

# Research on Slope Diseases and Reinforcement/Maintenance Measures for Mountain Road Under Extreme Rainfall Conditions

Xin Bao

Yunnan Transportation Investment and Construction Group Co., Ltd. Qujing Management Office, Huize Branch, Qujing, Yunnan, 654200, China

## Abstract

Extreme rainfall alters the original hydraulic boundaries of mountain road slopes. The combined effects of short-duration heavy rains, continuous rainfall, and valley convergence readily expose concurrent issues such as slope runoff, soil infiltration, toe scouring, and aging of existing protective structures. In the southwestern, southern, Qinba, Taihang regions, and southeastern coastal hilly areas of China, road networks are extensive with numerous sections adjacent to gullies and cliffs. Many sections still rely on routine inspections and post-rain emergency repairs to maintain stability during operation. Field investigations by road maintenance personnel have revealed that slope failures are not solely triggered by rainfall but result from the combined influence of factors such as geological weathering, slope profile modification, drainage failure, support structure collapse, and exposed vegetation. Research focusing on the identification and reinforcement of mountain road slope failures under extreme rainfall conditions facilitates the integration of pre-rain prevention, in-rain management, and post-rain restoration into a unified maintenance framework.

## Keywords

extreme rainfall; mountain roads; slope diseases; water damage maintenance; slope protection; stabilization and reinforcement

## 极端降雨环境下山区公路边坡病害及加固养护措施研究

包鑫

云南交通投资建设集团有限公司曲靖管理处会泽分处, 中国·云南 曲靖 654200

## 摘 要

极端降雨改变了山区公路边坡原有的水力边界, 短历时暴雨、连续性降雨与沟谷汇流叠加后, 坡面径流、坡体入渗、坡脚淘刷和既有防护结构老化问题容易同步暴露。中国西南、华南、秦巴、太行及东南沿海丘陵山区公路线路长、临沟临崖路段多, 许多路段在运营期仍依赖日常巡查和雨后抢修维持稳定。公路养护人员在现场处置中发现, 边坡病害并非单一由降雨触发, 而是地层风化、坡形切割、排水失效、支挡空鼓和植被裸露等因素共同作用的结果。围绕极端降雨下山区公路边坡病害识别与加固养护展开研究, 有助于把雨前预防、雨中管控和雨后修复纳入同一养护链条。

## 关键词

极端降雨; 山区公路; 边坡病害; 水毁养护; 坡面防护; 支挡加固

## 1 引言

公路作为国家经济和社会发展的动脉, 其稳定性和安全性直接关系到居民生活与国家安全。当前公路养护往往忽视了气候变化带来的一系列挑战, 如极端降雨事件不仅对养护管理带来了重大压力, 并且对山区公路运营安全的扰动更加突出。气象部门发布的信息表明, 由 1961 年至 2025 年中国极端强降水事件呈增多趋势, 交通运输防汛工作也将地灾隐患点、高陡边坡和涉水桥涵列为重点部位。公路养护标准已将边坡、防护支挡结构和路基排水设施纳入路基养护对象, 说明边坡治理必须从单点抢险转向系统性养护。有鉴于

此, 本文将基于相关文献研究以及自身实践情况下就极端降雨环境下山区公路边坡病害及加固养护措施展开探讨, 以供参考。

## 2 极端降雨环境下山区公路边坡病害分析

### 2.1 坡面冲沟侵蚀

坡面冲沟侵蚀多发生在填挖交界、土质路堑、弃方回填坡和早期浆砌骨架破损坡面。极端降雨到来时, 坡顶汇水、平台积水和路面外排水会沿坡面薄弱线集中下泄, 原本分散的面流转化为具有切割能力的股流, 先冲走表层细颗粒, 再掏空草皮根区和骨架护坡缝隙。若坡面土体含颗粒和黏粒较多, 遇水后容易软化成泥膜, 坡面抗冲能力下降, 雨水便顺着施工接茬、排水槽边缘和裸露裂缝继续下切<sup>[1]</sup>。养护现场常见冲沟呈树枝状或条带状分布, 沟底夹带碎石和泥浆,

