

# 反潜巡逻机声呐浮标区域搜索研究 ——布听异步搜索

## Research on Regional Search of Anti-submarine Patrol Aircraft Using Sonobuoy —Asynchronous Search of Deploying and Monitoring

谭安胜, 王新为

(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, 当敌潜艇出现在某个区域或估计敌潜艇在某个区域活动时采用。区域搜索应考虑以下几个关键要素: 搜索区的大小、目标在区域内的分布规律及其变化、搜索兵力在搜索区内的行动方法、必要的搜索次数、允许

基于对区域搜索特点的认识, 提出反潜巡逻机使用声呐浮标对潜区域搜索时, 必须将布设浮标阵、监听浮标阵以及布阵与听阵之间的关系综合一体考虑的观点。基于对声呐浮标区域搜索态势的分析, 提出了反潜巡逻机使用声呐浮标对潜区域搜索的“两类三种”搜索方法, 本文主要对布听异步搜索方法进行探讨, 提出了针对该方法的标准浮标阵的概念, 建立了该搜索方法的搜索效率计算模型和浮标分配模型, 给出了使用该搜索方法对潜区域搜索筹划的范例。对于反潜巡逻机使用声呐浮标对潜搜索时得到接触后的态势进行了分析, 给出了得到接触后的行动方法。提出了反潜巡逻机使用声呐浮标对潜区域搜索时, 搜索法选择的基本原则和搜索筹划的一般步骤。

关键词: 反潜巡逻机; 区域搜索; 声呐浮标; 布听异步搜索方法

中图分类号: E925.4

文章编号: 1671-637X(2017)06-0001-07

搜索的时间等。组织和研究区域搜索具体方法的基点是: 没有有关敌潜艇位置、航向和航速的信息。衡量区域搜索能力的指标是: 在考虑了敌潜艇采取规避机动和反潜兵力对目标进行正确识别的基础上, 反潜兵力在单位时间内所能搜索的面积。

区域搜索时往往需要搜索较大面积的海域, 反潜巡逻机所能携带声呐浮标的数量是有限的, 通常只有当上级要求在短时间内以很高的可靠性查明水下空间时使用。反潜巡逻机使用声呐浮标进行区域搜索时, 一般使用装备量相对较多的被动全向声呐浮标, 形成声呐浮标阵<sup>[1-4]</sup>。反潜巡逻机使用声呐浮标对潜区域搜索的有效方法有布听同步搜索和布听异步搜索两类, 对布听同步搜索的研究见文献[5], 本文主要研究布听异步搜索方法。

## 1 布听异步区域搜索方法

### 1.1 布听异步搜索态势分析

如图 1 所示, 当指定的搜索区域( $A \times B$ )的短边  $A$  大于反潜巡逻机与浮标之间的通信距离  $D_{TX}$ , 而小于  $2D_{TX}$  时, 如果选用布听同步搜索方法, 为了布设浮标阵, 一个浮标列的长度  $L_n$  就要大于  $D_{TX}$ , 这将导致反潜巡逻机监听不到的浮标数量增加, 不仅降低了搜索效率, 而且白白增加了浮标的消耗。

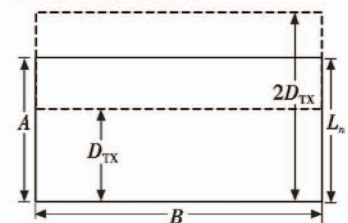


图 1 布听异步搜索方法分析示意图  
Fig. 1 Analysis of asynchronous search method of deploying and monitoring

当  $A = 1.2D_{TX}$  时,如果采用布听同步搜索法,通过计算发现潜艇的概率将下降 8% ~ 12%。因此,运用布听同步搜索法时,搜索区的边长应不大于  $D_{TX}$ 。所以,当  $1.2D_{TX} \leq A < 2D_{TX}$  时,把搜索区划分成数块浮标阵,采用布听同步搜索法是不合理的。应当指定部分反潜巡逻机布设浮标,而另一部分反潜巡逻机监听浮标。特别是在机载浮标数量有限时,这种将布设与监听分开的先布设浮标后监听浮标的方法,即“布听异步搜索法”是较为合理的。

布设浮标的反潜巡逻机,应在最短时间内完成浮标阵的布设,一个标准浮标阵的大小,应当是一架反潜巡逻机所能连续监听的面积。

### 1.2 布听异步搜索标准浮标阵

如图 2 所示,设反潜巡逻机采用边长为  $l_A \times 2R_a$  ( $R_a$  为反潜巡逻机的转弯半径)的矩形监听飞行轨道对浮标阵进行监听,要求反潜巡逻机在监听轨道上的任意一点都能监听到浮标阵中的所有浮标发出的信号(包括转弯时),且监听的面积最大。

