

疏浚工程中环保绞吸式挖泥船施工工艺

夏永军

浙江省围海建设集团舟山有限公司 浙江 舟山 316000

【摘要】：在生态敏感区域开展疏浚作业时，传统绞吸船施工易引发水体扰动、悬浮物扩散及生态破坏等问题，环保约束条件严苛。依托平陆运河茅尾海疏浚工程，采用精细化水文预测、绞刀扰动机理数值模拟与现场示范应用相结合的技术路径，开展环保绞吸船低扰动施工工艺研究。明确施工参数与水体扰动的内在关联，提出适配生态敏感区的优化施工方案，实现水体扰动有效抑制与施工效率协同平衡，为同类区域环保疏浚工程提供技术参考与实践依据。

【关键词】：环保绞吸船；低扰动疏浚；施工工艺；悬浮物控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.041

全域生态管控体系日趋完善，航道疏浚工程针对施工扰动的管控标准持续提升。传统绞吸船作业切削破碎水底淤泥与岩层时，极易搅动水底沉积物，引发水体浑浊以及大范围悬浮物扩散现象，会对沿岸盐沼湿地、水产养殖区域等敏感生态体系造成不可逆干扰。平陆运河茅尾海片区生态承载能力偏弱，自然湿地资源分布密集，常规作业模式无法契合现行环保施工规范。行业亟需研发适配本地水土文特质的低扰动疏浚技术，依托水域实况优化作业工艺，削减施工行为带给水环境的破坏作用，实现工程项目建设与区域生态保护同步稳步推进。

1 环保绞吸船施工扰动问题分析

环保绞吸船在生态敏感区域开展疏浚作业时，施工扰动引发的水体污染与生态破坏问题尤为突出，已然成为阻碍工程有序推进的关键瓶颈。传统施工模式缺乏科学调控依据，绞刀运行参数设定仅凭经验判定，数值把控欠缺精准度。偏高的绞刀转速会大幅加剧水底泥沙切削搅动力度，短时间内促使大量沉积底泥再度悬浮，逐步形成规模较大的高浓度悬浮物扩散云团^[1]。横移速度调配失衡也会让泥沙扰动范围无规律延展，海域较强的潮流作用力还会裹挟悬浮泥沙快速漂移，最终形成形态散乱的扩散区域。绞刀切削强化岩层产生的细碎岩粉会同淤泥相融混杂，持续抬高水体悬浮物整体含量，常规工况下距绞刀头 50 米位置悬浮物增量可突破 100mg/L，明显超出既定环保管控限值。施工辖区内盐沼湿地生态耐受能力偏弱，水体浑浊度上升、水质指标下滑的同时，底栖生物生存栖息环境遭到损毁，海水养殖区域生态稳态受到冲击。悬浮物扩散轨迹难以实时精准管控，极易给周边原生敏感生态带来长期性损害。

2 环保绞吸船低扰动施工工艺优化

2.1 施工参数精准调控

依托精细化水文预测模型输出的潮流参数，建立绞刀转速与横移速度的耦合调控体系，明确不同土质条件下的参数匹配

阈值。针对茅尾海强风化岩层疏浚场景，将绞刀转速控制在 24~26r/min 区间，横移速度设定为 9~10m/min，实现泥沙扰动强度与施工效率的动态平衡。通过三维数值模拟量化参数变化对悬浮物扩散的影响，确定转速每提升 2r/min、横移速度每增加 1m/min 对应的悬浮物增量幅度，形成参数调控的量化依据。

2.2 绞刀结构适配改进

基于强风化岩层切削特性与泥沙扰动机理，优化绞刀刀齿构型与刀臂排布方式，采用尖齿型 VOSTAT4 挖岩绞刀，将大环外径控制在 2810mm，增强岩层切削能力的同时降低细颗粒泥沙剥离量。调整绞刀与水平面夹角至 45°，优化吸口与绞刀的空间位置关系，缩短扰动泥沙悬浮距离，提升泥浆抽吸效率，减少无效悬浮扩散。针对绞刀近场流场流速梯度大、流态复杂特征，通过局部加密绞刀附近网格开展精细化数值模拟，精准捕捉泥沙起悬、输移与扩散全过程，量化验证结构改进对底部高浓度泥沙扩散范围的抑制效果，有效减少岩粉与淤泥混合悬浮带来的水体污染风险^[2]。该结构优化方案兼顾破岩效率与低扰动核心需求，为环保绞刀的定制化设计与工程应用提供可靠技术支撑。

2.3 疏浚流程精细管控

构建水文-施工联动的精细化管控模式，依托现场实时潮流监测数据动态调整施工时段，主动避开涨落急流期高流速工况，从源头降低悬浮泥沙顺着水流向外远距离扩散概率。按照水域范围划分施工区域网格单元，全程采用分段分层疏浚工艺，严格把控单次疏浚厚度维持在 5~6m，规避作业过程中过度搅动深层原状底泥，削减泥沙二次悬浮现象。同步搭建泥浆输送闭环管控机制，稳定泥泵运行流量至 5.1m/s，精准管控管道内部泥浆体积浓度处于 4.23%~5.37%区间，切实减少水体中外溢悬浮物总量。依托全过程动态监测手段把控作业细节，规范各环节操作标准，成型可落地的低扰动疏浚作业流程，能

