

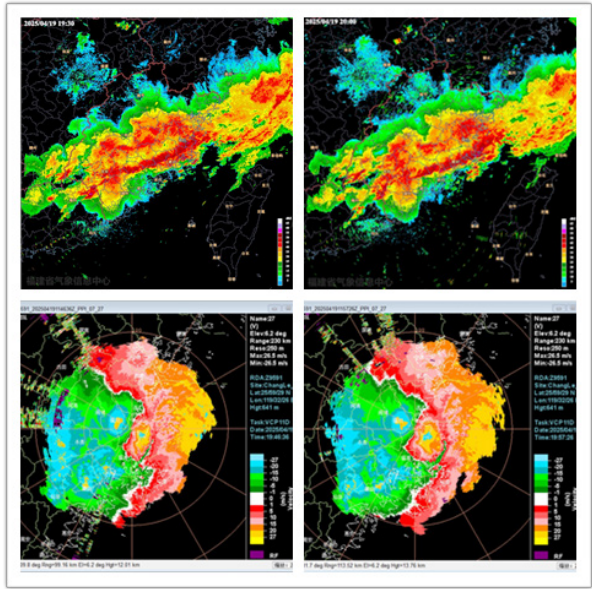


图 3 4 月 19 日 19 时 30 分 -20 时福建省雷达拼图与雷达径向速度图

4 物理量场分析

4.1 垂直速度

垂直速度来剖面图显示 19 日 11 时,暴雨中心上空中层 500-400 hPa 为强烈的上升运动,最大垂直上升速度为 -0.8 Pa/s,至 20 时,最大垂直上升速度中心下移到 700 hPa,说明上升运动加强,对流发展旺盛,与暴雨的发生时间相对应(图略)。

4.2 不稳定条件

08 时福州站探空图(图 4)实测资料显示,0℃层高度 4602m,0-6km 最大风切 21m/s,风切较弱,零度层、20℃层均较高,且 SHIP 指数仅为 0.3,故冰雹概率低,本次过程考虑以雷暴和强降雨为主。K 指数高达 42,CAPE 值达 1278 J/kg,具有显著能量,存在强对流潜势,低层湿度较大,有利于短时强降水局部大风的产生。DCAPE 值 1038 J/kg 显示强下沉风险较高,容易触发风暴。Dmburst 达 8.6,干下击暴流指数风险等级也较高;400 至 500hpa 之间 T-Td≈18℃,显示中层有干空气侵入,虽然干层较高,但在有效温度递减率及冷锋配合下,干空气易卷入下沉气流,所以雷雨大风的可能性较大,结合当晚雷达回波实况,应关注雷雨大风预警。

08 时探空图显示大气整层湿度深厚, PWAT 达 53mm 高于暴雨阈值 50 mm。CAPE 值 1278 J/kg,有效能量显著,虽然 CIN 仅为 280 J/kg,但 18-20 时冷锋过境加速上升气流的抬升释放高能量,700hPa 以下中低层有强盛的西南气流持续向北输送水汽和能量,水汽充沛有利于产生暴雨、强对流天气的产生,因此导致 4 月 19 日夜间我区西北部乡镇短时强降水过程。

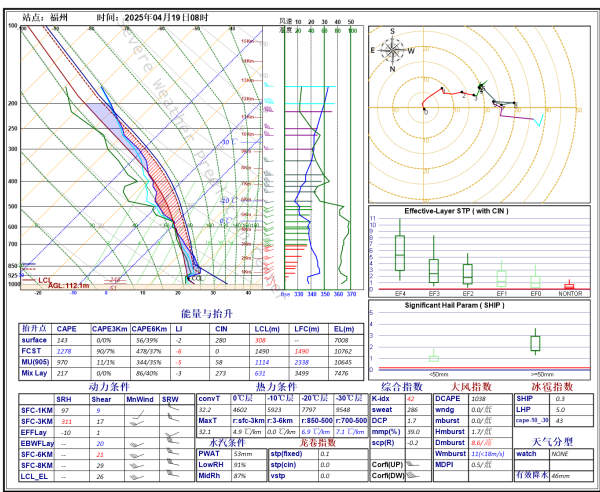


图 5 08 时福州站探空图

到了 20 时,CAPE 从 1278 J/kg 暴跌至 430 J/kg, DCAPE 也从 1038 J/kg 骤降至 101 J/kg,干区基本消失,蒸发冷却失效,表明对流能量基本释放。20 时前后冷锋过境后抬升力也跟着消失,实况转为弱降水。

