

市政污水处理厂尾水湿地生态净化效能的季节差异性研究

聂大海

安徽丽超机械化工程有限公司 安徽合肥

【摘要】 市政污水处理厂尾水湿地生态净化效能存在显著的季节差异性，影响其长期稳定运行与环境效益。本文以典型人工湿地系统为研究对象，结合不同季节水质监测数据，分析氮、磷等污染物去除率的变化趋势及其影响因素。温度、植物生长周期及微生物活性是导致净化效能季节变化的主要原因。冬季低温抑制生物代谢过程，导致去除效率下降；春夏季植物吸收和微生物作用增强，净化效果最佳。研究成果可为湿地设计优化与运行管理提供科学依据，提升尾水处理的生态可持续性。

【关键词】 市政污水；尾水湿地；生态净化；季节差异；污染物去除

【收稿日期】 2025 年 5 月 15 日

【出刊日期】 2025 年 6 月 6 日

【DOI】 10.12208/j.jer.20250294

Study on seasonal differences in ecological purification efficiency of tail water wetlands in municipal wastewater treatment plants

Dahai Nie

Anhui Lichao Mechanization Engineering Co., Ltd, Hefei, Anhui

【Abstract】 There are significant seasonal differences in the ecological purification efficiency of tail water wetlands in municipal wastewater treatment plants, which affect their long-term stable operation and environmental benefits. This paper takes a typical constructed wetland system as the research object, and combines water quality monitoring data in different seasons to analyze the variation trends of pollutant removal rates (such as nitrogen and phosphorus) and their influencing factors. Temperature, plant growth cycles, and microbial activity are the main causes of seasonal variations in purification efficiency. Low temperatures in winter inhibit biological metabolism, leading to a decline in removal efficiency; while plant absorption and microbial activity are enhanced in spring and summer, resulting in the best purification effect. The research results can provide a scientific basis for wetland design optimization and operation management, and improve the ecological sustainability of tail water treatment.

【Keywords】 Municipal wastewater; Tail water wetland; Ecological purification; Seasonal difference; Pollutant removal

引言

市政污水处理厂在城市水环境保护中具有关键作用，但其尾水中仍含有一定量的氮、磷等污染物，若直接排放易引发水体富营养化问题。人工湿地作为一种低能耗、生态效益高的深度处理技术，已被广泛应用于尾水净化。在实际运行中，湿地的净化效能受多种自然因素影响，表现出显著的季节差异性。这种差异不仅影响处理效果的稳定性，也制约其推广应用。目前相关研究多聚焦于工艺结构或短期试验，缺乏对长期运行下季节变化机制的系统分析。有必要深入探讨不同季节对湿地净化性能的影响及其关键驱动因素，以提升其适应性和治理效能。本研究旨在揭示季节变化对湿地

净化功能的影响规律，并提出针对性优化策略，为湿地系统的科学管理与稳定运行提供支撑。

1 市政污水处理厂尾水湿地的运行现状与挑战

市政污水处理厂尾水湿地作为重要的生态深度处理手段，近年来在城市水环境治理中广泛应用。随着排放标准日益严格，传统工艺难以满足更高环保要求，尾水湿地因其脱氮除磷效果好、运行成本低、生态景观价值高等优势，已成为污水处理系统的重要补充。目前，国内多个大中型城市已在处理厂下游建设人工湿地，进一步削减氨氮、总磷和 COD 等残留污染物，提升水环境质量。部分湿地仍存在设计不合理、负荷波动大及运维管理不足等问题，导致处理效果不稳定，影响其长

期运行效能。

从运行机制来看,尾水湿地主要依靠植物吸收、基质吸附和微生物降解等多重作用实现污染物去除。不同类型的湿地(如表面流湿地、潜流湿地)在不同季节表现出各异的净化能力,尤其受温度、水力停留时间和植被生长状况等因素影响显著^[1]。冬季低温条件下,微生物活性受到抑制,植物进入休眠期,导致氮、磷去除效率下降;而在春夏季,植物生长旺盛,生物代谢速率加快,整体净化功能明显增强。进水水质波动较大,尤其是在雨季或极端天气条件下,易造成短时高负荷冲击,影响湿地系统的稳定运行。

