

山区公路路基路面病害分布特征及长效处治技术实践

易 宝

新疆交通科学研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：山区公路路基路面病害的分布与地形地貌、水文气候及岩土体特性密切相关。本文从环境条件切入，系统梳理了深挖方边坡失稳、高填方沉降、路面磨耗开裂等典型病害的空间分布规律与演化特征，揭示了自然环境侵蚀、结构受力异常及材料施工缺陷三重诱因的耦合驱动机制。在此基础上，围绕土体加固、裂缝封堵、结构过渡区刚度调适等长效处治技术展开实践分析，提出差异化适配优化思路，为提升山区公路服役性能提供技术参考。

关键词：山区公路；路基路面病害；分布特征；长效处治；适配优化

引言：山区公路所处地形起伏剧烈、水文气候多变、岩土体结构复杂，路基路面长期暴露于自然环境与行车荷载的双重作用下，病害发育呈现出明显的区域性与复合性。既有研究多聚焦单一病害类型，对病害空间分布规律与多因素耦合诱发机制的系统论述尚显不足。深入剖析山区公路路基路面病害的分布特征与诱发机理，探索与复杂服役环境相匹配的长效处治方案，对保障山区交通基础设施的长期稳定运行具有现实意义。

1 山区公路路基路面环境与病害发育条件

1.1 山区公路地形地貌条件

山区公路布设区域地形起伏幅度较大，地表高程变化连续且显著，整体地势呈现高低错落的分布状态。山体坡面倾角普遍偏大，多集中在 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 区间，地表径流搬运能力较强，公路沿线多分布陡坡与沟谷地貌，整体地形空间结构复杂多变^[1]。公路工程建设会对原有自然地形进行改造，路基填筑与开挖施工会改变原始坡面的应力平衡状态，让路基整体处于非均匀受力的地形环境中。狭窄曲折的山体空间会限制公路线形布设，路段纵坡与横坡参数普遍偏大，路面受力分布持续处于不平衡状态。复杂的地形格局会降低路基整体稳定性，为路面开裂、路基沉降等各类病害的滋生和发展提供基础地形条件。

1.2 山区公路水文气候条件

山区区域气候垂直分异特征显著，海拔高度变化每上升100m，气温约下降 0.6°C ，会引发温度、降水等气象要素的梯度性改变。区域降水总量充沛且年均降水量可达600~1200mm，降雨时空分布不均，短时强降雨天气频发，单次降雨量常超过50mm，大气降水会持续冲刷公路路基与路面结构表层。高海拔区域常年温差幅度较大，昼夜温差可达 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ ，昼夜温度交替变化会反复作用于路面铺装结构，引发材料收缩与膨胀的周期性形变。山区水汽含量充足，空气湿度长期处于较高水平，相对湿

度多维持在70%~90%，路基土体与路面材料会持续吸收水分，改变自身物理力学性质。区域内季节性气候波动会加剧水文环境的动态变化，地下水渗透与地表积水汇集会持续侵蚀公路结构内部，逐步弱化路基路面的整体服役性能。

1.3 山区岩土体地质特性

山区地层结构发育复杂，岩土体组合类型多样且分布杂乱，岩层风化程度存在明显的区域差异性。浅表部岩土体风化厚度较大，土体结构松散、孔隙占比偏高，整体密实度与承载性能相对薄弱。部分区域岩层节理与裂隙发育充分，岩土体整体性和完整性较差，抗剪强度与抗压强度处于较低水平。岩土体渗透系数分布不均，水分极易顺着裂隙与孔隙渗入结构内部，软化路基基底土体。地质层不均匀的力学特性，会让路基受力状态持续波动，岩土体自身的形变特性会逐步传导至路面结构，诱发各类结构性病害的持续发育。

1.4 路基路面结构服役环境特点

山区公路路基路面长期处于复杂且多变的自然耦合环境中，结构服役状态受自然要素与工程条件的共同制约。路基结构多依托山体岩土体构筑，基底约束条件复杂，外部自然扰动对结构稳定性的影响更为突出。路面结构长期暴露于露天环境，持续承受温度、水分、风力等自然因素的侵蚀作用，表层材料老化速度更快。公路沿线复杂的地质与地形条件，让路基路面结构长期承受不均匀荷载作用，内部应力处于持续动态调整状态^[2]。各类自然环境要素的长期叠加作用，会逐步损耗结构整体性能，大幅提升路基路面各类病害的发育概率与发展速度。

