

汶川地震后公路边坡崩塌灾害发育规律

苏生瑞¹ 李松² 程强³

(1. 长安大学地质工程系, 陕西 西安 710054; 2. 甘肃省地质环境监测院, 甘肃 兰州 730050;

3. 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院, 四川 成都 610041)

摘 要: 震后崩塌是强烈地震造成的震裂山体在后期余震、降雨及重力作用下变形不断发展并再次发生的崩塌。基于对四川省省道 S303 线映秀 - 卧龙段震后公路边坡崩塌灾害的调查, 通过空间分布、崩塌与物质组成、岩性、失稳斜坡坡度、坡高、坡形、坡向和崩塌形成机理的关系等方面的分析, 得到了震后崩塌灾害的发育规律: 1. 震后崩塌分布规律与地震时引发的崩塌的规律一致, 即地震时易发生崩塌的地段地震后仍然易发生崩塌。2. 按照边坡物质组成, 以岩质边坡崩塌占绝大多数, 岩土组合体边坡次之; 较坚硬岩石中发生的崩塌多而较弱岩石中发生崩塌少, 沿线发生崩塌最多的是岩性为闪长岩、辉长岩和变质砂岩等坚硬岩石组成的斜坡。3. 失稳斜坡坡度在 $36^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 之间, 主要分布在 $41^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间, 即震后崩塌灾害主要发生在 40° 以上的斜坡。映秀 - 耿达段和耿达 - 卧龙段发生崩塌的边坡坡度有明显的差别, 映秀 - 耿达段集中在坡度为 $46^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 的斜坡, 而耿达 - 卧龙段集中在在坡度为 $41^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 的斜坡。4. 绝大多数崩塌发生在坡高 150 m 以内的斜坡上, 映秀 - 耿达段和耿达 - 卧龙段发生崩塌的边坡高度有明显的差别, 映秀 - 耿达段集中在高度为 51 ~ 350 m 的斜坡, 而耿达 - 卧龙段集中在在高度 < 200 m 的斜坡, 尤以高度 < 100 m 的最多。5. 阳坡和阴坡的崩塌数量有明显的差异, 阳坡发生崩塌的数量远远大于阴坡崩塌发生的数量。6. 震后边坡崩塌的形成机理以滑移式崩塌和倾倒式为主。映秀 - 耿达段和耿达 - 卧龙段地处不同地质构造单元, 由于岩性的差异, 发生崩塌的斜坡的坡度、高度和主要形成机理具有差异性。

关键词: 震后崩塌; 公路边坡; 失稳斜坡; 震裂山体; 映秀 - 卧龙公路

中图分类号: P642. 21

文献标识码: A

2008 - 05 - 12 汶川 8.0 级地震引发了大量的崩塌, 这些崩塌造成桥梁被掩埋、梁体塌落、移位和损毁、墩柱损毁、隧道洞口被埋没、洞门结构被击损、砸坏, 路基被堵塞、掩埋, 路面被砸坏, 挡墙(护面墙)被冲击砸坏^[1]。

汶川“5.12”地震最为突出的崩塌灾害问题是地震力作用下的崩塌灾害以及地震导致的大量“震裂山体”使地震灾区长期存在的崩塌落石灾害问题。根据对汶川地震灾区公路震害调查, 高陡斜坡岩体产生的崩塌灾害不仅局限于地震直接诱发斜坡岩体崩塌损毁公路, 还引起大量斜坡岩体的震裂和松动, 即所谓的“震裂山体”。震裂山体在后期余

震、温差、降雨及重力作用下变形不断发展, 有可能再次发生崩塌灾害, 即“震后崩塌”, 给灾后恢复重建和重建后公路安全运营带来巨大的安全隐患。

关于地震引发的崩塌, 国内外已经从分布规律、形成机理和预测等方面开展了研究工作^[2-6]。汶川地震发生后, 国内外相关学者主要开展了灾害发育分布规律^[7-11]和震裂变形破坏形成机理^[12]等方面的研究工作, 程强等以大量的现场调查资料为基础, 研究了映秀 - 卧龙公路沿线汶川地震地质灾害^[13]和汶川强震区公路沿线地震崩塌灾害发育规律。

汶川地震发生以来, 震区泥石流和崩塌等地质灾害频繁发生, 已经成为影响震区恢复重建和经济、

收稿日期(Received date): 2011 - 08 - 20; 改回日期(Accepted): 2011 - 08 - 30。

基金项目(Foundation item): 西部交通建设科技项目(2009 318 - 000 - 095) 资助。 [Supported by the Western Science and Technology Construction projecn(2009 - 318 - 000 - 095) .]

