

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.04.17

九寨沟地震区公路沿线地质灾害发育规律及防治对策

程 强, 胡朝旭, 杨绪波

(四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院, 四川 成都 610041)

摘要: 九寨沟 7.0 级地震诱发公路沿线大量地质灾害, 通过对公路沿线地震地质灾害的遥感解译和现场调查, 表明地质灾害以中小型崩滑灾害为主, 高陡斜坡路段岩土体失稳灾害突出, 地震诱发岩土体失稳部位坡度一般在 36° 以上, 树木对坡面滚石拦挡作用显著。地震诱发地质灾害主要分布在地震烈度为 VIII 度和 IX 度的区域, 在川主寺至九寨沟公路的上四寨至九寨沟天堂段、九寨沟景区公路的五花海至箭竹海段形成 2 个地质灾害密集发育区。震后边坡上残留崩滑堆积物、拉裂变形岩土体、植被丧失, 易于产生坡面滚石、泥石流、溯源侵蚀等次生灾害, 对公路造成危害, 应采取绕避、被动及主动防护、生态修复等措施。

关键词: 九寨沟 7.0 级地震; 公路地质灾害; 发育规律; 次生灾害; 防治对策

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)04-0114-07

Developmental regularity and preventive countermeasures of geological hazards along the highway in Jiuzhaigou earthquake area

CHENG Qiang, HU Chaoxu, YANG Xubo

(Highway Planning, Survey and Design Research Institute, Sichuan Provincial
Communication Department, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: The 7.0 magnitude earthquake in Jiuzhaigou caused a large number of geological hazards along the highway. Through remote sensing interpretation and field investigation of seismic geological hazards along the highway, it shows that earthquake-induced geological hazards are mainly small and medium scale landslides, high and steep slope section are prominent. The slope gradients of landslides are generally larger than 36° , trees barrier effect to the rolling stone is very significant. The earthquake-induced geological hazards mainly distributed in seismic intensity VIII degree and IX degree area. There are two geological hazards densely developed area, one is from Shangsizhai to Jiuzhaitiantang section in the highway from Chuanzhusi to Jiuzhaigou, the other is from Wuhua Lake to Jianzhu Lake in the Jiuzhaigou scenic highway. Landslide deposits on the post-earthquake slope, together with cracked and deformed slope rock mass and the vegetation loss, are easy to produce secondary hazards such as rockfall, debris flow and retrogressive erosion. In order to protect the highway, measures such as avoiding, passive and active protection, ecological restoration, etc should be taken to prevent and control geological hazards.

Keywords: the 7.0 magnitude earthquake in Jiuzhaigou; highway geological disaster; developmental regularity; secondary hazards; preventive countermeasures

收稿日期: 2017-11-07; 修订日期: 2018-01-03

基金项目: 交通运输部建设科技项目(2013318800020)

第一作者: 程 强(1972-), 男, 工学博士, 教高, 主要从事公路工程地质勘察设计及研究。E-mail: chengqiangy@163.com

0 引言

山区地震常诱发大量地质灾害,给顺河谷布线公路造成严重损毁。2008年汶川8.0级地震,造成69.02 km公路路基被埋,47.2 km公路被堰塞湖淹没,多座桥梁被砸毁^[1]。2013年芦山7.0级地震及2014年鲁甸6.5级地震等发生于山区的地震灾害,均诱发河谷两侧边坡大量崩滑灾害,致使顺河谷布线公路严重受损^[2-3]。汶川地震、芦山地震、鲁甸地震研究均表明,高陡硬岩斜坡地段地震作用下更易发生地质灾害^[2-4]。

2017年8月8日四川省九寨沟县发生7.0级地震,同样位于深切峡谷山区,地震诱发公路沿线大量崩滑灾害,造成公路中断。本文在震后公路沿线地质灾害调查基础上,研究分析地震地质灾害发育规律,并借鉴汶川及芦山地震经验,分析研究震后次生灾害主要形式和发展演化规律,为灾后公路保通和恢复重建提供参考。

1 九寨沟地震区概况

九寨沟地震区地形地质条件复杂,主要有如下特征:

