

2008 年 5 月 12 日汶川地震 (Ms8.0)地表破裂带的分布特征

李海兵^{1,2} 王宗秀³ 付小方⁴
侯立玮⁴ 司家亮^{1,2} 邱祝礼^{1,2} 李 宁⁵ 吴富峣^{1,2}

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

2. 国土资源部大陆动力学重点实验室, 北京 100037; 3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 4. 四川省地质调查院, 四川 成都 610081; 5. 四川省 109 地质队, 四川 成都 610010)

提要:2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 青藏高原东缘龙门山地区(四川汶川)发生了 Ms 8.0 级地震。震后野外考察表明, 5.12 汶川地震发生在 NE 走向的龙门山断裂带上, 该断裂带晚新生代以来的逆冲速率小于 1 mm/a, GPS 观察结果表明其缩短速率小于 3 mm/a。这次 5.12 汶川地震造成了多条同震逆冲地表破裂带, 总体长约 275 km, 宽约 15 km, 发震断裂机制主要为逆冲作用(由 NW 向 SE 逆冲)伴随右旋走滑。地表主破裂带沿龙门山断裂带的映秀—北川断裂发育, 长约 275 km, 笔者称为映秀—北川破裂带, 破裂带具有逆冲兼右旋走滑性质。地表次级破裂带沿龙门山断裂带的前缘断裂安县—灌县断裂南段发育, 长 80 km, 笔者称为汉旺破裂带, 破裂带基本为纯逆冲性质。在这两条破裂带之间发育两条更次一级的同震地表破裂带: 一条长约 20 km 呈 NE 走向的地表破裂带, 笔者称为深溪沟破裂带, 由于这条破裂带靠近主破裂带南段, 并且与主破裂带变形特征一致, 因此, 笔者将深溪沟破裂带划归映秀—北川破裂带; 另一条长约 6 km 呈 NW 走向、由 SW 向 NE 逆冲并兼有左旋滑动的地表破裂带, 笔者称为小鱼洞破裂带, 它连接映秀—北川破裂带和汉旺破裂带, 成为侧向断坡。另外, 在灌县—安县断裂东侧的四川盆地内, 由都江堰的聚源到江油发育一条 NE 向的沙土液化带, 它可能是四川盆地西部深部盲断裂活动的结果。同震地表破裂带的分布特征表明, 龙门山断裂带活动断裂具有强烈的逆冲作用并伴随较大的右旋走滑, 断裂向四川盆地扩展。在龙门山断裂带上类似 2008 年 5 月 12 日 Ms 8.0 汶川大地震的强震复发周期为 3000~6000 a。

关键词:地震地表破裂; 地震断层; 发震构造; 龙门山

中图分类号: P315.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)05-0803-11

1 前 言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 在青藏高原东缘龙门山地区(四川汶川)发生了强烈地震(Ms8.0)(图 1), 地震导致大量房屋倒塌, 并诱发了强烈的山崩、滑坡、塌方和泥石流等次生地质灾害, 致使 8 万多人死亡, 造成了巨大的经济损失和人员伤亡。这是中国 30 年来最严重、损失最大的一次地震灾害。根据中国地震局台网中心(CENC)和美国地质调查局(USGS)公布的数据(表 1), 这次汶川地震的震级

为 Ms8.0 或 Mw7.9, 震中位于映秀镇西南侧(31.0°N, 103.4°E), 震源深度 14~19 km, 其深部滑动面西倾, 倾角 33~60°, 震源机制解结果显示为逆冲兼有右旋走滑^[1,2]。主震之后记录了 20000 余次余震, 形成长达 330 km 的余震带。地震波的反演结果^[2,3]显示汶川地震形成近 300 km 长的地表破裂, 地震破裂的时间持续 80 s, 并释放完主要能量。地表实际破裂带的分布及其性质和特征, 不仅能验证地震波的反演结果, 而且是理解块体运动学特性、变形特征、地震发生机制等科学问题十分重要的约束条件, 是研

收稿日期: 2008-09-25; 改回日期: 2008-09-28

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(12010611811 和 10210610105)资助。

作者简介: 李海兵, 男, 1966 年生, 博士, 研究员, 主要从事变形构造及活动构造地质学研究; E-mail: lihaibing@ccsd.org.cn。

