

河道治理中的生态修复技术研究

刘树伟

中交天津航道局有限公司 天津 300000

摘要：河道生态修复以生态学、水文学与水力学原理为支撑，通过形态重塑、水文连通性恢复、水生生态系统修复及河岸带生态修复技术，构建健康水生生态系统。研究提出多技术协同修复模式，融合智慧监测与动态调控系统，并探索生态友好型材料、基因编辑技术及气候变化适应性策略，强化生态系统碳汇功能，推动生态修复与气候调节协同发展，为流域可持续发展提供技术路径。

关键词：河道治理；生态修复技术；水文连通性；生态系统；协同修复

引言：河道生态系统作为流域生态网络的核心纽带，其功能退化已威胁区域生态安全。传统工程治理模式因忽视生态过程与系统韧性，难以实现可持续发展。本文从生态学原理、水文学机制及修复技术分类出发，系统探讨河道形态修复、水文连通性恢复、水生生态系统与河岸带生态修复技术，并创新性融合智慧监测、新材料应用及气候变化适应性策略，旨在构建基于自然解决方案的生态修复技术体系，为流域生态治理提供科学依据。

1 河道生态修复基础理论

1.1 生态学原理

生态系统的结构与功能紧密相连，能量流动、物质循环和生物群落演替构成其动态运行机制。能量流动遵循单向传递规律，从太阳能输入开始，通过生产者光合作用转化为化学能，沿食物链逐级递减传递，驱动生态系统运转。物质循环则是营养元素在生物与非生物环境间往复运动，像碳、氮、磷等元素，在大气、水体、土壤和生物体中不断转换形态与位置，维持生态系统物质平衡。生物群落演替体现生态系统的自我更新，从初级演替的裸地逐步发展为复杂稳定的顶级群落，或是次级演替中受干扰群落重新构建，这个过程伴随着物种组成、群落结构和生态功能的改变。河道生态修复需遵循生态阈值与弹性理论。生态阈值指生态系统在维持自身结构和功能稳定前提下，所能承受外界干扰的极限。一旦干扰超过阈值，生态系统将发生不可逆变化。弹性理论强调生态系统在受到干扰后恢复到原有状态或达到新稳定状态的能力。修复过程中，需精准把握生态阈值，增强河道生态系统弹性，如通过合理设计植被带，提升系统抵御洪水、净化水质等能力。

1.2 水文学与水力学基础

自然水文过程模拟聚焦流量、水位与水质间的耦合关系。流量变化直接影响水位高低，进而改变水体停留

时间和流速，这些因素又共同作用于水质。流速较快时，水体复氧能力增强，污染物稀释扩散快；流速过慢则易导致污染物累积、水体富营养化。水位变化影响河道淹没范围，塑造不同生境，为多样生物提供栖息空间^[1]。模拟这些过程，有助于掌握河道生态系统动态变化规律，为修复提供科学依据。河道形态与生态功能适应性设计至关重要。蜿蜒曲折的河道形态能减缓水流速度，增加水体与河岸接触面积，促进物质交换与能量流动，形成多样化的浅滩、深潭等微生境，为鱼类产卵、鸟类觅食提供场所。河道边坡坡度、河岸材质也影响生态功能，缓坡和自然土质河岸利于植被生长和生物栖息，而硬质护坡则会阻断水陆生态联系。在修复中需依据生态功能需求，重塑适宜的河道形态。

1.3 生态修复技术分类框架

从空间维度看，纵向连通性修复致力于打通河道上下游阻隔，恢复鱼类洄游通道，保障生物迁移和物质运输畅通。通过拆除废弃坝体、改造阻水构筑物，重建河道纵向连续性。横向生态缓冲带构建是在河道两侧建立植被带，其宽度和植物种类依实际需求而定。缓冲带可拦截地表径流中的污染物，减少面源污染进入河道，为生物提供栖息地和迁徙廊道。垂向水-土-气界面调控则关注水体、土壤和大气间的物质交换与能量传输，通过改善底泥环境、优化水体分层结构，促进生态系统物质循环。在功能维度，水质净化技术借助物理、化学和生物方法去除污染物。物理方法如沉淀、过滤；化学方法包括氧化还原、中和；生物方法依靠水生植物、微生物降解污染物。栖息地营造通过改造河道地形、种植适宜植物，创造多样化生境，满足不同生物生存需求。生物多样性提升则是在修复过程中，引入本地物种，避免外来物种入侵，构建稳定的生物群落，增强生态系统稳定性和抗干扰能力。

