

复杂地形施工场地泥石流防治优化

党 超

四川省第五地质大队 四川成都 610000

摘 要: 复杂地形施工场地的泥石流防治是保障工程建设和生态环境安全的关键环节。本研究立足于复杂地形特殊地质环境,通过多学科交叉研究方法,系统探讨了泥石流灾害防治的优化策略。研究采用现场调查、数值模拟与工程实践相结合的方法,重点分析了复杂地形条件下泥石流形成机理的特殊性,并在此基础上提出了基于现代勘探技术的地质条件精准评估体系、分级防护与生态治理的协同作用机制、智能化监测预警系统的构建原理,以及全过程动态管理的实施路径。研究表明,通过整合多源数据、优化防护结构、强化智能监测和完善管理体系,可显著提升复杂地形条件下泥石流防治的可靠性和有效性。研究成果为类似工程项目的灾害防治提供了系统的技术方案和管理模式,对推动工程建设与生态环境协调发展具有重要价值。

关键词: 复杂地形; 泥石流防治; 优化方案; 监测预警

在山区基础设施建设快速发展的背景下,复杂地形区域的施工场地面临着严峻的泥石流灾害威胁。这类地区特有的陡峻地形、破碎岩体和复杂水文条件,与工程施工活动相互叠加,形成了独特的灾害风险特征。传统防治方法由于对复杂地形适应性不足,往往难以取得预期效果。本研究针对这一工程难题,采用理论分析、数值模拟和工程验证相结合的研究方法,系统分析了复杂地形条件下泥石流形成机理、运动特征和致灾过程,深入探讨了现有防治技术的局限性及其成因。在此基础上,本研究旨在建立一套适用于复杂地形施工场地的泥石流防治优化体系,包括精准评估方法、综合防治技术和智能管理系统。研究成果不仅有助于提升工程安全水平,也为实现工程建设与环境保护的协调发展提供了新的思路和方法,具有重要的工程应用价值和理论意义^[1]。

一、复杂地形施工场地泥石流防治现状与挑战

1. 复杂地形泥石流形成机理的特殊性

在复杂地形区域,泥石流的形成过程表现出与常规地貌截然不同的特征。这类地区往往呈现出坡度变化剧烈、岩层破碎程度高以及水文系统复杂多变等特点。从动力学角度分析,陡峭的斜坡地形为松散物质提供了巨大的势能储备,在触发因素作用下极易转化为强烈的动能。同时,由于地质构造运动的影响,这些区域的岩体

普遍存在节理发育、结构松散等问题,在强降雨或地震等外营力作用下,极易发生岩体崩解,为泥石流形成提供了充足的固体物质来源。值得注意的是,复杂地形区的地下水位波动往往更为剧烈,这种水文动态变化会显著降低岩土体的抗剪强度,进一步增加了坡体失稳的可能性,下图1是红椿沟流域“8.14”特大泥石流事件的实况图。

2. 现有防治技术在实际应用中的困境

当前工程实践中采用的泥石流防治措施主要包括结构性拦阻设施、疏导排泄系统以及生物工程治理等几大类。但在复杂地形条件下,这些常规技术手段都面临着严峻的适用性挑战。以拦挡结构为例,在坡度较大的区域,不仅施工难度显著增加,而且由于地基稳定性问题,其防护效果往往难以保证。排水系统的设计同样面临巨大困难,复杂的地形条件使得水流路径难以准确预测,导致排水设施经常无法发挥预期作用。虽然生态治理措施具有环境友好的优势,但其见效缓慢的特点难以满足工程施工期的即时防护需求。更值得关注的是,现有技术体系普遍存在“头痛医头”的局限性,缺乏对泥石流灾害链的系统性防控思维,这种单一化的防治思路显然无法应对复杂地形区泥石流的多变特性和突发风险。这种技术瓶颈迫切要求我们探索更加综合、更具适应性的新型防治策略。

