

水环境保护工程中生态修复治理技术应用分析

钟志航

清远市共创环保工程技术有限公司, 广东 清远 511500

DOI: 10.61369/EAE.2024020009

摘要：本文基于当前水环境恶化、生态系统受损的背景，对水环境保护工程中生态修复治理技术的应用进行了系统分析，从生态修复技术体系分类、应用路径及优化策略三方面展开论述。通过梳理物理、化学、生物修复技术的作用机理，解析基底修复、植物配置、微生物调控等技术的应用路径，并提出精准化调控、科学化设计等优化策略。其中，物理修复的数字化升级、化学修复的绿色化转型及生物修复的基因工程创新，增强了污染物去除能力，提出的闭环管理体系与多功能生态系统构建方法，能够为水环境保护工程提供了理论依据与实践指导。旨在借助多技术协同与动态优化方式，有效解决传统修复技术效率低、易二次污染等问题，提升修复效果。

关键词：水环境；保护工程；生态修复；治理技术

Analysis of the Application of Ecological Restoration and Governance Technologies in Water Environmental Protection Projects

Zhong Zhihang

Qingyuan Gongchuang Environmental Protection Engineering Technology Co., LTD Qingyuan, Guangdong 511500

Abstract : Based on the current background of deteriorating water environment and damaged ecosystems, this paper conducts a systematic analysis of the application of ecological restoration and governance technologies in water environmental protection projects, and discusses it from three aspects: classification of ecological restoration technology systems, application paths, and optimization strategies. By sorting out the action mechanisms of physical, chemical and biological repair technologies, analyzing the application paths of technologies such as substrate repair, plant configuration and microbial regulation, and proposing optimization strategies such as precise regulation and scientific design. Among them, the digital upgrade of physical remediation, the green transformation of chemical remediation and the genetic engineering innovation of biological remediation have enhanced the pollutant removal capacity. The proposed closed-loop management system and the construction method of multi-functional ecosystem can provide theoretical basis and practical guidance for water environmental protection projects. The aim is to effectively solve the problems of low efficiency and easy secondary pollution of traditional restoration technologies by means of multi-technology collaboration and dynamic optimization, and improve the restoration effect.

Keywords : water environment; conservation project; ecological restoration; governance technology

随着工业化与城镇化进程加速，水体污染与生态退化问题日益严峻，富营养化、重金属污染、有机污染物积累等现象威胁着水生态系统健康与人类用水安全。传统工程治理手段虽能在短期内降低污染物浓度，但存在成本高昂、生态扰动大、修复效果不可持续等弊端。在此背景下，生态修复治理技术凭借其环境友好、长效稳定的特性，逐渐成为水环境保护的核心手段。从物理隔离污染物到化学改变污染物形态，从生物代谢降解到生态系统结构重塑，各类技术不断推陈出新。然而，现有研究多聚焦单一技术应用，缺乏对技术体系系统性与协同性的深入探讨。因此，全面剖析生态修复治理技术的应用路径与优化策略，对推动水环境保护工程高质量发展具有重要现实意义。

一、生态修复技术体系分类

(一) 物理修复技术

物理修复技术以物质迁移转化规律为基础，通过物理手段实现污染物的隔离、去除与生态系统结构重塑。机械清除技术通过

挖掘、筛分等方式直接移除污染土壤或沉积物，是处理高浓度污染场地的的重要手段。热脱附技术则利用污染物沸点差异，通过加热将挥发性有机物从介质中分离，适用于石油烃类污染修复。近年来，物理修复技术与数字化手段深度融合，发展智能定位清淤、微波热解等新型技术。基于三维激光扫描与GIS技术的精准

清淤系统,可根据污染分布动态调整施工参数,降低修复成本的同时减少二次污染风险^[1]。磁分离技术通过添加磁性纳米材料吸附污染物,再利用磁场实现高效分离,突破传统物理方法对细颗粒去除效率低的瓶颈。

(二) 化学修复技术

化学修复技术借助化学反应改变污染物的形态与毒性,在重金属、有机污染治理中发挥关键作用。化学淋洗技术通过添加螯合剂、表面活性剂增强污染物的溶解性,实现污染物从固相到液相的转移。化学氧化还原技术利用芬顿试剂、零价铁等强氧化剂或还原剂,将有机污染物矿化为二氧化碳和水,或将重金属转化为低毒价态^[2]。新型化学修复材料不断涌现,纳米零价铁复合材料兼具吸附与还原性能,可定向降解卤代烃类污染物。光催化材料在自然光激发下产生羟基自由基,实现对持久性有机污染物的深度矿化。化学修复技术正朝着绿色化方向发展,生物可降解螯合剂的研发减少了修复过程中的二次污染风险,体现了生态修复的可持续理念。

