

掠海飞行高度对反舰导弹突防能力的影响

李一龙^a, 王光辉^b, 吕超^b

(海军航空工程学院 a. 研究生管理大队; b. 指挥系, 山东 烟台 264001)

摘要:掠海飞行是反舰导弹常用的突防手段,降低掠海飞行高度在增大反舰导弹隐蔽性的同时也会降低反舰导弹的生存能力;针对掠海飞行高度对反舰导弹隐蔽性和生存能力的影响,根据反舰导弹的突防过程,仿真计算了反舰导弹对舰空导弹和小口径火炮的突防概率以及反舰导弹的生存概率,最后给出了反舰导弹采用不同掠海飞行高度在三种海况下的突防概率;对比分析仿真结果,得到了有用的结论。

关键词:掠海飞行;反舰导弹;突防能力

本文引用格式:李一龙,王光辉,吕超. 掠海飞行高度对反舰导弹突防能力的影响[J]. 四川兵工学报,2014(1):45-48.

中图分类号:TJ761.1

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2014)01-0045-04

Influence of Sea-skimming Flight Height on Penetration Ability of Anti-ship Missile

LI Yi-long^a, WANG Guang-hui^b, LYU Chao^b

(a. Administrant Brigade of Postgraduate; b. Dept. of Command, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Sea-skimming flight is often adopted by anti-ship missile as a penetration method. Aiming at the influence of sea-skimming flight height on concealment and survivability of anti-ship missile and according to the penetration process, the penetration probability of anti-ship missile penetrating ship-to-air missile and small caliber gun and the survival probability of anti-ship missile are calculated. The penetration probability of anti-ship missile penetrating shipborne weapon system is offered. In the meantime, the simulation results are analyzed and some useful conclusions are obtained.

Key words: sea-skimming flight; anti-ship missile; penetration ability

Citation format: LI Yi-long, WANG Guang-hui, LYU Chao. Influence of Sea-skimming Flight Height on Penetration Ability of Anti-ship Missile[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(1):45-48.

反舰导弹是从舰艇、岸上或飞机上发射,攻击水面舰船的导弹,是对海作战的主要武器。自从导航技术的发展使得低空飞行成为可能,掠海飞行已成为反舰导弹最常用的突防方法。掠海飞行的反舰导弹在贴近海面3~20 m的高度飞行,利用地球曲率的限制,能够出其不意的对敌舰进行打击。但随着掠海高度的降低,反舰导弹的击水概率也随之增大。文献[2,9-11]得到的结论认为掠海飞行高度越低则反舰导弹的突防概率越大,但均没有考虑高度对击水概率的影响。

文献[5-8]研究了掠海飞行高度与击水概率的关系,但没有将击水概率与突防概率联系起来。本文在研究反舰导弹突防能力的同时,充分考虑了飞行高度对反舰导弹隐蔽性和生存能力的影响。

1 目标舰艇对来袭导弹最大发现距离

在不考虑除舰载雷达之外的探测设备对目标的发现。

收稿日期:2013-07-22

基金项目:全军军事类研究生课题(2012JY002-491)。

作者简介:李一龙(1988—),男,硕士研究生,主要从事军事运筹学研究。

舰艇在防御反舰导弹攻击时,首先需要舰载雷达发现来袭导弹,然后舰载防空武器才能进行抗击。这里就涉及舰载雷达的最大发现距离问题。

不考虑导弹隐身性和海杂波对雷达探测性能的影响。由于地球曲率的限制,舰载雷达对掠海飞行目标的最大探测距离 D_f 是有限的,主要与其自身的技术参数、天线高度和反舰导弹飞行高度有关。最大探测距离 D_f (单位:km) 的表达式为^[1]

$$D_f = 4.12(\sqrt{H} + \sqrt{h}) \quad (1)$$

式(1)中: H 为雷达天线高度(m); h 为目标飞行高度(m)。这里的最大探测距离 D_f 仅仅是一个理论值,舰载雷达实际的最大探测距离要小于这个理论值,为了统一标准,本文以理论值进行计算。

2 反舰导弹对舰空导弹的突防模型

舰空导弹的发射区是指在舰空导弹发射瞬间,能使导弹和目标在杀伤区遭遇的目标位置所有点构成的空域。发射区的形状和大小,与目标的速度、杀伤区的形状和大小、导弹飞至杀伤区内各点的时间等因素有关。图1为水平面内的舰空导弹杀伤区和发射区的示意图。

