

水生态修复工程在中小河道治理中的实践探析

赵念怡

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：中小河道受水文与人类活动干扰，普遍水质恶化、形态破坏、生物锐减，传统工程治理存短板。本文针对新疆干旱区河道生态现状，构建“源头控污—水体净化—形态重构—生物修复”一体化技术体系，并依托典型治理实例验证。结果表明，该模式可显著改善水质、修复水生态系统；同时指出工程适配、长效运维、统筹规划等现存问题，为干旱区中小河道生态治理提供实践参考。

关键词：水生态修复工程；中小河道治理；新疆干旱区

引言：中小河道兼具行洪排涝、生态涵养与民生服务功能。绿洲农业开发与城镇建设持续干扰，致水体盐化、生境破碎、生态功能退化，传统重工程轻生态的治理难达长效。为破解新疆河道治理难题，本文立足于干旱区现状与传统弊端，整合系统化生态修复技术，结合实际工程案例，分析治理成效与现存短板，探索适配新疆中小河道的科学治理路径。

1 中小河道水生态现状及治理核心问题

1.1 中小河道基本特征

(1) 水文特征：新疆中小河道径流以高山冰雪融水和季节性降水补给为主，年际变幅大，春汛夏洪集中，枯水期超半年；流域调蓄能力弱，生态基流难保障，非汛期常断流或缓流，水体置换缓慢，自净能力差。(2) 空间特征：河道呈窄深型，弯曲度低，多穿越荒漠戈壁与绿洲农田，岸线受风沙侵蚀明显；与灌溉农业、散居村落高度重叠，人水关系紧密，受引水与排水活动干扰频繁。(3) 生态特征：水生态系统结构简单，营养级链短，物种丰富度低，耐旱耐盐物种占优；栖息地异质性差，缺乏深潭、浅滩等多样化生境，自我调节与修复能力有限，对外来污染及水文突变敏感脆弱，抗干扰能力不足^[1]。

1.2 当前中小河道主要生态问题

(1) 水环境质量问题：沿河村落生活污水散排、农田灌溉退水携带盐分与氮磷、季节性融雪径流冲刷地表盐碱，致使水体盐化与富营养化并存，溶解氧持续下降，氨氮、总磷及矿化度频繁超标，高温期藻类异常增殖并引发水体腥臭，严重损害水功能。(2) 河道形态问题：过去大量采用干砌石、混凝土等硬质护岸，裁弯取直工程改变了自然河势；加之泥沙淤积、风沙填埋，

河道断面萎缩，行洪能力下降，自然水文连通性遭到破坏，河床与河漫滩之间物质交换和能量流通受阻。(3) 生物群落问题：水生高等植物退化消失，耐盐着生藻类结构异常，底栖动物敏感种减少，鱼类种类单一化、小型化趋势明显，微生物功能群失衡，自净食物网断裂，生物多样性显著丧失，生态系统服务功能整体退化。

1.3 传统河道治理模式弊端

(1) 治理理念滞后：长期以防洪引水为首要目标，过度强调工程安全和输水效率，忽视河流生态服务价值，治理理念停留在“工程水利”阶段，缺乏对干旱区河流生态系统整体性和系统性的科学认知。(2) 治理技术单一：偏重清淤疏浚、格宾笼护坡、混凝土挡墙等硬性工程手段，忽视生态护岸、湿地修复、生境营造等柔性技术应用，单项措施多、系统集成少，缺乏全流域统筹和综合治理方案设计。(3) 长效运维缺失：工程建设投入力度大，但后期日常巡护、水质监测、植被养护等管理环节缺位，管护资金和人员配置不足，治理成效难以持续，生态问题反复反弹，“治理—恶化—再治理”的恶性循环突出。

2 中小河道水生态修复核心技术体系

2.1 污染源源头管控技术

(1) 点源污染治理：实施沿河村镇生活污水全收集全处理，完善截污纳管体系，对分散住户建设小型一体化污水处理设施，推广厌氧+人工湿地、生物滤池等适用技术，确保出水达一级A标准，从根本上消除污水直排口。(2) 面源污染治理：在河道两侧构建乔灌草复合型生态缓冲带，拦截地表径流中的泥沙和污染物；农田退水侧设置生态沟渠和净化塘，利用植物吸收和土壤过滤降低氮磷及盐分负荷；在雨水排口前端建设下凹式绿

地、雨水花园等初期径流净化设施,实现径流污染源头减量。(3)内源污染治理:开展底泥污染调查与风险评估,实施分区分类生态清淤,重点清除高污染蓄积层;采用底泥原位钝化技术,投加锁磷剂、沸石等覆盖材料抑制内源释放;疏浚底泥经脱水固化和无害化处置后资源化利用,避免二次污染。

