李奋生，李勇，赵国华，等. 汶川 8.0 级地震震后泥石流空间分布和控制因素分析[J]. 灾害学，2014，29(2)：38 -41.
[Li Fensheng，Li Yong，Zhao Guohua，et al. Space Distribution and Control Factors of Debris Flows after Wenchuan M8.0 Earthquake[J]. Journal of Catastrophology，2014，29(2)：38 -41.]

汶川 8.0 级地震震后泥石流空间分布和控制因素分析*

李奋生[1,2]，李　勇[1,2]，赵国华[1,2]，颜照坤[1,2]，郑立龙[1,2]，
李敬波[1,2]，王世元[3]，闫　亮[1,2]，张　威[3]，马　超[3]

（1. 成都理工大学 地球科学学院，四川 成都 610059；2. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室，四川 成都 610059；3. 四川省地震局，四川 成都 610041）

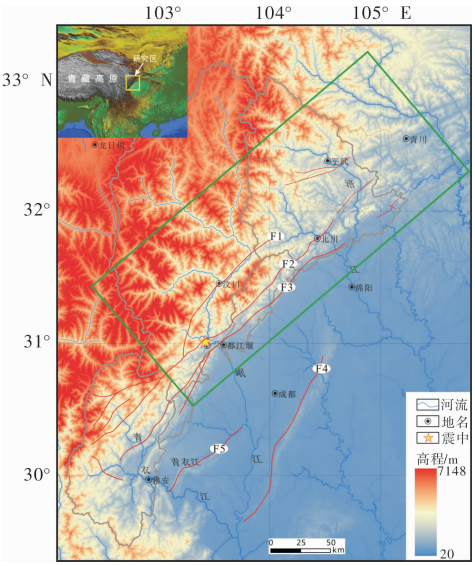
摘　要：基于对汶川 8.0 级地震同震地质灾害和震后 5 年来龙门山中北段地质灾害空间分布的刻画，对震后泥石流灾害空间分布及其控制因素进行分析，获得以下认识：震后泥石流集中分布在北川 - 映秀断裂上盘 10 km 范围以内，相对于同震崩塌、滑坡具有更明显的上盘效应。震后泥石流的空间分布主要受松散堆积物分布范围、地形地貌、岩性、降水等多种因素控制。其中同震崩塌、滑坡松散堆积物为震后泥石流的发生提供了重要的物质来源；地形地貌是控制震后泥石流发生的重要影响因素，为泥石流提供了势能和启动的空间条件；震后泥石流集中发生在前震旦系彭灌杂岩和古生界粉砂岩、砂岩等岩性分布区；降水是导致震后泥石流地质灾害发生的直接诱发因素。

关键词：汶川地震；震后；泥石流；空间分布；控制因素
中图分类号：TP751；X43　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000 -811X(2014)02 -0038 -04
doi：10.3969/j.issn.1000 -811X.2014.02.009

2008 年 5 月 12 日 14：28 汶川 8.0 级强烈地震触发了大量的崩塌、滑坡等地质灾害，其数量之多、分布之广、类型之复杂、破坏之巨大，举世罕见[1-3]。汶川地震以及震后次生地质灾害形成的大量松散堆积物仍然堆积在山谷中，为震后泥石流地质灾害的发生提供了物质条件。国内学者针对不同区域或从不同角度对汶川地震震后泥石流进行了探讨，取得了一些重要的认识[4-8]。本文通过对同震地质灾害和震后泥石流的野外考察，结合宏观分析和微观分析，通过对研究区同震地质灾害的空间分布以及研究区地形地貌、岩性特征、降水特征等因素的分析，探讨汶川地震震后泥石流的空间分布及其控制因素，希望能为震后泥石流灾害的预测和防治提供借鉴和参考。

1　研究区概况

龙门山冲断带处于扬子地台和松潘 - 甘孜褶皱带的分界线上[9]。龙门山自西向东发育有茂县 - 汶川断裂(后山断裂)、北川 - 映秀断裂(中央断裂)和彭灌断裂(前山断裂)。龙门山的最高峰九顶山 4 984 m，而山前的成都盆地海拔高程仅为 450 ~ 710 m，地形陡度变化的宽度仅为 15 ~ 20 km，显示了该区域为青藏高原边缘山脉中陡度变化最大的地区(图 1)[10]。

