

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.09.006

舰艇编队协同防空射击次数

赵建军¹, 王毅², 杨利斌¹, 付龙文³

(1. 海军航空工程学院兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东 烟台 264001; 3. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 针对现有舰艇防空射击次数模型存在的不足, 建立编队协同防空下的射击次数模型。首先, 对非零航路捷径的情况下单舰射击次数模型进行了求解; 然后, 将编队协同防空射击次数分解为被攻击舰和掩护舰的射击次数之和; 同时, 对掩护舰禁射线与目标进攻线的距离进行研究, 进一步完善了模型; 最后, 对编队连续射击次数与目标进攻舷角、目标流时间间隔和目标速度等参数的关系进行了仿真计算。仿真结果表明: 该模型能有效计算编队的射击次数, 有助于提高编队防空作战的拦截效能。

关键词: 舰艇编队; 射击次数; 航路捷径

中图分类号: TJ762.3 **文献标志码:** A

Firing Time of Warship Formation in Coordination Air Defense

Zhao Jianjun¹, Wang Yi², Yang Libin¹, Fu Longwen³

(1. Dept. of Ordnance Science & Technology, Naval Aeronautic & Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautic & Astronautical University, Yantai 264001, China;

3. Yantai Coastal Zone Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract: The firing time model of warship formation in coordination air defense is set up for the shortcomings of existing firing time model. First the non-zero shortcut route firing time model of single warship is set up under certain assumptions. Then the firing time of warship formation in air defense is decomposed to the sum of the firing times of ship under attack and adjacent ship. At the same time, the distance of ship prohibit line and target offensive line is studied to optimize the model. Finally, the relation between firing time and other parameters, such as target course angle, interval time and velocity, is simulated. The result of simulation shows that this model can calculate the firing time of warship formation effectively and it also can prove the intercepting effectiveness of warship formation air defense.

Key words: warship formation; firing time; route shortcuts

0 引言

现代海战中, 舰载防空导弹武器系统对空中目标的连续拦截射击次数是作战能力的一个重要指标, 也是防空作战指挥系统决策的一个重要依据。现有的拦截射击次数模型大多是基于单舰零航路捷径射击次数的分析模型^[1-2]。实际作战瞬息万变, 特别是在编队协同防空时, 目标相对协同单元的航路捷径往往是非零的。因而确定非零航路捷径情况下的抗击次数模型, 对充分发挥防空单元效能具有重要意义; 因此, 笔者主要研究了单舰非零航路捷径空中目标射击次数模型和编队协同防空条件下的射击次数模型, 为舰艇编队协同防空作战指挥决策提供参考。

1 假设条件

为方便计算, 做如下假设:

1) 单艘舰艇只安装了一套单通道舰空导弹武

器系统;

2) 舰空导弹武器系统总能在足够远处探测目标, 且恰好在杀伤区远界处进行首次拦截;

3) 空中目标的飞行时间间隔一样, 且做水平匀速直线运动;

4) 采用射击-观察-射击模式, 期间没有人为时间延迟;

5) 为获得最大的射击次数, 假设目标总是能够突防, 认为此时舰艇失去防空能力, 舰空导弹武器系统对空射击终止。

2 编队协同防空的射击次数模型

2.1 单舰防空条件下的射击次数模型

单舰防空条件下的射击次数模型主要有零航路捷径和非零航路捷径 2 种。由于零航路捷径下的射击次数模型相关文献研究较多, 因此笔者只研究非零航路捷径条件下的射击次数。

收稿日期: 2012-03-20; 修回日期: 2012-04-16

基金项目: 山东省科技攻关计划项目(2008GG20005005)

