高精度定位技术在海洋工程施工监测中的运用分析

刘 尧，高 涵

（天津水运工程研究院有限公司，天津 300456）

摘 要 本文系统开展高精度定位技术在海洋工程施工监测领域的应用研究，针对不同海洋施工作业场景适配对应高精度定位技术方案，可显著提升监测数据的时空精准度，为海洋工程整体施工质量与作业安全提供核心技术支撑。当前该技术的工程落地仍面临多重现实挑战，为充分释放高精度定位技术的应用优势，需通过技术融合和设备优化等多维度举措，全面提升技术在海洋复杂工况下的环境适用性与长期运行可靠性，为保障海洋工程施工全周期的质量安全管控提供技术参考。

关键词 高精度定位技术；海洋工程；施工监测；仿真模型；数值模拟参数

中图分类号：P229.5；P75 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.27.033

0 引言

高精度定位技术有利于提高海洋工程施工监测水平，切实保障施工质量和安全性。利用高精度定位技术精准的定位能力，有利于满足施工要求，同时可以检测工程结构的变形问题，引导施工单位快速处理安全隐患。此外，结合高精度定位技术和其他传感器技术，完善监测系统，获取完整、可靠的监测数据。因此，研究高精度定位技术在海洋工程施工监测中的运用具有重要的意义，有利于推动海洋工程的可持续发展。

1 高精度定位技术在海洋工程施工监测中的应用场景

1.1 海上平台和施工监测

1.1.1 精准定位平台位置

通过精准定位海上平台，在满足设计要求的同时有利于提高施工安全性。利用高精度定位技术，基于北斗卫星导航系统和全球导航卫星系统，有利于精准定位海上平台的位置。利用实时动态定位和精密单点定位技术，有利于精准测量海上平台位置。例如：在深水动力定位石油钻井平台中，利用北斗卫星导航系统和精密单点定位技术，有利于提供精准的位置信息，适应复杂的海洋环境[1]。此外，综合利用各种定位技术，同时利用 GPS 和北斗卫星导航系统等，有利于提高定位工作的抗干扰能力。利用多系统融合方法，有利于适应各种恶劣的天气，为海上平台定位奠定技术基础。

在实际工作中，高精度卫星钟差和星历误差改正值关系到海上平台定位精度，通过合理北斗卫星的短报文功能远程传输改正值，顺利建设远海地区常规地基，落实差分传输工作。利用北斗卫星的通信功能，有利于提高定位精度，同时可以远距离定位监控海上平台。此外，基于广播星历的高精度单点定位方法，有利于实现远洋测量工作，该方法利用拓展卡尔曼滤波处理数据，同时利用载波相位观测量提高定位精度。

1.1.2 平台结构变形监测

海上平台运行中存在各种影响结果，因此平台结构很容易出现变形或者损坏问题，因此施工单位要实时监测海上平台的结构变形[2]。利用高精度定位技术监测平台结构变形，如利用 GNSS/ 声学定位技术构建海洋大地基的基准网，不仅有利于精准定位海上平台的位置，而且可以监测平台微小变形，及时处理施工中的安全隐患。

在实际工作中综合利用高精度定位技术和传感器技术，有利于提高监测精准性。例如：综合利用 GNSS 技术和惯性导航系统，有利于精准监测结构变形问题。此外，利用北斗卫星的通信作用，有利于向岸基管理平台实时传输监测数据，提高远程监控和预警水平。在实际工作中利用北斗卫星通信集成传输方法，有利于高效交互施工船和基岸管理者的信息，提高施工管理的信息化，切实保障施工质量。

作者简介：刘尧（1997-），男，硕士研究生，助理工程师，研究方向：海洋测绘。

1.2 海底管道铺设监测

1.2.1 管道路径精准控制

在海洋工程中，海底管道铺设发挥了重要的作用，为了保障工程质量和安全性，要精准控制管道路径。在管道铺设中利用高精度定位技术，施工单位可以根据预定路径铺设管道，规避路径偏差问题。例如：利用GNSS/声学定位技术，根据多基站精密星历预报卫星定位差分，同时优化数据链，有利于精准控制管道铺设路径[3]。此外，利用北斗卫星通信功能，向施工船传输差分信息数据链，有利于提高施工船施工管控的精准性。利用这一方法可以精准铺设管道，同时有利于保障施工效率。

