复杂水文条件下港口与航道工程施工技术优化研究

刘新望
中国电建集团港航建设有限公司，天津 300480

[摘要]我国沿海、沿江港口航道的水文环境条件十分复杂，水流速度不稳定、海浪持续冲击、潮汐规律往复变化、航道泥沙常年淤积、水位突然涨跌等各类水文问题，提升了水运工程的施工难度。目前传统的水运工程施工工艺，对复杂水文环境的适配能力较差，不仅现场质量管控流程繁琐、操作难度大，整体施工效率也偏低，很难满足高标准的航道工程建设需求。基于此，文章结合水运工程现场实际施工情况，系统分析了复杂水文环境对航道施工的各类制约影响，针对性对桩基施工、航道疏浚、护岸施工、水下混凝土浇筑四大核心施工工序开展技术升级优化。同时依托智能监测技术、数字化建模手段和施工参数动态调控方法，搭建了一套适配复杂水文条件的专项施工工艺及质量管控体系，以提升航道工程的施工质量和构筑物结构安全性，减少工程施工故障、后期病害问题，降低工程运维成本，以供参考。

[关键词]复杂水文条件；港口与航道工程；施工技术；工艺优化；质量控制
DOI：10.33142/hst.v9i9.20652　　中图分类号：TV142　　文献标识码：A

Research on Optimization of Construction Technology for Port and Waterway Engineering under Complex Hydrological Conditions

LIU Xinwang
PowerChina Harbour Co., Ltd., Tianjin, 300480, China

Abstract: The hydrological environment conditions of coastal and riverside ports and waterways in China are very complex, with various hydrological problems such as unstable water flow velocity, continuous wave impact, fluctuating tidal patterns, perennial sedimentation of waterway sediment, and sudden fluctuations in water level, which increase the difficulty of water transportation engineering construction. At present, traditional water transportation engineering construction techniques have poor adaptability to complex hydrological environments. Not only is the on-site quality control process cumbersome and difficult to operate, but the overall construction efficiency is also low, making it difficult to meet the high standard requirements of waterway engineering construction. Based on this, the article systematically analyzes the various constraints and impacts of complex hydrological environments on waterway construction, combined with the actual construction situation of water transportation engineering sites. Targeted technological upgrades and optimizations are carried out for the four core construction processes of pile foundation construction, waterway dredging, revetment construction, and underwater concrete pouring. At the same time, relying on intelligent monitoring technology, digital modeling methods, and dynamic control methods of construction parameters, a special construction process and quality control system adapted to complex hydrological conditions have been established to improve the construction quality and structural safety of waterway projects, reduce construction failures and later disease problems, and lower project operation and maintenance costs for reference.

Keywords: complex hydrological conditions; port and waterway engineering; construction technology; process optimization; quality control

引言

港口与航道工程是水运基础设施的核心组成部分，不仅保障着水上货物运输、物资中转集散以及临港产业的落地发展，更是完善综合交通运输体系、打通江海联运通道的关键支撑[1]。传统港口航道施工工艺在这类复杂水域环境中存在明显短板，施工过程中极易出现各类质量和工艺问题，常见的有桩基塌孔、桩体偏位，疏浚后的航道泥沙快速回淤，水下浇筑的混凝土密实度不达标，以及护岸结

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

构变形受损等病害。与此同时，当前港口与航道工程逐步向深水、水文条件更复杂的区域拓展，行业的建设标准、安全规范和环保要求也在持续升级，传统粗放的施工技术模式，已经无法适应工程高质量建设的发展需求[2]。文章围绕工程全施工流程开展技术优化研究，通过改良传统施工工艺、引入智能化施工管控手段、搭建精细化质量管控体系，形成一套完整的成套施工技术方案，有效提升港口与航道工程的施工质量、作业安全性和施工效率，助力行业高质量发展。

