

# 山地开发项目水土保持措施优化与研究

宋佳乐 刘俊峰 何旭 陈俊州 王振博  
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 615500

**摘要:** 山地作为我国重要的生态屏障和资源承载区,其开发活动在推动区域经济发展的同时,也极易引发严重的水土流失问题,对生态环境和可持续发展构成巨大威胁。传统的水土保持措施往往存在单一、粗放、缺乏系统性等问题,难以满足新时代高质量发展的要求。本文旨在系统探讨山地开发项目水土保持措施的优化路径。首先,深入剖析了山地开发引发水土流失的机理与特征,并梳理了当前工程、植物、耕作及管理四大类措施的应用现状与局限性。其次,针对现有问题,提出了以“预防为主、防治结合、综合治理、科技赋能”为核心的优化原则。在此基础上,构建了一个融合多目标决策模型(以AHP层次分析法为例)与效益评价体系的综合性优化框架。最后,从政策法规、实施保障机制及未来发展趋势三个维度,探讨了优化措施落地的关键支撑。研究表明,通过科学的规划、先进的技术、完善的制度和协同的治理,能够有效提升山地开发项目的水土保持效能,实现生态保护与经济发展的双赢。

**关键词:** 山地开发;水土保持;措施优化;多目标决策;效益评价

## 引言

山地在我国国土面积中占据着举足轻重的地位,不仅是长江、黄河等大江大河的重要水源涵养地,也是生物多样性保护的关键区域和众多民族的聚居地。然而,随着城镇化进程的加速和基础设施建设的不断推进,各类开发项目(如交通、能源、旅游、房地产等)大规模向山地延伸。这些开发活动不可避免地会扰动原生地貌、破坏植被覆盖、改变地表径流,从而加剧水土流失,导致土壤肥力下降、土地生产力衰退、河流泥沙淤积、地质灾害频发等一系列生态与环境问题。据2026年初发布的行业数据显示,中国因工程建设导致的水土流失面积已达15.8万平方公里,形势严峻。水土保持是生态文明建设的基石,是实现人与自然和谐共生的根本举措。中共中央办公厅、国务院办公厅于2023年印发的《关于加强新时代水土保持工作的意见》明确指出,要“强化生产建设项目全过程水土保持监管”,并强调了“优化水土保持方案”的重要性。此后,各地纷纷出台细化方案,如烟台市2024年印发的实施方案就明确提出要“科学推进经济林木更新,优化种植结构,提高地表灌草覆盖率”。在此背景下,如何科学、高效地优化山地开发项目的水土保持措施,已成为一个兼具理论价值与实践紧迫性的重大课题。

## 1 山地开发与水土流失机理及现状

### 1.1 山地开发活动的主要类型与扰动特征

山地开发项目类型多样,主要包括:(1)线性工程,如高速公路、铁路、输电线路等,其特点是战线长、切割深,易形成大量边坡和弃渣场,对地形地貌造成线性

切割。(2)点式工程,如风电场、光伏电站、矿山开采、旅游景区等,其特点是集中占用局部地块,形成大面积的地表裸露和扰动。(3)面状开发,如城镇新区建设、农业综合开发等,其特点是影响范围广,改变了区域的土地利用格局和水文循环过程<sup>[1]</sup>。这些开发活动共同的扰动特征包括:大规模的土石方开挖与回填、原生植被的清除、地表硬化、施工期临时堆土和排水系统不完善等。这些行为极大地削弱了土壤的抗蚀能力和地表的入渗能力,为水土流失的发生创造了条件。

### 1.2 山地水土流失的成因与特点

山地水土流失是自然因素与人为活动共同作用的结果。(1)自然因素,山地地形坡度陡峭,重力作用显著;降雨集中且强度大,雨滴击溅和径流冲刷能力强;部分山地土壤质地疏松,抗蚀性差。(2)人为因素,不合理的开发活动是加剧水土流失的主导因素。其特点表现为:突发性强(如施工期短期内产生大量流失)、强度高(单位面积流失量远超自然状态)、危害大(直接威胁工程安全和下游生态)。

### 1.3 现有水土保持措施体系及其局限性

目前,山地开发项目普遍采用的水土保持措施可分为四大类:(1)工程措施,如挡土墙、护坡、排水沟、沉沙池、拦渣坝等。其优点是见效快、防护能力强,但缺点是投资大、生态性差,且可能破坏景观。(2)植物措施,如植草、植树、种藤等。其优点是生态效益好、持久性强、美化环境,但缺点是初期生长慢、见效周期长,且在恶劣立地条件下成活率低。(3)耕作措施,主要适用于农业开发项目,如等高耕作、间作套种、覆盖耕作等。

