

引用格式:谭安胜,王新为,尹成义.反潜巡逻机声呐浮标巡逻搜索得到接触后行动方法研究[J].电光与控制,2018,25(11):1-10. TAN A S, WANG X W, YIN C Y. Research on action method of anti-submarine patrol aircraft in patrol search using sonobuoys after contacting[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(11):1-10.

反潜巡逻机声呐浮标巡逻搜索得到接触后行动方法研究

Research on Action Method of Anti-submarine Patrol Aircraft in Patrol Search Using Sonobuoys After Contacting

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

针对反潜巡逻机使用声呐浮标巡逻搜索得到接触后如何对接触进行识别的问题,建立了线列阵得到接触后的态势分析模型;基于该模型给出了借助浮标对接触进行识别的两种方法,提出了拦截型浮标阵布设的原则和要求,建立了拦截型浮标阵布设参数确定模型;通过仿真计算给出了实用结论。为反潜巡逻机巡逻搜索得到接触后的行动提供了理论与方法依据。

关键词:反潜巡逻机;巡逻搜索;声呐浮标;接触态势;接触识别方法

中图分类号: E925.4; V271.4 doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.11.001

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3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3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 序言

反潜巡逻机使用声呐浮标进行巡逻搜索时,通常布设声呐浮标线列阵(简称线列阵)。线列阵有单列阵和复列阵两种基本样式^[1],指挥员可根据具体战场情况选择。实际作战中,接收到线列阵中浮标发出的信号,并不能证实一定是发现了潜艇,必须对接触进行识别。借助声呐浮标对接触进行识别是一种有效的手段^[2-4]。根据线列阵的样式和线列阵浮标密度,接触可分为几种典型情况。对于单列阵来说可能是:1)单枚浮标得到接触;2)相邻两枚浮标同时得到接触。对于复列阵来说可能是:1)复列阵中的两个单列阵各列单枚浮标相继得到接触;2)复列阵中的两个单列阵各列同时两枚浮标相继得到接触。为了研究对接触进行有效识别的方法,应当从线列阵得到接触后的态势分析入手^[5-7]。

1 单列阵得到接触态势分析模型

设单列阵中相邻浮标之间的间距为 kd_c , $1 \leq k < \infty$ ^[1], d_c 为声呐浮标的有效探测距离。针对单列阵得到接触的两种典型情况,分析单列阵得到接触后的态势。

1.1 单枚浮标得到接触

根据单列阵的结构,分 $k > 2$ 和 $1 \leq k \leq 2$ 两种情况进行讨论。

1.1.1 $k > 2$

如图1a所示: l_1 分别与第 i 枚和第 $i-1$ 枚浮标相切; l_2 分别与第 i 枚和第 $i+1$ 枚浮标相切。如第 i 枚浮标得到接触,敌潜艇可能的航向范围由 l_1, l_2 的夹角 2φ 决定。持续接触时间由敌潜艇在第 i 枚浮标有效探测范围内走过的弦长确定,可能走过的弦长范围为 $[0, 2d_c]$,容易得出

$$\varphi = \arccos(2/k) \quad k > 2 \quad (1)$$

考虑到线列阵的布设与敌潜艇最可能航向垂直,所以当 $k > 2$ 时,以 2φ 确定扇面范围考虑问题是合理的。

1.1.2 $1 \leq k \leq 2$

如图1b所示: l_1 分别与第 $i+1$ 枚和第 $i-1$ 枚浮标相切; l_2 分别与第 $i-1$ 枚和第 $i+1$ 枚浮标相切。如第 i 枚浮标得到接触,敌潜艇可能的航向范围由 l_1, l_2 的夹角 2φ 决定。持续接触时间由敌潜艇在第 i 枚浮标有效探测范围内走过的实际弦长确定,容易得出

$$\varphi = \arccos(1/k) \quad 1 \leq k \leq 2 \quad (2)$$

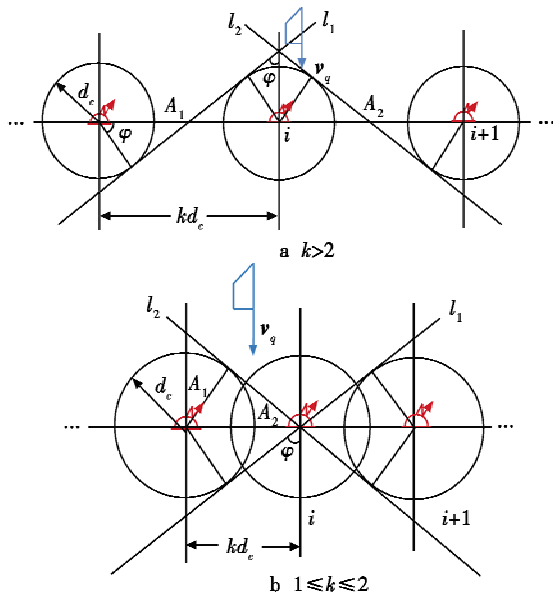


图1 单列阵单枚浮标得到接触时态势分析示意图

Fig.1 Situation analysis of a single sonobuoy in a single array when obtaining contact

1.2 相邻两枚浮标同时得到接触

如图2所示,只有当 $1 \leq k \leq 2$ 时,单列阵相邻两枚浮标同时得到接触的事件才可能发生。如第 i 枚和第 $i+1$ 枚浮标同时发出信号,则敌潜艇可能的最大航行扇面角 2φ 由与第 $i+1$ 枚浮标相切的 l_1 和与第 i 枚浮标相切的 l_2 之间的夹角决定,容易得出

$$\varphi = \arccos(k/2) \quad 1 \leq k \leq 2 \quad (3)$$

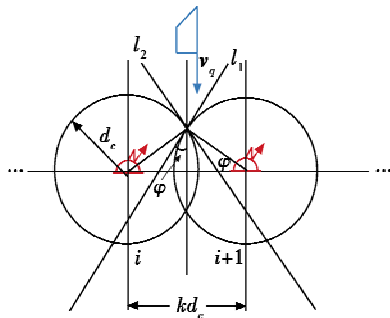


图2 单列阵相邻两枚浮标同时得到接触时态势分析示意图

Fig.2 Situation analysis of two adjacent sonobuoys in a single array obtaining contact simultaneously

2 复列阵得到接触态势分析模型

考察由两个单列阵组成的复列阵。设复列阵间距为 l , $2d_c < l \leq 0.5D_{TX}^{[1]}$, D_{TX} 为反潜巡逻机与浮标之间的最大通信距离。针对复列阵得到接触的两种典型情况,对得到接触后的态势进行分析。

2.1 各列单枚浮标相继得到接触

复列阵中的两个单列阵各列单枚浮标相继得到接触时,可分为两种情况考虑:1) 各列中的第 i 枚浮标相

继得到接触(称为 $i \sim i$ 接触模式);2) 第1列中的第 i 枚浮标和第2列中的第 $i+1$ 枚或第 $i-1$ 枚浮标相继得到接触(称为 $i \sim i \pm 1$ 接触模式)。

