

# 生态修复技术在水利工程水土保持中的应用分析

吴治国

岳阳天泽建设监理有限公司, 湖南岳阳, 414100;

**摘要:** 水利工程建设水土保持是生态环境保护的关键环节, 黄河流域陇东黄土丘陵土石山区地形破碎, 水土流失剧烈, 植被覆盖率低, 传统治理措施效果受限。本文聚焦生态修复技术在该类区域水利工程水土保持中的应用, 阐述坡面修复、沟道治理、径流调控及耕作优化核心技术, 分析“工程-生物-耕作”协同体系的构建与实践, 探究技术应用的生态与经济成效。合理应用生态修复技术可降低土壤侵蚀, 提升植被覆盖度, 实现生态保护与经济发展协同推进。研究为水利工程水土保持生态修复提供实践参考, 助力区域生态安全与可持续发展。

**关键词:** 水利工程; 水土保持; 生态修复技术; 协同应用; 可持续发展

**DOI:** 10.69979/3029-2727.26.03.046

## 引言

随着生态环境保护重视度提升, 水利工程建设中水土保持问题已制约区域可持续发展。部分流域地形地貌复杂、降水分布不均, 叠加人类活动影响, 水土流失问题突出, 破坏生态平衡, 威胁农业生产与区域安全。传统治理措施成本高、协同性弱、见效慢, 难以满足生态修复综合需求。探索高效适配的生态修复技术体系, 破解水利工程水土保持生态经济协同发展难题, 已成当前研究重要方向。本文分析生态修复技术在水利工程水土保持中的应用, 总结实践经验与成效, 为同类区域生态治理提供科学依据与实践指导。

## 1 水利工程水土保持面临的突出问题

### 1.1 地形与土壤条件制约

黄河流域陇东黄土丘陵土石山区部分水利工程区域, 地形破碎突出, 沟壑密度  $1.84\text{km}/\text{km}^2$ , 纵横沟壑割裂地表完整性。黄土覆盖层多不足  $3\text{m}$ , 浅薄土层无法支撑稳固地表结构, 边坡稳定性极差, 坡面土体易外力松动, 暴雨季强降雨冲刷浸润易引发崩塌、滑坡等地质灾害, 破坏生态环境, 威胁水利设施安全。区域土壤以灰褐土、黄绵土为主, 颗粒松散抗冲性弱, 有机质含量  $0.8\%$ , 低于  $1.5\%$ 健康土壤标准, 肥力极度匮乏, 进一步削弱土壤抗侵蚀能力<sup>[1]</sup>。恶劣地形与贫瘠土壤交织形成叠加效应, 构成水土保持天然物理与生态障碍, 加剧水土流失风险, 后续治理需同步应对地形修复、土壤改良等多重难题, 提升治理技术复杂度与实施难度。

### 1.2 降水分布不均引发侵蚀

不少水利工程所在流域属温带湿润气候, 降水年内分配极不均衡,  $6\sim 9$ 月降水量占全年总量  $70\%$ , 且降水多以短时、高强度暴雨形式集中出现。集中性强降雨短时间内汇聚成强大地表径流, 冲刷力极强, 直接裹挟大量土壤颗粒使其流失, 同时持续冲击沟道底部, 加速沟道下切进程。部分区域沟道下切速率已达  $1.2\text{m}/\text{年}$ , 超出  $0.5\text{m}/\text{年}$ 安全阈值  $1.4$ 倍。持续暴雨侵蚀破坏地物完整性, 瓦解区域生态系统内在稳定性, 威胁水利设施结构安全与长期运行, 干扰周边农业生产正常节律, 对生态环境可持续发展造成严重且难以逆转的深远影响, 令区域生态与生产平衡状态持续承压。