针对上述挑战,有必要结合各地气候条件与污水处理厂实际运行情况,开展因地制宜的技术优化与管理策略调整。一方面,应加强湿地系统的设计科学性,合理配置植物种类与结构,选用抗逆性强、净化能力突出的优势物种;另一方面,优化水力调度方式,延长水力停留时间,避免水流短路造成的处理不均现象。建立长效监测机制,定期评估湿地净化效能,并根据季节变化动态调整运行参数,以提升其适应性和稳定性。通过系统化的工程改进与精细化管理,市政污水处理厂尾水湿地有望在保障出水水质的实现生态效益与环境治理目标的有机统一。

2 湿地生态净化效能的季节性变化特征

湿地生态净化系统在不同季节中表现出显著的效能差异,这一变化直接影响尾水处理的稳定性与环境效益^[2]。湿地对氮、磷等污染物的去除能力具有明显的季节波动特征,尤其在冬季低温条件下,系统整体净化效率明显下降。其主要原因在于低温抑制了微生物代谢活性,降低了硝化与反硝化作用速率,同时植物生长进入休眠阶段,吸收能力减弱,导致氨氮和总磷的去除率下降。而在春夏季,随着气温回升和光照增强,湿地植物(如芦苇、香蒲等)进入快速生长期,根系泌氧能力增强,促进了好氧区的扩展,从而提升了氮素转化效率。微生物群落结构也随之发生变化,优势菌群数量增加,进一步强化了污染物的生物降解过程。

从实际运行数据来看,不同类型的湿地系统在四季中的表现也存在差异。水平潜流人工湿地由于水流路径较长、基质保温性较好,在冬季仍能维持一定的净化功能;而表面流湿地受外界环境影响更大,冬季去除效率下降更为明显。水力停留时间作为影响净化效果的重要参数之一,在不同季节需进行动态调整。夏季高温加快反应速率,适当缩短停留时间仍可保证处理效果,而冬季则需延长停留时间以弥补生物代谢减缓带

来的影响。降雨量和进水水质的季节性变化也会对湿地运行造成冲击负荷,尤其是在雨季或融雪期,瞬时水量增加可能导致短流现象,降低污染物的去除效率。

为了更准确地评估湿地净化效能的季节性变化,近年来许多研究采用长期监测与数据分析的方法,结合温度、pH 值、溶解氧、氧化还原电位等环境因子,构建多因素影响模型。这些研究发现,温度与污染物去除率之间存在显著正相关关系,特别是在氨氮去除方面,相关系数可达 0.7 以上。通过建立季节因子与处理性能之间的定量关系,不仅有助于揭示湿地系统的内在运行机制,也为后续优化调控提供了理论依据。在实际管理中应充分考虑季节性变化对湿地功能的影响,采取科学合理的运行策略,以提升系统全年稳定运行的能力。

3 影响尾水湿地净化效能的关键季节因子分析

尾水湿地的净化效能受多种环境因子调控,其中季节性变化对关键生态过程的影响尤为显著。温度作为主导因子之一,直接影响微生物代谢活性、植物生理状态以及基质吸附解吸过程。冬季低温条件下,硝化细菌和反硝化菌群活性受到抑制,导致氮素转化速率下降,氨氮去除效率明显降低;植物根系泌氧能力减弱,影响湿地内部溶解氧分布格局,进一步削弱了生物脱氮作用^[3]。而在春夏季,随着气温回升,微生物群落结构趋于稳定,优势功能菌数量增加,促进了有机物降解与氮磷去除。光照强度的变化不仅影响植物光合作用效率,也间接调控根际微环境,进而影响污染物的迁移转化路径。

水文条件在不同季节呈现动态变化,也是影响湿地运行性能的重要驱动因素。降雨量的季节分配不均会导致进水量波动,从而改变湿地系统的水力停留时间与流态特征^[4-7]。在雨季或融雪期,瞬时流量增加可能引发短流现象,使污染物未能充分接触植物根系和基质便被排出系统,降低处理效果;而在干旱季节,水流缓慢可能导致局部区域出现厌氧状态,影响氧化还原环境,进而干扰氮循环过程。进水水质的季节差异也不容忽视,如冬季城市污水处理厂出水中总磷浓度普遍升高,给湿地带来额外负荷,加剧了去除效率的波动。

植被类型及其生长周期同样是决定湿地净化能力季节性变化的关键要素。不同植物对污染物的吸收能力和适应性存在差异,芦苇、香蒲等典型湿地植物在春夏季生长旺盛,能高效吸收氮、磷营养元素,并通过根系释放氧气促进好氧反应区扩展;而进入秋冬季后,植物地上部分枯死,地下部分代谢减缓,导致其净化贡献

