

城市黑臭水体治理中的新型技术与效果分析

李伟

湖南省娄底市生态环境事务中心

DOI:10.32629/eep.v8i10.2903

[摘要] 城市黑臭水体治理正由传统末端处理向源头削减与系统修复转变。新型技术通过强化污染阻断、提升水体自净能力和构建生态系统,实现了水质持续改善。微生物强化修复、生态浮岛、原位吸附材料及智能监测等手段在降解有机物、控制氮磷和改善水体流动性方面表现突出。多技术协同应用显著提高治理效率,为城市水环境长效治理提供可行路径。

[关键词] 黑臭水体治理; 微生物强化; 生态修复; 原位治理; 智能监测

中图分类号: TN915.5 **文献标识码:** A

New Technologies and Effect Analysis in the Treatment of Urban Black and Odorous Water Bodies

Wei Li

Ecological Environment Affairs Center of Loudi City, Hunan Province

[Abstract] The treatment of urban black and odorous water bodies is shifting from traditional end-of-pipe treatment to source reduction and system restoration. New technologies have achieved continuous improvement in water quality by strengthening pollution interception, enhancing the self-purification capacity of water bodies, and constructing ecosystems. Microbial enhanced remediation, ecological floating islands, in-situ adsorption materials, and intelligent monitoring have performed outstandingly in degrading organic matter, controlling nitrogen and phosphorus, and improving water body flow. The collaborative application of multiple technologies has significantly enhanced treatment efficiency, providing a feasible path for the long-term governance of urban water environments.

[Key words] Black and odorous water body treatment; Microbial enhancement; Ecological restoration; In-situ treatment; Intelligent monitoring

引言

随着城市化加速推进,黑臭水体问题频繁暴露出排水系统老化、面源污染加剧和生态功能退化等深层矛盾。如何以更高效、更可持续的方式恢复水体活力,已成为城市治理的重要课题。新型治理技术的出现,为突破传统模式的局限提供了新的可能。深入分析其机理与成效,有助于探索更具前瞻性的环境治理路径。

1 城市黑臭水体形成机理及治理需求分析

城市黑臭水体的形成具有多重复杂成因,主要源于污染负荷长期超载与水体自净能力持续衰退。在快速城市化背景下,生活污水直排、雨污混接、初期雨水径流携带的大量有机物与悬浮物不断汇入水体,使溶解氧迅速下降,厌氧分解过程占据主导。底泥中累积的氮、磷及难降解有机污染物不断释放,进一步强化黑臭现象。同时,河道断面狭窄、补水不足、水流缓慢等城市水文特征,使污染物滞留时间延长,形成反复恶化的内部循环机制。上述多源污染叠加,使黑臭水体成为典型的城市环境顽疾,

治理难度持续加大。

在这种背景下,治理需求呈现出由应急处置向系统化、长效化转变的趋势。简单依赖清淤、曝气、投药等传统方式,往往仅能短期见效,难以改变化学需氧量高、氮磷富营养化严重、生物多样性下降等根本问题。治理需求不仅包括削减外源污染、恢复水体活性,还涉及对城市排水系统、河道生态结构和水体补给机制的整体优化。城市水体治理需兼顾安全性、经济性与可持续性,通过科学识别污染源、动态评估水质变化规律,从而为技术选型和治理模式构建提供支撑,并为城市水环境的精细化管理奠定更加稳固的基础。

近年来,新型治理技术的兴起,为满足复杂治理需求提供了更具针对性的途径。微生物强化技术能够快速提高污染物降解效率,生态修复手段可提升系统稳定性与自净功能,原位吸附材料有效削减底泥内源污染,智能监测技术则为精准调控提供实时数据支撑。这些技术从源头阻断、过程控制与系统恢复三方面构建了更完整的治理体系。通过科学组合与阶段性应用,可在

改善水质的同时推动生态功能重建,为城市黑臭水体的长效治理奠定基础,并为今后水环境治理模式的创新提供重要参考,使整体治理更具持续性与适应性。

2 新型微生物强化技术在黑臭水体治理中的应用效果

新型微生物强化技术在黑臭水体治理中的应用受到广泛关注,其核心优势在于能够在短时间内有效提升污染物降解效率,显著改善水体理化指标。黑臭水体通常富含大量有机物、氨氮、总磷以及难以自然降解的还原性物质,使传统修复方式在处理深度和处理速度上受限。微生物强化技术通过投加特定功能菌群,如硝化细菌、反硝化细菌、聚磷菌和兼性异养菌等,在水体中快速建立优势菌群结构,促使有机污染物加速降解,氮、磷被高效去除,溶解氧得到恢复。部分技术还利用复合菌剂耐污、耐毒、高效适应性强的特性,使其在高污染、高浊度、高负荷水体中依旧保持较高活性,有效解决传统菌种难以稳定发挥作用的问题。^[1]

