

侧扫声呐技术及在海洋测绘中的应用探讨

洪文彦

上海升海勘察工程有限公司 上海 200434

摘要：扫声呐技术凭借声波在水中的传播特性，成为海洋测绘领域的核心技术手段。该技术通过发射与接收声波信号，实现对海底地形地貌、海洋资源分布的精准探测。在海底地形测绘、海洋工程勘察等多方面的应用中，取得显著成效，有效推动海洋开发与管理。然而，复杂海洋环境、数据处理难题及设备成本等因素制约其发展。经研究，优化环境适应性技术、推进智能化数据处理与设备创新，可提升扫声呐技术在海洋测绘中的应用效能。

关键词：扫声呐技术；海洋测绘；应用

引言

海洋覆盖地球表面约71%，蕴藏着丰富资源，对其精准测绘是开发与保护的基础。扫声呐技术利用声波在水下的传播特性，突破光学探测限制，为海洋测绘提供关键技术支撑。在全球海洋开发热潮下，扫声呐技术的应用深度与广度不断拓展，但也面临诸多挑战。本文聚焦扫声呐技术在海洋测绘中的应用，分析其具体应用场景、面临挑战并提出应对策略，旨在为推动该技术发展提供参考。

1 扫声呐技术概述

扫声呐作为重要的水下探测工具，基于声波在水中传播特性实现对目标的探测、定位与识别。在水体环境中，由于电磁波会因水介质的强衰减作用而难以有效传播，而声波却能以相对较低的能量损耗进行远距离传输，这使得扫声呐成为水下探测不可或缺的技术手段。其工作原理是通过换能器将电信号转换为声信号向水中辐射，当声波遇到水下物体时，部分声能被反射回来形成回波信号，换能器再次将回波声信号转换为电信号，经后续信号处理系统分析，从而获取目标的距离、方位、形状等信息。根据不同的应用场景与技术特点，扫声呐发展出多种类型。侧扫声呐通过向船舷两侧发射扇形声波束，以高分辨率对海底表面进行条带式扫描成像，可清晰呈现海底地形地貌、沉船礁石等目标的平面分布特征，广泛应用于海洋地质调查、海洋工程勘察以及水下考古等领域。多波束测深系统则是从船底以一定角度范围发射多个波束，能够同时获取多个方向上的水深数据，快速构建高精度的海底三维地形模型，相较于传统单波束探测，大幅提升了测量效率与数据精度。随着技术的不断革新，扫声呐在硬件性能与软件算法上持续优化。换能器阵列设计更加精密，能够实现更窄的波束宽度与更高的指向性，增强对微弱回波信号的接收能

力；信号处理技术引入人工智能与机器学习算法，显著提升对复杂回波信号的分析处理能力，有效降低背景噪声干扰，提升目标识别的准确性与可靠性。这些技术进步推动扫声呐在深海探测、海洋资源勘探等前沿领域发挥愈发重要的作用，为人类探索和利用海洋提供有力的技术支撑。

2 扫声呐技术在海洋测绘中的具体应用

2.1 海底地形测绘

（1）多波束测深声呐凭借其扇形波束覆盖能力，在海底地形测绘中实现高密度、高精度的水深数据采集。设备搭载于测量船，以航迹线为基准向两侧发射声波，回波信号经处理后，可快速构建出覆盖范围广、细节丰富的海底三维地形模型，相较于传统单波束测深技术，大幅提升测量效率与空间分辨率，能够精准捕捉海沟、海山、海脊等复杂地貌特征。（2）侧扫声呐通过发射沿航迹垂直方向的宽波束，获取海底声学图像，可清晰呈现海底表面形态与地物分布。其利用不同海底物质对声波反射强度的差异，识别出岩石、沙质、泥质等不同底质类型区域，为海底地形地貌研究提供纹理信息，对于研究海底沉积环境演变、地质构造活动具有重要意义。

（3）合成孔径声呐（SAS）通过运动补偿和信号处理技术，突破常规侧扫声呐的分辨率限制，在深海环境下实现厘米级的高分辨率成像。在进行深海地形测绘时，SAS能够探测到微小的海底地形起伏与目标物体，有助于发现深海特殊地质现象，为海洋地质研究提供更精细的地形数据支撑^[1]。

2.2 海洋工程勘察

（1）在海洋油气平台、跨海桥梁、海底隧道等大型海洋工程建设前期，扫声呐技术承担着关键的工程勘察任务。多波束测深声呐可对工程区域进行全面水深测量，精确获取海底地形起伏数据，评估海床稳定性，为

