

山区公路路基滑坡病害成因及处置加固技术研究

梁 栋

淅川县公路事业发展中心 河南 南阳 473000

摘 要: 山区公路路基受复杂地形、特殊地质及水文环境影响,极易发生滑坡病害,严重威胁道路通行安全与结构稳定性。本文系统梳理山区路基滑坡的基础特征、病害类型及渐进式变形规律,深入剖析地形地质、岩土性能、雨水入渗、施工扰动四大核心致病诱因,整合排水疏导、土体改良、支挡锚固、坡面防护等主流加固技术。结合不同滑坡类型与地质工况,探究技术适配逻辑与多技术组合应用方式,提出长效防护优化策略,可为山区公路路基滑坡病害治理与运维保障提供技术参考。

关键词: 山区公路;路基滑坡;病害成因;加固技术;边坡稳定性

引言: 山区公路多沿山体坡面布设,地形起伏大、地质结构复杂、水文条件多变的区域特性,让路基结构长期处于不稳定的受力状态。山体原始自然平衡会因路基开挖、填筑等施工活动被打破,叠加雨水冲刷、土体风化等自然作用,滑坡病害频发多发,不仅破坏路基整体结构,还会造成道路中断、交通受阻等问题。为有效管控路基滑坡风险,依托山区路基滑坡病害的发育特征,系统探析病害形成机理,优化完善处置加固技术体系,对提升山区公路路基耐久性与运营安全性具有重要现实意义。

1 山区公路路基滑坡病害基础特征与类型划分

1.1 山区特殊地形地貌对路基稳定性的影响特征

山区地形起伏幅度较大,地表高低错落明显,整体地势存在明显倾斜角度。公路路基多沿山体坡面布设,基底岩土原始受力状态会在开挖填筑作业后被打破。自然山体长期保持自然平衡状态,人为修路改造会改变坡面原有支撑结构,改变土体内部应力分布状态^[1]。山区沟谷纵横、坡面陡峭,地表径流路径复杂,雨水容易在路基坡体区域持续汇集。松散覆盖层堆积厚度不均,土层结构杂乱,整体固结程度偏弱。外力扰动作用下,土体结构容易出现松散松动,路基整体稳定状态会持续下降。复杂地形条件让山区路基始终处于不稳定的受力环境,各类滑坡病害出现概率远高于平原路基结构。

1.2 山区公路路基滑坡主要病害类型

山区公路路基滑坡可依据滑动位置、土体运动状态划分为多种常见类别。路基表层滑坡多发生在填土边坡表层,滑动土体厚度较小,普遍不超过2米,滑动范围集中在坡面浅层位置。路基深层滑坡贯穿填筑层与基底

土层,滑动体量更大,破坏范围覆盖整体路基断面。顺层滑坡多出现在岩层走向与坡面走向相近的山体路段,岩土体沿原有岩层结构面发生滑动。切层滑坡跨越多层岩土结构,滑动面不受原有地层结构约束,破坏形态更具随机性。不同病害类型对应不同土体结构条件,也对应不同的失稳触发条件。各类滑坡形态具备独立结构特点,能够直观区分路基病害的破坏形式。

1.3 路基滑坡变形发育过程与表现形式

路基滑坡失稳会经历循序渐进的变化过程,整体形变存在明显阶段差异。初始阶段土体内部产生细微裂隙,裂隙延展速度缓慢,外部路面及坡面不会出现明显异常变化。中期阶段裂隙持续扩张贯通,坡面出现断续裂缝,局部土体出现松动下沉现象。后期阶段滑动面完全成型,土体出现整体滑动运动,路基结构发生明显变形破坏。不同阶段的形变状态能够反映坡体内部结构变化,也能体现土体失稳的递进规律。外观形变特征可以作为区分滑坡发展阶段的重要依据。

1.4 山区路基滑坡区别于常规路基病害的独有特征

山区路基滑坡与平原地区路基病害存在明显区别。山区坡体土体结构复杂,岩土交错分布,土体均匀性较差,内部受力状态复杂多变。病害诱发条件更加多元,地形、水文、地质及施工因素都会参与病害形成过程。形变发展具备持续性特点,微小扰动都会引发持续的结构变化。滑坡破坏具备连锁性,局部失稳会逐步扩散至整体路基结构。常规路基病害多表现为局部破损变形,山区路基滑坡多为整体结构性失稳,破坏影响范围更广,结构损伤程度更严重。

2 山区公路路基滑坡病害诱发成因分析

2.1 地形地貌与地质条件的内在诱因

山区独特的地形地貌是路基滑坡产生的先天基础条件。山体坡面普遍存在较大倾角,天然坡体本身具备一定滑移趋势。山地地层构造分布杂乱,断层、破碎带等不良地质结构广泛存在,地层整体性与完整性较差。路基建设会切挖山体原有坡面,改变原始坡体的几何形态,打乱地层自然平衡状态^[2]。倾斜的地形结构会持续为土体滑移提供向下的势能,破碎地质结构无法形成稳固的支撑体系。地质构造的不稳定性会长期存在,为路基滑坡的产生提供基础前提,大幅提升坡体失稳的可能性。

