

# 主被动拖线阵声呐中拖曳平台 噪声和拖鱼噪声在浅海使用时的干扰特性

李启虎 李淑秋 孙长瑜 余华兵

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

2006 年 3 月 25 日收到

2006 年 8 月 30 日定稿

**摘要** 分析了主被动拖线阵声呐中拖曳平台的螺旋桨噪声和主动发射基阵(拖鱼)流噪声对被动接收基阵的干扰作用,指出在浅海声学环境下,直达波和海底、海面反射波会成为声呐系统的严重干扰。给出了拖曳平台和拖鱼在各种不同深度和缆长的情况下干扰源的入射角。从理论上计算了不同参数下干扰噪声对系统响应的影响,系统仿真结果可为声呐设计者抑制这种干扰提供途径。

PACS 数: 43.60

## The interference characteristics of platform and towed body noise in shallow water for active/passive towed array sonar

LI Qihu LI Shuqiu SUN Changyu YU Huabing

(Institute of Acoustics, The Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

Received Mar. 25, 2006

Revised Aug. 30, 2006

**Abstract** The interference characteristics of towed platform noise resulted from propeller and towed body noise for active/passive towed array is analyzed. It is shown that, in shallow water environment, the direct wave and bottom/sea surface reflected wave will seriously affect the performance of sonar system. The formula for calculating the direction of arrival (DOA) of interference in various parameters, such as array depth, length of tow cable, is derived. The effect of interference noise for the performance of sonar system is described. The results of system simulation provide the method for reducing the effect of these kind of interferences.

## 引言

主被动拖曳线列阵声呐的研究工作是近年来声呐领域很引人注目的课题<sup>[1-8]</sup>。因为安静型潜艇的出现使被动声呐的作用距离下降很多。据国外报导水面舰艇对潜艇威胁的反应时间由小时量级下降到分钟量级。于是发展主动声呐引起了研究者的兴趣。他们认为可以把失去的时间再赢回来<sup>[2]</sup>。于是水面舰艇使用的主被动声呐就得到了广泛的关注。

但是主被动拖线阵声呐在使用时也受到自身噪声的干扰。产生噪声的来源是多种多样的。如拖曳平台干扰、拖缆流噪声干扰等。

本文讨论的是拖曳平台螺旋桨噪声的干扰和主动发射换能器基阵(俗称拖鱼)拖曳噪声的干扰。在浅海环境下,这两种噪声源都会对被动接收功能产生严重影响。除了直达波在舰艏方向的干扰之外,海底反射所产生的回波始终会严重限制被动声呐检测效用的发挥。我们将给出这两种干扰源有可能引起的噪声的入射角(在理想镜面反射下)的计算方法,以及这种干扰与有关参数(接收模块深度、拖鱼深度、海深、缆长以及声学模块长度等)的关系。当然,海面反射也会带来干扰,本文所用的分析方法同样适用。

系统仿真可以检验这种干扰对实际系统性能的影响,以及提供如何调节某些可以控制的参数最大

可能地避免这种干扰带来的不利影响。

## 1 发射拖曳体拖曳噪声分析

图 1 是一个主被动拖线阵声呐在浅海使用时的示意图, 拖曳体为 A, 它到被动接收基阵的直线距离为  $r_0$ , 被动接收基阵 BC 的长度为  $l_0$ , 一般来说 A 和 BC 位于同一深度  $h_1$  处。BC 至海底的距离假定是  $h_2$ 。

