

# 大地震诱发滑坡的分布特点及危险性区划研究<sup>\*</sup>

乔建平<sup>1</sup>, 蒲晓虹<sup>2</sup>, 王 萌<sup>1</sup>, 田宏岭<sup>1</sup>, 杨宗佶<sup>1</sup>, 石莉莉<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地表过程与山地灾害重点实验室, 中国科学院成都山地灾害与环境研究所,  
四川 成都 610041; 2. 四川省地震局, 四川 成都 610041)

**摘 要:**汶川8.0级大地震诱发大规模以滑坡、崩塌为主的地质灾害,改变了原有的地貌形态,形成多处堰塞湖,毁坏民房和道路,使之成为严重的次生滑坡灾害危险区域。以成都市的都江堰、彭州、崇州、邛崃、大邑5个市、县地震区为研究区,分析了滑坡分布与地震烈度和宏观震中距关系,并在GIS技术的支持下采用贡献权重迭加法进行了滑坡危险性区划,分别获得研究区不同等级的危险区面积和滑坡分布密度,其中彭州、都江堰成为地震滑坡最严重的区域。

**关键词:**地震滑坡;危险性区划;汶川8.0级地震

**中图分类号:** P315.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)02-0025-05

## 0 前言

受汶川8.0级大地震影响严重的成都市都江堰、彭州、崇州、邛崃、大邑5个市、县均位于四川盆地西部,龙门山前地带,介于 $103^{\circ}10' \sim 103^{\circ}59'E$ 和 $30^{\circ}22' \sim 30^{\circ}49'N$ 之间,总面积约6 644 km<sup>2</sup>,东邻什邡市、西北接汶川、茂县(图1)。灾区地势差异显著,地势呈现西北高、东南低的格局,东西高差达4 977 m。西部多以深丘和山地为主,海拔大多在1 000~3 000 m之间;东部属于四川盆地盆底平原,地势平坦,海拔在750 m左右。其中,都江堰、彭州两市为地震灾害极重区。据有关国土部门统计资料,汶川大地震引发的地质灾害点共1 286处,主要集中分布在都江堰、彭州两市,成为本次地震滑坡的重灾区;其次为崇州市,在一定范围内灾害影响严重,大邑县、邛崃市两地的灾害影响相对较轻。本文将选用159处有具体坐标点的滑坡进行相关研究。

## 1 滑坡灾害特点

### 1.1 滑坡概况

滑坡均发生在汶川8.0级大地震的主震瞬间。

公路边坡发育的崩塌、滑坡极为典型,主震发生之后都(江堰)—汶(川)公路、都(江堰)—虹(口)公路;彭(州)—小(鱼洞)、龙门山、彭(州)—白(鹿)公路瞬间因地震崩塌、滑坡被堵塞断道。彭州市银厂沟风景旅游区也在瞬间被滑坡、崩塌造成的滚石埋没。都江堰虹口风景旅游区白沙河上游瞬间形成3个堰塞湖群,蓄水2 000万m<sup>3</sup>。余震期间虽有崩塌相继发生,但其规模和影响范围都十分有限(表1)。

表1 地震滑坡灾害统计

地区/ 市、县	滑坡主 要类型	数量/处	分布海拔 高程/m	分布范围
都江堰	大、中型	427	700~1 800	白沙河、岷江沿岸
彭州	大、中型	364	900~2 300	小鱼洞镇、龙门山镇
崇州	中、小型	204	800~2 000	鸡冠山、三郎镇
邛崃	小型	178	700~1 800	天台山
大邑	小型	113	900~2 000	西岭镇
统计	大、中、小型	1286	700~2 000	中、低山区

注:表中数据来自成都市国土资源局

### 1.2 滑坡分布

#### 1.2.1 滑坡分布与地震烈度( $I_0$ )

地震烈度具有一定规律的衰减性<sup>[1-3]</sup>。地震滑坡与地震烈度的相关性显示了地震滑坡分布区域规律<sup>[4]</sup>。此次地震诱发的159处有坐标位置的滑坡,

<sup>\*</sup> 收稿日期:2008-12-03

基金项目:科技部国际合作项目(2007DFA21150);中科院三期创新项目(KJCX3-SW-L1-6);国家“十一五”重点科技支撑计划项目(2006BAC04B05);科技部(气象)科研专项(GYHY(QX)2007-6-37)

