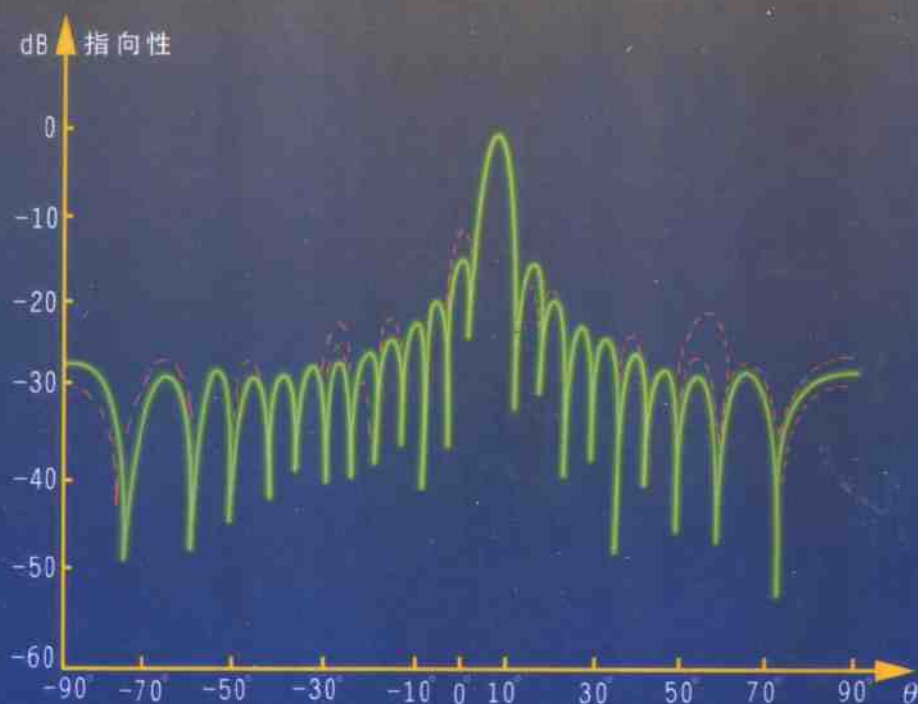


全国高校船舶类专业部委级重点教材

声呐技术

田 坦 刘国枝 孙大军 编著



哈尔滨工程大学出版社

全国高校船舶类专业部委级重点教材

声 呐 技 术

田 坦 刘国枝 孙大军 编著

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

声呐技术 / 田坦, 刘国枝, 孙大军编著. — 哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 1999.12
ISBN 7-81007-994-8

I. 声… II. ①田…②刘…③孙… III. 声呐-
系统 IV. U666.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 11088 号

内 容 简 介

本书详细地介绍了声呐系统的基本原理和采用的技术。全书分十章, 分别叙述了声呐系统的测向、波束形成、测距、测速、定位, 以及信号发送和接收技术, 同时还介绍了声呐系统常用的信号波形和典型的信号处理方法。

本书突出原理和技术方面的叙述、分析, 内容由浅入深, 便于自学。它可作为高等院校水声工程专业的教材和从事声呐设计的技术人员的参考书, 也可供通信、雷达、信息处理等专业的师生参考。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街 145 号 哈工程大学 11 号楼
发行部电话: (0451) 2519328 邮编: 150001
新华书店经销
哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 398 千字

1999 年 12 月第 1 版 2002 年 9 月第 2 次印刷

印数: 1 001~2 000 册 定价: 22.00 元

前 言

本书是一本阐述声呐系统基本原理和技术的专业教材，是 1996 年全国高等学校船舶专业教材编审委员会确定的重点教材之一。它是适合于高等院校水声专业的教学用书，也可供从事水声工程的专业技术人员阅读，还可供通信、雷达、信息处理等专业的师生参考。

本书的编写以声呐系统的通用技术为主，目的是使读者通过本书掌握声呐系统中常用的技术，以便为今后进一步从事这方面的工作打下基础。本书的内容是以电子电路和信号处理理论为基础的，但在编写中对于信号处理理论和具体的电子电路并未展开讨论，这是由于编著者认为本书既不是信号处理教材，也不是电子电路教材，因此撰写时注意了在这两方面的折衷，尽管有些地方这种努力还不十分成功。

本书共分十章。第一章绪论，介绍了声呐的发展历史和技术现状，以及声呐系统的分类、技术指标。考虑到声呐方程对从事水声工程的技术人员是必不可少的工具，因而对声呐方程及其有关参数也做了简要的介绍。第二章介绍了主动声呐常用的信号形式，第三章则叙述了常用的测向方法。在第四章中用较大的篇幅介绍了声呐的波束形成技术，这是因为波束形成在某种程度上已成为近代声呐的核心。第五章与第六章分别叙述了声呐系统中目标距离测量与速度测量问题，并将声呐载体速度的测量也归入速度测量范畴。声呐信号的发送在第七章加以介绍。第八章声呐接收技术着重叙述了声呐总体设计者最关心的检测阈和动态范围压缩与归一化问题。声呐系统常用的几种典型信号处理方法在第九章加以介绍。在本章中，编著者尽量从工程的角度叙述这些方法，并注意不与信号处理课程有关内容重叠。最后一章是声呐系统的另一分支——基线定位方法。加入这一章的原因是这种定位方法已在军、民两方面得到广泛应用。