(1) 气候复杂多变、植被茂密

地震区属川西高原气候中的暖温带,接近四川盆地的亚热带湿润的气候区中的盆地西部边缘区,温和偏冷,夏短冬长,垂直差异大。区内弓杠岭为岷江水系和涪江水系的分水岭,在弓杠岭-九寨沟沿线,多为原始林区,植被茂密。

(2) 地处高海拔深切峡谷山区,海拔高、高差大、边坡陡

地震区属高海拔区,九寨沟县城海拔高度1406 m,九寨沟口海拔1996 m,川主寺海拔2980 m,公路两侧山峰最高海拔多在4000 m以上,河谷切割深度多在1000 m以上,部分区域河谷两侧边坡极为陡峻。

(3) 地层岩性复杂多变,川主寺-九寨沟沿线以硬质灰岩为主

地震区地层岩性复杂,出露地层繁多,川主寺至九寨沟公路沿线主要出露三叠系、二叠系、石炭系地层,以灰岩为主。

(4) 地质构造复杂,区内活动断裂发育

震区在构造体系上位于摩天岭东西向构造与秦岭东西向构造之间,岷江南北向构造带以东地带,其西、北、南均有明显的断裂带,构造复杂,属新构造运动强烈区,由一系列复背斜、复向斜构成,形成了一系列北东向和南北向的构造体系。

九寨沟地震震中是岷江断裂、塔藏断裂、虎牙断

裂、雪山梁子断裂等活动断裂围闭的空震区,且余震展布与南侧的虎牙断裂北西向延伸方向一致(据中国地震局地质所网站)。由于震级不是特别大、地形陡峭和植被茂密的限制,野外未观测到地表破裂,文献[5]通过利用地震前后两期合成孔径雷达数据对地表真实形变场进行的InSAR测量,认为控震构造是巴颜喀拉地块北缘边界断裂弧形旋转体系的尾端构造,发震断层是该断裂系中的塔藏断裂的南段。

九寨沟地震震中位于东经103.82°,北纬33.20°,震源深度约为20 km。地震最高烈度为IX度,Ⅷ度及以上区域面积约1719 km²,地震区简图见图1(参考文献[6]绘制)。地震区公路中,地震烈度位于Ⅶ及以上区域的有S301线川主寺至九寨沟公路、上四寨至神仙池和九寨沟景区内公路。

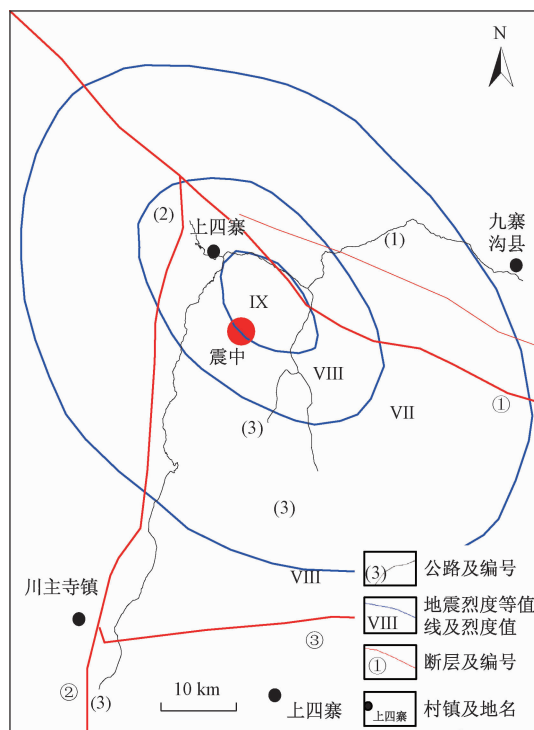


图1 九寨沟地震区简图(参考文献[6]绘制)

Fig.1 Schematic diagram of Jiuzhaigou earthquake area(drawing by reference [6])

