

目标散布区对导弹导引头抗干扰能力的影响分析

卢发兴, 吴 玲

(海军工程大学电子工程学院指挥自动化系, 湖北武汉 430033)

摘 要: 远程智能化反舰导弹在其飞行末端可对一个区域内的目标进行搜索攻击, 但不同大小和形状的目标散布区对导引头抗干扰能力的影响也不同. 分析了导弹攻击过程中可能遭受的电子干扰, 指出目标散布区将影响导弹雷达的开机时间, 并给出目标散布区对导弹导引头抗电子干扰能力影响的计算模型. 针对电子干扰下的反舰导弹作战进行了仿真计算, 结果表明该模型较好地评价了导弹抗干扰能力下降对作战效能的影响.

关键词: 反舰导弹; 目标散布区; 抗电子干扰

中图分类号: TJ765 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 09-2042-04

Analysis of the Effects of the Potential Target Distribution Area on the Anti-Jamming Capability of the Missile Seeker

LU Fa-xing, WU Ling

(Electronic Engineering College, Naval University of Engineering, Wuhan, Hubei 430033, China)

Abstract: The long-range intelligent anti-ship missile (ASM) can search and attack target in a large zone at its terminal phase of trajectory, but the shape and size of the target distribution area will have influence on the anti-jamming capability of the missile seeker. Based on the analysis of the characteristics of the potential target distribution area, it is pointed out that the area affects the start-up time of the missile radar, and consequently affects the anti-jamming capability of the missile seeker. The calculation model of the effects of the area on the anti-jamming capability of the seeker is presented. The simulations on the operational use of the ASM under jamming validate the proposed model in evaluating the ASM effectiveness with the deteriorated anti-jamming capability.

Key words: anti-ship missile; potential target distribution area; anti-jamming capability

1 引言

在现代海战中, 各种类型的反舰导弹是对海上水面舰艇编队进行攻击的主要武器, 它们的作战效能很大程度上依赖于导弹制导系统的抗干扰能力, 尤其是弹上的信息通道的抗干扰能力^[1,2]. 未来导弹攻击必将在强电子干扰条件下进行. 实际证明, 对导弹制导系统抗干扰能力影响最大的因素, 是导弹攻击过程中的信息支持能力, 因为根据掌握的信息可对导弹制导系统的导引算法进行调整和选择综合的抗干扰方法^[3]. 因此, 在导弹作战中, 研究信息支持能力对导弹制导系统的抗干扰能力影响非常必要.

现有的对反舰导弹导引头抗干扰能力的研究主要针对干扰行为进行识别和抗干扰能力评估^[4~8], 而针对信息支持能力对抗干扰性能的影响一般停留在定性分析上, 例如给出“推迟导弹末制导雷达的开机时间”等措

施^[9], 缺乏准确的计算模型. 目标散布区是导弹作战信息支持能力的一个主要的综合测量指标, 它将影响导弹末制导雷达开机时间, 从而影响导弹的抗干扰能力. 本文在分析反舰导弹盲目攻击中^[10]目标散布区特点的基础上, 给出目标散布区对导弹导引头抗干扰能力影响的计算模型.

2 反舰导弹群盲目射击条件下的目标散布区特点

现代海战中, 对远程反舰导弹超视距攻击引导极可能是处于低精度条件下进行的, 也就是说, 只能获得粗略或恶劣的目标信息, 甚至无法获得目标信息. 这时应根据战场态势、地理环境和敌方情报分析判断敌目标的活动区或散布区(“面域”), 实施没有“具体目标”的“盲目射击”^[10]. 对于反舰导弹而言, 目标散布区指的是, 在指定的时间内, 目标以不低于指定概率(例如 0.997)处

于其中的海上某一区域.目标散布区的大小由海上目标的定位误差,即目指误差,目标机动要素估计误差,战术态势,射击区的地理条件,射击区的水文气象条件,目标信息的延时时间等因素决定.比如在无源定位中,目标散布区是一个狭长的椭圆,即椭圆的长半轴远大于短半轴^[11],在这样的目标散布区下,如果导弹朝椭圆短半轴方向飞行,由于椭圆的长半轴可能大于导引头的搜索半宽,因而至少需要两个目标瞄准点,这可能造成部分导弹不能捕获目标,降低了导弹的捕捉概率.如果导弹朝目标散布椭圆的长半轴方向飞行,则与短半轴方向相比,导弹将提前打开导引头的搜索雷达^[12],这降低了导弹的隐蔽性,使其可能提前被敌预警系统发现,敌反导系统也将有更多时间准备对其实施电子干扰,从而也将降低导弹的作战效能.可见在这种情况下,为了合理选择导弹的发射方案,要考虑目标散布区对导弹导引头抗干扰能力的影响.

