

中小河流水生态修复技术与实践

李今洁

洛阳水利勘测设计有限责任公司 河南 洛阳 471000

摘要：中小河流是流域生态系统的重要组成部分，当前我国中小河流面临水质污染、形态单一、生物多样性衰退等突出问题，严重影响生态平衡。本文分析中小河流水生态系统特征及退化成因，构建涵盖水环境改善、河道形态修复、水生生物恢复、河岸带构建的关键技术体系，探讨基于自然的解决方案的应用原则与具体路径，结合北方缺水、南方富水地区典型工程案例，总结实践经验，为我国中小河流水生态修复提供技术参考与实践借鉴，助力流域生态环境高质量发展。

关键词：中小河流；水生态修复；关键技术；实践

引言：随着工业化、城市化进程加快，人为干扰加剧导致中小河流水生态系统持续退化，水质恶化、生境破坏等问题日益突出，威胁区域水文循环与生态安全。中小河流分布广泛、体量较小，其生态修复对维系流域生态平衡、保障水资源安全具有重要意义。目前，传统工程化修复模式存在运维成本高、生态适配性差等弊端。基于此，本文结合中小河流生态特征与实际问题，系统梳理修复关键技术，结合工程案例探讨实践路径，为中小河流水生态修复提供科学支撑。

1 中小河流水生态系统特征与问题分析

1.1 中小河流生态系统结构与功能

中小河流生态系统由水体、底质、水生生物及河岸带植被构成，结构复杂且关联性强。水体为核心载体，底质提供生物栖息环境，水生植物、动物及微生物构成完整食物链，河岸带则发挥缓冲与保护作用。其核心功能包括水质净化、径流调节、生物栖息地供给，同时维系区域水文循环与生态平衡，是流域生态系统的重要组成部分，对周边生态环境具有不可替代的支撑作用。

1.2 我国中小河流主要生态问题

当前我国中小河流面临诸多生态困境：（1）水质污染突出，生活污水、农业面源污染及工业废水无序排放，导致水体富营养化、溶解氧不足；（2）河道形态单一化，过度裁弯取直、硬化护岸破坏自然生境；（3）生物多样性衰退，水生生物栖息地受损，优势物种减少、群落结构失衡；（4）河岸带退化，植被覆盖度降低，水土保持能力下降，加剧河道淤积与生态失衡。

1.3 水生态退化成因分析

中小河水生态退化是自然与人为因素共同作用的结果。自然因素主要为气候变化导致的降水不均、径流减少，加剧水体自净能力下降；人为因素是主导，包括污染

排放超出水体承载能力、水利工程建设忽视生态保护、过度采砂破坏底质与栖息地、土地利用方式不合理导致的河岸带破坏，以及缺乏系统的生态保护与修复机制，导致生态问题逐步累积恶化^[1]。

2 中小河流水生态修复关键技术

2.1 中小河流水环境改善技术

中小河流水环境改善核心是控源减污、快速提质，贴合中小河流体量小、自净能力弱、污染来源分散的实际，采用低成本、易运维的技术手段，具体要点如下：（1）污染截留技术，入河排污口设置格栅、沉砂池等简易预处理设施，拦截固体污染物与悬浮物；农田区域布设生态沟渠，填充碎石、沸石等吸附基质，阻断农业面源氮磷径流入河；村落集中区域配套小型一体化污水处理设备，采用生物接触氧化工艺，实现生活污水达标排放后再入河。（2）底泥污染治理技术，重度污染河段采用环保清淤技术，控制清淤深度避免破坏原生底质，清淤后底泥经脱水固化、无害化处理用于河岸绿化覆土；轻度污染河段采用底泥钝化技术，投加石灰、铝盐等钝化剂，抑制底泥中氮磷、重金属释放。（3）水体原位净化技术，投加高效复合微生物菌剂，以水体中有机物、氮磷为营养源，加速污染物分解，选用菌剂需适配本地水体环境，避免外来菌群入侵；布设生态浮床，选用芦苇、菖蒲等本土挺水植物，搭配浮叶植物，固定于污染河段，无需复杂运维；小型河段设置太阳能曝气装置，采用微孔曝气方式，提升水体溶解氧，缓解水体黑臭，设备选型兼顾成本与运维难度。（4）辅助净化技术，岸边布设小型人工湿地，采用“基质+植物”组合模式，基质选用本地砂石、腐殖土，植物选用耐污性强的本土物种，抽取部分河水经湿地过滤净化后回流河道，提升整体水质。

