

声纳技术的应用及其最新进展*

王炳和 李宏昌

(中国人民武装警察部队工程学院物理教研室 西安 710086)

摘要 声纳技术是声学检测新技术在水下介质中的具体应用.文章简要阐述了声纳技术的原理、方法及其发展历史,介绍了声纳技术在军事和非军事方面的主要应用及其最新进展.

关键词 声纳,水声换能器,军事应用,海洋工程

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF SONAR TECHNOLOGY

WANG Bing-He LI Hong-Chang

(Teaching and Research Section of Physics, Engineering College of the Chinese People's Armed Police Forces, Xi'an 710086, China)

Abstract Sonar technology is the specific application of acoustic detection techniques in underwater media. Its principle and development as well as its main applications and progress in military and civilian use are reviewed.

Key words sonar, underwater acoustic transducer, military applications, ocean engineering

近年来,随着科学技术的高速发展,人类对覆盖地球总面积 70% 的海洋的认识逐渐深化,海洋因其经济上的巨大潜力和战略上的重要地位越来越被人们所重视.美国加州海洋研究中心的罗伯逊博士说:“海洋的开发对人类带来的利益要比那些耗资庞大的太空计划实惠得多.”1998 年曾被定为“国际海洋年”,有人说,21 世纪是海洋的世纪.

众所周知,电磁波是空气中传播信息最重要的载体,例如,通信、广播、电视、雷达等都是利用电磁波.但是在水下,它几乎没有用武之地.这是因为海水是一种导电介质,向海洋空间辐射的电磁波会被海水介质本身所屏蔽,它的绝大部分能量很快地以涡流形式损耗掉了,因而电磁波在海水中的传播受到严重限制.至于光波,本质上属于更高频率的电磁波,被海水吸收损失的能量更为严重,因此,它们在海水中都不能有效地传递信息.实验证实,在人们所熟知的各种辐射信号中,以声波在海水中的传播性能为最佳.正因为如此,人们利用声波在水下可以相对容易地传播及其在不同介质中传播的性质不同,研制出了多种水下测量仪器、侦察工具和武器装备,即各种“声纳”设备.声纳技术不仅在水下军事通信、导航和反潜作战中享有非常重要的地位,而且在和平时期已经成为人类认识、开发和利用海洋的重要手段.本文将在回顾声纳技术发展简史的基础上介绍声纳技术的原理、方法和应用.

1 声纳技术及发展简史

水下声波(简称“水声”,underwater sound)的应用构成了“声纳”这门工程科学,而以各种形式利用水声的系统叫做“声纳系统”或“声纳技术”^[1].“声纳”(sonar)这个名词是在第二次世界大战后期,仿照当时颇有魅力的“雷达”(radar = radio detecting and ranging,“无线电探测和测距系统”),利用了英语“sound navigation and ranging”(声波导航和测距)的首位字母缩写,后被人们广泛采用.

声纳系统一般是由发射机、换能器(水听器)、接收机、显示器和控制器等几个部件组成.发射机用于产生需要的电信号,以便激励换能器将电信号转变为声信号向水中发射,水声信号若遇到潜艇、水雷和鱼群等目标会被反射,然后以声纳回波的形式返回到换能器(水听器),水听器接收后又将其转变为电信号.电信号经接收机放大和各种处理,再将处理结果反馈至控制器或显示系统.最后根据这些处理的信息可测出目标的位置,判断出目标的性质等,从而完成声纳的使命.如图 1 所示,这是常见的“主动声纳”工作原理.还有“被动声纳”和“主、被动综合声

* 国防预研(编号:J5.3.4)资助项目

2000-11-20 收到初稿,2001-02-05 修回

纳”。“被动声纳”是利用目标辐射的声波,因此声波在海水中只是单程传播,系统的核心部件是用来聆听目标声波的水听器。而现代舰艇都采用“主、被动综合声纳”来进行水下通信、遥测和控制等,这种综合声纳系统在水下声学通信信道两端都有发射换能器和接收换能器。这些声纳的水上部分都是以电子计算机为中心的数据采集、处理、图像显示等设备,水下部分则是水声换能器(或基阵)。