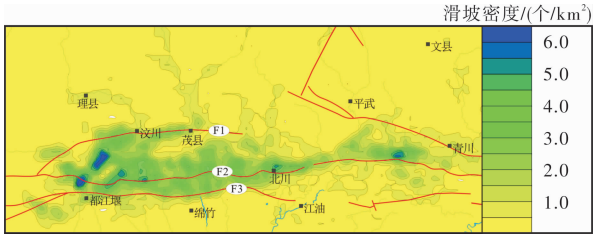


（绿色框为本次研究区的范围）
图 1　龙门山及邻区地貌特征图

* 收稿日期：2013 -10 -09　　修回日期：2013 -12 -10
基金项目：国家自然科学基金面上项目“汶川地震驱动的崩塌、滑坡和泥石流的河流响应过程研究”(41172162)
作者简介：李奋生(1978 -)，男，湖南衡南人，博士研究生，副教授，主要从事第四纪地质学研究. E-mail：lifensheng@163.com

2　同震崩塌、滑坡的空间分布

汶川地震发生后，我们多次到地震灾区进行野外实地考察和观测，获得了崩塌、滑坡的密度分布图(图 2)。发现汶川地震同震地质灾害类型以崩塌、滑坡为主，主要发生在彭灌断裂与茂县－汶川断裂之间，并且具有明显的上盘效应，即在主干发震断裂(北川－映秀断裂)上盘发育更多的同震地质灾害(图 2)。

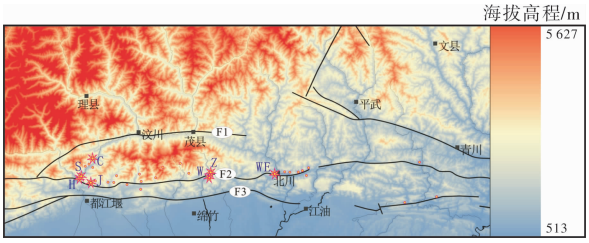


(F1：茂县－汶川断裂；F2：北川－映秀断裂；F3：彭灌断裂)
图 2　汶川地震驱动的同震滑坡密度分布图

3　震后泥石流的空间分布

同震崩塌、滑坡松散堆积物为震后泥石流的发生提供了重要的物质来源[11]，因此震后泥石流的空间分布也主要受同震崩塌、滑坡松散堆积物分布范围的影响，但是根据对震后 32 个泥石流的野外考察(图 3)，可以发现震后泥石流分布区与同震崩塌、滑坡松散堆积物分布区有一定的差异性：震后泥石流集中分布在北川－映秀断裂上盘 10 km 范围以内，相对于同震崩塌、滑坡具有更明显的上盘效应。

我们对 7 个较为典型的震后泥石流进行资料收集和实地勘测，统计出该 7 个泥石流沟谷的同震滑坡量、泥石流输出量，并根据这两个数据计算出本次泥石流输出量占沟谷中滑坡量的百分比，即输出率。对输出率的统计将对以后泥石流的预测提供重要的参考，并随着统计数据的完善，可以预测地震对该地区泥石流灾害持续影响的时间(表 1)。



(F1：茂县－汶川断裂；F2：北川－映秀断裂；F3：彭灌断裂；H：红椿沟泥石流；W：文家沟泥石流；S：烧房沟泥石流；C：彻底关沟泥石流；J：碱坪沟泥石流；WE：魏家沟泥石流；Z：走马岭泥石流；圆点为其它泥石流位置)
图 3　汶川地震震后泥石流控制因素分析

4　震后泥石流的控制因素分析

本次重点对汶川地震同震滑坡区地形地貌、降水分布特征、岩性差异性等因素进行分析，研究其对震后泥石流灾害的控制作用。

4.1　地形地貌对震后泥石流的控制作用

本文利用 ArcGIS10.0 软件，基于 DEM 数据，经过多次选取栅格窗口计算窗口内地面坡度的平均值，获得研究区平均坡度区间为 0～74.7°的坡度分布图(图 4)，并将平均坡度范围分为四个等级，获得平均坡度为 0～10°、10°～21°、21°～35°和 35°～74.7°四个坡度区间的分布范围图(图 4)。通过对震后 32 个较为典型泥石流的野外考察，确定这些泥石流的坐标，进而可以获得其所处的宏观地形环境。通过对研究区平均坡度分布图的分析可知，震后泥石流多发生在前山带，平均坡度一般在 20°以上。另外，通过对 7 个震后泥石流的详细考察，发现这 7 条沟的相对高度均超过 1 000 m，平均坡度一般为 30°～45°。我们认为较大的地形高差可以给予同震滑坡堆积物更高的势能，而较大的坡度可以使静态的同震滑坡堆积物更容易向下运动，形成泥石流。

