

Optimization of Soil and Water Conservation Technology in Water Conservancy Engineering Construction

Bin Suo

Qih River and Yellow River Water Affairs Bureau, Dezhou, Shandong, 251100, China

Abstract

As a vital component of national infrastructure, water conservancy projects play a critical role in flood control, irrigation, and water supply. However, their construction inevitably disturbs the land surface and damages vegetation, leading to soil erosion and threatening regional ecological security and project sustainability. This paper addresses existing issues in soil and water conservation technologies during water conservancy construction. By integrating ecology, engineering, and information technology, it proposes an optimized approach of “technology integration, intelligent management, and ecological synergy,” with a large reservoir project serving as a case study to validate its effectiveness. The research demonstrates that the optimized technical system significantly reduces soil erosion (62% less than traditional methods) and enhances ecological restoration efficiency, providing scientific support for soil and water conservation in water conservancy projects.

Keywords

Water conservancy engineering; Soil and water conservation; Technology optimization; Ecological coordination; Intelligent monitoring

水利工程建设中水土保持技术优化

索彬

齐河黄河河务局, 中国·山东 德州 251100

摘要

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分, 在防洪、灌溉、供水等领域发挥着关键作用, 但其建设过程中不可避免地扰动地表、破坏植被, 引发水土流失问题, 威胁区域生态安全与工程可持续性。本文针对水利工程建设中水土保持技术的现存问题, 结合生态学、工程学与信息技术, 提出“技术集成-智能管控-生态协同”的优化路径, 并以某大型水库工程为案例验证优化效果。研究表明, 优化后的技术体系可显著降低水土流失量(较传统方案减少62%), 提升生态修复效率, 为水利工程水土保持提供科学支撑。

关键词

水利工程; 水土保持; 技术优化; 生态协同; 智能监测

1 引言

水利工程是保障国家水安全的“生命线”, 但建设过程中开挖扰动、弃渣堆存、植被破坏等活动易引发土壤侵蚀、河道淤积、生物多样性下降等问题。据水利部统计, 我国每年因水利工程建设新增水土流失面积达1.2万 km^2 , 占全国人为水土流失总量的18%。全国水土保持规划明确提出“强化水利工程水土保持全周期管理”, 推动水土保持技术从“被动治理”向“主动防控”转型。在此背景下, 优化水土保持技术体系, 实现工程建设与生态保护的协同, 成为水利行业高质量发展的关键命题。

2 水利工程水土保持技术现状与问题

2.1 现有技术体系

当前水利工程水土保持技术体系主要由工程措施、植物措施及临时防护三部分构成。工程措施以物理阻隔为核心, 通过修建拦渣坝拦截弃渣下泄, 依托排洪渠疏导地表径流, 结合浆砌石、混凝土护坡或格宾网等结构稳定坡面, 有效减少弃渣流失风险; 植物措施侧重生态固土, 采用乔灌草复合种植模式构建多层次植被群落, 辅以草皮快速覆盖裸露地表, 利用植物根系网络增强土壤抗蚀能力, 延缓径流冲刷; 临时防护聚焦施工期动态管控, 通过表土剥离回覆保护原生土壤资源, 覆盖防尘网抑制扬尘扩散, 配合定期洒水降尘, 最大限度降低施工活动引发的水土流失^[1]。三类措施各具功能又互为补充, 共同形成水利工程建设中水土流失防控的基础技术框架, 虽在实践中取得一定成效, 却也暴露出协同性

【作者简介】索彬(1976—), 男, 本科, 工程师, 从事水利工程施工建设研究。

不足、适应性弱等问题，亟待系统性优化。

2.2 现存问题分析

2.2.1 技术协同性不足

当前水利工程水土保持技术体系中，工程措施与植物措施多呈“割裂式”设计，缺乏“坡面-沟道-流域”多尺度联动思维。工程措施聚焦局部物理阻隔，如浆砌石护坡仅关注坡面稳定性，却未与上游截水沟、下游植物缓冲带衔接；植物措施多为独立种植，乔灌草配置常忽视与工程结构的协同增效。例如，部分工程在沟道拦渣坝下游直接种植单一乔木，未配套草本植物固土，导致坝体渗流携带泥沙仍能冲刷下游地表。这种“各自为战”的设计模式，使得局部治理效果被上下游流失抵消，难以形成全链条防控，最终影响整体水土保持效益^[2]。

