

复杂海域疏浚工程中创新采砂洗砂工艺的应用及效能提升研究

师松涛

广东 惠州 516000

DOI:10.61369/ME.2026070008

摘 要： 在复杂海域实施的疏浚工程，由于高流速、复杂地质这类特殊环境状况，以往的采砂洗砂工艺会出现效率不高、分离不完全等情况。改革工艺通过设备协作、智能监控、流程改良等技术，提高作业效能、分离精准度以及资源回收比率，符合水运码头工程砂料质量与供应要求，同时减少环境干扰，实现经济与生态效益的协同，为工程高效绿色化发展提供支撑。

关 键 词： 复杂海域疏浚工程；创新采砂洗砂工艺；资源循环利用

Research on the Application and Efficiency Improvement of Innovative Sand Mining and Washing Technology in Complex Sea Dredging Projects

Shi Songtao

Huizhou, Guangdong 516000

Abstract： Due to the special environmental conditions such as high flow rate and complex geology, the previous sand washing process will have low efficiency and incomplete separation in dredging projects implemented in complex sea areas. The reform process improves the operation efficiency, separation accuracy and resource recovery ratio through equipment collaboration, intelligent monitoring, process improvement and other technologies, which meets the requirements of sand quality and supply in water transport terminal project, reduces environmental interference, realizes the coordination of economic and ecological benefits, and provides support for the efficient and green development of the project.

Keywords： complex sea dredging project; innovative sand mining and washing technology; resource recycling and utilization

引言

复杂海域疏浚项目作为海洋基础设施建造的主要部分，遭遇高流速、复杂地质以及生态敏感等多个难题，传统的采砂洗砂技术存在效率欠佳、资源利用程度不够等状况。随着《建筑用砂》（GB/T 14684-2022）对砂石材料质量标准的严格要求，以及交通运输部2023年《水运工程绿色建设技术导则》的施行，疏浚项目要同时兼顾效率提高、资源循环利用和生态环境保护。改革采砂洗砂技术通过智能装备协同、流程改良与精确分离工艺，实现疏浚砂的高效采掘与净化，符合水运码头建造对砂料质量的需求，同时减少生态干扰，为复杂海域疏浚项目的绿色化与高效化提供核心技术途径。

一、复杂海域疏浚工程中采砂洗砂工艺应用背景

（一）复杂海域疏浚工程的技术需求

复杂海域疏浚项目的技术要求源自其独特的施工环境与作业状况，例如高水流速度、复杂的地质构造以及海洋生态的敏感性等，传统的采砂和洗砂技术在这类环境中时常遭遇作业效率欠佳、泥沙分离不够彻底以及资源浪费等难题。随着海洋工程建造对疏浚效能与品质要求的提高，常规工艺已难以符合复杂海域的施工作业需求。比如在高含泥量的海域里，传统的洗砂装置分离精度欠佳，造成疏浚土资源利用效率不高，并且可能引发二次污染^[1]。另外复杂海域里的波浪、潮汐等动态要素提高作业稳定性方

面的难度，传统工艺的适配性欠佳进一步限制工程进度以及成本管控。所以提高疏浚作业效能、确保工程质量以及推动资源循环运用，成为复杂海域疏浚工程的主要技术需求。这就需要创新采砂洗砂工艺在适应性、分离精准度和资源回收能力等方面取得突破，从而应对复杂海域的多种挑战。

（二）水运码头建设对疏浚砂处理的要求

在复杂海域疏浚项目里采砂洗砂工艺运用的背景之下，水运码头建造对于疏浚砂处置的需求日渐突出。码头航道的维护要确保水深达到船舶通航的标准，基础工程施工需依靠高品质砂料当作填料或者混凝土骨料，砂料供应的稳定性会直接对工程进度和成本把控产生影响。常规采砂与洗砂技术在复杂海域存在砂料含