①塔藏断裂;②岷江断裂;③雪山梁子断裂。

(1)川主寺-九寨沟公路;(2)上四寨-神仙池公路;(3)九寨沟内公路

2 公路沿线地质灾害主要特征及规律

2.1 公路沿线地质灾害发育概况

根据遥感解译及调查研究,2017年8月8日九寨沟地震诱发地质灾害,主要分布在九寨沟沟谷两侧、白河河谷两侧(上四寨至关门子段为主)、上四寨至神仙

池沟谷(靠近上四寨路段)右侧。公路沿线地质灾害点分布情况见图2。

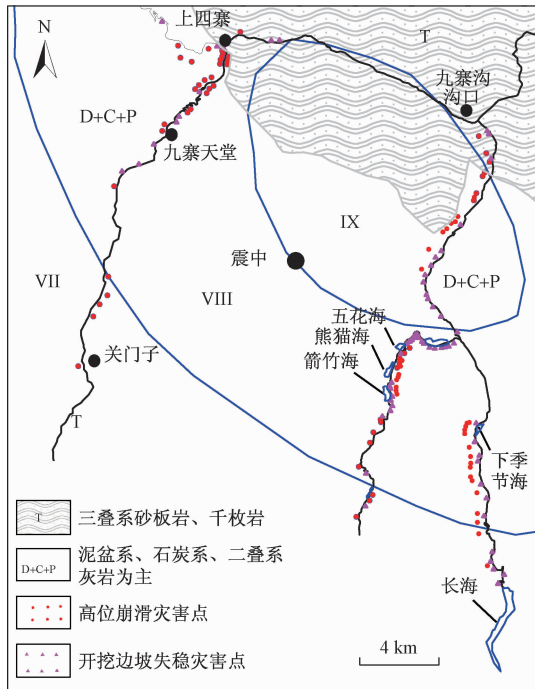


图2 公路沿线地质灾害分布图

Fig.2 Distribution map of geological hazards along the highway

注:图中仅标示了对公路构成危害的灾害点

川主寺至九寨沟公路全长 124.6 km。以弓杠岭

分水岭为界,川主寺至弓杠岭段顺岷江河谷布线,公路两侧地形平缓,海拔均在 3 000 m 以上。弓杠岭至九寨沟县城段顺白河河谷布线为深切峡谷地貌,两侧山峰海拔多在 4 000 m 以上。沿线地质灾害以崩塌和滑坡灾害为主,公路沿线地质灾害点分布情况见图 2,各段地质概况及灾害发育情况见表 1。

由图 2 及表 1 可以看出,沿线地质灾害主要分布在关门子-上四寨路段,其中上四寨至九寨沟天堂段最为密集。全线对公路构成危害的灾害点/群共 29 处,其中公路开挖边坡地质灾害 8 处(崩塌 1 处,滑坡 7 处),高位自然斜坡地质灾害 20 处(崩塌 19 处,滑坡 1 处),路基滑坡 1 处。

九寨沟内景区公路全长 47.34 km,公路两侧均为深切峡谷地貌。沿线地质灾害以公路开挖边坡岩土体失稳和高位崩塌灾害为主,公路沿线地质灾害点分布情况见图 2,各段地质概况及灾害发育情况见表 2。

由图 2 及表 2 可以看出,公路沿线各段地质灾害均有分布,五花海至箭竹海路段地质灾害最为发育。公路沿线地质灾害为开挖边坡岩土体失稳(共 53 处),以及公路高位自然斜坡岩土体失稳灾害(对公路构成危害的共 46 处)。

2.2 公路沿线地质灾害特征及规律

九寨沟地震诱发公路沿线地质灾害,具有如下特征及规律:

表 1 川主寺至九寨沟公路沿线地震地质灾害概况

Table 1 Survey of earthquake geological hazards along the highway from Chuanzhushi to Jiuzhaigou

