

拖曳式水平鱼探仪海上试验研究*

于 铭[†] 杨士莪

(哈尔滨工程大学水声工程学院 哈尔滨 150001)

摘要 为了简化设备组成,方便操作使用,降低设备成本,对拖曳式水平鱼探仪采用了被动工作方式,利用监测鱼群噪声以确定鱼群方位。采用水平拖曳方式时,对拖体内两个矢量水听器所接收信号进行本船噪声抵消运算,有效地降低了本船噪声干扰,从而保证了必要的目标检测距离。利用矢量水听器所测得声压与质点振速的相关性,借助非线性最优化技术,按照单矢量水听器多目标定向方法,解算并输出显示各目标方位。根据具体要求,可以显示目标的地理方位,也可以显示目标相对于本船的方位。

关键词 拖曳式水平鱼探仪,被动式鱼探仪,矢量水听器,多目标分辨,方位估计

Testing of towed horizontal fishery detector on the sea

YU Ming YANG Shi-E

(College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract Towed horizontal fishery detector works passively to detect the location of the shoals of fish through detecting their noises. It can simplify the equipment, facilitate the operation and reduce the cost as well. It offsets the signals received by the two vector hydrophones in the tow and reduces the noise interference from the ship to assure the target range. It can show the directions of targets through calculating the correlation between sound pressures and vector velocity detected by the vector hydrophones and using the non-linear optimizing technology for multi-sources detection by single vector hydrophone. It can indicate geographical azimuth of the target or the direction of the target to the ship if required.

Key words Towed horizontal fishery detector, Passive fishery detector, Vector hydrophone, Multi-sources distinguishing, Direction estimation

1 引言

当今我国渔业捕捞技术较发达国家落后许多,不能首先发现丰产鱼群所在海域,往往是跟随外国渔轮,在其捕捞海域迟后下网,

因而所获有限。我国生产的鱼群探测仪,多为主动式垂直鱼探仪,只能发现本船位置下方的鱼群,探测范围十分有限。而通常国外生产的主动式水平鱼探仪,使用维护技术复杂,价格昂贵,不符合我国国情。为此,研

2008-10-09 收稿; 2009-03-27 定稿

* 国家科技部国际科技合作计划项目(2004DFBA0006)

作者简介:于铭(1960-),男,副研究员,工学博士。

杨士莪(1931-),男,中国工程院院士,教授,博士生导师。

[†]通讯作者:于铭, E-mail:yuming5911@163.com

制操作简便, 价格合理, 能用于探测一定水平距离范围内鱼群的探测仪, 是有需求的。

根据以上的考虑, 为保证可有效进行水平方向被动噪声检测, 且又能够在一定程度上避免本船噪声干扰, 我们开发研制了一种拖曳式水平鱼探仪, 其中采用压差式矢量传感器作为接收基阵, 以简化目标水平方位的测定。设备整体设计研制的原则为: 简单、可靠、经济。本文并介绍了海上试验情况。

2 总体技术方案

本文所研究的拖曳式水平鱼探仪为被动声纳, 接收水听器采用了二维压差式矢量水听器。海洋中记录到的水下噪声级中最高噪声级来源于丰富多彩的海洋生物, 生物学方面的大量研究工作, 则使得能够推测生物噪声的基本性质。图 1 给出了各种海栖动物区系所发出的噪声声压谱^[1]。

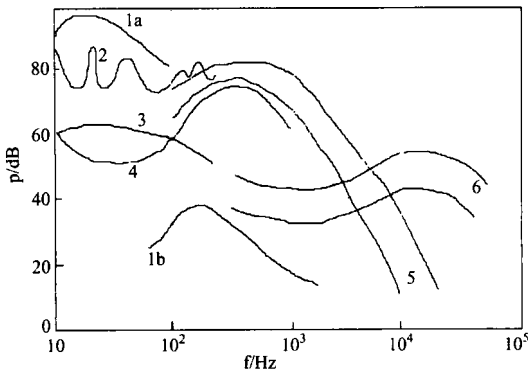


图 1 几种生物发出的声音或噪声频谱特性曲线
1a, 1b—鲈目科鱼的噪声和齐鸣的谱, 其中有豹蟾鱼 (*Opsanus tau*); 2—海猪声; 3—鲂鲱声谱; 4—鼓鱼; 5—鲈目科鱼群的齐鸣; 6—港湾中聚集的海虾—叩头虫和十足目发出的噪声

根据现有掌握的资料, 从各种海栖动物区系所发出的噪声声压谱中, 可以获得鱼类目标的基本特征。随着被动式声纳技术的不断发展和完善, 根据鱼类目标的基本特征, 利用新型

