

地质灾害治理中生态修复技术的应用

张奋明 刘永富

云南省有色地质局三〇八队 云南昆明 650000

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19752

[摘要] 我国山地丘陵面积广阔,地质构造复杂、极端天气频发与人类工程活动叠加,导致滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等地质灾害多发,不仅威胁生命财产安全,还造成植被破坏、水土流失、土地损毁与生态系统退化。传统地质灾害治理以刚性工程支挡为主,易忽视生态功能恢复,易引发二次扰动与环境失衡。生态修复技术以“安全稳定+生态重构”为核心,将植被重建、土壤改良、水文调控、生物修复与工程防护有机融合,在提升灾害体稳定性的同时,修复地形地貌、恢复土壤功能、重建植被群落、改善水环境,实现地质灾害长效防控与区域生态可持续发展。本文系统梳理地质灾害治理中生态修复的技术体系,阐述植被恢复、土壤改良、生态护坡、水文生态修复、生物与微生物修复等关键技术原理与应用要点,结合典型工程案例分析技术适配性与实施成效,指出当前应用中的问题并提出优化路径,为地质灾害绿色治理与生态修复工程提供理论参考与技术依据。

[关键词] 地质灾害; 灾害治理; 生态修复; 生态护坡; 植被重建; 土壤改良

一、引言

地质灾害是指地球表层物质在内外动力作用和人类活动的影响下,发生突然的、隐蔽的、破坏力强的失稳破坏。我国是世界上地质灾害最严重的一个国家,西南、西北、中南等山区灾害密度高、危害大,已经成为制约区域高质量发展的主要因素。地质灾害治理一直以抗滑桩、挡土墙、锚杆锚索、削坡减载等刚性工程措施为主,虽然可以迅速控制险情,但是对原生地貌和生态系统造成较大破坏,坡面容易发生侵蚀、荒漠化,治理区域生态自我修复能力差,长效稳定性不高。

伴随着生态文明建设的推进,绿色防治、生态优先成了地质灾害治理的新方向。生态修复技术以保护和恢复生态系统结构和功能为目的,遵循因地制宜、近自然修复的原则,把工程加固和生态重建结合起来,既保证灾害体的稳定安全,又达到水土保持、生物多样性的提高、景观的重构等综合效益。近些年来,植被修复、生态护坡、土壤基质改良、人工湿地、生物修复等技术被广泛应用于滑坡、泥石流、矿山地质灾害、地面塌陷的治理当中,形成了一个以工程稳定为基础、生态固坡为骨架、生物育土为保障的综合防治体系。

本文以地质灾害治理的需求为出发点,对生态修复技术类型、适用场景、实施要点进行系统的总结,结合工程实践分析应用效果,提出技术优化方向,为地质灾害治理由刚性防控向刚柔并济、生态长效转变提供支持。

二、地质灾害治理与生态修复的耦合关系

2.1 地质灾害对生态系统的破坏效应

地质灾害发生时伴随着强烈地表扰动,给生态系统带来

全方位的破坏,地形地貌遭到重塑,滑坡、泥石流冲刷切割坡面,破坏原有的地形,留下裸露岩土体和松散堆积体;植被系统被损毁,灾害体掩埋、剥离地表植被,使群落结构遭到破坏,覆盖率急剧下降,生物栖息地消失;土壤功能受损,表层肥沃土壤被冲刷,土壤有机质、养分流失,团粒结构破坏,保水保肥和抗侵蚀能力大大降低;水文循环受阻,地表径流路线被改变,入渗能力减弱,水土流失和汇流风险增大;土地资源遭到损毁,矿山开采、地面塌陷造成土地压占、挖损、塌陷,可利用土地减少,生态承载力下降。

2.2 生态修复对地质灾害的防控作用

生态修复依靠生物、工程、农艺等综合手段,从根源上改善坡面和土体的稳定性,削减灾害出现的几率,植被根系加筋、锚固作用加强土体抗剪强度,茎叶截留降雨、减缓径流冲刷,削减水土流失;土壤改良改善基质稳定性及保水性,改良植物生长环境,创建起“土壤—植被”协同固土体系;生态水文调控改善径流分配,缩减雨水入渗造成的土体软化和孔隙水压力上升,削减滑坡、泥石流引发的风险;近自然修复削减刚性工程扰动,削减二次灾害和生态破坏风险;生态系统结构和功能恢复加强区域生态韧性,加强应对极端降雨、冻融等外界扰动的能力。

2.3 治理与修复的耦合原则

地质灾害治理和生态修复要遵循安全第一、生态相容、因地制宜、长效稳定的准则,把消除灾害隐患作为首要任务,保证人民生命财产安全,用乡土物种、本土生态系统作基础,防止外来物种入侵和生态错位,根据地质状况、气候特点、灾害种类差异选择技术,兼顾短期治理成果和长期生态演替,