5 总结

2025 年 4 月 19 日 18 时—22 时福州长乐区出现了短时强降水和雷雨大风天气,通过分析可以看出:

地面辐合和冷锋是此次暴雨的触发机制。西南急流输送的充沛的水汽条件、垂直上升运动和不稳定层结三者的配合,是造成短时暴雨的主要原因;由于系统移速较快,因此降水时间较短。

飑线过程极端大风风暴内出现较强的下击暴流,同时冷池与冷锋叠加影响,容易出现极端大风。

飑线形态清晰,移动迅速,大风临近预报性尚好,但大风极端性无法预估且预警时间很短,预警信息难以及时传播,只能对下游形成预警。在后续预报工作中如遇雷达显示飑线前沿和弓形回波即将到达本地上空时,应及时考虑强局部强降水和短时雷雨大风预警。

参考文献

[1] 农孟松 翟丽萍 屈梅芳等.广西一次飑线大风大气的成因和预警分析.气象,2014.40(12):65-73.

[2] 王一童,王秀明,俞小鼎.产生致灾大风的超级单体回波特征.应用气象学报,2022.33(2):180-191

[3] 钱卓蕾 章超钦 周弘媛等.春季浙江两次强飑线特征和极端大风机理对比.应用气象学报,2025.36(2):76-91

[4] 詹棠 宗淼 郑浩阳.2013年5月21日广东沿海一次飑线过程的综合分析.广东气象,2015.37(06):29-32

[5] 陈婧 黄欣 林丽莹.2017年5月12日福州市东南沿海暴雨成因分析.第34届中国气象学会年会.2017.:62-66

# Ecological effect of vegetation slope protection in geological disaster prevention and control

Huajie Chen Yongbin Hou

Hubei Coal Geology Team No. 125, Yichang, Hubei, China 443000

## Abstract

Geological disasters frequently threaten infrastructure and human lives. As a green technology, vegetated slope protection offers an ecological restoration approach. This study systematically examines the ecological functions, environmental benefits, and disaster prevention effectiveness of vegetated slopes. It analyzes vegetation's roles in soil and water conservation, root reinforcement of slopes, and promotion of ecosystem diversity, while evaluating its environmental effects in reducing surface runoff and sediment loss, improving soil physicochemical properties, and optimizing microclimates on slopes. The research investigates vegetation's capabilities in controlling slope erosion and collapse, mitigating landslide and debris flow occurrences, and enhancing long-term slope stability. The conclusions demonstrate that vegetated slope protection effectively strengthens slope stability and prevents geological disasters, achieving dual benefits in ecological conservation and disaster prevention.

## Keywords

vegetation slope protection; geological disaster prevention and control; ecological effect; soil and water conservation; root reinforcement

# 植被护坡在地质灾害防治中的生态效应

陈华杰 侯永宾

湖北煤炭地质一二五队, 中国 · 湖北 宜昌 443000

## 摘 要

地质灾害频发威胁基础设施和生命安全, 植被护坡作为一种绿色技术提供生态修复途径。本研究系统探讨了植被护坡的生态功能、环境效益和防灾成效, 分析植被在水土保持、根系加固坡体及促进生态系统多样性方面的作用, 评估其在减少地表径流与泥沙流失、改善土壤理化性质以及优化坡面小气候等方面的环境效应。文章考察了植被对控制坡面侵蚀与坍塌、减缓滑坡和泥石流发生、提升坡体长期稳定性的防灾能力, 结论表明植被护坡有效增强坡体稳定性和防治地质灾害, 实现了生态与防灾的双重效益。

