

纪念《声学技术》创刊 30 周年特邀文章——

水声定位系统在海洋工程中的应用

孙大军¹, 郑翠娥¹, 钱洪宝², 李 昭¹

(1. 哈尔滨工程大学水声工程学院, 哈尔滨, 150001; 2. 21 世纪议程管理中心, 北京, 1000038)

摘要: 以海洋资源的勘探与开发为主要目的的大洋勘探、海洋开发以及海洋工程中, 广泛需要声学定位系统提供水下定位服务。以水声定位技术与系统为关注对象, 介绍了水声定位系统的国内外现状、技术发展趋势, 以及水声定位系统在海洋油气开发、海底矿石开采、未来海洋空间站以及海底打捞、勘探等作业中的应用需求, 并对影响水声定位系统性能的因素进行了分析总结。

关键词: 水声定位; 海洋工程; 发展现状

中图分类号: TB56 O427.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2012)-02-00125-08

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2012.02.003

The application of underwater acoustic positioning systems in ocean engineering

SUN Da-jun¹, ZHENG Cui-e¹, QIAN Hong-bao², LI Zhao¹

(1. College of Underwater Acoustics Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. The Administrative Center for China's Agenda 21, Beijing 100038, China)

Abstract: The underwater acoustic positioning systems are more and more widely used for providing positioning service in ocean engineering aiming at marine resources exploration and development. This paper focuses on the acoustic positioning technology and systems. Firstly it introduces the state of arts about such positioning systems and their development trend. Then the application requirements are illustrated in the aspects of ocean oil & gas exploitation, seabed ore mining, marine space station and seabed salvage. Finally the influence factors on the performances of underwater acoustic positioning systems are summarized and analyzed.

Key words: underwater acoustic positioning; ocean engineering; development status quo

0 引言

历经人类数百年的开采, 陆地油气、矿产资源在进入新世纪后日趋枯竭, 而海洋则以其丰富的油气矿藏成为人类获取能源与资源的“新大陆”。据统计: 世界石油可采储量 3000 亿吨, 其中海底石油 1350 亿吨; 世界天然气储量 255~280 亿立方米, 海洋储量占 140 亿立方米^[1,2]; 富含锰、铁、镍、钴、铜等几十种元素的多金属结核在 3500~6000m 深的洋底约有 3 万亿吨, 其中锰含量可供世界用 18000 年, 镍可用 25000 年; 由海底裂谷喷出的高温岩浆冷却沉积形成的热液矿藏富含大量的金属硫化物, 目前已发现 30 多处矿床, 仅美国在加拉帕戈斯裂谷储量就达 2500 万吨^[3]。因此各类以开采开发海洋资源为目的的海洋工程项目纷纷兴起。

目前对于水上目标的定位通常采用卫星技术为主的技术手段(GPS 系统、伽利略系统、北斗系统等), 辅以惯性及其它定位技术。当目标处于水下时, 由于水介质对无线电波的强烈吸收作用, 限制了卫星定位的应用。此时, 以声波作为信息载体的水声定位技术成为主要选择, 不但能完成对目标的定位、导航, 还能作为惯性定位导航技术的有效辅助校准手段。

水声定位技术最先应用于军事, 后由于海洋开发、勘探、资源开采的需求逐步应用于各类商用、民用工程^[4]。它能够提供海底勘查设备如 ROV (Remotely Operated Vehicle) 和 AUV (Autonomous Underwater Vehicle) 等重要的定位、导航和通信支撑。通过在水面工作船只、水下移动平台以及作业海区上加装和布放声学定位设备, 可实现水面对水下目标位置的实时监控、水面与水下平台的信息交互, 是海洋科学考察、海洋资源勘探、海洋资源开发、深海空间站建设等工程的必备手段^[5]。

收稿日期: 2012-01-08; 修回日期: 2012-02-28

作者简介: 孙大军(1972—), 男, 黑龙江人, 教授, 研究方向为水声探测、水下定位与导航、水声通信。

通讯作者: 孙大军, E-mail: sundajun@hrbeu.edu.cn

1 水声定位系统分类

根据定位系统基线长度以及工作模式的差别，一般将其划分为长基线系统、短基线系统和超短基

表 1 水声定位系统分类^[4]

Table 1 Sort of underwater acoustic positioning systems

定位类型	基线长度	简称
长基线	100~6000m	LBL
短基线	1~50m	SBL
超短基线	<1m	USBL/SSBL

线系统，如表 1 所示。

长基线系统由收发机和海底应答器阵组成，如图 1 所示。其定位通过测量载体到相对/绝对位置已知的海底应答器的相对距离，利用距离交汇的方法解算目标坐标。长基线定位系统能实现独立于水深的高精度定位，但其布阵、测阵与回收操作十分复杂、耗时，导致成本较高^[4,6,7]，通常用于局部区域的高精度定位。