设导弹作战中的信息支持能力对导引头抗干扰能力影响表示为

$$Q_P = f(R_x, R_z, x, z) \quad (1)$$

其中: Q_P 为齐射导弹组中的每个反舰导弹克服敌电子干扰并命中处于坐标值为 x, z 目标的概率; R_x, R_z 分别为目标散布区椭圆的长半轴和短半轴; x, z 分别为在以目标散布区的中心为原点,散布区椭圆长轴为 X 轴,短轴为 Z 轴的坐标系中目标的真实位置坐标.

3 导弹抗电子干扰能力分析

导弹的抗电子干扰能力一般可定义为导弹克服敌电子对抗的能力,从广义上可理解为在敌电子干扰条件下导弹的作战能力,它不仅与导弹本身克服敌电子干扰能力有关,还与在敌实施电子对抗的情况下,导弹攻击方的通讯、侦察和指挥系统生存力和工作质量有关.对导弹的电子干扰的实质就是隐藏或歪曲导弹攻击时所需的信息.从电子干扰的角度,反舰导弹的攻击过程可分为如下 4 个阶段:(1)获取目标信息和准备导弹射击所需要的信息;(2)导弹飞向目标所在区域;(3)导引头开机搜索和选择攻击目标;(4)导弹末端自导,即导弹跟踪雷达搜索发现目标后,对其实施稳定跟踪,直至导弹将目标摧毁.

在反舰导弹攻击的每一个阶段,对抗方将通过选择电子对抗设备和它们的使用方法,降低导弹的攻击效能.从上面的分析可知,目标散布区的大小主要是影响导弹导引头的搜索雷达开机时间,因此研究目标散布区对导弹导引头抗干扰能力的影响主要是在导弹攻击的后两个阶段进行.

对齐射导弹电子对抗设备采用主动有源干扰系统和箔条弹发射系统时,参数 Q_P 可表示为^[13]

$$Q_P = P_{\text{cel}}(1 - P_{\text{nog}})(1 - P_{yb}) \quad (2)$$

其中: P_{nog} 是在导弹末端自导阶段,主动有源干扰成功干扰导弹导引通道的概率; P_{yb} 是在导弹末端自导阶段,干扰诱饵成功使导弹偏离目标舰而导向假目标的概率; P_{cel} 是在导引头开机搜索和选择攻击目标阶段,在假目标的干扰下,导弹从真假目标中,正确选择真实目标的概率.

进行主动有源干扰干扰导弹导引通道必需具备两个条件:第一,预警探测系统及时发现导弹跟踪雷达开机;第二,在导弹跟踪雷达信号接收机的输入的干扰-信号比必须大于这种导弹跟踪雷达的压制系数.

$$P_{\text{nog}} = P_t^{\text{nog}} \cdot P_{\text{can}}^{\text{nog}} \quad (3)$$

$$P_t^{\text{nog}} = 0.5[1 + \Phi(\frac{P_{c, \text{bx}} - P_{\text{min}}}{\sqrt{\sigma_{c, \text{bx}}^2 + \sigma_{\text{min}}^2}})] \quad (4)$$

其中: $\Phi(z)$ 是拉普拉斯函数,以下同; $P_{c, \text{bx}}, P_{\text{min}}, \sigma_{c, \text{bx}}, \sigma_{\text{min}}$ 分别是预警探测系统信号接收机接收导弹跟踪雷达信号的强度和接收机灵敏度的数学期望和均方差.

$$P_{\text{can}}^{\text{nog}} = 0.5[1 + \Phi(\frac{P_z - K_n}{\sigma_z})] \quad (5)$$

其中: $P_z = \frac{P_n}{P_c}$ 是导弹跟踪雷达信号接收机的输入的干扰强度 P_n 和信号强度 P_c 之比的数学期望; σ_z 是干扰强度 P_n 和信号强度 P_c 之比的均方差; K_n 是导弹跟踪雷达的压制系数.