2.2 中小河流河道形态与地貌修复技术

结合中小河流河道狭窄、地貌单一、工程实施空间有限的特点,以恢复自然形态、重塑多样化生境为核心,技术要点简洁实用,具体如下:(1)河道自然化重塑技术,对过度裁弯取直的河段,适度恢复自然弯曲形态,弯曲半径根据河道宽度合理确定,避免过度改造增加工程成本;调整河道纵坡,减缓水流速度,减少河床冲刷,同时延长水力停留时间;在河道关键节点设置低阻水堰、生态坝,采用天然石材砌筑,稳定水位与流量,兼顾行洪安全。(2)深潭—浅滩序列构建技术,通过疏浚、堆填相结合的方式,交替营造深潭与浅滩,深潭深度控制在1.5-3米,浅滩深度0.3-0.8米,两者间隔50-100米,适配中小河流尺度;深潭区域采用抛石加固,避免冲刷,浅滩区域铺设天然砂石、砾石,营造多样化底质环境。(3)河床底质改良技术,清除表层污染严重的底泥后,铺设本土天然砂石、砾石,提升河床通透性,保留部分原生泥沙与腐殖层,为底栖生物提供生存基础;严禁过度采砂,对采砂破坏河段,采用回填天然砂石、种植沉水植物的方式,恢复河床稳定性。(4)河道连通技术,拆除不合理的硬质拦水设施,保障河道纵向连通;修复支流与干流交汇口,清理淤积物,避免支流断流^[2]。

2.3 水生生物群落恢复与重建技术

遵循“本土优先、适配性强、循序渐进”的原则,结合中小河流水体环境特点,聚焦群落结构恢复,减少作用表述,技术要点如下:(1)水生植物恢复技术,优先选用本土沉水植物、浮叶植物、挺水植物,沉水植物选用狐尾藻、金鱼藻等,浮叶植物选用睡莲、菱角等,挺水植物选用芦苇、香蒲等;按水深梯度分区种植,沉水植物种植于水深0.5-2米区域,浮叶植物种植于水深0.3-1.5米区域,挺水植物种植于岸边浅水区;采用扦插、群落块种植等简易方式,提高成活率,控制种植密度,避免过度覆盖影响水体流通。(2)底栖生物增殖技术,投放螺、蚌、蚬等本土滤食性底栖动物,投放密度根据水体污染程度、水体容积合理确定,一般为5-10个/平方米;投放前对底栖动物进行检疫,避免携带病原体,投放时段选择春季或秋季,水温适宜,提高存活率;定期监测底栖动物种群数量,及时调整投放策略。(3)鱼类种群优化技术,投放本土滤食性、草食性、杂食性鱼类,如鲫鱼、鲤鱼、草鱼等,禁止投放外来凶猛鱼类;投放规格为3-5厘米幼苗,投放密度根据河道面积、水体承载力确定,避免过度投放导致水体缺氧;在河道深潭区域设置人工产卵场,铺设卵石、水草,为鱼类自然繁殖提供条件,禁止非法捕捞。(4)微生物强化技术,构建植物—微生物协同修复系统,在水生植物根系、人工基质表面

固定功能菌群,选用本土降解性微生物,提高微生物与水体环境的适配性;采用生物膜载体,如无纺织布、多孔陶瓷等,增加微生物附着量,持续降解水体中污染物,无需频繁投加菌剂,降低运维成本。

2.4 河岸带生态系统构建与修复技术

结合中小河流河岸带狭窄、人为干扰频繁的特点,聚焦缓冲、固土、栖息功能,采用低成本、易维护的技术,具体要点如下:(1)生态护岸技术,淘汰全硬质混凝土护坡,优先采用格宾石笼、生态袋、植草砖、木桩护岸等生态型结构;格宾石笼选用镀锌钢丝笼,填充本土石块,预留孔隙,利于植物生长与生物栖息;生态袋填充本土土壤与腐殖土,表面种植草本植物,提升固土效果;木桩护岸选用本土耐水树种,如柳树、杨树等,间距0.5-1米,兼顾防洪与生态功能。(2)植被缓冲带建设技术,沿河岸构建乔灌草复合型缓冲带,宽度根据河道规模确定,一般为5-15米;上层选用本土乔木,如柳树、刺槐等,中层选用灌木,如紫穗槐、沙棘等,下层选用草本植物,如狗牙根、早熟禾等;采用直播、移栽相结合的方式种植,定期进行简单养护,避免杂草入侵,提升缓冲带截留、固土能力。(3)岸线生境营造技术,保留或恢复河漫滩、天然湿地,建设季节性淹没区,营造浅水区、沼泽、湿草甸等多样化生境;在河岸带增设小型人工鸟巢、昆虫栖息箱,为鸟类、昆虫提供栖息场所;清理河岸带垃圾、废弃构筑物,恢复岸线自然形态,避免人为侵占。(4)岸线管护技术,对侵蚀严重的岸段,采用生物固土与工程防护相结合的方式,种植固土植物,搭配格宾石笼加固;建立常态化巡查机制,禁止随意硬化、填埋岸线,禁止在河岸带乱砍滥伐、倾倒垃圾;定期对植被缓冲带进行修剪、补植,保障河岸带生态系统长期稳定运行^[3]。

