

西南复杂山区国省干线公路养护地质病害 特征及处治原则

李金标, 黄厚罡

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017)

摘要: 西南复杂山区公路多具有长期干旱集中降雨的河谷气候、高陡的峡谷地貌、破碎的变质岩岩体、复杂的复式褶皱断层构造、强烈的地震活动等良好的地质灾害孕育条件, 复杂地质背景条件下国省干线公路养护面临类型多样、规模不一、危害程度不同的地质病害。文中通过对病害类型、数量、规模、危害程度、养护资金、处治难点等的分析, 提出西南复杂山区国省干线公路地质病害处治方案选取原则。

关键词: 公路; 国省干线公路; 地质病害; 病害处治原则; 西南复杂山区

中图分类号: U418.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)02-0082-05

中国西南地区山高谷峡, 走廊单一, 路网密度小, 国省道干线往往是某一地区进出的生命通道。西南地区位于地势由第一阶梯的青藏高原向第二阶梯的四川盆地过渡带, 属横断山脉, 岸坡陡峻, 气象条件恶劣, 地层岩组多样, 地质构造复杂, 活动断裂发育, 地震频繁, 发育大量的崩塌、滑坡、泥石流等地质病害。运营的国省道干线公路在峡谷中展布, 抗灾能力差。G213 线汶川(川主寺—汶川)段公路是西南地区复杂地质条件下国省干线公路的典型路段, 在 2008 年“5·12”汶川地震中损害严重, 于 2009 年采用二级公路标准恢复重建, 全长 192.1 km, 于 2012 年交工。平时车流量达 1.5 万~1.6 万辆/d, 旅游旺季可达 2.1 万辆/d, 道路畅通及行车安全尤为为重要。2017 年 8 月 6 日, K112+600 石大关旧关楼发生新的山坡高位坍方, 土方达 5 万 m³, 造成道路中断; 2017 年 8 月 8 日, K150+500 渭门乡发生山坡高位坍方, 土方达 1 000 m³, 造成道路中断。在复杂地质背景、气象条件下, G213 汶川段沿线极易发生类似病害, 直接冲击道路, 给过往车辆及乘客带来巨大威胁, 灾害轻则导致道路中断, 重则车毁人亡。该文以该路段为例, 分析沿线地质病害发育特征, 提出运营养护中对复杂多样地质病害的处治原则。

1 工程地质环境

1.1 气象水文

G213 汶川段沿线属半干旱河谷型气候, 5—9

月降雨集中, 年降水量 496.1 mm, 最大日降水量 75.2 mm, 年蒸发量 1 344.7 mm; 年日照时间 1 557.4 h; 年相对湿度 71.7%; 年霜期 57.3 d; 年平均气温 5.7~11.1 ℃, 最高气温 32 ℃, 最低气温 -11.6 ℃, 昼夜温差高达 10~15 ℃。属岷江水系, 支流发育。

1.2 地形地貌

沿线属剥蚀~侵蚀中高山深切河谷地貌。岷江河谷深切, 河谷形态及展布方向受地层岩性和地质构造控制, 山体基本呈北东向展布, 由坚硬岩浆岩、沉积变质岩系组成。山顶海拔 2 600~3 800 m, 山势巍峨, 多基岩裸露, 谷坡陡峻, 断崖层出, 植被较少, 高陡边坡发育。

1.3 地层岩性

沿线出露三叠系、泥盆系、志留系及奥陶系浅变质岩系地层, 岩性为板岩、千枚岩、变质砂岩, 第四系松散堆积层广泛分布于坡麓缓坡一带, 大型崩滑堆积体沿岷江河谷发育。

1.4 地质构造及地震

该道路位于松潘—甘孜褶皱系的巴颜喀拉冒地槽褶皱带内, 东靠龙门山台缘褶皱带。该地区在三叠纪晚期印支运动地槽回返形成地槽褶皱带, 随着青藏高原的抬升和地壳物质的东移, 燕山运动使之逐步形成推覆构造带, 喜马拉雅运动使之构造变形最后定型, 褶皱及断裂构造极其发育。路线沿南北向岷江断裂展布后在茂县南侧沿北东向茂县—汶川断裂展布(见图 1)。

