

# 水利工程水土保持生态修复技术的应用研究

朱兆勇<sup>1</sup> 吉鹏<sup>2</sup> 童馨<sup>3</sup>

1. 正国际项目管理集团有限公司 江苏 南京 210000

2. 扬州市水利工程建设中心 江苏 扬州 225000

3. 扬州市邗江区竹西水利管理服务站 江苏 扬州 225000

**摘要:** 在社会经济快速发展背景下, 水利工程水土流失问题凸显, 威胁生态平衡与工程效益。水利工程水土保持生态修复技术通过植被恢复、土壤改良、生态护岸等措施, 有效减少水土流失, 提升土壤抗侵蚀能力, 促进生物多样性恢复。该技术融合工程与生物手段, 兼顾生态效益与经济效益, 是实现水利工程可持续发展的关键, 对保障水资源利用、维护区域生态安全具有重要意义。

**关键词:** 水利工程; 水土保持; 生态修复技术; 应用

引言: 水利工程在防洪、灌溉、发电等方面发挥巨大作用, 但施工与运行过程易引发水土流失, 破坏区域生态平衡, 制约其可持续发展。水土流失不仅降低土壤肥力、加剧泥沙淤积, 还威胁周边生态环境与工程安全。生态修复技术作为应对这一问题的关键手段, 通过工程、生物及农业等综合措施, 可有效恢复受损生态系统。本文聚焦水利工程水土保持生态修复技术, 探讨其应用策略与效果, 为相关实践提供理论支撑。

## 1 水利工程水土流失特征与生态修复需求分析

### 1.1 水利工程水土流失类型与成因

(1) 库区水土流失: 蓄水后水位抬升使库岸土体饱和, 抗剪强度降低, 在波浪冲击与水位涨落双重作用下, 易引发重力侵蚀与水力侵蚀叠加的库岸坍塌。淹没区土壤长期处于厌氧环境, 有机质分解加速、微生物活性下降, 导致土壤结构破坏、肥力衰退, 进而加剧表层土壤流失。同时, 库区水流减缓引发泥沙淤积, 进一步改变周边土壤侵蚀动力条件。(2) 渠道与堤防工程水土流失: 施工期开挖、填筑等作业直接扰动地表土层, 破坏原有的土壤结构与抗蚀层, 使松散土体暴露于降雨与径流冲刷中。运行期堤防迎水面受水流长期淘刷, 背水面因植被覆盖不足易发生雨水淋蚀, 渠道边坡则因防渗硬化不足引发侧渗侵蚀。(3) 跨流域调水工程沿线生态问题: 调水导致沿线河道水位周期性波动, 使岸坡土壤反复干湿交替, 结构稳定性下降, 诱发坡面侵蚀。工程建设形成的路堑、路堤等构筑物割裂生物栖息地, 阻碍物种迁徙通道, 同时施工弃渣随意堆放易引发人为加速侵蚀, 进一步加剧栖息地破碎化程度<sup>[1]</sup>。

### 1.2 生态修复的核心目标

(1) 恢复土壤功能: 通过改良土壤质地、补充有机

养分, 提升土壤保水保肥能力, 增强持水性能与养分吸附能力。采用生态固土技术重构土壤抗蚀层, 提高土壤抵抗雨滴击溅与径流冲刷的能力, 降低侵蚀模数, 遏制土壤退化趋势。(2) 重建植被群落: 优先选用本土适生植物, 构建乔灌草复合型植被体系, 提升物种多样性。注重植被群落的结构优化, 形成具有自我更新能力的稳定生态系统, 通过根系固土与枯枝落叶层拦截, 强化水土保持功能, 同时为生物提供栖息环境。(3) 维护水生态系统平衡: 通过生态化措施净化入体水质, 减少氮磷等污染物积累, 提升水体自净能力。构建生态连通廊道, 修复水生生物洄游通道, 缓解栖息地破碎化影响, 保障生态流量与水文过程稳定, 实现水生态系统的结构完整与功能协调。

## 2 水利工程水土保持生态修复技术体系

### 2.1 工程措施

(1) 护坡技术: 生态袋技术通过填充改良土与草种的聚丙烯袋逐层叠砌, 利用袋体间的连接扣形成柔性防护结构, 在库岸及渠道边坡应用中可适应土体沉降, 配合内部植物生长实现长期固坡。格构梁与锚杆组合技术适用于陡峭岩质边坡, 通过混凝土格构分割坡体, 梁内回填种植土并播种乡土草本, 兼顾结构稳定与生态恢复。柔性防护网针对崩塌风险区域, 采用高强度钢丝绳网覆盖坡面, 拦截坠落石块的同时为植被生长预留空间, 尤其适配跨流域调水工程的路堑边坡治理。(2) 拦沙坝与谷坊: 在沟道侵蚀严重区域, 拦沙坝通过坝体拦截泥沙形成淤积层, 逐步抬升沟床减缓坡度, 如黄土高原地区的浆砌石拦沙坝可使年泥沙拦截率达85%以上。谷坊多采用木石、混凝土等材料修建于支毛沟, 单级高度1-3米, 通过逐级消能降低水流冲刷力, 配合植被恢复可

