

doi: 10.7690/bgzd.2016.04.004

目标伴随威胁时驱护编队预警直升机机动模型

谭乐祖, 陈 双, 盛文平

(海军航空工程学院指挥系, 山东 烟台 264001)

摘要: 为给对空防御的预警直升机飞行控制提供相应的运动要素, 构建直升机保持预警探测阵位机动模型。分析编队、目标与预警直升机相互运动关系, 求出机动航向和机动时间 2 个运动参数, 通过算例进行仿真计算与分析, 并进一步分析不同航向、不同目标舷角条件下预警直升机机动参数的变化特点。仿真结果表明: 该模型是正确、可行的, 能保证直升机预警巡逻时始终保持最优预警阵位, 为直升机作战运用提供依据。

关键词: 驱护编队; 预警直升机; 机动模型

中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

Maneuver Model of Early-warning Helicopter for Destroyer and Frigate Formation with Accompany Threat Target

Tan Lezu, Chen Shuang, Sheng Wenping

(Department of Command, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)

Abstract: To provide a corresponding movement of elements of early-warning helicopter flight control on air defense, construct the station configuration model to keep early warning detection. Analysis mutual relations campaign of formation, objectives and early-warning helicopter, determined heading maneuvering and maneuvering time two motion parameters, simulation and analysis of numerical example, and further analysis the early-warning helicopters maneuvering parameters features of the change under different course and different target side angle condition. Simulation results show that the model is correct and feasible, to ensure optimum warning remains early warning helicopter patrols to provide a basis for the use of helicopters on battle.

Keywords: destroyer-frigate formation; early-warning helicopter; maneuver models

0 引言

海洋维权军事行动是新时期海军驱护编队常态化的军事任务, 航行海区远离基地, 有时甚至远远超出陆基空中兵力的掩护范围。随着水面作战平台的大型化, 舰载直升机已经成为其标准化配置。随着装备技术的发展, 预警直升机应很快成为大型驱护编队远洋单独遂行军事任务时主要的预警探测手段^[1]。为扩大预警探测范围, 确保驱护编队及被护航船只的安全, 以便尽远掌控非军事目标动态, 或对军事目标的突然攻击尽早做出反应, 驱护编队舰载直升机担负预警探测任务时, 通常根据敌情分析判断, 选择某一主要威胁方向, 确定主威胁轴和威胁扇面角^[2]。根据载机与机载预警探测设备性能、舰载防空武器系统性能和敌情威胁分析判断结论, 确定直升机预警探测阵位。直升机则在主威胁轴相垂直的方向上巡逻预警^[3]。

伴随威胁是指目标位于编队任意舷角上, 与编队同向同速运动, 目标舷角距离或方位距离保持不

变。伴随威胁是非战争军事行动过程中经常遇到的一类态势样式: 目标位置与运动要素是确定的, 但威胁发生的时间不确定。随着编队和威胁源的相互运动, 直升机为保持预警阵位的机动要素, 即航向和飞行时间需不断调整^[4]; 因此, 根据战场态势、敌我空间关系与预警探测需求, 构建直升机机动模型^[5], 为直升机保持预警探测阵位的飞行机动提供飞行要素是必要的。

1 预警直升机巡逻机动模型

伴随威胁样式下, 编队与目标同向同速运动。以大地平面为直角坐标平面, 以编队航向 C_w 为纵轴, 目标航向为 $C_e=C_w$, 目标舷角 $B_e \in [0^\circ \sim 360^\circ]$, 可能位于任意象限, 即可能位于编队任意舷角上, 如图 1 所示。 T_1 时刻, 编队位于 O_1 点, 目标位于 E_1 点, 目标舷角为 B_e , 直升机前出距离为 $D_{前出}$, 威胁扇面角为 α , 直升机巡逻飞行宽度 $M_1N_1=L$, P_1 为目标威胁轴 O_1E_1 与 M_1N_1 的交点, 且为 M_1N_1 的中点, $O_1E_1 \perp M_1N_1$ 。

收稿日期: 2015-12-10; 修回日期: 2016-01-15

基金项目: 航空基金(20095184005)

作者简介: 谭乐祖(1965—), 男, 山东人, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 从事作战运筹分析研究。