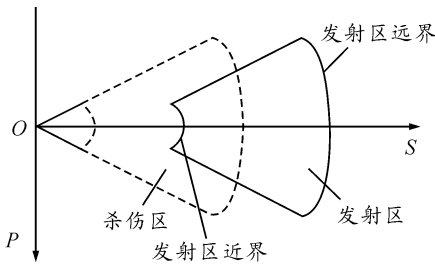


图1 水平面内的杀伤区和发射区

假设敌舰在最大发现距离就能发现来袭导弹,则可确定舰空导弹的发射区为^[2]

$$D_{s \max} = D_f - V_M T_I \quad (2)$$

$$D_{s \min} = D_{\min} + V_M \times D_{\min} / V_I \quad (3)$$

式中: $D_{s \max}$ 为舰空导弹发射区远界; $D_{s \min}$ 为舰空导弹发射区近界; T_I 为舰空导弹系统反应时间; D_{\min} 为舰空导弹杀伤区近界。

在单舰自身拦截情况下,可将舰空导弹和反舰导弹的飞行方向看作一条直线。假设准备进行第 i 次拦截时舰空导弹和反舰导弹的距离为 R_i ;反舰导弹速度为 V_M ;舰空导弹速度为 V_I ;拦截效果评估时间为 T_E 。则:

$$R_1 = D_{s \max} \quad (4)$$

$$R_2 = R_1 - V_M T_E - \frac{R_1 - V_M T_E}{V_M + V_I} * V_M \quad (5)$$

依此类推,可得到

$$R_i = R_{i-1} - V_M T_E - \frac{R_{i-1} - V_M T_E}{V_M + V_I} * V_M \quad (6)$$

如果准备进行第 i 次拦截时 $R_i < D_{s \min}$,则说明舰空导弹

已无法继续拦截该枚反舰导弹。那么舰空导弹对该枚反舰导弹的拦截次数 n 取 $i-1$ 次^[3]。可得到反舰导弹对舰空导弹的突防概率为

$$P_{jd} = \left(1 - \frac{P_d}{W_1}\right) (1 - P_d)^{n-1} \quad (7)$$

式(7)中: P_d 为舰空导弹对单枚反舰导弹的击毁概率; W_1 为必须命中数,参考对抗反舰导弹标准,可取1。

3 反舰导弹对舰炮的突防模型

作为舰艇反导武器的最后一道保障,小口径火炮的任务是拦截所有突破其他舰载反导武器拦截并进入其射程内的反舰导弹。小口径火炮在射击前需要搜索雷达探测到目标并交由跟踪雷达跟踪其运动,当火控系统通过计算并判定来袭目标构成威胁时立即下达开火指令,小口径火炮将在舰艇周围形成密集的火力网将来袭目标摧毁。对进入其最大射程的目标,小口径火炮可发射的最大弹丸数为^[4]

$$N = \frac{n_x}{60} * \frac{R_{m \max} - R_{m \min}}{V_M} \quad (8)$$

式(8)中: n_x 为小口径舰炮的射速; $R_{m \max}$ 为射击最大区间; $R_{m \min}$ 为射击最小区间。

单枚反舰导弹对舰炮的突防概率

$$P_{jp} = \left(1 - \frac{P_p}{W_2}\right)^N \quad (9)$$

式(9)中: P_p 密集阵对反舰导弹的击毁概率; W_2 为平均命中数。

4 反舰导弹生存概率

由于海浪和阵风的影响,飞行高度的降低必然使得反舰导弹的击水概率增大,这直接影响了导弹的生存能力。借鉴文献[5]中对巡航导弹生存能力的定义,可定义反舰导弹的生存能力为:在不考虑敌防御力量的情况下,反舰导弹受到海浪、阵风等干扰因素时,不撞击海浪,正常飞行的能力。可用生存概率 P_s 对生存能力进行度量。生存概率 P_s 和击水概率 P_d 的关系是

$$P_s + P_d = 1 \quad (10)$$

掠海飞行反舰导弹的击水概率估算公式是根据统计结果利用函数多项式拟合得到。掠海飞行反舰导弹的击水概率估算公式如下^[6]

$$\begin{cases} P_{d1} = 0.04127H_k^2 - 0.12468H_k \\ P_{d2} = 0.40431e^{-0.2(L-15)} - 0.00014L^2 \\ P_{d3} = 0.94127e^{-0.5h} + 0.16181\cos^2\beta \\ P_d = P_{d1} + P_{d2} + P_{d3} - 0.05182 \end{cases} \quad (11)$$

式(11)中 H_k 为有义波高(m); L 为导弹飞行距离(km); h 为导弹飞行高度(m); β 为导弹飞行速度方向与海浪传播方向之间的夹角。则反舰导弹对舰载防空武器的突防概率

$$P_{jf} = P_{jd} * P_{jp} * P_s \quad (12)$$

5 仿真分析

以美军的舰载武器基本性能作为仿真输入条件,主要参数如下:

假设舰载雷达天线高度为 20 m。舰空导弹性能参数为:杀伤区远界 74 km;杀伤区近界 2 km;平均飞行速度 $Ma = 2.0$;系统反应时间 8 s;拦截效果评估时间 2 s;单枚舰空导弹对反舰导弹的击毁概率为 0.7。小口径炮性能参数为:射击最大区间 2 000 m;射击最小区间 300 m;射速 3 000 发/分;系统反应时间 6 s。

假设反舰导弹飞行过程中速率不变并且不进行机动; L 取 30 km;掠海飞行高度 h 分别取 3 m、6 m、9 m。海况分别取 0 级、3 级、5 级,以每一级的最高浪高为 H_k 的值,即 0 m、1.25 m、4 m;导弹飞行速度方向与海浪传播方向之间的夹角 β 取 0 度。

根据式(1)~式(7),可得到反舰导弹对舰空导弹的突防概率,如表 1 所示。

表 1 反舰导弹对舰空导弹的突防概率

| 飞行高度/m | 反舰导弹速度(Ma) | | |
|--------|----------------|-------|-------|
| | 0.7 | 1.7 | 2.7 |
| 3 | 11.6% | 27.5% | 42.3% |
| 6 | 7.5% | 27.5% | 42.3% |
| 9 | 7.5% | 27.5% | 42.3% |

反舰导弹在进入近程反舰武器系统的有效射程后,其飞行弹道均为直线或近似直线,因此反舰导弹在突防舰炮时可忽略掠海高度的影响。根据式(8)、式(9),可得到反舰导弹对小口径火炮的突防概率,结果见表 2。

表 2 反舰导弹对小口径火炮的突防概率

| 飞行高度 | 反舰导弹速度(Ma) | | |
|------|----------------|-------|-------|
| | 0.7 | 1.7 | 2.7 |
| 突防概率 | 2.8% | 22.8% | 39.6% |

根据式(10)、式(11),可得到反舰导弹的生存概率,结果见表 3。

表 3 反舰导弹生存概率

| 飞行高度/m | 海况 | | |
|--------|-------|-------|-------|
| | 0 级 | 3 级 | 5 级 |
| 3 | 78.6% | 69.5% | 62.4% |
| 6 | 94.9% | 85.8% | 78.7% |
| 9 | 98.5% | 89.4% | 82.4% |

将表 1、表 2、表 3 得到的结果代入式(12),可得到反舰导弹对舰载防空武器的突防概率,结果见表 4。

表 4 反舰导弹对舰载防空武器的突防概率

| 海况 | 飞行高度/m | 反舰导弹速度(Ma) | | |
|-----|--------|----------------|-------|--------|
| | | 0.7 | 1.7 | 2.7 |
| 0 级 | 3 | 0.26% | 4.93% | 13.17% |
| | 6 | 0.20% | 5.95% | 15.90% |
| | 9 | 0.21% | 6.18% | 16.50% |
| 3 级 | 3 | 0.23% | 4.36% | 11.64% |
| | 6 | 0.18% | 5.38% | 14.37% |
| | 9 | 0.19% | 5.61% | 14.98% |
| 5 级 | 3 | 0.20% | 3.91% | 10.45% |
| | 6 | 0.17% | 4.93% | 13.18% |
| | 9 | 0.18% | 5.17% | 13.80% |

表 1、表 2 和表 4 中可看出速度的增大均使得反舰导弹的突防概率增大。这是因为速度的增大必然使得舰空导弹和小口径火炮对反舰导弹的拦截次数减少。

从表 1 的结果可以看出飞行高度为 3m 时反舰导弹对舰空导弹的突防概率大于飞行高度为 6 m 和 9 m 时候的突防概率。这是由于在不考虑导弹生存概率的情况下,飞行高度的降低使得舰载雷达对导弹的最大发现距离减小,从而减少舰空导弹对反舰导弹的拦截次数。飞行高度为 6 m 和 9 m 时对舰空导弹的突防概率是一样的,由文献[3]可知这是因为舰空导弹对反舰导弹的拦截次数是阶梯变化的,在一定的舰载雷达对导弹的发现距离范围内,拦截次数不变。

从表 4 的结果可以看出在考虑导弹生存概率的情况下,如果反舰导弹速度不变且被拦截次数不变,随着飞行高度的降低导弹的突防概率也随之降低。这是因为掠海飞行高度越低导弹的击水概率越大。

由仿真结果可得到以下结论:

(1) 提高飞行速度是提高单枚反舰导弹突防概率的有效方式;

(2) 在海况较恶劣的环境下,反舰导弹的击水概率可能很大,为保证导弹的突防能力应对击水问题给予充分重视。此时,在反舰导弹被拦截次数不变的掠海飞行高度范围内,提高飞行高度能够增大单枚导弹的突防概率;