### 1.3 植被覆盖程度偏低

部分水利工程治理区植被覆盖率  $21.2\%$ , 低于区域生态安全临界阈值, 生态系统天然防护功能薄弱。植被覆盖有限, 降水截留、地表径流减缓、土壤固持等生态作用受限, 无法有效拦截雨水削弱冲刷力, 难以减缓径流流速降低携沙能力, 也不能通过根系网络稳固土壤颗粒, 无法形成结构完整、功能有效的生态防护屏障<sup>[2]</sup>。缺乏充足植被保护, 地表径流冲刷土壤无阻碍, 大量肥沃表层土壤随径流流失。表层土壤流失导致土壤肥力持续下降, 养分供给不足制约新植被萌发与生长, 形成植被覆盖率低—水土流失加剧—土壤肥力衰退—植被生长受阻—植被覆盖率进一步降低的恶性生态循环。恶性循环持续恶化区域生态环境, 弱化生态系统自我修复能力, 制约水土保持治理成效, 治理措施难以形成长效稳固效果, 已修复区域易再次侵蚀, 令生态修复陷入治理—受损—再治理—再受损的困境, 无法实现根本性突破。

## 1.4 传统治理措施存在局限

水利工程水土保持传统治理中,单一工程措施缺陷凸显。这类措施依赖硬质设施建设,前期投入与后期维护成本高昂,与生态环境协同适配性不足,仅能通过物理结构短期拦截泥沙,无法改善区域生态本底,难以实现长期稳定水土保持效果,设施老化或遭遇强降雨时易出现二次侵蚀,导致治理成果流失。单纯生物措施在区域干旱、土壤贫瘠等恶劣生境下同样面临困境,幼苗成活率偏低,植被生长周期长、生态效益见效慢,难以短期内遏制剧烈水土流失,无法及时缓解生态恶化压力。两种措施单独应用均难以兼顾生态与经济效益,工程措施快速固土却忽视生态系统自然修复改善,生物措施聚焦生态长期恢复却无法短期内带来实际经济回报,难以调动群众参与积极性。单一化治理模式已无法满足水利工程水土保持“生态稳固、经济可行、长效可持续”的综合需求,亟需构建工程、生物、耕作等多技术融合的多元协同体系,形成高效稳定创新治理方案,破解当前治理困境。

## 2 生态修复技术在水土保持中的应用实践

### 2.1 坡面生态修复技术应用

水利工程治理区依不同坡度地形特征,实施精准差异化坡面生态修复方案,确保治理措施与地形适配<sup>[3]</sup>。15°~25°缓坡区域修筑田面宽2m、坎高1.5m反坡梯田,阶梯式地形改造构建层层拦截径流调控体系,减缓地表径流流速,削减坡面冲刷力度;梯田内种植根系深2m紫花苜蓿,发达直根系深入土层,强化土壤固持能力,巩固梯田结构稳定性,工程与生物措施结合减少土壤流失。25°以上陡坡区域采用鱼鳞坑整地技术,品字形布局坑位避免雨水汇集冲刷,栽植油松与沙棘混交林形成乔灌立体防护结构。油松凭借粗壮深扎根系固定坡体,沙棘通过茂密灌丛截留降水,二者协同提升陡坡抗侵蚀稳定性。土壤改良环节创新采用生物炭与保水剂联合施用技术,生物炭增加土壤孔隙度、改善通气性,提升有机质含量补充养分;保水剂吸附锁住水分,减少蒸发增强持水保墒能力。二者功能互补协同,形成固土-保水-培肥复合修复模式,全面改善坡面土壤理化性质与生态环境,为植被生长提供良好基础。

### 2.2 沟道综合治理技术实施

遵循“源头控制-中部稳定-尾部拦截”治理思路,

针对沟道不同部位开展治理,构建全方位沟道防护体系。侵蚀沟头每20m布设柳桩谷坊,依托柳桩与卵石填充形成柔性拦沙屏障,单座谷坊可拦截泥沙约50m<sup>3</sup>,沟头周边同步栽植柞柳与芦苇,借助植物根系固着作用,有效遏制沟头前进。针对沟床下切问题,按3m高差分级修建混凝土跌水,跌水底部采用抛石固脚,并在沟床两侧种植葛藤,利用其攀援特性稳固边坡;对滑塌沟坡采用0.8m厚格宾石笼护坡,同步实施挂网喷播技术,按高羊茅:冰草=7:3的比例播种耐旱草种,形成“工程固坡+生物覆被”的双重防护结构。全面提升沟道的抗侵蚀能力,有效解决沟道侵蚀问题。见图1。



