

# Study on the impact of river dredging construction on aquatic biological habitat and protection measures

Yu Yao Lu Li Yu Ling Yingjun Nie Zejuan Liu

Beijing Beiyunhe Management Office, Beijing, 101100, China

## Abstract

River dredging projects significantly alter the physicochemical environment of water bodies, posing severe threats to aquatic habitats. This study systematically analyzed the specific impacts of sediment disturbance, suspended solids pollution, and noise generated during dredging operations on aquatic community structure and diversity. Through field ecological surveys, case comparison analyses, and real-time environmental monitoring methods, we evaluated the effectiveness of different dredging techniques and ecological protection measures. Results indicate that implementing pre-construction ecological assessments, using low-disturbance equipment, and combining these with dynamic process control can significantly reduce habitat damage and accelerate ecosystem recovery. These findings provide theoretical foundations and practical guidance for eco-design and construction practices in river dredging projects.

## Keywords

river dredging; aquatic habitat; ecological impact; low-impact construction; habitat conservation

# 河道疏浚施工对水生生物栖息地的影响及保护措施研究

姚宇 李潞 凌宇 聂影军 刘泽娟

北京市北运河管理处, 中国·北京 101100

## 摘要

河道疏浚工程显著改变了水体的物理化学环境, 对水生生物栖息地构成严重威胁。本研究系统分析了疏浚施工产生的底质扰动、悬浮物污染及噪声对水生生物群落结构与多样性的具体影响综合, 运用现场生态调查、案例对比分析及实时环境监测方法评估了不同疏浚工艺与生态保护措施的实际效果。结果表明, 实施施工前生态评估、采用低扰动设备并配合施工过程动态调控, 可显著减轻工程对栖息地的破坏, 促进水生生态系统的快速恢复, 为河道疏浚工程的生态化设计与施工提供了理论依据和实践方向。

## 关键词

河道疏浚; 水生生物栖息地; 生态影响; 低扰动施工; 栖息地保护

## 1 引言

河道疏浚作为一项常见的水利工程措施, 在全球范围内被广泛用于改善河道行洪能力、恢复水域面积、保障航运畅通以及清除沉积污染物。传统疏浚作业方式主要着眼于工程效率与经济成本而往往忽视其带来的生态后果, 施工过程中挖泥、输送、堆放等环节直接破坏河床底质结构导致底栖生物栖息地丧失、产生巨大噪音干扰水生动物行为、大量悬浮物扩散造成水体透明度急剧下降, 对浮游生物、底栖无脊椎动物及鱼类种群产生直接物理伤害和生存压力, 且当前在工程实践中生态保护措施相对滞后或未得到充分有效应用, 缺乏对施工全过程生态影响的系统评估与精准调控, 所以深入剖析疏浚活动对栖息地的具体影响机制并发展行之有效

的保护技术, 成为协调河流治理与生态保护之间矛盾、推动水利工程绿色发展的迫切需求。

## 2 疏浚施工对水生生物栖息地的影响

### 2.1 物理扰动对底质环境的改变

河道疏浚施工核心环节为使用抓斗式挖泥船、铲斗式挖泥船或铰吸式挖泥船等设备对河床底泥进行挖掘和移除, 抓斗下挖及铲斗切削产生的巨大机械力致使底泥原有分层结构被彻底粉碎, 使其孔隙度、压实度和渗透性发生根本性改变, 原本疏松多孔、富含有机质和微型栖息空间的表层沉积物被移除或压实后, 形成一个光滑、板结且均质化的全新底质界面, 这种物理结构的剧变直接导致底栖生物赖以生存的微环境彻底毁灭<sup>[1]</sup>。底栖生物群落, 如栖息于底泥表层的摇蚊幼虫、水丝蚓、蛤类和螺类等无脊椎动物, 其个体在直接的机械挖掘过程中被撕裂或掩埋, 遭遇极高的瞬时死亡率。工程彻底摧毁了这些生物长期赖以生存的物理基底, 其