2.1.1 $i \sim i$ 接触模式

在 $i \sim i$ 接触模式下,为便于研究问题,从 $1 \leq k \leq 2$ 和 $k > 2$ 两种情况入手进行讨论。

2.1.1.1 $1 \leq k \leq 2$

由两个单列阵组成的复列阵中,如果第1列中的第 i 枚浮标和第2列中的第 i 枚浮标相继发出信号,当 $1 \leq k \leq 2$ 时,有图3a所示的临界状态,即 l_1, l_2 分别与两列中的一枚浮标的有效探测范围圆相切,则敌潜艇可能的最大航行扇面角 2φ 为 l_1, l_2 之间的夹角。

由图3a不难得出

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{2d_c}{\sqrt{(2kd_c)^2 + l^2}} \\ \sin(\alpha + \varphi) = \frac{2kd_c}{\sqrt{(2kd_c)^2 + l^2}} \end{cases} \quad (4)$$

令 $l/d_c = m$,则有

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{2}{\sqrt{4k^2 + m^2}} \\ \sin(\alpha + \varphi) = \frac{2k}{\sqrt{4k^2 + m^2}} \end{cases} \quad (5)$$

因为

$$\sin \varphi = \sin(\alpha + \varphi) \cos \alpha - \cos(\alpha + \varphi) \sin \alpha \quad (6)$$

将式(5)代入式(6)并整理得

$$\sin \varphi = \frac{2k\sqrt{4k^2 + m^2} - 4 - 2m}{4k^2 + m^2} \quad (7)$$

所以

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{2k\sqrt{4k^2 + m^2} - 4 - 2m}{4k^2 + m^2}\right) \quad (8)$$

2.1.1.2 $k > 2$

由两个单列阵组成的复列阵中,如果第1列中的第 i 枚浮标和第2列中的第 i 枚浮标相继发出信号,当 $k > 2$ 时,存在图3b所示的临界状态,即 l_1, l_2 分别与两列中的两枚浮标的有效探测范围圆相切。

由图3b不难得出

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{d_c}{\sqrt{(kd_c)^2 + (l/2)^2}} \\ \sin(\alpha + \varphi) = \frac{kd_c}{\sqrt{(kd_c)^2 + (l/2)^2}} \\ \sin \varphi = 2d_c/l \end{cases} \quad (9)$$

令 $l/d_c = m$,则有

$$\sin \alpha = \frac{2}{\sqrt{4k^2 + m^2}} \quad (10)$$

$$\sin(\alpha + \varphi) = 2k/\sqrt{4k^2 + m^2} \quad (11)$$

$$\sin \varphi = 2/m \quad (12)$$

因为

$$\sin(\alpha + \varphi) = \sin \alpha \cos \varphi + \cos \alpha \sin \varphi \quad (13)$$

将式(10)和式(12)代入式(13)并整理得

$$\sin(\alpha + \varphi) = \frac{\frac{2}{m}\sqrt{m^2 - 4} + \frac{2}{m}\sqrt{4k^2 + m^2 - 4}}{\sqrt{4k^2 + m^2}} \quad (14)$$

比较式(11)与式(14),则有 $2k = \frac{2}{m}\sqrt{m^2 - 4} + \frac{2}{m} \cdot$

$\sqrt{4k^2 + m^2 - 4}$, 整理得 $km = \sqrt{m^2 - 4} + \sqrt{4k^2 + m^2 - 4}$. 则有

$$k = 2m/\sqrt{m^2 - 4} \quad (15)$$

要使式(15)有意义,必须满足 $m > 2$, 即 $l > 2d_c$. 也就是说,当 $m > 2$ 即 $l > 2d_c$ 时,计算 $k_0 = 2m/\sqrt{m^2 - 4}$,若复列阵中的各列浮标间距 kd_c 满足 $k \geq k_0$,有

$$\varphi = \arcsin(2/m) \quad (16)$$

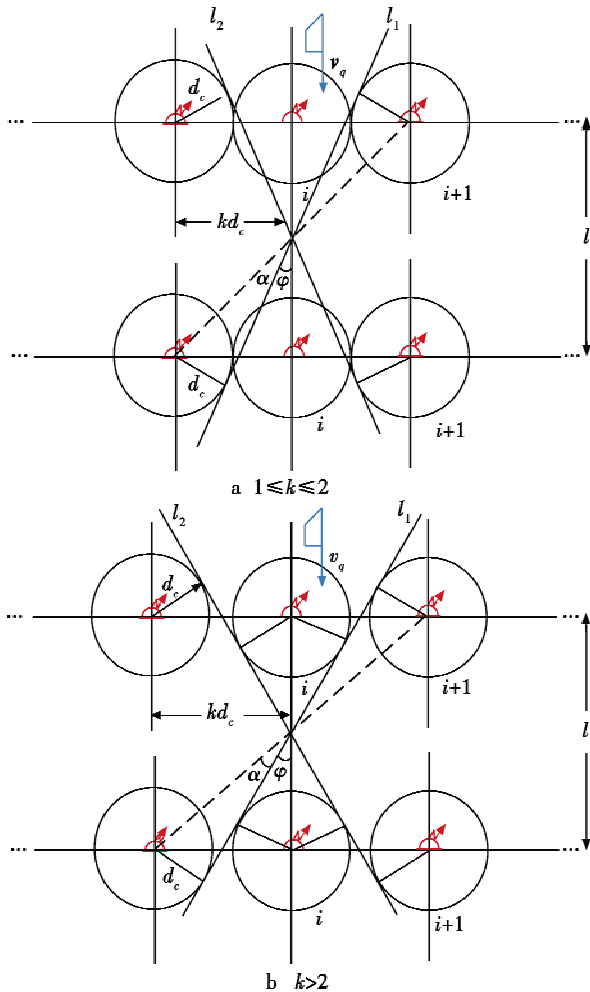


图3 复列阵 $i \sim i$ 接触模式态势分析示意图
Fig. 3 The $i \sim i$ contact mode situation analysis diagram in a complex array

2.1.1.3 分析结论

综合上述分析,当复列阵间距满足 $l > 2d_c$ 时,在 $i \sim i$ 接触模式下有以下结论:

- 1) 当 $1 \leq k < k_0$ 时, φ 由式(8)确定;
- 2) 当 $k \geq k_0$ 时, φ 由式(16)确定。

2.1.2 $i \sim i \pm 1$ 接触模式

在 $i \sim i \pm 1$ 接触模式下,为便于研究问题,从 $1 \leq k \leq 2$ 和 $k > 2$ 两种情况入手进行讨论,然后根据讨论结果得出综合结论。

2.1.2.1 $1 \leq k \leq 2$

由两个单列阵组成的复列阵中,如果第1列中的第 i 枚浮标和第2列中的第 $i+1$ 枚或第 $i-1$ 枚浮标相继得到接触,当 $1 \leq k \leq 2$ 时,存在如图4a所示的临界状态,即 l_1, l_2 分别与两列中的一枚浮标的有效探测范围圆相切,则敌潜艇可能的最大航行扇面角 β 为 l_1, l_2 之间的夹角。

