

城市生活污水处理厂尾水深度净化技术优化研究

唐才梅

郴州市临武生态环境监测站

DOI:10.32629/eep.v8i12.3006

[摘要] 随着城市化进程的加速和环保要求的日益提高,城市生活污水处理厂尾水的深度净化成为了当前环境领域的研究热点。本文以郴州市临武生态环境监测站相关研究为基础,对城市生活污水处理厂尾水深度净化技术进行了深入分析。首先介绍了尾水深度净化的背景和意义,探讨了常见的深度净化技术及存在的问题,然后针对这些问题提出了优化措施,最后对未来尾水深度净化技术的发展进行了展望。通过研究旨在为提高城市生活污水处理厂尾水的净化效果,改善水环境质量提供理论和技术支持。

[关键词] 城市生活污水; 尾水深度净化; 技术优化; 改善水环境

中图分类号: S273.5 文献标识码: A

Research on Optimization of Deep Purification Technology for Tail Water of Urban Domestic Sewage Treatment Plant

Caimei Tang

Linwu Ecological Environment Monitoring Station in Chenzhou City

[Abstract] With the acceleration of urbanization and the increasing demand for environmental protection, the deep purification of effluent from urban domestic sewage treatment plants has become a research hotspot in the current environmental field. Based on the relevant research of Linwu Ecological Environment Monitoring Station in Chenzhou City, this article conducts an in-depth analysis of the deep purification technology for the effluent of urban domestic sewage treatment plants. Firstly, the background and significance of deep purification of tailwater were introduced, and common deep purification technologies and existing problems were discussed. Then, optimization measures were proposed to address these issues. Finally, the future development of deep purification technology for tailwater was discussed. The research aims to provide theoretical and technical support for improving the purification efficiency of urban domestic sewage treatment plant effluent and enhancing water environment quality.

[Key words] Urban domestic sewage; Deep purification of tailwater; Technical optimization; Improving water environment

前言

随着我国城市化和工业化进程加快,城市生活污水排放量持续增加,污水处理厂在削减污染物方面发挥着重要作用。然而,尾水中仍含有氮、磷及微量有机物等污染物,直接排放易引发水体富营养化,威胁水生态系统安全。因此,对尾水进行深度净化以进一步降低污染物浓度具有重要意义。本研究旨在系统分析现有尾水深度净化技术的应用现状与存在问题,提出优化改进措施,提升净化效果,减少对受纳水体的环境影响。研究成果可为环境管理部门制定科学政策提供依据,助力污水处理厂提标改造,推动水环境质量改善与水资源可持续利用。

1 城市生活污水处理厂尾水特征及环境影响

1.1 尾水水质特征

城市生活污水处理厂尾水的水质特征受进水成分、处理工艺类型及运行管理水平等多重因素影响。典型尾水中仍残留化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD₅)、氨氮和总磷等常规污染物,同时含有少量悬浮物、病原微生物及难降解微量有机物,如内分泌干扰物和药物残留。尽管经过处理,主要指标较进水显著下降,但部分参数仍难以稳定达到地表水IV类及以上标准,尤其在雨季或冲击负荷下更易超标。此外,深度处理工艺应用不足或管理不善将进一步影响尾水水质,制约其回用或排入敏感水体的安全性。

1.2 尾水排放对水环境的影响

尾水排放主要通过三方面影响水环境:一是氮、磷等营养盐引发富营养化,导致藻类暴发、溶解氧骤降、水体缺氧,致使

水生生物死亡;二是含药物残留、内分泌干扰物及持久性有机污染物等微量有毒物质,可生物累积,威胁水生生态与人类健康;三是温度、pH异常及重金属、病原微生物的引入,破坏水体理化平衡,抑制微生物活性,削弱自净能力。未经充分处理的尾水直接排放,将显著加剧环境污染风险。因此,强化尾水深度处理与严格排放监管,是保障水生态安全的关键举措。

2 常见城市生活污水处理厂尾水深度净化技术

2.1 物理化学处理技术

2.1.1 过滤技术

过滤是常用物理处理技术,利用砂滤或活性炭等介质去除尾水中悬浮物及部分胶体。砂滤结构简单、成本低、易维护,广泛用于市政与工业水处理;活性炭过滤兼具吸附功能,可有效去除有机物、色度和重金属离子,对难降解污染物有一定效果。二者操作简便、运行稳定,常作为深度处理关键环节。但过滤对溶解性无机盐及小分子有机物去除效果有限,通常需联用膜分离或高级氧化等工艺以提升整体效率。

2.1.2 混凝沉淀技术

混凝沉淀技术通过向尾水中投加铝盐、铁盐等混凝剂,使胶体颗粒和细微悬浮物脱稳并聚集成较大絮体,继而借助重力沉淀实现固液分离。该工艺对悬浮物、胶体及部分难降解有机物具有显著去除效果,广泛应用于工业与市政尾水深度处理。然而,药剂投加不仅增加运行成本,还会产生大量化学污泥,处置不当易造成二次污染。同时,过量投加可能影响出水水质稳定性,因此需优化投药量与反应条件,以提升处理效率并降低环境负担^[1]。

