

# Application of Constructed Wetland in Rural Domestic Wastewater Treatment and Water Ecological Restoration

Yuan Meng

Laohekou City Ecological Environment Monitoring Station, Xiangyang, Hubei, 441800, China

## Abstract

As rural environmental improvement initiatives advance, domestic wastewater treatment has become a critical component. Artificial wetlands, a low-energy, easy-to-maintain, and ecologically functional treatment technology, demonstrate promising applications in rural areas. This paper examines the dual role of artificial wetlands in rural wastewater treatment and aquatic ecosystem restoration, systematically analyzing their operational mechanisms, practical engineering outcomes, and optimization strategies. Through case studies, it evaluates the pollutant removal efficiency of different artificial wetland types and their impact on surrounding aquatic ecosystems. The paper also provides location-specific technical recommendations and long-term management strategies, offering practical references for comprehensive rural water environment governance.

## Keywords

domestic sewage; ecological restoration; effect

# 人工湿地在农村生活污水处理与水生态修复中的应用研究

孟源

老河口市生态环境监测站, 中国·湖北 襄阳 441800

## 摘要

随着农村人居环境整治深入推进, 生活污水治理成为关键环节。人工湿地作为一种低能耗、易维护、兼具生态功能的处理技术, 在农村地区展现出良好应用前景。本文围绕人工湿地在农村生活污水处理与水生态修复中的双重作用, 系统分析其运行机制、工程实践成效及优化路径。通过典型案例剖析, 探讨不同类型人工湿地对污染物的去除效果及其对周边水生生态系统的改善作用, 并提出因地制宜的技术选型与长效管理建议, 为推动农村水环境综合治理提供实用参考。

## 关键词

生活污水; 生态修复; 效应

## 1 引言

农村生活污水成分复杂、排放分散, 传统集中式处理模式难以适用。人工湿地凭借自然净化能力与生态协同效应, 成为适宜农村特点的绿色基础设施。近年来, 其在削减污染负荷、恢复水体自净功能方面成效显著。

## 2 人工湿地在农村生活污水处理中的工艺适配与工程实践

### 2.1 农村污水特征与处理需求

农村生活污水主要来源于日常洗涤、厨房和厕所, 氮磷含量相对较高, 有机物浓度较低, 具有良好的可生化性。由于人口季节性流动及农忙节庆等因素的影响, 日排水量波动较大, 部分村庄的污水收集率甚至不足一半, 管网覆盖不

足进一步加剧了进水不连续的问题。这种分散、间歇、低浓度的排放特征使得传统集中式污水处理厂难以适用<sup>[1]</sup>。相比之下, 人工湿地凭借其结构简单、无需外加能源、抗冲击负荷能力强等优势, 成为适应农村实际情况的理想方案。人工湿地可以根据地形灵活布局, 对施工条件要求不高, 即便是在缺乏专业运维队伍的地区也能保持基本功能。尤其适合基础设施薄弱、财政能力有限的中西部村庄, 通过因地制宜的设计, 可以有效解决污水排放问题, 改善农村生活环境。

### 2.2 主流人工湿地类型及其适用条件

表面流、水平潜流和垂直潜流是目前农村应用最为广泛的三种人工湿地形式, 每种类型都有其特定的应用场景。表面流湿地构造简单, 可以直接利用废弃池塘或沟渠进行改造, 投资成本较低但占地面积较大, 适合南方温暖地区以及土地资源相对宽松的村落使用。水平潜流湿地则让水流在填料层内水平流动, 保温性能良好, 在冬季仍能保持较好的处理效果, 特别适用于华北、东北等寒冷地区。然而, 为了防止短流现象, 水平潜流湿地需要较高的施工精度。垂直潜流

【作者简介】孟源(1973-), 男, 中国湖北襄阳人, 本科, 工程师, 从事环境工程水污染治理研究。

湿地通过周期性的布水来增强复氧过程，脱氮除磷效率较高，适合对出水水质有严格要求的区域，但由于依赖布水控制系统，对运维提出了更高的要求。因此，在选择湿地类型时，不能单纯依据处理效率，还需要综合考虑当地的气温条件、可用土地面积、村民接受度以及后期管理能力，避免因技术“超配”而导致系统闲置或失效。

### 2.3 典型工程案例与配置模式

实际案例显示，单独依靠人工湿地难以实现长期稳定的运行效果，必须配套前置预处理单元才能充分发挥作用。例如，在浙江丘陵地带，许多村庄采用三格式化粪池作为预处理设施，有效去除悬浮物和部分有机物，然后再接入水平潜流湿地，显著延长了基质的使用寿命。河北平原地区的村庄则在垂直潜流湿地前设置了调节池，用于均衡水量和水质，并利用太阳能驱动间歇补水，提高了冬季的脱氮效果。而在西南山区，人工湿地被巧妙地嵌入自然冲沟或梯田系统中，形成了“生态沟+湿地”的串联模式，不仅处理了生活污水，还拦截了农田径流，实现了多种功能的协同作用<sup>[2]</sup>。可见人工湿地并非孤立存在的设施，而是需要与村庄现有的排水格局、地形地貌及资源条件深度融合，通过模块化、阶梯式的布局优化水利路径，才能在低成本的前提下实现长效运行。

