

文章编号: 1673-1522 (2009) 06-0622-05

影响吊放声纳检查搜潜效能主要因素仿真研究

王磊^a, 陈钰宁^a, 孟祥超^b, 汪浩^a

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

摘要: 在分析吊放声纳检查搜潜过程的基础上, 对仿真环境进行假设, 并建立吊放声纳搜潜蒙特卡洛法模型。通过仿真实验对反潜直升机在一定条件下检查搜潜时吊放声纳间隔系数、螺旋系数、探测点数和搜索阵型进行研究, 得出相关结论。

关键词: 吊放声纳; 检查搜潜; 仿真研究

中图分类号: E843

文献标志码: A

0 引言

反潜直升机检查反潜是指反潜机在特定时间内对指定的海域进行的反潜搜索, 以查明此海域有无敌潜艇并采取跟踪或攻击的战斗行动^[1]。其特征是指在不了解目标位置和运动方向信息条件下, 对指定区域相对反潜机而言运动缓慢的潜艇目标进行的搜索。反潜直升机使用吊放声纳进行检查搜潜具有搜索速度快、机动灵活、工作深度可变、精度高、有多种工作方式、使用经济等特点, 是平时(或战时)使用最多的搜潜方式之一。然而, 影响吊放声纳检查搜潜效能的因素较多, 本文通过仿真试验研究了吊放声纳在一定条件下的检查搜潜效能, 对影响吊放声纳检查搜潜效能的主要因素进行分析, 得出的结论对提高反潜直升机搜潜效能和作战运用水平具有重要的现实意义。

1 吊放声纳检查搜潜过程简述

反潜直升机使用吊放声纳检查搜潜, 一般都采用边前进边逐点探测的跳跃式搜索, 其飞行搜索作业剖面如图1所示。反潜直升机到达搜索海域后, 按预定的搜索航线飞行, 在第一个探测点下降到悬停高度(H_{xt})迎风悬停, 按吊放声纳操作规程放下水下分机(简称声纳头), 边放边观察, 根据海区深度和水声环境条件, 把水下分机放到合适的深度。开机搜索目标, 如果发现可疑信号, 就要进一步探测, 或用主动方式测定目标的位置, 并随时把目标

位置传送到指控系统, 计算出目标运动参数, 以便对目标实施跟踪或攻击, 或引导其他兵力进行跟踪或攻击; 如没有发现目标, 则收起水下分机爬升到过渡飞行高度(H_{tx})以巡航速度飞往下一个探测点悬停, 再重复上述动作, 直至探测到潜艇或搜索完规定的时间(t_{ss})。

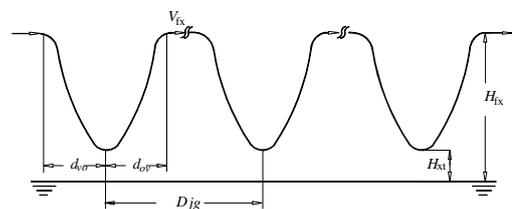


图1 吊放声纳搜索飞行剖面图

2 吊放声纳搜潜效能仿真模型

2.1 仿真环境假设

- 1) 搜索区内有且只有1艘潜艇在活动。在搜索区中, 潜艇和反潜机按各自行动方案展开行动。
- 2) 反潜直升机使用水声搜索器材都采用被动工作状态, 其性能参数也为被动工作状态的数据。
- 3) 潜艇初始位置在搜索区域内任意点随机出现, 其速度大小在 $[V_{dl}, V_{db}]$ 内均匀分布, 在运动过程中速度大小保持不变。由于潜艇在执行任务时一般不会取速度区间 $(0, V_{max})$ 上很小的速度; 另一方面, 潜艇速度越大, 其主机和螺旋桨噪声也越大, 就会大大增加被发现概率。所以, 潜艇的航速又

