

海洋测绘物探方法在海上风电场勘察中的应用研究

高方艺^{1,2,3} 何明光^{1,2,3} 樊世超^{1,2,3} 俞旭东^{1,2,3} 陈治国^{1,2,3}

1. 中国地质调查局海口海洋地质调查中心 海南 海口 571127
2. 海岛礁空间资源调查监测及利用技术创新基地 海南 海口 571127
3. 海口市海洋污染物监测创新与应用重点实验室 海南 海口 571127

摘要：本文概述了海洋测绘物探方法，包括多波束测深、侧扫声呐、浅地层剖面及磁力探测技术，并阐述了其在海上风电场勘察中的应用，如地形测绘、地质探测与障碍物识别。同时，指出技术局限性、数据处理难度大及环境因素影响等问题，并提出综合运用多种方法、提升数据处理与解释能力及应对环境因素等优化对策。

关键词：海洋测绘物探；海上风电场；勘察；应用研究

引言：随着海上风电产业的蓬勃发展，海洋测绘物探技术在风电场勘察中的重要性日益凸显。多波束测深、侧扫声呐、浅地层剖面及磁力探测等技术，凭借各自独特优势，为海底地形地貌测绘、地质构造探测及障碍物识别提供了关键数据支撑。然而，技术局限性、数据处理难度及环境因素干扰等问题，制约了物探方法的精准应用。本文旨在系统探讨海洋测绘物探方法在海上风电场勘察中的应用现状、存在问题及优化对策，以期风电场安全高效建设提供科学指导。

1 海洋测绘物探方法概述

1.1 多波束测深技术

多波束测深技术作为基于声波传播原理的关键海底地形测量手段，在海洋工程领域发挥着重要作用。该技术借助换能器向海底发射多个波束的声波，并同步接收来自不同方向的反射信号，以此同时测量多个方向上的水深数据。凭借测量精度高、覆盖范围广、数据密度大等显著优势，它能够快速且全面地获取海底地形地貌信息，进而生成高精度的海底地形三维模型，精准呈现海底的起伏形态、坡度变化以及各种地貌特征，为海上风电场的科学选址和合理基础设计提供不可或缺的准确地形数据。

1.2 侧扫声呐技术

侧扫声呐技术是基于声波反射原理的一种高效海底表面探测手段。工作时，它通过换能器向海底发射扇形声波，声波在传播过程中遇到海底表面及各类物体时会发生反射。侧扫声呐系统接收这些反射回来的声波信号，并运用专业算法对信号进行处理和分析，最终生成清晰的海底表面图像。该技术能够精准呈现海底沉积物的分布状况，以及礁石、沉船等障碍物的具体位置和形态。在海上风电场勘察中，侧扫声呐技术可有效识别潜在施工障碍物，为风机基础施工和电缆铺设提供避开障

碍物的重要参考依据。

1.3 浅地层剖面技术

浅地层剖面技术是海洋地质探测领域的一项重要技术，主要用于精准探测海底一定深度范围内的地层结构。其工作原理是利用专门的发射装置向海底发射低频声波，这些声波具备较强穿透能力，可穿透海底表层沉积物。随后，接收装置接收不同地层界面反射回来的声波信号，通过专业软件对信号进行处理分析，进而获取地层的分层信息、各层厚度以及地质构造特征。该技术能够深入揭示海底地质状况，有助于评估海底地质的稳定性，准确判断是否存在断层、软弱夹层等不良地质条件，对海上风电场基础选型和施工方案制定具有至关重要的指导意义。

1.4 磁力探测技术

磁力探测技术是依据地球磁场原理发展而来的一种重要海底探测手段。在海洋环境中，不同的地质体和物体因成分、结构差异而具有不同的磁性特征。磁力探测设备搭载高精度磁力传感器，能够敏锐捕捉海底岩石和物体所产生的微弱磁性变化。通过分析这些磁性数据，可精准发现海底的铁磁性物体，像沉船残骸、废弃管道等，还能识别地质构造的磁性异常区域。该技术能为海上风电场勘察提供关键的补充信息，帮助勘察人员全面了解海底状况，规避潜在风险，为风电场的安全建设与稳定运行提供有力保障^[1]。

2 海洋测绘物探方法在海上风电场勘察中的应用

2.1 海底地形地貌测绘

在海洋工程尤其是海上风电场建设中，海底地形地貌测绘是至关重要的前期工作，而多波束测深技术在其中扮演着核心角色。（1）在海上风电场选址阶段，利用多波束测深系统能够快速、高效地获取大范围且高精

