

国外水声学进展

第一集

中国科学院声学研究所

国外水声学进展

第一集

中国科学院声学研究所编著

科学出版社

1966

内 容 简 介

本书是根据国外已发表的资料(截至 1965 年)编写的一本综述性的论文集。书中较全面地介绍了近年来国外对水声学各主要问题的研究进展情况,涉及的问题包括换能器、吸声材料及水声设备中新技术的研究,以及对海水的声传播、吸收、散射、反射、海洋噪声及海水介质的随机不均匀性等

的探讨。

本书可供水声学科学研究工作者和其他有关科学技术工作者参考。

国外水声学进展

(第一集)

中国科学院声学研究所编著

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

北京市书刊出版业营业许可出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1966 年 7 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1966 年 7 月第一次印刷 印张: 8 7/8

印数: 1—850 字数: 235,000

统一书号: 13031·2308

本社书号: 3496·13—3

定价: [科七] 1.50 元

目 录

水声设备中新技术的发展情况·····	候自強 (1)
国外水声换能器研究概况·····	徐其昌 (17)
水声换能器测试校准问题·····	朱厚卿 (36)
水声学实验仪器的现况和展望·····	许振夏 (60)
国外水声吸声材料的研究及消声水池概况·····	朱维庆 (84)
国外水声传播研究概况·····	尙尔昌、张仁和 (97)
湍流附面层噪声的研究现状·····	黃曾暘 (119)
水下目标对声波反射的研究·····	冯培元 (129)
海水声吸收问题·····	裘辛方 (138)
海水体积散射的研究·····	丁 东 (159)
声在海洋中的混响及在粗糙表面上的散射·····	冯绍松 (190)
海中声信号的传播起伏·····	恽宗杨、李允武 (213)
海水介质的随机不均匀性及其对声传播的影响·····	黃溪水 (229)
国外水下自然噪声场研究综述·····	许祯镛 (249)
海底声传播问题概述·····	钱祖文 (266)

水声設備中新技术的发展情况

侯 自 強

近年来以改进声呐性能为中心，水声技术有了迅速发展。主要工作围绕四个方面：

- 1)增加探测作用距离；
- 2)提高对目标距离、方位、速度的测量精确度和分辨率；
- 3)增快搜索速度；
- 4)提高对目标鉴别能力。

一、增加探测作用距离

声呐探测作用距离限制是由于存在噪声干扰和混响干扰造成的。混响干扰是由除目标外的其他杂散回波构成的。减小混响干扰应通过提高测量距离、方位、速度的分辨率来解决。这里主要讨论克服噪声干扰，增加作用距离的问题。

对回声定位站来说，增加发射功率是增加作用距离的一个重要途径。近年来声呐的发射功率不断增加，由二次大战时期的数千瓦增至目前的兆瓦级。目前甚至还在计划研制 200 兆瓦的大功率发射机，在这方面的技术问题除应研制大功率换能器和发射机外，还需解决储能问题。目前一般都采用电容器储能，用它供给一个 100 兆瓦的发射机产生 20 毫秒脉冲所需的电容器重达 200 吨，这显然不合实用要求。因此，有人建议采用飞轮（10,000 焦耳/20 公斤）、银锌电池（15,000 焦耳/20 公斤）、压缩空气（150 大气压时 400,000 焦耳/20 公斤）等做为储能元件^[1]。在采用新的储能元件时应相应研制合适的换能方法和发射机。如高频发电机、大功率晶体管振荡器、流体动力辐射器……等。采用硅可控整流元件构

成大功率发射机是一个有前途的方法。

换能器的空化现象限制了发射峰值功率的提高,但对有信号处理设备的声呐系统,起决定作用的是信号能量,因此可用增长信号发射时间的方法增大信号能量来代替增加峰值功率,但信号持续时间的增长,必然导致距离分辨率降低,混响干扰增大,采用脉冲压缩技术可以解决这一矛盾。

