

航道浅滩整治中实时动态定位技术对疏浚船作业效率的关键影响分析

雒 磊

(四川港航建设工程有限公司, 四川 成都 610047)

摘要 在航道浅滩整治中, 疏浚船作业高度依赖位置控制的精度、稳定性与时效性。实时动态定位技术凭借厘米级定位能力和连续动态跟踪功能, 使疏浚设备在复杂水域条件下保持最佳施工姿态与作业轨迹, 减少偏移、重复疏浚与无效作业, 其应用能提升挖深控制与航槽成形准确性, 优化船机调度效率, 提高整体作业连贯性与施工进度。基于实时定位数据的智能化施工判断进一步强化作业过程可控性, 为浅滩整治提供高效、稳态且可量化的技术支撑, 形成显著效率增益。

关键词 实时动态定位; 疏浚船; 航道浅滩整治; 作业效率; 高精度定位

中图分类号: U617.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.13.011

0 引言

航道浅滩整治施工对位置控制精确度要求极高, 稍有偏差就可能造成重复挖掘或成槽误差, 影响整体施工效率。高精度定位技术迅猛发展, 实时动态定位方式已在疏浚装备落地应用, 作业轨迹与施工断面控制更可靠, 在水流变化、视距受限、船体漂移等挑战下, 实时动态定位技术为复杂水域提供技术支撑, 疏浚作业可在连续监测与动态修正中保持高效状态。分析其对作业效率的实际影响, 可揭示浅滩整治施工效率提升的核心动力, 为后续施工管理与技术选择提供思路。

1 疏浚作业效率受限的核心矛盾

在航道浅滩整治中, 疏浚船作业效率受限的核心在于水域环境动态多变与施工对高精度定位的刚性需求之间的矛盾。浅滩区域水深小、流速突变、回淤频繁、地形复杂, 极易引发船体横移、纵漂和偏航, 导致挖掘轨迹偏离设计断面。疏浚作业依赖船位、桩位与铲斗位置的精准同步, 一旦定位精度不足, 便会造成成槽宽度超差、挖深失控, 返工量增加, 有效作业时间被严重压缩。水流扰动与潮汐影响甚至短时间内改变船体姿态, 传统定位手段难以实时修正偏移, 形成工作量大、有效掘进率低、作业连续性受阻的矛盾局面, 浅滩疏浚施工缺乏稳定动态监控支撑, 单次作业无法精准覆盖设计区域, 进度计划难以保证, 作业效率瓶颈由此显现。

在实际施工组织中, 船机协同不稳定也是效率受

限的重要因素, 疏浚船定位、挖掘和排运系统需在动态水域保持高度协同, 定位信号滞后或漂移幅度过大, 挖泥头、吸管或耙头偏离既定轨迹, 土方量计算与作业剖面控制失去准确依据, 调度层面缺乏连续高精度位置信息, 船舶推进方向、船头角度修正与导线保持出现延迟, 影响挖深控制与边坡成形^[1]。浅滩区域空间狭窄, 船舶操控余量有限, 定位偏差造成的轨迹误差被放大, 挖掘路径曲折, 设备行程时间增加, 耙吸效率显著下降, 作业轨迹与水下地形无法稳定匹配, 疏浚船需更频繁调整作业姿态, 油耗增加、机械负荷上升、连续作业时长被压缩, 整体施工组织呈现高投入却难以形成高产出的矛盾状态。

浅滩整治目标是形成稳定、规则且满足航运通行要求的通航断面, 任务对施工精度的刚性要求, 使定位误差与效率矛盾进一步突出。人工测量或低频定位方式无法覆盖连续施工周期, 难以在复杂水况提供实时反馈, 挖深控制出现跳变, 航槽成形度离散度加大, 施工船舶往返次数增多, 泥浆输送路径不稳定, 单位时间内有效疏浚量下降。船舶尺寸增大、施工节奏加快, 高精度实时化船位数据成为保障效率的核心基础, 传统定位系统无法满足厘米级轨迹控制需求, 形成浅滩整治最突出的技术矛盾, 疏浚作业越依赖精密控制, 定位滞后和误差带来的效率损失越明显, 施工进度、质量稳定性与设备利用率在定位瓶颈下均受抑制, 最终疏浚效率受限的核心问题愈趋集中。

作者简介: 雒磊(1985-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 航道整治与疏浚工程。

2 浅滩施工定位偏差的关键成因

浅滩疏浚施工中的定位偏差多源于水域环境与定位系统在动态条件下的多重扰动,浅滩区域水深变化敏感,底床受潮汐、水流剪切和局部回旋流影响明显,疏浚船遇微小水动力差异即产生横摆、纵移或尾流偏转,船体姿态难以保持稳定,常规定位方式在复杂水动力场中难以实时捕捉船体漂移量,定位信号易受反射、水汽吸收及岸基遮挡影响出现跳变^[2]。高频施工动作造成船体微振,叠加水流扰动,船位、姿态和作业点间出现时间差,定位误差在动态过程中不断放大,这些环境性因素在浅滩内格外突出,施工轨迹难以精准匹配设计断面,偏差随之累积。