在实际工程案例中,我们经常观察到这样的情况:在陡峭峡谷地区修建的拦砂坝,由于基础处理不当,在首次泥石流冲击中就发生整体倾覆;设计的排水沟渠因

作者简介: 党超(1986.7-),男,汉,陕西渭南人,硕士研究生,水工环高级工程师,研究方向:主要从事地质灾害防治和岩土工程勘察设计与生产与科研工作。

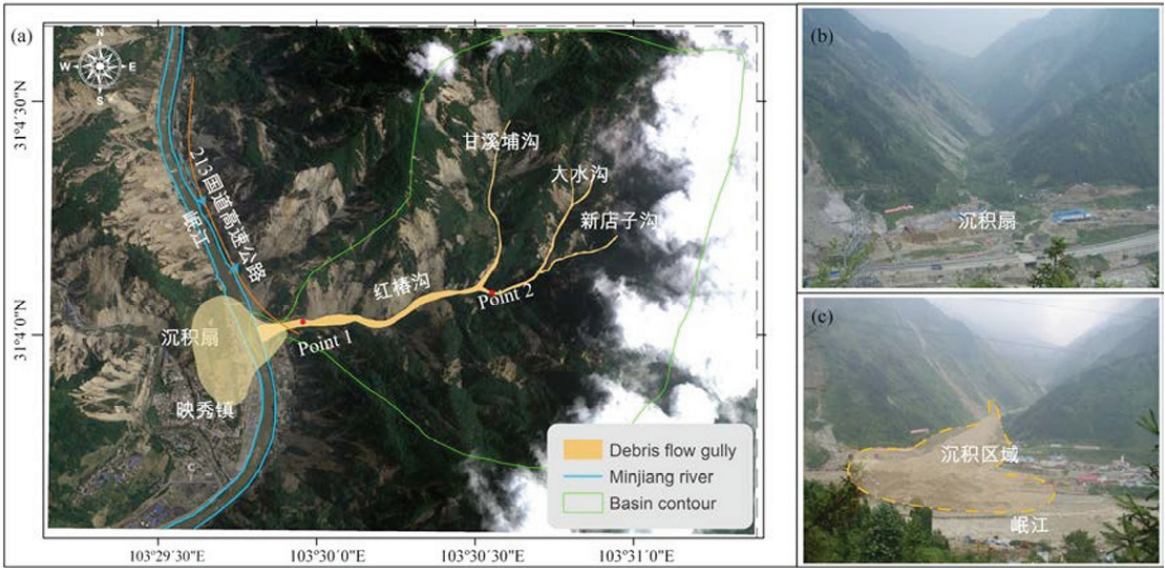


图1 红椿沟流域“8.14”特大泥石流事件概况

为对汇水面积估算不足，在暴雨来临时完全失去排泄能力；种植的防护林由于立地条件恶劣，成活率极低。这些教训都说明，在复杂地形条件下，必须对传统防治技术进行根本性的改进和创新。特别需要指出的是，施工场地的临时性和动态性特征，更增加了防治工作的难度，这就要求防治措施不仅要有效，还要具备足够的灵活性和适应性^[2]。

二、复杂地形泥石流防治的系统优化方案

1. 基于综合勘探技术的地质评估体系

准确的地质环境认知是制定有效防治方案的首要前提。在复杂地形区域，传统的地质调查方法面临着数据采集不全面、精度有限等固有缺陷。为解决这一问题，建议采用多技术协同的综合勘探方案：利用高分辨率卫星遥感进行大范围地质解译，配合无人机激光雷达扫描获取精细地形数据，再结合现场钻探和物探测试进行验证。这种“空-天-地”一体化的数据采集模式，可以构建出精度达厘米级的三维地质模型，实现对岩土参数、构造特征和水文特性的全面量化评估。特别需要强调的是，这种多源数据融合方法不仅大幅提高了调查结果的可靠性，更能为后续防治工程的选址、设计和施工提供坚实的科学依据，下表1是自红椿沟流域“8.14”特大泥石流事件种三条支沟（甘溪铺沟、大水沟和新店子沟）的观测数据。

在实际操作中，这种综合勘探体系应该分阶段实施：前期采用遥感技术进行区域性的地质普查，识别潜在的危险区段；中期运用无人机航测对重点区域进行详细测

表1 泥石流物源起动位置和深度观测数据

研究物源区	最大高差 (m)	平均 坡度	平均宽度 (m)	实际物源起 动体积 (m ³)
甘溪铺沟 (S1)	236.4	37.3%	12.0	11.2 × 10 ⁴
大水沟 (S2)	223.5	59.5%	8.0	3.9 × 10 ⁴
新店子沟 (S3)	197.9	60.2%	16.0	3.2 × 10 ⁴

绘，获取精确的地形和地表特征数据；后期则通过现场勘探验证遥感解译结果，并获取关键的岩土力学参数。整个过程需要地质学家、遥感专家和土木工程师的密切配合，确保获得的数据既全面又准确。值得一提的是，随着人工智能技术的发展，现在可以通过机器学习算法对海量的勘探数据进行智能分析，快速识别出地质异常区域，大大提高了工作效率和准确性。

2. 多级防护与生态治理的协同体系

针对复杂地形的特殊条件，建议采用“硬措施”与“软手段”相结合的复合防护策略。具体而言，可以在泥石流运动路径上设置系列化的阶梯式拦阻结构，通过逐级消能的方式降低流体冲击力。这些防护设施应当根据地形特点采用差异化设计，如上段以稳固拦挡为主，中段侧重消能减速，下段则注重沉积调控。与此同时，在工程防护的基础上，同步实施系统的生态修复工程，包括优选适生植物进行坡面绿化、采用土工材料加固表层土壤等措施。

