

海洋侧扫声呐探测技术的发展及应用

李 冬 刘 雷 张永合

(天津海事测绘中心 天津 300211)

摘要:侧扫声呐是利用回声测深原理探测海底地貌和水下物体的设备,目前广泛应用于海洋地形调查以及探测海底礁石、沉船、管道、电缆以及各种水下目标等。本文介绍了侧扫声呐的工作原理、系统构成、关键技术及其在我国的发展应用现状。

关键词:侧扫声呐; chirp 信号; 海底探测; 发展现状

一、发展概述

侧扫声呐利用水底后向散射回波来探测海底礁石、沉船、管道、电缆以及各种水下目标,是海洋探测的重要工具之一,应用极其广泛。对于海洋水下救捞、海洋地质地貌测量、海洋大陆架专属经济区划分、海洋工程、海洋开发以及港口航道疏浚、河港、大坝维护探查乃至渔业研究等都是非常有效的探测工具。侧扫声呐还可用于探查海底的沉船、水雷、导弹和潜艇活动等,因而更有其重要的军事意义^[1-3]。

1960 年英国海洋科学研究所研制出第一台侧扫声呐并用于海底地质调查,60 年代中期侧扫声呐技术得到改进,提高了分辨率和图像质量等探测性能,开始使用拖曳体装载换能器阵,拖曳体距海底的高度约数十米。70 年代研制出适应不同用途的侧扫声呐,轻便型系统总重量仅 14 公斤。近年来,计算机处理技术的快速发展和应用有效地推进了侧扫声呐探测技术的发展,出现了一系列以数字化处理技术为基础设计的数字化侧扫声呐设备,进而使侧扫声呐技术步入了全新发展阶段,符合特定探测深度和精度的侧扫系统不断研发面世。传统的单频模式逐渐被具备高、低两个频段的双频模式取代,以适应不同的应用环境,特别是对地质调查以及掩埋目标的探测。信号形式也逐渐从简单的单频脉冲演变为 chirp 信号,以获得更好的分辨力。此外,诸如多波束侧扫、多脉冲技术也不断

地被应用于侧扫声呐系统中,以实现高速拖曳全覆盖的同时获得高分辨率的地貌图像信息。美国 Klein 公司近年研发的 Klein5000 V2 系列以及 EdgeTech 公司研发的 4200 系列深海多波束侧扫声呐系统,代表了目前国外商业侧扫声呐发展的前沿。其他诸如 DeepVision、Kongsberg、ATLAS 以及 Teledyne 等公司也都有自己的成熟商业侧扫声呐系列产品。



图 1 Klein5000 V2(左)、Edgetech 4200MP 侧扫声呐及其成像结果(右)

二、工作原理

以双侧、单频带侧扫声呐系统为例,其工作原理示意图如图 2 所示。在载体(拖鱼)的左、右各有一条具有扇形指向性的换能器。在航线的垂直平面内开角为 P_v ,一般约为 60° ,以保证一定的扫描宽度。水平面内开角为 P_h ,一般小于 2° ,以保证有较高的分辨率。