由图4a 不难看出

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{2d_c}{\sqrt{(3kd_c)^2 + l^2}} \\ \cos(\alpha + \beta + \gamma) = \frac{\frac{(3kd_c)^2 + l^2}{4} + \frac{(kd_c)^2 + l^2}{4} - (2kd_c)^2}{2\sqrt{\left(\frac{(3kd_c)^2 + l^2}{4}\right)\left(\frac{(kd_c)^2 + l^2}{4}\right)}} \\ \sin \gamma = \frac{2d_c}{\sqrt{(kd_c)^2 + l^2}} \end{cases} \quad (17)$$

令 $l/d_c = m$, 代入式(17)并整理得

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{2}{\sqrt{9k^2 + m^2}} \\ \cos(\alpha + \beta + \gamma) = \frac{m^2 - 3k^2}{\sqrt{9k^2 + m^2} \sqrt{k^2 + m^2}} \\ \sin \gamma = \frac{2}{\sqrt{k^2 + m^2}} \end{cases} \quad (18)$$

由于

$$\cos \beta = \cos(\alpha + \beta + \gamma) \cos(\alpha + \gamma) + \sin(\alpha + \beta + \gamma) \sin(\alpha + \gamma) \quad (19)$$

将式(18)变换代入式(19)并整理得

$$\cos \beta = \left[(\sqrt{9k^2 + m^2} - 4) \sqrt{k^2 + m^2} - 4 \right] \cdot \left[(m^2 - 3k^2) + 8mk(\sqrt{k^2 + m^2} - 4 + \sqrt{9k^2 + m^2} - 4) \right] / \left[(9k^2 + m^2)(k^2 + m^2) \right] \quad (20)$$

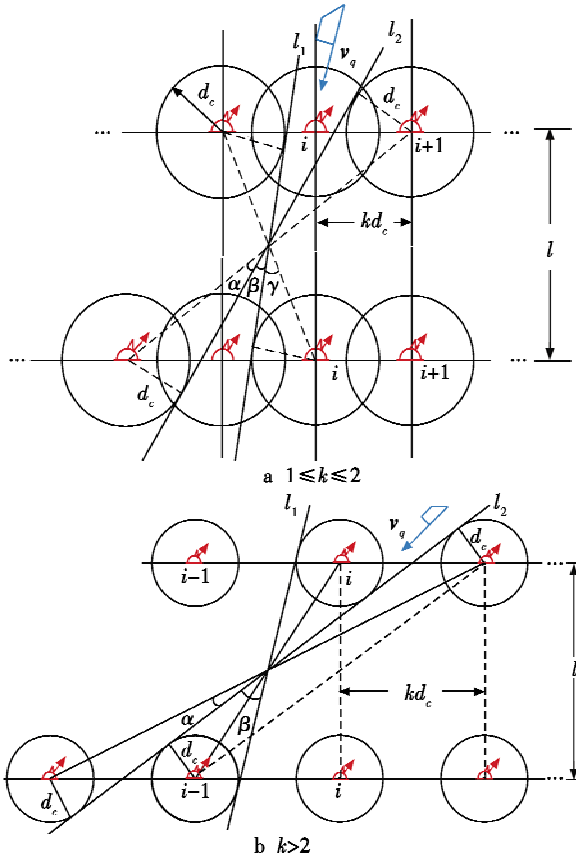
要使式(20)有意义,必须满足 $k^2 + m^2 - 4 \geq 0$, 即

$$l \geq \sqrt{4 - k^2} d_c \quad (21)$$

在复列阵中规定 $l > 2d_c$ ^[11], 所以当 $l > 2d_c$ 时式(21)成立。

2.1.2.2 $k > 2$

由两个单列阵组成的复列阵中,如果第1列中的第*i*枚浮标和第2列中的第*i+1*枚或第*i-1*枚浮标相继得到接触,当 $k > 2$ 时,有图4b所示的临界状态,即 l_1, l_2 分别与两列中的两枚浮标的有效探测范围圆相切,则敌潜艇可能的最大航行扇面角 β 为 l_1, l_2 之间的夹角。

图4 复列阵*i~i±1*接触模式态势分析示意图Fig. 4 The *i~i±1* contact mode situation analysis diagram in a complex array

由图4b不难得出

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{2d_c}{\sqrt{(3kd_c)^2 + l^2}} \\ \cos(\alpha + \frac{\beta}{2}) = \frac{\frac{(3kd_c)^2 + l^2}{4} + \frac{(kd_c)^2 + l^2}{4} - (kd_c)^2}{2\sqrt{\left(\frac{(3kd_c)^2 + l^2}{4}\right)\left(\frac{(kd_c)^2 + l^2}{4}\right)}} \\ \sin \frac{\beta}{2} = \frac{2d_c}{\sqrt{(kd_c)^2 + l^2}} \end{cases} \quad (22)$$

令 $l/d_c = m$,代入式(22)并整理得

$$\sin \alpha = \frac{2}{\sqrt{(3k)^2 + m^2}} \quad (23)$$

$$\cos(\alpha + \frac{\beta}{2}) = \frac{3k^2 + m^2}{\sqrt{((3k)^2 + m^2)(k^2 + m^2)}} \quad (24)$$

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{2}{\sqrt{k^2 + m^2}} \quad (25)$$

因为

$$\cos(\alpha + \frac{\beta}{2}) = \cos \alpha \cos \frac{\beta}{2} - \sin \alpha \sin \frac{\beta}{2} \quad (26)$$

将式(23)和式(25)代入式(26)并整理得

$$\cos(\alpha + \frac{\beta}{2}) = \frac{\sqrt{(3k)^2 + m^2} - 4\sqrt{k^2 + m^2} - 4}{\sqrt{(3k)^2 + m^2}\sqrt{k^2 + m^2}} \quad (27)$$

比较式(24)与式(27),则有 $\sqrt{(3k)^2 + m^2} - 4 \cdot \sqrt{k^2 + m^2} - 4 = 3k^2 + m^2 + 4$ 。整理得

$$k = \frac{2m}{\sqrt{m^2 - 16}} \quad (28)$$

要使式(28)有意义,必须满足 $m > 4$,即 $l > 4d_c$ 。也就是说,当 $l > 4d_c$ 时,计算 $k_0 = \frac{2m}{\sqrt{m^2 - 16}}$,若复列阵中的各列浮标间距 kd_c 满足 $k \geq k_0$,则有

$$\beta = 2 \arcsin \frac{2}{\sqrt{k^2 + m^2}} \quad (29)$$

2.1.2.3 分析结论

综合上述分析,当复列阵间距满足 $l > 2d_c$ 时,在*i~i±1*接触模式下有以下结论:

1) 当 $l > 2d_c$,若 $1 \leq k \leq 2$, β 由式(20)确定;

2) 当 $l > 4d_c$, $k_0 = \frac{2m}{\sqrt{m^2 - 16}}$,若 $1 \leq k < k_0$, β 由式(20)确定;

3) 当 $l > 4d_c$, $k_0 = \frac{2m}{\sqrt{m^2 - 16}}$,若 $k \geq k_0$, β 由式(29)

