

# 四川省公路干线地质灾害防治对策与适用性分析——以四川巴中地区为例

任赞松

四川省地球物理调查研究所，四川成都，610000；

**摘要：**随着基础建设的不断完善，尤其是公路建设的发展，四川山区的道路网络日益发达，但不断发生的地质灾害对公路交通安全构成了严峻挑战。本文对四川巴中地区三段国省公路沿线38处地质灾害进行了系统勘查与防治研究。通过典型滑坡、崩塌、沉陷点的方案比选，结果表明，分区分类、因地制宜的治理措施可有效提升防灾效果，其中微型桩冠梁、钢花管注浆及主动网防护具有良好技术和经济适应性。本研究为川东北山区公路地质灾害治理提供了可推广的技术路径。

**关键词：**地质灾害；公路；滑坡；崩塌；沉陷；防治

DOI: 10.64216/3080-1508.25.12.022

## 1 研究区概况

本研究以四川省巴中市境内的三段国省干线公路为研究对象，分别为G347巴州区K2143+750~K2154+790段、G542平昌县K218+425~K240+558段以及G542平昌县K261+190~K282+800段。其中，G347巴州区K2143+750~K2154+790段位于巴中市巴州区，沿线地形起伏较大，多为山岭重丘区，道路坡度变化明显；气候属南北气候交汇地带，年均气温约16.2℃，多年平均气温13~17℃。年总降水量约1113~1719.3mm，降雨主要集中于5~10月份，占全年降水量80%以上<sup>[1-5]</sup>。G542平昌县地形以中低山和丘陵为主，地势总体呈东北高、西南低趋势。国道G542及省道S201纵横交汇，全

县公路通车总里程达6467km，属中亚热带湿润季风气候区，多年平均气温16.7℃，多年平均降水量约1203.2mm，降雨集中于5~10月，占全年降水量约79%。

研究区位于龙门山—大巴山—华蓥山—川中褶皱系复合构造带交汇部，受多向构造应力影响，以宽缓褶皱为主，断裂构造不发育。区内褶皱形迹多呈北东—北西向展布，岩层倾角小，构造形变温和，局部存在鼻状、弧形及短轴褶皱。主要地层为白垩系砂、泥岩互层及第四系松散堆积物，裂隙发育受岩性与地貌控制，砂岩区裂隙密集、卸荷明显。新构造运动表现为缓慢抬升型差异运动，无显著断裂或强烈变形迹象，区域地震活动总体较弱，抗震设防烈度为VI度，属地震相对稳定区（图1）。

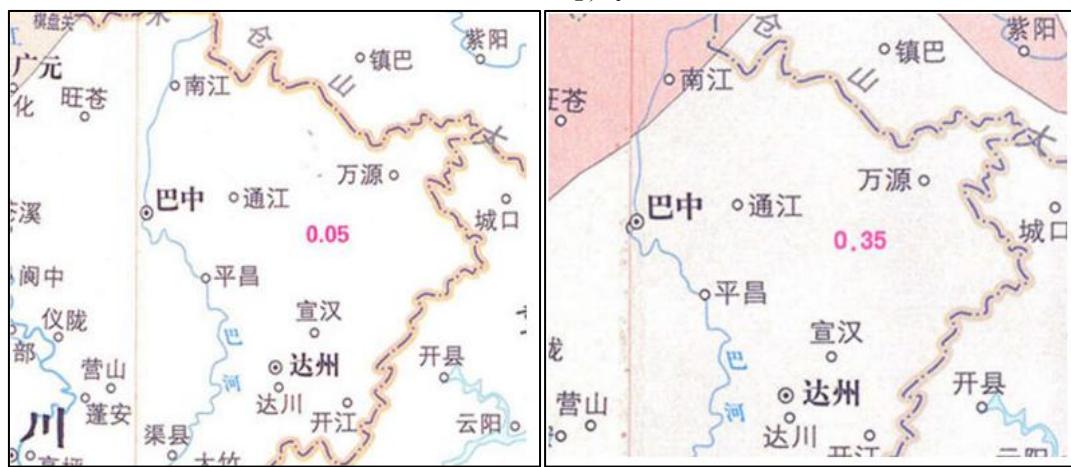


图1 研究区地震动峰值加速度区划图及反应谱特征周期图

Fig 1 Seismic Peak Ground Acceleration Zonation Map and Response Spectrum Characteristic Periods of the Study Area

## 2 地质灾害特征及危害性分析

为全面掌握研究区国省干线公路沿线地质灾害的空间分布特征及其对交通基础设施的影响,本研究对巴中市及平昌县三段公路进行了系统普查与核实,分别为G347巴州区K2143+750~K2154+790段、G542平昌县K218+425~K240+558段及K261+190~K282+800段。普查内容包括灾害类型、分布位置、规模及潜在影响因素。