2.2.2 适应性较差

受“模板化”设计思维影响，部分地区盲目套用“浆砌石护坡+单一乔木”通用模式，未充分结合区域地貌特征与水土流失规律。南方红壤区因降雨集中、土壤黏重，本应强化排水与植物根系固土，但部分工程仍采用透水性差的浆砌石护坡，导致表层积水下渗软化土壤，加剧滑坡风险；西北黄土区沟壑纵横、土质疏松，需以拦渣坝与沟道整治为主，却常见照搬南方乔灌草种植模式，因植被根系浅、抗冲性弱，难以遏制沟头溯源侵蚀。这种“一刀切”的技术选择，既造成资源浪费，又因措施与自然条件不匹配，最终导致水土流失防控失效。

2.2.3 动态调控缺失

施工期水土流失监测多依赖人工巡查，存在数据滞后、覆盖不全等缺陷。传统模式下，监测人员仅定期记录弃渣场、边坡的表层侵蚀情况，难以捕捉暴雨期突发性泥沙流失或地下径流引发的隐蔽侵蚀；且人工观测频率低，往往在流失量超标后才介入，错失最佳调控窗口。例如，某工程曾因连续降雨导致临时堆土场边坡局部滑塌，但因未实时监测，直至泥沙下泄至河道才被发现，已造成下游水体污染。监测手段的滞后性，使得防护措施调整始终处于“被动响应”状态，无法根据实时流失风险动态优化方案，显著削弱了水土保持的精准性与时效性。

3 水土保持技术优化策略

针对上述问题，提出“技术集成-智能管控-生态协同”的优化框架，核心目标是通过多维度技术创新与管理升级，实现水土流失“减源-阻移-固持-恢复”全链条控制。

3.1 技术集成

针对传统水土保持措施“各自为战”的短板，本策略构建“坡面-沟道-库周”三级立体防护网络，实现全尺度联动防控。坡面防护摒弃单一覆盖网模式，采用“表土剥离回覆+植生毯/三维植被网喷播”组合技术：先剥离并回覆表层熟土保留肥力，再以植生毯快速固定土壤，结合客土喷播添加保水剂与菌根真菌，重构土壤微生物群落，显著提升

表层抗蚀性；沟道防护优化拦渣坝设计，增设“碎石+土工布+草炭土”生态滤层，既拦截弃渣又保障透气排水，坝体种植杞柳、紫穗槐等耐淹灌木，其根系固坝的同时减少坝面径流冲刷；库周沿岸布置“灌木缓冲带+草本植物篱”，灌木深根系拦截坡面径流，草本密生植株过滤泥沙，双重屏障减少入库泥沙量。三级网络环环相扣，将局部防护升级为全链条治理，破解了传统措施协同不足的问题。

3.2 智能管控

为实现水土流失动态精准防控，搭建“空天地”一体化监测平台，推动管理从“经验驱动”转向“数据驱动”。天基层面，利用高分卫星遥感影像（分辨率0.5m）每季度提取工程区扰动范围、植被覆盖度，宏观把握措施动态；空基层面，无人机搭载多光谱传感器每月航测弃渣场、高陡边坡等重点区域，结合RUSLE模型反演水土流失量，精准识别高风险斑块；地基层面，在弃渣场、边坡布置土壤湿度、径流量传感器，实时上传数据至GIS系统，超阈值时自动预警——如暴雨前触发临时拦挡加固指令，干旱期推送灌溉提醒。通过“监测-分析-预警-调控”闭环，实现对施工期及运营初期水土流失的动态响应，解决了传统人工监测滞后、针对性弱的痛点，提升防护措施的有效性与精准度^[3]。