确定。

2.2 各列同时两枚浮标相继得到接触

复列阵中的两个单列阵各列同时两枚浮标相继得到接触的事件,只有当 $1 \leq k \leq 2$ 时才可能发生。如图5a所示,第1列中的第*i*枚和第*i-1*枚浮标与第2列中的第*i*枚和第*i-1*枚浮标相继得到接触,即 l_1, l_2 分别与两列中的一枚浮标的有效探测范围圆相切,则敌潜艇可能的最大航行扇面角为 l_1, l_2 之间的夹角 β 。

从图5b不难得出

$$\begin{cases} \cos \frac{\beta}{2} = \cos(\alpha - \gamma) \\ \cos \alpha = \frac{kd_c/2}{\sqrt{l^2 + (kd_c)^2}/2} \\ \cos \gamma = \frac{d_c}{\sqrt{l^2 + (kd_c)^2}/2} \end{cases} \quad (30)$$

令 $l/d_c = m$,代入式(30)并整理得

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{k}{\sqrt{m^2 + k^2}} \\ \cos \gamma = \frac{2}{\sqrt{m^2 + k^2}} \end{cases} \quad (31)$$

因为

$$\cos \beta/2 = \cos(\alpha - \gamma) = \cos \alpha \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma \quad (32)$$

将式(31)变换代入式(32)并整理得

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{2k + m\sqrt{m^2 + k^2} - 4}{m^2 + k^2} \quad (33)$$

要使式(33)有意义,必须满足 $k^2 + m^2 - 4 \geq 0$,即

$$m \geq \sqrt{4 - k^2} \quad (34)$$

在复列阵中规定 $l > 2d_c$ ^[1],所以当 $l > 2d_c$ 时,式(33)成立。

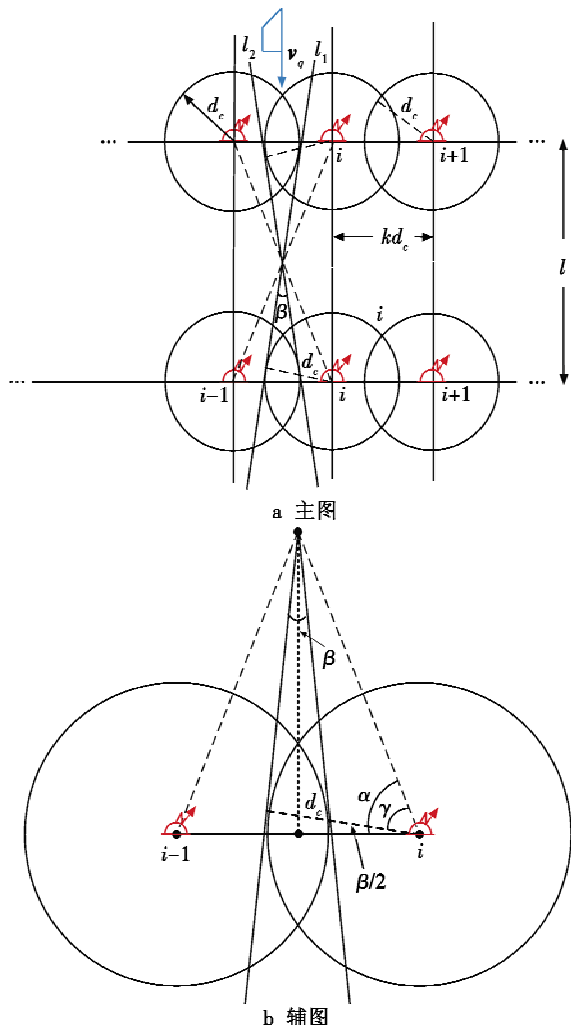


图5 复列阵各列同时两枚浮标相继得到接触态势分析示意图

Fig. 5 Situation analysis of two sonobuoys in each of two rows of the array when obtaining contact successively

通过上述态势分析可以看出:线列阵得到接触后,目标可能的运动航向范围是可以预测的,为了对接触

进行识别,应当根据监听到浮标获得的信息,确定目标可能的运动航向范围,布设浮标阵进行拦截以便对目标进行正确识别和进一步确定目标的运动要素。

3 借助浮标对接触识别方法

当反潜巡逻机记录到线列阵中1枚或数枚相邻浮标发出的信号时,对接触进行识别的有效方法应当是:基于发出信号的浮标,根据得到接触后的态势分析,在潜艇可能航行扇面内布设拦截型浮标阵。拦截型浮标阵的布设应当遵循如下原则:

- 1) 封闭性原则,即敌潜艇在可能航行扇面范围内任一个航向通过时,拦截阵能以较高的概率发现目标;
- 2) 适时性原则,即反潜巡逻机布设完拦截阵时,敌潜艇尚未穿越拦截阵。

为此,拦截阵的布设应当满足以下要求:

- 1) 拦截阵中浮标间距 $k_o d_c$ 应当满足 $1 \leq k_o < 2$,具体值根据对发现概率的要求确定;
- 2) 拦截阵边缘上的浮标,应当布设在敌潜艇最大可能航行扇面的边缘线上;
- 3) 拦截阵与线列阵之间的距离 D 应当满足 $D = k_D d_c, k_D \in [2, 3]$ 。

基于上述原则和要求,若线列阵为单列阵,则应在敌潜艇可能航行扇面内布设半径为 R 、圆弧长为 \hat{L} 的弧型拦截阵,以通过确定运动要素对接触进行识别,如图6a所示;若线列阵为复列阵,则应在第2列浮标的前方,敌潜艇可能航行扇面内布设长度为 L 的线型拦截阵对接触进行识别,如图6b所示。

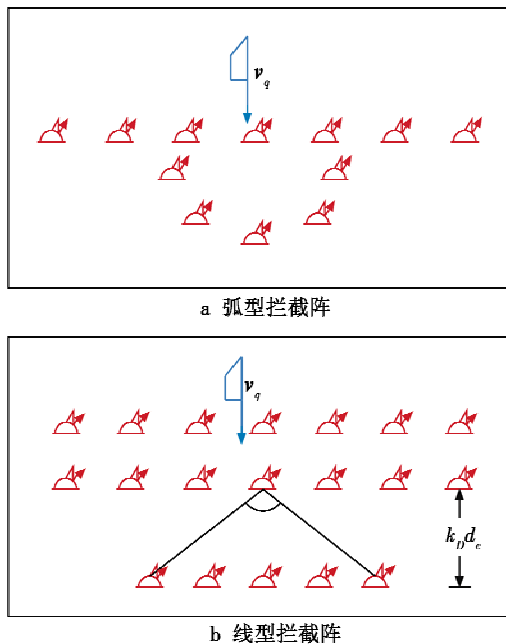


图6 借助浮标对接触识别示意图

Fig. 6 Contact identification by means of sonobuoys

如果拦截阵中的浮标发出信号(即与目标建立接触),则反潜巡逻机可确定潜艇位置和运动要素,通常情况下,可结束识别过程。

3.1 弧型拦截阵布设方法

分两种情况进行讨论:1) 单列阵单枚浮标得到接触;2) 单列阵相邻两枚浮标同时得到接触。

3.1.1 单枚浮标得到接触

根据单列阵的结构,分 $k > 2$ 和 $1 \leq k \leq 2$ 两种情况进行讨论。

3.1.1.1 $k > 2$

如图 7a 所示,弧型拦截阵边缘上的浮标应布设在 l_1, l_2 上,且其有效探测范围圆与单列阵中的第 $i-1$ 和第 $i+1$ 枚浮标的有效探测范围相切,弧型拦截阵的半径 R 为 l_1, l_2 的交点 O 与弧型拦截阵的边缘上的浮标的距离 \overline{OA} 。