2 山区公路路基路面病害分布特征

2.1 路基典型病害分布特征

山区公路路基病害的空间分布贴合地形与地质的空间变化规律，各类结构性损伤呈现明显的区域聚集特

点。深挖方路段路基易出现边坡失稳相关损伤,岩土体剥离与土体滑移现象多集中于坡面坡度较大、风化程度较高的区段。高填方路段土体压实均匀性较差,深层土体固结进程缓慢,容易出现整体沉降与局部沉陷问题,竖向变形会随服役时长逐步累积。临近沟谷与冲沟的路基区段,地表水冲刷作用更为强烈,路基边缘土体易出现流失掏空,逐步引发路基塌陷与边坡溜塌等问题。地下水富集的路基区段,土体含水率长期处于高位,抗变形能力持续衰减,不均匀沉降病害会呈现连片发育的趋势。路基内部应力分布的差异性,会让各类病害沿公路纵向呈现分段式发育,不同结构区段的病害类型与发育程度存在明显区别。

2.2 路面典型病害分布特征

山区公路路面病害发育类型以结构性破损与功能性损耗为主,空间分布具备较强的规律性。纵坡较大的行车区段,车辆制动与加速行为频繁,路面表层会承受反复的剪切作用力,表层骨料磨损速率加快,磨损与松散病害多发。弯道行驶区段车辆荷载存在横向偏移,路面单侧受力更为集中,横向开裂与推移变形问题更为突出。降水富集的低洼路面区段,水分长期滞留于路面结构孔隙内部,会弱化材料粘结性能,逐步引发网裂与坑槽病害。温度循环变化会促使路面材料产生疲劳损伤,高海拔区段低温冻融作用频繁,路面开裂病害的覆盖范围更广,裂缝延展速度更快。路面病害多从受力薄弱区域逐步扩散,单一破损问题会持续演化,衍生出多种复合式路面损伤问题。

2.3 不同路段病害差异化分布特征

山区公路不同结构路段的服役环境与受力条件存在显著区别,病害发育类型、密度及发展速度均形成差异化格局。填方路段病害以沉降变形与边坡滑移为主,结构整体变形问题突出,表层路面破损多由路基形变间接引发。挖方路段岩土体基底稳定性相对稳定,病害多集中于路面表层,开裂、磨损与渗水等功能性破损更为常见,结构性损伤发育规模相对有限。半填半挖路段结构过渡界面力学性能差异显著,界面衔接位置应力集中现象明显,成为病害高发核心区域,沉降、开裂及渗漏问题会同步交错发育。临水临崖路段受水流侵蚀与风力扰动影响更深,病害发育密度更高,损伤演化速度更快。平缓路段病害整体发育程度偏低,破损类型单一,陡坡与弯道组合路段病害复合型特征显著,整体服役状态衰减更为迅速。

3 山区公路路基路面病害诱发机制

3.1 自然环境诱发机制

自然环境动态变化是驱动山区公路路基路面病害萌生与扩张的核心外因,各类环境因子持续作用于道路结构,逐步破坏结构原有稳定状态。大气降水持续冲刷道路表层结构,水体不断渗入路基土体与路面孔隙结构,改变土体颗粒粘结状态,降低土体固结强度^[3]。雨水入渗会提升路基整体含水率,弱化岩土体抗剪性能,促使路基产生压缩变形与滑移形变。区域温度往复变化会让路面铺装材料产生反复的胀缩反应,材料内部逐步积累疲劳损伤,微观裂隙会持续拓展延伸。山区强风天气会加速路面表层材料风化剥落,降低结构表层完整性。水文与气象要素的长期交替作用,会持续侵蚀道路结构内部圈层,打破路基路面结构与自然环境的平衡关系,逐步催生各类结构性与功能性破损。

3.2 结构受力诱发机制

山区公路特殊的线形布局与地形条件,会让道路结构长期处于复杂的受力状态,异常应力作用会持续诱发各类病害发育。车辆通行产生的往复荷载会持续作用于路面表层,荷载应力向路基深层传导,长期往复作用会引发土体塑性变形不断累积。陡坡与弯道路段会产生横向分力,改变路面常规受力模式,局部区域应力过度集中,推动路面推移、开裂等问题持续发展。路基填挖交替形成的结构过渡区域,刚度参数存在明显差异,荷载传递过程中会出现应力突变,加剧界面位置的结构损伤。路基基底不均匀形变会让路面结构产生附加应力,持续拉扯挤压路面材料,促使细微裂隙不断扩张,逐步形成规模化破损缺陷。

3.3 材料与施工固有缺陷诱发机制

道路建设所用材料自身性能短板与施工环节形成的固有缺陷,会从结构内部埋下病害发育隐患,成为病害滋生的内在动因。部分填筑土体颗粒级配合理性不足,压实后孔隙结构分布不均,土体整体稳定性难以长期维持,外界环境扰动下容易产生形变损伤。路面铺装材料耐久性能存在局限,长期经受自然风化与车辆磨损后,粘结强度与整体韧性会逐步衰减。施工作业阶段压实工艺控制精度不足,局部路基土体密实度达不到设计标准,土体固结沉降会在服役阶段持续发生。结构层摊铺厚度不均匀、层间粘结处理不到位等施工问题,会降低道路结构整体整体性,弱化荷载传递性能,最终诱发沉降、开裂等持续性病害。

