

四川地区地震崩塌滑坡的基本特征及危险性分区

杨涛, 邓荣贵, 刘小丽

(西南交通大学土木工程学院岩土工程系, 四川 成都 610031)

摘 要: 四川地区地震崩塌及滑坡非常发育, 时常造成严重灾害, 本文在现场调查资料及已有研究的基础上, 对四川地区地震崩塌、滑坡的分布规律、类型、特征及其灾害性进行了更深入的分析, 并就其特征进行了分区。

关键词: 地震崩塌; 地震滑坡; 地震灾害; 危险性分区

中图分类号: P642

文献标识码: A

四川是一个多地震的省份, 据文献^[1], 自公元 26 年至 1990 年全省范围有记载的 4.7 级以上的破坏性地震 310 次。由于四川地域大部分属于山区, 这些地震往往诱发了不同规模的地震崩塌和滑坡, 造成人畜伤亡、摧毁房屋、堵塞交通, 给山区人民生命财产造成了严重损失。近年来, 随着西部大开发进程的不断加快, 开发与保护山区资源工作正在紧张有序地进行。由于山区城镇的新建, 水利水电和交通等设施建设, 一方面地震崩塌及滑坡对民用设施的威胁愈来愈大, 在山区, 地震崩滑损失往往大于地震本身。另一方面工程开挖形成的边坡又给地震崩塌及滑坡的产生创造了条件。随之岩土边坡地震崩滑问题在四川地区开发与建设中就日趋突出。因此, 如何有效地预防和预报地震崩塌及滑坡发生, 采取切实有效的工程措施, 最大限度地减少生命财产损失, 已是面临的一个重要课题, 国内学者已对此作了一些研究^[2~3]。文献^[4~6]对四川地区地震崩塌及滑坡作了初步分析, 本文在此基础上对四川地区 3.5 级以上地震诱发的崩塌滑坡事件, 作了进一步的探讨。

1 四川地理环境地质概况

1.1 地形地貌特征

四川地区地形地貌包括东部盆地区、盆周山地、川西南山地及西部高山高原。盆地大部分地区海拔 200 m~700 m。盆地地势长江以北自北西向南东缓倾; 长江以南由南东向北西倾斜。盆周山地是一系

列低、中山。北缘、北东缘山地海拔一般 1 500 m~2 200 m。南缘和南东缘海拔一般 1 000 m~2 000 m。川西南山地地势北高南低, 海拔一般 1 500 m~4 000 m。境内地形复杂, 起伏颇大, 岭谷高差多在 1 000 m~3 000 m。西部高山高原地势由北西向南东倾斜, 大部分地区海拔 4 000 m~4 500 m。分为高原和山地。高原丘谷比高一般 50 m~100 m, 山地区峭壁悬崖, 比高一般 1 000 m~3 000 m。

1.2 地层岩性

地层出露东西两区各具特点。东部地台区主要出露上三迭统及其以上的中生代地层。侏罗系分布最为广泛, 主要为红色碎屑岩, 局部夹泥灰岩, 偶为介壳灰岩; 白垩系亦较多分布, 以紫红色碎屑岩为主。第四系河流冲积层沿主要河流分布, 形成 I 至 III 级阶地。西部地区以三迭系最为发育, 以砾岩、灰岩、碎屑岩、砂板岩为主, 东西方向岩相变化明显。其次岩浆岩亦较为发育, 种类繁多, 分布广泛。

1.3 地质构造概况

四川的大地构造格局大致以龙门山断裂带、小金河断裂带为界, 东部为相对稳定的扬子地台区, 构造相对较简单; 西部为相对活动的松潘—甘孜地槽褶皱系, 构造十分复杂。从板块运动看, 东部属南华亚板块, 西部属青藏亚板块。新构造时期, 特别是第四纪以来, 东西部差异活动明显, 东部抬升幅度 < 500 m, 西部高原抬升幅度达 4 000 m 左右, 成为青藏高原的组成部分, 是四川至今仍十分活动的地区。

收稿日期: 2002-04-24.

