

The influence mechanism of advanced purification of wastewater from urban sewage treatment plant on water ecological restoration of receiving water

Hanqing Li

Inner Mongolia Zhongxin Ecological Environmental Protection Technology Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010010, China

Abstract

The accelerated urbanization process has intensified water pollution challenges, with wastewater from municipal sewage treatment plants exerting significant pressure on receiving water ecosystems. In this context, advanced wastewater purification technology has become a widely adopted solution in water environment remediation. This study investigates the mechanisms underlying its impact on aquatic ecosystem restoration. It begins by analyzing key pollutant characteristics and their adverse effects on receiving waters. Subsequently, it details the fundamental principles and methodologies of biological treatment and physicochemical methods in advanced purification systems, along with their practical applications in ecological restoration. Through case studies, the research explores implementation scenarios across different regions and water types, evaluating actual remediation outcomes. The findings demonstrate that this technology significantly improves water quality in receiving waters and enhances ecological conditions, providing both theoretical foundations and practical references for optimizing urban water pollution management.

Keywords

municipal sewage treatment; tail water purification; receiving water body; water ecological restoration; water quality improvement

城市污水处理厂尾水深度净化对受纳水体水生态修复的影响机制

李汗青

内蒙古中昕生态环保技术有限公司, 中国·内蒙古·呼和浩特 010010

摘要

城市化进程的加速, 让水资源污染问题愈发突出, 城市污水处理厂排放的尾水给受纳水体生态环境带来巨大压力。在此背景下, 污水处理厂尾水深度净化作为新兴水质改善技术, 在水环境治理中应用广泛。本文聚焦其对受纳水体水生态修复的影响机制展开探讨。先剖析了尾水主要污染物特征及其对受纳水体的负面影响, 接着详细阐述了尾水深度净化技术中生物处理法、物理化学法的基本原理与方法, 以及它们在水体修复中的应用效果。最后通过案例分析, 探究其在不同地区、水体类型中的应用实践, 并评估实际修复效果。研究表明, 该技术能显著提升受纳水体水质, 改善生态环境, 为优化城市水污染治理提供了理论与实操参考。

关键词

城市污水处理; 尾水深度净化; 受纳水体; 水生态修复; 水质改善

1 引言

随着全球人口的不断增长和城市化进程的加速, 城市水资源污染问题愈加严重。尤其是污水处理厂作为城市水污染治理的重要环节, 其排放的尾水往往成为污染源之一, 严重影响周围水体的水质与生态环境。污水处理厂尾水中含有大量的有机物、氮、磷等污染物, 这些物质不仅影响水体的水质, 还可能引发水体富营养化, 导致水生生态系统的失衡。

因此, 如何有效净化污水处理厂尾水, 减少其对水体生态环境的影响, 成为了当前水污染治理中的关键问题。

近年来, 尾水深度净化技术在污水处理中的应用逐渐成为研究和实践的热点。尾水深度净化技术通过进一步去除尾水中的污染物, 能够显著提高水质, 减轻水体污染负荷, 促进水生态修复。不同于传统的一级或二级污水处理, 深度净化技术通常采用多种处理方法的组合, 如生物处理、物理化学处理等, 旨在进一步去除水中残留的有害物质。

本文的核心目标是分析城市污水处理厂尾水深度净化对受纳水体水生态修复的影响机制。通过梳理污水处理尾水的主要污染成分、深度净化技术的原理与效果, 以及其对水

【作者简介】李汗青(1988-), 男, 中国安徽淮北人, 硕士, 工程师, 从事水污染控制研究。

生态修复的具体作用,本文希望为改善城市水体质量、推动水生态恢复提供有益的理论依据和技术支持。

2 城市污水处理厂尾水的主要污染物及其影响

2.1 污水处理厂尾水的污染物特征

城市污水处理厂排放的尾水主要包含有机污染物、氮、磷以及病原微生物等。尾水中的有机污染物通常表现为化学需氧量(COD)和生物需氧量(BOD)。这些有机污染物主要来自生活污水和工业废水中的有机物质,如家庭垃圾、餐饮废水及某些工业废水等。污水处理过程中,虽然有一定程度的去除,但尾水中仍会残留较高浓度的有机物,若未经过进一步净化,容易导致受纳水体富营养化。

氮和磷是污水中常见的营养性污染物,其主要来源于生活污水中的氮源(如尿素和氨氮)和磷源(如洗涤剂中的磷酸盐)。过量的氮磷物质进入水体后,会引发水体富营养化现象,导致藻类爆发,水体含氧量下降,进一步影响水生态系统的稳定性。此外,尾水中还可能含有一些有毒有害物质,如重金属、药物残留和病原微生物等,这些污染物对水生生物和人类健康具有潜在的危害。