传感器 (矢量水听器) 技术与现代信号处理技术的有机结合, 使得构造一个具有全新概念的被动式鱼探仪系统成为可能^[2]。图 2 给出了被动式鱼探仪系统的原理框图。

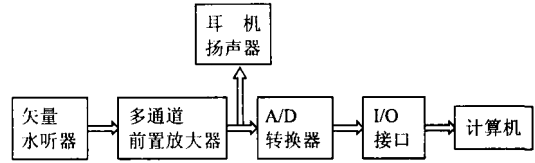


图 2 被动式鱼探仪系统原理框图

主要技术指标:

- (1) 利用双矢量水听器可进行本船噪声抵消, 当拖体与本船距离不小于 150m 时, 本船噪声可降低 40dB 以上;
- (2) 探测距离不小于 5km;
- (3) 定向误差不大于 5° ;
- (4) 可同时测定 4 个目标方位;
- (5) 拖体内装有罗经仪, 可实时输出拖体的真方位, 从而换算得到目标的真方位。

矢量水听器的出现, 给信号处理带来了全新的空间。矢量水听器可以同时获得声场中的声压信号和质点振速信号, 因此矢量水听器的信号处理可以在相空间 $\langle p \rangle$ 、 $\langle p^2 \rangle$ 、 $\langle v \rangle$ 、 $\langle v^2 \rangle$ 、 $\langle p, v \rangle$ 、 $\langle p, pv \rangle$ 、 $\langle v, pv \rangle$ 、 $\langle p, v, pv \rangle$ 中进行处理, 这是传统的声压水听器所不具备的, 这里 v 为质点的振速, p 为声压, p^2 为势能, v^2 为动能, $p v$ 为声强流。

本文正是基于这一目的, 作者提出一种声压、振速联合信号处理的方法^[3], 该方法利用在远场平面波假设条件下声压和振速是完全相关的这个特点, 来对信号的方位进行估计。该方法的优点是它只需要一个矢量水听器, 就可以进行多个目标的方位信息估计。

3 方位估计原理

假设在远场平面波条件下存在 n 个窄带信

号, 分别以 $\theta_i (i=1, 2, \dots, n)$ 到达水听器, 介质为理想均匀海水。则水听器输出可以表示为:

$$y(t) = \begin{bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \\ p_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n s_i(t+r \cos \theta_i/c) + n_1(t) \\ \sum_{i=1}^n s_i(t+r \sin \theta_i/c) + n_2(t) \\ \sum_{i=1}^n s_i(t-r \cos \theta_i/c) + n_3(t) \\ \sum_{i=1}^n s_i(t-r \sin \theta_i/c) + n_4(t) \end{bmatrix}$$

其中 r 为水听器半径, c 为海水中声速, $s_i(t) (i=1, 2, \dots, n)$ 为信号, $n_i(t) (i=1, 2, \dots, n)$ 为各向同性白噪声。在水听器半径足够小的情况下可以用 4 路声压输出来近似获取水听器中心点的声压和振速:

$$p(t) = \frac{1}{4} (p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) + p_4(t)) \approx \sum_{i=1}^n s_i(t) + n_p(t)$$

$$v_x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{(p_1(x) - p_3(x))}{x-t} dx \approx \sum_{i=1}^n 2k_i r \cos \theta_i s_i(t) + n_x(t)$$

$$v_y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{(p_2(x) - p_4(x))}{x-t} dx \approx \sum_{i=1}^n 2k_i r \sin \theta_i s_i(t) + n_y(t)$$

为分析方便, 将噪声项 $n_p(t)$ 、 $n_x(t)$ 和 $n_y(t)$ 忽略, 对声压和振速做相关可以获得如下方程组:

$$\langle p(t), v_x(t) \rangle = \sum_{i=1}^n 2I_i k_i r \cos \theta_i$$

$$\langle p(t), v_y(t) \rangle = \sum_{i=1}^n 2I_i k_i r \sin \theta_i$$

$$\langle v_x(t), v_y(t) \rangle = \sum_{i=1}^n 4I_i k_i^2 r^2 \sin \theta_i \cos \theta_i$$

$$\langle v_x(t), v_x(t) \rangle = \sum_{i=1}^n 4I_i k_i^2 r^2 \cos^2 \theta_i$$

$$\langle v_y(t), v_y(t) \rangle = \sum_{i=1}^n 4I_i k_i^2 r^2 \sin^2 \theta_i$$

$$2\langle p(t), p(t) \rangle^2 - \langle p^2(t), p^2(t) \rangle = \sum_{i=1}^n I_i^2$$

$$2\langle p(t), p(t) \rangle \langle p(t), v_x(t) \rangle - \langle p^2(t), p(t) v_x(t) \rangle$$