## 关键词

植被护坡; 地质灾害防治; 生态效应; 水土保持; 根系加固

## 1 引言

随着全球气候变化加剧与人类工程活动日益频繁, 地质灾害如滑坡、泥石流和坡面侵蚀的发生频率与危害程度显著增加从而严重威胁人民生命财产安全和生态安全, 而传统地质灾害防治工程多采用混凝土、砌石、锚杆支护等刚性结构, 虽能短期内有效稳定坡体却往往造价高昂、施工复杂且对原有生态环境造成破坏致使难以实现可持续的灾害防控。相比之下植被护坡作为一种生态工程措施, 利用植物及其根系与土体的相互作用, 既具备固坡保土的力学功能又具有涵养水源、改善土壤、恢复生物多样性的生态效益, 逐渐受到工程界与生态学界的共同重视。其应用符合可持续发展理念

和生态文明建设需求, 是实现灾害防治与生态修复协同发展的有效途径。

## 2 植被护坡的生态功能

### 2.1 植被对水土保持的作用

植被的水土保持功能是一个由地上多层次结构协同完成的物理过程, 茂密的树冠层和草本层在地表上空形成第一道屏障, 能够有效拦截高速下落的雨滴, 极大削弱雨滴动能, 从根本上消除了雨滴对表层土壤颗粒的击溅分离作用, 防止了侵蚀的起始。穿透冠层的降雨继续下落至地表覆盖的枯枝落叶层, 该疏松层体具有极高的孔隙率和持水能力, 像海绵一样吸收并暂存大量水分, 显著延缓了雨水向地表土壤的渗透时间并削减了流量, 同时彻底消除了降雨对地表土壤的直接冲击。

地表之下, 密集的须根网络在土体中交织穿插, 其与

【作者简介】陈华杰 (1986-), 男, 中国河南周口人, 本科, 工程师, 从事工程地质研究。

土壤颗粒的紧密结合显著提高了土壤的抗剪强度和内聚力,使土壤团聚体更难于被水流分离和搬运。植物蒸腾作用则持续地将土壤中的水分转化为水蒸气释放到大气中,冠层到根系的立体防护体系共同作用极大地抑制了地表径流的形成速度和规模。

## 2.2 根系对坡体加固的作用

根系对坡体的加固是一种典型的生物-土体复合力学行为,其作用机理类似于在土体中加入了三维的、活的加筋材料<sup>[1]</sup>。木本植物的垂直主根和侧根深入土体深处,其锚固效应将浅层土体与深层更稳定的土层或岩层紧密地连接起来,犹如一系列微型锚杆,提高了坡体的整体性,抵抗由于重力产生的下滑力。禾本科草本植物和灌木的须根系统则主要在浅层土壤中极度发育,形成高密度的纤维网络,这些根系具有很高的抗拉强度,其与周围土壤颗粒的摩擦和互锁作用,将原本松散的土体捆绑成一个整体,显著增强了浅层土体的抗拉和抗剪能力,加筋作用能有效抑制浅层滑坡和剥落式侵蚀。根系在生长过程中会对周围土体产生挤压,增加土体的密实度和容重,提高了土体的机械强度。

## 2.3 植被对生态系统多样性的促进

植被护坡工程远不止于简单的绿化,其核心生态功能在于为各类生物创造异质性的生境并启动正向的生态演替过程。不同种类、不同高度的植物配置形成了垂直空间上的多层次结构,从高大的乔木层、低矮的灌木层到贴地的草本层和苔藓层,复杂的立体空间为鸟类、昆虫、小型哺乳动物等提供了多样化的栖息、觅食、繁殖和庇护场所<sup>[2]</sup>。开花植物和结果植物为传粉昆虫和鸟类提供了必需的食物资源,吸引并支撑这些动物种群的定居和繁衍,动物的活动又进一步促进了植物的授粉和种子传播,扩大了植物群落的影响范围。地表积累的枯落物层具有水文功能,其本身也是一个独特的微生态系统,为大量的分解者提供了生存基质和食物来源。植物群落结构复杂性所引发的生物链效应最终促使一个从简单到复杂、从脆弱到稳定的生态系统逐步建立起来,实现了生物多样性从遗传、物种到生态系统多个层级的恢复与提升,赋予了边坡生态系统更高的抵抗力和恢复力。