作者简介(Biography): 苏生瑞(1963 -) 男, 汉族, 博士, 教授, 主要从事地质灾害与地应力场等方面的研究。 [Su Shengrui(1963 -), male, the Han nationality, Docotor, Professor, works fields mainly covering geohazards and earth's stress field etc.] E - mai: shengruisu@ 163. com

社会发展的制约因素。基于我国的国情以及汶川大地震后公路两侧存在的大量震裂岩土体崩塌灾害威胁问题,研究震后公路边坡崩塌灾害发育规律,对于推动地震影响下交通基础设施的防灾减灾以及岩体变形破坏规律学方面的研究具有重要的意义。

四川省省道 S303 线映秀至卧龙段处于汶川县境内,全长 45.5 km,为一条横贯东西的重要干线公路,是汶川地震中因崩塌、滑坡等次生地质灾害而受灾最严重、灾后重建难度最大的公路之一。2010 - 07 对该段的震后崩塌进行了调查,本文根据对调查结果的统计分析,研究震后崩塌的发育规律。

1 地质环境条件

省道 S303 线基本沿渔子溪两岸布线(图 1),总体西高东低,地形陡峭,山高谷深,山上植被茂盛,其中映秀为最低点,海拔 900 m 左右,然后沿渔子溪河谷逆流而上,至耿达高程约 1 500 m,卧龙高程约 2 050 m。

线路横穿北川 - 映秀断裂(龙门山中央断裂)和茂县 - 汶川断裂(龙门山后山断裂),茂县 - 汶川断裂从耿达隧道出口通过。以茂县 - 汶川断裂为界,分属两个地质构造单元,映秀至耿达隧道出口(以下简称映秀 - 耿达段)属于龙门山华夏系构造带,耿达隧道出口至卧龙(以下简称耿达 - 卧龙段)属于小金弧形褶皱带。

北川 - 映秀断裂总体走向 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$,倾向北西,倾角 60° 左右,由数条次级逆断层组成叠瓦式构造带。主要表现为元古代九顶山杂岩体、下震旦统

和上古生界中、下三叠统向南东逆冲于上三叠统须家河组之上。茂县 - 汶川断裂走向北东 $30^{\circ} \sim 55^{\circ}$,倾向北西,倾角 $45^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。该断裂由一系列倾向北西的叠瓦状逆冲断层组成,断层挤压破碎带宽度较大,在路线通过的耿达附近最大宽度达到 100 m 余,且断层下盘十分破碎。该断裂是汶川地震的发震断裂。

映秀 - 耿达段出露地层为元古代澄江 - 晋宁期中基性侵入岩类,主要为中细粒辉长岩、闪长岩及石英闪长岩,为硬质岩类,河谷较窄,谷坡陡峻。

耿达 - 卧龙段主要出露地层为志留系茂县群、泥盆系危关群、石炭系、二叠系和三叠系。其中志留系茂县群主要为灰绿色千枚岩、石英片岩及变粒岩夹结晶灰岩、深灰色千枚岩夹大理岩、变质石英砂岩、粉砂岩等。泥盆系危关群为灰黑、深灰色千枚岩夹石英岩、石英砂岩及大理岩。石炭系及二叠系为薄 - 中厚层状结晶灰岩、泥灰岩夹炭质千枚岩、砂质千枚岩及变质砂岩。三叠系为砂质千枚岩夹钙质板岩、薄层灰岩和细 - 粉砂岩、厚层 - 巨厚层状变质长石石英砂岩夹黑灰色炭质千枚岩、薄层结晶灰岩、变质含钙石英砂岩等。该段岩性较软弱,河谷较宽缓。

2 崩塌的分布特征

根据沿线地质条件,将线路分为映秀 - 耿达段和耿达 - 卧龙段。映秀 - 耿达段长度 20.4 km,共有 4 座隧道,其总长度 4.055 km,实际调查长度为 16.345 km。耿达 - 卧龙段长度 25.1 km。