(三) 生物修复技术

生物修复技术依托生物体代谢功能实现污染物降解与生态系统重建,具有环境友好、成本低廉的显著优势。植物修复技术利用超积累植物对重金属的富集能力,通过连续种植收获实现土壤重金属稳定化或去除。微生物修复依赖土著微生物或外源优势菌种的代谢活动,将有机污染物转化为无害物质。近年来,微生物-植物联合修复成为研究热点,植物根系分泌物为微生物提供碳源与生存空间,微生物则促进植物对污染物的吸收与转化^[3]。基因工程技术的应用进一步拓展了生物修复的边界,通过改造微生物基因提高其对污染物的降解效率,可以将甲苯降解基因导入土著菌,显著增强石油污染土壤的修复能力。酶修复技术利用漆酶、过氧化物酶等胞外酶催化污染物降解,避免活体生物对环境条件的苛刻要求,展现出广阔的应用前景。

二、水环境保护工程中生态修复治理技术应用路径

(一) 实施基底修复技术

实施基底修复技术能够恢复水体底部生态系统的稳定性与承载力,为水生生物提供适宜的栖息环境。开展基底现状调查,通过地质雷达、沉积物采样分析等手段,明确底泥厚度、污染物分布及理化性质,评估基底受损程度。针对富营养化底泥,可采用原位覆盖技术,铺设土工布、黏土等材料,阻隔底泥污染物向上覆水体释放^[4]。对于重金属污染底泥,可通过原位钝化,添加铁锰氧化物、生物炭等材料,降低重金属活性。在河道修复中,基底重构是重要手段,通过重塑河床形态,构建深潭-浅滩交替的微地形,增强水体流动性与自净能力。铺设砾石、卵石等基质,为水生生物提供附着和产卵场所。基底修复还需结合水动力调控,通过调节水位、流速,促进基底与水体间的物质交换,加速生态系统的恢复进程。

(二) 应用植物配置技术

应用植物配置技术需遵循生态适应性原则,构建具有净化功

能与景观价值的水生植物群落。根据水体的水文条件、光照强度、营养水平等,筛选合适的植物种类,挺水植物如芦苇、香蒲,浮叶植物如睡莲、荇菜,沉水植物如苦草、轮叶黑藻等,均有各自的生态位与净化优势。在植物种植阶段,需科学规划种植密度与布局^[5]。在水流较缓区域优先种植沉水植物,利用其吸收营养盐、抑制藻类生长;在岸边区域配置挺水植物,拦截地表径流污染物。植物配置还需注重季节性搭配,选择常绿与落叶植物组合,保证全年生态功能的稳定发挥。定期对植物进行收割管理,防止植物残体腐烂导致二次污染,收割的植物可资源化利用,制作堆肥或生物质能源。结合生态浮岛技术,将植物种植在漂浮载体上,扩大植物修复的应用范围,提高水体净化效率。

(三) 运用微生物调控技术

运用微生物调控技术,优化微生物群落结构,强化水体污染物的分解转化能力。对水体微生物群落进行分析,利用高通量测序技术了解微生物种群组成与功能基因分布,明确优势菌群与污染物降解能力的关联。针对氨氮污染水体,可添加硝化-反硝化复合菌剂,补充具有高效脱氮能力的微生物菌株。对于有机污染严重的水体,投加降解难降解有机物的白腐真菌、芽孢杆菌等。在微生物投加过程中,需合理控制投加量与频次,并配合溶解氧、温度、pH等环境条件的调节,为微生物生长代谢创造适宜环境,通过投放微生物促生剂,提供微生物生长所需的微量元素与营养物质,激活土著微生物活性^[6]。构建人工湿地、生物膜反应器等载体,为微生物提供附着生长空间,延长微生物停留时间,提高污染物降解效率。定期监测微生物群落结构与水质变化,根据实际情况调整调控策略,确保微生物修复效果的持续性。

三、水环境保护工程中生态修复治理技术优化策略

(一) 基底改良技术精准调控

通过高分辨率地球物理探测与原位监测,获取基底污染物分布、孔隙结构等多源数据,构建三维地质模型,精准识别污染热点区域与脆弱带。在此基础上,根据污染物类型与迁移规律,制定差异化改良方案:针对重金属污染,采用纳米铁锰复合材料进行靶向固定,通过材料表面的活性位点与重金属离子发生螯合反应^[7]。对于有机污染底泥,引入微波热脱附-原位覆盖联合技术,先通过微波加热降低污染物浓度,再覆盖防渗材料阻断二次释放。在实施过程中,利用传感器实时监测基底温度、氧化还原电位等参数,动态调整改良剂用量与处理时长。修复完成后,通过微生物群落结构变化、污染物形态转化等指标评估改良效果,为后续工程积累数据支撑。

(二) 植物群落配置科学设计

突破传统“单一净化功能导向”思维,构建多功能协同的生态系统。设计前期需开展植物-水体互作机制研究,通过盆栽试验与中试系统,量化不同植物对氮磷吸收、根系泌氧能力及化感作用强度,建立植物功能数据库。在群落构建时,遵循生态位互补原则,将具有强净化能力的先锋物种与景观价值高的伴生植物搭配,形成“净化-景观”复合型群落^[8]。结合水文节律模拟,