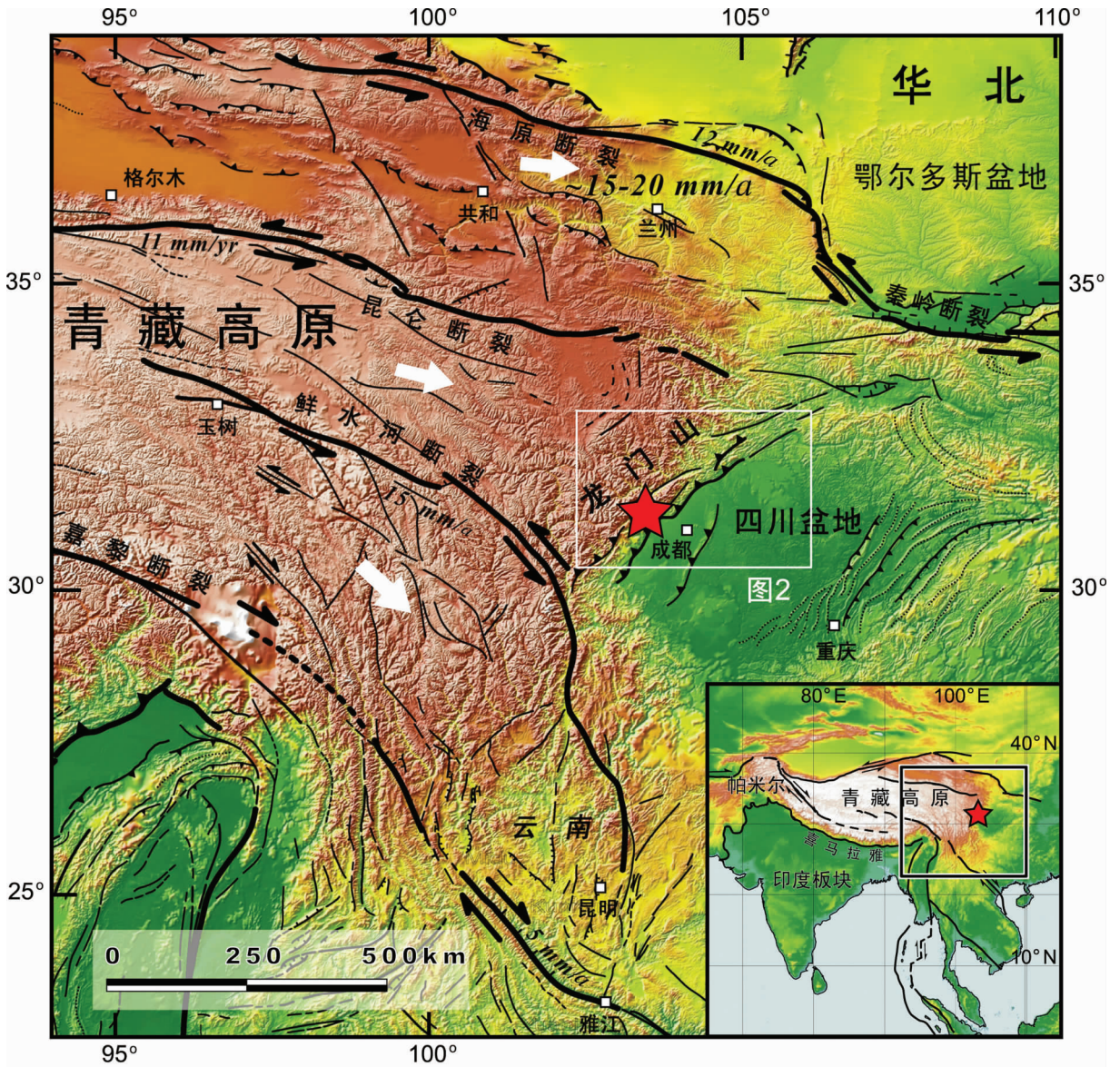


图1 青藏高原东部活动构造与地貌图(据 Tapponnier et al., 2001 修改)

2008年5月12日汶川大地震(Ms8.0)(红五星)位于青藏高原东缘龙门山与四川盆地的边界龙门山逆冲断裂带上

Fig.1 Active tectonic and geomorphic map of the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau (revised after Tapponnier et al., 2001)

The 2008 Wenchuan earthquake (redstar) is in the boundary between the Qinghai-Tibet Plateau and the Sichuan Basin

究青藏高原现今大陆动力学不可缺少的基础数据。笔者基于震后详细实地调查,分析和介绍汶川地震的发震断裂及其同震地表破裂带的分布特征,为进一步分析和探讨汶川地震过程和发震机理提供依据。

2 龙门山逆冲断裂带构造背景

龙门山位于青藏高原东缘,在整个青藏高原周

缘地区,龙门山区域的地形坡度最陡。长江支流在此下切很深,区域性的河流地形起伏可超过3 km,河道基岩陡倾。龙门山不仅是中国东部和西部地形地貌的分界线,而且是中国南北地震带(或称中轴带)的中段,是中国最重要的地震活动带之一^[4]。沿高原东缘存在一系列北东走向的逆冲断裂。三叠纪晚期印支运动期间的显著地壳缩短形成了三叠纪前陆盆

表 1 来自于不同地震机构的汶川地震数据

Table 1 Date of Wenchuan Earthquake from different organization

CMT	Np1			Np2			Epicenter		Depth	Magnitude
	Strike	Dip	Slip	Strike	Dip	Slip	Longitude	Latitude		
CENC	216°	26°	99°	16°	65°	81°	103.4° E	31.0° N	14	Ms8.0
ERI	230°	32°					103.30° E	31.10° N	11	Mw7.9
USGS	2°	47°	45°	238°	59°	128°	103.364° E	30.986° N	19	Mw7.9
Global CMT Catalog	229°	33°	141°	352°	70°	63°	104.11° E	31.49° N	12	Mw7.9
EMSC							103.32° E	31.11° N	10	Mw7.9
CPPT	218°	34°	121°	1°	62°	71°	103.30° E	31.00° N	30	Mw7.9

注:CMT—矩心矩张量;CENC—中国地震台网中心;ERI—东京大学地震研究院;USGS—美国地质调查局;Global CMT Catalog—全球 CMT 目录,原 Harvard CMT Catalog;EMSC—欧洲地中海地震学中心;CPPT—French Polynesia Tsunami Warning Center。

地以及龙门山逆冲断裂带,印度板块与欧亚大陆的碰撞使其重新活动^[5]。

5.12 汶川地震发生在龙门山逆冲断裂带上。龙门山逆冲断裂带位于四川盆地西缘,是青藏高原的东界(图 1),属于松潘—甘孜造山带前缘逆冲带^[6]。龙门山断裂带由 3 条主要逆冲断裂组成,由西向东分别为:汶川—茂县断裂(后龙门山断裂)、映秀—北川断裂(龙门山中央断裂)和安县—灌县断裂(龙门山前山断裂)^[7]。这 3 条断裂将青藏高原东部龙门山地区划分为(由西向东):古生代变质地体、以彭灌杂岩体和宝兴杂岩体为代表的前寒武变质杂岩、三叠系含煤系地层和侏罗系前陆盆地。

许志琴等^[8]认为沿汶川—茂县断裂发育一条早白垩世的大型韧性拆离带(即青藏高原东缘拆离带),该拆离带主要导致了龙门山彭灌杂岩体和宝兴杂岩体的构造挤出。龙门山逆冲断裂带的运动性质为走滑—逆冲型,自晚三叠世至古近纪时期,以逆冲—左旋走滑作用为特征^[7,9],而中生代以来表现为逆冲—右旋走滑作用为特征^[8,9]。

龙门山逆冲断裂带在历史上没有发生过 7 级以上地震,在断裂带中、南段发生过 3 次 6~6.5 级强震,但是,在其北部岷山地区,发生过 2 次强烈地震,1933 年叠溪 7.5 级地震和 1976 年松潘 7.2 级地震^[10]。从现有的地貌特征以及古老的地表破裂特征来看,龙门山逆冲断裂带上曾经发生过大于 7 级地震。因为,通常震级 $M > 7$ 的地震才产生地表破裂带^[11]。

