

保护价值的区域范围与关键的生态节点位置,并且以此作为重要基础,科学合理地划定出防火管理工作的重点内容与先后实施次序,规划内容需要系统性地对林火阻隔网络的布局方案、防火基础设施的建设计划、扑救力量的部署安排以及可燃物的管理措施进行整合处理,以此来确保防火行动不仅仅能够有效地控制火险情况,同时还能够最大限度地避免或者减轻对森林生态系统、生物多样性以及土壤水源等方面可能产生的次生损害[8],通过具有前瞻性的空间规划设计与多目标协同的设计理念,让防火体系本身成为提升森林健康水平、维护生态完整性的积极推动因素,最终得以实现防火效能与生态保护效益之间的有机统一。

#### 4.2 科技支撑下的“防救结合”体系构建

“防救结合”体系的现代化构建的关键在于凭借系统性科技应用把火灾预防与扑救响应予以深度融合进而形成高效协同的闭环管理,在“防”的层面科技支撑具体表现为借助大数据、物联网以及遥感技术去实现火险等级的精准预测、可燃物动态的实时监测和人为火源的智能化管控并推动防火工作从被动监测朝着主动预警和风险管理前移,而在“救”的层面则依靠一体化指挥通信平台、数字化火场建模与辅助决策系统以实现火情信息的快速分析、扑救资源的优化调度以及扑救过程的可视化指挥,科技的核心作用在于打通“防”与“救”之间的信息壁垒和流程断点以使预警信息能够直接触发并优化应急响应预案,同时让扑救过程中反馈的实时数据可以反哺修正风险模型与预防策略,从而构成一个前后联动、动态调整且持续改进的有机整体来全面提升森林火灾的综合防控能力与应急处置效率[9]。

#### 4.3 长效机制与综合能力建设方向

构建林业资源保护与森林防火协同发展的长效机制的关键在于不再局限于短期应对之策而是将重心放在系统性且具根基性的能力培育以及制度保障之上,而该长效机制的建设首先要依靠健全完备的法律法规体系、稳定持续的财政投入机制和清晰明确的权责分工体系,以此来为核心工作提供长期稳定的政策支持与资源保障,综合能力建设则覆盖多个不同维度,既需要持续不断地加强专业人才培养工作与技术培训力度以提升一线人员的专业技能水平和应急处置能力,又要深化科技研发方面的投入并促进成果转化进程以确保技术装备能够实现迭代更新并提升实际应用效能,同时还需对基础设施的规划建设工作和长效运维管理机制进行优化,并且要积极推动跨部门、跨区域的协同联动机制

以及公众参与模式的建立,最终旨在形成一个能够实现自我完善、动态适应环境变化且可持续运行的管理与执行体系[10],从而确保资源保护与火灾防控工作在任何时期都可以保持高效、专业且可靠的状态,进而为林业的长期安全和生态安全构建起坚实的屏障。

## 5 结语

综上所述,面对日益严峻的林业资源保护形势,必须深刻认识其基础性生态价值与当前面临的多重威胁。借助构建并且完善这样一个现代化防火技术体系,此体系集预警监测、高效扑救与工程阻隔于一体,同时,把防火工作系统性地融入以生态保护为核心的可持续发展框架之中,这才是实现资源安全与有效管控火灾风险的根本路径。未来,关键之处在于,切实地推进跨部门协同,强化科技支撑,并且建立长效保障机制,如此这般,方能全面提升森林生态系统的稳定性以及综合抵御风险能力。

## 参考文献

- [1] 梁深.林业资源保护和森林防火管理措施[J].农村科学实验, 2023, 45(6): 1-5.
- [2] 卢海燕.林业资源保护与森林防火管理的价值及对策[J].农村科学实验, 2023, 45(5): 7-11.
- [3] 贺树荣.林区群众森林防火意识培养路径——以甘肃省小陇山林业保护中心高桥林场为例[J].农村科学实验, 2023, 45(5): 12-16.
- [4] 斯那取荣.林业资源保护和森林防火管理存在的问题及优化对策[J].农村科学实验, 2024, 46(4): 20-24.
- [5] 韩梅.林业资源保护和森林防火管理措施[J].新农业, 2024, 52(14): 30-34.
- [6] 刘健平, 黄浩.林业资源保护及森林防火管理方法探讨[J].农业灾害研究, 2022, 12(7): 55-59.
- [7] 蒋明忠, 何华, 唐京, 等.国有林场森林资源保护与森林防火管理优化措施——以兴安县国有库天岭林业总场为例[J].农村科学实验, 2024, 46(3): 26-31.
- [8] 孙燕.林业资源保护与森林防火要点分析[J].花木盆景, 2022, 39(8): 15-18.
- [9] 李雁杰, 侯杰, 董亚丽.刍议林业资源保护和森林防火管理措施[J].农业灾害研究, 2023, 13(1): 60-64.
- [10] 陈勇, 余刘丹, 刘朝学, 等.运用系统工程思维促进林业生态保护探讨[J].森林防火, 2023, 41(4): 38-43.

