

引用格式: 谭安胜, 王新为, 尹成义. 反潜巡逻机磁探仪区域搜索研究[J]. 电光与控制, 2018, 25(8): 1-6. TAN A S, WANG X W, YIN C Y. Research on regional search by anti-submarine patrol aircraft using magnetic anomaly detector[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(8): 1-6.

反潜巡逻机磁探仪区域搜索研究

Research on Regional Search by Anti-submarine Patrol Aircraft Using Magnetic Anomaly Detector

谭安胜, 王新为, 尹成义

(海军大连舰艇学院舰船指挥系, 辽宁 大连 116018)



谭安胜

谭安胜(1963-), 山东荣成人, 军事学博士, 教授, 博士生导师, 海军专业技术大校军衔, 享受国务院政府特殊津贴。中国指挥与控制学会理事, 海上指挥控制专业委员会常务委员、副总干事, 军事系统工程专业委员会委员, 火力与指挥控制专业委员会委员。长期从事军事运筹学、作战指挥学和兵种战术学的教学与科研工作, 在军事运筹、作战指挥、兵种战术等领域有较深入的研究。发表学术论文 100 余篇, 出版专著 2 部, 主持完成军队重点科研项目 40 余项, 获军队科技进步一等奖 2 项、二等奖 7 项, 全军优秀博士学位论文奖, 荣立三等功 3 次。

0 引言

所谓区域搜索, 就是对指定的海域进行有组织的检查, 目的在于发现敌潜艇, 消灭发现的敌潜艇或对其进行跟踪^[1-2]。反潜巡逻机使用磁探仪在指定海域对潜搜索前, 需要进行作战筹划工作, 进行作战筹划的基础数据之一是磁探仪有效搜索宽度, 而磁探仪有效搜索宽度

针对实际作战中, 由于敌潜艇潜航深度模糊性导致磁探仪搜索宽度不确定的问题, 基于磁探仪的战技性能特点, 提出了平均搜索宽度的概念, 建立了磁探仪平均搜索宽度计算模型, 为作战筹划提供了基本参数; 给出了反潜巡逻机使用磁探仪进行区域搜索的“两类三种”搜索方法, 以及得到接触后的“两类四种”行动方法; 建立了反潜巡逻机使用磁探仪在指定区域搜索发现潜艇概率计算模型, 该模型适用于逆计算。

关键词: 反潜巡逻机; 区域搜索; 磁探仪; 搜索方法

中图分类号: E925.4 doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.08.001

是敌潜艇潜航深度的函数, 敌潜艇潜航深度对搜索者来说是模糊的, 具有不确定性。传统的磁探仪有效搜索宽度是根据确定的敌潜艇潜航深度计算的, 与实际情况不符。磁探仪有效搜索宽度又是搜索效能评估的基础, 搜索效能评估结果又是搜索方法优化的依据。因此, 研究反潜巡逻机使用磁探仪进行区域搜索问题时, 必须从磁探仪有效搜索宽度入手。

1 磁探仪有效搜索宽度

如图 1 所示, 设反潜巡逻机搜索飞行高度为 h_a , 磁探仪最大作用距离为 d_c , 则一架反潜巡逻机使用磁探仪对潜航深度为 h_q 的潜艇搜索时, 其搜索宽度 W 可表示为

$$W = \begin{cases} 2\sqrt{d_c^2 - (h_a + h_q)^2} & d_c > h_a + h_q \\ 0 & d_c \leq h_a + h_q \end{cases} \quad (1)$$

在保持磁探仪有效工作的最大搜索飞行速度下, 要想提高搜索效率, 必须保持较大的搜索宽度。显

然, 反潜巡逻机的飞行高度越低越好。设反潜巡逻机的最低安全飞行高度为 h_{amin} , 则反潜巡逻机使用磁探仪对处于深度为 h_q 的潜艇搜索时的最大搜索宽度为