收稿日期: 2009-07-07

作者简介: 王磊(1980-), 男, 博士生。

不可能取接近于最大航速 V_{max} 。我们可以根据对目标情况的掌握，对潜艇运动速度确定一个合理的速度范围 (V_{dl}, V_{dh}) ， V_{dl} 表示潜艇较低的速度； V_{dh} 表示潜艇较高的速度。在具体计算时，为便于问题的分析，我们可以根据具体潜艇的性能，在其速度范围 (V_{dl}, V_{dh}) 内合理确定一个速度值。

4) 潜艇始终保持水下航行状态，初始运动航向在 $[0^\circ, 360^\circ]$ 内服从均匀分布，在运动过程中潜艇航向保持不变。在未知搜索区内是否有敌潜艇活动的情况下，反潜直升机在搜索区内检查搜索，其搜潜器材一般采用被动的工作方式。此时，搜索区内的潜艇不易察觉到我方反潜直升机的存在，潜艇一般仍就会按其既定的航向进行运动。

5) 反潜直升机航渡速度和探测点之间的过渡速度假设相同，且保持不变。

6) 吊放声纳的作用区域是以声纳换能器吊放点为圆心，以吊放声纳战术作用距离为半径的圆。

2.2 吊放声纳搜潜效能描述

根据以上假设，反潜直升机使用吊放声纳搜索潜艇的过程可以描述为：

当 $t=0$ 时，潜艇从位于圆心附近的点C开始运动，其速度方向为 α_m ，大小为 v_m ，反潜直升机以较大飞行速度飞往点C；

当 $t=T_{yc}$ 时，反潜直升机飞至第一个探测点并开始探测，探测 t_{tc} 后结束，然后以速度 V 飞往下一个探测点，直至探测到潜艇或探测完所有探测点。

吊放声纳搜潜效能是指，在已知潜艇距离、潜艇距离误差、潜艇运动速度大小范围及方向范围、声纳作用距离、反潜直升机飞行速度、潜艇定位误差及反潜直升机定位误差的情况下，使用某种搜潜方法时，搜索到潜艇的概率。

当潜艇进入吊放声纳探测圆时，计算机抽取随机数小于此时直升机对潜艇的发现概率，即认为反

潜直升机搜索到了潜艇^[2-3]。

2.3 吊放声纳搜潜蒙特卡洛法模型

在反潜直升机与潜艇的斗争中充满了偶然因素，处理这种偶然性事件的最有效的方法就是统计实验方法，又称蒙特卡洛(Monte Carlo)法^[4]。

根据蒙特卡洛法的基本思想，应对吊放声纳搜索到潜艇这个随机事件作统计试验，求吊放声纳搜索到潜艇的统计频率，即吊放声纳搜潜效能的近似值^[5]。

1) 抽取潜艇初始位置与运动要素的随机值

按照目标散布规律，考虑综合定位圆误差的存在，使得潜艇初始位置C点和目标散布中心O点发生偏离，角度误差 β_{oc} 服从区间 $[0^\circ, 360^\circ]$ 上的均匀分布，距离 r_{oc} 服从 $(0, \sigma_{z1})$ 的正态分布，试验时按此分布规律随机抽取数据 β_{oci} 、 r_{oci} 。按照目标的运动方向服从 $[0^\circ, 360^\circ]$ 上的均匀分布、运动速度服从 $[V_{dl}, V_{dh}]$ 上的均匀分布的规律，抽取目标的运动方向和运动速度的随机数。

2) 建立吊放声纳搜索要素表

反潜机使用吊放声纳检查搜索潜艇的方法主要有方形扩展搜索、圆形扩展搜索、扇形搜索等。考虑单机和双机的情况，搜索要素应包括：飞机编号、探测点编号、探测点离基准点距离、探测点方位角、探测时间等。以双机螺旋线搜索为例，其搜索图如图2^[4]所示，搜索要素表如表1所示。