### 2.1 公路沿线地质灾害调查统计

三段公路沿线共普查识别地质灾害38处,其中崩塌和沉陷为主要类型,滑坡次之。

#### (1) G347 巴州区 K2143+750~K2154+790 段

该路段位于巴中市山岭重丘区,岩土体节理裂隙发育,地表受降雨及地震影响易产生失稳。沿线共识别地质灾害点13处,其中崩塌8处、滑坡2处、路基沉陷2处、水毁1处。灾害主要集中在路线转弯、挖方边坡及河岸段,累计影响里程约1080m。

#### (2) G542 平昌县 K218+425~K240+558 段

该路段位于低山丘陵区,受褶皱构造及地表水冲蚀作用影响,坡体稳定性较差。沿线共识别地质灾害点11处,包括崩塌5处、路基沉陷6处,灾害主要分布于切坡段及软弱地基地段,其中部分沉陷区段与地表水汇流及排水不畅密切相关,累计影响里程约1028m。

#### (3) G542 平昌县 K261+190~K282+800 段

该段路线穿越构造褶皱带及红层软岩区,地质条件复杂。沿线共识别地质灾害点14处,包括滑坡1处、崩塌7处、沉陷6处。崩塌和滑坡多沿陡坡路段分布,沉陷主要集中于沟谷堆积层及人工填方段,累计影响里程约1030m。

### 2.2 公路沿线地质灾害调查结果典型点分析

为了深入分析本路段地质灾害的特征及治理对策,本研究从38处灾害点中挑选了3处具有代表性的典型点进行详细分析。

#### 2.2.1 ZH5-滑坡点

##### (1) 基本特征

该滑坡位于G347巴州区大和乡东北侧,靠近通江县交界处(经度 $107^{\circ} 03' 42.14''$ ,纬度 $31^{\circ} 52' 13.99''$ ),为土质滑坡,影响道路长度约100m。滑坡体边界清晰,后缘以横向拉裂缝划定,前缘通向村道,左右边界由滑动体与周围稳定岩土体分界。滑坡体前后缘高差约23m,纵向长43m,横向宽100m,面积约 $4300\text{m}^2$ ,平均厚度约6m,总体积约 $2.58 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,属于小型牵引式滑坡。

剖面地质结构由上至下依次为:路面回填土(含碎石,厚0~4m)、碎石土(厚4~9.1m)、强风化泥岩(厚9.1~11.5m)及中风化砂岩(厚11.5~20.3m)。滑坡形成的主要原因为南侧高陡填方坡(长约40m,高约23m)受短时暴雨及排水不畅影响,引发边坡失稳,表现为填方边坡向临空面倾斜、路肩破坏及地面开裂沉陷。

##### (2) 滑坡成因、破坏模式

该滑坡为人工堆填形成的土质填方边坡。滑坡覆盖层主要由素填土和粉质黏土组成,下伏白垩系下统白龙组泥岩、砂岩,坡体临空且坡面坡度约 $32^{\circ}$ 。滑坡破坏模式为覆盖层在暴雨或连续降雨作用下发生滑塌,导致坡体变形、路肩沉陷及路基破坏,对道路通行安全构成威胁。

#### 2.2.2 ZH22-沉陷塌陷点

##### (1) 基本特征

G542国道K240+160~K240+250段发生小型路基沉陷,影响道路长度约90m,高程272m,路基宽度8.5m,总面积约 $765\text{m}^2$ 。变形范围依据道路外侧及中线纵向裂缝分布确定。路基自上而下包括杂色卵石填土层(厚约1.7m)、含黏性土碎石层(厚约2.3~3.5m)及下伏白垩系苍溪庙组砂岩和泥岩。现场调查显示,道路外侧纵向裂缝延伸10~30m,宽2~10mm,下错1~2cm,并伴有张拉裂缝,表明沉陷仍在发展,对道路通行安全存在潜在威胁。

##### (2) 沉陷成因、破坏模式

G542国道K240+160~K240+250段路基沉陷的主要成因为地形地貌、地层岩性、降雨及工程活动的共同作用。该路段位于丘陵地貌区,路基填土边坡临空且未设支护;填方材料以卵石和砂土为主,局部结构松散,强度不足,易发生沉陷及横向变形。雨季降雨量大且集中,排水不畅导致填土水分入渗,削弱土体抗剪强度,降低路基承载力。同时,车辆通行尤其是大货车产生的反复动荷载加剧了路基扰动,进一步降低稳定性,最终引发沉陷。

#### 2.2.3 ZH31-崩塌点

##### (1) 基本特征

该崩塌影响道路长度约176m,公路以挖方路基形式通过。崩塌区内侧边坡高约30m,宽约130m,坡向约 $45^{\circ}$ ,基岩产状为 $310^{\circ} \angle 10^{\circ}$ ,上部斜坡较缓,植被灌木茂盛,中部坡面裸露且凹凸不平,岩块掉落严重。航测三维模型显示崩塌面积约 $3710\text{m}^2$ ,单块危岩体积小于 $2\text{m}^3$ ,为中型低位危岩。