作者简介: 赵建军(1965—), 男, 江苏人, 教授, 从事武器装备与作战指挥一体化技术。

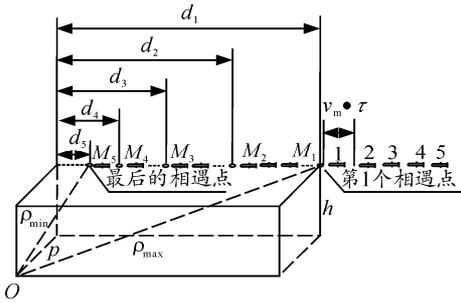


图 1 单舰防空武器系统射击过程示意图

假定来袭目标以高度 h 、航路捷径 P 向载舰飞行，如图 1 所示。图 1 中 O 点为舰空导弹发射点位置，目标的航路捷径点记为 CPA 点， P 为其航路捷径。 M_i 点为第 i 枚防空导弹与目标遭遇时刻所在位置， $i=0, \dots, N$ ， N 为舰空导弹武器系统的总抗击次数； d_i 为目标航路捷径点 CPA 到第 i 个相遇点的距离； ρ_i 为该时刻目标斜距；则经过计算可得^[3]：

$$d_i = \sqrt{\rho_i^2 - h^2 - p^2} \quad (1)$$

$$d_i = d_{i-1} - v_m \cdot (T - \tau) - d_i \cdot \lambda \quad (2)$$

式中： v_m ， v_d 分别为目标和舰空导弹的平均飞行速度； λ 为目标平均飞行速度 v_m 与舰空导弹平均速度 v_d 之比值； τ 为空中目标群相邻 2 个单目标之间的时间间隔； T 为舰空导弹武器系统一次完整射击间隔与该枚防空导弹飞行时间的差值。

由于舰空导弹的第 1 次拦截射击必须保证在舰空导弹的杀伤区远界处进行，第 n 次拦截射击的相遇点应该在杀伤区的近界。即：

$$d_1 = \sqrt{\rho_{\max}^2 - h^2 - p^2} \quad (3)$$

$$d_n = \sqrt{\rho_{\min}^2 - h^2 - p^2} \quad (4)$$

式中： ρ_{\max} 为舰空导弹武器系统杀伤区远界； ρ_{\min} 为舰空导弹武器系统杀伤区近界。经过推导可得单舰防空武器系统的射击次数为：

$$n = 1 + \text{int} \left\{ \frac{1}{\ln(1 + \lambda)} \cdot \ln \left[\frac{d_1 + v_d(T - \tau)}{d_n + v_d(T - \tau)} \right] \right\} \quad (5)$$

2.2 编队协同防空条件下的射击次数

2.2.1 协同防空区域相关计算

编队协同防空条件下的射击次数是指编队内所有舰艇的射击次数之和。以双舰编队为例，来袭目标攻击其中一舰时，另一舰为掩护舰，此时，编队总的射击次数就为被攻击舰对（零航路捷径）目标的射击次数与掩护舰（非零航路捷径）目标的射击次数之和^[4]。

图 2 所示为典型双舰协同防空图。图中 O_1 舰为被攻击舰， O_1 的航路捷径为 0； O_2 舰为掩护舰， O_2 舰的航路捷径为 P ；舰空导弹的射界范围为左右舷 $Q_{\min} \sim Q_{\max}$ ， Q_m 为目标来袭舷角；由图 2 可见，当目标来袭舷角 Q_m （相对于 O_1 舰）大于 Q_{\min} ，小于 Q_{\max} 时， ABC 所组成的区域就是 O_1 受到攻击时， O_2 舰进行掩护时的协同防空空域。 O_1 舰的射击次数可见参考文献[1]。要计算 O_2 舰的射击次数，先要计算 O_2 舰与目标在其杀伤区左禁射线交点 M_2 的距离 O_2M_2 。