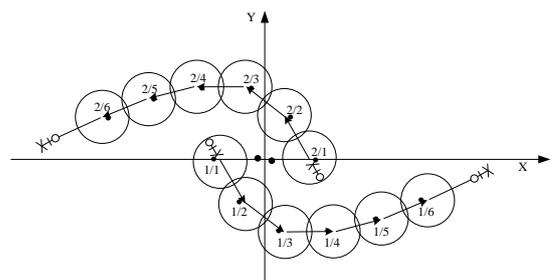


图2 双机螺旋线搜索

表1 吊放声纳双机螺旋线搜索要素表

探测点编号	探测时间/s	距离/n mile	方位/(°)	
			反潜直升机 1	反潜直升机 2
1	$T_{yc} + t_{sf} \sim T_{yc} + t_{sf} + t_{tc}$	$r_1 = 1 \text{ TSR}$	$\beta_1 = 0$	$\beta_1 = 180$
2	$T_1 + 2t_{sf} + t_{gd} \sim T_1 + 2t_{sf} + t_{gd} + t_{tc}$	$r_2 = (1 + \text{mod}) \text{ TSR}$	$\beta_2 = \beta_1 + \varphi_1$	$\beta_2 = \beta_1 - \varphi_1$
3	$T_3 + 2t_{sf} + t_{gd} \sim T_3 + 2t_{sf} + t_{gd} + t_{tc}$	$r_3 = (1 + 2\text{mod}) \text{ TSR}$	$\beta_3 = \beta_2 + \varphi_2$	$\beta_3 = \beta_2 - \varphi_2$
4	$T_4 + 2t_{sf} + t_{gd} \sim T_4 + 2t_{sf} + t_{gd} + t_{tc}$	$r_4 = (1 + 3\text{mod}) \text{ TSR}$	$\beta_4 = \beta_3 + \varphi_3$	$\beta_4 = \beta_3 - \varphi_3$

5

$$T_5 + 2t_{sf} + t_{gd} \sim T_5 + 2t_{sf} + t_{gd} + t_{tc}$$

$$r_5 = (1+4 \bmod) \text{TSR}$$

$$\beta_5 = \beta_4 + \varphi_4$$

$$\beta_5 = \beta_4 - \varphi_4$$

表1中: mod为螺旋阵系数; TSR为浮标战术作用距离; $\varphi_i=(r_{i+1}^2+r_i^2-(2R)^2)/(2r_{i+1}r_i)$, $R=m \times \text{TSR}$, m 为吊放声纳探测点间隔系数; $T_{\text{hd}}=D_{\text{sub}}/V_{\text{max}}$, D_{sub} 为潜艇距离, V_{max} 为反潜直升机最大速度; $T_{\text{yc}}=T_{\text{fy}}+T_{\text{hd}}$, T_{fy} 为反潜直升机反应准备时间; t_{sf} 为吊放声纳释放时间; t_{tc} 为吊放声纳持续工作时间; $T_1=T_{\text{yc}}+t_{\text{sf}}+t_{\text{tc}}$; $T_2=T_1+2t_{\text{sf}}+t_{\text{gd}}+t_{\text{tc}}$; $T_3=T_2+2t_{\text{sf}}+t_{\text{gd}}+t_{\text{tc}}$; ……

3) 抽取反潜直升机在各吊放点搜索时的位置要素

反潜直升机在飞往各探测点时, 实际点与理论点(由搜索方法可得)仍然会存在飞行定位误差, 但仍将其视为方向上服从 $[0^\circ, 360^\circ]$ 上的均匀分布, 距离上服从 $(0, \sigma_{z_2})$ 的正态分布。根据此规律, 在吊放点 O_i 都抽一个方向上和距离上的随机数 β_{ii} 、 r_{ii} , 与各吊放点共同得出实际吊放点的位置 O'_i 。确定实际吊放点后, 以该点为圆心, 以 R_0 为半径画圆, 该圆即为吊放声纳搜索圆。