【作者简介】包鑫 (1988-), 男, 中国云南罗平人, 本科, 工程师, 从事高速公路养护管理研究。

雨后沟肩继续坍落,部分路段还会出现边沟被泥砂堵塞、路肩外缘被水切开和护坡砌块悬空等连锁现象。该类病害的成因集中在坡面防护连续性不足、截水设施淤堵、坡顶散排水未被拦截、平台汇水外溢以及植被覆盖未形成有效根系层等方面。

## 2.2 浅层滑塌

浅层滑塌多出现在强风化岩土混合边坡、残坡积土边坡和高填方外侧边坡,滑动厚度通常集中在表层数十厘米至数米范围内。极端降雨持续入渗后,坡体孔隙水压力上升,原有裂隙被水填充,土石颗粒之间的有效应力降低,表层覆盖层便沿着风化界面、旧施工分层面或植物根系浅层发育带发生滑移。山区公路开挖形成的路堑边坡常存在坡率偏陡、平台宽度不足和软硬互层外露等情况,雨水沿软弱夹层渗入后,坡面会先出现鼓胀、裂缝和局部掉块,随后形成片状坍滑。该类病害在雨停后仍可能继续变形,因为坡内滞水难以及时排出,后缘裂缝会扩大成弧形拉裂带。其直接诱因是连续降雨提高含水率,深层原因则包括坡体内部渗流通道不畅、土石界面咬合力差、旧护坡背后空隙发育以及边坡长期风化卸荷。

## 2.3 危岩崩落

危岩崩落主要发生在岩质路堑、高陡峡谷路段和隧道洞口仰坡附近,病害表现为块石突然坠落、坡面碎屑滚落或局部岩楔失稳。极端降雨对岩质边坡的影响并不只表现为表面冲刷,雨水会沿节理、层面、卸荷裂隙和爆破扰动裂缝进入岩体内部,使裂隙面泥化软化,降低岩块之间的咬合作用。昼夜温差、前期风化和植物根劈作用会先把岩体切割成松动块体,强降雨再通过裂隙水压力和坡面径流冲刷削弱块体约束条件。养护巡查中常见坡脚落石增多、坡面新鲜破裂面显露、防护网被块石顶鼓等迹象,临崖弯道和半填半挖路段还容易因视距受限放大行车风险。该类病害的成因在于岩体结构面组合不利、坡面卸荷裂隙贯通、危岩根部支撑不足、锚固构件锈蚀以及既有挂网锚固点松动。

## 2.4 坡脚淘刷失稳

坡脚淘刷失稳多见于临河、临沟、急弯汇水和涵洞出口附近的山区公路边坡,病害通常与路基边缘沉陷、挡墙开裂、护脚石移位和边沟外翻同时出现。极端降雨期间,沟谷洪水和坡面汇流叠加,水流在坡脚位置形成持续冲刷,细颗粒先被带走,块石护脚随后产生松动,挡墙或路肩下方逐步形成空腔。若原有挡墙泄水孔堵塞,墙背水压力升高,墙身便可能出现外鼓、基础不均匀沉降和竖向裂缝。部分山区路段受地形限制,路线紧贴沟道布设,坡脚长期处于水流顶冲位置,降雨强度超过原有排洪能力后,水流会沿路基外缘回掏,最终引发路肩坍边、边坡下挫或挡墙局部倾斜<sup>[1]</sup>。该类病害的成因集中在坡脚基础埋置不足、河沟冲刷防护薄弱、涵洞出水未消能以及墙背排水反滤层失效。