由于决策、发射、箔条弹飞行、箔条云形成等过程均需耗费一定的时间,所以有可能当发现导弹雷达开机后,由于距离太近,使得舰艇来不及做出干扰反应而使干扰失败.可见对导弹进行干扰,存在一个完成干扰诱饵所需的最小极限距离 R_{min} .完成干扰诱饵吸引导弹只有发现导弹雷达开机距离 R_f 大于最小极限距离,即

$$R_f \geq R_{\text{min}} \quad (6)$$

其中 $R_{\text{min}} = V_p(T_{\text{act}} + T_f + T_x) + L_c/\text{tg}(\theta_{0.5}/2)$,因此它与反舰导弹的飞行速度 V_p ,箔条弹武器系统的反应时间 T_{act} ,箔条弹的飞行时间 T_f ,箔条云形成时间 T_x ,质心距箔条云远点的距离 L_c 和导弹雷达波束宽度 $\theta_{0.5}$ 有关.

从式(3)、(4)和(5)中,可知,导弹雷达开机时间对概率 P_{nog} 影响很小,因此在计算 P_{nog} 时可忽略目标散布区对其的影响.(6)式中,完成干扰诱饵所需的最小极限距离 R_{min} 一般不大于 13km,而在无源定位中,对于超视距导弹攻击的目标散布区长半轴一般不小于 10km,导弹导引头最小水平作用距离不小于 3km.一般情况下,只要导弹雷达一开机,对方预警探测系统很快就发现导弹,这样发现导弹雷达开机距离 R_f 将大于 13km.因此在无源定位提供目指的超视距导弹攻击中,计算概率 P_{yb} 时可忽略目标散布区的影响.

在导弹雷达开机搜索目标时,同时被雷达探测的是包括假目标在内的多个目标.存在很多算法从这些目标中选择真实的目标,如随机选择目标、选择雷达反射面最大的目标、从目标群中选择位于中间的目标、选择最靠近瞄准点的目标、选择在目标群中位于最右或最左边的目标等.但要是不知对方干扰策略的话,一般采用随机选择目标法.在这个算法下选择真实目标时,概率 P_{cel} 可由下式计算

$$P_{\text{cel}} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{N_i} P_{l_i} P_{t_i}} \quad (7)$$

其中 N_i 是在导弹雷达搜索范围内假目标的数量; P_{l_i} 是第 i 个假目标与真实目标相似的概率,即导弹不能正确辨别假目标的概率; P_{t_i} 是及时提供第 i 个假目标的概率.

计算第 i 个假目标与真实目标相似的概率 P_{l_i} 如下式所示

$$P_{l_i} = 0.5 \left[1 - \Phi \left(\frac{\sigma_r - \sigma_{l_i}}{\sqrt{\sigma_{\sigma_r}^2 + \sigma_{\sigma_{l_i}}^2}} \right) \right] \quad (8)$$

其中: $\sigma_r, \sigma_{l_i}, \sigma_{\sigma_r}, \sigma_{\sigma_{l_i}}$ 分别是真实目标舰和第 i 个假目标雷达反射面的数学期望和均方差.

如果考虑到雷达开机搜索目标时,对方除了进行冲淡式箔条干扰外,还进行主动有源噪声干扰,这时 P_{l_i} 将取决于导弹雷达信号接收机输入的信噪比 q .

计算及时提供第 i 个假目标的概率 P_{t_i} 如下式所示

$$P_{t_i} = P(\Delta T > 0) = 0.5 \left[1 + \Phi \left(\frac{\bar{T}_i - \bar{T}_{l_i}}{\sqrt{\sigma_{T_i}^2 + \sigma_{T_{l_i}}^2}} \right) \right] \quad (9)$$

其中: T_i 是干扰方拥有为提供假目标的时间,它是从目标舰上的探测系统发现导弹到导弹雷达发现目标舰这段时间.显然,如果导弹先发现目标舰,则 $T_i = 0$; T_{l_i} 是形成第 i 个假目标所需要的时间; $\Delta T = T_i - T_{l_i}$; $\bar{T}_i, \bar{T}_{l_i}, \sigma_{T_i}, \sigma_{T_{l_i}}$ 分别是时间 T_i 和 T_{l_i} 的数学期望和均方差.

从式(9)可看出,导弹雷达开机时间将影响时间 T_i ,因此目标散布区的大小将影响导弹正确选择真实目标的概率 P_{cel} ,进而影响导弹的抗电子干扰能力 Q_p .

