

山区农村公路路基浸水失稳后对道路安全性影响

蹇茂威

汶川县政府投资项目服务中心 四川 阿坝州汶川县 623000

【摘要】：农村公路是乡村交通核心载体，浸水路基失稳问题频发，影响通行安全与耐久性。四川川西山区、川南丘陵山区农村公路浸水路基存在局部不均匀沉降、边坡滑移等失稳形态，伴随路面开裂、翻浆等病害。水文水位、填料结构、外部荷载主导失稳发生，破坏路面完整性、威胁行车安全、增加养护成本。排水防渗、路基固化改良、边坡防护及预警等防控手段，可为浸水路基安全处置、病害治理及养护优化提供理论与实践参考，助力提升农村公路抗水害能力和通行安全性。

【关键词】：农村公路；浸水路基；失稳特征；影响因素；防控技术

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.017

引言

农村公路衔接城乡，保障农村群众日常出行与生产物资转运，是乡村振兴推进过程中的重要基础。这类道路多分布在农田河谷地带，水文环境复杂，路基常以就地取用的粉质黏土填筑，压实控制标准不高，排水构造相对简单，受季节水位变化与强降雨冲刷持续作用，浸水路段路基易出现失稳及各类衍生病害，缩减道路服役周期，加重后期养护压力，对行车与行人安全构成直接隐患。研究围绕农村公路浸水路基失稳特点、作用要素与安全风险展开系统梳理，给出适配的防控技术方案，破解浸水路基易变形、难整治的现实问题，为农村公路高质量建设与长效发展提供坚实依据。

1 农村公路浸水路基失稳特征与病害类型

1.1 浸水路基典型失稳形态

农村公路浸水路基失稳以局部不均匀沉降、边坡渐进式滑移、坡脚淘空软化为典型形态，不同于高速公路大规模整体滑动，失稳过程具渐进性与局部性，从路基边缘与坡脚部位启动，逐步向内部发展。路基填料多为就地取用的粉质黏土、低液限黏土，长期浸水使原状填料含水率骤增，土体内部结构受损，黏聚力与内摩擦角快速衰减，力学性能大幅下降^[1]。季节性水位升降与农用车辆荷载叠加，路基内部易形成软弱滑动面，呈现单侧沉降偏大、边坡表层溜塌、坡脚土体流塑外溢等具体形态。四川阿坝州汶川县、甘孜州泸定县等山区农村公路浸水路段，受周边农田水系影响，路基长期处于湿润或浸水状态，单侧下沉3-8cm、边坡表层1-2m深度土体软化滑移现象常见，坡脚因长期浸泡出现细颗粒流失与局部掏空，最终形成差异沉降主导、边坡浅层破坏、坡脚先行失稳的典型特征。这与农村公路路基压实标准偏低、填料粒径偏小、排水设施简易且维护不及时的建设特点高度契合，也是其浸水路基失稳区别于高等级公路的核心所在。

1.2 路基浸水引发的主要道路病害

路基浸水引发路面结构性开裂、沉降坑槽、翻浆冒泥、边坡坍塌四类核心病害，各类病害相互关联、呈恶性循环，直接

威胁道路通行安全。水分沿路面细微裂缝、路肩缝隙及路基边缘渗入内部，使填料软化松散，引发路面纵向裂缝、网状裂缝。这类裂缝随干湿循环反复扩大，破坏路面整体性。软化路基无法承受车辆荷载，出现局部沉陷，形成深浅不一的坑槽，农用重载车辆反复碾压加剧路面破损，让坑槽深度增加、范围扩大^[2]。饱和土体在荷载作用下出现细颗粒迁移、泥浆上涌，形成翻浆病害，导致路面承载力急剧下降，严重时车辆无法正常通行。边坡土体因浸水降低抗剪强度，坡脚被水流淘空失去支撑，逐步发展为浅层滑塌、局部坍塌，严重时阻断交通。四川雅安市雨城区、乐山市马边县山区农村公路临河路段均出现此类连锁病害，雨季路面龟裂、沉陷坑槽频发，边坡滑塌缩减路面宽度，部分路段仅能单向通行，影响农村群众出行安全与生产物资运输。

