

Optimization of efficiency and case study of constructed wetland in water environment management

Zuosen Chen

China Communications (Changsha) Construction Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract

Constructed wetlands, as a long-term strategy for water environmental management, have exhibited remarkable effectiveness in the field of water pollution control and ecological. By leveraging the comprehensive purification mechanisms of plants, microbial communities, and sediment layers, they efficiently remove pollutants from water bodies, thereby optimizing water quality. In recent years with the in-depth promotion of environmental protection concepts, the application scope of constructed wetland technology in water environmental governance has been expanding day by day. This paper aims to explore the technical pathways to enhance its performance by analyzing the operation principles and water purification mechanisms of constructed wetlands and deeply analyzing domestic typical cases, revealing the advantages and challenges of the practical application constructed wetlands in various places. Meanwhile, the article also forecasts the future development trend of constructed wetland technology and proposes multiple measures to enhance its performance, including intelligent operation and maintenance ecosystem multifunctionality, and policy guidance. As a green ecological technology, constructed wetlands have achieved remarkable results in water purification, providing strong momentum for the sustainable development of ecological environment.

Keywords

constructed wetland; water environment management; water purification; ecological restoration; efficiency optimization

人工湿地在水环境治理中的效能优化与案例研究

陈祚森

中交(长沙)建设有限公司, 中国·湖南长沙 410000

摘要

人工湿地作为一种长效性的水环境整治策略,在水体污染控制与生态修复领域展现出显著成效。它依托植物、微生物群落及沉积物层的综合净化机制,高效去除水体污染物,进而优化水质。近年来,随着环保理念的深入推广,人工湿地技术在水环境治理中的应用范畴日益拓展。本文旨在通过分析人工湿地的运作原理与水质净化机制,探讨提升其效能的技术路径,并结合国内典型案例进行深入剖析,揭示人工湿地在各地实践应用中的优势与挑战。同时,文章还对人工湿地技术的未来发展趋势进行了展望,并提出了包括智能化运维、生态系统多功能性及政策引导等在内的多项效能增强措施。作为一项绿色生态技术,人工湿地在水质净化方面成效斐然,为生态环境的可持续发展提供了强大动力。

关键词

人工湿地; 水环境治理; 水质净化; 生态修复; 效能优化

1 引言

水污染已成为全球亟待攻克的重大环境挑战。随着工业化进程的加速推进与城市化水平的不断提升,水体污染问题日益严峻,对人类健康及自然环境构成了沉重压力。作为一种创新的生态净水技术,人工湿地凭借其成本低廉、维护简便及生态友好的独特优势,在国内外众多水环境治理项目中展现出卓越成效。该技术通过模拟自然湿地的净化机制,依托植物根系、微生物群落及沉积物等多重净化体系,有效去除水体中的有害成分,有力促进了水体生态功能的恢复。

然而,人工湿地在实践应用中仍面临污染负荷过高、设计缺陷及管理维护复杂等多重难题。本文将从人工湿地的运作机理出发,深刻剖析其在水环境治理中的实际应用效果,探索技术革新与管理优化的路径,旨在进一步提升人工湿地的治理效能。

2 人工湿地概述与发展背景

人工湿地作为一种精妙设计的生态工程,模拟自然湿地的卓越功能,融合湿地植被、肥沃土壤与微生物群落等多重生态要素,肩负起水体净化的重要使命。其通过吸附、降解等高效机制,逐一清除水体杂质,促进水体生态系统的恢复与再生。在人工湿地的分类中,水平流湿地、垂直流湿地及组合湿地构成三大支柱。水平流湿地使水流平缓穿越湿

【作者简介】陈祚森(1997-),男,中国安徽安庆人,本科,助理工程师,从事水环境综合治理研究。

地基底，依托植物根系与土壤微生物的协同作用达成净化效果；垂直流湿地则令水流垂直渗透填充介质与植物根系深植的土层，实现净化目的；组合湿地则兼具二者优势，水流既可垂直渗透，亦可水平流动，灵活适应多样化的环境治理需求。这些湿地系统在各异的自然条件下各展所长，广泛应用于各类水体净化项目中。然而，部分地区水质污染日益严重，湿地系统承载能力逼近极限，导致净化效能下降。同时，湿地长期运维的成本控制、植被的优化选择以及生态平衡的维持等挑战，亦亟需解决。

