

◇ 研究报告 ◇

## 高频噪声干扰器对抗声自导鱼雷效果分析\*

徐海珠<sup>†</sup> 袁延艺 余 贇 刘雄厚

(海军研究院 北京 100161)

**摘要** 为提高潜艇对抗声自导鱼雷时机动方案的合理性,在高频噪声干扰器对抗声自导鱼雷原理分析的基础上,探讨了基于方位和能量的干扰效果分析方法。仿真分析了典型态势下噪声干扰器对主被动声自导鱼雷的干扰区域,给出了干扰扇面和自导距离缩减率随雷目距离的变化规律。结果表明,干扰噪声谱级比潜艇辐射噪声高出一定值(如 15 dB)时,对被动声自导鱼雷具有较好的干扰效果,将宽带噪声功率集中到窄带中进行频率瞄准干扰,可大幅提高对抗主动声自导鱼雷的效果。该文的研究方法可为潜艇规避声自导鱼雷的机动方案提供依据。

**关键词** 噪声干扰器,声自导鱼雷,干扰区域,自导距离缩减率

中图法分类号: O427 文献标识码: A 文章编号: 1000-310X(2018)03-0433-05

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2018.03.018

Effect analysis of high frequency noise jammer of countering  
acoustic homing torpedo

XU Haizhu YUAN Yanyi YU Yun LIU Xionghou

(Naval Academy, Beijing 100161, China)

**Abstract** To improve rationality of moving scheme for submarine countering acoustic homing torpedo, we analyze the basic theory of a high frequency jammer which counters acoustic homing torpedo, and give the interference effect analysis based on bearing and energy. In a typical underwater warfare we use numerical simulations to analyze the interfering area of the noise jammer, and give the varying rule of the jamming angle sector and the reducing rate of the torpedo homing range, which change with the range between the coming torpedo and the submarine. Theoretical analyses and numerical results show that when the spectrum level of the jammer noise is 15 dB larger than that of the submarine, it will effectively reduce the working range of the acoustic homing torpedo. And if using the frequency focusing interfering method (pouring the wideband power into the narrow one), the effect of countering the acoustic homing torpedo will be improved a lot. Our work in this paper can provide some supports for acoustic homing torpedo elusion tactic of a submarine.

**Key words** Noise jammer, Acoustic homing torpedo, Interfering area, Reducing rate of homing range

2017-11-17 收稿; 2018-01-19 定稿

\*国家自然科学基金项目 (11404406)

作者简介: 徐海珠 (1983-), 男, 湖北襄阳人, 博士研究生, 研究方向: 水声工程。

<sup>†</sup> 通讯作者 E-mail: gates2008@163.com

## 1 引言

作为重要的反潜武器,声自导鱼雷相对潜艇航速较高,且丢失目标后可再搜索,潜艇一旦被声自导鱼雷跟踪,仅靠机动规避生存概率较低,因而潜艇普遍装备高频噪声干扰器等水声对抗器材<sup>[1]</sup>。干扰器通过发射高频噪声降低鱼雷声自导接收机的信噪比,对鱼雷自导形成一定的干扰区域<sup>[2]</sup>,潜艇在该区域内迅速机动规避,从而摆脱鱼雷的跟踪<sup>[3]</sup>。

干扰器对鱼雷的干扰区域是鱼雷声自导装置被干扰后无法探测到潜艇的区域,通常用干扰扇面和自导距离缩减率来直观地描述<sup>[4-5]</sup>。干扰扇面指鱼雷声自导装置被干扰后,无法探测到潜艇的角度范围。自导距离缩减率指被干扰后鱼雷自导距离缩减值与未被干扰时自导距离的比值。由于干扰区域涉及敌我装备、战场环境和作战态势,计算较为复杂<sup>[6-7]</sup>,仅通过干扰器的工作频带和噪声级,潜艇指挥员难以确定噪声干扰区域,因而无法制定规避鱼雷的机动方案。

