

山区公路水毁病害成因分析及防治对策研究

袁 治

汉源县公路工程质量监督站 四川 汉源 625300

摘 要：山区公路因其特殊的地形地质条件，极易遭受强降雨等自然灾害引发的水毁病害，严重影响道路运行安全与结构稳定性。本文围绕山区公路常见水毁病害类型进行归类分析，系统梳理其自然、工程与管理等多方面成因，并结合实际工程经验，提出涵盖设计、施工与运维全过程的综合防治对策。研究表明，完善排水系统、优化结构设计、加强质量管控与养护机制是提升山区公路抗水毁能力的关键路径，具备良好的实践指导价值。

关键词：山区公路；水毁病害；成因分析；防治对策

山区公路是连接偏远地区与中心城市的关键通道，其在改善交通条件、促进区域经济发展中发挥着不可替代的作用。然而，由于山区地势陡峭、地质破碎、降雨集中等自然条件的综合影响，公路极易发生滑坡、塌方、路基沉陷等水毁病害，造成通行中断和重大经济损失^[1]。近年来，随着山区道路建设里程不断增加，水毁问题频次呈上升趋势，暴露出在设计、施工与运维各阶段仍存在诸多薄弱环节^[2]。因此，系统研究山区公路水毁病害的类型与成因，提出有针对性的防治策略，对提高道路运行安全性和延长道路使用寿命具有重要现实意义与工程应用价值。

1 山区公路水毁病害的常见类型

山区公路因其特殊的地理、地质和气候条件，极易在强降雨或洪涝期间发生不同形式的水毁病害，严重影响道路安全与运行效率。根据工程实践与文献资料归纳，常见的水毁病害类型主要包括：路基沉降与整体下沉、挡土结构断裂与掏空、沥青路面唧浆与坑槽、边坡滑坡与冲沟、路面裂缝与变形等^[3]。

1.1 路基悬空

路基悬空是山区公路常见的局部破坏形式，通常发生在紧邻河流、沟谷或排水设施附近。该病害主要由雨水或洪水对路基边缘或基础持续冲刷，掏空下部土体而引发，导致路面虽仍完整但下方已无承载结构，形成“悬空”状态。悬空路基初期不易察觉，但其承载力大幅下降，极易在车辆荷载作用下突然塌陷，威胁行车安全。

1.2 路基沉降与整体下沉

路基沉降是山区公路中最常见的病害之一，尤其在

高填方段、土质松软区或排水不良的地段更为普遍。整体下沉通常表现为路面大面积不均匀沉降、形成波浪形或凹槽，造成车辆运行抖动，影响行车舒适性与安全性。其根本原因多与路基压实度不足、雨水渗入致使填土软化、地基土强度下降密切相关。在暴雨冲刷下，填土中的细颗粒易被带走，形成孔洞甚至掏空，从而诱发结构整体沉降。

1.3 挡土结构断裂、掏空

山区公路路基多依山而建，需借助挡土墙、路肩墙等结构保持边坡稳定。当支护结构设计不合理、基础埋深不足或地基处理不到位时，在连续强降雨作用下，墙体后侧水压力增加且排水不畅，极易导致墙体变形、开裂甚至倾倒。此外，长期水流冲刷或地下水位波动亦可能在墙体基础部位形成掏空现象，削弱承载能力，引发墙体局部失稳。这类结构性病害一旦发生，通常发展迅速，且修复难度大、成本高。

1.4 沥青路面唧浆、坑槽、车辙

山区沥青路面在遭遇雨水侵袭后，常出现唧浆、坑槽及车辙等一系列病害。唧浆现象主要发生在半刚性基层或二灰稳定层，当自由水长期滞留在基层顶面，在交通荷载反复作用下将细料冲刷成灰浆，由裂缝或接缝处被压出路表。坑槽通常源于面层粘结力下降，表面材料被动水压力剥离，导致局部松散脱落。车辙则是由于水分破坏沥青与骨料间粘结力，在重载作用下沥青层向两侧流动形成的永久变形。这些病害不仅反映了结构耐水性能不足，还暴露出排水设计、施工工艺等方面的问题。

1.5 边坡滑坡、塌方、冲沟

边坡病害是山区公路水毁中最具破坏性的一类。滑坡通常发生在降雨集中期间或持续阴雨天气后，水分渗透至坡体内部，导致土体强度下降、抗剪力降低，最

作者简介：袁治（1991.06-），男，汉族，籍贯：四川省大邑县，硕士，工程师，研究方向：道路与桥梁

终沿弱面或裂隙滑动。塌方则多由岩土体风化严重、水流冲刷坡脚或爆破扰动引发,发生突然,危害极大。冲沟多见于植被稀疏或未设置防冲设施的裸坡,雨水沿坡面径流下切,形成纵向冲刷沟壑,进一步加速边坡破坏过程。

