

山区公路水毁灾害风险源辨识与治理

陈飘平 廖伟志

西藏交发项目管理有限公司 西藏 拉萨 85000

【摘要】：山区公路长期暴露于复杂山地水文地质环境，各类水毁隐患潜藏于线路沿线岩土、水系及附属构筑物之中，全面完成风险源辨识工作是落实病害治理的核心前提。山地特殊的地形地势会持续放大降雨、径流、岩土松动带来的破坏作用，路面坍塌、边坡滑塌、涵洞淤堵、路基淘空均为高频水毁表现。梳理风险源的空间分布与形成诱因，区分自然本底隐患与工程遗留缺陷两类源头问题，匹配适配山地环境的处置手段，可精准阻断灾害演化路径。依托现场踏勘完成全域隐患排查，针对不同类型风险制定差异化整治方案，同步完善长效管护举措，能够稳固山区公路运行状态，为山区道路交通稳定通行筑牢基础。

【关键词】：山区公路；水毁灾害；风险源辨识；灾害治理

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.077

1 山区公路水毁风险源全域摸排判定

山区公路依托山体地势修建，地形地貌是诱发水毁灾害的基础条件。陡坡、沟谷、低洼及临崖路段水文响应敏感，坡面起伏会改变雨水汇流形态，加速径流冲刷，松散坡积土、风化岩层及岩溶地段稳定性较差，易出现土体裂隙、小型溜塌等隐患。实地踏勘需全覆盖公路沿线特殊路段，记录坡体岩层状态、植被覆盖、冲沟分布及路基隐患痕迹，标记地貌不稳定区域并纳入风险清单，为灾害成因分析提供实地依据。区域水文水系是水毁灾害的核心诱因，公路与溪流、冲沟交叉并行路段风险极高，汛期水位暴涨、河道行洪空间不足会引发水流漫溢，侧向冲刷、掏蚀路基边坡与基底，河道弯道处水流冲击破坏更为显著^[1]。山体泉眼与地下水渗流会软化坡体土体，与地表径流形成叠加破坏，通过梳理水系脉络、行洪范围及水流侵蚀痕迹，可精准锁定水文主导型风险点位。同时，公路路基、防护砌体、排水沟槽、桥涵等构筑物的服役缺陷是重要人为风险源，路基压实不足、防护结构开裂空鼓、排水设施淤积堵塞、桥涵构件老化破损等问题，会大幅降低工程抗水能力，引发路基淘空、积水倒灌等病害。通过全面核查构筑物运行状态，区分破坏隐患等级并建立台账，可完整梳理工程构造类水毁风险源。

2 各类风险源诱发水毁病害内在成因

2.1 山地岩土固有属性带来的原生隐患

山体原生岩土自身的物理力学特性，是水毁病害能够发育的底层基础，软质风化岩、松散残坡积土黏聚力偏弱，土体颗粒之间结合不够紧密，水分侵入之后颗粒摩擦力快速下降。层理分明的顺层岩层顺着坡面走向排布，地表水顺着岩层缝隙向内渗透，会弱化岩层之间的粘结力，岩层逐步出现滑移趋势，配合坡面径流的冲刷作用，极易引发边坡滑塌类水毁。黏性土体遇水之后体积膨胀软化，水分消散后收缩开裂，裂隙会成为雨水下渗的通道，反复干湿循环持续破坏土体完整结构。岩土分布存在明显的区域差异性，局部软弱夹层、破碎带无肉眼直观特征，埋藏于路基下方或者边坡内部，日常状态保持稳定，