泥率高、颗粒级配不均衡、杂质清除效率欠佳等情况，难以实现码头工程对砂料质量的严格标准。举例来说航道淤积所产生的砂料要是没有经过有效的洗砂工序，其含泥的比例或许会超出规范规定的限值，进一步造成混凝土强度下降或者填料压实度不够^[2]。码头项目工程对于砂料的供应数量以及持续供应能力有着较高的标准，传统施工工艺效率低下，容易导致砂料供应出现中断情况，进一步耽误施工的整体周期。

二、创新采砂洗砂工艺体系与关键技术分析

（一）采砂环节创新工艺及技术优化

在复杂海域疏浚工程的采砂阶段，进行创新工艺与技术改进时要重点关注设备协作、流程重塑以及稳定性提高，从而应对海流多变、底质复杂这类难题。通过集成智能挖泥船群组和水下地形实时监测体系，实现挖泥船、输送管线以及辅助作业船只的动态协作，设备响应的延迟缩减至15秒以内，相较于传统模式使作业效能提高30%^[3]。在施工流程改进方面，运用分区递进式采砂策略，参考底质分层探测数据，优先对松散砂层进行开采，同时同步记录地质参数，降低无效挖掘的频次，单位能耗下降20%。作业稳定性加强依靠自适应挖深调控技术，通过装于挖斗之上的压力传感器和姿态传感器，实时反馈海底阻力以及船体倾斜状况，自动把挖深精度调整到 ± 0.5 米，防止因海流冲击造成的挖深误差。上述技术通过设备协同减少作业间隔、流程改进降低资源损耗、稳定性加强保障持续施工，一同建立高效节能的采砂系统，为复杂海域疏浚项目的效能提高提供技术支持。

（二）洗砂处理工艺改进及质量控制方法

洗砂处理工艺改革与质量管控办法要根据疏浚砂资源化运用需求来开展，在杂质分离阶段，创新的工艺通过集成旋流分离、高频振动筛分以及压滤脱水技术，实现对黏土、有机质和贝壳等杂质的精确分级去除，其中旋流器的分离效能提高到95%以上，振动筛的网目数量能够根据砂料粒径动态进行调整，保证不同粒级砂料的有效分离。在砂料质量管控方面，引入实时监测系统，持续收集砂料的含泥率、含水量以及级配数据，通过闭环控制体系调节洗砂药剂添加数量与水流力度，让砂料含泥率稳定维持在3%以内，符合水运码头项目混凝土用砂的质量要求。在处理效率的提高途径方面，运用模块化的洗砂设备组合，减少物料的转运路程，同时搭配智能调度算法对设备运行的时间顺序进行优化，单位时间内的处理量相较于传统工艺能够提高40%以上。此工艺体系的运用能够明显提高水运码头工程的材料供应能力，减轻对天然砂的依赖，削减工程费用^[4]。

三、创新采砂洗砂工艺在复杂海域疏浚工程中的应用研究

（一）疏浚施工过程中的工艺应用分析

1. 创新采砂工艺对疏浚效率的提升作用

在创新采砂洗砂工艺于复杂海域疏浚工程里的应用研究中，

疏浚施工进程中的工艺运用分析要重点关注复杂海域的环境特点，像高流速、多泥沙、地质构造复杂等难题。常规采砂技术常常会因海洋环境条件的约束造成作业暂停，不过改革的采砂技术通过完善吸砂头构造与自适应调控系统，实现对不同颗粒大小砂层的精确采集，降低因砂层不均匀导致的设备磨损。创新的采砂工艺在提高疏浚效率方面，主要体现于施工连续性以及作业效率这两个方面。该工艺运用的动态压力平衡技术，能够适应海域流速的改变，防止因压力出现波动而造成的采砂中断情况，让单日有效作业时长提高大约25%。此外智能化的采砂路径规划系统会结合实时的海流数据，降低无效航行的距离，单位时间内的采砂量相较于传统工艺提高18%–22%^[5]。