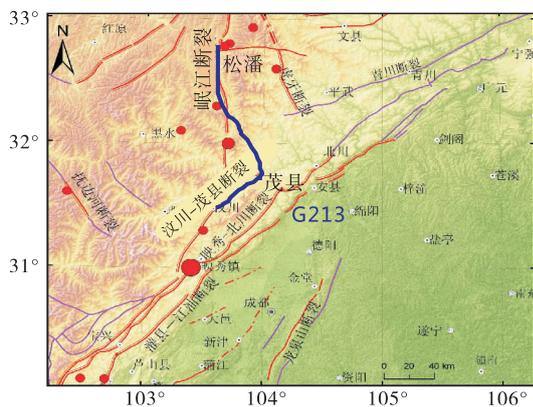


图1 项目区构造位置

沿线地层总体走向 $N10^{\circ}\sim 50^{\circ}W$, 倾向南西或北东, 倾角 $40^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。边坡岩体受风化及地质构造作用的强烈影响, 岩石挤压破碎, 节理裂隙十分发育, 很多地段由于岩石风化强烈, 裂隙密集, 呈碎块状, 缓倾角裂隙少, 陡倾角裂隙多, 一般为 $50^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。裂隙面较平直、光滑、紧闭, 多数无充填物, 延长 $2\sim 20$ m, 间距 $0.1\sim 5$ cm, 岩石多沿裂隙面风化崩解。

路线距离龙门山地震带最近约 160 km, 该地震带曾发生 $M\geq 4$ 级地震 14 次, 最近的为 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级特大地震。沿线地震动峰值加速度 $0.20g$, 地震动反应谱特征周期 $0.35\sim 0.40$ s。

1.5 水文地质

沿线为半干旱季风气候区, 地下水补给主要来源为大气降水和冰雪融水, 随季节变化十分明显, 全年降雨量 $500\sim 800$ mm, 降雨多集中在 6—10 月, 旱、雨季节分明, 这种降雨集中、气候分带、深谷地形等条件对地下水的交替循环有明显影响。地下水按其赋存形式有松散堆积层孔隙水和基岩裂隙水两类, 其中, 松散堆积层孔隙水零星分布于沟谷、谷坡及山间盆地, 以潜水为主; 基岩裂隙水主要贮存于谷坡两岸及谷底岩体中, 多受构造控制, 并与岩体风化、卸荷有关, 由大气降雨和地下水侧向补给, 向河谷排泄。

2 地质病害发育特征

道路沿线地质灾害共计 8 870 m、75 处, 主要为崩塌碎落和滑坡滑塌, 其次为泥石流、水毁和路面病害等。

2.1 崩塌碎落

沿线共调查崩塌碎落 4 121 m、37 处, 强风化、卸荷岩体表层小块碎落 257 m、4 处, 几方至上万方

的基岩整体垮塌 33 处, 其中高位崩塌 3 333 m、22 处。危害方式为崩塌体形成飞石或大方量垮塌砸向公路, 威胁行车安全(见图 2)。



图2 K112+600 石大关旧关楼垮塌

2.2 滑坡滑塌

沿线共调查滑坡 2 685 m、19 处, 其中浅层滑坡 11 处、中深层滑坡 8 处。滑坡多发生于河谷岸坡覆盖层分布地带, 主要沿覆盖层内或下伏岩面产生滑动(见图 3)。危害方式为滑塌堆积体堆积路面造成断道或滑体滑动错断路基等, 危害公路运营。



图3 K183+900—K184+540 文镇滑坡

2.3 泥石流

沿线调查泥石流 475 m、5 处, 其中高位泥石流 1 处。总体上泥石流物源区、形成区与路面高程高差大、纵坡陡, 冲出物直接堆积路面, 爆发频繁(见图 4)。危害方式为堆积路面断道。



