

# 反舰导弹 HOJ 模式侧向命中精度分析\*

江言林<sup>1</sup>, 陈雪侏<sup>1</sup>, 亓文永<sup>2</sup>

(1 海军兵种指挥学院, 广州 510430; 2 91868 部队, 海南三亚 572000)

**摘要:**从分析导弹自导命中精度的误差来源入手,以末制导雷达的“烧穿距离”为衡量指标,建立了 HOJ 模式和被、主动转换方式的命中随机误差计算模型,并对各方式的侧向命中精度进行了仿真计算。结论表明,被弹面小的高速中、小型舰艇实施有源压制干扰,对导弹 HOJ 模式的命中精度影响大,使导弹使用效果明显下降;导弹射击时,应尽量增大末制导雷达“烧穿距离”,在尽可能远的距离实现雷达被、主动工作模式的转换,以减少有源压制干扰对导弹命中精度的影响。

**关键词:**反舰导弹; HOJ; 命中精度

中图分类号: TJ761.14 文献标志码: A

## A Lateral Hit Accuracy Analysis on the HOJ Mode of Anti-ship Missile

JIANG Yanlin<sup>1</sup>, CHEN Xuelai<sup>1</sup>, QI Wenyong<sup>2</sup>

(1 Naval Arms Command Academy, Guangzhou 510430, China; 2 No. 91868 Unit, Hainan Sanya 572000, China)

**Abstract:** From beginning to analysis the error source of the missile self-guided hit accuracy, the “burn-out distance” of the end-guided radar is taken as the weigh index. The computational models on the hit random error of the homing on jamming(HOJ) way and the shift of the passive and initiative way are established. The lateral hit accuracy of each work way of the missile, under the strong noise jamming condition, is simulated and computed. The conclusion indicates that it will influence the hit accuracy and reduce the efficiency for the high speed mosquito craft to use the source jamming, and reduce the jamming effect for the end-guidance radar to increase the burn-through range and shift the work mode from passiveness to initiative.

**Keywords:** anti-ship missile; homing on jamming; hit accuracy

### 0 引言

为提高反舰导弹在强噪声干扰电磁环境下的使用效能,部分单脉冲雷达体制的反舰导弹已具备干扰源寻的(homing on jamming)的被动工作模式。当舰载电子战系统对导弹进行噪声压制干扰,若末制导雷达接收到的噪声信号超过其正常跟踪目标所需要的信号,导弹将转为干扰源寻的工作模式,按噪声能量最大方向飞向干扰源。HOJ 工作模式的使用,为导弹在复杂电磁环境下的使用提供了一种有效方法。

### 1 HOJ 工作模式相关数学模型建立

#### 1.1 反舰导弹自导命中精度分析模型

反舰导弹对舰艇的自导命中精度,可分解为

侧向自导命中精度和高度自导命中精度两个方面来描述。侧向自导命中精度与目标的外形尺寸、运动参数和导弹攻击舷角有关,还与导弹末制导雷达的角度跟踪误差、动态误差和失控飞行距离等因素有关。其计算公式为:

$$P_{\text{侧向命中}} = \Phi\left(\frac{L_y/2 + \Delta}{\epsilon_w}\right) - \Phi\left(\frac{-L_y/2 + \Delta}{\epsilon_w}\right) \quad (1)$$

式中: $L_y$  为目标在命中平面的有效长度; $\Delta$  为舰艇机动时产生的侧向滞后系统误差; $\epsilon_w$  为导弹侧向命中随机误差。