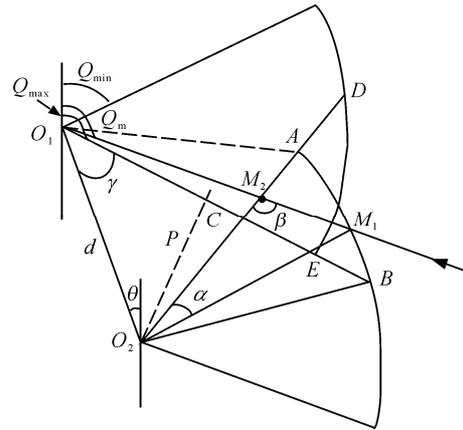


图 2 双舰协同防空射界示意图

在 $\Delta O_1M_1O_2$ 中，根据正弦定理可得：

$$\frac{O_2M_1}{\sin \angle O_2O_1M_1} = \frac{d}{\sin \angle O_2M_1O_1} \quad (6)$$

式中： $\angle O_2O_1M_1 = \pi - \theta - Q_m$ ， $O_2M_1 = D_{f\max}$ ， $D_{f\max}$ 为发射区远界斜距，经过计算可得：

$$\angle O_2M_1O_1 = \arcsin \left(\frac{d \sin(\pi - \theta - Q_m)}{D_{f\max}} \right) \quad (7)$$

同时，可求得航路捷径 $P = d \cdot \sin \angle M_1O_1O_2$ 。

在 $\Delta O_1M_2O_2$ 中，根据正弦定理可得：

$$\frac{O_2M_2}{\sin \angle O_2M_1O_1} = \frac{O_2M_1}{\sin \angle O_2M_2M_1} \quad (8)$$

式中： $\angle O_2M_2M_1 = \pi + Q_{\min} - Q_m$ ，经过计算可得：

$$O_2M_2 = \frac{d \sin(\theta + Q_m)}{\sin(Q_m - Q_{\min})} \quad (9)$$

2.2.2 协同防空条件下的射击次数计算

由 2.1 节可知，非零航路捷径下，舰艇的射击是在防空导弹武器系统的杀伤区内；因此，协同防空条件下的射击次数计算，需要对目标穿越掩护舰防区的过程中，是否处于杀伤区内的情况进行讨论^[5]。

由图 3 可得 O_2 舰防空导弹武器系统的发射区远界斜距：

$$D_{f\max} = \left\{ \rho_{\max}^2 + V_m^2 t_{zy}^2 + 2V_m t_{zy} \left[\rho_{\max}^2 - (h^2 + P^2) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

式中, t_{zy} 为目标至杀伤区远界的飞行时间。同理可得发射区近界斜距 $D_{f\min}$ 。

$$D_{f\min} = \left\{ \rho_{\min}^2 + V_m^2 t_{zj}^2 + 2V_m t_{zj} \left[\rho_{\min}^2 - (h^2 + P^2) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

1) 若 $D_{f\min} \leq O_2M_2 \leq D_{f\max}$, 则目标在 O_2 舰防区的飞行过程中, 始终处于杀伤区内。那么, 根据式 (5), O_2 舰的射击次数为:

$$n_2 = 1 + \text{int} \left\{ \frac{1}{\ln(1+\lambda)} \cdot \ln \left[\frac{d_1 + v_d(T-\tau)}{d_m + v_d(T-\tau)} \right] \right\} \quad (12)$$

式中, $d_m = \sqrt{\rho_m^2 - h^2 - p^2}$, ρ_m 为 O_2 舰防空导弹武器系统发射区斜距为 O_2M_2 时, 计算所得对应的杀伤区斜距。

2) 若 $O_2M_2 < D_{f\min}$, 则目标在 O_2 舰防区的飞行过程中, 只有一段时间处于杀伤区内。那么, O_2 舰的射击次数为式 (5), 即:

$$n_2 = 1 + \text{int} \left\{ \frac{1}{\ln(1+\lambda)} \cdot \ln \left[\frac{d_1 + v_d(T-\tau)}{d_n + v_d(T-\tau)} \right] \right\} \quad (13)$$

