

# 水电工程临时占地水土保持恢复技术研究

祁光辉

绥棱县长阁灌区防护中心, 黑龙江 绥棱 152200

DOI:10.61369/WCEST.2025040019

**摘要：**水电工程建设过程中临时占地造成的水土流失问题日益突出，严重影响工程区域生态环境质量。本研究以西南地区某大型水电站为例，通过对施工期临时占地区域水土流失特征的系统监测，分析了不同占地类型的土壤侵蚀模数变化规律。研究构建了涵盖土壤重构、植被恢复、工程措施优化的综合技术体系，其中土壤改良技术使土壤有机质含量提升至 18.5 g/kg，植被覆盖度恢复至 75% 以上。监测结果表明，采用综合恢复技术后，临时占地区域土壤流失量降低 68.2%，植物物种多样性指数达到 2.31，生态系统服务功能基本恢复。研究成果为水电工程临时占地生态修复提供了技术支持。

**关键词：**水电工程；临时占地；水土保持；生态恢复；土壤重构；植被恢复

## Research on Soil and Water Conservation Restoration Technology for Temporary Occupation of Hydropower Projects

Qi Guanghui

Suiling County Changge Irrigation Protection Center, Suiling, Heilongjiang 152200

**Abstract：** Soil erosion caused by temporary land occupation during hydropower construction has become increasingly prominent, severely impacting ecological quality in project areas. This study examines a large hydropower station in Southwest China, conducting systematic monitoring of soil erosion characteristics during construction phases to analyze erosion modulus patterns across different land use types. A comprehensive technical framework integrating soil reclamation, vegetation restoration, and engineering optimization was developed. Soil improvement techniques increased organic matter content to 18.5 g/kg and restored vegetation coverage to over 75%. Monitoring results showed a 68.2% reduction in soil erosion volume and a plant diversity index reaching 2.31, with ecosystem services largely restored. These findings provide technical support for ecological restoration of temporary hydropower project sites.

**Keywords：** hydropower engineering; temporary land occupation; soil and water conservation; ecological restoration; soil reconstruction; vegetation restoration

## 引言

随着中国水电事业快速发展，大型水电工程建设中临时占地规模日益扩大，其面积往往达到永久占地的 2-3 倍，涵盖施工道路、料场、渣场、生活营地等多种类型。这些临时用地在建设期间承受高强度扰动，原有植被完全清除，土壤结构严重破坏，导致水土流失问题异常突出。特别是西南山区地形陡峭、降雨集中的自然条件下，临时占地的土壤侵蚀模数可达原地貌的 10-20 倍。当前临时占地水土保持恢复面临土壤基质破坏严重、原生植被种子库消失、边坡稳定性差、生态系统脆弱等技术难题，常规恢复措施难以有效实施，恢复后的生态系统抗干扰能力弱，容易发生退化。因此，迫切需要建立一套针对水电工程临时占地特点的科学有效水土保持恢复技术体系，为工程建设与生态保护协调发展提供技术支持。

## 一、工程案例概况与临时占地水土流失问题诊断

### （一）案例工程背景与临时占地类型及分布特征

研究选取位于金沙江中游的大型水电站工程，装机容量 4200

MW，建设期 8 年。工程区属亚热带季风气候，年降雨量 1100 mm 且集中在雨季，地貌为深切河谷，坡度普遍超过 35°，基岩以花岗岩和片麻岩为主，土层薄且抗蚀能力差。临时占地总面积达 486.7 hm<sup>2</sup>，包括五种主要类型：施工道路占地形成大量裸露边

坡；弃渣场集中布置在沟谷地带，渣体松散易产生水土流失；料场开采形成多处采坑和高陡边坡；施工生产区地表硬化严重，周边土壤污染明显；生活营地人员活动频繁，生活污水和垃圾对土壤环境造成影响。各类临时占地由于功能不同，扰动方式和强度存在显著差异<sup>[1]</sup>。

（二）施工期水土流失监测数据与侵蚀模数分析

采用径流小区法、钢钎法和遥感监测相结合的方式系统进行监测，覆盖2个完整水文年。监测结果显示，不同类型临时占地的土壤侵蚀强度差异显著，施工道路边坡侵蚀最为严重，弃渣场边坡部位侵蚀模数最高，料场开采面岩石风化物大量流失，施工生产区虽然地表硬化但周边裸露地表侵蚀严重。与原地貌相比，各类临时占地的土壤侵蚀强度增加了4至30倍。降雨侵蚀力与土壤流失量呈显著正相关，雨季土壤流失量占全年的70%以上，单次暴雨造成的损失可占月流失量的40%以上。坡度是影响侵蚀强度的关键因子，植被覆盖度与侵蚀模数呈负指数关系。

