

# 噪声干扰器压制声纳效果分析

程一超, 蔡志明, 王平波

(海军工程大学电子工程学院, 武汉 430033)

**摘要:** 噪声干扰器是一种压制性干扰器材, 可用来对抗主被动声纳的搜索、跟踪。以压制后声纳的作用距离与压制前声纳的作用距离的比值为变化量, 建立了噪声干扰器压制声纳的压制区域计算方法, 定义了捷径曲线函数, 并建立了捷径曲线函数和有效搜索宽度计算模型, 通过计算压制前后有效搜索宽度的变化和噪声干扰器在不同位置有效搜索宽度的变化, 可以对噪声干扰器压制声纳效果进行评价。

**关键词:** 干扰器; 压制声纳; 有效搜索宽度

中图分类号: TB566

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2011)-01-0074-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2011.01.013

## Effect of noise-jammer on suppressing sonar detection

CHENG Yi-chao, CAI Zhi-ming, WANG Ping-bo

(College of Electronic Engineering, Navy University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** Noise-jammer can be used to combat active and passive sonar search and tracking. In this paper, the ratio between the operating distances after and before the sonar being suppressed is used as a parameter to establish the model computing the suppression region created by noise-jammer. The shortcut curve function is defined, and the model of computing the shortcut curve function and the effective search width is also set up. The effects of noise-jammer on suppressing sonar can be evaluated by computing the effective search widths before and after suppression and the variation of the noise-jammer's effective search width at different position.

**Key words:** Jammer; suppressing sonar; effective search width

## 1 引言

噪声干扰器作为一种有源水声对抗器材, 其辐射的宽带强噪声可以使平台声纳的背景干扰增加, 使声纳作用距离减小或致盲。

对噪声干扰器压制声纳效果的评估, 理想的方法是将其在接近实战的环境下进行检验。但是, 潜艇使用水声对抗装备进行压制对抗是复杂的实兵调度与作业过程, 动用的兵力与设备多, 干扰器消耗大, 费用昂贵。况且, 对抗效果的评价是大量试验的统计结果, 单纯依靠有限次的湖上或海上试验很难满足评估所需的样本数量要求, 评价结果的置信度不高。另外, 海上试验环境条件变化较大, 保证一致条件下的多次试验可能性不大。所以在理论上研究噪声干扰器的评价方法, 无论对于理论计算本身, 还是对于指导试验考核, 都是非常有意义的。

目前关于对抗效果的研究, 基本上采用仿真对

抗态势, 得到评估指标的值, 再运用多指标合成计算的方法<sup>[1-7]</sup>。由于所选用的评估指标不一定合理, 并且在不知道敌方参数的条件下仿真敌方的运动态势具有理想化或随机性的特点, 仿真很难与实际情况相符。将传播损失、海洋环境噪声和噪声干扰器谱级用经典公式计算, 通过压制前后声纳方程作差值, 得出声纳压制区域计算模型, 模型中减少了敌方的未知参数, 可以较容易地得出压制区域<sup>[8]</sup>, 用压制区域评价噪声干扰器效果, 不能得出干扰器压制对搜索效率的影响。在没有考虑有干扰器干扰的条件下所定义的捷径曲线函数和有效搜索宽度<sup>[8]</sup>, 不能用来评价噪声干扰器压制声纳效果。本文建立了捷径曲线函数和有效搜索宽度计算模型, 在噪声干扰器压制条件下推导出有效搜索宽度计算公式, 用有效搜索宽度的变化评估干扰器压制声纳效果。

## 2 噪声干扰器压制效能度量

通常可以用压制区域对噪声干扰器压制效能进行度量。噪声干扰器的压制区域是能有效对对方的声纳实施干扰的区域, 在压制区域里认为目标是不会被检测到的, 建立压制区域计算模型是度量压