在实际施工中，施工单位要利用高精度定位设备和数据处理技术，精准地控制海底管道路径。例如：利用2 m直径的GNSS浮标对观测数据进行采集，同时利用精密单点定位和动态相对定位方法计算数据，提高海面高测量结果的精准性[4]。利用这一方法，有利于高精度定位海底管道铺设。此外，利用广播星历的实时高精度单点定位方法，通过拓展卡尔曼滤波处理数据，并利用载波相位观测量，提高定位精度，满足海洋测量需求。

1.2.2 管道沉降和位移监测

管道运行过程中因为各种因素的影响，很容易引发沉降和位移等问题，如果没有及时处理这些问题，将会引发严重的安全事故。利用高精度定位技术有利于提供高时空分辨率的观测数据，精准监测海底管道沉降和位移。例如：利用GNSS浮标技术采集数据，并利用精密单点定位和事后处理动态相对定位方法计算数据，提高海面测量结果的精准性。

在实际工作中，要利用多传感器融合技术监测海底管道沉降和位移，保证监测结果的精准性。例如：结合GNSS技术和声呐技术，有利于适应复杂的海洋环境，精准监测沉降和位移。此外，利用北斗卫星通信，向岸基管理平台实时传输监测数据，发挥远程监控和预警功能；利用北斗卫星的短报文功能播发精密单点定位误差改正数据，在保证精准定位的同时，有利于远距离监测海底管道。因此，利用高精度定位技术，有利于监测海底管道沉降和位移，保障海洋工程运行的安全性。

2 基于高精度定位技术的施工模拟分析确定

2.1 仿真模型构建

建立海洋工程仿真模型，需要保证模型的真实性和全面性。技术人员要综合考虑海洋环境各种影响因素，如海洋地质和水位条件等，同时结合海洋工程打桩和吊装等工艺流程。模型根据流体力学原理设定船舶运动参数，船舶阻力公式为：

$$F=\frac{1}{2}\rho v^2 SC_d \tag{1}$$

式（1）中，ρ代表海水密度，v代表船舶速度，S代表船舶湿表面积，C_d代表阻力系数。技术人员要结合设备类型和动力系统确定该设备运动参数[5]。同时，结合材料力学和结构力学确定结构受力参数，综合考虑自重和风载等。

2.2 数值模拟参数设定

在高精度定位相关参数中，定位精度δ直接影响了施工精度，定位更新频率对实时性起到直接影响。定位精度误差传播公式为：

$$\Delta x=\delta_x^2+\delta_y^2+\delta_z^2 \tag{2}$$

式(2)中，δ_x^2、δ_y^2、δ_z^2分别代表三维方向的定位误差，提高更新频率，有利于保证数据的实时性，但是系统负担会由此增加。

针对其他施工参数，技术人员要结合施工进度和设备性能设定施工速度，确定材料性能参数的过程中要结合混凝土强度和钢材屈服强度等标准。

2.3 技术阶段划分

在海洋工程施工中，在基础施工阶段利用高精度定位技术保证桩位的精准性，对定位精度提出较高的要求，有利于稳固基础结构，控制定位误差在±0.02 m范围内。在结构安装中，提高结构件位置的精准性，提高定位更新频率在2 Hz左右，有利于精准安装结构[6]。在管线铺设施工中，施工单位要对管线位置实时监测，避免干扰其他结构，保证定位精度在0.005 m范围内。

2.4 数值模拟分析

表1为不同定位精度和更新频率的数值模拟结果。

表1 不同定位参数组合下的施工模拟结果

定位精度δ（m）	更新频率f（Hz）	施工精度偏差Δ（m）	施工效率提升率η（%）	安全事故风险降低率λ（%）
0.01	1	0.03	10	15
0.01	2	0.02	15	20
0.005	1	0.015	12	18
0.005	2	0.01	18	25

结合模拟结果，发现提高定位精度和更新频率，有利于控制施工精度，并提高施工效率和安全性。结合模拟分析结果，提高施工方案的科学性，在结构安装和管线铺设中利用更加精准和更新频率更高的定位