# 3 植被护坡的环境效益

## 3.1 减少地表径流与泥沙流失

植被减少地表径流与泥沙流失的机制是一个基于改变水文路径与增强土壤抗蚀性的物理过程,其效益源于一个协同作用的系统,冠层拦截使部分降水直接被蒸发重返大气,不参与地表水文循环;成功穿透冠层的降水其动能已被大幅削弱,随后被地表致密的枯落物层吸收,该层具有极高的孔隙率和持水容量,能滞留大量水分并极大延缓其向下渗透的速度,这使得大部分降水有充足的时间以渗流形式补充地下水,而非形成地表径流。

植物根系的生长活动在土壤中创造了大量稳定的宏孔

隙和微孔隙,这些生物孔道显著增大了土壤的入渗速率和饱和导水率,进一步将可能的地表水转化为土壤水,从根本上削减了地表径流的产生量和峰值流量。对于已经形成的微弱地表径流,地表粗糙度的增加有效降低了水流速度,使得已被剥离的土壤颗粒得以在植被附近沉积。从侵蚀动力学角度看,植被覆盖将坡面从一个易受侵蚀的光滑表面改造为一个高粗糙度、高入渗能力的复杂界面,将地表径流为主导的水文模式转变为以地下渗流为主导,实现了对水沙流失的有效控制。

## 3.2 改善土壤理化性质

植被护坡对土壤理化性质的改善是一个持续的生物地球化学过程,其核心是植物-土壤-微生物的相互作用。物理性质上,密集的须根网络在生长过程中对周围土体产生挤压,促进土壤团粒结构的形成,其死亡腐解后留下的根孔则成为稳定的生物孔隙,显著降低土壤容重,增加总孔隙度和通气性,改善土壤的物理结构。化学性质的改良本质是养分的生物循环与土壤化学环境的调节。植物通过根系从深层土壤吸收矿物质养分,将其以枯枝落叶的形式归还至地表,有机质在微生物作用下逐步降解,产生腐殖酸等有机酸,这些酸性物质能促进土壤中难溶性矿物的风化,释放出离子。

例如,钾长石的风化可表示为:。释放出的离子可被植物再次吸收或被土壤胶体吸附,避免淋失。有机质分解产生的溶于水形成碳酸(),进一步加速了成土母质的风化:。植物根系和微生物呼吸释放的也降低了根际微域的pH值,提高了磷、铁、锌等微量元素的有效性。腐殖质与粘土矿物形成的有机-无机复合胶体极大地提升了土壤的阳离子交换量,使其能够吸附和保存更多的,,等营养离子,构建了一个巨大的养分库,显著增强土壤的保肥供肥能力,从根本上改良了土壤的化学肥力<sup>[3]</sup>。

## 3.3 优化坡面小气候条件

茂密的植被冠层对太阳辐射具有再分配作用,大部分太阳短波辐射被叶片吸收用于光合作用,另一部分被反射回大气,仅有少量能穿透冠层到达地表,这使得植被覆盖下的地表温度波动幅度显著减小,避免了裸地因强烈太阳辐射导致的土壤高温和干裂。植被的蒸腾作用是一个消耗大量能量的过程,液态水转化为水蒸气需要吸收热量,这一过程有效地将太阳辐射能转化为潜热,大量消耗了近地层的热能,起到了显著的降温效应,使得植被区域的空气温度始终低于同条件下的裸地。大量的水汽被释放到近地面空气中,直接提高了空气的相对湿度,形成了一个更为湿润和凉爽的微环境。

# 4 植被护坡的防灾成效

## 4.1 控制坡面侵蚀与坍塌

植被控制坡面侵蚀与坍塌的核心机制在于其通过生物力学与水文地质作用的耦合效应提升了表层土体的抗剪强