1 复杂水文条件特征及对工程施工的影响分析

1.1 复杂水文核心特征

沿海港区水下施工会遭遇多种复杂水文条件带来的棘手问题，具体可以分为五个方面：第一，潮汐涨落幅度很大，潮差能达到 3～6m，到了汛期或者台风来临的时候，水位还会突然暴涨暴跌，直接改变水下施工的实际水深，也打乱了作业的施工范围和操作边界。第二，水域水流情况杂乱多变，还经常出现回流、乱流，持续冲刷在建构筑物以及施工船舶、作业平台，稳定性很难保障[3]。第三，受常年季风和突发台风影响，海面波浪毫无规律，导致施工船只、工程机械不停摇晃、走位偏移，精准作业难度大幅上升。第四，港区处于江河与大海交汇地带，泥沙运动十分频繁，航道很容易快速淤积，反复淤积会拉低疏浚开挖的成型效果，达不到设计断面标准。第五，潮汐、水流、风浪、泥沙这几类因素相互交织、共同作用，整体施工工况异常复杂，让海上水下施工的不确定因素大幅增多，安全和质量管控风险显著加大[4]。

1.2 对港口航道施工的主要负面影响

复杂多变的水文条件给涉水工程项目施工带来安全与质量隐患。进行桩基施工时，湍急水流容易推着钻机发生偏移，钻孔底部堆积的沉渣越积越厚，再加上潮汐水位忽高忽低不稳定，很容易造成钻孔坍塌、孔径收缩变小的问题；开展航道疏浚作业时，施工设备没法精准固定位置，挖走的淤泥很快又回流淤积，直接拉长施工周期、额外增加大量造价成本；修筑护岸工程阶段，预制构件在水下容易被水流冲得错位跑偏，水下浇筑的混凝土容易出现骨料和砂浆分离的离析现象，整体浇筑密实度达不到设计标准，外加水位持续上下浮动，堤坝的防渗止水能力降低。除此之外，水体水文剧烈波动还会提升水上船舶吊装、运输作业的安全风险，各类水下工程机械长期在复杂水环境里运转故障率升高。沿用老旧传统施工工艺很难适应多变的水文环境，不仅整体施工推进速度缓慢，后续因为质量缺陷整改返工的概率也会上升。

2 复杂水文条件下港口航道核心施工技术优化

2.1 水下桩基施工技术优化

桩基作为港口码头、航道护岸工程最关键的受力承重结构，在水下开展施工作业时，会直接受到潮水涨落、河水洋流的影响和限制，施工复杂程度和操作难度远高于陆地上打桩。使用拼装式可浮动稳固钻孔作业平台，平台加装了双向液压锁定装置和减震缓冲结构，能够抵抗每秒 1.5m 流速的水体冲刷冲击；定位方面采用 GPS 加北斗两套卫星系统协同实时动态定位，一旦桩孔位置偏移超过正负 2cm，设备就会启动液压装置自动修正点位。钻机自带可自动升降的调节支架，能跟着潮汐水位变化实时调整设备作业高度，从源头严格把控钻孔的垂直精度。钻孔过程中用来防止孔壁坍塌的护壁泥浆，添加了高分子稳定材料和防渗药剂，调配成抗水流冲刷的复合型泥浆。施工过程中配合低速稳钻的操作方式，成孔后开展二次清孔作业，并且严格把控施工时效，在清孔完成后的半小时内，快速完成钢筋骨架吊装和混凝土浇筑作业。水下混凝土浇筑工序采用密闭导管连续浇筑施工工艺，施工全过程严格控制导管埋深，稳定维持在 4～6m 区间。结合现场水流大小、流速工况动态调整混凝土浇筑速度，同时在混凝土拌合料中掺入专用抗分散外加剂，有效解决水下施工中浆液被水流稀释、骨料离散分离的问题，提升水下桩基整体施工质量。