3 基于自然的解决方案在中小河流修复中的应用

3.1 基于自然的解决方案核心内涵与应用原则

基于自然的解决方案(NbS)在中小河流修复中,核心是依托自然系统自身功能,结合适度人工辅助,实现生态系统的自我修复与稳定,区别于传统硬化、工程化修复模式。其核心内涵是尊重河流自然水文、地貌与生物特征,以“最小干预、自然适配”为核心,充分利用本土物种、天然基质与自然过程,实现水质改善、生境修复与生态功能提升的协同。应用需遵循三大原则:一是本土适配原则,优先选用本土植物、动物及微生物,避免外来物种入侵,适配区域气候与水文条件;二是系统协同原则,统筹水体、河道、河岸带及周边生态系统,实现多环节联动修复;三是可持续原则,采用低成本、易

运维的自然技术, 兼顾生态效益与后期管护便利性, 契合中小河流修复的实际需求。

3.2 基于自然的解决方案在中小河流修复中的具体应用

结合中小河流体量小、分布广、修复成本有限的特点, 基于自然的解决方案主要聚焦水质净化、生境重塑两大核心, 具体应用如下: (1) 在水质改善方面, 利用天然湿地、生态沟渠构建自然净化系统, 通过土壤基质过滤、本土水生植物吸收、微生物自然降解, 拦截削减入河污染物, 替代人工净化设备; 投放本土滤食性底栖动物与鱼类, 依托自然食物链调控水体藻类与悬浮物, 提升水体自净能力。(2) 在生境修复方面, 采用自然化河道重塑技术, 恢复河道天然弯曲形态, 通过堆石、疏浚等方式营造深潭—浅滩序列, 保留原生底质与腐殖层; 河岸带采用生态护岸替代硬质护坡, 种植乔灌木复合型植被缓冲带, 利用植物根系固土保水, 营造多样化栖息环境。同时, 依托自然水文过程, 通过闸坝生态调度、再生水自然补给等方式, 保障河道生态基流, 实现生态系统的自我维持与长期稳定, 降低修复与运维成本^[4]。

4 中小河流生态修复工程实践案例

4.1 北方缺水地区案例——某河流生态补水与滨岸带修复工程

该河流位于北方干旱半干旱地区, 属典型缺水型中小河流, 存在生态基流不足、季节性断流、滨岸带植被退化、底质淤积等问题。工程核心围绕“补水保流、固岸复绿”展开, 实践要点如下: (1) 生态补水, 统筹区域再生水与外调水源, 修建简易输水渠道, 每日补给再生水3万立方米, 结合水库生态调度, 保障河道基本生态流量, 避免断流现象; (2) 滨岸带修复, 拆除硬质护岸, 采用格宾石笼护岸, 填充本土石块预留生物孔隙, 沿岸种植沙棘、怪柳等耐旱本土植被, 构建乔灌木复合型缓冲带; (3) 配套治理, 实施河道环保清淤, 清理表层污染底泥并进行无害化处理, 布设小型曝气装置, 提升水体自净能力, 同步建立补水监测机制, 动态调整补水量。

4.2 南方富水地区案例——某城市黑臭河道综合整治

与生态重建

该河道为南方城市近郊中小河流, 受生活污水、工业废水直排影响, 长期处于黑臭状态, 水体富营养化严重, 水生生物几乎绝迹, 属典型富水型污染河道。工程以“控源截污、生态重建”为核心, 实践要点如下: (1) 截污控源, 新建污水管网, 整治入河排污口, 关停沿岸“散乱污”企业, 配套小型污水处理设备, 实现污水达标排放后再入河; (2) 河道整治, 采用环保清淤清除黑臭底泥, 利用人工湿地净化河水, 通过闸坝调度提升水体流动性; (3) 生态重建, 在河道内布设生态浮床, 种植芦苇、菖蒲等本土水生植物, 投放本土螺、蚌及鱼类, 修复水生生物群落, 沿岸打造滨水绿道与小型湿地, 实现黑臭消除、生态功能恢复^[5]。

结束语: 中小河流生态修复是一项系统性、长期性工程, 要兼顾技术适配性、地域差异性与生态可持续性。本文通过分析生态问题与成因, 构建了完善的修复技术体系, 结合基于自然的解决方案与南北地域典型案例, 验证了技术的实用性与可行性。中小河流生态修复需坚持“自然适配、最小干预”原则, 统筹控源减污与生态重建, 强化后期管护。未来需结合不同区域河流特点优化技术方案, 推动修复技术多元化、低成本化发展, 实现中小河流生态功能的长期稳定恢复。

参考文献:

- [1] 向清朝, 向月群. 中小河流治理技术研究和生态修复技术应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2025(10):093-096.
- [2] 张陆明. 中小河流生态治理工程中的河道修复技术应用研究[J]. 中国科技纵横, 2025(15):44-46.
- [3] 张凤英. 小型河流生态环境修复技术研究与实践[J]. 水科学与工程技术, 2022(2):27-30.
- [4] 闫秀红. 农村中小河流生态修复技术对水环境影响分析[J]. 农机市场, 2024(4):78-80.
- [5] 何劲侠. 生态型防洪治理技术在中小河流中的应用的研究[J]. 水上安全, 2025(12):91-93.