

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.08.008

声诱饵干扰主动声纳浮标声探测效能分析

杨真勇, 吕海平

(海军潜艇学院 研究生队, 山东 青岛 266071)

摘要: 根据主动声纳方程和声探测效能, 建立了主动声纳浮标的探测概率模型, 研究了声诱饵作用时主动声纳浮标的有效探测距离和定位精度, 得出了声诱饵干扰主动声纳浮标的仿真结果。仿真结果表明, 声诱饵对抗主动声纳浮标具有一定的效果。

关键词: 声诱饵; 目标; 声纳浮标; 探测距离

中图分类号: TP202+.1; TP391.9 **文献标识码:** A

Analysis on Effect of Jamming from Acoustic Decoy on Combat Effectiveness of Active Sonobuoy

Yang Zhenyong, Lu Haiping

(Brigade of Postgraduate, Submarine Academy of PLA Navy, Qingdao 266071, China)

Abstract: According to active sonar equations and acoustic detect effectiveness, established the detect probability model of active sonobuoy, did the research on the available detect range and position precision of active sonobuoy when the acoustic decoy works, educed the simulation results of active sonobuoy when acoustic decoy exists. The simulation results show that using acoustic decoy to confront active sonobuoy has some effects.

Keywords: acoustic decoy; target; sonobuoy; detect range

0 引言

声纳浮标搜潜是航空反潜最主要的搜潜手段之一, 它具有搜潜效率高、测量要素精确等优点。声诱饵是比较常用的水声对抗器材, 具有工作时长, 模拟目标逼真的优点, 对抗布放位置固定的声纳浮标具有持续对抗的效果。故对悬浮式工作的声诱饵干扰主动全向声纳浮标声探测的效果进行研究。

1 主动声纳浮标声探测模型

主动声纳浮标可用于对目标进行精确定位, 其用于声探测的主要方程如下:

1.1 主动声纳方程

$$SL - 2TL - NL + TS + DI = DT \quad (1)$$

式中, SL 为主动声纳浮标的发射声源级, TL 为声传播损失, NL 为接收背景噪声级, TS 为目标强度, DI 为接收指向性指数, DT 为接收检测阈。

1.2 传播损失^[1]

传播损失采用扩展加吸收损失进行估算。

$$TL = 20 \lg r + ar \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中: r 为声源到声纳的距离, a 为吸收系数, f 为声波频率。

$$a = \frac{0.1f^2}{1+f^2} + \frac{40f^2}{4100+f^2} + 2.75 \times 10^{-4} f^2 + 0.003, \text{ 其中,}$$

r 的单位为 m, f 的单位为 kHz, a 的单位为 dB/km。

1.3 海洋环境噪声 NL

海洋环境噪声级通常由实测数据确定, 仿真时可借助某些经验模型进行测算。对于浅海, 采用如下计算噪声谱级的公式^[2]:

$$NL = 10 \lg f^{-1.7} + 6S + 55 \quad (3)$$

式中, f 为频率 (kHz), S 为海况等级 ($S=0,1,2,\dots,9$)。

1.4 目标反射强度 TS ^[3]

目标反射强度与目标的几何形状密切相关, 对舰艇目标来说, 目标反射强度还随声波入射角变化而变化, 呈“蝴蝶形”分布。

目标反射强度可采用蝴蝶形分布曲线近似表示:

$$TS = TS_0 (16.17 - 2.98 \cos 2\beta - 3.083 \cos 6\beta) / 22.233 \quad (4)$$

其中, β 为声波入射舷角, TS_0 为目标正横反射强度, 一般取水下目标 TS_0 为 25 dB。

收稿日期: 2010-02-01; 修回日期: 2010-04-08

作者简介: 杨真勇 (1986-), 男, 山东人, 从事水声对抗技术研究。

1.5 主动声纳浮标的检测概率^[3]

