

水利工程建设中水土保持生态修复技术探讨

倪天融

常熟市滨江城市建设经营投资有限责任公司 江苏 苏州 215500

摘要:水利工程建设易扰动地表地貌,引发水力、重力及人为复合侵蚀,造成水土资源流失、行洪风险加剧与生态系统退化等问题,制约工程长效运行。本文立足生态恢复、土壤侵蚀防控等基础理论,系统梳理工程、植物及综合生态修复核心技术,剖析技术适配不足、管控薄弱、监测缺失等现存问题,从技术优化、全流程管控、制度人才建设多维度提出优化策略,为水利工程水土保持生态修复提质增效提供参考。

关键词:水利工程建设;水土保持;生态修复技术

引言:水利工程是水资源调配、防洪减灾的重要基础设施,但其施工建设会大规模扰动地表土体、破坏原生植被,诱发严重的水土流失与生态破损问题。当前水利工程水土保持工作愈发重视生态化、系统化治理,传统单一工程防护模式已难以适配新时期生态修复需求。基于此,本文结合工程水土流失特征与生态修复基本原则,探究各类生态修复技术的适配应用路径,剖析现存短板并制定优化保障措施,助力工程建设与生态保护协同发展。

1 水利工程水土流失特征与生态修复基础理论

1.1 水利工程水土流失类型与特征

(1) 主要类型:以水力侵蚀、重力侵蚀和人为扰动侵蚀为主导。水力侵蚀包括降雨溅蚀、坡面径流冲刷及沟道下切;重力侵蚀表现为开挖边坡失稳、填方体滑移及崩塌;人为扰动侵蚀涉及场地平整、基础开挖、料场取土和弃渣堆放等环节。三类侵蚀常相互转化与叠加,形成复合侵蚀效应,显著加大流失强度。(2) 时空特征:时间上,施工期地表大面积裸露、土石方频繁调动,扰动强度达峰值,流失高度集中;运行期植被恢复滞后、边坡防护未稳,遇极端降雨易诱发次生流失。空间上,基坑开挖、填筑碾压、弃渣堆放及临时便道等区域,扰动方式、侵蚀动力及流失强度差异显著,需分区辨识与应对^[1]。(3) 主要危害:表土资源损失致土壤肥力下降,土地生产力减退;大量泥沙汇入河道,抬高河床、缩减过流断面,加剧行洪风险;原生植被破坏使群落结构退化,生物多样性降低,区域生态调节功能削弱,进而威胁工程安全与下游生态稳定。

1.2 水利工程水土保持生态修复原则

(1) 因地制宜原则:全面勘测工程区地形地貌、气候水热、土壤质地及现有植被状况,依据不同区段自然禀赋差异,针对性地制定修复技术路线与实施方案。

(2) 生态优先、综合治理原则:将受损生态系统功能恢复置于首位,协同推进工程稳固防护、植被群落重建及土壤水源涵养,达成短期控蚀与长期生态改善相统一。

(3) 全程管控、防治结合原则:贯穿施工前期准备、施工过程实施及运行维护管理全生命周期,实行源头减损控制、过程拦排结合、后期系统修复的闭环管理。(4) 经济适用、长效稳定原则:在确保修复质量与生态效益前提下优化资源配置,降低非必要开支,同时保障修复成果具备抗逆性与自我维持能力,避免反复治理。

1.3 生态修复核心基础理论

(1) 生态恢复理论:尊重受损区域生态系统的自组织与自我修复潜能,科学配置人工辅助措施,引导退化生态系统向区域顶极群落或稳定中间状态有序演替。

(2) 土壤侵蚀防控理论:基于侵蚀产沙机理,综合运用工程拦挡、地表覆盖及土壤改良等手段,切断降雨击溅—径流冲刷—颗粒运移的完整侵蚀过程,提升土壤团聚体稳定性和抗蚀性能。(3) 植被群落演替理论:遵循植物群落从草本到灌丛再到乔木的自然演替规律,优先选用适应性强的乡土物种,构建多层次、多功能的稳定植物群落,增强地表拦截与根系固土能力,保障水土保持效益持久发挥。

2 水利工程建设中水土保持核心生态修复技术及应用

2.1 工程类水土保持修复技术

(1) 边坡防护修复技术:涵盖格构护坡、喷混植生、锚杆支护等措施。格构护坡采用钢筋混凝土或浆砌石形成框格骨架,框格内覆土植草,实现坡面防护与绿化的双重功能;喷混植生技术将有机基材、保水剂、粘合剂与植物种子按比例混合,借助喷射设备附着于岩质坡面,为植被生长创造基质条件;锚杆支护通过锚固力传递增强岩土体整体稳定性,三类技术依据边坡岩性、风化程度及坡度倾角进行针对性组合应用,形成刚柔并

