

双/多基地声呐系统

张小凤 张光斌 著



科学出版社

014037094

U666. 72
02

双/多基地声呐系统

张小凤 张光斌 著



科学出版社

北 京



北航

C1725176

U666.72

02

内 容 简 介

本书详细地介绍了双/多基地声呐系统的基本原理和关键技术。全书共分10章,主要内容包括:双基地声呐概述;双基地声呐方程;双基地声呐定位的基本理论;双基地声呐几何定位算法及系统定位性能优化;多基地声呐系统定位;多基地声呐水下目标声散射特性;多基地声呐目标强度及实验测试等。

本书突出原理和技术方面的叙述和分析,内容由浅入深,便于自学。可作为高等院校水声工程专业的教材和从事声呐设计技术人员的参考书,也可供声学相关专业,雷达、信息处理专业人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

双/多基地声呐系统/张小凤,张光斌著. —北京:科学出版社,2014.3
ISBN 978-7-03-040108-3

I. ①双… II. ①张…②张… III. ①声呐-研究 IV. ①U666.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 048939 号

责任编辑:祝洁 甄文全/责任校对:张小霞

责任印制:肖兴/封面设计:范璧合

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年3月第一版 开本:720×1000 B5

2014年3月第一次印刷 印张:10 1/2

字数:200 000

定价:56.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言

声呐是相对经典的海洋探测技术之一,从最简单的声呐开始,距今已有百年历史。即使是从第二次世界大战兴起的现代意义上的声呐技术,也有几十年的发展历史。从第二次世界大战发展到现在,各种工作原理和形式的声呐相继产生并装备使用,极大地丰富了声呐技术领域的内涵。

然而随着声呐性能的不断提高,现有的各种形式声呐的性能似乎很难再有飞跃式的提高,如广泛应用的舰壳声呐、拖曳声呐、鱼类自导声呐等就面临这样的问题。国内外声呐工作者都感到相同的困惑,特别是声呐工程师体会更深。另一方面,对高性能声呐技术的探索仍然在继续。

20 世纪 50 年代,研究人员发现,相比于单基地雷达,双基地雷达具有较大的目标散射截面,特别是在反隐身方面,双基地雷达较单基地雷达具有明显的优势,从而使双基地雷达的研究进入了一个崭新的阶段。同样,多基地声呐的研究也同步得到发展,由于在空间上收发设备分置,多基地声呐在水下目标检测和定位方面具有独特的优点。

相对于广泛应用的舰壳声呐、拖曳声呐、鱼类自导声呐等,多基地声呐在某些情形和配置下可展现良好的性能,为近年来国内外声呐工程师和水下工程师所重视。例如,由水面舰艇的主动声呐和火箭远程投送的多散布的声呐浮标所构成的多基地声呐系统,可以提高对潜艇的探测和定位性能;水面舰艇声呐和主动声自导鱼雷所构成的双/多基地声呐系统,可以提高鱼雷的目标探测性能。双/多基地声呐的这些优点已经被国内外声呐工程师所注意。未来,双/多基地声呐系统的更多优点可能会在多种应用场合和装备中得到体现。

近 20 年来,国内外声呐技术人员和声呐工程师就多基地声呐的理论和实践展开了广泛研究,并取得了很多成果。其相应的研究文献或资料较多,但却比较分散。据我所知,目前国内外还没有系统论述双/多基地声呐技术的专著。该书作者 20 余年来持续关注 and 从事双/多基地声呐理论和实验的研究,这本专著就是作者在自己研究成果的基础上,结合近 20 余年国内外关于双/多基地声呐技术的理论和实验研究成果而完成的,是一本系统阐述双/多基地声呐技术的专著。

该书系统阐述了双/多基地声呐系统的基本概念和理论,给出了其定位算法和性能,同时讨论了多基地声呐目标声散射特性和水下目标强度的实验结果,阐述了双基地声呐混响特性,最后给出了多基地声呐直达波抑制的方法。这些内容均是双/多基地声呐系统重要的理论和技术问题,相信会对读者有所启发。

