

山区公路工程边坡稳定性的防护技术

刘贵祥 黄礼国

摘要: 山区公路建设受地形地质条件影响显著, 边坡失稳问题时有发生, 不仅威胁行车安全, 还会造成巨大的经济损失和生态破坏。本文深入探讨了山区公路边坡失稳的核心影响因素, 包括地质条件、地形与人为扰动以及水的作用等方面。在此基础上, 详细阐述了山区公路工程边坡稳定性的防护技术应用要点, 涵盖工程防护技术、生物防护技术以及综合防护技术。旨在为山区公路工程边坡稳定性防护提供科学的理论依据和实践指导, 以保障山区公路的安全运营和生态环境的可持续发展。

关键词: 山区公路; 边坡稳定性; 防护技术

引言

山区公路是沟通山区各个区域的重要交通基础设施之一, 在推动山区经济发展和增强区域交流方面发挥着关键作用。但是山区地形比较复杂, 地质条件种类繁多, 在公路建设中必然会形成许多边坡。这些边坡受自然因素与人为因素综合影响, 极易出现失稳现象并诱发滑坡、崩塌等多种地质灾害, 对公路建设与运营造成严重隐患。所以, 对山区公路工程边坡稳定性防护技术进行深入研究, 对确保山区公路安全通畅和降低地质灾害损失具有实际意义。

一、山区公路边坡失稳的核心影响因素

(一) 地质条件

地质条件对山区公路边坡稳定性具有基础性作用, 不同地质构造及岩土体性质显著影响边坡稳定性。如岩层性质、构造、风化程度及岩层间接触关系将直接决定边坡是否稳定。部分山区中, 存在软弱夹层或者破碎带等岩土体, 这些地方岩土体的强度低, 抗剪能力较差, 受到重力、降雨等外力的作用, 极易产生滑动变形进而诱发边坡失稳。另外, 在地质构造中, 断层和节理等不连续的结构面可能会削弱岩体的整体稳定性, 为边坡的滑动创造可能的滑动面, 从而增加了边坡不稳定的可能性。

(二) 地形与人为扰动

地形因素主要通过坡高、坡宽、坡度和坡向影响边坡稳定性。坡度对边坡稳定性影响最为直接, 坡度越大, 稳定性越差。陡峭的坡度对植物的生长是不利的, 同时, 边坡的组成元素, 如土壤和岩石, 很容易失去其力学平衡, 这可能会导致边坡不稳定, 并可能触发严重的土壤侵蚀或山体滑坡等破坏。同时, 人类不良活动对边坡稳定性有不利影响。山区公路建设过程中, 开挖、填土及其他工程活动改变了边坡原有应力状态, 打破了边坡平衡条件, 提高了边坡失稳概率。另外, 盗采矿物和刨土等违法活动还可能给边坡带来严重损害, 并进一步增加边坡失稳危险。

(三) 水的作用

雨水等自然条件下会向边坡内部渗透, 使土体含水量增大, 抗剪强度减小。土体饱和时其抗剪强度将明显降低, 致使边坡下滑力加大、抗滑力降低, 进而诱发边坡失稳。另外, 地下水的存在对边坡的稳定性有负面影响。地下水向边坡内流动时会产生水压力, 使边坡侧向压力增大而稳定性下降。与此同时, 地下水侵蚀作用也会对岩土体结构造成破坏, 使岩土体发生软化和崩解等现象, 从而进一步加重边坡失稳范围。

二、山区公路工程边坡稳定性的防护技术应用要点

(一) 工程防护技术

1. 挡土墙

挡土墙作为边坡防护工程措施之一, 经常利用其自身重力抵御边坡下滑力以维持边坡稳定。挡土墙种类繁多, 常用的挡土墙主要包括重力式挡土墙、悬臂式挡土墙和扶壁式挡土墙。

作者简介:

1. 刘贵祥 (1990.03——) 男, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事建筑施工方面的研究工作。
2. 黄礼国 (1991.06——) 男, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事建筑施工方面的研究工作。

重力式挡土墙是靠其本身重量保持稳定，其构造简单、施工容易，适合小型边坡保护。悬臂式挡土墙和扶壁式挡土墙的设计是基于钢筋混凝土的独特结构，它们通过悬臂或扶壁的方式增强了挡土墙的抗滑性，特别适合于较高的斜坡地形。挡土墙设计与施工时需根据边坡地质条件、高度及坡度选择适宜挡土墙型式，同时要保证挡土墙地基坚实，墙体强度及稳定性符合要求。



