

公路路基边坡塌方原因分析与防治措施

宝永刚 刘笑薇

克什克腾旗公路管护和运输保障中心 内蒙古 赤峰 025350

摘要:公路路基边坡塌方是由土体自身特性不良、水文环境侵蚀及施工养护管控不当等多因素共同作用引发的综合性地质灾害,其危害涵盖结构安全、交通通行及后期运维等层面。本文系统分析了边坡塌方在地形地质、水文环境及施工管控三方面的核心成因,并从优化边坡设计与填筑工艺、完善排水系统建设、落实多样化防护工程、强化日常巡查与养护修复四个维度提出防治措施,强调需从源头设计、过程施工、后期养护全周期协同管控,实现边坡稳定性的系统性保障,降低塌方发生率,确保公路长期安全运营。

关键词:公路路基;边坡塌方;成因分析;防治措施

引言:公路路基边坡塌方是公路工程建设与运营中最为常见的地质灾害之一,在山区公路、沿河公路及软弱地基路段尤为突出。塌方不仅直接威胁道路结构安全与行车安全,还大幅增加公路全周期运维成本,对区域交通通行效率产生严重影响。系统分析边坡塌方的核心成因,制定科学有效的防治措施,对于保障公路工程质量、延长公路使用寿命、降低安全风险具有重要的现实意义。本文从塌方危害、成因分析及防治措施三个维度展开论述,旨在为公路边坡工程的设计、施工与养护提供技术参考。

1 公路路基边坡塌方的主要危害

公路路基边坡塌方是公路工程中常见的地质灾害类型,其危害波及结构安全、交通通行、后期运维等多个层面,对公路工程质量与区域交通运行产生严重影响,需引起高度重视。(1)在结构安全层面,边坡塌方会直接破坏路基土体的整体性与密实度,造成路基局部掏空、不均匀沉降及侧向位移,连带引发路面开裂、坑槽、沉陷、倾斜等一系列路面病害,严重削弱道路主体结构的承载能力与使用性能,缩短公路使用寿命。塌方区域路基强度显著降低,在车辆反复荷载作用下极易产生进一步变形,加速路面结构层的连续破坏与功能衰减。若塌方范围持续扩大,可能导致路基整体失稳,甚至引发路面连续塌陷,严重危及行车安全。(2)在交通通行层面,塌方产生的大量土石堆积会侵占公路行车道、路肩及排水设施区域,严重压缩有效通行空间,迫使车辆减速绕行或单向通行,极易引发追尾、侧翻等交通事故,大幅降低道路通行安全性与通行效率。在汛期、夜间及能见度较低等特殊时段,边坡塌方还可能完全阻断交通,造成区域性交通瘫痪,对周边路网产生连

锁性通行压力。(3)在后期运维层面,频繁的边坡塌方会显著增加公路养护、维修、加固的工程量与频次,耗费大量人力、物力、财力,大幅提升公路全周期运维成本。同时,塌方治理期间需实施交通管制或封闭施工,造成阶段性交通中断,影响区域路网的整体通行效率与服务水平,增加社会交通出行成本,降低公路基础设施的综合服务效能^[1]。

2 公路路基边坡塌方核心原因分析

2.1 地形地质与土体自身因素

土体自身特性是引发路基边坡塌方的基础性内因,直接决定边坡的固有稳定性与承载能力。部分公路路基施工区域土质条件较差,土体以粉质土、淤泥质土、松散砂土及高液限黏土为主,这类土体颗粒间黏聚力弱、内摩擦角小、抗剪强度低,在自重应力与外部荷载反复作用下极易发生塑性变形与蠕变,成型边坡后常出现局部滑移、表层剥落、深层蠕滑等失稳现象,边坡安全储备严重不足。同时,部分施工区域地层分布不均匀,存在土层夹层、软弱互层、风化残积层、膨胀土层等不良地质结构。软硬土层结合面及岩土交界面附着力差,抗剪能力显著低于两侧土体,在温度变化引起的胀缩效应、降雨入渗产生的孔隙水压力变化、车辆振动荷载等外力轻微扰动下,即可出现层间分离与剪切破坏,进而诱发边坡整体滑坡或局部塌方。此外,部分路基边坡原始地形坡度较大,施工过程中未根据土质条件合理放缓边坡坡比,导致边坡土体自重应力过大,滑动力矩超出土体自身承载极限与抗滑安全系数要求,也是小型塌方频繁发生的重要诱因^[2]。

