

航母编队区域防空舰艇配置研究

周亮, 周智超, 张艳辉

(海军陆战学院, 广东 广州, 510430)

摘要: 以单艘区域防空舰艇对航母的掩护扇面为基础, 结合区域防空舰艇数量, 以区域防空总体需求为依据, 对不同情况下舰艇前出距离与配置角之间的关系进行了研究。通过模型确定舰艇前出距离与配置角的取值范围, 针对区域防空任务的不同, 为舰艇合理选择阵位提供了理论依据。

关键词: 区域防空, 舰艇配置, 扇面角

中图分类号: E926

文献标识码: A

0 引言

区域防空舰艇是航母编队防空作战的重要力量, 主要对突破编队远程防空的敌机、敌机发射的空舰导弹进行抗击, 与编队空中巡逻机、编队近程防空舰艇共同构成航母编队防空作战的三层防御体系。区域防空舰艇的配置与编队受敌空中威胁程度、敌突防能力、区域防空舰艇的抗击能力有关, 主要包括舰艇的前出距离和方位。

1 配置原则

敌机从远程防空作战区突防后, 为使区域防空舰艇发射的舰空导弹能够及时对突防敌机、敌机发射的空舰导弹实施抗击, 区域防空舰艇的配置应遵循以下原则:

- 1) 区域防空舰艇在配置点发射舰空导弹时, 应至少能覆盖远程防空作战区的近界, 即编队区域防空作战区与远程防空作战区要有一定纵深的重叠区域;
- 2) 区域防空时, 每艘防空舰平均负责一定扇面的防空区域, 相邻两艘舰艇的防空扇面要有一定程度的重叠, 避免防空区域出现漏洞; 区域防空舰艇构成的防空作战区域至少能覆盖敌威胁扇面;
- 3) 区域防空舰艇前出距离应根据敌突防能力、编队远程防空作战能力、区域防空舰艇舰空导弹性能等综合考虑;
- 4) 区域防空舰艇配置方位应根据敌来袭方向、敌对编队的威胁扇面大小、编队区域防空舰艇数量等综合考虑;
- 5) 当敌机从多方向来袭, 编队防空舰艇数量较少时, 应适当减小舰艇的前出距离, 增大舰艇的配置方位, 使区域防空作战区域覆盖面积增大; 必要时, 应形成对航母的全域覆盖。
- 6) 当敌机突防能力较强、编队远程防空兵力有限时, 应在主要威胁方向上形成防空掩护扇面, 通过适当增大舰艇的配置距离, 减小舰艇的配置方位, 以增加舰艇对敌机的抗击距离和次数, 提高协同抗击的强度。

2 单艘区域防空舰艇对航母的掩护扇面角

设敌机携带的空舰导弹最大有效射程为 $R_{空舰}$, 区域防空舰艇装载的舰空导弹最大有效射程为 $R_{舰空}$ 。

定义 1: 区域防空舰艇阵位的中心点到航母的距离称为区域防空舰艇的前出距离, 用 $D_{前出}$ 表示。

定义 2: 以防空舰艇配置点为圆心, 以 $R_{\text{舰空}}$ 为半径作圆, 所得圆域为舰艇防空作战圆。

定义 3: 以航母位置点为圆心, 以 $R_{\text{空舰}}$ 为半径作圆, 所得圆域为敌空舰导弹攻击圆, 所得圆周为区域防空舰艇对敌机的最迟抗击线。

①当 $D_{\text{前出}} \geq R_{\text{舰空}}, D_{\text{前出}} - R_{\text{舰空}} < R_{\text{空舰}} < D_{\text{前出}} + R_{\text{舰空}}$ 时, 如图 1 所示, 航母位于 O 点, 区域防空舰艇前出至 P_1 点; 舰艇防空作战圆与对敌机最迟抗击线分别交于 $A_1、A'_1$, 连接 $OA_1、OA'_1、P_1A_1、P_1A'_1$, 扇面 $P_1A'_1A_1$ 为舰艇对航母的掩护扇面, θ_1 为舰艇对航母的掩护角。结合下图由余弦定理得:

$$\theta_1 = 2 \arccos \frac{D_{\text{前出}}^2 + R_{\text{空舰}}^2 - R_{\text{舰空}}^2}{2 \cdot D_{\text{前出}} \cdot R_{\text{空舰}}} \quad (1)$$

