

多雨地区高速公路路基水损害成因及防治对策研究

王 鹏

宁夏交通建设股份有限公司 宁夏 银川 750000

摘 要：多雨地区高速公路路基易受雨水侵蚀引发各类水损害病害，严重影响道路通行安全与使用寿命。本文系统梳理了路基冲刷、翻浆沉陷、边坡滑塌三类核心水损害类型，分析了病害时空分布发育特征，从自然环境、结构材料、施工运营三大维度剖析病害成因。结合工程实际，从设计优化、施工管控、运营养护、长效管理四方面提出针对性防治对策，旨在提升多雨地区路基抗水损能力，为同类道路工程病害防控提供参考。

关键词：多雨地区；高速公路路基；水损害成因；防治对策

引言：我国多雨地区降雨充沛、暴雨频发，复杂的气候与地质条件致使高速公路路基水损害问题频发，成为影响道路工程耐久性与运营安全的核心隐患。路基水损害具有渐进性、季节性、隐蔽性特征，初期病害不易察觉，后期易引发沉陷、滑塌等严重灾害，大幅增加养护成本。为有效解决多雨地区路基水损难题，本文立足病害发育规律与形成机理，全方位探究病害成因，构建全流程防治体系，为高速公路路基防水抗损工程建设提供理论与实践支撑。

1 多雨地区高速路基水损害类型及发育特征

1.1 路基常见水损害主要类型

(1) 路基冲刷病害。分为坡面冲刷、路肩冲刷与基底冲刷三类。多雨地区高强度降雨形成坡面径流，持续冲刷路基边坡、路肩松散土体，造成土体流失、坡面冲沟、路肩塌陷及基底掏空，是山区高速路基最常见的浅层水损害类型，直接影响路基整体稳定性。(2) 路基翻浆沉陷病害。雨水持续入渗使路基填料含水率超过最佳含水率，土体强度显著降低、呈软化状态。在车辆反复荷载挤压作用下，路基土体出现液化、泥浆上涌，形成翻浆；伴随土体压缩变形加剧，引发路面不均匀沉降、纵向开裂、坑槽等次生病害，严重影响道路通行平整度与行车安全。(3) 路基边坡滑塌病害。长期雨水入渗大幅降低路基土体抗剪强度，同时增大土体自重与孔隙水压力，降低边坡稳定系数。病害表现为浅层溜塌、局部崩塌或整体滑坡，危害程度高，极易造成道路阻断及交通安全事故^[1]。

1.2 水损害空间分布特征

(1) 路段分布特征。山区路段、低洼填方路段、深挖方路段水损害发生率显著高于平缓路段。边坡坡度较

大、排水系统不畅的路基段落，地表径流汇集速度快、入渗充分，病害发育更集中、程度更严重，且多呈连续成片分布。(2) 结构分布特征。水损害沿路基结构呈明显部位差异。路基边坡、路肩、排水接口、新旧路基拼接处等位置为高发区域，病害显露直观；路基基底、垫层等隐蔽结构易形成积水软化、土体侵蚀，初期难以发现，后期病害突发性强、危害性更大。

1.3 水损害时间发育特征

(1) 季节性发育特征。病害集中发育于雨季，降雨强度越大、持续时间越长，病害发育速度越快、影响范围越广。旱季降雨减少，地下水位下降，病害发展趋于平缓，但前期已形成的内部损伤、土体松散等残留病害仍持续恶化，为下一雨季病害复发埋下隐患。(2) 阶段性发育特征。水损害呈现明显渐进过程。初期以雨水入渗、土体含水率升高为主，表现无明显病害；中期随含水量持续增加，边坡出现轻微冲蚀、路面产生细微裂缝；后期土体强度降至临界值以下，翻浆、沉陷、边坡滑塌等病害全面爆发，呈现不可逆的恶化趋势，一旦进入后期阶段，治理难度与成本大幅增加。

2 多雨地区高速公路路基水损害成因分析

2.1 自然环境因素

(1) 降雨气候条件。多雨地区年降雨量充沛、暴雨集中、降雨持续时间长，高频次雨水持续入渗路基，不断改变路基土体含水率，降低基质吸力，破坏土体结构稳定性；昼夜温差变化引发路基干湿循环、冻融交替，加剧土体开裂、松散，为雨水入渗提供通道，加速水损害发育进程。(2) 工程地质条件。多雨地区广泛分布软土、膨胀土、粉质黏土等特殊岩土，该类土体透水性差、亲水性强、抗水性弱，遇水极易软化、膨胀或收

缩,导致路基基底承载力大幅下降,边坡自稳能力严重不足。不良地质条件为水损害发育提供了先天基础,显著增加路基水敏感性。(3)水文环境条件。区域地下水水位普遍偏高、地表水系发达,路基长期受地下水毛细上升浸泡及地表径流侧向补给,土体长期处于饱和或近饱和状态,有效应力降低,结构强度持续衰减,加速路基内部损伤累积与隐蔽性病害形成。