图4 K188+955—K189+155 段高位泥石流

2.4 水毁及路基沉降

沿线调查水毁 822 m、10 处。雨季岷江水位上涨, 洪水流速快、流量大、泥沙含量高, 冲刷路堤坡脚或路肩墙基基础, 导致下部掏空, 引起路基下错、挡墙

损毁(见图5)。危害方式为路基垮塌断道。



图5 K140+590—K140+660段水毁

2.5 路面病害

沿线调查路面病害 767 m、4 处。道路长期使用或路基内部排水不畅,发生不均匀沉陷,车辙明显,路面开裂。危害方式为行车颠簸。

2.6 灾害等级划分

G213 线灾害点多、灾害发生频繁,对公路运营危害有大有小,为便于集中人力、物力处治迫在眉睫的灾害点,对灾害点进行危害程度等级分类(见表1、表2)。

表1 危害等级划分

分级	判别标准	灾害类型
高 危	★ 对公路运营安全尤其是雨季或不良因素(如地震等)影响	滑坡、泥石流、大面积路基沉陷、高陡危岩体等
	★ 下构成严重威胁,其影响范围	
	★ 大,出现意外交通事故的概率高,需加强紧急处理措施	
中 危	★ 对公路运营安全尤其是雨季或不良因素(如地震等)影响	一般为不稳定边坡、小型滑塌、坡面防护等
	★ 下有一定威胁,其影响范围较大,出现意外交通事故的概率较高,需采取一定处理措施	
低 危	★ 对公路运营安全尤其是雨季或不良因素(如地震等)影响下有较小范围的一定威胁,其影响范围较小,出现意外交通事故的概率较低,一般情况下进行简单处理(如清障)	一般为小型碎落、垮塌、矮挡墙、小型不稳定斜坡及路面病害等

表2 灾害点危害等级统计

危害等级	长度/m	段落数量/处
★★★	4 317	28
★★	3 361	35
★	1 192	12
合计	8 870	75

2.7 灾害发育特征

沿线 75 处地质灾害整体呈现以下特征:

(1) 灾害种类多样,规模大小不一。

(2) 全线分布,局部集中。不良地质病害类型、分布规律与地层岩性及组合、地形地貌、地下水等因素紧密相关。沿线松潘、茂县、汶川各段地形地貌、地层岩性等具有一定差异,导致沿线地质灾害点发育数量、类别、规模及分布离散程度存在差异。松潘段地形较开阔,以小规模坡面滑塌、路基沉降及水毁为主,局部高位崩塌;茂县、汶川段属于高山峡谷地貌,病害以高位崩塌及碎落为主,并有早期古滑坡(文镇滑坡、苏村滑坡)局部失稳。如茂县 K122+200—K136+500 段 14.3 km 发育灾害点 16 处,汶川 K183+800—K194+600 段 10.8 km 发育灾害点 11 处。

(3) 高危、高位灾害体较多,危害性大,一旦发生,轻则断道,重则车毁人亡,属于沿线灾害整治的重中之重。沿线高位崩塌及滑塌发育 22 处,多数造成过断道及人员伤亡。

(4) 已发病害与隐蔽灾害并存,旧的灾害仍在发生,新的灾害仍在发育,灾害预防及治理是长期的。沿线坡体中上部多无人居住,山体陡峭,人员无法达到,灾害不易判别,存在尚未发现的灾害点,地质病害的整治需做好长期预算及方案准备。

2.8 高位崩塌成因分析

沿线高位崩塌共 3 333 m、22 处,占崩塌碎落病害长度的 80%。这类病害占比高、危害大、处治难,需在查明成因背景的基础上论证处治方案。

(1) 气象水文。岷江河谷为典型干旱河谷,10 月至翌年 4 月,天气以干燥、晴朗为主,昼夜温差高达 10~15℃,5—9 月降雨集中,雨量丰沛,最大日降水量 75.2 mm,年降水量 496.1 mm,年蒸发量 1 344.7 mm,蒸发量远大于降雨量,平时坡体中上部地层赋水贫乏。但到每年 6—8 月集中以暴雨出现,岩土体内骤然饱水,加之坡体陡峻,势必造成山体崩塌掉块、垮塌下错等病害。

(2) 地形地貌。据文献[4—5]对茂县、汶川区域灾害特征的统计,约 83.3%的崩塌发育在较陡的斜坡、河谷地带。路线地处龙门山中段,地形以高山、中山 V 形峡谷为主,横坡陡峻,道路上方存在大量高位岩体,高程达数百至上千米,具有高位崩塌发育良好的空间条件。K124+080—380 石大关高位崩塌区坡度约 67°,与路面高差约 370 m(见图 6)。

地形坡度与地质灾害发生的关系见表3。



图6 K124+080—380石大关垮塌灾害现场

表3 地形坡度与地质灾害发生的关系

类型	不同坡度(°)下地质灾害发生的比例/%			
	<30	30~50	50~70	70~90
滑坡	31.75	66.67	1.59	—
崩塌	—	16.67	66.66	16.67
泥石流	100.00	—	—	—

(3) 地层岩性。地层岩性以三叠系西康群新都桥组、侏倭组、志留系茂县群的粉砂岩、变质砂岩、千枚岩为主,受层面及节理裂隙切割岩体破碎,具有良好的物质条件。K124+080—380石大关垮塌区为志留系茂县群第四岩组千枚岩、变质砂岩。