4 山区公路路基路面病害长效处治技术实践

4.1 路基病害长效处治技术

路基病害长效处治围绕结构固本与环境防控两大核心开展工程实施,通过系统性技术手段改善路基土体力

学状态,切断病害发育的环境诱因^[4]。土体固结与加固工艺可以细化土体颗粒排布,缩减内部孔隙空间,提升路基整体密实度与抗形变能力,有效抑制土体压缩变形与不均匀沉降问题。坡面防护工程能够增强边坡岩土体的整体稳定性,削弱坡面径流冲刷带来的土体流失,降低边坡滑移与坍塌的发生概率。针对地下水活跃的山区路段,导排与阻水工艺可以合理调控路基水土环境,避免土体长期浸水出现强度衰减,维持路基基底结构的稳定状态。各类技术手段均聚焦路基结构本源缺陷治理,兼顾短期病害修复与长期性能维持,适配山区复杂地形地质条件下的路基服役需求。在实际工程应用中,应优先采用注浆加固与微型桩组合工艺处理深层土体缺陷,同时结合生态护坡技术实现边坡防护与环境协调的双重目标,确保处治效果在山区特殊环境下具有足够的耐久性与适应性。

4.2 路面病害长效处治技术

路面病害长效处治聚焦修复表层破损、恢复铺装整体性、提升材料耐久性能,延缓路面结构性能衰减速度。裂缝处置技术可封堵路面成型裂隙,阻止水分与空气渗入结构内部,规避裂隙持续拓展衍生的复合型损伤。坑槽与松散破损修复技术可重塑路面表层结构,恢复路面平整性与荷载传递能力,弱化局部受力不均带来的结构损耗。表层预养护技术能够持续保护路面铺装材料,抵御温度变化与自然风化带来的性能损耗,延长路面整体服役周期。技术应用过程中注重匹配山区复杂环境特征,强化修复区域与原有路面的衔接性能,保障处治效果的长效性。

4.3 特殊路段病害综合长效处治技术

山区特殊路段所处服役环境复杂,结构受力条件特殊,单一治理技术难以实现长期稳定的治理效果,需要整合多元技术形成综合处治体系。填挖交界过渡路段可通过结构刚度调控工艺,平衡不同结构区段的力学性能差异,弱化结构界面处的应力集中现象,减少界面破损的反复发育。临水临崖路段整合隔水防护与土体加固技术,阻隔水体对路基基底的侵蚀淘洗,强化边缘土体的固结稳定性。陡坡弯道路段针对性应用抗滑与抗推移强

化技术,提升路面铺装结构的抗剪切性能,适配车辆通行产生的复杂荷载作用。多技术融合的治理模式可以同步解决结构形变与环境侵蚀问题,全面提升特殊路段道路结构的抗扰动能力。

4.4 长效处治技术适配性优化思路

长效处治技术的落地应用需结合山区公路地形地质、气候环境与结构特征开展适配优化,摒弃固化技术套用模式。依托路段实际病害诱因匹配差异化处治技术,针对环境侵蚀主导的病害强化防护与导排工艺,针对受力形变主导的病害优化结构加固方案。结合区域气候特征调整材料配比与施工工艺,提升处治结构对温度波动、雨水冲刷等外界扰动的适配能力^[5]。持续结合道路服役反馈优化技术参数,动态调整处治方案细节,建议每2~3年开展一次病害评估与处治方案校核,让技术体系适配山区公路复杂多变的服役场景,持续提升病害治理的长效效益。

结束语

山区公路路基路面病害的长效治理,须从环境诱因辨析、空间分布把握与处治技术适配三个环节协同推进。自然环境的持续侵蚀、结构受力的异常集中与材料施工的先天缺陷共同构成病害发育的内在逻辑,单一技术手段难以覆盖复杂工况下的多元病害需求。路基加固、路面修复与特殊路段综合处治构成的技术体系,需结合路段实际持续优化参数与工艺细节,方能有效遏制病害反复滋生,保障山区公路结构的长期稳定服役。

参考文献

- [1]唐庆明.山区农村公路水泥混凝土路面病害及处理对策[J].交通世界,2025(20):82-84.
- [2]王建舟.山区公路路基翻浆成因及预防措施研究[J].运输经理世界,2023(9):129-131.
- [3]沈千帆.山区普通公路工程病害成因分析与针对性治理技术研究[J].中国航班,2026(8):95-97.
- [4]钱春杰,魏小皓.公路路面纵向裂缝原因分析及处治[J].山西建筑,2025,51(12):142-145.
- [5]尹金涛,王少华,曾建.宜昌农村公路路基拓宽常见病害分析及防治对策[J].农村科学实验,2023(11):67-69.