【作者简介】姚宇(1989-), 男, 中国北京人, 本科, 中级, 从事河道疏浚与治理方向研究。

觅食、繁殖、庇护所等所有生态功能均被剥夺，导致局部区域的底栖生物种群在短时间内崩溃，其生态功能需要极长时间才能逐步恢复。

## 2.2 悬浮物扩散对水体生态的短期影响

疏浚施工引发的悬浮物扩散对水体生态系统构成最立即且显著的短期胁迫，绞吸式挖泥船作业时，其旋转的绞刀头剧烈搅动底泥，瞬间产生极高浓度的悬浮固体颗粒物，导致作业点周边水体的悬浮物浓度可急剧升高至每升数千毫克，远高于背景值。对于沉水植物而言，持续数天甚至数周的高浊度环境可能引发其大面积死亡，削弱了整个生态系统的生产力基础。大量悬浮颗粒物为水体中的细菌提供了巨大的附着表面，促进了异养细菌的爆发性增殖，加速了水体中溶解氧的消耗，潜在地引发局部缺氧事件，威胁好氧水生生物的生存。细微的悬浮颗粒物会直接堵塞鱼类的鳃部，覆盖其鳃丝表面，严重阻碍鱼类通过鳃进行气体交换的效率，造成生理性缺氧应激<sup>[2]</sup>。对于用鳃滤食的浮游动物和滤食性底栖双壳类，其滤食器官同样会被大量无营养价值的悬浮泥粒堵塞，导致其有效摄食率下降，能量摄入不足，最终引发种群数量衰减。

## 2.3 生物群落结构与多样性的响应

底栖动物群落作为直接承受物理扰动且响应最为迅速和明显的群体，工程实施后，挖掘区域的底栖动物生物量和高密度往往在极短时间内趋近于零，受悬浮物扩散影响的周边区域呈现出群落结构的显著更替。耐受低氧和耐污染的物种如某些摇蚊科幼虫和寡毛类环节动物凭借其较强的生理耐受能力成为污染先锋物种，在扰动后初期可能快速占据生态位，而对底质稳定性和水质清洁度要求高的敏感类群如蜉蝣目、襁翅目、毛翅目水生昆虫以及多种清水型软体动物的种群则会急剧衰退甚至局部灭绝。

# 3 水生生物栖息地保护的关键措施

## 3.1 疏浚施工前的生态调查与评估

施工前的生态本底调查是制定任何有效保护措施的基础，调查必须采用标准化定量工具与方法，水体物理化学参数使用多参数水质监测仪进行断面垂向连续测量，获取水温、pH、溶解氧、电导率等指标的精确垂向分布数据。水文动力学特征则通过声学多普勒流速剖面仪进行走航式测量，精确绘制施工河段的流速、流向矢量场与底床剪切应力分布图。底质特性评估需使用 Ponar 采泥器或箱式采样器采集表层沉积物样品，随后进行实验室粒度分析，确定底泥的组成比例。并使用抓斗式采样器定量采集底栖生物样品。底栖生物样品经福尔马林固定、筛分拣选后，在实验室进行种类鉴定、计数和生物量称重，据此计算香农-维纳多样性指数、辛普森优势度指数等群落结构参数。鱼类资源调查结合水声学探测系统与多层刺网、地笼等进行种类组成、种群大小结构与空间分布评估。

基于详尽的生态本底数据，利用水动力模型与悬浮物扩散模型，模拟不同疏浚工况下悬浮固体的产生量、扩散范围与沉降轨迹，预测其对敏感目标的影响程度与持续时间。根据模拟结果，科学划定绝对禁止施工的生态核心保护区。在核心区外围，根据悬浮物预测扩散距离与生物耐受阈值，设置动态调整的缓冲区，其宽度由模型计算的悬浮物浓度降至安全阈值所需的距离决定。施工时序必须规避水生生物的关键生命活动期，施工窗口期应选择鱼类洄游间歇期、产卵期之后、幼鱼索饵期之前，或底栖生物繁殖期的低谷阶段，以此最大程度减少对种群补充过程的干扰。

