

湖泊水环境治理中的底泥污染控制与生态疏浚效果评估

周义辉

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西西安 710065

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11666

[摘要] 底泥污染已成为影响湖泊水环境质量的重要因素,采用生态疏浚技术进行底泥污染控制对改善湖泊生态系统具有重要意义。通过对某湖泊底泥污染现状调查发现重金属和有机物污染物在底泥中大量富集,造成水体二次污染,针对这一问题,采用机械疏浚与生态修复相结合的方式,建立了包含水质指标、底栖生物多样性和沉积物特征在内的综合评估体系。研究表明,生态疏浚显著降低了底泥中污染物含量,改善了底栖环境,促进了水生植被恢复,提高了湖泊生态系统的自净能力,同时发现疏浚深度、施工工艺和底泥处置方式是影响治理效果的关键因素。

[关键词] 底泥污染;生态疏浚;水质改善;生态修复

引言

湖泊底泥作为水体污染物的重要蓄积库,往往含有大量营养盐类、有机物和重金属等污染物质,这些污染物在外界环境变化时会发生释放,导致水体环境质量下降,影响湖泊生态系统健康,近年来采用生态疏浚技术治理底泥污染逐渐成为研究热点。相较于传统疏浚方式,生态疏浚更加注重对湖泊生态系统的保护,然而目前对生态疏浚效果的评估方法和标准尚未统一,缺乏系统性的评价体系,因此建立科学合理的效果评估方法,对指导湖泊底泥污染治理具有重要意义。

1 底泥污染特征分析

在湖泊生态系统中底泥作为水体与沉积物的交界面,具有独特的物理化学特性,经过长期积累,湖泊底泥中富集了大量污染物质,主要包括氮、磷等营养元素,铜、锌、铅、镉等重金属以及多环芳烃、有机氯等持久性有机污染物。这些污染物通过吸附、沉降、络合等多种机制在底泥中聚集,形成具有明显分层特征的污染带,表层底泥中污染物含量较高,且活性较强,容易受到水动力条件、pH值、氧化还原电位等环境因素影响而发生释放,中层底泥污染物含量相对稳定,主要受历史污染累积影响。深层底泥则以稳定态污染物为主,释放风险相对较小,底泥中污染物的空间分布规律与湖泊水文特征、周边污染源分布及历史沿革密切相关,在湖泊入流口、断面变窄处、水流滞缓区等特殊水文地貌部位,往往形成污染物的高发区。底泥中有机质含量、粒度组成、矿物成分等理化性质也会影响污染物的赋存形态和迁移转化行为,底泥中微生物群落结构及其代谢活性直接影响着污染物的降解过程,进而影响整个湖泊生态系统的自净能力,因此深入掌握底泥污染特征及其时空演变规律,是开展生态疏浚和污染治理的重要基础^[1]。

2 生态疏浚技术应用

2.1 疏浚工艺优化

生态疏浚工艺优化需着重考虑施工效率与环境影响两个关键要素。通过采用新型环保疏浚船只配备精准定位系统和自动控制装置,实现疏浚作业的精细化操作,水下切割装置选用低扰动式绞刀,减少疏浚过程中对水体的搅动,降低悬浮物扩散范围,抽泥系统采用变频调速泵组,根据底泥性质自动调节抽吸压力和流速,确保疏浚料浆浓度均匀稳定。输送管线设置防泄漏装置和实时监测系统,避免疏浚过程中产生二次污染,在疏浚施工过程中采用分区分段作业方式,建立循环流程,使疏浚、输送、脱水等工序紧密衔接,通过水下地形测绘技术精确控制疏浚范围和深度,避免过度疏浚对底栖生态系统造成破坏。在季节选择上优先考虑在生物活动相对较弱的时期实施疏浚,减少对水生生物的干扰,针对不同湖区特点,制定差异化疏浚方案,重点区域采用强化疏浚,

生态敏感区域则采用轻度疏浚,实现疏浚工艺的科学优化。

2.2 底泥处理工艺

底泥处理工艺是生态疏浚后续环节中的重要组成部分。采用多级脱水工艺处理疏浚底泥,首先经过固液分离装置进行初步脱水,去除大部分自由水,脱水过程中添加高效絮凝剂,促进泥浆快速絮凝,提高脱水效率,随后利用带式压滤机进行深度脱水,降低底泥含水率,为提高处理效率,在压滤过程中采用真空辅助系统加快水分脱离速度。脱水后的底泥进入预处理单元,通过筛分去除杂质并进行均质化处理,针对重金属污染较重的底泥,采用化学固化技术,添加固化剂实现污染物稳定化,对于有机污染物含量高的底泥,则采用生物强化降解工艺,接种高效降解菌株,加速有机物分解。处理后的底泥经过养护和检测,达到相关标准后可用于土地改良或资源化利用,整个处理过程中产生的废水经专门的处理系统净化后回用,实现废水零排放,通过工艺参数优化和过程控制确保处理效率和处理效果的持续稳定^[2]。