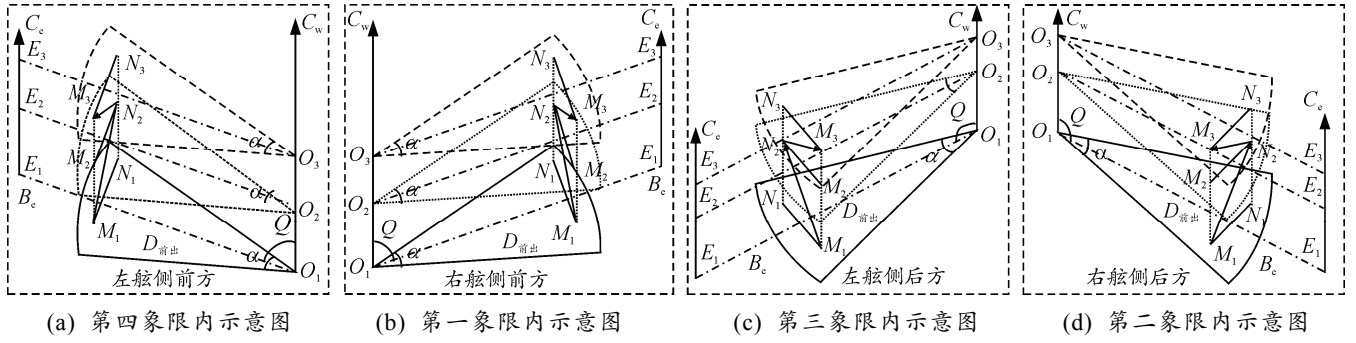


图 1 目标与编队同向同速运动示意图

设 T_1 时刻直升机位于 M_1 点，如编队与目标空间位置不变，则直升机沿巡逻线 M_1N_1 往返运动，第一航向(从端点 M_1 到端点 N_1)为巡逻线 M_1N_1 的方位， $B_{M_1N_1} = B_e - \frac{\pi}{2}$ (左舷时 $B_{M_1N_1} = B_e + \frac{\pi}{2}$)。第二航向(从端点 N_1 到端点 M_1)与巡逻线 M_1N_1 的方位相反， $B_{N_1M_1} = B_e + \frac{\pi}{2}$ (左舷时 $B_{N_1M_1} = B_e - \frac{\pi}{2}$)。由于编队与目标运动引起威胁扇面与巡逻线端点的同向同速运动，直升机由初始位置 M_1 向巡逻线另一端 N_1 机动的过程中，端点 N_1 随编队向前运动。直升机在 T_2 时刻机动至巡逻线的另一端 N_2 点时，编队与目标分别运动至 O_2 点和 E_2 点。目标位于不同象限时，

$$\left. \begin{aligned} \angle M_1N_1N_2 &= \pi - [C_w - (B_e - \frac{\pi}{2})] = B_e - C_w + \frac{\pi}{2} && \text{一象限} \\ \angle M_1N_1N_2 &= \pi - [C_w - (B_e - \frac{\pi}{2})] = B_e - C_w + \frac{3\pi}{2} && \text{三象限} \\ \angle M_1N_1N_2 &= \pi - [C_w - (B_e - \frac{\pi}{2})] = C_w - B_e + \frac{\pi}{2} && \text{二象限} \\ \angle M_1N_1N_2 &= \pi - [C_w - (B_e - \frac{\pi}{2})] = C_w - B_e + \frac{3\pi}{2} && \text{四象限} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

设直升机从 M_1 运动至 N_2 的时间 ΔT_1 为第一航向时间，解 $\Delta M_1N_1N_2$ ，得：

$$M_1N_2 = 2\sqrt{L^2 + \Delta T_1^2 v^2 \pm 2\Delta T_1 L v \sin(-C_w + B_e)} \quad (2)$$

式中：目标位于一、四象限时取“+”；二、三象限时取“-”。

设直升机飞行速度为 v_{hel} ，将 $M_1N_2 = v_{hel}\Delta T_1$ 代入式 (2)，解方程，得直升机机动飞行时间：

$$\Delta T_1 = \begin{cases} \frac{\left[\sin(-C_w + B_e)v + \sqrt{(\sin(-C_w + B_e))^2 v^2 - v^2 + v_{hel}^2} \right] L}{v_{hel}^2 - v^2} \\ \frac{\left[-\sin(-C_w + B_e)v + \sqrt{(\sin(-C_w + B_e))^2 v^2 - v^2 + v_{hel}^2} \right] L}{v_{hel}^2 - v^2} \end{cases} \quad (3)$$

根据三角函数的性质，目标位于一、四象限时，用式 (1) 中的第一式；位于二、三象限时，用式 (1) 中的第二式。

$\Delta M_1N_1N_2$ 中，三边已知，则

$$\angle N_1M_1N_2 = \arccos\left(\frac{L^2 - \Delta T_1^2 v^2 + \Delta T_1^2 v_{hel}^2}{2Lv_{hel}\Delta T_1}\right) \quad (4)$$