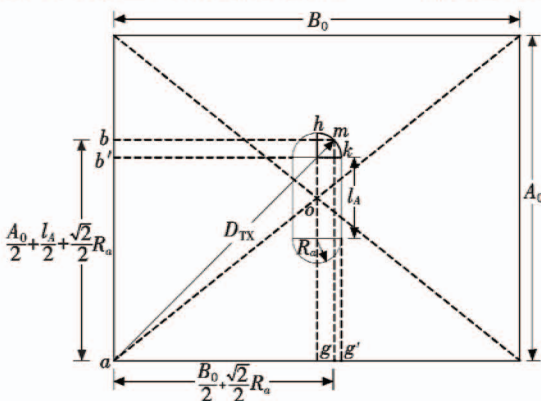


图 2 标准浮标阵与监听飞行轨道分析示意图  
Fig.2 Analysis of standard buoy array and monitoring flight track

令点  $o$  为搜索区内浮标阵  $A_0 \times B_0$  ( $A_0$  为短边)的几何中心,要满足上述两点要求,反潜巡逻机监听飞行轨道的设置必须满足以下 3 点:

- 1) 反潜巡逻机监听飞行轨道的几何中心在  $o$  点上;
- 2) 弧  $hk$  上距  $a$  点最远点  $m$ ,与

$a$  点之间的距离不大于反潜巡逻机与浮标之间的通信距离  $D_{TX}$ ;

- 3) 四边形  $abmg$  为正方形。

则有

$$\begin{cases} |ab| = \frac{A_0}{2} + \frac{l_A}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}R_a = \frac{\sqrt{2}}{2}D_{TX} \\ |ag| = \frac{B_0}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}R_a = \frac{\sqrt{2}}{2}D_{TX} \end{cases} \quad (1)$$

整理得

$$\begin{cases} A_0 = \sqrt{2}D_{TX} - l_A - \sqrt{2}R_a \\ B_0 = \sqrt{2}D_{TX} - \sqrt{2}R_a \end{cases} \quad (2)$$

该式就是反潜巡逻机所能监听的面积最大浮标阵。将该浮标阵称为“布听异步搜索标准浮标阵”,记为  $FZ(l_A)$ 。

反潜巡逻机在监听浮标阵的过程中,由于监听时间较长,频繁转弯将使机组人员产生疲劳,所以在监听航段  $l_A$  上飞行的时间不能太短,通常为 3 ~ 4 min。如果转弯时反潜巡逻机的横倾角过大,将影响机组人员对浮标的监听质量,且易加剧疲劳,所以转弯时反潜巡逻机的横倾角不宜过大。

然而,横倾角的大小决定了反潜巡逻机转弯半径的大小,如果转弯半径过大,监听的面积将会减小。所以,在实际作战中必须进行权衡。

为了使监听范围尽可能大,转弯半径应尽可能小,倾斜角就会很大,这样一来在转弯期间对浮标阵的有效

监听就非常困难。如果不考虑转弯期间对浮标阵的监听问题,那么,四边形  $ab'kg'$  应为正方形,标准浮标阵  $FZ(l_A)$  的大小为

$$\begin{cases} A_0 = \sqrt{2}D_{TX} - l_A \\ B_0 = \sqrt{2}D_{TX} - 2R_a \end{cases} \quad (3)$$

要想扩大监听范围,监听浮标

阵的反潜巡逻机应以低速飞行。如果由直升机监听浮标阵,反潜巡逻机布设浮标阵效果更佳。

### 1.3 布听异步搜索布阵方法

布听异步搜索法布设浮标阵时有两种方法:1)多机平行布设,如图 3 所示;2)分区多平行航段布设,如图 4 所示。选择哪种方法依据搜索区的大小和形状、一架飞机携带的浮标数量,以及可用反潜巡逻机的数量决定。

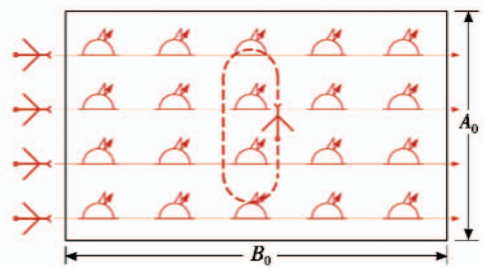


图 3 多机平行布设示意图

Fig.3 Multi-aircraft parallel deploying

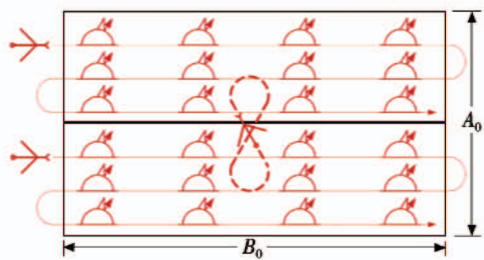


图 4 分区多平行航段布设示意图

Fig.4 Subarea multi-parallel flight segment deploying

当多机布设时:

- 1) 如果战斗队形的宽度能够保证在一个航向布设所有浮标列时,多架反潜巡逻机可组成“横队”、“方位队”或“楔形队”,以平行长边的航向同步布设浮标列,该方法的优点是快,因此,当需要在短时间布设浮标阵时采用该方法;