$$W_{max} = 2\sqrt{d_c^2 - (h_{amin} + h_q)^2} \quad (2)$$

从式(2)可以看出: 对于确定的磁探仪, 当反潜巡逻机在最低安全飞行高度搜索时, 不同的潜艇航行深度, 其最大搜索宽度也是不同的。

表 1 给出了当磁探仪最大作用距离为 400 m 时, 反潜巡逻机搜索宽度 W 随潜艇航行深度和反潜巡逻机搜索飞行高度的变化规律。

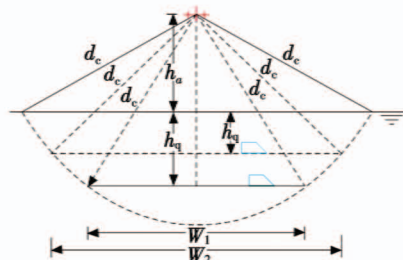


图 1 磁探仪搜索宽度示意图

Fig. 1 The search width of magnetic anomaly detector

然,前两个因素体现在 d_c 中。

搜索者单位时间内的有效搜索面积称为搜索效率^[1]。则一架反潜巡逻机使用磁探仪对处于深度为 h_q 和处于深度范围为 $[h_{q1}, h_{q2}]$ 的潜艇的搜索效率 U_c 分别为

$$U_c = W_{yx} \cdot \bar{V}_r =$$

$$\begin{cases} 2\bar{V}_r \cdot p_{qc} \cdot \sqrt{d_c^2 - (h_a + h_q)^2} & \text{深度为 } h_q, d_c > h_a + h_q \\ \bar{W} \cdot \bar{V}_r \cdot p_{qc} & h_q \in [h_{q1}, h_{q2}], d_c > h_a + h_q \end{cases} \quad (7)$$

式中, \bar{V}_r 为平均相对速度, $\bar{V}_r = \frac{v_a^2 + v_q^2}{v_a + v_q} + 0.3\sqrt{v_a v_q}$ ^[1], 其中, v_a 为反潜巡逻机搜索飞行速度, v_q 为潜艇航行速度。

2 磁探仪搜索方法

反潜巡逻机使用磁探仪在指定区域搜索时,根据指定搜索区域的大小、巡逻时间、参加搜索的反潜巡逻机的数量,可采用平行搜索法、多平行段搜索法两种基本搜索方法,如图3所示。反潜巡逻机飞行的高度应使得搜索宽度尽可能大。

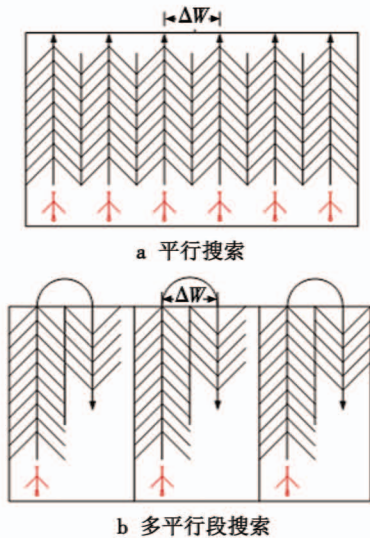


图3 磁探仪搜索方法示意图

Fig.3 The search method of magnetic anomaly detector

为了能够在搜索过程中覆盖敌潜艇在深度上可能的分布,提高发现潜艇的概率,反潜巡逻机相邻搜索带应有一定的重叠,如图4所示。

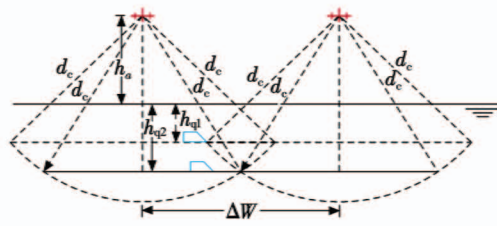


图4 相邻搜索带重叠系数分析示意图

Fig.4 Analysis for adjacent search zone with overlap coefficient

重叠系数的大小应当满足:1)反潜巡逻机飞行安全的要求,即相邻两架反潜巡逻机之间的间距应不小于最低安全飞行间距;2)高搜索效率的要求,即相邻两架反潜巡逻机形成的搜索带宽度应尽可能大;3)高发现概率的要求,即处于相邻两架反潜巡逻机之间的潜艇,在可能深度分布范围 $[h_{q1}, h_{q2}]$ 内难以摆脱搜索。