3 龙门山断裂带全新世滑移速率

GPS 观测到跨龙门山逆冲断裂带的 10 年时间尺度的现今构造变形速率不超过 $\sim 2 \text{ mm/a}$ ^[12],表明龙门山逆冲断裂带长期以来变形速率很低。Densemoe et al^[9]估计映秀—北川断裂的全新世滑移速率小于 0.5 mm/a 、安县—灌县断裂的滑移速率为 $\sim 0.6 \text{ mm/a}$ 。Zhou et al^[13]给出龙门山逆冲断裂的右旋走滑速率小于 1.46 mm/a ,逆冲滑移率小于 1.1 mm/a 。因此,整个龙门山逆冲断裂带的滑移速率不会超过 $\sim 3 \text{ mm/a}$ 。如此低的滑移速率,暗示着该地区发生强震($M_s \geq 7$)的复发周期比较长。李勇等^[8]通过探槽研究,认为龙门山逆冲断裂带的强震复发周期至少在 2000~3000 a, Densemoe et al^[9]认为沿映秀—北川断裂发生大地震的复发周期为 12000~13000 a。由于龙门山逆冲断裂带在历史上没有大于 7 级地震的记录,也就是说在汶川地震发生前,该地区已经历了一个相对长时间的安全期,断裂带已经聚集了一定的能量,存在发生大震的可能。

4 汶川地震(Ms 8.0)同震地表破裂带的特征及其分布

野外考察表明,汶川地震(Ms8.0)的地表破裂带主要沿映秀—北川断裂和安县—灌县断裂分布,整体走向北东 $40\sim 70^\circ$,整个地震地表破裂带全长约 275 km(图 2),宽约 15 km,发震断裂机制主要为逆

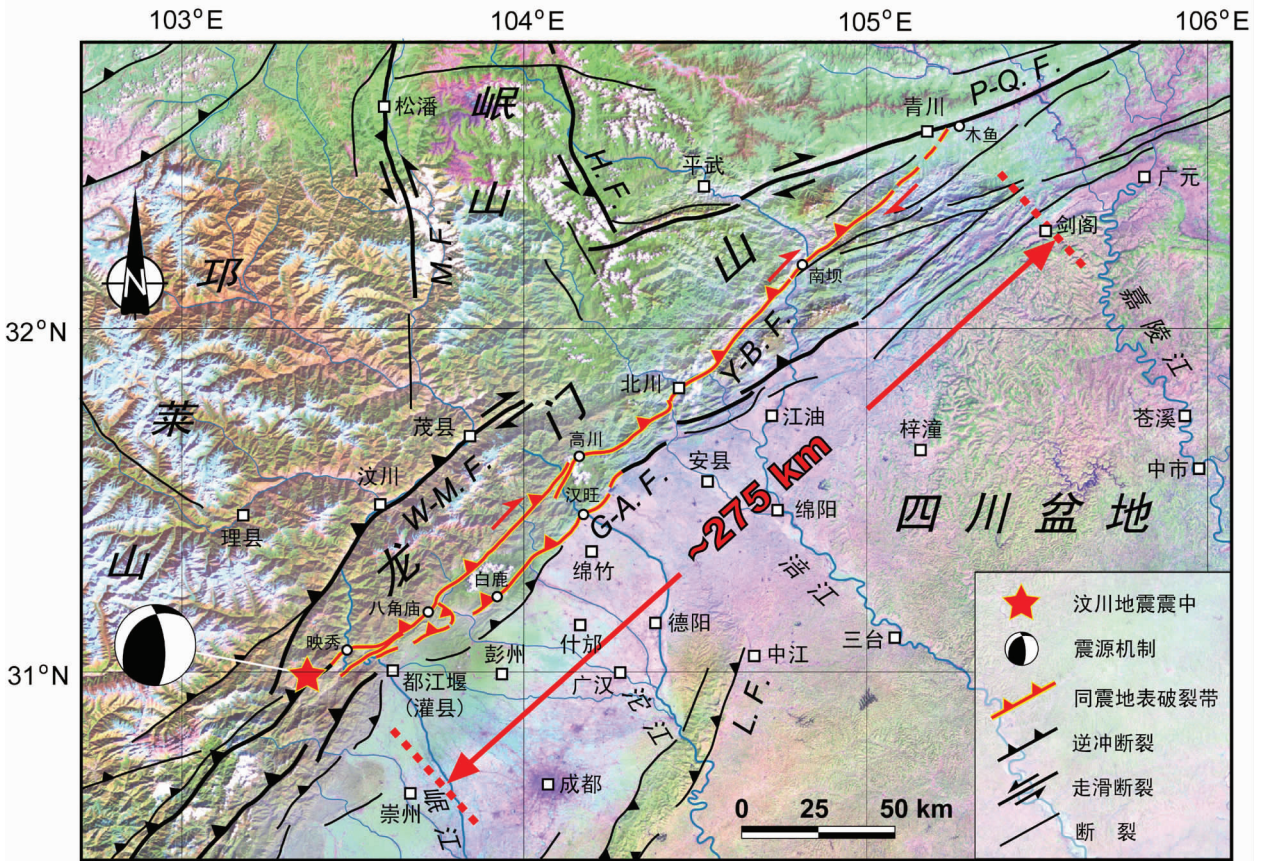


图2 龙门山地区 Landsat 卫星影像及活动断裂和汶川地震地表破裂带分布图

W-M.F.—汶川—茂县断裂; Y-B.F.—映秀—北川断裂; G-A.F.—灌县—安县断裂; P-Q.F.—平武—青川断裂; M.F.—岷江断裂; H.F.—虎牙断裂; L.F.—龙泉山断裂

Fig.2 The distribution of Active tectonic and surface rupture zone showing in the Landsat image of the Longmenshan area

W-M.F.—Wenchuan—Maoxian Fault; Y-B.F.—Yingxiu—Beichuan Fault; G-A.F.—Guanxian—Anxian Fault; P-Q.F.—Pingwu—Qingchuan Fault; M.F.—Minjiang Fault; H.F.—Huya Fault; L.F.—Longquanshan Fault