目标在命中平面的有效长度  $L_y$  的计算公式为:

$$L_y = L \cdot \sin\theta + W \cdot |\cos\theta| \quad (2)$$

式中: $L$  为舰艇的长度; $W$  为舰艇的宽度; $\theta$  为导弹对舰艇的攻击舷角。

\* 收稿日期:2008-05-11

基金项目:军队装备科研基金资助

作者简介:江言林(1958-),男,安徽天长人,副教授,硕士,研究方向:反舰导弹战斗使用。

反舰导弹采用变前置角导引方式时,不同目标横向速度机动时产生的侧向滞后系统误差  $\Delta$  按下式计算:

$$\Delta = a/V_0 \cdot V_m \cdot \sin\theta \quad (3)$$

式中: $a$  为目标横向速度为  $V_0$  时产生的侧向滞后系统误差; $V_m$  为目标航速。

导弹实际命中点与理论命中点间的侧向偏差,即侧向脱靶量  $TB$  的计算公式为:

$$TB = \Delta + \epsilon_w \quad (4)$$

导弹侧向命中随机误差  $\epsilon_w$  的大小与导弹末制导雷达侧向角度跟踪精度、动态误差、失控距离等因素有关。干扰源寻的模式导弹侧向命中随机误差与主动工作方式的导弹侧向命中随机误差相比,主要差别在于末制导雷达对目标(或干扰源)的测角误差上。把因雷达测角误差造成的导弹侧向命中随机误差记为  $\epsilon_1$ ,其余因素造成的导弹侧向命中随机误差记为  $\epsilon_2$ ,则导弹侧向命中随机误差可描述为:

$$\epsilon_w = \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2} \quad (5)$$

式中: $\epsilon_1 = r_{\min} \times \alpha$ ,其中  $r_{\min}$  为雷达的最小使用距离(失控距离), $\alpha$  为雷达测角误差。雷达工作在主动方式时,对目标的测角误差  $\alpha$  很小, $\epsilon_1 \ll \epsilon_2$ ,所以可以近似认为  $\epsilon_w = \epsilon_2$ 。

## 1.2 反舰导弹末制导雷达的烧穿距离

在电子战领域,用来衡量有源压制干扰效能的基本指标是雷达的“烧穿距离”。当反舰导弹采用干扰源寻的模式攻击舰艇目标时,使舰载自卫式噪声干扰失效的雷达“烧穿距离”表达式为:

$$R_0 = \sqrt{\frac{P_t G_t \sigma}{4\pi P_j G_j} \cdot \frac{K_j}{\gamma_j} \cdot \frac{\Delta f_j}{\Delta f_r}} \quad (6)$$

式中: $P_t$  为雷达脉冲发射功率; $G_t$  为雷达发射天线增益; $\sigma$  为舰艇雷达反射面积; $K_j$  为雷达所需的干扰压制系数; $\Delta f_j$  为干扰频谱宽; $P_j$  为干扰机脉冲发射功率; $G_j$  为干扰机天线增益; $\gamma_j$  为干扰信号极化系数,一般取 0.5; $\Delta f_r$  为雷达接收机通带。

## 1.3 不同工作模式对导弹侧向命中精度的影响分析

### 1.3.1 HOJ 工作模式侧向命中随机误差

如果反舰导弹没有受到有源压制干扰,其使用主动雷达工作模式按变前置角导引法跟踪目标,当导弹与目标接近到一定距离(设为允许导弹俯冲攻击距离  $D_{\min}$ ) 时,将按程序规律转入末段俯冲飞行,攻击舰艇能量反射中心位于水线附近部位。

当导弹受到有源压制干扰时,导弹将转为

HOJ 工作模式。如果导弹与目标接近到允许导弹俯冲攻击距离后,末制导雷达烧穿,即  $R_0 < D_{\min}$ 。由于目标与导弹间的距离过近,导弹将不降低俯冲攻击目标,仍然保持在某一高度飞行,沿辐射源噪声方向攻击目标。此时,雷达对噪声源的角度跟踪误差是影响导弹侧向命中随机误差大小的主要因素。噪声杂波干扰会影响雷达的测量精度,造成微波前端和测向接收机饱和,使测角误差增大,导致导弹侧向脱靶量增大。导弹 HOJ 工作模式侧向命中随机误差的计算模型见式(5)。