作者简介:乔建平(1953-),四川成都人,男,研究员,博士生导师,研究方向为滑坡规律、滑坡机理与滑坡危险度区划。

E-mail: jpqiao@imde.ac.cn

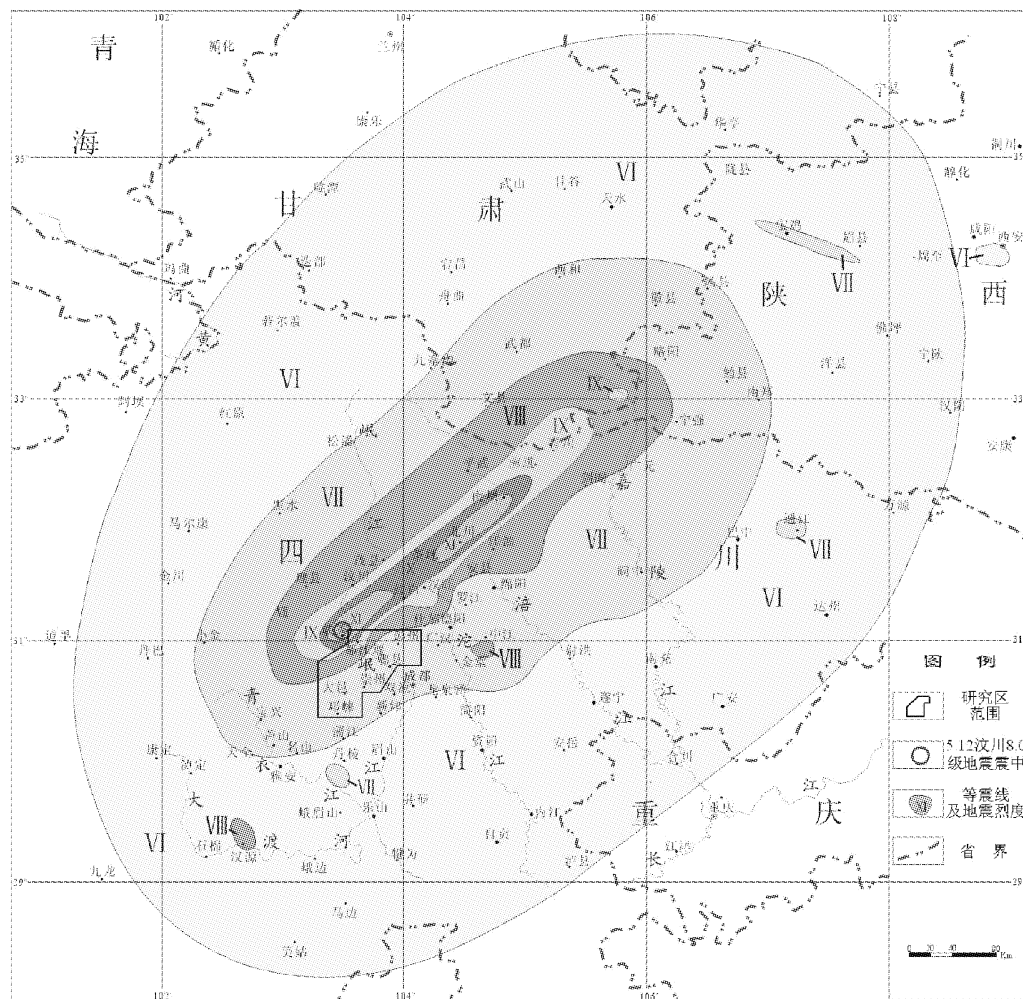


图1 汶川8.0级大地震成都市地震区区域位置示意图(据王世元清绘图件改编)

主要分布的宏观地震烈度区(据中国地震局) $I_0$ 为XI~Ⅷ度。其中,大型滑坡( $V \geq 100$  万  $\text{m}^3$ )和中型滑坡( $50$  万  $\text{m}^3 \leq V < 100$  万  $\text{m}^3$ )主要分布在烈度 $I_0$ 为XI~Ⅸ度;小型滑坡( $V < 50$  万  $\text{m}^3$ )主要分布在烈度 $I_0$ 为X~Ⅷ度;滑坡分布密度和不同体积滑坡的分