此外, 当航路捷径为零的情况下, 舰艇防空导弹武器系统的射击次数 n_1 为:

$$n_1 = 1 + \text{int} \left\{ \frac{1}{\ln(1+\lambda)} \cdot \ln \left[\frac{d'_1 + v_d(T-\tau)}{d'_n + v_d(T-\tau)} \right] \right\} \quad (14)$$

$$d'_1 = \sqrt{\rho_{\max}^2 - h^2} \quad (15)$$

$$d'_n = \sqrt{\rho_{\min}^2 - h^2} \quad (16)$$

由于双舰协同防空条件下的射击次数还与储弹量 n_d 和每次齐射导弹数量 s 有关。综合上述, 可求出双舰编队协同防空条件下的总射击次数为

$$c = \min \{ n_1 + n_2, n_{ds} \} \quad (17)$$

式中 $n_{ds} = \frac{n_d}{s}$ 。

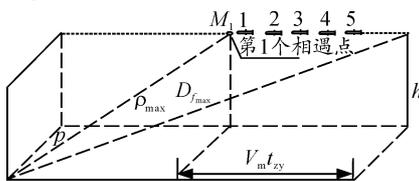


图3 防空武器系统发射区与杀伤区关系示意图

3 仿真结果及分析

假定舰空导弹武器系统为单目标通道数, 舰艇编队队列角为 135° , $v_d=1\ 000\ \text{m/s}$, 发射间隔为 $6\ \text{s}$, $Q_{\min}=30^\circ$, $Q_{\max}=120^\circ$, $h=5\ \text{km}$, 下面分别讨论目标流的进攻舷角、时间间隔、速度对射击次数的影响。

1) 当目标的进攻舷角不同, $v_m=300\ \text{m/s}$, 目标流的时间间隔为 $5\ \text{s}$, 队列角为 135° 时, 编队间距和射击次数的关系如图4所示。

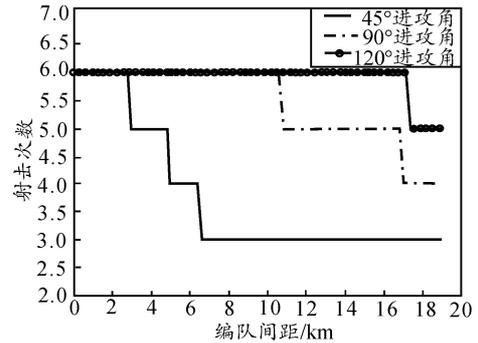


图4 不同进攻舷角下的射击次数

2) 当目标流的时间间隔不同, $v_m=300\ \text{m/s}$, 进攻舷角为 60° , 队列角为 135° 时, 编队间距和射击次数的关系如图5所示。

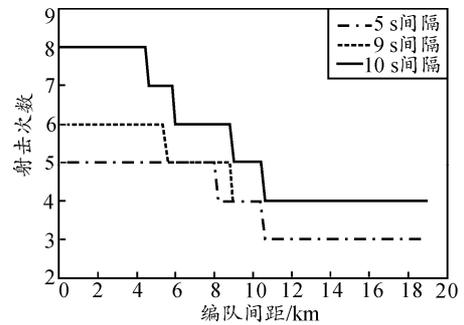


图5 不同目标来袭时间间隔的射击次数

3) 当目标的速度不同, 目标流的时间间隔为 $5\ \text{s}$, 队列角为 135° 时, 编队间距和射击次数的关系如图6所示。

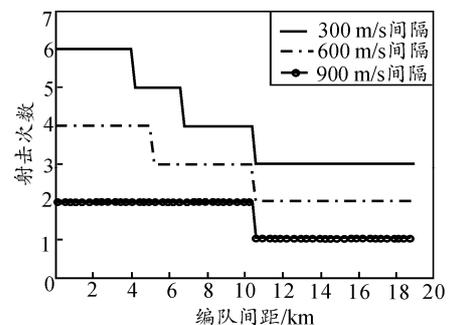


图6 不同目标速度的射击次数