济的防护体系。(2)截排水工程技术:沿开挖边坡顶部及分级马道内侧布设截水沟,有效拦截坡面以上汇水面积内径流,削减冲刷动力;按地形坡降合理布设排水沟及急流槽,有序疏导施工区地表汇水,防止集中水流冲刷侵蚀;在排水出口处配套修筑沉沙池,通过延长水流路径与降低流速促使泥沙自然沉降,形成“截—导—沉”三位一体的水力侵蚀防控系统^[2]。(3)弃土弃渣场防护技术:在渣场坡脚修筑浆砌石或混凝土挡渣墙,依靠墙体重力与地基摩擦力抵抗堆渣侧向压力,保障渣体整体稳定;按照设计坡比对堆渣体实施分级放坡与坡面修整,消除局部过陡坡段隐患;完成顶部平台及各级马道场地平整与压实,同步配套完善截排水设施,系统防控堆载体重力侵蚀与坡面水力侵蚀,实现弃渣场安全稳定与水土流失有效遏制。

2.2 植物类生态修复技术

(1)乡土植被种植技术:通过实地植被调查与种源筛选,优选适应工程区干旱、贫瘠环境的乡土乔灌木种类,其具备原生地长期进化形成的生态适应性与抗逆性,较外来物种成活率更高、养护成本更低,可构建自我维持能力突出的植被防护体系。(2)植被混播配置技术:遵循植物生态位互补原理,将速生草本、中生灌木与深根乔木按优化比例分层搭配,草本层快速形成地表覆盖拦截溅蚀,灌木层增加下垫面粗糙度减缓流速,乔木层通过根系深扎锚固深层土体,形成“近地表覆盖—中层阻滞—深层锚固”的立体防护格局,显著增强群落稳定性与持水固土效能。(3)破损区域植被补植技术:针对施工便道压占区、临时场地、裸露边坡等受损地块,采用遥感解译与实地调查相结合方式精准识别植被退化斑块,结合区域水热条件选择适宜播期,运用喷播、穴植或容器苗移植等方法精准补植,并辅以无纺布覆盖、保水剂施用等配套措施,确保补植成活率与恢复速度。

2.3 综合生态修复技术

(1)工程+植物复合修复技术:工程措施提供即时结构稳固与抗冲保障,为植被存活建植争取时间窗口和安全基质;植物群落发育后通过根系加筋与蒸腾排水反哺工程结构耐久性,二者形成时序衔接与功能互补,达成“初期控蚀—中期稳定—长期生态”的递进式修复成效。(2)土壤改良修复技术:针对施工活动造成的土壤压实板结与养分亏缺,增施腐熟有机肥以改善土壤理化性质与养分供应能力;接种丛枝菌根真菌等有益微生物,加速有机质分解转化与养分活化;对退化严重、难以自恢复区域实施客土置换,重塑表土层土壤结构与肥力基础,为植被建植提供适宜生境^[3]。(3)河道生态修复技术:

选用格宾石笼、生态混凝土砌块等透水抗冲材料构建生态护岸,兼顾岸坡稳固与河陆物质交换通道功能;按水深梯度配置挺水、浮叶及沉水植物群落,形成完整的水生植物带,提升水体自净能力与生物栖息地质量,系统修复河道水生态系统结构与功能完整性。

2.4 不同施工场景技术适配应用

(1)开挖边坡场景技术适配:高陡岩质边坡以锚杆挂网、主动防护网等工程防护为主导,结合厚层基材客土喷播辅助植绿;中低缓土质边坡以乔灌木混播为核心,辅以截排水措施,充分发挥植被固土保水优势。

(2)弃渣场与临时用地场景技术适配:先期完成堆渣体坡面削坡修整、坡脚挡护及周边截排水系统布设,待堆体沉降稳定后,实施乔灌木复层混播与土壤培肥改良技术,实现稳定防护与生态恢复同步推进。(3)河道与库区场景技术适配:重点配置格宾生态护岸、水生植物群落重建及生态浮床水质净化等协同技术,同步兼顾岸坡防冲、水土涵养与水体生态功能提升,实现水域—消落带—陆域连续带的整体生态修复。