2 水毁病害成因分析

2.1 自然因素

山区公路水毁病害的发生,与自然条件密切相关,尤其在强降雨频发、地质脆弱的区域尤为突出。首先,山区常处于降水高发育带,强降雨或集中降雨期导致地表径流显著增强,加剧对边坡、路基及防护结构的冲刷与渗透。其次,地形起伏大、汇水面积广,使得雨水在短时间内迅速汇集于公路沿线,形成集中流突,极易诱发滑坡、塌方及冲沟等地质灾害。此外,山区岩土体结构常呈松散或强风化状态,土体含水后易软化、流变,力学性能显著下降,降低了公路结构对水力侵蚀的抵抗力。特别是在高填深挖路段,地质构造复杂且稳定性差,成为病害的高发点。冬季气温波动剧烈,冻融循环进一步破坏土体与面层结构。雨后渗水在夜间结冰膨胀,破坏结构整体性,导致沥青层开裂、基层脱空等问题^[4]。上述自然因素相互交织,加剧了山区公路在雨季或寒冷季节中的脆弱性,构成水毁病害的重要诱因。

2.2 工程与设计因素

工程设计与施工过程中的缺陷,是引发水毁病害的内在推力。首先,路基填料选用不当或填筑压实不达标,会导致路基强度不足,雨季易发生沉降、变形或被水侵蚀冲空。部分工程在材料控制环节存在疏漏,导致填土杂质含量高、透水性强,降低了结构整体的稳定性。其次,排水系统设计不合理或施工不到位是致灾的关键因素,常见问题包括边沟、盲沟、涵洞布设不规范,排水坡度不合理等,致使雨水汇集、滞留甚至反渗入结构层,加剧土体软化和破坏。此外,边坡支护体系设计缺乏针对性,支挡结构未与地质条件有效匹配,常出现支护深度不足、排水孔设置不合理等问题,导致支护失效。在路面结构方面,部分山区沥青面层存在空隙率偏大、压实度低等问题,易被水渗透,造成基层脱空、唧浆和坑槽等次生病害。设计阶段对山区特殊气候和水文条件考虑不足,使得公路系统在面临极端气候时缺乏足够韧性,是造成水毁频发的重要原因。

2.3 管养与人为因素

山区公路水毁病害的持续与加重,与后期养护管理和人为活动密切相关。首先,部分山区道路管养单位缺乏科学的巡查制度与维修机制,对初期出现的裂缝、

沉陷等早期病害未能及时识别与修复,导致小病害积累演化为结构性破坏。排水系统如涵洞、边沟等缺乏定期清淤维护,易发生堵塞,致使雨水无法有效排出,进一步加剧病害发展。其次,人为因素干扰频繁,沿线居民在边坡上种植、在路肩堆放物料等行为破坏了边坡原有结构,削弱其抗冲击能力。非法建设、占道施工等也会破坏原有排水和结构体系。此外,超载超限车辆通行频繁,显著提高了结构疲劳程度,使得边坡滑移、沥青层车辙等病害加剧。

3 水毁病害的防治对策

3.1 设计阶段防治策略

山区公路在设计阶段应充分结合区域地形、地质、水文和气候条件,采取系统性防水抗灾设计,强化结构本体对水毁的抵抗能力^[5]。首先,应坚持“强基厚面”设计理念,即在确保基层足够强度和稳定性的基础上,适当增加沥青面层厚度,增强其防水和抗裂性能,避免“强基薄面”带来的结构失衡。其次,应科学布设排水系统,在纵坡和横坡设计合理的前提下,沿路设置截水沟、盲沟、渗沟等不同形式的排水设施,确保地表水与地下水能迅速有效排出,防止积水滞留或渗透破坏结构层。在边坡设计方面,应根据实地地质勘察结果合理布设支护工程,选择锚索、挡土墙、骨架护坡等方式针对性加固,并结合雨季汇水路径设置急流槽或跌水井,削减水流冲击。沥青路面结构层应选用高粘结性、耐水性强的材料,控制施工空隙率在合理范围内(如3%~6%),以提升整体的抗水稳定性。设计中还应重视软弱地基处理、涵洞布局与桥涵通洪能力核算,以全寿命周期的理念系统提升山区公路的抗水毁能力和运行安全性。

3.2 施工阶段质量控制

首先,严格执行材料进场检验制度,确保所用填土具备良好的颗粒级配与含水率控制,混凝土强度达到设计等级要求,沥青材料具有良好的粘结性能与耐水性,避免因材料质量缺陷埋下结构隐患。其次,施工工艺需科学规范,尤其在填筑路基时应分层夯实、控制压实度,确保压实系数不低于设计标准;沥青摊铺须保证碾压温度与时间,避免产生空隙率过高的弱点区;在排水结构施工中,必须严格掌握坡度、断面形态及接口密实性,防止形成排水死角或渗漏点。对于挡土墙、防撞护栏等关键结构,必须按照标准验收流程进行结构稳定性、尺寸偏差及连接强度检测,严控隐蔽工程质量。多工序交叉作业阶段,应强化施工组织与协调管理,明确各工种的施工时序与接口标准,确保如基坑开挖、支护