该书观点明确,取材丰富,内容全面。重视基本概念,避免过多的数学推导。同时,该书较全面地反映了国内外有关双/多基地声呐方面研究的最新理论和技术,相信该书的出版对国内多基地声呐技术的理论研究和实际工程应用具有积极的促进作用。

中国船舶重工集团公司第七〇五研究所

王明洲 研究员

2013年11月于西安

前 言

双/多基地声呐系统是一种新型的声呐系统,对水声技术的发展具有重要作用。双/多基地声呐由于其收发设备分置,在水下目标的检测和定位方面具有很多独特的优点。近 20 年来,由于潜艇隐身技术和水声对抗技术的发展,双/多基地声呐的研究受到各军事大国的关注,获得了一些有用的理论和实验结果。但是,由于双/多基地声呐系统的复杂性,有关这方面的应用仍处于起始阶段。从事实际工作的人员难以在短期内了解这一系统的各个方面。

本书试图以简明的方式对新型双/多基地声呐系统的关键技术进行介绍。希望对从事声呐设备的设计和管理人员有所帮助。本书也适合水声专业的本科高年级学生和研究生以及从事声呐系统设计的科研人员参考。

全书共分为 10 章,主要包括 5 个部分,第 1~2 章主要介绍双/多基地声呐的研究现状、基本概念和基本理论;第 3~6 章介绍双/多基地声呐定位的基本原理、几何定位算法和优化定位算法,并对各种算法的性能进行详细分析;第 7~8 章主要介绍多基地声呐的目标声散射特性以及水下目标声散射强度的实验测试结果;第 9 章对双基地声呐混响进行介绍;最后在第 10 章对双基地声呐在应用中的直达波抑制问题进行论述。

本书由陕西师范大学张小凤和张光斌合作完成。其中第 1~2 章、第 7~10 章由张小凤编写,第 3~6 章由张光斌编写。本书在编写过程中,参阅了国内外有关双/多基地声呐研究的学位论文和相关文献,并重点反映我国在双/多基地声呐领域的研究成果。中国船舶重工集团公司第七〇五研究所王明洲研究员系统地审阅了书稿,并提出了宝贵意见。在书稿形成的过程中,研究生周方、宋智广、姚育等负责了部分文字的校对工作。对于这些支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于学识和实际经验的局限,书中一定有许多不妥之处,期待读者批评与指正。

作 者

2013 年 8 月

目 录

序言

前言

第 1 章 双基地声呐概述	1
1.1 声呐的定义与结构	1
1.2 声呐的分类	1
1.2.1 按工作原理分类	2
1.2.2 按声呐的系统组成分类	2
1.3 收发分置声呐的系统配置	3
1.4 双/多基地声呐的特点	4
1.4.1 多基地声呐的结构特点	5
1.4.2 多基地声呐的技术特点	5
1.5 双/多基地声呐的研究历史及现状	7
1.5.1 国外研究发展状况	7
1.5.2 国内研究发展状况	11
第 2 章 双基地声呐方程	13
2.1 声呐方程的建立	13
2.2 主动和被动声呐方程	14
2.3 双基地声呐方程	16
2.3.1 双基地声呐的系统配置	16
2.3.2 双基地声呐方程	17
2.4 双基地声呐作用距离	19
2.4.1 噪声限制下的作用距离估计	19
2.4.2 算例	20
第 3 章 双基地声呐定位的基本理论	22
3.1 空间定位的基本原理	22
3.1.1 圆位置线定位	22
3.1.2 双曲线位置线定位	23
3.1.3 直线位置线定位	23