2.2 尾水污染对受纳水体的影响

污水处理厂尾水中的污染物,特别是氮、磷等营养性物质,进入受纳水体后,会引发一系列负面影响。首先,尾水中的过量营养物质会加剧水体富营养化,促进水华的形成。水华的爆发不仅消耗大量的水体氧气,导致水体缺氧,影响水生生物的生长与繁殖,还可能释放毒素,造成水体污染的恶化。其次,富营养化的水体会对生态系统造成压力,影响生物多样性,导致一些物种的灭绝或迁移,破坏水体的生态平衡。

此外,污水处理厂尾水中的有机物及微生物污染也可能成为受纳水体污染源的一部分。尤其是在干旱和水资源紧张的地区,尾水的排放会对水体的自净能力产生影响,增加水质的治理难度。因此,减少污水处理厂尾水中的污染物,提升水体自净能力,已成为改善水生态环境的关键问题^[1]。

2.3 尾水深度净化对受纳水体的修复作用

尾水深度净化技术通过去除污水中的残余污染物,能够显著降低尾水对受纳水体的污染负荷。该技术通常结合生物法、化学法及物理法,利用多种处理手段,进一步提高水质。通过减少氮、磷等营养物质,能够有效减缓水体富营养化的进程,抑制水华的形成,保持水体的生态平衡。此外,深度净化技术还能够去除尾水中的有毒有害物质,提高水体的生态安全性,从而为水生态系统的恢复提供更为有力的支持。

3 尾水深度净化技术的原理与应用

3.1 生物处理法

生物处理法是尾水深度净化中广泛应用的一种技术,它通过微生物代谢作用,降解水中的有机污染物和氮磷等污

染物,达到水质净化的目的。生物处理法主要依赖微生物群体的天然代谢功能,利用其特有的酶解作用分解污水中的有机物,尤其适用于有机污染物浓度较高的污水。在尾水处理中,常见的生物处理方法有好氧生物处理、厌氧生物处理以及兼氧生物处理等,每种方法在处理效果和适用条件上有所不同^[2]。

好氧生物处理通过供氧促进微生物生长和繁殖,微生物通过吸收有机物进行代谢,将有机物转化为水、二氧化碳和氮化合物。好氧系统的优点在于其对有机物的降解效率高,能够有效去除水中的BOD(生物需氧量)、COD(化学需氧量)和氮磷等污染物。厌氧生物处理则是在无氧条件下通过厌氧微生物降解有机物,这种方法适用于高浓度有机污水的处理。兼氧生物处理则结合了好氧和厌氧条件,能够在缺氧和低氧环境中有效去除水中的氮磷和有机污染物,具有较好的处理效果。

通过优化生物处理过程中的环境条件,如温度、pH值、溶解氧浓度等,能够提高微生物的活性,增强污染物的去除效率。近年来,生物膜技术和生物反应器技术的引入使得生物处理方法在尾水深度净化中得到了更加广泛的应用。生物膜技术可以提高微生物的固定密度,增强反应器的污染物降解能力,尤其适合处理流量波动较大的污水。

3.2 物理化学法

物理化学法通过利用物理或化学反应去除水中的污染物,是尾水深度净化中的另一种常用技术。该方法主要包括吸附法、化学沉淀法、氧化还原法等,可以有效去除水中的有机污染物、氮磷等无机污染物及某些难降解污染物。吸附法通常使用吸附剂(如活性炭、膨润土、沸石等),通过吸附作用去除水中的有机物、色度物质及部分重金属离子等。吸附法具有操作简便、效率较高的特点,常常用于尾水中残留有机污染物的去除^[3]。

化学沉淀法主要利用化学试剂(如铝盐、铁盐等)将水中的溶解性污染物转化为不溶性物质,沉降或过滤去除。氮磷是水体富营养化的主要污染物,采用化学沉淀法能够有效去除水中的磷酸盐,并减少水体富营养化的风险。氧化还原法通过强氧化剂(如臭氧、氯气、高锰酸钾等)对水中的有机污染物进行氧化降解,能够去除水中的难降解有机物及微生物,起到消毒作用。

此外,膜技术在物理化学法中的应用也非常广泛,特别是反渗透(RO)膜技术和纳滤膜(NF)技术。在尾水深度净化中,膜分离技术不仅能够去除溶解性有机物,还能去除微粒、重金属等污染物。反渗透膜技术能够过滤水中的大部分溶解性污染物,是高效去除水体中溶解性污染物的重要手段。膜技术结合传统的物理化学法,能够提供更加高效、精细的污染物去除效果,特别适合处理对水质要求较高的水体。