汛期大量水体渗入夹层位置，原有受力平衡被打破，隐性岩土缺陷逐步转化为显性病害，原生岩土条件的短板不会随工程建设消失，始终作为基础性风险长期存在于山地公路沿线。

2.2 季节性水流运动产生的外力侵蚀作用

大气降水形成的坡面径流与山谷洪流，属于诱发水毁最主要的外部动力，雨水落到山体坡面后顺着地势汇聚，水流势能转化为动能，持续剥离坡面表层松散土体。坡面水流沿着固定路径冲刷会逐步形成细沟、冲沟，沟体不断向下向内扩张，逐步逼近公路路基边线，横向水流持续拍打路基外侧土体，表层土体不断被水流带走，基底逐步出现悬空。山谷汇集的山洪具备极强的裹挟能力，水流携带大量砂石、断枝等固体物质，高速运动的杂物撞击挡墙、涵洞、路基结构，会造成砌体破损、涵管堵塞^[2]。地下水长期缓慢渗流属于持续性外力作用，水体在土体内部缓慢运移，带走细小土颗粒形成内部空洞，路基内部形成隐形空腔，外部荷载与表层水流叠加作用下，空腔区段会突然发生沉陷坍塌。水流的冲刷、撞击、渗蚀作用从表层至内部逐层破坏公路结构，不同形态的水流运动模式对应不同类型的水毁表现。

2.3 工程施工养护遗留的次生缺陷问题

前期施工阶段的工序把控疏漏，会为后续水毁病害埋下长久隐患，路基填筑阶段填料选材不合规、分层压实工序落实不到位，成型路基密实度达不到山地工况标准，后期遇水极易发生沉降变形。边坡防护工程砌筑基底清理不彻底，挡墙基座坐落在松散浮土之上，水流浸泡基底后极易出现整体倾斜滑移，排水沟槽布设走向不符合山体汇水规律，截水沟开口位置不合理，无法完整拦截坡面来水，雨水直接漫流冲刷边坡坡面。后期日常养护工作存在覆盖盲区，偏远山区路段巡查频次不足，排水设施淤积杂物得不到及时清理，小型裂缝、砌体破损未能及时修补，微小缺陷会在汛期反复作用下持续扩大。改扩建工程新旧路基衔接位置处理粗糙，衔接缝隙成为渗水通道，水流顺着缝隙侵入路基内部，新旧结合部位率先出现破损。施工与

养护环节的细节疏漏产生次生隐患,会放大自然环境带来的破坏效果,加速水毁灾害的出现与扩张。

3 水毁风险源现场辨识实操实施路径

3.1 分段分区开展沿线现场实地踏勘

按照公路走向以山岭区段、沟谷区段、临河区段为划分标准完成区段拆分,全线划分若干踏勘单元,按照线路走向逐单元完成现场实地勘查,完整覆盖主线路面、两侧边坡、附属排水构筑物、沿线桥涵全部设施。踏勘作业顺着线路两侧同步推进,兼顾主线行车区域与山体后侧汇水坡面,上坡路段重点查看坡顶截水设施,下坡临河路段重点查看临水路基基底,山间沟谷交叉口完整排查涵洞进出口状态。踏勘过程同步记录区段周边植被、水系、岩土直观状态,采用逐公里点位标记的方式记录隐患具体位置,相邻单元踏勘内容做好衔接,避免出现路段排查遗漏。偏远深山支路同步纳入踏勘范围,不因通行条件有限缩减勘查内容,完整采集每一段线路的现场实景信息,把现场肉眼观测到的各类不稳定现象全部记录归档,依靠全覆盖的实地踏勘夯实辨识工作的基础。

3.2 依托地貌水系特征锁定高危区段

结合前期摸排的地形与水文基础信息,对比坡面坡度、河道距离、汇水面积多项条件,筛选水毁易发的高危路段。坡度偏大的顺层边坡、紧邻河道弯道的路基、三面环山的洼地路段,汇水面积大且排水空间狭小,天然条件决定这类区段抵御水流侵蚀的能力偏弱,直接划定为一级高危区段。山体存在小型冲沟、浅层风化岩层、零散泉眼渗水的路段,风险等级次之,划定为二级关注区段,地势平缓、远离水系、岩层完整的路段划分为常规区段^[3]。对照水系汛期行洪范围,将常年处于洪水漫溢区间的线路点位重点标注,山体冲沟正对路基边坡的点位同步列入高危清单。地貌水系的天然条件决定风险的先天高低,依托两类特征完成区段分级,能够把辨识重心集中于隐患高发区域,让风险辨识工作具备明确的指向性,高效锁定需要重点关注的线路范围。