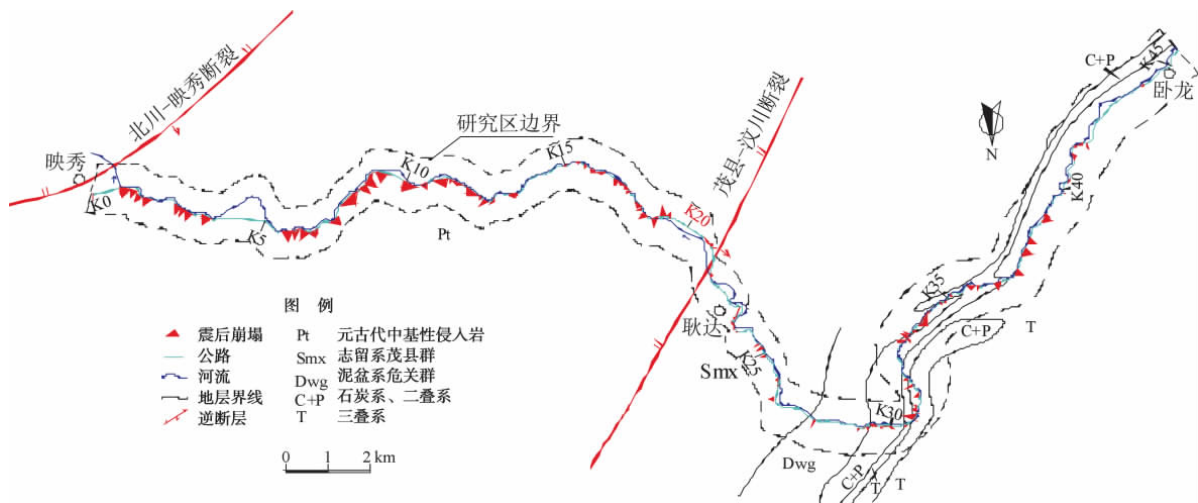


图 1 映秀 - 卧龙公路沿线地质及震后崩塌分布图

Fig. 1 Geology and distribution of post-earthquake rockfalls along Yingxiu - Wolong highway

据调查,映秀-卧龙段共有99处震后崩塌,分布不均匀(图1),但总体来看,映秀-耿达段的密度大于耿达-卧龙段。其中映秀-耿达段为43处,密度为2.631处/km,耿达-卧龙段56处,密度为2.231处/km。而且,卧龙以西,崩塌密度更小。这一规律和地震时引发的崩塌的规律^[7,12-13]一致,即地震时易发生崩塌的地段地震后仍然易发生崩塌,一方面说明边坡岩体震裂的程度与岩性有关,坚硬岩体震裂程度较高;另一方面说明震后边坡崩塌的密度也是随着远离震中而逐渐减小。

3 崩塌与地层岩性的关系

3.1 斜坡物质组成与崩塌的关系

对基岩崩塌来说,在坚硬岩石的山坡上常发育多组节理面和层理面,在强震作用后,沿这些构造面斜坡上产生多处震裂岩体,在后期外界条件下,发生不同机理新的崩塌。岩土体崩塌是很多斜坡上部,尤其是靠近顶部,有厚度不大的残坡积土层,以及一定厚度的强风化层。这部分岩土体是斜坡的薄弱部分,受到一般重力及降雨的作用从而发生崩塌失稳。而构成土体崩塌的主要是崩坡积碎块石土斜坡,多为古崩塌堆积体前缘为河流冲刷、公路修建开挖边坡所致,土层中往往含有大块石。地震力作用下以斜坡中上部土层、尤其是土层中的大块石失稳为主,并且几乎发生的都是滑移式崩塌。