在初始态势给定情况下，计算单枚主动声纳浮标探测目标的概率计算公式如下：

对声纳浮标来说，其接收机的检测阈 DT 可表示为：

$$DT = 10 \lg(S/N)_{in} = SL - 2TL - NL + TS + DI \quad (5)$$

假设浮标的接收机采用能量检测，并采用平方检波，则高斯噪声背景下检测信号的最佳接收机有如下特性：

$$(S/N)_{out} = B \cdot T \cdot (S/N)_{in} \quad (6)$$

其中， B 为接收机的带宽(Hz)， T 为积分器的积分时间。高斯噪声背景下，小信噪比时接收机的检测特性为：

$$P_d = 1 - G[G^{-1}(1 - P_f) - (S/N)_{out}]^2 \quad (7)$$

式中， P_d 是系统在虚警概率 P_f 下的检测概率。

$G(\cdot)$ 为标准正态分布函数。

由式 (5)、式 (6)、式 (7) 可得：

$$P_d = 1 - G[G^{-1}(1 - P_f) - (B \cdot T \cdot 10^{\frac{SL - NL - 2TL + DI + TS}{10}})^{1/2}]^2 \quad (8)$$

1.6 声纳浮标的探测范围

通过声纳方程和声传播损失可得声纳浮标的探测范围 r ：

$$r = \frac{10}{A \ln 10} \text{lambertw}\left(\frac{A \ln 10}{10} e^{\frac{M \ln 10}{20}}\right) \quad (9)$$

其中，

$$A = a \times 10^{-3}, \quad M = \frac{1}{2}(SL - NL - DT + DI + TS)。$$

(注： lambertw 为方程 $xe^x = z$ 的解， z 为常数)

2 声诱饵作用机理

2.1 模拟目标回波信号^[4]

声诱饵能模拟目标回波信号，若要达到干扰主动声纳浮标的目的，声诱饵必须具备模拟目标回波特性的能力。所模拟回波信号中必须含有多普勒频移、回波展宽、亮点分布等回波特征。多亮点分布有 2 层含义，一是单个波束接收回波中的亮点分布；二是相邻 2 个或多个波束内应有回波的亮点分布。

2.2 对主动声纳浮标的作用^[5]

声诱饵是通过应答主动声纳浮标主动声探测信号来模拟舰艇目标的反射特性。声诱饵检测到声纳浮标主动声探测信号后，按一定的目标强度、多普勒频移和回波展宽合成回波信号，将模拟回波发射出去。声纳浮标在海洋环境噪声背景下对声诱饵的

主动声纳方程为：

$$SL - 2TL(r) + TS_D \geq NL - DI + DT \quad (10)$$

若式 (10) 成立，则声纳浮标就会检测到声诱饵，其中 SL 声纳浮标主动声信号声源级， TS_D 为声诱饵模拟回波的目标强度。

3 仿真分析

主动声纳浮标主要分为主动全向声纳浮标和主动定向声纳浮标，主要以主动全向声纳浮标作为研究对象。

3.1 声诱饵对主动全向声纳浮标探测目标距离的影响

设主动全向声纳浮标从不同舷角对目标进行探测，认为检测概率大于 0.95 的距离范围为有效探测距离。通过仿真声诱饵施放前后，主动全向声纳浮标对不同舷角目标有效探测距离的变化来判断声诱饵对主动全向声纳浮标探测的影响。

设声纳浮标的辐射声源级 $SL = 180$ dB， $DI = 5$ dB， $f = 10$ kHz， $P_f = 0.01$ ，积分时间 $T = 10$ s，接收机带宽 $B = 75$ Hz，海况 3 级，海水吸收系数 $a = 0.553$ dB/km。声纳浮标对不同反射强度目标的探测距离不同，未使用声诱饵时声纳浮标对不同舷角目标探测的有效探测距离，经式 (9) 计算的结果如图 1。