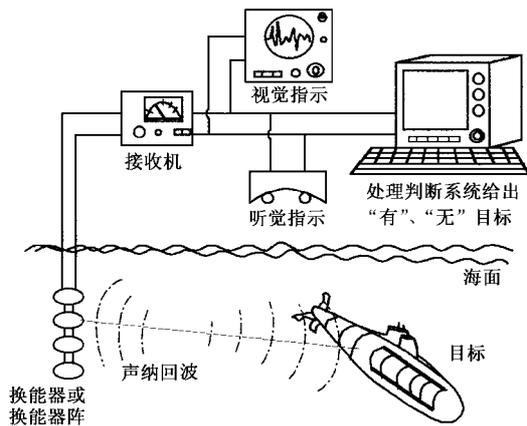


图1 主动声纳系统示意图

水声换能器是声纳系统的重要部件。根据工作状态的不同,可分为两类:一类称为发射换能器,它将电能转换为机械能,再转换为声能;另一类称为接收换能器,它将声能转换为机械能,再转换为电能。实际应用中的水声换能器兼有发射和接收两种功能。现代声纳技术对水声发射换能器的要求是:低频、大功率、高效率以及能在深海中工作等特性^[2]。根据水声学的研究,人们发现用低频声波传递信号,对于远距离目标的定位和检测有着明显的优越性,因为低频声波在海水中传播时,被海水吸收的数值比高频声波要低,故能比高频声波传播更远的距离,这对增大探测距离非常有益。

声纳技术的诞生有两个基石:一是1827年瑞士物理学家 Daniel C.和 Charles S.合作,精确地测出了水下声速(由它人们才可以准确地计算出目标的距离);二是19世纪中叶发明了碳粒微音器^[1](它是一种最早、最灵敏的水听器)。1912年豪华巨轮“泰坦尼克”号与冰山相撞,以及1914年第一次世界大战的爆发,极大地促进了民用和军用声纳的研制和发展。第一部反潜声纳的问世是在第一次世界大战中,但当时由于理论和技术上的不完善,这种水声回声定位系统的性能很不可靠,因而在对付德国U型潜艇的威胁方面尚未作出贡献。随后,人们利用回声探

测设备又制成了航海用的回声仪。这些更增加了人们应用声纳技术服务于军事及民用的信心。大约在1925年左右,德国“信号”公司将其生产的声纳设备定名为“测深仪”(fathometer),并在美国和英国有商品销售。同时美国海军实验室的 Hayes H.C.领导其成员积极改进对潜艇进行回声定位的方法,他们通过采用磁致伸缩换能器找到了回声定位中合适的发射换能器。与此同时,由于电子学的发展,已经可以使声纳信息经过放大和简单的处理显示给观察者。大约在1935年,德、英、美三国又研制出了几种较为实用的声纳,1938年,声纳设备开始在美国批量生产。到第二次世界大战,几乎所有的军用舰船都装备了声纳系统,并在海战中发挥了十分重要的作用,当时交战各方损失了一千多艘潜艇,绝大多数是被声纳发现的。第二次世界大战后,军用声纳技术继续发展,但各个国家都将这方面的最新技术列为严格保密的范围。20世纪七八十年代以后,随着海洋开发事业的迅猛发展,声纳技术以惊人的速度向民用方面转化,出现了各种用途的现代化声纳,如导航声纳、通信声纳、侧扫声纳、远程警戒声纳、水声对抗声纳、拖曳阵声纳、鱼雷自导声纳、水雷自导声纳等等,声纳技术已日趋成熟和完善。

2 声纳的应用

2.1 声纳的民事应用

对声纳的非军事应用,人们最初只是用于测深,后来其用途愈来愈广泛,主要有以下几个方面:

(1) 水下测深和测距。通常分为常规测深仪、底层剖面仪和旁视声纳三类。“常规测深仪”即一般的“回声测深仪”(主动式),它是通过向水下发射短脉冲,并测量海底回波的到达时间来随时测量舰船所处的海深;“底层剖面仪”是为了发射声波穿入海底,采用低频大功率脉冲声源的一种主动声纳,它除了测量海深之外主要是为了测量、了解海底的结构和性质,其原理是根据掠过各层介质的入射声波和回波的形状、性质来确定海底的反射系数,从而可以反推出海底的结构和性质。另外,它还可用来探测海底沉船和暗礁等;“旁视声纳”是用来探测包括垂直于舰船航速方向的海底,以便绘制海底地图。