冲伴随右旋走滑。沿汶川—茂县断裂无地表同震破裂带。沿映秀—北川断裂发育的破裂带称为映秀—北川破裂带; 沿安县—灌县断裂南段发育长约 80 km 的破裂带, 由于地表破裂带经过汉旺镇, 因此称为汉旺破裂带, 在小鱼洞发育长约 6 km 呈 NW 走向、由 SW 向 NE 逆冲并兼有左旋滑动的地表破裂带, 称小鱼洞破裂带, 它连接了映秀—北川破裂带和汉旺破裂带。

4.1 映秀—北川破裂带(主破裂带)

该破裂带沿映秀—北川断裂分布, 全长约 275 km, 是汶川地震的主破裂带(图 2)。从运动特征和组合特征来看可分为南段破裂带和北段破裂带。南段破裂带以映秀破裂带为主, 包括深溪沟破裂带。

映秀破裂带从映秀镇鱼子溪村西至绵竹市清平镇北。沿南段破裂带同震反冲构造较为发育。北段破裂带从绵竹市清平镇过北川县城、平武县平通镇、南坝镇至青川县木鱼乡西。南、北破裂带在绵竹市清平镇地区呈右行雁行排列(图 2)。

4.1.1 南段破裂带

(1) 映秀破裂带

该破裂带长约 100 km(图 2), 地表破裂带宽为 5~400 m, 在老的映秀断裂(前寒武纪彭灌杂岩与三叠纪砂板岩之间的逆冲断裂)东侧 200~500 m 处平行其分布, 主要由地表弯曲滑动褶皱构造(图 3-A)、明显的剪切断裂(图 3-B)以及一些张裂隙组成。在映秀镇, 破裂带 NW 侧路面(T1)、河流(T0)抬高,



图 3 汶川大地震形成的映秀—北川地表破裂带特征

A—映秀镇路面抬高~3 m; B—虹口乡八角庙地区出露地表的破裂面; C—深溪沟村出露的地表破裂, 路面抬高~3.2 m, 右旋错位~5m; D—高原村一带出露的反冲构造; E—擂鼓镇一带一级阶地和河床错动抬高~2.6 m, 以及~1 m 右旋错位

Fig.3 Characteristics of the Yingxiu-Beichuan surface rupture zone generated in the Wenchuan earthquake

A—the ~3m uplifted road in the Yingxiu Town; B—Fracture plane outcropped in the Bajiaomiao area of Hongkou Town; C—Fracture outcropped in the Shexigou village, ~3.2 m uplifted road with the ~5 m dextral offset; D—the Fracture the back-thrusting in the Gaoyuan Village; E—~2.6m vertical offset of the modern river bed and the first level of terrace, together with the ~1m dextral offset

而且从多级阶地面累积的垂直位移来看,这次地震破裂带明显沿活动断裂发育,并使 T2-T4 阶地面抬高(图 3-A)。在虹口镇八角庙村,破裂带的断裂面明显出露,并使 NW 侧地表抬高 2~6 m,其断裂陡坎走向 NE40~50°,向 NW 陡倾,倾角 70~80°,断层面上擦痕清晰(图 3-B),显示了块体由 NW 向 SE 方向逆冲的运动学特征。

(2)深溪沟破裂带

在映秀镇南侧,从漩口镇南西过龙池隧道北口、深溪沟至庙基坪,发育长约 20 km、宽 5~50 m 的破裂带,该破裂带沿 NE 方向逐渐靠近映秀破裂带,属于映秀—北川南段破裂带。该破裂带主要由地表弯曲滑动褶皱构造和剪切断裂组成,地表破裂带的(弯曲)陡坎总体走向 NE40~45°,该破裂带由 NW 向 SE

向逆冲,造成北西侧地面抬高,并伴随最大水平右旋错位约 5 m(图 3-C)。

(3)冲破裂带

沿映秀破裂带,在虹口镇周家坪至高原村地区,与主破裂逆冲构造(由 NW 向 SE 逆冲)伴生的反冲构造(由 SE 向 NW 逆冲)较为发育(图 3-D)。这种反冲构造主要由地表弯曲滑动褶皱构造和剪切断裂组成(图 3-D),反冲构造不仅使 SE 侧地表抬高,而且伴随有右旋走滑位错分量(图 3-D)。

4.1.2 北段破裂带

北段地表破裂带从绵竹市清平镇过安县高川乡和千佛乡、北川县擂鼓镇、北川县城、北川县桂溪乡、平武县平通镇、南坝镇至青川县木鱼乡西,长约 175 km,宽 5~100 m,沿老的北川活动断裂发育。也称该

