

# 海洋三维测绘技术及其在海洋工程中的应用

陈超 王豪巍 张超

中海油(天津)管道工程技术有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17541

**[摘要]** 海洋三维测绘技术以声学、遥感、地球物理探测为核心,构建高精度海底三维模型。其关键技术包括多波束测深、侧扫声纳与图像融合、机载激光测深等,在海洋工程选址、海底管线维护、航道疏浚等方面应用广泛。其成果涵盖高精度数字水深、三维地质模型及综合信息管理平台,为海洋工程提供空间基准、地质依据及数字化管理支持,推动其智能化、精细化发展。

**[关键词]** 海洋测绘; 三维模型; 多波束测深; 声学探测; 海洋工程; 工程勘察

**中图分类号:** P229 **文献标识码:** A

## Three-Dimensional Marine Surveying Technology and Its Application in Marine Engineering

Chao Chen Haowei Wang Chao Zhang

CNOOC (Tianjin) Pipeline Engineering Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** Marine three-dimensional surveying technology, based on acoustics, remote sensing, and geophysical detection, constructs high-precision three-dimensional seabed models. Key technologies include multibeam bathymetry, side-scan sonar and image fusion, and airborne laser bathymetry, which are widely applied in marine engineering site selection, subsea pipeline maintenance, and channel dredging, among other areas. The outcomes encompass high-precision digital water depth data, three-dimensional geological models, and comprehensive information management platforms, providing spatial reference, geological basis, and digital management support for marine engineering, thereby promoting its intelligent and refined development.

**[Key words]** Marine Surveying; Three-Dimensional Model; Multibeam Bathymetry; Acoustic Detection; Marine Engineering; Engineering Investigation

### 引言

海洋工程作为推动海洋经济发展的关键力量,其建设与发展高度依赖精准的空间信息。海洋三维测绘技术凭借声学探测、遥感探测和地球物理探测等技术体系,精准刻画海洋空间形态与特征,构建出高精度的综合性海底三维模型。其中,多波束测深、侧扫声纳、机载激光测深等核心测绘技术各具优势,为海洋工程选址、海底管线维护、航道港口建设等提供了坚实的数据支撑,在海洋工程中发挥着不可替代的作用。

### 1 海洋三维测绘的主要技术体系

海洋三维测绘技术作为精准刻画海洋空间形态与特征的关键手段,为海洋工程提供了不可或缺的基础数据支撑。其技术体系主要由声学探测、遥感探测和地球物理探测三大类技术协同构成,通过多源数据融合,构建出高精度的综合性海底三维模型。(1) 声学探测技术是海洋三维测绘的核心手段之一。多波束测深系统通过向海底发射多个窄波束,同时接收反射信号,能快速、高精度地获取大面积海底地形数据,实现海底地形的精细测绘。侧扫声纳则利用侧向发射的声波,对海底进行扫描成像,清

晰呈现海底微地貌、沉积物类型及海底障碍物等信息,为海底工程选址和航道安全维护提供重要依据。(2) 遥感探测技术从宏观视角为海洋三维测绘提供丰富信息。卫星遥感可大范围、快速地获取海洋表面温度、海流、海浪等海洋动力环境参数,以及海岸线变迁、海冰分布等地理信息,为海洋工程规划提供宏观背景数据。航空遥感则凭借更高的分辨率,对近岸海域和重点区域进行详细探测,补充卫星遥感的细节信息。(3) 地球物理探测技术深入海底内部,揭示海底地质结构。地震勘探通过人工激发地震波,分析其在海底地层中的传播特性,确定海底地层的层序、厚度和构造特征,为海底油气资源勘探和海底隧道、桥梁等工程的基础设计提供地质依据。重力与磁力测量则通过探测海底的重力场和磁场异常,推断地下地质体的分布和性质<sup>[1]</sup>。

### 2 核心三维测绘技术原理

#### 2.1 多波束测深系统

多波束测深系统作为海洋三维测绘的关键技术,其原理基于声波在海水中的传播与反射特性。发射器向海底发射一个与航向垂直的扇形声波束,该声波束在海底不同地形处发生反射,

反射信号被接收器捕获。系统会精确测量每个波束从发射到接收的往返时间,结合已知的声波在海水中的传播速度,利用公式“距离=速度×时间÷2”,可计算出波束到达海底的距离。同时,系统还能准确获取每个波束的发射与接收角度。基于这些数据,通过复杂的算法处理,能够同步获得测量船正下方一条带状区域内的多个水深点信息。进而,利用这些密集的水深点数据,高效生成高分辨率、高精度的海底地形数字高程模型(DEM),为海洋工程规划、资源勘探等提供精准的海底地形基础数据。