映秀-卧龙公路沿线99处震后崩塌中岩体崩塌占崩塌总数的80.81%(图2);岩土组合体其次,占崩塌总数的15.15%;土体崩塌最少,占崩塌总数

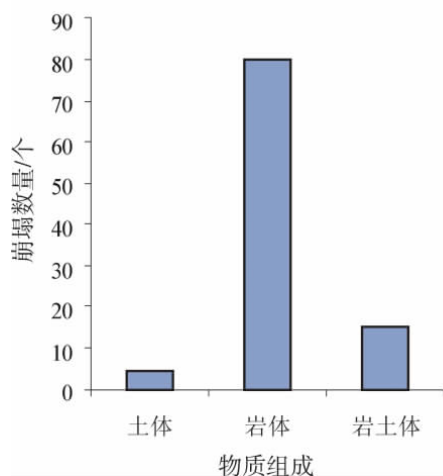


图2 失稳斜坡物质组成统计图

Fig.2 Statistical histogram of slope materials

的4.04%。

3.2 岩性与崩塌的关系

为了便于统计,根据斜坡中占主要成分的岩块将斜坡的复杂岩性划分为单一的10类:变质砂岩、千枚岩、闪长岩、辉长岩、崩坡积碎块石、灰岩、石英片岩、大理岩、变粒岩和石英岩,而忽略了有些斜坡局部夹杂的岩石,如千枚岩夹变质砂岩,它以千枚岩为主,所以将这类划分为千枚岩。其他也以此类分。统计表明(图3),较坚硬岩石中发生的崩塌多而较弱岩石中发生崩塌少。沿线发生崩塌最多的是岩性为闪长岩、辉长岩和变质砂岩等坚硬岩石组成的斜坡,共42处,这类岩性的边坡主要位于映秀至耿达段,崩塌规模一般都很大,造成的危害及其严重。其次,发生崩塌灾害较多的岩性是变质砂岩和千枚岩的斜坡,共37处。需要注意的是,虽然这两类崩塌数量多,但是他们的规模都比较小,所造成的危害不是很大。由于千枚岩岩性软弱,震裂松动后易遭风化,如处在软硬相间地层构成的坡体中,则会造成硬质岩层凸出而成“探头”岩块,容易发生崩塌。岩性为崩坡积物碎块石和灰岩的斜坡崩塌发育13处,主要集中在K30+700~K33+332的范围内;最少的是岩性为石英岩的斜坡,崩塌灾害发育1处。

4 崩塌与斜坡坡度、坡高、坡形和坡向的关系

4.1 崩塌与边坡坡度的关系

统计表明(图4),失稳斜坡坡度大都在 $36^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 间,且多数出现在坡度大于 40° 的斜坡上;其中主

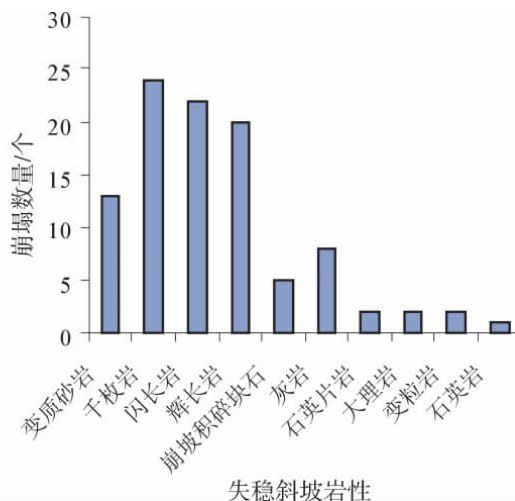


图3 失稳斜坡岩性统计图

Fig.3 Statistical histogram of slope lithology

要分布在 $41^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 间, 共计 71 处, 占总数量的 71.72%, 尤以斜坡坡度在 $51^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 时发育崩塌最多, 共 23 处。实际上由于 $>60^{\circ}$ 的自然斜坡是极为少见的, 所以可以认为该公路沿线震后崩塌地质灾害主要发生在 40° 以上的斜坡。对比映秀 - 耿达段和耿达 - 卧龙段可知, 两段发生崩塌的边坡坡度有明显的差别, 映秀 - 耿达段集中在坡度为 $46^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 的斜坡, 占总数的 74.4%, 而耿达 - 卧龙段集中在在坡度为 $41^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 的斜坡, 占总数的 60.7%, 尤以 $41^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的最多。所以, 不同构造单元内由于岩性的差异, 发生崩塌的斜坡的坡度具有差异性, 岩石较为软弱的地段坡度较小的边坡也易发生崩塌。

4.2 崩塌与边坡坡高的关系

统计表明(图 5), 就全段而言, 主要发生在坡高 <350 m 的斜坡上, 其中绝大多数崩塌发生在坡高 <150 m 的斜坡上, 共计 53 处崩塌, 占总数的 53.54%。其中坡高 >50 m 的斜坡发生崩塌的概率最大, 共 20 处, 占总数的 20.2%, 其次是坡高为 $51 \sim 100$ m 的斜坡, 共 19 处, 占总数的 19.19%。这在一定程度上也说明了并不是斜坡高度越高, 崩塌就越易发生, 这种发生概率也是集中在一定范围内的。对比映秀 - 耿达段和耿达 - 卧龙段可知, 两段发生崩塌的边坡高度有明显的差别, 映秀 - 耿达段集中在高度为 $51 \sim 350$ m 的斜坡, 占总数的 67.4%, 而耿达 - 卧龙段集中在在高度 <200 m 的斜坡, 占总

数的 82.1%, 尤以高度 <100 m 的最多, 占总数的 58.9%。所以, 不同构造单元内由于岩性的差异, 发生崩塌的斜坡的高度具有差异性, 岩石较为软弱的地段即使高度不大的边坡也易发生崩塌。

