

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.11.011

编队区域防空舰配置距离模型仿真

粘松雷, 陈榕, 林云

(海军航空工程学院研究生队, 山东 烟台 264001)

摘要: 为有效进行编队防空作战部署, 确保重点目标不受或少受损失, 对区域防空舰与被警戒舰艇之间的距离问题进行研究。从舰艇编队的整体角度出发, 建立了区域防空舰配置距离模型, 并对模型进行求解及进行仿真实验。仿真分析结果表明: 该模型对区域防空舰配置提出了一定的建议, 给指挥员的决策提供了理论依据。

关键词: 舰艇编队; 区域防空; 配置距离; 数学模型

中图分类号: TJ8 **文献标志码:** A

Simulation of Disposition Distance Model for the Formation Area Anti-Aircraft Destroyer

Nian Songlei, Chen Rong, Lin Yun

(Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to effectively carry through the arrangement of air-defense operation, insure important targets impunity or avoid losses, the distance question is researched between the anti-aircraft destroyer and the warned ship. From the view point of the whole information as a starting point, the model of formation anti-aircraft destroyer disposition is established, and taking example progress solve and simulation. The result shows that the model can offer theory reference for commander. By way of simulation analysis, some suggestions are proposed for area anti-aircraft destroyer disposition.

Keywords: ship formation; area anti-aircraft; disposition distance; mathematical model

0 引言

现代海上编队防空作战已经发展为系统与系统之间的对抗, 由于敌预警探测设备越来越先进, 反舰兵器射程更远、精度更高、破坏力更大, 舰艇编队在不断更新防空武器装备和技术器材的同时, 还应不断完善编队兵力配置。研究编队对空防御队形最佳配置, 就是要研究在一定威胁环境下, 在实施掩护的防空舰艇的数量、武备和探测设备都已经确定的情况下, 怎样去配置编队内各舰船的位置, 使被掩护舰船的生存概率最大, 防御效果最好, 充分发挥整体作战效能^[1]。

舰艇在队形中的阵位要按方位(方位扇面角)和距离(距离范围)确定。指定舰艇在队形中的阵位时必须符合以下原则^[2]: 为被警戒舰艇建立全方位的直接防御; 在受威胁方向建立防导弹、防飞机的屏障; 使敌无法查明被警戒舰艇的位置; 仅装备有防空舰炮和自卫式防空导弹的警戒舰艇, 应与装备近程防空导弹的舰艇在警戒线上均衡地交叉配置。因此, 笔者在确定阵位的方位和距离 2 方面因素后, 主要研究在满足区域火力掩护的要求时, 区域防空舰与被警戒舰艇之间的距离问题。

1 区域防空舰配置距离模型基本假设

当舰艇编队的兵力编成、防空队形及看齐角确定后, 编队各舰之间的舰间斜距就直接决定着担负区域防空作战任务的驱护舰对袭击被掩护舰艇的空中目标的最大抗击次数, 决定了编队区域防空作战的效果。舰间斜距的增大决定了对同一目标最大抗击次数的减小, 因此通过确定满足毁伤目标所需的抗击次数就可以确定编队舰间斜距的最大值^[3]。区域防空舰配置距离模型有如下基本假设:

- 1) 区域防空导弹采用齐射的射击方式且每次齐射 2 枚导弹;
- 2) 来袭目标对被攻击舰的航路捷径为 0;
- 3) 来袭目标总能在足够远的距离被发现, 区域防空导弹第一次齐射时发射的第一枚舰空弹在杀伤区远界与目标相遇;
- 4) 当目标进入被掩护舰点防空导弹发射区远界时, 区域防空导弹停止向该目标射击;
- 5) 由于抗击时间短, 我编队来不及实施机动, 因此整个区域防空导弹抗击过程我编队各舰位置近似不变。

收稿日期: 2011-07-07; 修回日期: 2011-07-25

作者简介: 粘松雷(1982—), 男, 山东人, 博士研究生, 从事海军兵种作战数理战术分析研究。

2 配置距离模型解算方法及过程

1) 变量定义

编队中区域防空导弹驱逐舰 A, 其对被掩护舰 B 掩护位置如图 1, 各变量的定义如下:

队列角为 θ , 舰舰间距为 d , 航路捷径为 P , 点防御舰空导弹对目标的杀伤区远界为 $R_{js\max}$, 发射区远界为 $R_{jf\max}$; 区域防空导弹对目标杀伤区远界为 $R_{q\max}$, 对目标的最大航路勾径为 P_{\max} , 舰空弹飞行速度为 V_d , 来袭目标飞行速度为 V_t 。

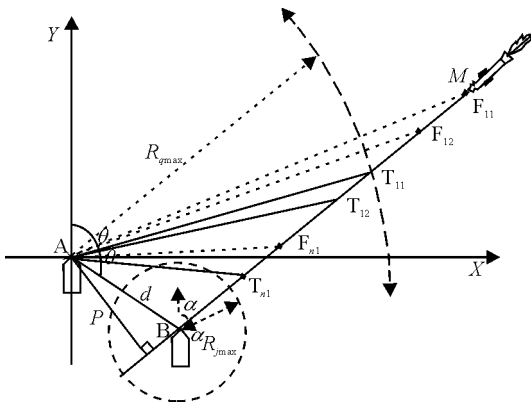


图 1 舰空导弹抗击次数示意图

假设第 i 次齐射时区域防空导弹对目标的拦截点为 T_{i1} 、 T_{i2} ($i=1,2,\dots,N$), 拦截时目标的位置点分别为 F_{i1} 、 F_{i2} ($i=1,2,\dots,N$); 舰空弹齐射间隔为 t_{jg} , 舰空导弹飞行时间分别为 t_{f1} 、 t_{f2} ($i=1,2,\dots,N$), 射击效果评估时间为 $t_{\text{评估}}$; A 舰所处的目标舷角分别为 φ_{i1} 、 φ_{i2} ($i=1,2,\dots,N$), 根据舰空导弹平行导引规律, 舰空导弹发射前置角分别为 θ_{i1} 、 θ_{i2} ($i=1,2,\dots,N$); 舰空导弹飞行距离分别为 $\overline{AT_{i1}}$ 、 $\overline{AT_{i2}}$ ($i=1,2,\dots,N$), 舰空导弹发射时刻目标位置点距 A 舰的距离分别为 $\overline{AF_{i1}}$ 、 $\overline{AF_{i2}}$ ($i=1,2,\dots,N$), B 舰目标舷角为 α 。

2) 解算步骤^[4-6]

① 求目标捷径 P , 根据三角公式得 $P=d \cdot \sin(\theta-\alpha)$, 如果 $P > P_{\max}$, 则停止计算, 设 $N=0$, 否则 $N=1$ 。

$$\text{被掩护舰 B 的坐标为 } \begin{cases} X_B = d \cdot \sin \theta \\ Y_B = d \cdot \cos \theta \end{cases} \quad (1)$$

② 由于要求在第 1 次齐射时第 1 枚区域防空导弹必须在其杀伤区远界命中目标, 所以 $\overline{AT_{11}} = R_{q\max}$, 则第一枚区域防空导弹拦截点 T_{11} 的坐标为:

$$\begin{cases} X_{T_{11}} = X_B + \overline{BT_{11}} \cdot \sin \alpha \\ Y_{T_{11}} = Y_B + \overline{BT_{11}} \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (2)$$

其中, $\overline{BT_{11}} = \sqrt{R_{q\max}^2 - P^2} - \sqrt{d^2 - P^2}$ 。

第 1 次齐射时第 1 枚舰空导弹发射时刻目标位置点 F_{11} 的坐标为:

$$\begin{cases} X_{F_{11}} = X_{T_{11}} + \overline{F_{11}T_{11}} \cdot \sin \alpha \\ Y_{F_{11}} = Y_{T_{11}} + \overline{F_{11}T_{11}} \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (3)$$

其中, $\overline{F_{11}T_{11}} = V_t \cdot t_{f1}$, $t_{f1} = \overline{AT_{11}} / V_d$; t_{f1} 为第 1 次齐射时, 第 1 枚舰空导弹飞行时间。

