

反舰弹选择编队目标攻击方向和自导距离研究

陈 榕, 潘长鹏, 杨士锋, 孙守福
(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

摘要: 正确分辨是反舰导弹选择编队中预定目标的前提和基础。从未制导雷达截获编队中预定目标的必要条件出发, 首先分别建立了自导距离和攻击方向一定的前提下目标与非目标距离差和角度差的数学模型; 然后, 考虑目标机动规避策略和射击误差的影响, 建立了自导距离和攻击方向不确定时的目标与非目标距离差和角度差数学模型; 最后, 设定战场条件进行了仿真分析。结果表明, 在确保正确分辨的前提下, 反舰导弹的攻击方向和自导距离选择互相制约, 其自导距离应根据不同的攻击方向, 在满足末制导雷达分辨力要求的前提下合理选择。

关键词: 舰船编队; 目标分辨; 攻击方向; 自导距离; 反舰导弹

中图分类号: TJ761.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2017)06-0061-04

Attack Angle and Homing Distance for ASMs to Select the Scheduled Target in Formation

CHEN Rong, PAN Chang-peng, YANG Shi-feng, SUN Shou-fu
(Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Distinguishing the target accurately is the basis for the Anti-Ship Missiles (ASMs) to select the scheduled target in a ship formation. Firstly, under the necessary conditions for radar homing head to capture a target in a formation, the models of range difference and angular difference between the target and non-target are established based respectively on given homing distance and given attack angle. Then, with consideration of the influence of target maneuvering tactic and missile firing error, the models of range difference and angular difference are established on the condition that the homing distance and attack angle are uncertain. Finally, simulation analysis is carried out after setting a scenario. The results show that the attack angle restricts each other with the homing distance on the condition that the target is distinguished accurately. In other words, the homing distance should be selected reasonably according to different attack angles.

Key words: ship formation; target distinguishing; attack angle; homing distance; anti-ship missile

0 引言

敌水面舰艇编队内舰船的战术价值各不相同, 战时对所有舰船进行打击十分困难, 也不太可行; 而选择其中高战术价值目标进行精确打击, 往往能达到事半功倍的效果^[1]。目标识别、选择技术使雷达制导反舰导弹(下文如无特别说明, 雷达制导反舰导弹皆简称为反舰导弹(ASM))选择性攻击编队内某个目标或同时攻击其中多个目标成为可能^[2-3]。智能/自主识别技术能为目标选择提供支撑, 但其对整体科技、工业能力要求很

高^[2,4]。当前, 反舰导弹选择目标的方法主要有大目标选择方法、瞄准点选择方法和搜索子区域选择方法^[5]。

此外, 敌编队队形及目标与非目标相互位置关系等信息对目标识别意义重大^[1,4,6]。在队形识别的基础上, 可利用点集匹配思想, 融合速度等目标运动信息进行目标选择^[7-10]。

不管采取何种方法, 有效地分辨编队内目标和非目标是不可或缺的前提和基础。而反舰导弹末制导雷达的分辨力是一定的, 如何采取合理的战术确保对目标与非目标的有效分辨, 是值得研究的重要问题。本文在考虑反舰导弹射击误差的基础上, 根据敌编队队形和运动状态, 研究攻击方向和自导距离的确定问题。而以往对攻击方向、自导距离的研究主要为解决导弹的飞行安全和相互干扰问题, 没有考虑到目标识别的需求^[11]。

收稿日期: 2016-06-25

修回日期: 2016-07-20

基金项目: 海军航空工程学院青年基金(HYQN201413)

作者简介: 陈 榕(1984—), 男, 江西新余人, 博士, 讲师, 研究方向为海军兵种作战运用。

1 ASM末制导雷达截获编队中预定目标必要条件

假定导弹末制导雷达的距离分辨力和角度分辨力分别为 Δd_0 和 $\Delta\theta_0$, 末制导雷达开机时, 导弹与敌舰船的相对位置关系如图 1 所示(为便于研究, 在分析问题和建立模型时将舰船看成质点)。

