

公路边坡防护技术的应用探讨

李 雷 刘 凯

中国建筑第七工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要：公路边坡防护技术是保障公路安全运营、保护生态环境及降低工程成本的关键手段。本文围绕公路边坡防护展开探讨，分析地质条件、气候条件和人为因素对边坡稳定性的影响，阐述浆砌片石防护、挡土墙防护、锚喷支护等工程防护技术，植草防护、植树防护等植被防护技术，以及挂网喷射混凝土防护、框架锚杆防护等综合防护技术的应用。同时，展望智能化监测技术应用、新型防护材料研发及生态防护技术发展等未来趋势，为公路边坡防护技术的优化提供参考。

关键词：公路边坡；防护技术；应用探讨

引言：公路作为现代交通体系的重要组成部分，其边坡稳定性直接关系到交通运行安全与生态环境平衡。随着公路建设规模扩大，边坡失稳引发的坍塌、滑坡等灾害频发，不仅威胁行车安全，还会破坏沿线生态。因此，深入研究边坡防护技术具有重要现实意义。本文从公路边坡防护的重要性出发，剖析影响边坡稳定性的因素，梳理常见防护技术的应用特点，并结合行业发展趋势，探索更科学、高效的防护技术路径，为公路工程建设和边坡防护提供理论与实践参考。

1 公路边坡防护的重要性

1.1 保障公路安全运营

公路边坡稳定性是保障公路安全运营的核心要素。不稳定的边坡在雨水冲刷、地震等外力作用下，极易发生滑坡、坍塌等灾害，导致公路中断甚至掩埋道路，严重威胁行车安全。据统计，我国每年因边坡失稳引发的公路交通事故数量可观，造成重大人员伤亡和经济损失。此外，边坡坍塌还会破坏公路基础设施，如路基、路面和桥梁等，增加维修成本与难度。通过科学的边坡防护技术，如挡土墙、锚喷支护等，可以有效加固边坡，增强其抗滑、抗冲刷能力，减少灾害发生概率，保障公路畅通无阻，为民众出行与货物运输筑牢安全防线。

1.2 保护生态环境

公路边坡防护对生态环境保护具有不可忽视的作用。在公路建设过程中，边坡开挖会破坏原有植被与土壤结构，导致水土流失、生物栖息地破坏等问题。而合理的边坡防护技术，特别是植被防护技术，如植草防护、植树防护等，能够恢复边坡植被覆盖，有效减少水土流失，降低土壤侵蚀模数。植被还能动植物提供栖息地，维持生物多样性，促进生态系统的自我修复。

1.3 降低工程成本

公路边坡防护是降低工程全生命周期成本的重要举措。虽然前期投入防护工程建设会增加一定成本，但从长远来看，有效的边坡防护能够显著减少后期维修与养护费用。若边坡未进行防护或防护不当，一旦发生滑坡、坍塌等灾害，不仅需要耗费大量资金进行道路抢修，还可能因交通中断造成运输延误，带来间接经济损失。相比之下，采用浆砌片石防护、框架锚杆防护等技术，能提高边坡稳定性，延长公路使用寿命，减少因灾害导致的高额维修成本。同时，生态防护技术还能降低植被恢复成本，实现经济效益与生态效益的双赢，优化公路工程的成本结构^[1]。

2 影响公路边坡稳定性的因素

2.1 地质条件

地质条件是影响公路边坡稳定性的内在基础因素。岩性方面，岩质边坡中，页岩、泥岩等软质岩石抗风化能力弱，易软化崩解，致使边坡失稳；而花岗岩等硬质岩石边坡稳定性相对较高。地质构造对边坡稳定性影响显著，断层、节理发育的区域，岩石完整性遭到破坏，易形成滑动面；岩层倾斜方向与边坡倾向一致时，易产生顺层滑坡。此外，土体边坡中，土的物理力学性质，如内摩擦角、粘聚力等，直接决定边坡抗剪强度，当土体含水量增加，抗剪强度降低，边坡稳定性随之下降。

2.2 气候条件

气候条件是诱发公路边坡失稳的重要外部因素。降雨是最常见的诱因，长时间持续降雨或暴雨，会使边坡岩土体含水量增加，重度增大，同时孔隙水压力上升，有效应力降低，抗剪强度减小，进而引发滑坡、崩塌。冻融循环在寒冷地区影响显著，岩土体中的水分反复冻结与融化，导致体积膨胀收缩，破坏岩土结构，降低其强度。强风作用下，边坡表层岩土体受风力侵蚀，稳定性逐渐