(2) 多普勒测速仪。这种声纳系统使用一对装在船底倾斜向下的指向性换能器,由海底回波中的多普勒频移可以得到舰船相对于海底的航速;另一方面,若将声纳固定在流动的海域中,它可以自动检测

和记录海水的流动速度及方向。

(3) 鱼群探测和渔业管理。“探鱼仪”是一种可用于发现鱼群的动向、鱼群所在地点、范围的声纳系统,利用它可以大大提高捕鱼的产量和效率;“助鱼声纳设备”可用于计数、诱鱼、捕鱼,或者跟踪尾随某条鱼等;海水养殖场已利用“声学屏障”防止鲨鱼的入侵,以及阻止龙虾鱼类的外逃。

(4) 助潜设备。这是潜水员必备的用于水下定位探测的手提式小型声纳。

(5) 用于水下和水面的“定位标指”。这种小型声纳一般置于水面、水中或海底,其中一种是作为“信标”(不断地发射信号);另一种是作为“应答器”(仅在适当的询问时才发射信号)。

(6) 用于通信和遥测。利用声纳系统在水下可代替导线的连接,使用声束来传递信息,实现舰艇之间的通信和交流。

2.2 声纳的军事应用

(1) 声纳是舰艇的“眼睛”和“耳朵”。舰艇利用所装备的声纳设备搜索有无目标并且识别目标的类型、吨位、航速等,以便一方面更有效地打击目标,另一方面尽可能地隐藏自己,以免受到对方的袭击。现代各种舰船和潜艇,从航空母舰到小炮艇,都装备了各种高性能的声纳系统(如侦察声纳、探雷声纳等),这些声纳不仅在舰船的前方、两侧可以探测和搜寻,而且还能在舰尾进行搜寻。

(2) 由声纳系统构成所谓的“水下通信仪”或称“水下电话”,可作为舰艇之间的通信工具。这种声纳系统能够发射各种长短不等的声波信号,组成电报密码,确保舰艇之间在水下进行通信联络。

(3) 现代各种水雷、鱼雷武器都装配有不同的声纳系统。如“压敏水雷”中就有对低频分量特别敏感的压力换能器;而“音响水雷”中的声纳系统对舰船辐射出来的噪声很敏感,当其通带内的声压超过一定值时就会爆炸;“主动攻击性水雷”和“主、被动制导鱼雷”上面的声纳系统性能更高,它们能自动检测目标并进行跟踪打击。

(4) “声纳浮标”。这是一种用飞机投放于海上的小型声纳装置,可用作在空中对水下目标进行测听和定位。图2所示的“飞机猎艇”就是为了迅速、大面积地搜索某海区有无潜艇活动,利用飞机投放声纳浮标进行搜索,一般需投放多个声纳浮标同时监视。声纳浮标内装有一台微型发射机,将水听器测听的信号接力传递给空中飞机或地面控制中心,以便通过空中飞机更有效地打击对方的水下目标。

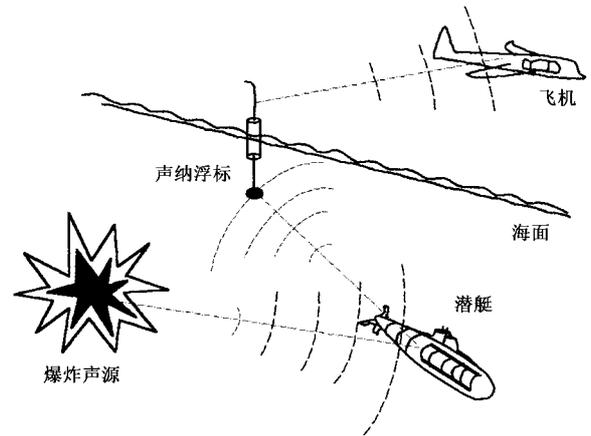


图2 飞机猎艇

(用声纳浮标传递信号,炸药作为回声定位声源)