3.3 结合构筑物状态划定隐患等级范围

对照挡护、排水、路基主体构筑物的实际完好状态,匹配前期地貌水文判定结果,综合划定隐患的具体等级。挡墙大面积开裂倾斜、涵洞完全淤堵无法过水、路基外侧基底大面积淘空外露的点位,短时间内极易爆发严重水毁,划定为紧急隐患点位。护坡局部脱落、边沟过半断面淤积、路基表层出现细微沉降裂隙的区域,隐患处于缓慢发展阶段,划定为重点隐患点位。构筑物仅有表层轻微风化、少量杂物堆积,整体结构保持完整稳定的区域,划定为一般隐患点位。同步记录每一处隐患对应的风险诱因,区分岩土原生问题、水流冲刷问题、工程养护问题,将等级、位置、诱因信息整合录入隐患台账,清晰划分不同等级隐患的管控范围,为后续治理方案编制提供精准依

据,实现风险辨识结果和后续治理工作的精准对应。

4 适配山地条件的水毁隐患工程整治手段

4.1 路基边坡防冲刷加固处置方式

高危松散边坡采用浆砌片石满铺护坡作业,完整包裹坡面土体,阻隔雨水直接冲刷表层岩土,顺层岩层边坡增设锚杆框架结构,将框架锚入深层完整岩层,牢牢固定表层易滑移岩体,阻断顺层滑动路径。临水路基外侧修筑浆砌石护脚墙,墙基嵌入河床稳固岩层之中,抵御河道水流侧向淘刷,低洼路基区段抬高路基填筑标高,换用级配良好的透水性填料完成重新填筑,提升路基整体密实度与抗水浸能力。坡面植被退化严重的区段搭配生态护坡模式,栽种本土耐旱固土植被,利用植物根系缠绕固结表层土体,和硬质砌体防护形成软硬结合的防护体系。小型溜塌形成的坡面凹坑清理松散浮土后分层回填夯实,修补坡面完整形态,所有加固工程的走向贴合山体原有地势,不会人为改变原有汇水路径,加固结构与原有路基边坡融为一体,长久提升边坡与路基抵御水流侵蚀的实际性能。

4.2 排水系统优化改造疏通具体方式

原有截水沟、边沟出现破损开裂的部位采用水泥砂浆重新勾缝修补,沟槽淤堵的泥沙、枯枝杂物进行全面人工清理,恢复原有设计过水断面,坡度平缓排水不畅的沟槽适度微调纵坡,加快内部水流排出速度。坡面汇水面积偏大的路段增设多道横向截水沟,在坡顶提前拦截坡面径流,引导水流汇入天然沟谷,避免雨水顺着边坡漫流直接冲刷路基。原有涵洞孔径无法满足汛期行洪需求的点位,在原址扩建涵管断面,增设配套进出水口导流设施,引导山洪顺畅通过构筑物,杜绝水流漫上路基^[4]。山体渗水点位设置盲沟排水设施,利用碎石与透水管将地下水定向导出坡体内部,降低土体含水率。所有新增排水设施顺着天然水系走向布设,各类沟槽相互串联形成完整的排水网络,实现坡面地表水、山体地下水的有序疏导,从源头减少水体长期停留带来的侵蚀破坏。

4.3 桥涵附属构筑物破损修复方式

桥梁墩台基础外露、表层砌体风化剥落的区域,清理松散破损砌体后重新砌筑加固,墩台周边设置抛石护坦,缓冲洪水裹挟砂石的撞击力度,桥台后侧回填透水性砂砾料,做好反滤层设置,避免回填土体被水流带走形成空洞。涵洞进出口翼墙开裂、沉降变形部位拆除重建,优化翼墙导流角度,减少水流对洞口的直冲冲击,涵管内壁出现裂缝的位置采用专用修补材料密封封堵,杜绝水体渗漏冲刷周边路基。桥面排水口堵塞、泄水管老化失效的构件全部更换,桥面雨水可以快速排入两侧排水沟,不会顺着桥台缝隙渗入基础结构。检修步道、防撞护栏等附属构件同步完成破损修缮,保证整体结构受力均匀稳定。修复施工选用耐水流冲刷、抗风化的工程材料,贴合山区常年高湿度、强水流的使用环境,同步优化构筑物周边的行洪