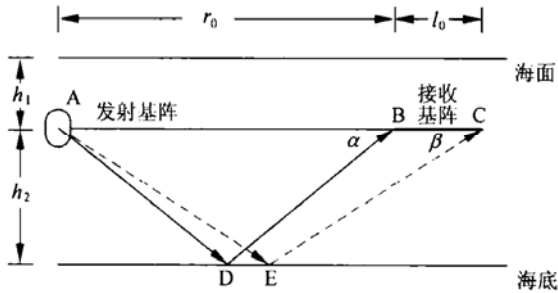


图 1 拖鱼产生噪声干扰的示意图

在主动发射基阵拖曳过程中, 导流罩的流噪声会成为系统的噪声干扰源, 它对被动接收阵的干扰大致可以分为两个部分, 一部分是直达波。如果以 BC 的法线方向为  $0^\circ$  的话, 直达波的入射方向为  $-90^\circ$ , 就是端射方向。由于线阵端射方向的波束非常宽, 所以由直达波引起的干扰会对系统产生一个检测上的盲区; 另一部分干扰则是由拖体流噪声的反射波引起的。严格来说, 如果海底是平的, 那么由 A 引起的反射波到达接收模块两端 B 和 C 的入射角分别是  $\alpha$  及  $\beta$ 。但是, 实际海底是凹凸不平的, 所以反射波的区域会在  $[\alpha, \beta]$  外延拓。当海底存在可以与拖曳体噪声波长可以比拟的起伏时, 反射波也能出现在别的方向, 这会使干扰问题变得更加复杂。当然, 反射波的强度与底质吸收性能有关, 并且传播路径也还和声速剖面有关。

在等声速的假定下, 可以证明入射角  $\alpha, \beta$  可由下式给出:

$$\alpha = \text{tg}^{-1}(2h_2/r_0), \quad \beta = \text{tg}^{-1}[2h_2/(r_0 + l_0)]. \quad (1)$$

对于缆长  $r_0 = 400$  m, 基阵长  $l_0 = 60$  m 的线列阵, 如果  $h_2 = 75$  m, 那么  $\alpha \approx 20.5^\circ, \beta \approx 18^\circ$ 。

## 2 拖曳平台螺旋桨噪声分析

图 2 是拖曳平台螺旋桨产生的干扰噪声的示意图, 仍假定基阵长度为  $l_0$ , 螺旋桨 A 至接收基阵 BC 的直线距离为  $r_0$ , 螺旋桨的直达波和基阵所在水平线的夹角为  $\theta$ 。螺旋桨噪声干扰的海底反射波的入射

角如图所示, 分别是  $\alpha$  和  $\beta$ 。可以证明,  $\theta, \alpha, \beta$  的计算公式如下:

$$\theta = \text{tg}^{-1}(h_1/r_0), \quad (2)$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1}[(2h_2 + h_1)/r_0], \quad (3)$$

$$\beta = \text{tg}^{-1}[(2h_2 + h_1)/(r_0 + l_0)], \quad (4)$$

式 (2) - (4) 与式 (1) 略有差异, 主要原因是拖曳平台的螺旋桨噪声与接收阵不在同一水平面上, 它们之间的垂直距离  $h_1$  反映在公式 (2) - (4) 中。

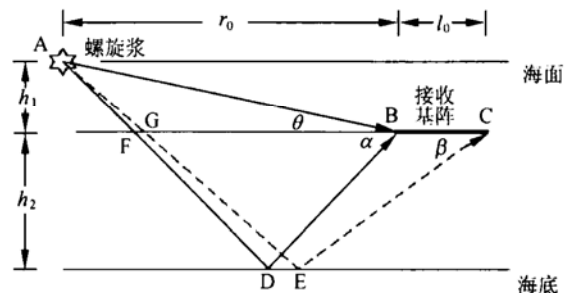


图 2 拖曳平台螺旋桨噪声产生的干扰

举例来说, 如果  $h_1 = 25$  m,  $r_0 = 400$  m, 则  $\theta = 3.5^\circ$ ; 当  $h_2 = 75$  m,  $l_0 = 60$  m 时,  $\alpha = 23.6^\circ, \beta = 20.8^\circ$ 。

我们大致可以看到由螺旋桨产生的干扰源与拖曳平台产生的干扰源比较, 从方位上说更加靠近法线方向, 所以它对信号检测带来的危害更大一些。当然, 干扰的频谱分布与干扰的强度也是应该考虑的因素。

## 3 系统仿真

为了实际考察拖曳平台噪声和拖曳体噪声的干扰作用, 我们进行了一系列的系统仿真, 主要的参数如下:

接收基阵 BC 至螺旋桨的垂直距离:  $h_1 = 25$  m;

接收基阵 BC 至海底的距离:  $h_2 = 75$  m;

接收基阵长度:  $l_0 = 100$  m;

拖曳体 A 与接收基阵 BC 处于同一水平面上;

缆长  $r_0$ : 400 ~ 800 m;