布与地震动强度及宏观烈度衰减性基本保持一致,大、中型滑坡分布与极震区的高烈度区相关。Ⅷ度区是成都市在本次地震中产生滑坡的最低烈度区,一般分布的滑坡体积 $V < 10$  万  $\text{m}^3$ 。所以,受地震滑坡严重破坏的区为地震烈度XI~Ⅹ度(图2~图5)。

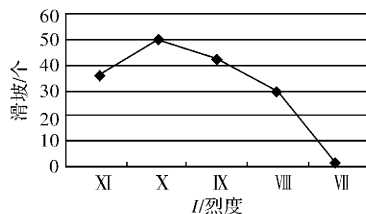


图2 全部滑坡与烈度分布

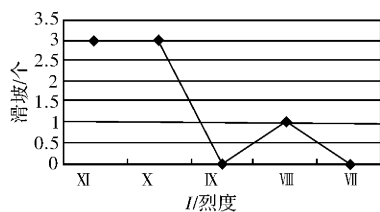


图4 中型滑坡与烈度分布

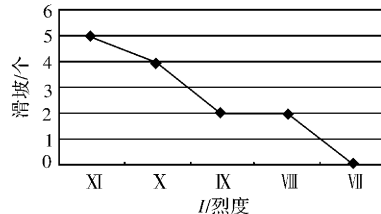


图3 大型滑坡与烈度分布

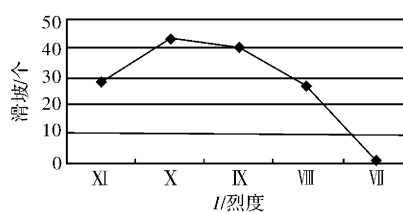


图5 小型滑坡与烈度分布

### 1.2.2 滑坡分布与震中距( $L$ )

滑坡震中距表示具体滑坡与震中位置分布的距离<sup>[5]</sup>。根据汶川大地震初始破裂记录的微观震中区(31.00°N、103.40°E), 并不是地震滑坡最集中分布区域。依据中国地震局公布的宏观地震烈度, 可以确定出宏观震中位置(31.27°N、103.58°E)。分别以两个不同的震中位置统计滑坡分布震中距(图6、图7), 其中, 滑坡微观震中距反映出的规律性较差, 如有震中距 $L=10\sim20$  km、 $50\sim60$  km 两处主要滑坡分布震中距。最大震中距 $L_{\max}\leq 70$  km, 与宏观烈度 $I_0$ 为XI~X度的椭圆短轴半径距离不吻合。而滑坡宏观震中距反映出的规律性较好, 主要滑坡分布震中距 $L=20\sim30$  km, 最大震中距 $L_{\max}\leq 50$  km。与宏观烈度 $I_0$ 为XI~X度的椭圆短轴半径距离基本吻合<sup>[6]</sup>。

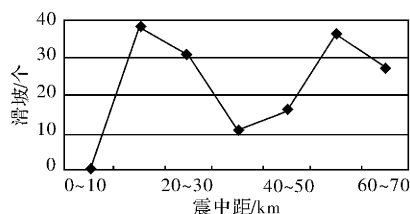


图6 滑坡与微观震中距分布图

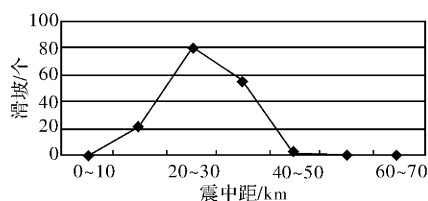


图7 滑坡与宏观震中距分布图

## 2 危险性评价

### 2.1 评价方法

研究区的环境因素对滑坡发育做出了不同程度的贡献, 其贡献程度的大小显示了滑坡易发生的危险程度。根据此原理, 采用多因子贡献权重迭加方法, 分别建立评价指标体系、评价模型、危险程度分区标准。该方法是将区内的环境本底因子在GIS系统中建成若干个因子图层, 求出每一个因子对滑坡发育的贡献率, 通过贡献率与权重转换, 得到滑坡因子的贡献权重—自权重( $w$ )和互权重( $w'$ )<sup>[7]</sup>。将这两种权重与因子的贡献率相乘迭加, 按等间距法划分3级评价区间<sup>[8]</sup>, 最后得出空间危险性区划结果(图8)。