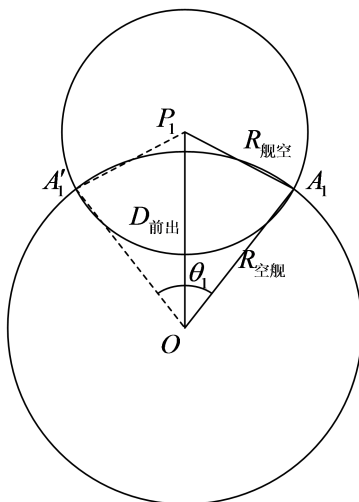


图 1 情况①时单舰艇掩护扇面示意图

此时, 舰艇可在敌机发射空舰导弹前, 对其实施抗击, 可为航母提供大小为 θ_1 的掩护角; 抗击敌机失败后, 舰艇可立即对敌机发射的空舰导弹进行抗击, 掩护角 $\theta_1 = 2 \arccos \frac{D_{\text{前出}}^2 + R_{\text{空舰}}^2 - R_{\text{舰空}}^2}{2 \cdot D_{\text{前出}} \cdot R_{\text{空舰}}}$ 。随着 $D_{\text{前出}}$ 的增大, 掩护角 θ_1 将逐渐减小, 舰艇对敌机的抗击纵深将增大, 抗击次数将增多, 可降低敌发射空舰导弹的几率; 若敌机突围, 则舰艇对敌空舰导弹的抗击纵深、抗击次数将随着 $D_{\text{前出}}$ 的增大而减小, 对航母的掩护角 θ_1 也相应减小。此情况适于敌来袭方向较为集中、敌空舰导弹射程较大、区域防空舰艇数量较多时的配置; 舰艇主要对敌空舰导弹进行抗击, 兼顾对敌机的抗击。

②当 $D_{\text{前出}} \geq R_{\text{舰空}}, R_{\text{空舰}} \leq D_{\text{前出}} - R_{\text{舰空}}$ 时, 如图 2 所示, 航母位于 O 点, 舰艇前出至 P_2 点, 过 O 作舰艇防空作战圆的切线, 分别与圆周相切于 $A_2、A'_2$ 点, 连接 $P_2A_2、P_2A'_2$, 则 $P_2A_2 \perp OA_2$, 扇面 $P_2A_2A'_2$ 为舰艇对航母的掩护扇面, θ_2 为掩护角, 由正弦定理得:

$$\theta_2 = 2 \arcsin \frac{R_{\text{舰空}}}{D_{\text{前进}}} \quad (2)$$

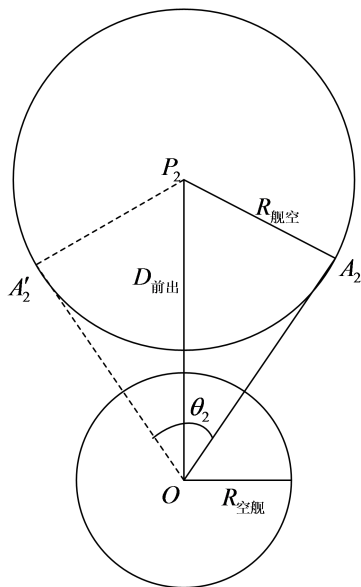


图2 情况②时单舰艇掩护扇面示意图

此时，舰艇可为航母提供大小为 θ_2 的掩护角，敌机只有完全突破舰艇防空作战区后才有机会发射空舰导弹；一旦敌机突防成功，舰艇将不能对敌机发射的空舰导弹实施抗击，即舰艇不能为航母提供抗击敌空舰导弹的掩护扇面。此情况适于编队空中巡逻机数量有限、敌来袭方向较为集中、敌机突击能力较强、编队区域防空舰艇数量较多时的配置；舰艇在防空作战区内全程抗击敌机。