2.2 水文环境因素影响

水是诱发路基边坡塌方最主要的外部因素，多数边坡塌方病害均与水体的侵蚀、渗透及长期浸润作用密切相关。在降雨过程中，雨水直接冲刷边坡坡面，破坏表层土体结构，带走细小土颗粒，导致坡面出现冲沟、凹陷等侵蚀形态。随着冲刷时间延长，冲沟不断加深扩大，坡面土体持续流失，土体有效厚度减薄，最终引发局部塌方。同时，雨水持续向边坡土体内部渗透，使土体含水率大幅提升。土体饱和度增加后，孔隙水压力升高，有效应力降低，黏聚力与内摩擦角显著下降，抗剪强度急剧衰减，土体自重增大，边坡整体稳定性显著降低。尤其在持续强降雨条件下，土体短时间内达到饱和状态，抗滑安全系数降至临界值以下，极易触发边坡失稳破坏。此外，部分路段地下水丰富，地下水位偏高，长期浸润路基边坡土体，持续软化软弱土层，侵蚀土体结构，导致边坡底部土体承载力不足，抗剪强度持续衰减。地下水位的季节性波动还会加剧土体干湿交替，加速土体结构劣化，最终引发边坡整体滑移或坍塌。

2.3 施工与养护管控不当因素

施工工艺不规范、后期养护管控不到位是人为诱发路基边坡塌方的主要原因，此类因素具有可控性，但因施工管理松懈与养护意识薄弱，往往成为边坡失稳的直接推手。在路基填筑施工阶段，部分施工班组未严格执行分层填筑、分层碾压、分层检测的标准作业流程，填筑单层厚度超出规范允许值，碾压频次不足，压实度检测不达标，导致路基边坡土体密实度不均匀，内部存在大量空隙与软弱夹层，土体整体稳定性严重不足，后期在自重应力与行车荷载反复作用下极易出现不均匀沉降与局部塌方。边坡开挖过程中，存在过度开挖、陡坡开挖、一次性开挖成型等违规操作，破坏了原始土体的应力平衡状态，未按规定预留边坡缓冲层与分级平台，导致边坡应力集中，局部抗滑能力骤降，极易引发坍塌。同时，施工完成后未及时开展边坡防护施工，坡面长期裸露，受自然环境风化、雨水冲刷及温差变化影响严重，表层土体结构持续劣化，稳定性快速衰减。在后期养护阶段，未建立常态化巡查机制，未定期排查边坡裂缝、冲沟、土体松动等细小隐患，对已出现的局部病害未及时修补处理，隐患持续扩大，最终由局部病害演变为大面积塌方。此外，部分路段边坡排水设施施工质量差，排水孔堵塞、排水沟破损、截水沟断面不足，导致雨水无法及时排出，积水长期滞留边坡，加剧土体侵蚀与强度衰减，进一步降低边坡稳定性^[3]。

3 公路路基边坡塌方防治措施

3.1 优化边坡设计与路基填筑施工工艺

从施工源头把控边坡稳定性，是防治路基边坡塌方的根本性措施，需在设计与填筑两个环节同步推进，系统性规避基础隐患。（1）在边坡设计环节，施工前需结合现场土质类别、地形地貌、地下水位等条件，科学计算并确定边坡坡比。针对松散土质、软弱地层、高含水量区域，应适当放缓边坡坡度，降低土体自重应力与下滑力，提升边坡的自然稳定性与安全系数。同时，合理设置边坡排水系统，在坡顶设置截水沟、坡面设置急流槽、坡脚设置排水沟，形成完整的边坡排水体系，减少水对土体的浸润与软化作用。（2）在路基填筑施工环节，严格遵循“分层填筑、分层碾压、分层检测”的施工原则，控制每层填筑厚度不超过规范允许值，选用与填料特性适配的碾压设备，确保路基及边坡土体压实度全面达标，杜绝压实不足、局部空洞、层间结合不良等质量缺陷。针对不良土质区域，应提前开展换填处理，剔除松散、软弱、高液限土体，更换透水性好、内摩擦角大、稳定性强的优质填料，从根本上提升土体结构强度与抗剪能力。（3）边坡开挖采用分层分段开挖方式，严格控制单次开挖深度与坡度，避免一次性大坡度开挖造成土体应力集中与边坡失稳。开挖过程中实时监测边坡土体的位移、裂缝发展及地下水位变化，及时调整施工参数与支护方案，维持土体应力平衡，确保边坡施工全过程安全可控。

3.2 完善边坡排水系统建设

水害是引发路基边坡塌方的首要外部因素，雨水冲刷与地下水浸润会显著降低土体抗剪强度，加速边坡失稳。完善边坡排水系统建设，是从源头阻断水体对边坡侵蚀破坏的核心防治措施。（1）在地表排水系统建设方面，需结合边坡地形特征与区域降雨规律，搭建完整的地表排水体系。在边坡顶部设置截水沟，有效拦截坡面上方汇集的雨水，避免雨水沿坡面长距离冲刷造成表层土体剥蚀与沟蚀。在边坡坡面合理布设排水槽与泄水孔，加快坡面雨水的汇集与排放速度，缩短雨水与土体的接触时长，降低雨水入渗量。在路基两侧完善排水沟系统，及时排出路面积水与边坡渗水，杜绝积水在坡脚及路基边缘滞留，防止长期浸泡导致土体强度衰减。（2）在地下排水系统建设方面，针对地下水位较高、含水层丰富的路段，需增设盲沟、渗沟、仰斜式排水孔等地下排水设施，有效截断地下水向边坡土体的补给路径，降低坡体内地下水位，减少地下水对边坡土体的长期浸润与软化作用，维持土体有效应力与抗剪强度。（3）施工过程中须严格保障排水设施的施工质量，确保截水沟、排水槽、盲沟、渗沟等各类排水通道截面