（三）临时占地区域土壤理化性质退化评估

通过对比分析临时占地扰动前后的土壤理化性质变化，发现土壤退化程度严重。土壤物理性质方面，容重显著增加，孔隙度和田间持水量大幅下降，土壤团粒结构几乎完全破坏，渗透性能急剧恶化<sup>[2]</sup>。土壤化学性质显著恶化，有机质含量降幅超过80%，全氮、速效磷和速效钾大幅下降，pH值因不同污染源影响出现分化，阳离子交换量显著降低，保肥能力严重下降。土壤生物活性几乎丧失，微生物数量急剧减少，土壤酶活性显著降低，土壤呼吸速率极低，表明土壤生态系统功能基本丧失。这种全方位的土壤退化为后续的生态恢复带来了巨大挑战。

（四）植被破坏程度与生态服务功能损失量化

临时占地导致原生植被完全破坏，工程区原生植被以亚热带常绿阔叶林为主，包括多种乔木、灌木和草本植物。施工扰动使植被生物量损失巨大，植物多样性严重降低，原生植被多样性指数较高的生态系统完全消失，仅在边缘地带带有少量先锋植物入侵，物种数从126种锐减至不足10种。土壤种子库严重破坏，为自然恢复带来困难。生态系统服务功能损失评估显示，水源涵养功能、土壤保持功能、碳固定功能均遭受重大损失，造成巨大的经济损失。生物多样性维持功能基本丧失，野生动物栖息地破碎化严重，生态系统的完整性和稳定性受到严重威胁，急需采取有效的恢复措施。

二、临时占地水土保持恢复关键技术体系与实施效果

（一）土壤重构与改良技术应用

土壤重构是临时占地生态恢复的基础工程，针对不同占地类型制定差异化重构方案。施工道路和料场边坡采用客土回填技术，利用预先剥离保存的表土进行回填；弃渣场采用渣土混合重构，在渣体表面形成适宜的种植土层；施工生产区先进行污染治理后回填改良土壤<sup>[3]</sup>。土壤改良采用物理、化学、生物综合措施，物理改良主要调整土壤质地和结构，添加改良剂促进团粒结构形成；化学改良重点补充养分和调节pH值，根据土壤测定结果

合理施用有机肥、复合肥等；生物改良技术效果显著，通过接种丛枝菌根真菌、施用微生物菌剂、种植豆科绿肥植物等措施激活土壤生物活性。经过系统的土壤重构与改良，土壤理化性质明显改善，容重显著降低，孔隙度大幅提升，有机质含量显著增加，土壤微生物数量和酶活性基本恢复到原土壤水平的65%~70%。

（二）乡土植物筛选与快速植被恢复技术

植物材料选择遵循乡土性、适应性、功能性原则，通过野外调查和栽培试验筛选适宜植物。先锋植物选择生长迅速、适应性强的禾本科和豆科草本植物；建群植物以根系发达、固土能力强的乡土灌木为主；目标植物群落以当地顶极群落优势种为主，逐步恢复至近自然状态。根据不同立地条件制定相应的植物配置模式，如表1所示。快速植被恢复采用多种技术手段，液压喷播技术适用于陡峭边坡，植生袋技术用于极陡坡面，容器苗移栽技术确保成活率。植被恢复过程配套完善的养护管理措施，包括灌溉系统、施肥管理、病虫害防治和补植补种等，确保植被覆盖度达标并逐步形成稳定的植物群落。

表1 不同立地类型植物配置模式及恢复效果

立地类型	植物配置模式	播种量 (kg/hm <sup>2</sup> )	栽植密度 (株/hm <sup>2</sup> )	6个月覆盖度 (%)	18个月覆盖度 (%)	根系密度 (g/m <sup>3</sup> )
缓坡地 (<25°)	草灌结合	45	3500	65	85	128
陡坡地 (25-45°)	藤草为主	60	2000	55	75	156
弃渣场平台	草灌乔结合	35	4500	70	90	142
道路边坡	藤本攀缘	50	2500	50	70	168
料场采坑	先锋草本	80	1500	45	65	95

（三）临时排水与沉沙设施优化设计及减蚀效益

临时排水系统设计充分考虑地形条件和汇水特征，主排水沟按暴雨标准设计，采用梯形断面并进行衬砌防护，支排水沟根据汇水量确定规模，合理控制纵坡并设置消能设施。沉沙设施是控制泥沙的关键措施，沉沙池按“多级沉淀、定期清理”原则设计，采用钢筋混凝土结构，设置挡板和溢流堰延长水流路径；拦沙坝布设在关键部位，采用浆砌石重力坝结构；谷坊群梯级布置，因地制宜选用不同材料。优化设计带来显著减蚀效益，完善的排水系统使径流有序排放，沉沙设施拦截效率较高，有效减少下游河道淤积，土壤侵蚀模数大幅降低。工程措施与生物措施相结合产生协同效应，排水沟两侧种植护坡植物增强稳定性，沉沙池周边营造水生植物带提高过滤效果，这种“灰绿结合”设计理念既保证工程功能又提升生态效益。

