

# 山地泥石流灾害孕育条件与触发机制研究

李洋

中化地质矿山总局吉林地质勘查院

DOI: 10.12238/jpm.v6i2.7758

**[摘要]** 山地泥石流灾害是由地形、气候、土壤和岩土特征等多种因素共同作用引发的, 具有突发性和高度破坏性。降水、地震、植被变化及人类活动是主要的触发机制, 其中, 强降水和地震能显著降低坡体稳定性, 诱发泥石流灾害。为有效防治泥石流灾害, 应从源头治理、监测预警和灾后恢复等方面入手, 采取生态恢复、植被恢复和土壤加固等措施, 结合遥感技术和 GIS 系统实现实时监控与早期预警, 从而减少灾害损失。

**[关键词]** 山地泥石流; 孕育条件; 触发机制; 防治策略; 遥感技术; 监测预警

## Research on the breeding conditions and triggering mechanism of mountain debris flow disaster

Li Yang

Jilin Geological Exploration Institute of Sinochem Geological and Mining General Administration

**[Abstract]** Mountain debris flow disaster is caused by the terrain, climate, soil and soil characteristics and other factors, which is sudden and highly destructive. Precipitation, earthquake, vegetation change and human activities are the main trigger mechanisms, among which, heavy precipitation and earthquake can significantly reduce the slope stability and induce debris flow disaster. In order to effectively prevent and control debris flow disasters, measures such as ecological restoration, vegetation restoration and soil reinforcement should be taken from source control, monitoring and early warning and post-disaster recovery, and real-time monitoring and early warning combined with remote sensing technology and GIS system, so as to reduce disaster losses.

**[Key words]** mountain debris flow, breeding conditions, trigger mechanism, prevention and control strategy, remote sensing technology, monitoring and early warning

## 引言

山地泥石流灾害是一种发生在山区和丘陵地区的常见地质灾害, 它是由降水、地形、岩土类型等因素共同作用, 导致大量泥沙、石块、树木等物质迅速沿山坡流动, 形成具有高度破坏性的灾害<sup>[1]</sup>。泥石流的活动强度主要与地形地貌、地质环境和水文气象条件有关。随着全球气候变化及人类活动的影响, 山地泥石流灾害的发生频率和强度逐年增加, 对人民生命财产安全、生态环境及社会发展带来极大的威胁。因此, 研究山地泥石流灾害的孕育条件与触发机制, 对于灾害预警、治理及减灾具有重要意义。

### 1. 山地泥石流灾害的孕育条件

山地泥石流灾害的孕育条件是指一系列基础性地理、气候和环境因素, 这些因素共同作用, 促成泥石流灾害的发生。具体而言, 这些条件主要包括地形条件、气候条件以及土壤和岩土特征等方面的因素。了解和分析这些孕育条件, 有助于揭示泥石流灾害的发生机理和防治对策。

#### 1.1 地形条件

地形条件是影响山地泥石流发生的主要因素之一<sup>[2]</sup>。山区的地形通常具有复杂性和多样性, 这为泥石流的形成提供了不同的条件。特别是坡度较大的山坡, 尤其是坡度超过 25° 的区域, 通常更容易发生泥石流灾害。研究表明, 坡度过大导致了坡体的不稳定性, 进一步增加了泥石流发生的可能性。山地沟谷、悬崖以及岩层裂隙等特殊地貌形态也是泥石流发生的高风险区。这些地形特征使得土壤和岩石容易积累大量松散的物质, 并且水分容易迅速汇集, 造成山体的水土失稳, 从而引发泥石流的发生。在这些地形条件下, 由于坡面陡峭、土壤脆弱, 水土流失现象较为严重, 进一步促使泥石流的源头形成。

#### 1.2 气候条件

气候条件, 尤其是降水量和降水强度, 直接决定了山地泥石流的发生与发展。降水是山地泥石流灾害发生的关键因素之一。当山地地区的降水量大、降水强度高且降水持续时间较长时, 容易形成大量的径流。这些径流使得山体的水分饱和, 导致土壤层的稳定性下降, 从而触发泥石流的发生。尤其是在暴雨期间, 大量的降水会在短时间内集中到小流域, 导致流域