使工程安全、生态健康、经济可行三者统一。

三、地质灾害治理中生态修复关键技术体系

3.1 植被重建与群落优化技术

植被重建属于生态修复的核心技术, 依靠人工辅助与自然恢复相结合的方式, 塑造起稳固且具有抗逆性、固土能力较强的植物群落, 从而达成坡面防护以及生态恢复的目的。

乡土植物选配技术, 选用根系发达、固土能力强、耐旱耐贫瘠、适应当地气候的乡土乔木、灌木、草本、藤本植物, 侧柏、刺槐、紫穗槐、狗牙根、高羊茅、葛藤等, 构建乔、灌、草立体群落, 提高坡面覆盖和抗侵蚀能力。

近自然直播和植苗技术, 对于土质坡面、缓坡区用混播草灌种子、植苗造林方式, 配合覆盖保墒、抚育管理来提高成活率和覆盖率; 对陡峭、破碎坡面用容器苗、穴植、条植等精准种植技术, 减小坡面扰动。

藤本植物垂直绿化技术用于高陡岩质边坡、挡墙、构筑物表面, 种植爬山虎、常春藤、络石等藤本植物, 达到攀爬覆盖、快速绿化裸露坡面、改善景观、固土防冲的目的。

封育自然恢复技术就是对生态基底好、扰动小的区域进行封禁保护、减少人为干扰, 依靠自然演替恢复植被, 降低治理成本, 提高生态原生性。

3.2 土壤改良与基质重构技术

灾害区土壤普遍存在着贫瘠、板结、污染、结构差等状况, 土壤改良给植被生长提供良好的基质, 提高土体物理力学性能。

有机改良技术就是施用有机肥、腐殖质、秸秆、泥炭等有机物来提高土壤的有机质含量, 改善土壤的团粒结构, 提高保水保肥和通气性。

无机改良技术是施用石灰、石膏、矿物肥料等来调节土壤酸碱度、补充氮、磷、钾等养分, 提高土壤肥力和稳定性的一种方法。

土壤结构改良技术用深耕、松土、掺拌河沙、泥炭等方法改善土壤的紧实度和透水性, 对矿山废弃地、渣场采用覆土再造、表土回填, 重构耕作层和植生层。

污染土壤修复技术是针对重金属、酸性废水污染的土壤, 用植物提取、微生物降解、矿物吸附、稳定化固化等方法降低污染物含量, 保证植物生长和生态安全的技术。

3.3 生态护坡与柔性防护技术

生态护坡把工程防护同生态修复结合起来, 用柔性、透水、植生型结构代替刚性混凝土, 达到稳定坡面和生态绿化协同的效果。

客土喷播、团粒喷播技术就是将土壤、有机质、肥料、

保水剂、植物种子等混合物用高压喷播机喷洒到坡面上, 形成均匀的植生层, 适合于岩质边坡、破碎坡面的快速绿化。

生态袋和生态毯技术是将生态袋装填改良土和种子, 堆砌成柔性护坡, 透水不透土, 利于植物根系穿透生长; 生态毯用植物纤维、椰壳制成, 覆盖坡面保墒防冲, 适合于土质边坡及浅表层防护。

土工格栅+植生技术, 即在坡面上铺设土工格栅、土工格室, 提高土体的嵌固和摩擦力, 回填改良土后种植植物, 适用于土质边坡、填方边坡加固及绿化。

格宾石笼和雷诺护垫技术, 用石笼装填块石, 形成透水、柔性挡护结构, 缝隙回填种植土和植物, 实现挡土、固坡、绿化一体化, 适合于沟道、坡脚、泥石流通道防护。

植生槽、植生孔技术是在岩质边坡上开挖植生槽、植生孔, 回填营养土种植灌木、藤本植物, 形成点状、带状绿化, 适合于高陡、坚硬岩石边坡。

3.4 生态水文调控与水体修复技术

水文条件属于地质灾害的重要诱发因素, 生态水文修复改善径流状况, 削减入渗量, 净化水质, 从而减小灾害危险。

地表排水生态化技术就是将传统的混凝土排水沟改为生态沟渠, 种植水生植物, 达到排水、防冲、净化一体化的目的; 修建截水沟、排水沟、渗沟, 引导径流, 减少雨水入渗软化土体。