减弱；地震产生的地震力，会打破边坡原有的应力平衡，使岩土体产生振动，增加下滑力，引发边坡失稳。

2.3 人为因素

人为因素对公路边坡稳定性产生不可忽视的影响。公路工程建设过程中，不合理的开挖方式，如大坡度切坡、超挖等，改变了边坡原有的应力状态，破坏土体平衡，导致边坡稳定性降低。填方工程中，填土压实度不足，会形成软弱夹层，增加边坡滑动风险。此外，工程活动中的爆破施工，产生的振动会损伤边坡岩体结构，降低岩体强度。后期运营阶段，公路排水系统不完善，使雨水长期积聚在边坡体内；车辆荷载反复作用，也会对边坡稳定性造成负面影响，加速边坡变形破坏^[2]。

3 常见公路边坡防护技术

3.1 工程防护技术

3.1.1 浆砌片石防护

浆砌片石防护是一种传统且应用广泛的边坡防护技术，主要利用水泥砂浆将片石砌筑成整体结构，覆盖于边坡表面。该技术通过浆砌片石的重力作用，增强边坡表层的抗冲刷和抗风化能力，防止坡面岩土体因雨水侵蚀、风化剥落而失稳。其施工工艺相对简单，成本较低，适用于土质或风化程度中等的岩质边坡。在实际应用中，常根据边坡坡度和高度设计砌筑厚度，一般厚度在30-50厘米。对于易受水流冲刷的边坡，可在浆砌片石结构中设置排水孔，排除坡体内积水，避免因水压力过大导致防护结构破坏，有效保障边坡的稳定性和耐久性。

3.1.2 挡土墙防护

挡土墙防护通过自身重力、结构形式及地基反力来抵抗边坡土体的下滑力，维持边坡稳定。常见的挡土墙类型有重力式、悬臂式、扶壁式等，其中重力式挡土墙依靠墙身自重平衡土压力，结构简单，施工方便，适用于小型边坡或低填方路段；悬臂式和扶壁式挡土墙则利用钢筋混凝土结构的抗弯性能，在墙高较大、地基承载力较低时展现优势。挡土墙可根据边坡岩土特性、荷载大小及地形条件进行设计选型，其墙背形状、排水系统和基础形式是关键设计要素。合理设置排水孔和反滤层，能有效降低墙后水压力，防止墙体因水害而倾覆或滑移，是保障挡土墙防护效果的重要措施。

3.1.3 锚喷支护

锚喷支护是将锚杆、钢筋网和喷射混凝土相结合的防护技术。锚杆深入稳定岩土层中，通过与岩土体的粘结力将不稳定的边坡岩土体与深部稳定岩体连接，提供锚固力，限制岩土体变形；钢筋网铺设于坡面，与锚杆连接形成整体，增强坡面整体性；喷射混凝土则在高

压作用下喷射至坡面，形成连续的防护层，封闭坡面裂隙，防止风化、雨水侵蚀，并与锚杆、钢筋网协同作用，共同提高边坡稳定性。该技术适用于岩质边坡、高陡边坡及破碎岩层边坡，具有施工速度快、适应性强等特点，尤其在地质条件复杂的区域，能有效加固边坡，减少滑坡、崩塌等灾害风险。

3.2 植被防护技术

3.2.1 植草防护

植草防护是利用草本植物根系与土体的相互作用加固边坡、防治水土流失的生态防护技术。草本植物根系交织于浅层土体，形成“根系-土体”复合体，增强土体抗剪强度，提升边坡稳定性。植被覆盖可削弱雨水冲刷，截留降水，减缓径流速度，减少坡面侵蚀。该技术适用于坡率缓于1:1.25、土质利于植物生长的边坡，尤其在气候温和、降水适中地区效果显著。施工时，常用液压喷播和人工撒播。液压喷播将草种、肥料等混合液喷射至坡面，成坪快、成活率高；人工撒播适用于小面积、地形简单的边坡。草种选择需结合土壤和气候，优先选狗牙根、高羊茅等耐旱耐瘠品种，并加强后期养护，确保植被良好生长，充分发挥生态防护效能。

3.2.2 植树防护

植树防护通过在边坡种植树木，以其发达根系固土护坡，兼具生态改善功能。树木根系深入土层，锚固土体，抵御深层滑动；树干枝叶阻挡坡面径流，减轻水流侵蚀。此外，树木还能涵养水源、调节气候、净化空气，优化公路生态环境。该技术适用于坡缓、土层厚、立地条件优的边坡，在低山丘陵区广泛应用。树种应选根系发达、适应性强的乡土品种，如刺槐、紫穗槐，以提高成活率。采用穴植、沟植等方式，依坡度和土壤确定种植密度。后期需做好修剪、浇水、施肥和病虫害防治等抚育工作。植树常与植草结合，构建乔灌草复合群落，强化防护效果，实现边坡防护与生态修复的协同发展。