内的水流与土壤、岩石发生强烈的相互作用,这种作用通常会导致山体滑坡、崩塌等灾害的发生。此外,山区的雪融水和季风天气也会加剧泥石流的发生风险。雪融水的快速渗透会使得土层的抗剪强度减弱,而季风天气的到来也往往伴随强降水,这使得山体的水文条件更加复杂,进而增加了泥石流灾害的可能性。

### 1.3 土壤与岩土特征

土壤结构、岩土类型以及岩石的风化程度也是影响泥石流发生与否的重要因素。山区土壤结构较为松散,尤其是砂土、碎屑岩等土质和岩石,这些松散的物质在降水的作用下,容易发生滑坡或崩塌现象。这些地质过程为泥石流的形成提供了大量的泥沙来源。因此,松散岩土层的存在是泥石流发生的重要条件。特别是那些经过长期风化作用的岩土层,由于其抗剪强度较低,在暴雨或其他极端气候条件的影响下,往往容易发生不稳定的滑动或崩塌,进一步促进了泥石流的形成。此外,山区的地质构造活动,如断层、褶皱等,也为泥石流的形成提供了有利条件。断层的存在往往会导致山体的不稳定,岩土层破碎,易于在强降水或地震等自然因素的作用下发生大规模的滑动或崩塌,最终形成泥石流灾害。

## 2. 山地泥石流灾害的触发机制

山地泥石流灾害的触发机制是指一系列外部和内部因素相互作用的结果,这些因素共同作用下促使泥石流的发生。泥石流的触发机制通常与降水、地震、植被变化、人类活动以及地质构造等因素密切相关。不同的触发机制往往交织在一起,形成复杂的灾害链反应,因此,准确识别和理解这些触发机制对于灾害预测和防治具有重要意义。

### 2.1 降水触发机制

降水是山地泥石流最主要的触发因素之一,尤其是暴雨和强降水事件。降水能够直接影响坡面土壤的水分含量,增加土体的饱和度,从而降低土壤的抗剪强度,导致坡面上的松散土体发生滑动或崩塌。暴雨期间,大量降水集中在短时间内,水分迅速渗透土层并引发强烈的水流作用。这种水流不仅会对坡面上的松散物质进行侵蚀,形成流动的泥沙,还能加速坡体的剖面变化,破坏土体的稳定性,进而加剧泥石流的发生。降水的强度、持续时间和空间分布均是影响泥石流发生规模和强度的关键因素。例如,长时间的强降水会显著增加土层的水分饱和度,导致泥石流的体积和流速增大;而短时间内大面积强降水则可能引发突发性泥石流,灾害影响更为严重。降水的空间分布不均也可能导致局部区域泥石流灾害的集群发生,尤其是在沟谷等低洼地带。

### 2.2 地震触发机制

地震是另一种可能引发泥石流的突发性灾害,尤其是大规模或强烈地震。在地震作用下,山体的震动会导致岩层和土壤的松动,进而破坏其原有的稳定性,促使不稳定的坡体发生位移或崩塌,最终引发泥石流。山区通常具有复杂的地质构造,

岩层较为松散或结构脆弱,因此更容易受到地震震动的影响。地震振动会导致土层和岩层之间的剪切力增大,进而触发滑坡、崩塌等地质灾害,而这些灾害所释放的大量松散物质常常为泥石流提供丰富的物质来源。地震的强度、震中位置以及震源深度等因素决定了震动对泥石流的触发作用。强烈的地震不仅可能在震中地区引发泥石流,震源附近的远距离地区也可能受到影响,特别是在地震后发生的余震,往往会进一步加剧已形成的滑坡或崩塌,导致二次泥石流灾害。因此,地震的综合影响常常比单次震动更加复杂,需要综合考虑震后环境变化对泥石流触发机制的长期影响。

