

航道疏浚工程施工工艺优化与质量管控研究

贺其诚

南京市航道事业发展中心 江苏 南京 210008

摘要: 本文旨在系统探讨航道疏浚工程施工工艺的优化路径与全过程质量管控体系的构建。首先,文章深入剖析了绞吸式、耙吸式、链斗式等主流疏浚工艺的技术特点、适用范围及其在不同工况下的效能表现,并结合阳江港等实际案例,提出了针对复杂地质(如软土、硬土、岩石)的工艺选型与参数优化策略。其次,本文构建了一个覆盖“事前-事中-事后”全生命周期的质量管控框架,详细阐述了从施工方案科学编制、高精度测量定位、智能化过程监控到严格竣工验收的各环节控制要点,并融入了BIM(建筑信息模型)、智慧工地等数字化技术的应用前景。最后,文章强调了环保疏浚理念的重要性,探讨了如何通过技术创新与管理协同,实现工程效益与生态保护的双赢。本研究旨在为航道疏浚工程的实践提供理论参考与技术指导,推动行业向更高效、更智能、更绿色的方向转型升级。

关键词: 航道疏浚; 施工工艺优化; 质量管控; 挖泥船选型; 环保疏浚

引言

水运在支撑国民经济发展、服务国家战略中作用不可替代,航道通航尺度影响船舶通行能力和运输效率。但受自然淤积、人类活动等因素影响,航道水深难维持设计标准,航道疏浚工程成为维护和提升航道等级的核心手段。近年来,我国启动多项重大航道整治与疏浚项目,工程规模大、技术挑战高,疏浚区域地质复杂,且社会对生态环境保护要求愈发严格,疏浚作业需兼顾环境风险。在此背景下,选择最优施工工艺提升效率、降低成本,建立科学质量管控体系确保工程实体满足要求并符合环保规范,是亟待解决的关键课题。传统疏浚工程管理模式依赖经验判断和人工记录,存在诸多问题,新兴数字化、智能化技术提供了新思路。因此,系统性研究航道疏浚工程施工工艺优化方法,融合信息技术构建质量管控体系,意义重大,本文将就此展开探讨。

1 航道疏浚主要施工工艺及其优化

航道疏浚的核心在于利用专业挖泥船将水下土石方开挖、输送并处置。根据工作原理和适用场景的不同,主流疏浚工艺可分为以下几类:

1.1 主流疏浚工艺技术特点

1.1.1 绞吸式疏浚

工作原理是通过安装在船首的旋转绞刀头切削、破碎水底土层,使其与水混合形成泥浆,再由强大的离心泥泵通过吸泥管吸入,并经排泥管线长距离输送至指定吹填区或抛泥区。优点是集开挖、输送、卸泥于一体,连续作业能力强,生产效率高;适用于长距离排泥,尤

其适合吹填造地工程;对各种土质(包括较硬的黏土、密实砂层)均有较好的适应性。缺点是自航能力弱,通常需依靠定位桩(台车)进行横移和前移,机动性较差;对水下障碍物敏感,易损坏绞刀;施工过程中产生的悬浮泥沙可能对局部水域造成一定污染^[1]。适用港口扩建、大型航道基建性疏浚、围海造田等连续性、大规模工程。

1.1.2 耙吸式疏浚

工作原理是船舶在低速航行状态下,通过船体两侧或尾部的耙头插入水底,利用真空泵产生的负压将泥沙吸入船舱。装满后,船舶自航至抛泥区,通过底部泥门或溢流装置将泥沙排出。优点是具备优良的自航和自载能力,机动灵活,对通航干扰小;作业时船舶处于动态,不易搁浅,安全性高;溢流系统可有效控制泥浆浓度,减少超挖。缺点是单次作业量受限于舱容;适用开阔水域的航道维护性疏浚、远距离抛泥、对通航影响要求高的繁忙航道。

1.1.3 链斗式疏浚

工作原理是在船体首部或尾部安装带有多个铲斗的斗桥。斗链循环运转,铲斗在水底挖掘土方后随斗链提升出水面,在斗塔顶部翻转卸泥,泥沙经溜槽排出。优点是挖掘精度高,开挖后的槽底平整度好;对土质的适应性强,能处理含少量碎石的土层;施工过程直观,易于监控。缺点是施工为间歇式,效率相对较低;设备结构复杂,维护成本高;同样不具备自航能力,机动性差。适用对开挖精度要求高的港池、锚地、码头前沿水域的疏浚,以及基槽开挖等。