- 2) 当战斗队形的宽度不能保证在一个航向布设所有浮标列时,每架反潜巡逻机负责指定区域中的一个子区域,按计算的浮标列,各自采用多平行航段布设方法进行,在布设过程中,各架反潜巡逻机可以同步,也可以不同步。

### 1.4 布听异步搜索效率

一个布听异步搜索标准浮标阵

的面积为

$$S_{FZ(L_A)} = (\sqrt{2}D_{TX} - l_A - \sqrt{2}R_a) \cdot (\sqrt{2}D_{TX} - \sqrt{2}R_a) \quad (4)$$

设一架反潜巡逻机的巡逻时间为  $t_{sl}$ ，在搜索期间参加布阵的时间为  $t_{bz}$ ，指定监听浮标阵的时间为  $t_{gt}$ ，预留可能需要对假接触识别的附加时间为  $t_{fp}$ ，预留对真目标识别、跟踪、定位与攻击的时间或引导另一架反潜巡逻机实施攻击的时间为  $t_{fs}$ ，则在指定搜索区域内，一架反潜巡逻机所能搜索的面积为

$$S_s = S_{FZ(L_A)} \cdot \frac{t_{sl} - t_{fp} - t_{fs}}{t_{bz} + t_{gt}} \quad (5)$$

将至少一个浮标发现潜艇的概率作为评价浮标阵搜索效率的指标，则布听异步搜索中，一个标准阵  $FZ(L_A)$  的搜索效率为

$$U_{FZ(\Delta T)} = \frac{N_\sigma}{t_{bz} + t_{gt}} \cdot (\pi d_c^2 + 2d_o v_q t_{gt}) \cdot P_k \cdot p_{je} \quad (6)$$

式中， $N_\sigma$  为一个标准阵的浮标数量。

一个标准阵  $FZ(L_A)$  发现潜艇的概率为

$$P_{FZ(\Delta T)} = 1 - e^{-\frac{N_\sigma}{S_{FZ(L_A)}} (\pi d_c^2 + 2d_o v_q t_{gt}) \cdot P_k \cdot p_{je}} \quad (7)$$

采用布听异步搜索时，如果在每个浮标阵中的监听时间都相同，则在面积为  $S$  的浮标场内反潜巡逻机发现潜艇的概率为

$$P_s = 1 - e^{-\frac{N_\sigma}{S} (\pi d_c^2 + 2d_o v_q t_{gt}) \cdot F_n \cdot P_k \cdot p_{je}} \quad (8)$$

式中， $F_n$  为标准浮标阵  $FZ(L_A)$  的个数。

当要求发现概率为  $P_{gt}$  时，在面积为  $S$  的浮标场内的浮标需求量  $N$  为

$$N = \frac{-S \cdot \ln(1 - P_{gt})}{(\pi d_c^2 + 2d_o v_q t_{gt}) \cdot P_k \cdot p_{je}} \quad (9)$$

### 1.5 布听异步搜索浮标分配

对于任意一个矩形浮标阵，已知其短边为  $A$ ，长边为  $kA$ ， $k \geq 1$ 。将  $N_\sigma$  枚浮标均匀布设在该浮标阵中。布设浮标阵时浮标列与其短边平行。在浮标分配时考察两种模型：一是交错均匀分配模型；二是对称均匀分配模型。

交错均匀分配时，设奇数列布设  $n$  个浮标，其间距为  $\Delta D_y$ ，则偶数列应布  $n-1$  个浮标，共布设了  $m$  列浮标，根据均匀性的要求可知，每列浮标间距应为  $\sqrt{3} \Delta D_y / 2$ ，则有

$$\begin{cases} (n-1) \times \Delta D_y = A \\ (m-1) \times \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta D_y = kA \end{cases} \quad (10)$$

两式相除并整理得

$$n = \frac{\sqrt{3}}{2k} m - \frac{\sqrt{3}}{2k} + 1 \quad (11)$$

设共有  $N_\sigma$  个待布设的浮标，则应有

$$n \times m - \frac{m}{2} = N_\sigma \quad (12)$$

将式(11)代入式(12)，整理得  $\sqrt{3}m^2 + (k - \sqrt{3})m - 2kN_\sigma = 0$ ，解得

$$m = \frac{\sqrt{3} - k + \sqrt{(k - \sqrt{3})^2 + 8\sqrt{3}kN_\sigma}}{2\sqrt{3}} \quad (13)$$

$$n = \frac{\sqrt{3}}{2k} (m - 1) + 1 \quad (14)$$

考虑到  $n$  为整数，对式(14)进行四舍五入，则

$$n = \left\lfloor \frac{\sqrt{3}}{2k} (m - 1) + 0.5 \right\rfloor \quad (15)$$

根据式(15)可得奇数列的浮标数  $n$ ，偶数列的浮标数为  $n-1$ 。由于总浮标数量一定，最后一列的浮标数可能不到  $n$  或  $n-1$ ，此时综合考虑发现概率与布设的方便性，可增加布放数量至满列。