## 3 人工湿地对主要污染物的去除效果

### 3.1 COD 氨氮和总磷的去除效果差异

在稳定运行阶段，人工湿地对不同污染物的削减能力表现出显著分化。COD 作为易降解有机物指标，普遍去除率较高，水平潜流系统因水流路径长、接触充分，平均去除率可达 70% 至 85%，出水浓度多低于 50 mg/L。氨氮的去除更依赖硝化作用，垂直潜流湿地通过周期性落干复氧，促进好氧微生物活动，去除率常超过 80%，尤其在夏季表现突出；而表面流湿地因复氧能力弱，氨氮去除效率偏低。总磷的去除率高度受制于填料特性，普通砾石基质吸附能力有限，出水磷浓度波动大；引入铁渣、沸石或钢渣等改性材料后，化学沉淀与吸附作用增强，磷去除率可提升至 60% 以上。植物吸收贡献相对较小，仅在生长旺季起辅助作用。整体来看，单一湿地难以同步高效去除三类污染物，需通过填料优化与工艺组合弥补短板。

### 3.2 低温和高流量的主要影响

冬季气温下降直接抑制微生物代谢活性，尤其在北方地区，12 月至次年 2 月期间氨氮和 COD 去除率普遍下降 15% 至 30%，部分未保温系统甚至出现出水恶化。雨季集中降雨导致进水量骤增，超出设计水力负荷，易引发短流、表面漫流或溢流，污染物停留时间缩短，处理效率骤降。为应对这些挑战，部分地区在垂直潜流湿地表层覆盖秸秆或泡沫板以减少热量散失，或在进水端增设调蓄池均衡流量。长期运行中，基质表层因悬浮物积累和生物膜增厚逐渐堵塞，

水流分布不均，局部区域功能退化；同时，若芦苇、香蒲等植物多年未收割，枯枝落叶腐烂反而释放氮磷，形成二次污染。这些问题表明，人工湿地虽具有自然属性，仍需定期维护干预才能维持稳定性能。

### 3.3 尾水回用落地不足

当前农村人工湿地工程出水水质多数可达到《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》一级 B 限值，COD 低于 60 mg/L、氨氮低于 8 mg/L、总磷低于 1.5 mg/L，在南方湿润地区甚至部分接近一级 A 标准。达标尾水具备回用基础，可用于旱地作物灌溉、村庄绿化、景观水体补水或生态沟渠循环，既节约淡水资源，又减少直排对下游水体的压力。然而实际应用中，回用渠道普遍缺失：缺乏输水管道、储水设施或用水调度安排，导致处理后的水直接排入河道，资源化潜力未能兑现。个别试点村将湿地出水引入果园或菜园，但未建立水质监测与安全使用规范，存在潜在风险。推动尾水就地消纳，需在工程设计初期同步规划回用路径，并配套简易储配系统，使处理与利用形成闭环，真正实现减污与节水协同。

## 4 人工湿地对周边水生态系统修复的协同效应

### 4.1 尾水排入改善接纳水体环境

人工湿地处理后的出水氮磷浓度显著降低，排入村内沟渠、池塘或小型河道后，有效削减了接纳水体的营养盐输入。在浙江、江苏等地的实际监测中发现，接入湿地尾水的沟渠总氮和总磷负荷较直排生活污水减少超过 50%，水体透明度大幅提升，藻类异常增殖现象得到显著抑制。湿地出水溶解氧含量通常维持在 5 mg/L 以上，浊度低于 20 NTU，这种清洁且富含氧气的水质有助于改善底泥表层的氧化还原电位，从而抑制厌氧条件下氨氮和硫化物的释放，降低内源污染的风险。长期运行的项目显示，原本黑臭的池塘逐渐恢复清水状态，沉水植物开始自然萌发，标志着水体从污染状态向自我净化能力的恢复。通过引入湿地尾水，能够逐步改善整个水系的生态健康状况，促进更多生物种类回归。这一过程不仅提升了局部水质，还为更大范围内的生态系统提供了健康的水源基础，体现了人工湿地超越单一污水处理功能的重要价值。

### 4.2 水生生物群落逐步恢复

人工湿地本身形成了一个结构完整的微型生态系统，挺水植物如芦苇、菖蒲等为昆虫、两栖类提供了理想的栖息与繁殖场所，吸引了蜻蜓幼虫、泽蛙、白鹭等多种生物在此活动。当经过处理的尾水持续补给周边自然水体时，水质稳定性和生境适宜性同步提升，浮游植物群落从蓝藻主导转变为绿藻、硅藻为主，底栖动物如摇蚊幼虫、螺类的数量也有所增加，为鱼类和水鸟提供了丰富的食物来源。在江西、福建等地的一些示范村庄，原本因污染而退化的沟渠，在接入人工湿地系统两年后，重新出现了鳊鱼、麦穗鱼等本地小体