段落	里程范围	长度/km	地震烈度	地质概况	危害公路地质灾害数量/处	地质灾害发育概况
川主寺-弓杠岭	K0~K33	33	Ⅵ~Ⅶ	顺岷江河谷布线,公路两侧多为第四系堆积物,地形平缓,海拔 2 980~3 690 m。	—	未见明显地震地质灾害
弓杠岭-关门子	K33~K49	16	Ⅶ	深切峡谷山区,河谷海拔 2 760~3 690 m,两侧山峰海拔多在 4 000 m 以上。公路两侧斜坡边坡坡度一般在 30°以上,局部较陡。植被茂密,以乔木为主。	—	局部高陡边坡崩塌落石灾害
关门子-干河坝	K49~K55	6	Ⅶ	深切峡谷区,河谷海拔 2 760~2 970 m。公路两侧斜坡边坡坡度一般在 30°以上,局部较陡,甘海子、九寨沟天堂等路段地形平缓。植被茂密,以乔木为主。	5	高陡边坡崩塌落石灾害发育,对公路构成危害的灾害点较少
干河坝-九寨沟天堂	K55~K65	10	Ⅷ	深切峡谷区,河谷海拔 2 250~2 760 m。公路两侧斜坡边坡坡度一般在 40°以上,河谷狭窄,岸坡陡峻。植被茂密,以乔木为主。	6	高陡边坡崩塌灾害密集发育,对公路损毁严重
九寨沟天堂-上四寨	K65~K72	7	Ⅷ	深切峡谷区,河谷海拔 2 000~2 250 m。公路两侧斜坡边坡坡度一般在 30°以上,局部较陡。植被茂密,以乔木为主。漳扎村段落河谷较宽,公路布设于村寨中间。	15	局部发育崩滑灾害
上四寨-九寨沟口	K72~K85.6	13.6	Ⅷ~Ⅸ	深切峡谷区,河谷海拔 1 400~2 000 m,公路两侧斜坡边坡坡度一般在 30°以上,局部较陡。植被较茂密,乔、灌为主。	3	局部陡坡落石灾害
九寨沟口-九寨沟县		39	Ⅵ~Ⅷ		—	

表 2 九寨沟景区公路沿线地震地质灾害概况

Table 2 Survey of earthquake geological hazards along the Jiuzhaigou scenic highway

段落	里程范围	长度/km	地震烈度	概况	危害公路地质灾害数量/处	地质灾害发育概况
树正沟段	K0 ~ K13.76	13.76	Ⅷ ~ Ⅸ	深切峡谷地貌,河谷海拔 2 000 ~ 2 368 m, 山峰海拔 3 000 m 以上,边坡坡度一般在 30° 以上,局部较陡。出露地层以石炭系、泥盆系灰岩为主。	14(开挖边坡) 12(高位崩塌)	边坡岩土体失稳零星发育,以灰岩陡坡结构面切割岩体失稳为主,部分灾害点滚石坠落至公路。
则查洼沟段	K13.76 ~ K18.2	4.44	Ⅷ	深切峡谷地貌,河谷海拔 2 368 ~ 3 060 m, 两侧山峰海拔 3 500 ~ 4 000 m 以上,边坡坡度一般在 30° 以上,局部路段较陡。出露地层以石炭系、泥盆系灰岩为主。植被茂密。	0	边坡岩土体失稳零星发育,公路布设于河谷中间,未受两侧灾害危害。
	K18.2 ~ K19.8	1.6	Ⅷ		1(开挖边坡) 5(高位崩塌)	边坡高位岩土体失稳灾害较为发育,尤其是河谷左侧,部分灾害点滚石坠落至公路。
	K19.8 ~ K30.44	10.64	Ⅶ ~ Ⅷ		11(开挖边坡) 11(高位崩塌)	边坡岩土体失稳零星发育,少量灾害点滚石坠落至公路。
日则沟段	YK0 ~ YK4	4	Ⅷ	深切峡谷地貌,河谷海拔 2 368 ~ 3 100 m, 两侧山峰海拔 3 500 ~ 4 000 m 以上,边坡坡度一般在 30° 以上,局部路段较陡(尤其是熊猫海路段)。出露地层以石炭系、泥盆系灰岩为主。植被茂密。	17(开挖边坡)	公路开挖边坡失稳问题突出,自然边坡岩土体失稳零星发育。
	YK4 ~ YK8	4	Ⅷ		7(开挖边坡) 10(高位崩塌)	边坡地质灾害连续密集发育,以结构面切割岩体失稳和浅层岩土体失稳为主。
	YK8 ~ YK16.9	8.9	Ⅶ ~ Ⅷ		3(开挖边坡) 8(高位崩塌)	局部发育边坡岩土体失稳灾害

(1) 地震地质灾害主要发生在地震烈度Ⅷ度及以上区域

由图 2、表 1 和表 2 可以看出,川主寺至九寨沟公路及九寨沟景区公路沿线地震地质灾害Ⅷ及以下区域仅 14 处,地质灾害主要分布在Ⅷ及以上区域。地质灾害连续密集发育的段落主要集中在川主寺至九寨沟公路的上四寨至九寨天堂路段,以及九寨沟景区公路的五花海至箭竹海路段,地震烈度均为Ⅷ度。