3 人工湿地水质净化机制

在人工湿地水质净化的复杂机理中，植物根系发挥着至关重要的作用。湿地植被的根系犹如自然界的净化精灵，具备卓越的吸附能力，能够高效捕获水体中的悬浮物、重金属离子及多种有机污染物。根系所构建的独特根际微环境，成为了微生物栖息与繁衍的理想场所，它们与根系紧密互动，共同促进污染物质的生物降解过程。植物根系释放的有机物滋养着根际微生物群落，进一步增强了其对有害物质的分解效能。尤为突出的是，部分植物凭借自身独特的代谢机制，能将水体中的有机物转化为无害物质，从而大幅提升水质净化效率。凭借根系对污染物的吸附与降解双重功能，湿地植物在净化水质、恢复水体生态平衡方面展现出无可比拟的重要作用。与此同时，微生物群落积极参与有机物的降解过程，并与植物根系及其分泌物协同作用，共同优化了水质净化的综合效果。

4 人工湿地效能优化的技术路径

4.1 植物种类选择与配置策略

在构建并运行人工湿地系统过程中，植物种类的甄选与配置对水质净化效能具有决定性影响。各类植物各具特色，有的凭借发达的根系有效吸附重金属与有机杂质，有的则通过生物降解机制分解氮、磷等营养盐。因此，依据当地气候特点、土壤类型及水质具体情况科学选择植物种类至关重要。针对湿地植物的配置策略，需根据污染物特性灵活部署，以期实现净化效益的最优化。例如，在处理氮浓度较高的水域时，芦苇、香蒲等擅长吸收转化氮元素的植物应为优选；而对于有机污染物含量较高的水体，则可考虑栽培苦草等能够释放有机物、促进微生物增殖的植物。

4.2 污染负荷与湿地处理能力的匹配

湿地净化效能的核心在于污染承载量与湿地净化能力的协调适配。在湿地系统规划阶段，即已确立最优净化负荷阈值，此阈值明确界定了高效去除污染物所能承受的水流量上限及污染物浓度极限。若污染承载超越湿地净化阈值，净化效果将显著削弱，极端情境下或将导致湿地生态系统崩溃。因此，人工湿地构建时，需依据水体污染程度灵活调整净化规模。过高的污染承载将制约植物根系与微生物的净化作用，引发污染物累积或反弹。反之，精准调控污染承载与

湿地净化能力的匹配度，可确保污染物深度降解并有效排除，维持湿地系统长期高效运行。实际操作中，可通过实施定期水质监测、调整湿地规模或优化设计方案等措施，使湿地系统在合理的承载范围内运作，以达到水质净化的最佳状态，图 1 直观呈现了可调式湿地处理流程。

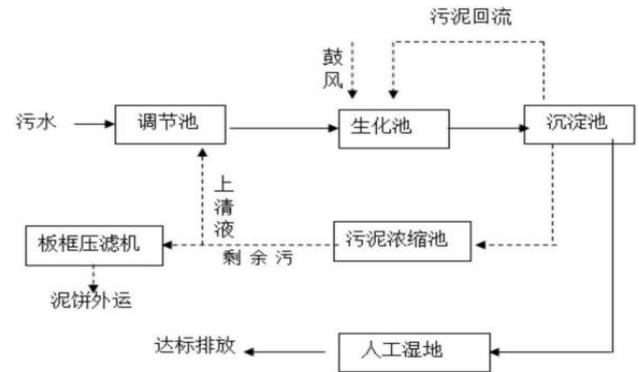


图 1 可调式湿地处理流程图

5 人工湿地在实际应用中的典型案例分析

5.1 水生植物根系与沉积物协同净化工艺

在水质净化的诸多方法中，人工湿地凭借水生植物根系与沉积物的协同净化效应而备受瞩目。植物的根系宛若自然界的净化使者，凭借卓越的吸附与降解能力，有效清除水体中的氮、磷、重金属等杂质。沉积物则担当起物理阻隔与污染物蓄积的双重角色。诸如芦苇、香蒲等水生植物，其根系与微生物协同作用，极大地促进了有机物的分解及氮磷元素的去除。根系释放的有机物为微生物群落提供了丰富的养分，进一步激发了其净化潜能。而沉积物则以其广阔的表面积，为微生物构建了理想的栖息环境，水流与微生物的频繁交互，显著提升了污染物的去除效率。研究表明，芦苇湿地系统对氮的净化效率可达 60% 至 80%，对总磷的净化率亦稳定在 50% 以上。沉积物的强大吸附力还极大增强了重金属离子，特别是铅、铜、锌等的清除效果。此外，沉积物的深度与构成亦对净化效果具有重要影响，深厚的沉积层有利于污染物的长期吸附与降解。在人工湿地中，植物根系与沉积物的精妙配合，使水体在自然力的驱动下，能够高效清除多种污染物，从而取得水质净化的卓越成效。图示 2 呈现了水生植物根系与沉积物协同净化技术的解析概览图。