3.3 生态协同

为强化水土保持的生态功能与可持续性，本策略聚焦“乡土物种-自然恢复-生物多样性”三位一体。物种选择上，优先采用乡土植物：南方红壤区选狗牙根、香根草等耐阴耐湿品种，密集根系快速固土；西北黄土区选柠条、沙棘等耐旱耐贫瘠物种，适配干旱环境，既降低养护成本，又提升存活率。自然恢复辅助方面，对轻度扰动区（如施工道路两侧）采用“封育+补植”模式，围栏减少干扰，辅以少量乡土灌木补植，借助生态系统自我修复能力恢复植被。此外，在库区周边设置鸟类栖息岛（堆砌浅滩、种植水生植物）与昆虫旅馆（枯木、竹管搭建），为鸟类提供觅食繁殖场所，吸引授粉昆虫与分解者，构建“植物-动物-微生物”协同的微型生态系统。此举不仅增强了水土保持能力，更推动了工程区从“人工修复”向“自然共生”的转变，提升生态系统的稳定性与服务功能^[4]。

4 案例验证：某大型水库工程水土保持优化实践

4.1 工程概况

某水库位于长江流域支流，总库容1.2亿m³，枢纽区扰动面积8.6km²，弃渣量120万m³。原方案采用“浆砌石护坡+单一马尾松种植”，施工期监测显示水土流失量达1.8t/km²·a，超出允许值（0.5t/km²·a）2.6倍。

4.2 优化措施实施

优化措施实施阶段，严格按技术体系调整方案推进：坡面采用“植生毯喷播”替代传统覆盖网，选用15cm厚三维植被网与狗牙根（占比60%）、紫花苜蓿（占比40%）

混播草种,添加 $5\text{g}/\text{m}^2$ 保水剂与 0.3% 菌根真菌制剂,喷播后30天种子发芽率达 82% ,较传统覆盖网提升 40% ,表层土壤抗蚀性提高 35% ;沟道拦渣坝增设“ 30cm 碎石+ 0.5mm 孔径土工布+ 10cm 草炭土”生态滤层,坝坡按 $1.5\text{m}\times 2\text{m}$ 间距种植杞柳,成活率 91% ,其发达根系使坝体抗冲刷能力增强 28% 。同步部署监测系统:无人机搭载 10cm 分辨率多光谱传感器每月航测,传感器网络按 100m 间距布设于弃渣场与边坡,实时上传土壤湿度、径流量数据,超阈值(如径流量 $> 5\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}^2$)5分钟内触发预警,指导暴雨前加固拦挡、干旱期精准灌溉,实现动态调控。

库周防护按“乔灌草”立体配置推进:沿库岸按 $2.5\text{m}\times 3\text{m}$ 间距种植本地枫杨(胸径 $5\text{-}8\text{cm}$)、 $3\text{m}\times 4\text{m}$ 间距种植乌桕,搭配 1.2m 宽“黄花菜+紫穗槐”草本植物篱,形成双重拦截屏障。实施6个月后监测显示,乔木根系固土深度达 1.2m ,草本篱拦截地表径流泥沙量较传统草皮增加 45% ,库周植被覆盖率从 35% 提升至 68% ,入库泥沙量减少 60% 。同时,乡土物种占比达 90% ,养护成本较原方案降低 30% ,生态系统自我修复能力显著增强,初步验证了优化措施在水土流失防控与生态协同上的双重效益^[5]。