帕克斯(P. K. Parks)从理论上讨论了将宽带似噪声声呐信号脉冲压缩技术用于回声定位站的优点,有关脉冲压缩技术将在第二节中详细讨论。

增加声呐作用距离的另一个途径是尽量减小声波在海洋中传播的衰减,在这方面主要的方法有二:一是降低工作频率;另一是充分利用水文条件。

声波在海水中传播的衰减除由波阵面扩展引起的以外,主要是由于海水的吸收、散射和海洋中声速梯度引起的声线弯曲及海底反射损失产生,海水的声吸收系数及海底的反射损失均与频率有关,一般都是随频率降低而降低,因而采用低频工作可大大减少声波在海洋中传播的衰减,这点在浅海中尤为显著。但在浅海中,由于波导效应,当声波频率太低时,衰减反而会增加。韦斯通(Weston)^[2] 研究结果表明在他所研究的浅海中 200 赫声波衰减最小。在深海中可采用的低频下限可以更低些。

降低工作频率固然可减小传播衰减,但基阵的空间处理增益也降低了,应该折衷选择最佳的工作频率。斯提瓦尔特(J. L. Stewart)等^[3]对回声定位站最佳频率的研究表明,声呐的最佳工作频率是作用距离的函数,要求的作用距离愈远,应采用的工作频率愈低。在这项工作中综合考虑了包括脉冲压缩在内的各种信号处理的作用。实际上声呐的工作频率已由二次大战时期的数十千赫降至目前的数百赫至数千赫,如美国目前的回声定位站工作频率一般在 3—14 千赫。在有些深海预警体系中回声探测甚至采用了 32 赫的低频。

工作频率降低后,为了获得足够的空间增益和定向精度必须

采用大型基阵。如美国最新的水面舰艇用的 SQS-26 声呐的圆球形基阵直径达 3 米, 流线型外罩长 12.3 米高 3 米重达 69 吨。潜艇用的 BQQ-2 型声呐的球形基阵直径为 3.8 米。这些大型基阵在舰上的安装位置目前都置于舰首, 这样做不仅噪声小而且阻力小舰速可增加。海岸预警体系中使用的基阵更大达数十米以上。大型基阵的使用提出了不少复杂的工程技术问题, 有待进一步研究解决^[4]。

海洋中声速梯度存在造成声线弯曲是一个不利因素, 但在有些条件下合理利用也可变不利因素为有利因素。例如在存在水下声道或正梯度而引起的表面声道时, 甚至在存在负梯度而海底底质良好时, 由于声波的反射和折射, 声能被局限于一定厚度的水层内, 这时波阵面扩展引起的衰减将小于球面衰减而介于球面和柱面衰减之间, 利用这种波导效应可大大增加作用距离。

据报导美国 SQS-26 声呐直接作用距离为 10 哩。利用深海海底一次反射作用距离可达 15 哩。利用声道的第一会聚带 (一定俯角发射, 过声道轴后又向上折射) 在太平洋中作用距离达 30 哩, 大西洋中达 35 哩^[5]。

要利用这种现象, 要求声呐的波束在垂直平面内能旋转, 以便选择合适的角度。这种声呐一般均采用多元件构成之三度空间基阵, 可在水面及垂直两个平面内扫描。前述的 SQS-26 及 BQQ-2 型声呐均属此类。

利用波导效应可以增加作用距离, 但声线的弯曲给准确定位造成了很大困难。SQS-26 声呐附设有专用计算机来计算目标位置。

在存在强烈跃变层情况下, 水面舰艇要透过跃层来探测跃层下的目标是很困难的。采用拖曳式可变深度声呐可解决这一问题。现在的问题是如何实现在高速航行下拖带可变深度声呐。

采用信号处理技术提高系统的抗干扰能力亦是增加作用距离的一个有效途径。

近年来信息论中的信号检测理论发展很快, 其研究成果逐步

被运用到声呐信号处理方法的研究中。

在噪声测向站抗干扰接收信号处理方面,皮特桑(W. W. Peterson)等人^[6]讨论了平稳白高斯噪声干扰下白高斯噪声信号的检测,结论是能量检测器为最佳接收机,但这个结论在声呐设备中实际不能应用,因为实际上噪声干扰不是平稳的。为了避免干扰幅度不平稳的影响,一般多采用相关法接收。利用干扰的不相关性来区分信号和噪声。而实际上主要使用的是分裂阵互极性相关处理^[7]。托马斯(J. B. Thomas)^[8]等分析了这种处理方法的性能指出这种处理方法在平稳高斯噪声下性能虽稍低于最佳接收机和普通相关处理(约1—2分贝),但在非平稳干扰下却优于它们。沃尔弗(S. S. Wolff)^[9]更进一步指出极性相关检测器具有非参量性。契山特(W. G. Chesant)从实验上证明对于不平稳噪声,极性相关器的性能优于普通相关器。