## 3.2 低扰动疏浚工艺与设备选用

环保绞吸式挖泥船是实现该目标的首选设备，其技术关键在于配备了专门设计的环保绞刀头。环保绞刀头通常采用冠形或螺旋形封闭式结构，外侧装有可调节的罩壳。罩壳能够部分或完全包围旋转的绞刀，有效隔离绞刀与周围水体，大幅减少挖掘时细颗粒物的溢出量。对于小范围、精准化的疏浚工程，配备液压驱动封闭式抓斗的铲斗式挖泥船或反铲式挖泥船是更优选择。其抓斗的斗瓣在入水下降及提升过程中保持紧闭状态，仅在触及预定挖掘深度时才由液压系统控制开启并抓取底泥，抓取完成后立即密闭提升。疏浚物的输送环节应优先采用全封闭的管道输送系统，将泥浆直接泵送至指定的岸上或船上脱水处理站或弃土区，完全避免敞开放式驳船运输可能产生的沿途泄漏与二次污染。

## 3.3 施工过程中的实时监测与调整

施工过程中的实时监测作为动态风险管控与措施调整的直接依据，核心在于构建一个覆盖施工区及下游敏感目标区的立体化实时水环境监测网络，此网络需在施工船周边 50 米、100 米、500 米及下游敏感目标处布设多个在线水质监测浮标或固定监测站以连续测量水体中的关键指标，且监测数据借助无线传输技术实时回传至指挥中心的监控平台，一旦任何监测点的悬浮物浓度实测值超过基于生态本底调查获得的敏感物种耐受浓度临界值设定的预设阈值，平台便立即发出预警。预警触发后，现场指挥人员必须立即下令减缓施工强度。平台集成简化的悬浮物扩散实时预测模型，其核心公式为基于深度平均的二维扩散方程：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + S - K_d C$$

其中， $C$  为悬浮物浓度 ( $\text{mg/L}$ )， $t$  为时间 ( $\text{s}$ )， $u$  和  $v$  分别为  $x$  和  $y$  方向的流速分量 ( $\text{m/s}$ )， $D_x$  和  $D_y$  为相应方向的扩散系数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )， $S$  为施工源强 ( $\text{mg}/(\text{L} \cdot \text{s})$ )，代表单位时间内单位水体中因施工产生的悬浮物质量， $K_d$  为悬浮物沉降速率系数 ( $1/\text{s}$ )<sup>[3]</sup>。模型实时输入的流速、风向数据及估算的施工源强，快速预测未来一段时间内悬浮物云的扩散路径与浓度分布，为采取预控措施提供前瞻性指导。溶解氧的动态变化可以 Streeter-Phelps 模型或其修正版的简化形式进行跟踪：

$$\frac{dD}{dt} = K_a(C_s - C) - K_d BOD \cdot e^{-K_d t} - R$$

其中,  $D$  为氧亏值 (mg/L),  $C_s$  为饱和溶解氧浓度 (mg/L),  $C$  为实际溶解氧浓度 (mg/L),  $K_a$  为复氧系数 (1/s),  $K_d$  为耗氧系数 (1/s),  $BOD$  为初始生化需氧量 (mg/L),  $R$  为底泥耗氧速率 (mg/(L·s))。系统实时监测的溶解氧数据反向推演关键系数, 可评估施工是否引发了严重的耗氧过程, 防止缺氧事件的发生。

## 4 案例分析与保护措施效果评估

### 4.1 工程概况

中国长三角地区某通航河流的航道升级疏浚工程河段总长 15 km, 设计疏浚河底宽度为 50 m, 设计疏浚底高程为 -5.0 m, 总疏浚方量约为 1.2 million m<sup>3</sup>。河床底质主要为粉砂和黏质粉砂。该河段是多种区域性重要经济鱼类及日本鳗鲡的传统索饵场和洄游通道, 两岸浅滩区域分布有大量底栖动物群落<sup>[4]</sup>。

为最大限度减轻工程对水生生态的干扰, 本项目严格实施了上述的三项核心保护措施: 1) 施工前使用 ADCP 测量流速流向, 使用抓斗式采泥器进行底栖生物定量采样, 据此精准划定了 3 处永久避让的产卵区核心保护区及下游 500 m 范围的悬浮物扩散缓冲区, 将施工窗口严格设定在 10 月至次年 1 月。2) 设备全程配备了冠形环保绞刀头和水下负压抽吸系统的环保绞吸式挖泥船, 其绞刀头外部罩壳可有效隔离施工点。3) 施工过程中, 构建了一个由 8 个在线浊度监