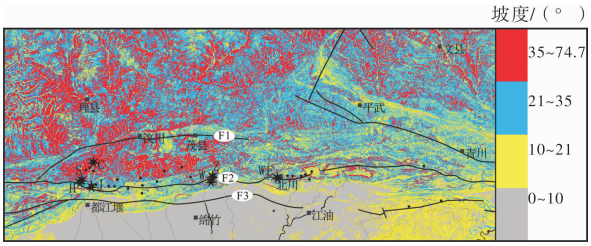
因此，地形地貌是控制震后泥石流发生的重要影响因素，为泥石流提供了势能和启动的空间条件。另外，对于这种松散堆积物(并不限于同震崩塌、滑坡堆积物)较多、相对高度较大、坡度较大的沟谷，我们今后需要重点监测。

表 1　一致性检验及均一性检验结果

序号	地点	时间	同震滑坡量/10^4 m^3	泥石流输出量/10^4 m^3	本次输出率/%	距汶川地震时间/年	资料来源
1	映秀镇红椿沟	2010－08－14	358.1	80.5	22.48	2.25	[12]
2	绵竹清平乡文家沟	2010－08－13	2 750	310	11.27	2.25	[13]
3	汶川烧房沟	2010－08－14	251.9	25	10	2.25	[14]
4	汶川彻底关沟	2011－07－19	465.43	13.6	2.92	3	[15]
5	都江堰碱坪沟	2010－08－13	272	16	5.88	2.25	[16]
6	北川魏家沟	2008－09－24	110	34	30.9	0.5	[17]
7	绵竹走马岭	2010－08－13	1 614	450	27.88	2.25	[18]

表 2 汶川地震震后泥石流控制因素分析

序号	地点	时间	相对高度/m	平均坡度/(°)	小时降水量/mm	岩性	资料来源
1	映秀镇红椿沟	2010－08－14	1 288.4	35	32.2	花岗岩	[12]
2	绵竹清平乡文家沟	2010－08－13	1 519	40	38.7	粉砂岩	[13]
3	汶川烧房沟	2010－08－14	1 014	55	55.2	花岗岩	[14]
4	汶川彻底关沟	2011－07－19	2 381.5	25	51.4	花岗岩	[15]
5	都江堰碱坪沟	2010－08－13	1 100	45	71.3	堆积物	[16]
6	北川魏家沟	2008－09－24	1 040	40	62	砂板岩	[17]
7	绵竹走马岭	2010－08－13	1 080	35	37.4	粉砂岩	[18]

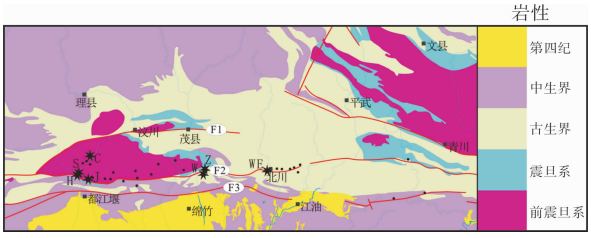


(F1：茂县－汶川断裂；F2：北川－映秀断裂；F3：彭灌断裂；H：红椿沟泥石流；W：文家沟泥石流；S：烧房沟泥石流；C：彻底关沟泥石流；J：碱坪沟泥石流；WE：魏家沟泥石流；Z：走马岭泥石流；圆点为其它泥石流位置)

图 4 汶川地震滑坡区平均坡度分布图

4.2 岩性对震后泥石流的控制作用

岩性对泥石流的发生也具有一定的影响[19]。针对本文所涉及的研究区，我们通过对震后泥石流的野外考察确定其岩性，从图 5 可以看出，震后泥石流集中发生在前震旦系彭灌杂岩和古生界粉砂岩、砂岩等岩性分布区，说明二者具有很好的相关性，这表明岩性对震后泥石流也具有一定的控制作用。因此，在前震旦系彭灌杂岩和古生界粉砂岩、砂岩等岩性分布区是发生泥石流的高危区，需重点关注。



