

# 汶川 $M_s$ 8.0 地震地表破裂带 北川以北段的基本特征

李传友<sup>1)</sup> 叶建青<sup>2)</sup> 谢富仁<sup>3)</sup> 郑文俊<sup>1)</sup> 韩用兵<sup>2)</sup>

刘玉法<sup>4)</sup> 王伟涛<sup>1)</sup> 魏占玉<sup>1)</sup> 赵冬<sup>2)</sup> 马保起<sup>3)</sup> 任俊杰<sup>3)</sup>

1) 中国地震局地质研究所, 国家地震活动断层研究中心, 北京 100029

2) 浙江省地震局, 杭州 310013

3) 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085

4) 四川省地震局, 成都 610041

**摘要** 对北川-青川间汶川  $M_s$  8.0 地震地表破裂的野外地质调查表明, 在这一段内主要存在一条地震地表破裂带, 总体沿北川-青川断裂带分布。沿黄家坝、陈家坝、桂溪、平通、南坝、石坎等地的观察显示, 该段地表破裂沿走向连续分布, 结构单一, 破裂长度为 60~90km, 地表破裂没有到达青川县关庄镇。可观察到的破裂长度在北川北至石坎之间, 长 62km, 走向总体为  $20^\circ \sim 55^\circ$ , 运动学性质主要为右旋走滑逆冲。地震形成的地表破裂主要表现为垂向上的地表拱曲, 指示了深部断层的逆冲性质; 在水平运动方向上则主要表现为右旋走滑, 不存在左旋走滑分量。地震地表破裂显示的同震垂直位移从西南段黄家坝的 3m 左右, 向东北逐渐降低至南坝、石坎的 1.5m 左右; 右旋水平位移没有明显变化或者略有增加, 一般在 1.5~2.0m 之间。地表破裂特征表明, 引起本次汶川  $M_s$  8.0 地震的震构造是映秀-北川-青川断裂带, 该断裂以逆冲运动为主, 兼具右旋走滑分量, 逆冲方向由 NW 向 SE。

**关键词** 汶川  $M_s$  8.0 地震 地表破裂 同震位移 逆冲 右旋走滑

**中图分类号**: P315.2

**文献标识码**: A

**文章编号**: 0253-4967(2008)03-0683-14

## 0 引言

2008年5月12日14时28分, 在四川省汶川县发生了  $M_s$  8.0 强烈地震。震后的科学考察在汶川映秀、都江堰虹口、北川县城附近都发现了明显的地震地表破裂(邓志辉等, 2008; 何宏林等, 2008)。对该段地震地表破裂的野外调查显示(何宏林等, 2008), 地震破裂以逆冲为主兼具右旋走滑分量, 局部甚至表现为逆冲加左旋走滑; 同时, 除 NE 向的映秀-北川断裂发生破裂外, 与之平行的灌县-安县断裂带(即龙门山前山断裂带的一部分)也参与了活动。根据汶川 8.0 级地震的震源机制解和地震学反演结果, 一般认为北川为破裂转换部位, 北川以南的地震破裂性质和以北不同。那么, 北川以北段的地震地表破裂带究竟是何种表现形式? 发育几条地

〔收稿日期〕 2008-07-17 收稿, 2008-07-28 改回。

〔基金项目〕 中国地震局汶川 8.0 级地震应急科学考察项目、中国地震局地质研究所基本科研业务专项 (DFIGCEA060718) 和国家自然科学基金 (40602019) 共同资助。

表破裂带?它们的展布位置、空间分布和产状等所表明的发震断裂如何?运动学性质怎样?同时,此次地震产生的地表破裂长度到底有多长?这些都是受到普遍关注和需要回答的问题。

