

doi: 10.7690/bgzdh.2018.02.001

## 基于反舰导弹雷达分辨力的编队冲淡干扰

陈 榕<sup>1</sup>, 沈培志<sup>2</sup>, 贺英政<sup>2</sup>

(1. 海军航空大学作战勤务学院, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空大学岸防兵学院, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 为提高冲淡干扰的精确性, 在分析导弹导引头截获目标前提的基础上, 建立导引头开机距离模型。根据冲淡干扰的作用机理和投放形式, 建立了其投放时机和距离模型, 并进行了仿真分析。结果表明: 该模型体现了导引头分辨力、导弹与舰艇编队的位置关系、编队运动策略等因素对干扰投放时机和距离的影响, 为提高冲淡干扰的针对性、有效性提供了理论依据, 达到了节约干扰资源的目的。

**关键词:** 冲淡干扰; 投放时机; 投放距离; 舰船编队; 目标分辨

**中图分类号:** TJ4   **文献标志码:** A

## Formation Diluting Jamming Based on Resolution of Anti-ship Missile Radar

Chen Rong<sup>1</sup>, Shen Peizhi<sup>2</sup>, He Yingzheng<sup>2</sup>

(1. School of Aviation Operation & Logistics, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China;

2. School of Coast Defense Army, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** For improving the accuracy of diluting jamming, based on analyzing the missile seeker target acquisition, establish the seeker launch distance model. According to principle and launch mode of diluting jamming, establish launch time and distance model, and carry out simulation analysis. The results show that the model influence of seeker resolution power, position relation of missile and ship formation, formation maneuver tactics on jamming launch time and distance. It provides theory basis for improving pertinence and efficiency for diluting jamming, and save jamming resources.

**Keywords:** diluting jamming; launch time; launch distance; ship formation; target distinguishing

### 0 引言

雷达制导反舰导弹简称反舰导弹(anti-ship missile, ASM), 是当前打击水面舰艇的主要武器装备之一, 也是水面舰艇的重要抗击对象。“反舰”和“反导”永远是海上对决的重头戏。从抗击类型而言, 水面舰艇反导作战的方式主要有“硬抗击”(即使用舰空导弹、舰炮, 未来还可能使用定向能、动能武器等新概念武器拦截来袭 ASM)和“软抗击”(运用有源、无源干扰等手段影响 ASM 对目标的识别和捕捉, 提高舰艇的生存概率)2 种。舰艇还可以采取机动规避的方式降低 ASM 的打击效果。

相关研究表明, “软抗击”手段对提高舰艇的生存概率效果显著<sup>[1-2]</sup>。尤其是冲淡干扰具有其他手段无可比拟的优点和地位, 是常见的一种干扰手段。而水面舰艇在 ASM 进行冲淡干扰的过程中, 诸如干扰投放的时机、方位、距离等因素直接决定了干扰的效果<sup>[3-4]</sup>。由此可见, 应高度重视冲淡干扰策略的研究。

虽然相关学者十分重视此问题, 但有关策略问题的研究都基于一个前提(或明确, 或默认): 先验知道来袭 ASM 导引头的开机时刻, 从而研究干扰

投放的时机、距离等问题。而实际上并不能准确掌握来袭 ASM 导引头的开机时间。即使舰上雷达侦察告警设备能够及时、有效截获来袭 ASM 导引头的信号, 也只能为此后的对抗决策提供依据。况且, 敌突防或突击时, 其电子支援兵力极可能对我舰艇实施电子干扰, 我截获来袭 ASM 的雷达信号将十分困难<sup>[5]</sup>。再者, 在舰载干扰资源有限的情况下, 为应对敌方可能出现的多波次连续攻击, 迫切需要改变以往“粗放式”的干扰策略(使用时机、距离概略确定), 提高干扰的“精确性”。为确定冲淡干扰运用的策略, 笔者立足来袭 ASM 导引头的分辨力, 建立不同方向有效分辨目标的导引头开机距离模型, 冲淡干扰投放时机、距离模型, 为冲淡干扰策略的运用提供依据, 提高针对性和有效性, 达到“精确式”干扰的目的。

### 1 水面舰艇对 ASM 的干扰方式

现代水面舰艇普遍装备有各种雷达干扰设备, 可对 ASM 实施各种干扰。就其能量属性而言, 这些干扰方式可分为有源干扰和无源干扰 2 大类。其中: 有源干扰又分为压制干扰(如噪声干扰、连续波干扰和脉冲干扰等)和欺骗性干扰(如假目标干扰、