3.1.4 混合定位	24
3.2 双基地声呐定位原理	24
3.2.1 几何定位法	25
3.2.2 统计定位法	26
3.3 双基地声呐定位误差的表示方法	26
3.3.1 均方误差与均方根误差	26
3.3.2 平均定位误差	27
3.3.3 定位精度的几何解释	27
3.3.4 等概率误差椭圆	27
第4章 双基地声呐几何定位算法	29
4.1 双基地声呐的系统配置	29
4.2 影响定位误差的因素	30
4.2.1 基线长度	30
4.2.2 时间测量误差	30
4.2.3 角度测量误差	31
4.2.4 站址测量误差	31
4.2.5 声速波动	31
4.3 基于波达时间的定位算法	31
4.3.1 定位原理	31
4.3.2 定位误差分析	33
4.3.3 数值仿真	33
4.4 基于波达方向定位算法	37
4.4.1 算法原理	37
4.4.2 算法性能仿真	38
4.5 两种算法定位精度的比较	40
第5章 双基地声呐系统定位性能优化	42
5.1 信号参数估计方法	42
5.1.1 最小二乘估计	42
5.1.2 加权最小二乘估计	43
5.2 基于加权最小二乘的双基地声呐定位优化算法	45
5.2.1 算法原理	45
5.2.2 数值仿真	46
5.3 基于最佳线性加权数据融合的双基地声呐定位优化	52

5.3.1	最佳线性加权数据融合原理	52
5.3.2	基于最佳线性加权数据融合的定位优化算法	53
5.3.3	算法性能仿真	54
5.4	基于非线性最小二乘的双基地声呐定位优化算法	56
5.4.1	非线性最小二乘算法的数学模型	57
5.4.2	基于 LMF 的双基地声呐定位优化算法	58
5.4.3	LMF 算法定位性能仿真	59
5.5	基于神经网络的双基地声呐定位优化算法	61
5.5.1	径向基函数网络	61
5.5.2	双基地声呐定位的神经网络方法	63
5.5.3	算法性能仿真	64
5.6	优化算法定位性能的比较	65
第 6 章	多基地声呐系统定位	67
6.1	多基地声呐 TOL 定位算法	67
6.1.1	算法原理	68
6.1.2	定位误差分析	69
6.1.3	多基地声呐 TOL 算法的性能仿真	70
6.2	线性化最小二乘定位算法	74
6.2.1	算法原理	74
6.2.2	算法性能仿真	75
6.3	多基地声呐神经网络定位方法	77
6.3.1	多基地声呐定位的非线性模型	77
6.3.2	算法性能仿真	78
6.4	单、多基地声呐定位性能比较	79
第 7 章	多基地声呐水下目标声散射特性	81
7.1	水下目标声散射理论	81
7.1.1	运动方程	82
7.1.2	连续性方程	82
7.1.3	物态方程	83
7.1.4	声波方程和速度势	84
7.1.5	声波的散射	85
7.2	非入射方向球形目标的声散射特性	89
7.2.1	球形目标的声散射	89

7.2.2	仿真实验研究	91
7.3	非入射方向无限长柱的声散射	93
7.3.1	刚性柱	94
7.3.2	弹性柱	94
7.3.3	弹性壳体	96
7.4	有限长柱的声散射特性	97
7.4.1	变形柱方法	98
7.4.2	数值仿真	99
7.5	椭球目标声散射模型	101
7.5.1	声散射模型的建立	101
7.5.2	仿真实验研究	103
第8章	多基地声呐目标强度及实验测试	105
8.1	非入射方向目标散射特性实验测试	106
8.1.1	实验条件和仪器设备配置	106
8.1.2	水池实验布设	107
8.1.3	实验中的约定	108
8.2	球形目标声散射特性测试	108
8.3	椭球目标声散射特性测试	109
8.4	潜艇模型的声散射特性测试	111
8.4.1	非入射方向声散射波形的时域特征	112
8.4.2	非入射方向潜艇目标声散射强度的空间分布特征	116
8.5	实验测试结果分析	118
第9章	双基地声呐混响	119
9.1	混响的表征	119
9.2	混响的分类	120
9.2.1	体积混响	120
9.2.2	海面混响	123
9.2.3	海底混响	125
9.3	混响的统计特性	127
9.3.1	混响信号的概率密度分布	127
9.3.2	混响信号的相关特性	128
9.3.3	混响信号的频谱特性	129
9.4	混响的仿真模型	130