超短基线由三只以上换能器组成固定位置关系的小型水面基阵与被定位应答器组成(如图 2 所示)。其定位根据测量目标的方位角与斜距进行定位^[4,6,7]。由于测量基阵载体存在运动摇摆，在实际使用中需要配合 GPS 与罗经等辅助设备。超短基线定位系统优点为短程定位精度高、尺寸小、重量轻、安装方便。其缺陷之处在于定位精度与斜距有

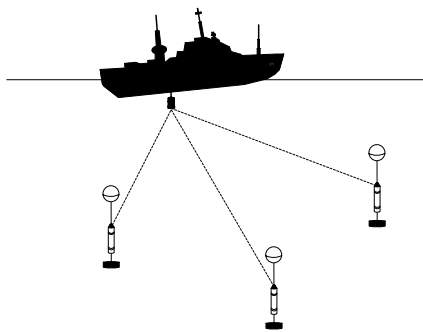


图 1 长基线定位系统
Fig.1 Long baseline positioning system

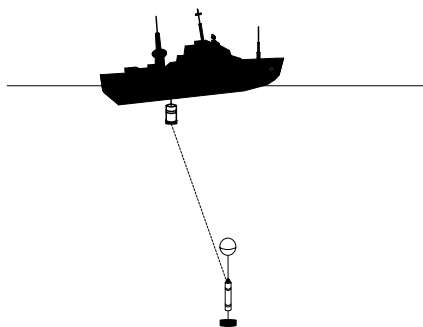


图 2 超短基线定位系统
Fig.2 Ultra-short baseline positioning system

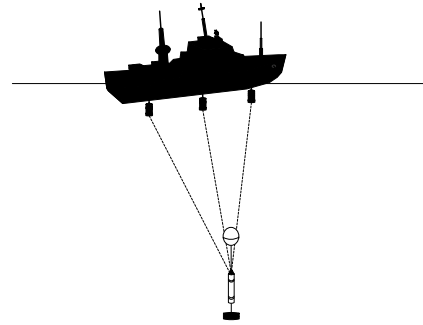


图 3 短基线定位系统
Fig.3 Short baseline positioning system

关，距离越远定位精度越低^[4,6,7]。

短基线定位系统原理与超短基线类似，但其阵元间距较超短基线稍大(如图 3 所示)。短基线利用各阵元测得的多个斜距值交汇得到目标的坐标。同样由于存在坐标系之间的偏差，需与外接辅助设备配合使用。短基线的定位远距离精度低于长基线，但优于超短基线；使用便捷度也处于两者之间^[4,6,7]。

2 国内外发展现状

国外水声定位技术较为先进，目前其定位系统已产品化、系列化。目前国际上主要的水声定位系统生产厂商主要有：法国 IXSEA、澳大利亚 Neutronic、挪威 Kongsberg、英国 Sonardyne、美国 LinkQuest 等，各公司均把海洋工程应用作为主要市场，对各自产品不断进行升级。

目前市场上主要的定位货架产品均使用了宽带定位技术，Sonardyne 更推出第二代宽带信号，测距精度达到厘米级，为系统高精度提供保证。

结合海洋工程对定位系统功能集成化的需求，各厂商纷纷推出了多功能/智能应答器。Sonardyne 公司的 Compatt 系列应答器除常规的传感器与释放机构外，还可加装声速、温度、倾角传感器，使其可测量信息更为多样^[8]。此外 Compatt 系列应答器内置声学 Modem，能以 6kbps 进行数据传输与指令交互^[8]。Kongsberg 公司的 MPT 应答器同样具备深度传感器、数据声通信以及释放功能^[9]。

在使用便捷化方面：IxSea 公司率先推出将罗经与声基阵一体化安装的 GAPS 超短基线系统，安装偏差由厂商预先标定，用户则享受“即装即用”的便利^[10]。Sonardyne 公司随后也将其 Lodestar 罗经与声基阵一体化安装，推出 Lodestar GyroUSBL 水面基阵与 GyroCompat 应答器^[8]。

为实现 LUSBL 系统，各厂商将自身的 USBL 与 LBL 技术结合，实现了 LUSBL 综合定位系统。而 IxSea 公司则将惯导系统与水声定位系统组合，



图 4 GPS 与 RAMSES^[10]
Fig.4 GPS and RAMSES

形成 PHINS-GAPS/ PHINS-RAMSES 定位系统(见图 4), 其在 AUV 的导航定位中性能出色^[10]。

我国只有少数机构在进行水声定位技术的研究, 由于人力、资金及市场需求的限制, 与国外的发展水平还有一定的差距。到目前为止, 没有成熟的产品, 大部分都只限于国外引进, 如综合海洋科学考察船“大洋一号”装备的就是 IXSEA 公司的 Posidonia 6000 定位系统^[11]。