收稿日期: 2017-10-14; 修回日期: 2017-11-22

作者简介: 陈 榕(1984—), 男, 江西人, 博士, 讲师, 从事海军兵种作战运用研究。

距离拖曳干扰、角度欺骗干扰和速度欺骗干扰等)；常用的无源干扰分为冲淡干扰和质心干扰<sup>[1,6]</sup>。

冲淡干扰是在来袭 ASM 导引头开机前，通过发射箔条弹或投放诱饵形成假目标，使假目标和目标舰同处导引头搜索范围内分处不同的分辨单元，降低导引头开机后捕获目标的概率<sup>[7]</sup>。

质心干扰是在来袭 ASM 导引头开机后，通过发射箔条弹或投放诱饵，在导引头同一分辨单元内形成真假 2 个目标，由于导引头无法分辨，故将 2 个目标作为一个目标处理，导引头跟踪能量反射中心，从而偏离目标舰，达到保护目标舰的目的<sup>[8]</sup>。

冲淡干扰使用方便、效果明显，是常用的一种干扰手段。上述分析表明：冲淡干扰的效果与其使用时机、布设距离等因素关系紧密。ASM 的来袭方向、编队相对位置与机动、导引头开机时机(由开机距离直接决定)和分辨力(包括距离和角度分辨力)对以上因素有直接的影响。

## 2 ASM 导引头开机距离模型

### 2.1 导引头截获预定目标必要条件

假定导引头的距离分辨力和角度分辨力分别为  $\Delta d_0$  和  $\Delta \theta_0$ ，开机时，其“视场”内目标与非目标的角度差为  $\Delta \theta$ ，距离差为  $\Delta d$ 。导引头有效分辨目标舰船与非目标舰船的前提为：

$$\Delta d \nabla \Delta d_0 \cap \Delta \theta \nabla \Delta \theta_0 \quad (1)$$

### 2.2 导引头开机距离建模

如图 1 所示，假定我编队由 3 艘舰船组成，以目标舰初始位置为原点建立坐标系。D 点为导引头开机时的导弹位置， $T_c^0$ 、 $T_c^1$ 、 $T_c^2$  分别为导弹发射时目标舰船和舰船 1、舰船 2 的位置， $T_k^0$ 、 $T_k^1$ 、 $T_k^2$  分别为导引头开机时对应舰船的位置。 $DT_c^0$  为导弹飞行方向。已知  $T_c^0$ 、 $T_c^1$ 、 $T_c^2$  的坐标分别为  $(0,0)$ 、 $(x_{tc1}, y_{tc1})$ 、 $(x_{tc2}, y_{tc2})$ ，导弹航路飞行平均速度为  $v_{hl}$ ，导引头开机前目标舰船机动距离  $T_c^0 T_k^0 = D_{jd}$ ，导弹飞行航路距离为  $D_{hl}$ 。

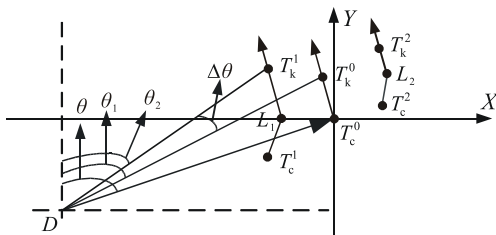


图 1 来袭 ASM 与编队相对位置关系

编队防空反导作战时，通常会变换至一定的队形并保持一定的稳定性<sup>[9]</sup>。假定发现来袭导弹后，目标舰船即转向并以速度  $v_{t0}$  航行，且航向  $T_c^0 T_k^0$  与导弹来袭方向  $DT_c^0$  垂直，舰船 1、2 分别先以速度  $v_{t1}$ 、 $v_{t2}$  向  $L_1$ 、 $L_2$  点航行，到达后与目标舰船保持等速同向航行， $L_1$ 、 $L_2$  与  $T_k^0$  保持坐标差  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 。来袭导弹导引头开机距离  $D_{ld}$ 、攻击方向角  $\theta$  未知。

导弹自控飞行距离

$$D_{zk} = D_{hl} - D_{ld} \quad (2)$$

导引头开机前目标机动距离

$$D_{jd} = v_{t0} \cdot \frac{D_{zk}}{v_{hl}} \quad (3)$$

$T_k^0$  坐标：

$$\left. \begin{aligned} x_{tk0} &= -D_{jd} \sin(90^\circ - \theta) \\ y_{tk0} &= D_{jd} \cos(90^\circ - \theta) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