2.2 岩土体自身物理力学特性缺陷

山区路基填筑及基底原生岩土体普遍存在自身性能短板,是滑坡病害产生的核心内因。多数山体表层土体以残积土、风化岩土为主,颗粒结构松散,黏结强度处于较低水平。这类岩土孔隙占比偏大,整体密实度不足,抗剪强度难以抵御复杂外力作用。土体受力后容易产生塑性形变,荷载波动下会持续出现结构松动。部分岩层存在软弱夹层,层间结合强度薄弱,抗滑移能力较差。岩土体自身力学性能的不足,让路基结构难以长期维持稳定状态,在外力干扰下极易出现失稳滑移问题。

2.3 水文环境与雨水入渗的诱发作用

水文变化是触发山区路基滑坡最活跃的外部因素。山区降雨频次多、单次降水量大,浙川境内山区雨季最大日降雨量可突破 180 毫米,雨水会直接冲刷路基坡面,逐步渗入土体内部。水分填充岩土孔隙后,会降低土体颗粒间的摩擦力,大幅削弱土体抗剪性能。长期雨水入渗会软化软弱夹层,瓦解岩土体原有结构,让坡体自重持续增加。土体饱和后会产生静水压力与渗透压力,进一步破坏坡体应力平衡。水分持续作用会逐步扩大土体破损范围,让原本稳定的路基坡体逐步出现裂隙、松动,最终引发整体滑坡失稳。

2.4 路基施工填筑与开挖扰动的人为诱因

道路施工过程中的各类人为扰动,会直接破坏山体原始平衡体系,催生滑坡隐患。山体开挖作业会剥离原有支撑土体,改变坡体应力分布状态,造成局部应力集中。路基填筑阶段若分层把控不到位,压实度达不到标准,填筑土体就会存在疏松空洞。后期道路运营过程中,土体缓慢沉降变形,会诱发坡面开裂滑移。施工阶段对原有排水体系的破坏,会改变地表水流走向,加剧局部积水与入渗问题。不规范的施工操作会埋下长期安全隐患,逐步诱发各类路基滑坡病害。

3 山区公路路基滑坡常用处置与加固技术体系

3.1 路基滑坡排水疏导技术类型及应用特点

水分侵扰是山区路基滑坡发展推进的重要诱因,排水疏导技术成为病害处置的基础手段。这类技术通过人工布设排水结构,有序引导地表及地下水排出坡体范围,减少水分在岩土内部的滞留积存^[3]。地表排水依托截水沟、排水沟等构造,拦截坡面汇水,阻断雨水持续渗入路基土体。地下排水依托盲沟、渗沟等设施,疏导土体内部积水,降低岩土饱和程度。排水技术整体施工流程简易,对原有路基结构改动幅度小。技术应用可以长期优化坡体水文环境,削弱水体对岩土结构的软化破坏作用,从源头降低滑坡失稳的发生概率。

3.2 土体换填与压实改良技术应用形式

土体换填与压实改良针对路基松散、软弱土层等结构性缺陷开展治理作业。施工环节清理路基表层及浅层软弱、风化、松散土体,替换稳定性更强、力学性能更优的填料。全新填料颗粒均匀、结构致密,自身抗剪强度与承载能力更为突出。分层压实的作业方式可以提升填筑体整体密实程度,缩减土体内部孔隙空间,抑制水分渗透通道。压实改良能够优化路基整体受力结构,削弱土体形变能力。这类技术多用于浅层滑坡处置与路基基底加固,有效改善路基填筑质量,强化基础结构的稳定性能。

3.3 支挡锚固类加固技术应用机理

支挡锚固技术依靠刚性结构与岩土体的相互作用,约束坡体滑移变形,实现深层加固效果。支挡结构依托自身自重与刚性刚度,阻挡土体侧向位移,抵消坡面下滑产生的推力。锚固结构通过锚杆、锚索等构件深入稳定地层,常规锚固深度控制在 8~15m,利用锚固力串联松散岩土体与深层稳固山体。结构受力后可以转移坡体内部应力,限制裂隙扩张与土体松动。这类技术作用深度大,能够兼顾浅层坡面与深层土体的稳定控制。技术适配山区陡坡路基、高填深挖路基等复杂工况,大幅提升坡体整体抗滑移能力。

3.4 坡面防护与土体固化技术应用形式

坡面防护与土体固化技术聚焦路基表层防护,抵御外部环境带来的结构损伤。坡面防护分为刚性防护与柔性防护两类形式,刚性防护依托浆砌片石、混凝土框架等结构封闭坡面。柔性防护借助植被、土工材料覆盖坡面,弱化雨水冲刷与风力侵蚀带来的破坏。土体固化通过固化材料改良表层岩土性能,提升土体整体性与抗形变能力,封堵表层细微裂隙。技术应用可以阻断外界水