能有效减少农田水土流失,但在非农开发项目中应用受限。(4)管理措施,如合理安排施工时序、控制施工范围、加强临时防护、建立健全监测体系等。这是贯穿项目始终的基础性措施。现有措施往往孤立应用,缺乏系统集成;方案设计偏重经验判断,缺乏量化的科学决策支持;效益评价体系不健全,难以对不同方案进行客观比选;对后期管护重视不足,导致措施效果衰减甚至失效<sup>[2]</sup>。此外,传统P因子(措施因子)的确定方法,如经验值法,已难以满足精准化治理的需求。

## 2 山地开发项目水土保持措施优化的原则与框架

### 2.1 优化的基本原则

为克服现有措施的局限性,水土保持措施的优化应遵循以下原则:(1)预防优先原则,将水土保持理念前置到项目规划和选址阶段,从源头上规避高风险区域,优化工程布局。(2)系统治理原则,打破措施间的壁垒,将工程、植物、耕作和管理措施有机结合,构建“点-线-面”相结合、“地上-地下”相统筹的立体防护网络。(3)因地制宜原则,充分考虑项目所在地的气候、土壤、地形、水文及社会经济条件,选择最适宜的技术和物种,避免“一刀切”。(4)科技赋能原则,积极引入BIM、GIS、无人机、物联网等现代信息技术,实现水土保持方案的精准设计、动态监测和智能预警<sup>[3]</sup>。(5)全生命周期原则,将水土保持工作贯穿于项目的设计、施工、运营乃至闭矿/退役的全过程,确保措施的长效性。

### 2.2 优化的总体框架

本文提出一个“目标导向-过程优化-效果评估”的闭环优化框架:(1)目标层,明确水土保持的多重目标,通常包括最大化蓄水保土效益、最小化工程成本、最大化生态效益和经济效益等。(2)过程层,基于多目标决策模型,对备选措施方案进行科学比选和优化配置。(3)评估层,建立涵盖生态、经济、社会维度的综合效益评价体系,对优化后的方案实施效果进行动态跟踪与反馈,为后续调整提供依据。

## 3 水土保持措施优化的模型与方法

### 3.1 多目标决策模型的构建

面对多个相互冲突的目标,单一目标的优化无法满足实际需求。多目标规划(MOP)是解决此类问题的有效工具。考虑到山地开发项目的复杂性和决策者的主观判断,本文推荐采用层次分析法(AHP)作为核心决策模型。AHP模型应用步骤如下:

#### 3.1.1 建立层次结构模型:

目标层(O):山地开发项目水土保持措施最优方案。

准则层(C):选取关键评价准则,如C1:蓄水保土效

益、C2:工程经济成本、C3:生态修复效果、C4:施工可行性、C5:社会接受度等。

方案层(P):列出所有可行的措施组合方案,如P1:传统工程措施为主、P2:工程+植物综合措施、P3:创新生态工法(如植生袋、生态混凝土)等。

#### 3.1.2 构造判断矩阵并计算权重

邀请领域专家,对同一层次元素相对于上一层次某元素的重要性进行两两比较,采用1-9标度法打分,构造判断矩阵。通过计算矩阵的最大特征值及其对应的特征向量,并进行一致性检验( $CR < 0.1$ ),最终得到各准则相对于总目标的权重( $W_c$ ),以及各方案相对于每个准则的权重( $W_{p/c}$ )。

#### 3.1.3 计算综合得分并排序

将各方案在各准则下的权重与准则权重进行加权求和,得到每个方案的综合得分。根据综合得分对所有方案进行排序,得分最高者即为最优方案。

该模型的优势在于能将定性问题量化,清晰地揭示决策逻辑,并有效处理多目标间的权衡关系。国内外已有诸多成功应用案例,例如在印度库尔西河流域的农林规划中,AHP-GIS模型被用于平衡生态稳定性、经济可行性和气候适应能力。

## 3.2 综合效益评价体系

为科学、全面地衡量优化方案的实施效果,必须建立一套多维度的综合效益评价指标体系。在生态效益方面,可选取土壤侵蚀模数减少率、植被覆盖率增长率、生物多样性指数、水源涵养量等指标,用以量化方案对生态环境的改善程度。经济效益指标则关注方案的投入产出比,包括直接的工程投入成本、因减少水土流失而避免的经济损失(如泥沙清理费、防洪成本),以及可能带来的新增经济产出(如林果收益)。社会效益指标着眼于方案对人类社区的影响,如人居环境的改善程度、公众满意度的提升、对当地就业的促进作用以及对工程安全的保障能力等<sup>[4]</sup>。通过定期、系统地监测上述指标,不仅可以对优化方案的长期有效性进行客观评估,还能为未来类似项目的规划设计积累宝贵的经验数据和知识。