根据上述分析可知,对处于潜航深度分布范围为 $[h_{q1}, h_{q2}]$ 的潜艇进行搜索时,相邻反潜巡逻机之间的间距 ΔW 应不大于 h_{q2} 对应的搜索宽度,即

$$\Delta W \leq W(h_{q2}) \quad (8)$$

考虑实际作战中使用的方便, ΔW 可以磁探仪的最大探测距离 d_c 为单位来表示,即 $\Delta W = kd_c$ 。根据表1和表2的数据分析可知, $k \in [1, 1.5]$ 。

2.1 单机搜索方法

单架反潜巡逻机使用磁探仪进行区域搜索时,应采用多平行段搜索法,即单机多平行段搜索法,如图5所示。

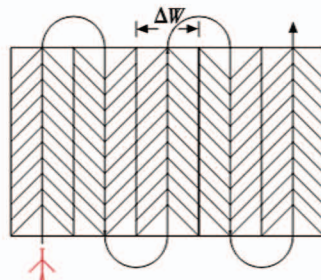


图5 单机多平行段搜索示意图

Fig.5 Single aircraft in parallel search with multiple sections

反潜巡逻机沿搜索区的长边

(或短边)飞行,各平行段之间的间距为 $\Delta W = kd_c, k \in [1, 1.5]$,搜索飞行高度应根据反潜巡逻机的飞行性能、海域深度、潜艇可能的航行深度范围具体确定;搜索飞行速度应根据反潜巡逻机的飞行性能和磁探

仪的性能具体确定;转弯时的横倾角应当根据各平行段之间的间距、反潜巡逻机的转弯半径和机组人员操作的舒适度综合确定。

单机多平行段搜索法主要是对范围较小的指定海域实施搜索,如果指定海域范围较大,应使用多架反潜巡逻机进行搜索。

2.2 多机搜索方法

当指定的海域范围较大,单架反潜巡逻机在最大巡逻时间内无法完成搜索任务,或在给定的时间内无法完成任务时就需要多机搜索。多机搜索法可分为多机平行搜索法和分区多平行段搜索法。

如果反潜巡逻机的数量能够保证一次覆盖指定的搜索区域,则可以采用多机平行搜索法,如图3a所示。否则,应将指定的搜索区划分成几个子区域,分配反潜巡逻机在各自的子区域内采用多平行段搜索法,这种方法可称之为分区多平行段搜索法,如图3b所示。每个子区域的大小应当根据反潜巡逻机的数量具体确定,通常情况下,各飞行段应平行于子区域的长边。为提高反潜巡逻机转至下一个搜索航段时的安全性,所有反潜巡逻机应同步朝一个方向转向。

3 磁探仪得到接触后行动

磁探仪得到接触后,为了对接触进行高可信度的识别,可以使用两种方法,即借助浮标识别和借助磁探仪识别。当海况小于5级时,通常应借

助浮标识别;当海况超过5级时,仅能使用磁探仪进行识别。

3.1 使用磁探仪进行识别

借助磁探仪对接触进行高可信度识别时,反潜巡逻机可通过一次转向法或两次转向法进行,如图6所示。一次转向法是指,搜索过程中反潜巡逻机磁探仪第一次得到接触后,立即转向 270° (左转或右转)第二次驶向接触点,如图6a所示;两次转向法是指,搜索过程中反潜巡逻机磁探仪第一次得到接触后,立即连续两次转向 180° (左转或右转)第二次驶向接触点,如图6b所示。

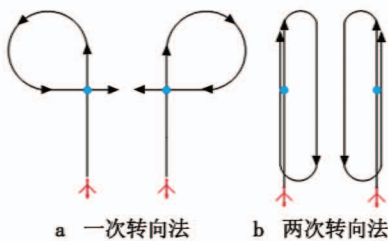


图6 磁探仪对接触识别方法示意图

Fig.6 The recognition method of magnetic anomaly detector after contact

反潜巡逻机第二次驶向接触点时,若磁探仪获得接触,机组人员应力争得到连续的磁接触。如果反潜巡逻机没有获得接触,则以首次磁接触点为中心,根据延迟时间计算目标可能的分布范围,反潜巡逻机在目标可能分布区内使用磁探仪进行平行搜索,如图7所示。如在目标可能分布区内没有得到接触,反潜巡逻机在搜索区内继续搜索。