2.2 生物处理技术

2.2.1 人工湿地技术

人工湿地是一种模拟自然湿地生态系统的污水处理技术,通过植物、微生物和基质的协同作用高效去除尾水中的氮、磷、有机物及悬浮物。其中,芦苇、香蒲等挺水植物不仅能吸收水中营养盐,还能为微生物提供附着载体;根际微生物则通过硝化、反硝化及降解作用分解污染物;砂石、沸石等基质兼具物理过滤与化学吸附功能。该技术具有处理效果稳定、运行成本低、维护简便、景观融合度高等优势,适用于城镇生活污水、农田排水等分散性污染治理。然而,其占地面积较大,水力负荷有限,且处理效率受温度影响显著,冬季低温条件下微生物活性降低,植物枯萎,导致净化能力下降,因此在高寒地区应用受限,需结合保温措施或与其他工艺联用以提升适应性。

2.2.2 生物膜技术

生物膜技术是利用附着在载体表面的微生物膜对尾水中的有机物、氨氮等污染物进行降解与转化。常见的生物膜工艺包括生物滤池、生物转盘和生物接触氧化等,具有处理效率高、抗冲击负荷能力强、污泥产量少等优点。该技术通过微生物的固定化作用增强系统稳定性,适用于低浓度废水深度处理。然而,其效果受载体材质、比表面积及孔隙结构影响显著,且易发生膜堵塞或脱落,因此对载体选型、曝气控制及日常管理要求较

高,需定期维护以保障处理性能稳定^[2]。

2.3 高级氧化技术

高级氧化技术是指通过产生具有强氧化性的羟基自由基($\cdot\text{OH}$)来高效降解尾水中难降解有机污染物。常见技术包括臭氧氧化、光催化氧化、芬顿及类芬顿氧化等,能有效破坏有毒有机物结构,实现无害化处理。该技术具有氧化能力强、反应速率快、适用范围广等优势,尤其适用于传统方法难以处理的高毒性、高浓度废水。然而,其设备投资大、药剂消耗多、运行成本高,且可能产生副产物。因此,需进一步优化催化剂性能、提升自由基利用率,并结合其他工艺实现协同增效,以提高整体处理效率并降低经济成本。

3 现有尾水深度净化技术存在的问题

3.1 处理效果不稳定

部分深度净化技术受水质、水量、水温等因素影响较大,导致处理效果不稳定。例如,人工湿地在冬季气温较低时,植物生长缓慢,微生物活性降低,氨氮和有机物去除率显著下降;低温还易造成填料冻结,影响水力传导。生物膜技术在进水水质波动剧烈时,冲击负荷易破坏生物膜结构,导致膜脱落或优势菌群更替,进而削弱降解能力。此外,水温偏低还会减缓微生物代谢速率,延长系统恢复周期,进一步制约整体处理效能。

3.2 运行成本较高

一些高级氧化技术和部分物理化学处理技术不仅能耗高,还需大量化学药剂,导致运行成本居高不下。例如,臭氧氧化依赖电能制备臭氧,能耗大且设备维护复杂;芬顿氧化需持续投加硫酸亚铁和过氧化氢,药剂费用高,且产生大量含铁污泥,增加后续处置负担。此外,紫外-过硫酸盐、电化学氧化等技术也因电力消耗大或电极材料昂贵而难以规模化应用。这些因素限制了其在经济欠发达地区或大型污水处理项目中的推广,亟需通过工艺优化与资源回收降低综合成本。

3.3 二次污染问题

部分处理技术在运行过程中可能引发二次污染问题。例如,混凝沉淀技术虽能有效去除悬浮物和部分污染物,但会产生大量含重金属和有机物的污泥,若处置不当,易造成土壤与水体污染。高级氧化技术尽管降解效率高,但在实际应用中可能生成有毒副产物,如臭氧氧化含溴水体时易产生致癌性的溴酸盐,芬顿反应可能残留铁离子和未完全降解的中间产物,对生态环境和人体健康构成潜在威胁。因此,在技术选择与工艺优化中需综合评估副产物生成风险,配套相应的末端控制措施,以实现真正意义上的清洁处理。

3.4 技术集成度不够

目前,单一的深度净化技术往往难以满足尾水深度净化的要求,需要将多种技术进行集成。然而,现有的技术集成方案还不够完善,不同技术之间的协同作用没有得到充分发挥,导致处理效果不理想。例如,物化法与生物法联用时界面衔接不畅,膜分离与高级氧化技术耦合存在能量利用率低、副产物抑制等问题。此外,系统运行稳定性差、成本高、缺乏智能化调控手段,