第 1 次齐射时第 2 枚舰空导弹发射时刻目标位置点 F_{12} 的坐标为:

$$\begin{cases} X_{F_{12}} = X_{F_{11}} - t_{jg} \cdot V_t \cdot \sin \alpha \\ Y_{F_{12}} = Y_{F_{11}} - t_{jg} \cdot V_t \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (4)$$

此时, A 舰所处的目标舷角 $\varphi_{12} = \sin^{-1}(P / \overline{AF_{12}})$,

$\overline{AF_{12}} = \sqrt{X_{F_{12}}^2 + Y_{F_{12}}^2}$, 发射前置角为 θ_{12} , 根据平行导引规律 $\frac{\sin \theta_{12}}{V_t} = \frac{\sin \varphi_{12}}{V_d}$ 即: $\theta_{12} = \sin^{-1}(\frac{V_t}{V_d} \cdot \sin \varphi_{12})$ 。第 2 枚舰空导弹在 T_{12} 点拦截, 由三角公式可得:

$$\overline{F_{12}T_{12}} = \overline{AF_{12}} \cdot \sin \theta_{12} / \sin(\pi - \theta_{12} - \varphi_{12})$$

第 1 次齐射时第 2 枚舰空导弹对目标拦截点 T_{12} 的坐标:

$$\text{即: } \begin{cases} X_{T_{12}} = X_{F_{12}} - \overline{F_{12}T_{12}} \cdot \sin \alpha \\ Y_{T_{12}} = Y_{F_{12}} - \overline{F_{12}T_{12}} \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (5)$$

则, $\overline{AT_{12}} = \sqrt{X_{T_{12}}^2 + Y_{T_{12}}^2}$; 第 1 次齐射时, 第 2 枚舰空导弹飞行时间 $t_{f12} = \overline{AT_{12}} / V_d$ 。

③ 第 2 次齐射时第 1 枚舰空导弹发射时刻目标位置点 F_{21} 坐标为:

$$\begin{cases} X_{F_{21}} = X_{F_{11}} - (t_{jg} + t_{\text{判断}} + t_{f12}) \cdot V_t \cdot \sin \alpha \\ Y_{F_{21}} = Y_{F_{11}} - (t_{jg} + t_{\text{判断}} + t_{f12}) \cdot V_t \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (6)$$

第 2 次齐射时第 2 枚舰空导弹发射时刻目标位置点 F_{22} 坐标为:

$$\begin{cases} X_{F_{22}} = X_{F_{21}} - \overline{F_{21}F_{22}} \cdot \sin \alpha \\ Y_{F_{22}} = Y_{F_{21}} - \overline{F_{21}F_{22}} \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (7)$$

其中, $\overline{F_{21}F_{22}} = t_{jg} \cdot V_t$ 。

此时, A 舰所处的目标舷角 $\varphi_{22} = \sin^{-1}(\frac{P}{AF_{22}})$,

$$\overline{AF_{22}} = \sqrt{X_{F_{22}}^2 + Y_{F_{22}}^2}, \quad \overline{BF_{22}} = \sqrt{(X_{F_{22}} - X_B)^2 + (Y_{F_{22}} - Y_B)^2},$$

发射前置角为 θ_{22} , 根据平行导引规律

$$\frac{\sin \theta_{22}}{V_T} = \frac{\sin \varphi_{22}}{V_d}, \quad \text{得 } \theta_{22} = \sin^{-1}(\frac{V_T}{V_d} \cdot \sin \varphi_{22});$$

第 2 枚舰空导弹在 T_{22} 点拦截, 由三角公式可得:

$$\overline{F_{22}T_{22}} = \overline{AF_{22}} \cdot \sin \theta_{22} / \sin(\pi - \theta_{22} - \varphi_{22})$$

第 2 次齐射时, 第 2 枚舰空导弹拦截点 T_{22} 的坐标为:

标为:

$$\begin{cases} X_{T_{22}} = X_{F_{22}} - \overline{F_{22}T_{22}} \cdot \sin \alpha \\ Y_{T_{22}} = X_{F_{22}} - \overline{F_{22}T_{22}} \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (8)$$

