

水声定位系统在海洋工程中的应用

蒋昌太, 姚 煜

(中国船舶集团有限公司第七一五研究所, 浙江 杭州 310000)

摘要: 水声定位作为一种基于声波传播的定位方法, 具有广泛的应用前景。通过探讨水声定位系统在海洋工程中的应用现状, 重点关注其在海洋油气开采和海底矿产资源开采中的应用, 及其在深海空间站和其他海洋工程领域的潜在应用。此外, 还对水声定位系统的发展趋势进行了探讨, 包括体制宽带化、功能集成化、操作便捷化以及系统组合化。通过深入研究水声定位系统的应用和发展趋势, 为海洋工程领域的实践和研究提供有益的参考和启示。

关键词: 水声定位; 海洋工程; 海洋油气开采; 海底矿产资源开采; 深海空间站

Application of underwater acoustic positioning system in ocean engineering

JIANG Changtai, YAO Yu

(CSSC 715th Research Institute, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Underwater acoustic positioning, as a positioning method based on sound wave propagation, has a wide application prospect. By discussing the application status of underwater acoustic positioning system in ocean engineering, this paper focuses on its application in offshore oil and gas exploitation and seabed mineral resources exploitation, and its potential application in deep-sea space station and other ocean engineering fields. In addition, the development trend of underwater acoustic positioning system is discussed, including broadband system, functional integration, convenient operation and system combination. Through in-depth study of the application and development trend of underwater acoustic positioning system, it provides useful reference and enlightenment for the practice and research in the field of ocean engineering.

Keywords: underwater acoustic location; ocean engineering; offshore oil and gas exploitation; seabed mineral resources exploitation; deep sea space station

0 引言

海洋工程指在海洋环境中进行各种工程活动的综合学科, 其中准确定位和导航是实施海洋工程项目的重要环节。水声定位系统是一种通过测量声波传播时间和角度来确定目标位置的系统, 探讨其在海洋工程中的应用具有重要意义。在海洋油气开采中, 水声定位可用于准确定位井口、追踪船舶和设备以及定位海底管线和设施。在海底矿产资源开采中, 水声定位用于矿物勘探、矿产资源定位和导航、矿产资源调查和评估以及环境监测和生态评估。此外, 水声定位还在深海空间站和其他海洋工程中发挥着重要作用。随着系统的不断发展, 水声定位趋向于体制宽带化、功能集成化、操作便

捷化以及系统组合化。

1 水声定位系统的分类

1.1 长基线系统

长基线系统使用距离较远的基准站点来进行定位。通常情况下, 长基线系统使用 3 个或更多的基准站点, 并测量它们之间的相对距离, 如图 1 所示。

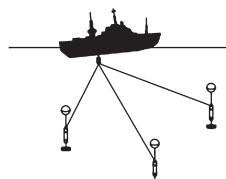


图 1 长基线定位系统

通过测量到达不同基准站点的声波传播时间差异,可以计算出目标物体的位置。长基线系统适用于较大的定位范围,如深海勘探、海底管线定位等。

1.2 短基线系统

短基线系统使用距离相对较近的基准站点来进行定位。通常情况下,短基线系统使用两个或更少的基准站点,并测量它们之间的相对位置关系,如图 2 所示。

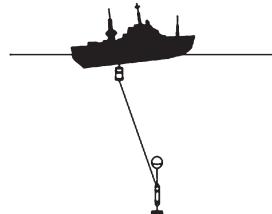


图 2 短基线定位系统

通过测量到达基准站点的声波传播时间和方向差异,可以计算出目标物体的位置。短基线系统适用于相对较小的定位范围,如水下无人机导航、潜水员定位等。

1.3 超短基线系统

超短基线系统是一种特殊的水声定位系统,通常使用多个接收器(水声传感器)组成一个小的基线网络,如图 3 所示。

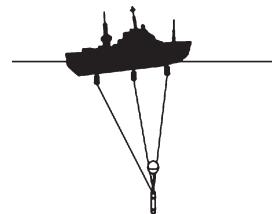


图 3 超短基线定位系统

这些接收器之间的基线长度非常短,且相对固定。超短基线系统主要用于水下定位中的近场定位,如潜水员或水下机器人在相对较小的区域内进行定位和导航^[1]。

2 水声定位系统的国内外发展现状

水声定位系统在海洋勘探中起着关键作用,可以用于测量海底地形、探测地质构造、寻找沉船残骸等。在国外,深海勘探中常使用长基线水声定位系统定位水下目标,例如美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)在其深海勘探项目中使用长基线系统来定

