

# 第七讲 侧扫声纳

许枫<sup>†</sup> 魏建江

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

**摘要** 侧扫声纳是探测海底地形地貌的重要工具,计算机技术的广泛应用极大地促进了侧扫声纳的发展.文章介绍了侧扫声纳的发展过程、典型应用、工作原理、声图成像特征及发展趋势.

**关键词** 声纳,侧扫声纳,声图

## Side-scan sonar

XU Feng<sup>†</sup> WEI Jian-Jiang

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

**Abstract** Side-scan sonar is an important means of detection in hypsography, and its incorporation of computer technology has greatly promoted its development. We describe the history, typical applications, basic principle, acoustic image characteristics and future developments of side-scan sonar.

**Keywords** sonar, side-scan sonar, acoustic image

### 1 概述

人类为了获得丰富的海洋资源,首先必须了解海底地形和地貌,由此促进了侧扫声纳的问世.20世纪50年代初期,英国海洋地质学家提出应用声学侧扫原理,同时在海上用两艘船只分别在船侧拖曳一个换能器,在船的对应一侧探测海底地貌.1962年以后,英、美、法等国陆续开发出产品,最初的产品是舷挂式的,1964年出现拖曳式侧扫声纳.1970年,英国海洋研究所研制出适合大洋使用的GLORIA侧扫声纳,作用距离达20多公里.

20世纪80年代以后,计算机技术广泛应用于侧扫声纳,到20世纪90年代,国内外出现了一系列数字化的侧扫声纳,使侧扫声纳技术上上了一个新台阶.

我国在1970年开始研制侧扫声纳,1972年,中国科学院声学研究所(以下简称声学所)和华南工学院(现改名为华南理工大学)均研制了舷挂式的

侧扫声纳产品.1975年,声学所研制出拖曳式侧扫声纳并装备了海测部队.1995年,声学所开发出全数字的侧扫声纳,技术水平达到当时国际水平.2000年,声学所又开发出海底图像声纳,把侧扫声纳、海底浅层剖面声纳和测高声纳组合在一起,为水下探测又提供了一种新设备.

近10年来,由于一些特殊的需要,在原侧扫声纳的基础上,开发出了适合高速应用的多波束和多脉冲侧扫声纳及可以测量海底地形的三维侧扫声纳

表1 侧扫声纳分类表

分类原则	类型
安装方式	舷挂、拖曳
安装对象	水面船只、水下运载器
工作频率	低频、中频、高频
信号类型	CW脉冲信号*、线性调频
波束数	单波束、多波束
工作原理	单脉冲、多脉冲
工作深度	浅拖、深拖

\* CW脉冲信号表示一段固定长度的正弦波脉冲信号

2006-03-15 收到初稿 2006-6-29 收到修改稿

<sup>†</sup> 通讯联系人, Email: xf@mail.ion.ac.cn

等产品,目前已经形成了非常完整的侧扫声纳系列,用户可以根据不同的需要,选择不同类型的产品.表1列出了按不同原则分类的侧扫声纳类型.

## 2 侧扫声纳应用

侧扫声纳有三个突出的特点:一是分辨率高,二是能得到连续的二维海底图像,三是价格较低,所以侧扫声纳出现以后很快得到广泛应用,现在已成为水下探测的主要设备之一.侧扫声纳主要应用在以下几个方面.

### 2.1 海洋测绘

侧扫声纳可以显示微地貌形态和分布,可以得到连续的有一定宽度的二维海底声图,而且还可能做到全覆盖不漏测,这是测深仪和条带测深仪所不能替代的,所以港口、重要航道、重要海区,都要经过侧扫声纳测量(见图1).

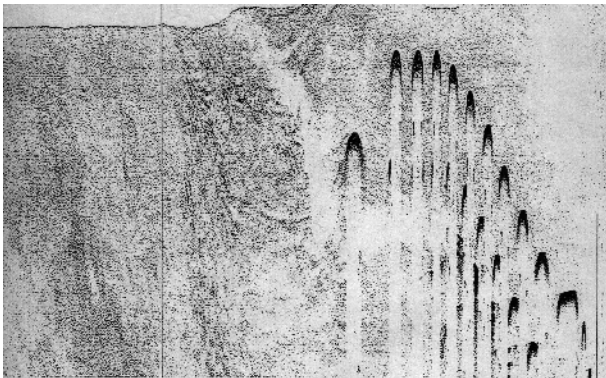


图1 声图右侧呈现黑色锥形图像是栈桥式码头的桥桩图像

### 2.2 海洋地质调查

侧扫声纳的海底声图可以显示出地质形态构造和底质的大概分类,尤其是巨型侧扫声纳如GLORIA,可以显示出洋脊和海底火山,是研究地球大地构造和板块运动的有力手段(见图2).