$$= \sum_{i=1}^n 2I_i^2 k_i r \cos \theta_i$$

$$2\langle p(t), p(t) \rangle \langle p(t), v_y(t) \rangle - \langle p^2(t), p(t) v_y(t) \rangle$$

$$= \sum_{i=1}^n 2I_i^2 k_i r \sin \theta_i$$

$$2\langle p(t), v_x(t) \rangle \langle p(t), v_y(t) \rangle - \langle p^2(t), v_x(t) v_y(t) \rangle$$

$$= \sum_{i=1}^n 4I_i^2 k_i^2 r^2 \sin \theta_i \cos \theta_i$$

$$2\langle p(t), v_y(t) \rangle^2 - \langle p^2(t), v_y^2(t) \rangle = \sum_{i=1}^n 4I_i^2 k_i^2 r^2 \sin^2 \theta_i$$

$$2\langle p(t), v_x(t) \rangle \langle v_x(t), v_y(t) \rangle - \langle p(t) v_y(t), v_x^2(t) \rangle$$

$$= \sum_{i=1}^n 8I_i^2 k_i^3 r^3 \sin \theta_i \cos^2 \theta_i$$

$$2\langle p(t), v_y(t) \rangle \langle v_y(t), v_x(t) \rangle - \langle p(t) v_x(t), v_y^2(t) \rangle$$

$$= \sum_{i=1}^n 8I_i^2 k_i^3 r^3 \sin^2 \theta_i \cos \theta_i$$

$$2\langle v_x(t), v_x(t) \rangle \langle v_x(t), v_y(t) \rangle - \langle v_x^2(t), v_x(t) v_y(t) \rangle$$

$$= \sum_{i=1}^n 16I_i^2 k_i^4 r^4 \sin \theta_i \cos^3 \theta_i$$

$$2\langle v_x(t), v_y(t) \rangle^2 - \langle v_x^2(t), v_y^2(t) \rangle$$

$$= \sum_{i=1}^n 16I_i^2 k_i^4 r^4 \sin^2 \theta_i \cos^2 \theta_i$$

其中“ $\langle \rangle$ ”为求相关符号, $I_i = \langle s_i(t), s_i(t) \rangle$ 为信号的能量。要实现对信号方位的估计, 可以通过求解这些非线性相关方程来实现^[3]。

声压和质点振速之间可以通过线性和非线性组合获取 14 个相关方程, 虽然我们可以通过其高阶获取更多的相关方程, 但是对于高阶的方程组, 其方程组两边的误差也会相应增大, 因此更高阶的方程只存在理论上的意义, 在实际应用中是不可取的。因此对于这 14 个相关方程最多可以分辨出 7 个非相关信号, 当信号个数少于 7 个时, 可以取其中误差相对较小的方程来组成相关方程组, 从而实现对信号的分辨。

4 海上试验

2006 年 6 月, 在浙江省舟山市附近海域

进行了拖曳式水平鱼探仪的试验, 试验目的为验证浅海环境下本舰噪声干扰下的目标方位估计算法。实验选择一艘渔船, 矢量水听器处于拖曳状态, 电缆长度约为 180m, 试验海区海水深度约为 40~60m, 渔船以 5 节速度匀速航行。图 3 为试验相对位置示意图。图 4 为 210m 绞车及拖体图。

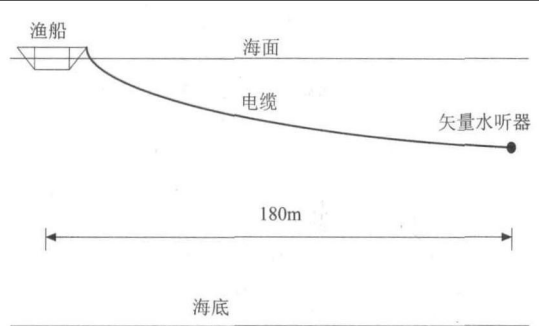


图 3 试验相对位置示意图

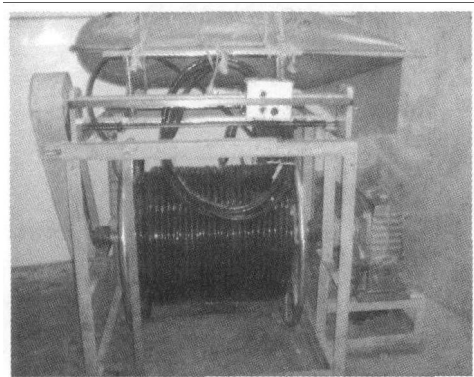


图 4 210m 绞车及拖体实物图

图 5 为无过往船只经过条件下, 对渔船噪声方位的估计。从图中可以看出水听器能比较准确地对渔船方位进行估计, 由于渔船运行并不是严格的匀速航行, 因此, 可以看到水听器对渔船方位的估计会出现小的波动。行使中从渔船左舷前方驶来一艘散装货船, 货船最后航行至渔船左舷后方, 图 6 为抵消渔船本舰干扰后对货船轨迹的估计^[4], 从图中可以比较清楚地看出货船航行的轨迹。

