

# 水利工程水土保持生态修复技术

杨明 冯勇 孟祥专

江苏省水利工程建设有限公司 江苏 扬州 225000

**摘要:** 水利工程建设易引发水土流失,破坏区域生态平衡,威胁工程安全与生态稳定,开展水土保持生态修复至关重要。本文聚焦水利工程水土保持生态修复技术,分析水土流失时空差异、复合型特征及对生态系统的连锁影响,阐述生态修复的生态学基础、水土保持与生态修复协同机制及修复约束条件与适配原则。构建坡面、河道岸线、库区周边、弃渣场及临时占地四大区域关键修复技术体系,明确施工流程优化、关键环节质量管控及施工期生态保护措施。研究表明,通过“工程+生态”协同技术与科学管控,可有效控制水利工程水土流失,恢复区域生态功能,为水利工程生态修复实践提供技术支撑。

**关键词:** 水利工程;水土保持;生态修复技术;质量控制

引言:当前水利工程生态修复存在技术适配性不足、施工管控不规范等问题,影响修复效果。本文结合水利工程水土流失特征与生态影响机理,系统梳理生态修复核心原理,构建针对性关键技术体系,明确施工工艺与质量控制要点,旨在解决水利工程生态修复实践中的技术难题,为提升水利工程生态效益、推动水利工程绿色发展提供理论与实践参考。

## 1 水利工程水土流失特征及生态影响机理

### 1.1 水利工程水土流失特征

水利工程水土流失具有以下时空差异特征。(1)从空间分布来看,水土流失主要集中在工程建设扰动区域,如坝体建设区、河道开挖区、弃渣堆放区及临时施工便道等,这些区域地表植被破坏严重,土壤结构松散,抗侵蚀能力大幅下降。(2)从时间维度而言,水土流失强度与工程施工进度高度关联,在土方开挖、填筑等高强度施工阶段,水土流失量达到峰值,而在工程竣工后的植被恢复期,水土流失量会逐步降低。(3)水利工程水土流失还呈现出复合型特征,不仅有降雨引发的水力侵蚀,还存在因土方作业导致的重力侵蚀,部分区域还会伴随风力侵蚀,多种侵蚀类型相互叠加,加剧了水土流失的复杂性。

### 1.2 水土流失对生态系统的影响机理

水土流失会破坏水利工程区域的生态系统平衡,其影响具有连锁性和累积性。(1)水土流失导致表层肥沃土壤流失,降低土壤肥力,破坏植物生长的土壤环境,进而抑制植被群落的生长与演替,导致区域植被覆盖率下降,生态系统的初级生产力降低。(2)流失的泥沙会进入周边水体,造成水体淤积,改变水体物理环境,影响水生生物的栖息空间;(3)土壤中的养分、污染物随

泥沙进入水体,会引发水体富营养化等问题,破坏水生生态系统的结构与功能,导致生物多样性降低,最终影响整个区域生态系统的稳定性与服务功能<sup>[1]</sup>。

## 2 水利工程水土保持生态修复的核心原理

### 2.1 生态修复的生态学基础

生态修复以生态学理论为支撑,核心是依托生态系统自我调节与修复能力。群落演替理论指导修复过程遵循自然规律,推动受损系统从先锋物种定居向顶级群落正向演替;生态位理论优化物种配置,通过合理搭配减少竞争、提升资源利用率,构建稳定功能型生态系统;物质循环与能量流动理论则保障碳、氮、水等物质正常循环及能量高效传递,为修复奠定物质与能量基础。

### 2.2 水土保持与生态修复的协同作用机制

二者呈相互促进的协同关系。(1)水土保持通过工程、植物措施减少土壤侵蚀,维持土壤肥力与结构,为植被生长创造条件,推动生态系统从受损向健康转变;(2)生态修复中植被覆盖度提升后,根系固土、枝叶截水作用增强,进一步降低水土流失强度,形成“水土保持-植被恢复-水土流失减少-生态改善”的良性循环,共同提升工程区生态稳定性与水土保持能力。

### 2.3 水利工程区生态修复的约束条件与适配原则

修复受自然与工程双重约束:自然条件中,区域气候、土壤特性、水文状况直接影响方案可行性;工程条件下,工程功能定位、建设规模、运行方式限制修复范围与措施选择,需避免影响工程安全。适配原则上,坚持“因地制宜”,依工程区具体条件选适配技术与物种;遵循“生态优先、兼顾效益”,确保修复方案科学可持续<sup>[2]</sup>。