收稿日期: 2010-02-04; 修回日期: 2010-05-24

作者简介: 程一超(1987-), 男, 安徽安庆人, 硕士, 研究方向为水声对抗。

通讯作者: 程一超, E-mail: yichaocheng@163.com

制效能的基础。

压制被动声纳时, 定义被动声纳作用距离减少系数  $K_{被}$  为使用噪声干扰器时声纳作用距离与未使用噪声干扰器时声纳作用距离之比,  $K_{被}=1$  表示未使用噪声干扰器压制声纳,  $K_{被}<1$  表示被压制, 它满足式(1):

$$\frac{R \cdot 10^{NL/20} \cdot 10^{0.5\beta(1-K_{被})R10^{-4}}}{\sqrt{K_{被}^2 R^2 \cdot 10^{NL/10} + 10^{SL_G/10} \cdot 10^{DI_G(\alpha)/10} \cdot 10^{-\beta K_{被} R10^{-4}}}} = 1 \quad (1)$$

$R$  为未被压制时被动声纳的作用距离(单位: m),  $\beta$  为海水吸收系数,  $SL_G$  为被动声纳工作频带内噪声干扰器的声源级(单位: dB),  $DI_G(\alpha)$  为噪声干扰器方向上被动声纳指向性指数, 本文中用均匀线列阵计算,  $\alpha$  为被动声纳与噪声干扰器的夹角,  $NL$  为声纳接收机所接收到的海洋环境噪声源级, 假定海洋环境噪声服从 *Knudsen* 谱, 则声纳接收机所接收到的海洋环境噪声级为<sup>[9]</sup>:  $NL=109.2+20\lg n+10\lg(f_2-f_1)-8.3\lg(f_1 f_2)$ , 式中  $n$  为海况等级,  $f_1$ 、 $f_2$  为声纳接收机的上下频段(单位: Hz)。

运用式(1)并改变角  $\alpha \in [-\pi/2, \pi/2]$  的值, 可以得到  $\alpha-K_{被}$  曲线图, 如图 1 所示。在图中  $K_{被}$  小于某确定值的角度区域就是被动声纳压制区域。

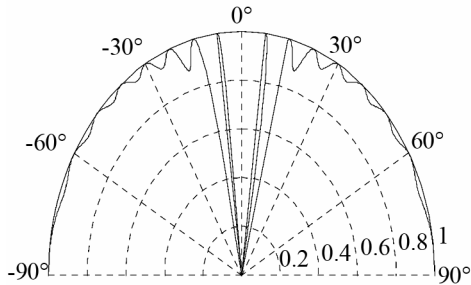


图 1 被动声纳压制区域  
Fig.1 Suppression region to passive sonar

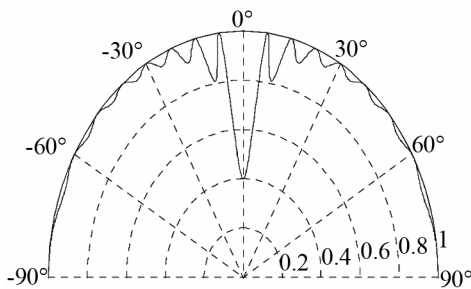


图 2 主动声纳压制区域  
Fig.2 Suppression region to active sonar

压制主动声纳时, 主动声纳作用距离减少系数  $K_{主}$  的满足公式为:

$$K_{主} = \frac{K_{主} \cdot 10^{NL/20}}{\sqrt{K_{主}^2 R^2 \cdot 10^{NL/10} + 10^{SL_G/10} \cdot 10^{DI_G(\alpha)/10} \cdot 10^{-\beta K_{主} R10^{-4}}}} \cdot 10^{0.5\beta(1-K_{主})R10^{-4}} \quad (2)$$

用  $K_{被}$ 、 $K_{主}$  随  $\alpha$  的变化关系, 来建立声纳压制区域计算模型, 可以在不知道声纳的目标声源级(被动)、发射声源级(主动)、检测阈等难以获知的参数条件下, 确定干扰器的压制区域。

### 3 捷径函数和有效搜索宽度

在描述声纳警戒搜索作战性能上使用最为广泛的参数是有效搜索宽度。定义捷径函数, 建立有效搜索宽度计算模型, 对于评价声纳搜索目标性能是有意义的。

假设目标的相对运动路径是一条直线, 在该直线上存在一个与传感器距离最小的目标位置点, 该点与传感器的距离被称为捷径。通常规定, 传感器一侧捷径为正值, 另一侧为负值。在分析对目标的探测概率的过程中, 捷径通常为随机数, 用  $x$  表示。声纳对在目标运动直线上捷径为  $x$  的目标的累积探测概率用  $P(x)$  表示,  $P(x)$  称为捷径函数。 $P(x)$  与  $x$  之间的函数关系曲线就称为捷径曲线。