图1: 沟道治理示意图

### 2.3 暴雨径流调控技术运用

应对集中暴雨引发的高强度径流冲刷,构建“截-蓄-用”一体化暴雨径流管理体系,规划布局实现雨水资源收集、净化、利用全流程管控与循环高效利用<sup>[4]</sup>。坡体沿等高线布设雨水拦截沟,按坡面汇流特性优化沟道走向与密度,将坡面雨水快速引入道路两侧沉沙池,经重力沉降过滤泥沙,去除土壤颗粒杂质后,依需求引入河道或其他蓄水设施,避免泥沙淤积导致设施堵塞与环境影响。政策与技术引导下,鼓励居民在生活区域及农田周边修建蓄水池,收集屋面、庭院、田间地表雨水,形成分布式蓄水网络,源头避免雨水无序流失与漫流冲刷。体系从上拦截、中疏导、下蓄积协同发力,削减地表径流峰值,降低冲刷强度,遏制水土流失加剧;净化后雨水用于农田灌溉、居民生活杂用,最大化循环利用,提高区域水资源利用效率,缓解干旱季节供需矛盾,达成生态保护与资源高效利用双赢。

### 2.4 水土保持耕作技术推广

推广适配区域生态与生产条件的水土保持耕作技术,从农业生产关键环节构建源头防控水土流失的生态种植体系。核心推行等高耕作,有坡度耕地上沿等高线

耕翻、播种及田间管理,确保耕作方向与坡面径流垂直,科学布局形成密集小型拦截带,减缓径流流速,分散径流能量,降低对表层土壤冲刷强度,从耕作布局阻断水土流失路径。广泛推行玉米与豆类作物间作套种,利用不同作物生长周期、株型高度及根系分布差异,实现田间地表全覆盖,避免裸露地表直接受雨水冲刷;作物根系在土壤中深浅交错穿插,增强土壤团粒结构稳定性,提升地表整体抗蚀能力,实现种植效益与生态防护有机结合。农作物收获后全面实施根茬留田,作物根茬完整留存地表形成天然生态覆盖层,减少地表水分蒸发保墒,阻挡雨水直接冲击土壤;根茬自然腐烂后持续补充土壤有机质,优化土壤理化性质与肥力,保护土壤减少水土流失的同时提升土地长期产出率,实现生态保护与农业生产双赢。

### 3 生态修复技术应用成效与优化方向

表 1: 生态修复前后核心生态指标对比表

监测指标	治理前数据	治理后数据	变化幅度/关键说明
土壤侵蚀模数	2556t/km <sup>2</sup> ·a	892t/km <sup>2</sup> ·a	降幅 65.1%
沟道稳定系数	0.62	0.89	提升 0.27
沟道下切速率	1.2m/年	0.3m/年	降至安全阈值(0.5m/年)以下
边坡坍塌频率	-	-	减少 80%
植被覆盖度	21.2%	38.7%	增幅 82.5%
乔木层郁闭度	-	0.4	-
灌木层覆盖度	-	55%	-

#### 3.2 经济效益同步实现

生态修复依托区域自然条件与资源禀赋,规划种植核桃、黄花菜等兼具生态适应性与经济价值的作物,推广“生态林+特色种养”复合发展模式,衔接生态防护与产业培育<sup>[5]</sup>。优化作物布局、改进种植技术,提升土地利用效率与单位面积产出效益,核桃亩产显著提升,黄花菜产量稳步增收。生态修复与经济发展协同推进,当地居民参与生态保护获得切实经济收益,感受生态改善带来的生活品质提升,激发主动参与水土保持的积极性。全民参与氛围为生态修复工程持续推进筑牢群众基础,生态保护与经济发展相辅相成的共赢模式,为同类生态脆弱区域综合治理提供可复制推广的经济发展路径。