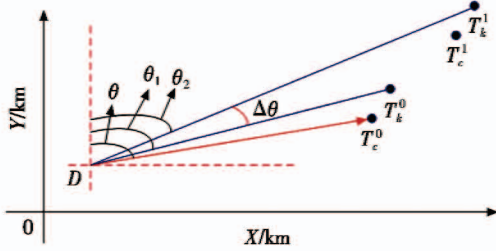


图1 导弹与敌舰船的相对位置关系

Fig. 1 Relative location of missile and enemy ships

图 1 中: D 点为末制导雷达开机位置; T_c^0 和 T_c^1 分别为导弹发射时目标舰船和舰船 1 (非目标) 的位置; T_k^0 和 T_k^1 分别为导弹末制导雷达开机时目标舰船和舰船 1 的位置; DT_c^0 为导弹飞行方向, 无论目标位置在何处, 末制导雷达总是以导弹飞行方向为中心进行扇扫, 因而产生了如图所示目标与非目标的角度差 $\Delta\theta$; 距离差 $\Delta d = |DT_k^0 - DT_k^1|$ 。

为确保末制导雷达对目标舰船的有效捕捉, 目标舰船与非目标舰船的相对位置关系应满足

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

2 攻击方向与自导距离对分辨力的影响

2.1 攻击方向对分辨力的影响

如图 1 所示, DT_c^0 与 Y 轴的夹角为导弹攻击方向角 θ , DT_k^0 与 Y 轴的夹角为 θ_1 , DT_k^1 与 Y 轴的夹角为 θ_2 。已知 T_c^0 和 T_c^1 的坐标分别为 (x_{c0}, y_{c0}) , (x_{c1}, y_{c1}) , T_k^0 和 T_k^1 的坐标分别为 (x_{k0}, y_{k0}) , (x_{k1}, y_{k1}) , 自导距离 $DT_c^0 = D_{ld}$, 且

$$D_{ld} = ((x_d - x_{c0})^2 + (y_d - y_{c0})^2)^{1/2} \quad (2)$$

则

$$\theta = 90 - \arctan \frac{y_{c0} - y_d}{x_{c0} - x_d} \quad (3)$$

θ_1 和 θ_2 分别为

$$\theta_1 = 90 - \arctan \frac{y_{k0} - y_d}{x_{k0} - x_d} \quad (4)$$

$$\theta_2 = 90 - \arctan \frac{y_{k1} - y_d}{x_{k1} - x_d} \quad (5)$$

角度差

$$\Delta\theta = |\theta_1 - \theta_2| \quad (6)$$

末制导雷达开机时, 导弹与目标舰船、舰船 1 的距离分别为

$$DT_k^0 = ((x_{k0} - x_d)^2 + (y_{k0} - y_d)^2)^{1/2} \quad (7)$$

$$DT_k^1 = ((x_{k1} - x_d)^2 + (y_{k1} - y_d)^2)^{1/2} \quad (8)$$

距离差

$$\Delta d = |DT_k^0 - DT_k^1| \quad (9)$$

假定 $(x_{c0}, y_{c0}) = (70, 20)$, $(x_{c1}, y_{c1}) = (71, 22)$, $(x_{k0}, y_{k0}) = (73, 21)$, $(x_{k1}, y_{k1}) = (74, 23)$, $D_{ld} = 60$ (单位 km), 攻击方向为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

攻击方向与角度差、距离差的关系如图 2 所示。由图 2 可知, 自导距离一定的条件下, 目标与舰船 1 相对于导弹的距离差和角度差随攻击方向的变化明显变化, 甚至会导致距离差和角度差值为 0 的情况出现。

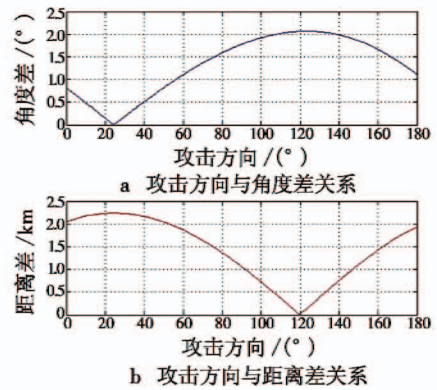


图2 攻击方向与角度差、距离差的关系

Fig. 2 Attack angle vs angular and range difference

2.2 自导距离对分辨力的影响

发现来袭导弹之后, 敌编队可能会转向或变换队形以规避、抗击。而自导距离的大小决定编队机动时间的多少, 也会对距离差和角度差产生影响, 不同自导距离下导弹与敌舰船相对位置关系见图 3。