上世纪 70 年代末, 在中国工程院院士杨士莪教授的带领下, 哈尔滨工程大学成功研制了我国第一套水声定位系统, 自此揭开了我国水声定位技术研究的序幕^[12]。

自“十五”以来, 在国家 863 计划的支持下, 水声定位技术得到长足的发展, 特别是哈尔滨工程大学的超短基线、长基线定位技术与装备和中船重工第七一五所的水下 GPS 定位技术, 已打破国外的技术垄断^[13,14]。

在“十五”国家 863 计划支持下, 哈尔滨工程大学与国家海洋局第一海洋研究所成功研制了“长程超短基线定位系统”, 于 2006 年 5 月在南海进行了深水定位试验验证。结果表明, 系统工作稳定可靠, 工作水深超过 3700m, 作用距离达到 8.6km, 并且具有水下动态目标跟踪功能, 其定位精度为 0.2%~0.3%斜距, 超出预定要求, 达到国际先进水平, 填补了我国在该技术领域的空白, 为满足水下探测和作业的高精度定位需求提供了技术储备。目前, 在国家 863 计划的重点项目“深海拖曳观测系统及其水下定位系统工程化”的支持下正在进行该项成果的工程化, 并拟于 2013 年底实现国产高精度深水超短基线定位系统在新建科考船“科学号”的装备服役^[15]。

3 水声定位技术的发展趋势

从国内外水声定位技术的发展现状中不难总结出水声定位技术与设备具备如下的发展趋势:

(1) 体制宽带化

宽带信号较传统的单频信号处理增益更高, 抗噪声性能更优, 更适合在海洋施工的高背景噪声条件下应用。同时宽带信号抗多途性能优良, 可分辨海底、海面反射的声信号, 提高系统数据有效率。宽带信号还提供了更多的接入地址, 增加了系统同时定位目标的个数, 减弱了系统之间的声学干扰。这为海洋油气开发中一个区域内多个单元同时施工提供了便利条件与技术支持。

(2) 功能集成化

现代的海洋工程作业中除了需要定位服务, 还需要传感器测量环境参数, 并利用数据传输手段完成数据或指令的交互。因而目前水声定位系统呈现出提供定位服务的同时, 附带了多种传感器设备, 并将释放器、数据传输功能集成化、一体化的趋势。如此在工程中选用一套设备即可同时满足定位与数据传输的需求, 并且避免了选用不同设备时的声兼容问题, 扩大了系统的应用场合。

(3) 操作便捷化

传统的 LBL、USBL 系统使用前均需要对水下/水面基阵进行标定校准, 流程复杂繁琐耗时, 增加船时的同时加大作业开销。对此, USBL 发展出“免校准”概念。而 LBL 阵型标定也采用了精度更高, 操作更为省时的相对阵型测量技术: 通过各应答器的主从设置, 控制应答器之间进行应答, 直接测量两两应答器之间的相对距离, 完成阵型的解算。如此大大简化了用户使用的流程, 提高了系统的实用性能。

(4) 系统组化

长基线定位系统的优点在于独立于深度的高精度定位, 其缺点在于系统复杂, 操作繁琐, 费用昂贵, 需要长时间的布放和回收应答器, 需要详细地对海底声基阵校准测量。由于长基线的上述缺点, 其应用不如超短基线广泛, 但它独立于深度的高精度定位性能在某些应用场景下是不可或缺的。为开发潜在的市场, 很多公司在超短基线定位系统上进一步开发了长基线定位功能, 即为 USBL/LBL 综合定位系统^[11], 这种联合式的定位系统集合了超短基线定位系统和长基线定位系统的优势, 既保证了独立于深度的高精度定位又兼有超短基线定位系统操作简便的特点。

4 海洋工程中的水声定位系统应用

目前海洋工程主要以油气资源开发、海底矿石

开采、海底空间站建设使用、海底物体搜索打捞等工程作为代表。本节将以这几类工程为例，介绍水声定位系统在海洋工程中的应用情况。

4.1 水声定位在海洋油气开采作业中的应用

深海海洋石油开采分为移动平台钻井、海底管线与海底开采平台安放施工、系统开采油气作业、停止开采封井四个阶段^[16]。

海底管线与开采平台系统安放施工主要包含三类作业：管线铺设、水下结构物的沉放、跨接管长度的测量与安装^[16,17]。深水区域的管线测量一般使用水面支持船搭载 USBL 对沿管线行进的 ROV 实时定位，如图 5 所示^[18]。通过定位系统对 ROV 载应答器定位测绘管线的实际水平位置与走向，据此调节铺管船的航向，减小实际管线与设计偏差。