4 目标舰发现导弹的探测距离模型

越大的目标散布区,反舰导弹雷达需要越早开机,这样目标舰的预警系统越早发现有导弹攻击,从而提前准备进行对抗,降低导弹攻击效能.目标舰发现导弹的探测距离 R_o 可按下式计算

$$R_o = \min \{ D_p, \max(R_f, D_o) \} \quad (10)$$

其中: $D_p = 4.12(\sqrt{h_p} + \sqrt{h_c})$ 是无线电水平距离(单位为 km); h_p 是导弹飞行高度(单位为 m); h_c 是目标舰雷达侦察站高度(单位为 m); D_o 是目标舰的预警系统探

测掠海飞行导弹的距离,它是一个满足均值为 \bar{D}_o , 均方差为 σ_{D_o} 的正态随机变量.

$$\text{因此} \quad T_i = \frac{R_o - D_{ych}}{V_p} \quad (11)$$

其中 D_{ych} 是导弹导引头的作用距离.

设在导弹雷达开机时,目标舰的真实坐标为 (x, z) , 它们是均值为 $(0, 0)$, 均方差为 $(\frac{R_x}{3}, \frac{R_z}{3})$ 的正态随机变量.导弹雷达开机距离 D_{bk} 可如下计算^[11]:

$$D_{bk} = R_x + D_{ych}^{\min} \quad (12)$$

其中 D_{ych}^{\min} 是导弹导引头最小水平作用距离.

假设在导弹雷达开机后,目标舰的预警系统马上发现导弹,因此发现导弹雷达开机距离 R_f 由下式可得:

$$R_f = \sqrt{(x + D_{bk})^2 + z^2} \quad (13)$$

5 目标散布区对概率 P_{cel} 影响仿真算法

仿真采用蒙特卡罗法,仿真次数 $N = 50000$. 仿真算法流程如图 1 所示.

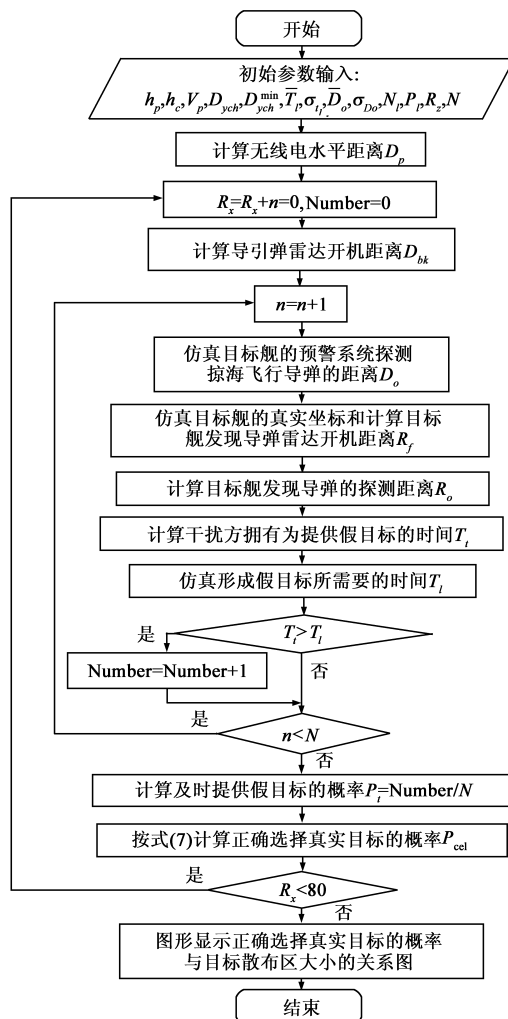


图1 仿真目标散布区对概率 P_{cel} 影响流程图

仿真计算的初始值如下: $h_p = 0.2\text{km}$, $h_c = 0.025\text{km}$, $V_p = 0.22\text{km/s}$, $D_{ych} = 40\text{km}$, $D_{ych}^{\min} = 25\text{km}$, $\bar{T}_l = 20\text{s}$, $\sigma_{t_l} = 4\text{s}$, $\bar{D}_o = 40\text{km}$, $\sigma_{D0} = 5\text{km}$, $N_l = 4$, $P_l = 0.9$, $R_x = 0 \sim 80\text{km}$, R_z 取值为 3, 4, 5 或 27km.

仿真结果如图 2 所示. 从仿真结果可得出如下结论:

(1) 目标散布区越小, 导弹的抗电子干扰能力越强, 换句话说, 导弹的抗电子干扰能力与目标精度紧密相关.

(2) 当目标散布区的短轴 R_z 一定时, 而散布区的长轴 R_x 小于某一阈值时(约 10km)或大于某一阈值时(约 40km)后, 导弹的抗电子干扰能力是一稳定值. 影响阈值和最大、最小稳定值的主要因素见图 2 上的标注.

(3) 当目标散布区的短轴 R_z 远小于散布区的长轴 R_x , 导弹朝目标散布短轴方向攻击目标时, 导弹的抗电子干扰能力提高 10% 以上.