3 声纳技术的最新应用

近20年来声纳技术在水下测深、定位、目标探测与识别、通信、导航、遥控、海底遥感(底质、地层、地貌)、寻找油气、开发矿产等方面具有十分广泛的应用。这里就声纳技术的最新进展列举部分例子加以介绍。

3.1 声纳系统检测海洋环境

这方面的研究和应用大体有3个方面:一是利用声纳进行海洋污染的检测。利用水声反向散射仪记录声散射强度,作为海洋中废物聚集度的度量。即通过画出等散射声强图及其随时间的变化图,求出废物扩散速度和稀释度率等;二是在设计海洋工程建筑物时,需要掌握海洋环境参量(特别是浪、流)的统计值,这就必须借助声纳系统观测这些量。其原理是把声纳系统固定在海底,垂直向上发射声波,再接收波浪海面的反射,由传播时间的起伏变化可以测出波浪的有关参量。还可借助于空间分布的传感器阵,用相关运算求出波浪的方向谱;利用多普勒海流计(ADCP)测出海流产生的多普勒频移,在船上、海底遥测各层深度的海流剖面;此外还有声学相关海流计(ACCP)、矢量平均海流计(VACM)等,它们利用声波通过海水中悬浮的泥砂、生物、污染物的反向散射可以遥测悬浮物的浓度剖面;三是利用低频声波在海洋声道中可以传播甚远的优点,近年来人们提出了用类似医学层析法由传播时间反演出大洋中的涡旋、声速、水温的变化。1991年由美、中、法、德等国家联合参与的全球海洋声学测温计划(ATOC)已经成功地预测了全球气候变暖的程度。

3.2 海洋测绘与勘探

近年来人们利用声纳系统(如测深声纳、侧扫声纳、图像声纳等),并借助于全球定位系统(GPS),可现场实时作出电子海图(ECDIS)^[3],这为21世纪舰船综合导航系统的建立奠定了重要的技术基础。中国科学院声学研究所东海站、国家海洋技术研究所等单位研制的浅海、深海地层剖面仪,已成功地应用于海底沉积物、海底结构和地质、海底油气资源的勘探、海底考古、港口建设、石油平台安装、海底管道铺设等工程中,而且,在这些工程中已广泛采用装备有各种声纳的水下机器人^[4]。

3.3 舰艇综合声纳系统研究

从海湾战争来看,舰艇(尤其是潜艇)在现代海战中起着越来越重要的作用。当舰艇在水下一定深度活动时,声纳是唯一有效地获取外部信息的工具,另外从反潜战的角度讲,声纳仍是潜艇的主要克星。由于未来的舰艇作战系统是全方位综合、分布式的,这对舰艇综合声纳系统的配置提出了新的要求。舰艇综合声纳系统要将多部声纳的信息进行综合处理、显示和控制,完成探测、定位、跟踪、识别等功能,它通常由被动测距基阵、艇首阵、侦察水听器阵、探雷阵、通信阵、舷侧阵、拖曳阵、本艇噪声监测水听器、信号处理机、通用多功能显控台等组成。

目前,国内外对舰艇综合声纳系统的研究主要发展趋势如下:(1)继续发展和研究拖曳线列阵等声纳传感器基阵,完善诸多功能互补的多传感器和多基地声纳,多传感器的配置意味着高密度的观测量,从而可提高目标数据的可信度和精确度。(2)研究综合声纳系统的数据融合技术^[5]。由于综合声纳系统配置了多传感器,系统从各种传感器搜集的信息量很大,因此必须通过目标信息的相关和融合技术作降维处理,以便综合声纳系统给出最优的具有惟一性的目标信息集。具体有多种数据融合方法,如Kalman滤波法、Bayes法、最大似然估计、伪线性估计、模糊神经网络法等。(3)大力研究舰艇水声对抗系统,目的是利用计算机仿真技术研究舰艇声纳和水声对抗,目前是在声纳研制之前的论证和设计阶段对其性能是否满足实际要求进行预先分析判断,为水声装备性能指标的确定提供理论依据。美国和法国在这方面研究较早,他们研究的水声对抗仿真模拟系统已经成为设计声纳、声制导武器和反探测装备的综合辅助工具,并具有良好的人机界面和通用性。舰艇水声对抗仿真系统主要由进攻方、防御方和公共控制方等组成,其中进攻方由潜艇平台和攻

