

水声导航、定位技术发展趋势探讨

孙大军, 郑翠娥*

(哈尔滨工程大学 水声工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:水声导航、定位技术在海洋科学和海洋工程中有着广泛的应用,近年来已逐渐向高精度、多传感器、多手段融合的方向发展。本文以导航、定位声纳的发展为关注对象,概述了水声导航、定位技术在技术前沿上的发展状况,提炼出其技术发展趋势,并介绍了水声导航、定位技术的应用前景。

关键词:水声;导航定位;技术趋势

中图分类号:TB56;O427.1

文献标志码:A

文章编号:1003-2029(2015)03-0064-05

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”^[1]。各类以开采开发海洋资源为目的的海洋调查、勘测、工程及其后期保障等一系列项目也纷纷兴起^[2]。由于海水对光线的强烈吸收特性,声音成为水下探测、识别与信息传递的主要手段。以水下声学测距/测向为手段,通过距离/方位为基本信息确定水下目标坐标的水声定位系统作为水面 GPS 定位技术在水下的延展,已经成为海洋工程中常用的支持设备之一。海洋作业中各种水下结构物的位置测量,使用的各种水下 AUV、ROV 的勘察作业,实施的各类对接、安装、回收操作均需要水声定位系统提供定位服务,因而水声定位系统在海洋探测与作业中得到了广泛的应用。

1 水声导航、定位技术发展现状

1.1 国际发展现状

随着学科呈现交叉发展的趋势,水声定位、导航技术的发展也已经打破了以往单一声学测量的局限模式,而逐步走向多信息、多技术的融合。

水声定位与惯性导航集成技术的发展,由惯性

导航系统(INS)、多普勒导航系统(DVL)以及声学定位导航(APS)系统三者构成的组合导航已经成为主流的导航作业模式。在 APS 覆盖范围以外 INS+DVL 的组合减低惯性导航的时间漂移缺陷,提高无 APS 情况下的导航准确度。进入 APS 的定位覆盖范围内后,通过定位系统提供的准确绝对位置输入消除 INS+APS 的精度漂移。该项技术最早由欧美多家研究机构与高等院校提出^[3],发展至今已经成为国际水声导航的热点研究方向,各水声定位设备生产商均推出其声学定位设备与惯导组合应用的使用方式,如法国 IXBLUE 公司(由 IXSEA 公司更名而来)在其 Ramses 定位系统中使用 APS+INS 的方式在 130 km 的导航中将误差控制在 14 m 以内^[4];挪威 Kongsberg 公司将此技术应用于旗下各型 AUV 的导航中^[5]。

INS 与超短基线的组合也成为该声学设备的主流发展方向。IXBLUE 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^[4]。Sonardyne 公司随后也将其 Lodestar 罗经与声基阵一体化安装^[6]。如此不仅使用户摆脱了复杂的安装误差校准作业,还通过具备专业知识的原厂技术人员的前期参与直接提升了系统在使用中的定位精度。

收稿日期 2015-03-10

基金项目 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA091401) 国防基础科研资助项目(B2420133002)

作者简介 孙大军(1972-)男,博士,教授,主要研究方向为水声定位和水声探测。E-mail: sundajun@hrbeu.edu.cn

通讯作者 郑翠娥 E-mail: zhengcuie@hrbeu.edu.cn

水声定位成为潜器引导技术的新方向,近年来针对海底观测网及海底空间站的需求,AUV对接技术成为近年海洋作业中的热点,其中潜器对接的声学引导与位姿测量技术是其关键技术。目前该项技术处于研发阶段,国外各学术机构均在展开研究。如美国 Woods Hole 海洋研究所就在 REMUS AUV 艏部安装超短基线,成功地进行了外场对接试验^[7]。挪威 Kongsberg 公司初步尝试利用单只声信标与惯性系统对其 HUGIN AUV 进行水下对接过程中的远距离声学引导^[5]。

海洋工程中水声定位用户容量大大提升。近年随着水声宽带信号技术的突破,水声定位导航可同时服务的用户数迅速增长。如英国 Sonardyne 公司目前采用其第六代宽带信号技术,已经在其产品宣传中号称在其系统覆盖范围内提供无限多的用户数量,处于世界领先水平^[5]。用户数量的提升为水声定位多小区协同工作提供了可能,能够实现海洋石油开发中的作业小区同时作业,并且可在海底长期作业区域或资源勘探区域大范围密集布放长期提供定位、导航服务的水声定位系统,为海底资源勘探随时提供定位服务。