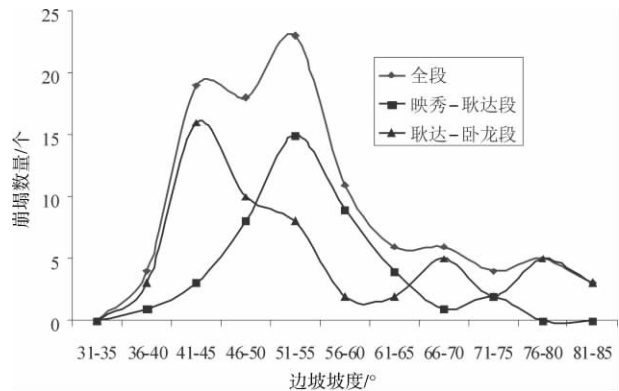


图 4 震后失稳边坡坡度统计图

Fig. 4 Statistical histogram of slope gradient

4.3 崩塌与斜坡坡形的关系

从映秀至卧龙公路沿线崩塌调查的结果看出, 斜坡坡面形态主要可以划分为两个基本类型, 即坡体呈近直线形和呈折线形。统计后的结果见图 6。在调查发现的 99 处崩塌中, 折线形的坡体崩塌有 84 处, 约占崩塌总数的 84.85%; 近直线形的坡体崩塌有 15 处, 占崩塌总数的 15.15%。并且, 在坡体呈

