

河流生态修复中人工湿地构建技术与水质净化效果

单体伟¹ 王可²

1 江苏省水利建设工程有限公司 2 常州市武进区水利综合管理服务中心嘉泽分中心

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6350

[摘要] 人工湿地作为一种河流生态修复技术,在水质净化中具有重要作用。其通过物理、化学和生物多重机制协同作用,有效去除水中的有害物质。湿地设计涉及水力条件、植物选择及基质配置等关键因素,确保水流均匀、净化效率高。新型人工湿地技术的发展趋势包括智能监控系统和创新基质的应用,进一步提升了其水质净化效果。未来,随着技术创新与环境需求的变化,人工湿地将在水资源管理和生态修复中发挥更大的作用。

[关键词] 人工湿地; 河流生态修复; 水质净化; 生态技术; 水资源管理

中图分类号: TV211.1+2 **文献标识码:** A

Construction technology of constructed wetland in river ecological restoration and water purification effect

Tiwei Shan¹ Ke Wang²

1 Jiangsu province water conservancy construction engineering co., ltd

2 Changzhou Wujin district water conservancy comprehensive management service center jiaze branch

[Abstract] As a river ecological restoration technology, constructed wetland plays an important role in water purification. It effectively removes harmful substances in water through the synergistic effect of physical, chemical and biological mechanisms. Wetland design involves key factors such as hydraulic conditions, plant selection and substrate configuration to ensure uniform water flow and high purification efficiency. The development trend of new constructed wetland technology includes the application of intelligent monitoring system and innovative substrate, which further improves its water purification effect. In the future, with technological innovation and changes in environmental demand, constructed wetlands will play a greater role in water resources management and ecological restoration.

[Key words] constructed wetland; river ecological restoration; water purification; ecological technology; water resources management

引言

随着水污染问题日益严重,河流生态修复成为环境治理的关键任务。人工湿地作为一种重要的水质净化技术,能够有效去除水中的污染物,恢复水体的自然生态功能。其工作原理基于湿地植物、微生物及底泥的协同作用,通过多重机制实现对氮、磷等有害物质的去除。湿地设计的合理性、技术的创新性及应用中的挑战,直接影响其修复效果。随着技术的不断发展,人工湿地的应用领域逐步扩展,成为水质净化与生态修复的重要手段。

1 人工湿地构建技术的基本原理与类型

1.1 人工湿地的定义与工作原理

人工湿地是一种人工构建的湿地生态系统,通过模仿自然湿地的水流和生物过滤机制,利用植物、微生物和底泥的协同作

用,实现水体的净化。其工作原理依赖于湿地植物根系的生长环境,这些植物能够吸收水中的营养物质并提供适宜的栖息地给微生物,促进有机污染物的降解与转化。湿地的底泥层提供了物理过滤的功能,帮助去除水中的沉积物和污染物。

1.2 人工湿地的主要类型与特性

人工湿地可分为三种主要类型:自由水面湿地、潜流湿地和垂直潜流湿地。自由水面湿地主要依靠植物浮在水面上,水流通过湿地植物的根系和底泥层,完成水体的过滤与净化^[1]。潜流湿地则通过植物的根系将水引导至土壤或基质中,水在基质中流动并与微生物和植物根系接触,从而去除污染物。垂直潜流湿地与潜流湿地类似,水流在湿地内部垂直流动,提供 longer 的水-土接触时间,提升了净化效果。不同类型的湿地根据其水力条件、植物选择以及基质结构,具有不同的净化效率和适用场景。

表 1 不同湿地类型的设计参数与水质净化效果

湿地类型	设计水深（m）	基质类型	水流速度（m/s）	植物种类	氮去除能力（mg/L）	磷去除能力（mg/L）	COD 去除率（g/m ² ·d）	施工成本（元/平方米）
自由水面湿地	0.3	沙土、砾石	0.05	水葱、菖蒲	1.2	0.5	0.8	180
潜流湿地	0.4	混合土壤	0.02	荷花、芦苇	2.5	1.2	1.5	250
垂直潜流湿地	0.5	石英砂、泥炭	0.01	水葱、紫萍	3.0	1.5	1.8	300
流动式湿地	0.4	湿地泥土	0.1	冷水植物、萍蓬草	1.8	0.9	1.2	220

数据来源：国内湿地生态研究中心 (2023)