3 水利工程建设中水土保持生态修复技术应用现存问题与优化保障策略

3.1 水土保持生态修复技术应用现存问题

(1)技术适配性不足:修复方案编制中缺乏对区域地形、水文、植被等基础条件的系统勘测,忽视微地形、土壤质地等关键参数差异,盲目套用标准化模式,导致技术与现场匹配度低,效果不达标。(2)技术体系不完善:重刚性工程防护、轻柔性生态恢复,拦挡截排水投入充足,而植物配置与土壤活化等生态手段薄弱,各类技术缺乏协同规划,复合技术应用普及度低,治理呈片段化,系统性与整体性不足。(3)施工管控与运维薄弱:施工期临时苫盖、表土保存、迹地清理等管控措施落实不到位;移交后缺乏常态化植被养护与设施巡检,浇水追肥、补植、清淤等工作流于形式,部分修复成果反复退化,前期投入难以持续见效。(4)监测评估体系缺失:监测以人工巡查为主,站点稀疏,数据频次与精度不足,缺乏动态反馈与方案优化机制,难以及时发现效果偏差并采取补救措施。

3.2 生态修复技术优化改进策略

(1)推行差异化适配技术方案:全面开展工程区自然本底与生态敏感度精细调查,按开挖边坡、弃渣场、临时用地、河道库区等不同场景分别建立退化诊断档案,逐区段分析扰动强度与主导侵蚀类型,定制个性化修复技术方案,实现一地一策精准治理。(2)完善综合技术应用体系:着力推动工程防护、植物恢复与生物改

良三类措施的深度协同,构建"上截下拦防冲刷、乔灌草复层固土、改土促活培地力"的集成修复模式,强化措施间功能互补与时序衔接,全面提升治理的系统性与长效性^[4]。(3)创新智能化修复技术:依托卫星遥感多时相监测、无人机高精度航测及物联网传感器构建空天地一体化监测网络,结合GIS空间分析与CSLE等侵蚀模型开展数字化模拟,实现水土流失态势的实时动态研判与修复工程布设的智能优化决策。

3.3 工程全流程管控保障措施

(1)前期规划保障:将水土保持生态修复作为独立专章纳入工程可行性研究与初步设计,施工前完成区域水土流失风险全面排查与生态敏感区精准定位,科学划定施工作业红线与生态缓冲范围,将生态保护理念深度融入工程建设源头,为后续修复工作奠定良好基础。

(2)施工过程保障:落实施工现场生态监理专员制度,严格限定作业范围与施工季节,对临时堆土区、施工便道等重点区域实施全覆盖盖盖与临时拦挡,规范表土分层剥离、集中堆存及养护回用全流程管理,最大限度削减施工活动对周边生态环境的扰动强度与影响范围。

(3)后期运维保障:组建专业化养护队伍,制定分年度精细化养护作业计划,常态化开展植被成活率调查、缺苗补播复绿、病虫害防治及截排水设施检修清淤,建立修复成果动态跟踪档案,确保生态修复成果持续巩固并实现正向演替提升^[5]。

3.4 制度与人才保障体系建设

(1)健全管理制度:修订完善水土保持生态修复施工操作规范、单元工程验收评定标准及绩效考核办法,将植被覆盖度、成活率、土壤流失控制比等核心指标量化纳入工程总体评价体系,明确各方主体责任与工作流程,为技术规范应用提供刚性制度约束与操作遵循。

(2)强化人才建设:依托高等院校、科研院所与行业培

训基地,定期组织生态修复理论更新、施工技艺实操及新型监测设备应用等专题培训,建立技术人员持证上岗与继续教育制度,着力提升一线人员专业素养、方案设计能力与现场综合管控水平。(3)落实监督考核:构建建设单位自检、监理平行检验、监管部门抽检与第三方独立评估四位一体的立体监督体系,实行季度考核通报与年度综合评估相结合,对修复进度、工程质量、资金使用实施全过程动态跟踪问效,确保各项修复技术措施落地落实并持续发挥效益。

结束语

水土保持生态修复是水利工程绿色建设的核心环节,直接关乎工程安全、水土资源保护与区域生态稳定。本文系统阐述了水利工程水土流失特征与修复理论,总结各类修复技术及场景适配方案,梳理了技术应用与管理运维的突出问题。未来需坚持因地制宜、综合治理原则,深化工程与生态技术融合,完善智能化监测与全周期管控体系,健全制度人才保障机制,持续提升水土保持修复的系统性与长效性。

参考文献

- [1]王浩.水利工程建设中的水土保持生态修复技术研究进展[J].水利学报,2022,53(06):641-650.
- [2]张秀春.生态修复技术在水利工程水土保持中的应用探析[J].陕西水利,2024,9(10):110-112.
- [3]刘斌,徐舟,潘文烽,等.大型水利水电工程水土保持监测的实践与思考——以大藤峡水利枢纽工程为例[J].人民珠江,2023,44(S02):372-379.
- [4]吴润祺,赵莹,任宗萍,等.水利工程水土保持植被生态修复技术与效益研究[J].中国水土保持科学,2025,23(01):21-30.
- [5]王潇潇,王然.水利工程建设中水土保持生态修复技术的应用研究[J].水上安全,2024,17(22):91-93.