2.2 路基结构与材料因素

(1)路基填料性能缺陷。部分工程选用填料级配不合理、压实性能差、抗水稳定性弱,遇水后土体粘结力与抗剪强度快速衰减,土体骨架易发生变形、流失;细粒含量偏高时,保水性强、排水困难,长期潮湿环境下强度持续下降,难以适应多雨地区运营工况。(2)路基结构设计不合理。边坡坡率设计偏陡、分层填筑厚度超出规范要求,降低路基整体稳定性;排水系统设计不完善,排水沟、截水沟断面尺寸不足、纵坡设置不合理,汇水面积计算存在偏差,暴雨工况下无法快速疏导径流,造成雨水沿路基淤积、下渗,持续恶化路基工作状态。(3)防水防护设施缺失。路基防水垫层、防渗层、坡面防护设施布设不完善或标准偏低,部分路段未设置隔水、防渗结构层,坡面未采取有效封闭防护,雨水直接渗入路基主体结构,引发隐蔽性内部水损害,后期病害突发性强、处治难度大^[2]。

2.3 施工与运营管理因素

(1)施工工艺不规范。路基填筑压实度不足、分层碾压不均匀、新旧路基拼接处理不到位,形成局部松散区与结合面薄弱带,为雨水入渗提供优先通道;排水设施施工质量不达标,砌筑不密实、接口处理粗糙,运营后易出现渗漏、堵塞及结构损坏,削弱排水系统功能。(2)施工质量管控薄弱。施工过程中未严格把控填料含水率及压实标准,对超粒径填料、不合格土源把关不严;雨季施工未采取临时防水、排水防护措施,路基在施工阶段已遭受雨水浸泡,形成松软夹层与隐性损伤,为后期运营阶段病害爆发埋下隐患。(3)运营养护管理不到位。运营期间未定期清理排水沟、涵洞等设施,杂物淤积导致排水断面缩减、功能失效;日常巡检频次不足、标准不高,轻微冲沟、裂缝等初期病害未及时发现与处置,病害持续扩展恶化;缺乏针对性的雨季专项巡查养护方案及应急处治措施,水损害防控能力薄弱。

3 多雨地区高速公路路基水损害防治对策

3.1 基于源头防控的设计优化对策

(1)优化路基填料选型与改良。优先选用碎石土、砂砾土等抗水性强、排水性能好的粗粒填料,严格控制细颗粒含量及液塑限指标,从材料根源提升抗水损能力;针对软土、膨胀土等不良土体,采用石灰、水泥等无机结合料进行改良,通过配合比试验确定合理掺量与龄期强度,有效提升土体水稳定性、压实度与抗剪强度,确保改良后填料满足多雨地区长期潮湿服役工况要求,降低水损害内在风险。(2)优化路基结构设计。依据降雨强度与地质条件,合理放缓边坡坡率,在边坡中部设置宽幅平台以减弱坡面径流冲刷,增强边坡稳定性;于路床底部及填挖交界处增设防渗隔水层,采用两布一膜等复合土工材料阻断毛细水上升及雨水下渗通道;优化分层填筑厚度与碾压参数,确保各层压实均匀密实,从结构层面系统提升路基整体密实度、抗渗性能与长期稳定性^[3]。(3)完善系统化排水设计。统筹构建地表排水与地下排水有机结合的综合排水体系,科学优化排水沟、截水沟、急流槽、盲沟、渗沟等设施的布设位置、断面尺寸及纵坡坡度,确保满足设计暴雨重现期下的过流能力;挖方路段设置碎落台与截水沟拦截坡面来水,填方路段设置护坡道与边沟快速疏导路面径流。地表设施拦截疏导坡面径流,地下设施疏排深层滞水、降低路基范围内地下水位,形成全方位、多层次的截排组合网络,从源头杜绝雨水淤积与下渗。

3.2 施工阶段过程防控技术措施

(1)严格把控路基施工质量。规范分层填筑、摊铺整平、碾压成型等各环节施工工艺,严格检测每层压实度、含水率、弯沉值等核心质量指标,确保路基填筑密实均匀、整体结构稳定,压实度不低于96%;强化新旧路基拼接部位台阶开挖、土工格栅加筋等加强措施,台阶宽度不小于1.0m,内倾坡度2%~4%,确保结合部整体性;严控排水接口、检查井等关键节点施工质量,实施专项验收,杜绝渗漏通道与结构性薄弱带^[4]。(2)优化雨季专项施工方案。科学安排施工工期,雨季施工避开暴雨集中时段,缩小作业面、减少暴露时间,做到运料、摊铺、碾压连续快速完成,避免填料长时间暴露受雨;施工现场布设临时排水沟、防水覆盖布等防护设施,防止雨水冲刷坡面、浸泡已填筑层,确保雨后路基表面积水及时排除;雨后及时翻松晾晒路基,复检含水率与压实度合格后方可继续施工,杜绝碾压土、弹簧土等隐性水损害在建设阶段埋入路基。(3)强化防水防护工程施工。严格按设计规范铺设路基防渗层、防水垫层,确保搭接宽度不小于20cm、压实厚度与密实度满足标准要求;完善边坡防护工程,根据坡高、坡率及地质

