

港口航道疏浚工程施工优化与质量控制

李启迪

大连港口建设监理咨询有限公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i5.8878

[摘要] 港口航道作为连接内陆腹地与国际航运网络的咽喉要道,其水深条件直接决定了船舶的通航能力与港口的吞吐效率。随着全球贸易量的持续增长及船舶大型化趋势的加剧,航道疏浚工程面临着工期紧、任务重、环境复杂等多重挑战。然而,当前部分疏浚工程仍存在施工效率低下、超挖回淤严重、泥沙污染扩散及质量管控滞后等问题,不仅增加了工程造价,还威胁着海洋生态环境安全。本文旨在系统综述港口航道疏浚工程的施工优化策略与质量控制体系。文章首先分析了疏浚工程的地质水文特征及其对施工的影响;其次,深入探讨了基于BIM技术、智能疏浚装备及工艺组合的施工优化路径;再次,详细阐述了从源头控制到过程监测的全链条质量管控机制,包括水位测量、泥面检测及回淤分析等关键环节;最后,结合绿色疏浚理念,展望了数字化、智能化及生态化在疏浚工程中的应用前景。研究表明,通过科学规划施工工艺、引入先进智能装备并实施精细化全过程质量管理,可显著提升疏浚效率与工程质量,实现经济效益、社会效益与生态效益的统一。

[关键词] 港口航道;疏浚工程;施工优化;质量控制;智能疏浚;绿色疏浚;回淤控制

Construction Optimization and Quality Control in Port Channel Dredging Projects

Li Qidi

Dalian Port Construction Supervision Consulting Co., Ltd.

[Abstract] As critical arteries connecting inland regions with international shipping networks, port channels' water depth directly determines vessel navigation capabilities and port throughput efficiency. With sustained growth in global trade volumes and the increasing trend toward larger vessels, channel dredging projects face multiple challenges including tight schedules, heavy workloads, and complex environmental conditions. However, current dredging projects still suffer from low construction efficiency, severe over-dredging and sedimentation issues, widespread sediment pollution, and inadequate quality control—issues that not only increase project costs but also threaten marine ecological safety. This paper systematically reviews construction optimization strategies and quality control systems for port channel dredging projects. First, it analyzes geological and hydrological characteristics of dredging sites and their impacts on construction; second, it explores construction optimization approaches leveraging BIM technology, intelligent dredging equipment, and integrated processes; third, it details a comprehensive quality control mechanism spanning source management to process monitoring, including key steps such as water level measurement, sediment analysis, and backfill evaluation; finally, it discusses the application prospects of digitalization, smart technologies, and eco-friendly practices in dredging engineering. The study demonstrates that scientific construction planning, adoption of advanced intelligent equipment, and refined whole-process quality management can significantly enhance dredging efficiency and project quality, achieving a balance between economic, social, and ecological benefits.

[Key words] port waterways; dredging projects; construction optimization; quality control; intelligent dredging; green dredging; sediment retention control

引言

港口航道是水上交通的大动脉,其建设质量直接关系到国

家物流通道的畅通与安全。近年来,随着“一带一路”倡议的深入实施及全球供应链的重构,港口吞吐量持续攀升,船舶吨

位不断增大，对航道水深标准提出了更高的要求。疏浚工程作为维持和恢复航道设计水深的核心手段，其重要性日益凸显。然而，航道疏浚作业往往处于复杂的海洋或河流环境中，受潮汐、波浪、水流、底质土质及气象条件等多重因素制约，施工难度大、变数多。传统的疏浚模式依赖经验决策，存在施工参数调整滞后、土方量计算误差大、超挖浪费严重以及泥沙扰动导致的环境污染等问题。

在当前资源约束趋紧、环保要求日益严格的背景下，如何突破传统疏浚技术的瓶颈，实现施工过程的精细化、智能化与绿色化，成为行业关注的焦点。施工优化旨在通过科学的技术路线选择和资源配置，以最小的成本获取最佳的疏浚效果；而质量控制则是确保航道达到设计水深、满足通航安全的关键保障。二者相辅相成，缺一不可。本文将对港口航道疏浚工程的施工优化策略与质量控制方法进行系统性综述，梳理现有技术的应用现状与不足，探讨未来发展趋势，以期为提升我国港口航道疏浚工程的整体水平提供理论依据与实践指导。

一、港口航道疏浚工程环境与地质特征分析

(一) 复杂多变的水文气象条件

港口航道通常位于河口、海湾或近海区域，水文气象条件极为复杂。潮汐变化导致水位周期性涨落，直接影响绞吸式挖泥船的吃水深度和排距选择；强风和大浪不仅影响船舶的作业稳定性，还可能造成施工中断；水流流速和流向的变化则会导致泥沙输移方向的改变，增加施工难度。此外，季节性暴雨引发的径流变化会显著改变河床形态和含沙量，使得疏浚工程必须适应动态变化的水文环境。若忽视这些环境因素，盲目制定施工方案，极易导致施工效率低下甚至安全事故。