基金项目: 中国地震局分析预报中心“九五”重点基金项目(编号: 95-07-04257)。

作者简介: 杨涛(1973-), 男(汉族), 硕士研究生, 岩土工程专业。

2 地震崩滑的基本类型

按照地震崩塌滑坡的形成条件, 崩滑体物质组成及结构、规模、运动形式及危害程度, 四川地区地震崩滑可以分为地震滚石、地震崩塌和地震滑坡三类。

2.1 地震滚石

地震滚石的规模一般较小, 堆积体分散, 体积大都 $<1\text{m}^3$ 。以零星的块体运动为主要特征, 沿坡面以滚动方式运动, 速度 $>3\text{m/s}$ 。多发生在破碎或节理裂隙发育的陡峻基岩山脊悬崖前缘或人工边坡地带, 坡度常 $>40^\circ$ 。据资料记载, 其诱发的最小震级是3.6级, >4.25 级的地震诱发地震滚石就极为普遍, 由图1可见, 4~4.25级地震中, 发生地震滚石的约占同级地震的34.8%, 地震滚石因其分布普遍, 诱发震级低, 块体运动速度快, 常造成人畜伤亡、阻塞交通等。

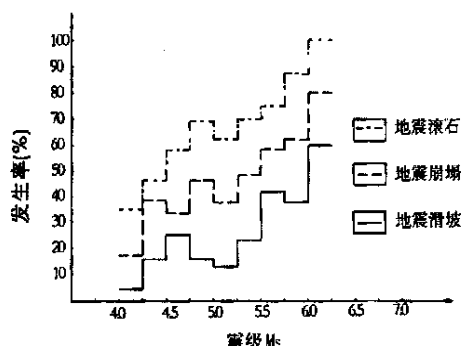


图1 地震崩滑随震级增长曲线

Fig. 1 The slide incidence to magnitude

2.2 地震崩塌

以散体形式流动、跳跃运动, 速度在 0.005m/s ~ 3m/s , 堆积在坡脚, 形成大小混杂、在水平方向具一定分选性的崩塌体, 规模一般在 1m^3 ~ 10^3m^3 间。地震崩塌常发生在节理裂隙发育的岩坡或土坡地带, 坡度 $>35^\circ$, 高陡边坡地带尤多发生。诱发地震崩塌的最小震级为3.9级, 诱发地震崩塌的最小震级与震中区的地形和岩石结构密切相关, 由图1可见, 4.5级以上的地震就会产生较为普遍的地震崩塌。

2.3 地震滑坡

以整体形式运动的岩体或土体, 运动速度相对

较慢, 常 $<0.005\text{m/s}$, 滑体体积一般 $>10^2\text{m}^3$ 。地震滑坡易发生在坡度 25° ~ 50° 的地带和松散的碎块石土和饱水的砂性土构成的斜坡地带, 也常发生在软弱面发育的岩质边坡地区。地震滑坡危害性最大, 涉及范围广, 造成的损失惨重。诱发滑坡的最小震级是4.2级。由图1所示, 震级4.5~4.75的地震中, 诱发滑坡的约占同级地震震级的25%。地震常诱发重力老滑坡复活。

地震崩塌、滑坡等的产生, 地震仅仅是一个诱发因素, 产生滚石、崩塌或滑坡还受许多因素控制, 多数情况下, 一次地震常常既引起滚石、崩塌, 又引起滑坡。

3 四川地震崩滑分布特征

四川地区地震崩滑分布的显著特征是东西不均一性。如图2所示, 沿松潘—北川—灌县—天全—荣经—峨边—马边一线将四川划分为东西两区, 93%以上的地震崩滑发生在西部地区。造成重大人员伤亡或财产损失的地震崩滑都发生在西部。东部地震崩滑事件不足总体的7%, 多是小型的山坡崩塌或浅层滑坡。

四川地区地震崩塌另一显著特点是呈带状分布, 主要是沿活动断裂带分布。一是距活动断裂越近, 崩滑分布越密集。二是断裂活动性越强, 崩滑分布越密集。如鲜水河断裂带, 安宁河—则木河断裂带及金沙江断裂带, 在断裂分段上属于A级^[7], 发生在这些断裂带上的地震崩滑约占全省的47.5%。四川盆地内部没有大的活动断裂带分布, 其崩滑事件较少发生。

崩滑分布的第三个特征是受地形地貌及岩性影响。地震崩滑大多分布在河谷两岸、人工边坡和高陡自然边坡上。川西和川北地区, 大多是海拔1000m以上的山地高原, 地形切割厉害, 相对高差大, 因而其地震崩滑也易于发生。东部四川盆地区, 除成都平原外, 其它也多是低山丘陵地带, 地形切割小, 高差小, 地震崩滑较少发生。地震崩滑大多发生在松散的第四系地层及松散破碎的断裂影响带上。泥岩砂岩地层较之岩浆岩地层更易发生地震崩滑。