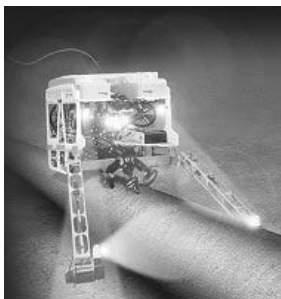


图 5 ROV 测绘布放管线^[18]
Fig.5 ROV mapping for pipeline

管线铺设完成后需要获取管端基盘(PLET)的大地绝对位置，在作业中将使用 LBL 定位系统。水下结构物的安放包括管汇基盘(PLEM)、管汇(Manifold)与水下分配基盘(SDU)等的安放作业^[16,17]。作业中首先沉放 3 种水下结构物的底座，随后在声学定位系统的引导下完成顶层结构与底座的对接^[16,17]，作业中使用了 LBL 定位系统。作业中通过水下基阵对安装在水下结构物的应答器进行声学定位，据此测量安装过程中结构物的大地绝对位置以及方位角。

为避免管线铺设以及水下结构安装产生的误差，水下结构物之间通过测量两者接口之间实际距离后选用匹配的跨接管完成衔接^[16,17]，如图 6 所示^[8]。

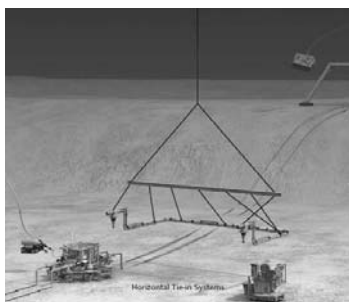


图 6 跨接管的对接安装^[8]
Fig.6 Jumper installation

接口之间相对距离的测量同样依靠声学定位系统完成。作业时一般在两个接口上分别安装声学应答器。通过两者的相互应答解算应答器之间信号的传播时延，再通过声速传感器获取现场声速即可估计接口之间的相对距离^[8]。

4.2 水声定位在海底矿产资源开采中的应用

深海矿藏开采系统则需要定位系统提供处于深水工作单元的位置与状态信息。

深海锰结核开采系统主要由集矿、扬矿、水面采矿船和测控动力四个子系统组成^[19]，如图 7 所示。水声定位导航设备属于测控系统的一部分^[19-22]。水声定位导航设备主要用于测量集矿机的运动状态。要求水声定位设备能够准确测量集矿机运动方向、运行速度、运行轨迹、沉浮及偏转情况，为水面监控人员判断集矿机是否沿既定路线行进采集提供信息^[19]。

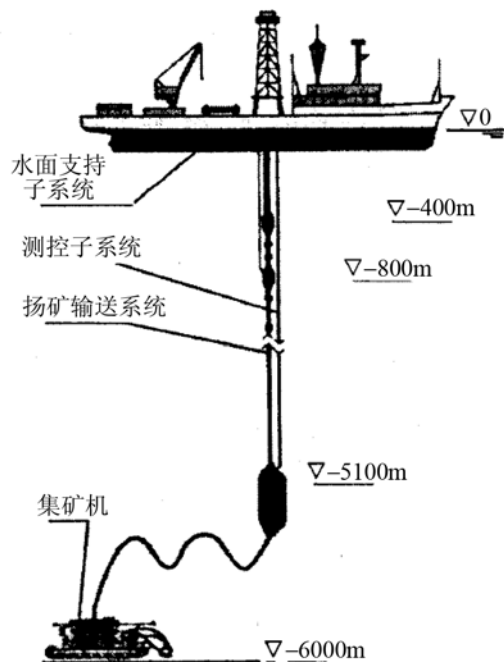


图 7 深海锰结核开采系统组成^[19]
Fig.7 Seabed manganese mining system

热液矿床开采系统与锰结核类似。美国采用在采矿船下拖一根数千米长的钢管柱，然后利用真空抽吸装置和细矿管将软泥矿吸到采矿船上的方式采集^[21-25]。水面仍需要通过水声定位系统对深水矿石采集设备进行位置的监视、跟踪与控制。

4.3 水声定位在深海空间站的应用

鉴于深海资源开采需要合适于深海条件的特殊开采手段，深海空间站的概念应运而生。空间站能为深海能源的勘探与开采技术研究提供有效的实验平台，可作为水下作业与控制中心携带相应的作

业模块,实施深海资源的试验性开采工程作业^[26,27]。美国正在酝酿世界上第一个深海生活-工作实验室——海洋大气海底综合研究基地^[26]。而法国 2009 年也提出了自己的新型海洋空间站——海洋科学考察船,如图 8 所示^[28]。



图 8 法国海洋空间站示意图^[28]
Fig.8 France sea space station

由于深海环境恶劣,空间站的日常维护、物资运输、科学考察等工作都需要 ROV、AUV 等无人或载人潜器代替人力的直接参与。这就要求空间站能够对其附属的各只潜器的位置进行实时监控。通过水声定位系统对各只潜器进行同时的定位,使得监控中心与潜器自身都能够有效实施导航;通过高速率的水声通信系统完成空间站—潜器、潜器—潜器之间的信息交互,实现空间站工作区域的数据共享与一体化。因而水声定位与通信系统不但对深海工作站作业起着引导监控的作用,更为其作业安全性提供了有力保障,是深海空间站不可或缺的重要组成部分。