位深海生物和资源。在国内外的深海矿产勘探中,长基线定位系统也可用于探测多金属结核和硫化物资源。我国的深海矿产勘探和开发项目中采用了先进的水声定位系统,在海底管线布放过程中用于定位管线,确定其最佳位置。海洋石油和天然气开发项目中,使用短基线和超短基线水声定位系统,确保海底管线的精确布放。此外,水声定位系统是水下机器人导航的关键系统。在国内外,一些研究机构和公司开发了先进的水下机器人,如自主水下机器人(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)和遥控式水下机器人(Remotely Operated Vehicle, ROV),可用于海洋科学研究、海洋资源勘探以及海底设施维护等。

3 水声定位系统的发展趋势

3.1 体制宽带化

传统水声定位系统通常使用窄带声源信号,限制了系统的分辨率和定位精度。宽带声源信号具有更宽的频带,能够提供更多的频率信息,从而提高目标定位的准确性。使用宽带声源信号可以提高信号的频谱分辨率,使系统能够分辨出更多细微的特征。

传统水声定位系统中使用的接收器通常具有窄带接收能力,限制了接收到的信号频带范围。为了实现体制宽带化,需要开发宽带接收器,接收更宽频带范围内的声波信号。通过使用宽带传感器或多通道接收器,增加接收到的信号信息。体制宽带化需要相应的信号处理算法来处理宽频带的声波信号,包括宽带信号去噪、特征提取、目标定位以及跟踪等。宽带信号处理算法需要考虑更多的频率信息,提高算法的计算效率和准确性,以实现更精确的目标定位和跟踪。

3.2 功能集成化

功能集成化可以将不同的定位模式和方法集成到一个系统中,以满足不同的应用需求。例如,将长基线定位、短基线定位以及超短基线定位等不同的定位方法融合在一起,形成一个多模式定位系统,这样可以根据具体情况选择最合适的定位模式,提高定位的准确性和灵活性。

功能集成化还包括将多个传感器集成到一个水声定位系统中,以获取更多的信息,提高系统的性能。例如,将水声传感器与其他传感器融合在一

起,实现多传感器融合定位。通过融合不同类型的传感器数据,可以提高定位系统的精确性、鲁棒性以及抗干扰能力。

3.3 操作便捷化

操作便捷化的关键是实现系统的自动化和智能化。通过引入自动化系统和智能算法,可以减少操作人员的工作负担,提高系统的自主性和智能性。利用自动化的校准程序可以减少手动操作,通过智能算法自动分析和解释定位结果。

设计直观、易于操作的用户界面是操作便捷化的重要内容。通过优化用户界面的布局、图形化表示以及交互方式,可以使操作人员更加方便地控制和监控水声定位系统。采用图形界面和可视化工具,提供直观的系统状态显示和参数调整界面,确保系统能够及时响应用户的指令和操作,并及时提供定位结果和反馈,减少响应延迟和处理时间。

3.4 系统组合化

将惯性导航系统与水声定位系统组合可以提高定位的精确性和鲁棒性。惯性导航系统利用加速度计和陀螺仪等传感器来测量位置、速度以及方向变化,在水声信号受干扰或不稳定的环境下,与水声定位系统融合可以提供更可靠的定位信息。

将全球定位系统(Global Positioning System, GPS)与水声定位系统组合可以提供全球定位能力。GPS系统在海洋环境中受限,尤其是水下,但与水声定位系统的组合可以弥补其在水下定位方面的局限性。通过融合GPS和水声定位数据,可以实现水下和水面的无缝定位和导航。系统组合化还包括将多个传感器融合到水声定位系统中,以获得更多的信息,提高定位能力。

4 海洋工程中的水声定位系统应用

4.1 水声定位在海洋油气开采作业中的应用

在油气勘探和开采过程中,需要精确地确定井口位置,以进行下一步操作,如钻井、修井、油气生产等。水声定位系统可以通过测量声信号的传播时间和角度来定位井口,提供准确的坐标和方向信息。

在海洋油气开采作业中,需要定位和追踪各种船舶和设备,如采油平台、钻井船、供应船等。水声定位系统可以通过接收和处理水下声信号,确定这些船舶和设备的位置和运动状态,有助于管理

和监控作业现场,确保船舶和设备之间保持安全距离^[2]。

4.2 水声定位在海底矿产资源开采中的应用

水声定位系统可以用于海底矿产资源的勘探和调查。通过使用声呐系统,可以获取海底地貌、沉积物分布等信息,帮助确定矿产资源的位置和分布,对于选择合适的开采区域和规划开采作业具有重要意义。水声定位系统可以准确定位和导航开采设备和工具,以实现海底矿产资源的开采。通过接收和处理水下声信号,可以确定开采设备的位置和方向,确保其准确进入目标矿区,避免与其他设施和管线出现冲突。此外,水声定位系统还可以与其他调查工具和方法结合,对海底矿产资源进行详细调查和评估。通过融合水声定位数据和其他数据,如地质数据等,可以获取更全面、准确的矿产资源信息^[3]。