在实际治理中,微生物强化技术不仅体现在加快污染物转化效率方面,还在一定程度上重构水体生物链,促进生态系统恢复。通过在水体和底泥不同层位布设投菌点,功能菌可同步作用于水体表层、中层及底泥内部,显著减少厌氧产臭过程。部分复合菌群可降解硫化物、甲烷、挥发性脂肪酸等黑臭关键物质,从源头抑制黑臭再生。同时,在菌群作用下,水体透明度提升,光照条件改善,使水生植物得以恢复生长,增强水体吸收氮磷的能力。此外,与生态浮岛、曝气设备等技术协同使用时,微生物的增殖与代谢活动进一步增强,形成“微生物—生态植物—水动力改善”协同效应,使治理效果更加稳定持久。实践表明,在治理后期维持适量菌群投加,可有效延长治理成效周期,避免因季节变化或污染负荷波动导致水质反弹。

除提升污染控制能力外,微生物强化技术在实施方式上也呈现出智能化、模块化的趋势。一些新型技术通过载体固定化方式,使功能微生物附着在多孔材料、生态载体或微球结构上,提高菌体稳定性与存活率,避免水体流动性导致的菌群损失。同时,智能监测系统的应用为微生物修复提供实时调控依据,通过监测溶解氧、氨氮、氧化还原电位等指标,可实现精细化投菌、精准曝气与动态调控,使微生物在最适条件下发挥最大效能。进一步来看,微生物强化技术具有成本可控、施工便捷、生态友好等优势,适用于不同规模、不同类型的城市黑臭水体治理场景。随着技术不断成熟,其在改善水质、修复生态和实现长效治理方面的作用将愈加凸显,为构建健康城市水生态系统提供重要支撑。^[2]

3 生态修复技术对提升城市水体自净能力的作用评估

生态修复技术在城市黑臭水体治理中发挥着重建生态结构、恢复系统功能的重要作用,尤其在提升水体自净能力方面表现突出。城市黑臭水体常因水动力条件差、生态链断裂和生物多样性下降而丧失自然净化能力,导致污染物在系统内不断累

积。生态修复通过构建或恢复水生植物群落、多级生态缓冲带和生物栖息环境,使水体具备吸收污染、转化污染和削弱污染的能力。沉水植物、挺水植物与浮叶植物共同构成多层次生态结构,有助于稳定水体环境;其根系不仅吸收氮、磷等营养盐,还为微生物生长提供附着空间,从而促进微生物强化作用与植物吸收的双重协同。通过提升光照条件、增强水体通透性和改良底质,生态修复技术能够逐步培育出良性循环的生态系统,为黑臭水体的长效治理奠定基础。^[3]

在实际应用过程中,生态修复技术不仅关注植物种植和生态景观构建,更强调系统功能的重建与水体结构的优化。生态浮岛是一种常见方式,能在水体表面形成稳定的生物平台,通过植物作用实现污染吸收和遮阴降温,从而抑制藻类过度繁殖。河岸缓冲带技术通过改善岸线结构、建设缓坡生态护岸,有助于降低外源污染输入并增强水体与土壤之间的物质循环。此外,通过引入滤食性鱼类或底栖动物,可促进水体食物链恢复,增强系统内的生物多样性。在这些技术的综合作用下,水体的净化功能呈现逐步增强趋势,透明度提高、藻类暴发减少、溶解氧稳定提升等现象得以显现。与单一工程措施相比,生态修复能够在不破坏原有环境的前提下,持续发挥净化能力,并具有较强的系统韧性。

同时,生态修复在降解氮磷、削减悬浮物和改善底泥环境方面具有显著成效,有助于抑制黑臭物质的再生。其低碳、可持续、景观友好的特点,使其在城市水体治理中逐渐成为核心手段之一。综合来看,生态修复技术通过构建稳定、高效、可持续的生态系统,大幅提升水体自净能力,为城市黑臭水体治理提供了可靠路径。^[4]

4 原位治理材料与智能监测技术的协同应用价值

原位治理材料与智能监测技术的协同应用,使城市黑臭水体治理从被动修复向精准化、实时化和高效化方向发展。黑臭水体在治理过程中常面临内源污染释放、污染物迁移复杂以及水质波动明显等问题,仅依赖单一手段往往难以稳定控制。原位治理材料通过在水体及底泥中直接作用,实现污染物的吸附、固定、沉降或催化降解,可有效削减氮、磷以及黑臭相关物质的生成来源。诸如复合吸附剂、多孔矿物材料、环保型絮凝剂和缓释生态调控材料等,能够在不扰动底泥结构的情况下加速污染控制过程,并减少二次污染风险。这些材料在不同水体条件下表现出较高的适应性,为改善水体透明度、抑制厌氧反应以及提升溶解氧水平提供可靠途径。