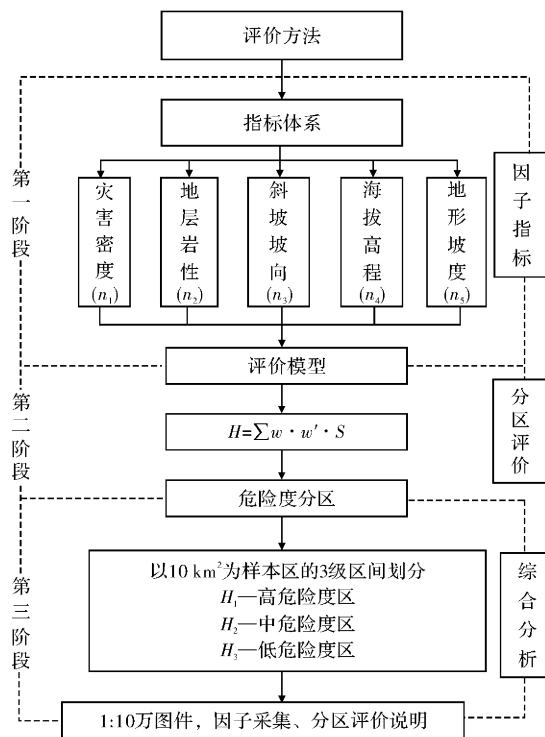


图8 滑坡危险性评价方法

### 2.2 评价指标

评价指标共选用5个, 制定危险性贡献评价标准, 采用ArcGIS软件对研究区进行 $3\times 3$  km栅格化, 共建立749个样本点 $S_{ij}$ , 在样本中对这些指标进行定量采样后, 得出分析结果:

$$H \rightarrow f(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5), \quad (1)$$

式中:  $H$ 为滑坡危险度;  $f$ 为环境本底因素关系;  $n_1$ 为滑坡密度;  $n_2$ 为岩性;  $n_3$ 为坡向;  $n_4$ 为高程;  $n_5$ 为坡度。选用的5个本底因子指标均是可以从DEM、DRG图层(1:5万)、地质图层(1:20)上直接获取的数据, 并经过野外验证检验。

### 2.3 贡献分析

5个因子对滑坡的贡献作用是统计这些因子与滑坡数量的关系来分析的。如滑坡分布密度的贡献是以表2为标准, 从每 $10\text{ km}^2$ 采样网格统计后获得(图9)。滑坡和崩塌物质各有一定趋同性, 滑坡多发生在三迭系( $T_3$ )须家河组砂岩、泥质砂岩地层中。崩塌多发生在中元古代( $P_2$ )黄水河群的碎屑岩、碳酸盐岩中, 前者岩性较软弱, 易产生滑坡; 后者岩性较坚硬, 但裂隙发育, 且破碎, 易产生崩塌(图10)。按每 $45^\circ$ 的方位角进行统计(N:  $0\sim 45^\circ$ 、 $315^\circ\sim 360^\circ$ ; E:  $45^\circ\sim 135^\circ$ ; S:  $135^\circ\sim 225^\circ$ ; W:  $225^\circ\sim 315^\circ$ ), 东、南坡向成为本地震的主要滑坡方向(图11)。地貌条件基本划分出地震滑坡的主要分布区域格局, 与龙门山前山海拔高程 $700\sim 2\,000$  m的低、中山区成为地

震滑坡发育的区域地貌环境地带(图 12)。20° ~ 40°的斜坡是地震滑坡的主要地形条件,其中 20° ~ 30°斜坡带集中了主要滑坡分布数量(图 13)。

表 2 滑坡分布密度评价标准

指标分类	评价标准	分级标准
A <sub>1</sub>	10 km <sup>2</sup> ≥ 5 处(地震前、后地质灾害点)	高密度区
A <sub>2</sub>	3 ≤ 10 km <sup>2</sup> < 5 处(地震前、后地质灾害点)	中密度区
A <sub>3</sub>	3 处 < 10 km <sup>2</sup> (地震前、后地质灾害点)	低密度区