2.2 河道水体净化修复技术

(1)人工生态浮岛、浮动湿地搭建:利用竹筏、泡沫板等浮体载体,栽植美人蕉、鸢尾、旱伞草等根系发达的水生植物,植物根系悬浮于水体中形成密集生物膜,通过根系吸附和微生物协同降解,高效去除氮磷及有机污染物。(2)水体曝气增氧、生物膜强化技术:在污染严重河段设置微孔曝气、喷泉曝气或跌水复氧装置,将溶解氧提升至 4mg/L 以上,为好氧微生物降解提供条件;同步悬挂弹性填料或组合填料,富集驯化高活性生物膜,大幅提高单位水体净化效率^[2]。(3)原位水质净化、人工湿地异位净化技术:采用原位投加高效净水菌剂、耦合电解催化氧化等手段,直接在水体中降解污染物;对于空间受限河段,在岸旁建设垂直潜流或表面流人工湿地,将河水引入湿地系统处理后再回流河道,实现水质深度净化。

2.3 河道生态形态重构技术

(1)生态岸坡改造:拆除原有硬化护砌,采用格宾石笼、生态混凝土砌块、三维植被网等生态护坡形式,结合撒播狗牙根、香根草等固土植被,构建抗冲能力强且具备生态连通性的透水型岸坡,为两栖动物和底栖生物提供栖息空间^[3]。(2)生态河床修复:破除硬质河底,重塑复式或梯形自然断面形态,恢复河床的透水性和地下水-地表水交换功能;在河床铺设天然砾石、卵石,营造深浅交替的底质结构,增加水流紊动以提升水体复氧能力。(3)水系连通优化:打通断头河、拆除阻水建筑物,恢复河道纵向连续性和横向连通性;通过上游水库生态调度或再生水补给,保障枯水期生态基流,维持最低生态水位,促进水体有序流动和污染物稀释扩散。

2.4 水生生态系统生物修复技术

(1)水生植物群落优化配置:依据河道水深和光照条件,科学配置耐盐沉水植物(眼子菜、狐尾藻)、浮水植物(睡莲、芡实)和挺水植物(芦苇、菖蒲、水葱),构建“沉水—浮水—挺水”立体植被体系,形成多层次水质净化屏障和栖息地环境。(2)水生动物种群投放:根据食物网营养级原理,合理投放滤食性鱼类

(鲢、鳙)控制藻类过度繁殖,底栖动物(三角帆蚌、河蚬、螺蛳)滤食悬浮有机物,杂食性虾类刮附生藻类,逐步完善“生产者—消费者—分解者”完整食物链结构^[4]。(3)微生物菌群驯化投放:筛选培育耐低温、耐盐、高活性的复合优势菌群(硝化菌、反硝化菌、聚磷菌等),通过固化载体定点投放,加速有机质分解和氮素转化;定期补充碳源促进菌群持续繁殖,维持水体物质循环和能量流动的动态平衡,增强生态系统自维持能力。

3 工程实践案例与效果分析

3.1 工程案例概况

(1)项目区位与河道基础条件:以新疆天山北麓某典型中小河道为示范工程,河道全长约 11.2km ,流域面积约 68km^2 ,流经1个乡镇及5个行政村。治理前河道水质整体为劣V类,COD平均浓度 75mg/L ,氨氮 6.1mg/L ,总磷 0.92mg/L ,溶解氧仅 1.1mg/L ,矿化度达 3200mg/L 。河道平均宽度约 10m ,水深常年 $0.3\sim 1.0\text{m}$,非汛期近50%河段出现断流,岸坡硬化率达70%,沿河污水散排口15处,水生植被覆盖率不足4%。(2)项目治理目标:确立四维协同目标体系——水质提升方面,主要指标稳定达地表水IV类标准,矿化度降低30%以上;生态恢复方面,植被覆盖率提升至35%以上,生物多样性指数提高至1.6以上;景观优化方面,打造连续滨水生态绿廊与休闲节点;防洪保障方面,满足20年一遇行洪标准。(3)项目治理重难点:沿河分布约800亩灌溉农田和散居农户260余户,灌溉退水与生活源叠加,盐碱和氮磷复合污染突出,雨季融雪冲刷负荷集中,管控难度大;河道纵坡仅0.5‰,水体流动性极差,换水周期长达50天以上,自净能力严重不足;长期受引水灌溉和风沙干扰,生态本底脆弱,栖息地破碎化严重,底泥盐化内源污染蓄积量大,自然恢复周期漫长。

3.2 生态修复工程实施方案

(1)总体治理思路:遵循“源头控污—水体净化—形态修复—生态重构—长效管护”五位一体技术路线,坚持水岸同治、上下游统筹、左右岸协调,分区分类精准施策,实现工程措施与生态修复深度融合。(2)分项工程实施:污染拦截工程——沿河两侧建设乔灌草复合生态缓冲带 6.8km ,设置农田退水净化塘7座,配套一体化污水处理设施3座、铺设截污管网 4.8km ,封堵散排口15处;河道清淤工程——实施分区生态清淤总量 5.8万 m^3 ,清除表层高污染底泥并资源化利用;生态岸线改造——拆除硬质护岸 3.5km ,采用格宾石笼加三维植被网复合护坡,恢复自然蜿蜒岸形;水生态重构工程——构