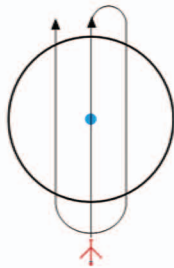


图7 磁探仪在目标可能分布区内平行搜索

Fig.7 Parallel search by magnetic anomaly detector in the area with potential target

3.2 使用浮标进行识别

借助浮标对接触进行高可信度识别时,反潜巡逻机可通过布设相互重叠的包围型浮标阵进行。包围型浮标阵可布设成十字阵或三角阵,如图8所示。布阵时,应将磁探仪先前探测的可疑敌潜艇位置点置于浮标阵的中心。布设十字阵时,应使在浮标阵中心两侧浮标之间的间距等于 $1.5d_c \sim 2d_c$,如图8a所示。布设三角阵时,应使浮标阵中任意两个浮标之间的间距等于 $1.5d_c \sim 2d_c$,如图8b所示。

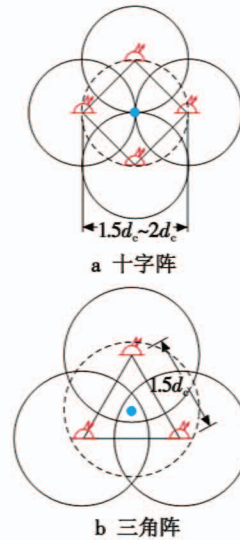


图8 对接触识别浮标阵

Fig.8 Buoy array for identification after contact

布设的被动声呐浮标接收到噪声后即发出信号,反潜巡逻机接收到信号后,需要再布设包围型浮标阵。如果又一次接收到噪声信号,则向指挥员报告并通报其他反潜巡逻机发现了潜艇,同时确定其运动要素。

3.2.1 十字阵布阵方法

反潜巡逻机使用磁探仪对潜搜索第一次得到接触点后,若决定使用声呐浮标十字阵对接触进行高可信度的识别,则十字阵的布阵方法可基于第1枚浮标的投放时机分为两种:一是即时布阵法(或称为点后布阵法);二是延时布阵法(或称为点前布阵法)。

即时布阵法是指,在磁探仪得到接触后,根据计算的时间适时布设第1枚浮标。这种布阵方法,实质上是在反潜巡逻机飞过接触点后开始布设第1枚浮标,所以也可称为点后布阵法。

延时布阵法是指,在磁探仪得到接触后,转向 270° ,根据计算的至再次获得接触点的时间布设第1枚浮标。这种布阵方法,实质上是在反潜巡逻机飞至再次获得接触点之前开始布设第1枚浮标,所以也可称为点前布阵法。

在实际作战中,磁探仪第一次得到接触后,要么采用即时布阵法,要么采用延时布阵法布设十字阵。通常情况下,可根据机组人员的训练水平进行选择。如果机组人员的反应时间满足即时布阵法布设第1枚浮标的时间要求,则采用即时布阵法;否则,应采用延时布阵法。

3.2.1.1 十字阵即时布阵法

十字阵即时布阵法如图9所示。设反潜巡逻机于 t_0 时刻得到接触。如果得到接触后,机组人员的反应时间没有超过 $\Delta t_1 = kd_c/2v_a$,则可根据计算的时间布设第1枚浮标。

布设第1枚浮标的时刻为 $t_1 = t_0 + \frac{kd_c}{2v_a}$ 。第1枚浮标投放完毕立即左转 270° ,于 t_2 时刻投放第2枚浮标,即 $t_2 = t_1 + \frac{3\pi kd_c}{4v_a}$ 。第2枚浮标投放完毕,于 t_3 时刻投放第3枚浮标,即 $t_3 = t_2 + \frac{kd_c}{v_a}$ 。第3枚浮标投放完毕,立即右转 270° ,如图9a所示,于 t_4 时刻投放第4枚浮标,即 $t_4 = t_3 + \frac{3\pi kd_c}{4v_a}$ 。为了机组人员的适应性,可始终保持向一个方向转向,即左转 270° ,如图9b所示,从第1枚浮标上空飞过投放第4枚浮标,此时 $t_4 = t_3 + \frac{3\pi kd_c}{4v_a} + \frac{kd_c}{v_a}$ 。