对多元件水听器阵输出进行相关处理的方法还很多,前述的分裂阵互相关处理只是其中的一种。法克莱(D. C. Falkley)^[10]比较了时间平均相乘基阵和同类相关器的性能,指出在各种不同目标噪声条件下各种方法各具有不同的优点。

上述的相关法是在现有声呐设备的延迟线补偿器的输出增设信号处理设备,这些系统一般都是单波束的。与这种方法相对,近年来又发展了一种新的声呐系统,称为数字多波束定向。这种方法用数字计算机技术代替了声呐设备中的传统的模拟式的方法,为声呐设备的发展开辟了新的途径。从处理方法来看它类似一个能量检测器,但是在每个水听器的输出上增设了一个限幅器,因而它又具有一般极性相关法的优点,这种方法可用于噪声测向站中也可用于回声站中。附录中详细介绍了它的性能。

最近相关检测理论的研究趋向于研究在非平稳非高斯干扰下相关检测的性能。米德耳当(D. Middleton)^[11]对非高斯噪声下相关检测器的信噪比性能作了讨论。对于谱分布与平均强度同高斯噪声相当的脉冲噪声得到了输出信噪比的正则表达式。

从统计决策论出发研究最佳接收系统最近也得到了迅速的发

展。鲁德尼克 (P. Rudnick)^[12] 在小信号情况下进一步讨论了一般高斯噪声下一般高斯信号的检测, 得到的结论是在能量检测器前加一个埃卡尔特 (Eckart) 滤波器为最佳, 布赖因 (F. Bryn)^[13] 将鲁德尼克讨论的情况扩大到三维立体阵信号处理, 最后得到的结果是在埃卡尔特滤波器前在各通道上还需加一滤波网络, 此滤波网络的作用是对各通道信号在空间上先作一回归处理, 扣除各通道间噪声的相关分量。万德尔库伊耳克 (W. Vanderkuilk)^[14] 进一步发展了布赖因的工作, 他指出: 当基阵中各元件间距较大, 相互间噪声为独立时用普通检测器即可。当元件数目增加而基阵总尺寸不增加时, 元件间间距小于相关半径, 各元件间噪声有相关性, 这时用上述最佳检测器性能将显著超过普通检测器。原则上说, 当本底噪声不存在时, 对一定尺寸的基阵, 增益会随元件数目增大而趋于无穷。但由于实际上本底噪声是存在的, 增益随元件数目增加而增长是很慢的。一般说在基阵尺寸接近或小于噪声相关半径而元件数目又不多时, 采用最佳检测器是有好处的, 可以用很小的基阵获得较高的增益。最佳检测器能获得较高的增益的基础是对噪声场的特性的先验知识。如对于干扰噪声场事先不了解是不能采用最佳检测器的。由于设备复杂这种方法目前尚处于研究阶段未付诸实用。

降低本底噪声可以提高最佳检测器的增益, 研制低噪声前置放大器是很有价值的。最近研制的供声呐使用的低噪声参量放大器是一个值得注意的研究动向。

在回声站信号检测理论方面, 尤里克 (Urick) 将皮特桑等人关于信号检测能力的一般理论用于计算声呐系统的检测能力。在高斯噪声干扰作用下, 检测完全已知 (或相位未知) 信号的最佳检测器是匹配滤波器或互相关器。而当信号完全未知时为能量检测器。

一般回声站由于信号的多普勒频移是未知的, 接收机中频放大器带宽一般均较信号频宽大几十倍, 这显然降低了接收机的性能。采用与不同多普勒频率匹配的多个匹配滤波器并联工作, 它

们的输出经峰值选择器配合成单路输出构成一多路接收机。用这种接收机来代替普通接收机可有一定之增益。契尔尼亚克(Черняк)^[15]分析了这种多路接收机的性能,证明它的性能优于普通宽带接收后非相干积累,劣于最佳接收机。