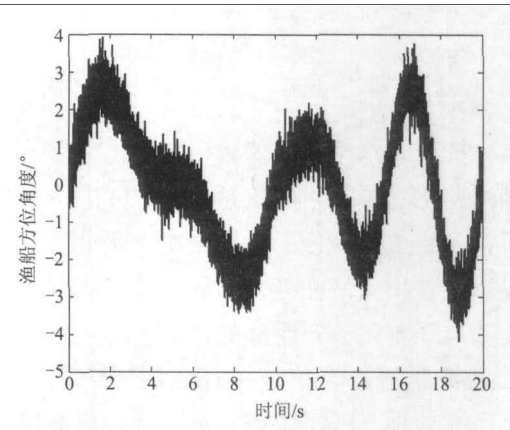


图 5 渔船航行轨迹图

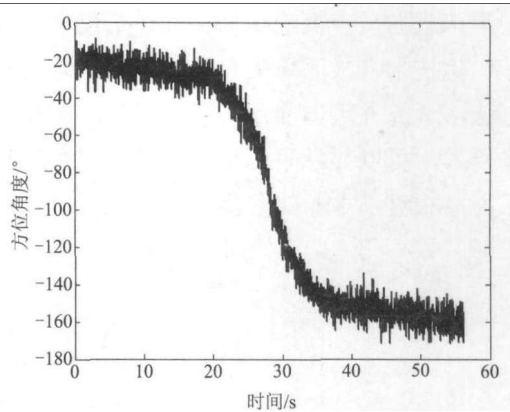


图 6 货船航行轨迹图

图 7 为将渔船噪声作为一信号源, 货船噪声作为另一信号源, 运用两目标方位估计算法^[5]对这两船轨迹的估计。

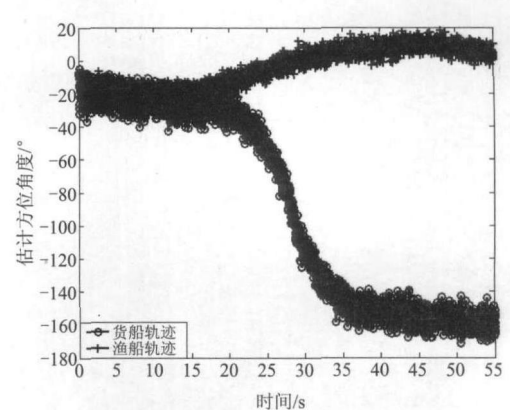


图 7 渔船与货船航行轨迹图

5 结论

拖曳式水平鱼探仪采用被动工作方式,利用监测鱼群噪声确定鱼群方位,大大简化了设备组成,方便了操作使用,降低了设备成本。使用安装在拖体内的矢量水听器,拖在船尾距本船一定距离处,对拖体内两个矢量水听器所接收信号进行本船噪声抵消运算,有效地降低了本船噪声干扰,从而保证了必要的目标检测距离。利用矢量水听器所测得声压与质点振速的相关性,借助非线性最优化技术,按照单矢量水听器多目标定向方法,解算并输出显示各目标方位。根据具体要求,可以显示目标地理方位,也可以显示目标相对于本船的方位。

参 考 文 献

- [1] (苏)布列霍夫斯基. 山东海洋学院海洋物理系, 中国科学院声学研究所水声研究室译. 海洋声学. 北京: 科学出版社, 1983.
- [2] 于铭, 杨士莪. 被动式渔探仪开发设计与试验研究. 应用声学, 2007, 26(4): 231-238.
- [3] 杨士莪. 单矢量传感器多目标分辨的一种方法. 哈尔滨工程大学学报, 2003, 24(6): 591-595.
- [4] 程彬彬, 杨士莪. 压差式矢量水听器方位估计中的干扰抵消. 应用声学, 2006, 25(4): 234-239.
- [5] 程彬彬, 杨士莪. 基于压差式矢量水听器的多目标分辨. 测控技术, 2006, 25(11): 28-31.
- [6] EDMOND Y L, MIGUEL C J. Signal-to-noise enhancement by underwater intensity measurement. Journal of the Acoustical Society America, 1987, 82(4): 1452-1454.
- [7] MALCOLM H, ARYE N. Acoustic vector-sensor correlations in ambient noise. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2001, 26(3): 337-347.
- [8] NEHORAI, E PALDI. Acoustic vector-sensor array processing. IEEE Transactions on Signal Processing, 1994, 42(9): 2481-2491.