本书由哈尔滨工程大学田坦、刘国枝、孙大军合作编著，田坦主编，并对全书统稿。书中各章的编著者是第一、三、四、五、六章田坦；第二、九章孙大军，第七、十章刘国枝；第八章刘国枝、田坦。

东南大学陆信人教授详细审阅了全部书稿，并提出了若干修改意见。在拟制本书编著大纲时，北京大学、东南大学、厦门大学的同仁们也提出了许多建设性意见，在此一并致谢。

由于编著者水平所限，书中选材及叙述必有许多不当和错误，恳请读者批评指正。

编著者

1999 年 12 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 概 述	1
第二节 声呐的发展简史和声呐的现状	2
第三节 声呐系统的分类	5
第四节 声呐系统的战术指标和技术指标	11
第五节 声呐方程	14
思考题与习题	17
参考文献	18
第二章 主动声呐信号分析	19
第一节 概 述	19
第二节 主动声呐信号的几种描述方法	20
第三节 信号的模糊函数	21
第四节 常用主动声呐信号特性	27
思考题与习题	40
参考文献	41
第三章 声呐系统定向方法	42
第一节 声呐系统定向的基本原理	42
第二节 最大值测向	43
第三节 相位法测向	46
第四节 振幅差值测向法	53
第五节 相幅法测向	56
第六节 正交相关测向法	56
思考题与习题	61
参考文献	61
第四章 声呐的波束形成技术	63
第一节 声呐波束形成的一般原理	63
第二节 直线多波束阵的有关问题	73
第三节 直线阵相移波束形成器	79
第四节 波束扫描技术(脉冲内波束扫描)	87
第五节 线阵时延波束形成	96

第六节 圆阵波束形成的几种方法	105
第七节 频域波束形成	111
第八节 移位边带波束形成 ^[26]	115
思考题与习题	120
参考文献	122
第五章 声呐系统测距方法	124
第一节 概 述	124
第二节 主动测距方法	124
第三节 被动测距方法	138
思考题与习题	147
参考文献	147
第六章 声呐系统的测速方法	149
第一节 概 述	149
第二节 目标速度的测量	149
第三节 本舰航速的测定	155
思考题与习题	168
参考文献	169
第七章 声呐信号的发送	170
第一节 声呐发射机的组成及主要参数	170
第二节 发射波形的产生	174
第三节 收发转换开关	177
第四节 相控发射原理	179
第五节 大功率发射机	180
第六节 发射机的负载匹配	187
思考题与习题	190
参考文献	190
第八章 声呐信号的接收	192
第一节 声呐接收机的组成及主要技术参数	192
第二节 接收机工作特性	195
第三节 动态范围压缩和归一化	205
思考题与习题	218
参考文献	219

第九章 典型声呐信号处理方法	220
第一节 概 述	220
第二节 主动声呐信号处理	221
第三节 被动声呐信号处理	237
思考题与习题	244
参考文献	246
第十章 水声定位系统	247
第一节 水声定位技术的基本原理	247
第二节 长基线水声定位系统	248
第三节 短基线水声定位系统	256
第四节 超短基线水声定位系统	261
思考题与习题	263
参考文献	263

第一章 绪 论

第一节 概 述

声呐是“Sonar”一词的译音，它由 Sound（声）、Navigation（导航）和 Ranging（测距）三个英文字的首字母构成，意思是声导航与测距^[1]。今天的声呐，其含义早已超出原来所指的内容。什么是声呐？简言之，声呐是利用水下声波判断海洋中物体的存在、位置及类型的方法和设备。近年来，人们更将声呐的含义加以推广，以致凡是利用水下声波作为传播媒体，以达到某种目的的设备和方法都是声呐。然而人们更习惯于将声呐理解为具体的设备，因而凡是用声波对水下目标进行探测、定位、跟踪、识别，以及利用水下声波进行通信、导航、制导、武器的射击指挥和对抗等方面的水声设备皆属声呐这一范畴。

由于声呐是利用水下声波对目标进行探测和定位的设备，因而水面舰艇、潜艇、鱼雷、水雷、水下暗礁、鱼群及其它能发出声波或产生回波的水下物体，均可作为声呐的探测目标。所以，声呐在军事上和国民经济中具有广泛的用途。

声呐在军事上的应用始于第一次世界大战。例如水下目标的探测、定位及跟踪、水下武器的射击指挥、水下通讯、水雷探测、水下导航、目标识别、水下武器制导、侦察与干扰等几乎都首先在军事上得到应用^[2]。

水下目标探测，是指利用目标自身发出的声波(包括自身的噪声或主动发出的声信号)或目标的回波来确定目标的存在。定位则是利用上述声波来确定目标的位置，包括目标的距离、方位及深度。对水中感兴趣的日标进行连续不间断的跟踪探测称为跟踪。区分目标的类型和性质是通常所指的识别。所谓目标类型和性质是指目标的大小，是假目标或是真目标(例如石头、鱼或舰艇)，是我方舰艇或是敌方舰艇，是何种类型的舰船等等。通信是指各潜艇之间、潜艇与水面舰艇之间利用声波传递信息。水面舰艇之间一般不用水声通信。导航是声呐的另一广泛应用领域，可以利用测量水深、本舰的航速来提供本舰的位置和速度等参数。例如船只进港常需用多卜勒导航声呐，潜艇在冰下航行则必须利用声呐进行导航。近年来水下武器广泛利用非触发声引信，因而利用声波达到使武器(如鱼雷)导向目标的声制导技术就得到广泛应用。鱼雷上有主动或被动式声波导向目标的制导装置，而新型水雷也逐步向这方面发展。侦察敌方声呐参数(如频率)或利用干扰声和假目标来压制和迷惑敌方声呐的技术统称为水声对抗。

