

水利工程水土保持生态修复研究

刘 琪

佳县水土保持预防监督站 陕西 榆林 719000

摘 要：水利工程水土保持生态修复研究聚焦于缓解工程建设引发的水土流失与生态破坏问题。研究通过工程措施（如坡面防护、沟道整治）、生物措施（植被恢复、土壤改良）及农业管理措施（等高耕作、生态沟渠建设）等综合技术体系，有效控制水土流失，提升生态系统稳定性。结合智能监测与预警技术，实现动态评估与管理，为水利工程的可持续发展及生态环境保护提供科学支撑。

关键词：水利工程；水土保持；生态修复

引言：水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，在防洪、灌溉、发电等方面发挥着关键作用。然而，工程建设与运营过程中引发的水土流失、生态系统退化等问题日益凸显，对区域生态安全与可持续发展构成威胁。因此，开展水利工程水土保持生态修复研究，通过科学规划与技术应用实现生态保护与工程效益的协同提升，已成为当前环境管理与资源保护领域的重要课题。

1 水利工程水土流失成因与影响分析

1.1 水土流失驱动因素

（1）自然因素。地形方面，水利工程常建于山地、丘陵区，坡地占比高且坡度陡峭，地表径流流速快，易冲刷土壤引发流失；降水上，工程区域多存在暴雨集中现象，短时强降雨冲击力强，破坏地表植被与土壤结构，加剧水土流失；土壤类型上，若区域土壤以砂质土为主，黏结性差、抗蚀能力弱，在自然力作用下易被侵蚀。（2）人为因素。施工扰动是重要诱因，工程开挖、填筑等作业破坏地表植被与土壤层，使土壤裸露，失去保护的土壤易受水流冲刷；库区淹没导致周边土地被水浸泡，土壤结构改变，抗冲性下降，且水位涨落会反复冲刷库岸；移民安置过程中，新建居民点、道路等基础设施建设，会占用和破坏土地，引发新的水土流失。

1.2 水利工程典型生态问题

（1）库岸失稳与滑坡。水库蓄水后，库岸土体含水量增加，重量增大，抗剪强度降低，加之水位周期性变动，库岸岩土体易发生变形，引发失稳与滑坡灾害，威胁工程安全与周边居民生命财产安全。（2）河道断流与生物栖息地破碎化。部分水利工程截流导致下游河道水量减少甚至断流，原有河流生态系统被破坏；同时，工程建设分割河流廊道，使水生生物栖息地破碎，阻碍生物迁徙，导致生物多样性下降。（3）农业面源污染加剧。水利工程影响区域水文情势，改变农田排水条件，加之

农业生产中化肥、农药的使用，污染物易随地表径流进入水体，加剧农业面源污染，影响水质。

1.3 生态-经济-社会复合影响

（1）生态系统服务功能退化。水土流失导致土壤肥力下降，植被覆盖率降低，水源涵养能力减弱，无法有效截留降水、补充地下水；同时土壤保持功能退化，加剧土地退化，破坏生态系统平衡。（2）农业减产与居民生计风险。土壤肥力衰退使农作物生长受影响，导致农业减产，农民收入减少；部分区域因水土流失引发土地沙化、石漠化，可耕种土地面积减少，居民失去主要生产资料，生计面临风险。（3）区域气候调节能力下降。植被破坏导致区域蒸腾作用减弱，空气湿度降低，调节气候的能力下降，可能引发局部气候异常，如降水分布不均、气温波动变大等，影响区域生态与人类生产生活^[1]。

2 水利工程水土保持生态修复技术体系

2.1 工程措施

（1）坡面治理。挡土墙通过混凝土、浆砌石等材料构建，依托自身结构强度抵抗坡面土体侧向压力，防止边坡坍塌，适用于坡度较陡、土体稳定性差的区域；截流沟沿坡面等高线布置，能有效拦截坡面径流，减少雨水对坡面土壤的冲刷，同时将水流引入指定排水系统，避免径流漫流引发水土流失；水平阶则通过沿坡面开挖横向台阶，改变坡面坡度，减缓地表径流速度，增加雨水下渗量，还可在台阶上种植植被，进一步增强水土保持效果，多用于山地、丘陵区的坡面治理。（2）沟道整治。谷坊多修建于小流域沟道上游，采用土石、混凝土等材料筑坝，能拦截沟道内的泥沙，减缓沟道侵蚀速度，抬高沟床，防止沟岸扩张；淤地坝规模大于谷坊，兼具拦沙、淤地功能，可在沟道内形成肥沃的耕地，改善当地农业生产条件，同时减少泥沙进入下游河道；生态护岸结合传统护岸与生态理念，采用石笼、植草混凝土等