2.2 航道疏浚施工技术优化

航道疏浚主要通过拓宽浚深水域、清掏河道淤积泥沙，确保航道通航水深满足船舶航行规范要求。设备管控层面采用双船协同定位疏浚施工工艺，依托辅船锚缆约束体系抵消水流、波浪荷载引发的船体摇摆与移位偏差。施工全过程结合现场实时水文监测数据，对绞刀回转速率、泥浆输送排量及管路压力等核心运行参数实施动态优化调节。同时，在施工设备上加装智能传感设备，全天候实时监测航道水深、疏浚边坡坡度、船体位置偏移等关键数据，依托数据反馈实现疏浚作业的智能化、精准化调控，从设备层面降低施工误差。在防回淤管控方面，利用三维水沙耦合数值模型，提前预判施工水域的泥沙淤积位置、淤积厚度及淤积规律。对已经施工完成的航道区段，铺设土工布进行固淤防护，抑制泥沙再次淤积。同时合理规划施工工期，避开汛期、大潮期等水流紊乱、回淤高发时段作业，搭建起“疏浚施工-实时监测-精准补挖”的闭环管控体系，持续稳定航道水深、宽度等通航尺度，保障航道长期稳定通航。在施工工艺方面，采用分层阶梯式疏浚开挖方式，自上而下分层施工，单层开挖厚度控制在 0.8～1.2m，同时搭配分段、分区的闭环施工模式。针对水流紊流易造成

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

淤积的区域，提前预留合理超深量，提前应对施工后的泥沙回淤问题，提升疏浚成型稳定性。

2.3 护岸与整治结构施工技术优化

港口航道的护岸和堤体结构，长期经受流水冲刷、波浪撞击，再加上水位反复涨落带来的交替作用力，整体服役环境十分恶劣，结构容易出现破损、松动等问题。针对特殊的水下施工条件，项目基础施工采用水下整平+换填夯实的复合施工工艺。施工时，首先彻底清理基坑底部的淤泥、软土以及松散软弱土层，彻底清除基底不良土质；之后分层铺设回填碎石、砂石骨料，同时开展水下夯实作业。对于水流冲刷力度大、淘洗严重的重点区段，增设大块石抛填防护层，搭配土工格栅联合铺设形成防冲护坦结构，避免基础土体被水流淘空、流失。在主体结构施工过程中，预制块吊装施工全程搭载动态监测精准定位系统，精准把控每一块预制构件的安装位置。现浇混凝土结构施工时，配套使用抗浪专用钢模板，并加装止水胶条强化密封效果；对于水位变动区域，采用分层、分次浇筑和振捣的施工方式，避开水位波动带来的施工干扰，彻底解决水位变化导致的混凝土成型差、密实度不足、渗漏等质量问题。在生态防护方面，摒弃传统单一硬质防护模式，改用生态格网结合植被固土的复合防护方案。在生态格网内部分层填充碎石和种植土，同时栽植适配水域环境的水生植物，既依靠格网和碎石的硬性结构筑牢堤岸抗冲、固土能力，又通过水生植物实现水体净化、修复水域生态，真正实现工程结构安全稳固和水域生态环境保护的双向兼顾、协同提升。

2.4 水下附属工程施工技术优化

港口航道里的水下管线、系船墩、航标底座附属构筑物，存在施工点位零散分布、安装定位精度要求特别高、全程受潮汐、水流等水文环境干扰大的难题。针对体量较小的水下基础结构，采用拼装式密封浇筑模板来施工，搭配三维声呐设备扫描摸清水下实际地形，精准圈定施工边界；浇筑时使用微膨胀抗分散专用混凝土，避免水体冲散砂浆、出现浆液流失和渗漏问题，保障水下混凝土成型质量。水下管道铺设改用动态牵引敷设工艺，施工过程中根据现场水流大小实时调整牵引速度和管道拉力，管道就位完成后分层回填砂石并夯实压紧，能最大程度避免管道发生弯折、偏移、上浮等问题，切实提高整个水下工程的施工品质和长期结构安全稳定性。

2.5 智能化施工调控技术优化

为应对航道水域水文条件多变、环境复杂的实际情况，弥补以往静态施工模式应变能力不足的问题，构建了一套水文条件与现场施工动态联动的智能调控系统。现场安装多种监测仪器，不间断实时收集水流速度、水位高低、风浪大小以及泥沙淤积等各项基础数据，借助大数据分析技术提前预判水文后续变化趋势。将实时水文数据导入BIM三维可视化模型当中，根据水域环境变化随时调整施工步骤、施工方法和技术参数，让施工作业可以自动适配现场动态条件。同时搭建远程在线监管平台，对工程机械运行状态、整体施工质量进行全过程把控，发现偏差第一时间整改修正，有效提高了复杂水域工程施工的精细化管理水平与管控准确度。