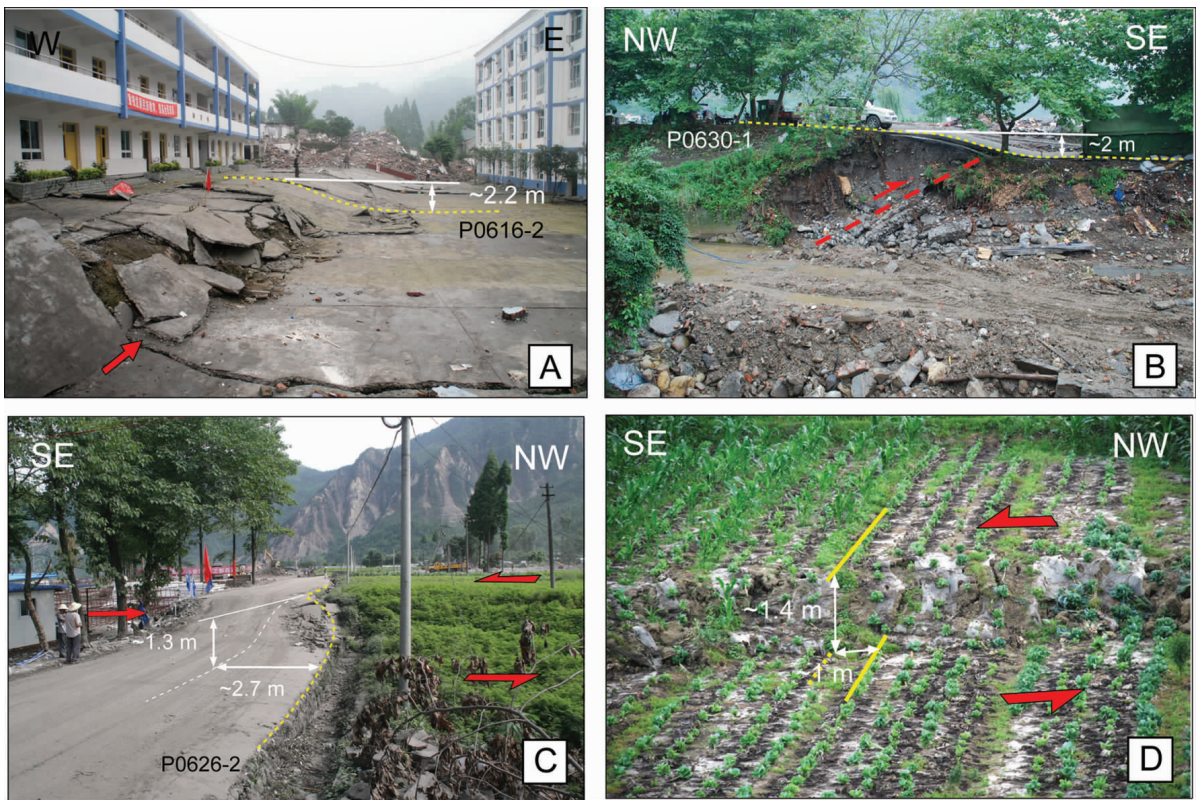


图 4 汶川大地震形成的汉旺和小鱼洞地表破裂带特征

A—在白鹿镇,沿灌县—安县断裂发育的汉旺破裂带穿过白鹿中心学校两栋教学楼,造成地面抬高 1.9~2.2 m; B—汉旺破裂带造成汉旺镇路面抬高约 2m; C—NW 向的小鱼洞破裂带造成路面被抬高约 1.3m 及左旋错位约 2.7m; D—NW 向的小鱼洞破裂带造成田地抬高约 1.4m 及左旋错位约 1m

Fig.4 Surface ruptures in the Hanwang and Xiaoyudong area generated in the Wenchuan earthquake
 A—In Bailu Township, the Hanwang rupture zone along the Guanxian—Anxian Fault passes through two teaching buildings and raises the ground ~1.9~2.2m; B— ~2m vertical offset of the road in Hanwang Township; C—~1.3m vertical offset and ~2.7m lateral offset of road along the NW striking Xiaoyudong rupture zone; D—t~1.3m vertical and ~1m lateral offset of land along the NW striking Xiaoyudong rupture zone

破裂带为北川破裂带,它与映秀破裂带在绵竹市清平镇地区呈右阶雁行排列(图 2)。北川破裂带主要由明显的剪切断裂、地表弯曲滑动褶皱构造(图 3-E)以及一些张裂隙组成,总体表现出破裂带具有由 NW 向 SE 方向的逆冲,并伴随有较大的右旋走滑位移。在北川 WS 侧的绵竹市清平镇破裂带的走向为 NE20~30°,到安县高川乡转变为 NE50~65°。在整个映秀—北川破裂带中,只有在北川县城地区,断裂面走向 NE45~50°,SE 倾,倾角 50~75°,NW 侧地表高于 SE 侧地表,因此,破裂带显示出正断裂性质。

4.2 汉旺破裂带(次级破裂带)

在距映秀—北川破裂带 10~15 km 处的东侧,沿龙门山逆冲断裂带的前缘断裂:安县—灌县断裂南段,发育一条长约 80 km、宽 5~40 m 的地表破裂带(图 2)。破裂带分布从南端都江堰 NW 约 6 km 的紫坪铺水库北,向 NE 不连续分布至彭州市通济

场 WS 侧,然后,从彭州市通济场 EN 过白鹿镇、什坊市八角镇、绵竹市九龙镇和汉旺镇,至安县睢水镇南连续分布。主要分布在三叠纪砂板岩之中,以及在九龙镇和汉旺镇沿三叠纪砂板岩与侏罗纪砂砾岩之间老的逆冲断裂分布。这条破裂带主要由地表弯曲滑动褶皱构造(图 4-A,B)组成,弯曲陡坎走向 NE40~70°,在一些地区可看见深部断裂面向 NW 倾,倾角相对于映秀—北川破裂带要小,30~50°。沿该破裂带表现为纯的逆冲作用(由 NW 向 SE)为主,右旋走滑分量很小。

4.3 小鱼洞破裂带

在彭州的小鱼洞镇,发育一条 NW 走向长约 6 km、宽 5~20 m 的地表破裂带。该破裂带主要由地表弯曲滑动褶皱构造(图 4-C,D)组成,表现为由 SW 向 NE 逆冲并具有较强的左旋运动特征。弯曲陡坎的走向为 NW290~325°,破裂带向 SE 方向延伸,其走向逐