### 2.2 侧扫声纳与图像融合

侧扫声纳作为海洋三维测绘的重要工具,其工作原理是借助拖鱼向海床两侧发射高频声波。(1)这些声波在触及海底不同底质和物体时,会发生反向散射,侧扫声纳的接收器会精准记录下反向散射的强度信息,进而生成详细的海底声学影像图。此影像图优势显著,能够清晰分辨出海底底质的类型差异,如砂质、泥质或岩石质,还能精准识别礁石、沉船等微地貌和地物目标,为海底环境认知提供直观依据。(2)为构建更全面、真实的海底三维模型,需将多条测线的侧扫声纳影像与多波束地形数据进行融合。多波束地形数据提供精确的海底地形高程信息,而侧扫声纳影像赋予模型底质和纹理属性。二者融合后,形成的信息丰富的海底三维实景模型,能为海洋工程规划、资源开发及生态保护等提供更可靠、直观的决策支持。

### 2.3 机载激光测深

机载激光测深(LiDAR)系统是海洋三维测绘领域的一项先进技术。(1)其原理基于蓝绿激光独特的物理特性,蓝绿激光在水体中具有相对较低的衰减系数,能够穿透一定深度的水体。该系统通过将激光雷达搭载在飞机上,在飞行过程中同时向海面和水底发射激光脉冲,并精准接收海面和水底反射回来的回波信号。通过精确测量这两个回波信号的时间差,结合已知的激光在空气和水中的传播速度,利用特定算法就能准确计算出水深信息。(2)此技术优势突出,尤其适用于清澈水域的沿岸、岛礁和浅水区域的大范围快速测绘。相较于传统的船载声学测量方式,它无需船只长时间航行,测绘效率大幅提高,能够快速获取大面积海域的水深数据,为港口建设、航道规划等近海工程提供高效、精准的测绘支持<sup>[2]</sup>。

## 3 海洋三维测绘在海洋工程中的核心应用

### 3.1 海洋工程选址与地基稳定性评价

在开展海上风电平台、跨海桥梁、人工岛等重大海洋工程建设之前,对工程区域地质条件的精准把握是保障工程安全与稳定的基础前提。由于海洋环境复杂多变,海底地形起伏不定、地质结构多样,因此需要精确掌握工程区域的海底地形、地貌以及浅地层结构等详细信息。(1)海洋三维测绘技术为此提供了强有力的支持。通过综合运用多波束测深、侧扫声纳和浅地层剖面仪等多种先进设备与技术手段,能够全方位、高精度地获取海底的相关数据。基于这些数据构建而成的三维地质模型,不仅包含了海底表面的地形地貌特征,还融入了下伏地层的详细结构信息。(2)利用该三维地质模型,专业人员可以深入分析海底坡

度的变化情况,精准识别活动沙波的移动趋势,清晰定位断层、浅层气等不良地质现象的具体位置和规模。这些分析结果为工程选址提供了科学合理的依据,确保工程能够避开地质灾害高发区域,同时也为地基稳定性评价提供了直接、可靠的数据,有助于提前制定有效的工程措施,避免地质灾害风险,保障海洋工程建设的顺利进行<sup>[3]</sup>。

### 3.2 海底管线与电缆路由调查与维护

在海洋工程领域,海底管线和电缆承担着能源输送与信息传递的关键使命,其路由的选择与后续维护工作对安全性有着极高的要求。一旦路由设计不合理或在运行过程中出现故障,不仅会导致能源供应中断、通信受阻,还可能引发严重的海洋环境污染等灾难性后果。(1)三维测绘技术在此方面发挥着不可替代的作用。它能够凭借先进的测量手段,提供极为精确的海底地形数据。基于这些数据,工程师可以全面、细致地分析海底地形特征,从而优化路由路径,巧妙避开陡坡、裸露岩石等危险区域,有效降低管线、电缆在铺设和运行过程中遭受外力破坏的风险,大大提高其使用的安全性和稳定性。(2)侧扫声纳和浅地层剖面仪作为三维测绘技术中的重要设备,能够对已铺设的管线进行详细探测。它们可以精准识别管线的悬空、裸露或掩埋状态,还能清晰发现路由沿线的冲刷沟槽等异常情况。这些精准的三维空间信息为管线和电缆的安全状态评估提供了可靠依据,有助于及时制定科学合理的维护修复方案,保障海底管线和电缆长期稳定运行。

### 3.3 航道疏浚与港口建设

航道疏浚与港口建设作为海洋工程的重要组成部分,对保障海上运输的畅通和港口的高效运营意义重大,而海洋三维测绘技术在其中扮演着关键角色。(1)在航道疏浚工程中,高精度的多波束测深数据是核心要素。它能够以极高的精度呈现航道海底的地形起伏,为计算疏浚工程量提供准确依据,同时辅助设计出科学合理的疏浚断面。在疏浚施工过程中,通过施工前后的多次三维测绘,可精准对比航道海底形态的变化。一方面,能精确计算疏浚土方量,为工程预算和资源调配提供可靠数据;另一方面,可直观检验疏浚效果是否达到设计水深要求,若未达标,能及时调整施工方案,确保航道满足船舶安全航行的条件。(2)在港口建设和维护阶段,三维测绘同样不可或缺。它能够持续、精准地监测码头前沿、港池底部的淤积情况,清晰呈现淤积物的分布范围和厚度。基于这些详细的数据,港口管理部门可以科学制定清淤决策,合理安排清淤时间和范围,保证港口航道始终保持适宜的水深条件,提升港口的运营效率和经济效益,为海洋经济的稳定发展提供有力支撑。