4.3 水声定位在深海空间站的应用

深海空间站需要准确的定位和导航系统来确定其位置和运动状态。水声定位系统可以通过测量水声信号的传播时间和角度,实现空间站的三维定位和导航。通过接收来自多个水声传感器的信号,使用三角定位等算法,可以确定空间站在深海中的位置和运动轨迹^[4]。

水声定位系统可以用于深海空间站周围环境的监测。通过布置水声传感器网络,可以实时监测海洋水质、水流、水压等环境参数,以及海底地形和地壳运动等信息,有助于评估深海环境对空间站的影响,并采取必要的措施来保护空间站和人员的安全。

水声定位系统可以用于深海空间站的通信和导航辅助。由于深海中的电磁波传播受限,水声通信成为深海空间站与外界通信的重要手段。水声定位系统可以辅助水声通信系统实现定位和导航,确保通信过程的稳定性。

4.4 水声定位在其他海洋工程中的使用

水声定位系统可以用于海洋测绘和地质调查,包括海底地形的测量、海底沉积物的分布以及特征分析等。通过发射声波信号并接收返回信号,可以获取高分辨率的海底地貌和地质信息,为海洋工程项目的规划和设计提供准确的基础数据^[5]。

水声定位系统可用于定位和监测海洋结构物,如海洋平台、海底电缆、海洋观测设施等。通过准

确的定位和导航,可以确保这些结构物的正确布置和稳定运行。同时,水声定位系统还可以用于监测结构物的运动、倾斜、沉降等变化,检测潜在的损坏或故障。

水声定位系统在水下考古和文化遗产保护中也发挥着重要作用。通过水声成像和定位系统,可以发现和记录水下的考古遗址、沉船等文物,保护海洋中的文化遗产。水声定位还可以帮助确定这些遗址的精确位置和分布,以便进行进一步的研究和保护。

5 结语

水声定位系统在海洋工程中的应用具有重要的意义,通过准确的定位和导航,为海洋油气开采、海底矿产资源开采以及深海空间站等领域的应用提供了关键支持。同时,随着系统的不断发展,水声定位趋向于体制宽带化、功能集成化、操作便捷

化以及系统组合化,为海洋工程提供了更加高效、可靠的解决方案。然而,水声定位系统的应用仍然存在一些挑战,如信号传播衰减、多路径干扰以及数据处理复杂性等,未来需要进一步深入研究,从而推动水声定位系统在海洋工程中的高效应用。

(上接第 33 页)

表 1 信号检测准确率统计结果

设备	定位询问信号成功检测次数 / 次	定位应答信号成功检测次数 / 次	漏检次数 / 次	误检次数 / 次	检测准确率 / %
便携定位端	—	86	11	0	88.6
应答器	97	—	3	0	97.0

息,且最大距离误差在 ± 1.9 m,最大角度误差在 $\pm 9.3^\circ$,满足设计指标要求。试验结果表明,水下便携式应答定位系统能够有效定位应答器距离和方位信息,可实现水下应答定位功能。

能,具有使用灵活、工作简单等特点。试验结果表明,所设计的应答定位系统运行效果良好,各项功能均满足指标设计要求,能够满足水下便携应答定位的要求,具有一定的工程应用价值。

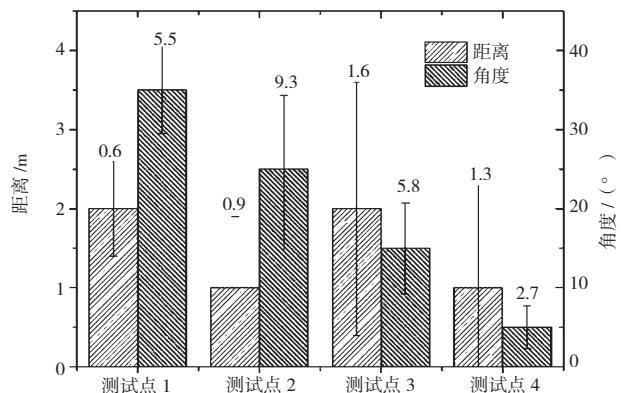


图 14 定位距离与角度统计结果

5 结语

文章设计并实现了一种基于应答原理的水下超短基线定位系统,通过合理的系统架构、工作流程以及硬件方案等设计,实现了水下应答定位功