(2) 高位岩体失稳问题突出,危害巨大

九寨沟地震诱发河谷两侧高位岩土体失稳问题突出,高位岩土体失稳后,滚石冲击能量大,给公路造成严重危害。

K53 + 430 右侧崩塌为典型高位崩塌灾害,灾害点照片及典型剖面见图 3。灾害点为折线形斜坡,坡体上部为高度约 220 m 灰岩陡崖(石炭系岷河群厚-巨厚层状灰岩),下部为崩坡积斜坡段,植被茂密。地震作用下诱发陡崖岩体失稳,失稳岩体运动和堆积可划分为 2 个区域。

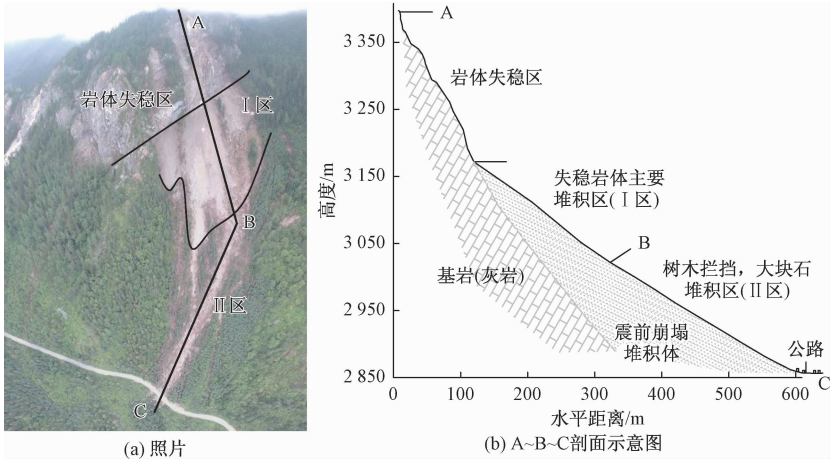


图 3 典型高位崩塌灾害照片及剖面示意图

Fig. 3 Picture and cross section diagram of typical high-position rock mass collapse

Ⅰ区:上部堆积区,岩体失稳后主要堆积区,散落宽度约 250 m,高度约 150 m。主要为失稳岩土体高位坠落后,顺坡滚动,折断树木,前缘为树木所拦挡。

Ⅱ区:中下部堆积区,岩体失稳后,大部分块碎石

为坡面生长乔木所拦挡,部分块石穿越下部乔木林,形成 3 个穿越槽,部分块石堆积于平缓地段,最大块石尺寸约 4.2 m × 3 m × 2 m。

(3) 地震地质灾害主要发生在陡斜坡段落

汶川地震及芦山地震地质灾害调查表明,地震诱发崩滑灾害主要发生在 40° 以上的陡坡段^[2,4]。本文对九寨沟地震调查也表明,地震诱发崩滑灾害失稳区多发生在高陡斜坡中上部,边坡顶部陡-缓交界部位。

根据图 2 及表 1、表 2,川主寺至九寨沟公路的上四寨至九寨沟路段,以及九寨沟景区公路的五花海至箭竹海路段,地震烈度虽为Ⅷ度,但地震诱发崩滑灾害的密度和规模均高于其它路段,主要原因在于这两个路段沟谷狭窄、地面横坡陡峻,无论是地质灾害的发育程度还是对公路的危害,都高于其它路段。而上四寨至九寨沟沟口路段,由于边坡坡度较缓且少见地貌突出部位,因此灾害较少。

图 4 为九寨沟天堂至上四寨路段地震地质灾害分布图,由图中可以看出,地震失稳区主要分布在地面横坡坡度 39° 及以上的区域。通过 34 条实测剖面统计,九寨沟地震区公路沿线地质灾害失稳区坡度在 36° 及以上的区域(图 5)。