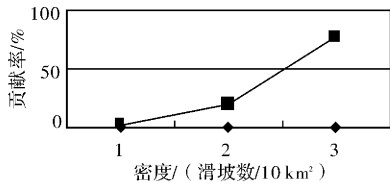


图 9 滑坡分布密度( $n_1$ )贡献率

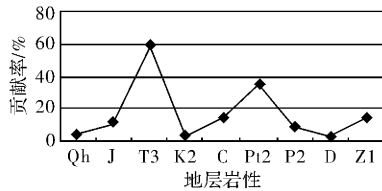


图 10 地层岩性( $n_2$ )贡献率

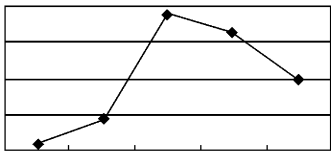


图 11 坡向( $n_3$ )贡献率

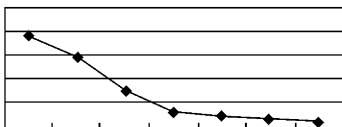


图 12 高程( $n_4$ )贡献率

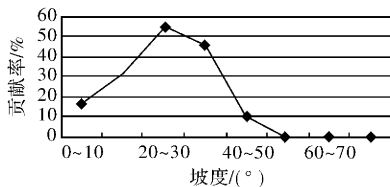


图 13 坡度( $n_5$ )贡献率

2.4 评价模型

应用图 8 中的评价模型,首先确定滑坡因子权重。采用参考文献[7]的权重计算方法:

$$w_i = R_i / \sum R_i, \quad (2)$$

式中: $w$ 为权重; $R$ 为综合贡献率( $R = \sum U_i$ 、 $U$ 为贡献率)。求出滑坡因子的贡献权重,即:自权重 $w$ 和互

权重 $w'$ (表 3、表 4)。

表 3 滑坡因子自权重权值表

因子/ $n_i$	自权重/ $w_i$		
	高	中	低
岩性	0.625	0.329	0.046
高程	0.637	0.283	0.080
坡度	0.529	0.335	0.136
坡向	0.589	0.326	0.085
密度	0.790	0.190	0.020

表 4 滑坡因子互权重权值表

因子/ $n_i$	密度/ $w'_1$	岩性/ $w'_2$	坡向/ $w'_3$	高程/ $w'_4$	坡度/ $w'_5$
互权重( $w'_i$ )	0.249	0.197	0.186	0.201	0.167

再采用贡献权重迭加法评价模型计算区域滑坡危险度<sup>[8]</sup>。

$$H = \sum w_i \cdot w'_i \cdot S_{ij}, \quad (3)$$

式中: $H$ 为滑坡危险度; $S_{ij}$ 为评价因子( $i, j$ 为第  $i$  行第  $j$  列栅格)。采用式(3),得到研究区地震滑坡危险度区划结果(表 5、图 14)。

表 5 成都市 5 个市、县地质灾害危险性评价表

统计项目	彭州	都江堰	崇州	大邑	邛崃
面积/km <sup>2</sup>	1 421.84	1 208.95	1 089.21	1 284.41	1 377.03
各级别危	高 301.25	高 109.29	高 0	高 0	高 0
险区面积	中 612.62	中 261.24	中 930.29	中 208.46	中 10.94
/km <sup>2</sup>	低 507.97	低 838.42	低 158.92	低 1 075.95	低 1 366.09
滑坡分	高 0.219	高 0.640	高 -	高 -	高 -
布密度	中 0.114	中 0.214	中 0.010	中 0.034	中 0.091
/(个/km <sup>2</sup> )	低 0.014	低 0.010	低 0	低 0	低 0.004