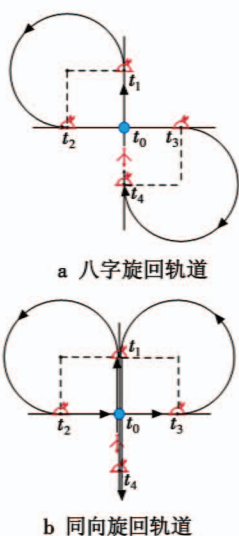


图9 十字阵即时布阵法

Fig.9 Real-time deploying method of cross array

3.2.1.2 十字阵延时布阵法

十字阵延时布阵法如图10所示。

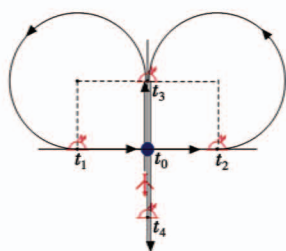


图10 十字阵延时布阵法

Fig.10 Delayed deploying method of cross array

设反潜巡逻机于 t_0 时刻得到接触,如果得到接触后,机组人员的反应时间超过 $\Delta t_1 = \frac{kd_c/2}{v_a}$,则应左转

270° 后,根据计算的时间布设第1枚浮标。布设第1枚浮标的时刻为 $t_1 = t_0 + \frac{kd_c/2}{v_a} + \frac{3\pi kd_c}{4v_a}$ 。布设第2枚浮标的时刻为 $t_2 = t_1 + \frac{kd_c}{v_a}$ 。布设完第2枚浮标后立即左转 270° ,于 t_3 时刻布设第3枚浮标,即 $t_3 = t_2 + \frac{3\pi kd_c}{4v_a}$ 。布设第4枚浮标的时刻为 $t_4 = t_3 + \frac{kd_c}{v_a}$ 。

3.2.2 三角阵布阵方法
三角阵布阵方法如图11所示。

反潜巡逻机使用磁探仪对潜搜索第一次得到接触点后,若决定使用声呐浮标三角阵对接触进行高可信度的识别,应立即投放第1枚浮标,随后左(或右)转按计算的时间投放第2枚和第3枚浮标。

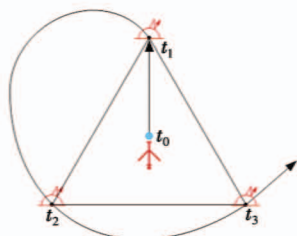


图11 三角阵布阵方法

Fig.11 Deploying method of triangle array
使用“三角阵”有以下优点。

1) 可在获得接触后立即布设浮标,布阵过程中反潜巡逻机转弯次数少。同时,声呐浮标能较早地获得与目标的接触,浮标探测范围重叠面积大。

2) 能够节约搜索中用于识别的浮标数量、节省时间、较少地降低磁探仪搜索的效率。

另外,当多架反潜巡逻机组成编队使用磁探仪采用平行搜索法搜索时,可设置一架专门用于识别的反潜巡逻机,其应位于搜索编队的后方,高于搜索编队的飞行高度。当搜索编队的磁探仪获得接触时,识别机即可对接触进行识别,这时搜索编队可进行连续搜索且不降低搜索效率。

4 发现潜艇的概率

设 N 架反潜巡逻机在面积为 S 的搜索区内,采用平行搜索方法搜索了 T_s 时间,浮标对目标的识别概率为 P_{ffc} ,根据上述分析结果,反潜巡逻机发现潜艇的概率 P_c 为^[3-4]

$$P_c = 1 - \exp\left(-\frac{U_c \cdot N \cdot T_s \cdot P_{ffc}}{S}\right) \quad (9)$$

将式(7)代入得

$$P_c = 1 - \exp\left(-\frac{W_{yx} \cdot \bar{V}_r \cdot T_s \cdot N \cdot P_{ffc}}{S}\right) \quad (10)$$

