

## 5.12 汶川大地震极震区灾害成因初析\*

邹和平, 刘玉亮, 郑卓, 李出安, 刘伟东  
(中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

**摘要:** 对5.12汶川大地震极震区进行的初步地震灾害地质调查结果表明: 地震灾害沿断裂带呈带状密集分布, 地震地表破裂带经过之处震灾最严重; 地震次生地质灾害大量产生还与区内志留系茂县群千枚岩和三叠系须家河组砂岩夹页岩、煤层等软弱地层以及第四系松散层和强风化岩石等软弱岩体分布广泛、极震区大部分地区处于河谷深切、地形高差大、山体破碎的中-高山区有关。特大地震灾害再次提醒人们, 在建筑场地选址中必须考虑活动断裂问题; 城乡规划建设必须开展地质灾害风险评估和建筑物抗震设计; 必须重视人-地关系和人-环境的关系。

**关键词:** 地震灾害; 活动断裂; 软弱岩体; 5.12汶川大地震

**中图分类号:** P694, P315 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2009)02-0131-05

### Preliminary Studies on Causation of Catastrophes in Meizoseismal Areas of the 5.12 Wenchuan Huge Earthquake

ZOU Heping, LIU Yuliang, ZHENG Zhuo, LI Chu'an, LIU Weidong

(Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Some results of primary investigations on the seismic catastrophes in the meizoseismal areas of the 5.12 Wenchuan huge earthquake are reported in this paper. The seismic disasters were concentrated along the fault zones and the most serious catastrophes occurred in the areas where ground seismic ruptures developed. The other two causes accounted for the huge geologic disasters induced by the earthquake were widespread distribution of weak rock-masses and mountain landforms. The weak rock-masses consisted of phyllites of the Silurian, named as the Maoxian Group, sandstones with weak intercalated layers of shale and coal of the Triassic, named as the Xujiahe Formation, loose deposits of the Quaternary, and as well as other strongly weathering rocks. The tremendous seismic catastrophes of the 5.12 Wenchuan earthquake reminded people that in site-selection of urban-rural constructions, it is necessary to consider the problems of active faults, to make a hazards-evaluation of the geologic disasters and anti-knock architectural design, and to pay attention to the human-earth and human-environment relationship.

**Key words:** seismic catastrophes; active fault; weak rock-masses; the 5.12 Wenchuan huge earthquake

2008年5月12日14时28分4秒(北京时间), 四川省汶川县境内(北纬 $31.0^{\circ}$ , 东经 $103.4^{\circ}$ )发生矩震级 $M_L$ 为7.9<sup>[1]</sup>、面波震级 $M_s$ 为8.0<sup>[2]</sup>的强烈地震, 这是1949年以来中国大陆发生的破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大

的一次地震。

汶川大地震极震区的地震烈度达X-XI度, 主要位于北川县城及周边和汶川映秀等地<sup>[3]</sup>。为了对汶川大地震宏观地质灾害有更直接的了解, 作者到极震区的北川和汶川进行了实地调查。

\* 收稿日期: 2008-10-14

基金项目: 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室基金资助项目(MSGL0701)

作者简介: 邹和平(1956年生), 男, 博士, 研究员; E-mail: adszhp@mail.sysu.edu.cn

## 1 极震区灾害基本特征

XI 度区是此次地震造成灾害最严重的烈度区, 主要特征为: 民房全部倒塌, 钢筋框架楼房全部毁损, 大量倒塌; 山体滑坡十分严重, 形成堰塞湖; 道路变形、大型桥梁坍塌或严重毁损; 出现地震断层等地表变形带<sup>[3]</sup>。在这次地震中, 北川老县城 80%、新县城 60% 以上的建筑物垮塌。