9.4.1 二维双基地混响模型	132
9.4.2 二维无指向性收、发分置混响平均强度	132
9.4.3 无指向性收发分置与合置混响平均强度比较	134
9.5 混响的抑制方法	135
第10章 双基地声呐的直达波抑制	137
10.1 直达波抑制区域	137
10.2 基于波形设计的直达波抑制	138
10.2.1 正交码	138
10.2.2 双基地声呐波形设计	140
10.3 基于自适应噪声相消技术的直达波抑制	146
参考文献	149
附录1	152
附录2	153

声呐是“sonar”一词的音译,意思是声学导航与测距。声呐的含义是利用水下声波来判断海洋中物体的存在、位置及类型的方法和设备。随着现代科技的发展,声呐的含义更加广泛,以至于凡是利用水下声波作为传播媒介,以达到某种目的的诸各种方法都是声呐。然而人们更习惯于将声呐理解为具体的设备,即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、测距、武器的射击指挥和对抗等方面的水声设备均属声呐这一范畴。

声呐装置一般由基阵、电子设备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、柱形阵、平板形阵或线列阵,有接收基阵、发射基阵或收发合置基阵之分。电子设备一般可发射、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、水下脐带缆和通信设备,与声呐基阵的传动控制相配套的升降、回转、俯仰、收发、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,是声能与其它形式的能如机械能、电能、磁能等相互转换的装置。换能器主要指两个用途:一是在水下发射声波,称为“发射换能器”,相当于空气中的扬声器;二是在水下接收声波,称为“接收换能器”,相当于空气中的传声器(俗称“麦克风”或“话筒”)。在实际使用时,换能器往往可同时用于发射和接收声波。专门用于接收声波的换能器又称为“水听器”。

1.2 声呐的分类

迄今为止,国内外已经使用或正在研制的声呐不下百种,为了在众多声呐系统中区分其用途、所用技术等,必须对其进行分类。与其他系统的分类一样,

第1章 双基地声呐概述

海洋占据着地球的大部分区域,发展海洋军事和经济意义十分重大,这是人们早已认识的事实。军事上,控制海洋是现代高科技战争成败的一个关键因素,对于沿海国家,海洋的重要性更加明显。在人们所熟知的各种辐射形式中,以声波在海水中的传播为最佳。在混浊和含盐的海水中,无论光波或电磁波的衰减都远大于声波的衰减,声波相对来说在海水中比较容易传播,因此在利用和开发海洋中,人们广泛使用声波。水声的应用构成了“声呐”这一工程科学,而以各种形式利用水声的系统称为“声呐”系统。

1.1 声呐的定义与结构

声呐是“sonar”一词的音译,意思是声学导航与测距。声呐的含义是利用水下声波来判断海洋中物体的存在、位置及类型的方法和设备。随着现代科技的发展,声呐的含义更加广泛,以至于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均属声呐这一范畴。

声呐装置一般由基阵、电子设备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、柱形阵、平板形阵或线列阵,有接收基阵、发射基阵或收发合置基阵之分。电子设备一般有发射、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,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。换能器主要有两个用途:一是在水下发射声波,称为“发射换能器”,相当于空气中的扬声器;二是在水下接收声波,称为“接收换能器”,相当于空气中的传声器(俗称“麦克风”或“话筒”)。在实际使用时,换能器往往可同时用于发射和接收声波。专门用于接收声波的换能器又称为“水听器”。

1.2 声呐的分类

迄今为止,国内外已经使用或正在研制的声呐不下百种,为了在众多的声呐系统中区分其功能、用途、所用技术等,必须对其进行分类。与其他系统的分类一样,

声呐系统也可以从各种不同的角度来进行分类。不同的两个声呐按某种分类方法属于同一类,而按另一种分类方法则可能又属于不同类别。因此,了解不同的分类方法可以从不同的角度来认识和评价声呐。

声呐系统分类方法很多,笼统地可分为军用和民用两类;按工作原理或工作方式可分为主动声呐和被动声呐;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;按工作性质分类可分为通信声呐、探测声呐、水下制导声呐和水声对抗声呐等;按照声呐的系统组成可分为单基地声呐、双基地声呐和多基地声呐。