图1 挡土墙示意

2. 锚杆（索）加固

锚杆（索）加固就是在不稳定岩土体内钻孔设置预应力锚杆（或锚索）并用灌浆进行固定来提高边坡整体稳定的防护技术。锚杆（索）加固技术在岩石质地高陡边坡中应用效果较好，能有效地增强边坡抗滑能力和阻止边坡滑动变形。

锚杆（索）补强施工时，必须先准确测量放线以确定锚杆（索）定位及间距。在成孔时，要根据地质条件，选择适宜的成孔方法进行成孔；对土层较松软的地方，可以通过人工挖孔；对岩石地层多用机械钻孔。挖孔时应采取护壁措施以防孔壁塌陷。钢筋笼制造应与设计规格一致，钢筋材料、直径和间距应严格控制。钢筋笼在下放过程中，应确保钢筋笼的垂直度及居中位置，以免钢筋笼撞击孔壁。灌浆施工作为锚杆（索）补强中至关重要的一环，应保证灌浆材料质量及灌浆密实程度，从而增强锚杆（索）对岩土体的粘结力。同时还在施工中还应做好桩的倾斜度、孔底部沉渣的厚度等各种监测工作，发现问题及时采取适当的处理措施。

3. 抗滑桩

抗滑桩作为治理滑坡有效的工程措施之一，利用桩身把滑坡体下滑力传至稳定地层以阻碍滑坡发育。抗滑桩一般由钢筋混凝土桩组成，桩径、桩长随滑坡大小及地质条件而定。抗滑桩施工时需首先测量定位桩位，再通过机械钻孔或者人工挖孔成孔。成孔时，设置钢筋笼，

浇筑混凝土。抗滑桩在建成后需检测其质量以保证其强度及完整性符合要求。同时抗滑桩也需长期监测以观测滑坡体变形并适时调整防护措施。

4. 排水设施

排水设施在边坡防护中起着重要作用，能有效降低地下水位、减少地表水冲刷与侵蚀，进而增强边坡稳定性。排水设施有地表排水与地下排水两种。

地表排水设截水沟（距坡顶 $\geq 5\text{m}$ ）、急流槽，坡度 $\geq 3\%$ ，其作用是拦截和排除坡面的地表水，防止地表水在坡面积聚。地下排水采用盲沟（粒径2~4cm碎石）、渗水管（开孔率 $\geq 2\%$ ），将地下水引至坡外。盲沟及渗水管能有效排除地下水、减小孔隙水压力、增加岩土体有效应力。排水设施设计与施工时需结合边坡地形、地质、水文等条件合理安排排水系统以保证排水顺畅。

（二）生物防护技术

1. 植被护坡

植被护坡就是通过栽植草皮、灌木和其他植物，对边坡进行生物防护。植被护坡通过植物根系将土壤固定，降低水土流失，而植物枝叶可延缓雨水冲刷坡面，增加边坡稳定性。植被护坡对于缓坡或者中度斜坡都有很好的应用效果，且施工方便，造价低廉，对环境友好。

植被护坡施工前应做好坡面整理工作，去除坡面上杂物、松散岩土，给植物生长营造良好的条件。对坡度较大边坡可以通过三维植被网及其他辅助工具来提高植被成活率。选择合适的草种与树种是植被护坡能否取得成功的关键，应根据山区气候条件和土壤类型，选择耐旱、耐瘠薄、根系发育良好的植物种类。播种或者栽植时应保证植物均匀分布，浇水养护应及时、充分，尤其是前期，应保证植物水分供应充足，促使植物生长生根。在植物生长过程中，应适当修剪、抚育管理以促进植物群落健康发育，从而更好地起到边坡防护作用。

2. 生态袋护坡

生态袋护坡就是利用高强度耐腐蚀生态袋向生态袋中充填种植土、草籽等材料，再按一定方式叠放于边坡之上，从而构成一个稳定防护结构的边坡防护新技术。生态袋护坡施工便捷，适应性广，生态效果良好，能迅速达到边坡绿化与稳定。

