

泥石流地质灾害的形成机制与防治对策

周大立 黎中余

重庆市地质矿产勘查开发局208水文地质工程地质队（重庆市地质灾害防治工程勘查设计院） 重庆 400700

摘要：泥石流作为一种破坏性极强的自然灾害，其形成机制复杂且影响广泛，对人民生命财产安全构成严重威胁。本文旨在探讨泥石流地质灾害的形成机制，并基于这些机制提出相应的防治对策。通过分析泥石流的形成条件、过程及特点，结合当前防治技术的进展，提出一套系统而有效的防治策略，以期对泥石流地质灾害的科学防控提供参考。

关键词：泥石流；形成机制；防治对策；监测预警

引言

泥石流是指在山区或其他沟谷深壑地区，因暴雨、暴雪或其他自然灾害引发的山体滑坡，并携带有大量泥沙、石块等固体物质的特殊洪流。其突发性强、流速快、流量大、破坏力大，对当地生态环境、基础设施及居民生命财产安全构成巨大威胁。因此，深入研究泥石流的形成机制及防治对策具有重要意义。

1 泥石流地质灾害的形成机制

1.1 地形地貌条件

地形地貌作为泥石流形成的基础框架，其特性对泥石流的发生、发展和堆积过程具有决定性影响。泥石流通常孕育于坡度陡峭、沟谷深切且地形封闭的区域，这些区域往往呈现出瓢状或漏斗状的地貌特征。三面环山的地形结构有效地阻挡了来自外围的气流和水流，使得内部的水汽和松散物质得以积聚。在上游区，即泥石流的形成区，地形相对开阔，但周围山体高耸、坡度陡峭。这种地形条件不仅减少了植被的覆盖度，使得土壤易于侵蚀，还为松散物质的积累提供了空间。当遇到强降雨或融雪等水源激发时，这些松散物质便成为泥石流的主要组成部分^[1]。中游区，即泥石流的流通区，地形变得狭窄而深邃，形成峡谷。峡谷的谷床纵坡大，使得泥石流在流经时能够获得更大的动能，从而加速其流速并增强冲击力。这种地形条件对于泥石流的搬运和侵蚀能力具有显著的放大作用。下游区，即泥石流的堆积区，地形相对平坦。当泥石流从狭窄的峡谷中冲出时，由于地形的突然开阔，流速减缓，泥石流中的物质开始沉积。随着时间的推移，这些沉积物逐渐积累，形成泥石流堆积扇或堆积平原。

1.2 松散物质来源

松散物质作为泥石流的主要构成元素，其丰富程度直接影响着泥石流的规模和破坏力。这些物质主要源自

自然界的物理、化学及生物作用，以及人类活动对山体的干扰。岩石的风化是松散物质形成的重要途径。在温度、水分、氧气等自然因素的作用下，岩石逐渐破碎、分解，形成大小不一的碎屑颗粒。这些颗粒在重力作用下，逐渐在山坡或沟谷中积累，为泥石流提供了丰富的物质基础。地表植被的分解也是松散物质的重要来源。植被在生长过程中，通过根系固定土壤，减少水土流失。然而，当植被死亡后，其残体逐渐分解，释放出养分，同时也降低了土壤的凝聚力，使得土壤更易于被水流冲刷。霜冻作用对土壤的影响同样不可忽视。在寒冷地区，土壤中的水分在冻结过程中膨胀，导致土壤结构破坏，形成裂缝。当春季融雪时，水分沿着裂缝渗透，进一步加剧土壤的松动和流失。人类活动对山体的破坏也是松散物质增加的重要原因。不合理的开挖、滥伐乱垦等行为，直接破坏了山体的稳定性，使得大量松散物质暴露于地表，易于被水流冲刷。此外，地震等自然灾害也会引发山体滑坡、崩塌等现象，瞬间产生大量松散物质。这些物质在重力和水流的作用下，迅速汇集成泥石流，对下游地区造成严重威胁。

1.3 水源条件

水是驱动泥石流形成的核心要素，其来源与特性对泥石流的发生具有决定性影响。在众多水源中，暴雨、冰雪融化以及水库溃决是引发泥石流最为常见的几种形式。暴雨，特别是短历时高强度的降雨，是诱发泥石流最为直接且频繁的水源。当大量降水在短时间内迅速汇集于地表，会形成强大的地表径流。这些径流具有极高的动能，能够强烈冲刷和搬运沟谷中的松散物质，迅速形成泥石流。暴雨的强度和持续时间，以及前期降雨量，都是影响泥石流形成的重要因素。冰雪融化同样可以成为泥石流的重要水源。在高山地区，随着季节变化，冰雪逐渐融化，形成大量融水。这些融水在流动过