2 农村公路浸水路基失稳影响因素分析

2.1 水文与水位变化因素

水文与水位变化主导农村公路浸水路基失稳，季节性水位升降、暴雨入渗、地下水反渗三重作用叠加，破坏路基土体结构与力学性能，引发路基失稳。农村公路多分布在农田、河谷周边，水文环境复杂，雨季地下水位快速上升，水分从路基底部反向渗入，下路床长期处于饱和状态，土体强度大幅衰减。单侧水位升降引发路基差异沉降，水位上升时路基受浮力作用沉降减小，水位下降浮力消失，沉降显著增大，两侧水位差越大，不均匀变形越明显，易产生路基裂缝。持续降雨形成地表径流，沿边坡坡面冲刷，带走路基填料细颗粒，导致坡脚淘空，失去对边坡的支撑，加剧路基失稳风险。四川绵阳北川县、德阳绵竹市山区农村公路沿线农田密布、水系分散，汛期地下水位与地表水位同步上涨，路基含水率长期超标，远超填料最佳含水率，土体软化突出，成为路基沉陷、边坡溜塌的主要原因。这与四川境内山区浸水路基水位变化影响规律一致，凸显水位波动对路基稳定性的决定性作用。

2.2 路基填料与结构特性因素

路基填料与结构缺陷是农村公路浸水路基失稳的内在原

因, 决定路基抗水害能力与稳定性。农村公路建设资金有限, 多采用就地取用的粉质黏土、低液限黏土等原状土填筑, 这类填料颗粒级配差、黏粒含量高, 压实度难达规范要求, 浸水后土体结构松散, 强度大幅衰减。部分农村公路上路床厚度不足, 边坡坡率偏陡(多为1:1.2-1:1.5), 未设置分层加固结构, 水分易快速渗入路基内部且无法及时排出。部分路段未设置垫层与反滤层, 水分长期滞留路基内部, 持续软化土体, 加剧失稳。四川山区农村公路实测数据显示, 农村公路原状土回弹模量仅30-50MPa, 远低于高等级公路路基回弹模量规范要求, 浸水后承载力下降40%以上。施工过程中分层碾压不规范、填料含水率控制不严, 进一步降低路基抗水害能力, 成为路基失稳的先兆, 也是浸水路病害频发的核心内在因素。

2.3 外部荷载与环境作用因素

外部荷载与环境作用加速农村公路浸水路失稳, 二者叠加大幅缩短路基使用寿命, 加快失稳进程。农村公路主要承担农用重载车辆、农机具通行, 这类车辆荷载集中且行驶不规律, 反复碾压使饱和路基产生塑性累积变形, 加剧沉降与路面开裂。自然环境中干湿循环、冻融循环反复作用, 持续破坏路基土体结构。干湿循环让填料收缩膨胀交替, 产生内部细微裂缝, 为水分渗入提供通道; 冻融循环使路基孔隙水冻胀挤压土体, 解冻后土体松散, 强度损失率达30%以上。农村公路边坡多无防护措施, 植被破坏引发水土流失, 雨水直接冲刷坡面, 带走路基细颗粒, 进一步弱化稳定性。四川川西高海拔山区冬季气温低, 冻胀、春季融沉现象突出; 四川川南多雨山区干湿循环频繁, 双重环境作用叠加农用车辆荷载, 路基失稳风险显著提升。

