

# 四川汶川 $M_s$ 8.0 级地震北川-映秀地表破裂的复杂现象

邓志辉, 杨主恩, 孙昭民, 陈桂华, 马文涛, 孙谦

中国地震局地质研究所, 北京 100029;

山东省地震局, 济南 250014

E-mail: [deng6789@163.com](mailto:deng6789@163.com)

2008-07-16 收稿, 2008-09-16 接受

国家自然科学基金(批准号: 40841016, 40372131 和 40702056)、中央公益性科研院所基本科研业务专项(批准号: 2060302)和国家科技支撑计划(批准号: 2006BAC01B03-02-03)资助项目

**摘要** 通过对 2008 年 5 月 12 日四川汶川  $M_s$ 8.0 级地震后北川和映秀两地的地震破裂带调查, 得出几点初步认识: 北川-映秀地震破裂带总体上走向 NE, 倾向 NW; 北川-映秀地震破裂带以逆冲为主, 兼小量走滑运动, 并表现出不同地区的复杂性, 在北川发现与右旋走滑相关的现象, 在映秀则可见左旋走滑构造; 北川 2 条地表破裂带挤压逆冲缩短量总和为 2.8~3.9 m, 映秀地表破裂左旋走滑位移为 0.52 m.

**关键词**  
汶川地震  
地震破裂  
复杂性  
北川  
映秀

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分四川省汶川县映秀镇附近发生  $M_s$ 8.0 级大地震, 震中位于北纬  $31^\circ$ , 东经  $103.4^\circ$ . NE 走向的龙门山断裂带是此地震的发震构造(图 1). 龙门山断裂带由中央断裂 F1(映秀-北川断裂)、前山断裂 F2(江油-灌县断裂)和后山断裂 F3(茂县-汶川断裂)3 条近平行的断裂组成<sup>[1]</sup>. 断裂带总体倾向 NW, 倾角在地表为  $50^\circ\sim 80^\circ$ , 往深部变缓, 断裂带长度约 620 km. 汶川  $M_s$ 8.0 级地震的地表破裂出现在中央断裂和前山断裂上. 据最新野外调查结果, 沿中央断裂的破裂带长度约 240 km, 沿前山断裂的破裂带长度约 70 km. 破裂带走向  $NE49^\circ$ , 倾向 NW, 在不同地方断面倾角有所变化, 根据北川县城南逆冲断层垂直位移与水平位移的比例计算, 逆冲断面倾角为  $57^\circ$ , 而根据地震波谱反演结果为  $33^\circ\sim 43^\circ$ <sup>[2]</sup> ([http://neic.usgs.gov/neis/eq\\_depot/2008/eq\\_080512\\_ryan/neic\\_ryan\\_cmt.html](http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2008/eq_080512_ryan/neic_ryan_cmt.html)), 滑动角  $120^\circ$ .

## 1 地表破裂带现象

2008 年 5 月 13 日作者奉命赴地震现场进行灾害调查. 至 5 月 22 日实地调查了中江、三台、盐亭、射洪、蓬溪、南充、岳池、广安、邻水、大竹、达州、宣汉、万源、通江、北川、安县、广元和汶川映秀等地的地震灾害, 并对北川县城和映秀镇的地震形变

带进行观测, 获得了地震破裂带的一些特征参数, 这里将展示这两个地区地表变形的一些现象.

图 2 是北川县城旧城区(位于图 1 的 A 点)的破坏和山体滑坡情况, 80% 以上的建筑物倒塌, 少量仍然站立的房屋也遭受严重破坏, 沿破裂带雾汽弥漫. 在北川县城后的沟谷中可见明显的地表破裂带(位于图 1 的 B 点)(图 3, 4), 走向  $30^\circ\sim 45^\circ$ , 水泥修筑的沟槽受到严重的挤压变形和破碎, 西北侧相对于东南侧鼓起. 经测量, 变形的沟槽相对于未变形的沟槽变窄了 2.9 m, 横跨沟槽的两座水泥板小桥受影响跨塌, 变形后的沟宽相对于桥板长(扣除了两侧叠接部分)分别缩短了 1.8 m(图 3)和 2.6 m(图 4), 桥座的顺时针旋转指示主破裂可能兼右旋走滑的性质(图 4 箭头所示). 而与地表变形带平行的小桥并未发生明显的破坏.

