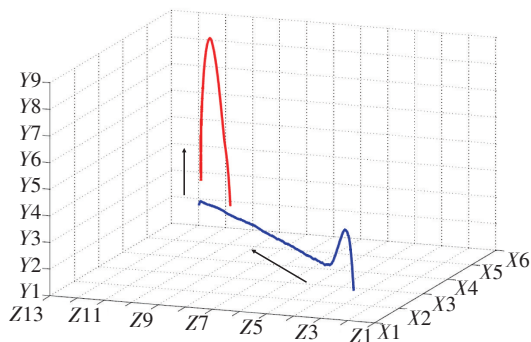


图6 导弹拦截靶弹态势图

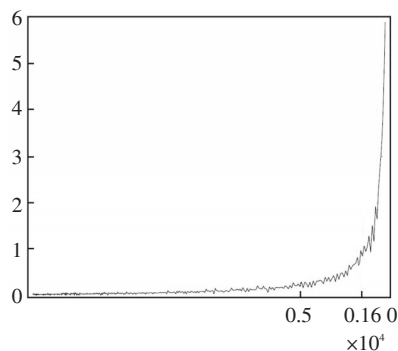


图7 靶弹和诱饵与导弹视线夹角图

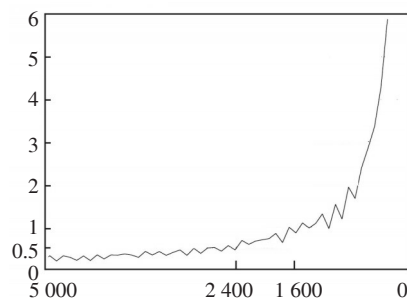


图8 靶弹和诱饵与导弹视线夹角图

由图7、图8可见,从导弹距离靶弹约20 km开始分析,一直到斜距2.4 km处,导弹导引头分别观察靶弹和诱饵的视线之间夹角约为 0.5° ,至1.6 km处,视线夹角增大至 1° 。暂定防空导弹主动导引头波束宽度为 1° ,从本次仿真态势看,若拖曳式诱饵最晚在导弹距靶弹2.4 km之前开机,即可使干扰和靶弹同时处于导弹同一个导引波束角之内,可对防空导弹形成有效干扰,2.4 km之后,由于拖曳式诱饵已经偏出了导弹波束角之外,理论上再进行拖曳式诱饵干扰已无意义。同理,若拖曳式诱饵在导弹发射后即开机,导弹波束角中心也会逐渐向辐射能力强的拖曳式诱饵一侧靠拢,因诱饵与靶弹的辐射(发射)能量比不同,有可能在几何上,靶弹还未偏离出导弹波束角,但在能量上,导弹已经完全被拖曳式诱饵诱骗。

拖曳式诱饵只能干扰导弹自动寻的阶段,对舰面雷达搜索阶段无有效诱骗作用。试验中,通过对方案进行灵活设计,可实现对雷达体制的防空导弹武器系统的抗拖曳干扰检验,拖曳式诱饵只要能在偏移出导弹导引波束之外形成干扰,对主动制导的

防空导弹即能实施较强的诱骗干扰,在拖曳式诱饵的工程设计时,可只针对导弹微波导引头工作频段进行处理,可简化拖曳式诱饵设计;对于被动制导的防空导弹拖曳式诱饵的诱骗作用虽不大,但通过进行合理的战术动作设计,实现对该类型防空导弹的诱骗;红外制导体制的防空导弹武器系统采用拖曳式诱饵干扰基本无作用。

文中所有相关参数均作了合理假设,对于确定型号的分析计算,文中具体参数应作针对性修改。

参考文献

[1] 卢艳龙,童中翔,于锦禄,等.拖曳式诱饵运动特性建模

与仿真计算[J].飞行力学,2010,28(5):24-26.

- [2] 胡晓楠,张建斌,赵国伟.柔性绳索在空气阻力作用下的动力学仿真研究[J].机械科学与技术,2010,29(10):1334-1337.
- [3] 侯向辉,刘晓东,饶志高,等.拖曳式诱饵释放时机和释放过程研究[J].航天电子对抗,2010,26(2):6-8.
- [4] 王万通,庞国荣.拖曳式有源雷达诱饵[J].电子对抗技术,1998,13(3):21-25.
- [5] 陈义,崔艳鹏,钟昭.有源拖曳式诱饵的干扰样式及对抗措施探讨[J].航天电子对抗,2011,27(5):10-12,60.
- [6] 孟凡斌,王佳轶,毛剑英.红外系统空间点目标探测距离测试[J].光电技术应用,2014,29(3):85-88.
- [7] 张爱华,秦武.反舰导弹靶场试验虚拟视景生成技术研究[J].光电技术应用,2015,30(2):78-82.

(上接第67页)

5 结论

文中对地面目标识别技术进行研究,以车辆目标作为研究对象,针对在夜晚、浓烟、浓雾和光照差等极端条件下可见光图像不能清晰的描述目标,而红外图像可以打破这些条件限制的情况,提出了综合运用可见光和红外传感器进行地面目标识别的方法。为了完成地面目标的识别,先分析了可见光和红外图像特性,并根据不同特性确定不同图像处理方法,运用目标检测方法缩小识别目标区域范围,并通过基于改进的AdaBoost算法和Haar-like特征生成可见光和红外车辆分类器完成对车辆目标的检测识别,并对系统的识别率和实时性进行了仿真实验。综上,该系统对于目标识别效率和精准率大大提高。

参考文献

- [1] Paul Viola, Michael J Jones. Robust real-time face detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2004: 572.
- [2] 王玉君.基于远红外热像仪的地面机动目标识别[D].沈阳:沈阳理工大学,2015.
- [3] 武斌.红外弱小目标检测技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2009.

- [4] 张颖.基于数值形态滤波的红外目标检测技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2005.
- [5] 王海霞.基于不变矩的目标识别算法研究[D].长春:中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所),2004.
- [6] Lienhart R, Maydt J. An extended set of haar-like features for rapid object detection[C]//2002 International Conference on. IEEE, 2002, 1: 1-900-1-903.
- [7] Vichers V E. Plateau equalization algorithm for real-time display of high-quality infrared imagery[J]. Opt Eng, 1996, 35(7): 1921-1926.
- [8] 邵平,杨路明,曾耀荣.计算旋转Harr型特征的积分图像算法改进[J].计算机技术与发展,2006(11):146-147+181.146-147+181.
- [9] 刘红雨.基于红外视频的行人检测[D].沈阳:沈阳工业大学,2012.
- [10] 文学志,方巍,郑钰辉.一种基于类Haar特征和改进AdaBoost分类器的车辆识别算法[J].电子学报,2011(5): 1121-1126.
- [11] 赵英男,杨静宇.基于Gabor滤波器和SVM分类器的红外车辆检测[J].计算机工程,2005(10):191-192+208.
- [12] 徐彤阳.基于支持向量机的车辆识别技术的研究[D].长沙:长沙理工大学,2005.
- [13] 黄力博.基于图像识别的车辆图像处理技术研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.