对称均匀分配时，设每列布设  $n$  个浮标，共布设了  $m$  列，根据均匀性的要求，则应有

$$\begin{cases} m \times n = N_\sigma \\ m - 1 = k(n - 1) \end{cases} \quad (16)$$

根据式(16)，同时考虑尽量减少转弯次数，因此

$$m = \left\lceil \frac{1 - k + \sqrt{(k+1)^2 + 4kN_\sigma}}{2} \right\rceil \quad (17)$$

式中， $\lceil \cdot \rceil$  表示向上取整。

每列的浮标数

$$n = \left\lfloor \frac{N_\sigma}{m} \right\rfloor \quad (18)$$

式中， $\lfloor \cdot \rfloor$  表示向下取整。

### 1.6 布听异步搜索筹划范例

目的：筹划在面积为  $S$  的给定区域内，应用布听异步搜索方法，对敌潜艇进行搜索。

计算条件：搜索区面积  $S = A \times B = 50 \text{ km} \times 80 \text{ km}$ ，浮标有效探测距离  $d_o = 2 \text{ km}$ ，要求监听时间为  $t_{gt} = 1.5 \text{ h}$ ，反潜巡逻机携带浮标 124 枚，巡逻时间  $t_{sl} = 4.8 \text{ h}$ ，反潜巡逻机与浮标的通信距离  $D_{TX} = 42 \text{ km}$ ，敌潜艇平均航行速度为  $v_q = 6 \text{ n mile/h}$  ( $1 \text{ n mile} = 1.852 \text{ km}$ )，要求发现概率  $P_{gt} = 0.8$ ，浮标可靠性  $P_k = 0.8$ ，接触概率  $P_{je} = 0.8$ 。

计算步骤与方法如下。

Step 1 计算浮标需求量  $N_{sq}$ 。

1) 布阵需求量(枚数)为

$$N = \frac{-S \cdot \ln(1 - P_{gt})}{(\pi d_o^2 + 2d_o v_q t_{gt}) \cdot P_k \cdot p_{je}} = 126.95$$

2) 确定备用浮标量(用于定位跟踪攻击)枚数  $N_{by} = 20$ 。

3)  $N_{sq} = N + N_{by} = 147 > 124$ 。

4) 结论：一架反潜巡逻机的浮标携带量不满足任务需求。

建议：由两架反潜巡逻机遂行任务。

Step 2 根据反潜巡逻机与浮标的通信距离计算一个标准阵的大小和覆盖给定搜索区需要几个标准阵。

1) 一个标准阵的大小。

给定区域  $S = A \times B = 50 \text{ km} \times 80 \text{ km}$ ，当监听飞行速度  $v_a = 320 \text{ km/h}$ ，监听飞行段时间  $3 \text{ min}$ ，横倾角  $10^\circ$  时，有  $A_0 = \sqrt{2}D_{TX} - l_A = 43.4 \text{ km}$ ， $B_0 = \sqrt{2}D_{TX} - 2R_a = 50.3 \text{ km}$ 。

2) 覆盖给定搜索区的标准阵个数  $F_n$ 。给定区域  $S = A \times B = 50 \text{ km} \times 80 \text{ km}$ ， $F_n = \frac{50 \times 80}{43 \times 50} = 2$ 。

3) 结论：每架反潜巡逻机负责一个标准浮标阵。

Step 3 确定布阵方法和监听方法。

两架反潜巡逻机分区布设，布设完后在各自的浮标阵中采用长方

形监听飞行轨道监听。

Step 4 在搜索区内分配浮标。

应用布听异步搜索浮标分配模型计算。

1) 交错均匀分配时:浮标列15列,奇数列9枚,偶数列8枚。实布128枚。列间距5.71 km,列浮标间距6.25 km。

2) 对称均匀分配时:浮标列14列,每列9枚,实布126枚。列间距6.15 km,列浮标间距6.25 km。

3) 建议:①采用对称均匀分配,每个标准阵7列,便于操作;②布设浮标时的飞行速度为400 km/h,减

少布设时间。

4) 计算实际布设  $N_{sj}$  枚浮标的发现概率。

对称均匀分配时,  $N_{sj}=126, P_{fz}=1 - e^{-\frac{\pi}{4}(\pi d_c^2 + 2d_v y_{fz}) \cdot P_s \cdot p_p} = 0.7976 < P_{gd} = 0.8$ 。

交错均匀分配时,  $N_{sj}=128, P_{fz}=1 - e^{-\frac{\pi}{4}(\pi d_c^2 + 2d_v y_{fz}) \cdot P_s \cdot p_p} = 0.8027 > P_{gd} = 0.8$ 。