有效遏制沟头前进。两类工程需统筹布局,形成“谷坊拦小、坝体拦大”的梯级防护体系<sup>[2]</sup>。(3)排水系统优化:在堤防背坡及渠道两侧布设截水沟与盲沟结合的排水网络,截水沟采用梯形断面收集地表径流,盲沟填充碎石排出土壤孔隙水,降低土体饱和度。库区周边采用生态植草沟替代硬化排水渠,沟内种植狗牙根等耐湿植物,通过植被根系与土壤的过滤作用减少径流含沙量,可使地表径流冲刷强度降低40%以上。

## 2.2 生物措施

(1)植被恢复技术:乡土植物筛选遵循“适地适树”原则,西北干旱区优先选用柠条、梭梭等深根性灌木,其根系深达5米可牢牢固定流沙,还能通过分泌有机酸激活土壤微生物。混交林配置采用“乔木+灌木+草本”立体模式,如南雄红砂岭治理中构建的马尾松-胡枝子-狗牙根群落,植被覆盖度提升23%以上,显著增强坡面抗蚀能力。针对水位波动区,采用“枯水期播种+挺水植物定植”的时序配置,保障植被群落连续性。(2)微生物修复技术:在淹没区退化土壤中施加复合菌剂,包含固氮菌、解磷菌及有机质分解菌,通过微生物代谢改善土壤通气性,促进有机质积累。平罗治沙区应用菌剂后,土壤有机碳储量三年提升15%,形成稳定的“微生物-植物-土壤”循环系统。渠道边坡修复中,将菌剂与种植土混合施用,可使植被成活率提高30%,同时降低土壤侵蚀模数。(3)动物辅助修复:在生态修复区营造灌丛-草地镶嵌的微生境,设置碎石堆与浅凹水坑,为野兔、刺猬等小型哺乳动物提供栖息场所。这些动物的活动可疏松土壤促进水分入渗,其排泄物还能补充土壤养分,配合植被恢复形成良性生态循环。在跨流域调水工程沿线,通过此类栖息地营造,可使土壤动物数量从每平方米数百个增至数千个<sup>[3]</sup>。

## 2.3 农业措施

(1)梯田与等高耕作:梯田通过沿等高线修筑田埂将坡地改造为水平地块,减少坡面径流长度,在25°以下坡地应用可使土壤流失量减少80%以上。等高耕作分为纯横坡耕作与沟垄种植两类,前者适用于3°-10°坡地,后者通过开沟起垄形成蓄水结构,如垄作区田在沟内设置横档防止径流横向流动,可减少地表径流量60%-90%。黑龙江克山站试验表明,横坡耕作比顺坡耕作减少土壤流失量63%-90%,同时提升作物产量43%-50%。(2)覆盖保墒技术:秸秆覆盖采用小麦、玉米秸秆粉碎后平铺地表,厚度保持5-10厘米,可有效拦截雨滴击溅,减少地表蒸发量30%以上。地膜替代技术推广可降解生物地膜,配合“树盘种肥田萝卜”的模式,既能保墒抑草,又能通

过作物根系改良土壤结构,在南雄红砂岭的农用地整理中已实现生态与农业效益双赢。两类技术结合应用可使土壤有机质含量提升0.75-5.4倍,增强土壤抗蚀能力。

## 2.4 联合修复技术

(1)工程-生物耦合修复:植被混凝土护坡技术将水泥、腐殖土、草种按比例混合喷射于边坡,形成具有孔隙结构的硬化层,初期通过工程材料固坡,后期草种萌发穿透表层形成植被覆盖,在堤防迎水面应用可抵御水流淘刷。“草方格+沙结皮”技术则通过麦草方格固定流沙,配合人工接种藻类形成生物结皮,使流动沙地1-2年即可稳定,适配库区周边沙化土地治理。(2)生态廊道构建:沿跨流域调水工程沿线,采用“植被带+透水涵管”的复合廊道设计,植被带选用本土乔灌形成连续植被覆盖,透水涵管连接碎片化栖息地,保障小型动物迁徙与水生生物连通。贺兰山东麓构建的5.8万亩生态廊道,通过“山前降水—植被涵养—地下补给”的水循环模式,使下游黄河水质提升0.5个等级,同时缓解了栖息地破碎化问题。