坡面集水保水技术用鱼鳞坑、水平阶、梯田、蓄水坑等微地形改造来截留雨水, 提高入渗和保水能力, 给植物生长提供水分。

人工湿地、生态浮岛技术为矿坑积水、灾害区污染水体处理提供人工湿地、水生植物的吸附降解污染物、净化水质, 营造生态景观技术, 适宜地面塌陷、矿山采坑修复。

径流调控和滞蓄技术就是修建生态塘、渗滤池、缓冲带等, 滞蓄坡面径流, 延长汇流时间, 降低泥石流、山洪发生的概率。

3.5 生物与微生物修复技术

生物修复依靠生物代谢、共生作用改善土壤、提高固土能力, 有绿色、环保、可持续的优点。

根际微生物改良技术就是接种固氮菌、解磷菌、菌根真菌等微生物, 提高土壤养分的有效性, 促进植物根系的生长, 提高植物的抗逆性和固土能力。

植物和微生物联合修复技术, 利用超富集植物和功能微生物降解、提取土壤污染物, 适合矿山、工业场地灾害区污染修复。

生物结皮培育技术就是培育藻类、苔藓、地衣等生物结

皮覆盖地表,减少风蚀水蚀,改善土壤微环境,促进植被定居生长的技术。

四、典型工程应用案例分析

4.1 山区滑坡治理生态修复工程

在西南某个山区滑坡发生后,因坡面岩土已经很破碎,植被遭到严重破坏,出现二次滑动的危险。治理采用刚性加固和生态修复相结合的方式,坡体设锚杆框架梁稳定浅层土体,坡面做客土喷播,混合乡土灌木和草本种子,坡脚修格宾石笼挡墙,内填种植土绿化,坡顶及分级马道修生态排水沟,种灌木截留径流。工程实施之后,坡面植被覆盖率由原来的不足10%提高到现在的75%以上,土体稳定性明显提高,没有出现二次灾害,生态景观和水土保持效果较好。

4.2 矿山地质灾害生态修复工程

华中某露天矿山高陡岩质边坡、渣场裸露、地表塌陷、滑坡、泥石流危险系数大。修复使用不同的技术手段,高陡边坡用植生孔和藤本植物垂直绿化相结合的方式进行修复,渣场整形覆土,乔灌木混交造林,塌陷区用废石充填和人工湿地技术相结合的方式进行修复,形成梯级湿地净化矿坑积水,种植水生植物。治理之后,边坡稳定了,植被覆盖好了,矿坑水质达标了,形成了生态景观区,消除了灾害、修复了生态、再利用了土地。

4.3 泥石流沟道生态治理工程

西北某泥石流沟道,物源丰富、坡面侵蚀强烈。治理以稳源、拦挡、生态为主导,沟道上游松散物源区覆土植被化,种植灌木固土;中游修建格宾石笼拦砂坝,兼有拦砂和生态作用;下游构建生态缓冲带,种植乔木、灌木减缓流速、稳定沟床。工程运行之后,泥石流发生次数减少,沟道侵蚀被控制,植被和生物多样性慢慢恢复。

五、生态修复技术应用存在的问题

5.1 技术适配性不足

部分工程照搬成熟的施工技术,没有根据地质条件、气候、灾害类型等实际情况选择合适的施工技术,岩质边坡采用不合适的施工技术造成成活率低、效果差。

5.2 重治理轻养护

生态修复后期管护缺失,灌溉、施肥、补植、病虫害防治不到位,植被成活率和群落稳定性降低,不能达到长效固土的效果。

5.3 乡土物种应用不足

由于对引进来的速生植物的种类进行选择时没有考虑本土物种和原生群落,而盲目引进,导致物种单一、生态系统脆弱以及引入外来物种的风险。

5.4 工程与生态协同不足

还存在着重工程、轻生态的倾向,刚性工程所占比例过高,生态修复配套不够,不能形成稳定的协同体系。

六、优化对策与发展趋势

6.1 强化因地制宜精准设计

创建地质、生态、气候耦合的技术选型体系,做灾害体勘察和生态本底调查,有针对性地选择技术方案,提高适应性和有效性。

6.2 构建全生命周期管护机制

完善施工、养护、监测、评估的闭环,落实后期抚育,保证植被群落稳定演替,达到长效防控的目的。

6.3 推广乡土植物与近自然修复

加大乡土物种选育和应用,创建近自然植物群落,改善生态原生性、稳定性、抗逆性,削减成本和入侵危险。

七、结论

地质灾害治理中生态修复技术属于安全防控和生态保护协同的重要途径,利用植被重建、土壤改良、生态护坡、水文调节、生物修复等技术相结合的方式可以有效地提高灾害体的稳定性、降低灾害风险,修复受损的生态系统、恢复土地的功能、改善区域环境。经过工程实践证明,以刚柔并济、生态优先为特点的治理方式比刚性工程具有更好的长效性、经济性以及生态友好性。

目前技术的应用还存在着适配性、管护、物种选择、协同性、监测等问题,需要以精准设计、全周期管护、乡土物种应用、工态融合、智慧监测、技术创新为方向,不断优化提升。未来要继续加深地质、生态、工程三者耦合机理的研究,创建起标准化的技术体系和规范,推进地质灾害绿色治理的高质量发展,给生态文明建设和区域安全防护赋予有力支持。

[参考文献]

[1]裴向军. 青藏高原重大工程地质环境扰损机制及生态修复技术体系[J]. 工程地质学报, 2024, 32(5): 173-178.

[2]符文熹. 地质灾害风险评估与综合防控进展[J]. 地质灾害与环境保护, 2025, 36(3): 17.

[3]吕雅兰, 崔圣华, 裴向军, 等. 地质灾害生态化治理工程耐久性评估指标研究[J]. 地球科学, 2025, 49(10): 10-12.

作者简介: 1. 张奋明(1989.03-), 男, 汉族, 甘肃酒泉人, 中级工程师, 研究方向: 地质灾害治理, 矿山生态修复;

2. 刘永富(1987.06-), 男, 汉族, 云南陇川人, 中级工程师, 研究方向: 地质灾害治理, 矿山生态修复。