不难看出,弧型拦截阵的弧长 \widehat{L} 为

$$\widehat{L} = 2R \cdot \varphi \quad (35)$$

式中, $R = (\sqrt{3} + k \sin \varphi + \cot \varphi) \cdot d_c$, $\varphi = \arccos \frac{2}{k}$ 。

令拦截阵浮标需求量为 N_σ ,则有 $\frac{2\varphi R}{N_\sigma - 1} = 2R \cdot$

$$\arcsin \frac{k d_c}{2R}。$$

整理得

$$N_\sigma = \left\lceil \frac{\varphi}{\arcsin[k_\sigma d_c / (2R)]} \right\rceil + 1 = \left\lceil \frac{\arccos(2/k)}{\arcsin[k_\sigma / (2\sqrt{3} + 2\sqrt{k^2 - 4} + 4/\sqrt{k^2 - 4})]} \right\rceil + 1 \quad (36)$$

式中, $\lceil \cdot \rceil$ 表示向上取整。

3.1.1.2 $1 \leq k \leq 2$

如图 7b 所示,弧型拦截阵边缘上的浮标应布设在 l_1, l_2 上,且其有效探测范围圆与单列阵中的第 $i-1$ 和第 $i+1$ 枚浮标的有效探测范围圆相切,弧型拦截阵的半径 R 为 l_1, l_2 的交点 O 与弧型拦截阵的边缘上的浮标的距离 \overline{OA} 。

根据拦截阵布设要求,在该种情况下,弧型拦截阵的弧长 \widehat{L} 为

$$\widehat{L} = 2R \cdot \varphi \quad (37)$$

式中, $R = (\sqrt{3} + k \sin \varphi) \cdot d_c$, $\varphi = \arccos \frac{1}{k}$ 。

弧型拦截阵浮标需求量 N_σ 为

$$N_\sigma = \left\lceil \frac{\varphi}{\arcsin[k_\sigma d_c / (2R)]} \right\rceil + 1 = \left\lceil \frac{\arccos(1/k)}{\arcsin[k_\sigma / (2\sqrt{3} + 2\sqrt{k^2 - 1})]} \right\rceil + 1 \quad (38)$$

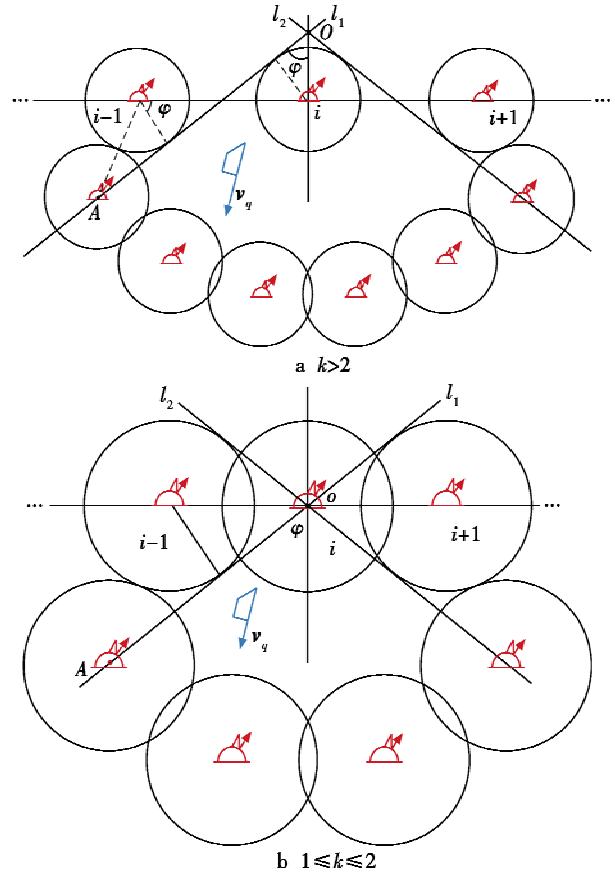


图7 弧型拦截阵布设示意图

Fig. 7 Schematic diagram of arc interceptor array layout

3.1.2 相邻两枚浮标同时得到接触

如图 8 所示,根据拦截阵布设要求,在该种情况下,弧型拦截阵的弧长 \widehat{L} 为

$$\widehat{L} = 2R \cdot \varphi \quad (39)$$

式中: $R = \overline{OB} + \overline{BA} = d_c \cdot \cos(\alpha - \varphi) + [3d_c^2 + (d_c \cos(\alpha - \varphi))^2]^{1/2}$; $\varphi = \arccos(k/2)$; $\alpha = \arcsin(k/2)$ 。

弧型拦截阵浮标需求量 N_σ 为

$$N_\sigma = \left\lceil \frac{\varphi}{\arcsin[k_\sigma d_c / (2R)]} \right\rceil + 1 = \left\lceil \frac{\arccos(k/2)}{\arcsin[k_\sigma / (k\sqrt{4 - k^2} + \sqrt{12 + k^2(4 - k^2)})]} \right\rceil + 1 \quad (40)$$

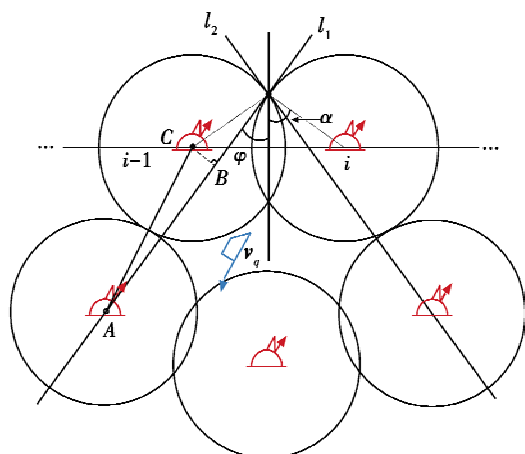


图8 相邻两枚浮标同时得到接触时弧型拦截阵布设示意图(1 ≤ k ≤ 2 时)

Fig. 8 A schematic diagram of arc interceptor array layout when two adjacent sonobuoys obtaining contact simultaneously(1 ≤ k ≤ 2)

3.1.3 仿真计算与分析

仿真计算条件设置为:取 k_0 分别为 1.0, 1.3, 1.5, 1.6, 1.7; 声呐浮标有效作用距离 $d_c = 2$ km。

表1 单列阵得到接触时弧型拦截阵布设参数

Table 1 The configuration parameters of arc interceptor array after contacting by single array