Step 5 计算巡逻时间需求。

1) 总布阵时间为

$$t_{ba} = \frac{m(A + \pi R_a) - \pi R_a}{v_a} = 2.056 \text{ h}。$$

2) 一架反潜巡逻机的布阵时间

表1 布听异步周期搜索方案

Table 1 The scheme of asynchronous and periodic search of deploying and monitoring

| 计算方法   | 方案编号   | 浮标分配   | 浮标列数 | 奇列/偶列浮标枚数 | 实布/备用浮标枚数 | 列间距/km | 列浮标间距/km | 布阵飞行速度/(km·h <sup>-1</sup> ) | 发现概率   |
|--------|--|--------|------|-----------|-----------|--------|----------|------------------------------|--------|
| 理论计算方案 | 方案1  | 对称均匀分配 | 14   | 9/9       | 126/122   | 6.15   | 6.25     | 400                          | 0.7976 |
|        | 方案2  | 交错均匀分配 | 15   | 9/8       | 128/120   | 5.71   | 6.25     | 400                          | 0.8027 |
| 要点     | 飞机数量2架;布阵方法为分区布设,布阵飞行速度400 km/h,布设时间1 h;监听方法为分区监听,监听飞行速度320 km/h,监听时间1.5 h;巡逻飞行高度为300 m;任务区完成任务时间为3 h,其中,布设浮标阵时间1 h,阵内监听时间1.5 h,附加时间0.5 h;剩余巡逻时间(机动时间)为1.8 h;浮标工作时间设定不小于1.5 h,建议2.0 h。 |        |      |           |           |        |          |                              |        |
| 方案优化排序 | 方案1>方案2  |        |      |           |           |        |          |                              |        |

## 2 得到接触后的行动方法

接收到浮标阵中浮标发出的信号,并不能证实一定是发现了潜艇,必须先对接触进行识别。因此,当接收到浮标阵中浮标发出的信号后,为了进行识别,机组人员应当:1)驾驶飞机飞向发出信号的浮标;2)借助于雷达或目力确信周围无水面舰艇和商船;3)借助浮标或磁探仪对接触进行识别。

### 2.1 得到接触后的态势分析

根据浮标阵的浮标密度,接触可分为两种情况:1)单枚浮标得到接触;2)2枚或2枚以上浮标同时得到接触。

在单枚浮标得到接触时,反潜巡逻机在向发出信号的浮标接近过程中,可能有:1)该浮标持续发出信号;2)该浮标信号中断;3)该浮标信号中断后,另一枚浮标发出信号。

在2枚浮标得到接触时,反潜巡

逻机在向发出信号的浮标接近过程中,可能有:1)2枚浮标同时持续发出信号;2)1枚浮标信号中断,另一枚浮标持续发出信号;3)2枚浮标同时信号中断;4)2枚浮标先后信号中断;5)2枚浮标信号中断后,另一枚浮标发出信号;6)2枚浮标信号中断后,另2枚浮标同时或先后发出信号。

最典型的是单枚浮标持续发出信号和单枚浮标信号中断的情况。在使用全向被动浮标搜索时,一般至少需要3枚浮标同时保持与潜艇接触才能对目标准确定位<sup>[2]</sup>。因此,在接触潜艇的浮标数量不足以定位,或定位精度不能满足实施攻击要求时,需要适当补投浮标,以提高搜索效果和定位精度。

### 2.2 借助浮标对接触识别

在发出信号的浮标周围,再布设包围型浮标阵。包围型浮标阵应当满足:1)潜艇向任意方向航行都

为  $t_{ba1} = 1 \text{ h}$ 。

3) 一架反潜巡逻机的附加时间需求:①预留对假接触的处理附加时间为  $t_{fz} = 10 \text{ min}$ ;②预留对真实接触的处理时间为  $t_{fz} = 20 \text{ min}$ 。

4) 一架反潜巡逻机在任务区的时间需求  $T_{sq} = t_{ba1} + t_{gd} + t_{fz} + t_{fz} = 3 \text{ h} < t_{sl} = 4.8 \text{ h}$ 。

5) 结论:一架反潜巡逻机的巡逻时间满足任务需求,两架可完成任务。

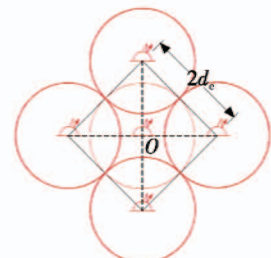
Step 6 搜索方案生成与选择。

布听异步周期搜索方案如表1所示。

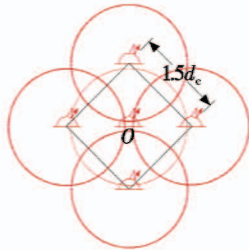
能进入浮标阵内的浮标作用区;2)浮标阵中的浮标能较早地获得与目标的接触,浮标探测范围重叠大;3)布设浮标阵的过程中反潜巡逻机转弯次数少;4)能够节约搜索中用于识别的浮标数量、节省时间。

#### 2.2.1 浮标持续发出信号的情况

当反潜巡逻机到达发出信号的浮标上空时,该浮标仍持续发出信号。此时,满足上述4点要求的浮标阵有十字阵和三角阵两种基本形式,如图5和图6所示。浮标阵中相邻2枚浮标之间的距离为  $kd_c$ ,  $1.5 \leq k \leq 2$ 。

