

# 乌鞘岭地区高速公路沿线地质灾害发育特征及防治措施

毛正君<sup>1</sup>, 杨晓华<sup>1</sup>, 王晓钟<sup>2</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 西安 710064; 2. 甘肃路桥公路投资有限公司, 兰州 730030)

**摘要:** 乌鞘岭地区高速公路是国道主干线的重要组成路段。开展高速公路沿线地质灾害研究, 将为该区域高速公路沿线地质灾害防灾减灾提供基础依据。通过实地调查和分析, 查明了乌鞘岭地区高速公路沿线地质灾害发育特征、时空分布规律及形成条件。结果表明: 乌鞘岭地区高速公路沿线地质灾害类型主要为泥石流和不稳定斜坡, 其中泥石流灾害具有分布广泛、发生频率高等特点; 不稳定斜坡局部或零星分布, 且现状危害轻; 从时空分布规律上来看, 具有条带性和集中性; 形成条件包括地形地貌、地层结构、降雨、人类工程活动和地震; 泥石流采取合理选线、监测预警、跨越疏导及生态恢复的防治措施; 不稳定斜坡采取优化坡面形态、排水措施、工程治理结合植物防护的防治措施。

**关键词:** 地质灾害; 发育特征; 防治对策; 高速公路; 乌鞘岭地区

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)01-0202-04

## Study on Prevention Measures and Development Characteristics of Geological Hazards along the Expressway in the Wushaoling

MAO Zheng-jun<sup>1</sup>, YANG Xiao-hua<sup>1</sup>, WANG Xiao-zhong<sup>2</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Highway Investment Co., Ltd Gansu Road & Bridge Group, Lanzhou 730030, China)

**Abstract:** Expressway in the Wushaoling is the important section of national trunk highway. Research for geological hazards along the expressway will provide the basis for disaster prevention and reduction. Based on field investigation and analyses, the development characteristics, temporal and spatial distribution and formation conditions of geological hazards along the expressway in Wushaoling were found. The results indicate that debris flow and unstable slope are the main types of geological hazards along the expressway in Wushaoling. Debris flow disaster distributes widely and occurs frequently. Unstable slope distributes locally or fragmentarily, and its hazards is gentle, which is characterized as zonal and concentrated features in terms of temporal and spatial distribution. Geomorphology, stratum structure, rainfall, human engineering activity and earthquake are considered as the formation conditions of geological hazards. Debris flow is controlled by applying for reasonable selecting lines, monitoring and warning, cross grooming and ecological restoration. Unstable slope is controlled by the means of optimizing slope morphology, drainage measures, engineering treatment combined with plant protection.

**Key words:** geological hazard; development characteristic; prevention measure; expressway; Wushaoling

由于跨越多种地貌单元及地质环境, 带状的公路工程与地质环境相互联系并相互影响。公路工程建设既受到各种地质灾害及潜在灾害因素的威胁和影响, 又反过来对沿线地质环境造成强烈扰动, 引发新的地质灾害。随着《地质灾害防治条例》、《全国地质灾害防治规划》及《全国突发性地质灾害应急预案》的

实施, 地质灾害监测预警成效明显, 成功避让地质灾害 500 起, 安全转移 11 376 人, 避免财产损失 3.41 亿元<sup>[1]</sup>。由于地质灾害形成的复杂性和不确定性, 地质灾害仍然造成人员伤亡和财产损失, 2009 年全国共发生各类地质灾害 10 446 起, 造成人员伤亡 809 人, 造成直接经济损失约 17.7 亿元<sup>[2]</sup>。公路地质

收稿日期: 2011-07-07

修回日期: 2011-08-11

资助项目: 西部交通建设科技项目 (200731800038); 西部交通建设科技项目 (200131800053)

作者简介: 毛正君 (1983—), 男, 宁夏固原人, 博士研究生, 从事地质灾害、地质工程与岩土工程方面的研究工作。E-mail: zhengjun\_mao@163.com

通信作者: 杨晓华 (1961—), 男, 河北唐山人, 教授, 博士生导师, 博士, 从事公路岩土与隧道工程的研究。E-mail: xiaohuay@126.com