(4) 地质构造。区内经历印支期以来构造运动,复式背斜、向斜及断层较发育,造成区内岩体节理裂隙密集、岩性破碎。沿线整体地处龙门山推覆构造上盘,地震活动强烈而频繁。地震导致高陡斜坡及山脊部位抗震不利地段岩体进一步损伤破坏,为高位崩塌形成演化提供了可能(见图7)。

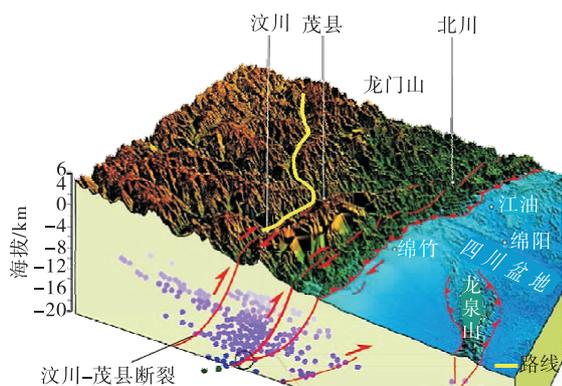


图7 路线与龙门山断裂带的位置关系

(5) 岩体及坡体结构。地壳剧烈抬升,岷江水系强烈下切,河谷陡峻,冲沟短而比降大,岸坡卸荷强烈;地震及高地应力作用下深层岩体损伤严重;特殊的区域地质环境造成岩体破碎,陡倾节理面易形成贯通软弱带,具有不利的坡体结构。

(6) 降雨集中。根据文献[4],几乎所有的滑

坡、崩塌及泥石流等地质灾害的发生集中在每年6—9月。对区内1973—2002年中有时间记载的地质灾害事件进行统计,地质灾害波动曲线与降雨量波动曲线成正相关关系(见图8)。沿线年降雨量不大,但降雨集中,4—10月降雨量444.4 mm,占全年降雨量的91%,单月最大降雨量168.1 mm,单日最大降雨量75.2 mm,集中性降雨更易达到灾害发生的降雨临界阈值,具有良好的诱发条件。K124+080—380石大关垮塌及“8·6”石大关旧关楼垮塌均是在降雨后发生。

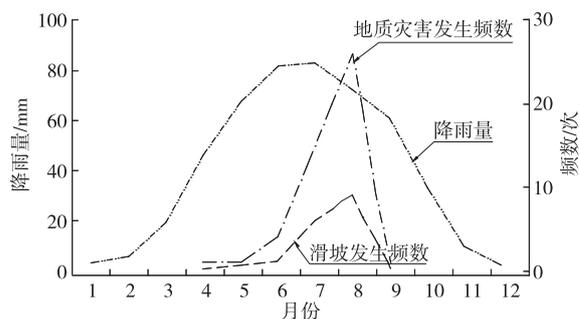


图8 地质灾害发生频率和降雨量的关系

3 地质病害处治原则

3.1 处治难点

(1) 高位、高危泥石流和崩塌的规模、稳定性等量化评价困难。因地形、地质条件限制,对灾害的调查、资料收集困难,造成对灾害发生时机、规模等因素的量化预测困难。需多方面收集资料,包括国土部门资料、沿线养护单位灾害记录等,为灾害稳定性评价提供依据。

(2) 高位崩塌多,坡体陡、高差大,人员、机械及材料无法到达,主动处治施工困难。

(3) G213川汶路多数路段处于峡谷地带,多数无绕避空间,只能原位处治。

(4) 施工保通困难。G213线是重要的出川通道,也是九寨沟旅游环线的重要组成部分,车流量大,保通问题较突出。

(5) 国省道养护资金短缺。

3.2 处治原则

根据沿线既有防治经验、灾害规模及对公路的破坏程度、今后威胁程度、有限的养护资金条件等提出以下处治原则:

(1) 沿线走廊带狭窄,对地质病害绕避的空间有限,且绕避投资多、环境破坏严重,大规模采用绕避方案的可实施性不大。

(2) 规模大的灾害点(尤其是高位崩塌、泥石流、滑坡)处治困难,对于高位崩塌防治工程设置用于预防常规性、大概率的崩塌落石,结构安全性可满足要求,保证行车安全,对于小概率、大规模垮塌下错(强震等因素诱发)可起到缓冲作用,降低风险;对于大规模滑坡,在不具备绕避条件的情况下,以提高行车舒适性、加强安全警示为主。