文献[8]采用声纳搜索宽度变化衡量声干扰器对声纳的干扰效果。文献[9]指出噪声干扰下,鱼雷主动声自导距离缩减率与海况、潜艇舷角和鱼雷航深有关。文献[10]通过声纳方程画出了典型态势下干扰器对主动声纳的干扰区域。但是现有研究主要集中在噪声干扰器对抗主动声自导鱼雷的原理分析,未考虑主被动联合声自导鱼雷的对抗问题,且现有研究大多只分析了静态条件下的干扰效果,对干扰效果随态势变化的规律缺乏深入研究。

针对已有研究的不足,本文将在干扰器宽带噪声干扰方式对抗被动声自导鱼雷、频率瞄准干扰方式对抗主动声自导鱼雷原理分析的基础上,构建基于方位和能量的主被动声自导鱼雷干扰区域计算方法,通过仿真分析给出干扰扇面和自导距离缩减率随雷目距离的变化规律,为潜艇规避声自导鱼雷的机动方案提供必要信息。

## 2 对抗声自导鱼雷原理分析

反潜鱼雷一般可采用主动声自导、被动声自导、主被动联合声自导方式。高频噪声干扰器应具有宽带噪声干扰、频率瞄准干扰、组合干扰(宽带噪声干扰和频率瞄准干扰的组合)等方式,分别用于对抗反潜鱼雷的上述几种自导方式。

### 2.1 对抗被动声自导鱼雷原理

对抗被动声自导鱼雷时,高频噪声干扰器应采用宽带噪声干扰方式,即发射整个频带内的白噪声。干扰器出管后一般悬浮工作,水平方向无运动,因而可认为与潜艇处于同一位置,此时干扰器位于鱼雷自导波束中心线上,变换潜艇位置并判断是否被鱼雷探测到,可得到干扰器对鱼雷的干扰区域。干扰噪声对鱼雷自导装置而言是各向异性的,其在潜艇目标方位上的干扰声源级为

$$NL_j = SL_j - TL(R) + DI + 20 \lg b(\theta), \quad (1)$$

其中, $SL_j$ 为干扰器噪声谱级, $R$ 为鱼雷与干扰器的距离, $TL(R)$ 为传播损失, $DI$ 和 $b(\theta)$ 分别为鱼雷自导指向性指数和指向性函数。

传播损失按照扩展损失加吸收损失估算<sup>[11]</sup>,有

$$TL(R) = 10k \lg R + \alpha R \times 10^{-3}, \quad (2)$$

其中, $\alpha$ 为海水吸收系数, $R$ 为距离,单位为m。 $k$ 为与水文环境相关的因子,以浅海良好水文为例,对于不同传播距离范围 $k$ 取值在1~2之间。

设鱼雷被动声自导时自噪声为 $NL_t$ ,干扰器在鱼雷附近形成的噪声为 $NL_j$ ,鱼雷被动声自导被干扰时,背景噪声变为 $NL = 10 \lg(10^{NL_t/10} + 10^{NL_j/10})$ ,此时鱼雷被动声自导方程为

$$SL_s - TL(r) - NL + DI \geq DT, \quad (3)$$

其中, $SL_s$ 为潜艇辐射噪声, $r$ 为鱼雷被动声自导对潜艇的探测距离。

综上,高频噪声干扰器采用宽带噪声干扰方式,对鱼雷被动声自导装置的干扰扇面由式(4)确定:

$$\begin{aligned} & 20 \lg b(\theta) \\ & \leq 10 \lg(10^{(SL_s - TL(r) + DI - DT)/10} - 10^{NL_t/10}) \\ & \quad - SL_j + TL(R) - DI. \end{aligned} \quad (4)$$

潜艇位于鱼雷与干扰器连线上时,鱼雷探测距离最小,此时干扰器对鱼雷声自导形成的背景噪声 $NL_j$ 、鱼雷被动声自导距离 $r$ 分别由式(5)和式(6)确定:

$$NL_j = SL_j - TL(R) + DI, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & 10 \lg(10^{(SL_s - TL(r) + DI - DT)/10} - 10^{NL_t/10}) \\ & \quad - SL_j + TL(R) - DI \geq 0. \end{aligned} \quad (6)$$