灾害的发生将对公路基础设施的建设和运营产生严重的危害,不仅制约了公路交通持续稳定的发展,也成为区内国民经济建设和发展的重要制约因素<sup>[3]</sup>。

乌鞘岭地区位于黄土高原、内蒙古高原和青藏高原的交汇地带,地形与地貌类型复杂,地质构造复杂,岩性岩相变化大,地质环境条件复杂,生态环境脆弱。乌鞘岭地区高速公路是国道主干线系统中“五纵七横”的重要组成路段,是内陆与沿海重要的陆路交通要道;同时也是甘肃省公路网干线系统中“四纵四横”的主要组成路段,是河西走廊地区与兰州地区经济交流与合作的主要纽带。查明乌鞘岭地区高速公路沿线地质灾害隐患,分析地质灾害发育特征、时空分布规律及形成条件,将为乌鞘岭地区高速公路建设和运营阶段地质灾害防灾减灾提供基础依据。

## 1 地质环境概况

乌鞘岭地区高速公路起点位于兰州市永登县徐家磨村,接树(屏)徐(家磨)段高速公路的终点,沿途经永登、天祝和古浪三县,终止于古(浪)永(昌)段高速公路的起点。总体走向由南东向北西展布,建设段公路全长 149.47 km。乌鞘岭地区具有大陆性气候和青藏高原气候的综合特点,处于半干旱区向干旱区过渡地带,乌鞘岭南北气候各异,区内降雨空间分布不均,降雨少、蒸发量大、气温低、日照短、昼夜温差明显,夏季炎热而冬季寒冷,同一年内降水分布极不均匀,分为明显的雨季和旱季;区内河流为黄河一级支流庄浪河和内陆河流域的石羊河一级支流古浪河,属常年性河流;区内各地土壤不尽相同,山地多以草甸草原土为主,其次为大黑土、黑麻土,植被比较发育,且具有明显的垂直分带规律;该区地处黄土高原和祁连山地的交汇地带,地势西北高,东南低,海拔 1 800~3 900 m,具有山川相间,丘壑交错的特点;区内出

露的地层主要有奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、三迭系、侏罗系、白垩系、上第三系和第四系;该区属祁连多字型构造体系——陇西帚状构造体系,祁连多字型构造体系展布在祁吕弧形褶皱西翼之中,由一系列斜列相间的褶皱构成,陇西帚状构造体系由三条主要弧形旋扭褶皱组成;该区域在上升的大趋势下以不平衡的升降运动为特征,又地处祁连山—河西走廊地震带,新构造运动非常强烈<sup>[4]</sup>。

## 2 地质灾害特征

乌鞘岭地区高速公路沿线地质灾害类型主要为泥石流和不稳定斜坡两类地质灾害,其中泥石流灾害具有分布广泛、发生频率高等特点;不稳定斜坡局部或零星分布,且现状危害轻。

### 2.1 泥石流

乌鞘岭地区高速公路沿线发育泥石流沟 124 条。该地区高速公路沿线泥石流均由暴雨因素激发形成,集中发生于每年降雨强度高的月份;从地貌部位来看,均属山区泥石流,峡谷地形,坡陡势猛,破坏性大;从流域形态来看,沟谷型泥石流 97 条,流域呈扇形或狭长条形,沟长坡缓,规模大,山坡型泥石流 27 条,流域呈斗状,无明显流通区,形成区与堆积区直接相连,沟短;从物质组成来看,均为泥石流,由土、砂、石混杂组成,颗粒差异较大;从固体物质提供方式来看,为坡面侵蚀泥石流,固体物质主要由坡面或冲沟侵蚀提供;从流体性质来看,稀性泥石流约占 80%,紊流,散流,浓度小,破坏力较弱,堆积物分选性强,粘性泥石流约占 20%,层流,有阵流,浓度大,破坏力强,堆积物分选性差;从堆积物体积来看,大型泥石流沟 3 条,中型泥石流沟 33 条,小型泥石流沟 88 条<sup>[5-6]</sup>。乌鞘岭地区高速公路沿线泥石流灾害典型照片见图 1。乌鞘岭地区高速公路沿线屯沟泥石流灾害示意图见图 2。