1.2 施工工艺优化策略

针对具体工程的地质、水文、环保及工期等约束条件,进行科学的工艺选型与参数优化是提升工程效益的关键。

1.2.1 基于地质条件的精准选型

工程前期详尽的地质勘察是工艺决策的基础。例如,在阳江港进港航道改造工程中,面对软土、硬土、岩石交错的复杂地层,单一船型难以胜任。实践中采用了“组合拳”策略:先用抓斗式挖泥船清除河床表面的乱石堆等障碍物,再用高功率绞吸式挖泥船处理中硬土层,对于局部坚硬岩层,则辅以水下爆破预处理。这种多船型协同作业模式,有效克服了地质难题,保障了工程进度^[2]。

1.2.2 施工参数动态调整

即使在同一工程中,不同区段的土质也可能存在差异。应通过试挖确定最优施工参数,并在施工中动态调整。例如,对于绞吸船,需根据土质硬度实时调节绞刀转速、横移速度、前移距和泥泵转速等参数,以寻求最佳生产效率与最低能耗的平衡点。

1.2.3 引入智能化与自动化技术

现代挖泥船普遍装备了疏浚自动控制系统(DACS)。该系统通过集成GPS、测深仪、姿态传感器等数据,能够自动控制船舶定位、绞刀深度、横移轨迹等,实现“一键疏浚”,极大地提高了施工精度和效率,减少了人为操作误差。

2 航道疏浚工程质量管控体系构建

建立一套科学、严谨、覆盖项目全生命周期的质量管控体系,是确保疏浚工程成功的核心保障。该体系应以“预防为主、过程控制、数据驱动、持续改进”为原则,贯穿于“事前-事中-事后”三个关键阶段,形成一个闭环管理的有机整体。

2.1 事前控制:夯实基础,源头预防

2.1.1 精细化勘察与方案设计

高质量的工程始于精准的数据。必须委托具备专业资质的单位,采用多波束测深、浅地层剖面仪、旁扫声呐等先进设备,对疏浚区域进行全面、高分辨率的水下地形地貌及地质勘察。勘察报告需详细揭示土层分布、障碍物位置、污染物含量等关键信息。在此基础上,设计单位应编制科学合理的疏浚设计方案,明确设计底高程、边坡比、疏浚范围等核心参数。施工方则需据此编制详尽的《施工组织设计》和《专项施工方案》,方案中必须包含针对不同地质条件的工艺选型论证、详细的

船机配置计划、精确的施工参数设定(如绞刀转速、横移速度)、以及完备的应急预案,并须经过专家评审和多方会签,确保其技术可行性和经济合理性。

2.1.2 高精度测量基准建立

测量是疏浚工程的“眼睛”,其精度直接决定了工程质量。事前必须建立稳定、可靠的测量控制网。这包括:①平面控制:利用RTK-GPS(实时动态差分全球定位系统)技术,在岸上布设多个高等级控制点,确保平面定位精度优于 ± 0.1 米。②高程基准:严格依据国家高程基准(如1985国家高程基准),并通过长期验潮站数据确定当地理论最低潮面或航行基准面,作为疏浚深度的起算依据^[3]。③设备校准:所有用于施工和验收的测量设备,包括GPS接收机、单/多波束测深仪、姿态传感器(MRU)等,都必须在有资质的计量机构进行定期检定和校准,并在施工前进行现场比对测试,确保数据的一致性和准确性。

2.1.3 合同与技术交底

在项目启动前,业主、监理、设计、施工四方应召开专题技术交底会议。会上,设计方需清晰阐述设计意图和技术要求;监理方需明确质量控制标准、验收程序和各方职责;施工方需汇报其施工方案和质保措施。通过充分沟通,确保所有参与方对工程目标、技术难点和质量标准达成高度共识,避免因理解偏差导致后续返工。

2.2 事中控制:动态监控,过程纠偏

2.2.1 智能化施工过程监控

现代大型挖泥船普遍装备了先进的疏浚自动控制系统(DACS)。该系统能够实时采集并集成以下关键数据:①船舶位置与姿态:通过DGPS和MRU,精确获取船舶的三维坐标、横摇、纵摇、升沉等信息。②疏浚状态参数:包括绞刀/耙头深度、泥泵真空度与压力、排泥管浓度与流量、横移速度等。③环境参数:如水深、流速、风速等。这些数据被实时传输至船上的中央控制室和岸基监控中心,管理人员可通过可视化界面,直观地看到疏浚轨迹、开挖断面与设计模型的吻合度。一旦出现超挖、欠挖或偏离航线等情况,系统可自动报警,指导操作手即时调整,实现“毫米级”的精准施工。

2.2.2 严格的工序报验与旁站监理

监理工程师是质量控制的关键执行者。对于关键工序,如浚前原始断面测量、特殊地质段处理、环保疏浚作业区划定、抛泥区确认等,必须实行严格的报验制度。施工单位自检合格后,需提前通知监理进行验收。