击武器(如线导鱼雷、遥控水雷等)组成,防御方由水面舰艇和防御武器(如火箭助飞声诱饵、干扰器、深水炸弹等)组成。

3.4 水声信号处理与水下目标识别技术的研究^[6,7]

这实际上属于现代声纳和水声对抗中的一个关键部分,但由于其重要性和复杂性,目前已成为声纳技术研究中的一个热点。由于海洋环境噪声的复杂性和舰艇向安静型过渡,各种形式声纳传感器的增多,信息量增大,使得水下目标识别问题变得越来越复杂。此问题又与微电子学、信号检测与处理、计算机技术密不可分,它们互相促进、互相渗透,从而把现代声纳技术的水平推向一个空前的高度。主要研究方向有:(1)水声信号处理中的匹配与鲁棒性(robustness)问题^[6];(2)声纳设计的数字化,目前已研制出第六代数字式声纳,它是数字信号处理技术、计算机系统结构和微电子技术的巧妙结合;(3)研究提高水下目标识别的正确率的新方法,例如子波分析与分形理论用于目标参数的提取,用模糊推理设计神经网络分类器,神经网络与专家系统结合的识别研究等等。

3.5 在水中兵器和反水雷中的应用研究

水中兵器主要是鱼雷和水雷。鱼雷是一种主动攻击性的水中兵器;传统的水雷是一种被动防御性的水中兵器,而现代水雷一改过去消极被动的面貌,也向智能化方向发展,一方面具备了伪装隐蔽能力,另一方面还有识别控制和主动攻击的能力。鱼雷被发射后主要靠主/被动声纳进行自导搜索、追踪目标,如美国生产的目前世界上最先进的鱼雷之一的MK48鱼雷或MK50鱼雷,以及英、法、德、意、日和瑞典的各种水雷,基本上都是采用主/被动联合声纳自导搜索目标。水雷尤其是现代水雷(遥控水雷)更离不开声纳系统,它依靠自身的声纳发现和识别目标。

反水雷战也与声纳技术密切相关,这是因为一方面声场是水雷引信使用的最重要的物理场,另一方面猎雷通常需要高性能的猎雷声纳。从国外海军的装备和最新资料来看,常用的猎雷声纳还是侧扫声纳和变深声纳,合成孔径声纳也开始装备部队。最新的反水雷声纳有^[8]。美国Northrop Grumman公司研制的AN/AQS-14A型高速侧扫声纳(1995年装备美国海军);侧扫/合成孔径声纳/激光扫描仪三位一体的猎雷系统(1998年),它综合了侧扫声纳具有的测绘速率高和双频合成孔径声纳有利于探测掩埋雷的优点;英国洛克希德·马丁公司研制的“铺路者”综合水雷战武器系统(1998年),其核心部分采用了原先

为英国海军的 2193 型变深声纳而开发的宽带反水雷声纳技术,其新型的反水雷控制系统是在美国海军综合武器系统(ICWS)的基础上发展而来的;此外还有法国 Thomson 公司研制的侧扫声纳 IMBAT3000 型(1998 年)、澳大利亚研制的声水雷成像(AMI)声纳等。

4 结束语

由于水下军事防务上的要求和人类开发利用海洋资源的迫切需要,声纳技术已得到了空前的发展。从军用方面来看,高性能的声纳系统、隐身/反隐身、鱼雷水雷战将备受关注,声纳技术已从单一的被动式或主动式发展到主/被动复合模式,其中低频、大功率、高效率水声换能器、双拖曳线列阵、信号处理技术(强干扰源自适应对消、自适应波束形成等)、波形设计与优化等,是新型声纳发展的关键技术所在。多传感器和多基地声纳的研究更具有前景。猎雷声纳迫切需要高分辨率声纳。从民用方面看,人类已进入 21 世纪,海洋开发和探测已被许多国家列为高技术项目之列,声纳技术将在海洋工程中发挥更大的