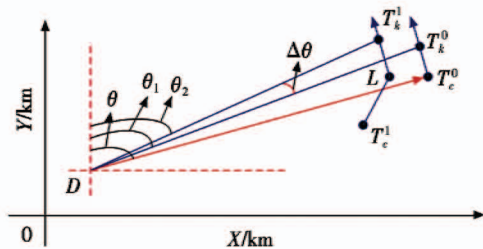


图3 不同自导距离下导弹与敌舰船相对位置关系

Fig. 3 Relative location of missile and enemy ships when homing distance changes

由相关文献可知, 编队队形具有稳定性和规律性^[1]。如图 3 所示, 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 先以速度 V_{t1} 向 L 点航行, 到达后与目标舰船保持等速同向航行。已知 T_c^0 和 T_c^1 的坐标分别为 (x_{c0}, y_{c0}) , (x_{c1}, y_{c1}) , 导弹攻击方向角为 θ , 航路距

离为 D_{hl} , 航路飞行平均速度为 V_{hl} , 末制导雷达开机前目标机动距离 $T_c^0 T_k^0 = D_{jd}$, 同时, 为形成特定的抗击队形, L 与 T_k^0 保持坐标差 (x, y) 。 T_k^0 和 T_k^1 坐标未知, 设自导距离 $DT_c^0 = D_{ld}$, 其余变量和字母含义同图 1。

则导弹自控飞行距离

$$D_{zk} = D_{hl} - D_{ld} \quad (10)$$

末制导雷达开机前目标机动距离

$$D_{ijd} = V_{i0} \cdot \frac{D_{zk}}{V_{hl}} \quad (11)$$

T_k^0 的坐标为

$$\begin{cases} x_{tk0} = x_{tc0} - D_{ijd} \sin(90 - \theta) \\ y_{tk0} = y_{tc0} + D_{ijd} \cos(90 - \theta) \end{cases} \quad (12)$$

令 L 点坐标

$$(x_l, y_l) = (x_{tk0} - x, y_{tk0} - y) \quad (13)$$

则

$$\begin{cases} x_l = x_{tc0} - D_{ijd} \sin(90 - \theta) - x \\ y_l = y_{tc0} + D_{ijd} \cos(90 - \theta) - y \end{cases} \quad (14)$$

D 点的坐标

$$\begin{cases} x_d = x_{tc0} - D_{ld} \cos(90 - \theta) \\ y_d = y_{tc0} - D_{ld} \sin(90 - \theta) \end{cases} \quad (15)$$

令 $T_c^1 L = d_1$, 则

$$d_1 = ((x_{tc1} - x_l)^2 + (y_{tc1} - y_l)^2)^{1/2} \quad (16)$$

当 $\frac{d_1}{V_{d1}} \geq \frac{D_{zk}}{V_{hl}}$, 即末制导雷达开机时, 舰船 1 正在向

L 点机动, 则末制导雷达开机时, 舰船 1 的位置 T_k^1 坐标 (x_{tk1}, y_{tk1}) 为

$$\begin{cases} x_{tk1} = x_{tc1} + V_{d1} \cdot \frac{D_{zk}}{V_{hl}} \cdot \frac{x_l - x_{tc1}}{d_1} \\ y_{tk1} = y_{tc1} + V_{d1} \cdot \frac{D_{zk}}{V_{hl}} \cdot \frac{y_l - y_{tc1}}{d_1} \end{cases} \quad (17)$$

当 $\frac{d_1}{V_{d1}} < \frac{D_{zk}}{V_{hl}}$, 即末制导雷达开机时, 舰船 1 正与目

标舰船保持等速同向航行, 则末制导雷达开机时, 舰船 1 的位置 T_k^1 坐标 (x_{tk1}, y_{tk1}) 为

$$\begin{cases} x_{tk1} = x_l - V_{d0} \cdot \left(\frac{D_{zk}}{V_{hl}} - \frac{d_1}{V_{d1}} \right) \cdot \sin(90 - \theta) \\ y_{tk1} = y_l + V_{d0} \cdot \left(\frac{D_{zk}}{V_{hl}} - \frac{d_1}{V_{d1}} \right) \cdot \cos(90 - \theta) \end{cases} \quad (18)$$