优化植物种植高程,确保丰水期植物根系稳固、枯水期群落结构完整。引入基因编辑技术改良植物耐污性,通过调控植物转运蛋白基因表达,增强其对重金属的富集能力。定期对植物群落进行健康评估,采用无人机多光谱遥感技术监测植物生理状态,及时调整群落结构,维持系统长期稳定。

(三) 微生物菌剂靶向投加

基于宏基因组学解析水体微生物群落结构与代谢潜力,识别功能缺失或活性不足的关键菌群。针对不同污染类型,开发定制化菌剂。可以针对抗生素污染水体,筛选具有耐药基因降解能力的菌株进行复配;针对黑臭水体,制备包含硝化菌、聚磷菌与光合细菌的协同菌剂。在投加过程中,采用微胶囊包埋技术保护菌株活性,通过控制胶囊壁材厚度与孔隙率,实现菌剂的缓慢释放^[9]。利用水质传感器实时监测溶解氧、pH等参数,建立菌剂投加量与环境因子的响应模型,实现动态精准投加。为避免外源菌剂对土著微生物造成生态冲击,可预先开展生态安全性评估,选择与本土菌群兼容性高的菌株,并设置生态缓冲区监测群落演替。

(四) 水力条件动态优化

提升水体自净能力为核心,构建时空可变的水流调控模式。通过数值模拟技术,建立水动力-水质耦合模型,分析流速、水深、流态等不同水力参数对污染物扩散与生物栖息地的影响。在工程实施中,采用智能化闸门、生态堰坝等设施,根据季节与水质变化动态调节水位与流速。夏季藻类高发期,通过增加水流

扰动抑制藻类附着;冬季低温期,适当降低流速减少水体能量损耗^[10]。结合生态河道修复,重塑蜿蜒曲折的河道形态,形成浅滩-深潭交替的微地形,延长水流停留时间的同时促进底质与水体间的物质交换。引入磁流体动力学技术,通过施加外部磁场改变水流流态,增强水体紊动强度,提高溶解氧传递效率与污染物混合均匀度。实时监测水流速度分布与水质变化,反馈调整水力调控策略,实现生态修复效果的最大化。

四、结束语

通过上述分析可知:水环境保护工程生态修复治理技术的高效应用,需建立“分类施策-精准实施-动态优化”的完整技术链条。物理、化学、生物修复技术的协同应用,能够发挥不同技术在污染物去除、生态功能恢复中的优势互补作用。基底修复的精准诊断、植物群落的科学配置、微生物的靶向调控,是保障修复效果的关键环节。优化策略中的闭环管理、多功能生态系统构建及水力条件动态调控,则进一步提升了修复工程的可持续性与适应性。研究证实,通过数字化监测与智能调控技术的引入,可大幅提升修复效率,降低二次污染风险。在此过程中需注意,不同水体环境的异质性要求技术方案具备高度定制化特征,避免“一刀切”的治理模式,推动生态修复从被动治理向主动预防转变,实现生态效益与环境效益双赢目标。

参考文献

- [1] 张晨,王娟,刘莹,等.基于山水林田湖草系统治理观的生态保护与修复:以河南省黄河故道-豫北平原为例[J].环境工程,2023,41(6):54-61.
- [2] 王丽娜,李爽,邓唯楚,等.基于生态系统评价生态保护修复工程体系构建研究——以西辽河上游流域为例[J].环境科学与管理,2023,48(11):153-158.
- [3] 郭玉佳,刘世梁,董玉红,等.基于景观格局和生态系统服务的生态廊道修复成效评估指标体系[J].中国生态农业学报(中英文),2023,31(10):1525-1538.
- [4] 王金南,孙宏亮,赵越,等.持续打好长江保护修复攻坚战,谱写生态优先绿色发展新篇章[J].环境工程技术学报,2022,12(2):329-335.
- [5] 谢红忠,万艳雷,周秋红,等.干旱地区高盐纳污坑塘水生态修复——以阿拉尔氧化塘为例[J].南水北调与水利科技(中英文),2022,20(3):516-524.
- [6] 郑天驹,许盛凯,田广宇,等.黑臭水体生态协同修复技术研究及应用——以亳州市陵西湖疏浚工程为例[J].环境科学与管理,2022,47(11):104-108,131.
- [7] 李咏红.基于协同发展的北方湿地公园生态修复技术研究——以琉璃河湿地公园为例[J].水生生物学报,2022,46(10):1535-1545.
- [8] 张瑞杰,张红娟,元凯军,等.陕北黄土高原生态治理现状及发展趋势探究——以延安市为例[J].环境生态学,2024,6(5):93-100,107.
- [9] 张昊泽,黄会斐,高凯拓,等.流域水资源和生态环境综合治理启示——千岛湖及新安江流域案例[J].净水技术,2024,43(3):61-67,91.
- [10] 傅伯杰,刘彦序,赵文武.“一带一路”生态环境保护和可持续发展科技合作重点领域[J].中国科学院院刊,2023,38(9):1273-1281.