## 3 山区公路边坡加固养护措施研究

### 3.1 坡面截排与抗冲刷防护

针对坡面冲沟侵蚀,养护加固应先把坡顶外来水、平台汇水和坡面径流分开处理,再恢复坡面抗冲刷层,施工顺序应服从“先导水、再补沟、后护面、终复查”的现场逻辑,排水设施设置还应避免出水口直接冲刷路基边坡。第一,养护人员应在汛前复核坡顶截水沟、平台排水沟、边沟和急流槽的连续性,重点清除落叶、碎石、泥砂和塌方残留,沟底纵坡不足处应重新顺坡,常用矩形沟净宽可按0.4至0.6m控制,砌筑沟段宜采用M7.5浆砌片石或C20混凝土,沟身转折处应设置跌水或消能小井,急流槽出口还应与边沟或自然沟道顺接。第二,对已经形成的冲沟应先清除松散泥皮和悬空沟肩,再用级配碎石或片石分层回填夯实,较深沟槽可设置土工布反滤层和干砌片石骨架,回填面不宜高出原坡面,防止雨水再次沿填补边界集中下切,沟头位置应做小范围封闭,避免上部来水继续掏蚀。第三,坡面防护应按坡率和土质选择,缓坡可采用三维植被网、客土喷播和草灌混播,网垫搭接宽度宜不小于10cm,锚钉间距可按1.0至1.5m布置,裸露粉质土坡面可增设菱形骨架或拱形骨架,骨架内填客土厚度宜控制在8至12cm,雨季施工时应覆盖无纺布减少种子流失。第四,施工完成后应在首场中雨或暴雨后复查水流路径,检查急流槽出口、骨架边缘和新旧坡面交界处是否有细沟复生,对局部冲刷点应当天封堵、补土、补植,并把复查桩号、冲刷长度、处置材料和照片记入养护台账,作为下一次汛前清沟和补强的依据。

### 3.2 浅层滑塌加固与渗排

针对浅层滑塌,养护加固应围绕清除失稳体、降低含水率、恢复坡面约束和控制滑动边界展开,处治时应把临时安全、坡体排水和结构加固同步纳入作业面,支挡防护设计通常需要同时配置地表截排水和必要的地下排水系统<sup>[1]</sup>。第一,现场处置前应先于滑塌体上缘外侧设置临时截水带,禁止雨水继续进入裂缝区,对滑塌堆积物应自上而下分层清理,不宜直接从坡脚掏挖;清方后应量测滑塌宽度、厚度、后缘裂缝和软弱夹层位置,必要时采用小型钻探或人工探槽确认滑动面,并在坡脚设置临时拦挡,防止清方料滚落侵入行车道。第二,对厚度较浅、坡体仍有整体承载条件的段落,可采用锚杆框架梁或锚杆格构进行约束,常用锚杆可选HRB400钢筋,直径22至28mm,孔径90至110mm,入稳定层长度不宜小于2m,框架梁可采用C25混凝土,梁格间距按2.0至3.0m布置,注浆灰比宜在0.45至0.55范围内调整,孔口应封闭防止雨水沿杆体渗入。第三,坡体含水率偏高或墙背渗水明显时,应布设仰斜排水孔、软式透水管或坡脚盲沟,仰斜孔孔径可按75至110mm控制,外倾坡度宜为5%至10%,盲沟内应设置碎石排水层、反滤土工布和出水口防堵格栅,保证渗水能够离开滑塌区,出水口位置不得

直接冲刷路基边坡。第四,表层封闭不宜采用大面积刚性抹面,已加固坡面可配合挂网喷射混凝土、植生袋或厚层基材喷播,喷层厚度可按8至10cm控制,坡面每隔10至15m设置伸缩缝或排水缝,完工后连续两个汛期进行裂缝、出水量和框架梁变形复核,发现后缘裂缝扩展时应及时增设排水孔或局部补锚。