大幅下降。植物残体的积累也会改变湿地基质结构,影响孔隙度和水流分布,长期积累还可能引发堵塞问题,进一步削弱系统运行效率。在实际管理中应结合当地气候条件,科学选择适宜的植物种类,并定期进行收割维护,以维持湿地系统的长期稳定运行。

4 基于季节差异性的湿地优化运行策略探讨

针对尾水湿地净化效能的季节性差异,优化运行策略应从系统设计、植被管理与水力调控等多个方面入手,提升其不同气候条件下的适应性与稳定性。在工程结构层面,可结合区域气候特点优化湿地类型配置,例如在冬季寒冷地区优先采用潜流式人工湿地,以增强保温效果并延长污染物与基质、植物根系的接触时间;适当增加多级串联布局或设置调蓄池,有助于缓解进水水质水量波动带来的冲击负荷,提高系统的抗干扰能力。选用具有较强耐寒性和高净化效率的植物种类,如香蒲、芦苇等,可在一定程度上维持低温季节的基本处理功能。

植被管理是调节湿地季节性运行性能的重要手段之一。根据不同植物的生长周期和污染物吸收特性,合理安排种植与收割计划,有助于延长植物功能期并避免残体堆积引发的堵塞问题。在春夏季适时补植生长速度快、氮磷富集能力强的物种,可有效提升系统对营养盐的去除率;而在秋冬季则应及时收割枯死植株,减少内源污染释放风险,并通过间歇性轮作或引入耐寒型替代植物维持生态功能。结合微生物菌剂投加技术,可增强低温条件下脱氮除磷微生物的活性,弥补植物功能衰退带来的影响,从而实现全年稳定运行的目标。

在运行管理方面,应建立基于季节变化的动态调控机制,利用在线监测系统实时掌握水质、水温、溶解氧等关键参数,灵活调整水力停留时间和进水负荷^[8]。在雨季或极端天气条件下,可通过预设溢流口或智能闸门控制水流速度,防止短流现象发生;而在冬季低温期间,适当降低水力负荷并延长停留时间,有助于弥补生物代谢速率下降所带来的处理效率损失。构建长期数据积累与模型预测体系,能够为湿地运行提供科学决策支持,进一步提升其应对季节性变化的能力,从而保障尾水湿地在各类环境条件下的高效稳定运行。

5 结语

市政污水处理厂尾水湿地的净化效能受季节变化影响显著,温度、水文条件及植被生长周期等因素直接制约其处理能力。不同季节下氮、磷等污染物的去除率存在明显差异,系统运行稳定性面临挑战。通过优化湿地结构设计、科学配置植物种类、合理调控水力参数,可有效缓解季节性波动带来的影响。构建基于季节差异的动态管理机制,不仅有助于提升湿地全年运行效率,也为城市水环境治理提供了可持续的技术路径。未来应进一步加强长期监测与智能化调控,推动尾水湿地在生态修复中的广泛应用。

参考文献

- [1] 孙俊.市政污水处理厂建设工程施工的质量控制策略研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(05):84-86.
- [2] 王阳,杨福文.BIM技术下的市政污水处理厂水池结构设计探究[J].建材发展导向,2025,23(08):46-48.
- [3] 马汐帆,黄继会,丁春,等.市政污水处理厂智能控制系统设计及应用效果[J].中国给水排水,2025,41(08):91-96.
- [4] 黄继会,马汐帆,丁春,等.智能优化控制系统在市政污水处理厂溶解氧控制中的应用[J].给水排水,2025,61(04):50-54.
- [5] 张立,包晓军,戴薇逸,等.某市政污水处理厂全流程精细化运行优化研究[J].当代化工研究,2024,(24):109-111.
- [6] 蔡若奇.MBF生物巢厌氧生物滤池处理市政污水厂尾水的深度脱氮研究[D].江苏大学,2022.
- [7] 李绪忠,尾水碳源强化脱氮一负压抽吸膜过滤处理市政污水成套技术研究及应用.湖南省,长沙有色冶金设计研究院有限公司,2021-09-15.
- [8] 毕华奇.非均相臭氧催化深度处理市政污水二级生化尾水研究[D].北京化工大学,2020.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