3 施工质量与安全保障优化体系

3.1 精细化质量管控机制

搭建事前预判、事中管控、事后复核的三级质量管控体系。事前阶段，先收集整理施工场地的水文资料，据此编制专项施工方案和应急处置预案，遇到水流速度大、泥沙淤积、汛期涨水、台风来袭等特殊情况，提前调整施工工艺、更换适配设备，从源头规避质量风险。施工过程中，安排专人对桩基施工、混凝土浇筑、航道疏浚、堤岸防护这些核心工序全程现场盯控，实时发现操作偏差立刻整改纠正，不让问题持续扩大。工程完工之后，采用三维激光扫描、水下声呐探测等数字化设备做全方位质量检测验收，同步建立完整的质量追溯台账；后续还会根据水域水文条件的长期变化持续修订质控要求，确保项目稳固安全。

3.2 施工安全防控优化

复杂水域水文条件多变，给水上施工作业带来了极高的安全风险，必须全方位补齐短板、搭建更完善的安全防控体系。一方面搭建水文动态预警体系，一旦监测到水流、水位、风浪等指标超出安全阈值，第一时间叫停各类高风险水上作业；另一方面给施工船只、作业平台统一加装防风加固、防撞缓冲、甲板防滑、人员救生等防护装置，安排专人定期巡检维护，确保所有设备始终处于可靠运行状态。提前梳理钻孔塌孔、船舶失控漂移、汛期洪水强力冲刷等典型安全隐患，编制专项应急处置方案，足额储备救生、抢险、堵漏等应急物资，并且固定频次开展实战化应急演练，切实提升一线作业人员临场应变和险情处置能力。

3.3 施工环保优化措施

港口航道开展水下施工作业期间容易搅起水底泥沙，周边水体变得浑浊，泥沙四处扩散会直接破坏水域生态环境，所以在优化施工技术的过程中，必须同步跟上各项环保管控措施。一方面优化泥沙处理的整套工序，疏浚挖出来的淤泥先经过沉淀处理，完成无害化达标之后再进行二次回收利用；另一方面用上封闭式的泥浆输送管路，避免

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

运输途中发生渗漏，所有施工产生的废渣、垃圾全部统一运到岸上集中处理，不往水里随意丢弃。施工全过程不间断监测水里的悬浮物指标，严格划定、缩小施工扰动水域的范围，降低工程对周边水环境的负面影响。

4 结论

分析了潮汐涨落、海浪冲击、泥沙淤积等多种水文条件相互叠加、共同作用，给港口航道桩基施工、航道疏浚等核心施工环节带来的各类不利影响。通过对施工工艺进行升级改造，再搭配智能化全过程统筹管理的一体化优化方案，可以提高现场施工精准度、减少安全隐患、压缩工程投入，很好地满足复杂水域环境下的施工作业要求。下一步计划深度结合数字孪生技术与人工智能算法，提前预判水域水文变化情况，自动调整施工设备运行参数，持续优化环保型施工方法，搭建一套智能化、生态化的绿色施工完整体系，为国内水运交通基础设施的高质量建设发展提供有力支撑。

[参考文献]

[1]胡日金,岑树华.港口航道工程施工 GPS-RTK 与 PPK 联合测量技术优化分析[J].珠江水运,2026(9):104-106.
[2]惠天翔.港口与航道工程中波浪影响下的施工技术优化[J].珠江水运,2025(1):53-55.
[3]郑毓勋.港口航道疏浚工程施工技术的探讨与分析[J].珠江水运,2022(15):99-101.

作者简介：刘新望（1992—），男，汉族，河南南阳人，中级工程师，本科毕业，吉林大学，土木工程专业，目前从事港口与航道工程施工及研究。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.