直升机第一航向：

$$C_{hel1} = B_e \circ \frac{\pi}{2} \odot \angle N_1M_1N_2 =$$

$$B_e \circ \frac{\pi}{2} \odot \arccos\left(\frac{L^2 - \Delta T_1^2 v^2 + \Delta T_1^2 v_{hel}^2}{2Lv_{hel}\Delta T_1}\right) \quad (5)$$

式中：一、三象限时，运算符 \odot 取“+”号，二、四象限时， \odot 取“-”号；一、四象限时，运算符 \circ 取“-”，二、三象限时取“+”号。直升机由巡逻线端点 M_1 飞向另一端点 N_2 的过程中，其飞行航向为 C_{hel1} ，飞行时间为 ΔT_1 。

随着编队与目标的继续运动，当编队在 T_3 时刻由 O_2 点航行至 O_3 点时，直升机应飞行至另一端点 M_3 。 $\Delta N_2M_3N_3$ 中， $N_2N_3 = \Delta T_2 v$ ， $M_3N_3 = L$ ， $\angle M_3N_3N_2 = \eta$ 。解 $\Delta N_2M_3N_3$ ，得：

$$N_2M_3 = v_{hel}\Delta T_2 = \sqrt{4L^2 + v^2\Delta T_2^2 - 4Lv\Delta T_2 \cos \eta} \quad (6)$$

式中 $\eta = C_w \circ (B_e \odot \frac{\pi}{2})$ ：一、四象限时， \odot 取“-”；二、三象限时， \odot 取“+”；一、三象限时， \circ 取“-”；二、四象限时取“+”。

由式 (6)，解得直升机第二航向飞行时间：

$$\Delta T_2 = \frac{L(\sqrt{v^2 \cos^2 \eta - v^2 + v_{hel}^2} - v \cos \eta)}{v_{hel}^2 - v^2} \quad (7)$$

$$\angle N_2M_3N_3 = \arcsin \frac{N_2N_3 \times \sin \eta}{N_2M_3} = \arcsin \frac{v\Delta T_2 \sin \eta}{\sqrt{4L^2 + v^2\Delta T_2^2 - 4Lv\Delta T_2 \cos \eta}} \quad (8)$$

直升机第二航向：

$$C_{hel2} = B_e \circ \frac{\pi}{2} \odot \angle N_2M_3N_3 + \pi = B_e + \frac{\pi}{2} + \angle N_2M_3N_3 =$$

$$B_e \circ \frac{\pi}{2} \odot \arcsin \frac{v\Delta T_2 \sin \eta}{\sqrt{4L^2 + v^2\Delta T_2^2 - 4Lv\Delta T_2 \cos \eta}} \quad (9)$$

式中：一、三象限时，运算符 \odot 取“+”号；二、四象限时， \odot 取“-”号；一、四象限时，运算符 \circ 取“-”；二、三象限时取“+”号。直升机由巡逻线端点 N_2 飞向另一端点 M_3 的过程中，其飞行航向为 $Chel_2$ ，飞行时间为 ΔT_2 。直升机由初始点 M_1 飞行至 N_2 ，再机动至 M_3 点为一个机动飞行周期。由于编队与目标均不作航向与航速的机动，后续飞行周期应保持与第一个飞行周期相同的飞行要素。

2 算例仿真

仿真条件：编队航向 $0^\circ\sim 360^\circ$ ，编队航速 $10\sim 30$ kn，目标伴随航向航速与编队航向航速相同；目标威胁舷角 $0^\circ\sim \pm 180^\circ$ ；直升机飞行速度 $100\sim 300$ km/h，前出距离 150 km，巡逻线 $10\sim 30$ km。

由图2可见：当编队在 $0^\circ\sim 360^\circ$ 机动航行时，为保持最优预警巡逻阵位，直升机需要根据编队航向调整其机动航向，此时的航向机动为线性机动。当预警直升机机动航向随舰艇编队同时机动时，其第一航向机动时间与第二航向机动时间保持不变。