建沉水—浮水—挺水植物群落 3.8 万 m^2 ，投放滤食性鱼类、底栖贝类及虾类共计 3.2 万尾（只），驯化投放耐盐复合微生物菌剂 10 批次^[5]。（3）施工关键技术与管控要点：采用装配式生态砌块和分幅导流干法施工工艺，将施工扰动范围控制在 5m 以内，减少围堰排水对水生态的干扰；施工期布设防污帘和多级沉淀池，控制悬浮物扩散；水生植物种植选择冬季休眠期实施，鱼类投放选在春季水温稳定 15℃以上时段，避开鱼类产卵与鸟类迁徙敏感期；清淤余水经处理达标后排河道。

3.3 工程治理效果分析

（1）水质指标改善效果：经连续 18 个月系统治理与稳定运行，COD 平均浓度由 75mg/L 降至 26mg/L，去除率 65.3%；氨氮由 6.1mg/L 降至 1.2mg/L，去除率 80.3%；总磷由 0.92mg/L 降至 0.24mg/L，去除率 73.9%；溶解氧由 1.1mg/L 提升至 5.4mg/L，提升幅度达 391%；矿化度由 3200mg/L 降至 2100mg/L，降低 34.4%。核心指标全面稳定达地表水 IV 类标准，水体腥臭现象彻底消除，水体透明度由不足 0.2m 提升至 0.7m 以上，水质综合指数改善 66.2%。（2）河道生态改善效果：通过上游水库生态调度与再生水补给，枯水期生态基流保障率达 80%，水体流速由 0.02m/s 提升至 0.09m/s，换水周期由 50 天缩短至 20 天；水生植被覆盖率由不足 4% 提升至 42%，立体群落结构初步成型；底栖动物种类由 2 种恢复至 17 种，鱼类种类由 2 种恢复至 11 种，Shannon-Wiener 多样性指数由 0.38 提升至 1.85，食物网营养级由 2 级扩展至 4 级，生态系统自维持能力显著增强。（3）社会与景观效益：建成生态亲水步道 4.6km 和滨水休憩节点 3 处，惠及沿岸群众约 1.2 万人，公众满意度达 93.6%；汛期行洪能力增强，20 年一遇设计洪水位降低 0.30m，保障沿岸 650 亩农田安全；项目成为区域治理示范标杆，带动周边 2 个乡镇相继启动水环境整治工程，入选自治区美丽河湖典型案例。

3.4 工程实践存在的问题

（1）技术适配性问题：部分人工湿地占地面积偏大，与河道周边基本农田和荒漠生态红线冲突，实际建设规模被迫缩减 28%，处理负荷不足；格宾笼护坡在局部弯道冲刷强烈段出现锈胀破损和石料流失，材料耐候

性与干旱区剧烈温差、风沙侵蚀条件匹配不足，亟需研发低成本高耐久的新型生态护坡材料。（2）运维管理问题：工程移交后日常巡护、水质监测、植物收割、设备维修等长效管护体系尚未完全建立，基层管护人员仅配置 3 名兼职且专业能力不足，年度运维经费缺口约 30 万元，缺乏生态绩效量化考核手段，后期植物过度生长与设施老化将影响系统稳定运行。（3）资金与规划问题：工程总投资中财政资金占比逾 85%，社会资本参与渠道不畅，后期运维经费缺乏制度性保障和稳定来源；项目按行政区域分段实施，上下游工程衔接不紧密，全流程系统性统筹规划不足，上游灌区退水水质波动对下游治理成效持续产生压力，局部最优难以转化为流域整体最优，治理成果的系统性和长期性仍存隐忧。

结束语

本次新疆中小河道生态修复工程实践验证了多位一体综合治理技术的可行性与实效性，有效改善了河道水环境与生态风貌，实现了生态、民生与防洪多重效益。同时，工程暴露的技术适配不足、运维体系不完善、全域规划欠缺等问题亟待解决。未来需优化生态治理材料与技术看案，健全长效管护机制、拓宽资金渠道，强化全流域统筹治理，持续巩固生态修复成果，推动新疆中小河道生态可持续发展。

参考文献

- [1] 范业弘,何岩,朱哈彬,等.平原河网地区闸控型中小河道生态修复效果评价[J].环境工程技术学报,2023,13(05):1849-1856.
- [2] 韩璐,李庆龙,曾萍,等.中小城市河道黑臭水体生态整治实践与机理研究[J].环境工程技术学报,2022,12(02):546-552.
- [3] 夏文文,王晨波,邓宇,等.水系连通对中小河道水环境修复效果的影响研究[J].中国农村水利水电,2024(03):96-104.
- [4] 娄瑜,汝楠,岳东.中小河道生态护岸修复技术及工程应用进展[J].长江技术经济,2024,8(06):121-125.
- [5] 陈建军.乡村中小微河道黑臭水体生态修复工程实践探析[J].安徽农业科学通报,2025,31(04):86-91.