X 度区的主要特征为: 楼房全部毁损破坏, 倒塌 50% 以上, 少量钢筋框架楼房倒塌; 山体滑坡严重; 地表和道路变形, 桥梁坍塌; 出现地表断层破裂带; 与 XI 度区破坏的主要区别是有部分楼房虽然破坏或毁损, 但不倒塌<sup>[3]</sup>。汶川县映秀镇, 因为离“5. 12”地震中心仅 11.7 km, 地震灾害十分严重, 除建筑物遭到毁灭性破坏外, 地震还诱发了大量的崩塌、滑坡及泥石流等次生地质灾害。坡面泥石流及崩滑灾害的堆积体面积约占全区的 57%, 其破坏面积 (包括堆积体及后壁和侧壁) 超过全区面积的 80%; 65% 的公路段被崩滑体或泥石流毁坏或掩埋<sup>[4]</sup>, 岷江及支流成为高含沙河, 多处曾被短暂堵塞后冲开。

## 2 致灾因子分析

一般认为, 5. 12 汶川大地震破坏性大的原因是: 震级高 ( $M_s$  8.0)、震源浅 (14 ~ 19 km)<sup>[1-2]</sup>、主震震动持续时间久、余震持续时间长、地处地质环境非常脆弱的中-高山区, 地震诱发的次生地质灾害严重; 另因当地人口相对密度较大, 地震造成人员伤亡和财产损失极为惨重。但为什么在同一个地区不同地带的地震破坏程度不同? 为什么离震中较远的北川遭受破坏较大? 本文试图从地质学的角度分析其有关原因。

### 2.1 地质构造因素

已有资料表明<sup>[5]</sup>, 汶川大地震发生在四川龙门山断裂构造带上。该构造带呈 NE 走向, 是青藏高原巴颜喀喇地块和华南地块之间的边界构造带。龙门山断裂带在晚新生代的构造变形主要集中在灌县-江油断裂 (前山断裂)、映秀-北川断裂 (中央断裂) 和汶川-茂县 (后山断裂) 及其相关褶皱之上。汶川  $M_s$  8.0 级大地震发震构造为映秀-北川断裂, 是龙门山断裂带上盘向东南方向逆冲推挤并伴随右行平移剪切的结果。

汶川 5. 12 地震沿映秀-北川断裂和灌县-江油断裂产生了 NE 走向 2 条地表破裂带。沿映秀-北川断裂从映秀向南西 10 多 km 即锐减, 向北东

延伸达 180 ~ 190 km<sup>[5]</sup>, 沿灌县-江油断裂延伸长约 80 km<sup>[6]</sup>。地震地表破裂带走向  $NE30^\circ \sim 50^\circ$ , 倾向 NW, 倾角  $30^\circ \sim 40^\circ$ , 表现出上盘相对向上逆冲并兼右行平移的特征, 其垂直位错介于 1.60 ~ 6.00 m 之间, 水平位错为 0.20 ~ 6.50 m<sup>[5]</sup>。沿映秀-北川断裂的破裂滑动量较大的区域分别位于映秀-虹口和擂鼓-北川两地, 地表水平和垂直错断距离分别达到 4 m 和 6 m 以上<sup>[5]</sup>, 沿整个破裂带的平均错距可达 2 ~ 3 m<sup>[6]</sup>。

地震地表破裂带多处错断了路面。如擂鼓至北川公路路面上可观察到明显的 NE 走向的地震地表破裂带, 表现为北盘上升, 旁侧分支断裂的排列方式并示主断裂呈右行平移 (图 1-1)。

在映秀镇北部, 地震断裂经过处 213 国道形成了两处地震断坎, 其变形较大的断坎高 2.0 m 左右, 并有 0.6 m 左右的右旋分量 (图 1-2), 路缘向外突出, 路面水泥板重叠还记录了 1.6 m 左右的挤压缩短; 受损的建筑物大多倒向南东, 反映由北西向南东的构造挤压 (图 1-3)。

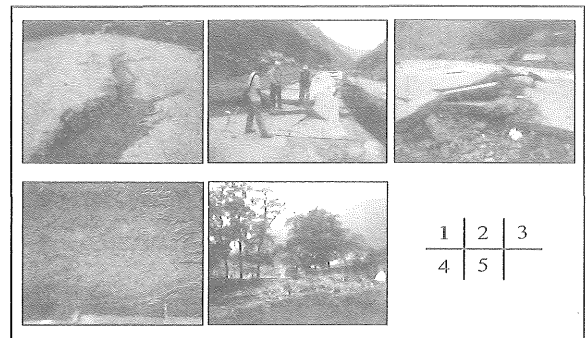


图 1 汶川地震灾害部分图像

Fig. 1 Some pictures of the 5. 12 Wenchuan earthquake catastrophes

1. 擂鼓至北川公路发育的 NE 走向地震破裂, 表现为北西盘上升, 旁侧分支断裂的排列方式并示主断裂呈右行平移 (镜头向北东)