### 1.3.2 HOJ 转主动工作模式的侧向命中随机误差

如果导弹在达到允许俯冲攻击距离前,末制导雷达烧穿,即  $R_0 > D_{\min}$ ,导弹将恢复主动工作模式。由于单脉冲雷达在跟踪噪声源时,仍保持有一定的测角精度,对目标实施概略跟踪。HOJ 工作模式的使用,将有利于提高后续主动跟踪状态对目标的命中精度,并使导弹能够正常进行俯冲攻击。但被、主动工作状态转换越迟,即雷达烧穿距离越靠近允许导弹俯冲攻击距离,则导弹侧向命中随机误差越大。在式(5)中主要影响式中的  $\epsilon_1$ ,如果反舰导弹能够实现被、主动工作状态的转换,则相应的  $\epsilon_1$  可用一个分段函数来描述。

$$\epsilon_1 = \begin{cases} \epsilon_{11} & R_1 < R_0 < D_{\max} \\ \epsilon_{12} & R_2 < R_0 < R_1 \\ \epsilon_{13} & D_{\min} < R_0 < R_2 \end{cases} \quad (7)$$

式中: $D_{\max}$  为导弹末制导雷达的最小允许开机距离(在电子对抗条件, $D_{\max}$  的取值应考虑在不影响导弹正常工作状态下,尽可能的减小导弹末制导雷达的开机距离); $D_{\min}$  为允许导弹俯冲攻击距离; $R_1$ 、 $R_2$  为导弹与目标的距离; $\epsilon_{11}$ 、 $\epsilon_{12}$ 、 $\epsilon_{13}$  分别为雷达在距离区间 1 $[R_1, D_{\max}]$ 、距离区间 2 $[R_2, R_1]$ 、距离区间 3 $[D_{\min}, R_2]$  烧穿时,由雷达测角误差造成的导弹侧向命中随机误差。

## 2 数值计算分析

### 2.1 末制导雷达相关“烧穿距离” $R_0$ 数值分析

当单脉冲(或单脉冲频率捷变)末制导雷达体制反舰导弹从不同方向向目标齐射 2、3、4 枚导弹,相关末制导雷达技术性能假定为: $P_t = 50\text{kW}$ , $G_t = 501(27\text{dB})$ , $\Delta f_r = 4\text{MHz}$ , $K_j = 3$ ,频率捷变带宽为 400MHz。噪声干扰机具备对多方向来袭导弹进行瞄准和宽带压制干扰能力,相关技术性能假定为: $P_j G_j = 1\text{MW}$ , $\Delta f_j = 10\text{MHz}$ 。

鉴于各型舰艇在不同舷角的雷达反射面积变化起伏较大,在进行相关数值分析计算时,舰艇雷达反射面积  $\sigma(m^2)$  应取不同值。则末制导雷达相关“烧穿距离” $R_0$  计算结果如图 1 所示。

计算结果表明,反舰导弹采用 HOJ 模式时,舰艇的隐身性能和末制导雷达是否采用频率捷变体制对“烧穿距离”的影响较大,其“烧穿距离” $R_0$  是一个变化的量,变化范围在数百米至数千千米间。

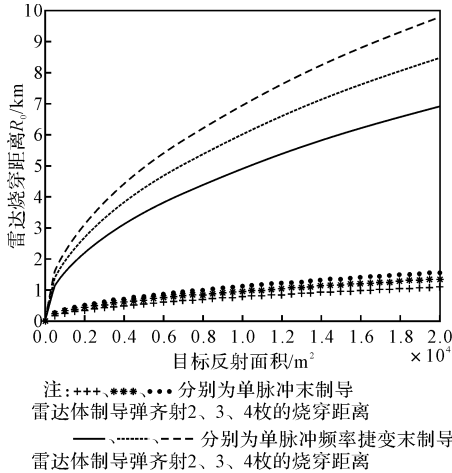


图 1 未制导雷达压制干扰下的“烧穿距离” $R_0$  (km)

### 2.2 导弹在不同工作模式的侧向自导命中概率数值分析

假设  $L = 60m$ 、 $W = 8m$ 、 $V_m = 30kn$ 、 $a = 5m$ 、 $V_0 = 17kn$ 、 $r_{min} = 500m$ 、 $\alpha = 1^\circ$ 、 $\epsilon_2 = 3m$ 、 $D_{max} = 15km$ 、 $D_{min} = 1.5km$ 、 $R_1 = 6km$ 、 $R_2 = 3km$ 、 $\epsilon_{12} = 0m$ 、 $\epsilon_{13} = 2m$ 、 $\epsilon_{13} = 5m$ 。反舰导弹在不同工作模式的侧向命中概率和侧向脱靶量变化曲线分别如图 2、图 3 所示。