4) 潜艇运动模型

潜艇初始位置在搜索区域内任意点随机出现, 设潜艇初始位置为 (X_0, Y_0) 。其速度大小在 $[V_{\text{ql}}, V_{\text{dh}}]$ 内均匀分布, 设潜艇速度为 V_{qt} , 并在运动过程中速度保持不变; 潜艇初始运动航向在 $[0^\circ, 360^\circ]$ 内服从均匀分布, 设潜艇运动方向与 Y 轴夹角为 θ , 在运动过程中潜艇航向保持不变。

当潜艇航向、航速保持一定时, 潜艇在坐标系中的位置可用下式表示:

$$\begin{cases} X_{\text{qt}} = X_0 + V_{\text{qt}}t \cos(90 - \theta) \\ Y_{\text{qt}} = Y_0 + V_{\text{qt}}t \sin(90 - \theta) \end{cases}, \quad (1)$$

式中: V_{qt} 为潜艇运动速度; X_{qt} 为潜艇在 X 轴的坐标值; Y_{qt} 为潜艇在 Y 轴的坐标值; t 为潜艇在搜索区内运动时间; θ 为潜艇运动方向与 Y 轴间的夹角。

5) 潜艇进入探测圆内能否被发现的判断模型

潜艇进入吊放声纳探测圆是吊放声纳搜索到潜艇的前提, 但并不表示潜艇进入吊放声纳探测圆时吊放声纳就一定可以发现潜艇。

在模拟计算中, 反潜直升机是否能发现潜艇, 需要计算机抽取随机数与此时直升机对潜艇的发现概率进行比较来确定。

吊放声纳探测点与潜艇距离:

$$D_{\text{dq}}^2 = (X_{\text{tc}} - X_{\text{qt}})^2 + (Y_{\text{tc}} - Y_{\text{qt}})^2, \quad (2)$$

式中: X_{tc} 为反潜直升机在 X 轴上的坐标值; X_{qt} 为潜

艇在 X 轴上的坐标值; Y_{tc} 为反潜直升机在 Y 轴上的坐标值; Y_{qt} 为潜艇在 Y 轴上的坐标值; D_{dq} 为吊放声纳探测点与潜艇之间的距离。

当 $D_{\text{dq}} < d_{\text{ds}}$ 时, 表示潜艇处于探测圆内, 发现概率为

$$p = 1 - \frac{D_{\text{dq}}}{d_{\text{ds}}}, \quad (3)$$

式中: d_{ds} 为吊放声纳探测距离。

在 $(0, 1)$ 之间取随机数 ε 且服从均匀分布。将发现概率与随机数 ε 比较, 则有:

当 $\varepsilon < p$ 表示反潜直升机发现潜艇;

当 $\varepsilon > p$ 表示反潜直升机未发现潜艇。

在 N 次模拟中反潜机搜索到潜艇共 n 次, 则吊放声纳搜潜概率为 $p = n/N$ 。

6) 反潜直升机在一次搜索潜艇过程是否结束的判断模型

判断条件一:

反潜直升机在本次检查搜潜中搜索到潜艇。

判断条件二:

潜艇在我直升机搜索期间已逃离直升机检查搜索海域; $X_{\text{qt}} > W$ 或 $X_{\text{qt}} < 0$ 或 $Y_{\text{qt}} > H$ 或 $Y_{\text{qt}} < 0$ 。

判断条件三:

反潜直升机已搜索完指定海域, 仍未搜索到潜艇。

判断条件四:

搜索时间达到反潜直升机最大飞行时间, 仍未搜索到潜艇。

在上述4个判断条件中, 只要满足任一个条件, 就判断这一次搜索过程结束。

2.4 吊放声纳效能仿真实现

在将反潜直升机搜潜的实际过程转化为计算机程序时, 考虑到潜艇可能最终逃离搜索海区及可能使用多架反潜直升机的实际情况, 在求解反潜直升机搜潜效能时, 以反潜直升机的位置作为模拟的主线, 编制仿真程序, 仿真流程图如图3所示。图3中: N 为模拟次数; M 为仿真步数; m 为发现潜艇次数; K 为指定海域探点数; $t_{\text{探}}$ 为探测时间; dt 为仿真时间步长; r 为声纳作用距离; $P_{\text{发}}$ 为指定搜索海域对潜艇的发现概率。