2.3 疏浚深度控制

疏浚深度控制是生态疏浚工程中的核心技术环节,直接影响治理效果和生态修复进程,采用水下地形测绘和底质分析相结合的方法,准确划分疏浚区域的污染层位,通过高精度测深系统实时监测疏浚作业深度确保疏浚过程的精准性。在实际施工中采用分层疏浚策略,首先清除表层严重污染底泥,随后根据污染程度逐层下挖,针对不同湖区特点,设置差异化疏浚深度,重污染区域适当加大疏浚深度,确保污染物充分清除,浅水区域则采用保护性疏浚,预留适当厚度的底泥层,为底栖生物保留栖息环境。通过安装智能深度控制系统实现疏浚设备的自动调平和精确定位,有效防止过疏或漏疏现象,在疏浚过程中结合地质雷达探测技术,动态监测底泥层结构变化,及时调整作业参数,同时建立深度控制预警机制,当疏浚深度接近设定阈值时自动报警,防止疏浚作业对湖底基岩造成破坏。

2.4 施工环境影响

施工环境影响控制是确保生态疏浚工程顺利实施的重要保障,在疏浚作业区域周边设置防污屏障有效控制施工产生的悬浮物扩散,采用低噪音设备和减震装置,降低施工噪声对周边环境的影响,疏浚船只选用环保型动力系统,减少废气排放。施工过程中严格控制施工作业时间,避开水生生物的繁殖期和鸟类迁徙季节,建立水质在线监测系统,实时监控疏浚区域及周边水体的浊度、溶解氧等关键指标变化,针对不同季节特点,制定相应的环境保护措施,如在枯水期加强水量调控,丰水期注重泥浆输送管理。通过合理布设临时码头和疏浚料浆输送管线减少对周边植被和景观的破坏,施工现场配备应急处理设备和物资,建立突发环境事件应急响应

应机制,同时加强对施工人员的环保培训,提高环境保护意识,确保各项环保措施得到有效落实^[3]。

2.5 疏浚材料选择

疏浚材料选择对工程实施效果和环境保护具有重要影响。在疏浚设备材料方面选用耐磨性强、抗腐蚀的特种合金材料制造疏浚泵和输送管道,延长设备使用寿命,减少维护次数,绞刀头采用新型复合材料,具有较好的韧性和耐磨性,可降低对底泥的扰动程度,输送管线选用具有防渗、防漏特性的环保材料,内壁采用特殊涂层处理,减少输送阻力。在絮凝剂选择方面优先采用生物降解型絮凝材料,避免引入新的环境污染物,针对不同类型底泥特性,选择适宜的调理剂,改善底泥脱水性能,脱水设备的滤布选用新型环保纤维材料,具有良好的过滤效果和使用寿命。固化处理过程中,选用无毒无害的固化材料,确保处理后的底泥满足环保要求,在临时构筑物建设中采用可重复利用的环保型材料,降低工程成本,减少建筑垃圾产生,防污帘选用透光性好、强度高的新型材料,既能有效阻隔污染物扩散,又不影响水生生物生长。

2.6 底泥资源化利用

底泥资源化利用是生态疏浚工程的重要发展方向,通过多途径转化实现底泥的增值利用。经过脱水固化处理的底泥,根据其理化性质进行分类利用,富含有机质的底泥经过发酵腐熟后,可用于园林绿化土壤改良,提升土壤肥力,含有粘土矿物的底泥,通过烧结工艺制备轻质陶粒用于建筑材料生产。钙质含量较高的底泥可用于水泥生产原料,降低天然矿物资源消耗,经过重金属稳定化处理的底泥,可用于道路路基填筑和景观造型等工程,采用生物技术处理后的底泥能够制备生物有机肥,实现农业领域应用。通过筛分获得的砂质组分可用于建筑用砂,细颗粒组分则可用于制砖,在资源化过程中采用先进工艺技术,确保产品质量稳定可控,建立完善的检测体系,对资源化产品进行全程质量监控,同时开展市场应用研究,拓展底泥资源化产品的应用领域,形成可持续的利用模式。在底泥资源化利用过程中,产品质量管控和市场应用是确保资源化项目可持续发展的关键环节,通过建立完善的质量管理体系对底泥资源化产品的生产全过程进行监控,包括原料筛选、工艺参数控制、产品性能检测等环节。