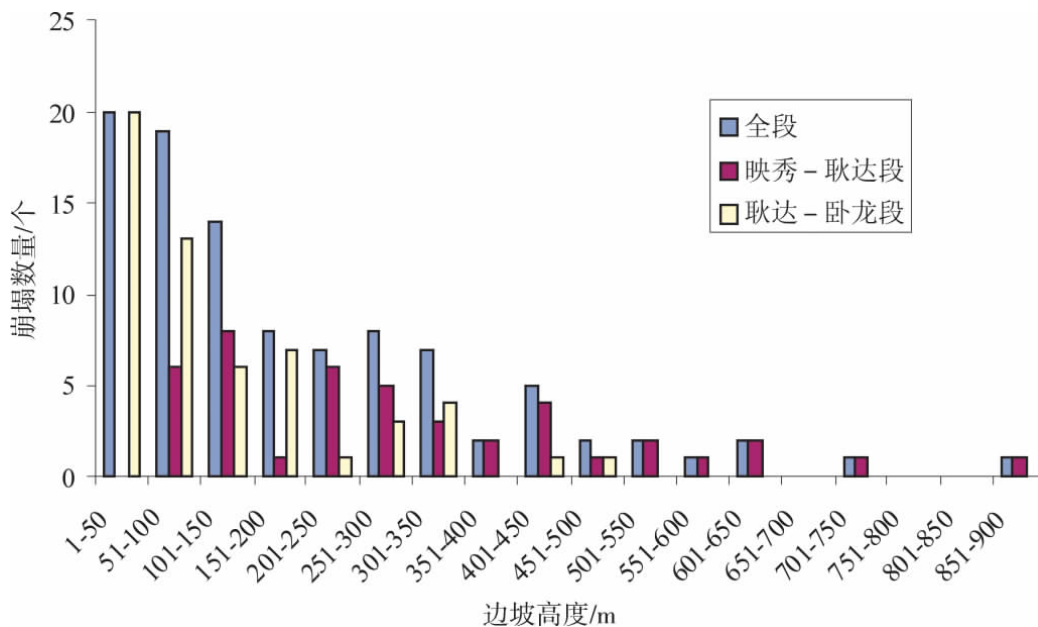


图 5 失稳斜坡高度统计图

Fig. 5 Statistical histogram of slope height

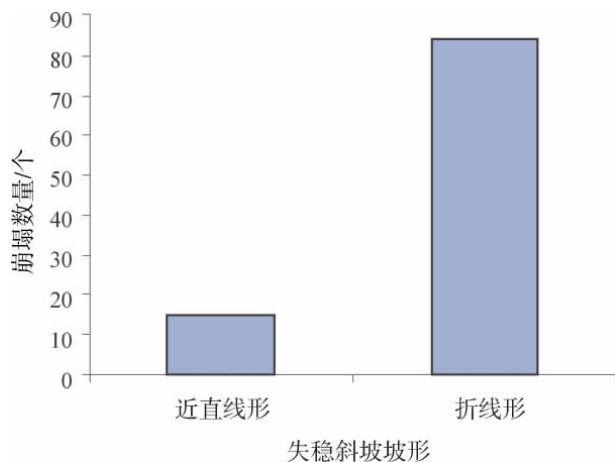


图6 失稳斜坡坡形统计图

Fig. 6 Statistical histogram of slope configuration

近直线形的崩塌中, 滑移式崩塌居多数, 即呈近直线形的坡体更容易发生滑移式崩塌。

4.4 崩塌与斜坡坡向的关系

通过对调查数据的统计(图7)可以看出: 发育崩塌最多的是坡向范围为 $181^{\circ} \sim 210^{\circ}$ 的斜坡, 有19处; 其次为 $151^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 的斜坡, 发育崩塌17处; 第三为 $211^{\circ} \sim 240^{\circ}$ 的斜坡, 发育崩塌16处; 最少的是 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 的斜坡, 无崩塌发育。所以崩塌发育集中在坡向范围为 $91^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 的斜坡(阳坡), 共计81处, 占崩塌总数的81.82%, 而坡向范围在 $271^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的斜坡(阴坡)崩塌发育较少, 共计崩塌18个, 占崩塌总数的18.18%。可见阳坡发生崩塌的数量远远大于阴坡崩塌发生的数量。造成这种现象的主要原因是: 因为朝向不同, 山坡上的小气候和温差可能存在差异性的变化。阳坡比阴坡受日照的时间长, 气温、土温或者岩温在白天的温度比较高。在同等条件下, 阳坡的昼夜温差比阴坡温差大, 同时阳坡一般人类活动比阴坡要多。

5 崩塌形成机理类型

震后公路沿线崩塌从形成机理上可以划分为滑移式、倾倒式、错断式、滚落式、溃散式、溃屈式和抛射式7种。有些崩塌的形成, 往往并不仅仅是单一的模式, 而是上述7种破坏模式中的某两种或三种、甚至四种模式的复合, 相互转化。为了简化方便统计, 对于复合模式的崩塌, 其形成机理指的是最初发生崩塌的机理, 因而得出图8所示失稳斜坡形成机理统计图。统计表明, 失稳斜坡以滑移式崩塌和倾

倒式崩塌为主, 其中滑移式崩塌48处, 数量最多, 占总数的48.5%, 其次为倾倒式崩塌, 计33处, 占总数的33%, 滚落式8处, 占总数的8%, 最少的为溃屈式崩塌, 仅发育1处。进一步统计表明, 崩塌机理类型在映秀-耿达段和耿达-卧龙段有一定的差别, 映秀-耿达段倾倒式崩塌所占比例较大, 滑移式和滚落式崩塌所占比例较少(图9)。

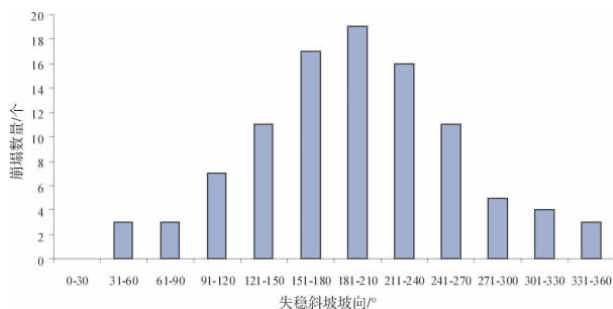


图7 失稳斜坡坡向统计图

Fig. 7 Statistical histogram of slope direction

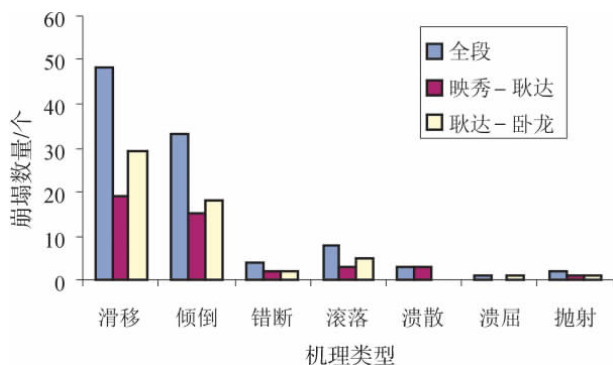


图8 失稳机理统计

Fig. 8 Statistical histogram of rockfall mechanics

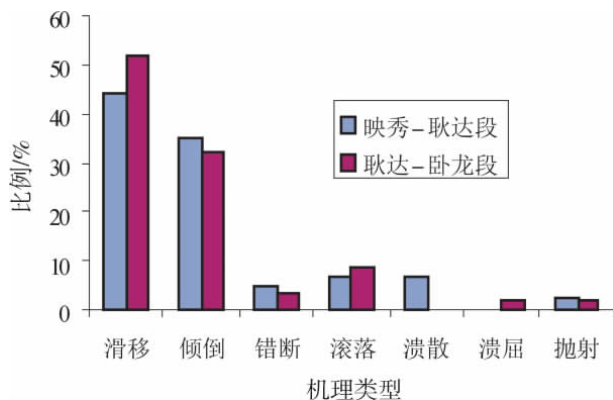


图9 各种失稳机理所占比例统计

Fig. 9 Statistical histogram of the percentage of rockfall meahcnias

6 结论

通过对映秀-卧龙公路沿线震后崩塌灾害的调查分析,可以得出如下结论:

1. 地震时易发生崩塌的地段也是在地震后易发生崩塌的地段。

2. 按照边坡物质组成,以岩质边坡崩塌占绝大多数,岩土组合体边坡次之;较坚硬岩石中发生的崩塌多而较弱岩石中发生崩塌少,沿线发生崩塌最多的是岩性为闪长岩、辉长岩和变质砂岩等坚硬岩石组成的斜坡。

3. 失稳斜坡坡度在 $36^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 间,主要分布在 $41^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 间,即震后崩塌灾害主要发生在 40° 以上的斜坡。映秀-耿达段和耿达-卧龙段发生崩塌的边坡坡度有明显的差别,映秀-耿达段集中在坡度为 $46^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 的斜坡,而耿达-卧龙段集中在在坡度为 $41^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 的斜坡。

4. 震后崩塌主要发生在坡高 < 350 m 的斜坡上,其中绝大多数崩塌发生在坡高 < 150 m 的斜坡上。映秀-耿达段和耿达-卧龙段发生崩塌的边坡高度有明显的差别,映秀-耿达段集中在高度为 $51 \sim 350$ m 的斜坡,而耿达-卧龙段集中在在高度 < 200 m 的斜坡。

5. 阳坡发生崩塌的数量远远大于阴坡崩塌发生的数量,折线形边坡发生崩塌的数量远大于直线形边坡。

6. 震后公路沿线崩塌从形成机理上可划分为滑移式、倾倒式、错断式、滚落式、溃散式、溃屈式和抛射式 7 种,以滑移式崩塌和倾倒式崩塌为主。

7. 映秀-耿达段和耿达-卧龙段地处不同地质构造单元,由于岩性的差异,发生崩塌的斜坡的坡度、高度和主要形成机理具有差异性。

参考文献(References)

- [1] Tang Yongjian, Zhuang Weilin, Ji Suiwang et al. Emergency investigation and rush-open to traffic of the highways in the Wenchuan earthquake-stricken areas of Sichuan province [M]. Beijing: China Communication Press 2008 [唐永建, 庄卫林, 吉随旺, 等. “5.12”汶川大地震四川灾区公路应急调查与抢通 [M]. 北京: 人民交通出版社 2008]
- [2] Keefer D V. Landslides Caused by Earthquakes [J]. Geological Society of America Bulletin. 1984 95(4): 406-421
- [3] Wilson R C, Keefer D K. A real limits of earthquake-induced landsliding [C]//Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Re-