2 人工湿地对水质净化的机制与效果评估

2.1 污染物去除机制解析

人工湿地中的污染物去除机制主要通过物理、化学和生物三重过程共同作用。物理过程主要通过沉降作用去除水中的悬浮物和固体颗粒，湿地底部的基质层发挥了过滤功能，阻挡了大部分固体污染物的流动。化学过程涉及湿地植物及底泥中微生物对水中污染物的吸附和转化，特别是在去除氮、磷等营养物质方面，湿地中的厌氧环境促进了氮的反硝化作用，减少了水体中的氮含量。生物降解作用则由湿地植物和微生物共同完成，水中的有机物通过微生物代谢降解，转化为更为无害的物质，改善了水体的整体水质。

2.2 水质净化效果的评价标准

水质净化效果的评价标准主要依赖于水中关键污染物的浓度变化以及水体生态功能的恢复程度。常见的评估指标包括溶解氧、氮磷含量、COD（化学需氧量）和BOD（生物需氧量）等，通过对这些指标的监测，能够了解湿地对水质的净化能力。溶解氧是衡量水体健康的重要指标，湿地的水质净化效果通常表现为溶解氧水平的提高。氮磷去除能力则直接影响水体富营养化的程度，湿地通过生物降解、吸附等方式减少水中的营养盐浓度，从而抑制水体富营养化现象^[2]。其他指标如重金属、微生物的去除也可以通过特定的生物或化学反应来进行评估。

2.3 不同类型湿地对水质的净化能力对比

自由水面湿地由于水流较为直接，适合用于大流量的水体净化，主要通过植物的根系和水体接触，快速去除表面污染物和悬浮物，但对溶解性污染物的处理相对较弱。潜流湿地由于水流通过基质层，水与基质的接触时间较长，能够有效去除水中的有机物和氮磷等营养盐，具有较好的水质净化效果。垂直潜流湿地则进一步提高了水流的接触时间和水-土相互作用，尤其在去除有毒重金属和溶解性有机物方面表现突出。

3 人工湿地构建技术的关键设计要素与实施难点

3.1 湿地设计的核心要素

水力条件对湿地功能的发挥至关重要，设计时需考虑水流速度、流向及水深等因素，以保证水流在湿地内的均匀分布和适

宜的停留时间。植物的选择直接影响湿地的污染物去除效率，需根据水质特点选取适应性强、根系发达的水生植物。基质选择则决定了水体与植物根系的接触效率，常用的基质包括砂、泥炭等天然材料。

3.2 湿地构建过程中的技术挑战

湿地构建过程中，技术挑战主要集中在设计精度、材料选择和施工管理等方面。首先，湿地设计需要充分考虑流域的水文特征、土壤条件及生态环境，以确保湿地结构的长期稳定性。然而，实际应用中，由于土地资源有限，湿地的设计难以完全符合理想的水力条件，可能导致水流分布不均或水体停留时间不足^[3]。其次，湿地构建所需的材料，如植物种植介质、过滤基质和植物等，需满足特殊的环境要求，确保湿地生态系统的健康运行。

3.3 实际应用中遇到的困难与解决方案

在实际应用中，湿地建设常遇到多方面的困难，主要包括维护管理难度、生态适应性问题 and 水质变化不稳定等。湿地的长期运行需要持续的管理与维护，如植物的更替、污泥的清理及水质监测等，这对管理人员的专业能力提出了较高要求。生态适应性问题则表现为在不同地域或水体条件下，部分湿地植物未能发挥预期的净化作用，导致水质改善效果不明显。水质变化的不稳定性是另一大挑战，湿地的净化效果受季节性、气候变化及上游污染源变化的影响较大，难以保持长期稳定的净化水平。为解决这些问题，可通过优化湿地设计、加强长期监测与调整、选择适应性强的植物种类等方式，提高湿地的稳定性和效能。

表1展示了不同湿地类型的设计参数，包括设计水深、基质类型、水流速度、植物种类、氮磷去除能力、COD去除率以及施工成本等关键指标。根据不同类型湿地的特性，设计参数和性能评估可以为湿地建设提供依据，帮助优化设计方案。

4 人工湿地在河流生态修复中的应用案例分析

4.1 国内外成功案例分析

在国内，安徽省某河流人工湿地生态修复项目成为了一个成功的应用案例。该项目位于合肥市，旨在解决该区域水体污染问题。通过建设一个面积为50公顷的人工湿地，水流设计为潜流型湿地，使用了砂土和泥炭混合基质。湿地的设计重点是处理农

业径流中的氮磷污染,项目的实施后,水质指标得到显著改善,特别是氮含量从20mg/L降至3mg/L,磷含量从5mg/L降至0.5mg/L。水体的COD从120mg/L下降至50mg/L,显示了湿地在水质净化方面的显著效果。该项目不仅解决了水体污染问题,还为周边区域生态环境的改善和生物多样性的恢复做出了积极贡献。