对正弦填充的矩形脉冲信号而言,带宽等于信号频宽的窄带滤波器的性能,接近匹配滤波器,不必另搞结构较复杂的相关器或匹配滤波器,但在采用脉冲压缩系统时,使用的信号是时间带宽乘积大于1的复杂信号。对这种复杂信号用窄带滤波器是不能构成匹配滤波器的。在实际上使用的是基于极性相关原理的数字式时间压缩相关器或数字匹配滤波器,有关这部分在第二节中讨论。

目前在回声站中采用的信号处理设备大多都引入了限幅器,目的是为了降低输入信号动态。这一方面是为了简化信号处理设备,另一方面也是为了抗起伏干扰。前面在噪声测向站用极性相关器的讨论中已介绍了有关工作。契尔尼亚克^[16]对用宽带限幅器的多路接收机性能的分析也是一项有意义的工作。

在近作用距离高重复频率的声呐中进行脉冲间积累来提高信噪比也是有意义的。青柳健次^[17]和库珀(D. C. Cooper)^[18]等人均在这方面进行了工作。

二、提高对目标距离、方位、速度等参数的 测量精确度和分辨率

这个问题不仅是目标参数的测量问题,提高分辨率也是抗混响干扰的有效途径。

提高目标方位测量精度的关键是增强角度分辨率。角度分辨率主要取决于基阵的尺寸,采用适当的布阵方法和信号处理方法也可增加角度分辨率和测量精确度。

为了在较低的工作频率下获得高的角度分辨率,目前主要的方法是增大基阵尺寸增多布阵元件个数和所形成的波束个数。

由于舰艇体积有限不可能采用过大的基阵,为了充分利用空间,一艘潜艇上往往采用多种布阵。如美国鳐鱼号核潜艇上的

BQQ-2 声呐有三个基阵：一个 3.8 米直径球形基阵，一个在舰首排列成三排的半椭圆形阵和一个在背脊上的直线阵^[4]。在不同情况下使用不同的基阵以获得尽可能高的角度分辨率。

为了保证足够的测量精度，布阵元件的个数和可形成波束的数目也不断增大。元件数目和波束数目的增加给设备制作带来了不少困难，主要问题是如何保证各通道间的均匀性和延迟线的精确性。目前已实现的布阵元件数目有达到 1000 个以上的，一般均在 100 个左右。如 BQQ-2 型声呐的球形基阵由 1245 个元件构成。目前用微电子学系统达到了可利用 100 个波束，波束宽度为几分之一度。

增加角度分辨率，不仅指水平面内方位角分辨率，也包括垂直面内俯仰角分辨率。目前新型声呐均采用球形基阵等立体基阵。很强的角度分辨率使得舰艇摆动时容易丢失目标，因此在提高角度分辨率的同时必须加快搜索速度，采用电扫描或多波束系统。有关这个问题在下一节中叙述。

采用超指向性基阵^[19]或相乘基阵^[20,21]，时间平均相乘基阵^[10]可提高指向性，但由于引入了相位畸变或非线性处理，在获利同时也产生了一些缺点。对这些系统的实际应用价值有一定影响。

布赖因等^[13,14]研究了声基阵最佳信号处理指出：当元件内部自噪声比接收的外来干扰噪声低很多时（-20 分贝以下），有可能用相对较小的基阵获得超指向性，如前所述，这种方法距实用尚有一段距离，但这确是一个值得注意的方向。

费德里希（Federici）^[1]指出测量方位精确度不仅取决于方向性图的主瓣宽度，在信噪比良好的情况下，利用适当的仪器也可提高方位精确度。如已广泛采用的和差系统和方位偏差指示器等均属此类。前述的超指向性阵，相乘基阵也都是在高信噪比下有良好性能。奈尔恩（D. Nairn）^[22]提出了一种新型数字声呐的原理。它通过对来自布阵换能器的编码相位信息进行数字式逻辑运算来检测和确定回声源的位置。在这种系统中对目标定位的精确度主要取决于接收信息的信噪比。定位问题和检测问题是联系在一起