作用。

参 考 文 献

- [1] Robert J Urick 著.洪申译.水声原理.哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1990.2[Robert J Urick. Hong S trans. Principles of Underwater Sound. Haerbin: Haerbin Engineering University Press, 1990.2(in Chinese)]
- [2] Decarpigny J N, Harmonic B *et al.* IEEE Journal of Oceanic Engineering,1991,16(1):107
- [3] 何河通,杨功流,熊正南.舰船科学技术,2000,(2):41[He H T, Yang G L, Xiong Z N. Ships Science Technology, 2000, (2):41 (in Chinese)]
- [4] 李允武.物理,1998,27(10):583[Li Y W. Wuli (Physics), 1998,27(10):583]
- [5] 杜选民,姚蓝.舰船科学技术,1999,(2):45[Du X M, Yao L. Ships Science Technology, 1999, (2):45 (in Chinese)]
- [6] 李启虎.应用声学,1993,12(5):1[Li Q H. Applied acoustics, 1993,12(5):1 (in Chinese)]
- [7] 景志宏,林钧清.舰船科学技术,1999,(4):38[Jing Z H, Lin J Q. Ships Science Technology, 1999, (4):38 (in Chinese)]
- [8] 赵祚德编译.水雷战与舰船防护,2000,(1):40;(2):28[Zhao Z D. Mine Warfare and Ships Protection, 2000, (1):40;(2):28 (in Chinese)]

(上接第 490 页)

- [12] Wei Z Q. J. Jpn. Soc. Ther. Radiol. Oncol., 1997, 9(Suppl. 2) :37
- [13] 卫增泉.医学生物物理学.1999 年,第 9,10 辑:59[Wei Z Q. Medical Bio-physics, 1999, (9 & 10) :59 (in Chinese)]
- [14] 李强等.高能物理与核物理,2000,24(5):414[Li Q *et al.* High Energy Physics and Nuclear Physics, 2000, 24(5):414 (in Chinese)]
- [15] 卫增泉.核物理动态,1994,11(3):44[Wei Z Q. Trends in Nuclear Physics, 1994, 11(3):44 (in Chinese)]
- [16] Koehler A M, Schneider R J, Sisterson J M. Nucl. Instrum. Meth., 1975, 131:437
- [17] 李强等.高能物理与核物理,1998,22(7):646[Li Q *et al.* High Energy Physics and Nuclear Physics, 1998, 22(7):646 (in Chinese)]
- [18] Alpen E L *et al.* LBL-22300, UC-48, April 1987, 152
- [19] Castro J R *et al.* Radiat. Environ. Biophys., 1992, 31:233
- [20] Haberer T *et al.* Nucl Instrum Meth., 1993, A330:296
- [21] Brusasco C *et al.* Nucl. Instrum. Meth., 2000, B168:578
- [22] Enghardt W *et al.* Book of Abstracts for 5th Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine. Kraft G ed. Germany: Darmstadt, Aug. 1995, 181
- [23] Pawelke J *et al.* Book of Abstracts for 6th Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine. Kraft G, Langbein K eds. Italy: Baveno, Sep. 1997, H5
- [24] Enghardt W *et al.* Phys. Med. Biol., 1992, 37:2127
- [25] Kraft G *et al.* GSI-93-50, Preprint, July 1993, 7
- [26] Heilmann J *et al.* GSI Scientific Report 1994, 218
- [27] 平尾泰男.放射线,1988,15(2):15[Hirao Y. Radiation Science, 1988, 15(2):15 (in Japanese)]
- [28] 赵东辉等.世界医疗器械,1996,2(11):48[Zhao D H *et al.* World Medical Apparatus and Instruments, 1996, 2(11):48 (in Chinese)]
- [29] Tsujii H. Book of Abstracts for 6th Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine. Kraft G, Langbein K eds. Italy: Baveno, Sep. 1997, H4
- [30] Kraft G. PARTICLES. Sisterson J ed. Jan. 2000(25):9