目标信号: 以 800 Hz 为中心的窄带信号, 带宽  $\Delta f = 200$  Hz;

螺旋桨干扰噪声: 500 ~ 1000 Hz 宽带信号, 每一倍频程下降 6 dB;

拖曳体干扰噪声: 400 ~ 800 Hz, 宽带信号, 每一倍频程下降 6 dB;

信号对螺旋桨直达波干扰的信噪比  $(\text{SNR})_{pd} = -17$  dB;

信号对螺旋桨干扰反射波的信噪比  $(SNR)_{pr} = -9.3 \text{ dB}$ ;

信号对拖曳体干扰直达波的信噪比  $(SNR)_{td} = -15.3 \text{ dB}$ ;

信号对拖曳体干扰反射波的信噪比  $(SNR)_{tr} = -7.3 \text{ dB}$ ;

系统仿真的主要结果归纳如下:

(1) 拖曳体流噪声的存在影响入射角  $10 \sim 22^\circ$  范围内的目标检测。当缆长变长时, 干扰的角度下移并且范围缩小。所以当条件允许时, 较长的拖缆会使干扰范围减小(见图 3)。

(2) 拖曳平台螺旋桨噪声的干扰集中在两个范围, 由直达波引起的干扰集中于  $0^\circ$  附近, 影响的角

度大约在  $\pm 5^\circ$  范围内; 由反射波引起的干扰集中于  $10 \sim 27^\circ$  范围内。当缆长变长时, 干扰的角度下移并且范围缩小(见图 4), 这一现象和拖曳体干扰的情况类似。

(3) 拖曳体流噪声干扰和拖曳平台螺旋桨干扰会在系统检测中形成盲区。盲区的范围大致分布在船舶  $\pm 30^\circ$  范围内, 它会严重影响检测性能。

图 5 是没有干扰时线列阵的指向特性, 目标出现在正横( $0^\circ$ )和靠近船艏方向( $-60^\circ$ ), 时清晰可辨。

图 6 是在有干扰时的情况, 目标出现在  $0^\circ$  时可以分辨, 但当目标出现在  $-60^\circ$  时, 难于分辨。但是, 同样情况下, 如果缆长加长到  $800 \text{ m}$ , 那么信号又出现了(见图 7)。

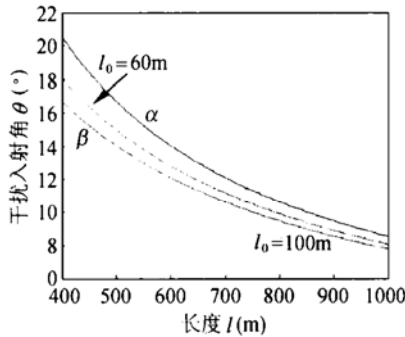


图 3 拖鱼噪声的入射角计算

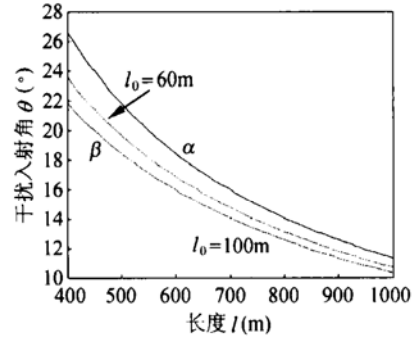
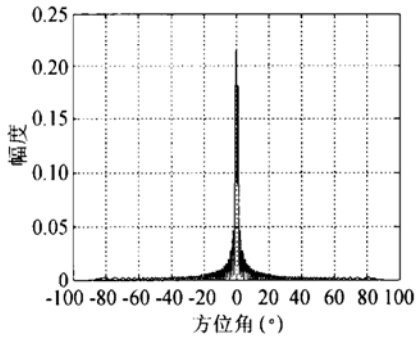
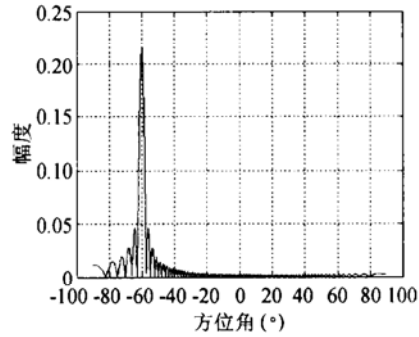