## 3 水利工程水土保持生态修复技术应用效果评估与优化策略

### 3.1 评估指标体系

(1)生态指标:植被覆盖率以遥感反演的植被指数(NDVI)为核心,结合地面样方调查校准,量化不同修复阶段的地表植被覆盖程度,同时关注植被群落的垂直结构完整性,反映生态系统的立体防护能力。物种多样性采用物种丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数及均匀度指数综合衡量,涵盖植物、土壤动物及水生生物等多个类群,其中本土物种占比需作为关键子指标,评估生态修复的自然适配性。此外,可纳入生态系统连通性指数,表征修复区域与周边自然生境的物质能量交换效率。(2)工程指标:土壤侵蚀模数通过径流场观测与模型反演结合获取,以吨/(平方公里·年)为单位,对比修复前后的侵蚀强度变化,明确工程措施的控蚀效能。护坡稳定性采用边坡安全系数与位移监测数据双重评估,安全系数需结合土体物理性质与植被根系固土效应计算,位移监测则通过自动化设备追踪边坡表层及深层的形变特征。同时,补充工程设施完好率指标,统计拦沙坝、排水系统等构筑物的功能保持状态,反映工程的长期服役能力。(3)社会经济效益:碳汇量基于植被生物量与土壤有机碳储量测算,植被碳汇采用异速生长方程计算不同植被类型的固碳量,土壤碳汇通过分层取样测定有机碳含量并换算储量。农业产值提升以修复区及周边农田的单位面积产量增长率为核心,同时纳入灾害

损失减少量指标,量化工程对农业生产的保障作用。公众满意度可通过问卷调查获取,从生态环境改善、生产生活影响等维度构建评价矩阵。

### 3.2 评估方法

(1) 遥感与GIS技术:采用高分辨率遥感影像(如Sentinel-2、Landsat系列)进行多时序监测,通过归一化植被指数(NDVI)、植被覆盖度(FVC)等指数反演,实现植被恢复进程的空间可视化。借助GIS空间分析功能,叠加土壤侵蚀强度图、土地利用类型图与工程布局图,识别侵蚀热点区域的治理成效。构建“遥感监测-数据解译-动态预警”技术流程,通过设定指标阈值,自动识别修复效果不佳的区域并触发干预提示。(2) 数值模拟:水流侵蚀模拟采用物理分布式模型(如WEPP、SWAT),输入降雨量、土壤质地、地形坡度及植被覆盖等参数,量化不同修复措施下的径流深度、泥沙输移量及侵蚀动力变化。植被生长模型基于光合生理过程与环境因子耦合关系,模拟不同立地条件下植被的生长速率、生物量积累及群落演替趋势,预测长期生态效应。通过模型参数敏感性分析,识别影响修复效果的关键因子,为技术优化提供理论支撑<sup>[4]</sup>。(3) 长期定位观测:在修复区设置典型观测样地,同步建立未修复对照区,构建“空间替代时间”的对比框架。观测内容涵盖水文要素(径流量、泥沙含量)、土壤性质(有机质含量、抗蚀强度)、植被特征(物种组成、生长状况)等,采用自动化监测设备(径流传感器、土壤水分仪等)实现高频数据采集。制定标准化观测规程,统一数据记录格式与采样频率,结合质量控制体系确保数据可靠性,为评估结果提供精准数据支撑。

### 3.3 现存问题与优化方向

(1) 技术适应性不足:针对极端气候下的修复短板,构建“气候韧性评估-技术适配优化”前置机制,结合区域气候特征数据库,预判暴雨、干旱等极端事件对修复措施的影响。研发模块化修复技术体系,如极端降雨区强化排水-固土复合措施,干旱区推广集水-保墒一体化技术,通过材料改性(如耐极端温度的生态袋)

与物种筛选(如耐旱耐涝乡土植物)提升技术抗干扰能力。建立动态调整机制,根据气候监测数据实时优化修复方案。(2) 成本效益平衡:优化初期投入结构,采用“核心区域精细化+外围区域生态化”的差异化设计,降低非关键区域的工程成本。建立全生命周期成本核算体系,将初期建设、中期维护与后期更新的费用纳入综合评估,优先选用耐久性强、维护简便的技术(如微生物菌剂可延长植被恢复周期)。探索生态产品价值实现路径,通过碳汇交易、生态旅游等方式转化生态效益为经济收益,反哺后期维护资金需求。(3) 政策与公众参与机制:完善生态补偿政策,明确补偿标准的量化依据(如碳汇量、侵蚀减少量),建立跨区域补偿协调机制,平衡工程受益区与实施区的利益关系。构建“政府引导+社区主导”的共管模式,将当地居民纳入修复规划、实施与监测环节,开展技术培训提升参与能力。建立信息公开制度,通过数字化平台展示修复成效与资金使用情况,结合激励机制(如生态管护岗位设置)调动公众参与积极性。

### 结束语

水利工程水土保持生态修复技术是缓解工程生态压力、实现可持续发展的有效途径。本文深入剖析其技术体系,涵盖工程、生物、农业及联合修复等多种措施,并构建了多维度的应用效果评估框架。未来,需持续优化技术适应性,平衡成本效益,强化政策引导与公众参与。通过不断创新与实践,推动水利工程与生态环境和谐共生,为区域生态安全与高质量发展筑牢根基。

### 参考文献

- [1]赵金涛.水利工程水土保持中生态修复技术的应用[J].智慧中国,2023,(Z1):98-99.
- [2]李友全.水土保持技术在水利工程建设中的运用探析[J].城市情报,2022(24):95-97.
- [3]王利霞.水土保持措施在水利工程建设中的运用[J].大科技,2020(7):121-122.
- [4]许强.水土保持工作在水利工程建设中的应用分析[J].水电水利,2021,5(7):62-64.