③当 $D_{前出} < R_{舰空}$ ， $R_{舰空} - D_{前出} < R_{空舰} < D_{前出} + R_{舰空}$ 时，如图3所示，航母位于O点，舰艇前出至 P_3 点，舰艇防空作战圆与对敌机的最迟抗击线分别交于 A_3 、 A'_3 点，连接 OA_3 、 OA'_3 、 P_3A_3 、 $P_3A'_3$ ，扇面 $P_3A'_3A_3$ 为舰艇对航母的掩护扇面， θ_3 为舰艇对航母的掩护角。结合图3由余弦定理得：

$$\theta_3 = 2 \arccos \frac{D_{前出}^2 + R_{空舰}^2 - R_{舰空}^2}{2 \cdot D_{前出} \cdot R_{空舰}} \quad (3)$$

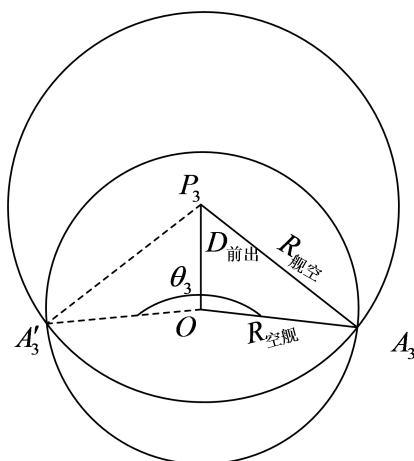


图3 情况③时单舰艇掩护扇面示意图

此时，舰艇在敌机发射空舰导弹前，可对其实施抗击，可为航母提供大小为 θ_3 的掩护角；随着 $D_{前出}$ 的增大，舰艇对敌机的抗击纵深将增大，抗击次数将增多，可降低敌发射空舰导弹的几率，掩护角 θ_3 将逐渐

变小；抗击敌机失败后，舰艇可立即对敌机发射的空舰导弹进行抗击，此时舰艇可为航母提供 360° 的掩护角。此情况适于敌从多方向来袭、敌空舰导弹射程较大、编队防空舰艇数量有限时的配置；舰艇主要对敌空舰导弹进行抗击，兼顾对敌机的抗击。

④当 $D_{前出} < R_{舰空}$ ， $R_{空舰} \leq R_{舰空} - D_{前出}$ 时，如图 4 所示，航母位于 O 点，区域防空舰艇前出至 P_4 ，舰艇防空作战圆完全包含敌空舰导弹攻击圆；此时，舰艇对航母实现全域覆盖，舰艇无论在抗击敌机、还是抗击敌机发射的空舰导弹时，均能为航母提供 360° 的掩护扇面。

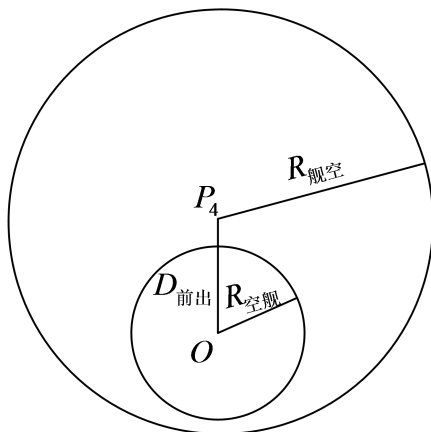


图 4 情况④时单舰艇掩护扇面示意图

此情况适合于敌机从多方向来袭、敌空舰导弹射程小于舰空导弹的射程、编队远程防空作战能力较弱、区域防空舰艇数量较少时的配置；舰艇对敌机和敌机发射的空舰导弹进行综合抗击。

⑤当 $D_{前出} \geq R_{舰空}$ ， $R_{空舰} \geq D_{前出} + R_{舰空}$ 时，如图 5 所示，航母位于 O 点，舰艇前出至 P_5 点，过 O 作舰艇防空作战圆切线，分别与圆周相切于 A_5 、 A'_5 点，连接 P_5A_5 、 $P_5A'_5$ ，则 $P_5A_5 \perp OA_5$ ，扇面 $P_5A'_5A_5$ 为舰艇为航母提供的对敌空舰导弹的掩护扇面， θ_5 为舰艇对航母的掩护角。由正弦定理得：