当换能器发射一个声脉冲时,可在换能器左右侧各照射一窄梯形海底,如图中拖鱼左侧为梯形 ABCD,即为当前时刻侧扫声呐形成的“脚印”。由于换

能器存在一定水平面开角 P_h , 可看出梯形的近换能器底边 AB 小于远换能器底边 CD, 因此侧扫声呐的航向分辨力会随着目标与拖鱼的距离增加而变差。

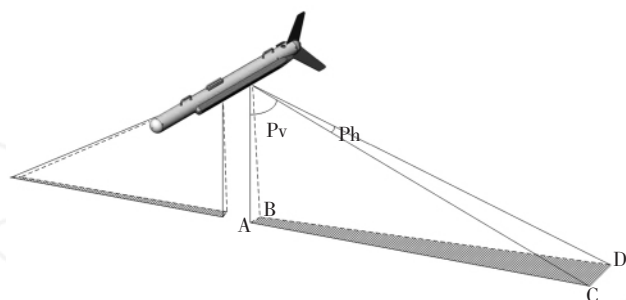


图2 侧扫声呐工作脚印形成示意图

当声脉冲发出之后, 声波以球面波方式向远方传播, 碰到海底后反射波或反向散射波沿原路线返回到换能器。在假定水中声速为常值的情况下, 反射波到达换能器的时间由其经历的传播路径决定, 路径越长, 则到达时间越晚。从图2中的几何结构可以看出, 一般情况下, 侧扫声呐正下方海底的回波先返回, 倾斜方向的回波后到达。这样, 发出一个很窄的脉冲之后, 收到的回波是一个时间很长的脉冲串。硬的、粗糙的、突起的海底回波强; 软的、平坦的、下凹的海底回波弱。被突起海底遮挡部分的海底没有回波, 这一部分叫声影区。这样回波脉冲串各处的幅度就大小不一, 回波幅度的高低就包含了海底反射强度的信息, 如图3所示。换能器阵接收来自照射区各点的反向散射信号, 经放大、处理和记录, 在数据采集软件上显示出海底的图像。回波信号较强的目标图像较黑, 声波照射不到的影区图像色调很淡, 根据影区的长度可以估算目标的高度。

一次发射可获得拖鱼两侧各一窄条海底的信息, 设备显示成一帧线。在工作船向前航行, 设备按一定时间间隔进行发射/接收操作, 设备将每次接收到的一帧帧数据显示出来, 就得到了二维海底地貌的声图。声图以不同颜色(伪彩色)或不同的黑白程度表示海底的特征, 操作人员就可以知道海底的地貌特征, 进一步可以结合声影区来判断海底地形特征。

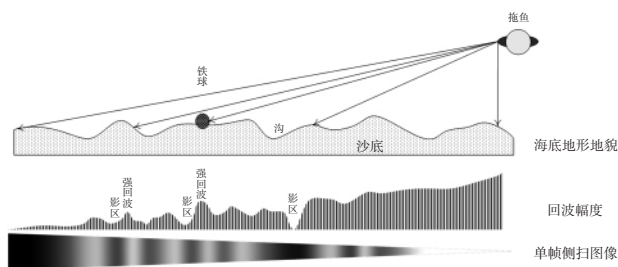


图3 侧扫声呐回波幅度示意图

三、系统构成

以拖曳式侧扫声呐为例, 其基本系统的组成一般包括拖鱼、绞车、工作站, 以及必要的外部辅助设备(如GPS接收机、超短基线等)。

侧扫声呐的拖鱼是一个流线型稳定拖曳体, 它由鱼前部和鱼后部组成。鱼前部由鱼头、换能器舱和拖曳钩等部分组成, 左右两侧各装备一条(在双频的情况下两条)收发换能器; 鱼后部由电子舱、鱼尾、尾翼组成。尾翼用来稳定拖鱼, 当它被鱼网或障碍物挂住时可脱离鱼体, 收回鱼体后可重新安装尾翼。拖曳钩用于连接拖缆和鱼体的机械连接和电连接。根据不同的航速和拖缆长度, 把拖鱼放置在最佳工作深度。

拖曳电缆安装在绞车上, 其一头与绞车上的滑环相连, 另一头与侧扫声呐的鱼体相连。拖缆有两个作用, 第一是对拖鱼进行拖曳操作, 保证拖鱼在拖曳状态下的安全; 第二是通过电缆传递信号。

拖缆有两种类型, 强度增强的多芯轻型电缆和铠装电缆。沿岸比较浅的海区, 一般使用轻型电缆, 其长度从几十米到一百多米左右。轻型电缆便于甲板上的操作, 可由一个人搬动。其负荷一般在400-1000公斤之间, 取决于内部增强芯的尺寸。铠装电缆用于较深的海区, 大部分侧扫声呐铠装电缆是“力矩平衡”的“双层铠装”, 这意味着铠装电缆具有两层反方向螺旋绕成的金属套。