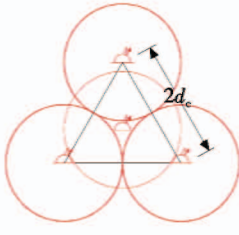


a 浮标间距  $2d_c$

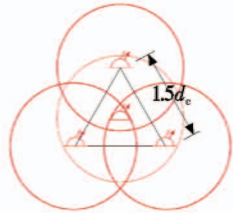


b 浮标间距  $1.5d_c$

图5 十字型浮标阵  
Fig.5 Cross buoy array



a 浮标间距  $2d_c$



b 浮标间距  $1.5d_c$

图6 三角型浮标阵

Fig.6 Triangular buoy array

### 2.2.2 浮标信号消失的情况

在反潜巡逻机向发出信号的浮标接近的过程中,该浮标信号消失。此时,满足上述4点要求的浮标阵是圆型浮标阵,如图7所示。圆型浮标阵的半径  $R$ ,应根据反潜巡逻机抵达浮标阵并布设完浮标阵的时间、敌潜艇的航速等确定。

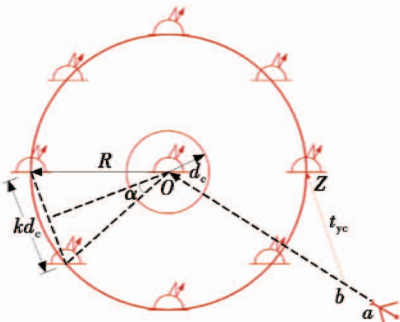


图7 圆型浮标阵

Fig.7 Circular buoy array  
设圆型浮标阵中的浮标与发出

信号浮标  $O$  之间的距离为  $R$ ,浮标的有效作用距离为  $d_c$ ,从发出信号的浮标停止发信号至反潜巡逻机抵达浮标阵第一枚浮标投放点  $Z$  的时间为  $t_{y0}$ ,潜艇的航行速度为  $v_q$ ,反潜巡逻机抵达浮标阵第一枚浮标投放点  $Z$  的位置误差的均方差为  $\sigma_a$ ,反潜巡逻机的飞行速度为  $v_a$ 。反潜巡逻机在以  $R$  为半径的圆周上连续飞行一次布设完圆型浮标阵,则

$$R = d_c + v_q t_{y0} + 2\sigma_a + \frac{2\pi R}{v_a} \cdot v_q \quad (19)$$

令  $\frac{v_a}{v_q} = m$ ,并整理得

$$R = \frac{v_a t_{y0} + 2\sigma_a \cdot m}{m - 2\pi} + \frac{m d_c}{m - 2\pi} \quad (20)$$

由于  $v_a \gg v_q$ ,则有  $m \gg 2\pi$ ,所以

$$R \approx \frac{v_a t_{y0} + 2\sigma_a \cdot m}{m - 2\pi} + d_c \quad (21)$$

式(21)中,关键是参数  $t_{y0}$  的确定, $t_{y0}$  的确定实际上是如何确定圆型浮标阵第一枚浮标投放点  $Z$  的位置,而第一枚浮标投放点的位置  $Z$  是由圆型浮标阵的半径  $R$  的大小决定的。

假定反潜巡逻机在  $a$  点第一次收到浮标  $O$  发出的信号,立即对着该浮标接近飞行,当飞行至  $b$  点,信号消失。此时,反潜巡逻机改变航向向第一枚浮标投放点  $Z$  接近,投放第一枚浮标。设  $b$  点至  $O$  点的距离为  $D_s$ ,反潜巡逻机的航向  $\vec{bZ}$  与以  $R$  为半径的圆型浮标阵的最近的一个切点为  $Z$  点,则有

$$\frac{\sqrt{D_s^2 - R^2}}{v_a} + \frac{2\pi R}{v_a} \leq \frac{R - d_c}{v_q} \quad (22)$$

令  $\frac{v_a}{v_q} = m$ ,并整理得

$$R = \frac{2m(m - 2\pi)d_c + \sqrt{4D_s^2 [(m - 2\pi)^2 + 1] - 4(m d_c)^2}}{2[(m - 2\pi)^2 + 1]} \quad (23)$$

由于  $v_a \gg v_q$ ,则有  $m - 2\pi \approx m$ ,所以

$$R \approx \frac{\sqrt{D_s^2 - d_c^2}}{m} + d_c \quad (24)$$

考虑到反潜巡逻机抵达浮标阵第一枚浮标投放点  $Z$  的位置误差的均方差为  $\sigma_a$ ,则

$$R = \frac{\sqrt{D_s^2 - d_c^2}}{m} + d_c + 2\sigma_a \quad (25)$$

在实际作战中,由于  $D_s$  是可以测定的,所以可用式(25)代替式(21)。反潜巡逻机在浮标信号消失点  $b$  转向至  $\vec{bZ}$  航线飞行  $\sqrt{D_s^2 - R^2}/v_a$  时间,开始投放第一枚浮标。