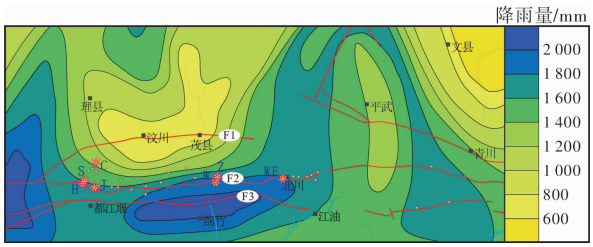
(F1：茂县－汶川断裂；F2：北川－映秀断裂；F3：彭灌断裂；H：红椿沟泥石流；W：文家沟泥石流；S：烧房沟泥石流；C：彻底关沟泥石流；J：碱坪沟泥石流；WE：魏家沟泥石流；Z：走马岭泥石流；圆点为其它泥石流位置)

图 5 汶川地震滑坡区地质简图

4.3 降水对震后泥石流的控制作用

降水是震后泥石流发生的直接诱发因素[11]，但是究竟什么样的降水强度可以诱发泥石流呢？我们通过对研究区宏观年平均降水量分布图和典型泥石流小时降雨量的分析来回答这一问题。

首先，通过对较为典型的 32 个震后泥石流在年平均降水量分布图(图 6)中的位置进行分析，我们发现震后泥石流多发生在年平均降水量大于 1 400 mm 的地区，特别是在清平至映秀一带，震后泥石流恰好集中分布在年平均降水量 1 400～1 800 mm 之间。表明在松散堆积物和地形地貌相似的地区，年平均降水量大于 1 400mm 的地区将是震后泥石流发生的高危区，需重点关注。



(F1：茂县－汶川断裂；F2：北川－映秀断裂；F3：彭灌断裂；H：红椿沟泥石流；W：文家沟泥石流；S：烧房沟泥石流；C：彻底关沟泥石流；J：碱坪沟泥石流；WE：魏家沟泥石流；Z：走马岭泥石流；圆点为其它泥石流位置)

图 6 汶川地震滑坡区年平均降水量分布图

其次，通过对 7 个典型泥石流的降水量的统计，我们发现发生大型泥石流的小时降水量均大于 30 mm，最高可达 71.3 mm，整体上降水强度多介于 40～50 mm/h(表 2)。因此，对于具体地区，降水强度是诱发泥石流的直接因素，当降水强度大于 30 mm/h 时，需要密切关注，并且需要随着降水强度的增加而加大监测力度。

5 讨论与认识

通过对汶川地震同震崩塌、滑坡等地质灾害和震后泥石流的野外实地考察，结合研究区的地形地貌、降水量和岩性等因素的分析，获得以下认识：

(1)汶川地震导致的巨量松散堆积物大部分仍被保留在原地，导致大规模地质灾害将在震后持续一定时间，震后主要地质灾害类型为泥石流及其导致的堰塞湖等地质灾害；

(2)同震崩塌、滑坡松散堆积物为震后泥石流的发生提供了重要的物质条件，因此震后泥石流的空间分布也主要受同震崩塌、滑坡松散堆积物分布范围的影响，但具有一定的差异性，即震后

泥石流比同震崩塌、滑坡具有更明显的上盘效应；

(3)地形地貌对震后泥石流的控制作用主要体现在地形高差和坡度两个方面，较大的地形高差(大于 1 000 m)和坡度(30°～45°)可以为泥石流提供更合适的空间环境；

(4)岩性差异也可以控制震后泥石流的发生，在前震旦系彭灌杂岩和古生界粉砂岩、砂岩等岩性分布区是发生泥石流的高危区；

(5)降水是导致震后泥石流地质灾害发生的直接诱发因素，在松散堆积物较多的地区，年平均降水量大于 1 400 mm 的地区是爆发泥石流的高危区，而当降水强度大于 30 mm/h 时，极易诱发泥石流地质灾害。

参考文献：

[1] 黄润秋. 汶川 8·0 级地震触发崩滑灾害机制及其地质力学模式[J]. 岩石力学与工程学报，2009，28(6)：1239－1249.

[2] 黄润秋. “5·12”汶川大地震地质灾害的基本特征及其对灾后重建影响的建议[J]. 中国地质教育，2008 (2)：21－24.

[3] 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.