空间,保障桥涵构筑物长期稳定运行。

5 水毁灾害长效防控常态化管护举措

5.1 沿线隐患区段日常巡查管护安排

按照隐患等级划分巡查频次,紧急高危区段保持常态化高频巡查,重点查看边坡位移、挡墙开裂、基底淘空的动态变化,重点隐患区段执行固定周期定期巡查,常规路段采用周期性巡回检查模式,全面覆盖主线及两侧附属设施。巡查路线完整覆盖线路全线,包含主线行车路面、两侧边坡、全部排水构筑物、沿线桥涵结构,记录构筑物细微破损、沟槽杂物堆积、坡面新增裂隙等细微变化,同步留存现场实景记录。偏远深山路段规划固定巡查路线,配齐进山作业配套设备,不因地理位置偏僻简化巡查流程,巡查记录完整归档,同步标注隐患点位的动态发展状态。巡查人员熟悉各类水毁隐患的演变特征,能够精准识别隐患扩张的前兆表现,及时记录现场变化信息,完整掌握隐患区段的实时状态,为管护处置提供实时现场信息支撑。

5.2 汛期来临前前置隐患预处理工作

每年汛期到来之前,集中完成全线排水设施疏通清理作业,彻底清空边沟、涵洞、截水沟内部淤积杂物,提前恢复完整过水能力,排查边坡小型裂缝、砌体勾缝脱落等微小破损,及时完成修补作业,防止降水后破损位置持续扩大。高危临水路段提前检查护脚、挡墙基座完整度,松动构件提前加固处理,山体渗水点位提前疏通盲沟,提前疏导积蓄的地下水。提前清理河道、冲沟靠近路基一侧的漂杂物与危石,规避汛期洪水裹挟重物撞击公路构筑物的隐患,坡面松散浮土进行简易清理,降低暴雨后坡面溜塌的概率^[5]。预处理工作聚焦辨识环节

标记的各类风险点位,针对性完成前置处置,把能够提前化解的小型隐患在汛前清零,弱化汛期强降雨带来的灾害冲击,用前置处理手段降低水毁灾害的发生概率。

5.3 山地公路运维防护体系常态搭建

整合沿线属地管护力量,划分分段管护责任区域,明确每一段线路的日常管护责任,配套配齐修补砌体、疏通沟槽、应急加固的常备物料与机具,存放于沿线就近点位,便于隐患出现时快速开展处置作业。结合区域降水的季节规律,规划年度防护养护工作计划,非汛期集中开展加固修缮、设施改造工程,汛期侧重动态巡查与临时应急处置,形成分时段的管护节奏。同步完善沿线植被养护工作,长期维护边坡原生固土植被,依靠生态手段辅助稳固坡体岩土,和工程防护形成长效互补效果。定期组织管护人员熟悉山地水毁风险特征与处置方式,熟练掌握各类构筑物养护作业流程,完整搭建起日常巡查、前置预处理、应急处置、定期修缮连贯的运维防护体系,以常态化管护模式长久管控山区公路水毁各类风险。

6 结语

本文完整梳理山区公路水毁风险源辨识的全流程实操内容,从全域摸排判定各类风险源头,逐层解析风险诱发病害的内在成因,落地贴合山地环境的辨识实施流程,匹配对应工程整治方案与常态化管护模式。山地公路水毁风险来源繁杂,自然先天条件与工程后期缺陷相互交织,单一处置手段无法实现长久防控,辨识环节精准锁定隐患源头,治理环节因地制宜选用加固与排水手段,再搭配长效管护机制持续管控隐患动态变化,层层落实各项工作内容,能够系统性降低山区公路水毁灾害发生概率,稳定山地路网的通行安全状态。

参考文献:

- [1] 樊静如.基于多源遥感与 BIM 技术的山区公路水毁灾害智能识别与风险评估研究[J].时代汽车,2026,(12):142-144.
- [2] 岳雨欣.基于预防山区公路水毁病害发生的涵洞选型设计浅析[J].陕西水利,2025,(9):136-139.
- [3] 孙绍博.公路水毁路肩墙改进优化研究[J].工程机械与维修,2025,(4):114-116.
- [4] 邹小华.山区公路水毁修复施工关键技术和监理管理重点[J].黑龙江交通科技,2025,48(1):42-45.
- [5] 程胡昊.山区沿河公路路基弯道段冲刷水毁机制研究[D].重庆交通大学,2024.