# Study on the reduction effect of typical pollutants by composite artificial wetland system

Zhiming Hu

Hebei Huirun Environmental Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

## Abstract

Composite constructed wetland systems integrate the structural advantages of different wetland types and demonstrate strong potential in improving water purification efficiency and operational stability. Focusing on the reduction performance of typical pollutants, this study systematically analyzes the overall behavior of composite constructed wetlands in the treatment of organic pollutants, nitrogen and phosphorus nutrients, and suspended solids, and examines the regulatory effects on pollutant migration and transformation from the perspectives of system configuration, hydraulic conditions, and operational characteristics. The results indicate that multi-unit synergistic interactions within composite constructed wetlands enhance the coupling of biological, physical, and chemical processes, effectively overcoming the limitations of pollutant removal capacity observed in single wetland systems. These findings provide theoretical support for the optimized design and stable operation of composite constructed wetland systems in water environment management and are of practical significance for improving the treatment of non-point source and low-concentration polluted waters.

## Keywords

Composite constructed wetland; Typical pollutants; Reduction efficiency; Water environment management; System operation

## 复合型人工湿地系统对典型污染物削减效果研究

胡志明

河北会润环境工程有限公司, 中国·河北 石家庄 050000

## 摘要

复合型人工湿地系统通过整合不同湿地类型的结构优势,在提升水体净化效率与运行稳定性方面展现出较强潜力。围绕典型污染物削减效果问题,系统分析复合型人工湿地在处理有机污染物、氮磷营养盐及悬浮物过程中的综合表现,从系统结构配置、水力条件及运行特征等方面探讨其对污染物迁移转化的调控作用。研究表明,复合型人工湿地通过多单元协同作用,能够强化生物、物理与化学过程的耦合效应,有效改善单一湿地系统削减能力受限的问题。相关分析为复合型人工湿地系统在水环境治理中的优化设计与稳定运行提供了理论支撑,对提升面源及低浓度污染水体治理效果具有现实意义。

## 关键词

复合型人工湿地; 典型污染物; 削减效果; 水环境治理; 系统运行

## 1 引言

在水环境污染问题日益复杂的背景下,传统水处理设施在应对分散性、低浓度及水质波动显著的污染水体方面逐渐显现局限。人工湿地作为一种以生态过程为基础的水体净化技术,因运行成本低、生态兼容性强而被广泛应用于水环境治理实践。随着治理需求的提升,单一类型人工湿地在污染物削减效率、系统稳定性及适应性方面的不足逐步显现。复合型人工湿地通过不同湿地单元的合理组合,在空间结构与功能分工上形成互补,为强化污染物去除过程提供了新的技术路径。围绕复合型人工湿地系统对典型污染物的削减效

果开展研究,有助于深入认识多单元协同机制及其环境响应特征,为人工湿地系统的科学配置与运行管理提供依据。

## 2 复合型人工湿地系统的结构组成与运行特征

### 2.1 复合型人工湿地系统的功能单元构成

复合型人工湿地系统通常由表流湿地、潜流湿地及深床或强化处理单元等多种功能单元组合而成,不同单元在结构形态、介质配置及生态要素构成上各具特征。系统前端单元侧重于水力调节与污染物初步拦截,通过水体扩散与流速降低,为后续处理创造稳定条件;中段单元依托填料孔隙结构与植物根系环境,强化微生物附着与生化反应过程;末端单元则承担精细化净化功能,通过延长水力停留时间与增强界面反应,提高整体出水水质。各功能单元在空间上呈连续布置关系,在作用机制上形成层级递进结构,使物理截留、

【作者简介】胡志明,男,中国河北邢台人,本科,工程师,从事污水治理及生态修复研究。

生物转化与化学吸附过程得以在系统内部协同发挥，从而构建出具备综合净化能力的复合处理体系。

## 2.2 不同湿地类型的组合方式与水力连接关系

复合型人工湿地系统的核心特征体现在不同湿地类型的合理组合与水力连接方式的科学设计上。表流湿地与潜流湿地的串联或并联布置，使水体在不同流态条件下完成多阶段净化过程，既避免短流现象，又提升污染物与介质、微生物的接触效率。水力连接关系通常通过跌水、溢流或暗管方式实现，在保证系统连续运行的同时，有效调控水位与流速分布。合理的水力梯度设置能够增强系统内部水流均匀性，减少局部死水区的形成，有利于污染物在各湿地单元间的逐级传递与转化。通过结构组合与水力路径的协同优化，复合型人工湿地系统在适应水量波动与水质变化方面表现出较强稳定性<sup>[1]</sup>。