声呐广泛用于民用目的是从第二次世界大战结束后开始，并随着海洋事业的发展使用范围日益扩大。除回波测深外，海底地貌测绘、海洋地质考察、船舶导航、鱼群探测、遥控遥测等都越来越依赖于声呐。在海上石油勘探和开采过程中，在水下石油管道铺设与定位、船舶动力定位、井口重入等方面，声呐已经并将进一步发挥其重要作用。

本书的主要内容是叙述声呐系统有关的技术问题。有关水声学本身的问题(例如声波

在水中传播规律、声辐射、反射、目标特性以及水下噪声的理论等)不是本书讨论的内容,但本书将利用水声学的某些结论,读者可参阅参考文献[1]和[3]。在阅读本书之前建议读者复习一下关于信号检测和数字、模拟电路方面的知识。

第二节 声呐的发展简史和声呐的现状

一、声呐的发展简史^{[1][4][5][6]}

声呐技术的发展和它学科的发展一样,也是随着军用与民用的需要和其它学科的发展而逐渐发展起来的。自 1490 年意大利的艺术家、科学家达·芬奇发现声管,至今已有 500 多年的历史。那时,他用一头闭合的声管插入水中,发现可以听到远处的船舶航行声,这大概可以说是最早的声呐了。500 多年来,声呐技术的发展从时间上大体可分为五个阶段。

1490 年至第一次世界大战前可认为是声呐技术的漫长探索阶段。在这期间,人们对于水声传播问题认识甚少。1827 年瑞典和法国的科学家第一次测得水中声速。也许 1912 年英国泰坦尼克号巨型豪华客轮首航纽约在北冰洋触礁沉没的惨剧,使科学家们认识到声呐的重要性,因而直到 19 世纪初才开始研制用于航海和 underwater 通信的水声器材。

1914~1918 年的第一次世界大战是声呐发展的第二阶段。在此期间,由于德国人使用潜艇击沉了协约国(俄、英、法)几千只水面舰艇,迫使参战国研制水声设备。直到 1917 年法国科学家郎之万首次使用了超声换能器,加上当时发展的电真空技术,才探测到海底回波和钢板的回波。他的设备很快就达到能探测潜艇回波的水平。这期间人们利用人的双耳效应制成了噪声定向仪——噪音站。这样协约国才有了对付德国潜艇的手段,从而使德国潜艇不再能耀武扬威地在水下横行。

第一次世界大战后至第二次世界大战前是声呐技术稳定而持续发展的时期。这期间,由于超声技术和电真空技术以及无线电技术取得一系列成就,各国相继制成了许多形式的噪音站。回声定位仪已在美国成批生产,磁致伸缩换能器和压电换能器也已相继问世。人们对海水中声传播的理论也进行了较为深入的研究,例如认识了海水温度对声速的影响,以及海水的声吸收与频率的依赖性等等。

第二次世界大战(1939~1945)的爆发,使声呐技术迅速发展到了新的阶段。由于潜艇在战争中的作用极为突出,因此它对海上运输船只和水面作战舰艇构成严重威胁。为了有效地对付潜艇,声呐成为实施反潜战的不可缺少的耳目。这期间美、英、法等国家相继研制了各种类型的声呐。水面舰艇的主动声呐、潜艇的被动声呐、扫描声呐、机械转动的换能器基阵,以及具有音响制导的鱼雷和音响水雷等都是这一时期发展起来的。由于电子技术的发展,声呐设备已经不再是简单的收发装置,而逐渐成为复杂的电子和电声系统了。这一时期,人们在理论和实验研究方面也取得了一系列成就,例如对传播衰减、吸收、声散射、目标的反射特性、目标强度、尾流、舰艇噪声以及人耳的识别能力等都进行了深入的研究。如果说第一次世界大战期间的声呐技术还处于幼儿阶段的话,那么第二次世界大战期间的声呐技术则趋于成熟了。

第二次世界大战结束至今已有 50 多年了。这 50 多年,随着科学技术的进步,声呐技术也得到了突飞猛进的发展。电子技术特别是微电子技术的发展、人们对海洋中声传播规律的掌握,以及导弹武器和核潜艇的出现等,都是推动声呐技术发展的主要因素。战后声呐技术发展的主要特点是采用低频(主动声呐频率低到 1kHz~3kHz)、大功率(几百千瓦甚至兆瓦)、大尺寸基阵,并广泛采用信号处理技术。由于使用了低频和大发射功率,致使换能器基阵尺寸大大增加,例如某些声呐的柱形或球形基阵直径达到 5 米的量级。这种大尺寸基阵只能固定安装,不再利用机械机构转动,因而普遍采用多元阵和波束形成技术,利用电子相位或时延补偿技术来控制波束在预定扇面内扫描,或同时形成多个指向的波束,使声呐的空间搜索速率大为提高。在信号处理方面广泛采用相关处理,脉冲压缩和快速傅里叶(FFT)谱分析等技术来提高接收机的处理增益。在传播途径的利用方面,利用了多途径传播效应使声呐作用距离大为提高。数字技术的发展使声呐的许多信号处理功能均可由计算机和专用微处理器实现。下面我们将结合声呐技术的现状叙述声呐发展的几项突出成就。