参数	接 触 模 式											
	单枚浮标得到接触						相邻两枚浮标同时得到接触					
	$k=1$	$k=1.3$	$k=1.5$	$k=1.7$	$k=2.0$	$k=2.2$	$k=2.5$	$k=3.0$	$k=1$	$k=1.3$	$k=1.5$	$k=1.7$
$2\varphi/(\circ)$	0	79.43	96.38	107.94	120	49.24	73.74	96.38	120	98.92	82.82	63.58
R/km	3.46	5.13	5.70	6.21	6.93	9.66	9.13	9.73	5.61	5.96	5.98	5.69
L/km	0	7.11	9.59	11.71	14.51	8.30	11.75	16.36	11.74	10.30	8.64	6.31
$N_\sigma(k_0=1.0)$	1	5	6	7	9	6	7	10	7	7	6	5
$N_\sigma(k_0=1.3)$	1	4	5	6	7	5	6	8	6	5	5	4
$N_\sigma(k_0=1.5)$	1	4	5	5	6	4	5	7	5	5	4	4
$N_\sigma(k_0=1.6)$	1	4	4	5	6	4	5	7	5	5	4	3
$N_\sigma(k_0=1.7)$	1	4	4	5	6	4	5	6	5	4	4	3

3.2 线型拦截阵布设方法

分两种情况讨论:1) 复列阵中各列单枚浮标相继得到接触;2) 复列阵中各列同时两枚浮标相继得到接触。

3.2.1 各列单枚浮标相继得到接触

3.2.1.1 $i \sim i$ 接触模式

根据拦截阵布设要求,在 $i \sim i$ 接触模式下,线型拦截阵边缘上的浮标应布设在 l_1, l_2 上,其与复列阵第 2 列之间的距离为 $k_D d_c$ 。参考图 3a、图 3b 和图 6b,以及 $i \sim i$ 接触模式态势分析结论,不难得出在敌潜艇可能航行扇面 2φ 内,反潜巡逻机应布设的线型拦截阵的长度 L 、浮标需求量 N_σ 分别为

$$\begin{cases} L = (l + 2k_D d_c) \tan \varphi \\ N_\sigma = \left\lceil \frac{L}{k_D d_c} \right\rceil + 1 \end{cases} \quad (41)$$

计算参数:各种条件下,敌潜艇可能的航行扇面 2φ 、弧型拦截阵半径 R 、弧长 \widehat{L} 、浮标需求量 N_σ ,计算结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,在给定条件下:

1) 因为 $k=1$ 和(或) $k_0=1.0$ 为临界条件,其数据不具代表性;

2) 单列阵单枚浮标得到接触,当 $1 < k < 2$ 时,通常应布设由 4~6 枚浮标构成的弧型拦截阵,当 $2 \leq k < 3$ 时,通常应布设由 4~7 枚浮标构成的弧型拦截阵;

3) 单列阵相邻两枚浮标同时得到接触时,通常应布设由 3~5 枚浮标构成的弧型拦截阵。

实际作战中,为尽量减少浮标消耗量,且保证线列阵以不小于 0.5 的概率发现目标,线列阵浮标间距通常应取 $1.5 \leq k \leq 2$;拦截阵发现目标的概率应不小于线列阵发现目标的概率,所以拦截阵浮标间距通常应取 $1.5 \leq k_0 < 2$ 。所以,单列阵单枚浮标得到接触,通常应布设由 4~5 枚浮标构成的弧型拦截阵;单列阵相邻两枚浮标同时得到接触时,通常应布设由 3~4 枚浮标构成的弧型拦截阵。

式中: $m = \frac{l}{d_c} > 2; k_0 = \frac{2m}{\sqrt{m^2 - 4}}$; 当 $k \geq k_0$ 时, $\varphi = \arcsin \frac{2}{m}$;

当 $1 \leq k < k_0$ 时, $\varphi = \arcsin \left(\frac{2k \sqrt{4k^2 + m^2 - 4} - 2m}{4k^2 + m^2} \right); k_D \in [2, 3]$ 。

3.2.1.2 $i \sim i \pm 1$ 接触模式

根据拦截阵布设要求,在 $i \sim i \pm 1$ 接触模式下,线型拦截阵边缘上的浮标应布设在 l_1, l_2 上,其与复列阵第 2 列之间的距离为 $k_D d_c$ 。

1) $1 \leq k \leq 2$ 。

如图 9a 所示,因为 $\overline{F_2 B} = \frac{k d_c}{2} - \frac{l}{2} \tan \eta; \overline{A F_2} = \frac{l}{2} \cdot \tan(\beta + \eta) - \frac{k d_c}{2}; \overline{A B} = \overline{A F_2} + \overline{F_2 B} = \frac{l}{2} (\tan(\beta + \eta) - \tan \eta)$ 。又因为 $\frac{L}{\overline{A B}} = \frac{l/2 + k_D d_c}{l/2}$, 所以

$$L = \frac{l/2 + k_D d_c}{l/2} \cdot \overline{AB} = \left(\frac{l}{2} + k_D d_c \right) \cdot (\tan(\beta + \eta) - \tan \eta) \quad (42)$$

令 $l/d_c = m$, 代入式(42)并整理得

$$L = \left(\frac{m}{2} + k_D \right) \cdot d_c \cdot (\tan(\beta + \eta) - \tan \eta) \quad (43)$$

从图9a中不难看出

$$\begin{cases} \sin \eta = \sin(\gamma - \alpha) = \sin \gamma \cos \alpha - \cos \gamma \sin \alpha \\ \sin \gamma = 2d_c / \sqrt{(kd_c)^2 + l^2} = 2 / \sqrt{k^2 + m^2} \\ \sin \alpha = kd_c / \sqrt{(kd_c)^2 + l^2} = k / \sqrt{k^2 + m^2} \end{cases}$$

所以有 $\sin \eta = (2m - k\sqrt{k^2 + m^2} - 4) / (k^2 + m^2)$ 。

结合复列阵 $i \sim i \pm 1$ 接触模式得到接触后的态势分析结论, 在 $1 \leq k \leq 2$ 且 $m > 2$ 或 $1 \leq k < k_0$ 且 $m > 4$ 的情况下, 反潜巡逻机应布设的线型拦截阵的长度 L 为

$$L = (m/2 + k_D) \cdot d_c \cdot (\tan(\beta + \eta) - \tan \eta) \quad (44)$$

式中: $m = l/d_c > 2$; $k_D \in [2, 3]$; $k_0 = \frac{2m}{\sqrt{m^2 - 16}}$, $m > 4$;

$\eta = \arcsin\left(\frac{2m - k\sqrt{k^2 + m^2} - 4}{k^2 + m^2}\right)$; β 可由式(20)计算,

$1 \leq k \leq 2$ 且 $m > 2$ 或者 $1 \leq k < k_0$ 且 $m > 4$ 。

2) $k > 2$ 。

如图9b所示, 因为 $\frac{L}{AB} = \frac{l/2 + k_D d_c}{l/2}$, $\overline{AF_2} = \frac{kd_c}{2}$, $\tan\left(\frac{\beta}{2} + \gamma\right) = \frac{kd_c/2}{l/2} = \frac{kd_c}{l}$; 又因为 $\overline{BC} = \frac{l}{2} \cdot \tan \gamma$, 所以 $\overline{F_2 B} = \frac{kd_c}{2} - \overline{BC} = \frac{1}{2}(kd_c - l \cdot \tan \gamma)$; 因为 $\overline{AF_2} = \frac{kd_c}{2}$, 所以 $\overline{AB} = \overline{AF_2} + \overline{F_2 B} = kd_c - \frac{l}{2} \cdot \tan \gamma$ 。则有

$$L = \frac{l/2 + k_D d_c}{l/2} \cdot \overline{AB} = \frac{l/2 + k_D d_c}{l/2} \left(kd_c - \frac{l}{2} \cdot \tan \gamma \right) \quad (45)$$