4.4 水声定位在其他海洋工程中的应用

在海洋科学考察、海底残骸打捞中对水声定位系统同样有着迫切的应用需求。

由于研究海洋生物、海洋地质、海底地貌的需要,ROV/AUV 等水下潜器被广泛应用于生物、矿石的采样,海底环境信息采集与地形扫面勘探之中。为监测引导 ROV/AUV 的行进路线,必须在水面母船上加装水声定位系统。英国南安普顿海洋中心(SOC)就为其 Isis 号 ROV 配备了 Fusion 定位系统,并于 2007 年 1 月出色地完成了南极半岛科学考察任务^[29]。海底沉船或失事飞机残骸的搜索打捞作业中必须动用 ROV 或 AUV 对失事区域进行大范围搜索,同样需要水声定位系统提供定位导航服务。挪威为其“SEABED WORKER”号船装配了 HiPap100 高精度定位系统,并于 2011 年完成法航空客 A330-200 失事飞机残骸搜索作业,最终成功发现了失事飞机的残骸^[30]。

5 水声定位技术问题

结合以上水声定位系统在实际工程中的应用情况以及多年来对水声定位系统的研制、使用经验,总结出影响水声定位技术性能的因素主要包括:需求因素、平台因素、环境因素、设备因素 4 个方面。

5.1 需求因素

大洋勘探作业、海底矿藏开采、海洋油气开发等一系列海洋工程均存在对水声定位系统的广泛需求。但定位系统应用背景、服务对象的不同导致了工程中对定位系统需求的差别,在实际使用时体现为:绝对/相对定位、高/低精度定位、同步/非同步定位、单目标/多目标定位等等。定位需求的不同也对定位系统的设计研制提出了不同的要求。

相对/绝对定位是指水声定位系统提供目标在相对坐标系或大地绝对坐标系的位置信息。水下对接作业的需求为获取两目标间的实时位置信息,据此调整某一目标位置完成作业。此时定位系统只需提供目标的相对位置信息就能满足需求。然而在大洋勘探中需要记录采集样本的大地绝对位置,为后期的矿产开发与采集提供参考,则要求定位系统将相对坐标下的定位信息转换到绝对坐标。此时将在水声定位系统中引入 GPS、罗经等设备,在其辅助下获取定位基线参考的大地绝对坐标。

施工精度是海洋工程中的关键要素,其对水声定位系统的种类以及定位精度均提出要求。管线对接、水下结构物的安装等高精度操作往往要求亚米级的施工精度,对定位系统的定位精度要求极高,因而实际中往往采用长基线定位系统提供服务;而海底管道路由测量精度要求为几十米级,相对而言对定位精度要求较低,采用超短基线系统即可满足需求。在高精度定位的需求下,不仅要求水声定位系统具备高精度的声学测向、测距水平,还要求对定位过程的系统误差进行高精度的标定与修正。因而定位精度的需求直接关系到系统的信号处理性能与误差控制水平。

水声定位可以通过平台上定位系统与被定位目标上安装的应答器之间问答,确定两者之间的相对关系;也可以控制定位系统与应答器依据相同的时钟进行收发,从而完成定位。以上两种系统工作模式即为非同步/同步定位。同步定位需要水声定位系统的不同子单元具有稳定精确的时钟源。如此一方面增加了系统的硬件与能源开销,另一方面时

钟单元的偏差则会引入新的系统误差。而非同步定位采用外部声触发,虽然省去了时钟源,但对声学触发信号的检测判决又提出新要求。可见,采用同步/非同步定位对系统的硬件、软件结构存在不同的要求,在系统的设计中必须加以考虑。

单目标/多目标定位对定位系统的信号体制、信号处理流程要求不同。单目标定位仅需要发射、接收并检测一种信号即可。而在多目标定位中,需要对各目标间的信号形式进行设计,采用频分/码分等方式对不同目标加以区分。此时不同目标信号之间的干扰问题必须加以考虑。同时,信号处理单元对多个信号的同时检测估计能力也是制约系统性能的关键:能否同时准确地解算不同目标的时延、方位信息;处理的实时性能否满足定位服务对象要求等问题都成为多目标水声定位中的难点,需要通过系统硬件资源、软件流程的针对性设计加以解决。

5.2 平台因素

水声定位系统安装平台也是影响定位性能的主要因素之一。

安装平台运动速度的影响。平台运动导致的定位信号多普勒频移会降低信号检测估计的性能,引起系统的定位误差^[31];同时运动产生的水流噪声会降低信号接收端的信噪比,增加接收信号的估计误差,过大的流噪声甚至会造成无法定位的情况^[32]。因而针对高速运动的平台必须对定位系统的信号形式以及导流设施进行针对性的设计。

