

# 高速公路路基边坡水毁病害成因与防治措施研究

卢忠红

云南交投公路工程养护有限公司 云南 昆明 650228

**【摘要】**：对于高速公路工程来说，路基边坡水毁病害是造成运营安全问题、降低长期耐久的重点问题之一，一般来说，造成这一问题的原因较为多样，而且往往受到多个因素的共同影响，本文将以此为背景展开阐述，探究水毁病害成因，并阐述对应的防治策略，如完善排水系统、优化边坡结构与防护等，期望能够提升路基边坡的抗水毁能力，为高速公路的长期安全稳定运营提供参考。

**【关键词】**：高速公路工程；路基边坡；水毁病害；成因；防治

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.008

当前我国高速公路网络不断延伸，其运营安全与长期服役性能受到关注，路基边坡作为高速公路工程关键构成，稳定与否直接影响道路整体安全和通行能力，众多边坡病害中，由水的作用所引发的水毁病害（冲刷、滑塌、沉陷、泥石流等）频率高、破坏性强、修复难度大，对公路建设和养护产生较大影响，不但可能会造成经济损失，甚至还会造成交通中断或次生灾害，因此，对其成因和防治措施进行研究十分必要。

## 1 高速公路路基边坡水毁病害成因分析

高速公路路基边坡水毁病害的形成一般是多个因素共同作用的结果，包括水动力条件、岩土体性质、边坡几何形态及人类工程活动等方面，可以归纳为自然因素和人为因素两个方面。

### 1.1 自然因素

自然因素是水毁病害发生基础条件、外部驱动力，一般涵盖水文气象、地质地理环境两个细项。

#### 1.1.1 水文气象的直接作用

强降雨是诱发边坡水毁最直接、最普遍的因素，高强度、长历时的降雨，其危害主要体现在四个方面，一是大量雨水直接击溅并冲刷坡面，尤其当边坡植被覆盖率或防护薄弱时，易形成密集的冲沟和纹沟，破坏坡面完整性；二是雨水入渗显著增加边坡岩土体的含水量，导致土体容重增大、抗剪强度参数（如粘聚力 $c$ 和内摩擦角 $\phi$ ）降低，对于由膨胀土、黄土等特殊土构成的边坡，水的入渗还会引发胀缩变形或湿陷，破坏其结构；三是持续降雨使得地下水位抬升，产生渗透压力（动水压力），同时软化潜在滑裂面，极易引发整体性或局部性的滑坡、坍塌；四是部分特殊情况，如季节性冻融地区，春秋两季的冻融循环会加剧坡面岩土体的风化剥落和结构疏松，为雨季水毁埋下隐患。

除此之外，因为高速公路线性特征的存在，其周边自然汇水路径被改变，地表径流和汇水冲刷的作用也有一定的负面影响，若路堑边坡上方的截排水设施失效或容量不足，大量地表径流将集中汇流至坡顶或坡面，形成强大的集中水流，对坡肩、

坡面及坡脚进行强烈冲刷和掏蚀，导致边坡失稳。

#### 1.1.2 地质地理的基底控制

边坡所处的地质构造与岩土体性质是决定其抗水毁能力的内在基础，岩土体的透水性、崩解性、抗冲刷能力是关键指标，如全风化或强风化的花岗岩、泥岩、页岩边坡，岩体破碎、结构松散，遇水易软化、崩解，抗冲刷能力极差；节理裂隙发育的岩质边坡，水沿裂隙入渗，不仅软化结构面，还可能产生静水压力，促使岩块失稳。

边坡的原始地形地貌决定了其受水作用的规模和强度，陡峭的边坡坡度加大了地表径流速度，增强了冲刷动能，同时不利于植被自然恢复；坡向（阳坡/阴坡）影响蒸发量和植被生长，进而影响坡面稳定性。汇水面积大的边坡，在降雨时承受的水量负荷更大，风险更高。

### 1.2 人为因素

人类在高速公路建设及运营过程中的活动，若考虑不周或处置不当，往往会改变自然平衡，诱发或加剧水毁病害。

#### 1.2.1 勘察设计

一是工程地质与水文地质勘察深度不够，这在高速公路工程中比较常见，若未能准确查明边坡岩土体的结构、软弱夹层分布、地下水埋藏与运移规律，设计依据将不充分，可能导致防护工程“药不对症”，如在存在深层地下水补给的边坡，仅设计坡面排水，无法解决根本问题。

二是排水系统设计缺陷，包括排水沟、截水沟、急流槽等，其设施布置位置不合理，未能有效拦截和引排坡面及坡体水流；另外，断面尺寸偏小，无法满足设计重现期下的泄洪要求；纵坡设计不当，导致排水不畅或流速过大引起冲刷；各排水设施之间衔接不顺，形成新的水流集中点。

三是边坡防护设计缺少针对性，防护形式（如浆砌片石、骨架植草、喷锚等）的选择未充分考虑当地降雨强度、岩土特性和边坡特点，如在强降雨地区对土质边坡仅采用简单的草皮护坡，其抗冲刷能力明显不足。另外，坡率设计过陡，超过了岩土体在饱水状态下的自然安息角，也是不稳定因素。