参数，在保证施工质量的同时，有利于规避施工安全问题。

3 高精度定位技术在海洋工程施工监测中的运用建议

3.1 技术融合

3.1.1 多传感器融合

在海洋工程施工监测中综合利用高精度定位技术和声学定位以及惯性导航等技术，有利于提高定位精度。融合多传感器，将不同传感器的优势充分发挥出来，弥补单一传感器的不足。例如：在水下环境中声学定位技术发挥重要的作用，但是逐渐增加深度之后将会影响其精度。虽然惯性导航系统的位置信息具有连续性特点，但是很容易出现误差积累问题[7]。因此，综合利用北斗卫星导航系统和传感器，突出定位及体系的层次化和精准性。在深海作业中，综合利用 GNSS 和声学定位技术传递陆海时空基准，同时利用惯性测量单元，有利于实时校正误差问题，保证定位精度达到厘米级甚至毫米级。此外，在多传感器应用中，利用数据融合算法对定位结果合理优化，如利用卡尔曼滤波方法，可以控制噪声的影响，提高整体系统的灵活性。总之，做好技术融合，不仅有利于监测海上平台施工，同时，也为海底管道铺设等工作提供辅助作用。

3.1.2 多系统融合

利用北斗卫星导航系统和其他全球导航卫星系统，有利于提高定位系统的稳定性和抗干扰能力。通过多系统融合，可以将不同系统的优势充分发挥出来，为海洋工程施工提供精准的位置服务。此外，多系统融合可以改善定位几何结构，提供定位精准性。尤其在远海区域很难部署常规地基增强设施，利用多系统融合技术有利于提高定位服务水平，有利于更好地监测海洋工程施工。

3.2 设备优化

3.2.1 抗干扰设备研发

海洋环境中面临着各种影响因素，为优化定位性能，要推广利用抗干扰设备。首先，针对各种极端天气，技术人员要综合利用各种硬件完善改进方案。例如：利用高性能天线材料和防护涂层，有利于增强电磁波信号。同时，优化设计接收机内部电路，提高噪声抵抗能力，适应各种恶劣天气，提高定位精准性。其次，结合海水介质的影响，选用新型信号处理算法，如利用隐嵌信噪比定位技术，结合信号强度变化对海水介质的影响进行分析，优化误差补偿效果。最后，要发挥 5G 通信技术的作用，远程传输差分信息数据链，优化定位系统使用性能。

3.2.2 提高设备稳定性和可靠性

海洋环境十分复杂，因此需提高高精准定位设备的稳定性和可靠性，有利于提高施工监测水平。技术人员要合理选用设备材料，并提高结构设计的科学性。在材料选择中，保证所选的材料具备耐腐蚀性和耐高温以及抗老化的特点，提高设备耐久性，适应各种复杂的海洋环境[8]。例如：钛合金材料的机械性能更好，而且具备化学稳定性，适用于制造定位设备的外壳。同时，在结构设计工作中，利用模块化和密封化理念，有利于降低海水侵蚀问题的发生率。此外，为了应对海洋环境的振动和冲击，技术人员要完善智能减震系统，结合设备运行状态对减震系数合理调整，降低外部环境的干扰。

4 结束语

在海洋工程施工监测中应用高精度定位技术，通过融合数值仿真模拟与现场实测数据验证，工程实践表明该技术应用成效显著。该技术可将海上风电、平台安装等场景的结构就位偏差控制在厘米级精度范围内，在保障施工窗口期作业效率的同时，大幅降低船舶与大型施工设备的待机闲置率。当前该技术虽已形成成熟的工程应用体系，但仍存在复杂海况下信号稳定性不足、水下定位精度衰减等短板，后续技术迭代中需重点突破多源传感器融合算法，提升极端海洋环境下的技术适应性，为海洋工程高质量安全发展提供核心支撑。

参考文献：

[1] 陶华.基于北斗卫星导航系统的海洋工程导航技术研究[J].水道港口,2025,46(06):933-941.
[2] 顾波军,王稼逸,付雨芳.我国海洋工程装备技术测度、时空演化与赶超对策研究[J].浙江海洋大学学报(人文科学版),2025,42(06):1-12.
[3] 郑齐清,朱海瑞.海洋工程船动力定位系统故障模式与影响分析[J].船舶职业教育,2025,13(04):52-55.
[4] 李宇键.海洋工程结构无损检测技术的创新与应用研究[J].中国设备工程,2025(09):145-147.
[5] 隋浩辰.动力定位系统在海洋工程船舶上的应用[J].船舶物资与市场,2024,32(07):71-73.
[6] 刘林.浅谈国内海洋工程勘察装备短板与发展展望[J].内江科技,2024,45(05):78-79.
[7] 杨光.海洋工程岩土工程勘察钻探施工及其影响因素探究[J].价值工程,2024,43(13):30-32.
[8] 蒋昌太,姚煜.水声定位系统在海洋工程中的应用[J].电声技术,2023,47(04):34-37.