条件,综合采用实体护坡、拱形骨架护坡、锚杆框架梁及植草防护、客土喷播等刚性防护与柔性生态防护相结合的方式,兼具坡面防水、固土抗蚀与景观绿化效果,形成坡面综合防护体系,有效防止雨水直接冲刷坡面。

3.3 运营阶段养护与病害治理对策

(1) 建立常态化巡检养护机制。制定路基水损害专项巡检计划与标准,定期对全线路基进行全面排查,重点聚焦边坡坡面、排水设施、路基拼接处、涵洞进出口等水损害高发部位;雨季加密巡查频次至每周不少于2次,强降雨后24小时内完成重点段落专项排查,及时清理排水沟、涵洞内淤积杂物,修复破损部位,确保排水系统全天候通畅、功能有效发挥,做到隐患早发现、早处置。(2) 轻微病害快速处置。对坡面轻微冲沟、路面细微裂缝、局部松散脱落等早期病害,及时采取回填夯实、裂缝注浆封堵、表面处治与局部修补等快速修复措施,有效阻止雨水沿病害通道继续下渗,将水损害控制在萌芽状态,防止病害持续扩展与进一步恶化,避免小病害发展为结构性大病害^[5]。(3) 重度病害专项治理。针对翻浆沉陷、边坡滑塌等已发展至后期的重度病害,深入开展病害范围、深度及成因调查,综合采用不合格土体换填改良、深层注浆加固、微型桩与锚杆框架支护、增设深层排水渗沟等多项治理技术协同处治,对滑塌边坡进行削坡减载与坡脚反压,彻底消除病害根源,全面恢复路基承载能力与整体稳定性,确保道路行车安全。

3.4 长效防控管理保障措施

(1) 建立雨季专项防控机制。充分结合多雨地区降雨时空分布特征,制定雨季路基防排水应急预案,明确暴雨来临前预防性排查、暴雨期间应急巡查值守、暴雨后全面复查整治三个阶段的重点工作内容与责任分工,储备充足的应急抢险物资与设备,极端天气前后迅速响应,实现全过程闭环管理,全面提升极端降雨条件下路基抗灾韧性与应急处治能力。(2) 完善养护管理制度体系。系统细化路基水损害养护技

术标准与分类处置工作流程,建立病害发现登记、技术方案确定、施工处治实施、质量验收评估的全链条闭环管理机制;将水损害防控成效纳入养护责任单位年度考核指标,压实主体责任,通过制度约束确保病害早发现、早处置、早治理,有效遏制小病害演变为大隐患,显著延长路基使用寿命。(3) 引入智能化监测手段。运用物联网传感技术在典型路段布设含水率、孔隙水压力、沉降变形、边坡位移等实时监测传感器,结合卫星遥感与无人机航拍技术开展周期性巡检,构建路基运行状态立体化动态感知网络。通过数据采集传输、智能分析与预警平台,实现对水损害隐患的早期识别、趋势预判与科学预警,及时采取预防性维护措施,推动水损害防控从被动响应向主动预防全面转型,显著提升防控体系智能化、精细化水平。

结束语

本文明确了多雨地区高速路基水损害的类型、分布及发育规律,厘清了自然、工程、管理多维度致病因素,形成了从源头设计、施工过程到后期运维的全链条防治对策。路基水损害防控是系统性、长期性工程,未来需结合智能化监测技术,持续优化防控方案,完善长效管理机制,进一步提升多雨地区高速公路路基稳定性与抗灾能力,保障道路长期安全平稳运营。

参考文献

- [1] 阮晶. 多雨地区高速公路路面路基协同排水设计与水害防治[J]. 交通科技,2024,13(06):45-49.
- [2] 胡明华. 多雨地区高速公路路基水毁滑坡病害机理及加固对策对比研究[J]. 中外公路,2024,44(03):132-138.
- [3] 王景涛,刘军. 湿热多雨地区路基土体饱水劣化机理及防排水优化设计[J]. 公路交通科技,2023,40(08):36-43.
- [4] 陈斌,周立宏. 降雨入渗条件下高速公路路基早期水损病害演化规律研究[J]. 公路,2022,67(11):228-234.
- [5] 田世友. 多雨地区高速公路路基排水系统优化与施工管控技术[J]. 工程技术研究,2025,10(12):98-100.