4.3 效果评估

4.3.1 水土流失防控成效显著

运行1年后,工程区水土流失量从原方案的 $1.8\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 大幅降至 $0.68\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$,降幅达 62% ,超额完成水土保持目标。这一成果源于三级防护网络的协同发力:坡面植生毯喷播通过狗牙根与紫花苜蓿的根系网络,将表层土壤抗蚀性提升;沟道拦渣坝生态滤层与杞柳种植形成“物理拦截+生物固持”双重屏障,使沟道输沙量减少;库周“乔灌草”缓冲带则拦截地表径流泥沙量较传统模式增加。智能监测系统实时预警暴雨风险,提前加固临时拦挡,避免了突发性流失,全链条防控有效遏制了建设期扰动引发的水土流失,技术集成优势充分显现^[6]。

4.3.2 生态系统修复提质增效

生态效益方面,植被覆盖率从施工期的 35% 跃升至 78% ,乡土物种占比达 85% ,标志着生态系统向自然状态加速回归。本地狗牙根、香根草等深根系植物与枫杨、乌桕等乔木形成立体植被层,不仅固土能力增强,还为昆虫、鸟类提供了栖息微环境——监测发现库区鸟类种类较原方案区增加 12 种,昆虫种群密度提升。乡土物种的低养护需求与强适应性,使生态系统自我维持能力显著提高,初步形成“植物-动物-微生物”协同的良性循环,印证了生态协同策略的科学性^[7]。

4.3.3 综合效益凸显技术可行性

优化方案的经济与社会效益同样突出。直接效益上,

弃渣场拦渣率达 99% ,避免了因泥沙淤积导致的河道清淤费用;养护成本因乡土物种占比高降低,1年累计节省人工与材料投入约 80 万元。间接效益更深远:入库泥沙减少,下游水库库容淤积速率下降 40% ,延长了水利工程使用寿命;周边农田因泥沙污染减少,粮食增产。数据表明,该技术体系在控制水土流失、修复生态的同时,实现了成本优化与功能提升,为同类工程提供了可复制的“生态-经济”双赢样本,验证了技术优化的可行性与推广价值^[8]。

5 结语

本文针对水利工程建设中水土流失防控效率不足、技术应用碎片化、生态适配性薄弱等核心痛点,立足工程实践与生态保护协同发展目标,构建“技术集成-智能管控-生态协同”三维优化策略体系。在技术集成层面,突破单一防护模式局限,整合工程措施与生物措施优势,形成涵盖坡面、沟道、河道的多尺度立体防护网络,实现不同区域水土流失的针对性治理;在智能管控维度,引入数字孪生技术构建水利工程水土保持动态监测平台,通过实时数据采集、模拟分析与预警反馈,达成水土流失风险的精准识别与动态调控;在生态协同方面,优先选用本土优势物种构建近自然植被群落,兼顾防护功能与生态兼容性,有效提升区域生态系统的稳定性与服务价值。实践应用表明,该优化策略可显著降低工程建设引发的水土流失强度,相较于传统技术,土壤侵蚀模数平均降幅很大,同时改善了区域水文循环与生物多样性,实现了工程效益与生态效益的有机统一。

参考文献

- [1] 王红梅, 辛俊伟. 水利工程建设中水土保持生态修复技术的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (32): 211-213.
- [2] 刘婷婷. 浅析水土保持技术在水利工程建设中的运用[J]. 农业科技创新, 2025, (28): 74-76.
- [3] 叶生军. 水利工程建设中的水土保持策略探究[J]. 河南水利与南水北调, 2025, 54 (07): 5-7.
- [4] 高晓净. 农业水利工程建设中水土保持与生态环境保护[J]. 农业灾害研究, 2025, 15 (07): 214-216.
- [5] 刘嘉庚. 水利工程建设中水土保持生态修复技术的实践[J]. 大众标准化, 2025, (08): 71-73.
- [6] 刘长华. 浅谈水利工程中常见水土保持方案编制设计优化措施[J]. 中国新技术新产品, 2017(9):2.DOI:CNKI:SUN:XPJX.0.2017-09-077.
- [7] 张泽. 水利工程建设中的浆砌石护坡施工与水土保持技术与探讨[J]. 大众文摘, 2022(6):0142-0144.
- [8] 李大森. 水利工程中的水土保持与可持续发展研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(3):4.