由式(4)~式(9)可得角度差 $\Delta\theta$ 和距离差 Δd 。

假定 $(x_{tc0}, y_{tc0}) = (90, 40)$, $(x_{tc1}, y_{tc1}) = (80, 35)$, $(x_l, y_l) = (8, 10)$ (单位 km), $\theta = 40^\circ$, $D_{hl} = 300$ km, $V_{hl} = 320$ m/s, $V_{i0} = 28$ kn (1 kn = 1.852 km/h), $V_{d1} = 32$ kn。

令 D_{ld} 取值 20~50 km, 自导距离与角度差、距离差的关系如图 4 所示。

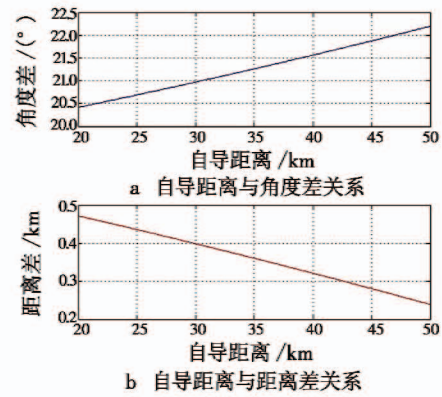


图4 自导距离与角度差、距离差的关系

Fig.4 Homing distance vs angular and range difference

由图 4 可知, 攻击方向一定的条件下, 目标与舰船 1 相对于导弹的距离差和角度差随自导距离的变化而明显变化。

3 攻击方向与自导距离的选择

上述分析基于导弹自控终点和舰船位置无误差的情况。实际上, 导弹的射击误差也会影响导弹、目标、非目标之间的相对位置关系。其中, 目标指示误差、目标机动误差影响目标舰船、非目标舰船的位置, 导弹自控终点散布误差影响导弹末制导雷达开机位置, 且以上误差皆服从零均值高斯分布^[12]。

令目标指示误差的均方差为 σ_{za} , 目标机动误差的均方差为 σ_{jd} , 导弹自控终点散布误差的均方差为 σ_{zk} , 则舰船位置误差的方差 $\sigma_m = \sqrt{\sigma_{za}^2 + \sigma_{jd}^2}$, 导弹位置误差的方差 $\sigma_d = \sigma_{zk}$ 。根据“3 σ ”原则, 可认为目标、非目标、导弹的实际位置位于以各自理想位置点为圆心、半径 3σ 的圆内^[13]。

如图 5 所示, 敌编队由 3 艘舰船组成, 非目标舰船分别为舰船 1、舰船 2。发现来袭导弹后, 敌编队机动策略与 2.2 节相同, 且舰船 1, 2 向 L_1, L_2 点航行的速度分别为 V_{d1}, V_{d2} 。已知 T_c^2 的坐标为 (x_{tc2}, y_{tc2}) , 且 L_1, L_2 与 T_k^0 保持坐标差 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 。自导距离 D_{ld} 、导弹攻击方向角 θ 未知, 其余已知条件与 2.2 节相同。

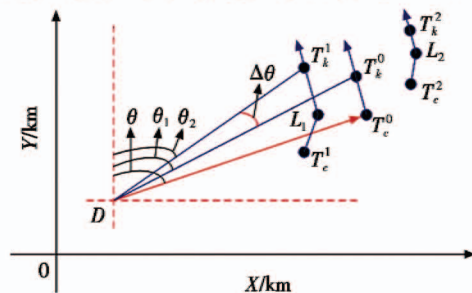


图5 攻击方向、自导距离不定时, 导弹与敌舰船相对位置关系
Fig.5 Relative location of missile and enemy ships when attack angle and homing distance change