2. 映秀镇北部, 地震断裂经过处 213 国道形成的两处地震断坎 (人站位置与人后山麓各 1 处) (镜头向北)

3. 映秀镇北部, 地震断层经过处 213 国道被错断, 路面水泥板重叠示北西盘逆冲上升, 河流对岸公路桥震毁后普遍由北西倒向南东, 反映由北西向南东的构造挤压 (镜头向北东)

4. 北川中学震毁教学楼所处的 NE 向沟谷中发育较厚的第四系软土 (其中黑色淤泥质黏土厚度大于 4m) (2008 年 7 月 20 日开挖排水沟时拍摄, 镜头向南西)

5. 北川中学建在沟谷两侧第四系较薄、基岩埋深较浅处的楼房, 在地震中虽有损坏但不至于倒塌 (镜头向西)

在地震地表破裂带经过之处，所有的山脊、水系和人类建筑均被错断毁坏，并形成大量的滑坡、山崩、泥石流等地质灾害，与之相对应的地表均是震灾最严重的地方。如地表主破裂带穿越的所有单位，包括北川县城以及映秀镇的映秀小学、邮电局、发电厂、天然气厂、阿坝州警务直属大队等，都被夷为平地。都江堰紫坪铺水库坝区至汶川映秀一带，大量的山体滑坡和崩塌也主要沿断裂带发生（图 2）。滑坡和崩塌数量与距主破裂带的距离呈较

好的相关关系，即随距破裂带的距离增大，滑坡、崩塌数量急剧减少，主要分布在距破裂带 10 km 的范围内，并且随着距破裂带的垂直距离增大而成带状递减。这是由于地震的能量主要沿断裂释放，地震地表破裂带对应的地面振动最为强烈，地震波在垂直于此的方向上急速衰减，几百米之外的破坏性往往就较低。因此，汶川大地震的灾害具有沿断裂带呈带状密集分布的特点。