二、声呐技术现状

第二次世界大战后至今,虽然未发生过世界性的大战,但局部战争从未间断过。从 20 世纪 50 年代开始,由于核动力潜艇的出现,反潜问题受到各国空前的重视,推动了声呐技术的发展。进入 60 年代后,由于新电子技术在声呐中的实际应用,声呐的发展更为迅速,声呐已逐渐改变了原来的面貌。在军用声呐中,除了人们熟知的采用低频、大功率和大基阵尺寸之外,还有几项声呐技术方面值得一提的成就,这些成就反映了声呐技术的现状。下面简要叙述一下这些成就^{[7][8]}。

(一) 深海声传播途径的应用

深海声道是存在于深海中的一种自然现象,在 60 年代才被人们发现并试图利用它来探测远程目标。80 年代各国海军的远程声呐几乎都利用了深海声道传播途径。

当声波从海面附近以某种倾角向水中发射时,由于负温度梯度所形成的负声速梯度的影响,使声线渐近向海下弯曲。在到达海深 1000~1200 米处时,水温开始恒定不变,此处声速值最小,称深海声道轴。声波过声道轴后,向深海延伸。由于静水压力随深度而增加,又使声速逐渐增大,形成正声速梯度层,声线又力求向海面方向弯曲,最后终于从海洋深处又折回海面附近。然后,声波又从海面附近折向海下,重复前述传播过程,便在海面和海底之间形成多次折射的传播途径。声波从海面附近某点向海下传播过声道轴后又折向海面附近另一点,两点之间的水平直线距离大约为 30 余海里。第一折回点所在区域称为深海第一会聚区,第二折回点所在区域称为第二会聚区等等。声波沿深海声道传播时,可将声能会聚到一个狭窄通道内,因而可传播很远的距离。舰艇主动式声呐使用此种深海声道传播途径,可探测到第一会聚区(30~35 海里)的目标,而被动声呐可探测到第三会聚区(大于 100 海里),甚至更高次会聚区的目标。使用深海声道效应可实现远程目标探测,在军事上有极其重要的意义。现代声呐可以利用直接传播、海底海面反射和深海声道三种途径探测目标。

(二) 信号处理和数字技术的应用

人们早已得知,接收机中采用信号处理技术可以提高输出信号/噪声比,从而可以提

高设备的作用距离。然而,早期的声呐接收机基本上是对接收的信号进行放大、检波后进行显示或收听,没有或很少采用信号处理技术。一方面是因为人们对水声环境和无线电波环境的差异认识不足,致使雷达和无线电通讯中已成功使用的信号处理技术不能成功地在声呐上得到应用。另一方面,已经发展了的信号处理方法,难以用模拟电路实现,或实现过于复杂。随着数字技术,特别是微处理器和新的信号处理器的出现,使得许多需要进行大量运算的信号处理方法的实现成为可能。60年代末期,数字电路已经取代了多种传统的模拟电路,使声呐设备的体积大为减小。70年代初,数字计算机已应用于声呐信号处理和系统的管理。微处理机的出现,使计算机的结构有新的发展。各种专用和通用高速数字信号处理器(DSP)的出现和各种新的信号处理算法的开发使用,使声呐设备的面貌发生了全新的变化。近年来,一些新的信号处理算法,如快速傅里叶变换(FFT)、数字波束形成、互谱法定向,以及各种自适应算法,已经开始应用于军用声呐。当今的声呐已经成为由计算机管理的多个数字信号处理器组成的系统,而且复杂的系统管理程序和信号处理应用程序也已成为现代声呐极其重要的组成部分。

(三) 新声呐体制的采用

二战期间及其后相当长的时间里,声呐的水下部分大都是舰壳固定安装的单个换能器或换能器基阵。舰壳安装的主动声呐的性能常受本舰航行噪声的限制。60年代初期国外开始使用拖曳式声呐。这种声呐的换能器基阵和发射机连同一些接收前置预处理电路均置于可拖曳的导流罩内,用拖缆拖于舰艇后方水中。由于拖体远离本舰辐射噪声源,且可调节深度以适应不同水文条件,因而使声呐作用距离大大增加。普遍认为,拖曳式声呐是主动声呐中性能最好的一种主动声呐体制。另一种拖曳式声呐是用于被动探测的拖曳线列阵声呐。它将多个水听器沿拖缆长度方向安装,排成线列阵,由水面舰艇、潜艇或反潜直升飞机等拖于水中。由于拖曳线列阵可做得很长,因而可采用低声频和深海声道传播途径实现远程探测。拖曳式线列阵声呐已成为国内外海军相继采用的新型被动声呐。

被动式声呐发展中的另一突出成就是被动测距声呐的使用。早期的被动声呐只能测目标方位,不能测目标距离。70年代被动测距声呐的出现被认为是声呐技术的一种重大突破。它意味着潜艇可以完全依靠被动声呐对敌舰进行定位,并引导鱼雷实施攻击。这对在海战中保持潜艇的隐蔽性和增强潜艇的突然袭击能力,具有极其重要的意义。

舷侧阵(Frank 阵)声呐是90年代使用的最新被动声呐体制。它与拖曳线列阵不同,其多个水听器沿潜艇两舷侧贴装,纵向排列成长线列阵。由于它既不破坏潜艇的线型,基阵长度又甚大,在某种程度上它具有舰壳声呐和拖曳线列阵两者的优点,是目前舰壳声呐中作用距离最远的声呐。