(二) 多样化的底质土质特性

航道底质土质是决定疏浚工艺选择的核心因素。常见的土质包括淤泥、粘土、粉砂、细砂、中粗砂及砾石等。不同土质的物理力学性质差异巨大：软土（如淤泥）含水率高、强度低，易于挖掘但易产生泥浆扩散；硬土（如粘土、砂砾）强度高、粘聚力大，需要大功率绞刀切削，且易磨损刀具。此外，土质的渗透性、触变性及固结特性也各不相同。例如，高渗透性砂层在疏浚时容易发生塌孔，而高触变性淤泥则容易形成泥浆池，影响后续回填或吹填效果。准确识别底质土质分布及其空间变异规律，是制定科学施工方案的前提。

(三) 生态环境敏感性与回淤风险

现代疏浚工程不仅要考虑工程进度和质量，还必须高度重视生态环境保护。疏浚作业产生的悬浮泥沙扩散范围大，可能破坏水生生物栖息地，影响水质。同时，疏浚后的航道由于受到潮流、波浪及风浪的再搬运作用，必然会发生回淤现象。回淤速率受底质来源、水动力条件及疏浚断面形状等因素影响，若控制不当，将导致航道迅速失效，增加维护成本。因此，在工程前期必须充分评估环境敏感区和回淤风险，将生态保护与

防淤措施纳入施工组织设计的核心内容。

二、疏浚工程施工优化策略与技术路径

(一) 基于BIM与数字孪生的施工模拟与规划

建筑信息模型（BIM）技术在疏浚工程中的应用正在重塑施工管理模式。通过构建高精度的三维航道地形模型，结合地质勘察数据，可以直观展示水下地形地貌及土质分布。利用BIM技术进行施工模拟，能够预先推演不同疏浚方案下的土方量计算、船舶调度路径及排泥管线布置，从而优化施工工序，减少无效作业。进一步地，数字孪生技术将实时采集的施工数据（如船位、吃水、流量、浓度等）映射到虚拟模型中，实现对施工现场的实时监控与动态调整。这种“虚实融合”的规划模式，能够有效解决传统二维图纸难以表达复杂水下工况的难题，显著提高施工方案的科学性和可操作性。

(二) 智能疏浚装备与自动化控制系统的应用

随着物联网、大数据及人工智能技术的发展，智能疏浚装备已成为行业发展的新引擎。新一代绞吸式挖泥船配备了自动定位系统、自动挖掘控制系统及在线质量检测系统，能够实现“一键式”精准作业。例如，通过GPS/北斗双模定位系统，船舶可实现厘米级精度的自动巡航；自动挖掘控制系统根据预设的断面参数，实时调节绞刀转速、横移速度及绞刀下沉深度，确保按图施工，避免超挖或欠挖。此外，远程操控技术和无人船技术的应用，使得在恶劣天气或危险海域进行疏浚作业成为可能，大幅降低了人工操作风险和劳动强度。智能装备的普及，标志着疏浚工程正从“人控”向“智控”转变。

(三) 工艺组合优化与分区分层疏浚策略

针对不同土质和水深条件，单一疏浚工艺往往难以达到最佳效果，采用多种工艺组合优化是提升效率的关键。例如，对于表层软土可采用抓斗式或链斗式清淤，而对于深层硬土则需使用大型绞吸船进行切削。在施工组织上，应推行“分区分层”疏浚策略：先浅后深、先难后易，将航道划分为若干施工段，根据土质分布情况合理配置船型。同时，优化排泥管线布置，缩短排距，减少管道阻力损失，提高输送效率。针对高含沙量区域，可采取“边挖边排”或“旁通排放”工艺，减少回流扰动。通过科学的工艺组合与分区管理，可实现施工资源的最大化利用，缩短工期，降低成本。

三、疏浚工程质量控制体系与关键技术应用

(一) 高精度水位测量与断面检测技术

精确的水位测量和断面检测是保证疏浚质量的基础。传统的水下测深仪已逐渐被多波束测深系统（MBES）所取代，后者能够提供高密度的海底地形数据，生成连续、准确的三维断面图。在施工过程中，需建立“施工前-施工中-施工后”的三级检测制度。施工前，利用多波束系统获取原始地形数据，作为工程量计算的基准；施工中，采用单波束或双频测深仪进行实时断面扫描，及时发现欠挖区域并指导补挖；施工后，进行全

面复测, 验收航道达标情况。此外, 还需同步进行潮位校正, 消除潮汐变化对测量精度的影响, 确保数据真实可靠。

(二) 疏浚土体浓度与密度在线监测技术

疏浚土体的浓度和密度直接反映了疏浚效率和泥浆输送状态。传统的取样化验法存在滞后性, 无法满足实时控制需求。目前, 广泛应用的核子密度计、超声波浓度计及电磁感应浓度计等设备, 能够实现对泥浆浓度的在线实时监测。这些数据反馈至中控系统后, 可自动调节绞刀功率、横移速度及泥浆泵转速, 使泥浆浓度始终保持在最优区间, 既避免浓度过低造成的管道磨损和能耗浪费, 又防止浓度过高导致的堵管风险。通过闭环控制, 确保了疏浚土方量的准确性和施工过程的高效性。