鱼雷被动声自导距离缩减率为

$$\rho_p = (R_p - r_p)/R_p, \quad (7)$$

其中,  $R_p$  为未被干扰时鱼雷被动声自导距离,  $r_p$  为被干扰后鱼雷被动声自导距离。

分析可知, 对被动声自导鱼雷的干扰扇面和自导距离缩减率受潜艇辐射噪声级、干扰器的宽带干扰噪声级、鱼雷自噪声级、鱼雷和潜艇的相对位置等参数影响。

## 2.2 对抗主动声自导鱼雷原理

对抗主动声自导鱼雷时, 高频噪声干扰器应采用频率瞄准干扰方式, 即发射与鱼雷寻的信号频率和带宽相同的噪声, 其谱级相对宽带噪声干扰方式大幅提高。干扰器位于鱼雷自导波束中心线上时, 变换潜艇位置并判断是否能被鱼雷探测到, 可得到干扰器对鱼雷的干扰区域。干扰噪声对鱼雷自导装置形成的背景噪声为

$$NL_j = SL_j - TL(R) + DI + 20 \lg b(\theta). \quad (8)$$

鱼雷自导被干扰时, 其背景噪声变为鱼雷自噪声和干扰器噪声的合成值  $NL$ , 鱼雷主动声自导方程为

$$SL_t - 2TL(r) + TS - NL + DI \geq DT, \quad (9)$$

其中,  $SL_t$  为鱼雷自导发射声源级,  $r$  为鱼雷主动自导对潜艇的探测距离。

综上, 高频噪声干扰器进行频率瞄准干扰时, 对鱼雷主动自导装置的干扰扇面由式(10)确定:

$$\begin{aligned} & 20 \lg b(\theta) \\ & \leq 10 \lg(10^{(SL_t - 2TL(r) + TS + DI - DT)/10} - 10^{NL/10}) \\ & - SL_j + TL(R) - DI. \end{aligned} \quad (10)$$

潜艇位于鱼雷与干扰器连线上时, 鱼雷探测距离最小, 此时干扰器对鱼雷自导形成的背景噪声  $NL_j$ 、鱼雷主动自导距离  $r$  分别由式(11)和式(12)确定为

$$NL_j = SL_j - TL(R) + DI, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & 10 \lg(10^{(SL_t - 2TL(r) + TS + DI - DT)/10} - 10^{NL/10}) \\ & - SL_j + TL(R) - DI \geq 0. \end{aligned} \quad (12)$$

鱼雷主动自导距离缩减率为

$$\rho_a = (R_a - r_a)/R_a, \quad (13)$$

其中,  $R_a$  为未被干扰时鱼雷主动声自导距离,  $r_a$  为被干扰后鱼雷主动声自导距离。

分析可知, 声干扰器对主动声自导鱼雷的干扰扇面和鱼雷自导距离缩减率受声干扰器的频率瞄准干扰噪声级、潜艇目标强度、鱼雷发射声源级、鱼雷自噪声级、鱼雷与潜艇的相对位置等参数影响。

干扰主被动联合声自导鱼雷时, 可将该鱼雷等效为一条主动自导鱼雷和一条被动自导鱼雷的组合物。干扰器采用组合干扰方式, 即采用宽带噪声干扰鱼雷被动声自导, 同时采用频率瞄准噪声干扰其主动声自导, 则高频噪声干扰器对主被动联合声自导鱼雷的干扰原理如上文所述。

## 3 对抗声自导鱼雷效果仿真分析

假设某鱼雷声自导中心频率 30 kHz, 自导指向性指数 10 dB, 被动自导距离 1 km, 主动自导距离 2.5 km<sup>[9,12]</sup>。干扰器宽带噪声谱级比潜艇辐射噪声高 15 dB, 干扰器带宽一般超过 10 kHz, 若将该带宽内的能量集中到 1 Hz 带宽内, 则其发射声源级比宽带噪声谱级高 40 dB。