度的海底地形数据。这些数据能精准反映候选区域的地形起伏特征以及水深变化情况,为选址决策提供科学依据,帮助筛选出地势相对平坦、水深适宜的区域作为风电场场址,以降低建设难度与成本。(2)在风电场设计阶段,详细的海底地形数据是优化风机基础布置的关键。基于这些数据,设计人员可以合理确定风机基础的类型和尺寸,确保风机基础在复杂海洋环境下的稳定性和安全性。此外,侧扫声呐技术可与多波束测深技术相互配合,进一步清晰呈现海底表面的地貌细节,如沙波、海沟等,为地形地貌分析提供更全面、细致的信息,助力海上风电场的安全、高效建设。

2.2 地质构造探测

在海上风电场勘察工作中,地质构造探测是保障风电场建设安全与稳定的关键环节,浅地层剖面技术是其中至关重要的探测手段。利用浅地层剖面技术,可精准探测海底地层的分层结构、岩性变化特征,并清晰识别是否存在断层、滑坡等不良地质现象。基于对地层结构的深入分析,能够科学评估地基的承载能力,为风机基础的选型和设计提供坚实可靠的地质依据。例如,若探测发现地层中存在软弱夹层,设计人员可据此采取特殊的基础处理措施,如桩基加固、地基置换等,以确保风机基础在复杂地质条件下的稳定性。此外,磁力探测技术可作为辅助手段,通过分析磁性异常区域,推测地下地质构造的潜在变化,为地质解释提供更多线索与参考,进一步提升地质构造探测的准确性与全面性,保障海上风电场建设的顺利进行。

2.3 障碍物识别与定位

在海上风电场建设过程中,施工区域内的障碍物识别与定位是保障施工安全与顺利进行的重要前提。侧扫声呐技术和磁力探测技术在此方面展现出独特优势。侧扫声呐通过发射声波并接收海底反射信号,能够直观呈现海底表面的障碍物形态和精确位置,无论是自然形成的礁石、暗礁,还是人为遗留的沉船、废弃渔网等,都能在声呐图像中清晰展现,为施工人员提供直观的障碍物分布信息。磁力探测技术则凭借其对铁磁性物质的高灵敏度,有效识别海底的金属物体,如废弃锚链、未爆炸弹等。在风电场施工前,联合应用这两种技术,可对施工区域进行全面细致的障碍物排查,制定科学合理的规避方案,有效避免施工过程中对障碍物的意外破坏,同时确保施工设备和人员的安全,为海上风电场建设的顺利推进提供有力保障。

3 海洋测绘物探方法应用中存在的问题

3.1 技术局限性

在海上风电场勘察工作中,不同的海洋测绘物探方法虽各具优势,但也均存在一定的局限性。多波束测深技术凭借其高效、高精度的特点被广泛应用,然而在复杂海底地形(如陡峭斜坡、沟壑纵横区域)以及强海流环境下,测量精度会受到显著影响,导致获取的水深数据与实际地形存在偏差。侧扫声呐技术能够清晰呈现海底表面障碍物形态与位置,但它仅局限于探测海底表面信息,对于地层内部的结构、岩性变化等关键信息则无能为力。浅地层剖面技术虽可探测地层结构,但探测深度有限,面对较深地层时,其信息获取能力明显不足。磁力探测技术对铁磁性障碍物探测灵敏,但极易受到环境磁场干扰,如地球磁场变化、附近磁性物体的影响等,进而导致探测结果出现误差。这些技术局限性决定了单一物探方法难以全面、精准地满足海上风电场勘察的所有需求^[2]。

3.2 数据处理与解释难度大

在海洋测绘物探工作中,多种物探方法的应用会产生海量且复杂的数据,如多波束测深数据、侧扫声呐图像数据、浅地层剖面数据以及磁力探测数据等。这些数据的处理和解释对专业技术和经验要求极高。当前,数据处理软件在功能完备性和操作便捷性上仍存在不足,数据处理流程繁琐,涉及数据滤波、校正、拼接等多个环节,任何一个环节处理不当都可能影响数据质量。而且,不同人员由于专业背景、经验水平的差异,对数据的解释可能存在主观性偏差,这直接导致勘察结果的准确性和可靠性大打折扣。此外,多种物探方法获取的数据类型不同、格式各异,数据融合处理面临巨大挑战。如何打破数据壁垒,将不同类型的数据进行有效整合,挖掘数据间的关联信息,形成全面、准确的勘察成果,是当前海洋测绘物探领域亟待攻克的关键难题。

3.3 环境因素影响

海洋环境具有高度的复杂性和动态变化性,这对海洋测绘物探工作构成了严峻挑战。海浪、海流、潮汐等海洋动力因素时刻作用于测量船,使其产生晃动和漂移,进而严重影响测量设备的稳定性。设备的不稳定会导致数据采集出现偏差,降低数据的精度和可靠性,例如在多波束测深中,船体的晃动会使测深数据出现虚假地形起伏。同时,海水的盐度、温度、密度等物理特性会改变声波的传播环境,影响声波的传播速度和衰减程度。不同区域海水特性的差异,会使声呐等基于声波探测的设备产生测量误差,影响对海底地形地貌和地质构造的准确判断。此外,恶劣的天气条件,如大风、暴雨、浓雾等,不仅会降低能见度,给测量作业带来安全