的,分辨率的几何概念应被更一般的分辨概念所代替。

提高测距、测速精确度和分辨率是一个信号波形选择问题。近年来从伍德瓦尔德(Woodward)提出模糊度函数以来,雷达信号波形选择的研究进展很迅速。有关这方面的研究成果很快地被应用到声呐系统中来。目前已出现了采用脉冲压缩技术的声呐系统,在这种声呐中使用了时间带宽乘积大于1的复杂声呐信号。

斯提瓦尔特(Stewart)^[23,24]等人从抗混响干扰的观点讨论了声呐信号波形的选择问题。他指出采用正弦填充的长脉冲具有高的测速分辨率而测距分辨率很低,采用短脉冲则测距精度高测速精度低。这两种信号均不理想。采用普通这种时间带宽乘积等于1的信号是不能解决这矛盾的。如采用时间带宽乘积大于1的复杂信号,采用匹配滤波器接收时可同时获得高的测速和测距分辨率。各种信号的分辨性能可用其模糊度函数来表征。目前在水声中主要使用矩形包迹的线性调频脉冲和伪随机信号。它们都具有较好的模糊度函数也比较容易产生。尤其是伪随机信号应用得最多,它可以用移位寄存编码器来产生。一个 n 级移位寄存器可以产生 $2^n - 1$ 位码长的伪随机编码信号。如果移位寄存编码器使用很精确的钟频率来驱动,则这种信号能在任何其他时间或位置上被重现出来。这就给利用相关系统来实现匹配滤波接收提供了便利条件。移位寄存编码器产生的是伪随机编码的方波序列。它具有低通型的谱,使用时可以将它直接发送出去,也可以将它对某一所需的频率调相后发送出去,还可以用滤波器滤出一段所需的频带作为发送信号发送出去。

在接收系统中为了实现脉冲压缩,需对接收的信号进行匹配滤波。匹配滤波可以用匹配滤波器来实现,也可以用时间压缩相关器来实现。无论采用那种处理方法均需对接收的信号进行存储、延迟。由于信号长达数秒以上频宽又较宽,采用模拟的方法(如网络)是很困难的,需利用数字计算技术来实现。为了简化设备结构,需简化输入信号动态,最简单的方法是对输入信号进行强限幅,牺牲振幅信息只保留过零点位置(相位信息),这样一个样本只

需用一个二进制符号即可表示。这种处理方法就是极性相关处理。法兰 (J. Faran) 和希耳斯 (Hills) 最早研究了极性相关处理的性能, 结果是其增益较普通相关器低 1db。进一步的研究表明, 在输入小信噪比的情况下限幅不影响信号的模糊度函数。

艾伦 (W. B. Allen) 等人^[25]研究了基于极性相关原理的多种数字时间压缩相关器和匹配滤波器。

时间压缩相关器先将接收信号存储起来, 然后快速放出来实现信号的时间压缩。经时间压缩后的输入信号和经相同的时间压缩的参考信号再逐次改变延迟求相关。这样就可以实时给出相关函数曲线。参考信号可利用与发射信号源同一个移位寄存器来获得。为了解决多普勒频移问题可采用交流相关器 (或差频相关器)。在交流相关器中参考信号与接收信号 (零多普勒) 之间有一个固定频差。普通相关器中的低通滤波器 (积分器) 用带通滤波器来代替。采用多个频率相邻的带通滤波器组即可实现多个多普勒通道, 在时间压缩相关器中采用的存储器一般常用超声延迟线和磁芯矩阵两种, 采用前者的称为延迟线时间压缩相关器 (Deltic); 采用后者的称磁芯矩阵时间压缩相关器 (Macomatic)。延迟线时间压缩相关器在 57 年最早由安德桑 (U. C. Anderson) 提出, 目前为美国海军水声实验室广泛应用于水声研究中 (海底反射系数测量, 混响, 噪声的时空相关特性测量, 海水传输特性测量等)。在声呐设备中也采用作主要信号处理设备, 目前已有商品出售。

匹配滤波器的传输系数等于信号谱的复数共轭, 在输入为信号加噪声时, 它的输出等于输入信号加噪声与纯信号间的互相关函数。利用抽头延迟线在其各抽头选适当的权电阻相加即可综合出任意所需的传输系数来与指定的信号匹配。利用移位寄存器数字延迟线来对移位寄存编码器产生的拟随机信号进行匹配接收是很方便的。但由于多普勒频移的存在给匹配滤波器带来了一定的困难。