令  $L_1$ 、 $L_2$  点坐标分别为：

$$(x_{l1}, y_{l1}) = (x_{tk0} - x_1, y_{l1} - y_1) \quad (5)$$

$$(x_{l2}, y_{l2}) = (x_{tk0} + x_2, y_{l1} - y_2) \quad (6)$$

则：

$$\left. \begin{aligned} x_{l1} &= -D_{jd} \sin(90^\circ - \theta) - x_1 \\ y_{l1} &= D_{jd} \cos(90^\circ - \theta) - y_1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{l2} &= -D_{jd} \sin(90^\circ - \theta) + x_2 \\ y_{l2} &= D_{jd} \cos(90^\circ - \theta) - y_2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

D 点坐标：

$$\left. \begin{aligned} x_d &= -D_{ld} \cos(90^\circ - \theta) \\ y_d &= -D_{ld} \sin(90^\circ - \theta) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

令  $T_c^1 L_1 = d_1$ ，则

$$d_1 = \left( (x_{tc1} - x_{l1})^2 + (y_{tc1} - y_{l1})^2 \right)^{1/2} \quad (10)$$

当  $\frac{d_1}{v_{t1}} \geq \frac{D_{zk}}{v_{hl}}$  时， $T_k^1$  点坐标为：

$$\left. \begin{aligned} x_{tk1} &= x_{tc1} + v_{t1} \cdot \frac{D_{zk}}{v_{hl}} \cdot \frac{x_{l1} - x_{tc1}}{d_1} \\ y_{tk1} &= y_{tc1} + v_{t1} \cdot \frac{D_{zk}}{v_{hl}} \cdot \frac{y_{l1} - y_{tc1}}{d_1} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

当  $\frac{d_1}{v_{t1}} < \frac{D_{zk}}{v_{hl}}$  时， $T_k^1$  点坐标为：

$$\left. \begin{aligned} x_{tk1} &= x_{l1} - v_{t0} \cdot \left( \frac{D_{zk}}{v_{hl}} - \frac{d_1}{v_{t1}} \right) \sin(90^\circ - \theta) \\ y_{tk1} &= y_{l1} + v_{t0} \cdot \left( \frac{D_{zk}}{v_{hl}} - \frac{d_1}{v_{t1}} \right) \cos(90^\circ - \theta) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

令  $T_c^2 L_2 = d_2$ ，则

$$d_2 = \left( (x_{tc2} - x_{l2})^2 + (y_{tc2} - y_{l2})^2 \right)^{1/2} \quad (13)$$

同理，当  $\frac{d_2}{v_{t2}} \geq \frac{D_{zk}}{v_{hl}}$  时， $T_k^2$  点坐标为：

$$\left. \begin{aligned} x_{tk2} &= x_{tc2} + v_{t2} \cdot \frac{D_{zk}}{v_{hl}} \cdot \frac{x_{l2} - x_{tc2}}{d_2} \\ y_{tk2} &= y_{tc2} + v_{t2} \cdot \frac{D_{zk}}{v_{hl}} \cdot \frac{y_{l2} - y_{tc2}}{d_2} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

当  $\frac{d_2}{v_{t2}} < \frac{D_{zk}}{v_{hl}}$  时， $T_k^2$  点坐标为：

$$\left. \begin{aligned} x_{tk2} &= x_{l2} - v_{t2} \cdot \left( \frac{D_{zk}}{v_{hl}} - \frac{d_2}{v_{t2}} \right) \cdot \sin(90^\circ - \theta) \\ y_{tk2} &= y_{l2} + v_{t2} \cdot \left( \frac{D_{zk}}{v_{hl}} - \frac{d_2}{v_{t2}} \right) \cdot \cos(90^\circ - \theta) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

导引头开机时， $\theta_1$ 、 $\theta_2$  分别为：

$$\theta_1 = 90^\circ - \arctan \frac{y_{tk0} - y_d}{x_{tk0} - x_d} \quad (16)$$

$$\theta_2 = 90^\circ - \arctan \frac{y_{tk1} - y_d}{x_{tk1} - x_d} \quad (17)$$

导弹与目标、舰船 1 的距离分别为：

$$DT_k^0 = \left( (x_{tk0} - x_d)^2 + (y_{tk0} - y_d)^2 \right)^{1/2} \quad (18)$$

$$DT_k^1 = \left( (x_{tk1} - x_d)^2 + (y_{tk1} - y_d)^2 \right)^{1/2} \quad (19)$$