### 3.1 对抗被动声自导鱼雷效果分析

干扰器采用宽带噪声干扰方式, 与鱼雷距离 1 km 时, 对被动声自导鱼雷的干扰区域如图 1 所示。图中鱼雷位于坐标原点, 扇形  $OAB$  为鱼雷被干扰前被动自导区域, 虚线为被干扰后鱼雷在各方向的自导距离, 则虚线与圆弧  $AEB$  之间的区域为鱼雷自导被干扰区域, 该区域内鱼雷无法探测到潜艇。

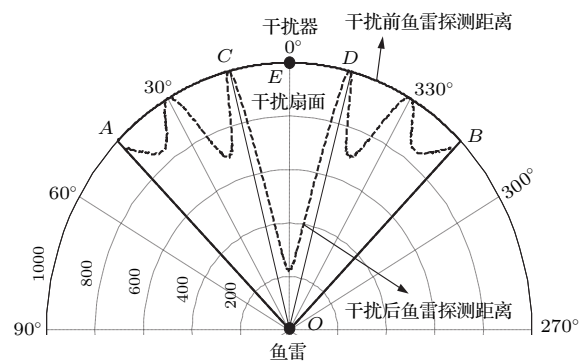


图1 对被动声自导鱼雷的干扰区域

Fig. 1 Jamming area to passive acoustic homing torpedo

由图1可知鱼雷距干扰器 1 km 时, 干扰扇面  $\angle COD$  为  $28.4^\circ$ , 掩护弧长  $CE$  为 0.5 km。鱼雷与潜艇(干扰器)的距离不同时, 干扰扇面如图 2 所示, 可知在鱼雷被动自导距离范围内, 干扰扇面超过

24.5°。干扰器对鱼雷被动自导距离的影响如图3和图4,被干扰前鱼雷自导距离为1 km,被干扰后自导距离小于0.22 km,自导距离缩减率大于78%。可见干扰器为潜艇提供了较大的机动区域。

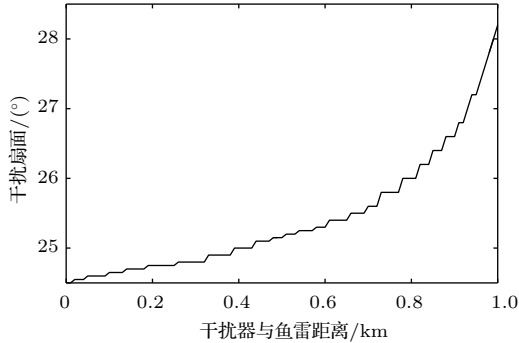


图2 干扰扇面随雷目距离的变化

Fig. 2 Jamming sector versus distance between object and torpedo

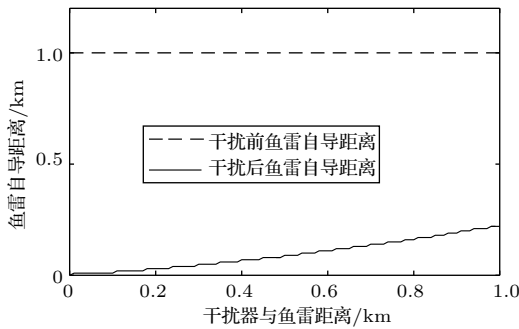


图3 被干扰前后鱼雷自导距离的变化

Fig. 3 Torpedo's detection range before and after jamming

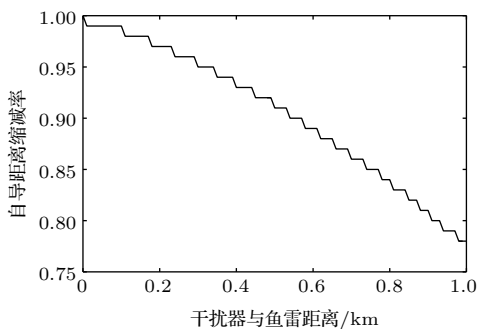


图4 自导距离缩减率随雷目距离的变化

Fig. 4 Detection range's percentage reduction versus distance between object and torpedo