基础设计提供关键参数,确保工程结构物的选址与布局合理,规避因地形复杂导致的施工风险。(2)侧扫声呐能够对工程海域的海底障碍物进行探测,清晰识别沉船、礁石、废弃管线等潜在威胁物,绘制详细的障碍物分布图。这对于海上施工设备的安全作业至关重要,可提前规划施工路线,避免施工过程中对障碍物造成破坏,同时防止设备碰撞引发事故,保障工程顺利推进。

(3)浅地层剖面仪作为一种特殊的声呐设备,可穿透海底表层一定深度,获取次表层地质结构信息。在海洋工程勘察中,其通过发射低频声波,探测海底沉积层厚度、分层结构以及可能存在的断层、空洞等不良地质现象,帮助工程师掌握工程区域的地质条件,为地基处理方案设计和工程稳定性分析提供可靠依据。

2.3 海洋资源调查

(1)在海洋矿产资源调查领域,扫声呐技术发挥着不可或缺的作用。侧扫声呐可通过识别海底声学图像中异常区域,发现锰结核、多金属硫化物等矿产资源富集区的潜在线索。其呈现的海底地貌特征与沉积物分布,能够辅助判断矿产资源形成的地质环境,缩小勘探范围,提高资源勘探效率。(2)多波束测深声呐在海洋生物资源调查中也有重要应用。通过测量海底地形,可识别出适宜海洋生物栖息的特殊地貌,如珊瑚礁、海山等。这些区域往往是海洋生物多样性丰富的热点区域,获取精确的地形数据有助于研究海洋生物的分布规律与生态环境关系,为海洋生物资源的可持续开发与保护提供科学依据。(3)在海洋能源资源调查方面,扫声呐技术可用于评估潮流能、波浪能等可再生能源开发区域的海底条件。多波束测深获取的高精度海底地形数据,结合海流、波浪等水文观测资料,能够分析能源资源的可开发潜力,为能源设施的选址与设计提供关键参数,助力海洋能源的高效开发利用^[2]。

2.4 海洋灾害监测

(1)海啸、风暴潮等海洋灾害的发生与海底地形密切相关,扫声呐技术通过精确测量海底地形变化,为灾害预警提供重要数据支持。多波束测深声呐定期对特定海域进行地形测量,对比不同时期的海底地形数据,能够及时发现海底地壳运动、海底滑坡等可能引发海啸的异常变化,为海啸预警系统提供基础信息,提高灾害预警的准确性与及时性。(2)侧扫声呐在监测海岸侵蚀、海底冲刷等海洋灾害现象中具有独特优势。其获取的海底声学图像可直观反映海岸线形态变化、海底沙波迁移等情况,通过长期监测与分析,能够预测海岸侵蚀趋势,为海岸防护工程设计提供数据参考,采取有效措施

减轻海洋灾害对沿海地区的破坏。(3)在监测海底地震引发的地质灾害方面,浅地层剖面仪和合成孔径声呐可协同工作。浅地层剖面仪探测海底次表层结构变化,判断地震活动对海底地层的影响;合成孔径声呐通过高分辨率成像,识别海底裂缝、塌陷等地质灾害迹象。两者结合能够全面评估地震后海底地质稳定性,为灾后恢复与重建工作提供重要的地质信息保障。

3 扫声呐技术在海洋测绘应用中面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 复杂海洋环境的干扰

海洋环境的复杂性为扫声呐技术的应用带来巨大阻碍。海水介质具有显著的不均匀性,温度、盐度、密度的垂向变化导致声速剖面呈现复杂分布,声波在传播过程中会发生折射、散射与衰减,严重影响声呐信号的传播路径与探测精度。在浅海区域,强烈的环境噪声,包括海浪、潮汐、海流产生的机械噪声,以及海洋生物活动、船舶航行等人为噪声,极易掩盖目标回波信号,降低声呐系统的信噪比。在深海,海床地形起伏、温跃层、盐跃层的存在,不仅干扰声呐波束的正常传播,还可能造成虚假回波,误导测绘结果,使得精确获取海底地形地貌特征变得极为困难。

3.1.2 数据处理与集成难度

扫声呐系统在海洋测绘过程中会产生海量数据,这些数据具有高维度、多源性的特点。数据类型涵盖了不同频率、不同分辨率的声呐回波数据,以及与之关联的定位、姿态等辅助信息。数据处理过程中,需要对原始回波信号进行去噪、滤波、特征提取等操作,同时还要考虑不同设备采集数据之间的时间同步与空间配准问题。由于海洋环境的动态变化,同一区域多次测量的数据存在差异,如何有效整合这些数据,消除数据间的矛盾与冗余,构建高精度、一致性的海洋测绘成果,对数据处理算法与计算能力提出了极高要求。现有技术在处理复杂数据时,往往难以实现高效、准确的数据融合与分析^[3]。