(3) 降低掠海飞行高度会对反舰导弹造成两个直接影响:被舰空导弹拦截的次数减少和击水概率的增大。在实际作战中应综合考虑海况、反舰导弹性能和舰载防空武器性能等具体情况,选择最优的掠海飞行高度以实现突防概率的最大化。

6 结束语

降低掠海飞行高度在增大反舰导弹隐蔽性的同时也会

降低反舰导弹的生存能力。针对这一现象,本文重点研究了掠海飞行高度对反舰导弹突防能力的影响。通过仿真分析,得到了在反舰导弹被拦截次数不变的掠海飞行高度范围内,提高飞行高度能够增大单枚导弹的突防概率这一结论。该结论对反舰导弹的作战使用具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 彭汉国,王永洁,赵阳杨. 超声速反舰导弹蛇形机动突防舰空导弹建模仿真[J]. 战术导弹技术,2008(5):78-83.
- [2] 马良,姜青山,汪浩,等. 反舰导弹对舰空导弹的机动突防模型研究[J]. 海军航空工程学院学报,2008,23(2):185-188.
- [3] 任义广,沙基昌,荆涛. 舰空导弹反导作战拦截次数的建模与仿真[J]. 火力与指挥控制,2009,34(10):108-110.
- [4] 宋贵宝,孔丽,李红亮,等. 密集阵反导系统拦截反舰导弹模型研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(10):2128-2130.
- [5] 秦志强,王明海,湛必胜. 巡航导弹海上生存能力模型研究[J]. 火箭与制导学报,2006,26(3):71-73.
- [6] 朱璘,王航宇. 掠海飞行反舰导弹攻击效果仿真研究[J]. 微计算机信息,2008,24(1):246-247.
- [7] 雷小龙,关世义,常伯浚. 掠海飞行导弹击水概率的仿真研究[J]. 宇航学报,1990(3):19-22.
- [8] 张金春,叶振北. 海浪引起的反舰导弹坠海概率分析[J]. 战术导弹技术,2010(6):29-32.
- [9] 方有培,汪立萍,赵霜. 反舰导弹突防技术研究[J]. 航天电子对抗,2004(6):40-44.
- [10] 曾家有,姜青山,张道伟. 提高反舰导弹突防能力的几点对策[J]. 飞航导弹,2006(11):22-25.
- [11] 李勇,马良,郭巍. 超音速反舰导弹蛇形机动的突防方案设计[J]. 舰船电子工程,2009(10):40-43.
- [12] 魏仲英. 防空导弹射击指挥仪设计[M]. 北京:宇航出版社,1993.
- [13] 张书宇,张金春,李雪梅. 多方向饱和攻击时反舰导弹航路规划方法[J]. 兵工自动化,2012(11):6-9.
- [14] 于德新,武志东,张平. 基于“效率”的反舰导弹作战效能评估方法[J]. 四川兵工学报,2012(2):20-22.

(责任编辑 周江川)

(上接第30页)

参考文献:

- [1] 国防科工委军标出版发行部. 国家军用标准 可靠性(I)[Z]. 国防科工委军标出版发行部,1992:15-21.
- [2] 蔡志刚,郭群山. 基于故障树分析法的某型导弹抗干扰试验失败分析[J]. 仪表技术,2009(10):103-105.
- [3] 冒天诚. 故障树与船舶自动控制系统的故障诊断[M]. 大连:大连海事大学出版社,2000:33-39.
- [4] 谢宏,何怡刚,吴杰. 高炮电气随动系统神经智能故障诊断系统的设计与实现[J]. 湖南大学学报,2001(2):17-19.
- [5] 何庆廷,王汉功,陈小虎. 故障树分析法在汽车起重机液压系统故障诊断中的应用[J]. 机床与液压,2008(6):66-67.
- [6] 王家序,周青华. 不完全共因失效系统动态故障树模型分析方法[J]. 系统工程与电子技术,2012(5):124-126.
- [7] 刘正春,赵霞. 某防空武器系统综合电气故障诊断专家系统设计方法[J]. 火力与指挥控制,2011(6):45-47.
- [8] 刁明,刘刚,邹鸿雁. 故障树分析法在汽车故障诊断中的应用[J]. 仪器仪表用户,2010(17):93-94.
- [9] 杜海峰,王娜,张进华. 基于复杂网络的故障诊断策略[J]. 机械工程学报,2010,46(3):34-36.
- [10] 朱芳仪. 故障树分析法在工控故障诊断中的应用[J]. 现代电子技术,2012,35(8):95-97.
- [11] 牟明磊,盖力康,郭智威,等. 基于有限元分析的轴系裂纹故障缓解初步研究[J]. 武汉理工大学学报,2013,35(10):130-134.

(责任编辑 杨继森)