

生态修复技术在河道水环境治理工程中的应用

蓝 鹏 王金伟

江苏省水利建设工程有限公司 江苏 扬州 225000

摘 要：河道水环境生态退化表现为水体富营养化、底质内源污染与生态结构破损的多维度系统性损伤，单一治理手段难以实现整体修复。生态修复技术以水生植物修复、微生物修复与生态基质修复为核心，通过植物群落配置、功能性菌群投放及生态基质铺设等技术手段，从水体净化、底质改良、生物群落重构三个层面协同推进河道生态系统恢复。技术应用需严格遵循生态适配性与系统性修复原则，根据河道污染特征进行精准选型与组合联用，同时在植物配置、菌群管控、基质铺设等环节落实规范化操作要点。本文系统梳理了河道水环境受损特征、核心修复技术类型、应用原则及具体实施要点，为河道水环境生态修复工程的技术选型与方案设计提供系统性参考。

关键词：河道水环境；水环境治理；生态修复技术；应用

引言：随着城镇化进程加速与工业废水排放增加，我国河道水环境面临日益严峻的生态退化问题。水体富营养化、底泥内源污染、生物多样性丧失等多重问题叠加，导致河道自净能力持续衰退，传统工程治理手段虽能缓解部分水质指标，但难以恢复河道生态系统的完整功能。生态修复技术以生态学原理为基础，通过重构水体、底质与生物群落的协同关系，实现河道水环境的系统性治理，已成为当前河道水环境治理工程的主流技术方向。本文围绕河道水环境受损核心特征，系统分析水生植物修复、微生物修复、生态基质修复三类核心技术的作用机制与适用场景，明确生态适配性与系统性修复两大应用原则，并从植物配置、菌群管控、基质铺设三个维度提出具体应用要点，为河道生态修复工程的科学实施提供技术支撑。

1 河道水环境受损核心特征

生态修复技术在河道水环境治理工程中的应用，首先需要准确识别河道水环境受损的核心特征。河道水环境的生态退化并非单一的水质指标异常，而是水体、底质、生物群落及生态结构多维度的系统性破损，这也是生态修复技术落地应用的核心依据。（1）在水体层面，主要表现为氮、磷等营养盐浓度持续超标，诱发富营养化，伴随悬浮颗粒物与有机污染物的大量富集，水体透明度显著下降，溶解氧浓度长期处于不足状态，水生生物的基本生存条件遭到严重破坏。（2）在底质层面，长期的污染物沉降与累积使底泥呈现黑化、臭化特征，底泥中富集的重金属、有机污染物等通过物理扩散与化学释放持续向水体输出，构成内源污染的主要来源。同时，底质结构硬化、孔

隙度大幅降低，丧失了为底栖生物与微生物群落提供附着、栖息的基质功能。（3）在生态结构层面，原有水生植物、水生动物及微生物群落因生境劣化而大量消亡，生物多样性指数显著下降，河道水体的自然自净能力、有机物降解能力及生态调节功能持续衰退，最终形成以水质恶化驱动生物衰退、以生物衰退加剧水质恶化的恶性循环式退化格局^[1]。

2 河道水环境核心生态修复技术类型

2.1 水生植物修复技术

水生植物修复技术是利用水生植物自身的生理代谢、根系吸附及茎叶截留等多重机制实现水体净化与生态系统重构的核心技术手段，也是当前河道水环境生态修复工程中应用最为广泛的生物修复方法。该技术根据植物在水体中的生长位置与形态特征，分为挺水植物、浮水植物与沉水植物三类，三类植物协同配置可覆盖水体纵向与横向的多层次净化需求。（1）挺水植物根系扎入底泥，茎叶挺出水面，通过根系对氮、磷等营养盐的主动吸收与吸附截留，同时拦截悬浮颗粒物，降低水体浊度，抑制藻类增殖。浮水植物分布于水体表层，利用冠层遮光效应抑制藻类光合作用，同时高效摄取水体中富余的氮、磷营养盐，对富营养化状态具有快速改善效果。沉水植物整体处于水体内部，通过光合作用向水体释放溶解氧，提升水体透明度，并为浮游动物、底栖无脊椎动物等提供附着与庇护空间，有效稳固水体生态系统的基础结构。（2）该技术运行过程中不产生二次污染，可逐步恢复河道水生植被群落的完整性与多样性，兼顾水