(四) 被动目标识别技术的研究与应用

传统的被动目标识别方法是采用听觉,由有经验的声呐操作员来判别目标的性质。近年来国内外都十分重视被动识别技术的研究。这是因为潜艇为保持其隐蔽性,很少使用主动声呐,因而利用被动声呐根据接收的目标噪声识别目标的性质(水面舰艇或潜艇、何种类型的舰艇等)就显得尤为重要。潜艇在对目标作出性质识别之前往往无法采取行动。目标识别的过程由特征分析、特征提取和目标分类鉴别三步构成。由于进行目标识别时必须有一个包含各种目标信息的数据库和一整套目标识别软件,因此目标识别系统实际上是一

个复杂的计算机软工工程。目前国外有些海军的潜艇已经有了可供使用的识别系统。被动目标自动识别技术的使用,无疑是声呐技术发展的一项重要重要成就。

军用声呐技术的发展除上述几点外,水声对抗技术、声呐终端显示、全球性反潜探测数据传输处理控制、新材料的应用等,均已进入到一个新的阶段。军用声呐技术的发展,必然带动民用声呐的使用和发展。声呐已经广泛地应用于海洋资源的勘探和开发,可以预料,不久的将来,声呐必将在海洋事业和国民经济中发挥愈来愈大的作用。

第三节 声呐系统的分类

一、引 言

迄今为止,国内外已经使用或正在研制的声呐不下百种。为了在众多的形形色色的声呐系统中区分其功能、用途、所用技术等等,必须对它们进行分类。与其它系统的分类一样,声呐系统也可以从各种角度来进行分类。不同的两个具体声呐按某种分类方法应属同一类,而按另一种分类方法则可能又属不同的类别。因此了解不同的分类方法可使我们从不同的角度来认识和评价声呐。

声呐系统分类的方法很多,笼统地可分为军用和民用两类声呐;按工作原理或工作方式划分可分为主动式声呐和被动式声呐,回音站、测深仪、通信仪、探雷器等等均可归入主动声呐类,而噪音站、侦察仪等则归入被动声呐类;若按装置体系分类,可分为舰用声呐、潜艇用声呐、岸用声呐、航空吊放声呐和声呐浮标、海底声呐等等;按工作性质(战斗任务)分类,可分为通信声呐、探测声呐、水下制导声呐、水声对抗系统等。显然,其中不止一种同为主动声呐。探测声呐中按换能器基阵扫描(搜索)方式划分可分为步距式单波束声呐、环扫声呐、旁扫声呐、相控扫描声呐、多波束声呐等。人们还可按技术特性来分类,例如按信号波形分类有脉冲声呐、连续调频声呐、阶梯调频声呐、双曲线调频声呐、编码声呐等。读者还可以按自己的理解对声呐系统进行其它分类。

下面重点讨论按工作原理和装置体系进行声呐分类的方法,并通过分类介绍各种声呐的主要特点。

二、按工作原理或工作方式分类

如前所述,按声呐工作原理分类可分为主动式声呐和被动式声呐两类。

(一) 主动声呐

有目的地主动从系统中发射声波的声呐称为主动声呐。它可用来探测水下目标,并测定其距离、方位、航速、航向等运动要素。主动声呐发射某种形式的声信号,利用信号在水下传播途中障碍物或目标反射的回波来进行探测。由于目标信息保存在回波之中,所以可根据接收到的回波信号来判断目标的存在,并测量或估计目标的距离、方位、速度等参量。具体地说,可通过回波信号与发射信号间的时延推知目标的距离,由回波波前法线方向可推知目标的方向,而由回波信号与发射信号之间的频移可推知目标的径向速度。此外由回波的幅度、相位及变化规律,可以识别出目标的外形、大小、性质和运动状态。

主动声呐主要由换能器基阵(常为收发兼用)、发射机(包括波形发生器、发射波束形成

器)、定时中心、接收机、显示器、控制器等几个部分组成(图 1-1), 其中接收机有丰富的

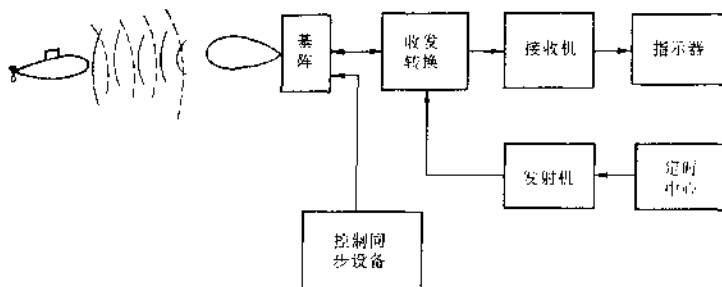


图 1-1 主动声呐原理

内涵。早期的主动声呐接收机只是由一些常规的放大器、滤波器和检波器组成。近代声呐接收机的含义已远远超出了原有的内容, 它包括了前置预处理器或信号调节器(Conditioner)、信号处理器。信号调节器则包含必不可少的前置放大器、滤波器和归一化电路, 以及采样保持电路和模拟数字(A/D)转换器。信号处理器主要由微处理器和专用信号处理芯片构成。主动声呐由定时中心控制产生电信号(通常由振荡器和调制器组成的波形发生器产生), 然后按发射波束形成器的需要进行时间延迟。延时的信号通过一组收发转换开关分别加到各发射换能器上, 将电信号转换成声信号向水中发射。换能器基阵用来把声能“聚焦”到预定方向上, 即形成所需方向的波束。发出的声信号经水下传播, 如遇到目标(例如潜艇或礁石)反射, 则产生回波。换能器基阵接收回波声信号和噪声, 又将它转换为电信号, 接收机再将多个阵元的电信号, 变成适合操作者(或设备自身)判断的形式, 并在显示器上显示出来。某些近代声呐中, 还用计算机对目标的存在与否进行自动判决, 并获得目标的各种参数。控制器用来控制换能器基阵的俯仰、旋转, 使波束对准目标。