设 N 架反潜巡逻机在面积为 S 的搜索区内,采用多平行段搜索方法对潜艇进行搜索,每个搜索航段的长度为 L_c ,共有 n_c 个航段,浮标对目标的识别概率为 P_{ffc} ,反潜巡逻机发现潜艇的概率 P_c 为

$$P_c = 1 - \exp\left(-\frac{W_{yx} \cdot L_c \cdot n_c \cdot N \cdot P_{ffc}}{S}\right) \quad (11)$$

应当注意的是,当使用磁探仪对接触进行识别时,式(10)和式(11)中的 P_{ffc} 取1。

5 结束语

使用磁探仪对潜搜索具有隐蔽性好、不受海洋噪声干扰且可靠性和定位精度较高等优点,但其探测作用距离有限。因此,磁探仪通常在敌潜艇机动受限的不大或狭窄的海域使用,或当海况不允许使用其他搜索器材,或为了节省其他搜索器材时使用^[5-6]。本文提出了平均搜索宽度的概念,建立了磁探仪平均搜索宽度计算模型;提出了反潜巡逻机磁探仪区域搜索的“两类三种”搜索方法,以及得到接触后的“两类四种”行动方法;给出了反潜巡逻机使用磁探仪在指定区域搜索发现潜艇概率计算模型。应当注意的是,反潜巡逻机本身也是一个磁源,包括永久磁场、感应磁场和涡流磁场,在其做机动飞行时,将对磁探仪产生干扰,这个干扰比磁探仪本机噪声一般要大数百倍。所以,反潜巡逻机在到达预定海域使用磁探仪搜索之前,机组首先应当规划磁补偿飞行航线进行磁补偿飞行,以获取该海域的磁补偿系数,确保磁探仪能正常可靠地探测目标。

参考文献

[1] 谭安胜,王新为.反潜巡逻机声呐浮标区域搜索研究——布听同步搜索[J].电光与控制,2017,24(5):1-9.

- [2] 谭安胜,王新为.反潜巡逻机声呐浮标区域搜索研究——布听异步搜索[J].电光与控制,2017,24(6):1-9.
- [3] 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.
- [4] 张最良,李长生,赵文志,等.军事运筹学[M].北京:军事科学出版社,1993.
- [5] 孙明太.航空反潜战术[M].北京:军事科学出版社,2003.
- [6] 曲也频.反潜飞机搜潜效能评估与决策建模[M].北京:国防工业出版社,2011.

Abstract: To solve the problem of the uncertainty of the searching width of the magnetic anomaly detector caused by the uncertain diving depth of the enemy submarine in practical combat, the concept of average searching width is put forward and the calculation model of the average searching width of the magnetic anomaly detector is built based on the performance characteristics of the magnetic anomaly detectors, which can provide the basic parameters for combat plan and preparation. Two types, totally three kinds of searching methods are proposed for the anti-submarine patrol aircraft to carry out regional search with the magnetic anomaly detector. Two types, totally four kinds of action plans for use after the contact are given. The model is proposed for calculating the probability of successfully detecting the enemy submarines in specified areas by the anti-submarine patrol aircraft with the magnetic anomaly detector, and this model can be applied to inverse calculation.

Abstract: anti-submarine patrol aircraft; regional search; magnetic anomaly detector; search method

下 期 要 目

赛博空间战术机动的要素分析

基于 ADRC 和 NLPID 的稳瞄系统伺服控制器的设计

多旋翼无人机编队动态航路规划研究

启发式方法在机器人路径规划优化中的应用综述

一种改进奇异值分解降噪方法研究

光学元件亚表面损伤散射特性仿真研究

基于交互式伯努利滤波的机动目标 TBD 算法

编队舰空导弹接力制导研究

基于背景抑制的改进 Top-Hat 红外小目标检测方法

耦合场作用下光机系统成像质量分析研究

基于动态调节的小型四旋翼飞行器的控制系统

基于自适应动态规划的未知模型非线性系统控制

双机协同作战下导弹协同攻击区仿真分析

载体运动情况下星敏感器测量误差建模与分析

无线网络通信下多无人机飞行器编队飞行控制

不确定非线性多智能体系统的最优协同控制