在实际治理场景中,原位材料的效果往往与投加时机、用量、水体特征以及环境状态紧密相关,而智能监测技术正是实现精准调控的关键。智能监测通过对溶解氧、氧化还原电位、氨氮、总磷、温度与流速等指标的实时采集,为污染变化趋势提供动态数据支持,使治理措施能够根据水质变化即时调整。例如,当监测系统发现底层溶解氧下降趋势明显时,可及时启动原位增氧材料或辅助曝气系统,避免厌氧分解加剧黑臭;在高温季节,若氮磷浓度上升,可通过监测数据判断是否需要补充吸附材料或调整投放区域。智能监测不仅提高了原位材料的使用效率,

还通过数据分析对治理过程进行预警,使治理手段从“经验式”向“科学调控式”转变,减少资源浪费并提高治理精准度。

原位治理材料与智能监测技术相结合,为构建持久稳定的水体治理体系提供了更具价值的模式。通过材料作用实现污染物快速削减,再结合监测系统跟踪治理成效,可以形成“材料投加—效果监测—动态调控”的闭环机制,使治理更具连续性和可控性。同时,监测平台还能记录长期水质变化,为后续治理模式优化与生态修复布局提供依据。当二者与微生物强化、生态修复等其他技术联动时,可进一步构建综合治理体系,从源头控制、过程调节到系统恢复形成全链条支撑,显著提升治理的稳定性与抗干扰能力。这种协同模式既强化了污染控制效率,又确保治理措施与水体实际状态高度匹配,为城市黑臭水体的智慧化、长效化治理提供重要价值。

5 多技术融合模式的综合效益探索

单一技术往往受环境条件限制,难以同时兼顾污染削减速度、治理深度与生态恢复需求,而多技术融合能够将各类技术的优势叠加,实现快速改善水质与长期稳定生态的双重目标。多技术融合模式通过整合微生物强化、生态修复、原位治理材料与智能监测等多种手段,形成覆盖源头削减、过程控制与系统恢复的全链条治理体系,其综合效益在城市黑臭水体治理中表现尤为显著。例如,生态修复与智能监测、微生物强化等治理手段形成互补优势,使水体自净能力提升的过程更具精准性与稳定性。实时监测设备可追踪植物生长状况、营养盐浓度及水质变化趋势,为生态结构优化提供数据支持。通过监测结果,可在适当时期进行植物补栽、调控水生动物密度或调整生态浮岛布设位置,使系统维持最佳净化能力。^[5]

在治理效果层面,多技术融合不仅提升污染物削减效率,还能重构水体生态结构,使治理成效更加持久。传统治理模式常存在后期反弹问题,而融合模式可在不同阶段发挥不同技术的主

导作用:初期以微生物与材料削减污染为主,中期以生态修复增强系统稳定性为核心,后期再通过监测数据优化管理,实现全过程闭环治理。这种分阶段、模块化组合的方式,有助于应对季节变化、污染负荷波动和突发性水质恶化等不稳定因素。同时,多技术联动可提升景观价值与公众参与度,为城市水环境治理注入社会效益,如改善周边生态体验、提升居民环境满意度等,使治理成果更具综合性和公共性。

6 结语

城市黑臭水体治理正从单一手段向多技术协同融合的系统化路径演进。微生物强化、生态修复、原位材料与智能监测在不同环节发挥互补优势,共同推动水质改善和生态重建。多技术融合不仅能够提升治理效率,也为长效维护提供可靠支持。随着治理模式不断完善和实践案例持续积累,构建智慧化、可持续的城市水环境体系将成为未来发展的重要方向。

[参考文献]

- [1]杨玥,陈洁.城市黑臭水体治理技术的选择集成与效果评估[J].中国水运(下半月),2018,18(08):115-116.
- [2]贺晏.廖家江黑臭水体综合治理技术研究及应用[D].南昌大学,2022.
- [3]凌晨涛.上海市嘉定区黑臭水体多元协同治理的困境及对策研究[D].上海师范大学,2024.
- [4]冯杰.河道黑臭水体生态修复技术研究——以曲靖市某黑臭水体治理为例[J].中国新技术新产品,2024,(07):116-118.
- [5]王爽爽.海绵城市建设协同城市黑臭水体治理应用研究[J].黑龙江环境通报,2024,37(12):104-106.

作者简介:

李伟(1978—),男,汉族,湖南省娄底市人,本科,职称:工程师,研究方向:环境治理、环境工程、环保规划。