

# 高山峡谷区水利工程建设中的水土保持与生态修复技术研究

高飞<sup>1</sup> 陈平平<sup>1</sup> 何微<sup>2</sup>

1. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司 云南昆明 650051

2. 云南恒成工程设计咨询有限公司 云南昆明 650051

**摘要:** 高山峡谷区作为水资源富集与生态敏感的复合区域,其水利工程建设既要满足能源开发与水资源调控的需求,又面临生态系统脆弱性带来的严峻挑战。生态扰动机制的复杂性体现在地形改造、水文节律改变、植被破坏等多维度交互作用中,而生态系统的脆弱性本质决定了其恢复阈值低、自我修复能力弱的特性。水土流失与生态退化的耦合效应进一步加剧了区域生态风险,使得水土保持与生态修复成为工程建设不可或缺的核心环节。生态修复技术在该区域的应用,不仅能遏制土壤侵蚀、恢复植被覆盖,更能维系生物多样性与水文生态功能,为区域生态安全提供保障。通过工程全周期的实践策略优化,从前期敏感区识别到退役期功能恢复,构建系统性技术体系,实现水利工程与生态保护的协同发展,对推动高山峡谷区可持续开发具有重要理论与实践价值。

**关键词:** 高山峡谷区; 水利工程; 水土保持; 生态修复技术

## 引言

高山峡谷区以其陡峭的地形、复杂的水文网络与独特的生态系统,成为水利工程建设的重要区域,同时也因其生态脆弱性成为生态保护的关键地带。水利工程在带来防洪、发电、灌溉等效益的同时,也导致很多的生态环境问题。因此,我们要在水利工程的施工建设和后续运行过程中进行生态修复,从而遏制生态环境问题的发生,进而提升水利工程的成效<sup>[1]</sup>。因此,就需要从生态修复技术的运用方面进行分析,做好协调与平衡工作,做好经验分析和技术的应用,做好管理,最终为水利工程的长期稳定发展做出贡献。

## 一、高山峡谷区水利工程的生态扰动机制与脆弱性特征

### 1. 工程建设的多维度生态扰动路径

高山峡谷区水利工程建设生态扰动呈现多维度、立体化的特征,形成复杂的扰动网络。地形重塑是初始扰动源,坝体建设、隧洞开挖、料场开采等工程活动直接改变地表形态,打破原有地形的稳定性,使陡峭坡面裸露面积增加,为水土流失提供了物质基础。水文扰动贯穿工程全周期,坝体拦截改变河道径流节律,导致下游水量减少、水位波动,影响河流纵向连通性与横向水文交换,进而改变滨岸带湿地生态系统的水分条件。植被扰动表现为直接清除与间接影响的叠加,工程占地与施工便道建设直接破坏原生植被,而施工扬尘、噪声与

人为干扰则导致周边植被生长受阻,群落结构简化。土壤扰动体现为物理结构破坏与肥力下降,重型机械碾压使土壤压实度增加,透水性降低,而弃渣堆放与地表侵蚀则导致土壤有机质流失,加剧土壤退化。这些扰动路径相互交织,形成连锁反应,放大生态系统的受损程度<sup>[2]</sup>。

### 2. 生态系统的脆弱性本质与恢复阈值

高山峡谷区生态系统的脆弱性源于其独特的自然地理条件与生态过程的敏感性。地形陡峭导致地表物质稳定性差,重力作用主导下的滑坡、崩塌等地质灾害频发,生态系统抗干扰能力先天不足。气候垂直分异显著,使得生物群落分布呈现狭窄的垂直带谱,某一层次的破坏易引发连锁式群落退化,且恢复难度大。土壤层浅薄且形成缓慢,一旦遭受侵蚀,短期内难以再生,成为生态恢复的限制性因子<sup>[3]</sup>。水文过程的剧烈波动进一步加剧脆弱性,雨季的强降水与旱季的干旱胁迫交替出现,使生物群落长期处于适应极端环境的状态,抗干扰能力有限。生态系统的恢复阈值表现为生态变量的临界值,当扰动强度超过阈值,如土壤侵蚀量超过每年每公顷15吨,或植被覆盖度低于30%,生态系统将发生不可逆的退化,从相对稳定的状态转变为功能紊乱的退化状态,此时即使消除扰动源,自然恢复也难以实现。

### 3. 水土流失与生态退化的耦合效应

高山峡谷区水土流失与生态退化形成相互驱动的耦合效应,构成恶性循环的生态风险链。水土流失作为初

始环节，通过地表径流冲刷与重力侵蚀，剥离表层土壤，导致土壤肥力下降，直接影响植被生长，使植被覆盖度降低，而植被减少又削弱其固土保水功能，进一步加剧水土流失，形成“侵蚀—退化—更严重侵蚀”的正向反馈。水土流失携带的泥沙进入河道，导致河床抬高、河道淤积，改变水文节律，影响水生生物栖息地，引发水生生态系统退化，而水生生态功能的削弱又降低其对流域水土调节的能力，间接加剧陆生生态系统的压力。生态退化还表现为生物多样性减少，土壤微生物群落结构改变，分解与循环功能下降，使得土壤有机质积累不足，进一步降低土壤抗侵蚀能力。这种耦合效应跨越陆生与水生生态系统，从局部扰动扩展为区域生态功能的整体衰退，增加了生态修复的复杂性与难度。