在  $t$  时间内发现目标的概率为<sup>[10]</sup>:  $P(t)=1-e^{-\int_0^t p(\tau) d\tau}$ ,  $p(t)$  为瞬时探测概率, 在反立方律搜索模型中  $p(t) \approx \frac{k}{r(t)^3}$ ,  $r(t)$  为  $t$  时刻目标与声纳的距离,

$k$  的取值取决于被搜索目标的辐射噪声或目标强度、海洋环境噪声以及声纳的探测能力等, 可由试验测得。该模型中瞬时探测概率与某时刻目标与声纳的距离三次方成反比, 比例系数与辐射噪声或目标强度、海洋环境噪声以及声纳的探测能力等因素有关, 应用于声纳探测是合理的。

假设目标沿着捷径为  $x$  的直线穿过某个探测设备的探测区域, 如图 3 所示, 传感器对目标的探测概率随着目标进入探测区域到目标离开探测区域的时间的增加而增加, 此时,  $r(t)=\sqrt{x^2+(y_0-vt)^2}$ , 目标在探测区域运动时间为:  $t=2y_0/v$ 。目标被探

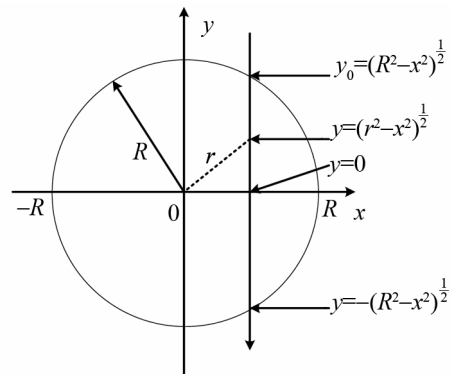


图 3 目标驶过固定捷径曲线示意图  
Fig.3 Schematic of targets passing through a fixed shortcutcurve

测到的概率为:

$$P(x) = 1 - \exp\left(-\int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} \frac{k}{v(\sqrt{x^2+y^2})^3} dy\right) = 1 - \exp\left(-\frac{2k\sqrt{R^2-x^2}}{vR x^2}\right) \quad (3)$$

式中,  $v$  为目标的速度,  $R$  为声纳最大作用距离。由式(3)可得到捷径曲线如图 4 所示,

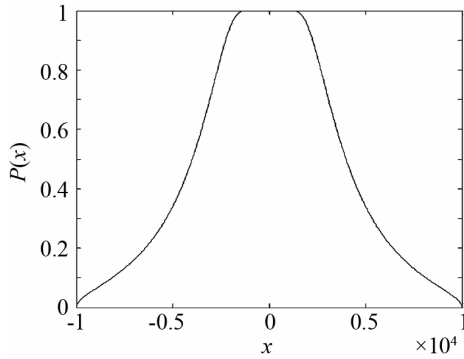


图 4 捷径曲线  
Fig.4 Shortcuts curve

有效搜索宽度区间是有利于发现目标的区间(即目标通过有效搜索宽度区间, 就会被发现), 未被压制的有效搜索宽度为:

$$W = \int_{-R}^R P(x) dx = \int_{-R}^R \left[1 - \exp\left(-\frac{2kh\sqrt{R^2-x^2}}{vR x^2}\right)\right] dx \quad (4)$$