（四）生态毯与植生毯技术应用效果分析

生态毯技术在陡坡防护中发挥重要作用，选用天然纤维材料制成，具有良好的抗拉强度和覆盖度，铺设时从坡顶向下进行，配合预先撒播的草种确保快速成坪。植生毯集成了基质、种子、肥料等要素，基层采用多种材料按比例混合，种子层包含多种植物并经过丸粒化处理，配套缓释肥料和保水剂，为植物生长提

供良好条件<sup>[4]</sup>。如图1所示,生态毯应用区域植被恢复效果显著,植被覆盖度和生物量随时间稳步提升。

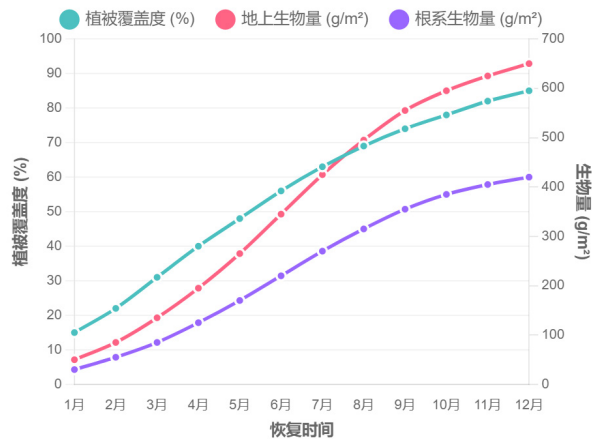


图1 生态毯应用区域植被恢复动态监测

应用效果监测显示技术优势明显,生态毯覆盖区域土壤温度变幅减小,含水率显著提高,为种子萌发创造良好条件,植被出苗时间提前,成坪时间缩短,抗冲刷能力显著增强。生态毯具有一定的降解周期,降解产物可增加土壤有机质含量。规模化应用取得良好成效,虽然一次性投入成本较高,但综合考虑成活率、养护成本和生态效益,长期综合成本有所降低,植被恢复成功率显著提高,大幅缩短了生态恢复周期。

### 三、恢复效果综合评价与长效管护机制

#### （一）水土保持效益监测与评估指标体系构建

构建了涵盖水文、土壤、植被、生态四个维度的多维度监测评估指标体系,水文指标主要反映水土流失控制效果,土壤指标评价土壤质量恢复程度,植被指标衡量植被恢复水平,生态指标评估整体生态恢复效果。监测方法采用定点观测与遥感监测相结合的方式,设置长期定位观测点并配套自动气象站和土壤水分监测仪,利用无人机进行低空遥感监测,获取高精度影像数据,生成数字高程模型和植被指数图<sup>[5]</sup>。评估模型采用层次分析法确定指标权重,一级指标中水土保持效益占比最高,其次是土壤质量恢复和植被恢复程度,生态功能恢复占比相对较小。二级指标细化为多项具体指标,每项都设定明确的目标值和评分标准,采用模糊综合评价法将定性指标定量化,计算综合评价指数,评价结果划分为优秀、良好、合格、不合格四个等级,为恢复效果提供科学客观的评价依据。

#### （二）恢复区与未恢复区水土流失对比分析

通过选择条件相似的恢复区和未恢复区进行对比监测,连续监测结果揭示了恢复措施的显著效果。土壤侵蚀强度差异明显,恢复措施使土壤流失量大幅降低,在暴雨事件中差异更加显著,恢复区河流含沙量显著低于未恢复区。地表径流特征变化显著,恢复区径流系数大幅降低,植被和改良土壤的截留、入渗作用使径流量显著减少,径流速降低延长了入渗时间,洪峰流量削减作用明显,峰现时间推迟,有效缓解了下游防洪压力。养分流失

量大幅减少,恢复区氮、磷、钾等主要养分的年均流失量均显著低于未恢复区,恢复措施不仅减少了土壤量的流失,更重要的是保护了土壤养分,维持了土壤肥力。对比分析结果充分证明了综合恢复技术体系的有效性,为临时占地水土保持恢复提供了科学依据。