尺寸达标、坡度合理、衔接顺畅,无堵塞、无渗漏、无断点,排水系统整体功能完整有效,从源头消除水害对边坡稳定性的威胁^[4]。

3.3 落实多样化边坡防护工程

落实多样化边坡防护工程,是加固边坡结构、抵御自然侵蚀、保障路基长期稳定的关键措施。需根据边坡土质类别、坡度大小、水文地质条件及周边环境特征,科学选用适配的防护方式,实现防护效果与工程经济性的统一。(1)对于坡度较缓、土质条件较好、地下水位较低的边坡,优先采用生态防护方式。通过喷播植草、铺设草皮、种植灌木及乔木等措施,利用植物根系的锚固作用增强坡面土体的抗剪强度,有效减少雨水冲刷与表层土体流失,同时提升道路沿线绿化覆盖率,改善行车视觉环境。生态防护施工需选择适宜当地气候条件的草种与灌木品种,确保植被成活率与固土效果。(2)对于坡度较大、土质松散、含水量高、易发生塌方的边坡,须采用工程硬性防护措施。常用方式包括浆砌片石护坡、混凝土框架护坡、锚杆框架防护、抗滑桩支挡等,通过硬性结构体约束土体侧向位移,提升边坡整体稳定性与抗滑安全系数。框架结构内需填充种植土并进行植被恢复,兼顾结构安全与生态功能。(3)对于风化严重、岩体破碎、节理发育的岩质边坡,可采用挂网喷浆防护或锚杆喷射混凝土防护,封闭坡面裸露岩体,防止岩体持续风化脱落与碎块滑移,维持边坡结构完整性。边坡防护施工须紧跟路基开挖、填筑进度同步推进,避免坡面长期裸露遭受雨水冲刷与日晒风化,及时形成完整的防护体系,确保边坡在施工期与运营期均处于安全可控状态。

3.4 强化后期日常巡查与养护修复

强化后期日常巡查与养护修复,是规避边坡隐患扩大、保障公路长期运营安全的关键环节。路基边坡在自然环境与交通荷载的长期作用下,防护结构与土体状态会持续发生变化,若缺乏常态化养护管控,细小隐患极易逐步演化成大面积塌方,造成严重的安全与经济损失。(1)建立健全路基边坡日常巡查机制,明确巡查频次、巡查范围与巡查内容。定期排查边坡坡面、排水设施、防护结构的实时状态,重点检查坡

面是否出现张拉裂缝、剪切裂缝、冲沟发育、土体松动与滑移迹象,排水设施是否存在堵塞、破损、淤积等问题,防护结构是否发生变形、开裂、脱落与局部失稳。巡查过程中须做好详细记录,建立边坡健康档案,为后续养护决策提供数据支撑。(2)针对巡查中发现的细小隐患,须及时开展修补处理。对坡面裂缝采用封堵填充措施,防止雨水沿裂缝渗入土体加速边坡失稳;对冲沟进行回填夯实处理,恢复坡面完整性;对堵塞的排水设施及时疏通清理,对破损的防护结构进行加固修复,避免小隐患持续恶化演变为大面积塌方。(3)在雨季、汛期、冻融期等边坡塌方高发时段,须增加巡查频次,加密排查高边坡、软弱土质边坡、膨胀土边坡、顺层边坡等危险路段,提前做好隐患排查与预处理工作,备足应急抢险物资与设备,有效降低边坡塌方发生率,保障公路运营安全^[5]。

结束语

公路路基边坡塌方是影响公路工程质量与运营安全的综合性地质灾害,其成因涉及土体自身特性、水文环境及施工养护等多重因素,防治工作需贯穿设计、施工、运维全周期。通过优化边坡设计与填筑工艺、完善排水体系、落实多样化防护工程、强化日常巡查与养护修复等措施,可系统性提升边坡稳定性,有效降低塌方发生率。未来应进一步加强边坡稳定性监测技术应用,推进智能化巡查与预警体系建设,实现边坡隐患的早发现、早处置,切实保障公路基础设施的长期安全运营。

参考文献

- [1] 刘建良.公路路基边坡坍塌形成与防治分析[J].运输经理世界,2024,(20):126-128.
- [2] 赵建邦.公路路基边坡坍塌形成及防治措施[J].交通世界,2022,(29):112-114.
- [3] 张家亮,罗亮.公路路基设计中的边坡防护问题分析[J].黑龙江交通科技,2025,48(04):16-19+24.
- [4] 张红.公路路基边坡防护设计问题研究[J].交通世界,2020,(12):68-69.
- [5] 司敬德.复杂地质条件下的公路路基稳定性控制施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(12):73-75.