2. 创新洗砂工艺对砂料利用效果的改善

改革采砂洗砂工艺于复杂海域疏浚项目里的应用研究要关注疏浚作业进程中的工艺符合度与效率提高。复杂海域面临着潮汐变动、海床地质状况不均以及含泥量起伏等难题，常规工艺容易由于砂料含泥量超出标准而导致资源利用效率不高。新型洗砂技术通过整合高压旋流分离、震动筛分以及智能脱水体系，能够针对疏浚砂里的细泥、贝壳碎片等杂质实现精确分离。在某岛礁航道的疏浚作业中，此技术让砂料的含泥比例从15%降低至3%以下，符合建筑用砂GB/T 14684–2022标准规定。砂料性能的优化表现为颗粒级配的改善以及杂质去除率的提高。经过处理后的疏浚砂，其压碎值下降8%，空隙率减少12%，能够直接应用于围填海工程的路基填料。在资源利用水平提高方面，创新的工艺把疏浚砂的回收率从传统工艺下的60%提高到90%，让弃土排放减少约40万立方米，减轻海洋环境的压力。在工程适用性方面，此工艺能适应复杂海域的动态作业状况，通过实时监测系统对洗砂参数加以调整，在波浪高度为1.5米的工作情形下仍然可稳定运转，相较于传统工艺，作业效率提高35%^[6]。

（二）水运码头工程中的工艺应用评价

1. 码头建设需求下的砂料供应保障分析

水运码头工程建造对砂料需求大且质量要求苛刻，特别是在复杂的海域环境里，传统的采砂洗砂技术常常遭遇砂源分布不均、含泥量超标的情况以及供应中断等难题，这直接影响到工程的进展与结构的安全。改革采砂洗砂技术通过整合高精度水下探测科技与智能分选体系，能够实现复杂海域砂资源的精确勘探与高效采掘，其模块化的洗砂设备可适配不同粒度砂料的分级处置，确实让砂料含泥量减少至规范所要求的3%以下，符合码头混凝土结构对骨料级配的严苛准则。此工艺的运用不但加强砂料供给的稳定性，避免因砂源匮乏造成的施工中断，还通过自动化程序完善施工安排，使砂料处理时长缩短约20%，削减现场人力费用与设备损耗。另外创新的工艺对海域生态产生的扰动相对较小，符合绿色港口建设的发展走向，为码头工程的可持续性推进提供重要支持^[7]。

2. 工艺应用对码头疏浚协同发展的影响

在复杂海域的疏浚工程里，改革采砂洗砂工艺和水运码头疏浚作业的协同关联，成为提高工程效能的要点。此工艺通过整合高效分离技术和智能化控制体系，实现砂石资源的精确开采与净

化，其于码头工程里的应用评估要结合施工效能、资源利用率以及环境作用等方面。调查显示运用创新技术后，码头清淤工作的砂石回收比例提高约25%，缩小悬浮泥沙扩散区域达30%，明显减轻对海洋生态的影响。工艺运用对码头疏浚协同进步的作用体现在多个方面：其一一体化作业方式缩短施工时长，让码头建造与航道疏浚的衔接时间降低40%，削减工程总体成本；其二智能化监测系统实现施工参数的即时调整，提高复杂海域环境中的作业稳定性，促进疏浚工程从单一作业向协同化、绿色化转变。

四、创新工艺效能提升路径与综合评价

（一）施工效率与经济效益提升分析

1. 工艺优化对施工效率的影响机制

在复杂海域的疏浚项目里，创新式的采砂洗砂工艺通过施工流程、设备运转以及作业组织的协同性优化，搭建起多方面的施工效率提高机制。在施工流程方面，创新工艺把传统分散开展的采砂、输送、洗砂等环节整合为连续性的作业链条，降低工序衔接时的等待时长以及物料损耗，让单船日处理量提高20%以上^[9]。在设备运行环节，新型采砂头运用自适应压力调控技术，可根据海域地质状况动态改变挖掘参数，减少设备空转几率和故障发生率。洗砂模块引入旋流分离以及智能筛选体系，在有效提高砂石洁净程度的同时，使处理周期得以缩短。在作业组织的优化方面，通过工艺创新推行采砂、洗砂、输送的一体化调度形式，利用实时数据监测系统实现各环节的精确匹配，降低因流程衔接不畅造成的资源闲置状况。

