

生态清洁小流域建设中人工湿地对面源污染的拦截效果及优化配置研究

唐兴莉 云南万川科技有限公司 650051

摘要：随着区域生态环境压力的不断加大，农业面源污染已成为影响流域水质安全与生态系统稳定的重要因素。在生态清洁小流域建设过程中，人工湿地作为一种高效、低能耗的生态工程措施，被广泛应用于面源污染控制与水质净化。本文围绕人工湿地在生态清洁小流域中的应用，系统分析其对氮、磷及悬浮物等主要污染物的拦截机制与净化效果，探讨不同类型人工湿地结构配置对污染削减效率的影响，并结合工程实践提出优化配置策略。研究表明，人工湿地通过植物吸收、微生物降解及基质吸附等多重作用机制，在削减农业径流污染负荷方面具有显著效果，但其处理效率受水力负荷、植物配置、基质类型及运行管理方式等因素制约。通过科学优化湿地结构布局、增强系统复合功能及提升运行管理水平，可进一步提高面源污染拦截效率，为生态清洁小流域建设提供理论支持与实践参考。

关键词：生态清洁小流域；人工湿地；面源污染；污染拦截；优化配置

引言

在全球水环境污染问题日益突出的背景下，农业面源污染已成为流域水体富营养化和生态退化的重要诱因。与点源污染相比，面源污染具有分散性强、隐蔽性高和治理难度大的特点，尤其在降雨径流作用下，大量氮、磷营养盐及悬浮颗粒物进入水体，对河流、湖泊及水库生态系统构成严重威胁。生态清洁小流域建设作为我国生态文明建设的重要组成部分，强调通过综合生态工程措施实现流域污染源头控制与系统治理，其中人工湿地因其良好的污染净化能力、较低的运行成本及较强的生态兼容性，成为关键技术手段之一。人工湿地通过模拟自然湿地生态系统结构，利用植物、微生物及基质的协同作用，实现对污染物的多途径去除，在农业径流、农村生活污水及初期雨水处理方面具有广泛应用前景。然而，在实际工程应用中，不同区域人工湿地的净化效果存在明显差异，其配置方式、结构设计及运行管理水平直接影响污染拦截效率。因此，系统研究人工湿地对面源污染的拦截效果及其优化配置路径，对于提升生态清洁小流域整体治理水平具有重要意义。

一、人工湿地对面源污染的作用机制分析

人工湿地对面源污染的去除作用是多种物理、化学及生物过程协同作用的结果。在物理层面，湿地基质和植被系统能够有效截留径流中的悬浮颗粒物，通过沉降、过滤和拦截作用降低水体浑浊度，从而减少颗粒态污染物的迁移。在化学层面，湿地基质（如砾石、砂土及改性材料）通过吸附、离子交换和沉淀反应对氮、磷等营养盐进行固定，尤其是铁铝氧化物含量较高的基质对磷的吸附能力较强。在生物层面，湿地植物通过根系吸收直接去除部分营养盐，同时植物根际微生物群落在好氧与厌氧交替环境中参与硝化与反硝化作用，实现氮素的转化与去除。此外，湿地内部复杂的水力条件为微生物提供了多样化生境，有利于污染物的降解与转化。综合来看，人工湿地通过多机制耦合实现对面源污染的系统性削减，其净化效率与生态系统稳定性密切相关。

二、人工湿地对主要污染物的拦截效果评估

在生态清洁小流域中，农业径流携带的主要污染物包括总氮、总磷、化学需氧量及悬浮物等，其对水体富营养化和生态功能退化具有直接影响。研究表明，人工湿地对悬浮物的去除率通常较高，可通过沉降与过滤作用实现 60%至 90%的削减效果。对总氮的去除主要依赖硝化反硝化过程，其去除率受溶解氧及碳源供应影响较大，一般在 40%至 80%之间波动。总磷的去除则主要依赖基质吸附与植物吸收，去除效率通常为 30%至 70%，但随着运行时间延长，基质吸附能力可能逐渐饱和，从而导致效率下降。此外，人工湿地对有机污染物也具有一定降解能力，通过微生物代谢作用降低水体有机负荷。然而，不同类型湿地（如表流湿地、潜流湿地及垂直流湿地）在水力条件和污染物去除路径上存在差异，使其在实际应用中呈现不同的净化特征。因此，在生态清洁小流域建设中，应根据污染特征合理选择湿地类型，以实现最佳污染控制效果。