## 3 复合型人工湿地系统中典型污染物类型与污染特征

### 3.1 有机污染物在进水中的组成特征

进入复合型人工湿地系统的有机污染物以可生化有机物与部分难降解组分并存的形态为主，其来源多与生活污水、农业径流及初期雨水有关。可生化有机物在水体中表现出较强的活性，为微生物代谢提供能量基础，而部分结构复杂的有机组分则具有降解速率慢、滞留时间长等特点。有机污染物在进水中的浓度水平通常随水源类型与季节条件发生变化，呈现一定波动性。这种组成特征决定了复合型人工湿地在处理过程中需要兼顾快速去除与持续转化两类需求，通过多单元协同作用实现对不同性质有机物的有效削减。

### 3.2 氮磷营养盐污染物的赋存形态与浓度水平

氮磷营养盐是复合型人工湿地系统重点控制的污染物类型，其在进水中以多种形态共存。氮素主要以铵态氮、硝态氮及有机氮形式存在，不同形态在迁移转化过程中具有明显差异；磷污染物则包括溶解性磷与颗粒态磷，易受水体理化条件影响。氮磷浓度水平通常与流域土地利用方式及污染源结构密切相关，在面源污染背景下呈现低浓度、持续输入的特征。这种赋存状态对人工湿地系统的脱氮除磷过程提出了稳定性与持续性的要求。

### 3.3 悬浮物及其他特征污染物的分布特性

悬浮物在进入复合型人工湿地系统时多以颗粒态形式存在，其粒径组成与浓度水平受水动力条件影响较大。较高浓度悬浮物不仅影响水体透明度，还可能作为其他污染物的载体参与迁移过程。除悬浮物外，进水中常伴随一定量的金属离子及微量污染物，其分布特性与水体来源和环境条件密切相关。这类污染物在水体中多呈低浓度分散状态，易通过吸附或沉积过程富集于湿地介质表面。复合型人工湿地系统通过多级拦截与转化机制，对悬浮物及相关特征污染物形成逐步削减效果，为后续水质改善奠定基础<sup>[2]</sup>。

## 4 复合型人工湿地系统对有机污染物的削减效果分析

### 4.1 系统对 COD 及相关有机指标的去除特征

复合型人工湿地系统在连续运行条件下对有机污染物表现出较为稳定的削减能力，进水 COD 浓度多处于 120 ~ 260 mg/L 区间，出水 COD 可降至 30 ~ 80 mg/L 范围，整体削减率维持在 60% ~ 85%。在水力停留时间控制在 24 ~ 72 h 条件下，有机污染物降解速率明显提升，单位体积湿地日均 COD 削减负荷可达到 8 ~ 15 g/(m<sup>3</sup>·d)。随着进水有机负荷上升至 300 mg/L 左右，系统内部生物降解过程仍保持较高活性，出水 COD 未出现明显反弹，波动幅度控制在 ±10 mg/L 以内。可溶性有机物在前段单元中削减比例接近 50%，剩余部分在中后段通过微生物代谢与基质吸附进一步转化，表明复合结构有助于延长有机物反应路径并提高整体处理深度。

### 4.2 不同湿地单元对有机污染物削减贡献差异

复合型人工湿地中各类湿地单元在有机污染物削减过程中承担的功能存在明显差异。表流湿地单元依托水体扩散与沉降作用，可实现 COD 初始削减率约 20% ~ 30%，主要针对颗粒态和易降解组分。潜流湿地单元通过填料孔隙环境与植物根区微生物协同作用，对 COD 的进一步削减贡献达到 35% ~ 45%，是系统中有机物去除的核心区域。强化处理单元在进水 COD 低于 100 mg/L 条件下仍可维持 15% ~ 25% 的削减比例，使出水有机指标趋于稳定。不同单元串联运行后，系统整体 COD 削减量较单一湿地提高约 1.3 ~ 1.6 倍，单位面积处理负荷由 40 g/(m<sup>2</sup>·d) 提升至 65 g/(m<sup>2</sup>·d)，反映出复合结构在有机污染物分级削减方面的明显优势<sup>[3]</sup>。

### 4.3 运行条件变化对有机污染物去除稳定性的影响

复合型人工湿地系统在不同运行条件下对有机污染物的削减稳定性存在一定差异。水力负荷由 0.15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d) 提升至 0.35 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d) 时，COD 削减率由 82% 下降至 68%，但出水 COD 仍维持在 80 mg/L 以下。水温在 10 ~ 25℃ 区间变化时，系统有机污染物削减能力波动幅度小于 12%，表明复合湿地对环境条件变化具有一定缓冲能力。当停留时间缩短至 18 h 时，出水 COD 上升幅度约 15 mg/L，延长至 60 h 后出水指标趋于稳定。填料老化阶段对有机污染物去除影响相对有限，运行 300 d 后削减率下降不超过 8%，显示系统在长期运行中具备较好的稳定性。

## 5 复合型人工湿地系统对氮磷污染物的削减效果分析

### 5.1 复合型人工湿地系统对氮素污染物的去除效果

复合型人工湿地系统对氮素污染物表现出持续而稳定的削减能力，进水总氮浓度多处于 15 ~ 35 mg/L 范围，出水可降至 5 ~ 12 mg/L，总体削减率保持在 55% ~ 75%。