## 4 优化措施的实施保障与未来展望

### 4.1 政策法规与标准规范保障

强有力的制度保障是确保优化措施能够真正落地生根的前提。我国目前已初步形成了以《中华人民共和国水土保持法》为核心,以《生产建设项目水土保持方案管理办法》(水利部令第53号)等规章为支撑的法律法规体系。面向未来,这一制度体系仍有待进一步完善。首先,应针对交通、能源、采矿等不同类型的山地开发

项目, 出台更具操作性和针对性的水土保持技术规范和设计导则, 为实践提供清晰指引。其次, 必须强化法规的刚性约束, 严格落实水土保持方案的审批、事中事后监管和设施验收制度, 确保“三同时”(同时设计、同时施工、同时投产使用)原则得到不折不扣的贯彻。值得注意的是, 截至2026年, 多地已开始依托高分辨率卫星遥感技术, 常态化开展生产建设项目的水土保持遥感监管, 大大提升了监管效率和覆盖面。最后, 应积极探索并完善激励机制, 通过探索水土保持生态产品价值实现的有效路径, 对那些积极采用先进优化措施的项目主体给予政策倾斜或资金奖励, 从而激发市场内生动力。

#### 4.2 实施保障机制

除了顶层设计, 一套行之有效的实施保障机制同样不可或缺。责任机制是基础, 必须明确项目建设单位的主体责任和水行政主管部门的监管责任, 形成权责清晰、齐抓共管的工作格局。协同机制是关键, 需要加强水利、自然资源、林业、住建等相关部门之间的协同联动, 打破信息孤岛, 实现信息共享和联合执法, 形成监管合力。信用监管机制是抓手, 应全面推行水土保持信用评价制度, 将信用评价结果与项目审批、资金安排等挂钩, 对失信主体依法依规进行惩戒, 从而营造一个诚信守法的良好市场环境。智慧监管机制是方向, 要深化“互联网+监管”模式, 充分利用遥感、无人机、视频监控等现代化技术手段, 对重点开发项目实施非现场、全天候的动态监管, 实现从被动响应向主动预警的根本转变。

#### 4.3 未来研究趋势展望

展望未来, 山地开发项目水土保持措施优化研究将呈现出四大鲜明趋势。一是智能化与精准化, 人工智能、大数据分析和数字孪生技术将被深度融入水土保持工作全流程, 实现对水土流失风险的精准预测、措施方案的智能生成与动态优化。二是生态化与近自然化, 基于自然的

解决方案(NbS)将成为主流思想, 更加注重利用和模仿自然生态系统的自我修复与调节能力来实现水土保持目标, 追求人与自然的和谐共生。三是多功能协同化, 未来的水土保持措施将不再局限于单一的保土蓄水功能, 而是与固碳增汇、生物多样性保护、水资源综合管理等多重生态服务功能深度融合, 追求生态系统整体服务价值的最大化。四是全链条标准化, 从最初的规划设计、到中期的施工建设、再到后期的监测评估与管护, 将逐步形成一套覆盖项目全生命周期的、完整的标准化流程和规范, 以确保各项优化措施的效果能够长期、稳定地得以维持。

#### 5 结语

山地开发与生态保护并非不可调和的矛盾。通过对水土保持措施进行系统性、科学化的优化, 完全可以在保障合理开发需求的同时, 最大限度地守护绿水青山。本文提出的以多目标决策模型为核心、以综合效益评价为导向的优化框架, 为破解山地开发中的水土流失难题提供了清晰且可行的路径。未来, 我们应当持续完善相关的政策法规体系, 大力创新技术方法, 不断健全多层次的实施保障机制, 坚定不移地推动水土保持工作从传统的被动防治向新时代的主动引领转变, 为建设美丽中国和实现全球可持续发展目标贡献坚实而持久的力量。

#### 参考文献

- [1] 牛天新. 新垦山地生态护坡水土保持效果研究[J]. 中国水土保持, 2025, (11): 25-29+37.
- [2] 汤海忠, 龚健华, 周凌波. 大型山地光伏电站施工期水土保持关键技术浅析[J]. 科学技术创新, 2024, (24): 193-196.
- [3] 吴伟. 山地风电场水土保持实施与现场管理要点分析[J]. 云南水力发电, 2026, 42(02): 125-128.
- [4] 袁仑. 基于林业水土保持措施对土壤侵蚀的防控效应研究[J]. 江西农业, 2026, (06): 187-189.