T_k^0 的理想坐标如式(12)所示。令 L_1, L_2 点坐标分别为

$$(x_{l1}, y_{l1}) = (x_{ik0} - x_1, y_{ik0} - y_1) \quad (19)$$

$$(x_{l2}, y_{l2}) = (x_{ik0} + x_2, y_{ik0} - y_2) \quad (20)$$

则

$$\begin{cases} x_{l1} = x_{ic0} - D_{ijd} \sin(90 - \theta) - x_1 \\ y_{l1} = y_{ic0} + D_{ijd} \cos(90 - \theta) - y_1 \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} x_{l2} = x_{ic0} - D_{ijd} \sin(90 - \theta) + x_2 \\ y_{l2} = y_{ic0} + D_{ijd} \cos(90 - \theta) - y_2 \end{cases} \quad (22)$$

T_k^0 点坐标上下限为

$$\begin{cases} x_{ik0} = x_{ic0} - D_{ijd} \sin(90 - \theta) \pm 3\sigma_m \\ y_{ik0} = y_{ic0} + D_{ijd} \cos(90 - \theta) \pm 3\sigma_m \end{cases} \quad (23)$$

D 点坐标上下限为

$$\begin{cases} x_d = x_{ic0} - D_{ld} \cos(90 - \theta) \pm 3\sigma_d \\ y_d = y_{ic0} - D_{ld} \sin(90 - \theta) \pm 3\sigma_d \end{cases} \quad (24)$$

令 $T_c^1 L_1 = d_1$, 则

$$d_1 = ((x_{ic1} - x_{l1})^2 + (y_{ic1} - y_{l1})^2)^{1/2} \quad (25)$$

$\frac{d_1}{V_{i1}} \geq \frac{D_{ik}}{V_{hl}}$ 时, T_k^1 点坐标上下限为

$$\begin{cases} x_{ik1} = x_{ic1} + V_{i1} \cdot \frac{D_{ik}}{V_{hl}} \cdot \frac{x_{l1} - x_{ic1}}{d_1} \pm 3\sigma_m \\ y_{ik1} = y_{ic1} + V_{i1} \cdot \frac{D_{ik}}{V_{hl}} \cdot \frac{y_{l1} - y_{ic1}}{d_1} \pm 3\sigma_m \end{cases} \quad (26)$$

$\frac{d_1}{V_{i1}} < \frac{D_{ik}}{V_{hl}}$ 时, T_k^1 点坐标上下限为

$$\begin{cases} x_{ik1} = x_{l1} - V_{i0} \cdot \left(\frac{D_{ik}}{V_{hl}} - \frac{d_1}{V_{i1}}\right) \cdot \sin(90 - \theta) \pm 3\sigma_m \\ y_{ik1} = y_{l1} + V_{i0} \cdot \left(\frac{D_{ik}}{V_{hl}} - \frac{d_1}{V_{i1}}\right) \cdot \cos(90 - \theta) \pm 3\sigma_m \end{cases} \quad (27)$$

令 $T_c^2 L_2 = d_2$, 则

$$d_2 = ((x_{ic2} - x_{l2})^2 + (y_{ic2} - y_{l2})^2)^{1/2} \quad (28)$$

同理, $\frac{d_2}{V_{i2}} \geq \frac{D_{ik}}{V_{hl}}$ 时, T_k^2 点坐标上下限为

$$\begin{cases} x_{ik2} = x_{ic2} + V_{i2} \cdot \frac{D_{ik}}{V_{hl}} \cdot \frac{x_{l2} - x_{ic2}}{d_2} \pm 3\sigma_m \\ y_{ik2} = y_{ic2} + V_{i2} \cdot \frac{D_{ik}}{V_{hl}} \cdot \frac{y_{l2} - y_{ic2}}{d_2} \pm 3\sigma_m \end{cases} \quad (29)$$

$\frac{d_2}{V_{i2}} < \frac{D_{ik}}{V_{hl}}$ 时, T_k^2 点坐标上下限为

$$\begin{cases} x_{ik2} = x_{l2} - V_{i0} \cdot \left(\frac{D_{ik}}{V_{hl}} - \frac{d_2}{V_{i2}}\right) \cdot \sin(90 - \theta) \pm 3\sigma_m \\ y_{ik2} = y_{l2} + V_{i0} \cdot \left(\frac{D_{ik}}{V_{hl}} - \frac{d_2}{V_{i2}}\right) \cdot \cos(90 - \theta) \pm 3\sigma_m \end{cases} \quad (30)$$