则目标与舰船 1 之间的距离差和角度差分别为：

$$\Delta\theta_1 = |\theta_1 - \theta_2| \quad (20)$$

$$\Delta d_1 = |DT_k^0 - DT_k^1| \quad (21)$$

同理可得目标与舰船 2 之间的距离差  $\Delta d_2$  和角度差  $\Delta\theta_2$ 。由此，得到不同的攻击方向和自导距离条件下，导弹导引头“视场”内目标与舰船 1、舰船 2 的角度差和距离差。再结合式(1)，即可得出不同来袭方向的 ASM 导引头有效分辨目标的最大开机距离  $D_{\max}$ 。

### 3 水面舰艇冲淡干扰投放模型

#### 3.1 投放时机模型

冲淡干扰只有在导引头开机前投放到位才能发挥效力。令舰艇无源干扰投放系统的反应时间(从接到投放命令到假目标形成的时间)为  $t_{fy}$ ，假目标有效留空时间为  $t_{lk}$ ，导弹飞临目标舰时刻为基准时间

$T_0$ 。由前文可知，导引头最早开机时间

$$T_{dk} = T_0 - \frac{D_{\max}}{v_{hl}} \quad (22)$$

由于在  $T_{dk}$  之前，来袭导弹导引头无法有效分辨目标，因此，冲淡干扰只需在导引头刚刚能够分辨目标时存在即可。

则冲淡干扰最早投放时间

$$T_{c-tf-z} = T_{dk} - t_{fy} - t_{lk} \quad (23)$$

冲淡干扰最迟投放时间

$$T_{c-tf-c} = T_{dk} - t_{fy} \quad (24)$$

#### 3.2 投放距离模型

典型的冲淡干扰方式有“冲二”和“冲四”2 种方式。“冲四”干扰的效果更好，因此更为常用。“冲四”布阵方式又有正方形布阵和菱形布阵 2 种方式。如图 2 所示，笔者以正方形布阵为例进行研究(即目标舰艇在导弹来袭方向正负  $45^\circ$  和  $135^\circ$  各发射一枚箔条弹，此时应认为导弹飞向  $T_k^0$  点)。

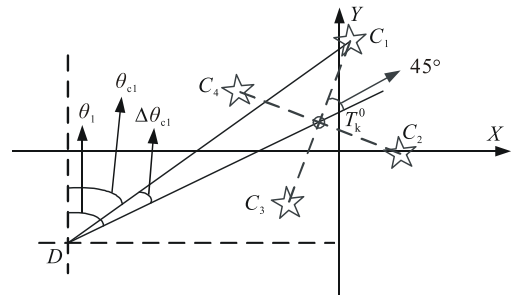


图 2 正方形箔条云布阵

此时，4 个箔条云与目标舰应分处来袭导弹导引头的不同分辨单元内，即任一箔条云与目标舰的距离差和角度差应分别大于导引头的距离和角度分辨力，即满足式(1)所示的约束条件。

令第  $i$  个箔条云的投放距离  $T_c^0 C_i = R_i$ ， $(i=1,2,3,4)$ 。则第  $i$  个箔条云的坐标为：

$$\left. \begin{aligned} x_{ci} &= x_{tk0} + R_i \sin(\theta_1 - 45^\circ + (i-1) \times 90^\circ) \\ y_{ci} &= y_{tk0} + R_i \cos(\theta_1 - 45^\circ + (i-1) \times 90^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

导引头开机时， $\theta_{ci}$  为

$$\theta_{ci} = 90^\circ - \arctan \frac{y_{ci} - y_d}{x_{ci} - x_d} \quad (26)$$

导弹与第  $i$  个箔条云的距离为

$$DC_i = \left( (x_{ci} - x_d)^2 + (y_{ci} - y_d)^2 \right)^{1/2} \quad (27)$$

则目标与第  $i$  个箔条云的距离差和角度差分别为：

$$\Delta\theta_{ci} = |\theta_i - \theta_{ci}|; \tag{28}$$

$$\Delta d_{ci} = |DC_i - DT_k^0|. \tag{29}$$

由此，得到箔条不同投放距离情况下来袭导弹导引头“视场”内目标舰与不同箔条云之间的角度差和距离差。再结合式(1)，即可得出不同投放距离是否能够让箔条云与目标舰分处导引头的不同分辨单元内<sup>[10]</sup>。