2 关键生态修复技术研究

2.1 河道形态修复技术

2.1.1 自然化设计理念与断面形态优化

河道形态修复旨在恢复河流生态系统结构与功能,通过自然化设计重塑河道断面、优化水流路径和改善河床结构,提升水体自净能力与生态多样性。自然化河道断面设计以复式断面与蜿蜒形态模拟为核心。复式断面由主河槽和滩地构成,洪水期主河槽快速行洪,枯水期滩地裸露形成水陆交错带^[2]。此区域为两栖生物提供栖息地,同时缓冲水流,降低岸坡侵蚀。蜿蜒形态模拟通过人工重塑直线化河道,使其恢复弯曲形态。这一设计改变水流方向和速度分布,减缓流速,促进泥沙沉降,形成深浅各异的水域环境,为鱼类、水生昆虫等提供多样生存空间。延长的水流路径增加水体停留时间,利于污染物自然降解与水质净化。

2.1.2 施工处理与生态改善措施

河道疏挖是形态修复的重要施工环节。清淤工作采用机械或人工方式,清除河床表层淤积物,恢复河道过流断面,提升泄洪能力。施工前需依据河道地形、水流特性和生态需求制定方案,避免过度挖掘破坏原有生态基底。清淤产生的淤泥优先进行资源化处理,如脱水固化后用于堤防加固、景观用土或生态湿地建设,减少二次污染。河底淤泥处理是河道修复的关键。淤泥中富含大量有机质与污染物,若处理不当,会影响水质和生态恢复。常用处理方式包括干化、稳定化和资源化利用。清淤后铺设砾石、陶粒等多孔材料,改善河床基质结构,为底栖生物提供附着点,促进水体与底泥的物质交换,增强生态系统自我调节能力。不同粒径和形状的材料组合,构建多样化基质环境,满足不同生物栖息需求,提升生物多样性水平。

2.2 水生生态系统修复技术

水生植被恢复重点在于本土物种筛选与群落配置。本土物种对当地环境适应性良好,扎根生长能力强,且与其他生物形成稳定生态关系。筛选时充分考虑物种生态功能、生长习性与繁殖能力,如选择净化能力突出的沉水植物,或能为水生动物提供庇护的挺水植物。群落配置遵循生态位原理,将不同生活型水生植物合理搭配,构建具有垂直分层结构的群落体系,提高水体空间利用效率,增强生态系统稳定性。微生物强化修复运用生物膜技术与人工湿地菌群调控改善水质。生物膜技术在载体表面培育微生物膜,扩大微生物附着面积,提升污染物降解效率。微生物膜上丰富的微生物种类,可针对不同污染物进行靶向降解。人工湿地菌群调控依据湿

地处理目标,调整湿地内微生物群落结构与数量,增加硝化细菌、反硝化细菌等功能菌群,强化对氮、磷等污染物的去除效果,推动水体生态系统恢复进程。

2.3 河岸带生态修复技术

缓冲带植被过滤系统依靠乔灌木立体配置与根系泌氧功能发挥多重生态作用。乔灌木立体配置形成多层植被结构,上层乔木拦截雨水,减少地表径流冲刷;中层灌木与下层草本植物过滤地表径流污染物,吸收营养物质。植物根系泌氧在根际形成氧化微环境,促进好氧微生物生长繁殖,增强污染物降解能力。植被根系固土护坡,可有效防止河岸坍塌^[3]。生态护岸结构采用柔性护坡材料与生态袋-植生毯技术替代传统硬质护岸。柔性护坡材料如生态混凝土、土工格室具备孔隙度与透水性,允许水体、土壤和生物间物质交换,为植物生长与动物栖息创造条件。生态袋-植生毯技术将植物种子、肥料封装于生态袋,铺设在河岸坡面后覆盖植生毯,既能实现护坡功能,又能伴随植物生长逐步形成自然生态护岸,恢复河岸带生态功能。

