

# Research on innovation and application of intelligent automatic dredging ship control

Jia Wang Jin Zhang Haoliang Zhang Zesheng Wang

Shandong Haohai Dredging Equipment Co., Ltd., Qingzhou, Shandong, 262500, China

## Abstract

As an advanced dredging equipment developed in recent years, intelligent automated dredgers have significantly improved dredging efficiency and safety through integrated smart logic control, environmental perception systems, and efficient operation mechanisms. The control system employs logic control technology to enable continuous automated operations for cutter suction dredgers. The environmental monitoring module, equipped with millimeter-wave radar, temperature sensors, and wind direction monitoring systems, establishes a secure external environment surveillance network. The optimized hydraulic-driven mud pumping system enhances operational efficiency by over 30% per unit time. This paper focuses on technical breakthroughs in operational principles, technical architecture, application analysis, autonomous depth-digging algorithms, and sediment concentration detection mechanisms. Case studies from small-scale construction zones and challenging environments demonstrate its applicability under complex working conditions. It also highlights future technological trends integrating AI autonomous learning capabilities with new energy power systems, addressing challenges such as complex riverbed geology, environmental adaptability limitations, and ecological balance considerations. These advancements provide theoretical support and development opportunities for iterative upgrades of intelligent dredging equipment.

## Keywords

Intelligent automated dredgers; Dredging engineering; Environmental perception; Ecological governance

# 智能化自动操控清淤船的创新与应用研究

王嘉 张进 张浩亮 王泽生

山东浩海疏浚装备有限公司, 中国·山东 青州 262500

## 摘要

智能化自动操控清淤船作为近几年新发展起来的疏浚工程的先进装备,通过集成智能逻辑控制、外部环境感知识别与高效作业系统,显著提升了疏浚效率与安全性。其控制系统采用逻辑控制技术,可实现绞吸式清淤船的连续自动作业;环境感知模块配备毫米波雷达、温度传感器和风力风向监测系统,构建了外部环境的安全监控系统;高效泥泵装置结合液压驱动优化,使单位时间工作效率提升30%以上。本文重点探讨智能化自动操控清淤船的工作原理、技术架构、应用分析、自主挖深算法、泥沙浓度检测机制等方面的技术突破,并以小型施工区域、环境恶劣的工程为典型案例,解析其在复杂工况下的工程应用。同时指出在面临河床地质复杂、环境适应性不足、生态保护平衡等挑战的情况下,未来AI自主学习计算能力与新能源动力系统融合发展的技术趋势,为智能化疏浚装备的迭代升级提供更广阔的理论支撑与发展空间。

## 关键词

智能化自动操控清淤船; 疏浚工程; 环境感知; 生态治理

## 1 引言

疏浚工程作为水域基础设施建设中至关重要的环节,不仅承担着保障航道通航能力、提升流域防洪排涝功能的重要任务,更在滨海湿地修复和河湖生态治理等领域扮演着不可替代的角色。传统的绞吸式和耙吸式清淤船长期依赖人工经验进行操作,暴露出作业精度不稳定、燃油消耗量居高不下系统性问题。伴随着智能算法的显著突破和高精度定位技术的进步,新一代智能清淤船通过构建先进的逻辑控制系统,成功实现了疏浚作业流程的数字化重构,显著提高了作业效率和精度,有效降低了能源消耗,并大幅减少了环境污染,为水域基础设施建设带来了重大变革。

## 2 智能化自动操控清淤船的工作原理

智能化自动操控清淤船的核心功能是通过挖掘、输送和排放水下泥沙,改善水域环境。其作业流程包括以下阶段:

### 2.1 环境感知

通过毫米波雷达、外部温度检测、风力风向检测以及摄像头,获取清淤船周边工况信息及障碍物信息。

(1) 毫米波雷达:能够探测20米以内的事物,可识别礁石及岸边航行的船舶。

(2) 外部温度检测:其主要目的是监测高温或低温环境。

(3) 风力与风向检测:依据清淤船的适航性能差异,可设定在特定风力条件下禁止作业,以预防清淤船发生意外

事故。

(4) 摄像头：船甲板上安装有两个 360 度球形摄像头，能够实现全方位、无死角的船舶状况监控。

### 2.2 清淤规划

基于项目规划要求和清淤船的工作性能，可设定最大挖深深度及每刀进深量，利用地磁传感器和差分式 GPS 精确设定清淤范围，确保清淤船实现在规定区域按照施工需求进行合理的作业。

(1) 挖掘深度：清淤深度可通过角度测深仪实时监测，该设备角度传感器安装在桥架，相关参数显示在操作室电脑屏幕。

(2) 横移摆动：清淤船配备了差分式 GPS 和地磁传感器，其中以差分式 GPS 为主，地磁传感器为辅，能够设定摆动角度，并实时监测清淤船当前的摆动角度和区域，摆动角度和区域可清晰显示在电脑屏幕。

### 2.3 自动启动及顺序作业

利用清淤船执行挖掘任务，通过设定好的自动逻辑控制系统实现对发动机启停、齿轮箱合排、泥泵工作参数、封水泵及冷却水泵压力等参数流程的自主启动与顺序作业并监控实际工作参数。

(1) 发动机：自动系统能够精准控制发动机的启动、停止、加速和减速功能，并能实时监测发动机的当前转速、水温及油温等关键参数。

(2) 齿轮箱：自动系统能够精确控制齿轮箱的合排与分开操作。当发动机转速低于或高于设定合排转速时，齿轮箱将不会执行合拍动作，此时自动系统会自动调节发动机转速，只有在设定的合理转速范围内执行合拍工作。

(3) 泥泵：在泥泵出口处配备了流量计，能够实时监测泥泵的当前排量，在泥泵进口处，安装配套了浓度计，实时检测所抽淤泥浓度。若发动机在正常运行状态下，流量低于预设的流量值，自动控制系统将立即启动停机并发出报警信号。

(4) 封水泵：主要控制封水泵的启动停止，根据系统设定，封水泵应先于泥泵工作前开启。当封水泵打开时，封水压力达不到预设值，自动控制系统会自动停机报警。

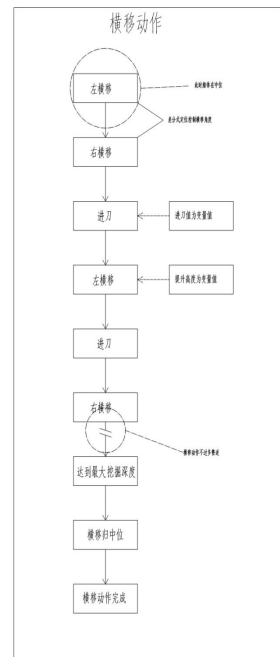
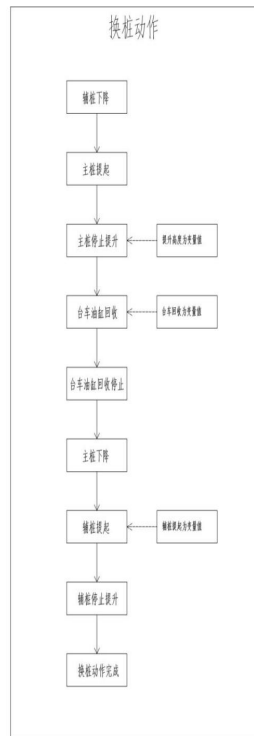
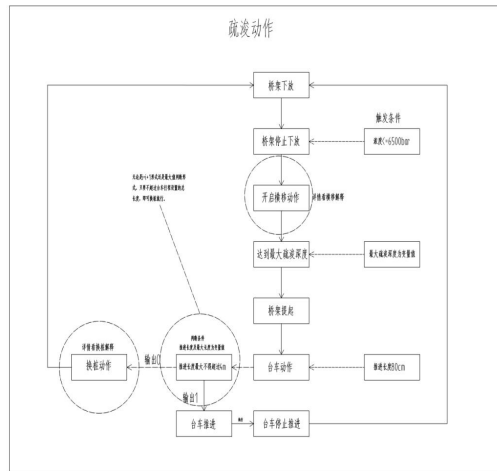
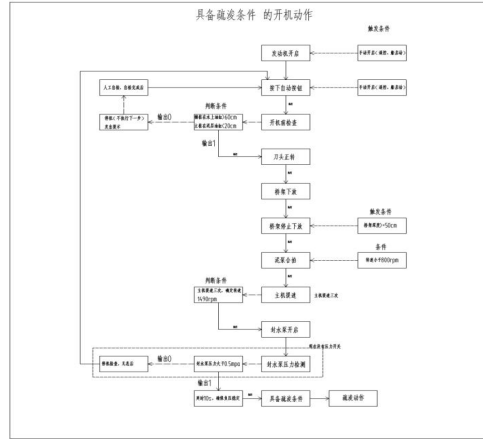
### 2.4 产量检测