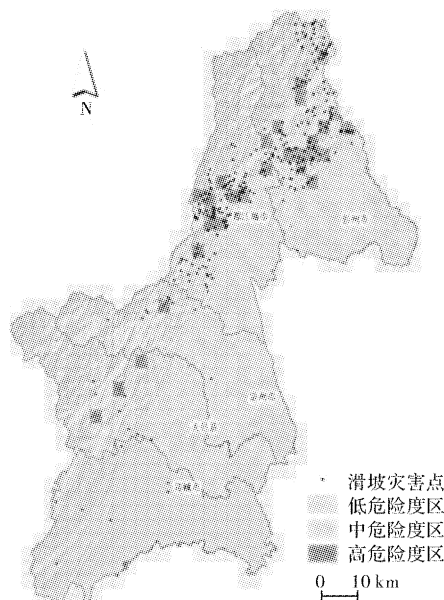


图 14 成都市地震滑坡危险度区划图

### 3 结语

(1) 以地震初始破裂确定微观震中区, 往往不是地震滑坡的主要分布区。分析地震滑坡的分布特点, 应该采用地震宏观震中来统计滑坡与地震要素的相关性, 才可能得到理想的结果<sup>[9]</sup>。

(2) 地震滑坡的分布密度、滑坡规模均随宏观烈度衰变。其中、大、中型滑坡主要分布在地震烈度区  $I_0$  为 XI ~ IX 度, 成为地震滑坡灾害破坏严重区。小型滑坡分布范围为地震烈度区  $I_0$  为 X ~ VIII 度, 成为地震滑坡灾害破坏次严重区。地震滑坡的分布主要宏观震中距  $L = 20 \sim 30$  km; 最大震中距  $L_{\max} \leq 50$  km。

(3) 采用贡献权重迭加法对研究区危险性评价的结果, 地震滑坡高危险区主要位于都江堰和彭州的北部区, 其中, 彭州的高、中危险区范围大于都江堰, 遭受到的滑坡灾害损失最严重。

### 参考文献:

- [1] 雷建成, 高孟潭, 俞言祥. 四川及临近地区地震动衰减关系[J]. 地震学报, 2007, 29(5): 500 - 511.
- [2] 龚平, 曾心传. 不同地震烈度衰减关系形式的非等价性研究[J]. 地震研究, 1990, 13(4): 19 - 28.
- [3] 李涌, 姚永波. 阿坝州及邻区地震烈度衰减关系[J]. 四川地震, 2000, (4): 58 - 61.
- [4] 乔建平, 刘恒一. 攀西地区地震诱发滑坡的类型及发育规律[J]. 四川地理, 1985, (7): 92 - 102.
- [5] 乔建平, 蒲晓虹. 川西南滇北接壤带地震滑坡概述[J]. 山地研究, 1987, 6(3): 181 - 186.
- [6] 乔建平, 蒲晓虹. 川滇地震滑坡分布规律探讨[J]. 地震研究, 1992, 15(4): 411 - 417.
- [7] 乔建平, 吴彩燕. 滑坡本底因子贡献率与权重转换研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 13 - 16.
- [8] 王萌, 乔建平, 吴彩燕. 基于 GIS 和本底因素贡献权重模型的区域滑坡危险性评价[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 8 - 15.
- [9] 李忠生. 国内外地震滑坡研究综述[J]. 灾害学, 2003, 18(4): 64 - 69.

## A Study on Characteristics of Distribution of Earthquake-induced Landslides and Hazard Zoning

Qiao Jianping<sup>1</sup>, Pu Xiaohong<sup>2</sup>, Wang Meng<sup>1</sup>,  
Tian Hongling<sup>1</sup>, Yang Zongji<sup>1</sup> and Shi Lili<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Geo-surface Process and Mountain Hazards, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China; 2. Sichuan Earthquake Administration, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** The large-scale geological hazards as landslides and collapses induced by the Wenchuan earthquake of magnitude 8.0 on 12 May 2008 changed original geomorphologic features, formed many dammed-lakes and destroyed houses and roads which became a serious landslide risk in this region. Taking earthquake regions in Chengdu, including Jiangyan, Pengzhou, Chongzhou, Qionglai and Dayi as research areas, the relation between landslide distribution and seismic intensity and macroscopic epicentral distance is analyzed. Based on GIS technology and landslide hazard zoning, the hazard area and landslide distribution density in the areas with different risk levels are obtained by use of the method of contribution weight superposition. The results show that Pengzhou and Du Jiangyan are most seriously affected by earthquake landslides.

**Key words:** seismic landslide; hazard zoning; Wenchuan earthquake of magnitude 8.0