在设备系统层面,定位偏差与船载传感器、通信链路和数据融合机制的稳定性密切相关,部分疏浚船惯性测量单元精度不足,姿态角更新速率偏低,无法在高动态环境下提供连续、低噪声的姿态数据,动态坐标系出现微小漂移,差分信号中断、RTK基准误差、船载天线安装误差等因素使坐标解算出现时间延迟,影响铲斗、吸头或耙头的空间位置计算。船舶推进装置在小水深条件下易受涡流与反推干扰,推进力方向难以保持恒定,轨迹修正执行效果与定位系统给出的修正量出现偏差,传感器间缺乏高精度标定,多源数据融合不一致,作业点漂移,成槽线性难以维持稳定状态。

施工组织因素也是定位偏差的重要来源,疏浚流程包含频繁转向、重新定线、调头作业等动作,作业路径连续性易在每次姿态切换中受扰动,定位系统对施工节奏变化反应迟缓,路径切换时出现定位空档,作业点随之偏移,浅滩空间有限,船舶操作余量较小,操控策略未依托实时定位数据动态调整,推进力补偿不足或过度,偏航角和船艏指向与规划线不一致。浅滩整治多伴随连续多时段施工,夜间光照不足、水面干扰增强、能见度下降,人工校核难以提供有效参考,定位误差进一步放大,多因素交叠,浅滩区域定位偏差呈现环境扰动与系统性能共存、动态变化与操作方式耦合的复杂特征,成为影响疏浚作业精度与效率的关键瓶颈。

3 实时动态定位技术的效率强化机制

实时动态定位技术在浅滩疏浚作业的效率强化,依托高精度坐标解算与连续动态监测提升施工轨迹控制能力,厘米级定位精度让船位、姿态、挖掘点保持稳定耦合,疏浚船受水流扰动、浅水反射波和底床变

化影响时仍能维持既定作业线,高频率动态更新机制将船体横漂、纵移和偏航角变化以毫秒级周期反馈控制系统,轨迹修正不再依赖人工判断,避免延迟补偿引发的挖深波动^[3]。北斗RTK、GNSS组合定位与惯性导航融合技术在浅滩复杂水域增强定位稳定性,作业点空间连续性得到保障,减少重复挖掘与无效航行,形成效率增益。

作业控制系统内,实时动态定位技术依托多传感器融合实现作业姿态动态优化,船载IMU、高程测量仪、索位传感器与定位天线形成实时联动,构筑完整空间信息链,铲斗或吸头位置可在三维坐标精确呈现,作业控制界面实时显示规划断面、当前作业点、轨迹偏移量与挖深误差,船舶推进方向与桨角调节由定位数据驱动,实现连续状态自动纠偏。潮流变化、底床扰动或施工动作引发的微小姿态差异,在高精度定位支撑下可快速修正,挖掘断面与设计线保持一致,动态定位数据可实时计算船舶推进力补偿需求,推进器输出更契合水动力变化,缩短姿态调整时间,提高单循环作业效率。

在施工组织调度中,实时动态定位应用为疏浚船群提供精准航迹管理能力,船舶间空间分布、航行路径、装卸节奏与耙吸覆盖范围具备可量化依据,连续定位数据支持调度系统预测船位变化趋势,提前规划航迹交叉点与施工重叠区,减少航行等待与重复作业,作业过程中泥浆输送线路、回归航道与耙吸路径可依实时数据优化,单位时间有效疏浚量得到提升。浅滩区域受限空间内,动态定位可通过精确控制船舶运动范围,让施工活动更集中目标区,提高作业时间利用率,定位数据记录的施工轨迹可作为质量控制与偏差分析依据,每次作业覆盖范围与深度达成可验证状态,为施工连续性与高效率提供稳定支撑。

4 基于实时定位的数据化施工优化路径

实时定位系统在浅滩疏浚施工中的数据化优化路径,依托连续高精度空间数据采集,实现施工过程从经验驱动到量化控制的转变。定位数据与地形测绘、作业断面设计和土方模型结合,设计线、目标槽底和边坡控制参数在船载终端实时呈现,作业点偏移、挖深差值与轨迹变化清晰可视,动态数据流在作业中形成闭环,疏浚船依实时偏差自动修正推进角度和挖掘姿态,减少人工判断滞后^[4]。定位点云与施工轨迹叠加,指挥系统可判断覆盖率与未作业区域分布,避免返工和漏挖,让浅滩整治每一条疏浚路径更具针对性和完整性,形成实时数据校正施工行为的技术框架。