根据泵出口处配备的流量计，结合在吸管上安装的浓度计实时数据，控制器自动计算得出挖泥泵当前清淤产量并显示在电脑屏幕。

### 2.5 状态监控

通过相应传感器和监控摄像头，实时监测清淤船周边环境、设备运行状态、关键位置温度、当前风力风向、能耗与排放、噪音等数据，从而确保作业过程的安全性和环保标准的合规性。

## 2.6 总体工作流程图



## 3 关键技术架构

### 3.1 智能逻辑控制系统

①采用先进的逻辑和算法,清淤船能够实现自主决策,以确保其清淤作业的高效和安全。在进行清淤动作时,清淤船会自动根据设定,进行左右摆动,当铰刀头接触到较硬的物质(如大块岩石)时,铰刀的工作压力会瞬间升高,系统判定压力超出额定值时,会立即启动自我保护机制,横移绞车会控制清淤船向反方向移动(避开大块岩石),桥架绞车则会提升铰刀,随后横移绞车再次控制清淤船向正方向移动,从而有效地绕过岩石,避免对设备造成损害。

②在清淤船自动系统启动之前,系统会根据设定程序,进行一系列的自检程序。首先会检查所有开关是否处于零位状态,确保所有操作设备处于初始位置,检测主定位桩是否已经正确地插在水里,以及辅定位桩是否抬起,只有当这些条件都满足时,清淤船才会正常启动。如果检测到任何不满足条件的情况,清淤船会自动进入自我保护状态,并拒绝启动,以确保作业的安全性。

③为了实现精确的横移角度控制,清淤船结合了差分式 GPS 和地磁传感器的技术,这种组合使得清淤船能够实现厘米级的横移角度定位,从而大大提高了作业的精度和效率。在清淤船的船侧,还安装了毫米波雷达,实时监测周围环境,以避免遇到礁石或其他航行船舶,一旦检测到潜在的刮蹭或碰撞风险,系统会立即暂停清淤船当前的动作,并发出报警信号,确保作业的安全。

④此外,清淤船内部还装有浓度计和流量计。自动系统会根据当前发动机的运转情况,实时监测并判断当前的流量是否正常。当发动机满负荷工作时,如果未达到应有的挖泥泵流量,系统会自动停机,以避免设备因过载而损坏。这种智能监测和保护机制确保了清淤船在高效作业的同时,也能够最大限度地保护设备,延长其使用寿命。

### 3.2 数据界面集成显示

- (1). 液压数据: 杂用压力、横移压力、铰刀压力
- (2). 水路数据: 封水压力、封水泵启停、冷却水泵启停
- (3). 轮机数据: 发动机水温、发动机转速、齿轮箱合拍、泥泵流量、吸管负压、排管正压
- (4). 清淤船数据: 横移角度、挖深深度、挖深角度、主定位桩高度、辅定位桩高度、台车行程长度、发电机电压、燃油液位、压载液位、铰刀状态、电瓶电压
- (5). 外部环境数据: 当前温度、船舶测距、当前风力、当前风向