四川地区地震崩滑的第四个特征是具有原地复发性。历史地震中曾经发生过地震崩滑的地段, 在新的地震下, 往往也会重新诱发地震崩滑。

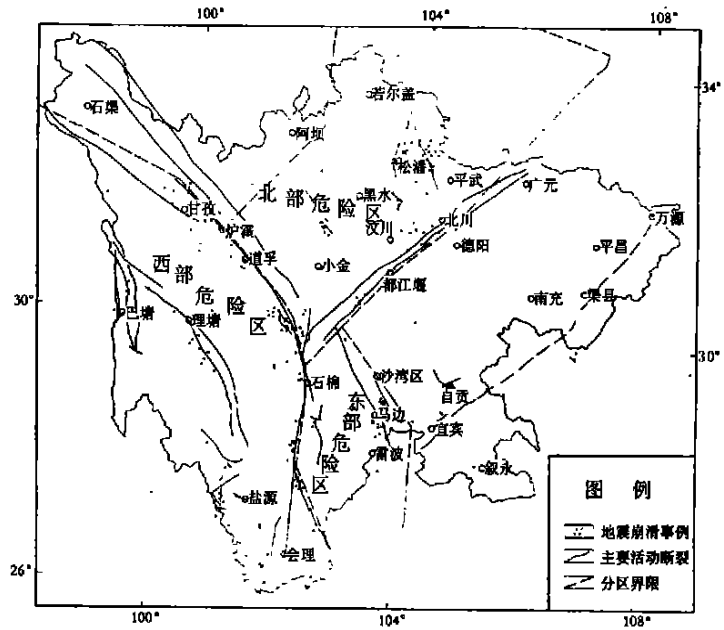


图 2 四川地区地震崩滑分布及危险性分区

Fig. 2 The seismic slide distribution and fatality subareas in Sichuan

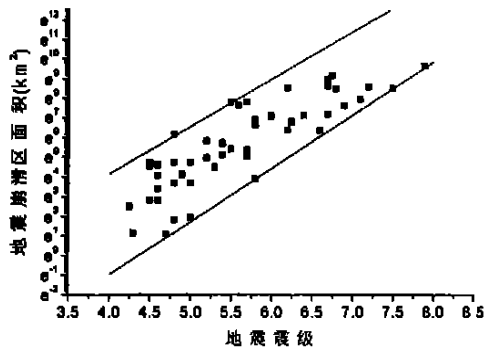


图 3 崩滑区面积与震级关系

Fig. 3 The connection between the seismic slide area and the magnitude

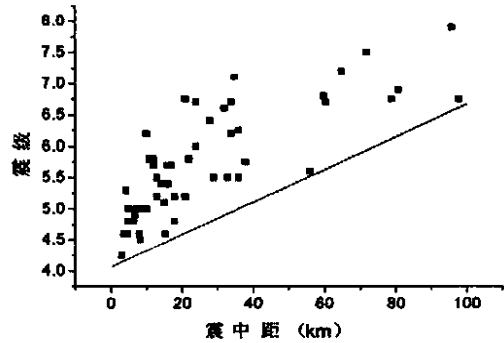


图 4 震级与震中距的关系

Fig. 4 The connection between the magnitude and the distance of epicenter

4 地震崩滑与地震动参数的关系

4.1 地震崩滑与地震震级的关系

地震震级越大, 表明地震释放的能量越高, 地震崩滑更易发生。若以崩滑区面积表示某次地震作用下, 出现崩滑现象的最小烈度区的面积, 则根据四川地区具代表性的 50 例地震崩滑事件绘制图 3。由图 3 可知, 崩滑区面积随震级的增大而增大, 但约束在一定范围, 而且崩滑区面积 (S) 与震级 (M_s) 之间存在一定的关系, 可以近似表示为:

上限方程

$$S = 70.487^{\circ} \exp \left(\frac{M_s - 4.0}{0.415} \right) \quad (1)$$

下限方程

$$S = 0.427^{\circ} \exp \left(\frac{M_s - 4.0}{0.371} \right) \quad (2)$$

式中 S 为地震崩滑区面积 (km^2), M_s 为地震里氏震级。

4.2 地震崩滑与震中距的关系

地震震中距愈大, 表明受地震的影响愈小, 超过一定的距离, 地震崩滑就不会发生。图 4 示出了 53

例地震震级与地震崩滑最大震中距的分布情况。由图4可见,地震崩滑主要发生在震中距 $R\leq 100\text{ km}$ 的区域内。

易发生地震崩滑的区域有如下临界方程:

$$M_{S0}=4.10+0.026R$$

(3)

式中 M_{S0} 为临界地震里氏震级, R 为震中距(km)且 $R\leq 100$ 。只有当 $M_S\geq M_{S0}$ 时,地震崩滑才会发生。

4.3 地震崩滑与地震震源深度的关系

同级地震其震源深度越小,诱发地震崩滑的可能性越大,地震崩滑区面积越大。如1983—08—12万源 $M_S4.5$ 级地震,震源深度约5 km,“鸡冠岭”“目测震落体大小为长30 m,高12 m,厚5 m计1 800 m³左右”,“梨树公社荆竹坝南侧大沟右岸也出现垮崖,崩落体近100 m³”。地震震源深度越小,其诱发地震崩滑的最小震级就越低。如1975—07—16渡口发生2.8级地震,其震源深度只有1.5 km,“渡口市自来水厂后面山坡有滚石”。

4.4 诱发边坡地震崩滑的最小震级与最小烈度

从理论上讲,处于临界状态的边坡只要受到微小震动就会发生崩滑。从文献^[4~6]所记载的历史事

件来看,发生地震滚石的震级一般均大于里氏3.6级。3.6级以下虽也有部分地震滚石发生,但一般危害不大。资料显示,里氏震级4.5级和4.8级以上就会诱发比较普遍的地震崩塌和地震滑坡。但从边坡地震破坏的范围、危害程度及工程意义上看,诱发边坡崩滑的最小地震震级定为4.7级更为合理。

四川地区地震崩滑事件主要发生在Ⅶ—Ⅸ度地震烈度区。Ⅴ度以下烈度区基本没有地震崩滑记录,Ⅴ度区内较少发生,所占比例不足4%。因此,从工程角度出发,可以将Ⅵ度作为诱发地震崩滑的最小烈度。

5 地震崩滑分区

根据四川1949年以来的具有破坏性的地震崩滑事件,绘制成四川地区地震崩滑分布图,如图2所示。由图2及以上分析可知,四川地区地震崩滑主要集中在三个不同的区带,各区带具有不同的地震活动特性、断裂活动特性、地形地貌及地震崩滑危险性,按一定的分区方法^{7,8},可以划分为西部严重危险区、北部中度危险区和东部轻度危险区,其分区特性如表1所示。

表1 四川地区地震崩滑危险性分区特性表
Table 1 The subareas characters of seismic slide in Sichuan

危险性分区	主要活动断裂	地震活动性	地形地貌	地震崩滑次数	危害程度
西部危险区	鲜水河—安宁河—则木河断裂带	$M_S\geq 6.0$ 级42次以上 最大7级	川西高山高原区,河谷深切,坡陡高差大	159	严重
北部危险区	龙门山断裂、岷江断裂、虎牙断裂	$M_S\geq 6.0$ 级18次以上 最大8级	盆周山地区,低、中山	81	中度
东部危险区	荣经—马边—盐津断裂带	$M_S\geq 6.0$ 级5次以上 最大7.1级	川南山地,中山、高山	28	轻度

5.1 西部危险区

本区系指鲜水河—安宁河—则木河断裂带及其以西的川滇菱形块体中北部地区。1600年以来,记载 $M_S\geq 4.7$ 级地震81次, $M_S\geq 6.0$ 级地震42次,最大为1786年康定、泸定磨西间7级地震。地形地貌为高山高原,大部分地区海拔4 000 m~4 500 m,峭壁悬崖,比高1 000 m~3 000 m。1949年以来发生的地震崩滑事件为159次,属严重危害程度的地震崩滑危险区。

5.2 北部危险区

本区系指鲜水河断裂带以东、龙门山断裂带及其以北地区。区内以东北向的龙门山断裂带为主体构造格架,并发育有近南北向的岷江断裂、虎牙断裂

等。1600年以来,记载 $M_S\geq 6.0$ 级地震18次,最大为1879年甘肃文县8级地震。地形地貌为北部盆周山地,海拔一般1 500 m~2 000 m,多为低、中山。1949年以来发生的地震崩滑事件为81次,属中度危害程度的地震崩滑危险区。