3 浸水路失稳对道路通行安全性的影响

3.1 对路面结构完整性的影响

路基失稳破坏路面结构整体性, 引发面层开裂、基层松散、层间脱离等结构性损伤, 这类损伤不可逆, 无法通过简单修补恢复^[3]。路基不均匀沉降使水泥混凝土路面出现断板、错台, 沥青路面则产生龟裂、车辙、坑槽, 路面平整度急剧下降, 影响车辆平稳行驶。路基内部细颗粒因浸水流失, 导致路面基层脱空、松散, 面层与基层失去有效粘结, 形成层间裂缝。水分通过裂缝持续渗入路基, 形成“浸水-失稳-破损”的恶性循环。路基边坡坍塌直接挤压路面, 缩减路面宽度、造成边缘破碎, 路面结构承载能力大幅衰减, 无法承受正常通行荷载。四川凉山州、攀枝花市山区农村公路实测数据显示, 浸水失稳路段路面破损率达65%以上, 沉降差值超5cm, 部分路段出现大面积破损、下沉。

3.2 对行车稳定性与安全风险的影响

路基失稳大幅提升道路行车安全风险, 给过往车辆与行人带来直接威胁, 甚至引发交通事故。路基失稳引发的路面

沉陷、坑槽、波浪起伏, 导致车辆行驶中出现颠簸、方向偏移, 雨天或夜间尤为明显, 车辆制动距离延长, 易引发侧滑、甩尾等交通事故。路基边坡滑塌、路基坍塌可能瞬间阻断道路, 过往车辆反应不及时, 会出现碰撞、坠边等严重事故, 危及人员与车辆安全。翻浆路段路面湿滑、承载力不足, 农用重载车辆行驶至此, 易陷入、爆胎, 影响通行效率的同时增加安全隐患。夜间行车时, 路面破损部位可视性差, 驾驶员难以提前预判, 进一步提升行车风险。四川广元市旺苍县、巴中市通江县山区农村公路浸水失稳后, 曾发生多起车辆因路面沉陷失控侧滑事故, 造成车辆损坏与人员受伤; 四川宜宾市筠连县、泸州市古蔺县山区农村公路边坡滑塌多次导致道路临时中断, 影响群众出行, 也给应急救援带来不便, 凸显路基失稳对行车安全的直接威胁。

3.3 对道路耐久性与养护成本的影响

浸水失稳显著降低农村公路耐久性, 大幅增加养护成本, 形成“修了坏、坏了修”的恶性循环, 加重养护负担^[4]。路基长期浸水破坏土体结构, 使道路整体结构寿命缩短50%以上。常规路面修补、边坡清理等养护措施, 无法解决路基失稳根源, 仅能暂时缓解病害, 水分持续作用下, 病害会再次复发甚至加剧。病害恶性循环导致养护频率大幅提升, 原本小修保养逐渐转为大中修, 养护投入成本成倍增加。路基失稳引发的道路断行、抢修, 影响农村群众出行与生产物资运输, 间接增加经济损失。四川成都平原周边山区农村公路试验段数据显示, 未固化处理的浸水路基年均养护成本是固化处理路段的3.2倍。农村公路养护资金本就有限, 浸水失稳路段的反复养护, 进一步加剧资金紧张, 部分路段因养护不及时最终提前报废, 全寿命周期成本远超常规道路, 给农村交通发展带来不利影响。

4 农村公路浸水路安全防控技术措施

4.1 路基排水与防渗处置措施

结合农村公路浸水路基水文特点, 构建源头截水、路面导水、路基排水、坡脚疏水四级排水体系, 同步实施防渗处置, 减少水分对路基的侵蚀, 保障路基稳定性。路面设置2%-3%横坡, 加设路缘石与泄水槽, 快速排出地表雨水, 避免滞留渗入路基。路基两侧开挖梯形排水沟, 坡度不小于1%, 连通沿线涵洞, 将周边积水引至路基外天然水系, 定期清淤防止泥沙堵塞影响排水。低洼路段或地下水位较高路段, 增设盲沟、渗沟, 内置级配碎石与透水管, 快速排出路基内部积水, 降低含水率。路面已出现裂缝采用密封胶灌缝处理, 防止水分渗入; 上路床铺设防渗土工布, 阻断水分下渗路径, 提升路基防渗能力。四川甘孜州丹巴县、阿坝州理县山区农村公路针对临河、低洼路段, 增设双孔圆管涵、拓宽排水沟, 配合路面防渗处理, 彻底解决路基积水问题, 强降雨后路面无明显积水, 路基沉降与边坡溜塌隐患大幅减少, 防控效果显著, 适合农村公路推广。