下面重点讨论按声呐的工作原理和系统组成进行分类,并通过分类介绍各种声呐的主要特点。

1.2.1 按工作原理分类

按照声呐的工作原理,可以将声呐分为主动声呐和被动声呐。

1) 主动声呐

若声波是有目的地从系统中的发射器产生,则称这些声呐系统、设备或部件是主动的。声波由发射器发出后,经过海水传播到目标,然后以声呐回波的形式返回到水听器上,水听器将声能再转换成电能。水听器输出的电信号经过放大器和各种处理,最后传输至控制和显示系统,从而完成声呐的使命。因此,主动声呐是用来对目标进行回声定位的。

2) 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和意图。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。因此,被动声呐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。因而,被动声呐一般工作于低信噪比情况,需要采用比主动声呐更多的信号处理措施。

1.2.2 按声呐的系统组成分类

按照声呐系统的组成,可以将声呐分为单基地声呐、双基地声呐和多基地声呐。

1) 单基地声呐

传统的单基地声呐系统主要有主动声呐和被动声呐两种。有目的的、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。由于目标信息包含于回波之中,所以可以根据接收到的回波信号来判断目标的存在,并测量和估计目标的距离、方

位、速度等参数。而被动或听测声呐是利用目标辐射的声音来探测目标的。

现代作战系统中,用单基地被动声呐来检测目标的辐射噪声,用单基地主动声呐进行回声定位。两类声呐都可用于进攻和防御,但主动声呐较多地应用于水面舰艇,而被动声呐则较多地用于潜艇。

2) 双基地声呐

双基地声呐系统的收发设备分置,同时具有主动声呐和被动声呐的工作特点。在双基地条件下,声源(发射机)与接收设备是远距离分开的。声源向水中发射声脉冲,向空间辐射声能分置的接收机接收目标的散射回波。在这种情况下,可以把目标看成是被动工作方式的声源,接收机看成被动方式工作的声呐。在双基地条件下,传播损失是双程的,但声波所经历的两个传播距离、吸收因子是不同的。测向可以通过测量回波的反射方向来进行,而测距则是利用双基地声呐收发设备之间存在的几何关系,通过解算声呐定位方程,解得目标到接收机的距离。作为仅以被动方式工作的接收机,其位置是不易被目标发现的。因而,双基地声呐可以同时完成主动声呐和被动声呐的各项功能,具有单基地声呐无可比拟的优越性(Ainslie,2000)。

3) 多基地声呐

多基地声呐是在双基地声呐的基础上,通过增加发射和接收机的数目来提高系统的探测性能。对于多基地声呐,其收发装置也是分开一定距离的,单个(或多个)声源发射声波,多个接收机在不同位置接收目标散射回波,在声源、目标和接收机之间,存在复杂的几何关系。因为接收机被动工作,所以敌方无法测得接收点的准确位置,难以实现有效的对抗和规避。多基地声呐配置灵活多样,可根据实际可用的声呐平台,在满足一定的平台匹配的条件下灵活组合,配置成多种多基地声呐形式,如水面舰-自主水下航行器双基地模式、水面舰-潜艇双基地模式、水面浮标阵多基地模式、潜艇-岸基声呐网多基地模式等。因此,这种声呐系统具有隐蔽性能好、抗干扰能力强、配置灵活等优点,适宜机载声呐的应用,也非常适宜于舰-机联合探潜的应用。由于散射回波来自目标散射空间的 360° 全方位,可利用各个方向反射的能量探测目标,所以多基地声呐是未来对付安静型潜艇的有效手段之一。

1.3 收发分置声呐的系统配置

典型收发分置主动声呐的系统配置如图 1-1 所示。

图 1-1(a)是传统的单基地声呐系统配置,发射和接收机虽分开放置,但它们之间的距离比声波作用距离小得多,接收机所接收的声波主要来自目标的背向散射方向。这种配置是目前大多数声呐所采用的系统配置。

