

海洋测绘技术在海底资源勘探中的应用与展望

陈继龙

中海油田服务股份有限公司 天津 300459

摘要: 海洋测绘技术在海底资源勘探中用得挺广, 固体矿产这块, 主要靠多波束和重磁探测综合解译, 2025 年机器学习融合模型引入后, 结核与结壳的识别精度确实有了提升; 油气领域, 电磁法跟地震勘探互相补台, 储层分布能刻划得更清楚; 生物资源方面, 把地形和底质数据搁在一起叠加分析, 能为栖息地评估和养护区划提供依据。不过目前仍存在几方面突出问题, 比如精细化探测在复杂地形下适应性不足, 多源数据融合度偏低, 动态监测和智能分析这块也相对滞后。

关键词: 海洋测绘; 海底资源勘探; 多源数据融合; 智能测绘

引言: 海洋测绘技术在海底资源勘探中应用广泛, 其就是各技术手段各管一摊又互相补台。固体矿产领域, 多波束、重磁探测与机器学习模型的综合解译, 有效提升了多金属结核及富钴结壳的识别精度; 油气领域, 电磁法与地震勘探互补增强储层刻画能力; 生物资源方面, 地形底质叠加分析支撑栖息地评估。当前仍面临精细化探测适配不足、多源数据融合度低及动态智能分析滞后等制约。展望未来, 技术正朝全水深高精度测绘、一体化集成与智能化方向迈进, 以突破现有瓶颈。

1 海洋测绘技术在海底资源勘探中的具体应用

1.1 在海底固体矿产资源勘探中的应用

海洋测绘在海底固体矿产勘探中, 不同技术手段各有侧重, 说白了就是各管一摊又互相补台。多波束测深系统拿手的是高分辨率海底地形数据, 能把海山、海丘、断裂带这类微地貌特征刻画得相当精细, 而这些细节恰恰是判断多金属结核和富钴结壳富集区域的重要线索。重力探测那边, 则是盯着海底重力场的变化, 高密度矿体会引起局部重力异常, 顺着这个异常就能把潜在矿化带的范围给圈出来。磁力探测靠的是矿产与围岩之间的磁性差异, 通过分析磁异常, 可以推断矿体的边界在哪儿、往哪个方向延伸。把地形地貌和重磁异常的信息搁在一起综合解译, 结核和结壳的赋存形态、厚度变化以及空间分布就能看得更清楚^[1]。值得专门提一笔的是 2025 年中国地质调查局青岛海洋地质研究所的一项工作。他们把多波束测深数据与后向散射强度数据做了融合, 还引入了坡度、地形崎岖度、水深位置指数这几个地形因子, 在此基础上搭建了一个集成多种机器学习算法的分类模型。实际验证下来, 这个模型对多金属结

核、富钴结壳和海底沉积物的识别准确率都表现不错, 等于给深海勘探的靶区优选提供了一个挺实用的工具。

1.2 在海底油气资源勘探中的应用

海洋测绘在海底油气资源勘探中, 涉及的技术环节比较多样, 各自管着不同层面的信息获取。浅地层剖面探测这块, 靠的是声波在沉积层里的反射特征, 能识别地层界面的连续性、不整合面以及断层构造, 给油气藏的地质构造格架判断打下一个基础底子。重力与磁力测绘则是通过分析区域重磁场特征, 去推断基底起伏、断裂分布和沉积盆地边界, 这么一来, 就能辅助圈出比较有利的油气勘探靶区。三维地形测绘技术依托高精度海底地形建模, 能够把海底峡谷、滑坡体这类微地貌单元刻画出来, 这些信息对于储层分布的预判和勘探井位的部署, 都有实际参考价值。2025 年有一个值得关注的进展, 就是我国自主研发的大功率可控源海底电磁探测装备技术, 已经在多个深水区域完成了产业化示范应用, 给海洋油气勘探带来了阶段性突破。这项技术的基本原理是利用地下介质的电阻率信息来探测油气, 跟地震勘探形成互补关系, 两者配合起来, 含油气储层的分布范围就能刻划得更准确、更全面。

1.3 在海洋生物资源勘探中的应用

说起海洋测绘在生物资源勘探与养护方面的作用, 涉及的功能还挺多的, 彼此之间也有配合。高分辨率海底地形测绘能识别出海山、峡谷、斜坡这些地貌单元, 这类区域因为洋流交汇、营养盐容易富集, 往往是海洋生物栖息和繁殖比较集中的地方。底质测绘这块, 则是通过对沉积物类型、粒度分布以及有机质含量的调查, 来分析不同底质环境对底栖生物群落结构的影响, 进而