为确保导弹末制导雷达有效识别目标, 目标与非目标之间的距离差和角度差取最小值, 即

$$\Delta\theta = \min |\theta_1 - \theta_2| \quad (31)$$

$$\Delta d = \min |DT_k^0 - DT_k^1| \quad (32)$$

式中, $\theta_1, \theta_2, DT_k^0, DT_k^1$ 分别如式(4)、式(5)、式(7)、式(8)所示。由此, 得到不同的攻击方向和自导距离条

件下, 导弹末制导雷达“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)即可判断选择的攻击方向和自导距离是否能够使导弹正确分辨目标。

4 仿真分析

假定图5所示敌编队舰船的坐标如表1所示, 导弹参数如下: 导弹飞行航路距离 $D_{hl} = 300$ km, 航路飞行平均速度 $V_{hl} = 320$ m/s, 自导距离 D_{ld} 为 15 ~ 60 km, 攻击方向角为 $0^\circ \sim 180^\circ$; 末制导雷达距离分辨力 $\Delta d_0 = 80$ m, 角度分辨力 $\Delta\theta_0 = 4^\circ$, 敌舰船机动速度 $V_{i0} = 28$ kn, $V_{i1} = V_{i2} = 32$ kn, $x_1 = 8$ km, $y_1 = 10$ km, $x_2 = 10$ km, $y_2 = 8$ km, $\sigma_m = 300$ m, $\sigma_{jd} = 300$ m, $\sigma_{sk} = 500$ m, 则 $\sigma_m = 424$ m, $\sigma_d = 500$ m。

表1 敌舰船坐标

Table 1 Coordinates of enemy ships

敌舰船	X轴/km	Y轴/km
目标舰船	90	40
非目标舰船1	80	35
非目标舰船2	100	45

由 Matlab 仿真可知, 不同的攻击方向条件下, 目标与非目标的距离差、角度差对自导距离的约束如图6所示。

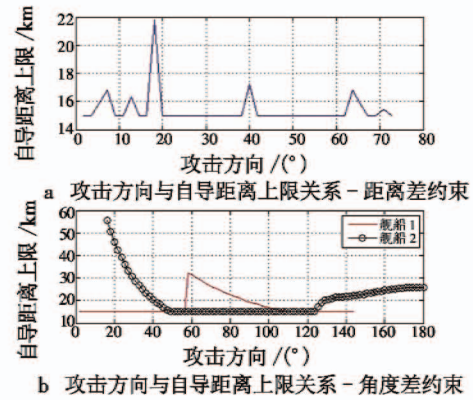


图6 距离差、角度差对自导距离的约束

Fig.6 Constrains of range and angular difference to homing distance

不同的攻击方向条件下, 目标与非目标的距离差、角度差对自导距离的约束如图7所示。

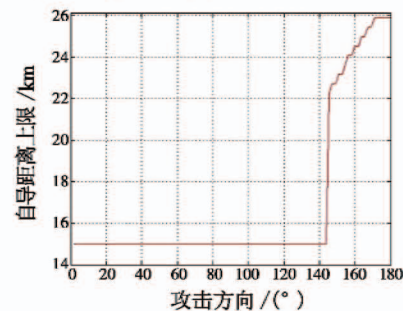


图7 不同攻击方向时自导距离的约束

Fig.7 Constrain of homing distance when attack angle changes

(下转第110页)

型并分别求出瞬时频率,分析对比得出:改进方法大大提升了利用时变 AR 模型测量复杂非平稳信号瞬时频率的精度,并进一步拓展了时变 AR 模型的使用范围。

参 考 文 献

- [1] 刘立君,王奇,杨克己,等. 基于 EMD 和频谱校正的故障诊断方法[J]. 仪器仪表学报,2011, 32(16): 1278-1283.
- [2] 张贤达,保铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [3] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998, 1971(454): 903-995.
- [4] SMITH J S. The local mean decomposition and its application to EEG perception data[J]. Journal of the Royal Society Interface, 2005, 2(5): 443-454.
- [5] RAO T S. The fitting of non-stationary time-series models

with time dependent parameters[J]. Journal of the Royal Statistical Society; Series B, 1970, 32(2): 312-322.