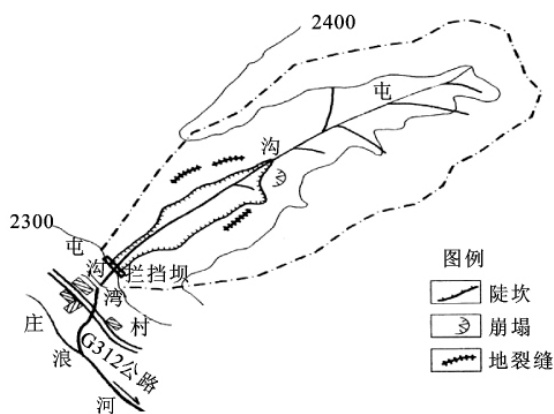


石牛沟沟道地貌及堆积物



疙瘩沟泥石流堆积物

图 1 泥石流灾害典型照片

图 2 屯沟泥石流灾害示意图<sup>[5]</sup>

圈湾公路边坡



高岭隧道进口边仰坡

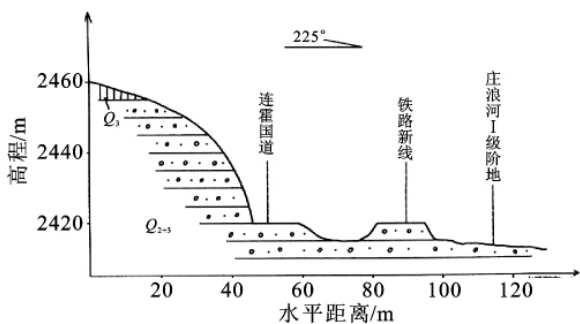


高岭隧道进口弃土场



安远隧道进口边仰坡

图 3 不稳定斜坡典型照片

图 4 柏林沟口不稳定斜坡剖面图<sup>[5]</sup>

### 3 地质灾害时空分布规律

#### 3.1 空间分布规律

泥石流主要沿庄浪河两岸呈带状分布,庄浪河左岸徐家磨—满城段、永登县城—陈家沟段分布密度最大,占泥石流总数的 80% 以上;其次在萱麻河右岸分布密度较大,其它路段零星分布。由于泥石流规模大多为小型,加之沟口人为活动强烈,所以冲洪积扇发育不

#### 2.2 不稳定斜坡

乌鞘岭地区高速公路沿线不稳定斜坡共发育 20 处,现状危害轻,可分为土质斜坡和岩质斜坡。土质斜坡物质组成有单一碎石土斜坡、单一黄土斜坡和黄土碎石土接触型斜坡;岩质斜坡仅一处。该区高速公路沿线不稳定斜坡具有以下特征:坡度大都  $40^\circ$ ,坡高多在 60 m 以上,坡宽大都 400 m,现今皆无变形迹象,除局部坍塌。降雨和地震是导致斜坡失稳转变为崩塌或滑坡的主要诱发因素。乌鞘岭地区高速公路沿线不稳定斜坡典型照片见图 3。乌鞘岭地区高速公路沿线柏林沟口不稳定斜坡剖面见图 4。

完整。不稳定斜坡大多分布在庄浪河沟谷高阶地前缘、沟谷边缘及丘陵高陡斜坡地带,以主支沟交汇处较为常见,且成群出现;其次,乌鞘岭隧道群出入口及引线地段,也零星分布不稳定斜坡。人工开挖形成的不稳定斜坡主要分布于已建徐家磨至满城段路堑边坡。

#### 3.2 时间分布规律

降水多的年份或年内雨量集中的年份为泥石流及滑坡崩塌的多发年份。乌鞘岭地区高速公路沿线泥石流以暴雨型为主,暴雨多集中于 7—9 月,而泥石流的暴发多集中于此期间,约占全部泥石流暴发频率的 90% 以上。区内泥石流的暴发频率较高,部分泥石流每年可暴发数次。