### 1.2.2 施工运营

施工质量未能达到设计要求也会造成边坡问题，如路基压实度不足，导致运营期不均匀沉降，破坏排水系统，形成积水洼地；排水设施砌筑砂浆不饱满、基础处理不实，在水流冲刷下易开裂、损坏；防护工程（如拱形骨架、挡土墙）的基础埋深不足，或背后反滤层、泄水孔施工不当，使其功能失效。

另外，运营期间养护不足或者养护滞后，也会导致小问题恶化成大灾难，排水系统的定期清淤疏通工作不到位，导致沟渠堵塞、排水功能丧失；坡面防护的局部破损（如混凝土开裂、砌石脱落）未得到及时修补，为水流侵入创造了通道；对边坡的定期巡查与监测机制不健全，无法在病害发生早期进行预警和干预；沿线人为活动，如不当的开挖、弃土、改变水系等，也可能破坏边坡的稳定环境。

## 2 防治措施

针对水毁病害的主要成因，各个环节的防治工作必须要深刻落实，坚持“预防为主、防治结合、因地制宜、综合治理”的原则，构建贯穿勘察、设计、施工、养护全过程的综合防治体系，其核心思路应当是“控水”和“固坡”，即有效管理地表与地下水，并增强边坡自身稳定性。

### 2.1 完善设计策略，打造系统性防治机制

科学合理的设计是预防水毁的第一道防线，需从排水系统和边坡自身防护两方面进行系统性优化。

#### 2.1.1 设计高效、完善的立体排水系统

对于大多数高速公路工程来说，其排水系统的设计目标都是“上截、中排、下导”，并借此形成立体网络，以便快速疏干坡体水分。

一是坡顶外围截排水，在路堑边坡坡顶至少5米以外，设置坚固的截水沟，有效拦截来自边坡上方汇水区域的地表径流，防止其直接冲刷坡肩和坡面；截水沟的断面和纵坡需经过水力计算确定，确保其泄水能力。

二是坡面分级排水与防护，对于高边坡，应采用分级设平台的方式，在每级平台上设置平台排水沟，并与纵向的急流槽或排水管顺畅连接，将各级坡面的汇水迅速排走；坡面防护（如生态袋、三维网植草、喷射混凝土等）须与排水设施紧密结合，确保坡面水能顺利流入排水系统，而非下渗。

三是坡体内部排水，对于地下水丰富的边坡，必须设计内部排水措施，包括设置仰斜式排水孔、深层排水盲沟、渗沟等，以降低地下水位和孔隙水压力；同时，挡土墙等支挡结构必须规范设置泄水孔及墙后反滤层。

四是坡脚与边沟排水，加固坡脚，防止冲刷淘蚀，边沟设计应兼顾排水能力和防冲刷要求，可采用混凝土预制或现浇结构；排水出口处需设置消能设施，如消力坎、消力池，防止水

流冲刷路基或自然沟谷。

### 2.1.2 强化边坡结构与防护设计

防护设计应与岩土特性、水文条件高度匹配。

一是岩质边坡，对节理裂隙发育的岩坡，可采用主动防护网（如GPS2型）或喷锚支护（锚杆+挂网喷射混凝土），防止岩块崩落；对于潜在小型滑坡，可设计预应力锚索框架梁进行加固。

二是土质边坡，优先采用生态防护与工程防护相结合的方式，如拱形骨架、菱形骨架内植草护坡，既提供了工程支挡，又恢复了生态；对于高陡边坡或稳定性不足的边坡，需采用重力式挡土墙、抗滑桩等支挡结构。设计中应高度重视边坡的坡率优化，在用地条件允许下尽可能采用缓于岩土体临界稳定角的坡率。

三是特殊土边坡，针对膨胀土、黄土等，需采用特殊处理措施，如土质改良（掺灰）、设置防渗隔水层、加大平台宽度等。

### 2.2 加强施工控制，优化全寿命周期养护机制

优良的设计需要通过精细的施工来实现，并通过持续的养护来维持其功能。

#### 2.2.1 控制关键施工环节质量

施工中必须确保排水设施和防护工程的实体质量，排水沟渠的基础必须置于稳定地层，砌筑或浇筑质量合格，接缝严密；挡土墙、抗滑桩等支挡结构的基坑开挖、基础处理、混凝土浇筑、泄水孔预留等必须符合规范；边坡开挖应遵循“分级开挖、及时防护”的原则，避免暴露时间过长；回填区域的压实度必须达到设计要求。

#### 2.2.2 实施科学化、智能化的养护监测体系

建立并严格执行边坡定期巡查制度，尤其在雨季前后及期间增加巡查频率，巡查重点主要涵盖排水系统是否畅通、防护结构有无开裂变形、坡面有无新裂缝或渗水点、坡脚有无冲刷等；积极推广边坡健康监测技术。对重要或高风险边坡，布设自动化监测设备，如测斜仪、土压力盒、渗压计、裂缝计、GNSS位移监测点等，实时或定期监测边坡的深层位移、孔隙水压力、表面变形等关键参数（可见表1）；利用物联网技术将监测数据实时传输至管理平台，通过数据分析实现预警预报，变被动应急为主动防控。