该仿真程序是用 Visual C++ 6.0 实现的, 编制仿真程序时, 首先要产生每个随机变量在那次随机试验中的随机值。在该仿真程序中, 主要存在服从

均匀分布和正态分布的两种随机变量。各个阵形的搜索要素点位置或者存储在数据库中或在程序中实时计算。搜潜概率在程序中计算并由程序调用MATLAB绘图功能进行绘图。

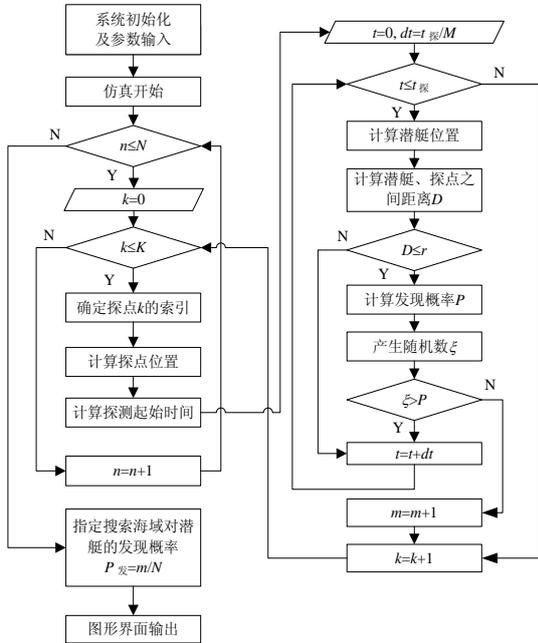


图3 使用吊放声纳进行检查搜潜仿真模型流程图

2.5 仿真结果及分析

1) 吊放声纳间隔系数仿真：仿真次数 2 000，被动方式，双机方形扩展阵，速度 240 km/h，距离误差 1 n mile，探测点数 24，海况 3 级。

结果分析：双机方形扩展阵搜索，当直升机和潜艇距离在 60 n mile 时，常规潜艇间隔参数取 1，速度较快的战术核潜艇取 1.8（见图 4）；潜艇距离 60 n mile 时，可取 1，潜艇距离 120 n mile 时，可取 1.4（见图 5）。

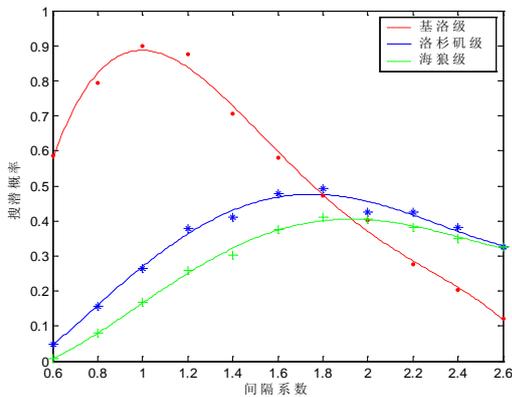


图4 潜艇距离 60 n mile 间隔系数与搜潜概率关系

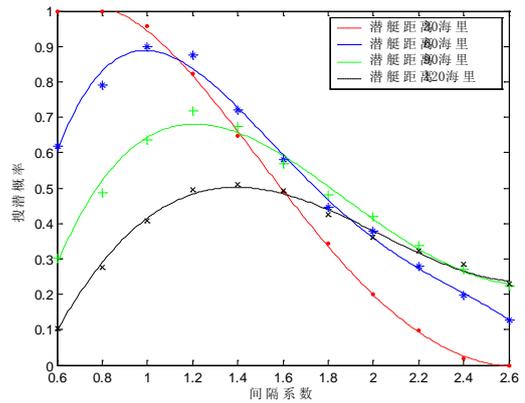


图5 典型常规潜艇间隔系数与搜潜概率关系

2) 螺旋系数仿真：仿真次数 2 000，主动方式，距离误差 1 n mile，间隔参数 1，典型常规潜艇，海况 3 级，速度 240 km/h。

结果分析：单机螺旋线阵搜索，探测点数 16，直升机和潜艇距离在 30~120 n mile 之间时，螺旋系数可取 0.6（见图 6）；双机螺旋线阵搜索，探测点数 24，直升机和潜艇距离在 30~120 n mile 之间时，双机螺旋阵螺旋系数可取 0.7（见图 7）。