## 二、高山峡谷区水土保持中生态修复技术的应用价值

在修建水利工程中要注意生态保护和修复的同时进行。要想做好水利工程中的水土保持工作，最为有效的方法就是做好生态修复，促进水土的稳固，不仅仅可以确保施工的安全，而且有利于生态的保护。在保证生态的前提下，发展水利工程，让水利更好地为我们服务。

### 1. 维系生态系统完整性的技术支撑

生态修复技术为维系高山峡谷区生态系统完整性提供了系统性解决方案，其核心价值在于通过人工干预促进生态系统各组分的协调共生。针对地形破碎化问题，边坡生态修复技术通过构建植被—土壤—微生物复合系统，恢复地表覆盖的连续性，减少生态斑块的隔离度，促进物质与能量的跨斑块流动。水文连通性修复技术通过优化坝体泄流方式、构建鱼道等措施，缓解河道纵向割裂，维系河流生态系统的完整性，保障水生生物的迁徙与繁殖通道。植被恢复技术注重群落结构的层次性与乡土物种的优先应用，重建乔、灌、草相结合的立体植被体系，再现生态系统的垂直结构，为不同生物提供适宜的栖息环境。

### 2. 增强水土资源调控能力的关键手段

生态修复技术在增强高山峡谷区水土资源调控能力方面具有不可替代的价值，通过改善土壤与植被的水文功能，实现水资源的高效利用与土壤的稳定保持。土壤改良技术通过添加有机改良剂、生物炭等材料，提高土壤孔隙度与持水能力，增强雨水入渗，减少地表径流，同时提升土壤抗侵蚀能力，降低水土流失强度<sup>[4]</sup>。植被配置技术根据不同坡向、坡度选择耐旱、固土能力强的乡土物种，形成密集根系网络，既拦截雨滴冲击，又

固持土壤颗粒，通过蒸腾作用调节区域水分平衡，缓解旱季水资源短缺压力。小型水利水保工程如鱼鳞坑、截水沟等与生态修复技术结合，构建“工程措施—生物措施”复合体系，在快速控制水土流失的同时，为植被恢复创造有利的水分条件。

### 3. 促进生物多样性保护的有效路径

生态修复技术为高山峡谷区生物多样性保护提供了针对性解决方案，其价值体现在为不同物种创造适宜的生存环境，促进生态系统的自然更新。栖息地修复技术通过模拟自然生境特征，构建多样化的微生境，如在边坡修复中设置岩石露头、枯木等，为昆虫、爬行动物提供栖息场所，增加生境异质性。物种筛选与配置技术注重保护与恢复乡土物种，特别是珍稀濒危物种的伴生植物，通过营造近自然的植物群落，为动物提供食物来源与隐蔽空间，促进食物链的重建与完善。生态廊道构建技术通过连接孤立的生态斑块，减少生境破碎化对物种迁移的阻碍，增强种群间的基因交流，降低小种群灭绝风险。

### 4. 保障区域生态安全的重要屏障

生态修复技术在保障高山峡谷区区域生态安全中发挥着基础性作用，通过遏制生态退化趋势，降低生态风险向周边区域的扩散。水土流失控制技术通过减少进入河道的泥沙量，降低下游水库淤积与洪涝灾害风险，保障水利工程的长期安全运行，维系水资源供给的稳定性。植被恢复技术通过增强地表覆盖，调节局部气候，增加空气湿度，减少干旱与滑坡等自然灾害的发生频率，为周边居民提供安全的生产生活环境。生态系统功能的恢复还能增强碳汇能力，吸收大气中的二氧化碳，缓解区域气候变化影响，同时净化水体与空气，提升生态环境质量。

## 三、高山峡谷区水利工程建设中的水土保持与生态修复技术的实践策略

### 1. 工程前期的生态敏感区精准识别

工程前期的生态敏感区精准识别是水土保持与生态修复的基础性工作，通过多维度生态调查与科学评估，明确需要重点保护的区域与生态敏感因子。采用遥感监测与地面调查相结合的方法，获取地形地貌、植被覆盖、土壤类型、水文网络等基础数据，构建生态敏感性评价指标体系，包括水土流失敏感性、生境重要性、景观连通性等指标。运用地理信息系统技术进行空间叠加分析，划分不同敏感等级区域，确定生态保护红线与限制开发区域，特别关注珍稀物种栖息地、重要湿地、陡坡地带