三、影响人工湿地拦截效果的关键因素分析

人工湿地对面源污染的拦截效果受多种因素共同影响，其中水力负荷是最为关键的控制因素之一。当水力负荷过高时，水体停留时间缩短，污染物未能充分反应即被排出，从而降低净化效率；而水力负荷过低则可能导致系统富营养化或厌氧化问题。植物配置对湿地性能同样具有重要影响，不同植物种类在营养盐吸收能力、根系发达程度及耐污能力方面存在差异，合理配置挺水、浮叶及沉水植物能够增强系统稳定性与净化能力。基质类型也是影响污染去除的重要因素，不同粒径和化学性质的基质对磷及重金属的吸附能力不同，采用复合基质结构可提升整体处理效率。此外，气候条件、季节变化及运行维护方式也会影响湿地长期运行效果，例如冬季低温会抑制微生物活性，从而降低氮素去除效率。因此，在实际工程设计中需综合考虑多因素影响，实现系统优化配置。

四、人工湿地优化配置策略研究

为了提高人工湿地在生态清洁小流域中的面源污染拦截效果，应从系统结构与运行管理两方面进行优化。在结构设计方面，可采用多级串联湿地系统，通过不同功能单元的梯度配置实现污染物逐级削减，例如前置沉淀区用于去除悬浮物，中段植物强化区用于营养盐吸收，末端深度处理区用于进一步净化水质，从而提高整体处理效率。在湿地类型组合方面，可构建表流与潜流湿地复合系统，充分利用两者优势，提高系统稳定性与抗冲击能力。在植物配置方面，应选择适应性强、根系发达且具有较高营养吸收能力的本土植物，如芦苇、香蒲等，并通过多样化配置增强生态系统稳定性。在基质优化方面，可采用改性材料如铁铝改性砾石或生物炭，以增强对磷及有机污染物的吸附能力。在运行管理方面，应建立动态监测机制，通过水质监测与数据分析及时调整运行参数，同时定期清理植物残体与更换饱和基质，以保持系统长期稳定运行。通过上述多维度优化措施，可显著提升人工湿地对面源污染的整体拦截能力。

五、结论

人工湿地作为生态清洁小流域建设中的重要生态工程措施，在面源污染控制方面具有显著生态效益与环境价值。其通过植物、微生物及基质的协同作用，实现对氮、磷及悬浮物等污染物的多途径去除，在改善水质与提升流域生态功能方面发挥重要作用。然而，其处理效果受水力条件、植物配置、基质类型及运行管理等多重因素影响，存在一定的不稳定性与空间差异性。未来，应进一步加强人工湿地结构优化与功能强化研究，推动智能监测技术与生态工程技术的深度融合，提升系统运行的精准调控能力。同时，应结合区域生态特征构建差异化设计模式，实现人工湿地在不同流域条件下的高效应用。随着生态修复技术的不断发展，人

工湿地将在生态清洁小流域建设中发挥更加重要的作用,为实现水环境持续改善与生态文明建设提供坚实支撑。

参考文献

[1] 省水利厅召开建立健全生态清洁小流域水土保持生态产品价值实现机制座谈会暨 2025 年转化交易颁证仪式[J].山西水利,2025,41(12):96.

[2] 吴双福.韩江上游生态安全屏障构建下梅州生态清洁小流域治理模式研究——基于密坑水小流域的实证分析 [J]. 珠江水运,2025,(24):150-153.DOI:10.14125/j.cnki.zjsy.2025.24.039.

[3] 李锦育.台湾与大陆生态清洁小流域之优缺点比较与实际案例[J].亚热带水土保持,2025,37(04):5-8.