表1 高速公路路基边坡主要监测项目与方法

监测类别	监测项目	监测方法/仪器	监测目的
变形监测	表面位移	GNSS、全站仪、测距仪、位移桩	掌握边坡整体及局部变形趋势
	深层水平位移	测斜仪、固定式测斜仪	确定滑动面位置与深度，评估稳定性
	竖向位移	水准仪、静力水准仪	监测边坡及支挡结构

	(沉降)	沉降板	的沉降情况
力学监测	孔隙水压力	渗压计	了解地下水动态, 评估水压力影响
	土压力	土压力盒	监测支挡结构受力状态
	锚杆/索拉力	锚索测力计	评估锚固工程的有效性
环境与外观监测	降雨量	自动雨量计	关联降雨与边坡响应
	裂缝发展	裂缝计、人工巡查	捕捉病害早期迹象
	视频图像	高清摄像头	实时观察边坡表现状况

### 2.2.3 设置分级响应和工程修复机制

根据巡查和监测结果, 对边坡进行安全风险等级评估(如稳定、基本稳定、欠稳定、不稳定), 针对不同风险等级, 制定相应的养护与处置预案, 对于局部、轻微的水毁(如小冲沟、局部砌体破损), 应及时进行修复; 对于已发生严重滑塌等重大水毁, 需进行专项勘察与治理设计, 可能采用抗滑桩、挡墙加固、边坡减载、反压坡脚、注浆加固等综合工程措施进行彻底治理。修复工程同样需注重排水系统的恢复与完善。

### 2.3 推广先进材料, 提高工程抗风险韧性

积极应用新材料, 能够有效解决路基边坡水毁问题, 或者至少能够改善恶性影响的程度, 因地制宜地应用于工程实践, 能够显著提升边坡的抗冲刷能力、结构稳定性和生态自修复功能。

#### 2.3.1 新型防护和加固材料

传统圬工材料(如浆砌片石)在耐久性和生态友好性上存在一定的不足, 适当引入新型材料, 可以弥补这些不足。

一是高性能的生态防护材料, 使用三维网垫、土工格室、生态袋等土工合成材料进行坡面防护, 可以和植草结合, 形成牢固的加筋草皮, 其抗冲刷流速远高于普通草皮, 如铺设土工格室并填充种植土后植草, 形成的“蜂窝状”结构能有效分散水流剪切力, 极大提高坡面抗冲能力, 并为植物生长提供稳定基床, 实现快速生态复原。

二是柔性防护系统, 对于风化破碎的岩质边坡或存在落石风险的土石混合边坡, 主动柔性防护网(如钢丝绳网、环形网)和被动防护网(拦石网)是有效的防护手段, 它们在一定程度上可以变形, 能吸收并分散崩塌体的冲击能量, 尤其适用于传统刚性结构易失效的陡峻边坡, 其轻量化、施工快捷的特点, 减少了对边坡的二次开挖扰动。

#### 2.3.2 积极发展装配式和快速修复技术

针对水毁应急抢险, 发展模块化、装配式的临时排水与支挡构件, 如预制混凝土排水沟槽、装配式生态挡墙、快速安装的钢制抗滑桩等, 能大幅缩短抢险时间, 快速恢复排水功能和临时稳定, 为后续永久性治理赢得时间; 对于坡面冲刷病害, 可推广采用机械化喷播修复、液压喷播植草等快速复绿技术。

## 3 结语

总体来说, 高速公路路基边坡水毁病害是自然环境与工程活动相互作用的一种常见结果, 成因往往较为复杂且多样, 防治水毁病害必须从源头着手, 在勘察设计阶段即充分考虑水文地质条件, 进行优化设计, 选择适当的施工方案, 并在运营期加强监测, 配合先进技术和材料应用, 保证工程质量, 将“防、排、截、护、监、养”有机结合, 贯穿于高速公路工程的全寿命周期, 降低水毁风险, 保障高速公路安全稳定。

## 参考文献:

- [1] 杨红海. 甘肃陇南地区高速公路桥梁基础水毁及防治措施[J]. 江西建材, 2025(3):148-150.
- [2] 孙海峰. 高速公路边坡日常水毁机理与维修对策[J]. 黑龙江交通科技, 2025(3).
- [3] 李进, 蒋煜. 高速公路高边坡水毁处治方案与监测技术应用[J]. 黑龙江交通科技, 2025(9).
- [4] 袁治. 山区公路水毁病害成因分析及防治对策研究[J]. 现代交通与路桥建设, 2025(11).
- [5] 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).
- [6] 姜方霖. 山区公路水毁后路基加固工艺与质量控制[J]. 工程与建设, 2024, 38(1):85-87.