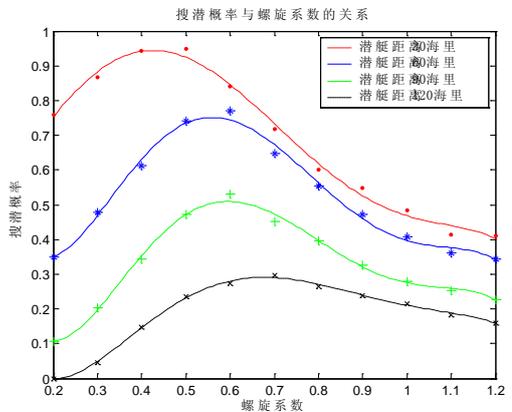


图6 单机螺旋线阵搜索

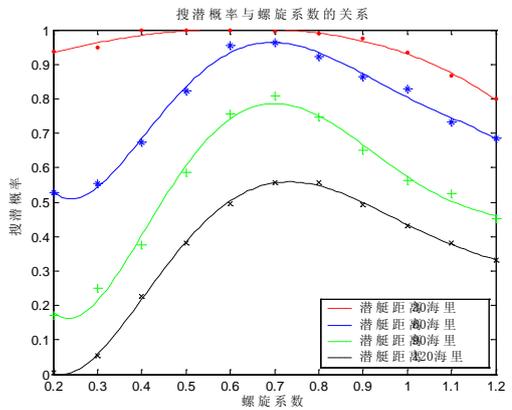


图7 双机螺旋线阵搜索

3) 探测点数仿真: 仿真次数 2 000, 主动方式, 速度 240 km/h, 潜艇距离为 60 n mile, 距离误差为 1 n mile, 间隔参数 1, 典型常规潜艇, 海况 3 级。

结果分析: 无论是采用方形扩展阵还是螺旋线阵搜潜时, 1 架反潜直升机, 探测点数可取 16 (见图 8); 2 架反潜直升机, 探测点数可取 24 (见图 9)。

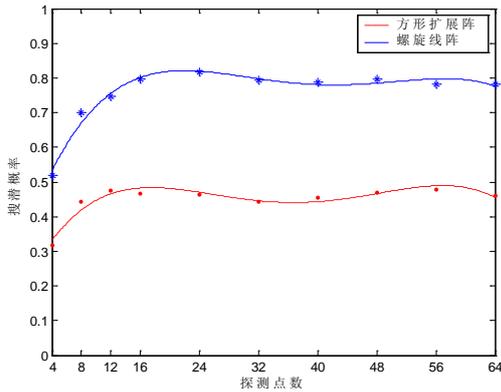


图 8 单架反潜直升机探测点数与搜潜概率关系

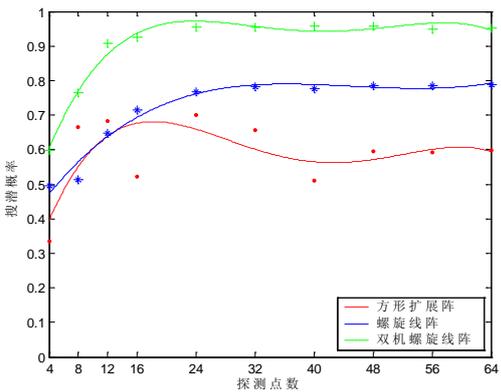


图 9 双架反潜直升机探测点数与搜潜概率关系

4) 搜索阵形仿真: 仿真次数 2 000, 主动方式, 速度 240 km/h, 距离误差 1 n mile, 间隔参数 1, 典型常规潜艇, 海况 3 级; 1 架, 探测点数 16, 见图 10; 2 架, 探测点数 24, 见图 11。