3 治理效果评估方法

3.1 水质指标分析

水质指标分析是评估生态疏浚效果的直观方法,通过系统性监测反映水环境改善程度,采用分层采样方式,在湖泊不同水层设置监测点位全面掌握水体理化指标变化特征,重点关注溶解氧、氮磷等营养盐类、重金属离子、有机物等关键指标的动态变化。通过建立水质在线监测系统,实现对温度、pH值、浊度等基础指标的实时监控,在疏浚工程实施前后对比分析各项指标的变化趋势,评估疏浚对水质的改善效果,同时考察水体分层现象、透明度变化等综合特征,判断水体生态环境的整体改善情况。通过建立水质评价模型综合各项指标权重,形成科学的评价体系,在不同季节开展跟踪监测掌握水质改善的持续性和稳定性,结合水文气象条件分析水质变化规律,评估外部环境对治理效果的影响,为后续优化治理方案提供依据^[4]。

3.2 底栖生物监测

底栖生物监测是评估生态疏浚效果的重要生物学指标,通过观察底栖动物群落结构变化反映生态系统恢复程度,采用专业采样器具在疏浚区域进行分区取样,观察底栖生物的种类组成、数量分布和生物量变化,重点关注指示性物种的出现与消失,评估水环境质量变化趋势。通过底栖生物多样性指数分析反映群落结构的稳定性,在疏浚后期开展生物调查评估底栖生物的重新定植情况,判断生态系统的自我修复

能力,建立底栖生物监测数据库,记录不同时期群落演替特征,分析生态修复进程。同时关注耐污物种和敏感性物种的比例变化,评估水体环境质量改善效果,通过生物完整性指数评价综合反映底栖生态系统健康状况,结合底质环境参数分析底栖生物分布规律,评估疏浚深度对底栖生物群落的影响,为优化疏浚工艺提供科学依据。

3.3 沉积物特征评价

沉积物特征评价是判断生态疏浚效果的关键环节,通过多维度分析反映底质环境改善情况,采用分层取样方法,对疏浚后的表层及深层沉积物进行系统采样,分析其物理结构、化学组成和生物活性特征。在物理特性方面重点考察沉积物的粒度分布、孔隙度、含水率等基本参数,评估底质环境的改善程度,化学特性分析主要包括有机质含量、营养盐含量、重金属形态等指标,反映污染物清除效果,通过氧化还原电位测定评价沉积物的生物地球化学过程,判断底质环境的稳定性。利用同位素示踪技术,追踪沉积物中污染物的迁移转化规律,评估治理效果的持久性,建立沉积物质量评价体系,综合考虑各项指标的变化特征,形成整体性评价结论,同时关注沉积物与上覆水的界面过程,评估底泥污染物的再释放风险,为后续管理提供科学依据^[5]。

3.4 生态系统恢复度

生态系统恢复度评价从整体角度出发,综合分析湖泊生态系统的修复情况。通过构建生态评价指标体系包括物理、化学和生物三个层面的指标,全面反映生态系统的结构和功能恢复状况,在群落结构方面评估浮游生物、底栖生物、大型水生植物等不同类群的恢复程度,分析食物网结构的重建情况。关注关键物种的种群动态,评估生态系统的自我调节能力,通过生态系统健康评价模型量化生态系统的稳定性和可持续性,评估生态系统服务功能的恢复情况,包括水质净化能力、生物多样性维持、景观价值等方面。建立长期监测机制,跟踪生态系统演替过程,评估生态修复的长期效果,同时考虑外部环境因素的影响,分析生态系统对环境胁迫的适应能力,通过比较参照区域的生态特征评估修复后生态系统与自然状态的接近程度,为生态治理效果评价提供科学依据。

结语

通过对湖泊底泥污染控制与生态疏浚效果评估研究,发现采用生态疏浚技术能有效改善湖泊水环境质量,研究表明合理的疏浚工艺设计和施工工序控制是确保治理效果的重要保障。建立的多指标评估体系可全面反映治理效果,为后续湖泊治理提供科学依据,未来研究方向应着重于优化疏浚工艺参数,开发智能化监测设备,完善评估指标体系,提高底泥资源化利用水平,实现湖泊水环境的持续改善和生态系统的良性发展。

[参考文献]

- [1] 罗希, 谢晓靓, 徐成剑, 等. 湖泊底泥典型持久性有机污染物控制指标研究 [J/OL]. 长江科学院院报, 1-8 [2024-12-22].
- [2] 刘梦怡. 干湿和冻融循环条件下固化湖泊底泥的力学特性演化规律[D]. 武汉轻工大学, 2023.
- [3] 范成新, 钟继承, 张路, 等. 湖泊底泥环保疏浚决策研究进展与展望 [J]. 湖泊科学, 2020, 32(05): 1254-1277.
- [4] 倪其军. 富营养化湖泊底泥低扰动射流清淤及其余水人工湿地净化关键技术研究[D]. 江南大学, 2020.
- [5] 曾军军. 五排水库水污染现状调查及底泥污染控制实验研究[D]. 湖北大学, 2020.

作者简介: 周义辉(1991.09-), 男, 汉族, 河南洛阳人, 硕士, 工程师, 研究方向: 水处理(给排水)。