等关键区域。开展生态系统服务功能评估,识别水源涵养、土壤保持、生物多样性维护等重要生态功能区,明确修复的优先级与目标。通过这种精准识别,为工程选址、布局优化提供科学依据,从源头避免高敏感区的大规模扰动,为后续生态修复奠定基础。

## 2. 施工期的扰动最小化控制技术

施工期的扰动最小化控制技术聚焦于减少工程建设对生态系统的直接影响,通过优化施工方式与实施防护措施,将扰动控制在生态系统可承受范围内。采用模块化施工与精细化管理,缩小施工占地范围,减少植被破坏面积,对临时用地实行“占一补一”原则,优先利用已有道路与场地,避免新增扰动区域。实施严格的水土保持工程,在开挖边坡设置挡墙、护坡网等工程措施,在料场与弃渣场周边修建截排水沟与沉沙池,防止泥沙进入河道,同时对裸露地表进行快速覆盖,采用纤维布、草籽喷播等临时防护措施,减少水土流失。控制施工扬尘与噪声污染,采用低噪声设备与湿法作业,设置防护屏障,降低对周边动植物的干扰。建立施工期生态监测体系,实时跟踪植被覆盖变化、土壤侵蚀强度等指标,及时调整防护措施,确保扰动强度不超过生态系统的恢复阈值。

## 3. 运营期的长期生态维护机制

运营期的长期生态维护机制旨在持续监测与优化生态系统状态,通过适应性管理确保生态修复效果的稳定性与持续性。建立生态监测网络,定期监测植被生长状况、土壤理化性质、水文水质变化等指标,运用生态模型预测生态系统演化趋势,识别潜在风险点,如植被退化、土壤次生盐渍化等。实施动态植被管理,根据植被恢复情况进行适度抚育与补植,移除入侵物种,促进乡土物种的自然更新,维持群落结构的稳定性与多样性<sup>[5]</sup>。优化水利工程调度方式,结合生态需水要求,制定科学的泄流方案,保障下游河道的生态流量,维系滨岸带生态系统的水分平衡。建立生态补偿机制,将生态维护费用纳入工程运营成本,定期开展生态修复效果评估,根据评估结果调整维护策略,确保生态系统功能持续改善。

## 4. 退役期的生态功能恢复方案

退役期的生态功能恢复方案致力于消除工程遗留影响,通过系统性修复使区域生态系统回归自然演化轨道。制定详细的工程拆除与场地清理计划,优先拆除临时设

施,对永久建筑物进行生态化改造或拆除,恢复原有地形地貌,避免形成人工障碍物。实施土壤改良与植被重建,对弃渣场、料场等扰动区域进行土壤重构,添加有机物料改善土壤肥力,选择适应性强的乡土物种进行植被恢复,构建与周边生态系统相协调的植物群落。修复水文连通性,拆除拦水设施或改造为生态友好型结构,恢复河道自然弯曲形态,重建滨岸带湿地,促进水生生态系统的恢复。建立长期跟踪监测与评估体系,持续监测生态系统恢复状况,必要时采取人工辅助措施促进生态系统的自我维持,确保退役后的区域生态功能达到或超过工程建设前的水平。

## 结语

高山峡谷区水利工程建设中的水土保持与生态修复是一项复杂的系统工程,其核心在于协调工程开发与生态保护的关系,通过科学技术手段减少生态扰动,促进生态系统的自我修复与功能提升。从生态扰动机制的多维度解析到生态修复技术的应用价值挖掘,再到全周期实践策略的构建,体现了从认识自然到改造自然的理性思维。生态修复技术的应用不仅能控制水土流失、恢复植被覆盖,更能维系生物多样性与水文生态功能,为区域生态安全提供保障。未来的研究应进一步加强生态修复技术的集成创新,注重乡土物种的筛选与培育,完善生态监测与适应性管理体系,推动水利工程建设与生态保护的深度融合。只有将生态理念贯穿工程全周期,才能实现高山峡谷区水资源开发与生态保护的双赢,为可持续发展奠定坚实的生态基础。

## 参考文献

- [1] 郑彩萍. 水利工程水土保持生态建设中生态修复的运用[J]. 水上安全, 2023, (12): 85-87.
- [2] 连燕. 水利工程中水土保持生态修复技术的常见类型及具体实施[J]. 工程技术研究, 2022, 7(14): 89-91.
- [3] 时瑾. 生态修复在水电水利工程水土保持生态建设中的应用探讨[J]. 价值工程, 2022, 41(08): 131-133.
- [4] 张丽萍. 生态修复在水利工程水土保持生态建设中的应用[J]. 珠江水运, 2020, (16): 102-103.
- [5] 伏文兵, 王凯. 水利工程中水土保持生态修复技术的应用研究[J]. 价值工程, 2020, 39(19): 181-182.