[4] 刘洋，唐川，李为乐，等. 四川省都江堰市龙池地区群发性泥石流物源敏感性分析[J]. 灾害学，2013，28(2)：107－113.

[5] 甘建军，孙海燕，黄润秋，等. 汶川县映秀镇红椿沟特大型泥石流形成机制及堵江机理研究[J]. 灾害学，2012，27(1)：5－9，16.

[6] 梁京涛，唐川，王军，等. 强震区小流域泥石流发育特征研究——以四川省绵竹市罗家沟泥石流为例[J]. 灾害学，2013，28(3)：100－104.

[7] 郭晓军，向灵芝，周小军，等. 高家沟泥石流和深溪沟泥石流灾害特征[J]. 灾害学，2012，27(3)：81－85.

[8] 张怀珍，范建容. 基于地貌指数的汶川地震灾区单沟泥石流总量计算方法[J]. 灾害学，2012，27(3)：86－91.

[9] 许志琴，侯立玮，王宗秀. 中国松潘－甘孜造山带的造山过程[M]. 北京：地质出版社，1992.

[10] 李勇，周荣军，Densmore A L，等. 青藏高原东缘大陆动力学过程与地质响应[M]. 北京：地质出版社，2006.

[11] 李奋生，李勇，颜照坤，等. 构造、地貌和气候对汶川地震同震及震后地质灾害的控制作用——以龙门山北段通口河流域为例[J]. 自然杂志，2012，34(4)：216－218.

[12] 李德华，许向宁，郝红兵. 四川汶川县映秀镇红椿沟“8·14”特大泥石流形成条件与运动特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报，2012，23(3)：32－38.

[13] 余斌，马煜，吴雨夫. 汶川地震后四川省绵竹市清平乡文家沟泥石流灾害调查研究[J]. 工程地质学报，2010，18(6)：827－836.

[14] 李学全. 阿坝州年鉴[M]. 成都：四川出版集团巴蜀书社，2011.

[15] 肖维，龚睿. 在建映(秀)汶(川)高速公路彻底关沟泥石流发育基本特征[J]. 西华大学学报：自然科学版，2012，31(4)：108－112.

[16] 杨成林，陈宁生，邓明枫. 碱坪沟地震次生泥石流形成特征与发展趋势[J]. 水土保持通报，2011，31(6)：59－63.

[17] 唐川，铁永波. 汶川震区北川县城魏家沟暴雨泥石流灾害调查分析[J]. 山地学报，2009，27(5)：625－630.

[18] 常鸣，唐川，李为乐，等. 四川绵竹清平乡“8·13”走马岭特大泥石流灾害特征[J]. 成都理工大学学报：自然科学版，2012，39(6)：629－635.

[19] 鲁科，余斌，韩林，等. 泥石流流域岩性的坚固系数与暴发频率的关系[J]. 地球科学进展，2011，26(9)：980－988.

Space Distribution and Control Factors of Debris Flows after Wenchuan M8.0 Earthquake

Li Fensheng[1,2], Li Yong[1,2], Zhao Guohua[1,2], Yan Zhaokun[1,2], Zheng Lilong[1,2], Li Jingbo[1,2], Wang Shiyuan[3], Yan Liang[1,2], Zhang Wei[3] and Ma Chao[3]

(1. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*; 2. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*; 3. *Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu* 610041, *China*)

Abstract: On the basis of coseismic geological disasters of and spatial distribution of geological disasters characterizations of the northern section in Longmen in 5 years after Wenchuan M8.0 earthquake, debris flow disaster of earthquake spatial distribution and its control factors are analyzed. Results show that debris flows after the earthquake distributed mainly 10km within the hanging wall in Beichuan-Yingxiu fault. Compared to the same earthquake collapse, the landslides are of more obvious hanging wall effect. The spatial distribution of landslides after the earthquake is mainly influenced by a variety of physical distribution of loose deposits, topography, lithology, precipitation and other factors. The same occurrence earthquake collapse, landslide loose deposits for post earthquake debris flow provide important material sources. The topography is the important factor that controls the occurrence of debris flow, and it offers potential energy and the space condition of start-up for the debris flow. After the earthquake, debris flow occurs in the pre Sinian Pengguan complex and Paleozoic siltstone, sandstone lithologic distribution area. Precipitation is the direct factor that leads to the occurrence of debris flow.

Key words: Wenchuan Earthquake; post-seismic; debris flow; space distribution; controlling factor