## 3 水利工程水土保持生态修复关键技术

### 3.1 坡面水土流失修复技术

坡面水土流失修复以“工程固基+植被复绿”为核心，关键技术要点如下：（1）植被护坡技术：优先选用乡土先锋植物，采用乔灌木立体配置模式，草本层选择根系发达、覆盖快的品种，灌木层选用耐贫瘠、抗逆性强的类型，乔木层搭配深根性树种，形成多层防护结构；种植方式根据坡面坡度选择，坡度小于25°时采用直播或幼苗移栽，坡度25°-35°时采用带状种植或穴播，坡度大于35°时结合容器苗定植，提升植被成活率；种植后需进行初期养护，包括定期浇水、除草及病虫害防治，直至植被形成稳定覆盖层。（2）工程护坡技术：在坡面土壤稳定性差或坡度较陡区域，采用生态袋堆砌技术，生态袋选用抗老化、透水性好的材料，袋内填充改良土与种子混合物，堆砌时错缝排列并设置连接扣，增强整体稳定性；对岩石裸露坡面，采用植生混凝土喷播技术，混凝土配比中掺入有机基质、保水剂及植物种子，喷播厚度控制在5-10cm，确保种子能正常发芽生长；坡面顶部需设置截水沟，沟宽与深度根据当地最大降雨量设计，沟底铺设防渗膜或采用浆砌石砌筑，防止雨水顺坡冲刷；坡面中下部设置纵向排水沟，与截水沟连通，形成完整排水系统，减少雨水在坡面滞留。（3）协同防护技术：工程护坡与植被护坡同步施工，先完成工程防护结构搭建，再进行植被种植，确保工程措施为植被生长提供稳定环境；定期检查工程结构完整性，及时修补生态袋破损、植生混凝土开裂等问题，同时监测植被生长状况，对长势不佳区域进行补植或调整养护措施，实现工程防护与生态修复的长期协同。

### 3.2 河道岸线生态修复技术

河道岸线生态修复围绕“稳定岸坡+生态连通”开展，关键技术要点包括：（1）生态护岸技术：平缓岸段采用格宾石笼护岸，石笼选用镀锌或覆塑钢丝网，内部填充粒径10-30cm的块石，石笼分层堆砌，每层高度控制在0.5-1m，相邻石笼采用钢丝绑扎连接，石笼间隙可填充土壤与草本种子，促进植被生长；陡峭岸段采用仿自然砌块护岸，砌块选用透水混凝土材质，形状设计为不规则多边形，砌筑时预留孔隙，为水生生物提供栖息空间，砌块底部设置碎石垫层，增强透水性及稳定性；护岸顶部种植灌木与草本植物，形成滨岸植被带，减少陆域污染物进入河道，同时提升岸线生态景观效果。（2）河床重构技术：对淤积河床进行清淤疏浚，采用环保型挖泥船，控制挖泥深度与范围，避免过度开挖破坏河床基底，疏浚后的淤泥需进行无害化处理，可用于河岸覆土或制造成有机肥料；根据河道自然形态，布设人工浅

滩与深槽，浅滩区域水深控制在0.5-1m，采用砂石材料铺设，深槽区域水深2-3m，保留原有河床地貌，形成深浅交替的河床结构；在河床中投放生态礁体，礁体选用混凝土或天然石材制作，形状设计为多孔结构，投放位置避开主航道，为鱼类、底栖生物提供栖息与繁衍场所，提升河道生物多样性。（3）岸线连通技术：拆除河道中阻隔水流与生物迁移的硬质堤坝、水闸等设施，对必要的水利设施进行生态化改造，如在水闸底部设置鱼道，鱼道宽度与高度根据河道主要鱼类体型设计，确保鱼类能正常洄游；修复河道与周边湿地、湖泊的连通通道，清理通道内的淤积物与障碍物，恢复水体自然交换，提升河道生态系统的连通性与稳定性。

### 3.3 库区周边水土保持修复技术

库区周边修复重点解决消落带治理与面源污染防控，关键技术要点如下：（1）消落带治理技术：根据消落带淹没周期与高程，划分治理区段，低高程区段（淹没时间6个月以上）采用工程固坡，铺设生态混凝土或格宾石笼，表面覆盖5-10cm厚的土壤，种植耐淹草本植物；中高程区段（淹没时间3-6个月）采用植被与工程结合方式，修建低矮挡土埂，埂内种植芦苇、香蒲等挺水植物；高高程区段（淹没时间3个月以下）种植耐湿灌木与乔木，如垂柳、水杉等，形成梯度防护体系；在消落带坡脚设置截渗沟，沟内填充碎石，防止库区水位变化导致的土壤渗透变形，同时减少地下水对坡体的侵蚀。（2）植被缓冲带构建技术：在库区周边陆域与水域交界处，构建宽度10-30m的植被缓冲带，靠近水域一侧种植草本植物，中间层种植灌木，远离水域一侧种植乔木，形成多层过滤结构；缓冲带土壤需进行改良，掺入有机肥与保水剂，提升土壤肥力与保水能力；定期对缓冲带植被进行修剪与更新，清除枯萎植被，补植长势不佳的植株，确保缓冲带始终保持良好的拦截与净化功能；在缓冲带内设置监测点，定期检测土壤含水量、污染物含量等指标，根据监测结果调整植被配置与养护措施。（3）面源污染防控技术：在库区周边农田区域，推广生态种植模式，减少化肥、农药使用量，采用测土配方施肥技术，选用低毒、低残留农药；在农田与缓冲带之间设置截留沟，沟内种植水生植物，拦截农田流失的养分与农药残留；在库区周边居民点，建设小型污水处理设施，对生活污水进行处理后再排放，同时设置垃圾收集点，定期清理垃圾，防止垃圾入湖污染水体。