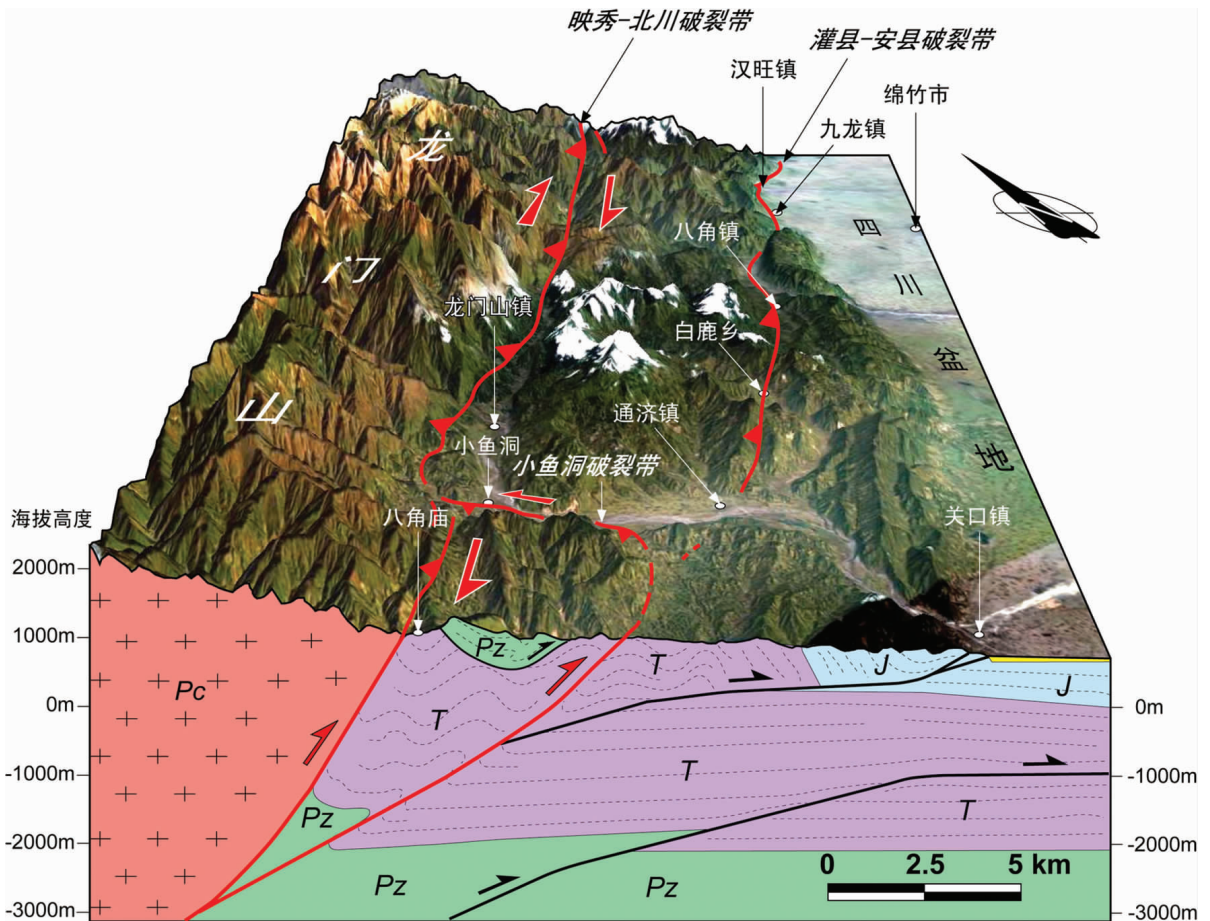


图 5 汶川大地震(Ms 8.0)地表破裂带三维结构图

Fig.5 The 3-D structure of the rupture zone of the Wenchuan earthquake (Ms 8.0)

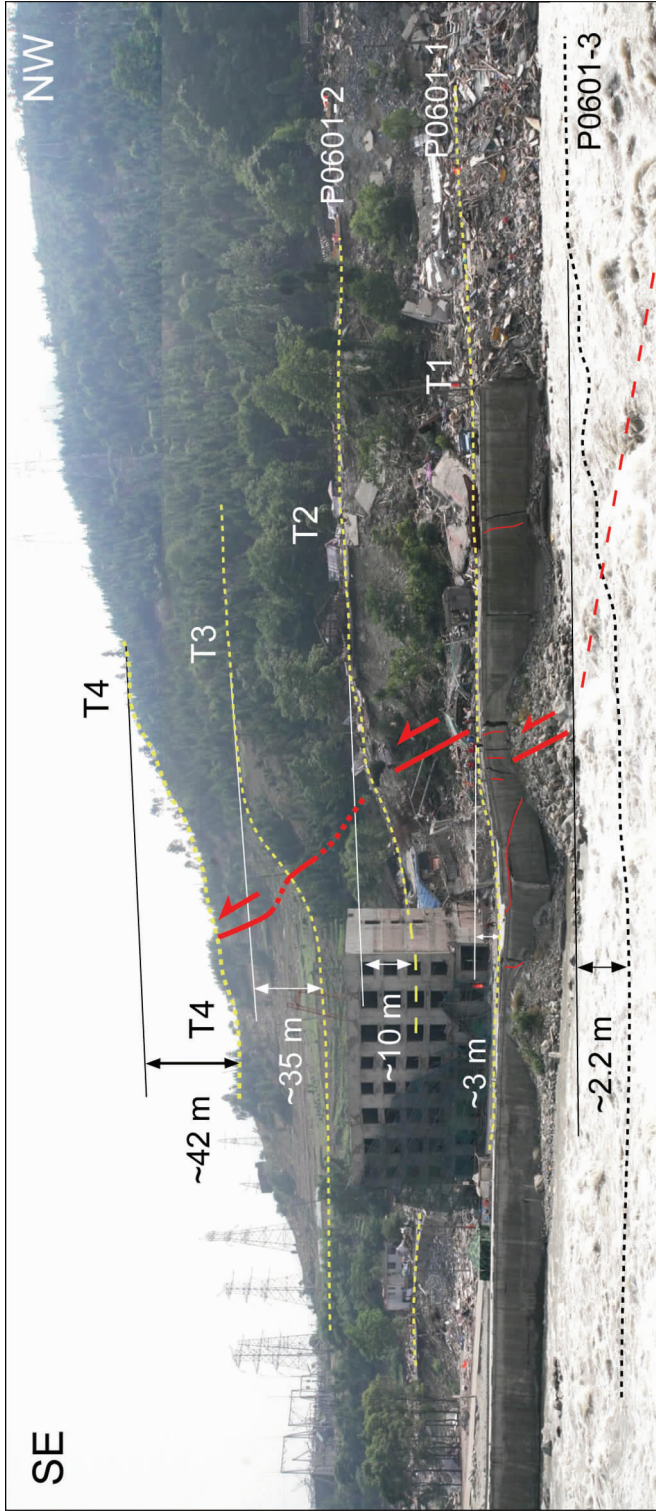


图6 汶川县映秀镇地区震后多级阶地地面的变形

路面(T1)和岷江河河面同震垂直位错 2.2~3 m; 二、三、四级阶地(T2、T3、T4)分别被累积抬高~10 m、~35 m 和~42 m
 Fig.6 The photos show the post-earthquake deformation of terraces in the Yingxiu town, Wenchuan County
 The vertical offsets of the road (T1) and the modern Minjiang river bed are 2.2~3 m; the accumulative vertical offset of the second, third and fourth terrace (T2, T3 and T4) are ~10 m, ~35 m and ~42 m separately