5.3 东部危险区

本区系指鲜水河—安宁河—则木河断裂带以东、龙门山断裂带以南地区,重要的地震构造是荣经—马边—盐津断裂带。1600年以来,记载的 $M_S\geq 6.0$ 级地震5次,最大为1974年云南大关7.1级地震。地形地貌北高南低,海拔一般1 500 m~4 000 m,以中、高山为主,岭谷高差多在1 000 m~3 000 m。1949年以来发生的地震崩滑事

件为 28 次,属轻度危害程度的地震崩滑危险区。

除上述三个危险区外,四川境内其余地区地震崩滑较少发生,地震活动性及断裂活动性均较差,地形地貌也不利于地震崩滑的产生。

6 结论

单个地震崩滑的发生并无规律可寻,但在一定空间区域上地震崩滑的群集分布则不是偶然现象,而体现出一定的必然性,找出这种必然规律就可以进一步预测未来滑坡灾害发生的地区和地点。本文总结了四川地区的地震崩滑现象,初步划分出地震滚石、地震崩塌、地震滑坡三种基本类型;认为该区在地震崩滑危险性分析方面,具有工程意义的最小地震震级应为 4.7 级,最小烈度为 VI 度;得出了地震崩滑受活动断裂、地形地貌、地层岩性、震级控制,具有一定的原地复发性,震源深度越浅危害性越大等结论;在此基础上,根据四川各区具有不同的地震崩滑特征,初步划分出西部严重危险区、北部中度危险区和东部轻度危险区共三个危险区,这三个危险

区之外其余地区地震崩滑危险性较小。

参考文献:

- [1] 唐荣昌,韩渭宾.四川活动断裂与地震[M].北京:地震出版社,1993.173.
- [2] Zhou bengang Zhang yuming. Some characteristics of earthquake-induced landslide in southwestern China[J]. *Northwestern Seismological Journal*, 1994, 16(1): 95~103.
- [3] 辛鸿博,王余庆.岩土边坡地震崩滑及其初判原则[J].岩土工程学报,1999,21(5): 591~594.
- [4] 《四川地震资料汇编》编辑组.四川地震资料汇编(第一卷)[M].成都:四川人民出版社,1980.
- [5] 《四川地震资料汇编》编辑组.四川地震资料汇编(第二卷)[M].成都:四川人民出版社,1981.
- [6] 《四川地震资料汇编》编辑组.四川地震资料汇编(第三卷)[M].成都:成都地图出版社,2000.
- [7] 唐荣昌,韩渭宾.四川活动断裂与地震[M].北京:地震出版社,1993.7477.
- [8] 乔建平,赵宇.滑坡危险度区划述评[J].山地学报,2001,19(2): 157~160.
- [9] 田连权.西南山地灾链的区域分异[J].山地研究,1995,13(2): 116~120.

The Distributing and Subarea Character of the Seismic Landslides in Sichuan

YANG tao, DENG rong-gui and LIU xiao-li

(College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong Univ. Chengdu, 610031 China)

Abstract: A large earthquake in a mountainous region can generate thousands of landslides in a few minutes, and those landslides can cause severe damage on the people. The Sichuan region, because of its mountainous terrain and seismic activity, faces a potential hazard from earthquake-induced landslides. In this chapter, the landslides triggered by earthquake have been classified as rock falls and avalanches and slides according to the predominant mode of movement and material. The smallest events likely cause rock falls, avalanches and slides are M_s 3.6, M_s 3.9 and M_s 4.2, respectively. Only the avalanches and slides have great harm in the engineering. The distribution characters of the landslides in Sichuan region are: the first is that the slides mostly focus in the west region; the second is that the slides have the zonal distributing character; the third is that the slides are affected by geological and geomorphological conditions and strata, etc. The slide area improved by the magnitude and the range can describe by the upper and lower limit formula. Form the point of view of engineering, the smallest magnitude and intensity are M_s 4.7 and VI respectively. Finally, the Sichuan area has been distributed into three danger zones, those are the most dangerous area of the west region and the middle dangerous area of the north region and the gentle dangerous area of the east region. The other regions besides the three dangerous ones have lower dangerous in the engineering.

Key words: earthquake-induced landslide; earthquake-induced avalanche; earthquake hazard; fatality subareas