

# 水利工程对高原河谷植被生态的影响与补偿措施

昂拉姆<sup>1</sup> 仁增拉姆<sup>2</sup> 曲印伦珠<sup>3</sup>

西藏自治区水利电力规划勘测设计研究院 西藏 拉萨 850000

**【摘要】**：高原河谷地区植被生态系统在水利工程建设中面临显著扰动，表现为水土流失加剧、植被覆盖率下降及生物多样性减弱。西藏河谷水利工程在提供能源与灌溉效益的同时，也对局地生态系统造成压力。通过科学调查和生态评估，分析了工程建设对植被群落结构、土壤肥力及水文条件的影响，并提出了包括生态缓冲带建设、植被重建、坡面防护及人工湿地恢复等综合补偿措施。实施补偿措施后，植被恢复率提高，水土保持能力增强，生态系统服务功能得到显著改善，为高原水利工程的生态管理提供参考。

**【关键词】**：高原河谷；水利工程；植被生态；生态补偿；西藏

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.066

## 引言

高原河谷地区生态环境脆弱，植被覆盖对水土保持和生物多样性具有重要作用。水利工程在推动能源开发与农牧业发展的同时，对河谷植被造成了直接扰动，包括土壤流失、植被退化及生态系统功能下降。西藏河谷地区水利建设工程广泛分布，其生态影响尤为突出。通过分析工程建设对植被群落、土壤条件及水文环境的变化，可以探索有效的生态补偿方法，采用植被重建、缓冲带修复和水土保持措施，实现河谷生态系统功能的恢复与优化，为高原地区水利工程建设与生态保护的协调提供科学依据。

## 1 水利工程对西藏高原河谷植被干扰特征

### 1.1 土壤侵蚀与水文变化

西藏高原河谷水利工程建设导致河道改造和坝体修建改变了自然径流格局，使坡面水流速度增加，地表径流集中形成侵蚀沟，土壤颗粒被冲刷下移，河谷坡面土壤结构破坏明显。截流和蓄水设施改变了地下水补给路径，导致部分区域土壤湿度异常变化，进一步削弱土壤团粒结构稳定性。季节性融雪水和降水事件在工程影响下呈现突发性汇流，对植被根系环境产生压力，降低水分可利用率。西藏河谷多陡坡地形加剧了土壤冲刷与沉积的不均衡分布，使局部土壤肥力降低，河谷生态系统水文条件显著改变，为植被生长与生态功能维持带来复杂影响。

### 1.2 植被覆盖率下降与群落结构破坏

水利工程建设引发河谷坡面和施工区的植被直接破坏，导致自然植被覆盖率下降，原有群落结构遭受扰动。工程建设引入土壤裸露区域和施工道路，使河谷微生境破碎化，原生植被种群分布呈孤立化趋势<sup>[1]</sup>。水位调控和引水渠道改变了河谷湿地和坡面水分条件，部分耐湿或耐旱植物生境消失，群落优势种结构发生变化。西藏高原河谷特有植物种群对水文和土壤敏感，生态位竞争格局被扰动，导致生态系统稳定性下降。植被间互作关系受破坏，新生植物难以在裸露土壤上形成持续群

落，覆盖率长期无法恢复，河谷生态系统结构复杂性与功能性显著下降。

### 1.3 生物多样性及生态功能减弱

水利工程对西藏高原河谷植被的干扰引起物种丰富度下降和生态系统功能退化。原生植被数量减少，特有种群受到生境丧失和片段化的双重压力，生物多样性水平下降。植被群落功能分区受扰，根系分布和养分循环能力减弱，土壤固定力和有机质储量下降，水分保持能力降低。生物链及生态互作网络被打断，河谷生态服务功能如水土保持、气候调节和碳储存受到限制。西藏高原独特的高寒生态系统在工程影响下呈现功能退化趋势，新兴植被群落难以替代原有生态位，导致生态稳定性降低，生态系统恢复潜力受到显著影响。

## 2 西藏河谷生态脆弱性分析

### 2.1 地形与气候因素对植被恢复的制约

西藏高原河谷地形起伏剧烈，坡度大、坡面稳定性差，使植被生长环境受限。陡坡和峡谷地带土壤易发生滑坡和侵蚀，影响植物根系扎根与养分积累。高原气候特征明显，年温差大、昼夜温差高，低温和冻土层影响土壤活性和水分渗透，使植被萌发与生长周期受限。降水分布不均，雨季集中而干季干旱，加剧水分压力，导致恢复过程缓慢。西藏河谷特殊地形与气候的综合作用，使植被生态系统对外部扰动极为敏感，恢复难度大，对生态补偿和人工干预提出了高要求。

### 2.2 土壤肥力和水资源分布特征

西藏高原河谷土壤以岩质和沙质为主，肥力低、有机质含量不足，微量元素分布不均，使植物养分吸收受限。水资源空间分布不均，河谷湿地和地下水补给存在局部集中与干旱交错现象，导致河谷坡面和植被生长区水分条件差异显著<sup>[2]</sup>。土壤结构易受水利工程扰动，表层土壤冲刷和压实进一步降低了透水性及保水性。微地形变化对水分滞留和土壤水热条件影响显著，植被恢复的空间适宜性受限。西藏河谷生态系统中土壤与水资源的非均衡分布增加了生态恢复的不确定性，对科学补偿