生态袋通常由聚丙烯等高分子材料制成，这些材料具有出色的透水和抗紫外线性能，能够确保植物根系的健康生长和发育。生态袋护坡施工时，必须先将边坡打扫干净并整平，以保证边坡表面光洁且稳固。再根据设

计要求充填叠放生态袋，充填材料应保证品质，草籽应选择适合本地气候土壤条件的种类。叠放时，应注意生态袋的衔接与固定，以保证整体防护结构稳定。建成后应及时浇水养护以促进植物生长发育，增强生态袋护坡效果。

3. 三维植被网护坡

三维植被网护坡作为坡面加固与植物防护相结合的复合边坡防护技术，具有广阔的应用前景。该技术所采用的三维植被网采用特殊工艺制作而成，它不仅对边坡有加固作用，而且在播种初期对草籽有防止冲刷、维护土壤、有利于草籽萌发和生长等效果。伴随着植物的生长、成熟，坡面渐渐为植物所覆盖，植物和三维植被网一起为边坡提供了长久的保护和绿化功能。

三维植被网护坡对各类土质边坡及风化岩石边坡均有较好的防护效果，并能经受一定速度水流冲刷。施工时，应先将坡面整理干净，除去坡面杂物及松散岩土。再在坡面上布设三维植被网，并通过U型钉和其他固定件对植被网进行固定，以保证植被网和坡面的紧密配合。将草籽与种植土混合物喷洒到植被网中，喷洒应均匀以确保草籽覆盖密度。施工期结束后应及时浇水养护以促进草籽萌发生长并增强三维植被网护坡效果。

(三) 综合防护技术

山区公路工程在遇到地质条件复杂且稳定性较差的边坡时，采用综合防护技术不失为一种有效的解决方法。该技术集工程防护和生物防护于一体，相互补充，充分发挥其防护效能。

工程防护技术可以快速强化边坡稳定性。挡土墙是靠自身重力来抵抗下滑力的作用，对边坡起到稳固的支撑作用；锚杆（索）的加固作用深入岩土体，连接不稳定部分和稳定岩体，并传递坡体的应力；抗滑桩就像一个坚实的卫士深入到稳定地层中挡住滑坡发育；排水系统巧妙地降低了地下水位，排除了地表水，从而减轻了水对边坡的负面影响。

生物防护技术给边坡穿上了绿色的外衣并带来了生态效益。植被护坡是利用植物根系固土、改良土壤、减

少水土流失的一种护坡；生态袋护坡营造了良好的植物生长环境，可作用于不同坡度边坡；三维植被网护坡利用其特有的网状构造，提高了土壤对侵蚀的抵抗力，从而促进了植被的生长。

综合防护技术综合了二者的优点，改善了生态环境，同时增强了边坡的稳定性。工程防护创造了生物防护条件，生物防护巩固了工程防护成效，并形成了稳定而长效的防护体系。该防护方式既保证山区公路安全运行，又做到人与自然和谐相处，可持续解决山区公路施工问题。

结论

山区公路工程边坡的稳定性受到多种因素的相互交织，要想解决这一问题就需要对防护技术进行科学的应用。工程防护可以快速增强边坡的稳定性，但费用高，对环境影响大；生物防护具有生态环保、造价低廉等特点，但其作用显现缓慢。综合防护技术综合了二者的优点，不仅采用工程防护的方式来稳固边坡，还借助于生物防护的手段来改善生态。在实际项目中需要根据边坡的具体情况选择适宜的方案、严格的施工和维护、强化监测预警等。在今后的科技发展中，防护技术也会不断地创新和改进，从而构筑山区公路建设的安全和生态之本。

参考文献

- [1] 王宗斌. 山区公路路基边坡稳定性分析及支护设计[J]. 中国高新科技, 2025(6): 82-84.
- [2] 杨德海. 山区高速公路边坡防护技术及其长期稳定性研究[J]. 城市周刊, 2025(32).
- [3] 文良, 兰宝存, 何伟, 等. 山区公路边坡稳定性分析及施工工艺研究[J]. 工程技术研究, 2025(12).
- [4] 陈晋康, 杨俊博, 贾昆. 湿陷性黄土路堑高边坡施工关键技术[J]. 西铁科技, 2023(4): 13-15.
- [5] 陈玉峰. 地质灾害工程中边坡稳定性及滑坡治理措施[J]. Engineering Science Research & Application, 2023, 4(9). DOI: 10.37155/2717-5316-0409-24.