### 3.2 对抗主动声自导鱼雷效果分析

干扰器采用频率瞄准干扰方式,与鱼雷距离2.5 km时,对主动声自导鱼雷的干扰区域如图5所示。图中鱼雷位于坐标原点,扇形OAB为鱼雷被干

扰前主动自导扇面,虚线为被干扰后在鱼雷在各方向的自导距离,则虚线与圆弧AEB之间的区域为被干扰区域,该区域内鱼雷自导无法探测到潜艇。

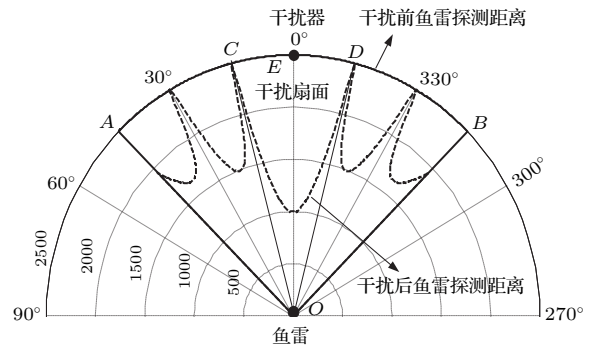


图5 对主动声自导鱼雷的干扰区域

Fig. 5 Jamming area to active acoustic homing torpedo

由图5可知干扰扇面 $\angle COD$ 为29°,掩护弧长为1.3 km。若鱼雷和干扰器的距离变化,干扰扇面的变化如图6所示,可知鱼雷与干扰器距离大于0.25 km时,干扰扇面随二者距离增大而增大。干扰器对鱼雷主动自导距离的影响如图7和图8所示,

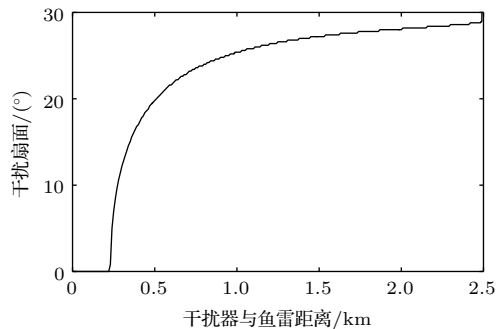


图6 干扰扇面随雷目距离的变化

Fig. 6 Jamming sector versus distance between object and torpedo

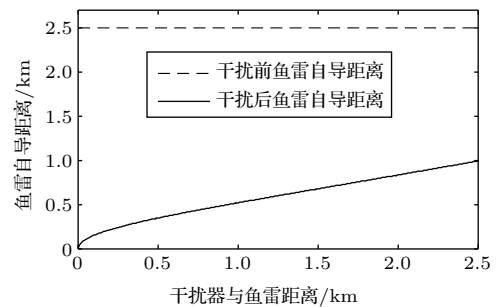


图7 被干扰前后自导距离的变化

Fig. 7 Torpedo's detection range before and after jamming

被干扰前鱼雷主动自导距离 2.5 km, 被干扰后自导距离小于 1 km, 鱼雷自导距离缩减率超过 60%。可见干扰器为潜艇提供了较大的机动区域。

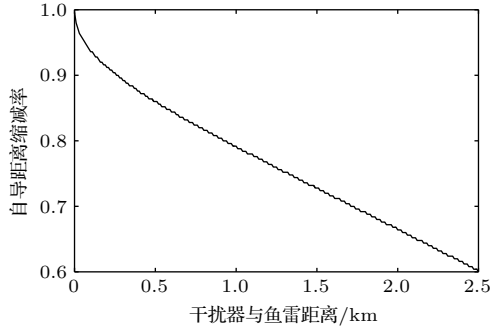


图8 自导距离缩减率随雷目距离的变化

Fig. 8 Detection range's percentage reduction versus distance between object and torpedo

干扰主被动联合声自导鱼雷时, 干扰器采用组合干扰方式, 对鱼雷被动自导装置的干扰区域与对被动声自导鱼雷干扰区域相同, 对鱼雷主动声自导的干扰区域与对主动声自导鱼雷的干扰区域相同。由于两个干扰区域不同, 在不能判断来袭鱼雷的自导方式时, 潜艇应在较小的干扰区域内机动。