在作业控制策略中,实时动态定位技术与多源传感信息融合,构建适配浅滩特征的动态模型,船位数据与潮流速度、底床变形趋势和挖掘负载同步处理,控制系统可预测船体漂移方向与挖深变化趋势,自动调整推进机角度、导线方向与耙臂下压量,姿态控制更贴近设计断面,泥浆输送路径、耙吸幅宽和连续耙线布置依托定位数据自动优化,作业轨迹间距保持稳定,提高覆盖率。数据化施工对耙吸阻力、挖深波动和推进功率实时分析,系统识别低效区段,通过规划新轨迹或修改作业角度恢复效率,动态地形模型实时更新后提供连续水下变化信息,施工计划不再依赖间断测量,助力保持浅滩疏浚连续性。

在调度与管理层面,实时定位系统形成的施工数据作为优化资源配置的核心依据,疏浚船群航迹分布、耙吸时间窗、运泥船对接频次和返航节奏依托定位数据动态调控,整个施工链条形成协调时间序列,高精度轨迹记录为施工偏差分析提供数据基础,管理系统可识别效率下降时段与作业区域,调整作业顺序或重新分配设备。实时数据构建可回溯施工数据库,每一段浅滩整治过程具备坐标化、连续化记录能力,便于开展质量核查与覆盖率分析,施工组织者依定位数据生成多维度作业报告,判断航槽成形一致性、边坡稳定性和挖深均匀度,施工质量与效率在数据化体系中同步提升。

5 航道浅滩整治中的效率提升总结

航道浅滩整治作业的效率提升,由高精度定位支撑的轨迹控制优化、作业连续性强化与施工组织协同提升共同推动,浅滩区域水动力条件复杂,底床变化频繁,疏浚船受横漂与偏航影响易偏离设计线,实时动态定位技术提供持续稳定空间参照,让船体姿态与作业点保持稳定关联,厘米级定位精度将挖深控制、作业轨迹规划与船位保持融为一体,疏浚路径更贴近设计剖面^[5]。定位更新频率提高,船舶在水流扰动、回淤增速、浅水波反射条件下依旧维持既定作业走向,挖掘剖面趋于稳定,减少偏差累积引发的返工,有效疏浚时间得到保障,形成效率提升的基础条件。

在耙吸、挖泥和输送环节中,实时定位系统形成的动态数据链推动施工过程精细控制,作业点坐标与地形模型实时匹配,控制系统快速识别挖掘不足或超深位置,及时修正作业姿态,疏浚剖面保持连续性,三维空间监测使耙吸轨迹间距调整更精准,在覆盖率提升的同时减少重复作业带来的能耗和工时浪费。推

进系统与定位数据联动,船舶在浅滩狭窄空间内航行稳定性增强,轨迹切换和路径重建更顺畅,缩短姿态调整时间,多源数据融合带来的姿态预测能力进一步减少突发漂移造成的轨迹偏移,连续耙线与挖沟路径呈现更高一致性。

在施工组织与管理层面,定位数据构成的时空数据库强化疏浚船群协同能力,实现施工链条更高程度匹配,动态航迹信息支撑调度系统绘制清晰作业区域分布图,判断疏浚船间距、覆盖范围和作业深度差异,减少路径重叠与航线冲突,泥浆运输调度依托实时数据,运泥船到位时间更精准,装卸衔接顺畅,降低疏浚船等待时间。轨迹记录与施工过程的坐标化管理,为质量检查和覆盖率分析提供依据,识别效率下降环节并针对性调整,定位数据在施工链中深度应用,浅滩整治呈现作业行为可控、施工过程可量化、项目管理可追溯的特点,效率提升在组织、控制和执行层面形成协同效应,为高效施工奠定稳固基础。

6 结束语

实时动态定位技术在浅滩疏浚施工中的应用,可强化施工精度、作业连续性与船机协同能力,为航道整治构建高效稳定的作业体系。高精度轨迹控制、动态数据监测与多源融合带来的姿态优化,使疏浚路径贴合设计要求,减少返工与能耗,提升有效作业量。数据化施工在调度、质量核查和覆盖率管理的运用,赋予施工过程可控性与可验证性,使浅滩整治呈现高效、稳态、可追溯的技术特征,为航道治理提供可靠支撑。

参考文献:

- [1] 沈华. 集装箱码头自动化起重机运动及作业效率计算方法[J]. 中国工程机械学报, 2025, 23(05): 923-928.
- [2] 胡江, 李建树, 李耕, 等. 山区航道浅滩整治对草鱼溯游行为的影响研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2026, 45(01): 39-44.
- [3] 张家墅, 余龙, 黄琼. 疏浚船溢流管道环保发电装置可行性研究[J]. 船舶工程, 2025, 47(02): 97-103.
- [4] 黄龙, 姬兴禹. 基于北斗的疏浚船舶智慧监管平台构建及应用[J]. 中国水运, 2024(24): 36-38.
- [5] 和悦, 陈界仁, 屈一晗. 饶河双港—褚溪河口航道整治后浅滩演变及最低通航水位变化[J]. 水运工程, 2023(12): 100-103, 111.