型鱼类,生物多样性指数上升了30%以上。这种自下而上的生态链重建,不仅增强了水体对外界扰动的缓冲能力,还表明了系统正从单纯的“工程治污”向全面的“生态修复”转变。通过这种方式,人工湿地不仅解决了污水处理问题,还促进了生态环境的整体恢复,实现了生态保护与治理的双赢局面。

#### 4.3 融入村庄空间形成生态网络

近年来,许多地区将人工湿地建设与村庄人居环境整治相结合,不再将其作为孤立的污水处理单元,而是融入到村庄的整体规划中,例如村口景观塘、房前屋后闲置地、果园排水沟以及滨水步道沿线等位置<sup>[1]</sup>。四川某些村落利用梯田高差串联多级湿地,既达到了处理污水的目的,又创造了美观的跌水景观;安徽皖南的部分村庄则将湿地与古水系修复结合起来,恢复了传统的“塌塘塘”体系。这些做法使得人工湿地成为连接分散水塘、林地与农田的关键节点,形成了连续的生态廊道。村民在日常生活中能直观感受到水流清澈、草木繁茂的变化,环保意识也随之增强,并主动参与到湿地的管理和保护中来。通过这种方式,生态功能、生产需求与生活美学在这里交汇融合,推动农村水环境治理从简单的“达标排放”迈向更高层次的“生态宜居”,真正体现了绿色基础设施的综合价值。人工湿地不仅提升了村庄的生态环境质量,还促进了乡村旅游业的发展。

### 5 人工湿地长效运行的保障机制与优化路径

#### 5.1 运维缺失导致系统效能快速衰减

人工湿地在农村推广过程中,普遍存在“重建设、轻管护”的倾向,根源在于缺乏可持续的运维制度安排。项目资金多集中于土建和设备安装,后期维护未纳入财政预算,也未明确村级组织、农户或第三方的责任边界。验收即视为完成,后续无人问津成为常态。这种制度真空直接导致设施“带病运行”:即使设计合理、初期效果良好,也会因长期无人巡查、无经费清淤、无计划收割植物而迅速退化。当前农村基层治理资源有限,环境基础设施往往排在道路、照明、供水等民生工程之后,人工湿地难以获得持续关注。部分地区虽尝试委托第三方运维,但因单村规模小、服务半径分散,成本高而难以为继。久而久之,村民对这类“看不见效果”的设施失去信心,甚至出现填埋、占用等破坏行为。这种因管理断档引发的系统失效,并非技术本身缺陷,而是治理机制滞后于工程建设的典型表现。若不能从制度上解决“谁来

管、钱哪来、怎么评”的问题,再成熟的技术也难以在乡村落地生根。

#### 5.2 推行适配农村实际的简易运维模式

解决运维难题的核心在于操作简便、成本可控以及责任明确。多地已尝试将人工湿地的管理工作纳入村级公益岗位职责,由一名村民兼职负责日常巡查、布水调节和植物修剪,每月补贴200至300元,既保障了基本维护需求,又增加了本地就业机会。为便于操作,配套编制了图文并茂的操作指南,用通俗易懂的语言说明了何时清淤、如何判断堵塞、植物收割季节等关键节点,避免依赖专业技术人员。在材料选择上,优先使用本地易得的碎石、河砂、秸秆或炉渣作为填料或覆盖层,减少对外部供应链的依赖。

#### 5.3 适度智能化与制度化支撑可持续发展

除了基础运维外,引入轻量级技术手段可以显著提升管理效率。例如,太阳能驱动的间歇布水阀已在河北、山东等地试点应用,无需电网接入即可实现垂直潜流湿地的自动落干复氧,极大提高了系统的自动化水平和稳定性。部分项目还加装了低成本水质传感器,通过手机短信预警异常进水或出水超标情况,便于及时干预。推动制度建设是确保人工湿地长期发挥作用的根本保障。在县域层面制定人工湿地运维导则,明确设计寿命、维护频次、绩效评估指标等内容;鼓励以行政村或自然村为单元,实行多户联建、片区统筹,降低单户成本,提高设施利用率。

### 6 结语

人工湿地在农村生活污水处理中展现出良好的适应性与生态协同价值。合理选型与配置可有效去除COD、氮磷等污染物,出水基本满足回用或排放要求;同时,其对周边水体的水质改善和生物多样性恢复具有积极意义。然而,长效运行仍受制于运维缺位、回用渠道不畅及管理机制不健全等问题。未来应立足农村实际,强化“建管并重”,将简易运维、本地材料利用与适度智能化相结合,推动人工湿地从单一治污设施向生态基础设施转型。

#### 参考文献

- [1] 谢佳伟.农村生活污水处理模式选择与优化策略研究[J].轻工科技,2025,41(05):136-140+148.
- [2] 吴星杰,李丽,于跃,等.蔬菜型人工湿地对农村生活污水尾水处理性能研究[J].四川农业科技,2025,(05):136-143.
- [3] 何明燕,张世欣,唐晓曼.农村生活污水处理技术及其智慧化途径研究进展[J].水处理技术,2024,50(12):1-7.