设圆型浮标阵的浮标需求量为  $N$ ,圆型浮标阵中任意2枚浮标之间的距离为  $kd_c$ ,  $1.5 \leq k \leq 2$ ,如图7所示,则有

$$kd_c = 2R \cdot \sin \frac{\pi}{N} \quad (26)$$

$$N = \frac{\pi}{\arcsin \frac{kd_c}{2R}} \quad (27)$$

### 2.2.3 行动要点

1) 反潜巡逻机接收到浮标发出的信号后,机组人员以最短时间驾驶飞机飞向该浮标,布设包围型浮标阵,半径以预计的潜艇最大航速为准。

2) 如果浮标阵中的浮标未发出信号,可认为预计的潜艇航速低于潜艇实际航速,或者实际延迟时间大于计算值,或者布设浮标的误差过大。此时,应根据敌潜艇可能的位置散布再布设第二道包围型浮标阵。

3) 在对目标识别分类过程中,机组人员要向反潜战术群指挥员报告自己的行动。

4) 当包围浮标阵中的浮标发出信号后,机组人员应通过浮标测量潜艇位置、运动要素,通常情况下,结束识别和分类过程。

### 2.3 借助磁探仪对接触识别

借助磁探仪对接触进行识别时,如发出信号的浮标仍在工作,反潜巡逻机在该浮标作用区平行飞行,直到该浮标停止发出信号,见图8a。

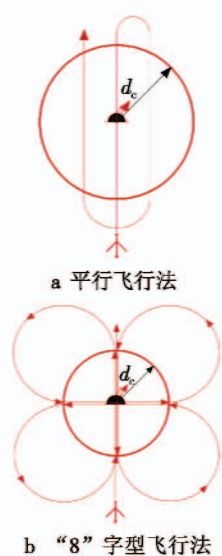


图8 磁探仪对接触识别方法示意图

Fig. 8 Methods of magnetic anomaly detection recognizing contact

如果浮标已停止发出信号,反潜巡逻机围绕其做“8”字型飞行,见图8b。对第二次接触进行识别后,如判定为敌潜艇,机组人员向指挥员报告发现潜艇的时间、潜艇位置、运动要素。根据指挥员的命令,机组人员组织对潜艇进行攻击或跟踪。

反潜巡逻机在做“8”字型飞行或平行飞行时,应当统一按一个方向转弯,其优点:一是可以减少机组人员的疲劳程度;二是可以使搜索航迹更准确。

### 3 浮标区域搜索筹划

反潜巡逻机使用无线电声呐浮标进行区域搜索时,应根据上级给定的搜索区大小、搜索效率指标要求和反潜巡逻机的搜索能力进行周密的筹划。

#### 3.1 搜索法选择的基本原则

当上级给定搜索区后,应当根据搜索区的长、宽大小,对搜索方法进行选择。通常根据搜索区的短边 $A$ 进行初步的选择。

1) 当 $A \leq D_{TX}$ 时,通常选择布听同步搜索法:

① 当 $A \leq \sqrt{2}D_{TX}/2$ 时,通常选择

布听同步连续搜索法;

② 当 $\sqrt{2}D_{TX}/2 < A \leq D_{TX}$ 时,通常选择布听同步周期搜索法。

2) 当 $D_{TX} < A < 2D_{TX}$ 时,通常选择布听异步搜索法。

#### 3.2 浮标区域搜索筹划步骤

反潜巡逻机使用声呐浮标进行区域搜索时,可按下述“8步法”进行筹划。

1) 明确任务:明确上级给定的搜索区域的位置、大小以及对发现概率和搜索时间的要求等。

2) 计算巡逻时间:根据搜索区的距离,计算一架反潜巡逻机在任务区的最大巡逻时间(逗留时间)。

3) 确定搜索方法:根据搜索区的大小,给出采用搜索方法的建议(一种或多种方法)。

4) 确定标准阵的大小和数量:根据反潜巡逻机与浮标的通信距离和选择的搜索方法(一种或多种方法),计算一个标准阵的大小和覆盖给定搜索区需要几个标准阵。

5) 确定兵力需求:① 计算浮标需求量、确定备用浮标数量,据此判断一架反潜巡逻机的浮标携带量是否满足任务需求;② 计算巡逻时间需求,据此判断一架反潜巡逻机的巡逻时间是否满足任务需求;③ 综合①和②给出兵力需求量。