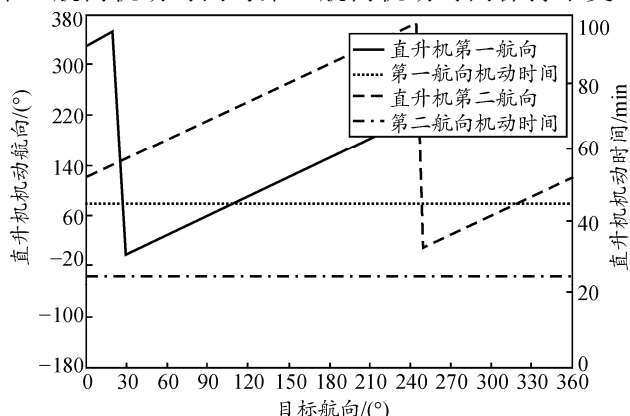


图2 航向与时间随编队航向变化曲线

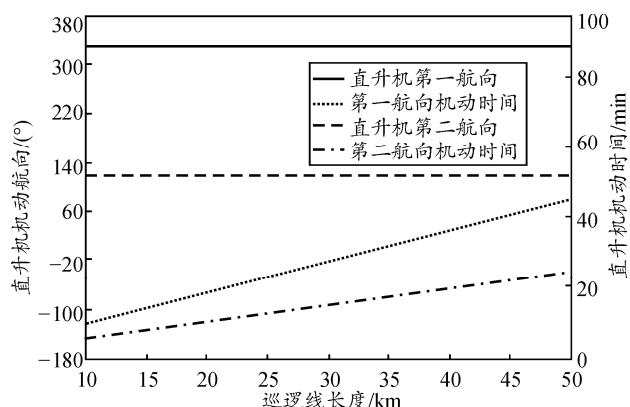


图3 巡逻线长度变化时直升机运动参数

由图3可知：巡逻线长度变化时，直升机机动航向不变，但机动时间增加，且随长度的变化，2个机动时间差逐渐变大。由仿真数据还可以看出，由于编队速度远远小于直升机速度；因此，编队速

度变化时，对直升机机动时间影响较小。而直升机速度变化时，对第一机动时间影响显著，而对第二机动时间影响较小。

由图4可知：目标正横时，直升机第一航向与编队航向相同，第二航向与编队航向相反；直升机巡逻周期大于编队与目标相对位置固定时运动周期 $T_0 = 2L/v_{hel}$ ；目标位于右舷任意舷角时，第一航向机动时间始终大于第二航向机动时间，而目标位于左舷时，则第一航向机动时间始终小于第二航向机动时间。目标舷角左右正横时，2个机动时间差值最大。随着目标舷角向舰艏方向减小或向舰艉方向增大，第一航向与第二航向时间差逐渐变小，位于舰艏艉方向时，第一、二航向时间差为0。

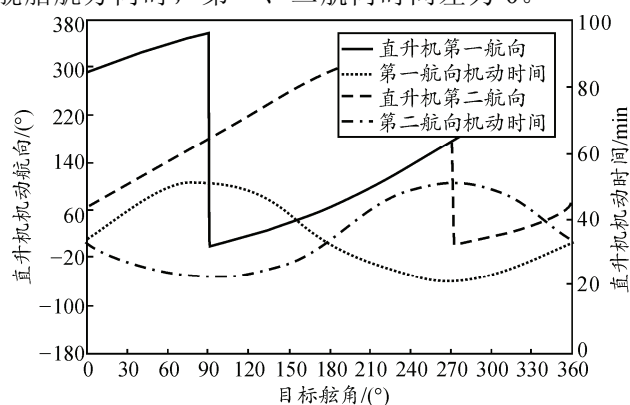


图4 目标任意舷角时直升机运动参数

3 结论

基于海洋维权军事行动中常见的一种态势样式，笔者分析了编队、目标与预警直升机相互运动的关系，构建了直升机保持预警探测阵位机动模型，求出了直升机机动必需的2个运动参数：机动航向与机动时间。通过仿真计算与分析验证了模型的正确性与可行性，并分析了不同航向、不同目标舷角条件下预警直升机机动参数的变化特点。该模型可以作为预警直升机保持预警探测阵位机动飞行辅助决策软件的核心模型，为直升机作战运用提供依据。

参考文献：

- [1] 谭乐祖, 翟军. 军事运筹学教程[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2010: 121-131.
- [2] 杨明军. 驱护编队对空防御作战火力优化研究[D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2010: 27-28.
- [3] 叶其孝, 沈永欢. 实用数学手册[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2006: 44-45.
- [4] 沈治河, 朴成日. 航母编队在对空防御中预警机空域配置方法[J]. 指挥控制与仿真, 2012, 34(6): 14-17.
- [5] 谭安胜. 水面舰艇编队作战运筹分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 110-112.