

声呐技术及其应用

王素红

声呐是利用水中声波对水下目标进行探测、定位和通信的电子设备，是水声学中应用最广泛、最重要的一种装置。它是 SONAR 一词的“义音两顾”的译称，是 Sound Navigation and Ranging（声音导航测距）的缩写。

声呐技术至今已有 100 多年历史，刘易斯·尼克松在 1906 年发明了第一个声呐接收设备，作为探测冰山的一种方法。在第一次世界大战期间，因为需要探测潜水艇，人们对声呐的研究兴趣开始提升。第一个声呐设备是被动式的接收设备，该设备并没有发出信号。在 1918 年，英国和美国都建立了声音传送系统，该系统是有声波发射和接收的声呐设备。声音传感器的发明和有效的声音发射使更先进的声呐形式成为可能。

目前，声呐是各国海军进行水下监视使用的主要技术，用于对水下目标进行探测、分类、定位和跟踪；进行水下通信和导航，保障舰艇、反潜飞机和反潜直升机的战术机动和水中武器的使用。声呐技术还广泛用于鱼雷制导、水雷引信，以及鱼群探测、海洋石油勘探、船舶导航、水下作业、水文测量和海底地质地貌的勘测等。

声呐的结构及工作原理

声波是用来观察和测量物体重要探测手段，尤其是在水中进行观察和测量时，声波更是具有得天独厚的条件。这是由于其他探测手段的作用距离都很短，如光在水中的穿透能力有限，即使在最清澈的海水中，人们也只能看到十几米到几十米内的物体；电磁波在水中又衰减得太快，而且波长越短，损失越大，即使使用大功率的低频电磁波，也只能传播几十米。而声波在水中传播的衰减小得多，在

深海声道中爆炸一个几公斤的炸弹，在两万千米外还可以收到信号，低频的声波可以穿透海底几千米的地层，并且得到地层中的信息。在水中进行测量和观察，至今还没有发现比声波更有效的手段。

声呐装置一般由基阵、电子机柜和辅助设备三部分组成。基阵由水声换能器以一定几何图形排列组合而成，其外形通常为球形、柱形、平板形或线列形，有接收基阵、发射机阵或收发合一基阵。电子机柜一般有发射、接收、显示和控制等分系统。辅助设备包括电源设备、连接电缆、水下接线箱和增音机、与声呐基阵的传动控制相配套的升降、回转、俯仰、收放、拖曳、吊放、投放等装置，以及声呐导流罩等。

换能器是声呐中的重要器件，它是声能与其他形式的能如机械能、电能、磁能等相互转换的装置。换能器的工作原理是利用某些材料在电场或磁场的作用下发生伸缩的压电效应或磁致伸缩效应。发射机制造电信号，经过换能器（一般用压电晶体）把电信号变成声音信号向水中发射。声信号在水中传递时，如果遇到潜艇、水雷、鱼群等目标，就会被反射回来，反射回的声波被换能器接收，又变成电信号，经放大处理，在荧光屏上显示或在耳机中变成声音。如图 1 所示。

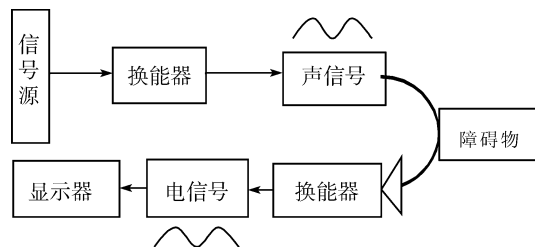


图 1 声呐工作原理图

在这种情况下，高速运动的波源的前方不可能有任何波动产生，所有的波前将被挤压而聚集在一圆锥面上，这种波的能量被高度集中，图中白色的区域实际就是由声波挤压形成的能量高度集中区域，图中的那些雾气，是飞机突破音障时，空气中的水蒸气受

到飞行产生的冲击波影响，瞬间凝结形成的。在飞机突破音速的时候，音障会使飞行器剧烈振动。

（河南新乡医学院物理学教研室 453003）

本文获“我心目中的现代物理”征文优秀奖

根据信号往返时间可以确定目标的距离，根据声调的高低可以判断目标的性质。例如，目标是潜艇，潜艇是钢质外壳，回声不仅清晰，还有拖长的回鸣；鱼群的回声低沉而混乱。目标如果是运动的，由于“多普勒效应”，回声的音调应有所变化：音调不断变高，说明目标正向声呐装置靠拢；音调不断变低，说明目标离装置远去。

早期潜艇依靠潜望镜进行观察。但潜望镜只能观察水面上的目标，对水下目标则无能为力，所以，早期潜艇的事故率很高，经常在水下撞上暗礁、水雷和其他潜艇。在第二次世界大战期间，沉没的德国潜艇有 100 多艘。

现代潜艇装有多种声呐。例如美国的一种潜艇，装备不同用途的声呐有 15 种之多。艇上的声呐侦察仪可截获和偷听敌人的声呐信号；敌我识别声呐，专门用对口令的办法判断敌我；通信声呐则用来和自己的舰艇通信；有的声呐负责导航、测距、警戒、探雷、测地貌等等。

许多国家在军港附近的海区、重要的海峡、主要的航道等处都安装了庞大的声呐换能器基阵，靠岸上的电子计算机控制海底的数以千计的换能器。一旦潜艇来犯，便可及时发现。这种防潜预警系统早在 1952 年就已建成，现已发展到第五代。其警戒范围可达几百千米。

除了固定的警戒声呐外，探测潜艇还可以用机载声呐进行。一架直升机垂下一根 100 多米长的电缆，电缆下吊着一部声呐。通过机身的下降或上升，声呐在海水中的深度也随之变化。飞机在海面上飞行时，便可拖着声呐进行大面积探测。