(三) 回淤预测与防淤措施的实施

回淤控制是疏浚工程质量控制的难点和重点。为减少回淤, 需采取综合防淤措施。在工程设计阶段, 应优化航道断面形状, 采用梯形或复式断面以减少水流紊动。在施工过程中, 合理安排施工时序, 避开大潮汛期和高含沙量时段, 利用枯水期进行主要疏浚作业。同时, 设置临时导流堤或围堰, 阻挡外部泥沙进入航道。对于已疏浚区域, 可采取抛石护底或铺设土工布等措施, 加固河床, 抑制底质起动。此外, 利用数值模拟技术预测回淤趋势, 制定科学的维护疏浚计划, 确保航道长期保持设计水深。

四、绿色疏浚理念与可持续发展展望

(一) 泥沙资源化利用与生态修复

传统疏浚往往将疏浚物视为废弃物, 直接吹填或抛泥, 造成了资源浪费和环境污染。绿色疏浚理念倡导将疏浚土视为资源, 进行分类处理与综合利用。对于清洁的砂石料, 可用于填海造地、路基填料或建材生产; 对于受污染的底泥, 需经过固化稳定化或脱水干化处理, 再进行安全处置或土地改良。同时, 结合生态修复技术, 在吹填区种植红树林、海草床等植被, 构建人工湿地, 净化水质, 恢复生物多样性, 实现“疏浚 - 利用 - 修复”的良性循环。

(二) 低碳施工技术与能源结构优化

在“双碳”目标引领的绿色发展浪潮下, 降低疏浚工程碳排放已成为行业发展的必然要求。传统燃油动力疏浚设备在作业过程中, 不仅会排放大量二氧化碳, 还会产生氮氧化物、颗粒物等污染物, 对生态环境造成负面影响。而推广使用电动或混合动力疏浚船舶, 能从源头上减少化石能源的使用, 显著降低温室气体和污染物排放, 为改善空气质量、应对气候变化贡献力量。

同时, 优化施工工艺也至关重要。通过精准规划施工范围和流程, 减少无效开挖和重复运输, 能够有效降低能源消耗, 提高施工效率。此外, 积极利用风能、太阳能等可再生能源为施工辅助设施供电, 不仅清洁环保, 还能降低对传统

能源的依赖。

未来, 我们需持续通过技术创新和管理优化双轮驱动, 构建涵盖设计、施工、运营等环节的绿色低碳疏浚产业链, 推动整个行业向更加可持续的方向迈进, 为实现“双碳”目标添砖加瓦。

(三) 全生命周期数字化管理与智慧监管

未来, 港口航道疏浚工程将全面迈向数字化、智慧化管理。依托 5G、云计算和区块链技术, 构建集设计、施工、监理、验收、运维于一体的全生命周期管理平台。实现数据的实时共享、透明追溯和智能分析, 打破信息孤岛, 提升监管效能。政府监管部门可通过平台实时掌握施工进度、质量状况及环境影响指标, 实施精准执法。企业则利用大数据分析优化资源配置, 提升核心竞争力。智慧监管体系的建立, 将为疏浚行业的规范化、标准化发展提供强有力的支撑。

结语

港口航道疏浚工程是一项技术密集、环境敏感、管理复杂的系统工程。面对日益严峻的通航需求和环保压力, 单纯依靠传统经验已难以适应新时代的发展要求。本文通过对施工环境与地质特征的深入分析, 系统总结了基于 BIM、智能装备及工艺优化的施工策略, 并构建了涵盖水位测量、浓度监测及回淤控制的全过程质量管控体系。研究表明, 只有坚持技术创新与管理创新并重, 将绿色、低碳、智能理念融入疏浚工程的全生命周期, 才能有效解决施工效率低、质量不稳定及环境污染等痛点问题。展望未来, 随着人工智能、大数据及新材料技术的深度融合, 港口航道疏浚工程必将向着更加精准、高效、绿色的方向迈进, 为保障国家水运通道安全畅通、推动海洋经济高质量发展作出更大贡献。唯有如此, 方能在波涛汹涌的海洋中筑起坚实的通途, 护航大国重器行稳致远。

[参考文献]

- [1]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. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2026.06.041.
- [2]皇甫任峰, 祝楠. 水运航道工程建设中的质量管理问题分析[C]//江西省汽车工程学会. 第二届工程技术与新能源经济学术研讨会论文集. 潮州市公路水运工程监理咨询有限公司, 2026: 299-302.
- [3]黄云云. 航道施工工程项目中的质量管理方法研究[J]. 产品可靠性报告, 2025, (10): 81-82.
- [4]刘志强. 水利工程施工技术创新及应用分析[C]//中国设备管理协会品牌建设与技术应用委员会. 中国设备管理新趋势交流会会议文集(二). 开封黄河河务局水上抢险队, 2025: 43-45. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.091425.
- [5]陈文锋. 港口航道泥沙淤积与疏浚技术研究[J]. 珠江水运, 2025, (10): 28-30. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2025.10.016.