材料,在稳固岸坡的同时,为水生生物提供栖息空间,维持河道生态系统的完整性^[2]。(3)库区消落带治理。生态浮床以水生植物为核心,通过浮体将植物固定于库区消落带水面,植物根系可吸收水体中的氮、磷等营养物质,净化水质,同时减缓波浪对消落带土壤的冲刷;人工湿地则利用湿地植物、微生物和基质的协同作用,对库区消落带周边的污水进行净化,降低污染物入湖库量,还能鸟类、两栖类等生物提供栖息地,改善消落带生态环境。

2.2 生物措施

(1)植被恢复。乡土树种选择遵循“适地适树”原则,挑选在工程区域自然分布、适应性强的树种,如杨树、柳树等,降低种植成本与管护难度;混交林配置通过将乔木、灌木、草本植物科学搭配,构建多层次的植被群落,提升植被覆盖率,增强植被对土壤的固定作用和对雨水的截留能力,同时提高生态系统的稳定性与生物多样性。(2)微生物修复。菌根技术利用菌根真菌与植物根系形成的共生关系,扩大植物根系吸收范围,提高植物对土壤中水分和养分的吸收效率,增强植物抗逆性,促进植被生长;土壤改良剂则通过向退化土壤中添加微生物制剂、有机物料等,改善土壤理化性质,增加土壤有机质含量,提高土壤通气性和保水性,为微生物活动和植物生长创造良好条件。(3)动物群落重建。针对水利工程区域动物栖息地破坏问题,通过营造两栖类适宜的水域、植被环境,如修建浅水区、种植水生植物,为蛙类、蟾蜍等提供繁殖与栖息场所;为鸟类营造觅食、筑巢环境,如种植浆果类植物、设置人工鸟巢,吸引鸟类栖息,通过动物群落的重建,促进生态系统物质循环与能量流动,提升生态系统完整性。

2.3 农业管理措施

(1)等高耕作与免耕覆盖。等高耕作沿等高线方向进行耕作,形成一道道横向的垄沟,有效减缓地表径流速度,增加雨水下渗,减少土壤冲刷;免耕覆盖则避免频繁翻耕土壤,通过保留作物残茬或覆盖秸秆、地膜等,保护土壤表层结构,减少土壤裸露,降低水土流失风险,同时增加土壤有机质积累,改善土壤肥力。(2)生态沟渠与缓冲带建设。生态沟渠在传统沟渠基础上,通过种植水生植物、铺设透水材料等方式,增强沟渠对农田排水中氮、磷等污染物的拦截与净化能力,减少农业面源污染;缓冲带建设在农田与水体之间设置植被带,利用植被的截留、过滤作用,阻挡农田地表径流携带的泥沙和污染物进入水体,保护水体环境。(3)有机肥替代与精准灌溉。有机肥替代部分化肥,可减少化肥使用量,

降低因化肥流失引发的农业面源污染,同时增加土壤有机质含量,改善土壤结构;精准灌溉通过采用滴灌、喷灌等先进灌溉技术,根据作物生长需求精准供给水分,避免大水漫灌造成的水资源浪费和土壤冲刷,提高水资源利用效率^[3]。

2.4 智能监测与预警技术

(1)无人机遥感监测。利用无人机搭载高清相机、多光谱传感器等设备,对水利工程水土保持区域进行定期航拍,获取高分辨率的地表影像数据,通过图像处理与分析,快速掌握区域植被覆盖度、土壤侵蚀程度、工程措施完好情况等信息,监测范围广、效率高,能及时发现水土流失隐患。(2)物联网传感器网络。在工程区域布设土壤水分传感器、土壤侵蚀传感器、水位传感器等多种物联网设备,实时采集土壤含水量、土壤侵蚀量、河道水位等数据,通过无线通信技术将数据传输至监测平台,实现对水土保持关键指标的实时监测,为生态修复效果评估和水土流失预警提供数据支撑。(3)大数据驱动的动态评估模型。整合无人机遥感监测、物联网传感器网络获取的监测数据,以及气象、地形、土壤等基础数据,利用大数据分析技术构建动态评估模型,对水利工程区域的水土流失风险、生态修复效果进行动态评估与预测,当模型监测到水土流失风险超过阈值时,及时发出预警信息,为水土保持决策提供科学依据,提升水土保持管理的精准性与时效性。