#### 3.3 技术体系不断完善

“工程-生物-耕作”协同生态修复技术体系突破传统单一措施局限,实现工程固土、生物覆被、耕作保墒协同增效。柳桩谷坊以 20m 间距布设于侵蚀沟头,单座拦截泥沙约 50m<sup>3</sup>,配合沟头怪柳种植,沟头前进速

#### 3.1 生态效益显著提升

坡面修复、沟道治理、径流调控与耕作优化等生态修复技术系统整合应用,区域严重土壤侵蚀得到根本遏制。治理前土壤侵蚀模数 2556t/km<sup>2</sup>·a,经治理降至 892t/km<sup>2</sup>·a,降幅 65.1%,印证“拦沙-固土-植被覆盖”复合技术链削弱侵蚀动力、阻断侵蚀路径的核心作用。沟道生态稳定性显著增强,稳定系数从 0.62 提升至 0.89,下切速率从 1.2m/年降至 0.3m/年,低于 0.5m/年安全阈值,边坡坍塌频率减少 80%,化解沟道侵蚀引发的生态风险。植被生态系统全面恢复,覆盖度从 21.2%提升至 38.7%,增幅 82.5%,乔木层郁闭度 0.4,灌木层覆盖度 55%,形成结构完整、功能稳定的“乔-灌-草”立体生态防护屏障,生态系统降水截留、土壤固持等防护功能增强,区域生态环境持续改善,受损生态平衡逐步恢复。见表 1。

率降低 70%以上;15°~25°坡面反坡梯田形成“阶梯式截流网络”,拦蓄坡面径流,减少泥沙下泄。梯田田埂紫花苜蓿单株年固土量 15kg,与 25°以上陡坡鱼鳞坑内油松-沙棘混交林构成“地上植被截留降水-地下根系固持土壤”双层防护。采用免耕播种结合等高垄作,地表扰动强度降低 30%以上,配合生物炭与保水剂施用,土壤含水率提升 2.3 个百分点,耕作层有机质含量年增幅 0.2%。本土物种优选与群落结构优化提升技术体系适应性与稳定性,形成适配特定区域水利工程水土保持的成熟技术模式。

#### 3.4 未来发展持续优化

生态修复技术应用需引入先进智能监测手段,构建卫星遥感、无人机航拍与地面监测站联动的立体化监测网络。卫星遥感捕捉大范围生态信息,无人机航拍采集重点区域精细化数据,地面监测站通过高精度传感器实时收集水土状况、暴雨径流等关键指标,经数据整合分析实现风险动态监测与精准预警,提升治理精准性与时效性。挖掘本土物种多元价值,兼顾生态功能与经济潜力,优化“乔-灌-草”植被配置与群落结构,释放本土

物种固土防蚀、涵养水源、提升土壤肥力的天然优势。建立多元化生态补偿机制,明确各方责任权益,强化政府、企业、群众等主体协同联动,凝聚治理合力,保障生态修复工程长期稳定推进,推动区域生态环境与经济社会高质量可持续发展。

#### 4 结语

生态修复技术在水利工程水土保持中的作用不可替代,坡面修复、沟道治理、径流调控、耕作优化等技术综合应用,解决区域水土流失难题,实现生态与经济效益双赢。技术体系完善与实践经验积累为水利工程水土保持提供支撑。未来,智能技术融入、本土物种价值挖掘及生态补偿机制完善将推动生态修复向更高质量、更可持续方向发展,为维护区域生态安全、促进经济社会可持续发展注入持久动力。

#### 参考文献

- [1]张雷. 水利工程建设中水土保持生态修复技术的实践[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (33): 199-201.
- [2]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.
- [3]陈海波. 水利工程建设中水土保持生态修复技术探讨[J]. 生态与资源, 2025, (10): 97-99.
- [4]余曙玉. 生态修复在水利水电工程水土保持中的应用[J]. 农业灾害研究, 2025, 15(07): 202-204.
- [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.

作者简介: 吴治国, 男, 1977年9月14日生, 汉族, 湖南岳阳人, 工程师, 主要研究水利工程。