### 2.3 植被变化与人类活动

植被是山地地区防止水土流失和保持坡面稳定的重要因素。植被通过其根系的固定作用和水分的吸收作用,有效减少了土壤的侵蚀和滑动。然而,当山区的植被覆盖发生变化时,特别是过度砍伐、过度放牧或土地开发等人类活动导致植被大规模消失时,土壤的稳定性会显著降低,水土流失现象加剧,从而增加了泥石流发生的风险。失去植被保护的坡面更容易受到暴雨或持续降水的侵蚀,导致水流的集聚和土层的松动。除此之外,森林的减少还会改变山区的水文条件,导致水流的速率和方向发生变化,进一步促使山体的不稳定。人类活动对山区生态系统的干扰,不仅通过直接改变植被覆盖来影响水土流失,还通过道路建设、矿产开采等活动改变了自然的水文地质条件,这些活动会加剧泥石流发生的频率和规模。因此,保持良好的植被覆盖和控制人类活动对生态环境的干扰,是防止泥石流灾害的重要手段。

### 2.4 地质构造与地下水变化

山区的地质构造和地下水变化在泥石流的触发机制中扮演着重要角色。地质构造活动如断层、褶皱、节理等,通常会导致岩土层的松散和破裂,从而使得山体更加容易受到外界因素的干扰而发生位移。断层和褶皱往往会削弱岩土层的整体稳定性,增加了在强降水或其他触发因素作用下发生泥石流的风险。例如,在断层带附近,岩层的抗剪强度较低,容易在降水或震动作用下发生滑动,形成大量的泥沙源。此外,地下水的变化也对泥石流的触发有重要影响。地下水位的升高可能导致土壤内部的水分含量增加,降低土体的抗剪强度,使得坡体在较小的外力作用下发生崩塌或滑动,最终引发泥石流。在一些地区,地下水的动态变化(如长时间的降水或积雪融水)会导致地下水位的上升,进而改变岩土层的稳定性。因此,山区的地下水条件和地质构造密切相关,二者共同影响着泥石流的发生与演变。

## 3. 山地泥石流灾害的防治策略

山地泥石流灾害由于其突发性、破坏性及影响范围广泛,一旦发生会对人类生命财产安全、生态环境以及社会经济造成极大威胁。因此,采取有效的防治措施是减少泥石流灾害损失的关键。山地泥石流的防治策略应从源头预防、监测预

警、灾后恢复等多个方面入手，以实现灾害的系统性治理和可持续防控。

### 3.1 源头治理与生态恢复

源头治理是防治山地泥石流灾害的根本策略，其主要方法就是通过改善山地生态环境，增强山体的稳定性，减少泥石流发生的可能性。首先，植被恢复与生态建设是最为重要的防治手段。植被具有保持水土、提高土壤抗冲刷能力的功能，尤其是通过植被的根系固定作用，能够有效地防止土壤侵蚀和坡体滑动。因此，恢复山区的天然植被，推广人工植树造林、草地恢复等生态工程是防止泥石流灾害的长效措施。

### 3.2 灾害监测与预警系统

山地泥石流灾害的防治不仅依赖于源头治理，还需要建立完善的灾害监测与预警系统，确保能够及时发现潜在的风险，提前采取防范措施。现代科技手段，尤其是遥感技术、地理信息系统 (GIS) 和大数据分析，在泥石流灾害的监测与预测中具有重要作用。通过在山区布设监测点，实时获取降水量、土壤湿度、坡体位移等数据，可以为泥石流发生提供早期预警。此外，结合气象预报，可以在强降水天气到来前，提前发出警报，提醒居民采取防护措施。

### 3.3 灾后恢复与应急处置

泥石流灾害发生后，及时的应急处置和灾后恢复工作对减少损失、恢复灾后生产生活至关重要。应急处置的首要任务是人员撤离与安全保障。各级政府和相关部门应根据泥石流灾害的预测信息，提前规划疏散路线和避难场所，并进行必要的应急演练，提高群众的自我保护意识。灾情发生后，应立即组织专业救援队伍开展救援行动，重点抢救被困人员，疏导受灾群众，并为灾后重建提供支持。