### 4 地质灾害形成条件

#### 4.1 地形地貌

斜坡地形是滑坡、崩塌灾害产生的先决条件<sup>[7-8]</sup>。乌鞘岭地区高速公路沿线构造基岩山地、丘陵区,构

造活动强烈,沟谷深切、地形陡峻、冲沟发育。流域形态以“柳叶形”、“桃叶形”和“瓢形”较多,利于雨水汇集和固体物质的起动。沟谷山坡坡度一般为  $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ,沟床纵坡比降较大,大于 100‰ 的占 53.2%,小于 100‰ 的占 46.8%。乌鞘岭地区沟谷流域面积多为  $2 \sim 10 \text{ km}^2$ ,以小流域为主,因此特殊的地形条件有利于泥石流的形成。

徐家磨至满城段的庄浪河左岸高阶地和部分丘陵梁阶边缘地带边坡较陡,坡度多在  $35^{\circ}$  以上,且下部因修建公路、铁路开挖坡脚形成人工边坡,坡度为  $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ,高  $10 \sim 30 \text{ m}$ ,为不稳定斜坡失稳创造了有利的临空条件。

#### 4.2 地层结构

乌鞘岭地区高速公路沿线气候干旱,季节和昼夜温差大,岩石风化强烈,岩体力学强度低。基岩风化堆积物、黄土崩塌堆积物、冰雪冻融和风化剥蚀形成的松散堆积物为泥石流的形成提供了主要的固体松散物质。除此之外,沟谷冲洪积物以及人类活动的弃土弃渣也起到了一定的作用。

根据野外实地调查,沿线黄土垂直节理发育,具强湿陷性,遇水易崩解形成落水洞、地裂缝等,有利于雨水、洪水渗漏和谷底边角冲蚀,使土体结构遭受破坏。白垩系和第三系地层为泥岩夹砂岩,岩体泥质含量高,具较强的隔水性,干燥时强度较高,遇水软化后强度迅速下降,形成软弱面或软弱带,不利于岩土体稳定。黄土是区内最主要的易滑、易崩地层<sup>[9-10]</sup>。

#### 4.3 降雨

降雨是乌鞘岭地区地质灾害发育的主要诱发因素之一。多雨年份地质灾害发生频次明显高于正常年份,年内的地质灾害集中发生于夏秋 7—9 月的多雨季节。泥石流的形成与降雨密切相关,降雨是形成泥石流的主要条件。乌鞘岭地区年均降水量为介于  $200 \sim 500 \text{ mm}$ <sup>[11]</sup>,处于甘肃省黄河以西区域,其可能发生泥石流的 24 h 限界雨量  $H_{24(D)}$ 、最大 1 小时限界雨量  $H_{1(D)}$  和 10 min 限界雨量  $H_{1/6(D)}$  依次为 25 mm、15 mm 和 5 mm<sup>[12]</sup>。根据乌鞘岭地区高速公路沿线气象资料统计,永登县境内 24 h 降水量最大值为 70.0 mm,1 h 降水量最大值为 46.7 mm;天祝县境内 24 h 降水量最大值为 77.0 mm,1 h 降水量最大值为 65.0 mm;古浪县境内 24 h 降水量最大值为 40.0 mm,1 h 降水量最大值为 23.3 mm<sup>[5]</sup>。乌鞘岭地区降雨条件均达到和超过泥石流形成的临界值,具备泥石流形成的条件。

#### 4.4 人类工程活动

在地质灾害的控制与影响因素中,地质环境条件

变化缓慢,降雨和人类工程活动则是最活跃的因素<sup>[13]</sup>。乌鞘岭地区人类工程活动主要表现为开挖边坡、筑路、开挖宅基等活动。这些人类工程活动改变了地质环境状态和斜坡的应力条件,形成了大量的松散堆积物,引发了一系列的泥石流、崩塌和滑坡等地质灾害。