设计提出挑战。

### 2.3 自然干扰与人为压力叠加影响

青藏高原河谷生态系统在自然干扰作用下表现出高脆弱性，风蚀、冰雪覆盖和季节性洪水等自然因素对植被生长构成持续压力。水利工程建设带来的道路开挖、土石方搬运及施工扰动，使河谷生态空间破碎化，人为干预与自然扰动叠加，导致植被生境进一步退化。牧区放牧活动和局地资源开发增加了生态压力，使植被恢复周期延长，生物多样性下降。西藏河谷生态系统复杂的干扰叠加模式降低了自我调节能力，对补偿措施的针对性和有效性提出了严格要求，需要结合地形、土壤和水文条件实施综合干预策略。

## 3 植被生态补偿策略设计

### 3.1 生态缓冲带建设与坡面防护

青藏高原河谷水利工程沿线生态缓冲带建设主要通过河谷两侧和坡面低洼区域设置多层植被带，实现水土保持与生态隔离功能。缓冲带内种植高抗性草本与灌木植被，增强土壤结构稳定性，减缓地表径流对坡面侵蚀的破坏，同时改善局地微气候条件，有利于植被生长和土壤水分保持。坡面防护措施包括护坡绿化和生态护坡工程相结合，通过阶梯式护坡、植被格构和透水铺装，控制表层土壤流失，增强坡面稳定性。土壤改良与水分调控技术在缓冲带建设中同步推进，通过有机质补充、微生物改良和排水调节，提高土壤肥力和植被生长效率。西藏河谷生态缓冲带的分层设计与防护结构相结合，形成水利工程周边多功能生态屏障，显著降低水土流失风险，同时为恢复群落结构和生物多样性提供稳定基础。

### 3.2 植被重建与生物多样性恢复

青藏高原河谷植被重建需结合坡面土壤条件、水文分布和生态功能分区，通过选择适应性强的本地植物种群进行组合栽植，实现群落结构优化和功能恢复。植被重建采取梯级种植与混交模式，提升生态系统稳定性和抗逆能力，同时改善土壤微生境和养分循环<sup>[3]</sup>。生物多样性恢复通过引入不同功能类型植物，增强物种互作网络和生态位覆盖，促进生态系统自我维持和恢复能力。恢复过程中采用土壤墒情调控、覆盖物保水及养分补充等措施，提高种子发芽率和幼苗成活率。西藏河谷植被重建强调生态连通性，确保工程区、坡面和河道之间生态功能连续，形成可持续的生物栖息网络，促进群落稳定发展，实现生态系统功能多层次恢复，提升河谷整体环境承载能力。

### 3.3 人工湿地与水土保持措施

青藏高原河谷人工湿地建设通过调控水位和水流路径，形成湿地生态单元，增加河谷水分滞留能力和湿地微环境多样性，为植被恢复提供稳定水源。湿地植被选择本地水生及湿生植物，形成水土保持和生态净化功能结合的复合系统，改善水质、沉积养分和土壤结构。水土保持措施包括梯田护坡、渗透

沟与沉沙池设计，配合湿地系统降低地表径流冲刷和土壤侵蚀风险。坡面和湿地区域通过覆盖物、草格格构和生态基质增强土壤抗冲刷能力，同时改善微生境水热条件，提高植物适生性。西藏河谷人工湿地与水土保持措施有机结合，不仅维持生态系统水循环与养分平衡，还为恢复多样化植被群落和稳定生态功能提供保障，使水利工程建设与河谷生态系统协调发展。



图1 河谷生态修复与湿地系统规划示意图

## 4 补偿措施实施效果评估

### 4.1 植被覆盖率与群落结构改善

青藏高原河谷实施生态缓冲带和植被重建措施后，植被覆盖率显著提升，裸露土壤面积明显减少。群落结构趋于多层次、多功能组合，草本、灌木与乔木在坡面与河谷边缘形成合理空间分布，实现生态连通性增强。原有优势种与补充引入种群共同作用，恢复了河谷生态系统的层次性和复杂性。植被恢复促进了根系网络发育，增强土壤固结能力，减缓径流对坡面和河道的冲刷压力。西藏河谷生态环境中植物群落结构的优化，为河谷微气候调节、水分保持和生态稳定提供了基础，使工程区与自然生态系统功能实现更紧密的衔接，整体植被生态系统趋向健康和可持续发展状态。