### 4 仿真分析

假定图 1 所示编队舰船的坐标如表 1 所示。

表 1 编队中舰船初始坐标 km

敌舰船	X 轴	Y 轴
目标舰船	0	0
非目标舰船 1	-10	-5
非目标舰船 2	10	5

参考国外某型反舰导弹参数，确定来袭导弹参数<sup>[11]</sup>如下：飞行航路距离  $D_{hl}=240$  km，航路飞行平均速度  $v_{hl}=290$  m/s，自导距离  $D_{ld}=(20\sim 50)$  km，攻击方向角  $0^\circ\sim 180^\circ$ ；导引头距离分辨力  $\Delta d_0=60$  m、角度分辨力  $\Delta\theta_0=3^\circ$ 。

舰船机动速度  $v_{t0}=28$  kn， $v_{t1}=v_{t2}=32$  kn， $(x_1,y_1)=(10,15)$  km， $(x_2,y_2)=(15,10)$  km， $T_0=0$ ， $t_{fy}=2$  s， $t_{lk}=10$  s。

经仿真分析可知：为确保对目标的分辨，来袭导弹采取不同的攻击方向时，最大自导距离应满足图 3 所示曲线。冲淡干扰的最早投放时刻和最迟投放时间如图 4 所示。冲淡干扰的最小投放距离如图 5、图 6 所示。