令 $l/d_c = m$, 代入式(45)并整理得

$$L = \left(1 + \frac{2k_D}{m} \right) \left(k - \frac{m}{2} \cdot \tan \gamma \right) \cdot d_c \quad (46)$$

因为 $\tan\left(\frac{\beta}{2} + \gamma\right) = \frac{kd_c}{l}$, 所以

$$\gamma = \arctan\left(\frac{kd_c}{l}\right) - \frac{\beta}{2} = \arctan\left(\frac{k}{m}\right) - \frac{\beta}{2} \quad (47)$$

结合复列阵 $i \sim i \pm 1$ 接触模式下得到接触后的态势分析结论, 在 $k \geq k_0$ 且 $m > 4$ 的情况下, 反潜巡逻机应布设的线型拦截阵的长度 L 为

$$L = \left(1 + \frac{2k_D}{m} \right) \left(k - \frac{m}{2} \cdot \tan \gamma \right) \cdot d_c \quad (48)$$

式中: $m = l/d_c > 4$; $k_0 = 2m / \sqrt{m^2 - 16}$; $k_D \in [2, 3]$; $\gamma = \arctan(k/m) - \beta/2$; $\beta = 2 \arcsin(2 / \sqrt{k^2 + m^2})$, $k \geq k_0$ 且 $m > 4$ 。

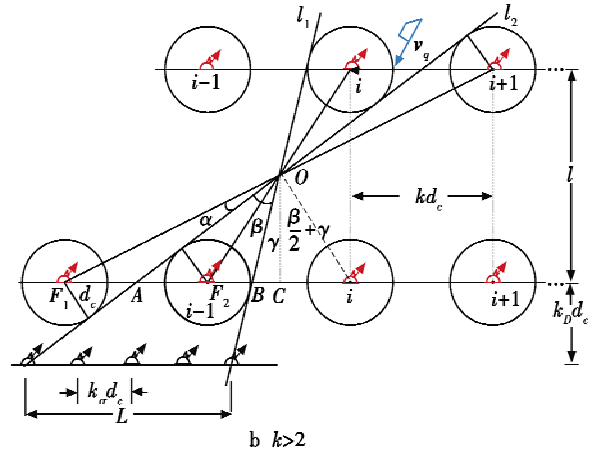
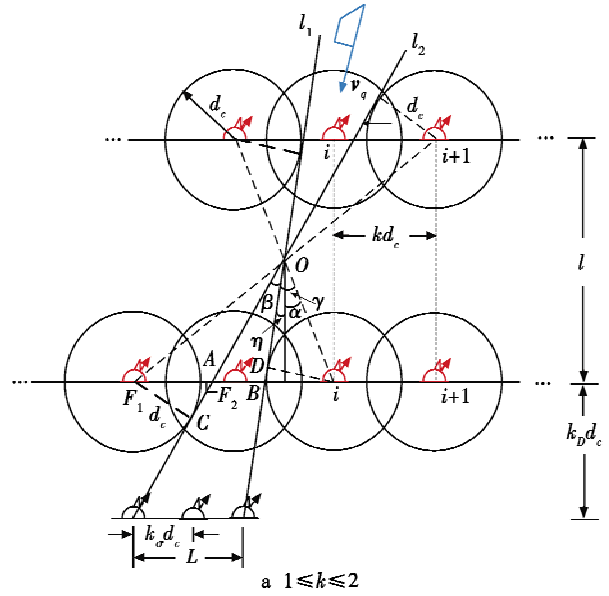


图9 $i \sim i \pm 1$ 接触模式下线型拦截阵布设示意图

Fig. 9 Schematic diagram of linear interception array layout in the $i \sim i \pm 1$ contact mode

3.2.2 各列同时两枚浮标相继得到接触

如图10所示, 从图中不难看出

$$\begin{cases} \overline{BF_1} = kd_c - \overline{AF_1} \\ \overline{AF_1} = \frac{d_c}{\cos(\beta/2)} \\ \overline{AB} = \overline{AF_1} - \overline{BF_1} = 2\overline{AF_1} - kd_c \end{cases} \quad (49)$$

因为 $\frac{\overline{AB}}{L} = \frac{l/2}{l/2 + k_D d_c}$, 所以

$$L = \overline{AB} \cdot \frac{l + 2k_D d_c}{l} \quad (50)$$

将式(49)代入式(50)并整理得

$$L = \frac{1}{m} \left(\frac{2}{\cos(\beta/2)} - k \right) \cdot (l + 2k_D d_c) \quad (51)$$

将式(33)代入式(51)并整理得

$$L = \left(\frac{2(m^2 + k^2)}{2k + m\sqrt{m^2 + k^2} - 4} - \frac{k}{m} \right) \cdot \left(1 + \frac{2k_D}{m} \right) d_c \quad (52)$$

综上所述,各列同时两枚浮标相继得到接触时,反潜巡逻机应布设的线型拦截阵的长度 L 为

$$L = \left(\frac{2(m^2 + k^2)}{2k + m\sqrt{m^2 + k^2 - 4}} - \frac{k}{m} \right) \cdot \left(1 + \frac{2k_D}{m} \right) d_c \quad (53)$$

式中: $m = \frac{l}{d_c} > 2; k_D \in [2, 3]; k \in [1, 2]$ 。

线型拦截阵浮标需求量 N_σ 为

$$N_\sigma = \left\lceil \frac{L}{k_\sigma d_c} \right\rceil + 1 \quad k_\sigma \in [1, 2) \quad (54)$$

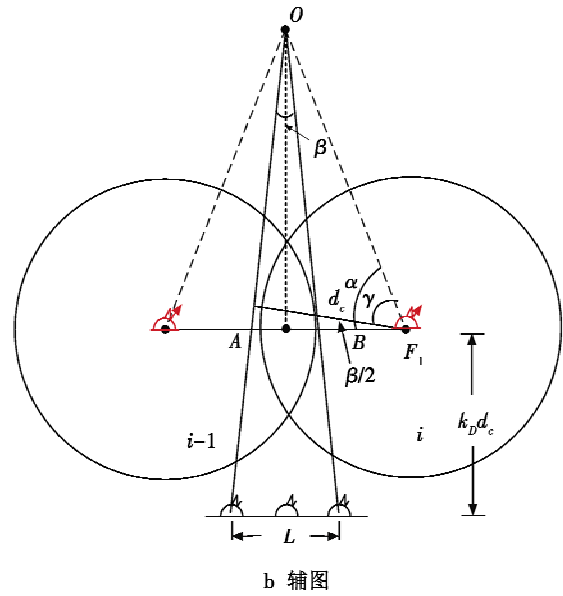
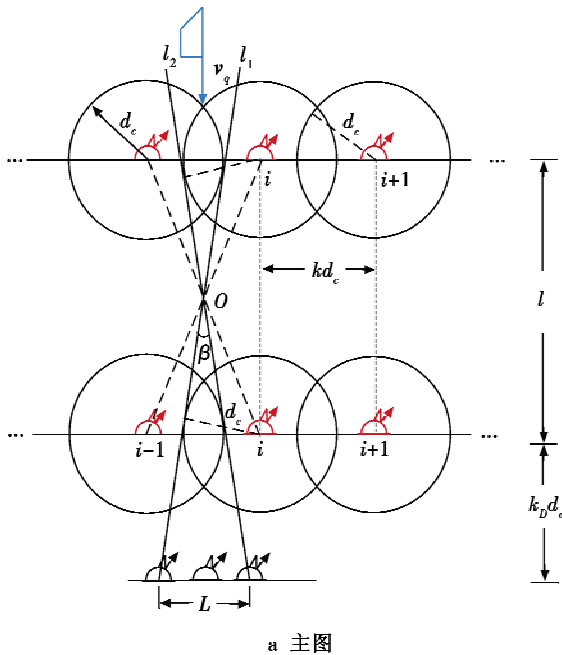