#### 4.5 地震

本区处于我国南北地震带,历史上地震频发且强烈,地震惯性力及地震过程中坡脚应力瞬时增加,导致处在不稳定状态下的斜坡失稳而形成崩塌,是诱发山体陡坡失稳的重要因素之一,本区处于地震烈度Ⅶ—Ⅸ度区。地震一方面使斜坡岩土体结构破坏。另一方面,地震营力作用可直接使边坡失稳发生崩塌。

### 5 地质灾害防治措施

#### 5.1 泥石流

(1)合理选线。通过在乌鞘岭地区高速公路建设初期的可行性研究阶段及后期设计阶段的合理选线,最终所采用的方案,规避了大型泥石流沟。

(2)监测预警。在乌鞘岭地区高速公路施工及运营中,开展气象地质灾害监测预警工作,建立乌鞘岭地区高速公路沿线降雨量与地质灾害历史资料数据库,不断提高乌鞘岭地区高速公路沿线气象地质灾害预警预报的水平。

(3)跨越疏导工程。修建桥涵,从泥石流沟上方跨越通过,并在沟谷水流冲刷区,沿沟谷修建导流渠,将泥石流引往远离乌鞘岭地区高速公路的区域。导流渠的设计必须考虑泥石流的流量,防止泥石流漫过导流渠的情况发生。

(4)生态恢复治理。依据恢复生态学原理,对乌鞘岭地区高速公路沿线泥石流沟进行生态恢复治理,因地制宜地提高植被覆盖率,截滞、拦蓄大气降水,减少地表径流,保持水土。

#### 5.2 不稳定斜坡

(1)优化坡面形态。乌鞘岭地区高速公路路堤边坡与路堑边坡采用了较缓的坡率,比例为 1:1.5,对于高边坡,采取台阶型边坡,由上而下逐步放缓。

(2)排水措施。乌鞘岭地区高速公路沿线路基、路堑边坡及隧道洞口边仰坡均设置了排水沟、截水沟等排水措施。

(3)工程治理结合植物防护。对于路堤边坡和路堑边坡,采用拱形骨架结合植物防护或全断面植物防护;对于隧道洞口边仰坡,临时防护采用锚网喷,自上而下,随开挖分层及时施作,永久防护采用骨架护坡结合植物防护。

(下转第 211 页)

表 1 渭北塬边滑坡成灾模式及特征识别表

识别类别	基本特征
地面形态特征识别	发育于黄土塬边,上部为厚层黄土—古土壤地层,下部多为砂砾石—红黏土层,近水平层状
结构特征识别	滑带土内摩擦角遇水强度<15°;临空好的黄土塬边地带,滑体后缘裂隙发育,红黏土层处承压水压力高,滑带地层在地下水及长期蠕变作用下,导致滑坡分级分块失稳破坏
失稳模式特征识别	深层旋转或多级旋转滑动
触发动力	降雨/灌溉 低—高速/近—远程滑动
	人工挖填 低—高速/近—远程滑动
	地震 低—高速/近—远程滑动
复合灾害特征	土流/崩塌/堰塞湖
滑坡动力效应	液化效应

(1)渭北黄土台塬塬边 100~200 m 的斜坡坡高、25°~45°的坡度和凸形坡形为滑坡发育提供有利的地形地貌条件。

(2)地层岩性和地质构造是渭北大型塬边古老黄土滑坡发生的控制性因素。宝鸡渭河北岸黄土塬边控制滑坡发生的结构包括黄土—阶地—三门组红黏土斜坡和黄土—三趾马红土—基岩斜坡,上新世三门组红黏土和三趾马红土是易滑地层,这两套易滑地层具有成岩时间短,胶结程度差、遇水显著膨胀和极易崩解等特性,从强度而言,无论是天然状态还是饱水状态,易滑地层均会出现突发性脆性破坏,剪强度的瞬时损失差值在 50% 以上;地质构造对滑坡的控制作用体现新构造活动及断裂等的影响,新构造活动孕育滑坡发生的地形地貌环境,而伴生的小型断层和构造节理裂隙则破坏了坡体的完整性,为水的快速下渗

和软弱结构面提供了前提,控制了滑坡的发生。

(3)渭北大型滑坡目前发生的主要诱发因素是水的作用和人类工程活动。塬边地带为地下水排泄区,水力坡度大,渗流速度快,对基座底层中上新世红黏土产生软化作用,而连阴雨及灌溉使地表水沿节理裂隙快速下渗,增大坡体重量,促使裂缝扩张,加速斜坡平衡的破坏,在削坡、加载、灌溉等人类工程活动作用,易发生新滑坡。

(4)从稳定性分析角度看,渭河北岸大型滑坡整体基本稳定,多以小型滑塌为主,地下水和人类工程活动对其整体稳定性影响较大。

参考文献:

[1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社,1985.