图 1-1(b)为典型的双基地声呐系统配置,是多基地声呐系统配置中最简单和最基本的一种。在这种几何配置下,一个声源发射声波,接收机布设在不同的位置接收目标回波。声源与接收机分开一定的距离,接收机所接收的目标回波主要来自声波的非入射方向。目前,国外对双基地声呐系统的研究表明,采用该系统进行水下监视,可以显著提高系统的探测距离。双基地声呐系统的定位精度明显高于同等条件下的单基地声呐系统。

图 1-1(c)是图 1-1(b)双基地声呐系统配置的进一步扩展,采用多部声源同时发射声波,接收系统也是由多部接收机组成。在这种配置下,多部发射机和接收机组成多基地网络系统,协同工作。这样的配置显著增加了作用面积,使系统的检测性能大幅度增强。同时,由于使用了分置的多个发射和接收源,目标潜艇的隐藏、规避、攻击能力更加复杂,声呐的隐蔽性和抗干扰性都得到显著改善。此外,当声源或者接收机是自主工作,并且和人工操作平台分开,这样的配置也保证了人工操作平台的安全。目前,这种多基地声呐配置已经相当普遍地应用于国外一些海军装备,同时还应用于石油和天然气的勘探中。

图 1-1(d)代表了一种对于单基地、双基地、多基地声呐概念变更的检测方式,这种配置主要是利用目标的前向散射声能来探测目标。前向散射的目标位于声源和接收机的连线上。这种配置的突出优点是:由于目标的前向散射强度较大,因而可以大大降低发射站的声波发射功率,使目标难以用降低目标强度的方法来进行规避,可有效提高声呐系统的检测概率。

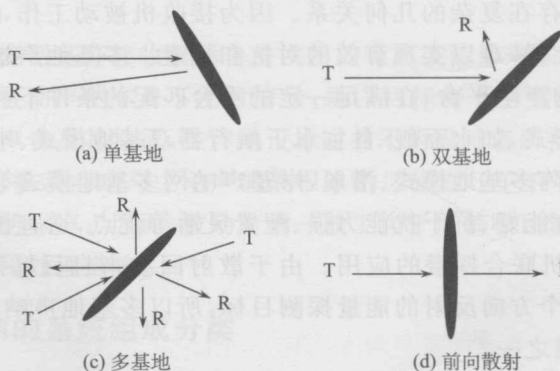


图 1-1 收发分置声呐的系统配置图

T 代表声源, R 代表接收机

1.4 双/多基地声呐的特点

与单基地声呐相比,双/多基地声呐的结构更加复杂,因而双/多基地声呐具有一些不同于单基地声呐的特点。

1.4.1 多基地声呐的结构特点

从自然特征上来看,双/多基地声呐主要具有以下几个特点。

(1) 接收机在各个不同的方位接收目标回波,回波来自目标散射的不同方向,即在多数情况下,目标回波来自声波的非入射方向。

(2) 由于收发分置的工作方式,测量数据的自由度和数据的冗余度增加,对于系统的信息处理能力有了更高的要求。

(3) 多个接收机共用一个或多个发射源,使系统的结构组成更加复杂。

1.4.2 多基地声呐的技术特点

双/多基地声呐除了在结构特性上不同于单基地声呐,在战术和技术方面,双/多基地声呐还具有以下几个特征。

1) 隐蔽性

声呐的隐蔽性指声呐工作时,被敌方发现的可能性大小。因敌方侦察声呐一般是根据发射信号的入射方向来发现目标的,所以,对于传统的单基地声呐,在1.5~2倍声呐作用距离内,被敌方发现的概率为

$$P_s = \sum_{k=1}^n C_n^k p^k (1-p)^{n-k} \quad (1.1)$$

式中, P_s 为扫过 n 次至少发现一次的概率; C_n^k 表示组合,即从 n 个不变元素中,任取 k 个元素并成一组; p 为敌方侦察声呐波束扫过一次发现工作声呐的概率。若 $n=3, p=0.9$,则被敌方发现的概率为99.9%。双基地声呐发射机被敌方发现的概率与单基地相同,但由于接收机是被动工作的,敌方无法侦察到它的准确位置,故检测概率为0。因此,双基地声呐的隐蔽性明显优于单基地声呐。