$$\theta_5 = 2 \arcsin \frac{R_{舰空}}{D_{前出}} \tag{4}$$

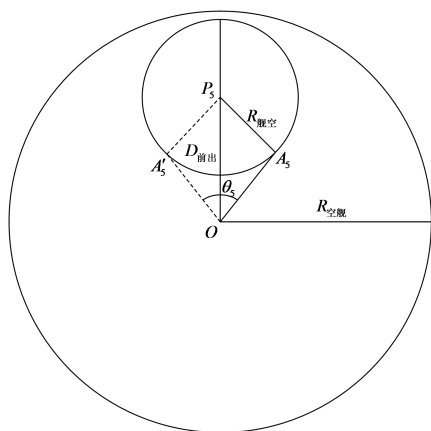


图 5 情况⑤时单舰艇掩护扇面示意图

此时， $D_{前出}$ 越大，舰艇对航母的掩护扇面角就越小。此情况适于敌机携带的空舰导弹射程大于舰艇舰

空导弹的射程、敌机来袭方向较为集中、编队防空舰艇数量较多时的配置；舰艇只能抗击敌空舰导弹。

⑥当 $D_{前出} < R_{舰空}$ ， $R_{空舰} \geq D_{前出} + R_{舰空}$ 时，如图 6 所示，航母位于 O 点，舰艇前出至 P_6 点，此时舰艇可对航母提供 360° 抗击敌空舰导弹的掩护扇面。

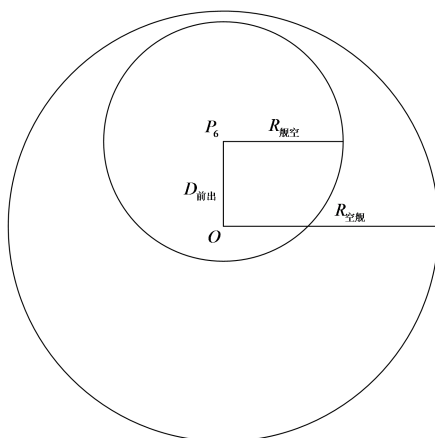


图 6 情况⑥时单舰艇掩护扇面示意图

此情况适合于敌从多方向来袭、敌空舰导弹射程大于舰艇舰空导弹的射程、编队防空舰艇数量较少时的配置；舰艇只能抗击敌空舰导弹。

综合①—⑥分析：当 $D_{前出} < R_{舰空}$ 时，舰艇可为航母提供 360° 抗击敌空舰导弹的掩护扇面；当 $D_{前出} \geq R_{舰空}$ 时，舰艇对航母的掩护扇面应根据 $D_{前出}$ 、 $R_{舰空}$ 、 $R_{空舰}$ 三者之间的关系进行综合判断。

3 区域防空舰艇的配置模型

定义 4：航母编队作战过程中，敌机群来袭的区域是一个以航母为圆心的扇形，该扇形称为航母的防空扇面，扇形的圆心角称为航母的威胁扇面角，用 α 表示，扇形的角平分线即为威胁轴。

航母编队防空作战时，以航母与敌机场或敌航母的连线作为威胁轴，预警机前出一定距离，配置在威胁轴上，此时，编队对空预警探测距离可知；敌空袭兵力的最大有效作战半径、空袭武器的最大有效射程可通过情报获取，视为已知；则结合文献[1]，可得敌空袭兵力对编队的威胁扇面角的大小，设为 α 。

防空作战指挥官根据敌机来袭方向、敌机威胁扇面角 α ，结合敌机、敌空舰导弹的突防能力和单艘区域防空舰艇对航母的掩护扇面，综合确定区域防空舰艇的阵位配置。

(1) 当编队区域防空舰艇数量为奇数时，应将区域防空舰艇中的 1 艘配置在威胁轴上，其余舰艇对称配置在威胁轴两侧。图 7 以 3 艘防空舰艇为例，航母位于 O 点，区域防空舰艇分别位于 A 、 B 、 C 点；为研究问题简便，设 3 艘舰艇为同型舰艇，舰艇的前出距离均为 $D_{前出}$ ，设 $\angle AOB = \angle AOC = \beta$ ； E 、 E' 为相邻两舰艇防空作战圆的交点，连接线段 AB 、 AC 、 OB 、 OC 、 OE 、 OE' ，则 $\angle AOE = \angle BOE = \angle AOE' = \angle COE' = \beta/2$ 。