够为各类生态敏感区疏浚项目,提供成熟可行的流程管控参照范式。见图1。

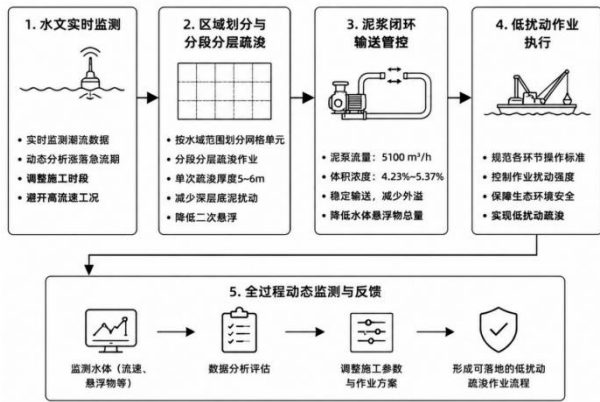


图1 水文-施工联动的精细化管控模式流程图

3 环保绞吸船施工工艺应用效果控制

3.1 悬浮物扩散范围管控

结合施工区潮流场分布特征,建立悬浮物扩散的动态管控体系,依托精细化水文预测模型精确定位泥沙扩散的主要方向、影响距离及迁移规律,科学划定100米作为悬浮物可控扩散边界。采用柔性防污帘布设技术,在施工区外侧150米位置设置连续封闭的物理阻隔屏障,有效阻断悬浮物随潮流远距离迁移路径,减少扩散范围外溢。通过无人机航拍实时追踪悬浮物云团动态,精准掌握扩散形态、浓度梯度与边界变化,动态调整绞刀运行状态与横移路径,严格控制高浓度泥沙集中在施工区近域内扩散,实现悬浮物扩散范围的精准约束,为生态敏感区泥沙扩散管控提供技术范式。

3.2 水体质量实时监测

构建多点位、多维度的水体质量监测网络,在距离绞刀头

10米、30米、50米及100米处布置固定监测断面,同步在防污帘外侧增设对照监测点,形成覆盖施工核心区、影响区及外围背景区的完整监测布局。采用人工取样与现场快速检测相结合的方式,精准测定水体悬浮物浓度、浊度等核心指标,重点把控50米范围内悬浮物增量不超过50mg/L的控制标准。顺应水域潮流变化规律灵活加密监测频次,精准捕捉涨落潮交替时段的水质波动特征,搭建常态化监测数据动态分析机制,实时反馈现场水体扰动实际状况^[3]。所得监测数据可及时指导施工工艺参数动态调整,全方位约束作业带来的水质负面影响,确保区域水体各项指标始终契合既定生态保护管控要求。

3.3 施工效率稳定保障

基于低扰动施工参数组合,建立疏浚效率与环保指标协同平衡机制,以24~26r/min绞刀转速与9~10m/min横移速度作为核心控制参数,保障现场疏浚作业能够连续稳定开展。通过精细化调试优化泥浆输送系统运行状态,平稳把控泥泵流量与管道内部泥浆浓度,将作业平均小时产量稳定维持在594m³/h左右,把施工效率损耗严格控制在1%以内。结合茅尾海区域特有强风化岩层地质条件,科学合理匹配绞刀切削负荷,规避参数改动造成的设备负荷波动与部件异常磨损,大幅降低施工中断频次与设备故障发生概率。

4 结语

环保绞吸船低扰动疏浚工艺可有效平衡施工效率与生态保护需求,破解生态敏感区疏浚扰动管控难题。依托精细化水文预测与数值模拟,明确施工参数、设备结构及作业流程对水体扰动的影响规律,形成适配茅尾海区域的优化技术方案。现场应用验证,该工艺能显著抑制悬浮物扩散,降低对周边水体与生态系统的干扰,保障疏浚作业合规开展。相关技术路径可为同类生态敏感区环保疏浚工程提供借鉴,推动疏浚行业绿色低碳转型。

参考文献:

- [1] 刘鹏,吴小靖,梁庆华,等.浅水湖泊生态清淤施工影响分析[J].江苏水利,2024,(07):6-11.
- [2] 郝宇驰,林斌良,张晴波,等.基于精细化水文预测的绞吸船低扰动疏浚技术研究与应[J].广西大学学报(自然科学版),2024,49(06):1280-1294.
- [3] 李红静,陈海波,陆海明,等.环保绞吸船清淤作业过程对湖泊水环境的影响[J].环境工程学报,2023,17(12):3897-3905.