因为主动声呐主动发射探测信号, 因而可通过收发信号间的时差精确测定目标的距离。而且正是由于主动声呐利用接收的回波来探测目标, 所以它除了可对运动目标进行探测外, 对于座沉海底的潜艇、沉船、飞机残骸及其他固定不动的障碍物均可探测。主动声呐的主要外部干扰之一是混响, 这是由发射信号从各种散射体(海底、海面及海水中不均匀水团)上的散射产生的。混响有时会严重妨碍信号的接收, 使声呐作用距离减小。水体混响在频谱上与发射信号几乎相同, 更增加了抑制其干扰的难度。探测沉底目标特别是沉底小目标时, 海底混响则变成了主要干扰。因为有混响的存在, 又因接收的信号承受着双程传播损失, 再加上还有本舰噪声的干扰, 故主动声呐作用距离一般不很远。主动声呐主要在水面舰艇上; 在潜艇上虽也装有主动声呐, 但一旦使用易被敌方发现, 影响潜艇的隐蔽性。潜艇声呐平时以被动方式为主, 只有在精确测距时才用主动声呐发射 2~3 个脉冲测定目标距离。

一般来说, 通信声呐、回波测深仪等也属于主动声呐。

(二) 被动声呐

利用接收换能器基阵接收目标自身发出的噪声或信号来探测目标的声呐称为被动声呐。由于被动声呐本身不发射信号, 所以目标将不会觉察声呐的存在及其意图。目标发出

的声音及其特征,在声呐设计时并不为设计者所控制,对其了解也往往不全面。声呐设计者只能对某预定目标的声音进行设计,如目标为潜艇,那么目标自身发出的噪声包括螺旋桨转动噪声、艇体与水流摩擦产生的动水噪声,以及各种发动机的机械振引起的辐射噪声等^{[1][9]}。因此被动声呐(噪音站)与主动声呐最根本的区别在于它在本舰噪声背景下接收远场目标发出的噪声。此时,目标噪声作为信号,且经远距传播后变得十分微弱。由此可知,被动声呐往往工作于低信噪比情况,因而需要采用比主动声呐更多的信号处理措施。

被动声呐的基本原理如图 1-2 所示,其工作原理与主动声呐类似,只是它没有用于发射声波的部分。

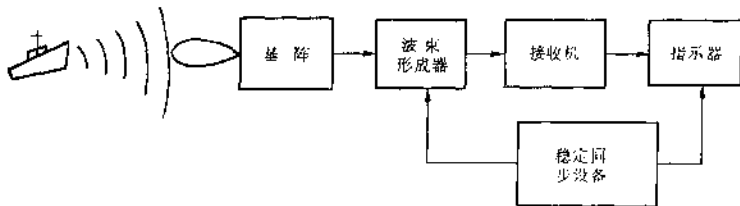


图 1-2 被动声呐原理

三、按声呐装置的体系分类

按声呐装置的体系对声呐系统进行分类,可分为岸用声呐、水面舰艇声呐、潜艇声呐、反潜飞机用声呐等等。

(一) 岸用声呐及预警系统(岸边固定式声呐监视系统)

由于海港是军舰的基地,是海上运输及后勤给养的转运站,所以常常成为潜艇攻击的重要目标之一。各个国家都很重视布设海岸声呐系统,配合其它设备组成海岸防潜系统。

岸用声呐系统通常只将换能器基阵放在港口、海峡和海上主要通道附近及某些特殊海区。基阵接收的信息通过海底电缆传送到海岸基地的声呐电子设备上进行处理。岸用声呐主要用来警戒进入海岸附近的目标,特别是潜艇。由于岸用声呐基阵和电子设备都固定不动,所以它不受运载工具容积和载重量的限制,可以使用低频大功率大尺寸换能器基阵,

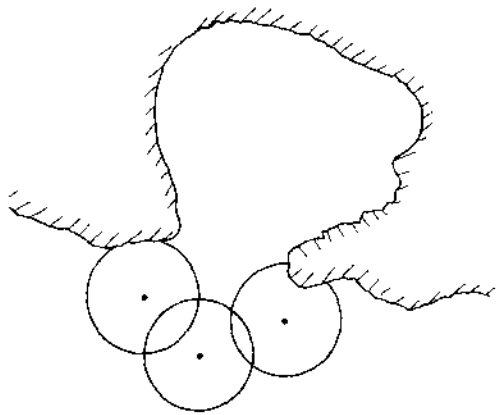


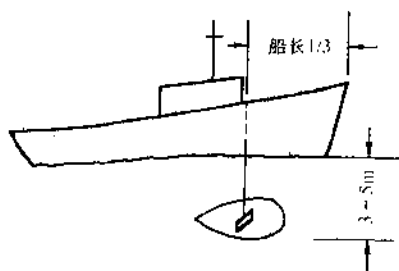
图 1-3 岸用声呐警戒网示意图

以增大作用距离(可达 60~70 海里)。通常岸用声呐工作于被动方式,因而隐蔽性好。为了扩大警戒范围,可布置多个岸用声呐联合使用,构成海岸警戒网。通常两个声呐站间装置的距离等于作用距离的 1 ~ 1.8 倍,以便彼此之间有一定的覆盖,如图 1-3 所示。换能器基阵布放在距海岸(10 ~ 20) km、深度不大于 100 m 的平坦海底上。岸用声呐的缺点是缺乏机动性,且受气候及海况的影响较大。