4.2 浸水路段路基加固与改良技术

结合农村公路建设成本有限的特点，推广工业固废固化改良、加筋补强、换填加固三类实用技术，提升路基抗水害能力，降低建设与养护成本。优先采用10%电石渣+煤矸石(7:3)固化土换填上路床，该固化土经试验验证，28d无侧限抗压强度达5.87MPa，回弹模量121.3MPa，水稳定性、抗冻性均优于4%水泥固化土。原材料采用工业固废，成本降低40%以上，适配农村公路浸水路段使用需求。沉陷严重路段，采用“级配碎石换填+土工格栅加筋”技术，分层碾压密实，提升路基承载力，减少沉降。软土分布集中路段，采用浅层搅拌固化技术，就地改良原状土，减少填料外运成本，降低施工难度。四川南充市、遂宁市山区农村公路采用该固化技术后，路基沉降量减小30%，干湿循环6次后强度损失仅18.7%，抗冻性能优异，有效解决浸水路基失稳问题，且施工简便、成本可控，适合农村公路浸水路段路基加固与改良。

4.3 边坡防护与失稳预警措施

针对农村公路边坡易冲刷、易滑塌问题，采用简易经济、抗水害的边坡防护方案，同步建立轻量化失稳预警机制，实现“防护+预警”双重防控，保障路基安全。临水、易冲刷路段，采用浆砌片石护坡+格宾石笼护脚防护，将边坡坡率放缓至

1:1.5-1:1.75，坡脚设置抗冲刷墙，防止水流淘空坡脚，增强边坡稳定性。浅层滑塌路段，采用挂网喷播绿植方式，固土护坡的同时符合生态环保要求，降低防护成本。建立“镇村联动”巡查机制，明确巡查责任，雨季加密巡查频次，重点监测路基沉降、路面裂缝、坡脚淘空等失稳迹象。高风险路段设置沉降观测点、裂缝标记，安排专人定期监测，出现异常立即封闭交通、发布预警，及时采取处置措施防止事故扩大。四川广元荣山镇、达州万源市山区农村公路通过三级巡查机制，提前处置36处水毁隐患，有效防控路基失稳风险，为农村公路浸水路基防护提供可行经验。

5 结语

农村公路浸水路基失稳受水文、填料、荷载等多因素共同影响，呈现渐进性、局部性特征，易诱发路面破损、边坡滑塌等连锁病害，威胁道路通行安全与结构耐久性，增加农村公路养护压力。排水防渗、工业固废固化改良、边坡防护及轻量化预警等措施兼顾实用与经济属性，贴合农村公路建设养护实际，多地工程应用均取得良好治理成效。结合不同区域水文与地质条件细化防控技术体系，严控施工质量，落实常态化管养举措，可稳步提升浸水路基稳定水平，助力农村公路安全高效长效运行，为乡村振兴提供坚实交通支撑。

参考文献:

- [1] 段叔瑜,苏艳芹.路基浸水对透水路面沉降量的影响研究[J].城市道桥与防洪,2024,(03):209-214+226+22.
- [2] 杨洋.公路浸水路基边坡防护加固研究[J].交通世界,2024,(07):47-49.
- [3] 申清波.高速铁路工程浸水路基、地基施工技术研究[J].工程机械与维修,2024,(01):111-113.
- [4] 李皓,张永圣,刘建树.高速公路浸水路基沉降特性及力学响应[J].中国水运,2024,(01):141-143.