在测量技术方面水声定位精度日益提高。目前,欧洲发达国家的水声定位设备生产厂商已经具备系列化、产业化、成熟化的水声定位导航货架产品,其超短基线定位系统最优声学定位精度优于距离的2%(英国 Sonardyne Ranger2、挪威 Kongsberg Hipap、法国 Ixsea GPAS),长基线与综合定位系统定位精度达到米级(英国 Sonardyne Ranger2、挪威 Kongsberg Hipap、法国 Ixsea Ramses)。美日两国的科研院所与高等院校虽然不专注于定位系统的研发,但其静态水声定位精度已经达到厘米量级^[8-12](美国 Scripps 海洋研究所、日本京都大学等),并成功应用于海底大地板块位移的测量与监测中,先后测量了2005年智利地震、2011年日本海底地震后海底板块的明显位移^[13-14]。

水声设备与多传感器的组合应用。水声定位货架产品开始不断集成其他设备实现功能的扩容与实用中的便捷。如 Compatt 系列、MPT 系列应答器除常规的传感器与释放机构外,而还可加装声速、温度、倾角传感器,使其可测量信息更为多样^[6]。除了罗经/INS 与超短基线声学基阵的集成外, Sonardyne 公司随后也将其 Lodestar 罗经与声学应答器一体化安装,推出 GyroCompatt 应答器,借助其数据传输功

能,目前大量应用于水下平台姿态方位的测量中。

1.2 国内发展现状

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。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发展,部分技术初步具备产业化的条件。

在“863”计划的支持下,超短基线、长基线定位技术与装备和中船重工第715所的水下GPS定位技术,已打破国外的技术垄断。超短基线定位技术已经达到应用阶段,可以推广进行产业化,技术成果方面目前已装备了“大洋一号”船、“科学”号船和“向阳红09”船^[15],在执行科考任务中发挥了重要的作用。长基线技术方面开展了“海洋6”上的应用性研究,预计近期可进行自有技术的验证,综合定位系统技术的关键技术攻关已完成,未来将会应用于4500m国产化载人潜水器研制计划中。水下GPS已完成湖上验证,正在积极攻关浅海多目标精密水下跟踪和定位以及2000m水深的精密水下定位关键技术问题。

2 水声导航、定位技术的发展趋势

随着世界各国对海洋开发监测的重视,各国对海洋装备设备的投入不断增加,水声定位与导航技术的发展迎来了新的机遇期。当前,国际上水声定位与导航技术的发展趋势主要体现在下列5个方面。

2.1 水声定位系统集成惯导

主要包含超短基线集成惯导技术和长基线集成惯导技术。超短基线集成INS,解决超短基线繁琐的校准问题。传统USBL系统使用前均需要标定工作,增加了作业的复杂度,近两年由法国IXSEA首推的USBL“免校准”概念,即超短基线基阵内集成INS部件,只需在出厂前进行预标定,客户使用免标定,同时降低了安装的要求,极大地方便了用户使用。目前各大公司的超短基线都已逐步采用了该设计理念。长基线定位集成惯导,提升定位性能。随着深海勘探任务从锰、钴结核发展到寻找热液等,对定位精度的要求也有着较大的提高,此时声学定位、惯性导航等单一手段已经不能满足深海资源勘探的需求,需要多传感器组合定位导航技术,主要是长基线、声学多普勒计程仪、INS等多传感器的组

合导航技术。

2.2 引导与位姿测量技术的发展

伴随着潜器对接的发展,声学定位作为远程引导和近程位姿测量的一种重要手段,成为未来研究的重要方向。尤其在近程位姿测量中如何克服多途混响急剧变化、动态范围大信号起伏、推进器引起的强噪声干扰等影响,是水声定位技术发展的重大挑战。基于超短基线模式的引导方式,依赖宽带定位、自适应信号跟踪,基于多阵元的智能数据判决等技术的定位方案成为主流的解决思路,而对单信标导航模式,将更侧重于发展自适应信号跟踪技术以及声学测距、惯导推算和多普勒测速的数据融合技术。