工作站是侧扫声呐的核心, 它控制整个侧扫声呐系统工作, 具有数据采集、处理、显示、存储及图形镶

嵌、图像处理等功能。它由硬件和软件两部分组成,硬件包括高性能的主计算机、接收机以及为拖鱼提供高压电源的供电模块,软件包括系统软件和应用软件。

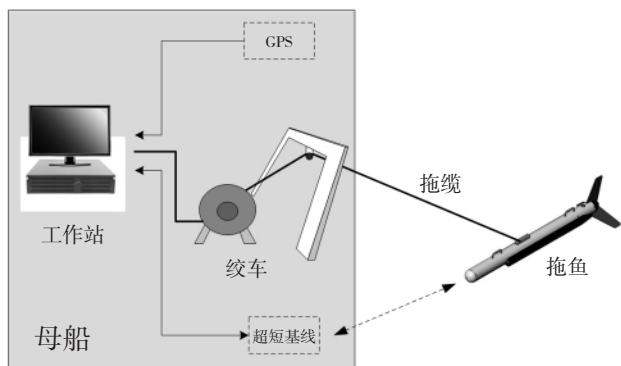


图4 拖曳式侧扫声呐系统构成

四、关键技术

由于侧扫声呐的发射、接收通道数较少,因此系统的硬件结构相对容易把握,但是系统的横向覆盖宽度以及横向分辨力等指标与发射接收换能器的波束宽度有着直接联系,因此侧扫声呐关键技术之一在于研制具有合适束宽,同时满足声源级以及体积重量的高频收发换能器。

拖曳式侧扫声呐载体在体积、重量以及流体力学设计方面,既要能够在水下运行平稳,从而进行高质量成图,又要具有足够的安全性。此外,拖曳式侧扫声呐由母船进行供电,同时数据要实时上发至母船,因此拖缆的设计,以及在拖缆上进行远距离供电以及数据传输也是值得研究的关键技术。

五、国内发展现状

我国对侧扫声呐系统相关技术的研究起步较晚,技术也相对落后,目前国内使用的大部分声呐探测设备都是从欧美发达国家进口。1970年我国才开始研究侧扫声呐系统,并于1972年由中国科学院声学研究所研制出了我国第一款舷挂式侧扫声呐系统。后续又研制出了拖曳式的侧扫声呐系统CS-1^[4],这些设备被

很快地应用到了我国海军相关的武器装备上,有效填补了我国在这方面的空白。

随着国家海洋战略以及“一带一路”战略的不断推进,海洋调测仪器设备的国产化需求日益迫切。虽然目前我国的侧扫式声呐技术在理论研究上已经和发达国家不相上下,但由于受相关工程技术限制以及长期以来对进口设备的依赖,导致国内无论是中科院声学所的拖曳式双频带双侧侧扫声呐^[5],还是杭州应用声学研究所的AUV载多波束侧扫声呐,基本还处于样机研发状态,远未达到成熟的商业化水平。

此外,由于海洋探测设备研发存在投入大、周期长、技术起点高等特点,导致国内长期以来对侧扫声呐系统的研发基本以研究所或高校为主,而企业参与较少,但随着国家对海洋重视程度的提升,越来越多的企业开始投入到海洋探测装备的研发与制造当中。其中杭州边界信息技术有限公司通过国际合作的方式,研发了具有完全自主知识产权的拖曳式双频侧扫声呐系统“剑鱼1400”,该系统具备100/400kHz双频带,最远探测距离可达1000米。水平波束宽度分别是1.5°@100kHz、0.4°@400kHz,垂直航向分辨力分别是8cm@100kHz、2cm@400kHz,是目前国内最成熟的商业侧扫声呐产品之一。

参考文献:

- [1] 来向华,潘国富,苟净慷等.侧扫声呐系统在海底管道检测中应用研究[J].海洋工程,2011(3).
- [2] 李海滨,滕惠忠,宋海英等.基于侧扫声呐图像海底目标物提取方法[J].海洋测绘,2010(6).
- [3] 邵道远.利用侧扫声呐观察和测量河床推移质的运动[J].应用声学,1994(1).
- [4] 魏建江,尹东源.CS-1型侧扫声呐系统[J].海洋技术学报,1997(1).
- [5] 朱维庆,刘晓东,张东升等.高分辨率测深侧扫声呐[J].海洋技术学报,2005(4).

责任编辑:张明