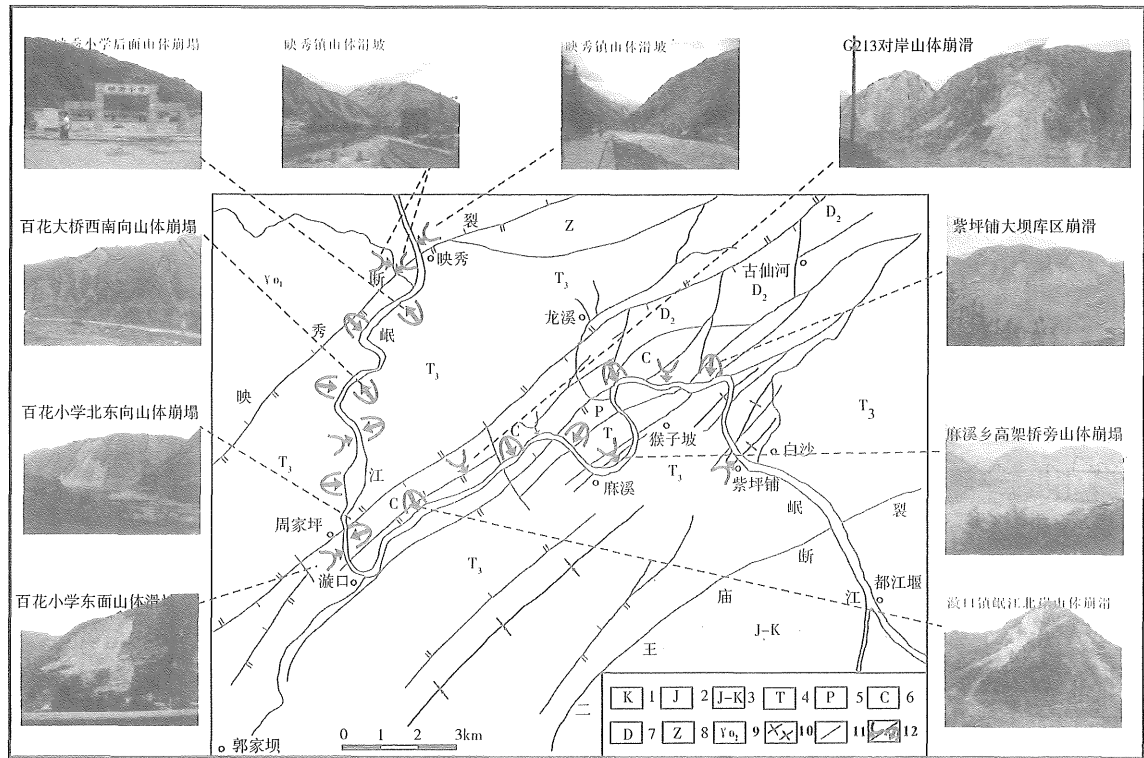


图 2 都江堰至汶川映秀地区地质构造及 5.12 地震诱发的滑坡、崩塌分布略图（地质构造据文献 [7]）

Fig. 2 Distributions of the geologic structures and the landslips and landslides induced by the 5.12 Wenchuan earthquake in the areas from Dujiangyan City to Yingxiu Town of Wenchuan County, Sichuan Province ( the geologic structures from reference [7] )

1. 白垩系；2. 侏罗系；3. 侏罗 - 白垩系（未分）；4. 三叠系；5. 二叠系；6. 石炭系；7. 泥盆系；8. 震旦系；
9. 元古代花岗闪长岩；10. 背、向斜轴；11. 断裂；12. 滑坡/崩塌

### 2.2 地层岩性因素

地层岩性对地质灾害的分布起着重要的控制作用。岩性变化大，岩体工程地质特性空间变化复杂，区内志留系茂县群千枚岩和三叠系须家河组砂岩夹页岩、煤层等软弱地层以及第四系松散层和强风化岩石为代表的软弱岩土体分布广泛，是极震区地质灾害大量发生的重要原因。区内志留系茂县群是一套软弱、破碎的变质岩地层（由板岩、片岩、千枚岩等软弱地层组成），三叠系须家河组则是由砂岩夹页岩、煤层等软弱层所组成。由这些地层构成的山区，即使在通常的情况下，也大多属于地质

灾害的易发区。因此，地质环境极为脆弱。

北川县在地震中灾害如此严重，既有房屋倒塌，更主要的是大规模的山体滑坡和崩塌。除了映秀 - 北川断裂从县城曲山镇通过（北川县城直接坐落在狭长的断裂带上或断层谷地内）、县城附近的地震破裂位移量大和地震在这里释放的能量大等原因外，另一个重要原因是该区志留系茂县群千枚岩分布广泛，地震引起的山体滑坡和崩塌除了沿断裂带发生以外，大量的出现在志留系茂县群千枚岩分布区中（图 3）。

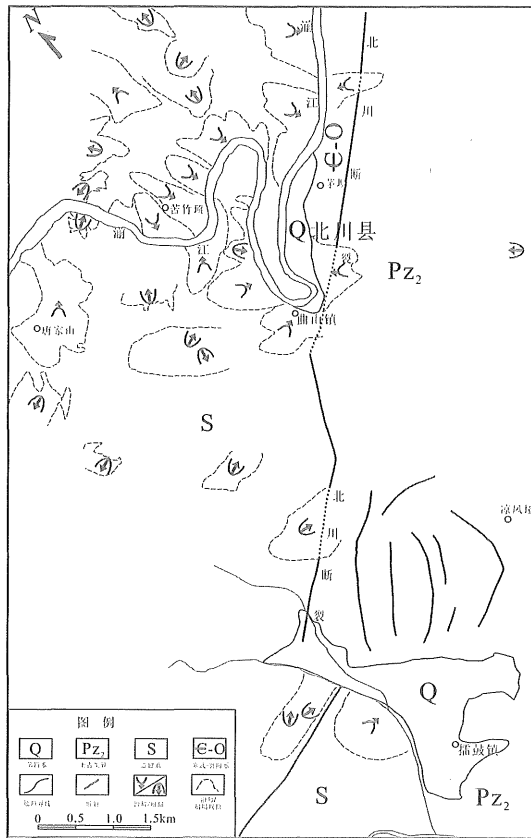


图 3 北川县地质简图及地震诱发滑坡和崩塌分布 (据 2008 年 5 月 14 日国土资源部遥感地质解译影像图改绘)