体与土体的接触路径,避免表层土体松散脱落。整体作业针对性解决坡面风化、冲刷、表层滑移等问题,辅助维持路基坡体的长期稳定状态。

4 山区公路路基滑坡处置技术适配优化与应用要点

4.1 不同滑坡类型的加固技术适配逻辑

山区路基滑坡存在多种形态类别,不同类型的失稳机制存在明显区别,加固技术选用需要对应病害特征开展匹配。浅层坡面滑移病害土体厚度小、滑动范围有限,结构破坏集中在路基表层。处置工作侧重表层土体固定与坡面防护,简单压实改良、坡面封闭防护即可满足稳定需求。深层路基滑坡涉及填筑层及基底原生土体,滑动面埋藏深度大,土体下滑作用力更强。工程处置需要依托锚固、重型支挡等深层加固手段,约束整体土体位移^[4]。顺层滑坡受地层结构面控制,滑移路径沿软弱夹层展开。技术选用重点阻断层间滑移通道,配合注浆固结方式强化岩层整体性。差异化的适配逻辑可以精准对应各类滑坡缺陷,避免通用处置方式带来的治理不足问题,提升病害治理的针对性。

4.2 复杂地质条件下处置技术选用要点

山区地质环境复杂多变,破碎地层、软弱土层、岩溶地段等特殊地质单元广泛分布,技术选用需要结合场地地质条件灵活调整。岩土松散、孔隙发育的地段,优先布置排水结构疏导内部积水,减少水体对土体结构的持续破坏。软弱土层分布较厚的路基段落,需要更换劣质土层并强化压实标准,从基础层面提升路基承载能力。山体破碎、裂隙发育的路段,侧重注浆加固与锚固约束,填补土体空隙,串联零散岩土结构。地势陡峭、临空面较大的高危路段,搭配刚性支挡结构抵御土体下滑推力。地质条件薄弱的区域不能单一套用常规技术手段,需要结合场地缺陷调整处置方案,适配复杂山地路基的稳定需求。

4.3 多技术组合加固的应用思路

单一处置技术仅能解决局部结构缺陷,难以应对山区路基复杂的多重失稳隐患。多技术组合加固模式可以整合各类技术优势,构建多层次、全方位的防护体系。工程应用可按照“先排水、后加固、再防护”的顺序开展施工布置。前期布设系统化排水设施,消除水体诱发的失稳隐患,为后续加固作业创造稳定施工条件。中期依托锚固、支挡、注浆等核心技术,加固深层土体

结构,阻断主要滑移通道。后期搭配坡面防护、表层土体固化手段,抵御外部环境侵蚀损伤。多种技术相互补充、层层防护,弥补单一技术的应用短板。组合模式能够覆盖深层滑移、表层破损、水体侵蚀等多重病害问题,适配复杂山区路基的治理场景。

4.4 路基长期稳定的防护与处置优化思路

路基滑坡治理不能局限于短期病害修复,需要建立长效防护机制,维持路基结构长期稳定运行状态。工程设计需要摒弃被动修复的治理思维,转向主动防控的优化思路。结合山区气候与地形特点,持续完善路基排水体系,保持排水通道常年通畅,杜绝积水长期滞留土体内部。定期排查坡面裂隙、结构破损、土体松散等隐患,每季度开展1次全面隐患排查,及时开展封堵与修补作业,阻止微小缺陷持续扩张。根据路基运营状态调整防护体系,每5年对加固结构开展一次全面检测补强,对老化、失效的加固结构开展翻新补强。优化施工细节与运维模式,弱化施工扰动、自然侵蚀带来的结构损伤。持续化、精细化的管控方式可以从源头减少滑坡病害复发概率,保障山区公路路基长期安全稳定运行。

结束语

山区公路路基滑坡是地形地质、自然水文与人为施工多重因素耦合作用的结果,病害类型多样、发育过程渐进、破坏形式具有连锁性。各类单一加固技术各有适配场景与应用短板,只有结合滑坡病害特征、场地地质条件匹配对应处置手段,采用多技术分层组合的治理模式,才能全面解决路基深浅层失稳问题。同时,常态化隐患排查、精细化运维管控与主动防控体系建设,能够持续优化路基运行状态,有效规避滑坡病害反复发生,筑牢山区公路路基安全运行基础。

参考文献

- [1] 石晶伟. 山区公路滑坡段病害成因及治理技术 [J]. 交通世界, 2026(8): 78-80.
- [2] 李海东. 山区公路路面水侵蚀病害及其质量控制措施研究 [J]. 甘肃科技, 2022, 38(5): 10-12.
- [3] 刘少锋. 宁夏南部黄土山区某公路填土路基沉陷成因研究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2022, 10(9): 58-60.
- [4] 冯愈霖. 公路工程施工中常见路基病害防治技术分析 [J]. 低碳世界, 2025, 15(4): 139-141.