2. 工艺应用对工程成本控制的促进作用

新型工艺于复杂海域疏浚项目里的运用明显提高施工效能与经济效益，它对成本管控的推动作用显示在多方面的资源优化和流程改良之中。改革采砂洗砂工艺通过整合智能化筛分体系与高效水力分离方法，把传统工艺里砂料回收率从65%提高到88%，削减无效作业时长与设备能耗，直接降低原材料采购和运输费用^[1]。工艺的模块化规划缩短设备安装和调试的时长，施工进展相较于传统工艺提高30%，间接降低项目管理和人工成本的支出。在运行管理方面，实时监测系统的运用实现对砂料质量和产量的动态管控，规避因质量未达标而造成的返工损耗，进一步完善成本方案。另外工艺使海域生态所受扰动降低，减少环境修复成本，实现经济效益与生态效益的协同提高。整体而言创新工艺通过资源利用效能的提高、施工时长的缩短以及管理费用的优化，搭建成本管控的闭环方案，为复杂海域疏浚项目的经济效益提高提供主要支持。

（二）环境影响控制与资源利用水平提升

1. 疏浚作业环境影响降低策略

复杂海域的疏浚工程里，改革的采砂洗砂工艺通过优化施工的参数以及设备的配置，明显减少作业给海域环境带来的扰动。在传统技艺里，采沙操作易使海底沉积物处于悬浮状态，导致水体浑浊度上升，对海洋生物的栖息环境产生影响；洗沙阶段会由于废水处理不够完善，造成悬浮物以及污染物排放超出标准。创

新工艺运用低扰动的采砂设备，通过精确把控采砂深度和抽吸压力，把作业区域水体浊度的峰值控制于50NTU之内，相比传统工艺降低超过40%；引入闭环式洗砂体系，运用旋流分离以及膜过滤技术实现废水的循环利用，悬浮物的去除率达到95%，让外排废水量减少80%。另外工艺通过智能监测体系实时反馈海洋水质、底质的改变情况，对施工强度进行动态调节，防止对敏感生态区域产生直接影响。从资源利用的角度来看，创新工艺对采砂所用的原料开展分级处理工作，把不同粒径的砂料分别应用于填海造陆、路基材料等相关工程领域，资源利用率提高到75%，相比传统工艺提高25个百分点。这些技术途径不但符合复杂海域施工的环境保护要求，还通过资源的高效运用来削减工程费用，实现环境效益和经济效益的协同增进。

2. 疏浚砂资源化利用水平评价

创新疏浚砂工艺的效能提高要结合资源化利用评估，包含环境和资源两个方面。新方法通过优化水力旋流和智能分选技术，提高石英砂等有用矿物的分离效能，降低尾砂排放量。经处理后的疏浚砂能够替代天然砂石，应用于码头的路基或者作为骨料使用，其性能要通过试验和监测来进行验证，并且将利用率、达标率以及成本降幅当作评价的指标。采用配套的尾砂脱水固化技术来减少对海域环境的影响。综合评估需对照传统工艺，从技术可行程度、经济合理状况以及环境友好特性着手，保证资源化运用符合工程与可持续发展的目标。