图 10 复列阵各两枚浮标相继得到接触时线型拦截阵布设示意图

Fig. 10 The layout of the linear interceptor array when two sonobuoys of complex array obtaining contact successively

3.2.3 仿真计算与分析

仿真计算条件设置为:当 $1 \leq k \leq 2$ 时,取 $m = 3.5$;当 $k > 2$ 时,取 $m = 4.5$; k_σ 分别取 1.0, 1.3, 1.5, 1.6, 1.7; $k_D = 2.5$; 声呐浮标有效探测距离 $d_c = 2$ km。

计算参数:各种条件下,敌潜艇可能的航行扇面角 β 、线型拦截阵长度 L 、浮标需求量 N_σ , 计算结果见表 2。

表 2 复列阵得到接触时线型拦截阵布设参数 ($k_D = 2.5$)

Table 2 The configuration parameters of linear interceptor array after contacting by complex array ($k_D = 2.5$)

参数	接 触 模 式											
	$i \sim i$ 接触模式/ $i \sim i \pm 1$ 接触模式								各列同时两枚浮标相继得到接触			
	$k=1$	$k=1.3$	$k=1.5$	$k=1.7$	$k=2.0$	$k=2.2$	$k=2.5$	$k=3.0$	$k=1$	$k=1.3$	$k=1.5$	$k=1.7$
$\beta/(\circ)$	0/2.49	18.61/13.64	29.78/23.10	39.95/31.65	53.42/43.01	61.32/49.75	69.70/58.83	69.70/71.68	34.77	24.03	16.97	10.05
L/km	0/0.41	2.78/2.27	4.52/3.96	6.18/5.58	8.55/7.93	10.08/9.09	11.84/10.62	11.84/13.02	5.32	3.62	2.54	1.50
$N_\sigma(k_\sigma=1.0)$	1/2	3/3	4/3	5/4	6/5	7/6	7/7	7/8	4	3	3	2
$N_\sigma(k_\sigma=1.3)$	1/2	3/2	3/3	4/4	5/5	5/5	6/6	6/7	4	3	2	2
$N_\sigma(k_\sigma=1.5)$	1/2	2/2	3/3	4/3	4/4	5/5	5/5	5/6	3	3	2	2
$N_\sigma(k_\sigma=1.6)$	1/2	2/2	3/3	3/3	4/4	5/4	5/5	5/6	3	3	2	2
$N_\sigma(k_\sigma=1.7)$	1/2	2/2	3/3	3/3	4/4	4/4	5/5	5/5	3	3	2	2

从表 2 可以看出,在给定条件下:

- 1) 因为 $k=1$ 和(或) $k_\sigma=1$ 为临界条件,所以其数据不具代表性;
- 2) 复列阵相继一枚浮标得到接触,当 $1 < k < 2$ 时,通常应布设由 2~4 枚浮标构成线型拦截阵,当 $2 \leq k < 3$ 时,通常应布设由 4~6 枚浮标构成的线型拦截阵;
- 3) 复列阵相继两枚浮标同时得到接触时,通常应布设由 2~3 枚浮标构成的线型拦截阵。

实际作战中,为尽量减少浮标消耗量,且保证线列阵以不小于 0.5 的概率发现目标,线列阵浮标间距通常应取 $1.5 \leq k \leq 2$; 拦截阵发现目标的概率应不小于线列阵发现目标的概率,所以拦截阵浮标间距通常应取 $1.5 \leq k_\sigma < 2$ 。所以,复列阵相继一枚浮标得到接触时,通常应布设由 3~4 枚浮标构成的线型拦截阵;复列阵相继两枚浮标同时得到接触时,通常应布设由 2 枚浮标构成的线型拦截阵。

4 结束语

反潜巡逻机使用声呐浮标进行巡逻搜索,得到接触后借助浮标对接触进行识别时,当反潜巡逻机确认该接触为敌潜艇后:若在平时,应转入对潜跟踪;若在战时,应立即转入对潜攻击。如果敌采用艇群作战,则转入对潜跟踪或攻击的反潜巡逻机原先负责布设的浮标段,应转交由其他反潜巡逻机负责监听,此时,为了提高跟踪或毁伤敌潜艇的概率,可以使用空中待战的反潜巡逻机(如果有的话)。

参 考 文 献

[1] 谭安胜,王新为,尹成义. 反潜巡逻机声呐浮标巡逻搜

索态势分析模型[J]. 电光与控制,2018,25(4):1-6.

[2] 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.

[3] 孙明太. 航空反潜战术[M]. 北京:军事科学出版社,2003.

[4] 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.

[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.

[6] 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):1-7.

[7] 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.

Abstract: To recognize the contact received by anti-submarine patrol aircraft in search using sonobuoys, the model was set up for contacting situation analysis of the sonobuoy array. Based on this model, two kinds of methods for contacting recognition with the aid of sonobuoys were given. The principles and requirements for deploying the intercepting-mode sonobuoy array were put forward, and the deterministic model for the sonobuoy array deployment was built. Practical conclusions were drawn through simulation calculation, which supplied a theoretical and methodological basis for practical operations.

Key words: anti-submarine patrol aircraft; patrol search; sonobuoy; contacting situation; contacting recognition method

下 期 要 目

两种全向攻击方式的关系

基于单个宽带回波提取目标距离和速度的方法

机载武器即插即用集成的配置技术研究

一种飞机蒙皮检测机器人曲面运动控制方法

“动中通”卫星识别跟踪系统的研究与设计

基于 2-D 范围扫描的室内场景识别方法

航电系统故障预测与健康管理体系结构分析

基于 RFID 辅助的车载 SINS/OD 定位研究

结合正样本集的核相关滤波跟踪算法

四旋翼无人机飞行控制算法综述

闭环光纤陀螺温度误差分段补偿方法实现

基于光学偏振成像的低纹理目标三维重建算法

基于 FPGA 的激光雷达数据采集系统设计

基于经度切割的雷达网威力模型及算法

强辐射背景下光电成像探测性能计算方法

基于改进分割算法的红外图像温差计算研究



请扫描二维码关注我刊