勒纳 (Lerner)^[26] 的匹配滤波器采用庞大的电阻矩阵来构成多个多普勒通道, 这太复杂了。采用序列匹配滤波器, 利用与交流

相关器类似的方法可以较简单地实现多个多普勒通道。

拟随机信号脉冲压缩系统在实际使用中获得了较显著的结果。

克莱 (C. S. Clay)^[27] 利用脉冲压缩技术连续测绘地震图获得了成功。系统具有较高的分辨率, 匹配滤波器是采用移位寄存器型的, 获得了 12 分贝的增益。

斯提瓦尔特等人^[28]将拟随机信号相关技术用于水声传播的研究, 它利用 12 节移位寄存编码器产生码长达 4095 的拟随机信号。移位寄存器的钟频率为 100 赫, 码的重复周期为 41 秒。用延迟线时间压缩相关器接收积分时间为 25 秒, 这个系统获得之测距分辨率为 10 毫秒, 多普勒频移分辨率为 1/25 赫, 相应速度分辨率为 1/6 节。

三、增快搜索速度

声呐的搜索速度对其使用价值有重要影响。在角度分辨率提高以后, 加快搜索速度更具有决定性意义, 否则不仅搜索速度太慢, 而且舰艇摇摆可能丢失目标。

回声定位站提高搜索速度的方法主要有采用脉冲内电扫描和多波束系统两种。

早期的脉冲内电扫描是采用电动机高速旋转电容耦合式补偿器来实现的, 其扫描速度约为每秒 50 次。随后发展了利用开关二极管构成的电子旋转式补偿器来实现电扫描。如在美国 AN/BQS-2 声呐中所采用的, 其扫描速度为 300 次/秒^[29]。

英国塔克 (Tucker) 等研制的电子扇形扫描系统, 将接收信号与调频信号差频后送入色散延迟线来实现电扫描。这种系统目前被设计应用在近作用距离, 高分辨率的回声定位站中, 经过多次改进后的这种电子扇形扫描回声站的扫描速度达 10,000 次/秒, 波束宽度为 $\frac{1}{2}^\circ$, 扫描角度为 $\pm 15^\circ$ ^[30, 31]。

脉冲内电扫描系统的缺点是损失了信号能量 (因观察时间减少了), 降低了信噪比。采用多波束全景显示系统可避免这一损

失。数字多波束定向是一个可行的途径。

前述的奈尔恩提出的数字式声呐中将定位问题和检测问题联合在一起,也是一种加快速度的可行的方法。

提高噪声测向站搜索速度的主要方法是采用多波束全景显示系统。目前主要是采用数字多波束定向,在有些声呐中(如 AN/BQQ-2)还增设了一个方位-时间亮调制显示器,它可方便地记录显示多个目标相对位置变化情况。

四、提高目标鉴别能力

目标鉴别是一个迫切需要解决的问题。远距离探测发现目标后,首先需要判别它是舰艇还是海洋生物等其它目标。在确定是舰艇后还需进一步确定其舰型。

在回声站中提高目标鉴别能力的主要方法是提高测距和角度分辨率,以获取目标的外形的信息。弗里德曼(Fredman)^[32]在理论上从目标散射声波的机理方面研究了用声呐系统描绘目标形状的可能性。

在提高频移测量精确度后,可由多普勒频移的微结构获得有关目标运动信息帮助进行目标鉴别。

塔克^[33]提出利用宽带回声定位站来获取目标反射本领的频率响应。

噪声测向站的目标鉴别,过去主要是依靠有训练的声呐员的主观听测来判别。近年来逐步发展研究用谱分析等方法代替声呐员进行目标鉴别。如在美国鱈鱼号核潜艇上就装有声频记录器和可变声频滤波器来对目标信号进行谱分析。

最近发展的自适应信息处理系统能对复杂的连续形象或不连续形象进行分类。这种系统能够通过“学习”掌握某些信号的特征,然后即可对它们进行分类。这种系统在语言识别等方面的应用初步获得成功。进一步提高这种系统的性能有可能将它用于对目标噪声信号进行鉴别^[34]。