### 3.4 弃渣场及临时占地生态恢复技术

弃渣场与临时占地恢复以“控蚀复绿+功能恢复”为目标，关键技术要点包括：（1）弃渣场修复技术：先

进行场地平整,按照设计坡度修整弃渣坡面,坡度控制在1:1.5-1:2.5,避免陡坡引发滑坡;在弃渣场周边设置挡渣墙,挡渣墙采用浆砌石或混凝土砌筑,高度根据弃渣量设计,墙底设置排水孔,防止墙后积水;坡面设置截水沟与排水沟,截水沟沿弃渣场顶部边缘布设,排水沟与截水沟连通,将雨水引至场外排水系统;对弃渣表面进行覆土,覆土厚度根据种植植物类型确定,草本植物覆土厚度30-50cm,灌木与乔木覆土厚度50-80cm,覆土前需检测弃渣理化性质,必要时掺入改良剂调整土壤pH值与肥力。(2)临时占地恢复技术:工程竣工后,拆除临时设施,清理建筑垃圾,对场地进行平整,恢复原有地形地貌;根据临时占地原土地利用类型,进行土壤重构,原耕地区域需深耕土壤,掺入有机肥与农家肥,提升土壤肥力,原林地区域需保留原有植被根系,补植乡土树种;对土壤压实严重的区域,采用松土机械进行深耕,深度30-50cm,打破板结层,改善土壤通气性与透水性;种植植被时,优先恢复原有植被群落,若原有植被难以恢复,选择生态功能相似的物种替代,确保恢复后的土地生态功能与原土地一致;设置临时围栏,禁止人员与牲畜进入,保护植被生长,定期进行养护管理,直至植被形成稳定群落。(3)长期监测与维护技术:在弃渣场与临时占地恢复区域设置监测点,定期监测土壤侵蚀模数、植被覆盖度、土壤肥力等指标,监测频率为前期每月1次,后期每季度1次;根据监测结果,及时调整修复措施,如对水土流失严重区域增设防护工程,对植被长势不佳区域补充施肥或补植<sup>[3]</sup>。

#### 4 水利工程水土保持生态修复施工工艺与质量控制

##### 4.1 修复工程施工流程优化

施工前需完成现场勘察与方案细化,明确各区域修复技术参数,划分施工分区并制定流水作业计划;优先开展场地清理与基础工程(如截排水系统、挡护结构)施工,为后续生态修复创造条件;植被种植环节需结合气候条件安排时序,避开极端天气,与土壤改良、覆土等工序衔接;施工后期同步推进养护与初步验收,形成

“勘察-基础施工-生态修复-养护验收”的闭环流程,减少工序交叉干扰,提升施工效率。

##### 4.2 关键施工环节质量管控要点

基础工程施工中,挡渣墙、截水沟需按设计尺寸浇筑或砌筑,采用抽样检测法核验混凝土强度、砌体密实度;土壤改良环节需检测改良剂掺量与土壤pH值、肥力,确保达标后再覆土,覆土厚度按植被类型分层控制,误差不超过 $\pm 5\text{cm}$ ;植被种植时,幼苗需检验根系完整性与成活率,喷播施工需控制喷播厚度与种子均匀度;施工后定期检测工程结构稳定性与植被生长状况,发现裂缝、塌陷或幼苗枯萎及时整改。

##### 4.3 施工过程中的生态保护措施

施工区域设置围挡与警示标识,划分施工便道与作业区,避免扩大扰动范围;施工废水经沉淀处理后回用,生活污水接入临时污水处理设施,禁止直排;土石方作业需采取湿法施工或覆盖防尘网,减少扬尘;避开动植物繁殖期施工,对保护物种栖息地设置防护区;施工结束后及时清理建筑垃圾,恢复临时占地植被,降低施工对周边生态的短期影响<sup>[4]</sup>。

结束语:本文系统研究水利工程水土保持生态修复技术,从机理、原理、技术到施工管控形成完整体系,明确不同区域修复技术要点与实施路径,为水利工程生态修复提供清晰技术框架。随着生态修复技术发展,需进一步融合智慧监测手段,提升修复效果精准性与长效性,助力水利工程生态修复高质量发展。

##### 参考文献

- [1]祁开云.水利工程水土保持生态修复技术的应用探析[J].农业灾害研究,2024,14(2):241-243.
- [2]史文龙.水利工程水土保持生态修复技术的应用研究[J].清洗世界,2021,37(6):77-78.
- [3]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(21):80-82.
- [4]周红珊.水利工程水土保持生态修复技术的应用研究[J].科技风,2021(24):190-192.