[2] 胡广韬. 滑坡动力学[M]. 北京:地质出版社,1995.

[3] 胡海涛,项式均,王肇芬,等. 关中西部滑坡的桔构、构造特征及稳定性分析[J]. 地质学报,1965,45(4):435-465.

[4] 孙广忠. 西北黄土的工程地质力学特性及地质工程问题研究[M]. 兰州:兰州大学出版社,1989.

[5] 冯希杰,李忠生,宋立胜,等. 宝鸡簸箕山滑坡地震勘探[J]. 水文地质工程地质,2003(4):55-58.

[6] 刘传正,张明霞,邹正盛,等. 宝鸡市狄家坡滑坡稳定性研究[J]. 工程地质学报,1998,6(2):93-103.

[7] 王景明. 渭河裂谷区活断层对地质灾害的制约[J]. 水土保持学报,1988,5(3):29-36.

[8] 程谦恭. 论渭河盆地现代山崩滑坡和地裂隙灾害的活动周期[J]. 水土保持学报,1989,6(3):71-83.

[9] 冯希杰,田勤俭,申旭辉. 渭河断裂西段活动差异性分析[J]. 地质论评,2003,49(3):233-238.

[10] 陈云,童国榜,曹家栋,等. 渭河宝鸡段河谷地貌的构造气候响应[J]. 地质力学学报,1999,5(4):49-55.

(上接第 205 页)

参考文献:

[1] 中华人民共和国国土资源部. 2005 年中国国土资源公报[J]. 国土资源通讯,2006(8):26-30.

[2] 中华人民共和国国土资源部. 2009 年中国国土资源公报[J]. 国土资源通讯,2010(7):4-13.

[3] 陈开圣,肖涛,彭小平. 贵州省公路地质灾害基本特征及防治对策研究[J]. 公路,2007(11):135-139.

[4] 甘肃省交通规划勘察设计院有限责任公司. 连云港至霍尔果斯国道主干线永登(徐家磨)至古浪公路工程可行性研究报告[R]. 兰州:甘肃省交通规划勘察设计院有限责任公司,2004.

[5] 甘肃省地质环境监测院. 连云港—霍尔果斯国道主干线永登(徐家磨)至古浪公路地质灾害危险性评估报告[R]. 兰州:甘肃省地质环境监测院,2005.

[6] 中国地质调查局. 滑坡崩塌泥石流灾害详细调查规范(DD2008-02)[S]. 2008:9-11.

[7] 雷祥义,魏青珂. 陕北伤亡性黄土崩塌成因与对策研究[J]. 岩土工程学报,1998,20(1):64-69.

[8] Nakamura H, Tsuchima S. Analysis of piles works assuming slide movement[J]. Journal of the Japan Landslide Society,1987,24(2):17-31.

[9] 曲永新,张永双,覃祖森. 三趾马红土与西北黄土高原滑坡[J]. 工程地质学报,1999,7(3):257-265.

[10] Derbyshire E. Geological hazards in loess terrain, with particular reference to the loess regions of China [J]. Earth-Science Reviews, 2001,54:231-260.

[11] 李栋梁,刘德祥. 甘肃气候[M]. 北京:气象出版社,2000.

[12] 谭炳炎,段爱英. 山区铁路沿线暴雨泥石流预报的研究[J]. 自然灾害学报,1995,4(2):43-52.

[13] Rosen A M. The impact of environmental change and human land use on alluvial valleys in the Loess Plateau of China during the Middle Holocene[J]. Geomorphology,2008,101:298-307.