揭示出生物资源在空间上的分布规律^[2]。2025 年有一个值得提的进展,有关单位整合了船舶走航、潜水调查、卫星航空遥感和原位观测等多种手段,在目标海域完成了多学科的综合调查,获取了涵盖生物生态、水文气象、海洋化学和海洋地质在内的多维数据。这套数据的价值在于,它为海洋生物栖息地的环境评估以及资源分布规律的研究,打下了比较扎实的基础数据支撑,后续在养护区划和资源管理上都能派上用场。

2 当前海洋测绘技术应用于海底资源勘探的现存问题

2.1 精细化探测技术适配性不足

海洋测绘技术在复杂海底地形和特殊地质构造区域,确实有些固有局限,说白了就是几方面。海底山脉、海沟、断裂带等起伏剧烈区域,常规声学测绘容易受地形遮挡和声波散射干扰,水深数据和地貌影像常出现盲区,细节丢失得比较明显。深海高压环境和热液活动活跃区域,设备耐压和信号稳定性面临较大挑战,探测精度有时达不到设计指标。至于埋藏于沉积层深部的矿产资源,声波探测的穿透能力和分辨率之间始终存在矛盾,深层探查和浅层精细成像很难同时兼顾。

2.2 多源测绘数据融合度较低

海洋资源勘探涉及的测绘设备挺多的,像声学测深系统、浅地层剖面仪、重力仪、磁力仪还有地震探测设备,每种设备的数据采集方式都不一样。问题就在于,这些设备作业时各用各的坐标基准、采样频率和数据格式,互相之间不太对付。空间分辨率和时间尺度上的差异也不小,硬要把它们搁在同一框架下比对或者联合解译,很多时候根本走不通。目前的数据融合分析方法还不太成熟,统一的数据处理标准和通用的融合算法模型都比较欠缺,重力异常、磁力异常、地形起伏和地层结构这类多维度信息,很难高效地整合到一块。这种数据层面的各自为政,直接影响了勘探人员对海底矿产资源赋存状况的综合判断,尤其是在多类型矿产共生或伴生的复杂地质背景下,储量的精准评估和资源量的可靠预测都受到了比较明显的制约。

2.3 动态监测与智能分析水平不足

当前海洋测绘体系对海底资源赋存环境的动态监测,整体尚处于起步阶段。对海底地形变化、沉积运移过程和地质活动迹象的持续跟踪观测,目前的能力离实际需求还有不小差距。现有测绘作业大多依附于航次任务,以阶段性测量为主,难以形成连续的时间序列监测数据,资源赋存环境的动态演变过程也就没法有效呈现出来。数据解析环节同样存在瓶颈。海量测绘数据的处

理仍大量依赖人工判读和经验分析,智能化识别算法在复杂地质构造与异常信息提取方面的应用深度不足,对微弱信号和隐蔽特征的自适应识别能力偏弱^[3]。从数据采集到应用的全流程来看,自动化程度不高,预处理、特征提取与异常检测等环节尚未形成标准化的智能处理链路。

3 海底资源勘探领域海洋测绘技术发展趋势

3.1 高精度、全水深精细化测绘发展

海洋测绘技术目前正朝着全水深、高空间分辨率的精细化方向推进。简单来说,就是不同水深区间各有针对性的技术对策。浅水区域,新型声学测绘系统通过提高声波发射频率和波束聚焦能力,能够获得厘米级分辨率的海底地形数据,底质纹理和微地貌细节可以呈现得比较清楚。中等水深区域,多模式声学探测技术能够根据水深变化自动调整声波参数,从而保证不同深度条件下测绘数据质量的一致性。到了深远海区域,长程声学探测系统与深水定位技术配合使用,有效应对了声波远程传播衰减和深海环境噪声干扰,目前在深海平原、海山链及断裂带等大尺度地质单元的高精度地形建模方面已有明显进展^[4]。另外,针对海底热液活动区和冷泉区这类特殊地质目标,超高分辨率浅剖探测技术能够穿透沉积层、刻画浅部地层结构,识别小型断层、裂隙和麻坑等细微构造,为资源赋存环境评价提供基础资料。值得一提的是,2025 年北京海卓同创科技有限公司发布了一款多频谱水下地形高清三维成像系统,最大测量深度突破五百米,测量精度满足国际海道测量组织特级标准和国内水深测量规范要求,整体性能指标与国际同类产品相当。这套系统在超宽频谱传感器设计与量产等关键技术取得了突破,较好地解决了大范围扫测与局部精细化测量难以兼顾的固有矛盾。