2.3 基于宽带信号定位的多小区协同工作

宽带信号由于其优良的抗噪声性能和更好的分辨力,在过去的几年里,尖端定位产品都逐步采用了该技术以获得更稳健的定位性能。实际上宽带信号体制还允许接入更多的目标,以满足水下大区域密集任务小区协同工作。因此,为满足日益增长的市场需求,多用户宽带编码体制的研究也会是未来的重要研究方向之一。

2.4 高精度测量能力的提升

定位导航的精度是水声定位、导航技术的关键核心。水声定位、导航技术在近60a的发展过程中,经历了由军事应用向海洋开发、勘探、资源开采等各类商用、民用工程应用的需求转变;由长基线向便捷的超短基线最终向两者组合的综合定位系统的声纳设备转变;由最初的几十米向米级甚至厘米级的深水定位导航精度转变。

2.5 系统功能集成化

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,附带声速测量、压力测量、倾角测量等多种传感器设备,并将释放器、数据传输功能集成化、一体化的趋势。

3 水声导航、定位技术应用前景

3.1 现代海洋科学调查任务

近年来各类潜器技术,如缆控无人探测器(ROV)、深海拖曳测绘系统(TMS)、无人无缆自主深潜器(AUV)和载人深潜器(HOV)等,逐渐走向

成熟,成为现代海洋调查的有力手段。深海水声定位系统能够为这些水下潜器运动提供高精度导航定位服务,提高海洋调查数据质量和调查水平。现代海洋调查的另一个特点是强调同步观测性,便于现场或事后进行多学科、多原理观测的数据同化处理。深海高精度水声定位系统搭载的传感器及数据遥控遥测功能,为多学科同步观测提供了可能。

3.2 深海油气资源勘探、施工、开采及维护作业

深海油气资源开发是国家一项有战略意义的工作。深海油气资源开发中,海管铺设的前期地质调查、海管的铺设计划、运营开采过程中海管的位置监测以及后期海管维修维护全过程,需要水声定位技术的有力保障^[6]。海管布设区地质调查和路由调查需要水声定位系统提供灾害地质的辅助监测手段,并需要有计划地布设路由标志定位基准点;海管铺设施工中不但需要对水下作业ROV实施高精度定位,还要对海管管汇区实现厘米级的高精度定位,运营开采过程中海管位置的实时或准实时高精度定位系统的应用,可对可能发生的地质灾害进行评估和预报,防止由地质灾害导致的大面积污染环境的生态灾害,而后期维修维护过程中对故障管线的切割和重新安装更需要精确的定位保障^[6]。因此,水下声学定位技术在深海石油开采应用中具有重大作用。

3.3 海底地壳运动监测

地球板块边界断层闭锁和蠕变区的空间展布对了解断层各部分的能量积累、发震潜力、力学性质至关重要,一直是地球动力学和地震、海啸灾害研究的前沿课题^[17]。以GPS为代表的空间测地技术的兴起与成熟,使得通过在陆地和岛屿架设观测站监测板块运动变形和断层活动的方法,成为研究地球动力学的重要手段之一。而世界上造成最大地震和海啸的俯冲带断层发震区均位于海底。在远离陆地和岛屿的地方,通过在洋中脊两侧布放海底声学定位系统,评估海洋板块运动速度,验证或修正仅通过分析海底地磁条带和各种海底断层错动数据得出的全球板块运动模型,并能够直接监测海脊张裂速度及其随时间的变化,有助于理解海洋板块形成的过程和机制。海底地壳慢变化运动的监测任务对水下位置的测量提出了更高的精度要求。具有厘米级平移监测能力的水声定位技术,将为海洋领域科学技术与产业的发展带来新的活力。

3.4 海上失事潜艇、飞机的搜救

由于意外因素的影响,潜艇失事、飞机坠落事件在历史上也多次发生。2014年3月马航MH370客机失踪,多个国家组成的搜索队伍至今仍在搜寻。用于搜寻的声信标已经成为潜器、飞机的常规配备,而未来适用于大深度、远距离的水声定位技术将会成为海上搜救的重要依托手段。