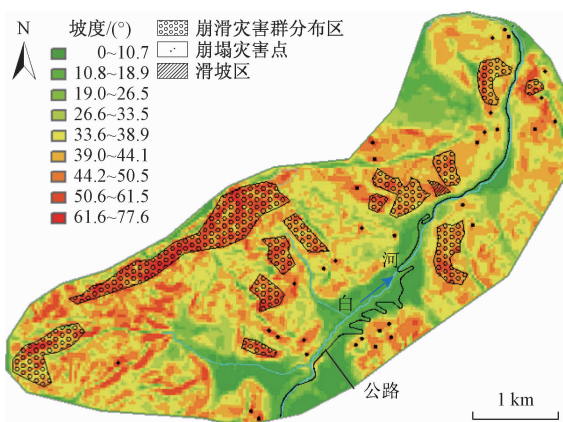


图 4 九寨沟天堂至上四寨段地形坡度及崩滑灾害分布图
Fig. 4 Distribution map of slope angles and landslides form Jiuzhai Tiantang to Shangzizhai

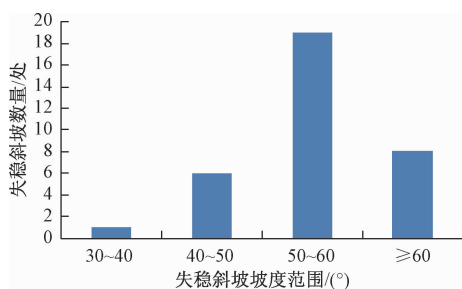


图 5 崩滑失稳斜坡坡度统计图
Fig. 5 Statistical graph of unstable slope gradient

(4) 地质灾害以中小型崩滑灾害为主,少见大型地质灾害

公路沿线地震地质灾害以中小型崩滑灾害为主,大型崩滑灾害点较少。图 6 为 $K70+900 \sim K71+600$ 路段两侧崩滑灾害遥感影像图,由图中可以看出小型崩滑灾害成群分布的情况。规模最大的地质灾害为新二拐滑坡 ($K69+360-600$ 左侧),估算体积 $2.6 \times 10^5 \text{ m}^3$,其余单个失稳区体积多为数百至数千立方米,单个灾害点上万立方米的较少。



图 6 神仙池路段影像图 ($K70+900 \sim K71+600$)
Fig. 6 Image of Shenxianchi section

(5) 边坡岩体结构起重要控制作用

九寨沟地震地质灾害调查表明,岩体结构对地震作用下的边坡失稳破坏依然起重要控制作用,岩土体失稳以顺外倾结构面失稳、结构面切割岩体倾倒、坠落失稳,风化卸荷带岩土体滑移失稳为主。

(6) 林木对滚石拦挡效应显著

川主寺至九寨沟公路沿线植被茂密,尤其是乔木发育。斜坡中上部岩土体失稳,顺陡坡失稳,多将陡坡段林木折断,在下部缓坡段,形成明显的林木拦挡区。有些边坡大部分失稳岩土体在缓坡段被林木拦挡,少量滚石穿越林木,滚动至沟床、公路附近。图 3(a) 的中部可见显著的树木拦挡作用。

如上九寨沟地震地质灾害调查研究表明,地震地质灾害主要发生在地震烈度为Ⅷ及以上区域,高陡斜坡段落更易发生地质灾害,这与汶川地震、芦山地震等山区地震地质灾害特征研究成果^[2-4,7-8]基本一致。

3 公路沿线震后次生地质灾害分析预测

3.1 震后地质环境主要变化

九寨沟地震后,地震灾区地质环境产生一定变化,主要体现在如下几个方面:

(1) 坡面及坡脚堆积大量崩滑堆积物

地震诱发大量崩滑失稳灾害,岩土体失稳后,大部分坠落堆积于斜坡坡脚地带,但也有一部分岩土体,堆

积在斜坡地带。堆积在斜坡地带的岩土体,多成为后期坡面碎屑流、滚石及坡面泥石流灾害的物源。堆积于沟床上游坡脚的岩土体,成为沟谷泥石流的物源。

(2) 边坡中上部残留拉裂变形岩土体、形成临空面

边坡岩土体失稳后,在坡体上还残留地震作用下拉裂变形的岩土体,这些岩土体在地震作用下变形、拉裂,但尚未失稳,在后期余震、降雨作用下易失稳,危害下方公路安全。

岩土体失稳后,在后缘往往形成临空面,临空岩土体也容易进一步失稳变形。

(3) 大量植被损坏

在岩土体失稳区,随着岩土体的失稳,植被随之破坏,坡面岩土体裸露,易于风化剥蚀,在沟槽上方,则容易产生溯源侵蚀。

在坡体中下部,大量植被被岩土体掩埋、斩断。

3.2 震后主要次生地质灾害

根据现场调查研究并类比汶川地震、芦山地震经验,震后主要次生地质灾害主要有如下几种:

(1) 坡面滚石及碎屑流、泥石流

在斜坡上堆积的崩滑堆积物,以及地震造成的拉裂变形岩土体,在后期重力、余震等因素作用下,极易形成坡面碎屑流及滚石灾害,尤其是在降雨作用下,还将诱发坡面泥石流灾害,对下方公路造成危害。

(2) 溯源侵蚀

坡面沟槽中上部岩土体失稳后,由于沟床纵坡较陡,极易产生溯源侵蚀,造成失稳区范围不断扩大,致使震后次生滚石、泥石流灾害物源不断增加。

(3) 泥石流

主要为前述的坡面泥石流,以及部分沟谷上方物源增加,形成沟谷泥石流灾害。

4 公路恢复重建对策

九寨沟地震区公路沿线高位崩滑灾害突出,在公路恢复重建中,应针对不同类型和危害程度地质灾害,并考虑公路功能和特点,应采取不同的防治措施。对于川主寺至九寨沟公路:

(1) 高位崩滑灾害密集发育的狭窄峡谷路段,应以绕避为主

如新二道拐—上四寨路段(图4),河谷极为狭窄,河谷两侧均发育大量崩滑灾害,后期坡面碎屑流、滚石及泥石流灾害,将造成公路被埋、河床淤高,难于防治,应采取绕避措施。

(2) 高位崩塌灾害,应采取棚洞等被动防护措施

对于高位崩塌灾害,由于灾害体位置高,主动加固实施困难且可靠性差,应采取棚洞等被动防护结构或采取避让措施,例如图3所示的灾害点。

(3) 一般边坡灾害,采取主动加固措施

对于边坡高度不大的崩滑灾害(主要为公路开挖边坡地质灾害),可采取主动加固措施。

对于九寨沟景区公路,考虑景区公路的特殊性,可根据各路段灾害特点和发育程度进行分期治理,景区分期开放:

(1) 树正沟段、则查洼沟段,以及日则沟的镜海—五花海路段,通过灾害治理,可作为一期开放。公路开挖边坡失稳灾害由于规模及边坡高度均不大,可采取主动加固措施处治。对于高位崩滑灾害,由于灾害密度、规模均不大,可采取被动防护与主动加固相结合的措施。

(2) 则查洼沟五花海—箭竹海路段,由于高位崩滑失稳灾害密集发育、沟谷狭窄,灾害治理难度较大,可设置一定的自然修复期,期间可对灾害的发展演化进行观测研究,根据自然修复状况决定该段及箭竹海至原始森林路段后续灾害治理和景区开放时间。

5 结语

(1) 九寨沟地震诱发公路沿线大量地质灾害,调查研究表明,地质灾害主要分布在 VIII 度及以上区域,灾害主要发生在高陡斜坡段落,坡度在 36° 以上的陡坡路段。地质灾害以中小型崩滑灾害为主,树木拦挡作用显著。

(2) 九寨沟地震后,造成地震灾区地质环境产生一定变化,坡面及坡脚堆积大量崩滑堆积物、边坡中上部残留拉裂变形岩土体并形成临空面、大量植被损坏,是震后次生灾害发生的主要原因。震后次生地质灾害主要有坡面滚石、溯源侵蚀、泥石流等。

(4) 震后地质灾害的防治,应根据不同灾害特点,采取绕避、主动加固、被动防护、自然修复等措施。

参考文献:

- [1] 陈乐生,庄卫林,赵河清,等.汶川地震公路震害调查—地质灾害[M].北京:人民交通出版社,2012:3-50.
CHEN Lesheng, ZHUANG Weilin, ZHAO Heqing, et al. Report on highway's damage in the Wenchuan Earthquake: Geological disaster[M]. Beijing: China Communications Press, 2012: 3-50.
- [2] 程强,郑同健.芦山地震公路地质灾害调查及评估[J].灾害学,2014,29(1):131-135.