附录：数字多波束定向技术

数字多波束定向 (Digital multibeam steering, 简称 DIMUS) 是近年来在数字电子计算机技术基础上发展起来的一种新型声呐系统。在这种系统中利用多路数字延迟线代替了普通的 LC 延迟线构成多路补偿器, 实现了多波束全景显示。

目前大多数噪声测向站和环扫回声站均是采用固定的水听器基阵。各水听器输出送入由 LC 延迟线构成的补偿器来形成定向波束。通过旋转, 在补偿器中装有机电转接器或电子开关, 来实现波束的旋转以便定向。这种系统称为单波束系统。它每次只能观察波束所覆盖的扇面, 需要旋转波束才能观察 360° 全景。理论和实验证明, 在一定范围内检测能力随观测时间 (信号能量) 减小而降低, 如欲加快观测速度需要加快扫描速度, 这就必然导致在每个扇面内观察时间缩短检测能力降低。这就是扫描速度和信号积累时间之间的矛盾。

采用多波束系统可解决上述的矛盾。多波束系统中采用多路补偿器来形成分布在不同方位上的多个波束构成全景显示。多波束系统允许使用长的信号积累时间, 又便于在波束之间进行比较来排除一些起伏干扰。因此, 多波束系统检测能力优于单波束系统。此外它还便于同时观察跟踪多个目标。由于免除了需要精密机加工的机械转接器, 多波束系统的生产和维护均较方便, 可靠性也有所提高。

多波束系统尽管具有以上的很多优点, 但由于它的设备复杂庞大, 长期以来其应用是受限制的。例如要产生 100 个波束 (每个波束 3.6°) 就需要有 100 个延迟线补偿器和相应的放大显示通道。采用一般 LC 延迟线和电子管线路来实现它实在太大了, 实际上几乎无法采用。晶体管线路和数字计算机技术的发展给实现多波束声呐系统提供了一个新的途径——数字多波束定向 (DIMUS)。晶体管数字计算机技术的应用成功地克服了设备的复杂和庞大的困难, 使多波束声呐的实现有了现实可能性。

数字多波束定向技术最早是由美国加利福尼亚大学斯克里普(Scripp)海洋研究所海洋物理实验室(MPL)的安德桑和鲁德尼克提出的^[35,36]。

在数字多波束定向系统中各个水听器输出电信号先经限幅器限幅成极性与原信号相同之随机方波,然后抽样成 $[0,1]$ 数字脉冲送入移位寄存器数字延迟线,波束成形电阻相加矩阵将各条延迟线相应的输出迭加起来,电阻相加矩阵的每个输出端相应对正某一方向的一个波束,在每个波束通道中对矩阵输出信号进行整形后平方积分处理。各波束通道输出信号经电子开关送至显示器。

在这个系统中引入限幅器的目的是为了降低信号的动态范围,从而简化了模拟-数字转换器和数字延迟线的结构。安德桑研究了限幅和抽样对系统的检测性能的影响,当抽样频率比信号平均有效频率高5倍以上时增益损失约1分贝。

数字多波束定向系统中采用了限幅器,因而它具有-般极性相关处理的优点,表现在以下几方面:

1) 采用数字延迟线,避免了延迟线的衰减和畸变问题。改变抽样钟频率可很方便地改变每节的延迟时间,特别适用于低频大型基阵。

2) 降低了对阵中水听器间振幅匹配要求。

3) 输出归一化,从而降低了对输出记录和显示系统的动态要求。无过载问题。

4) 输出噪声不受输入噪声强度变化的影响,具有虚警概率恒定的优点。在干扰非稳恒情况下性能优于普通相关系统。

为了进一步提高数字多波束定向的定向精度和处理增益,阿尔诺耳德(C. R. Arnold)提出采用“瓣比较技术”和计算加权平均参数和 χ^2 平方检验参数。通过对各个波束输出再进行一次统计假设检验来提高检测能力。模拟结果表明这种方法具有一定之效果。

在数字多波束定向方案提出来后,研究工作进展很快。前述的MPL首先研制成了一个实验系统,它采用32个水听器构成球