3.3 综合防护技术

3.3.1 挂网喷射混凝土防护

挂网喷射混凝土防护是将钢筋网或土工格栅铺设于边坡表面，再通过高压喷射混凝土，使网体与混凝土、边坡岩土体形成整体的防护技术。钢筋网或土工格栅能增强混凝土层的抗拉强度，防止其开裂脱落，同时起到加筋土体的作用；喷射混凝土则可封闭坡面裂隙，阻隔雨水入渗，减少风化侵蚀，提升边坡表层稳定性。该技术适用于岩质破碎、易风化剥落的边坡，以及土质边坡表层加固。施工时，需先清理坡面浮石、松土，再挂设网体并锚固，最后分层喷射混凝土，控制喷射厚度和

喷射压力。挂网喷射混凝土防护兼具工程加固与防护功能,且后期可在混凝土层预留植生孔,结合植被种植,实现防护与生态修复的结合。

3.3.2 框架锚杆防护

框架锚杆防护是由锚杆、钢筋混凝土框架和坡面植被共同组成的综合防护体系。锚杆深入稳定岩土层,提供锚固力,将不稳定的边坡岩土体与深部稳定岩体相连;钢筋混凝土框架则将坡面分割成网格状,增强坡面整体性,分散荷载并限制岩土体变形。同时,框架内可进行植草、植树等植被防护,兼顾生态效益。该技术适用于高陡岩质或土质边坡,能有效应对复杂地质条件和较大下滑力。施工时,需精准定位锚杆孔位,确保锚杆锚固质量,并合理设计框架尺寸与配筋。框架锚杆防护通过工程措施与生态措施协同作用,既保障边坡长期稳定,又改善公路沿线景观,符合绿色公路建设理念,在大型边坡防护工程中应用广泛^[3]。

4 公路边坡防护技术应用的发展趋势

4.1 智能化监测技术的应用

智能化监测技术通过物联网、大数据、人工智能等技术,实现对公路边坡的实时、精准监测。利用传感器网络,可对边坡的位移、应力、地下水位、降雨量等关键参数进行动态采集,并借助5G通信技术将数据实时传输至监测平台。人工智能算法对数据进行深度分析,能提前识别边坡变形趋势,预测潜在灾害风险,及时发出预警。例如,北斗卫星定位技术可实现毫米级位移监测,无人机航拍与激光雷达扫描能快速获取边坡三维地形信息,辅助分析边坡稳定性。智能化监测系统还可与边坡防护设施联动,根据监测数据自动调整防护策略,如控制排水系统运行、启动应急加固装置等,显著提升边坡安全管理的智能化水平与响应效率。

4.2 新型防护材料的研发

新型防护材料研发聚焦高性能、绿色环保与多功能化。纳米材料、复合材料在边坡防护领域的应用日益广泛,如纳米改性混凝土具有更高的强度与耐久性,可有效延长防护结构使用寿命;纤维增强复合材料重量轻、强度高,适用于复杂地形的边坡加固。此外,可降解材

料逐渐成为研究热点,采用可降解高分子材料制作的生态袋、护坡网等,在发挥短期防护作用后可自然降解,减少对环境的影响。自修复材料也取得突破,含有修复剂的防护材料在出现裂缝时,可自动激活修复机制,恢复材料性能。

4.3 生态防护技术的进一步发展

生态防护技术正朝着生态功能更完善、景观效果更优、适应性更强的方向深化发展。一方面,通过植物群落优化配置,构建乔、灌、草、藤相结合的复合植被系统,增强边坡生态系统的稳定性与自我修复能力;另一方面,结合海绵城市理念,在边坡防护中融入透水铺装、雨水花园等设施,实现雨水的收集与净化,提升边坡的生态服务功能。此外,针对干旱、高寒等特殊环境,培育和筛选适应性强的植物品种,并研发配套种植技术,扩大生态防护的应用范围。生态防护技术还注重与地域文化、周边景观融合,打造兼具防护功能与美学价值的公路边坡景观,推动公路建设与生态环境协调共生,满足人们对高品质交通环境的需求^[4]。

结束语

公路边坡防护技术的发展关乎交通命脉与生态安全。从传统工程措施到智能化、生态化的创新实践,每一次技术革新都推动行业迈向新台阶。未来,随着智能化监测技术的普及、新型材料的迭代及生态防护体系的完善,边坡防护将实现安全保障、成本控制与生态修复的深度融合。

参考文献

- [1]李江,高影.公路路基边坡防护方法及重要性[J].城市建设与商业网点,2022(13):261-262.
- [2]于跃,王慧贤,安震.高速公路路基边坡防护浅析[J].黑龙江交通科技,2021(12):18,20.
- [3]王海涛.生态防护技术在公路路基边坡防护中的运用[J].甘肃科技纵横,2020,049(005):56-58,45.
- [4]危春根,王玉文,张楠,等.高速公路边坡生态防护技术的探讨[J].公路交通科技(应用技术版),2020,181(01):124-129.