干扰器和目标位置如图 5 所示,  $\phi$  为干扰器与目标的连线与  $x$  轴正方向的夹角,  $\varphi$  为干扰器压制角度的一半。

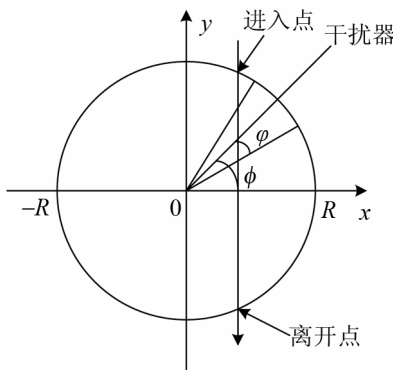


图 5 干扰器和目标位置  
Fig.5 Jammer and target locations

当有干扰器压制时, 目标穿过压制区域时, 有效搜索宽度  $W$  的计算如下。

当  $0 \leq \phi < \varphi$  时,

$$W = \int_{-R}^0 \left[1 - \exp\left(-\frac{2k\sqrt{R^2-x^2}}{vR x^2}\right)\right] dx + \int_0^{R\cos(\phi+\varphi)} \left[1 - \exp\left(-\frac{k}{vx^2} \left(\frac{2\sqrt{R^2-x^2}}{R} - \sin(\phi+\varphi) - \sin(\phi-\varphi)\right)\right)\right] dx + \int_{R\cos(\phi-\varphi)}^{R\cos(\phi+\varphi)} \left[1 - \exp\left(-\frac{k}{vx^2} \left(\frac{\sqrt{R^2-x^2}}{R} + \sin(\phi-\varphi)\right)\right)\right] dx + \int_{R\cos(\phi+\varphi)}^R \left[1 - \exp\left(-\frac{2k\sqrt{R^2-x^2}}{vR x^2}\right)\right] dx \quad (5)$$

当  $\varphi \leq \phi < 90^\circ - \varphi$  时,

$$W = \int_{-R}^0 \left[1 - \exp\left(-\frac{2k\sqrt{R^2-x^2}}{vR x^2}\right)\right] dx + \int_0^{R\cos(\phi+\varphi)} \left[1 - \exp\left(-\frac{k}{vx^2} \left(\frac{2\sqrt{R^2-x^2}}{R} - \sin(\phi+\varphi) + \sin(\phi-\varphi)\right)\right)\right] dx + \int_{R\cos(\phi-\varphi)}^{R\cos(\phi+\varphi)} \left[1 - \exp\left(-\frac{k}{vx^2} \left(\frac{\sqrt{R^2-x^2}}{R} + \sin(\phi-\varphi)\right)\right)\right] dx + \int_{R\cos(\phi+\varphi)}^R \left[1 - \exp\left(-\frac{2k\sqrt{R^2-x^2}}{vR x^2}\right)\right] dx \quad (6)$$

当  $90^\circ - \varphi \leq \phi < 90^\circ$  时,

$$W = \int_{-R}^{-R\cos(\phi+\varphi)} \left[1 - \exp\left(-\frac{2k\sqrt{R^2-x^2}}{vR x^2}\right)\right] dx + \int_{-R\cos(\phi+\varphi)}^0 \left[1 - \exp\left(-\frac{k}{vx^2} \left(\frac{\sqrt{R^2-x^2}}{R} + \sin(\phi+\varphi)\right)\right)\right] dx + \int_0^{R\cos\phi} \left[1 - \exp\left(-\frac{k}{vx^2} \left(\frac{\sqrt{R^2-x^2}}{R} + \sin(\phi)\right)\right)\right] dx + \int_{R\cos(\phi)}^R \left[1 - \exp\left(-\frac{2k\sqrt{R^2-x^2}}{vR x^2}\right)\right] dx \quad (7)$$

式(5)~(7)推导了  $0 \leq \phi \leq 90^\circ$  时, 有效搜索宽度  $W$  的计算公式, 由于图形是对称的, 所以其他压制角度都可以用上面的公式计算。

在  $R=10000$ (单位: m)、 $\varphi=15^\circ$  的条件下, 未被压制声纳的有效搜索宽度  $W=9158.1$ , 噪声干扰器压制时有效搜索宽度  $W$  随  $\phi$  的变化如表 1 所示。

表 1 有效搜索宽度随干扰器位置变化  
Table 1 Variation of effective search width with jammer location ( $\varphi=15^\circ$ )

$\phi / ^\circ$	0	15°	30°	60°	90°
$W$	8569.6	8602.5	8696.9	9003.5	9157.2

在  $R$  大小不变,  $\varphi=30^\circ$  的条件下, 噪声干扰器压制时有效搜索宽度  $W$  随  $\phi$  的变化如表 2 所示。