3 生态修复技术集成与创新

3.1 多技术协同修复模式

“水文-形态-生物”三位一体修复路径突破传统单一技术修复的局限,将河道生态系统各要素视为有机整体进行系统修复。在水文连通性恢复上,闸坝生态调度根据不同季节和生物需求释放流量脉冲,保障河道生态需水,配合鱼道与洄游通道设计,重建鱼类迁移路径。河道形态重塑过程中,复式断面设计打造主河槽与滩地结合的结构,洪水期主河槽行洪,枯水期滩地裸露形成水陆过渡带;蜿蜒形态模拟改变水流路径,降低流速并促进泥沙沉积,形成多样化水域环境。生物群落重建通过筛选本土水生植物并合理配置群落,结合微生物强化修复改善水质,为生物创造适宜生存空间。水文为形态塑造和生物生存提供基础条件,河道形态影响水文过程与生物栖息地,生物群落又反作用于水文和形态,三者相互依存、协同作用,推动河道生态系统向健康稳定方向发展。智慧监测与动态调控系统借助物联网和AI算法实现生态修复全过程智能化管理。物联网技术在河道关键位置布设各类传感器,对水位、流量、水质指标以及生物活动状态进行实时监测,构建起覆盖全流域的感知网络。AI算法对采集的海量数据进行深度挖掘与分析,通过模式识别和趋势预测,及时发现生态系统中的异常变化。当检测到水质恶化时,AI算法可快速判断污染源,自动调整微生物强化修复设备的运行参数;若发现鱼类洄游受阻,系统会优化闸坝调度方案,调整水流条

件,实现生态修复措施的精准化、动态化调控,确保修复过程高效有序。

3.2 新材料与新技术应用

生态友好型材料的研发和应用为河道修复带来革新。可降解护岸构件采用天然高分子材料制成,在满足护坡强度需求的同时,随着时间推移逐渐分解为无害物质融入环境,避免传统混凝土、石材等硬质材料对河道生态的割裂。仿生人工礁体参照天然礁石的形态和结构设计,其表面粗糙多孔的特性为水生生物提供大量附着位点,幼鱼可在礁体缝隙中躲避天敌,贝类、藻类等生物能附着生长。礁体还能改变水流流态,促进水体与底质间物质交换,改善局部水域溶氧条件和营养循环,为生物多样性的提升创造良好环境^[4]。基因编辑技术为水生生物恢复提供了创新性解决方案。通过对水生生物基因的精准操作,可增强其对复杂环境的适应能力。针对水体污染问题,对水生植物基因进行编辑,使其能够高效吸收氮、磷等营养物质,提升水体自净能力;对鱼类基因进行调整,改变其生理特性,提高在低温、低氧等恶劣环境下的生存几率。基因编辑从生物遗传层面解决生态修复难题,能够加速濒危物种恢复进程,优化水生生物群落结构,为水生生物资源的保护与可持续利用提供技术支撑。

3.3 气候变化适应性修复

极端水文事件应对策略围绕洪-旱交替环境进行适应性设计。在洪水防范方面,拓宽河道行洪断面,增加河道容纳洪水的能力,建设蓄滞洪区,在洪水超过河道承载能力时临时储存洪水。生态缓冲带植被通过发达的根系固土护坡,减弱洪水对河岸的冲刷侵蚀。面对干旱情况,优化闸坝生态调度策略,保障枯水期河道生态基流,维持河道基本生态功能;构建地下水与地表水联动补给系统,在干旱时通过抽取地下水补充河道水量,维持水位稳定。筛选和培育耐旱型植被品种,构建具有抗

旱能力的植被群落,确保在干旱期间生态系统服务功能不中断。碳汇功能强化与生态修复协同机制在改善河道生态环境的同时助力碳中和目标实现。河道生态修复过程中,大规模种植水生植被和河岸带植物,通过光合作用吸收大气中的二氧化碳,并将其转化为有机碳储存于植物体内和土壤中。优化河道形态和水文条件,能够促进底泥中有机碳的沉积和稳定储存。微生物在参与污染物降解过程中,调节碳元素在生态系统中的转化和循环。通过合理规划和实施生态修复工程,从植物固碳、底泥储碳到微生物调节碳循环,多环节协同作用,增强河道生态系统的碳汇能力,实现生态修复与气候调节效益的双赢。

结束语

河道生态修复需以生态过程为核心,融合多学科技术手段,通过形态优化、水文调控、生物群落重建及河岸带功能提升,实现生态系统结构与功能的双重修复。智慧监测与动态调控技术可提升修复精准度,生态友好型材料与基因编辑技术为修复提供创新工具,气候变化适应性策略则保障修复效果的长期稳定性。未来需进一步深化多尺度协同机制研究,推动生态修复技术体系向智能化、低碳化方向发展,助力流域生态安全与碳中和目标协同实现。

参考文献

- [1]李爱华,王静静,张传兴.河道水环境治理中多方位生态修复技术应用分析[J].清洗世界,2023,39(09):175-177+180.
- [2]吕弈成.生态修复技术在河道水环境治理中的应用研究[J].黑龙江环境通报,2023,36(02):165-167.
- [3]王键.多方位生态修复技术在河道水环境治理工程中的应用[J].皮革制作与环保科技,2022,3(08):116-118.
- [4]费云清.生态修复技术在城市河道污染治理中的应用[J].江苏水利,2024,(02):70-72.