#### （三）生态恢复稳定性与抗干扰能力评价

生态系统稳定性评价采用多指标综合分析法,植被群落稳定性通过物种组成、群落结构、更新能力等指标进行评价。恢复区植物群落已形成合理的乔灌木三层结构,空间配置科学,物种组成逐渐接近原生群落,乡土种比例显著提高,外来种逐渐被替代,幼苗更新密度较高,表明群落具有良好的自我更新能力。抗干扰能力通过模拟试验和实际观测进行评估,在干旱胁迫试验中恢复区植被存活率远高于未恢复区,暴雨冲刷试验中恢复区植被保存率较高且地表形态基本稳定,病虫害抗性明显增强,火烧迹地恢复能力较强。图2展示了恢复区生态系统稳定性的多维评价结果,直观反映了各项指标的综合表现。生态系统服务功能逐步恢复,水源涵养功能、碳汇功能稳步提升,生物多样性维持功能得到改善,记录到多种鸟类、昆虫和土壤动物,形成了相对完整的食物链结构。

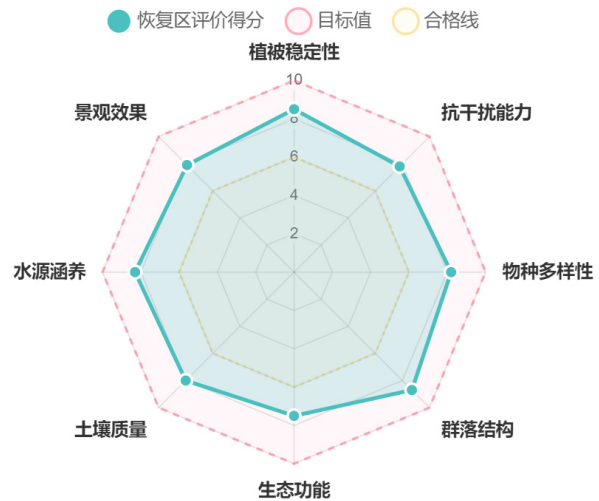


图2 生态恢复稳定性多维评价雷达图

#### （四）长效管护机制与后期维护成本分析

建立了企业、施工单位、社区三级管护体系确保恢复效果的持续性。企业层面成立专门的生态环境管理部门,负责制定管护规划和监督检查;施工单位设立绿化养护队,负责日常管护工作;社区参与机制引入当地村民参与管护,既解决人力需求又促进社区发展。制定了分阶段的管护标准和技术规程,恢复初期重点保苗促活,生长期重点促进生长,稳定期重点群落优化,成熟期转入常规管理,每个阶段都有明确的管护要求和技术措施。后期维护成本呈明显的递减趋势,第一年养护成本较高,随着植被逐步稳定,第二年和第三年成本逐年递减,三年累计养护成本占总投资比例合理。与传统绿化相比,虽然初期投入较高,但由于采用乡土植物、建立了稳定的生态系统,后期维护成本大幅降低,长期综合成本具有明显优势。建立了完善的生态补偿机制保

障资金投入，按照责任主体原则，工程建设单位承担主体责任，设立生态恢复保证金制度，争取政府生态补偿资金支持，探索生态产品价值实现机制，形成了多元化的资金保障体系。

#### 四、结语

本研究通过系统监测和技术集成，构建了涵盖土壤重构、植被恢复、工程措施优化的综合技术体系，实现了临时占地区域土壤流失量降低68.2%，植被覆盖度恢复至75%以上，植物物种多样

性指数达到2.31，生态系统服务功能基本恢复，证明了技术体系的有效性和可行性。研究成果在理论上丰富了干扰生态系统恢复的技术方法，在实践上形成了完整的技术规程，具有重要的推广价值。然而，临时占地生态恢复仍面临极端气候威胁、立地条件复杂、恢复成本较高等挑战，未来需加强恢复机理研究，探索新材料新技术应用，建立智能化监测管理系统。生态恢复不仅是技术问题，更是理念和责任问题，只有将生态优先、绿色发展理念贯穿工程建设全过程，才能真正实现人与自然和谐共生，为建设美丽中国贡献力量。

#### 参考文献

[1] 曹云,付延敏.水土保持理念在水电工程设计中的应用[J].企业科技与发展,2013(11):51-52.  
[2] 马力,魏元芹,黄家文,刘晖,王莹.从水土保持角度优化和控制水电工程设计[J].水土保持应用技术,2009(2):40-42.  
[3] 姚琳,于志勇,祝晓峰.输变电工程施工临时占地水土保持分析[J].水资源开发与管理,2021(12):68-72.  
[4] 赖建坤.水电工程水土流失影响因素及控制措施[J].水土保持应用技术,2010(3):43-45.  
[5] 钱爱国,王峰利.关于建设项目施工临时占地若干水土保持问题的处理[J].中国水土保持,2014(7):6-9.