隐患,还可能直接中断物探作业,导致施工进度受阻,增加施工成本和工期延误的风险。

4 优化海洋测绘物探方法应用的对策

4.1 综合运用多种物探方法

鉴于单一海洋测绘物探方法存在诸多局限性,为获取更全面、准确的勘察信息,满足海上风电场勘察复杂且多样的需求,应依据勘察的具体目标与实际情况,综合运用多种物探方法。在风电场选址阶段,多波束测深技术可快速获取大范围、高精度的海底地形数据,展现海底宏观地貌特征;浅地层剖面技术则能深入探测海底地层的分层结构、岩性变化等信息。将二者有机结合,既能了解海底地形起伏,又能掌握地质结构状况,为选址提供更科学的依据。在障碍物探测阶段,侧扫声呐技术能直观呈现海底表面障碍物的形态与位置,而磁力探测技术对铁磁性障碍物具有高灵敏度。联合使用这两种技术,可充分发挥各自优势,提高障碍物识别的准确性和完整性,避免遗漏潜在障碍物,为后续施工提供可靠保障,确保海上风电场勘察工作的顺利推进。

4.2 提升数据处理与解释能力

在海洋测绘物探工作中,数据处理与解释能力直接影响勘察成果的质量。为提升这一能力,需从多方面着手。(1)应加大对数据处理软件的研发投入,积极推动软件的应用与更新,开发出更加智能化、自动化的数据处理工具。这些工具能够自动完成数据滤波、校正、拼接等繁琐流程,简化操作步骤,显著提高数据处理效率和准确性,减少人工干预带来的误差。(2)要加强对物探技术人员的数据解释培训。通过专业课程、实践操作等方式,提升技术人员的专业水平和经验积累。同时,统一数据解释标准,制定详细、规范的解释流程和准则,减少因人员主观因素导致的解释差异。(3)还需开展多源数据融合技术研究,探索有效的数据融合方法和算法,将多波束测深、侧扫声呐、浅地层剖面等多种物探数据有机整合,挖掘数据间的内在联系,形成更全面、准确的勘察成果,为海上风电场建设提供可靠依据^[3]。

4.3 应对环境因素影响

海洋环境的复杂多变给海洋测绘物探工作带来了诸

多挑战,为确保物探作业的顺利进行和数据的准确性,需针对环境因素采取一系列有效的应对措施。(1)在设备选型方面,要优先选择具备抗干扰能力强、稳定性高的测量设备。这类设备能够在复杂的海洋环境中保持较好的性能,减少外界因素对测量结果的干扰。同时,为测量设备配备先进的导航定位系统和稳定平台,导航定位系统可精确确定测量船的位置,稳定平台则能有效抑制船体晃动,降低晃动对测量精度的影响,保障数据采集的可靠性。(2)在作业安排上,需合理规划物探作业时间,提前收集气象和海洋预报信息,避开大风、暴雨、浓雾等恶劣天气以及海况较差的时段。此外,建立完善的海洋环境监测和预警机制,实时掌握海洋环境变化情况。一旦监测到可能影响作业的环境变化,及时发出预警,提前做好应对准备,调整作业计划或采取防护措施,确保物探作业安全、高效地开展。

结束语

综上所述,海洋测绘物探方法在海上风电场勘察中意义重大,多波束测深、侧扫声呐、浅地层剖面及磁力探测等技术各有所长,但也存在技术局限、数据处理与解释难度大以及受环境因素影响等问题。为提升勘察质量和效率,需综合运用多种物探方法,发挥各技术优势;加大数据处理软件研发力度,加强技术人员培训,统一解释标准,开展多源数据融合研究;同时,在设备选型上注重抗干扰与稳定性,合理规划作业时间,建立环境监测预警机制。通过这些对策,可有效应对挑战,为海上风电场建设提供全面、准确的地质与地形信息,保障风电场安全、高效建设与运行。

参考文献

- [1]谢善益,仲卫,杨强,等.台风条件下含混合电氢储能的海上风电场并网运行智能控制方法[J].电机与控制应用,2024,51(03):49-59.
- [2]姚尚衡,傅晨玲,曾金灿,等.智能电网技术创新对电力行业绿色转型的非线性影响[J].智慧电力,2024,52(02):1-7+16.
- [3]黄斌彩.海上风电工程各勘察阶段勘探方法选择[J].南方能源建设,2020,7(01):53-58.