图 4 螺旋桨噪声的入射角计算

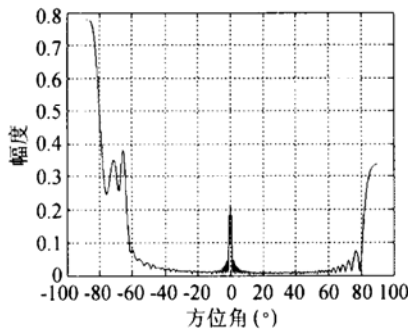


(a)  $DOA=0^\circ, N=100, d/\lambda=0.5, l_0=100 \text{ m}$

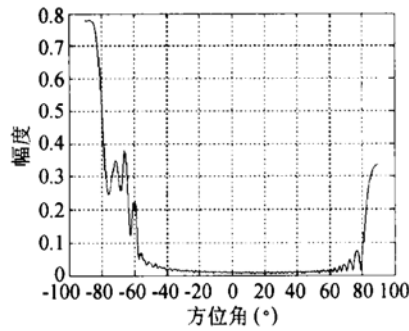


(b)  $DOA=-60^\circ, N=100, d/\lambda=0.5, l_0=100 \text{ m}$

图 5 线列阵指向性计算



(a)  $DOA=0^\circ, N=100, d/\lambda=0.5, r_0=400 \text{ m}, l_0=100 \text{ m}$



(b)  $DOA=-60^\circ, N=100, d/\lambda=0.5, r_0=400 \text{ m}, l_0=100 \text{ m}$

图 6 干扰对检测的影响

$(SNR)_{pd} = -17 \text{ dB}, (SNR)_{pr} = -9.3 \text{ dB}, (SNR)_{td} = -15.3 \text{ dB}, (SNR)_{tr} = -7.3 \text{ dB}.$

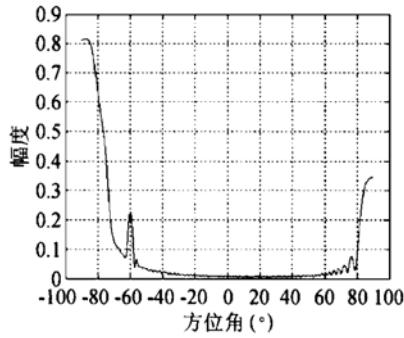


图 7 拖缆加长时对目标的检测情况有改善  
 $(\text{SNR})_{pd} = -17 \text{ dB}$ ,  $(\text{SNR})_{pr} = -9.3 \text{ dB}$ ,  
 $(\text{SNR})_{td} = -15.3 \text{ dB}$ ,  $(\text{SNR})_{tr} = -7.3 \text{ dB}$ .

## 4 结论

主被动拖曳线列阵声呐在使用过程中会受到来自拖曳平台螺旋桨噪声和拖曳体噪声的干扰。这些干扰会在声呐观测范围内形成盲区，从而使声呐检测性能下降。系统仿真说明了干扰噪声带来的影响以及它与声呐系统有关参数的关系。这为实际系统

设计时抑制干扰提供了依据。

## 参 考 文 献

- 1 Lemon S G. Towed array history:1917-2003. *IEEE J. of Oceanic Engr.*, 2004; **29**(2): 365—373
- 2 National Research Council Ed. Technology for the United States Navy and Marine Corps., 2000-2035, becoming a 21<sup>st</sup> century force, NA Press, USA 1997
- 3 Jeferry W. DARPA technology transition: 2003, Feb. 2004, DARPA, USA
- 4 Lasky M *et al.* Recent progress in towed hydrophone array research. *IEEE J. of Oceanic Engr.*, 2004; **29**(2): 374—387
- 5 Preston J M. Stability of towfish used as sonar platforms. *IEEE Oceans'92 Proc.*: 888—892
- 6 Zachow H. System for noise measurements of towed arrays. *Proc. Of UDT'1998*: 262—267
- 7 李启虎. 双线列阵左右舷目标分辨性能的初步分析. *声学学报*, 2006; **31**(5): 385—388
- 8 李启虎. 用双线列阵区分左右舷目标的延时估计方法及其实现. *声学学报*, 2006; **31**(6): 485—487