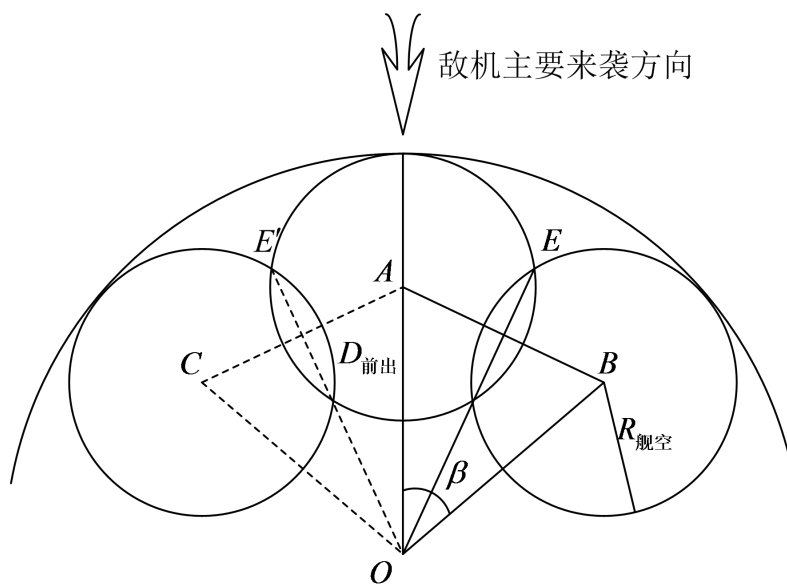


图7 3艘区域防空舰艇配置示意图

当敌机对航母的威胁扇面角为 α 时,根据编队整体防空作战的需求,防空作战指挥官要求区域防空舰艇为航母提供不小于 ε 的防空掩护扇面角($\alpha \leq \varepsilon \leq 360^\circ$)。

当 $\varepsilon \neq 360^\circ$ 时,结合图7有:

$$2\beta + \theta_i \geq \varepsilon \quad (5)$$

其中 θ_i ($i=1,2,3,4,5,6$)为单艘区域防空舰艇对航母的掩护扇面角;编队防空作战时,相邻两舰的防空扇面应有一定程度的重叠,则有:

$$D_{\text{前出}} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \leq R_{\text{舰空}} \quad (6)$$

将舰艇数量推广到 $N_{\text{奇}}$,则应有:

$$\begin{cases} (N_{\text{奇}} - 1) \cdot \beta + \theta_i \geq \varepsilon \\ D_{\text{前出}} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \leq R_{\text{舰空}} \end{cases} \quad (7)$$

此时威胁轴左侧各舰艇的配置角分别为:

$$\left(-\beta, -2\beta, \dots, -\frac{N_{\text{奇}} - 1}{2} \cdot \beta \right)$$

威胁轴右侧边各舰艇的配置角分别为:

$$\left(\beta, 2\beta, \dots, \frac{N_{\text{奇}} - 1}{2} \cdot \beta \right)$$

当 $\varepsilon=360^\circ$ 时,有: $N_{\text{奇}} \cdot \beta = 360^\circ$, $\beta = \frac{360^\circ}{N_{\text{奇}}}$,此时威胁轴左侧各舰艇的配置角分别为:

$$\left(-\frac{360^\circ}{N_{\text{奇}}}, -\frac{2 \times 360^\circ}{N_{\text{奇}}}, \dots, -\frac{(N_{\text{奇}} - 1) \times 180^\circ}{N_{\text{奇}}} \right)$$

威胁轴右侧边各舰艇的配置角分别为:

$$\left(\frac{360^\circ}{N_{\text{奇}}}, \frac{2 \times 360^\circ}{N_{\text{奇}}}, \dots, \frac{(N_{\text{奇}} - 1) \times 180^\circ}{N_{\text{奇}}} \right)$$

当 $R_{\text{舰空}}$ 、 $R_{\text{空舰}}$ 、 $D_{\text{前出}}$ 满足情况⑤时, 此时 $i=5$, 结合 (6) 式得:

$$R_{\text{舰空}} \leq D_{\text{前出}} \leq \frac{R_{\text{舰空}}}{\sin 180^\circ / N_{\text{奇}}} \tag{8}$$

(2) 当编队区域防空舰艇数量为偶数时, 舰艇应对称配置在威胁轴两侧。图 8 以 4 艘防空舰艇为例, 航母位于 0 点, 区域防空舰艇分别位于 A_0 、 B_0 、 C_0 、 D_0 点, E_0 、 F_0 、 F'_0 为相邻舰艇防空圆的交点; 为研究问题简便, 假设 4 艘舰艇均为同型舰艇, 前出距离均为 $D_{\text{前出}}$, $\angle A_0OB_0 = \angle A_0OC_0 = \angle D_0OB_0 = \beta_1$, 由几何关系得:

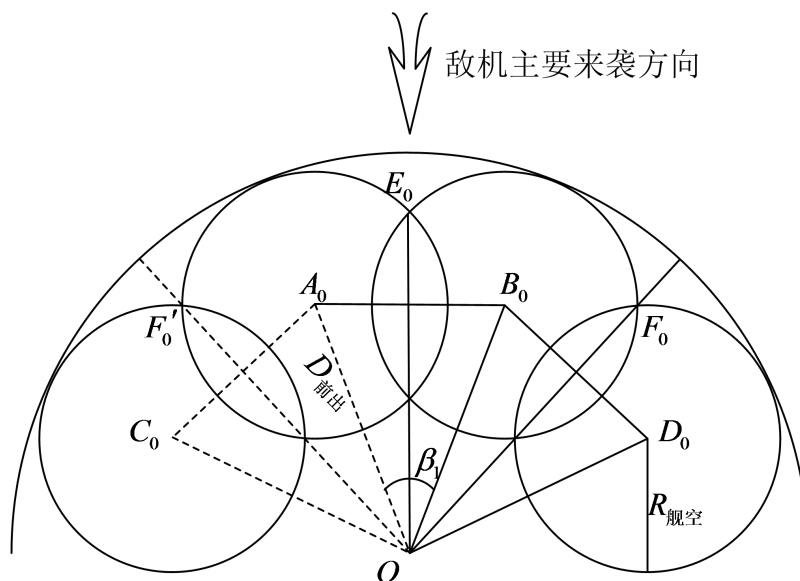


图 8 4 艘区域防空舰艇配置示意图

$$\angle A_0OE_0 = \angle E_0OB_0 = \angle B_0OF_0 = \angle F_0OD_0 = \angle A_0OF'_0 = \angle F'_0OC_0 = \frac{\beta_1}{2}$$

当 $\varepsilon \neq 360^\circ$ 时, 结合图 8 有:

$$\begin{cases} 3\beta_1 + \theta_i \geq \varepsilon \\ D_{\text{前出}} \cdot \sin \frac{\beta_1}{2} \leq R_{\text{舰空}} \end{cases} \tag{9}$$

将舰艇数量推广到 $N_{\text{偶数}}$, 则应有:

$$\begin{cases} (N_{\text{偶}} - 1) \cdot \beta_1 + \theta_i \geq \varepsilon \\ D_{\text{前出}} \cdot \sin \frac{\beta_1}{2} \leq R_{\text{舰空}} \end{cases} \quad (10)$$

此时威胁轴左侧各舰艇的配置角分别为:

$$\left(-\frac{\beta_1}{2}, -\frac{3\beta_1}{2}, \dots, -\frac{N_{\text{偶}} - 1}{2} \cdot \beta_1 \right)$$

威胁轴右侧边各舰艇的配置角分别为:

$$\left(\frac{\beta_1}{2}, \frac{3\beta_1}{2}, \dots, \frac{N_{\text{偶}} - 1}{2} \cdot \beta_1 \right)$$

当 $\varepsilon = 360^\circ$ 时, 有: $N_{\text{偶}} \cdot \beta_1 = 360^\circ$, $\beta_1 = \frac{360^\circ}{N_{\text{偶}}}$, 此时威胁轴左侧各舰艇的配置角分别为:

$$\left(-\frac{180^\circ}{N_{\text{偶}}}, -\frac{3 \times 180^\circ}{N_{\text{偶}}}, \dots, -\frac{(N_{\text{偶}} - 1) \times 180^\circ}{N_{\text{偶}}} \right)$$

威胁轴右侧边各舰艇的配置角分别为:

$$\left(\frac{180^\circ}{N_{\text{偶}}}, \frac{3 \times 180^\circ}{N_{\text{偶}}}, \dots, \frac{(N_{\text{偶}} - 1) \times 180^\circ}{N_{\text{偶}}} \right)$$

结合 (9) 式得:

$$D_{\text{前出}} \leq \frac{R_{\text{舰空}}}{\sin \frac{\beta_1}{2}} = \frac{R_{\text{舰空}}}{\sin 180^\circ / N_{\text{偶}}} \quad (11)$$