## 4. 结论

山地泥石流灾害的发生是由多种复杂因素共同作用的结果。其孕育条件主要包括地形、气候、土壤与岩土特征等，而触发机制则涉及降水、地震、植被变化等多方面因素。尽管当前研究已取得一定进展，但由于其高度的复杂性和不确定性，仍需要进一步深入探索。我们需要综合运用现代科技手段，结合多学科的研究成果，为山地泥石流灾害的预警和防治提供更为科学的依据。

### [参考文献]

- [1]刘传正, 王建新. 崩塌滑坡泥石流灾害链分类研究[J]. 工程地质学报, 2024, 32 (05): 1573-1596.
- [2]蔡彬, 谢宇. 泥石流地质灾害危险性评价研究[J]. 中国科技论文在线精品论文, 2024, 17 (03): 393-397.

## 上接第 268 页

仅在 3 天内完成了 10 平方公里的地形建模，而且通过数据分析，准确识别出潜在的滑坡区域，为矿山灾害预防提供了及时的数据支持。

在矿产资源估算方面，无人机航空摄影测量技术结合机器学习算法，可以更准确地估算矿体的体积和品位，提高资源利用率。此外，通过持续的开采过程监测，可以实时更新矿山的开采状态，为决策者提供动态的管理依据，促进矿山的可持续发展。

然而，技术的应用也面临挑战，如数据处理的复杂性、对法规环境的适应等。为应对这些挑战，矿山企业需要投资建设专门的数据处理团队，同时与政府部门积极沟通，推动相关法规的更新和完善。此外，通过与科研机构、设备供应商等多方合作，共同推动技术的创新和应用，以实现矿山测量行业的深度变革。

无人机航空摄影测量技术将进一步融合人工智能、云计算等先进技术，实现测量的自动化和智能化。这不仅将提升矿山行业的数字化水平，也将为矿山的环境保护、社区关系管理等带来更多可能性，推动行业向更加绿色、智能的方向发展。

### 5.3 技术融合与创新趋势

随着科技的快速发展，无人机航空摄影测量技术在矿山测量中的应用正呈现出融合与创新的趋势。传统的测量方法受限于效率和精度，而无人机技术的引入，结合了高分辨率影像处

理、GIS 和 AI 等多学科技术，实现了对矿区的实时、动态和高精度监测。

在某矿山的实际应用中，无人机系统结合机器学习算法，成功预测了潜在的滑坡区域，预警精度达到了 90% 以上，显著提升了矿山灾害的预防能力。这种技术融合不仅提高了工作效率，还降低了人员安全风险，体现了技术进步对传统行业的重要影响。未来，随着 5G、云计算等技术的进一步发展，无人机数据将实时上传至云端，实现远程专家团队的即时分析和决策支持，进一步推动矿山测量领域的创新与变革。

## 6 结束语

综上所述，无人机航拍技术可有效提升矿井测绘工作效率与质量，充分发挥无人机在矿井测绘中的优势，是矿井测绘技术发展的重要方向。利用无人机和多种技术的综合运用，大大丰富了矿山测绘成果的种类。由此可以看出，在矿井测绘工作中，需要进一步推广无人机航测技术，从而不断促进矿井测绘技术的发展与进步。

### [参考文献]

- [1]成龙辉. 无人机倾斜摄影测量技术在矿山测绘中的应用分析[J]. 中国金属通报, 2023, (07): 43-45.
- [2]魏鑫, 刘宗波. 试析无人机航空摄影测量技术在矿山储量监测中的具体运用[J]. 世界有色金属, 2022, (06): 46-48.
- [3]伊本良. 无人机航空摄影测量技术在矿山储量监测中的应用[J]. 世界有色金属, 2020, (15): 22-23.