在上述变形沟槽东南约 50 m 北川中学北侧公路上发育另一地表破裂带(位于图 1 的 D 点), 公路西侧受挤压隆起并向东南逆冲, 水平挤压缩短和垂直位移量由南向北增大(图 5), 平均缩短约 1 m, 相对垂直位移 1.5 m. 在沿沟谷和沿公路的两条破裂带之间, 北川中学的操场上(位于图 1 的 E 点)发育走向 NNW $35^\circ$  的左旋剪切破裂(图 6), 可能为主破裂的次





图4 北川县城后挤压破碎带沟宽相对于桥板缩短 2.6 m, 桥座发生顺时针旋转(箭头所示)  
镜头朝 SW



图5 北川中学北公路挤压破碎带, 垂直位移 1.5 m, 水平缩短 1.0 m  
镜头朝 SW



图6 北川中学操场 NNW 向左旋剪切破裂  
镜头朝 N



图7 北川大桥逆冲抬升 0.8 m, 假右旋走滑位移 1.4 m  
镜头朝 SE



图8 北川大桥桥面向 NE 滑移而桥墩未错动  
镜头朝 NW



图9 映秀镇地表破裂带沿山前陡坎延伸  
镜头朝 N

级破裂, 它与主断面的锐夹角指示了主破裂兼右旋走滑的性质。

北川大桥(位于图 1 的 F 点)虽未完全倒塌, 但受到严重破坏(图 7, 8), 南东侧桥面向 NW 逆冲缩短 1.33 m, 抬升 0.8 m, 桥面铁栏杆位错 1.4 m(图 7), 表

现出显著右旋剪切的假象, 经过进一步观测发现, 这一假象是由于北西侧桥面(位于图 1 的 G 点)向 NE 滑移, 而非桥墩错动所致(图 8)。

在映秀镇地表破裂带沿山前陡坎延伸(位于图 1 的 H 处)(图 9)。在小镇东北公路上可见显著的地表形



图 10 映秀镇形变带上盘抬升 1.6 m, 地表破裂左旋位移 0.4 m  
镜头朝 SE



图 11 映秀镇地表挤压隆起鼓包雁列分布指示主破裂兼左旋走滑运动性质  
镜头朝 NW

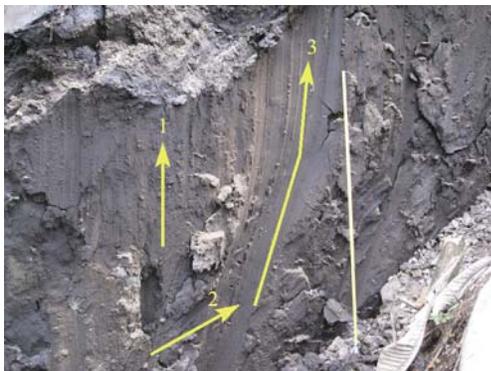


图 12 虹口乡发育 3 类断层擦痕  
镜头朝 N



图 13 地表破裂复杂性示意图  
镜头朝 N

变带(位于图 1 的 J 点), NE 走向, 其上盘发生显著的逆冲抬升(图 10), 经测量, 相对抬升高度为 1.6 m. 在形变带的斜坡上可见 2 条 NE 向地表破裂带(其中 1 条见图 10), 横切马路, 左旋走滑位移量分别为 0.4 和 0.12 m. 在形变带的东南盘(位于图 1 的 J 点)发育雁列状分布的挤压隆起鼓包(图 11), 其长轴走向与主破裂带的关系指示了主破裂带兼有左旋走滑的运动分量.

## 2 初步认识与讨论

综上所述, 可以得出如下几点初步认识:

- ( ) 北川-映秀地震破裂带总体上走向东北, 倾向北西.
- ( ) 北川-映秀地震破裂带以逆冲为主, 兼少量走滑运动, 并表现出不同地区的复杂性, 在北川发现与右旋走滑相关的现象, 在映秀则可见左旋走滑构造.
- ( ) 北川 2 条地表破裂带挤压逆冲缩短量总和为 2.8~3.9 m, 映秀地表破裂左旋走滑位移为 0.52 m.

上述结果仅为汶川 $M_s8.0$ 级地震后北川县城和映秀镇的初步调查结果, 不同地区可能存在差异. 地震断层的总体活动性质是逆冲兼右旋走滑<sup>[2]</sup>([http://neic.usgs.gov/neis/eq\\_depot/2008/eq\\_080512\\_ryan/neic\\_ryan\\_cmt.html](http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2008/eq_080512_ryan/neic_ryan_cmt.html)), 但有些地方地表破裂带只见逆冲挤压形变带, 还有的地方兼少量左旋走滑运动, 产生这种复杂现象的原因也可能有多种解释.