- [6] AUGER F, FLANDRIN P. Improving the readability of time-frequency and time-scale representations by the reassignment method[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1995, 43(5): 1068-1089.
- [7] GRENIER Y. Time-dependent ARMA modeling of nonstationary signals[J]. IEEE Transactions on ASSP, 1983, 31(4): 899-911.
- [8] 程军圣,张亢,杨宇,等. 局部均值分解与经验模式分解的对比研究[J]. 振动与冲击,2009, 28(5): 13-16.
- [9] 张淑清,孙国秀,李亮,等. 基于 LMD 近似熵和 FCM 聚类的机械故障诊断研究[J]. 仪器仪表学报,2013, 34(3): 714-720.
- [10] KHAN M E, DUTT D N. An expectation-maximization algorithm based Kalman smoother approach for Event-Related Desynchronization (ERD) estimation from EEG [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2007, 54(7): 1191-1198.

(上接第 64 页)

由图 7 可知,在假定的战场态势下,为确保反舰导弹可靠分辨预定目标,当攻击方向不同时,其自导距离不应超过图 7 所示的对应曲线。

5 结 论

反舰导弹攻击编队目标时,导弹攻击方向、自导距离、目标与非目标的位置及相互运动关系、导弹射击误差直接影响导弹末制导雷达“视场”内目标与非目标的距离差和角度差,从而影响导弹对预定目标的选择。

1) 自导距离一定的条件下,即便敌编队位置固定,导弹末制导雷达“视场”内目标和非目标的距离差和角度差也会随攻击方向的变化而明显变化。

2) 攻击方向一定的条件下,由于敌编队内各舰船的相对运动和位置变化,导弹末制导雷达“视场”内目标和非目标的距离差和角度差随攻击方向的变化而明显变化。

3) 反舰导弹打击编队目标时,攻击方向、自导距离、目标机动、射击误差共同决定导弹末制导雷达“视场”内目标和非目标的距离差和角度差,影响目标的分辨和选择。

4) 为确保目标选择的正确性,应协调确定反舰导弹的攻击方向和自导距离。即自导距离应根据不同的攻击方向,在确保目标与非目标距离差和角度差满足末制导雷达分辨力要求的前提下合理选择。

参 考 文 献

- [1] 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.

- [2] 刘永,杨健,朱剑,等. 反舰导弹制导技术发展综述[J]. 计算机仿真,2016, 33(2): 10-16.
- [3] 佟海鹏,孔键,章水林. 复杂电磁环境下岸舰导弹技术特点及应用[J]. 飞航导弹,2010(11): 48-51.
- [4] 卢毅,姜永华,翟龙军,等. 空舰导弹获取舰艇编队形状能力研究[J]. 航空学报,2011, 32(1): 145-155.
- [5] 张国栋,黄亮,刘忠. 基于目标运动特征和 TOPSIS 决策的多目标选择方法[J]. 海军工程大学学报,2014, 26(1): 103-107.
- [6] 董受全,宋伟. 基于空间方向相似性的编队队形识别算法[J]. 火力与指挥控制,2010, 35(11): 167-169.
- [7] 卢毅,姜永华. 反舰导弹对目标选择的一种新方法[J]. 航空学报,2010, 31(4): 778-784.
- [8] 司洪利,卢毅. 基于编队形状的反舰导弹预定目标选择模型特点[J]. 海军航空工程学院学报,2012, 27(6): 669-673.
- [9] 姜永华,但波,李敬军. 基于目标速度信息的海上编队目标选择技术[J]. 战术导弹技术,2013(1): 47-51.
- [10] 宁云晖,范晓虹,李欣. 在编队机动转向状态下选择指定目标的一种新方法[J]. 火力与指挥控制,2013, 38(3): 120-123.
- [11] 陈榕,沈培志,张海峰,等. 多型反舰导弹协同攻击岛礁区目标攻击方向研究[J]. 电光与控制,2016, 23(5): 22-25.
- [12] 陈邓安,卢毅,吴杰. 基于最优选择点的预定目标选择方法[J]. 弹箭与制导学报,2012, 32(2): 49-52.
- [13] 埃博哈德·蔡德勒. 数学指南——实用数学手册[M]. 李文林,译. 北京:科学出版社,2015.