6) 浮标分配:利用浮标分配模型,在搜索区内分配浮标。

7) 兵力分配:根据浮标列和标准浮标阵的大小,将搜索区划分成子区,分配给相应的反潜巡逻机。

8) 生成方案:对生成的多方案进行优化排序,给出方案列表,供指挥员选择。

### 4 结束语

基于对区域搜索特点的理解,在充分考虑反潜巡逻机及声呐浮标战技性能特点的基础上,提出反潜巡逻机使用声呐浮标对潜区域搜索

时,必须将布设浮标阵、监听浮标阵以及布阵与听阵之间的相互关系综合一体考虑的观点。基于该观点,在对反潜巡逻机使用声呐浮标对潜区域搜索态势分析的基础上,提出了“两类三种”搜索方法。本文主要对第二类搜索方法进行探讨,提出了针对布听异步搜索法的标准浮标阵的概念,建立了该搜索方法的搜索效率计算模型和浮标分配模型,标准浮标阵是一个最大能力浮标阵,它是区域搜索时兵力需求与兵力分配筹划的基础。给出了使用布听异步搜索法对潜区域搜索筹划的范例。在对反潜巡逻机使用声呐浮标对潜搜索时得到接触后的态势进行分析的基础上,给出了反潜巡逻机使用声呐浮标对潜搜索得到接触后的行动方法。提出了反潜巡逻机使用声呐浮标对潜区域搜索时,搜索法选择的基本原则和搜索筹划的一般步骤。应当指出,在实践中可以根据指定区域的大小和形状,可用反潜巡逻机的数量,综合应用“两类三种”搜索方法,特别是在应用布听异步搜索法时,可以根据反潜巡逻机的装载能力与特点,考虑部分反潜巡逻机按搜索方案装载,另一部分按搜索攻击方案装载。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 孙明太. 航空反潜战术[M]. 北京:军事科学出版社,2003.
- [3] 屈也频. 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.
- [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] 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.

**Abstract:** Based on the understanding to regional search features, a viewpoint is put forward that buoy array deploying, buoy array monitoring and their relationship should be taken into integrated consideration for anti-submarine patrol aircraft to search submarine by using sonobuoy. Further more, two types, totally three kinds of methods are put forward for the submarine search based on the analysis to sonobuoy regional search situation. This paper is focused on asynchronous search of deploying and monitoring. According to this search method, the concept of standard buoy array is put forward. The search efficiency calculation models and the buoy distribution models are conducted. The example of regional search using this searching method is given. The sonobuoy regional search situation for anti-submarine patrol aircraft to search submarine is analyzed after the sonobuoys get touch with the submarine, and the action methods after contactation is given. The basic principle of search method selection and the planning steps of regional search for anti-submarine patrol aircraft using sonobuoy are also given.

**Key words:** anti-submarine patrol aircraft; regional search; sonobuoy; asynchronous search method of deploying and monitoring

## 第五届中国航空兵器大会征文通知

为促进航空兵器产、学、研交流,推动我国航空兵器事业的发展。中国航空学会定于2017年10月在西安召开第五届中国航空兵器大会,会议由中国航空学会、航空武器系统分会、陕西省航空学会、西北工业大学、航空制导武器航空科技重点实验室、光电控制技术重点实验室、红外探测器技术航空科技重点实验室、航空电子系统综合技术重点实验室、空天电子信息感知与光电控制教育部重点实验室、机载武器系统军队重点实验室、无人机特种技术重点实验室联合主办,由航空工业庆安集团有限公司承办。本次大会的宗旨是“聚智、激发、成长”。届时将邀请国内从事航空兵器的著名专家、学者作特邀报告。研讨未来航空兵器发展趋势,助力航空兵器创新发展,探讨学会会员成长途径。现将征文有关事宜通知如下:

### 一、征文范围(部分)

#### (一)航空兵器理论、方法与技术

1. 新概念、新型、智能化航空兵器系统新技术、新理论、新方法;
2. 有人/无人机协同作战、无人机集群作战发展动向、新理论、新技术、新方法;
3. 信息化联合作战环境下航空兵器的作战指挥与控制、作战管理、任务/航迹规划、决策与自主攻击技术研究;
4. 航空兵器电子对抗、隐身反隐身技术及隐身条件下指挥控制技术与战法研究;
5. 航空电子、火控、悬挂管理、武器系统发展趋势与关键技术;
6. 航空武器舱系统、随动武器系统、悬挂发射系统的发展趋势与关键技术;
7. 航空兵器发射与控制技术理论体系、关键技术与发展趋势;
8. 机载武器总体、推进、飞行控制、导引、精确引战及抗干扰技术研究;
9. 电子战环境下武器装备作战效能评估方法与作战仿真技术研究;
10. 攻防对抗条件下大规模航空兵器的作战仿真实验理论及技术;

#### (二)航空兵器的工程实现

1. 航空兵器设计、实现、验证、测试的工程技术及实现方法;
2. 机载武器的地面装载及保障技术研究与工程实现;

#### (三)航空兵器的作战运用

1. 一体化联合作战、信息化、网络化条件下常规航空兵器的作战运用;
2. 新概念航空兵器的作战应用探讨。

### 二、重要日期

1. 征文提交截止日期为2017年9月1日。
2. 论文录取及会议通知,将于2017年9月30日前发出。

详细信息见 [www.dgykz.com](http://www.dgykz.com)。