④ 点防御舰空导弹对目标的发射区远界:

$$R_{jffmax}: R_{jffmax} = \frac{R_{jsmax}}{V_d} \times (V_d + V_t) \quad (9)$$

若 $\overline{BF_{22}} < R_{jffmax}$, 则由被掩护舰 B 进行近程防空作战, 区域防空导弹停止对目标的抗击;

若 $\overline{BF_{22}} \geq R_{jffmax}$, 则区域防空导弹仍需对目标实施抗击, 抗击次数 $N = N + 1$ 进行循环计算第 i 次齐射时区域防空导弹对目标的拦截点 T_{i1} 、 T_{i2} 坐标及拦截时目标的位置点 F_{i1} 、 F_{i2} 坐标 (计算方法同计算 T_{21} 、 T_{22} 、 F_{21} 、 F_{22} 位置点坐标)。当区域防空导弹发射时刻目标的位置点已进入被掩护舰 B 点防御舰空导弹发射区远界时停止循环计算, 输出抗击次数 N , 即为区域防空导弹对同一目标的最大抗击次数。

当被警戒舰艇为运输船时, 区域防空导弹对同一目标的最大抗击次数与上述情况基本一致, 唯一不同的是由于运输船不具备对空抗击能力, 此种态势下当目标进入点防空型舰空导弹对该运输船的警戒区域时, 区域防空导弹停止对目标的抗击, 由点防空型舰空导弹对目标进行近程防空作战, 输出抗击次数 N , 即为区域防空导弹对同一目标的最大抗击次数。

3 仿真分析

用 Matlab7.0 软件绘出了各种情况下的舰空导弹射击次数与舰舰间距的关系曲线图。

1) 当来袭目标是反舰导弹时, 区域防空型舰空导弹武器系统在对邻舰进行掩护时对目标的平均抗击次数与舰舰间距的关系曲线如图 2。

计算条件: 导弹目标高度 25 m, 杀伤区远界 15 km, B 舰目标舷角 $\alpha = 45^\circ$ 。

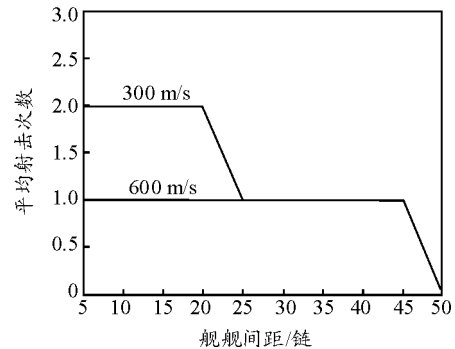


图 2 舰空导弹抗击次数与舰舰间距关系示意图 (导弹目标)

从图 2 可以看出, 当来袭目标是亚音速导弹时, 编队区域防空型导弹武器系统对其它舰的掩护能力与舰舰间距的大小有关。随着舰舰间距的增大, 对各个方向的来袭目标, 平均抗击次数逐渐减小。当舰舰间距小于 20 链时, 平均抗击次数变化不大, 之后抗击次数下降显著。当舰舰间距大于 45 链时, 由于部分扇面进入的目标的航路捷径大于最大航路捷径, 因而对被掩护舰的保护能力急剧下降。

当来袭目标是超音速导弹时, 区域防空导弹武器系统对该类目标的平均抗击次数只有 1 次, 并且随着舰舰间距的增大而减小, 但在舰舰间距小于 45 链时, 抗击次数均在 1 次以上, 可以对目标实施一次齐射。可见, 对导弹目标来说, 在编队中, 区域防空型导弹武器系统对编队的掩护能力是有限的。

根据以上分析, 对导弹目标区域防空导弹武器系统对编队的掩护在确保一次齐射且满足一定杀伤概率情况下的舰舰间距应小于 45 链。

2) 当来袭目标是作战飞机时, 区域防空型舰空导弹武器系统在对邻舰进行掩护时对目标的平均抗击次数与舰舰间距关系曲线如图 3、图 4。

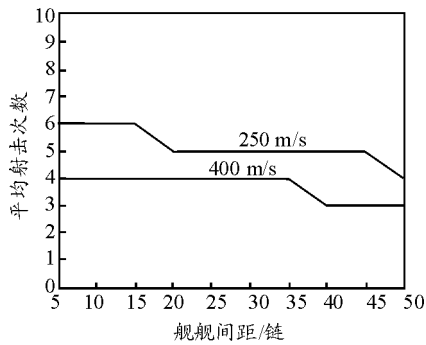


图 3 舰空导弹抗击次数与舰舰间距关系示意图 (飞机目标)