程中, 不仅增加了沟谷中的水量, 还提高了水流的温度, 有助于加速岩石的风化和土壤的松动^[2]。当融水量达到一定程度时, 便可能触发泥石流的发生。水库溃决虽然相对罕见, 但一旦发生, 其引发的泥石流往往规模巨大, 破坏力极强。水库溃决时, 大量蓄水瞬间释放, 形成巨大的水流冲击力。这种冲击力不仅能够直接冲刷和搬运松散物质, 还可能引发山体滑坡、崩塌等次生灾害, 进一步加剧泥石流的形成和破坏。

2 泥石流地质灾害的防治对策

2.1 综合治理措施

2.1.1 植树造林与水土保持

植树造林是防治泥石流的有效手段之一。通过选取适应性强、根系发达的树种, 在泥石流易发区域进行大规模植树, 可以显著增加植被覆盖度, 提高山体的稳定性。植被的根系能够紧密固结土壤, 减少水土流失, 从而降低泥石流的发生概率。在植树造林的同时, 还应加强水土保持工作。这包括修建梯田、水平沟等工程措施。梯田通过改变地形, 减缓了地表径流的速度, 使得水流有更多的时间下渗, 减少了径流量, 从而降低了泥石流的水源。水平沟则是一种引导水流沿沟底缓慢流动的工程, 它能够有效减少水流的冲刷力, 防止沟谷侵蚀和泥石流的形成。此外, 还可以结合生物措施和农业措施, 如种植草皮、灌木等, 形成多层次的植被防护体系。这些措施不仅能够提高土壤的抗蚀能力, 还能够改善生态环境, 促进生态平衡的恢复。

2.1.2 生态环境恢复

生态环境恢复是泥石流地质灾害防治中不可或缺的一环, 其核心在于重建山区的自然生态平衡, 保护生物多样性, 并提升生态系统的自我修复能力。为实现这一目标, 首先需进行科学规划和管理。这包括对山区进行详细的生态调查, 了解当地的生物种类、生态系统结构以及环境敏感区域。在此基础上, 合理布局生产、生活和生态空间, 确保人类活动与自然环境的和谐共存。例如, 可以划定生态保护红线, 限制在特定区域内的开发活动, 以保护生物多样性。在恢复生态环境的过程中, 应注重植被的恢复和重建。通过种植乡土树种和草本植物, 可以逐渐恢复山区的植被覆盖, 提高土壤的保持能力。同时, 应加强对森林、草原等生态系统的保护, 防止过度开发和破坏。此外, 还可以采取一些工程措施来辅助生态环境的恢复。例如, 建设生态堤坝、护岸林等, 以稳定河岸、减少水土流失; 实施人工湿地、生态池塘等项目, 以改善水质、增加生物多样性。

2.2 工程治理措施

2.2.1 上游治理

在泥石流地质灾害的上游区(形成区), 治理工作的重点应放在减少水量、抑制形成泥石流的水动力以及阻滞泥沙输移上。为实现这一目标, 可以采取一系列工程措施。首先, 建造水源涵养林是有效的手段之一。通过选择适应性强、根系发达的树种, 在上游区进行大规模植树造林, 可以增加植被覆盖度, 提高土壤的保水能力, 从而减少地表径流, 降低泥石流的水源。其次, 修建调洪水库和引水渠也是重要的工程措施。调洪水库可以在暴雨季节蓄存多余的水量, 减缓洪峰流量, 降低泥石流的发生概率。引水渠则可以将水流引导至安全区域, 避免水流直接冲刷沟谷中的松散物质^[3]。除了上述措施外, 还应加强山体稳定性监测和治理工作。这包括定期对山体进行稳定性评估, 及时发现并处理潜在的山体滑坡和崩塌隐患。在治理过程中, 可以采用重力式挡墙、抗滑桩等工程措施, 以增强山体的稳定性, 防止滑坡和崩塌的发生。重力式挡墙是一种依靠自身重量来抵抗滑坡推力的工程结构, 它能够有效阻挡滑坡体的移动。抗滑桩则是一种深入土层的桩体结构, 通过提供抗滑力来稳定山体。这些工程措施的应用, 可以显著提高山体的稳定性, 降低泥石流的发生风险。

2.2.2 中游治理

在泥石流地质灾害的中游区(流通区), 治理工作的核心在于固定沟床、稳定边坡, 以减少松散土体的来源, 并控制形成泥石流的土体物质。为此, 可以采取一系列工程措施。营造水土保持林是中游治理的重要手段之一。通过选择适应性强、根系发达的树种, 在中游区进行植树造林, 可以增加植被覆盖度, 提高土壤的抗蚀能力, 从而减少水土流失和松散土体的产生。此外, 修建拦沙坝、谷坊等工程也是有效的治理措施。拦沙坝是一种拦截泥石流中泥沙和石块的结构, 它能够减缓泥石流的流速, 降低其冲击力, 并将泥沙和石块滞留在坝前, 从而减少泥石流对下游的威胁。谷坊则是一种在沟谷中修建的小型挡土墙, 它能够稳定沟床, 防止沟谷侵蚀和泥石流的形成。在中游区还应加强护坡和挡土墙的建设。护坡工程可以保护边坡的稳定性, 防止边坡滑塌和泥石流的发生。挡土墙则是一种用于支挡土体的工程结构, 它能够承受土体的压力, 保持土体的稳定, 从而减小泥石流的形成和危害。通过合理布局和科学管理, 这些工程措施可以相互配合, 形成完整的泥石流防治体系。在实施过程中, 应根据中游区的具体地形、地貌和泥石流特征, 选择合适的工程措施进行治理, 以达到最佳的防治效果。