当 $R_{\text{舰空}}$ 、 $R_{\text{空舰}}$ 、 $D_{\text{前出}}$ 满足情况⑤时, 此时 $i = 5$, 结合 (11) 式, 有:

$$R_{\text{舰空}} \leq D_{\text{前出}} \leq \frac{R_{\text{舰空}}}{\sin 180^\circ / N_{\text{偶}}} \quad (12)$$

当 $R_{\text{舰空}}$ 、 $R_{\text{空舰}}$ 、 $D_{\text{前出}}$ 满足情况①时, 此时 $i = 1$, $R_{\text{舰空}} \leq D_{\text{前出}} < R_{\text{舰空}} + R_{\text{空舰}}$, 由 (1) 和 (7) 式、(1) 和 (10) 式, 可分别得出 β 与 $D_{\text{前出}}$ 在 $N_{\text{奇}}$ 、 $N_{\text{偶}}$ 时的对应关系, 确定 β 的取值范围。

当 $R_{\text{舰空}}$ 、 $R_{\text{空舰}}$ 、 $D_{\text{前出}}$ 满足情况②时, 此时 $i = 2$, $D_{\text{前出}} \geq R_{\text{舰空}} + R_{\text{空舰}}$, 由 (2) 和 (7) 式、(2) 和 (10) 式, 可分别得出 β 与 $D_{\text{前出}}$ 在 $N_{\text{奇}}$ 、 $N_{\text{偶}}$ 时的对应关系, 确定 β 的取值范围。

当 $R_{\text{舰空}}$ 、 $R_{\text{空舰}}$ 、 $D_{\text{前出}}$ 满足情况③时, 此时 $i = 3$, $D_{\text{前出}} < R_{\text{舰空}}$, 由 (3) 和 (7) 式、(3) 和 (10) 式, 可分别得出 β 与 $D_{\text{前出}}$ 在 $N_{\text{奇}}$ 、 $N_{\text{偶}}$ 时的对应关系, 确定 β 的取值范围。

当 $R_{\text{舰空}}$ 、 $R_{\text{空舰}}$ 、 $D_{\text{前出}}$ 满足情况④时, 此时 $i = 4$, $D_{\text{前出}} \leq R_{\text{舰空}} - R_{\text{空舰}}$, 舰艇可配置在威胁轴附近任

意方位上。

当 $R_{舰空}$ 、 $R_{空舰}$ 、 $D_{前出}$ 满足情况⑥时, 此时 $i=6$, 由于 $D_{前出} < R_{舰空}$, 舰艇可配置在威胁轴附近任意方位上。

4 结束语

合理配置区域防空舰艇, 有助于强化舰艇间的防空协同、提高航母编队区域防空作战能力。本文所提出的区域防空舰艇前出距离与方位之间关系的模型, 综合考虑了敌对编队的威胁扇面大小、敌空舰导弹射程、区域防空舰艇数量及舰空导弹射程等因素, 对 6 种不同情况下区域防空舰艇的配置关系进行了分析, 确定了不同情况下舰艇前出距离、配置角的取值范围 and 对应关系, 对航母编队在不同条件下区域防空舰艇的配置具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 冯威, 王平, 程子光. 航母编队受到的敌空袭威胁扇面大小预测模型[J]. 舰船科学技术, 2011, 33(7): 119~122.
- [2] 徐圣良, 姜青山, 王焕章, 等. 航母编队掩护幕内防空舰艇阵位仿真研究[J]. 舰船电子工程, 2008, 28(9): 146~149.
- [3] 纪峰波, 向凡夫, 管莹莹. 航母编队区域防空部署研究[J]. 舰船电子工程, 2012, 32(11): 1~3.
- [4] 粘松雷, 陈榕, 林云. 编队区域防空舰配置距离模型仿真[J]. 兵工自动化, 2011, 30(11): 39~42.
- [5] 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): 5~9.
- [6] 徐圣良, 王振波, 吴晓峰, 等. 航母编队航渡过程中防空哨戒舰阵位确定方法研究[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(4): 54~58.
- [7] 马玉林, 罗翔, 郭万海. 航母编队航渡中对空防御组织研究[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(6): 47~53.