Fig. 3 Sketch map of geology and distribution of the landslides and landslides induced by the 5.12 Wenchuan earthquake in Beichuan County, Sichuan Province (adapted from the remote sensing geological interpretation image in May 14, 2008 by the Ministry of National Land and Resources, China)

北川县城遭到毁灭性破坏,除了断层错动、地震震动以及山体滑坡和崩塌严重等原因外,还与县城坐落在河滩第四系松散堆积物之上、场地效应和地基失效使破坏加剧等原因有关。这是因为地震烈度在一些特殊情况下出现增高:一是在断裂或活动断裂带上及其两侧;二是在松散堆积物上,软土厚度增大,则地面震动周期增长,地震破坏力增大。

例如,北川中学教学楼在地震中完全倒塌,除了因为靠近断裂带以及地震强烈震动的因素以外,还与其位于 NE 走向沟谷,沟谷中发育较厚的第四系软土(图 1-4)有关。而建在沟谷两侧第四系较薄、基岩埋深较浅处的相邻楼房,在地震中虽有损坏但不至于倒塌(图 1-5)。

### 2.3 地貌因素

汶川地震极震区大部分地区处于河谷深切、地形高差大、山体破碎的中-高山区,这是地震造成

大量滑坡、崩塌和泥石流灾害的另一个重要原因。

例如,汶川县以高-中山地形为主,平均海拔 2 000 m 以上,相对高差 1 000 ~ 1 500 m,仅沿河谷分布一些平坝地貌。山地发育,相对高差大,地形坡度陡,地形临空面发育,沟谷纵横,切割强烈,支沟纵坡降大是汶川县地貌的基本特征。这为滑坡、崩塌和泥石流的发生提供了基本条件。据统计,汶川地震灾区滑坡的发育受地形坡度控制,80% ~ 90% 的滑坡发生于地形坡度 20° ~ 50° 的斜坡<sup>[8]</sup>。

汶川地震引发的次生地质灾害,也与人类的工程活动有联系。因为人类工程活动往往扰动自然界长期形成的平衡,特别是工程建设改变斜坡形态和结构,形成临空面,可能成为发生崩塌和滑坡的诱因。上述地震次生地质灾害在坡度 20° ~ 50° 区间分布较为集中,与人类工程和经济活动在这个区间较频繁有关。例如,汶川地震引发的滑坡和崩塌等次生山地灾害空间分布的一个明显特点是沿山区交通线分布,从汶川县漩口镇到映秀镇的滑坡和崩塌密集地沿国道 213 线发生,在 48 km 长的线路内,有 159 处滑坡和崩塌,其线密度达 3.3 处/km<sup>[9]</sup>。

## 3 结 语

5.12 汶川特大地震形成了明显的地震地表破裂带,反映龙门山断裂带上盘向东南方向逆冲推挤并伴随右行平移剪切。在地震地表破裂带经过之处,所有的山脊、水系和人类建筑均被错断毁坏,并形成大量的滑坡、山崩、泥石流等地震次生地质灾害,与之相对应的地表震灾最严重。因此,汶川 5.12 特大地震灾害表现为沿断裂带呈带状密集分布,地震烈度在断裂带、特别是在活动断裂带上出现增高异常。

区内志留系茂县群千枚岩和三叠系须家河组砂岩夹页岩、煤层等软弱地层以及第四系松散层等软弱岩土体分布广泛,而且大部分地区属于河谷深切、地形高差大、山体破碎的中-高山区,这是极震区地震次生地质灾害大量发生的重要原因。

地震是一种正常的地球动力作用,而地震造成损失的大小,主要取决于人类的预防和抵御能力。5.12 汶川大地震灾害给人类带来如下启示:

(1) 建筑场地选址中,必须考虑活动断裂问题。沿活动断裂带的地面稳定性差,在地震时地表运动强烈,普通建筑结构难以承受。房屋建筑结构应避免活动断裂、特别是地震断裂带。

(2) 在 5.12 特大地震灾难中,大量的房屋倒塌和人员伤亡是由于地震触发的滑坡、崩塌所致。

因此,山区城镇和乡村建设重在选址,城乡规划建设必须认真开展地质灾害风险评估,同时不应在危崖下方修建房屋建筑物。

(3) 城乡建设必须认真考虑建筑物抗震设计,岩性、地质构造、第四纪地质以及水文-工程地质研究应受到足够的重视。

(4) 特大地震凸显处理人-地关系、人与环境关系的重要性和必要性。人类工程活动应尽量减少对斜坡形态和结构的改变,更不应无视自然界长期形成的平衡而进行破坏性开发。

#### 参考文献:

- [1] U S Geological Survey. Magnitude 7.9-eastern Sichuan, China [EB/OL]. 2008. <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/recenteqsww/Quakes/us2008ryan.php#details>.
- [2] 中国地震局. 汶川8.0级地震参数[EB/OL]. 2008. [http://www.cca.gov.cn/manage/html/8a8587881632fa5c0116674a018300cf/\\_content/08\\_05\\_30/121211901\\_9593.html](http://www.cca.gov.cn/manage/html/8a8587881632fa5c0116674a018300cf/_content/08_05_30/121211901_9593.html).
- [3] 杨主恩,邓志辉,马文涛,等. 汶川8级强震极震区破坏情况与烈度[J]. 地震地质,2008,30(2):349-354.  
YANG Z E, DENG Z H, MA W T, et al. Some Destruction and its Seismic Intensity in Meizoseismal Region of Wenchuan Earthquake with Magnitude 8, Sichuan, China [J]. Seismology and Geology, 2008, 30(2): 349-354.
- [4] 王治华,周英杰,徐斌,等. “5.12”汶川大地震震中区映秀镇地震灾情及次生地质灾害遥感初步调查[J]. 国土资源遥感,2008(2):1-4.  
WANG Z H, ZHOU Y J, XU B, et al. Preliminary Remote Sensing Investigation of Damage Caused by the “5.12” Wenchuan Strong Earthquake as Well as Secondary Hazards at the Quake Center ——Yingxiu Town [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2008(2): 1-4.
- [5] 李勇,周荣军,董顺利,等. 汶川地震的地表破裂与逆冲-走滑作用[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2008,35(4):404-413.  
Surface rupture, thrusting and strike-slipping in the Wenchuan earthquake of Sichuan, China. Journal of Chengdu University of Technology: Sci & Technol Ed, 2008, 35(4): 404-413.
- [6] 张培震,徐锡伟,闻学泽,等. 2008年汶川8.0级地震发震断裂的滑动速率、复发周期和构造成因[J]. 地球物理学报,2008,51(4):1066-1073.  
ZHANG P Z, XU X W, WEN Z X, et al. Slip rates and recurrence intervals of the Longmen Shan active fault zone, and tectonic implications for the mechanism of the May 12 Wenchuan earthquake, 2008, Sichuan, China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2008, 51(4): 1066-1073.
- [7] 王云基. 四川紫坪铺水库区水文地质与工程地质条件研究[J]. 四川地震,2001,(2):6-13.  
WANG Y J. Hydro-geologic and engineering-geologic condition of Zipingpu reservoir area, Sichuan [J]. Earthquake Research in Sichuan, 2001(2): 6-13.
- [8] 尹强. 汶川特大地震的反思与重建规划的思考[J]. 城市规划,2008,32(7):24-27.  
YIN Qiang. Reflection on Wenchuan Earthquake and Reconstruction Planning [J]. City Planning Review, 2008, 32(7): 24-27.
- [9] 崔鹏,韦方强,陈晓清,等. 汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J]. 科技减灾,2008,23(4):317-323.  
CUI P, WEI F Q, CHEN X Q, et al. Geo-hazards in Wenchuan Earthquake Area and Countermeasures for Disaster Reduction [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2008, 23(4): 317-323.