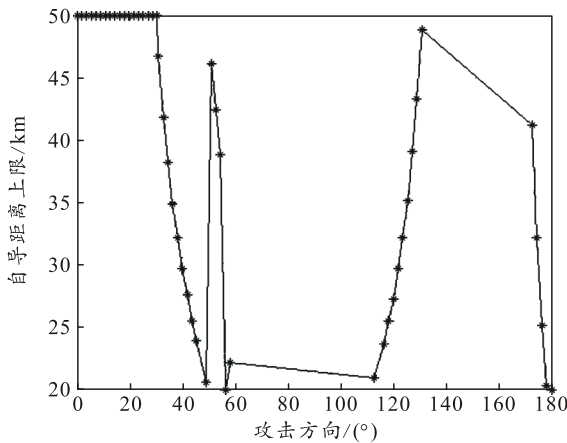


图 3 来袭 ASM 攻击方向与最大自导距离的关系

由图 3 可知：来袭导弹导引头的开机距离并非越大越好，不同攻击方向的开机距离应不超过图中所示曲线，否则无法分辨目标与非目标舰船。

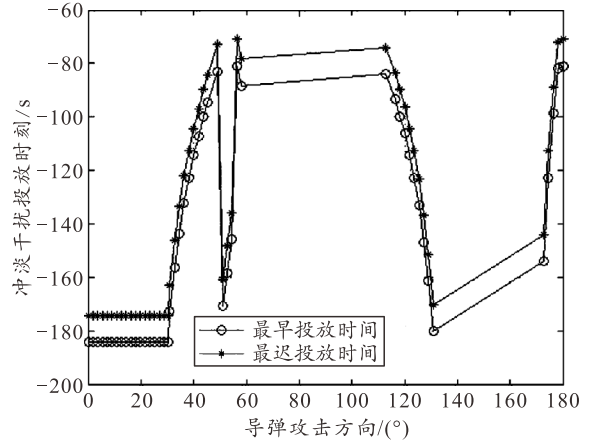


图 4 冲淡干扰的最早投放时刻和最迟投放时间

由图 4 可知：为避免无效投放，针对不同来袭方向的导弹，冲淡干扰的投放时刻应介于图中所示的 2 条曲线之间。

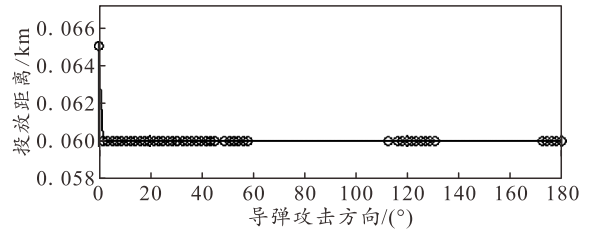


图 5 箔条 1 的最小投放距离

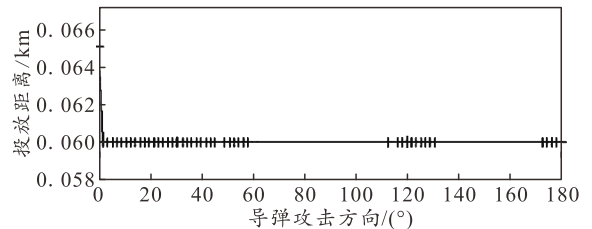


图 6 箔条 2 的最小投放距离

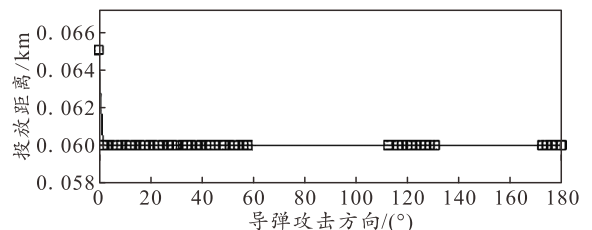


图 7 箔条 3 的最小投放距离

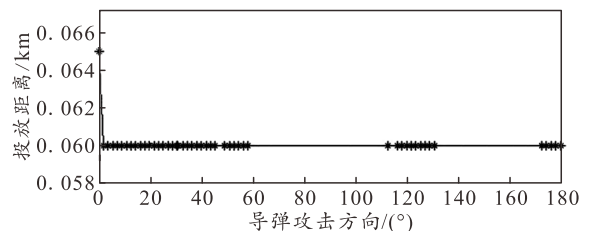


图 8 箔条 4 的最小投放距离

由图 5—图 8 可知：冲淡干扰的投放距离不能

仅凭经验概略确定, 也非一成不变, 不同方向的箔条投放距离应根据导弹来袭方向合理确定。

## 5 结束语

在现代海上攻防作战中, 对水面舰艇的连续多波次精确打击, 要求抗击策略也要更加“精确化”。传统的依靠经验对来袭 ASM 实施的“粗放式”冲淡干扰不但会造成资源浪费, 还可能无法充分发挥干扰的效力。笔者依据 ASM 导引头分辨目标的前提条件, 在分析导弹与编队位置关系、编队机动策略以及冲淡干扰方式的基础上, 建立了 ASM 导引头开机距离模型、冲淡干扰投放时机和距离模型。以有效分辨目标为目标, 确立了 ASM 导引头的最大开机距离, 得到了冲淡干扰的最早和最迟投放时间。同时, 根据冲淡干扰的作用机理, 以箔条云和目标舰的距离差、角度差模型为基础, 确定了冲淡干扰的最小投放距离。

## 参考文献:

- [1] 王光辉, 滕克难, 王宏伟. 舰艇对反舰导弹质心干扰效果模型研究[J]. 现代防御技术, 2007, 35(1): 32-36.
- [2] 李照顺, 孙振华, 许锦洲, 等. 舰艇箔条质心干扰模型与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(14): 4203-4206.
- [3] 胡生亮, 卞小林. 舰艇冲淡干扰使用时机研究[J]. 舰船科学技术, 2007, 29(2): 97-99.
- [4] 吴折鹏, 王斌, 李雪松. 舷外有源诱饵保卫大型舰艇建模与仿真[J]. 现代防御技术, 2013, 41(5): 159-163.
- [5] 龙世敏, 彭世蕤, 王振华. 基于航迹协同的相控阵雷达干扰方法研究[J]. 现代防御技术, 2016, 44(1): 175-179.
- [6] 司锡才, 司伟建. 现代电子战导论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2012: 218-219.
- [7] 吴折鹏, 王斌, 邱新衡. 舰艇编队反导中冲淡干扰产生的无意命中概率[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(11): 111-113.
- [8] 平殿发, 张伟, 张韞. 机载自卫箔条干扰弹投放策略研究[J]. 现代防御技术, 2015, 43(1): 1-6.
- [9] 毕开波, 董受全, 张翼飞. 队形识别技术对反舰导弹作战使用的影响分析[J]. 飞航导弹, 2015, (12): 25-29.
- [10] 谭乐祖, 张峥, 孙仲元. 多型反舰导弹混合攻击异型舰艇编队多目标整数规划火力分配模型[J]. 兵工自动化, 2016, 35(8): 47-49.
- [11] 魏毅寅. 世界导弹大全[M]. 3版. 北京: 军事科学出版社, 2011: 986-987.