质改善与自然景观修复,适用于轻度至中度污染河道的生态治理工程。

2.2 微生物生态修复技术

微生物生态修复技术以微生物代谢降解原理为核心,通过人工筛选、培育并投放功能性微生物菌群,强化河道水体对有机污染物及营养盐的降解转化能力,是解决水体有机污染与黑臭问题的关键生物技术手段。自然河道水体中本底存在大量微生物群落,但在受损水环境条件下,有益功能菌群数量严重不足,菌群结构趋于失衡,导致污染物自然降解效率显著下降。(1)该技术通过筛选硝化细菌、反硝化细菌、芽孢杆菌、光合细菌等高效净水功能菌株,经人工驯化培养后定量投入河道水体。利用微生物的同化与异化代谢作用,将水体中的有机污染物、氨氮、亚硝酸盐氮等有害物质逐步分解转化为二氧化碳、氮气、水等无害终端产物,实现污染物浓度的快速削减。与此同时,投加的有益微生物通过营养竞争与空间占位效应,有效抑制有害藻类及致病菌的异常繁殖,调节水体微生物生态系统的菌群平衡,从根本上改善水体黑臭现状。(2)该技术具有见效速度快、施工扰动小、对河道原有地形与底质结构无破坏等优势,主要应用于河道水体内源污染治理及重度富营养化水体的应急修复工程^[2]。

2.3 生态基质修复技术

生态基质修复技术主要针对河道底质退化与内源污染严重的工程问题,通过改良河道底泥物理化学性质、构建生态河床结构、铺设功能性生态基质材料等手段,系统性修复河道底部生态环境。传统清淤工程仅能去除表层污染底泥,无法从根本上改善底层基质的理化结构与生态功能,而生态基质修复技术则从底层基质入手,实现深层治理。(1)该技术通过在河道底部投放生态陶粒、沸石、生物炭等多孔功能性生态材料,优化底质的孔隙结构与理化性质。此类材料具有孔隙率高、比表面积大、吸附性能强等特征,可有效吸附固定底泥及上覆水体中的重金属离子、有机污染物与氮磷营养盐,显著削减内源污染物的释放通量。同时,多孔结构为微生物菌膜附着与底栖无脊椎动物栖息提供了稳定载体,促进底栖生态群落的定殖与恢复,完善河道底层生态链的完整性。(2)生态基质层能够稳固河床结构,降低水流冲刷造成的水土流失风险,改善河道水陆交界面的生态衔接条件,为水生植物根系扎根与生长提供稳定基质支撑,最终实现底质、水体与生物环境的协同修复。

3 生态修复技术在河道治理中的应用原则

3.1 生态适配性原则

不同河道在水体污染程度、水文条件、底质结构及原生生物群落组成等方面存在显著差异,生态修复技术的应用必须严格遵循生态适配性原则,确保技术方案与河道实际条件高度匹配。在治理实施前,需对河道水环境现状开展系统性检测,明确水体主要污染类型、底质受损程度、水域水文特征及现有生物群落状况,在此基础上针对性选择修复技术组合。对于轻度富营养化且生态结构相对完整的河道,优先采用水生植物修复技术,以自然修复为主导路径;对于水体黑臭、有机污染严重的河道,需搭配微生物修复技术实现污染物的快速降解;对于底泥污染负荷高、河床结构退化的河道,则需结合生态基质修复技术从底层基质入手进行改良。同时,技术选型须适配本地气候与生态环境,优先选用本土水生植物品种与土著微生物菌群,严格控制外来物种引入,避免因外来生物定殖引发生态入侵风险,保障修复体系与原生河道生态系统的长期兼容性与稳定性^[3]。

3.2 系统性修复原则

河道水环境是由水体、底质、生物群落与水文条件相互关联、相互作用构成的完整生态系统,各子系统之间存在紧密的物质循环与能量流动关系。单一环节的局部修复无法实现整体生态平衡的恢复,因此生态修复技术的应用必须坚持系统性修复原则,从全系统视角统筹技术方案。在治理实施过程中,需摒弃仅针对水质指标的片面治理思维,同步推进水体净化、底质改良、生物群落重构与生态结构完善四个维度的协同治理。具体而言,应通过水生植物修复、微生物修复、生态基质修复等多种技术的组合联用,构建覆盖“水体净化—底质改良—生物栖息—生态循环”全链条的修复体系。该体系既解决表层水体中氮磷超标、有机污染等问题,又同步治理底泥内源污染,同时重构水生植物、功能微生物与底栖生物之间协同共生的生态链条,实现河道水环境全方位、多层次的系统性修复,避免因局部修复导致整体生态失衡。