对于高风险或关键部位, 监理应实施全过程旁站监督, 确保施工工艺和参数符合批准的方案。特别是要严防“偷工减料”行为, 如未按规定区域抛泥、擅自改变施工参数等。

2.2.3 常态化试验检测与环境监测

质量控制不能仅依赖于几何尺寸的测量。还需辅以常态化的试验检测: ① 土质分析: 定期取样分析疏浚土的物理力学性质, 验证施工参数的有效性。② 泥浆浓度监控: 对于绞吸式疏浚, 泥浆浓度是影响输送效率和能耗的关键指标, 需实时监控并调整^[4]。③ 环保指标监测: 在环保疏浚项目中, 必须在施工区、扩散区及对照区布设水质监测点, 利用浊度计等设备, 连续监测悬浮物浓度(SS)、pH值、溶解氧(DO)等指标, 确保施工活动对水环境的影响控制在许可范围内。

2.3 事后控制: 量化评定, 闭环管理

2.3.1 标准化浚后测量

工程完工后, 必须立即组织独立的第三方测量单位, 按照与浚前测量完全相同的技术标准(如同等精度的多波束全覆盖扫测), 进行竣工测量。测量数据需经过严格的滤波、潮位改正等处理, 生成高精度的数字水深模型(DSM)。

2.3.2 基于BIM的数字化比对与验收

将竣工DSM与设计BIM模型进行精确叠加比对, 利用专业软件自动计算出每个网格点的超深、超宽、欠挖量, 并生成直观的色谱图和统计报表。这种基于数据的量化评定方式, 彻底改变了传统依靠人工抽查断面的粗放模式, 使得验收结论更加客观、全面、无可争议。验收小组依据《疏浚工程质量检验评定标准》等规范, 结合比对结果, 对工程质量做出最终评定。

2.3.3 资料归档与后评估

工程验收合格后, 所有与质量相关的文件, 包括勘察报告、设计图纸、施工日志、测量原始数据、试验报告、影像资料、验收记录等, 都必须系统整理、分类归档, 形成完整的工程档案。更重要的是, 应组织项目复盘会议, 对施工过程中出现的质量问题、采取的控制措施及其效果进行深入分析和总结, 提炼成功经验, 反思不足之处, 形成知识沉淀, 为未来类似项目的质量管理提供宝贵的参考, 从而实现质量管控体系的持续优化与闭环管理。

3 数字化赋能与未来展望

以BIM、物联网、大数据为代表的数字技术, 正在深刻变革航道疏浚工程的建设与管理模式。

3.1 BIM技术的深度应用

BIM技术可以构建航道疏浚工程的三维信息模型, 集成地质、水文、设计、施工等全要素信息。通过BIM模型, 可以在施工前进行虚拟建造与碰撞检查, 优化施工方案; 在施工中, 可将实时采集的疏浚数据与BIM模型关联, 实现施工过程的可视化、精细化管理; 在竣工后, BIM模型可作为数字资产交付, 服务于航道的长期运维。

3.2 智慧工地平台集成

将BIM模型与智慧工地平台相结合, 打通设计、施工、监理、业主等各方的数据壁垒。通过平台, 可实现工序线上报验、质量溯源、安全预警、资源调度等功能, 全面提升项目管理的协同效率和决策水平。

3.3 迈向绿色与智能疏浚

未来的航道疏浚工程, 将更加注重生态友好性。通过研发低扰动、低噪声的环保型疏浚设备, 结合精准的污染物监测与拦截技术, 最大限度地减少对水生态的影响。同时, 随着人工智能技术的发展, 无人化、自主化的智能疏浚船将成为可能, 进一步提升作业的安全性和效率。

4 结语

航道疏浚工程的高质量发展, 离不开施工工艺的持续优化与质量管控体系的不断完善。本文通过对主流疏浚工艺的对比分析, 提出了基于地质条件的精准选型与参数优化策略; 并构建了一个覆盖“事前-事中-事后”全过程的质量管控框架, 强调了高精度测量、实时监控和严格验收的重要性。尤为重要的是, 文章指出了数字化、智能化技术是未来行业升级的核心驱动力, BIM与智慧工地的深度融合将为疏浚工程带来革命性的变化。面对日益复杂的工程挑战和更高的社会期望, 疏浚从业者应积极拥抱新技术、新理念, 不断探索创新, 努力实现航道疏浚工程在效率、质量、安全与环保等多维度的协同发展, 为构建现代化高质量国家综合立体交通网贡献坚实力量。

参考文献

- [1] 戴惠民, 雷金城. 港口航道疏浚工程施工工艺研究[J]. 运输经理世界, 2025, (06): 144-146.
- [2] 杨咏梅, 袁翰亮. 港口航道疏浚工程施工的技术难点[J]. 运输经理世界, 2025, (36): 151-153.
- [3] 何海玉. 航道疏浚工程施工技术创新与实践[J]. 珠江水运, 2026, (06): 28-30.