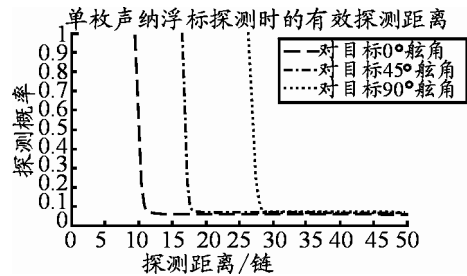


图 1 未使用声诱饵时浮标有效探测距离图

目标在距浮标 25Cab 处施放声诱饵，由于声诱饵回波信号较强，浮标检测的信噪比较大，图 2 为浮标检测不同舷角目标信噪比大于检测声诱饵信噪比的距离范围。

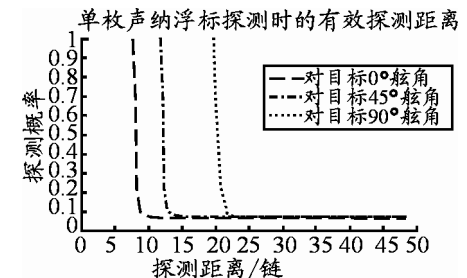


图 2 25 链处使用声诱饵时浮标有效探测距离

(上接第 24 页)

从仿真结果可以看出, 主动声纳浮标对不同舷角目标的探测距离不同, 即目标的规避航向对声纳浮标的探测有较大影响。在距声纳浮标 $25C_{ab}$ 处施放声诱饵后, 主动全向浮标的有效探测距离明显变小了, 且目标强度 TS 越大, 浮标有效探测距离的下降幅度越大(对目标 0° 舷角下降 $4C_{ab}$, 对目标 45° 舷角下降 $5C_{ab}$, 对目标 90° 舷角下降 $7C_{ab}$)。

3.2 声诱饵对主动全向声纳浮标定位的影响

一般至少需要 3 枚主动全向声纳浮标同时与目标保持接触才能实现其对目标的精确定位, 在知道概略目标要素的情况下, 2 枚浮标也能对目标进行概略定位。已知敌概略运动要素, 2 枚浮标即可对目标进行定位, 下面就以 3 枚浮标阵为例, 研究声诱饵对浮标定位的影响。

设 3 枚浮标阵呈正三角形分布, 目标位于浮标阵中心, 浮标间距 $R=20C_{ab}$, $H_m=300^\circ$ 。不同的目标舷角浮标会收到不同的检测回波, 从而导致探测距离的差异, 经计算各浮标有效探测距离 $r_1=r_2=18C_{ab}$, $r_3=14C_{ab}$, 初始对抗态势如图 3。

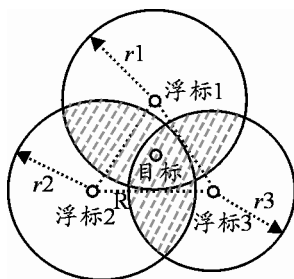


图 3 未使用声诱饵时

在未使用声诱饵时, 浮标阵可用定位面积如图 3 阴影部分所示, 此时 3 枚浮标能够同时与目标保持接触, 可对目标进行精确定位。

目标在 3 枚浮标中心位置施放声诱饵, 经仿真计算, 浮标检测到真正目标而非诱饵的有效距离 $r_1=r_2=6.4C_{ab}$, $r_3=5.1C_{ab}$, 态势如图 4。

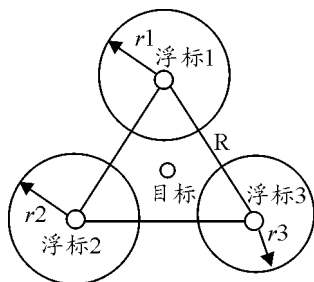


图 4 使用声诱饵后

由于声诱饵的模拟回波干扰, 浮标的有效探测范围减小, 声纳浮标没有可定位区域。可见, 声诱饵可以有效降低主动全向声纳浮标的探测距离, 浮标难以对目标进行定位。

4 结论

仿真结果证明, 当目标使用声诱饵时, 能有效降低其有效探测距离, 对主动声纳浮标的声探测具有一定的影响。

参考文献:

- [1] A.D.Waite. 实用声纳技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 44-45.
- [2] 刘孟庵, 连立民. 水声工程[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2002: 72-73.
- [3] 陆铭华. 舰艇作战模拟理论与方法[M]. 北京: 海洋出版社, 2000: 97.
- [4] 宋志杰, 等 编著. 潜艇水声对抗原理与应用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2001: 91.
- [5] 陈春玉, 等 编著. 反鱼雷技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 43-44.
- [6] 王本庆, 李兴国, 朱莉. 毫米波自主式末修弹探测技术[J]. 四川兵工学报, 2009(6): 9-11.