一种可能的解释是不同事件的产物. 应用地震波谱对地震破裂过程进行反演, 得到的结果表明, 汶川 $M_s8.0$ 级地震是由多次事件构成<sup>[2]</sup>, 不同事件的断层性质存在差异, 其中最大的事件为逆冲兼少量右旋走滑, 也有 1~2 次事件为逆冲兼少量左旋走滑, 这些事件可能是导致断层活动留下不同运动性质破裂现象的原因. 孙昭民等在虹口乡发现了地震断层, 走向 NE, 向 NW 陡倾, 断面上存在 3 类擦痕(图 12). 擦痕 1 最早, 侧伏角近  $90^\circ$ ; 擦痕 2 切割擦痕 1, 侧伏角  $33^\circ W$ ; 擦痕 3 最晚, 切割擦痕 2, 侧伏角  $75^\circ \sim 85^\circ W$ ,

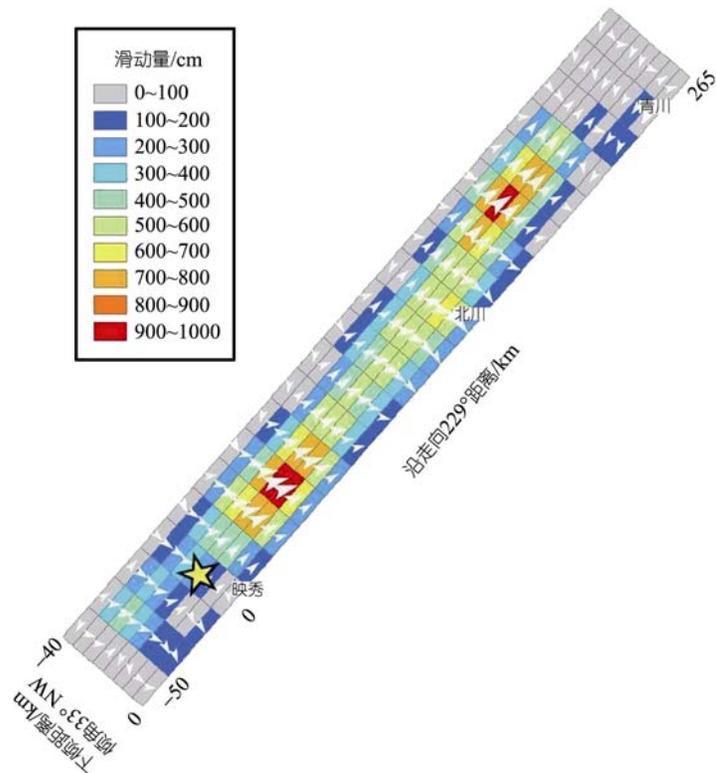


图 14 汶川 Ms8.0 级地震断层面单元运动模型<sup>[3]</sup>

地震断层面小矩形单元滑动的幅度和方向分布是根据远震体波反演得到的。箭头表示断面上盘相对于下盘错动的幅度和方向。观测断面由上朝下。地震破裂面走向 SW229°，倾向 NW，倾角 33°。断层面单元大小为沿断层走向 15 km，沿断层倾向 5 km

它与擦痕 1 近平行，但上、下部存在小角度的变化。野外观测结果表明，这 3 类擦痕的表面都很新鲜，并且切割了最顶层松散物，初步分析认为是汶川地震系列中 3 次以上事件的产物。

另一种可能的解释是不同地方岩石结构、构造和力学性质的不均匀性导致变形的不协调所致。以图 13 为例，在强烈挤压形变带，物质可能向两侧迁移，在不同部位产生的破裂可能表现出不同的性质。如果断裂出现在部位 1，可能表现为右旋运动性质，但如果断裂出现在部位 2，则可能出现左旋运动现象。

美国 California 大学 Chen 等人<sup>[3]</sup>应用远震体波对

地震断层的位移幅度和方向进行反演<sup>[3]</sup>(图 14)，得到的结果很值得思考。从图 14 中可见，在破裂面的不同部位，位移幅度和方向是不一样的，在震源深度附近，上盘相对于下盘为右旋逆冲为主，向上向下位移减小，在地表附近甚至出现位移方向变化，即有的单元为右旋逆冲的性质，有的地段则变为纯逆冲的运动，还有的地方则兼有左旋运动的分量。这一结果，与我们在野外现场观测到的复杂现象是一致的。同时也说明，仅根据地表破裂现象(即使有擦痕)分析地震断层的运动性质也是有局限的，加强地质与地球物理观测的综合分析是必需的。

致谢 在工作中，得到了许多领导和群众的关心，灾区人民和救援部队的帮助，马瑾院士、马胜利研究员、徐道一研究员和秦小光研究员等提出了许多有益的建议，在此表示感谢。

## 参考文献

- 1 邓起东, 陈杜发, 赵小麟. 龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学. 地震地质, 1994, 6(4): 389—403
- 2 陈运泰, 许力生, 张勇, 等. 2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源特性分析. 中国地震局汶川地震震源特性分析报告. 2008
- 3 Chen J, Gavin H. Finite Fault Model of the May 12, 2008 Mw 7.9 Eastern Sichuan, China Earthquake. United States Geological Survey—National Earthquake Information Center. Dicapai pada 2008-05-15. 2008