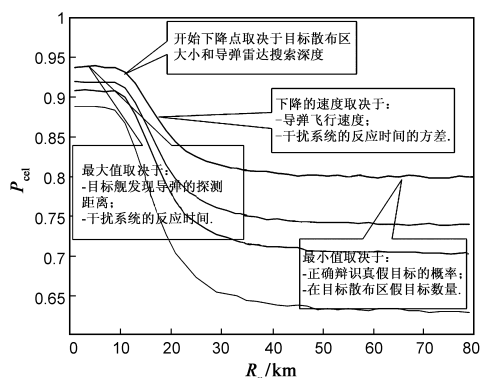


图2 目标散布区对导弹正确选择真实目标概率影响示意图

6 结束语

本文提出目标散布区大小对导弹导引头抗干扰能力影响的计算模型. 针对电子干扰下的反舰导弹作战进行了仿真计算, 结果表明该模型能较好地评价在弱的信息支持条件下, 导弹抗电子干扰能力下降对导弹作战效能影响的程度, 并给出这种导弹的最优目标分配方案的指导原则.

参考文献:

- [1] Curtis D Schleher. Electronic Warfare in the Information Age [M]. Norwood, MA, USA: Artech House, 1999.
- [2] 刘隆和, 姜永华, 许爱强. 海军战术导弹对抗与反对抗技术[M]. 北京: 海潮出版社, 1999.
- [3] Куприянов А И, Сахаров А В. Радиоэлектронные Системы В Информационном Конфликте [М]. М.: Вузовская Книга, 2003 г.
- [4] 李波涛, 李明, 吴顺君. 雷达抗干扰效能评估方法探讨[J]. 现代雷达, 2006, 28(11): 16-19.

LI Bo-tao, WU Shun-jun. Disquisition on radar ECCM capability [J]. Modern Radar, 2006, 28(11): 16-19. (in Chinese)

- [5] 李相平, 李世忠, 李亚昆, 张刚. 反舰导弹主被动雷达复合导引头抗干扰性能评估研究[J]. 雷达与对抗, 2007, (3): 8-12.
- [6] LI Xiang-ping, LI Shi-zhong, LI Ya-kun, ZHANG Gang. Antijamming performance evaluation of active/passive radar guided seekers of antiship missile[J]. RADAR & ECM, 2007, (3): 8-12. (in Chinese)
- [7] Johnston S L. Guided missile ECM/ECCM[J]. Microwave Journal, 1978, 21(9): 20-26.
- [8] Benren T. An ECCM model and the technical development trends to the demands of the future EW combat[J]. IEEE AES Systems Magazine, 1994, 9(6): 12-16.
- [9] 杨晓红, 陈婧华, 姜玉宪. 导引头目标干扰识别与抗干扰[J]. 电光与控制, 2006, 13(6): 9-14.
- [10] 杨祖快, 张春. 反舰导弹面临的电磁环境及抗干扰措施[J]. 电子对抗技术, 2004, 19(6): 34-37.
- [11] 卢发兴, 吴玲, 董银文. 带航路规划的反舰导弹盲目射击攻击模型及性能研究[J]. 电子学报, 2009, 37(9): 1956-1960.
- [12] Lu Fa-xing, Wu Ling, Dong Yin-wen. Research on the attacking mode for blind launch of anti-ship missiles with route-planning capability[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(9): 1956-1960. (in Chinese)
- [13] Faxing Lu, Ling Wu. Calculation of the potential distribution area of the target in bi-station bearing-crossing locating [A]. Proceedings of IEEE International Congress on Image and Signal Processing 2008 [C]. Haikou, China: IEEE Press, 2008. 422-426.
- [14] 卢发兴, 董银文. 测向交叉定位法下的反舰导弹导引头捕捉率算法[J]. 海军工程大学学报, 2008, 20(4): 81-86.
- [15] Горев А Г. Основы Оценки Эффективности Боевого Применения Средств РЭБ В Интерессах ПВО Соединения Кораблей [М]. СПб: ВМА, 2007 г.

作者简介:



卢发兴 男, 1974 年出生于福建省顺昌县, 现为海军工程大学副教授, 俄罗斯海军学院导弹火控专业博士毕业, 主要研究方向为舰载指控及导弹火控.
E-mail: lufx.nue@gmail.com

吴玲 女, 1976 年出生于湖北省武汉市, 现为海军工程大学讲师, 清华大学信息科学与技术国家实验室(筹)博士毕业, 主要研究方向为智能控制及辅助决策.