安装平台噪声的影响。当水声定位系统的安装平台振动产生噪声时,同样会影响定位系统工作。安装平台的动力系统附近由于存在电机、油机等设备的机械运转与振动,会产生较大的振动噪声^[32]。当定位系统安装于动力系统附近时振动噪声就会通过其安装机构传导到接收基元中,降低接收信号信噪比。因而定位系统在实际安装时,一般选择远离发动机的位置,并对定位系统进行必要的减震隔振设计。

安装平台上其他设备干扰的问题。如果定位系统的安装平台上存在其他的声学探测设备,不同设备间发射的声信号会造成相互干扰。以深海声学拖体为例,其上装有测深侧扫声纳、浅地层剖面声纳、超短基线定位系统等多种设备。一种设备的发射信号对其他设备而言是噪声干扰,在实际中必须通过设备工作时序的安排,信号形式的选择解决多设备平台上的声兼容问题。

5.3 环境因素

海洋环境复杂多变,水体中声速的深度分布、

环境噪声以及水体的混响都会对声学定位系统造成影响。

水声信道具有时变、空变、频率选择等特性,可引起接收端声信号的畸变^[33]。由于信道的时变特性,造成定位系统测量存在时间上的起伏,降低了定位结果的精度。信道的频率选择特性则有可能将定位信号中的某些频率衰减,影响接收端信号的检测与估计性能,甚至造成系统的无法工作。不同水域下信道的空变特性会对系统的作用距离等指标产生影响。同时,水中温度、盐度、压力的变化会引起水中声速梯度变化,造成声线的弯曲,引入定位结果的偏差。

水体中的噪声与平台噪声同样是定位系统的干扰源之一。海洋中的潮汐与波浪作用、地震扰动、湍流影响、繁忙航道上的行船噪声、热噪声以及海洋生物噪声等共同作用构成了海洋环境噪声^[31,33]。为了保证接收端良好的信噪比就必须通过加大声源级,成阵处理,使用宽带信号等一系列的技术手段抑制噪声,提高信号声级。

水体中不均匀的散射体会对定位系统的发射信号造成散射,在接收端形成混响干扰影响系统作业^[32]。过强的混响会同样降低接收端的信噪比,降低定位系统的信号检测性能,并会引起虚警现象。因而定位系统的抗噪声、抗混响能力在面对复杂的工程环境中,对保障系统的正常工作尤为重要。

5.4 设备因素

设备因素则包括水声定位系统自身性能以及外部辅助设备性能两方面。

水声定位系统自身性能主要体现为系统的信号处理能力,体现为定位系统的测距、测向精度,并直接影响系统的声学定位精度。通过采用宽带信号体制、声学基阵成阵设计等手段提高接收端信噪比;通过合理的信号检测软件流程设计提高信号检测概率,降低虚警概率,提升系统的稳健性;通过科学的硬件设计降低系统电路噪声,保证设备的稳定性,都是提升水声定位系统自身性能的手段。

外部辅助设备性能对水声定位系统的整体性能同样关键。以超短基线定位系统为例,其外部辅助设备包括 GPS 与罗经。罗经、GPS 的测量误差均会造成相对坐标-绝对坐标转换偏差,最终体现为系统的定位误差^[11,34]。此外,用于获取水体声速剖面进行定位声线修正的 SVP 或 CTD 设备也是外部测量误差源,其测量误差是造成声线不完全补偿的因素之一。

综合以上四个方面影响水声定位系统定位性

能的因素 1 可见,水声定位系统的设计与研制涉及到多学科的知识,需要对多方面因素加以考虑与权衡,保证工程中系统以良好状态为相关需求提供定位服务。

6 展 望

水声定位系统为海洋工程的对接、建造、安放、载体引导等环节提供定位导航服务,贯穿了海洋工程作业的始末并发挥着重要作用。同时应当看到,目前世界上应用于海洋工程领域的水声定位系统,无论在设备上、技术上还是在应用市场上均被国外垄断。而我国水声定位技术与设备与国际先进水平仍存在较大差距,致使我国各种海洋工程中的声学定位设备完全依赖于进口。尽管国外已有一些相关技术和产品,但仍无法满足水声上级总体专业与用户进行高端研发与集成的需要。特别是由于成本、交易壁垒及售后服务等因素的存在,因此发展水声定位技术仍应坚定地立足国内,同时放眼世界。由于中国海域特点和海上科考资源有限的瓶颈,水声技术的发展需要多方、多专业的理解与支持,尊重彼此专业,平衡与协调各种资源,制定科学的研究计划,特别是应用研究计划。相信水声定位高技术会在各方支持和爱护下取得飞速发展,它的发展也将对相关专业发展及应用层面取得进步提供新的解决思路与方案。