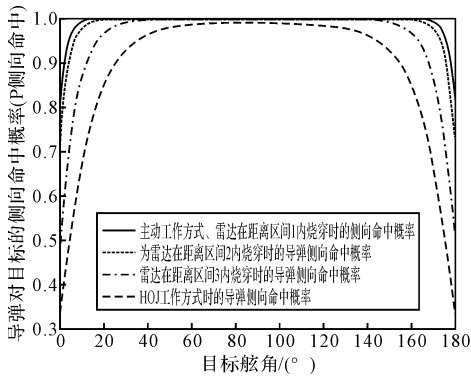


图 2 不同工作模式下,导弹的侧向命中概率变化曲线

### 3 基本研究结论

反舰导弹的干扰源寻的工作模式,为导弹在复杂电磁环境下的运用提供了一种全新的方法。利用导弹的这一功能,能够有效对抗舰载电子战

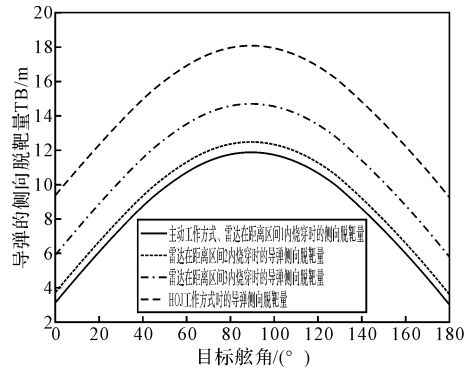


图 3 不同工作模式下,导弹侧向脱靶量变化曲线

系统施放的有源压制干扰,并趋害为利,利用对方施放的干扰打击对方。

但进一步的研究分析表明,使用反舰导弹用于攻击机动性较强、被弹面积较小的中、小型舰艇时,舰艇施放的有源压制干扰,对反舰导弹 HOJ 模式的命中精度会产生较大的影响。在考虑目标进行高速机动状况下,将导致导弹的高度、侧向脱靶量显著增大,导弹打击目标的命中精度(主要是对中小型舰艇)明显下降。而且导弹实际命中点将由舰艇水线附近重要部位,上移至水线上一高度非重要部位,甚至脱靶,从而使导弹半穿甲战斗部的实际使用效果明显下降。

另外,末制导雷达被、主动工作模式转化时,导弹的命中概率要低于主动工作模式,而高于干扰源寻的工作模式的命中精度。因此,在进行导弹射击时,应尽量增大雷达“烧穿距离”,在尽可能远的距离(如在实例中的距离区间 1、2 内)上实现雷达被、主动工作模式的转换。而要做到这一点,需要使用“烧穿距离”较大的频率捷变雷达体制的导弹实施多发、多方向攻击。

#### 参考文献:

- [1] Sergei A Vakin. 电子战基本原理[M]. 吴汉平译. 北京:电子工业出版社,2004:285—310.
- [2] 路史光. 飞航导弹总体设计[M]. 北京:宇航出版社,1991:106—142.
- [3] 张洪涛.“捕鲸叉”雷达导引头抗干扰性能分析[J]. 舰船电子工程,2006,26(6):167—169.
- [4] 李凤山. 单脉冲雷达的抗干扰能力分析[J]. 舰船电子对抗,2003,26(1):34—36.
- [5] 王鉴,张艳花. 单脉冲雷达跟踪噪声源跟踪误差原因分析[J]. 电子对抗技术,2005,9(5):43—45.
- [6] 吴少鹏,华学增. 雷达抗有源压制性干扰性能指标和评估方法[J]. 现代雷达,1999,21(3):1—6.
- [7] 高静,杨甫,王俞琦,等. 单脉冲雷达导引头抗噪声干扰性能分析与验证[J]. 航空兵器,2005,10(5):33—37.