3.2 多技术融合与一体化测绘体系构建

多类型探测手段的融合与一体化应用,是当前海洋测绘技术发展的重要趋势。技术路径上,声学地形测绘、浅地层剖面探测、重力与地磁场测量及地震勘探等不同手段正在被纳入统一的作业平台和数据采集体系。硬件层面,新型综合测绘系统已将多种传感器集成于同一载体,可在单次作业中同步获取同一海域的地形、地层、重力和磁力等多维度信息,规避了不同航次、不同时段测量带来的时空差异。数据层面,标准化数据接口与统一的空间基准框架逐步建立,各类测绘数据得以在一致的地理坐标系下进行叠加分析和联合解译。

一体化测绘的核心价值,说白了就是发挥各类手段

的互补优势,把地形形态、地层结构、密度变化和磁性特征融合成一整套综合地质认识,从而提升对海底矿产资源空间赋存规律与成矿条件的研判能力。2025年,海油工程特种设备分公司在相关项目中实现了二维、三维声呐与水下定位系统及高精度卫星信号等多源声学设备的协同作业,构建了高效精准的探测系统。

3.3 智能化、自动化测绘技术升级

人工智能与大数据技术正在渗透海洋测绘的各个环节,说白了就是从数据采集到分析评估,都在逐步“机器换人”。数据采集阶段,智能化测绘系统可以根据实时获取的海底地形复杂度和信号质量,自主调整测线布设方案和声波发射参数,让作业过程实现一定程度的自动优化,不用完全依赖人工逐项设定。数据处理方面,深度学习算法已经用于声学图像的特征提取与分类识别,地貌单元划分、底质类型判别和微地形特征提取这些常规解译任务,基本上可以自动完成,效率比人工判读高出不少。异常地质信息的识别也有了新手段,智能算法通过对比区域背景场与局部异常特征,筛选出与矿化作用相关的重磁异常和地震异常信号,辅助勘探人员快速锁定潜在成矿靶区^[5]。基于历史测绘数据训练的预测模型,还能对未知区域的资源潜力做初步评估,为后续详细勘探提供参考,这样一来,资源评价周期有所缩短,勘探决策的不确定性也得到一定降低。2025年有两个值得关注的发布。一个是国家卫星海洋应用中心的端到端人工智能海洋大模型,能把卫星遥感获取的准实时海面二维环境要素信息,通过人工智能模型在空间和时间上进行拓展推演,生成未来多日的海洋环境预测产品。另一个是深海生境智能认知与探索多模态大模型,这个模型可以协同处理视频、地形、水动力、沉积物和生物声学等多源异构数据,相当于把不同类型的信息放在一起综合认知,对复杂海底环境的整体把握会更全面一些。

3.4 深远海、常态化动态测绘发展

面向深远海资源规模化勘探的长期需求,海洋测绘技术需要在深海高压、远距离作业条件下拿出更高的适应能力和作业效率。装备方面,低功耗、长续航已成为主要优化方向,新型耐压材料和高效能源供给方案的引入,使探测系统在深海环境下能够保持长时间连续稳定工作,就是让设备能扛得住、干得久。作业模式上,水面自主探测平台与深海自主航行器的协同应用,有效降低了深远海测绘的作业成本和人员风险,大范围海域的高效覆盖测量因此成为可能,人不用老跟着跑,机器自己就能把活干了。

结束语:海洋测绘技术已在固体矿产、油气及生物资源勘探中发挥关键支撑作用,各技术手段协同配合,有效提升了资源识别与评估能力。但当前仍面临精细化探测适配不足、多源数据融合度低、动态智能分析滞后等现实挑战。未来,随着高精度全水深探测、一体化集成体系、人工智能自动化处理及深远海长周期监测等方向的持续突破,说白了就是设备更扛造、机器更聪明、干活更高效,技术体系正加速迈向综合化与智能化,有望为海底资源勘探提供更为坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 亓玉鹏,崔岩岩,李玲.海洋测绘数据融合技术在海洋资源勘探中的应用[J].石油化工建设,2024,46(9):169-171.
- [2] 薛国坤.海洋测绘中的测深技术探讨[J].科学与信息化,2023(14):28-30.
- [3] 鲍李峰,席梦寒,翟振和,等.走向深海,发展自立自强的海底大地测量基准[J].中国科学基金,2024,38(1):182-192.
- [4] 张海,滕芝,王婷婷,等.海洋测绘技术在海岸带生态环境监测中的应用[J].全面腐蚀控制,2026,40(3):66-68.
- [5] 孙国庆.海洋测绘技术在海洋资源开发中的应用[J].世界都市,2025(2):7-9.