新型航空声呐是“无线”式的，不需要用电缆和飞机连接。它只有 10 千克，反潜飞机将它们投到预定海域内，便可漂浮于海上。反潜飞机可以同时投放许多这种漂浮声呐。声呐着水后，其天线伸出水面，水听器沉入水中。水听器把在海底收到的声信号变成电信号，通过天线发射出去。反潜飞机根据收到的信号可以判断潜艇的位置。

奇异的动物声呐通信

声呐并非人类的专利，不少动物都有它们自己的“声呐”。蝙蝠用喉头发射每秒 10~20 次的超声脉冲用耳朵接收其回波，借助这种“声呐”它可以探查到很细小的昆虫及 0.1mm 粗细的金属丝障碍物。而飞蛾等昆虫借助于“声呐”能清晰地听到 40m 以

外的蝙蝠超声得以逃避攻击。看来，动物也和人类一样进行着“声呐战”！

海豚声呐的灵敏度很高，能发现几米以外直径 0.2mm 的金属丝和直径 1mm 的尼龙绳，能发现几百米外的鱼群，能遮住眼睛在插满竹竿的水池中灵活迅速地穿行而不会碰到竹竿；海豚声呐的“目标识别”能力很强，不但能识别不同的鱼类，区分开黄铜、铝、电木、塑料等不同的物质材料，还能区分开自己发声的回波和人们录下它的声音而重放的声波；海豚声呐的抗干扰能力也很惊人，如果有噪声干扰，它会提高叫声的强度盖过噪声，以使自己的判断不受影响；而且，海豚声呐还具有感情表达能力，已经证实海豚是一种有“语言”的动物，它们的“交谈”正是通过其声呐系统。

多种鲸类都用声来探测和通信，它们使用的频率比海豚的低得多，作用距离也远得多。其他海洋哺乳动物，如海豹、海狮等也都会发射出声呐信号，进行探测。

终身在极度黑暗的大洋深处生活的动物是不得不采用声呐等各种手段来搜寻猎物和防避攻击的，它们的声呐的性能是人类现代技术所远不能及的。解开这些动物声呐之谜，一直是现代声呐技术的重要研究课题。

俄罗斯科研人员利用海豚“声呐”的原理，开发出了新的雷达定位法。研究人员指出，与传统的雷达定位法相比，新雷达定位法的主要不同之处是它可以同时测定物体的距离、移动速度或加速度。如果利用这种方法在大型码头安放多个雷达发射器，可以更好地控制船只的移动，使其更加准确地靠岸。

声呐技术的应用

近 20 年来声呐技术在水下测深、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。

声呐系统检测海洋环境 有三个方面的研究和应用：一是利用声呐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；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，必须借助声呐系统观测这些量。其原理是把声呐系统固定在海底，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；三是利用低频声波在海洋声道中可以传播远的优点，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。

海洋测绘与勘探 人们利用声呐系统（如测深声呐、侧扫声呐、图像声呐等），并借助于全球定位系统（GPS），可现场实时做出电子海图，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，这些工程已广泛采用装备有各种声呐的水下机器人。

舰艇综合声呐系统研究 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，声呐是唯一有效获取外部信息的工具，另外从反潜战的角度讲，声呐是潜艇的主要克星。由于未来的舰艇作战系统是全方位综合、分布式的，这对舰艇综合声呐系统的配置提出了新的要求。舰艇综合声呐系统要将多部声呐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。

目前，国内外对舰艇综合声呐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呐传感器基阵，完善诸多功能互补的多传感器和多基地声呐。多传感器的配置意味着高密度的观测量，可提高目标数据的可信度和精确度。②研究综合声呐系统的数据融合技术。综合声呐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，必须通过目标信息融合技术作降维处理，以便综合声呐系统给出最优的具有唯一性的目标信息集。③大力研究舰艇水声对抗系统。利用计算机仿真技术研究舰艇声呐和水声对抗，在声呐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。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组成。

水声信号处理与水下目标识别技术的研究 属于现代声呐和水声对抗中的一个关键部分，但由于

其重要性和复杂性，目前已成为声呐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，各种形式声呐传感器的增多，信息量增大，使水下目标识别问题变得越来越复杂。加之与微电子学、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，从而把现代声呐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问题；②声呐设计的数字化。目前已研制出第六代数字式声呐，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。

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，现代水雷向智能化方向发展：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被动声呐进行自导搜索、追踪目标，水雷尤其是现代水雷（遥控水雷）更离不开声呐系统，它依靠自身的声呐发现和识别目标。

反水雷战也与声呐技术密切相关，一方面声场是水雷使用的最重要的物理场，另一方面猎雷通常需要具备高性能的猎雷声呐。从国外海军的装备和最新资料来看，常用的猎雷声呐还是侧扫声呐和变深声呐，合成孔径声呐也开始装备部队。

（中国人民解放军信息工程大学理学院数理系 450001）



封底照片说明

2009 年 4 月 15 日，我国继 2007 年 4 月发射了第一颗“北斗”导航卫星后，又发射了第二颗“北斗”导航卫星，卫星运行在地球的静止轨道上。科学家们计划 2020 年前后建立运行在 3 种轨道，共计 30 多颗卫星的全球导航卫星系统，是集导航、定位、授时、通信为一体的空间核心基础设施，可提供开放服务与授时服务。“北斗”卫星导航系统在用户容量、服务区域、动态性能、定位精度、使用方式和抗干扰能力等方面表现优异，并与国外卫星导航系统兼容。

（晓里）

现代物理知识