### 2.3 海洋工程勘探

利用侧扫声纳可以分析地貌、海底构造、底质,可以分析海床迁移和稳定性.所以也广泛应用于海洋工程勘探,如海底电缆、海底输油管线的路由器调查等(见图3).

### 2.4 寻找水下沉船沉物和探测水雷

侧扫声纳分辨率高,可以发现水雷等小目标,可

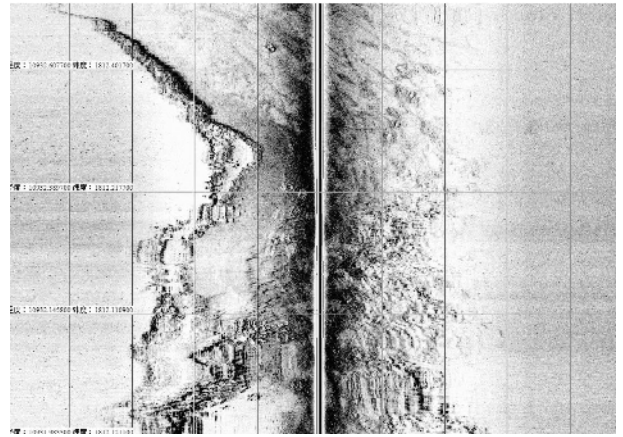


图2 声图反映石质海岸向水下倾斜延展及在其潮滩斜坡上发育的珊瑚礁地貌

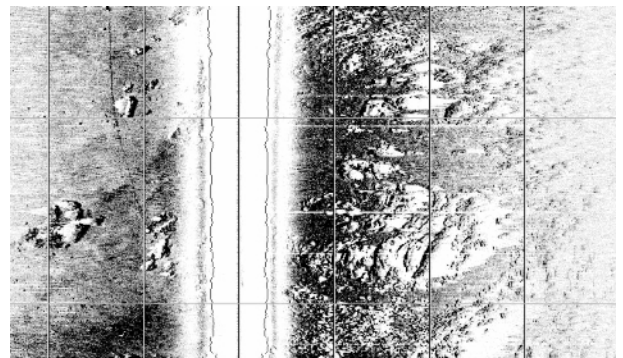


图3 海底电缆声图

以发现沉船,并能显示沉船的坐卧海底姿态和破损情况.这是其他探测设备不可替代的(见图4).

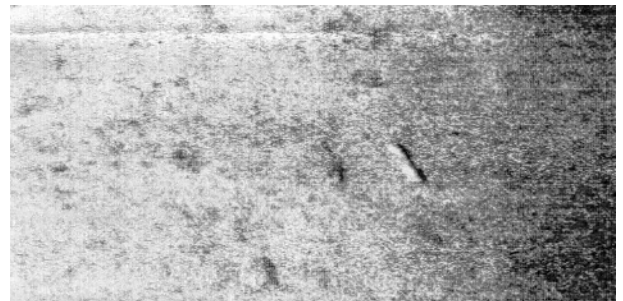


图4 呈黑色短线状声图反映沉底水雷的雷体,雷体右侧的白色条带是雷体的阴影

### 2.5 其他

侧扫声纳还广泛应用于其他方面,如渔业研究、水下考古等等(见图5).

## 3 侧扫声纳工作原理

侧扫声纳的基本工作原理与侧视雷达类似,如

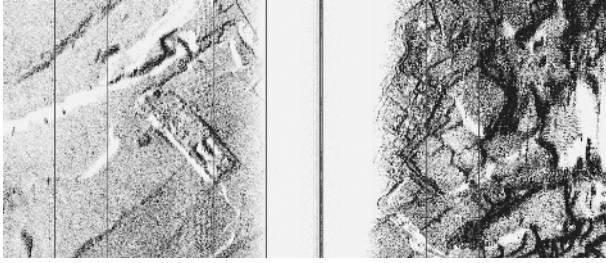


图5 声图左侧矩形图像为千岛湖水下古建筑

图6所示,侧扫声纳左右各安装一条换能器线阵,首先发射一个短促的声脉冲,声波按球面波方式向外传播,碰到海底或水中物体会产生散射,其中的反向散射波(也叫回波)会按原传播路线返回换能器被换能器接收,经换能器转换成一系列电脉冲。