虽然双基地声呐与被动声呐都具有良好的隐蔽性,但双基地声呐的功能强于被动声呐。对于噪声很低的潜艇,被动声呐无法探测,而双基地声呐本身带有声源,是依靠目标的回波进行工作的,因而可对这些目标进行探测。通过合理地配置双基地声呐发射和接收机的位置,把发射站布设在比较安全的地方,接收站布设在离目标比较近的位置,不仅可以提高系统的工作能力,同时还可以大幅度增强声呐的隐蔽性能。

2) 抗干扰性

干扰通常分为有源干扰和无源干扰,有源干扰又可分为压制式干扰和欺骗式干扰。单基地声呐易于被敌方定位,因而容易受到敌方强方向性的压制干扰,如果干扰功率足够大,则干扰信号不仅可以通过接收基阵主瓣进入接收机,还可以通过副瓣进入接收机,使声呐在很宽的范围内不能探测目标。虽然副瓣抵消和自适应零点形成技术可以大大减少来自副瓣的干扰,但它无法解决在干扰方向上的目标

探测问题。采用双基地声呐,由于敌方无法探测到接收机的准确位置,接收基阵主瓣受到敌方强方向性干扰的可能性很小。敌方要干扰双基地声呐的接收机,必须展宽干扰扇面,这样会使干扰功率大大下降。因而,采用双基地的工作方式,可以有效地增强声呐系统的抗干扰能力。另外,当主动声呐发射的声脉冲引起潜艇的警觉时,潜艇将采取措施,尽量减小其目标强度。最典型的方法是将首尾方向对准声源方向,这样将有可能使双基地声呐接收单元收到的回波增强,从而提高了声呐系统的检测概率。

3) 探测范围和使用特点

双基地条件下,由于声源、目标和接收机构成了复杂的三角关系,声呐的探测范围为一椭圆。如果在声源处同样有接收机,则双基地声呐的存在将增加有关目标的信息量,有利于目标的分类和识别。虽然在有些位置,双基地声呐的定位精度可能低于单基地声呐,但当采用多部双基地声呐联合工作,组合成多基地网络时,多个接收站可以在不同的方向接收目标回波,所获得的目标信息量增加。同时,利用多站测量的目标在不同方位的信息进行融合,将会使系统的定位精度、目标识别能力得到显著提高。而且,在某些条件下,利用多接收站所测量的距离和方位信息,还可以估计目标的深度。

由于目标具有前向散射增强的特性,当双基地声呐系统采用前向散射的方式工作时,可以有效地提高声呐目标散射截面,使系统的探测性能在这种特殊的配置下大幅度增强。而且,由于接收机远离发射声源,混响强度降低,这一特性有利于近距离目标的检测、定位、跟踪和识别。

4) 声呐系统设计

在工程实现方面,多基地声呐系统有利于实现系统优化设计。由于收发分置,声呐系统在总体设计、参数选择、发射波形的设计上,具有了更多的、可供选择的自由度,这将有利于声呐系统性能的大幅度提高。例如,发射和接收基阵可以分开优化设计,独立实现,减少载体对尺寸、重量、空间等方面的限制,同时可以省去收发转接设备。双基地声呐接收到的回波信号是窄带信号,完全可以利用现有的有关窄带信号处理的技术,比被动声呐在信号处理上有更大的优越性。

5) 收发同步问题

为了完成对目标的定位,多基地声呐系统除了具有一般声呐的发射、接收声波和信号处理功能外,还必须解决收发之间的空间、时间和相位同步问题。首先是收发波束的空间同步扫描。由于收发装置分开很远的距离,如何在对空域扫描过程中保证收发波束同时照射到同一目标而又有好的数据率,将是多基地声呐研究的一个重要技术问题。其次,由于收发设备分置,各种设备处于不同的位置,如何为这些分置的设备提供统一的、高精度的时间基准,也比单基地声呐复杂,这就是时间同步问题,它是多基地声呐系统完成测距和波束扫描所必需的。再次,多基地声