参 考 文 献

- [1] G Berger. World offshore oil & gas production has risen steadily[J]. *Oil & Gas Journal*, 2004, **102**(14): 30-32.
- [2] 胡志鹏. 积极迈进世界深海油气勘探的新时期[J]. *中国石油化工经济分析*, 2006(23): 62-65.
HU Zhipeng. Actively move into the new era of the world's deep-sea oil and gas exploration. *Petroleum & Chemical*[J]. 2006 (23): 62-65.
- [3] 王诗成. 21 世纪海洋科技战略研究[EB/OL]. <http://qd.people.com.cn/GB/channel24/200308/21/1237.html>. 2003.
WANG Shicheng. Research on ocean science and technology strategy for 21C. [EB/OL] <http://qd.people.com.cn/GB/channel24/200308/21/1237.html>. 2003.
- [4] 田坦. 水下定位与导航技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 1-5.
TIAN Tan. Underwater positioning and navigation technology[M]. Beijing. National Defence and Industry Press, 2007: 1-5.
- [5] 孙东磊, 赵俊生, 柯泽贤, 郭忠磊. 当前水下定位技术应用研究[C]// 中国测绘学会海洋测绘专业委员会第二十一届海洋测绘综合性学术研讨会论文集. 178-181.
SUN Donglei, ZHAO Junsheng. Underwater positioning technology applied research[C]// Marine surveying and mapping a comprehensive Conference. 178-181.. 2009
- [6] 韩健, 姚武军, 宋建强. 水声定位在平台动力定位中的发展和现状[J]. *舰船科学技术*, 2009, **31**(10): 7-10.
- [7] HAN Jian, YAO Wujun, SONG Jianqiang. The development and the status of acoustic positioning in the platform dynamic positioning[J]. *Ship Science and Technology*, 2009, **31**(10): 7-10.
- [7] 吴永亭, 周兴华, 杨龙. 水下声学定位系统及其应用[J]. *海洋测绘*, 2003, **23**(4): 18-21.
WU Yongting, ZHOU Xinghua, YANG Long. Underwater Acoustic Positioning System and its Application[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2003, **23**(4): 18-21.
- [8] 英国 Sonardyne 公司. Sonardyne 公司官方网站[EB/OL]. www.Sonardyne.com. 2012.
Britain Sonardyne Company. Sonardyne Company official network[EB/OL]. www.Sonardyne.com. 2012.
- [9] 挪威 Kongsberg 公司. Kongsberg 公司官方网站[EB/OL]. www.Kongsberg.com. 2012.
Norway Kongsberg Company. Kongsberg Company official network[EB/OL]. www.Kongsberg.com. 2012.
- [10] 法国 IxSea 公司 IxSea 公司官方网站[EB/OL]. www.IxSea.com. 2012.
France IxSea Company. IxSea Company official network[EB/OL]. www.IxSea.com. 2012.
- [11] 郑翠娥. 超短基线定位技术在水下潜器对接中的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学. 2008.
ZHENG Cuie. Application of USBL Positioning Technology on Underwater Submersible Interfacing [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2008: 39-46.
- [12] 哈尔滨工程大学. 水声先驱船海骄子——三海院士杨士莪[EB/OL]. http://uzone.univs.cn/news2_2008_115940.html. 2012.
Harbin Engineering University. Underwater acoustic forerunner: Yang Shie academician [EB/OL]. http://uzone.univs.cn/news2_2008_115940.html. 2012.
- [13] 马晓民. 水下 GPS 系统的设计与仿真[J]. *海洋测绘*, 2001(4): 41-44.
MA Xiaomin. Design and simulation of underwater GPS system[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2001(4): 41-44.
- [14] 秘金钟, 章传银, 高星伟, 等. 水下 GPS 系统的时间同步标定研究与试验[J]. *测绘科学*, 2007, **32**(3): 36-37.
MI Jinzhong, ZHANG Chuanyin, GAO Xingwei, et al. Research on time synchronization calibrating in underwater GPS system and its experiment[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2007, **32**(3): 36-37.
- [15] 钱洪宝, 孙大军. 水声定位系统现状[J]. *声学技术*, 2011, **30**(3): 389-391.
QIAN Hongbao, SUN Dajun. The status quo of underwater acoustic positioning systems[J]. *Acoustic Technology*, 2011, **30**(3): 389-391.
- [16] 张喜顺, 李敬元, 张向华, 等. 深海石油钻采技术[J]. *石油钻采工艺*, 2009, **31**(2): 39-43.
ZHANG Xishun, LI Jingyuan, ZHANG Xianghua, et al. Deep-water petroleum drilling and production technology[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2009, **31**(2): 39-43.
- [17] 金秋, 张国忠. 世界海洋油气开发现状及前景展望[J]. *国际石油经济*, 2005, **13**(3): 43-57.
JIN Qiu, ZHANG Guozhong. International petroleum economics[J]. *World Offshore Oil and Gas Development Status and Prospects*, 2005, **13**(3): 43-57.
- [18] 英国 SEAEYE 公司. SEAEYE 公司 ROV 设备介绍[EB/OL]. <http://www.seaeye.com/cougar.html>. 2012.
Britain SEAEYE Company. SEAEYE Company ROV introduction [EB/OL]. <http://www.seaeye.com/cougar.html>. 2012.
- [19] 邹伟生, 黄家桢. 大洋锰结核深海开采扬矿技术[J]. *矿冶工程*, 2006, **26**(3): 1-5.
ZOU Weisheng, HUANG Jiazhen. Lifting technology for mining deep-sea manganese nodule[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*