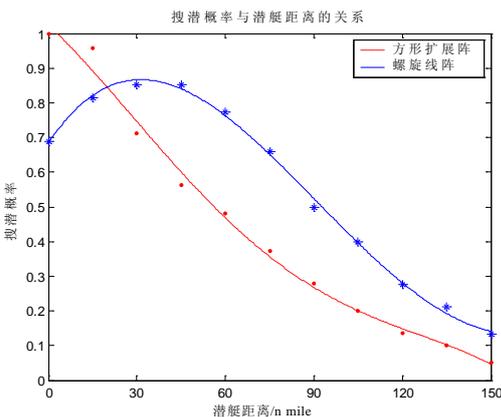


图 10 单机搜潜阵型效果比较

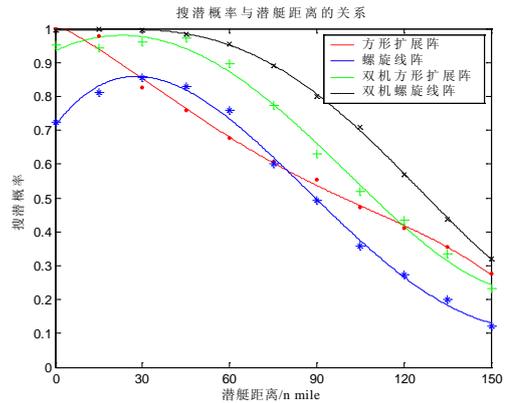


图 11 双机搜潜阵型效果比较

结果分析: 无论单机或双机, 采用螺旋线阵搜潜效果都是比较好的; 但由于螺旋线阵操作复杂, 在实际应用中需要反潜指挥员灵活选用阵型。

3 结束语

本文通过对一定条件下影响吊放声纳检查搜潜效能的主要因素进行研究, 得出的结论对于制定反潜作战方案具有一定的参考价值。反潜直升机的搜潜效率受反潜装备的战技性能、水声环境、潜艇辐射噪声特征, 以及回波特性和搜潜任务、直升机数量、搜潜方法、使用技能等诸多因素的影响, 故在反潜作战时应综合权衡各因素, 既要与定性分析密切结合, 又要在反潜作战实践中不断的修正和完善。

参考文献:

- [1] 纪金耀. 俄罗斯海军反潜战术[M]. 北京: 军事科学出版社, 1992:57-58.
- [2] 王红卫. 建模与仿真[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 66-69.
- [3] 孙明太, 赵绪明. 吊放声纳搜潜效能模型解析法与模拟法的分析比较[C]//火力与指挥控制 2004 年会论文集, 2004:63-65.
- [4] 孙明太. 航空反潜概论[M]. 北京: 军事科学出版社, 2003:121-122.
- [5] 倪卫星. 舰载反潜直升机武器系统效能评估模型研究[J]. 论证与研究, 1997(10):56-57.

(下转第 660 页)

Simulative Research on Major Factors Which Affecting the Efficiency of Checking-Antisubmarine

WANG Lei^a, CHEN Yu-ning^a, MENG Xiang-chao^b, WANG Hao^a, MA Liang^a

(Naval Aeronautical and Astronautical University

a. Graduate Students' Brigade; b. Department of Basic Sciences, Yantai Shandong 264001, China)

Abstract: The dipping sonar coefficient at interval, spiral coefficient, the checked number of detection, and search formation have bigger effect on checking-antisubmarine. In the base of analyzing the dipping sonar checking-antisubmarine search process, the simulation environment was assumed, and the MonteCalo model of dipping sonar was built. The dipping sonar coefficient at interval, spiral coefficient, the checked number of detection, search formation, and reaching the conclusion were studied.

Key words: dipping sonar; checking-antisubmarine; simulative research