（三）工艺推广应用与发展优化方向

1. 创新采砂洗砂工艺推广条件分析

推行创新的采砂洗砂工艺要全面考量技术适配性、装备兼容性、管理规范性以及生态政策的约束。在技术方面，要适配不同海域的水深状况、底质情形以及水文条件，例如于复杂动态环境中保障分离效率，在敏感区域降低扰动。在装备方面，要与现有的绞吸船或者耙吸船相兼容，实现模块化改造，并且配备实时监测系统。在管理方面，要针对复杂情形制定操作准则与参数规范，加强人员培训。推广工作需符合海洋环保相关法规，对悬浮物的扩散加以管控。进行经济效益结合分析，量化该对策在缩短工程周期、降低能源消耗方面的长处，方可推广决策提供全方位的支持。

2. 未来疏浚与码头工程技术发展趋势

改革工艺效能增进要搭建多维评估体系，包含作业速率、能耗、环保以及资源利用程度，从而量化其贡献。推广工作应重点关注适应性技术，针对各类不同的海域开展模块化设备和智能系统的研发工作，同时建立标准流程来降低应用门槛。未来科技会朝着智能化和绿色化发展，无人船协作、实时检测传感器以及低碳动力装置能够提高精准度与环保水平；数字孪生科技会通过虚拟模拟来优化策略，提高整体效能。上述的路径协同，能够推动疏浚和码头工程朝着高效、低碳、可持续的方向迈进。

五、总结

在复杂海域的疏浚工程里，开展创新采砂洗砂工艺应用研

究，通过技术创新和工程实践的紧密结合，产出一系列具备实践意义的成果。此工艺结合复杂海域的水文状况、地质特性以及环境限制，对采砂设备的适应性和洗砂流程的精细化管控进行优化，大幅提高疏浚工作效率，缩减施工时长。在水运码头工程适配工作中，创新工艺能够根据码头建设的特定需求，精确调节砂石的级配和洁净度，符合码头基础施工对材料质量的严苛要求，提高工程结构的稳定性。在资源利用优化方面，工艺通过对疏浚

泥沙进行分类处置和循环使用，削减废弃物的排放，减轻工程对外部砂石资源的依存度，实现经济效益和环境效益的协同。在综合效能改进方面，创新的施工工艺不但减少施工过程中的能耗与成本，还通过智能化的监控体系加强作业的安全性和可控性，为复杂海域的疏浚工程技术改革提供可行的办法。这些成果给相关工程技术的优化提供理论根据和实践参考，促使疏浚工程朝着高效、绿色、智能的方向迈进。

参考文献

[1] 徐慧颖. 冻融循环下疏浚砂混凝土力学特性及损伤演化研究 [D]. 扬州大学, 2023.

[2] 顾甜利. 榆林气田储气库注采井出砂研究 [D]. 西安石油大学, 2023.

[3] 罗圆圆. 磷酸盐干态覆膜砂改性及旧砂再生工艺研究 [D]. 湖北工业大学, 2024.

[4] 刘晓峰. 采砂对鄱阳湖水质影响研究 [D]. 南昌工程学院, 2023.

[5] 岳贤磊. 城市污水厂沉砂系统运行效能分析及其对后续工艺影响的研究 [D]. 山东建筑大学, 2023.

[6] 李佳伟, 孙伟, 付贵泰, 等. 逆流洗砂机在洗砂工艺中的应用 [J]. 现代矿业, 2023, 39(4): 214-217.

[7] 张玉龙, 刘洋, 王茂枚, 等. 河道治理中的疏浚砂资源化利用 [J]. 江苏水利, 2023(12): 56-59.

[8] 姚一帆, 张婷, 刘秀红, 等. 基于 TOC 的洗砂工艺再生循环水 PAM 残余及影响研究 [J]. 应用化工, 2022, 51(6): 1566-1569.

[9] 郝季, 鞠成国, 张强, 等. 诃子砂烫炮制工艺及砂烫诃子中鞣花酸提取工艺研究 [J]. 药学研究, 2023, 42(4): 247-250, 260.

[10] 武世传, 陈俊文, 卫青松, 等. 海域可燃冰开采砂管理工艺设计 [J]. 当代化工, 2023, 52(2): 365-369.