也制约了集成工艺的实际应用。因此,亟需优化多技术协同机制,强化过程耦合与参数匹配,提升整体净化效能与可持续性。

4 城市生活污水处理厂尾水深度净化技术优化措施

4.1 优化处理工艺组合

根据尾水的水质特征(如SS、COD、TN、TP、难降解有机物及微量污染物浓度)和回用/排放标准要求,需因地制宜选择多级耦合工艺。例如,对高悬浮物与高有机负荷尾水,可采用“混凝沉淀—多介质过滤—A²/O或MBR”组合,实现固液分离与同步脱氮除磷;针对含酚类、染料、制药中间体等难降解有机物的尾水,宜采用“臭氧催化氧化/UV-Fenton—水解酸化—好氧生物膜”工艺,通过高级氧化断链开环提升B/C比,再经生物段高效矿化;若尾水中含微量抗生素、内分泌干扰物等新兴污染物,还可增设活性炭吸附或电化学强化模块作为深度保障单元。所有工艺组合均需兼顾运行稳定性、能耗水平与污泥减量效果,确保出水持续稳定达标^[3]。

4.2 提高技术适应性

针对不同地区的气候条件、水质特点等因素,对现有深度净化技术进行因地制宜的改进与优化,全面提升技术适应性与处理效率。在冬季气温较低地区,可采取覆盖保温、地下式湿地或太阳能加热等措施增强人工湿地运行效果,同时筛选并投加耐低温高效微生物菌种,强化生物处理能力。在高温高湿区域,则注重防止藻类滋生与系统堵塞。建立完善的尾水水质在线监测系统,实时监控关键指标,结合大数据分析动态调节曝气量、药剂投加量等工艺参数,实现精准调控。通过技术集成与智能管理,确保不同环境下污水处理系统稳定达标运行。

4.3 降低运行成本

通过优化工艺参数、改进设备设计等方式有效降低运行成本。在高级氧化技术中,合理选择高效低耗的氧化剂与催化剂,精准调控反应pH、温度和停留时间,提升自由基生成效率,显著减少药剂投加量和二次污染风险。在生物处理技术中,采用比表面积大、亲水性强的新型生物载体,增强微生物附着能力与代谢活性,缩短启动周期,提高系统抗冲击负荷能力,从而降低曝气能耗与污泥产量。同时,积极整合可再生能源,如配置太阳能光伏板驱动水泵或利用风能辅助供氧,实现能源互补,减少对传统电力的依赖。此外,引入智能监控系统实时调节运行工况,进一步提升能效管理水平,全面推动污水处理向低碳化、可持续方向发展。

4.4 解决二次污染问题

加强对处理过程中产生的二次污染物的监测和控制,建立全过程在线监控体系,实时掌握污染物动态。对于污泥等固体废

弃物,应根据其性质选择安全高效的处置方式,如脱水后进行资源化利用、协同焚烧或卫生填埋,优先推动污泥能源化与肥料化应用。针对高级氧化技术可能产生的有毒副产物,通过优化催化剂投加量、调控pH与反应时间,结合生物或吸附后续处理工艺,有效降低其生成风险与环境危害。强化处理设施运行管理与人员培训,定期检修设备,杜绝跑冒滴漏,切实防范污染物泄漏和非正常排放。

4.5 加强技术集成与创新

开展多学科、多技术深度交叉融合,强化膜分离、高级氧化与生物强化等深度净化技术的集成创新。推动物联网、大数据、数字孪生与AI算法在水质实时感知、工艺动态优化及故障智能预警中的全链条应用,实现污水处理厂“源—网—厂—口”一体化智慧管控。加速纳米催化材料、耐污染复合膜、模块化智能装备等关键核心部件自主研发与工程验证。深化高校、科研院所与龙头企业协同攻关,共建中试基地与示范工程,打通“基础研究—技术开发—集成示范—规模应用”转化路径,提升技术落地效率与产业适配性。

5 结束语

本文研究了城市生活污水处理厂尾水深度净化技术,分析其水质特征与环境影响,探讨常见技术及存在问题,提出优化工艺组合、提升适应性、降低成本、防控二次污染及加强技术集成等措施,并通过案例验证其有效性。结果表明,合理优化深度净化技术可显著提升尾水处理效果,减轻对水环境的影响。尽管取得一定成果,但对新型技术如膜生物反应器、电化学氧化等研究仍不足,技术集成与协同优化有待深化,微生物群落作用机制尚需探究,产业化推广水平不高。未来应加强新技术研发与应用,优化集成工艺,深入研究微生物机制,推动技术向高效、低耗、绿色方向发展,提升尾水净化的整体水平与推广应用能力,为改善水环境质量提供有力支撑。

[参考文献]

- [1]车雅飞.基于人工湿地的污水处理厂尾水深度净化及效果[J].资源节约与环保,2025,(09):32-35+61.
- [2]王玥.城市污水厂中邻苯二甲酸酯的去除效果及强化处理技术研究[D].吉林建筑大学,2024.
- [3]郭庆贺.城镇污水深度净化回用关键技术.内蒙古自治区,内蒙古科泰隆达环保科技有限公司,2021-12-24.

作者简介:

唐才梅(1975--),女,汉族,中国湖南郴州人,本科,工程师,从事生态环境保护工作。