2.2.3 下游治理

在泥石流地质灾害的下游区（堆积区），治理工作的重点在于保护居民生命财产安全，控制泥石流的危害。为此，需要采取一系列综合性的工程措施。首先，营造防护林带是下游治理的重要手段之一。通过在下游区种植适应性强、生长迅速的树种，形成宽阔的防护林带，可以有效阻挡泥石流中的泥沙和石块，减缓其流速，降低冲击力，从而保护下游居民和建筑物的安全。对于规模巨大、势能强的泥石流，应采取更为强有力的工程措施。修建排导沟、急流槽等工程，可以将泥石流引导至安全区域，避免其直接冲刷和破坏下游的建筑物和农田。明硐渡槽则是一种跨越沟谷的桥梁式结构，它能够让泥石流在桥下通过，而不会对桥上的交通和建筑物造成影响。此外，还可以修建停淤场，用于停积部分泥流体，减少其对下游的威胁。除了工程措施外，加强预警系统和应急救援能力建设也是下游治理的重要环节。应建立完善的泥石流监测和预警系统，及时发现和预报泥石流的发生，为下游居民提供足够的撤离时间。同时，应组建专业的应急救援队伍，配备必要的救援设备和物资，确保在泥石流发生后能够迅速响应，有效救援。下游治理是泥石流地质灾害防治的最后一道防线。通过营造防护林带、修建排导沟、急流槽、明硐渡槽和停淤场等工程措施，以及加强预警系统和应急救援能力建设，可以有效控制泥石流的危害，保护下游居民的生命财产安全。

2.3 监测预警与应急响应

为有效应对泥石流地质灾害，建立健全泥石流监测预警体系至关重要。这一体系应依托现代科技手段，实现对泥石流易发区的全面、实时监测。在气象监测方面，应布设高精度的气象观测站，实时监测降雨量、风速、风向等关键气象要素，为泥石流预警提供准确的气象数据支持。同时，利用气象卫星和雷达等遥感技术，对大范围的气象变化进行监测和预测，为提前防范泥石流灾害提供重要依据。在水文监测方面，应在泥石流易发区的沟谷和河流中布设水位计、流量计等监测设备，

实时监测水流动态，掌握水文变化规律，为预测泥石流的发生提供重要参考^[4]。在地质监测方面，应利用地质雷达、地震仪等设备，对山体稳定性进行实时监测，及时发现山体滑坡、崩塌等潜在灾害，为泥石流预警提供地质数据支持。建立健全监测预警体系的同时，还应加强应急响应能力建设。这包括制定科学合理的应急预案和逃生救援方案，明确应急响应流程、责任分工和救援措施。预案应针对不同类型的泥石流灾害，制定具体的应对措施和救援方案，确保在灾害发生时能够迅速、有效地进行救援。此外，还应提高公众的防灾减灾意识和自救互救能力。通过广泛宣传和教育培训，让公众了解泥石流灾害的危害性和防范措施，掌握基本的自救互救技能。在灾害发生时，能够迅速采取应对措施，减少人员伤亡和财产损失。监测预警与应急响应是泥石流地质灾害防治的重要环节。通过建立健全监测预警体系，利用现代科技手段实时监测气象、水文和地质条件变化，及时发布预警信息；同时加强应急响应能力建设，提高公众防灾减灾意识和自救互救能力，可以有效应对泥石流地质灾害的挑战。

结语

泥石流地质灾害的形成机制复杂且影响广泛，但通过综合治理和工程治理相结合的措施可以有效降低其发生频率和危害程度。本文深入分析了泥石流的形成条件、过程及特点，并基于这些机制提出了一系列防治对策。未来应继续加强泥石流防治技术的研究与应用推广工作，为构建安全、和谐的生态环境贡献力量。

参考文献

- [1]朱人思,杨帅,邹春雷,等.坡面泥石流形成因素及防治措施综述[J].江西建材,2022,(12):135-137.
- [2]师浩.泥石流的形成条件及其防治措施[J].内蒙古煤炭经济,2021,(24):138-140.
- [3]王春红,刘霞,胡爱国.后沟泥石流的成因机制及其防治方案分析[J].四川地质学报,2023,43(S1):68-70.
- [4]于冰.滑坡型泥石流形成机制与运动过程研究[D].辽宁工程技术大学,2023.