##### (2) 崩塌成因、破坏模式

坡体下部砂岩发育三组结构面，将岩体切割为块体，其中一组外倾结构面与坡向相近，使块体沿结构面滑移成为潜在崩塌体。雨季降雨集中、暴雨频繁，雨水下渗可软化结构面并降低岩土体稳定性；公路修建过程中边坡开挖改变了坡体应力场、位移场及渗流场，导致岩体卸荷损伤、裂隙扩展与融合，进一步削弱了稳定性。综合边坡结构面和裂隙发育特征分析，该段边坡在现状下稳定性较差，在暴雨或震动等不利条件下易沿裂隙面发生滑移型崩塌。

调查结果显示，三个路段地质灾害类型多样，主要包括崩塌、滑坡、路基沉陷及水毁等。灾害分布受地形坡度、岩性结构、降雨及工程切坡等多因素控制，对公路边坡稳定及行车安全构成显著工程地质隐患。

### 3 防治措施与适用性分析

通过对G347巴州区K2143+750~K2154+790段、G542平昌县K218+425~K240+558段及K261+190~K282+800段共38处地质灾害的系统勘查与治理设计分析可知，灾害类型以滑坡、崩塌、塌陷及小型泥石流为主，呈现出分布广、成因复杂、规模差异显著的特征。针对不同类型灾害，本研究结合地质条件、空间分布特征及道路工程属性，提出了以“工程防治为主、生态修复为辅”的综合治理思路。经方案比选与技术经济性分析，全线防治措施主要采用抗滑挡墙、锚固支护、注浆加固、边坡防护及排水疏导等组合型措施，并根据地形条件灵活配置。

典型工点分析表明：ZH5滑坡点采用抗滑桩+抗滑挡墙复合结构，稳定效果显著；ZH22沉陷点通过钢花管注浆实现深层加固，有效抑制差异沉降；ZH31崩塌点采用主动网与挂网喷锚联合防护，兼顾安全与景观效果。三者代表了本研究区滑坡、塌陷及崩塌灾害的典型处治模式，具有较强的推广适用性。总体而言，本次38处灾害点的防治方案在确保工程安全、优化工期及控制投资的前提下，实现了针对性治理与长效稳定的统一，为类似山区公路地质灾害防治提供了可借鉴的技术路径。

### 4 结论与讨论

本研究以四川省境内三段国省公路为研究对象，系统开展了沿线地质灾害的调查与分析，共识别地质灾害隐患点38处，主要类型包括滑坡、崩塌、沉陷塌陷及不稳定边坡等。通过对各灾害点的发育条件、成因机制及稳定性特征的综合研究，揭示出以下规律与认识：

(1) 灾害分布具有显著的地形地质控制性。滑坡与崩塌灾害多发于切坡开挖及坡体结构松散的地段，沉

陷塌多出现在路堤填方及排水不畅区域。整体上呈现出“结构控制、降雨诱发、工程扰动加剧”的综合致灾特征。

(2) 灾害类型差异决定防治技术的针对性。滑坡、崩塌、沉陷三类灾害分别受控于不同的地质力学条件与工程背景，需采取差异化治理策略。在总结38处灾害防治经验的基础上，本研究选取了三个具有代表性的典型工点（ZH5滑坡、ZH22沉陷塌陷、ZH31崩塌）进行方案设计与比选，以反映全线灾害防治思路与技术体系。

(3) 典型防治方案具有较强的适用代表性。

滑坡点（ZH5）推荐采用“微型桩冠梁”结构，能在不破坏原坡体的情况下有效增强抗滑稳定性，施工简便、经济性好；沉陷塌陷点（ZH22）推荐采用“钢花管注浆+路面修复”方案，对软弱填土区段加固效果显著，可快速恢复公路通行能力；崩塌点（ZH31）推荐采用“坡面整理+主动网防护+挂网喷锚+植绿”综合措施，兼顾安全防护与生态景观恢复。

(4) 全线防治总体成效显著。综合对38处灾害点的治理方案分析表明，采用分区分类、综合治理的思路能有效提升公路沿线的防灾减灾水平。推荐方案在技术可行性、经济合理性及长期稳定性方面均表现优越，可为同类山区公路提供参考。

### 参考文献

- [1] 李家春, 尹超, 田伟平, 等. 中国公路自然灾害易损性评价[J]. 北京工业大学学报, 2015, 41(07): 1067-1072.
- [2] 包含, 李晓光, 刘力, 等. 公路路基边坡灾害机理与轻量化监测预警研究进展[J/OL]. 中国公路学报, 1-21 [2025-10-24].
- [3] 邬凯, 林顺, 杨雪莲. 典型山区高速公路边坡远程监测系统应用及预测预警分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(30): 16-21.
- [4] 张铸, 张华赞. 公路边坡滑坡地质灾害监测预警技术探究[J]. 建筑, 2018, (10): 76-77.
- [5] 师进. 公路工程高边坡实时监测研究成果在运营期地质灾害防治中的应用[J]. 运输经理世界, 2024, (15): 129-131.

作者简介：任赞松（1993.02—），性别：男，民族：汉族，籍贯：四川南部，学历：硕士研究生，职称：中级工程师，研究方向：地质灾害，单位：四川省地球物理调查研究所。