3 水利工程水土保持生态修复效益评估与优化策略

3.1 效益评估指标体系

(1)生态指标。植被覆盖率是核心指标之一,通过遥感监测或实地样方调查,计算工程区域内植被覆盖面积占总土地面积的比例,直观反映生态修复中植被恢复成效,覆盖率提升意味着土壤固持能力、水源涵养能力增强;土壤侵蚀模数通过径流小区观测、土壤采样分析等方式获取,单位为吨/(平方公里·年),该指标直接体现水土流失治理效果,模数降低表明土壤侵蚀强度减弱,生态系统抗干扰能力提升,二者共同构成生态效益评估的基础框架。(2)经济指标。修复成本涵盖工程措施(如挡土墙、谷坊建设)、生物措施(如苗木采购、微生物制剂投放)、监测技术(如传感器布设、无人机巡检)等全流程投入,需按年度或修复周期核算,为成本控制与资金分配提供依据;农业产值增量聚焦修复后农业生产条件改善带来的经济收益,如土壤肥力提升使粮食亩产量增加、生态沟渠减少污染导致经济作物品质提高,通过对比修复前后农业产值变化,量化生态修复对区域经济的带动作用,平衡生态投入与经济回报。(3)社会

指标。居民满意度通过问卷调查、访谈等方式收集,从生活环境改善(如水质提升、灾害减少)、生产条件优化(如耕地质量提高、灌溉便利)、生态认知提升等维度设计评价量表,满意度高低直接反映修复工程是否契合居民需求;政策响应度则评估政府、企业、社区对水土保持政策的执行与配合情况,如生态修复项目参与率、政策宣传知晓率等,体现社会层面对生态修复工作的支持程度,为后续政策调整提供参考。

3.2 多目标优化模型

(1) 成本-效益分析(CBA)。将生态修复的全周期成本与综合效益(生态、经济、社会)进行量化对比,通过计算效益成本比(BCR)判断项目可行性,若 $BCR > 1$,表明项目效益大于成本。在模型应用中,需将非货币化的生态效益(如土壤保持价值、生物多样性提升价值)通过影子价格法、替代成本法等转化为经济价值,同时考虑资金时间价值,采用净现值(NPV)、内部收益率(IRR)等指标,实现成本与效益的动态平衡,为项目决策提供科学依据,避免单纯追求生态效益而忽视经济可行性^[4]。(2) 生态安全阈值约束。基于区域生态系统承载能力,设定关键生态指标的安全阈值,如植被覆盖率需不低于60%、土壤侵蚀模数需控制在500吨/(平方公里·年)以内,将其作为多目标优化的硬性约束条件。在模型运算中,若优化方案突破生态安全阈值,即使经济效益较高也需重新调整,例如在成本控制过程中,不得因削减植被恢复投入导致覆盖率低于阈值,确保生态修复始终以保障生态安全为前提,实现生态、经济、社会目标的协同优化。

3.3 适应性管理策略

(1) 分阶段修复。施工期重点实施应急措施,针对工程开挖、库区淹没等引发的急性水土流失,快速布设截流沟、临时挡土墙等,控制水土流失扩散,同时开展表层土壤剥离与保存,为后续植被恢复奠定基础;运营期转向长期维护,定期检修沟道整治工程(如清淤谷坊、加固生态护岸),补植退化植被,监测消落带生态变化,根据季节差异调整管理重点(如汛期加强库岸稳定性监测、

旱季强化植被灌溉),实现修复效果的持续巩固。(2) 参与式管理。构建政府-企业-社区协同机制:政府负责政策制定、资金统筹与监督考核,明确修复目标与责任分工;企业发挥技术与资源优势,提供生态修复技术支持、设备供应与工程建设服务;社区组织居民参与修复方案设计、现场施工监督与后期维护,如鼓励居民参与植被种植、沟渠清理,通过“村民议事会”收集意见,提升居民主人翁意识,形成多方联动、权责明晰的管理格局,避免“政府单打独斗”导致的管理效率低下问题。(3) 政策建议。建立生态补偿机制,对因生态修复导致生产生活受影响的区域(如移民安置区、农田占用区)给予经济补偿,或通过生态产品价值实现机制(如碳汇交易、生态旅游收益分配),让居民共享修复成果;引入绿色金融支持,鼓励银行推出生态修复专项贷款,降低企业、合作社参与修复项目的融资成本,同时设立水土保持生态基金,引导社会资本投入,解决修复项目资金短缺问题,为生态修复工作提供长期政策保障。

结束语

水利工程水土保持生态修复研究,是平衡工程建设与生态保护的关键路径。通过系统构建工程、生物、管理协同的技术体系,结合智能监测与动态预警手段,有效遏制了水土流失,恢复了区域生态功能。未来,需持续深化多学科融合创新,完善政策激励机制,推动修复技术标准化与规模化应用,为构建人水和谐的绿色水利基础设施、实现生态可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]长文辉.水利工程水土保持生态修复技术研究[J].工程建设与设计,2021,(04):39-40.
- [2]王华.水利工程水土保持生态修复实践研究[J].价值工程,2022,(17):156-157.
- [3]冷继林.水利工程水土保持中生态修复技术的运用分析[J].产城:上半月,2023,(20):199-201.
- [4]解团结.水利工程水土保持生态修复实践研究[J].建筑·建材·装饰,2023,(12):112-114.