3.1.3 设备局限性与成本压力

当前扫声呐设备在性能与功能上存在诸多局限。受声波传播特性限制,扫声呐的探测距离与分辨率难以同时满足高精度海洋测绘需求。在实际应用中,高分辨率成像通常只能在近距离达成,远距离探测时,声波受海水吸收、散射等因素影响,能量衰减严重,导致图像质量大幅下降,细节丢失,难以满足精准测绘要求。设备长期在高盐、高压、低温的海洋环境中工作,稳定性与

可靠性面临挑战,电子元件易受腐蚀、短路,机械部件也会加速磨损,出现故障的概率增加。扫声呐设备的研发、生产与维护成本高昂,制约了其大规模应用,对于大规模海洋测绘任务,购置、部署与运行成本成为关键制约因素。

3.2 应对策略

3.2.1 环境适应性技术优化

为提升扫声呐在复杂海洋环境中的探测能力,需对环境适应性技术进行深度优化。通过研发自适应声呐波束形成技术,利用实时测量的海洋环境参数,动态调整声呐波束的指向与形状,使其能够有效避开环境干扰,增强对目标信号的接收能力。针对海水声速剖面的不确定性,开发高精度声速剖面测量与预测模型,结合温盐深仪(CTD)实时数据,实现对声波传播路径的精确补偿。设计高效的噪声抑制算法,采用自适应滤波、盲源分离等技术,从复杂的环境噪声中提取有用的声呐回波信号,降低环境因素对测绘精度的影响,确保扫声呐系统在不同海洋环境下稳定、可靠地工作。

3.2.2 智能化数据处理与融合

智能化数据处理与融合技术是解决扫声呐数据处理难题的关键。引入人工智能与机器学习算法,构建数据驱动的处理模型,实现对海量、复杂声呐数据的自动分析与处理。利用深度学习网络对声呐回波图像进行特征提取与目标识别,提高数据处理的效率与准确性。采用多传感器数据融合技术,将扫声呐数据与其他海洋探测数据,如卫星遥感数据、浅地层剖面数据等进行有机结合,通过建立统一的数据融合框架,实现多源数据的优势互补。借助分布式计算与云计算技术,提升数据处理的计算能力,缩短数据处理周期,为海洋测绘提供快速、准确的数据支持,生成高精度的海洋测绘成果。

3.2.3 设备创新与成本控制

推动扫声呐设备创新并有效控制成本是促进技术发展的重要方向。在设备性能提升方面,研发新型换能器材料与结构,提高声波发射与接收效率,优化声呐系统的探测距离与分辨率。采用模块化、集成化设计理念,降低设备体积与重量,增强设备的便携性与适用性。利用微机电系统(MEMS)技术,开发小型化、低功耗的声呐传感器,拓展设备的应用场景。在成本控制上,通过优化生产工艺、提高零部件通用性,降低设备的制造成本。建立设备全生命周期管理体系,对设备的维护、升级进行科学规划,延长设备使用寿命,降低长期运行成本。探索设备共享、租赁等模式,提高设备的使用效率,缓解大规模海洋测绘任务中的成本压力^[4]。

结语

综上所述,扫声呐技术凭借独特优势在海洋测绘领域发挥重要作用,从海底地形测绘到海洋灾害监测,为海洋事业发展提供有力数据支持。但复杂海洋环境干扰、数据处理难题及设备成本压力等问题仍待解决。未来,需持续加强技术研发,优化环境适应性技术,深化智能化数据处理与融合,推进设备创新与成本控制,进一步提升扫声呐技术的应用水平,助力海洋测绘事业高质量发展。

参考文献

- [1]刘文龙.侧扫声呐技术在海洋测绘中的应用[J].珠江水运,2024(15):16-18.
- [2]谢健辉.侧扫声呐技术在海洋测绘中的应用[J].科技创新与应用,2023,13(14):181-184.
- [3]刘晓金,张媛.三维侧扫声呐技术在海洋测绘中的探测性能评估及应用分析[J].海洋信息,2021,36(3):7-17.
- [4]许文彬.无人机海洋测绘应用进展与研究[J].中国高新科技,2024(19):112-114.