4.2 案例中的设计与实施经验

在合肥市的人工湿地项目中,设计团队首先对流域的水文情况进行了详细分析,确保水流速度、流向和湿地的水深适宜,避免了过高流速导致的水体滞留时间过短,影响水质净化效率^[4]。基质选择上使用了具有良好渗透性的砂土和泥炭混合物,增强了水体与植物根系的接触,促进了污染物的去除。在植物选择上,团队选用了能够适应当地气候条件且根系发达的湿地植物,如水葱和芦苇,这些植物能够有效吸收水中的营养盐,并为微生物提供栖息环境。

4.3 应用中遇到的问题及改进策略

尽管合肥市人工湿地项目取得了显著成果,但在实际应用过程中也遇到了一些问题,尤其是在湿地的维护和管理上。由于湿地面积较大,早期在植物管理和定期清理过程中存在一定困难,部分植物的生长速度和水质净化效果未能达到预期。为此,项目组增加了植物更替和修剪的频率,并引入了智能监测系统,实时监测湿地水质与植物生长状态。另一个问题是在初期的湿地水位控制上出现不稳定的情况,导致湿地水流不均。针对这一问题,项目组调整了水流设计,增加了调节水位的设施,确保了水体流动的均匀性和湿地的长期稳定运行。这些改进措施有效解决了湿地运行中的问题,进一步提升了其净化能力。

5 提升人工湿地水质净化效果的技术创新与发展方向

5.1 新型人工湿地技术的发展趋势

近年来,随着技术的进步,人工湿地的设计和功能逐步向更加智能化和高效化的方向发展。新型湿地技术的发展趋势包括湿地生态系统的多功能集成、基质材料的创新以及水流控制系统的优化。通过采用复合型基质材料,结合土壤、沙砾与植物残留物等不同元素,提高了湿地对不同类型污染物的处理能力。智能监测系统的引入使湿地管理更加精确,实时监控水质变化并自动调节湿地内水流速度和植物生长环境,从而提升了湿地的净化效率和稳定性。

5.2 技术创新对水质净化效果的提升

新型湿地设计将植物、微生物与物理过滤相结合,极大增强了水体净化能力,尤其在氮、磷及有机污染物的去除方面表现突

出。通过优化湿地水流路径和水流停留时间,提升了水与基质、植物根系的接触效果,进一步促进了有害物质的降解和吸附。基于大数据与人工智能的监测技术,为湿地运行提供了实时数据支持,能够精确控制水位、流速和水质变化,提高了湿地系统的适应性和灵活性。

5.3 人工湿地在未来河流生态修复中的潜力分析

人工湿地在河流生态修复中的潜力巨大,尤其在应对水体污染、恢复生态多样性和改善水质方面具有独特优势。随着河流污染问题的日益严重,人工湿地作为一种低成本、可持续的修复技术,能够有效吸附水中的污染物,并促进水体生态的恢复^[5]。未来人工湿地将不仅仅局限于水质净化,还会在生物栖息地建设、气候调节和景观美化等多方面发挥重要作用。结合现代技术的创新,人工湿地可以更加精准地处理各种类型的污染水体,特别是针对城市和工业区的污水处理,具有广阔的应用前景。

6 结语

人工湿地作为一种有效的河流生态修复技术,凭借其独特的水质净化能力,已在多个领域取得了显著应用成果。随着技术的不断进步,湿地的设计理念、材料选择及管理手段不断创新,提高其对污染物的去除效率和系统的稳定性。未来,人工湿地将在更大范围内应用,尤其是在处理复杂水质污染、提高生态恢复能力等方面展现更大潜力。随着智能化和生态综合技术的融入,人工湿地将在水资源管理和环境保护领域发挥更加重要的作用。

[参考文献]

- [1]邓年生.大孔隙卵石生态混凝土在河流生态修复中的应用[J].中国水能及电气化,2024,(09):33-36+27.
- [2]周旭东,李其林,罗俊.人工湿地净化技术在微污染河流生态修复中的应用研究[J].环境科学与管理,2024,49(9):78-82.
- [3]曾思琦,范舒欣,董丽,等.浅谈河流生态系统修复中的植物景观营建[J].景观设计,2023,(03):86-90.
- [4]汤茵琪,任心欣,孔露震,等.城市河流系统治理策略在鹤颈水生态修复中的应用[J].水资源保护,2021,37(06):88-93.
- [5]胡琴芬.双绞格网结构在河流生态修复中的应用探究[J].智能城市,2020,6(23):113-114.

作者简介:

单体伟(1986--),男,汉族,江苏盐城人,高工,本科,研究方向:水利施工技术管理。