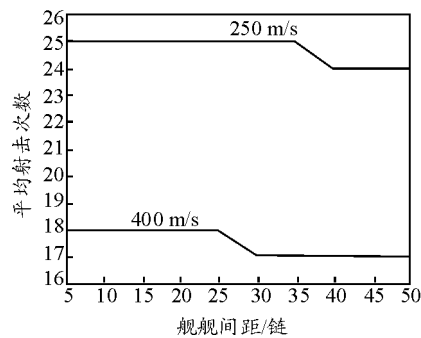


图 4 舰空导弹抗击次数与舰舰间距关系示意图 (飞机目标)

① 计算条件：飞机目标高度 50 m，杀伤区远界 25 km，B 舰目标舷角 $\alpha = 45^\circ$ 。

由于假定目标总能在足够远处被发现，即第一枚舰空导弹在杀伤区远界与目标相遇。由于杀伤区纵深比较大，随着舰舰间距的增大，对目标的平均抗击次数的减小与导弹目标相比并不很显著，当飞机目标高度为 50 m，杀伤区远界 25 km，速度为 250 m/s 时，舰舰间距小于 45 链的范围内，抗击次数都在 5 次以上；当飞机速度提高至 400 m/s 时，舰舰间距小于 35 链的范围内，抗击次数在 4 次以上。所以在同样舰舰间距的条件下，对低空和超低空的飞机目标用区域防空型舰空导弹掩护编队时，其掩护能力比导弹目标提高显著。

② 计算条件：飞机目标高度 1 200 m，杀伤区远界 80 km，B 舰目标舷角 $\alpha = 45^\circ$ 。

当飞机的飞行高度在 1 000 m 以上时，区域防

空型舰空导弹武器系统对目标杀伤区的远界达 80 km，随着舰舰间距的增大，对目标的抗击次数变化不十分显著，当目标速度在 250 m/s 时，舰舰间距小于 35 链时，平均抗击次数 25 次，当目标速度在 400 m/s 时，舰舰间距小于 25 链时，平均抗击次数 18 次，对编队的掩护能力明显提高。

4 结论

根据上述分析及各种防御手段在编队防空作战中的重要程度、现役装备情况，综合考虑从战斗训练和局部战争中的经验，可得出以下结论：

1) 区域防空型舰空导弹武器系统对导弹目标的区域掩护能力有限，对飞机目标具有较强的区域掩护能力。

2) 现代海上作战，直接以飞机对编队进行临空攻击的可能性较小，海上编队更多的是面临反舰导弹的攻击，因而在确定舰舰间距时，应主要考虑对导弹目标的防御，基于此考虑，舰舰间距应不大于 35 链。

此外，为保障机动自由、可靠的舰间超短波通信及舰艇导航雷达的相互观察，舰艇编队的队形不宜过长和过宽，队形过长，影响队形的编成，加上舰艇航速调整范围有限，难以指挥和组织防御；队形过宽，则转向不便，机动困难，影响航行安全。

参考文献：

- [1] 李永刚. 舰艇编队对空防御队形优化配置模型[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004, 26(4): 65-67.
- [2] 吴永杰, 周玉兰. 海上舰艇编队系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999: 50-52.
- [3] 沈治河, 等. 关于水面舰艇编队防空队形的研究[J]. 海军大连舰艇学院学报, 1996(9): 9-15.
- [4] 谭安胜, 邱延鹏, 汪德虎. 新型驱护舰编队防空队形配置[J]. 火力与指挥控制, 2003, 28(6): 4-9.
- [5] 张旭东, 王昭, 孙洁. 舰艇编队雷达组网探测研究[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(7): 8.
- [6] 吴金平, 等. 水面舰艇编队对反舰导弹的威胁判断研究[J]. 系统仿真学报, 2004(5): 12-15.