(二) 水面舰艇上的声呐

水面舰艇上装备声呐的主要目的是反潜防潜,即搜索潜艇目标,并引导火力系统进行攻击。此外,探测水雷、打捞沉物、对潜艇通讯等也需用声呐来完成。由于运动的水面舰艇本身无隐蔽性,因此它主要采用主动声呐来搜索和测定水下目标。一般水面舰艇通常装有 5~7 部声呐,大型反潜水面舰艇装有多达 10 部声呐,综合完成对潜搜索、定位、跟踪、射击指挥及水中通讯、探雷、导航、水下目标识别、水声对抗等任务。现代反潜战要求水面舰艇声呐作用距离远,搜索速度快,能全面观察和监视周围海区,盲区小,能精确定位和自动跟踪目标。鉴于声呐在反潜中的地位和作用,有时不得不使水面舰艇的设计适应声呐设备的要求。因水面舰艇航速高,航行噪声大,所以它们的工作环境恶劣。

换能器安装在舰艇壳体上的声呐称为舰壳式声呐。早期的舰壳声呐,其基阵是升降式的,不工作时升到舰艇壳体内,而工作时通过液压或其他传动装置降到离壳体几米深的水下[图 1-4(a)],以避免舰艇航行过程中所产生的吸声气泡层。为减少对舰艇航行过程中的阻力,又将换能器装在流线型且透声性能良好的导流罩内,旋转换能器即可改变探测方向。随着声呐发射功率的增大和工作频率的降低,使换能器基阵尺寸相应增大(大型圆柱换能器基阵直径达 4.8 m,高 1.7 m,重量 26t),升降和旋转换能器基阵越来越困难。由于舰艏离螺旋桨距离最远,这样的大型换能器阵常装在舰船的球鼻艏内[图 1-4(b)],探测方向的改变不再使用旋转基阵的方法,而是使用多波束或电路波束控制来实现。舰壳声呐主动工作频率已由早先的 (20~30) kHz 下降到 (2~3) kHz,发射功率高达数百千瓦。普遍采用了多波束电扫描,可同时跟踪多个目标。舰壳声呐一般也具有辅助的被动工作方式,用以搜索潜艇噪声。近年来水面舰艇拖曳声呐(又名变深声呐)得到很大发展,主要配备在水面舰艇上,是一种新型的声呐体制。这种声呐的换能器装置能脱离舰体通过机电拖缆拖于水中(图 1-5),且可调节拖缆长度改变拖曳体与舰艇的距离和下潜深度(150~400m)。拖曳声呐可与舰上其他声呐合用一套电子设备,或单独具有一套电子设备。因拖曳声呐换能器较舰壳声呐下潜深,单位面积发射声功率大,故更利于使用大功率发射。又由于拖体深度可调节,使其下潜到最佳深度,从而不仅可以不受恶劣海况和海面气泡层的影响,又可较好地



(a) 早期的安装方式

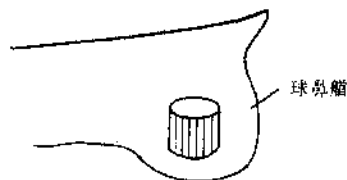


图 1-4 舰壳声呐换能器基阵安装位置示意图

利用有利的水声传播途径。其次因换能器基阵远离舰体,减小了舰艇自噪声对它的干扰,也避免了舰艇尾流的影响,所以拖曳声呐探测距离一般比舰壳声呐远。显然,拖体对舰艇的机动性和航速有一定影响,机械结构和操作系统也较复杂,故一般适合于大中型舰艇使用。但是它的水下基阵的维修较舰壳式声呐方便。拖曳线列阵声呐是近年来发展的一种拖曳式被动监视系统。这种声呐的多个接收换能器镶嵌在特殊的拖缆上,呈线列阵,使拖缆和基阵形成一个整体,拖于舰艇后方。它比变深声呐拖曳体能下潜到更深的深度,且对舰艇的机动性影响较小。

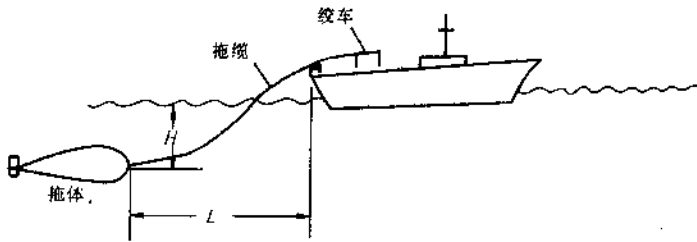


图 1-5 拖曳声呐示意图

正如前述,水面舰艇使用的声呐种类甚多,因篇幅所限不再一一介绍。

(三) 潜艇上的声呐

由于无线电波无法在下潜的潜艇上使用,潜艇在水下航行时的观察和通信器材主要依赖于声呐,因而声呐在潜艇上的地位显得更为重要。潜艇声呐的主要功用是为反潜武器和鱼雷武器的射击指挥提供水中目标的定位数据,其次是承担对水中目标的探测、警戒跟踪、通讯、目标性质识别、助航等项任务。有时一艘潜艇甚至有 $1/2$ 的空间被声呐占据,通常每艘攻击型潜艇上装有 10 多部各种功用的声呐。