结构安装与排水系统布设等关键环节之间无缝衔接。

3.3 运维阶段预防与治理

针对水毁病害的防控,应在运行期建立健全的预防性养护机制与应急处置体系。首要任务是加强排水系统的清淤与功能检查,涵洞、边沟、截水沟等应保持通畅,特别在汛期前后需进行专项清理,防止泥沙淤积导致排水能力下降,诱发积水冲刷边坡或结构基础。与此同时,应定期开展对路基沉降、边坡位移、路面裂缝等隐患的动态监测,利用沉降观测桩、裂缝计、边坡倾斜仪等手段掌握结构变形趋势,及时预警风险。对已出现病害的区域,应采取“早发现、快修复”策略,小病害如裂缝、唧浆等应立即处理,防止其在雨季前演化为结构性破坏。在大中修管理方面,应依据路面技术状况指数(PQI)、破损类型与分布,科学制定封层、罩面、局部加铺等措施计划,形成周期性养护闭环。此外,严格控制超限运输行为至关重要,应设立动态称重点和固定检查站,加强执法频率,杜绝因重载碾压引起的结构疲劳与加速破损。

4 工程案例

某山区公路位于四川省汉源县宜东镇,地处高山峡谷地带,地形复杂,地质条件脆弱,降雨集中且强度大。2024年夏季,受连续强降雨影响,该公路发生严重水毁灾害,主要表现为路基沉陷、边坡滑坡、路面开裂,导致交通中断,严重影响了当地居民的出行和生活。

根据现场勘查和技术分析,主要病害有路基悬空、边坡滑移与塌方、排水系统失效等,其原因主要为:强降雨导致地表径流增大,冲刷路基和边坡,地质结构松散,易发生滑坡和塌方。

为恢复公路通行功能,保障居民出行安全,相关部门迅速组织实施了修复工程,主要措施包括:

(1)路基悬空处治:针对路基悬空问题,采取局部开挖回填加固方案。先清除松软土体并加深基底,填筑粒径级配良好的碎石土分层压实,底部设置片石混凝土加劲层。为防止再次掏空,内侧设置反滤层和实体挡墙,并于墙体预留泄水孔,以减轻水压力集中。悬空段完成回填后设置钢筋混凝土结构板补强处理,恢复整体

受力结构。

(2)路基加固:对受损路段进行开挖,清除松散土体,采用级配良好的填料分层填筑,并严格控制压实度,提高路基承载力。

(3)边坡防护:对滑坡体进行清理,采用锚杆、土工格栅等加固措施,稳定边坡;在坡面铺设植生袋,恢复植被,增强边坡抗冲刷能力。

(4)排水系统重建:重新设计并施工截水沟、边沟和盲沟,确保雨水能够迅速排出,防止积水对路基和边坡造成破坏。

(5)路面修复:对开裂和沉陷的路面进行铣刨,重新铺设沥青混合料,控制空隙率,提高路面抗水损能力。

修复工程完成后,该公路恢复了正常通行,路基稳定性和排水能力显著提升,抗水毁能力得到增强。

结语

本文围绕山区公路水毁病害的类型、成因及综合防治路径进行了系统研究。通过归纳常见病害表现,深入剖析自然、工程及人为因素引发水毁的内在机制,明确了其发生发展的主控因素。在此基础上,从设计优化、施工质量控制到运营维护三大阶段出发,提出了一套具有可操作性的防治对策体系,强调结构防水能力构建、排水系统完善及监测预警机制建设的协同推进。研究表明,科学系统的防治策略是保障山区公路长期稳定运行的关键支撑。未来应进一步强化多学科融合与信息化手段在水毁治理中的应用,持续提升山区道路的综合防灾能力与运营管理水平。

参考文献

- [1]张发源.基于山区公路水毁病害的公路设计方案探讨[J].福建交通科技,2021,(07):32-35.
- [2]熊玲.分析公路水毁病害形成机制与治理[J].黑龙江交通科技,2021,44(02):60-61.
- [3]张帅.论高速公路水毁的原因与防治对策[J].黑龙江交通科技,2020,43(01):75-76.
- [4]凌新鹏.新疆伊犁西部山区高速公路水毁防治技术研究[D].长安大学,2019.
- [5]刘小强.公路水毁灾损评估技术方法[J].山西交通科技,2022,(02):63-65.