测站组成的实时监测网络, 在下游敏感目标区布设监测点, 数据每 5 分钟更新并传输至指挥中心平台, 平台内嵌了悬浮物扩散简化模型, 一旦预测浓度超过预设的 15 mg/L 阈值便自动预警, 指挥中心据此指令施工船舶调整绞刀转速或短暂停工。

### 4.2 保护措施实施效果对比分析

为科学评估上述保护措施的综合效果, 本研究对比分析了本次环保疏浚工程与上游河段另一早期使用传统工艺的疏浚项目的监测数据。传统工艺采用开放耙吸式挖泥船, 未设置生态缓冲区和实时监测系统。效果评估聚焦于施工期间及施工后短期内最具代表性的水环境与生物响应指标, 见下表<sup>[5]</sup>。

在悬浮物控制方面, 本项目在下游 500 米处悬浮物浓度超过 15mg/L 的持续时间被严格控制在 4 小时以内 (远低于对照项目的 28 小时), 这种快速沉降大大缩短高浊度水团对水生生物的胁迫时间。在生态恢复方面, 施工结束 6 个月后的跟踪监测显示项目施工区域底栖动物密度恢复率达 65%、香农-维纳多样性指数恢复至 2.1 并形成由耐污和中等耐污种类组成且结构相对合理的过渡群落, 而对照项目同期恢复水平极低、群落结构简单且仍以极耐污的寡毛类为主。项目施工期间仅观察到 30% 的资源密度下降且施工结束后资源量迅速回升, 鱼类成功规避施工核心区或遭受较小生理胁迫, 此三项措施共同构成一个有效保护体系将疏浚施工对水生栖息地的不可逆影响降到最低。

表: 环保疏浚与传统疏浚效果关键指标对比

评估指标	监测点位	本项目 (环保措施)	传统对照项目
悬浮物浓度峰值	挖泥船下游 50 m	85 mg/L	450 mg/L
悬浮物浓度 > 15mg/L 的持续时间	挖泥船下游 500 m	4 hours	28 hours
底栖动物密度恢复率	施工后 6 个月, 施工区	65%	25%
香农-维纳多样性指数恢复值	施工后 6 个月, 施工区	2.1	1.4
施工期鱼类资源密度减少比例	施工区及下游 500 m	30%	75%

## 5 结论

本研究系统剖析河道疏浚施工对水生生物栖息地产生的多层次负面影响, 精准识别以底质物理结构破坏、高浓度悬浮物扩散及生物群落衰退为核心的胁迫因子, 并提出以施工前精准生态调查与评估为基础、采用低扰动环保工艺与设备为核心、实施施工过程实时监测与动态调整为保障的全链条生态保护技术体系, 案例实证该体系能有效降低施工悬浮物源强、缩短高浊度持续时间、显著加速底栖生物群落恢复, 最终实现工程建设与生态保护目标的协同, 为水利、交通、环保等部门的疏浚工程规划设计、施工管理与生态修复提供直接的技术依据和可操作的实践方案。

## 参考文献

- [1] 钱玉超, 朱义刚, 杨帆, 等. 河道疏浚工程对底栖生态系统的影响分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (26): 182-185.
- [2] 张哲. 河道治理工程疏浚与护坡施工技术分析 [J]. 陕西水利, 2025, (07): 146-147+151.
- [3] 王理想. 河道治理工程疏浚与护坡施工技术应用分析 [J]. 工程技术研究, 2025, 10 (12): 58-60.
- [4] 缪有庆, 张建华. 黄河水沙调控对水生生物及其栖息地影响问题研究 [J]. 中国水产, 2024, (06): 16-19.
- [5] 徐彬. 沉积物输运与分层监测技术在中大型河道疏浚中的效果评估与优化 [J]. 科技创新与应用, 2025, 15 (23): 173-176.