在工程实践中，这种协同体系的具体实施需要注意几个关键点：首先是拦挡结构的布置要遵循“因势利导”的原则，充分利用地形条件，避免大规模的土方开

挖；其次是结构设计要采用柔性理念，允许适度变形以消耗冲击能量；最后是植物品种的选择要因因地制宜，优先选用根系发达、抗旱耐瘠的乡土物种。一个成功的案例是在某水电站施工区实施的综合防护工程：在上游设置了3道不同高度的格栅坝，中游布置了阶梯式消能池，下游建设了沉积区，同时在整个流域开展了系统的植被恢复。监测数据显示，该工程成功抵御了多次暴雨袭击，有效控制了泥石流灾害，同时区域的生态环境也得到了明显改善。

3.智能化的实时监测预警平台

考虑到泥石流灾害的突发特性，建立高效的监测预警体系至关重要。现代信息技术的发展为此提供了新的解决方案：通过布设分布式传感器网络，实时采集降雨强度、孔隙水压力、地表位移等关键参数；借助物联网技术实现数据的即时传输；运用机器学习算法对海量监测数据进行深度挖掘，建立灾害预警模型。

在实际建设中，这种监测预警系统通常包括以下几个子系统：数据采集系统由各类传感器组成，布置在关键监测点上；数据传输系统可以采用有线与无线相结合的方式，确保信号的可靠传输；数据处理中心配备高性能服务器和专业分析软件；预警发布系统则通过声光报警、短信推送等多种渠道确保预警信息及时传达。以某铁路建设项目为例，其建立的智能监测系统包括了12个雨量站、8个位移监测点和4个视频监控点，系统运行以来已成功预警3次潜在泥石流事件，为人员撤离和设备转移赢得了宝贵时间，避免了重大损失。

三、工程实施与管理的创新模式

1.全生命周期的动态管控机制

泥石流防治工程的有效性很大程度上取决于全过程的质量管控。建议建立覆盖工程全生命周期的动态管理机制：在前期规划阶段，就要基于详细的地质风险评估结果，科学确定防治工程的布局方案和设计标准；在设计环节，需要充分考虑复杂地形的特殊要求，采用适应性强的工程结构形式；施工过程中则要建立严格的质量监控体系，特别要加强对隐蔽工程的监督检查。

具体实施时，这种管理机制应该包括以下几个关键环节：首先是建立完善的技术标准体系，明确各环节的质量控制指标；其次是组建专业的管理团队，配备足够的技术力量；再次是建立规范的文档记录制度，确保所有工程活动都有据可查；最后是实施严格的验收程序，不达标工程坚决不予验收。在某大型水利枢纽工程中，

建设单位创新性地采用了“设计-施工-运维”一体化的管理模式，将防治工程纳入主体工程的统一管理，实现了全过程的质量控制。工程完工三年来，经历多次极端天气考验，防治设施始终保持着良好的工作状态，有效保障了工程安全。

2.多元主体参与的协同治理网络

泥石流防治是一项涉及多领域的系统工程，需要构建多方参与的协同治理体系。建议成立由地质勘探、水利工程、环境保护、市政建设等部门组成的联合工作小组，建立常态化的协调机制，实现信息共享和资源整合。同时，要重视公众参与的重要作用，通过开展防灾知识普及、组织应急演练等方式，提高施工人员和当地居民的防灾意识和自救能力。这种政府主导、专业支撑、公众参与的多元共治模式，能够形成防灾减灾的强大合力，为复杂地形区的施工安全提供更加可靠的保障。特别需要指出的是，在工程实施过程中，还应当建立完善的监督评估机制，确保各项防治措施得到有效落实。

四、结论与展望

1.结论

本研究系统分析了复杂地形施工场地泥石流防治的关键技术问题，提出了基于多学科融合的综合防治体系。研究表明，通过建立多源数据融合的地质评估方法，能够显著提高复杂地形条件下地质条件判识的准确性；采用分级拦挡与生态修复相结合的防治技术，既可有效控制泥石流灾害，又能促进生态环境修复；构建智能化监测预警系统实现了对泥石流灾害的实时监测和精准预警；实施全过程动态管理机制确保了防治工程的质量和效果。

2.展望

未来泥石流防治研究应重点关注以下几个方向：一是深化人工智能、大数据等新技术在灾害预测预警中的应用，提高模型的准确性和时效性；二是探索新型环保材料在拦挡工程中的应用，提升工程结构的耐久性和环境友好性；三是加强多学科交叉研究，特别是地质学、水文学、生态学与工程学的深度融合；四是建立更加完善的标准化体系，推动防治技术的规范化应用。

参考文献

- [1] 盛泽. 险峻地形条件下的施工道路智能交通系统[J]. 铁道建筑技术, 2024, (01): 83-86+162.
- [2] 金哲, 杨晓明. 泥石流柔性拦挡坝施工技术应用[J]. 红水河, 2023, 42(04): 48-51+72.