- neering, 2006, 26(3): 1-5.
- [20] 赵昱东. 海底锰结核开采工艺设备浅析[J]. 四川有色金属, 1992(1): 32-36.
Zhao Yudong. Seabed manganese nodule mining process equipment Analysis[J]. Sichuan Nonferrous Metals, 1992(1): 32-36.
- [21] 倪国江. 海洋资源开发技术发展趋势及我国的发展重点[J]. 海洋技术, 2009, 28(1): 133-136
NI Guojiang. Development in Marine Resources Development Technology and China's Strategic Focus[J]. Ocean Technology, 2009, 28(1): 133-136
- [22] 阳宁, 陈光国. 深海矿产资源开采技术的现状与发展趋势[J]. 凿岩机械气动工具, 2010(1): 12-18.
Yang Ning, Chen Guangguo. The status and development trend of the deep-sea mineral resources mining technology[J]. Drilling Machines Pneumatic Tools, 2010(1): 12-18.
- [23] Maggie L Merrill. The future is now for Deep Sea Mining[J]. Marine Technology Reporter, 2007(1): 22-29.
- [24] Neptune Minerals. Oceans of Opportunity in Minerals Exploration: Neptune Minerals Annual Report[R]. Neptune Minerals, 2008.
- [25] 国防科技信息网. 美国的深海空间站计划 [EB/OL]. <http://www.dsti.net/Special/NewsView/124>. 2009.
National defence science and technology information network. American deep sea workstation plan[EB/OL]. <http://www.dsti.net/Special/NewsView/124>. 2009.
- [26] 曾恒一. 开发深海资源的海底空间站技术[C]// 应用力学进展. 祝贺郑哲敏先生八十华诞应用力学报告会——应用力学进展论文集. 2004.
ZENG Hengyi. The Technology of Sub-sea Workstation for Exploiting Deep Water Resources[C]// Applied mechanics. 2004.
- [27] 曾恒一, 李清平, 吴应湘. 开发深海资源的海底空间站技术[J]. 中国造船, 2006, 47(增刊): 1-8.
ZENG Hengyi, LI Qingping, WU Yingxiang. The Technology of Sub-sea Workstation for Exploiting Deep Water Resources[J]. Ocean Engineering, 2006, 47(supplement): 1-8.
- [28] 百度百科. 海洋空间站 [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/3060235.htm>. 2009.
Baidu. Ocean space station[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/3060235.htm>. 2009.
- [29] NOC and the University of Southampton. ISIS 号 ROV 在南极半岛的科学考察活动 [EB/OL]. http://www.noc.soton.ac.uk/nmf/sea_sys_index.php?page=isis. 2007.
NOC and the University of Southampton. ISIS ROV scientific review in Antarctica peninsula. [EB/OL]. http://www.noc.soton.ac.uk/nmf/sea_sys_index.php?page=isis. 2007.
- [30] Pyramid Media Group. SEABED WORKER 参与法航 A330-200 失事飞机残骸搜索 [EB/OL]. www.thefreelibrary.com/Company+Watch+-+Airbus.-a0227406221. 2010.
Pyramid Media Group. SEABED WORKER searched French A330-200 aircraft wreckage. [EB/OL]. www.thefreelibrary.com/Company+Watch+-+Airbus.-a0227406221. 2010.
- [31] 田坦, 刘国枝, 孙大军. 声纳技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2000: 19-27.
TIAN Tan, LIU Guozhi, SUN Dajun. Sonar Technology[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press. 2000: 19-27.
- [32] 刘伯胜, 雷家煜. 水声学原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1993: 101-113, 187-210, 213-236.
LIU Bosheng, LEI Jiayu. Principles of underwater acoustics[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 1993: 101-113, 187-210, 213-236.
- [33] 惠俊英, 生雪莉. 水下声信道(第二版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 37-40.
HUI Junying, SHENG Xueli. Underwater acoustic channel[M]. Beijing. National Defence and Industry Press, 2007: 37-40.
- [34] 喻敏. 长程超短基线定位系统研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学博士论文. 2006: 69-91.
YU Min. Research on Long Range Ultra Short Baseline System[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2006: 69-91.