3.3 综合技术应用

随着污水处理技术的不断发展,单一的处理方法往往

难以满足复杂污水水质的处理需求。为了提高污水处理的效果,许多尾水深度净化系统采用了多种技术手段的组合,形成了综合技术应用。例如,生物—化学—物理联用技术(Biological-Chemical-Physical Integrated Technology, BCPIT)通过将生物法、化学法和物理法结合,充分发挥各方法的优点,互相弥补,能够实现更高效的污染物去除效果。该技术不仅能够去除有机污染物,还能去除氮磷等营养性污染物,适用于处理复杂污水^[4]。

近年来,膜技术的引入也为尾水深度净化提供了新的技术突破。反渗透膜、纳滤膜等膜分离技术,凭借其高效分离和精细过滤的特点,已经广泛应用于尾水深度净化中。反渗透技术通过利用半透膜的选择性透过性,能够去除水中的溶解盐、有机污染物以及重金属等。膜分离技术不仅提高了处理效率,而且具有操作简便、自动化程度高、运行稳定等优点。通过膜技术与生物法或化学法的联合应用,可以大幅度提高污水处理效果,尤其适合于对水质要求较为严格的受纳水体。

此外,现代污水处理技术还融合了人工智能和大数据技术,通过对处理过程的数据监控与优化,进一步提高污水处理的效率和稳定性。人工智能可以在尾水处理过程中自动调节各种参数,实现系统的实时优化,确保水质达到最佳标准。多项技术的组合应用,不仅提高了尾水深度净化的效果,还为污水处理厂提供了更多的可操作性和灵活性。

4 尾水深度净化的案例分析与实践

4.1 案例分析:某城市污水处理厂尾水净化实践

某城市污水处理厂在其尾水净化过程中,采用了多级生物滤池与反渗透膜技术相结合的深度净化系统。该系统在初步去除污水中的有机污染物后,通过多级生物滤池进一步降解氮磷等营养性污染物,并最终通过反渗透膜技术去除尾水中的溶解性污染物。经过这一系列处理后,尾水的氮、磷浓度显著降低,水质达到了或优于受纳水体的水质标准^[5]。

在该项目的实施过程中,受纳水体的水质得到了显著改善。通过对水体水质的长期监测,发现深度净化后的尾水排放对水体生态环境产生了积极影响,不仅改善了水质,还有效抑制了水华的发生。该案例表明,采用生物—膜联用技术能够有效减少污水中的污染物,改善水体的生态功能,推动受纳水体水生态修复。

4.2 尾水深度净化技术的应用效果评估

尾水深度净化技术的应用效果评估主要从多个方面进行综合分析。首先,水质改善效果通过对水体中的主要污染物(如氮、磷、化学需氧量COD、氨氮等)的浓度变化进行监测,评估尾水净化前后水质的变化。研究表明,尾水经过深度净化后,污染物浓度大幅下降,尤其是氮磷等富营养化物质的去除效果明显,水体水质得到了显著改善。

其次,生态恢复效果通过监测水体生物多样性和水生生物种群的变化进行评估。随着污染物浓度的降低,水体中的水生生物种类逐渐恢复,生态平衡得到了改善。在某些应用案例中,深度净化后的尾水排放使得水体的物种多样性增加,水生生物的生长和繁殖得到了促进,生态修复效果显著。

5 结语

尾水深度净化技术在改善城市污水处理厂尾水质量、促进水生态修复方面具有重要的意义。通过采用多种技术手段的联合应用,能够有效降低污水中的氮、磷及其他有害物质,减缓水体富营养化的进程,改善水体水质,促进水生态环境的恢复。然而,尾水深度净化技术的实施仍面临一定的技术和经济挑战,未来需进一步优化处理工艺,降低运行成本,提高处理效率,为推动城市水污染治理和水生态修复提供持续的技术支撑。

参考文献

- [1] 林运通,崔理华,范远红,等.5种湿地沉水植物对模拟污水厂尾水的深度处理[J].环境工程学报,2016,10(12):6914-6922.
- [2] 邱园园,张志勇,张晋华,等.凤眼莲深度净化污水厂尾水生态工程中温室气体的排放特征[J].生态与农村环境学报,2017,33(04):364-371.
- [3] 高建文,韩尚信,李川,等.砾间接触氧化处理污水厂尾水工艺效能研究[C]//中国环境科学学会环境工程分会.中国环境科学学会2019年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛论文集(三)。中交上海航道勘察设计研究院有限公司;2019:161-164.
- [4] 陈嗣威,郑海粟,张晟曼,等.不同植物组合对模拟污水厂尾水的净化效果及对根系微生物群落的影响[J].应用与环境生物学报,2022,28(02):387-393.
- [5] 姚瀚申,吴义锋,朱红生,等.梯级生态湿地对污水厂尾水水质提升作用的数值模拟研究[J].环境科学学报,2022,42(08):236-245.