渐转变为 SN 向及 SW 向,与汉旺破裂带南段相连(图 5),构成连接映秀—北川破裂带(主破裂带)与汉旺破裂带(次级破裂带)的侧向斜坡。沿该破裂带普遍产生 1~2 m 垂直位错,以及 1~3 m 左旋水平位错(图 4-C,D),基本显示出左旋水平位错量等于或略大于垂直位错量,但是在破裂带的西端和东端,主要表现为垂直位错,左旋水平位错很小或基本没有。

4.4 四川盆地内的沙土液化带

在安县—灌县断裂东侧的四川盆地内,都江堰市的聚源镇、什坊市孝泉乡、绵阳市新桥和忠兴镇以及江油县让水区等地区,汶川地震后发育一系列规模较小的 NE 向张裂隙,以及沿裂隙喷出液化的沙土。由于地震后的沙土液化发生在人口居住相对较密的盆地内,地震后,很多地区从地下喷出的液化沙土很快被当地居民清理,因此,有些地区的喷沙、喷水现象靠当地居民反映才得以知道,有些地区仅留下液化沙土的痕迹或一些微裂隙。这条 NE 向的微裂隙及沙土液化带基本平行于映秀—北川破裂带和汉旺破裂带,鉴于一些余震分布在这条沙土液化带周围及东侧(盆地内),因此,笔者推测这次汶川地震可能促动了四川盆地西侧深部盲断裂的活动。

5 讨论:龙门山逆冲断裂带 8 级大地震的复发周期

2008 年 5 月 12 日的汶川地震(Ms 8.0),是中国 30 年来灾害最严重、损失最大的一次地震灾害,其震级之大、余震之多,世界罕见。地震过后,人们迫切想知道的是:龙门山地区还会发生如此灾难性的地震吗?下一次地震何时发生?这也就是类似于 5.12 汶川地震(Ms 8.0)在龙门山逆冲断裂带的复发周期的问题。

李勇等^[8]通过探槽研究,认为龙门山断裂带的强震复发周期至少在 2000~3000 a;Densemoe et al^[9]认为沿映秀—北川断裂发生大地震的复发周期为 12000~13000 a;Burchfiel et al^[14]根据 GPS 速率和地震波反演的同震位移,估算映秀—北川断裂的类似汶川大地震(Ms 8.0)的复发周期为 2000~10000 a;张培震等^[13]利用汶川地震前的 GPS 观测结果,和野外考察及地震波反演得到的最大同震位移,估算类似汶川地震的强震复发周期为 2000~6000 a。通常可以用同一地点的同震位移除以该点断裂滑移速率来限定地震复发周期。笔者通过汶川地震后的野外同震位移的测

量,及其同一地点的滑移速率来估算类似汶川地震 8 级强震的复发周期。

在映秀镇,映秀—北川断裂穿过岷江的四级阶地,这次 5.12 汶川地震沿活动断裂带不仅使岷江河床和一级阶地面(T1)抬升 2.2~3 m,而且使得二、三、四级阶地面(T2, T3, T4)累积抬升约 10 m、35 m 和 42 m(图 6),2.2~3 m 是汶川地震(Ms 8.0)在该地点的同震位移。虽然不知道这次汶川地震在该地区是否是特征地震,但是,可以假设它就是特征地震,并以此估算沿映秀—北川断裂下一次类似汶川 8 级地震的强震发生时间。由于四级阶地面(T4)的平均年龄约为 75 ka^[8],对应 42 m 的垂直累积位错,得到该地区映秀—北川断裂的长期滑移速率约 0.66 mm/a。那么,以同样的滑移速率对应该地点的汶川地震同震位移(~3 m),可以得出映秀—北川断裂发生类似汶川 8 级大地震的复发周期为 3000~6000 a。该结果与上述提及的估算结果近一致。

6 结论

(1) 综上所述,2008 年 5 月 12 日汶川地震(Ms 8.0)发生在 NE 走向的龙门山断裂带上,地震造成了多条同震地表破裂带,总体走向 N40~70°E,长约 275 km,宽约 15 km,发震断裂主要为映秀—北川断裂和安县—灌县断裂,以逆冲作用(由 NW 向 SE 逆冲)伴随右旋走滑为运动特征。映秀—北川破裂带具有逆冲兼右旋走滑性质。汉旺破裂带长约 80 km,基本为纯逆冲性质。小鱼洞破裂带连接映秀—北川破裂带和汉旺破裂带,成为侧向断坡,以逆冲(由 SE 向 NW 逆冲)伴随左旋走滑为运动特征。在四川盆地西侧内,发育一条 NE 向的沙土液化带,它可能是四川盆地西部深部盲断裂活动的结果。从同震地表破裂带的分布特征表明,龙门山断裂带活动断裂具有强烈逆冲作用伴随较大的右旋走滑,并向四川盆地扩展。

通过在映秀镇地区,地震后地貌变形测量获得四级阶地面(T4)的垂直累积位错为 42 m,对应的平均年龄约为 75 ka^[8],得到该地区映秀—北川断裂的长期滑移速率约 0.66 mm/a,那么,类似汶川地震~3 m 的同震位移,暗示出映秀—北川断裂发生类似汶川 8 级大地震的复发周期为 3000~6000 a。

致谢: 本项工作得到国土资源部国际合作与科技司的大力支持以及四川省地质调查院和四川 109 地

质队的倾力帮助,在此一并表示感谢!成文仓促,对文章的不精细表示歉意。

参考文献(References):