4 展 望

水声定位导航系统为海洋科学考察、资源勘探开采、海底地形监测以及海上搜救等众多海上作业

任务提供了必不可少的技术支持,发挥了重要作用。在水声定位系统的发展进程中,研发、制造、服务等多个层面的技术仍旧依赖欧美等发达国家,我国的水声定位技术虽有一定起色,但仍然与国际先进水平存在一定差距。水声定位技术的发展不仅是水声学科的发展,更是多学科协同发展。海洋科学研究的深入、学科技术的融合发展、工业制造能力的提升,是水声定位技术进步的重要依托,也是水声定位服务的重要对象。相信在未来的高信息化发展模式下,水声定位与其他学科会形成合理的衔接、交叉与协同。

参考文献:

- [1] 孙大军,郑翠娥,钱洪宝,等. 水声定位系统在海洋工程中的应用[J]. 声学技术, 2012, 31(2): 125-132.
- [2] 田坦. 水下定位与导航技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 1-5.
- [3] Watanabe Y, Ochi H, Shimura T, et al. A Tracking of AUV with Integration of SSBL Acoustic Positioning and Transmitted INS Data [C]// OCEANS 2009- EUROPE, Bremen: IEEE, 2009: 1-6.
- [4] 法国 IXSEA 公司. IXSEA 公司官方网站[EB/OL]. [2014]. www.IXSEA.com.
- [5] 挪威 Kongsberg 公司. Kongsberg 公司官方网站[EB/OL]. [2014]. www.Kongsberg.com.
- [6] 英国 Sonardyne 公司. Sonardyne 公司官方网站[EB/OL]. [2014]. www.Sonardyne.com.
- [7] Stokey R, Allen B, Austin T, et al. Enabling Technologies for REMUS Docking: An Integral Component of an Autonomous Ocean-Sampling Network[J]. Oceanic Engineering, 2001, 26(4): 487-497.
- [8] Spiess F N. Suboceanic Geodetic Measurements[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1985, 23(4): 502-510.
- [9] Spiess F N, Chadwell C D, Hildebrand J A, et al. Precise GPS/Acoustic Positioning of Seafloor Reference Points for Tectonic Studies[J]. Phys. Earth. Planet. Inter., 1998, 108: 101-112.
- [10] Gagnon K, Chadwell C D, Norabuena E. Measuring the Onset of Locking in the Peru-Chile Trench with GPS and Acoustic Measurements[J]. Nature, 2005, 434: 205-208.
- [11] Chadwell C D, Spiess F N. Plate Motion at the Ridge-Transform Boundary of the South Cleft Segment of the Juan de Fuca Ridge from GPS-Acoustic Data[J]. Journal of Geophysical Research, 2008, 113: B04415.
- [12] Kussat N H, Zimmerman R, Chadwell C D. Absolute Positioning of an Autonomous Underwater Vehicle Using GPS and Acoustic Measurements[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2005, 30(1): 153-164.
- [13] Sato M, Ishikawa T, Ujihara N, et al. Displacement Above the Hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake [J]. SCIENCE, 2011, 332(17): 1935.
- [14] Kido M, Osada Y, Fujimoto H, et al. Trench-Normal Variation in Observed Seafloor Displacements Associated with the 2011 Tohoku-Oki Earthquake[J]. Geophysical Research Letters, 2011, 38(24): L24303.
- [15] 唐晓伟,李丽云. 国产高精度“超短基线定位系统”打破国外垄断[N]. 科技日报, 2014-10-25(001).
- [16] Johnston G. Long Term Underwater Positioning Technologies for the Offshore Oil and Gas [C]// OCEANS 2007 - Europe, Aberdeen: IEEE, 2007: 1-4.
- [17] Wang K. Megathrust Surprises[J]. Nature Geoscience, 2013, 6: 11-12.

Study on the Development Trend of Underwater Acoustic Navigation and Positioning Technologies

SUN Da-jun, ZHENG Cui-e

College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, Heilongjiang Province, China

Abstract: Underwater acoustic navigation and positioning technologies are widely used in marine science and ocean engineering. Recent years have seen a development trend of these technologies featured by high accuracy, multiple sensors and multi-source fusion. This paper focuses on the development of navigation and positioning sonars, summarizes the state-of-the-art of underwater acoustic navigation and positioning technologies, thus analyzing and extracting the tendency of technological development. Last but not least, this paper introduces the application prospect of underwater acoustic navigation and positioning technologies.

Key words: underwater sound, navigation and positioning, technological trend