(3) 对规模小的灾害点,如路基沉降、水毁等,因其成因机制简单,灾害发展可控,又直接影响公路的畅通,采取主动防治、彻底整治的措施;而滑塌、崩塌等,因沿线为高山峡谷地貌、地质构造复杂、岩土类型多样,具有良好的地质灾害发育条件,且地质灾害的发育、发展、失稳是一个动态过程,彻底根治较困难,部分灾害点位于高陡斜坡中上部,不具备施工条件,采取主动或被动措施,以防护公路路基及净空范围为主,用于改善公路运营条件,降低运营风险。

(4) 加强地质监测、人工巡视瞭望、群测群防等,避免造成集中性人员伤亡。

(5) 沿线地处龙门山推覆构造带上盘,工程地质条件极差,地质灾害种类发育多样、规模大小不一、危害程度不同,鉴于环保、新增用地困难及养护资金有限,应建立地质病害台账,根据地质灾害危害程度合理利用养护资金,分期处治。

4 结语

G213 川汶段沿线具有长期干旱、降雨集中的河谷气候,高陡的峡谷地貌,破碎的变质岩岩体,复杂的复式褶皱断层构造,强烈的地震活动等良好的地

质灾害孕育条件,通过对病害类型、数量、规模、危害程度、养护资金、处治难点等的分析,提出地质病害处治方案选取原则。复杂地质背景条件下国省干线公路养护面临类型多样、规模不一、危害程度不同的地质病害,且灾害的孕育、发展、发生是一个动态过程,目前稳定的地带在未来演化过程中,在地表水、地下水、风、地震等诱发下可能发生新的地质病害,公路养护应建立地质病害台账,合理利用养护资金,分期处治,以达到最好的资金利用效果。

参考文献:

[1] 薛霞.探讨新形势下国省道干线公路养护管理的应对措施[J].建筑技术开发,2018(10):96-97.
 [2] 柯热·恒考.利用支持四省藏区发展政策加快四川等藏区综合交通运输业全面发展的思考[J].改革与开放,2012(6):126-127+129.
 [3] 田强春,朱洪洲,王庆珍.西南山区干线公路阻断状况研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2014,33(3):41-44+57.
 [4] 贾来庭.四川省茂县地质灾害调查与区划报告[R].成都:四川省地质矿产勘查开发局成都水文地质工程地质队,2003:4-9.
 [5] 杨学之.四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县地质灾害调查与区划报告[R].成都:四川省广汉地质工程勘察院,2005:29-50.
 [6] 黄润秋.汶川地震地质灾害研究[M].北京:科学出版社,2009:23-76.

收稿日期:2020-06-26

(上接第 81 页)

掺量对马歇尔指标的影响分析[J].公路交通科技(应用技术版),2019(7):83-86.
 [3] 郭娟,王立辉.高 RAP 掺量热再生沥青混合料动态流变性能研究[J].公路,2018(9):242-248.
 [4] 熊颖,陈维,姚玉权.等.基于马歇尔指标的就地热再生沥青混合料再生剂用量分析[J].公路交通科技(应用技术版),2019(8):80-84.
 [5] 程英伟,宋崇惠,彭蕾.温拌再生沥青混合料的拌和成型工艺研究[J].公路,2019(7):41-45.
 [6] 姚彪,师阳.就地热再生沥青混合料配合比优化设计[J].兰州工业学院学报,2019,26(4):40-46.
 [7] 程英伟,宋崇惠,杨继强.温拌再生沥青混合料的配合比设计[J].武汉轻工大学学报,2019,38(1):107-111.
 [8] 拾方志,马卫民.沥青路面再生技术手册[M].北京:人

民交通出版社,2006.
 [9] 刘亮.RAP 表面特性及其性能改善研究[D].西安:长安大学,2016.
 [10] 曹卫东,王彬,刘树堂,等.厂拌热再生沥青混合料最佳新沥青用量范围估算[J].中外公路,2018,38(6):277-280.
 [11] 范鹏云,刘冰剑,路再红,等.渗透剂对再生沥青混合料性能的影响[J].公路,2019(3):43-46.
 [12] 黄育华,陈楚鹏,方杨.不同新沥青混合料掺配比例现场热再生沥青混合料路用性能分析[J].广东公路交通,2019(1):16-19.
 [13] 杨林,李文博.热再生沥青混合料有效再生率的影响分析[J].科学技术与工程,2019,19(5):291-296.

收稿日期:2020-05-23