4 生态修复技术在河道治理中的具体应用要点

4.1 水生植物科学配置与养护

水生植物修复技术的实施成效关键在于植物群落的科学配置,单一品种无法满足河道水体多层次、多维度的生态修复需求。实际工程中,需综合考量河道水域深度、水流速度、污染类型及浓度等因素,构建挺水、浮水、沉水三类植物的立体化配比方案,形成覆盖水体纵向与横向的多层级净水植被体系。(1)浅水区域以芦

苇、菖蒲等挺水植物为主,发挥岸带水土涵养与悬浮杂质拦截功能;中水区域配置睡莲、浮萍等浮水植物,利用冠层遮光效应控制藻类增殖;深水区域种植苦草、黑藻等沉水植物,提升水体溶解氧浓度并改善水下光照条件。三类植物协同配置,可实现对氮、磷营养盐的多途径吸收与转化。(2)后期养护管控同样关键,需定期清理衰败植物残体,防止残体腐烂分解造成二次污染,并根据植物生长状态与群落结构变化适时调整种植密度,保障植物群落的长期稳定性与净水功能的持续发挥^[4]。

4.2 微生物菌群精准投放管控

微生物生态修复技术的实际应用效果,直接取决于菌群选型、投放剂量与投放环境三个环节的精准把控水平,任一环节的偏差均可能导致修复效率大幅下降。(1)需依据河道水体的主要污染物类型进行功能性菌群的定向匹配。针对氮磷营养盐超标水体,应优先选用以硝化细菌、反硝化细菌为核心的脱氮除磷功能菌群;针对有机物污染严重的水体,则应选用以芽孢杆菌、光合细菌为主的有机物高效降解菌群,确保菌群功能与污染类型高度对应。(2)需严格控制菌群的投放剂量与投放频次。结合水体中污染物浓度实测数据进行精准配比,避免因菌群过量投放引发异常增殖导致水体溶解氧骤降、微生态失衡,或因剂量不足而无法达到预期的降解速率。(3)需优选适宜的投放环境条件,避开暴雨冲刷、持续高温、低温冰冻等极端水文气象时段,保障投加菌群的存活率与代谢活性。投放完成后,需定期监测水体微生物群落结构演替及水质指标变化,根据监测数据动态调整菌群投放方案,维持水体微生态系统的长期稳定。

4.3 生态基质规范化铺设优化

生态基质的铺设施工需紧密结合河道底质受损程度与河床地形特征,严格按照规范化流程开展,确保基质的结构稳定性与生态功能的有效发挥。(1)对于底泥污染负荷较重的河道,应首先适度清理表层重度污染底泥,暴露出底层原生底质后再进行生态基质铺设,保障基质材料与底层原生底质之间形成充分的物理结合与化学交互。(2)基质铺设厚度需根据河道水深、底质条件

与治理目标进行均匀适配,避免局部铺设过厚造成河床过水断面缩减与水流淤堵,或铺设过薄导致吸附改良功能不足。同时,可依据治理需求搭配复合型生态基质方案,综合利用沸石的离子交换吸附性、生物炭的有机污染物净化性与陶粒的高透气性,实现底质理化性质的多维度改良。(3)基质铺设完成后,需进行静置养护,为微生物菌膜附着与水生植物根系定殖提供充分的缓冲周期,逐步恢复河道底栖生态群落结构与功能,实现底质污染的长效管控^[5]。

结束语

生态修复技术在河道水环境治理中的应用,本质上是对受损生态系统的系统性重建过程。水生植物修复、微生物修复与生态基质修复三类技术各有侧重,但单独使用均存在功能局限,必须依据生态适配性与系统性修复原则进行组合联用,方能实现水体净化、底质改良与生物群落重构的协同效果。在实际工程中,科学的植物群落配置、精准的菌群投放管控与规范化的基质铺设是决定修复成效的关键环节,任何单一环节的失控均可能导致整体修复效果下降。未来河道生态修复应进一步强化多技术耦合机制研究,注重修复效果的长期跟踪评估,推动河道水环境从短期水质达标向长期生态功能恢复转变,为河道水环境的可持续治理奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 潘田. 多方位生态修复技术在河道水环境治理工程中的应用[J]. 中国资源综合利用,2026,44(1):217-219.
- [2] 郭一锋. 生态修复技术在河道水环境治理中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2026(2):040-043.
- [3] 崔志涛,谭栋. 水生态修复治理技术在水环境保护工程中的应用[J]. 清洗世界,2026,42(2):96-98.
- [4] 韩纪委. 生态修复治理技术在水环境保护工程中的应用研究[J]. 清洗世界,2026,42(3):150-152.
- [5] 闭宇浩. 水生态修复治理技术在水环境保护工程中的应用探究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2026(1):201-204.