### 4.2 水土保持与水文调节能力增强

生态补偿措施实施后，青藏高原河谷土壤稳定性明显提升，地表侵蚀减缓，坡面土壤层结构得到巩固。缓冲带与人工湿地的水分滞留功能增强了土壤含水率均衡，减少雨季径流峰值对坡面侵蚀的影响。植被根系网络与地表覆盖物协同作用，提高土壤渗透性和水分储存能力，同时减少干旱季节土壤水分波动。梯田护坡和湿地沉积物沉降过程改善了土壤养分分布，增强土壤肥力，为植被生长提供稳定基础<sup>[4]</sup>。西藏河谷水土保持与水文调节能力的同步增强，不仅降低水土流失风险，也为生态系统功能恢复和河谷景观稳定提供有效保障，实现水利工程与生态系统的协调发展。

### 4.3 生态系统服务功能恢复

青藏高原河谷生态补偿措施有效恢复了河谷植被对生态系统服务功能的支撑能力。植被覆盖率提升和群落结构优化增强了水土保持、径流调节和洪水缓冲功能。生物多样性恢复改

善了养分循环、碳储存和微气候调节能力，同时提升了生态系统的稳定性和自我修复能力。人工湿地与缓冲带的结合强化了水质净化和水源调控功能，为河谷生态系统提供多层次服务。西藏河谷河道和坡面通过综合措施恢复了功能互联网络，增强了生态系统抗扰动能力，使水利工程区域与自然生态系统在功能和结构上实现动态平衡，生态服务效益显著提升，对高原河谷的可持续发展形成支撑。

## 5 青藏高原河谷水利工程生态管理建议

### 5.1 综合生态补偿规划

青藏高原河谷水利工程生态管理应建立系统化综合补偿规划，将河谷生态单元划分为不同功能区，实现工程建设、植被恢复和生态保护的协同发展。规划过程中应结合坡面稳定性、土壤肥力、水资源分布及微气候条件，合理布置生态缓冲带、植被重建区和人工湿地，确保河谷生态网络连续性和功能多样性。生态补偿措施应量化工程对植被、土壤和水文环境的干扰程度，确定补偿标准与优先级，实现区域生态服务功能最优化。西藏河谷的高寒、高海拔和特殊地形特征要求规划兼顾抗扰动能力和长期稳定性，同时结合现代生态工程理念，如生态基底修复、功能性植被组合和水土保持一体化设计，使水利工程建设与生态系统保护形成可持续协同模式，为河谷生态系统整体稳定提供科学保障。

### 5.2 监测体系与动态管理机制

青藏高原河谷生态管理应建立覆盖土壤、水文和植被多维度的监测体系，实现动态化、精细化管理。监测内容包括植被覆盖率、群落结构、生物多样性指数、土壤含水量及水质指标，

通过遥感监测与实地调查相结合获取高时空分辨率数据。动态管理机制将监测结果与补偿措施实施紧密衔接，根据河谷生态响应调整缓冲带设计、植被重建策略和湿地调控方案，保证生态补偿措施的科学性和有效性<sup>[5]</sup>。西藏河谷复杂的地形和气候特征要求监测体系具备高灵敏度和适应性，同时结合信息化管理工具，实现数据实时分析与决策支持，为水利工程建设与生态系统恢复提供精准指导，提高生态管理的效率与可控性。

### 5.3 区域生态保护与水利工程协调

青藏高原河谷生态系统保护需与水利工程建设紧密协调，通过工程选址优化、施工方案调整和生态修复措施整合，实现工程功能与生态功能的双向兼顾。河谷区域生态保护需识别关键生态敏感区与核心生境，对高风险区域实施严格管控与生态隔离，确保生物多样性和生态连通性。水利工程设计应考虑生态廊道建设、河谷坡面稳定性和水文条件调节，降低对植被群落和土壤结构的干扰。西藏河谷综合管理模式强调生态工程与自然恢复的互补，采用多尺度、多功能的管理策略，促进生态系统服务功能恢复，提高工程区域生态承载力，实现河谷可持续发展和水利工程建设科学协调，保障生态安全与区域社会经济同步推进。

## 6 结语

水利工程在青藏高原河谷地区植被生态系统的干扰效应明显，改变了水文过程和土壤条件，对植被群落结构及生态功能产生持续影响。通过综合生态补偿规划、动态监测与管理、区域生态保护与工程协调，可以有效提高植被覆盖、改善土壤水文条件、增强生态系统服务功能，推动青藏高原河谷生态与水利工程的和谐发展。

## 参考文献：

- [1] 唐红,张琳瞳.高原河谷城市植被变化及驱动因素分析[J].环境科学,2025,46(6):3645-3655.
- [2] 付意成,张剑,赵进勇,彭文启,张春玲.水利工程生态服务价值系统研究[J].水利学报,2025,56(5):564-575.
- [3] 李娜.生态水利工程建设对农业生态环境与经济效益的协同效应[J].山西农经,2025(10):126-128+179.
- [4] 王思远.水利建设工程项目的生态保护措施与可持续发展路径研究[J].黑龙江水利科技,2025,53(1):129-132.
- [5] 尹立河,王平,王田野,乔冈,马洪云,张俊,董佳秋.西北地区地下水依赖型植被生态水文过程研究进展与展望[J].西北地质,2025,58(2):16-30.