- [1] USGS Earthquake Center, <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2008/us2008ryan/>.
- [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报告[R]. 2008.
Chen Yuntai, Xu Lisheng, Zhang Yong, et al. Analysis of the source parameters of the great Wenchuan earthquake of May 12, 2008[R]. 2008.
- [3] Ji et al. http://www.geol.ucsb.edu/faculty/ji/big_earthquakes/2008/05/12/Sichuan.html.
- [4] 邓起东. 中国活动构造研究[J]. 地质论评, 1996, 42(4):295-299.
Deng Qidong. Active tectonics in China [J]. Geological Review, 1996, 42(4):295-299 (in Chinese with English abstract).
- [5] 许志琴, 李化启, 侯立玮, 等. 青藏高原东缘龙门-锦屏造山带的崛起—大型拆离断层和挤出机制 [J]. 地质通报, 2007, 26(10):1262-1276.
Xu Zhiqin, Li Huaqi, Hou Liwei, et al. Uplift of the Longmen - Jinping orogenic belt along the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau: Large-scale detachment faulting and extrusion mechanism [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (10):1262-1276 (in Chinese with English abstract).
- [6] 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程 [M]. 北京:地质出版社, 1992:1-190.
Xu Zhiqin, Hou Liwei, Wang Zhongxiu, et al. Orogenic Process of the Songpan -Ganzi Orogen in China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992:1-190 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王二七, 孟庆任, 陈智梁, 等. 龙门山断裂带印支期左旋走滑运动及其大地构造成因[J]. 地学前缘, 2001, 8(2):375-384.
Wang Erqi, Meng Qingren, Chen Zhiliang, et al. Early Mesozoic left-lateral movement along the Longmen shan fault belt and its tectonic implications [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8 (2):375-384 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李勇, 周荣军, Densmore A L, 等. 青藏高原东缘龙门山晚新生代走滑-逆冲作用的地貌标志[J]. 第四纪研究, 2006, 26(1):40-52.
Li Yong, Zhou Rongjun, Densmore A L, et al. Geomorphic evidence for the late Cenozoic strike-slipping and thrusting in Longmen mountain at the eastern margin of the Tibetan plateau [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(1):40-52 (in Chinese with English abstract).
- [9] Densmore A L, Ellis M A, Li Y, Active tectonics of the Beichuan and Pengguan faults at the eastern margin of the Tibetan Plateau [J]. Tectonics, 2007, 26, doi:10.1029/2006TC001987.
- [10] 唐荣昌, 韩渭宾(主编). 四川活动断裂与地震[M]. 北京:地震出版社, 1993:1-368.
Tang Rongchang, Han Weibin. Active faults and earthquake in Sichuan Province [M]. Beijing:Seismological Press, 1993:1-368 (in Chinese).
- [11] 冯先岳. 新疆古地震 [M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社, 1997:1-250.
Feng Xianyue. Palaeo-earthquakes of Xinjiang [M]. Urumqi: Science & Technology and Health Publishing House, 1997:1-250 (in Chinese).
- [12] 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 Peizhen, Xu Xiwei, Wen Xueze, 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 (in Chinese with English abstract).
- [13] Zhou R J, Li Y, Densmore A L, et al. Active tectonics of the Longmen shan region on the eastern margin of the Tibetan plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(4):593-604.
- [14] Burchfiel B C, Royden L H, van der Hilst R D, et al. A geological and geophysical context for the Wenchuan earthquake of 12 May 2008, Sichuan, People's Republic of China [J]. GSA Today, 2008, 18(7):doi:10.1130/GSATG18A.1.

The surface rupture zone distribution of the Wenchuan earthquake (Ms8.0) happened on May 12th, 2008

LI Hai-bing^{1,2}, WANG Zong-xiu³, FU Xiao-fang⁴,
HOU Li-wei⁴, SI Jia-liang^{1,2}, QIU Zhu-li^{1,2}, LI Ning⁵, WU Fu-yao^{1,2}

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Key Laboratory for Continental Dynamics of the Ministry of Land Resources, Beijing 100037, China; 3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 4. Academe of Geological Survey, Sichuan Province, Chengdu 610081, Sichuan China;

5. 109 Geological Bridge, Sichuan Exploration and Development Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610100, Sichuan China)

Abstract: On May 12, 2:28 pm, an earthquake (Ms 8.0) struck the Longmenshan area (centred in Wenchuan County of Sichuan Province), the eastern segment of the Tibetan Plateau. According to the field survey, the earthquake occurs on the NE striking Longmenshan fault belt. The belt has been with the thrusting rate smaller than 1 mm/a and the shortening rate smaller than 3 mm/a according to GPS measurement. The causative mechanism is mainly the thrust (from NW to SE), accompanied with dextral strike-slip. The earthquake produced several co-seismic surface rupture zones that were 275 km long and 15 km wide in general. The Yingxiu-Beichuan rupture zone is 275 km long and dominative; The Hanwang rupture zone takes the second place, which is 70 km long and occurs along the south part of the Guanxian-Anxian fault, the frontal fault of the Longmenshan fault belt. There are another two minor rupture zones between two zones mentioned above, one is the Shexigou rupture zone, is in NE direction and about 10 km long, close to the southern segment of the main rupture zone, whose deformation characteristics are similar to and can be involved into the Yingxiu-Beichuan rupture zone; the other is named as Xiaoyudong rupture zone, is in NW direction and 6 km long, produced by the thrust from SW to NE and associated lateral slip, which is the link between Yingxiu-Beichuan and Hanwang rupture zone and characterized by the lateral ramp. Besides, in the Sichuan Basin that eastern to the Guanxian-Anxian fault, a sand liquefaction belt with NE direction strike developed from Juyuan town of Dujiangyan to Jiangyou, which might be the result of the activity of a blind fault deep in the western Sichuan Basin. According to the feature of surface coseismic rupture zones, active tectonics in the Longmenshan fault belt have intense thrusting accompanied with significant dextral strike-slip. The fault is developing toward the Sichuan Basin. The recurrence intervals of great earthquake such as the Wenchuan earthquake can be 3000-6000 years.

Key words: coseismic surface rupture; earthquake fault; Causative structure; Longmenshan

About the first author: LI Hai-bing, male, born in 1966, senior researcher of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, mainly engages in the study of structural geology and active tectonics; E-mail: lihaibing@ccsd.org.cn.