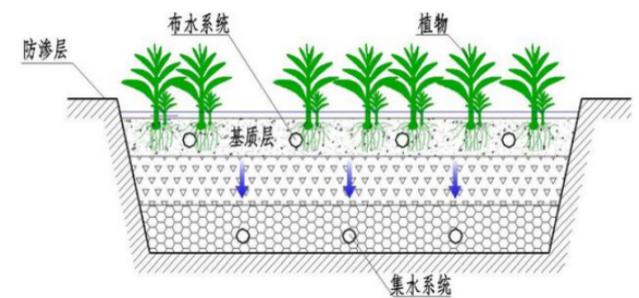


图 2 水生植物根系与沉积物协同净化工艺分析图

5.2 水流控制与湿地过滤层设计工艺

在人工湿地工艺体系中，水流调控机制与湿地滤层布局构成了其核心技术要素，对水质净化效果具有深远影响。湿地系统内水流的精细布局与有效管控，决定了水体与植被、沉积层及微生物相互作用的时间跨度与效能。针对湿地的具体特性，需精确调控水流速率与流向，确保污染物能充分接触并作用于净化介质，从而实现高效的吸附与分解过程。水平流向的湿地设计，使水流在湿地表层缓缓流淌，日流速维持在 0.1 至 0.5 米之间，此举延长了水体与植物根系、沉积物的接触时间，进而提升了污染物的去除效率。而垂直流向的湿地系统，则采用水流垂直下渗的设计，历经多层具有独特理化与生物特性的滤料层。滤层结构常融合多种介质，如砂粒、碎石、活性炭等，这些介质层次能够高效截留悬浮颗粒、去除重金属及有机污染物。据统计数据显示，垂直流湿地对氮的净化率通常可达 60% 至 70%，对有机污染物的净化效能更是超越 80%。通过科学规划水流路径与滤层结构，人工湿地能够深度净化水质，显著提升其净化效能。

5.3 污染负荷与湿地处理能力的匹配工艺

人工湿地高效运行的核心要素，在于精确调配其污染承载能力与净化潜能之间的平衡。各类湿地系统均具备特定的最优净化阈值范围，该范围界定了水体污染物浓度的容忍上限及水量承载峰值。一旦污染承载量超出系统的净化阈值，湿地的净化效能将显著减弱，甚至可能导致净化功能衰退。因此，在人工湿地规划阶段，必须依据污染承载的实际情况，审慎考量湿地的规模布局与设计参数。例如，在城市污水处理体系中，湿地的预设处理水量需紧密贴合污水排放量及其污染物浓度水平。研究表明，常规水平潜流湿地系统通常能够承受 5 至 10 克/平方米·日的污染负荷，而垂直潜流湿地则能耐受高达 10 至 15 克/平方米·日的负荷量。合理的负荷匹配，不仅确保了湿地系统的高效稳定运行，还有效避免了因过载而导致的污染物累积与系统失效。在实践中，湿地的负荷能力不仅受水量与污染物浓度的影响，还受

到季节变化、气温波动以及湿地植被生长状况等多重因素的制约。故而，灵活调整湿地的负荷承载量与净化性能，定期开展水质监测并优化湿地系统的运行机制，是提升人工湿地净化效能、延长其使用寿命的关键策略。依托科学的配置技术，人工湿地能在长期运行过程中，稳定且高效地净化水体中的污染物。

6 结语

人工沼泽作为一种环境友好型水质净化策略，在众多领域已展现出显著的应用成效。经过精心规划与改良，这类人工生态系统能够显著提升水质，强化水体的自然净化能力，并为生态修复奠定牢固的基础。技术的快速进步与实践经验的不断积累，正持续挖掘人工沼泽在水体治理中的潜在价值。展望未来，将智能化技术与多功能设计融入人工沼泽，有望使其在都市水资源管理、生态恢复及水体保护等方面发挥更大作用。为实现可持续发展目标，深化对人工沼泽的科学研究与技术革新、完善其运维管理体系、争取政策与资金支持至关重要。这一系列举措将使人工沼泽在环境治理领域发挥核心作用，为优化生态环境品质、推动绿色低碳发展贡献力量。

参考文献

- [1] 王爱一,马艳霞,李洪斌.人工湿地生态治理赋能水产养殖尾水处理的应用[J].黑龙江环境通报,2025,38(04):48-50.
- [2] 陶伟,徐亚,何乐萍,张军,魏婧,王鹏.人工湿地综合效益评估体系研究及应用[J].环境污染与防治,2025,47(04):109-113.
- [3] 林萍,李胜华,郭星星,马金龙.人工湿地在低污染水治理中的应用[J].黑龙江水利科技,2025,53(03):121-123.
- [4] 侯金枝.人工湿地技术在农村生活污水治理中的应用探讨[J].乡村科技,2025,16(06):140-143.
- [5] 傅成锴,胡振,徐培培,刘华清,王硕,赵倩,赵艳辉,张建.人工湿地堵塞形成机制、作用效能及其防治技术研究进展[J].环境工程,2025,43(03):178-190.