- gion. U. S. Geol. Sur. Press 1985: 316-345
- [4] Abrahamson N A, Silva W J. Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes [J]. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 1997 68(1): 94-109
- [5] Ding Yanhui, Wang Yuqing, Sun Jinzhong, et al. Research on the method for prediction of earthquake-induced landslides and its application to engineering projects. Journal of Engineering Geology 2000, 8(4): 75-80 [丁彦慧, 王余庆, 孙进忠, 等. 地震崩滑预测方法及其工程应用研究 [J]. 工程地质学报 2000 8(4): 75-80]
- [6] Yang Qinghua, Yao Lingkan, Ren Ziming. Centrifugal model test on dynamical characteristics of landslides of loose slope under seismic loading. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2008, 27(2): 368-374 [杨庆华, 姚令侃, 任自铭, 等. 地震作用下松散体斜坡崩塌动力学特性离心模型试验研究, 岩石力学与工程学报 2008 27(2): 368-374]
- [7] Huang Runqiu, Li Weile. Research on development and distribution rules of geohazards induced by Wenchuan earthquake on 12th May 2008 [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008 27(11): 2173-2183 [黄润秋, 李为乐. “5.12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究 [J]. 岩石力学与工程学报 2008 27(12): 2585-2592]
- [8] Yin Yueping. Researches on the geohazards triggered by Wenchuan, Sichuan [J]. Journal of Engineering Geology 2008, 16(4): 433-444 [殷跃平. 汶川八级地震地质灾害研究 [J]. 工程地质学报, 2008, 16(4): 433-444]
- [9] Qi Shengwen, Xu Qiang, Liu Chunling, et al. Slope instabilities in the severs disaster area of 5.12 Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology 2009, 17(1): 39-49 [祁生文, 许强, 刘春玲等. 汶川地震极重灾区地质背景次生斜坡灾害空间发育规律 [J]. 工程地质学报 2009, 17(1): 39-49]
- [10] Huang Runqiu, Li Weile. Fault effect analysis of geohazard triggered by Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 19-28 [黄润秋, 李为乐. 汶川大地震触发地质灾害的断层效应分析 [J]. 工程地质学报 2009, 17(1): 19-28]
- [11] Xie Heping, Deng Jianhui, Tai Jiajia et al. Wenchuan large earthquake and post-earthquake reconstruction related to geotechnical problems [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2008 27(9): 1781-1791 [谢和平, 邓建辉, 台佳佳, 等. 汶川大地震灾害与灾区重建的岩土工程问题 [J]. 岩石力学与工程学报 2008 27(9): 1781-1791]
- [12] Feng Wenkai, Xu Qiang, Huang Runqiu. Deformation mechanics of the ruptures by earthquakes [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2009 28(Suppl.): 3124-3130 [冯文凯, 许强, 黄润秋. 斜坡震裂变形力学机制初探 [J]. 岩石力学与工程学报 2009 28(增刊): 3124-3130]
- [13] Cheng Qiang, Wu Shigui, Su Yujie. Geological Hazards due to Wenchuan earthquake along Yingxiu-Wolong highway [J]. Journal of Engineering Geology 2010, 18(2): 160-167 [程强, 吴世贵, 苏玉杰. 映秀-卧龙公路沿线汶川地震地质灾害研究 [J]. 工程地质学报 2010, 18(2): 160-167]

Characteristics of the Post-earthquake Rockfalls of Highway Slopes in Wenchuan-earthquake-stricken Areas

SU Shengrui¹, LI Song², CHENG Qiang³

(1. Department of Geological Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Gansu Institute of Geological Environment Monitoring, Lanzhou 730050, China;

3. Sichuan Provincial Communication Department Highway Planning Survey Design Research Institute, Chengdu 610041, China)

Abstract: The post-earthquake rockfall refers to such rockfall that is formed in seismic-ruptured rocks caused by the earthquake and falls due to progressive deformation resulted in the later aftershocks, rain and gravity. Based on site investigation of the slope rockfall in the highway S303 from Wolong to Yingxiu in Sichuan province after Wenchuan earthquake, through the analysis of the space distribution, the relationship between rockfall and composition, lithology and gradient, height, configuration and direction of slopes as well as the formation mechanism of the rockfalls, the development rules of the post-earthquake rockfalls are obtained: 1) Distribution rule of rockfall after the earthquake is the same with that during the earthquake, that is, the place where rockfall occurs easily during the earthquake is still the same where rockfall occurs easily after the earthquake. 2) According to the material composition of slope, most rockfalls are rock slope rockfalls, and then are rock-soil slope; the numbers of rockfalls in harder rocks is more than that in softer rocks, i. e., most rockfalls are formed in diorite, gabbro and metasandstone. 3) The gradient of rockfall slope is between $36^{\circ} \sim 85^{\circ}$, mostly between $41^{\circ} \sim 60^{\circ}$, that is to say, post-earthquake rockfall occurs easily on slopes with gradient above 40° . What's more, there is an obvious difference in slope gradient between the highway from Yingxiu to Genda and from Genda to Wolong. The predominant slope gradient from Yingxiu to Genda is $46^{\circ} \sim 60^{\circ}$, while that from Genda to Wolong is $41^{\circ} \sim 55^{\circ}$. 4) Post-earthquake rockfall occurs easily on slope with height above 150m and there is an obvious difference in slope height between the highway from Yingxiu to Genda and from Genda to Wolong. The slope height from Yingxiu to Genda is mainly between 51 ~ 350 m, while the height of most of the rockfall slopes from Genda to Wolong is less than 200m, especially most less than 100 m. 5) There is a remarkable difference in the number of rockfall between sunny and cloudy slope. 6) The formation mechanisms of the post-earthquake rockfall are primarily sliding rockfall and dumping rockfall. Since the Yingxiu - Gengda and Gengda - Wolong lies in the different geological units which have difference in lithology, the gradient, height of slopes where rockfall occur and the rockfall mechanism is different.

Key words: post-earthquake rockfall; highway slope; rockfall slope; seismic rocks; Yingxiu - Wolong highway