## 4 结论

本文仿真了高频噪声干扰器对主被动联合声自导鱼雷的干扰区域, 并分析了雷目距离变化时对鱼雷干扰扇面和鱼雷自导距离缩减率的影响。仿真结果表明, 干扰噪声谱级比潜艇辐射噪声高出一定值(如 15 dB)时, 对被动声自导鱼雷具有较好的干扰效果, 将宽带噪声能量集中到窄带中进行频率瞄准干扰, 可大幅提高对抗主动声自导鱼雷的效果。

需要强调的是, 规避声自导鱼雷时, 潜艇应在噪声干扰器提供的干扰区域内转向机动, 并加速离开鱼雷自导搜索带, 但潜艇加速后辐射噪声增大, 转向目标强度增大, 会导致干扰区域减小, 因而计算干扰区域时应以加速后本艇噪声和潜艇最大目标强度为依据。

## 参 考 文 献

- [1] 陈春玉. 反鱼雷技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [2] 唐建生, 皇甫立. 噪声干扰对被动声呐系统的影响及仿真分析 [J]. 声学技术, 2015, 34(5): 395-398.

- Tang Jiansheng, Huangfu Li. Effect of noise interference on passive sonar system and simulation analysis[J]. Technical Acoustics, 2015, 34(5): 395-398.
- [3] 王栋, 郑援, 孙飞龙. 使用噪声干扰器规避主动声自导鱼雷的潜艇机动分析 [J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(2): 51-53, 58. Wang Dong, Zheng Yuan, Sun Feilong. Analysis on submarine's maneuver to counter the active homing torpedo with acoustic jammer[J]. Command Control & Simulation, 2009, 31(2): 51-53, 58.
- [4] 郑卫东, 李永春, 赵国安, 等. 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, Li Yongchun, Zhao Guoan, et al. The discussion about the using of noise jammer in anti-sonar[J]. Technical Acoustics, 2002, 21(3): 105-108.
- [5] 周明, 初磊. 高频噪声干扰器干扰主动声自导鱼雷仿真研究 [J]. 兵工学报, 2010, 31(3): 327-330. Zhou Ming, Chu Lei. Simulation on active acoustic homing torpedo jammed by the high frequent noise jammer[J]. Acta Armamentarii, 2010, 31(3): 327-330.
- [6] 孟庆玉, 张静远, 宋保维. 鱼雷作战效能分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 42-76.
- [7] 周刚, 陈奇. 水声干扰设备作战使用效能评估 [J]. 舰船科学技术, 2008, 30(1): 106-110. Zhou Gang, Chen Qi. Warfare using efficiency evaluation of acoustics jamming equipment[J]. Ship Science and Technology, 2008, 30(1): 106-110.
- [8] 程一超, 蔡志明, 王平波. 噪声干扰器压制声纳效果分析 [J]. 声学技术, 2011, 30(1): 74-77. Cheng Yichao, Cai Zhiming, Wang Pingbo. Effect of noise-jammer on suppressing sonar detection[J]. Technical Acoustics, 2011, 30(1): 74-77.
- [9] 胡言峰, 郑援, 单广超. 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, Shan Guangchao. Simulation analysis of countermeasure effect of noise jammer in submarine on active acoustic homing torpedo[J]. Torpedo Technology, 2007, 15(5): 55-57.
- [10] 夏志军, 肖继刚, 王肖, 等. 噪声干扰器对抗主动声纳有效干扰压制区计算方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(9): 1813-1816. Xia Zhijun, Xiao Jigang, Wang Xiao, et al. Calculation of effective jamming suppression zone of noise-jammer against active sonar[J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(9): 1813-1816.
- [11] Waite A D. 实用声纳工程 [M]. 王德石, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [12] 夏志军, 章新华, 林洪文. 低频噪声干扰器对抗线导鱼雷攻击的有关问题探讨 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2004, 25(1): 46-49. Xia Zhijun, Zhang Xinhua, Lin Hongwen. Discussion about the use of a low frequency noise-jammer against a line-guided torpedo[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2004, 25(1): 46-49.