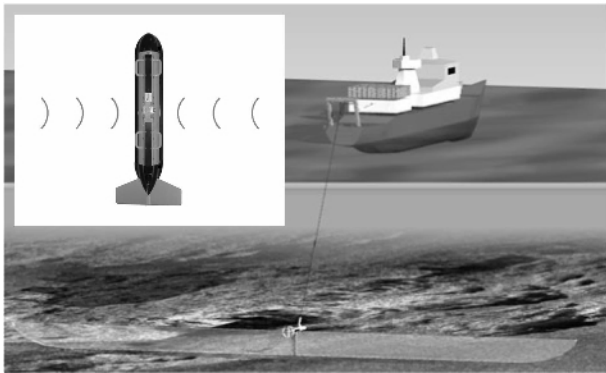


图6 侧扫声纳工作示意图

一般情况下,硬的、粗糙的、凸起的海底,回波强;软的、平滑的、凹陷的海底回波弱,被遮挡的海底不产生回波,距离越远回波越弱。如图7所示,第①点是发射脉冲,正下方海底为第②点,因回波点垂直入射,回波是正反射,回波很强,海底从第④点开始向上突起,第⑥点为顶点,所以第④、⑤、⑥点间的回波较强,但是这三点到换能器的距离是以第⑥点最近,第④点最远,所以回波返回到换能器的顺序是第⑥点→第⑤点→第④点,这也充分表现出了斜距和平距的不同。第⑥点与第⑦点间海底是没回波的,这是被凸起海底遮挡的影区。第⑧点与第⑨点间海底是下凹的,第⑧点与第⑨点间海底也是被遮挡的,没有回波,也是影区。

利用接收机和计算机对这一脉冲串进行处理,最后变成数字量,并显示在显示器上,每一次发射的回波数据显示在显示器的一横线上,每一点显示的位置和回波到达的时刻对应,每一点的亮度和回波幅度有关。

将每一发射周期的接收数据一线接一线地纵向排列,显示在显示器上,就构成了二维海底地貌声

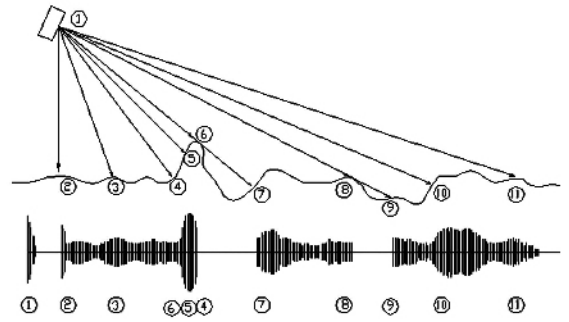


图7 侧扫声纳回波强度示意图

图。声图平面和海底平面成逐点映射关系,声图的亮度包涵了海底的特征。

## 4 侧扫声纳声图成像特征

### 4.1 声图结构

声图由四条线组合构成,在声图中央,纵向直线称为拖鱼航迹线,亦即拖鱼轨迹线,这条轨迹线是量测声图两侧目标距离、目标位置、目标高度、拖鱼高度的基准线。在拖鱼轨迹线左、右两侧,有纵向连接延伸的曲线,一般靠近拖鱼轨迹线的纵向连接曲线称为水面线。现在侧扫声纳换能器副瓣小,不易出现水面线。在水面线外侧的纵向连续曲线称为海底线。海底线起伏变化反映海底起伏形态,海底线与拖鱼轨迹线之间的间距变化显示拖鱼高度变化。在两侧海底线外侧,有横向连续排列直线,称为扫描线,扫描线由像素点组成,像素点随声回波信号的强弱变化而产生灰度强弱的变化,而扫描线的像素点灰度强弱可以反映目标和地貌图像。

### 4.2 声图成像特征

声图依据扫描线像素的灰度变化显示目标轮廓和结构以及地貌起伏形态。目标成像灰度有两种基本变化特征:

(1)隆起形态的灰度特征。海底隆起形态在扫描线上的灰度特征是前黑后白,亦即黑色反映目标实体形态,白色为阴影。

(2)凹陷形态的灰度特征。海底凹洼形态在扫描线上的灰度特征是前白后黑,亦即白色是凹洼前壁无反射回声波信号,黑色是凹洼后壁迎声波面反射回波声信号加强。

海底表面起伏形态和目标起伏形态,在声图上反映灰度变化,就是以上两种基本特征的组合排列

变化(见图8)。

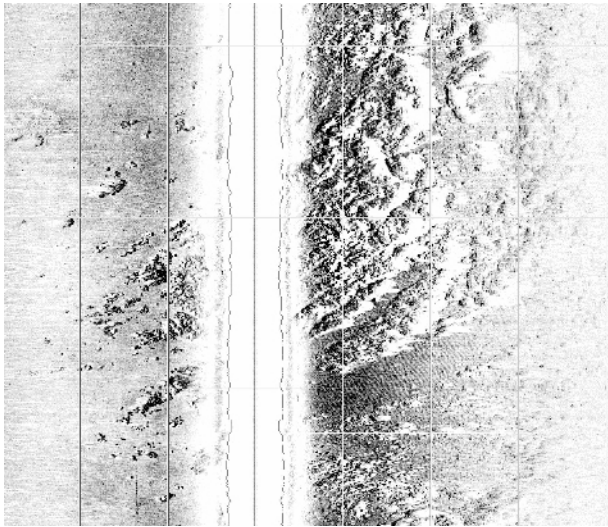


图8 海底地形起伏形成的灰度变化

## 5 侧扫声纳发展趋势

对于基本型的侧扫声纳,由于其工作原理的限制,在应用过程中出现了如扫测速度与扫测宽带矛盾,不能提供水深数据,分辨率不高,不能自动检测和判别小目标等问题,为了解决这些问题,目前侧扫声纳的发展趋势是高速、高分辨率、三维和自动识别。

### 5.1 高速侧扫声纳

对于单波束侧扫声纳而言,为了满足测量规范中全覆盖的要求,侧扫声纳最大拖曳速度 $V$ 与量程 $R$ 应满足如下关系<sup>[1-3]</sup>:

$$V = L \times \frac{C}{2} \times \frac{1.94}{(R \times H)}, \quad (1)$$

其中 $V$ 为允许的最大航行速度(单位为节,1节=0.5m/s) $L$ 为目标尺度, $C$ 为声速, $R$ 为量程,单位为m, $H$ 为期望在目标上测量的点数。

从(1)式可以看出,当目标一定时,最大拖曳速度与量程成反比,也就是说,量程越大,要求拖曳速度越低,这在某些应用场合,如高速探测水雷目标中是不满足要求的,为此开发出了多波束和多脉冲两种新型的侧扫声纳。多波束是在同一时刻形成多个波束的信号,多脉冲是利用在一个发射周期内发射多个不同类型的编码信号来实现航速的提高,其最大拖曳速度 $V$ 与量程 $R$ 的关系如下<sup>[4,5]</sup>:

$$V = M \times L \times \frac{C}{2} \times \frac{1.94}{(R \times H)}, \quad (2)$$

其中 $V$ 为允许的最大航行速度(单位为节), $M$ 为波束数或脉冲数, $L$ 为目标尺度, $C$ 为声速, $R$ 为量程,(单位为m) $H$ 为期望在目标上测量的点数。

目前国外已经研制出8波束的多波束侧扫声纳和4脉冲的多脉冲侧扫声纳,并已经得到应用,我国也已经开发出了4波束的多波束侧扫声纳,正在开发12波束的多波束侧扫声纳和多脉冲侧扫声纳。

### 5.2 三维侧扫声纳

传统的侧扫声纳每侧采用一条换能器阵,这样只能形成二维的声图,而得不到水深数据。为了提高测量效率,开发出了三维侧扫声纳,其基本工作原理就是在每侧至少使用两条接收换能器阵元,通过测量信号到达两阵元间的相位差,得到侧向的水深度数据。

## 6 结束语

侧扫声纳从诞生到现在已经有了半个世纪的时间,由于其广泛的适用性,使得侧扫声纳技术得到不断的发展,已经成为在军事和民用领域都不可缺少的水声设备,并将继续发挥其应有的作用。

### 参 考 文 献

- [1] (美)尤立克 R J 著. 洪申译. 水声原理. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1990 [Urick R J. Hong S trans. Principles of Underwater Sound. Harbin: Harbin Ship Engineering College Press, 1990 (in Chinese)]
- [2] 刘伯胜, 雷家煜编. 水声学原理. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1993 [Ed. Liu B S, Lei J Y. Principles of Underwater Sound. Harbin: Harbin Ship Engineering College Press, 1993 (in Chinese)]
- [3] 田坦, 刘国枝, 孙大军编. 声纳技术. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2000 [Ed. Tian T, Liu G Z, Sun D J. Sonar Technology. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2000 (in Chinese)]
- [4] 刘梦庵, 连立民. 水声工程. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2002 [Liu M A, Lian L M. Underwater Acoustic Engineering. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2002 (in Chinese)]
- [5] 王玉泉. 水声设备. 北京: 国防工业出版社, 1985 [Wang Y Q. Underwater Acoustic Equipment. Beijing: National Defence Industry Press, 1985 (in Chinese)]