### 3.3 应用分析

经过三年技术攻关,智能化自动清淤船在山东浩海疏浚装备有限公司实验基地取得重要成果。其关键技术设备成功完成 620 小时不间断作业验证,该清淤船在模拟多工况条件下,依托智能航迹生成系统,开创单人集中管控作业新模式。对比传统作业模式需 3 名操作员协同作业的配置,现仅

需 1 名工程师通过巡查即可实现全时段自动控制,单船年度人力成本节省幅度达 65%,预计每年可为客户节约运营成本约 200 万元。

测试数据表明,该智能系统采用泥泵协同控制策略后,整体疏浚效率较传统方式提升 30%。针对砂质、淤泥等复杂底质工况,设备能自动调节绞刀切削角度与行进速率,结合自适应排渣系统保障连续高效作业,成功实现复杂气象条件下的全天候安全施工。为疏浚行业清淤船智能化升级提供了参考样板方案。

### 3.4 挑战与未来方向

技术瓶颈: 针对大型清淤船在复杂水文条件下,如潮汐波动和暗流,清淤船定位精度和设备可靠性需提升; 针对采用抛锚固定的清淤船,由于拖拽移动的因素,锚的位置可能有一定的偏移,影响定位精度,采用 RTK 或声纳定位技术可提高锚定位精度,确保稳定作业。

成本问题: 项目初期研发和维护费用高,完成技术开发和系统搭建、样机制造的同时,需大量资金进行相关试验调整改进。相信随着技术成熟和应用推广,规模化应用可降低边际成本,提高经济效益。

智能化升级: 未来作业仿真系统可能引入数字孪生技术,创建虚拟副本与现实环境实时交互,精确模拟分析作业情况。结合区块链技术,实现疏浚数据可信追溯,确保数据不可篡改性和透明性,提高数据安全性和可靠性。作业各环节可准确记录验证,确保作业高效安全。

## 4 结论

智能化自动操控清淤船通过智能化和绿色化技术创新,正在彻底改变疏浚行业的传统作业模式。这些先进的船只在提升作业效率、确保作业安全以及降低对生态环境的影响方面,展现出了显著的优势。随着人工智能技术的不断进步和清洁能源技术的突破,智能化自动操控清淤船有望成为智慧海洋工程的重要支柱,为全球水域的可持续发展提供强有力的支持和保障。

### 参考文献

- [1] 张进, 王佳, 张浩亮, 王泽生, 高文明. 一种疏浚作业控制系统 [P]. 中国: 专利号 ZL 2024 1 0931884.6, 出版日期 2024 年 10 月 22 日.
- [2] 庞景墩, 贺海涛, 林直, 郑昊乐. 挖泥船施工作业三维可视化系统优化设计与应用 [J]. 中国港湾建设, 2024(8):44-8
- [3] 鲁嘉俊, 杨波, 徐婷. 一种基于强化学习的绞吸式挖泥船施工参数智能自主寻优方法研究 [J]. 中国港湾建设, 2022(8):42-8
- [4] 朱德全. 绞吸式挖泥船维护保养管理系统的开发与实现 [J]. 造船技术, 2022(12): 50-6
- [5] 李攀. 不同水深工况下绞吸挖泥船阻力性能对比 [J]. 内江科技, 2020(12):18-19
- [6] 胡京招, 祝志远, 曹蕾等. 基于中粗沙土质输送工况的泥泵轴系疲劳寿命研究 [J], 2023(1):1-5
- [7] 王健, 孔凡震. “天鲲号”自航绞吸船核心技术应用研究 [J]. 中国港湾建设, 2017(1):58-67