- CHENG Qiang, ZHENG Tongjian. Investigation and evaluation of Lushan earthquake geological disasters along the highway [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 131–135.
- [3] 常昊,张吕. 云南鲁甸 Ms6.5 级地震震区滑坡易发性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(2): 38–48.
- CHANG Hao, ZHANG LYU. Analysis of susceptibility causes of landslides triggered by earthquake in Ludian Ms6.5 earthquake region [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2017, 28(2): 38–48.
- [4] 程强. 汶川强震区公路沿线地震崩滑灾害发育规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(9): 1747–1760.
- CHENG Qiang. Research on development rules of seismic landslide and collapse along highways in highly seismic region of Wenchuan earthquake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(9): 1747–1760.
- [5] 姚鑫,周振凯,李凌婧,等. 2017 年四川九寨沟 Ms7.0 地震 InSAR 同震形变场及发震构造探讨[J]. 地质力学学报, 2017, 23(4): 507–514.
- YAO Xin, ZHOU Zhenkai, LI Lingjing, et al. InSAR co-seismic deformation of 2017 Ms7.0 Jiuzhaigou earthquake and discussions on seismogenic tectonics [J]. Journal of Geomechanics, 2017, 23(4): 507–514.
- [6] <http://www.cea.gov.cn/publish/dizhenj/464/478/20170812211337414565961/index.html>
- [7] 王秀英,聂高众,王登伟. 汶川地震诱发滑坡与地震动峰值加速度对应关系研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(1): 82–89.
- WANG Xiuying, NIE Gaozhong, WANG Dengwei. Research on relationship between landslides and peak ground accelerations induced by Wenchuan earthquake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(1): 82–89.
- [8] 殷志强,陈红旗,褚宏亮,等. 2008 年以来中国 5 次典型地震事件诱发地质灾害主控因素分析[J]. 地学前缘, 2013, 20(6): 289–302.
- YIN Zhiqiang, CHEN Hongqi, CHU Hongliang, et al. Analysis on the key controlling factors of geo-hazards triggered by five typical earthquake events in china since 2008 [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(6): 289–302.

(上接第 113 页)

- ZHENG Kaihang, ZHU Yueqin, ZHANG Hesheng, et al. Analysis of status and trends of the geo-hazard map in China [J]. China Mining Magazine, 2016, 25(2): 235–239.
- [19] 田洪军,梁颜庆,黄志英,等. 基于 GIS 的农用地等别制图综合问题研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(4): 811–812.
- TIAN Hongjun, LIANG Yanqing, HUANG Zhiying, et al. Study on compilation of farmland grade map based GIS [J]. Journal of Anhui Agriculture, 2006, 34(4): 811–812.
- [20] 曹一冰,付洪贝,潘志超. 地图设计中的美学研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(1): 231–233.
- CAO Yibing, FU Hongbei, PAN Zhichao. Aesthetic analysis in the map design [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2011, 34(1): 231–233.
- [21] J CHACÓNEMAIL author, C IRIGARAY, T. fernández, r. El Hamdouni [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2006, 65(4): 341.
- [22] JAVIER HERVÁS, PETER BOBROWSKY. Mapping: Inventories, susceptibility, hazard and risk [J]. Landslides – Disaster Risk Reduction, 2009: 321–349.
- [23] A COLOMBO, L LANTERI, M RAMASCO, et al. Systematic GIS-based landslide inventory as first step for effective landslide-hazard management [J]. Landslides, 2005(2): 291–301.
- [24] C FOSTER, C V L PENNINGTON, M G CULSHAW, et al. The national landslide database for Great Britain: development, evolution and applications [J]. Environ Earth Sci, 2012, 66: 941–953.
- [25] BODO DAMM, MARTIN KLOSE. The landslide database for Germany: closing the map at nation level. [J]. Geomorphology, 2015(249): 82–93.
- [26] 孟晖,哈承祐. 中国环境地质分区图(1:600 万)及说明书[Z]. 北京:中国地图出版社, 1992.
- MENG Hui, HA Chengyou. Map of environmental geology division of China [Z]. Beijing: Sinomaps Press, 1992.