表 2 有效搜索宽度随干扰器位置变化  
Table 2 Effective search width variation with the jammer location ( $\varphi=30^\circ$ )

$\phi / ^\circ$	0	15°	30°	60°	90°
$W$	7887.7	7964.6	8180.1	8789.4	9121.3

从表 1、2 可以看出, 噪声干扰器压制后的有效搜索宽度较压制前有明显下降, 随着干扰器压制角度的半角  $\varphi$  的增大, 压制的效果越好, 随着干扰器与目标的连线与  $x$  轴正方向的夹角  $\phi$  的增大 ( $0 \leq \phi \leq 90^\circ$ ), 压制的效果越差。

## 4 结束语

通过建立噪声干扰器压制声纳效果的计算模型, 得出被动、主动声纳的受压制区域, 并建立有效搜索宽度计算方法, 在使用和不使用噪声干扰器

和噪声干扰器在不同方向条件下,通过对有效搜索宽度的计算,能对噪声干扰器的干扰效果进行定量评价,对于潜艇如何有效利用噪声干扰器规避反潜舰艇的搜索,反潜舰艇又如何有效减少噪声干扰器压制对其声纳搜索的影响,具有一定的参考价值。

### 参 考 文 献

- [1] 陈春玉. 反鱼雷技术[M]. 北京: 防工业出版社, 2006.  
CHEN Chunyu. Anti-torpedo technology[M]. Beijing: National Defence Industry Publishing, 2006.
- [2] 劳伦斯 D·斯通著, 吴晓峰译. 最优搜索理论[M]. 北京: 海潮出版社, 1990.  
Stone L D, translated by WU Xiaofeng. Theory of optimal search[M]. Bijing: Hai Chao Publishing, 1990.
- [3] Waite A D 著, 王得石等译. 实用声纳工程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.  
Waite A D, traslated by WANG Deshi. Sonar for practising engineers[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [4] Koopman B O. The theory of search, Pt, II target detection[J]. Operations Res. 1956: 4503-4531.
- [5] 单广超, 郑援, 胡言峰. 潜用噪声干扰器对抗舰艇主动声纳的仿真分析[J]. 舰船电子对抗, 2008, 31(4): 58-60.  
SHAN Guangchao, ZHENG Yuan, HU Yanfeng. Simulation analysis about noise-jammer used by submarine confroning shipborne active sonar [J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2008, 31(4): 58-60.
- [6] 周刚, 陈奇. 水声干扰设备作战使用效能评估[J]. 船舶科学技术, 2008, 30(1): 106-109.  
ZHOU Gang, CHEN Qi. Warfare using efficiency evaluation of acoudtics jamming equipment[J]. Ship Science and Tchnology, 2008, 30(1): 106-109.
- [7] 郑卫东, 李永春. 噪声干扰器对抗声呐使用效果分析与使用方法探讨[J]. 声学技术, 2002, 21(3): 105-108.  
ZHENG Weidong. The discussion about the using of noise-jammer in anti-sonar[J]. Technical Acoustics, 2002, 21(3): 105-108.
- [8] 李登峰, 许腾著. 海军作战运筹分析及应用[M]. 北京国防工业出版社, 2007.  
LI Dengfeng, XU Teng. Naval Operational research znlalysis and zpplication[M]. Beijing: National Defence Industry Publishing, 2007.
- [9] 胡言峰, 郑援. 潜艇噪声干扰器对抗主动声自导鱼雷效能仿真分析[J]. 鱼雷技术, 2007, 15(5): 55-57.  
HU Yanfeng, ZHENG Yuan. Simulation analysis of countermeasure effect of noise jammer in submarine on active acoudtic homing torpedo[J]. Torpedo Technology, 2007, 15(5): 55-57.
- [10] Daniel H Wagner 等著, 姜青山, 郑保华译. 海军运筹分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.  
Daniel H Wagner, translated by JIANG Qingshan and ZHENG Baohua. Naval Operations Analysis[M]. Beijing: National Defence Industry Publishing, 2008.