### 3.3 危岩清理与防护网锚固

针对危岩崩落,养护加固应把危岩排查、主动约束、落石拦截和巡查监测分步完成,不能只依靠雨后清石,应在确保交通封控和高处作业安全的前提下组织实施。第一,雨前和雨后巡查应使用望远镜、无人机或人工攀爬相结合的方式核定危岩范围,记录节理张开度、岩块体积、落石轨迹和坡脚行车影响范围,对已经松动且体积较小的块石,应在封闭交通和设置警戒区后采取人工撬除或机械清危,清危顺序应从上到下、从外到内,坡脚应安排专人警戒。第二,对仍可保留但存在滑移可能的岩块,应采用锚杆、锚索和局部喷射混凝土进行锚固,普通锚杆直径可取25至32mm,锚固深度应穿过松动裂隙进入完整岩体,预应力锚索可按孔径110至130mm施工,并在张拉前完成孔道清洗、注浆饱满度检查和外锚头防腐封闭,岩面破碎区可先喷5至8cm混凝土封闭。第三,坡面碎落频繁但单块能量较小的路段,可铺设主动防护网,钢丝绳网与格栅网应贴坡铺挂,锚杆间距按设计控制在2至4m;落石可能越过边沟进入行车道的路段,应在坡脚或平台外侧设置被动防护网,高度可按3至5m选取,防护能级应结合落石粒径和落差确定,基础位置不得布设在松散堆积体上<sup>[4]</sup>。第四,网系安装完成后应检查锚垫板压紧状态、绳卡数量、支撑绳张紧度和消能环位置,暴雨后重点查看网面鼓包、锚头松动和落石堆积厚度,超过设计拦截容量时应及时卸载清理,并恢复变形立柱和基础,对反复落石点应加密裂缝标记和照片比对,判断危岩是否继续扩展。

### 3.4 坡脚支挡与泄水修复

针对坡脚淘刷失稳,养护加固应先稳定基础,再恢复墙背泄水和沟道出流条件,避免只在外表补砌,施工中应控制开挖长度和临水作业风险。第一,临河临沟路段应在洪水退落后立即查明淘刷范围,采用钢钎探测、开挖检查或地质雷达辅助判断坡脚空洞,对已悬空的护脚和挡墙基础应分段处置,施工段长度不宜过长,必要时设置临时沙袋围护、导

流槽和交通限载措施,靠水作业面应保留安全退让通道。第二,基础补强可采用浆砌片石护脚、C25片石混凝土挡墙、铅丝石笼或格宾护垫,石笼厚度可按0.5至1.0m布置,迎水面应顺接原沟床,基础埋深应低于预计冲刷线,墙趾前宜设置抛石防冲带,块石粒径应按水流速度和沟床坡降选取,严禁用风化石和泥质软石填筑,砌体勾缝应饱满密实。第三,挡墙开裂或外鼓段应同步恢复泄水系统,泄水孔直径可取75至100mm,水平和竖向间距常按2至3m控制,孔后设置碎石反滤包和土工布包裹层;墙背回填应选用透水性较好的碎石土或级配砂砾,分层厚度不宜超过30cm,靠墙压实应采用小型夯实机具,避免大型机械挤压墙身<sup>[5]</sup>。第四,涵洞出口和急流槽末端应增设消力池、跌水坎或浆砌片石铺砌段,出水不得直冲坡脚和路基外缘,完工后应按20m左右间距复测沟底高程、断面尺寸和出水口通畅性,对墙顶裂缝、路肩沉降和边沟反坡位置应连续记录,形成新一轮汛前整修清单,并在下一场强降雨后复核护脚稳定状态。盲沟整修、增设的检验要求中也强调断面结构、设置位置、反滤层和出水通畅性应满足设计要求。

## 4 结语

综上所述,结合实践来看,极端降雨环境下山区公路边坡病害具有突发性、链式性和复发性,坡面冲沟、浅层滑塌、危岩崩落和坡脚淘刷分别对应不同的水力作用路径与结构薄弱位置。养护工作不能仅停留在雨后清方和表面修补层面,而应围绕水流组织、坡体含水控制、危岩约束、基础防冲和长期复查建立闭合流程。对于已出现变形迹象的路段,应将巡查记录、处置参数、雨后复核结果和下一轮汛前整修计划连续衔接,避免同一病害在相同部位重复发生。

## 参考文献

- [1] 焦建文.极端降雨条件下公路与城市道路路基病害防治技术研究[J].现代交通与路桥建设, 2025(22).
- [2] 王才源.高速公路病害边坡成因及处治方案探讨[J].交通科技与管理, 2025(10):72-74.
- [3] 丁森林,胡启晨.简析公路路基高边坡的病害及防护措施[J].中国地名, 2023(6):0055-0057.
- [4] 陈彩霞.预防性公路养护在现代农村公路施工中的运用[J].建材发展导向, 2023, 21(4):38-40.
- [5] 廖盛安.山区高速公路边坡病害成因及治理措施[J].汽车导报, 2025(2):218-220.