## 4 支持海洋工程的三维数据成果与价值

### 4.1 高精度数字水深模型

在海洋工程的规划、设计与实施过程中,高精度数字水深模型占据着举足轻重的地位,它是海洋三维测绘最基础且最为关键的成果。该模型通过科学的方法,以规则网格点的形式对海底的高程信息进行精准表达。每一个网格点都承载着特定位置的

海底深度数据,这些数据相互关联、共同构建出一个全面且细致的海底地形三维框架。对于海洋工程而言,高精度数字水深模型是所有设计与分析工作的空间基准。在海上风电平台建设中,它能帮助工程师准确判断平台基础的最佳放置位置,避免因海底地形起伏导致的基础不稳问题;在跨海桥梁工程里,可依据模型数据优化桥墩的布局和深度,确保桥梁结构的安全性与稳定性;在港口规划方面,能为码头的选址、泊位的设计以及航道的疏浚提供精确依据。其高精度特性使得工程人员能够提前预见潜在的地形风险,制定合理的应对措施,从而有效降低工程成本,提高工程质量,保障海洋工程的安全与可持续发展。

#### 4.2 海底三维地质模型

在海洋工程领域,精准把握海底地质状况是保障工程安全与稳定推进的关键。通过集成地形、声学影像和浅地层剖面数据,可构建出具有高度实用价值的海底三维地质模型。(1)该模型并非简单的数据堆砌,而是运用先进的处理与分析技术,将不同来源的数据进行深度融合。它能够清晰、准确地反映海底以下数十米内地层界面、构造以及不良地质体的空间分布情况。地层界面如同大地的“层理密码”,揭示着不同地质时期的沉积特征;地质构造则记录着地壳运动的痕迹,对工程的稳定性有着重要影响;而不良地质体,如断层、浅层气等,更是工程建设的潜在威胁。(2)这一模型是进行工程地质分析、桩基设计和施工方案制定的核心依据。在工程地质分析中,它能帮助工程师全面了解地质条件,评估潜在风险;在桩基设计时,可依据模型数据确定桩基的深度、类型和承载能力;在制定施工方案过程中,能为施工路径的选择、施工方法的确定提供科学指导,从而有效避免地质灾害,确保海洋工程顺利进行。

#### 4.3 综合海洋空间信息管理

在海洋工程复杂且庞大的体系里,对各类信息的精准整合与高效管理是保障工程顺利推进的关键因素。综合海洋空间信息管理通过将所有的三维测绘数据、地质解释成果以及工程设

计方案,有机整合到一个统一的三维地理信息系统平台中,实现了海洋空间信息管理质的飞跃。(1)该平台具备强大的功能。它借助先进的可视化技术,将原本抽象的数据以直观、形象的方式呈现出来,让工程人员能够清晰洞察海洋空间的全貌。同时,提供了便捷的查询功能,可快速定位所需信息,大大提高了工作效率。在分析方面,平台能够对不同类型的数据进行综合分析,挖掘数据背后的潜在规律和关联。而且,它还支持动态管理,可实时更新数据,反映海洋空间的变化情况。(2)对于海洋工程而言,这一平台意义重大。它为工程的规划、设计、施工和运营维护提供了全过程的数字化工作环境,使工程人员能够在统一的环境中进行协同工作。同时,为决策提供了科学、全面的支持,有助于降低工程风险,提高工程质量,推动海洋工程向智能化、精细化方向发展。

#### 5 结束语

海洋三维测绘技术体系完备,声学、遥感、地球物理探测协同发力,多波束测深、侧扫声纳、机载激光测深等核心原理为精准测绘筑牢根基。在海洋工程选址、管线维护、航道港口建设等核心应用中成效显著,提供了关键数据支撑。高精度数字水深模型、海底三维地质模型以及综合海洋空间信息管理平台等成果,更是从不同层面为海洋工程规划、设计、施工与运维提供了坚实保障。未来,随着技术持续创新,海洋三维测绘将在保障海洋工程安全、推动海洋经济发展、促进海洋生态保护等方面发挥更为关键的作用,助力海洋事业迈向新高度。

#### [参考文献]

- [1]施炜.海洋工程平台建造数字化管理系统S-OEI[J].船舶标准化工程师,2020,53(04):61-64.
- [2]刘楚源.侧扫声纳技术在海洋测绘中的探索与实践[J].中国高新科技,2024(14):42-44.
- [3]张杰,袁训智.数字化测绘技术在矿山地质工程测量中的应用效果分析[J].中国金属通报,2022(12):28-30.