潜艇上虽然装有各种类型的声呐,但为了保持潜艇隐蔽活动的特点,平时主要使用被动声呐,不断地对潜艇周围海区进行搜索。因此,潜艇上的被动定位和测距声呐已成为国内外潜艇必不可少的声呐。近几年在被动声呐上已经使用了先进的目标被动识别技术,从而潜艇有可能完全依靠被动声呐完成目标定位、测距、识别以及引导水下武器进行攻击等项任务。潜艇的主动声呐不能经常工作,工作时间也不能过长,一般只在实施攻击前使用。即使投入工作也需尽可能经常改变工作频率,以防敌方发现。在巡航或远距离航行中,为了导航的需要,也使用主动声呐(如避碰声呐、多卜勒计程仪等)。随着潜艇的战术水平提高和声呐技术的不断发展,潜艇编队航行和联合攻击就离不开各种通信声呐。然而,由于声波在水中的传播速度比无线电波在空中的传播速度低得多,致使水声通信速率很低,在远距离上甚至无法进行双工通讯。为了较好地发挥声呐在特定海区的性能,并对声呐使用性能进行预报,潜艇上往往还装有声线轨迹仪、测深仪和声速测量仪等设备。水声对抗系统也是潜艇上不可缺少的设备。除了与雷达对抗中的铝箔类似的气幕弹之外,潜艇上还使用宽带强声源类的压制性声呐器材。这种由潜艇释放的功率强大的干扰器,将使敌方声呐无法正常探测。近年来,潜艇上开始装备可自航的且可逼真模拟潜艇目标各种参数的目标模拟器。当潜艇发觉自己已被发现并有被攻击的危险时,

便释放这种目标模拟器来误导敌方声呐(包括鱼雷上的声自导装置),从而可使自己安全地实施规避。敌我识别器也是潜艇上已经装备的水声对抗设备之一,它能测定对方主动声呐信号的参数,还可利用编码信号通过应答方式进行自动敌我识别。潜艇声呐工作频率已转向低声频,主动式工作为(3~3.5) kHz 甚至更低,发射声功率也较大,已达兆瓦量级;被动声呐频率更低,为(0.5~3) kHz。主要声呐换能器尺寸最大直径达 5 m,所以作用距离较远。

综上所述,装备在潜艇上的声呐不是一部而是多部。现代的潜艇已能将各种声呐组成一个综合系统,由指挥控制中心统一调度。潜艇的空间毕竟有限,而声呐设备往往占据大量空间,尽管如此,各国在设计潜艇时几乎都是不惜空间,以满足声呐的安装。

(四) 航空兵使用的声呐(机载声呐和声呐浮标)

随着潜艇活动能力的加强,提高探潜速度就显得格外重要。舰用声呐在高速航行时,由于本舰噪声的急剧增加而影响探测距离,从而影响探潜速度。在空中用机载声呐探测水中目标就显示出很多优点。首先,空中探测机动灵活,可任意自由地搜索各海区,迅速完成搜索任务。其次,飞机的飞行速度远比水下任何潜艇高,可以方便地追击目标,使被探测的水下潜艇难以逃脱。加之飞机在空中居高临下,易攻击水下目标,而水下潜艇却很难发现和对付上空飞机。飞机还可以编队飞行,增大搜索区域,同时又易与陆上、海上基地及其他反潜部门交换信息。此外,可以充分利用水文条件,适时调整水下吊放装置的入水深度,以检测舰艇声呐盲区内的目标。

空中拖曳声呐是机载声呐的一种,装在水上飞机、飞船或直升飞机上,其最大搜索速度达 40 节,可发现半径 2~5 海里以内的目标。飞机低空飞行时,通过电缆拖动和控制水中的换能器。发现目标后,通过机上通信设备与基地指挥所交换信息。但是,拖曳体的运动将产生流体动力噪声和空泡噪声,飞机螺旋桨及机械噪声也会通过电缆注入水中,影响探测距离,致使飞机速度不能过高。

空中吊放式声呐是另一种机载声呐,它安装于直升飞机上。直升机低飞,至各预定点悬停后,通过电缆将换能器吊入水中逐点进行探测。换能器入水深度决定于具体海区的传播条件,可为 30~150m。通常将换能器系统放至温跃层(一般在 60~90m 深处出现,厚度为几米到几十米)以下,避免温跃层对声呐探测的影响。由于风浪的影响,吊放声呐换能器在水中会经常飘动,位置不稳定,因此需用稳定系统来保证正常工作。空中拖曳声呐和吊放声呐在进行探测工作时,飞机必须低空飞行或停留,这样就限制了飞机对海面的观察范围,影响探测速度。其次空中声呐检测时,必须用电缆拖吊水中的换能器,约束了飞机的自由度,影响了飞机及时投入战斗的能力。空投浮标式声呐检测系统可以解决这些矛盾。

空投声呐浮标分为主动式浮标和被动式浮标两种,被动式浮标又有定向式和非定向式之分。被动非定向式浮标只能检测目标有无,而被动定向式浮标可判定目标方向。多个这样的浮标结合其它设备,便可定出目标位置。主动式声呐浮标比被动式浮标多一个受控声发射装置。不论何种浮标,大多作为一次使用的消耗性器材。这些浮标探测到目标后均通过它们的天线将信号转发到飞机上,由飞机上的信号处理设备综合处理。