为了回答上述相关问题,我们在北川至青川之间沿地震地表破裂带开展了野外实地调查,获得了该段地震地表破裂特征和发震断裂活动性质的基本认识。

## 1 北川以北段地震地表破裂概述

野外考察结果显示,在北川以北主要存在一条地震地表破裂带(变形带)。该破裂带始于北川县城北,经陈家坝、平通、南坝等地,终止于石坎以北,走向一般在  $20^{\circ} \sim 55^{\circ}$  之间,运动学性质主要为右旋走滑逆冲(图 1)。该段地表破裂带主要沿 NE 向的河谷展布,在平通和南坝之间穿过了涪江与其支流东坪河的分水岭,在石坎和马公之间可能穿过了雁门河、清水河与涪江的分水岭。这一段破裂总长度为  $60 \sim 90\text{km}$ ,可观察长度  $62\text{km}$ ,总体沿北川-青川断裂带分布,属于映秀-北川断裂带的北延部分。

## 2 野外观测段的详细描述

我们的野外观察并不限于一个点,而是每个观测区内长几百甚至上千米的段。所有观察到的地表破裂段是连续的,而且继续向两侧延伸。现将各观察段从 SW 向 NE 分述如下。

### 2.1 黄家坝

黄家坝位于北川县城北  $8\text{km}$  处都贯河汇入湍江的部位。地貌上为一 SE 流向冲沟沟口的洪积扇、湍江的阶地与都贯河汇入口冲积扇复合的部位。断裂切过冲沟沟口的洪积扇和注入湍江的现代冲沟,形成明显的地表变形。主要表现为走向  $38^{\circ} \sim 40^{\circ}$  的隆起和少量的右旋水平位移、上盘近断裂处局部的张裂缝、以及下盘近断裂附近的 NE 向小鼓包。

如图 2b 所示,断裂位错导致横穿的现代冲沟形成明显的跌水,冲沟沟床被断裂位错形成了  $3.8\text{m}$  高的陡坎。经当地村民确认,该沟床原有  $0.5 \sim 1.0\text{m}$  左右的高差。将此值扣除,获得冲沟沟床的垂直位移为  $2.8 \sim 3.3\text{m}$ 。冲沟东北侧洪积扇面上修筑的水泥路面的垂直位移为  $(2.4 \pm 0.1)\text{m}$ ; 冲沟西南侧洪积扇面上农田的垂直位移为  $(2.5 \pm 0.2)\text{m}$ (图 2a)。将所获得的这些垂直位移取平均值,得到的结果为  $(2.65 \pm 0.15)\text{m}$ 。此处的水平位移并不明显,如图 2b,水泥路面几乎看不出有水平方向的错动。对与断裂近于直交的冲沟沟床两侧边界的观测,获得其右旋水平位移为  $(1.4 \pm 0.1)\text{m}$ (图 2b)。该段观察到的破裂长度在  $200\text{m}$  左右,断裂向两端延伸进入山体后为滑坡等所掩盖。

### 2.1 陈家坝

陈家坝位于都贯河的阶地与一 SE 流向冲沟形成的洪积扇的复合部位。断裂在陈家坝西侧穿过冲沟沟口的洪积扇。现代冲沟从扇顶切过,流入都贯河。断裂切过了该洪积扇和冲沟,形成明显的地表变形。主要表现为  $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$  的隆起和右旋水平位移、发育于隆起上并与之平行的张裂缝等。地表破裂带宽度为  $30\text{m}$  左右。

经野外实测,洪积扇面(I 级阶地)的垂直位移为  $(1.95 \pm 0.2)\text{m}$ ; 冲沟的漫滩被断裂垂直位错了  $2.54\text{m}$ ; 冲沟的沟床被断裂位错形成了  $2.5\text{m}$  左右的跌水(图 3a)。由实测等高线获得的垂直位移在  $2.2 \sim 2.4\text{m}$  左右(图 3b)。将获得的垂直位移取平均值,得到的结果为  $(2.30 \pm 0.10)\text{m}$ 。以油菜地(I 级阶地上)边界为标志获得的右旋水平位移为  $(2.1 \pm 0.1)\text{m}$ 。由实测

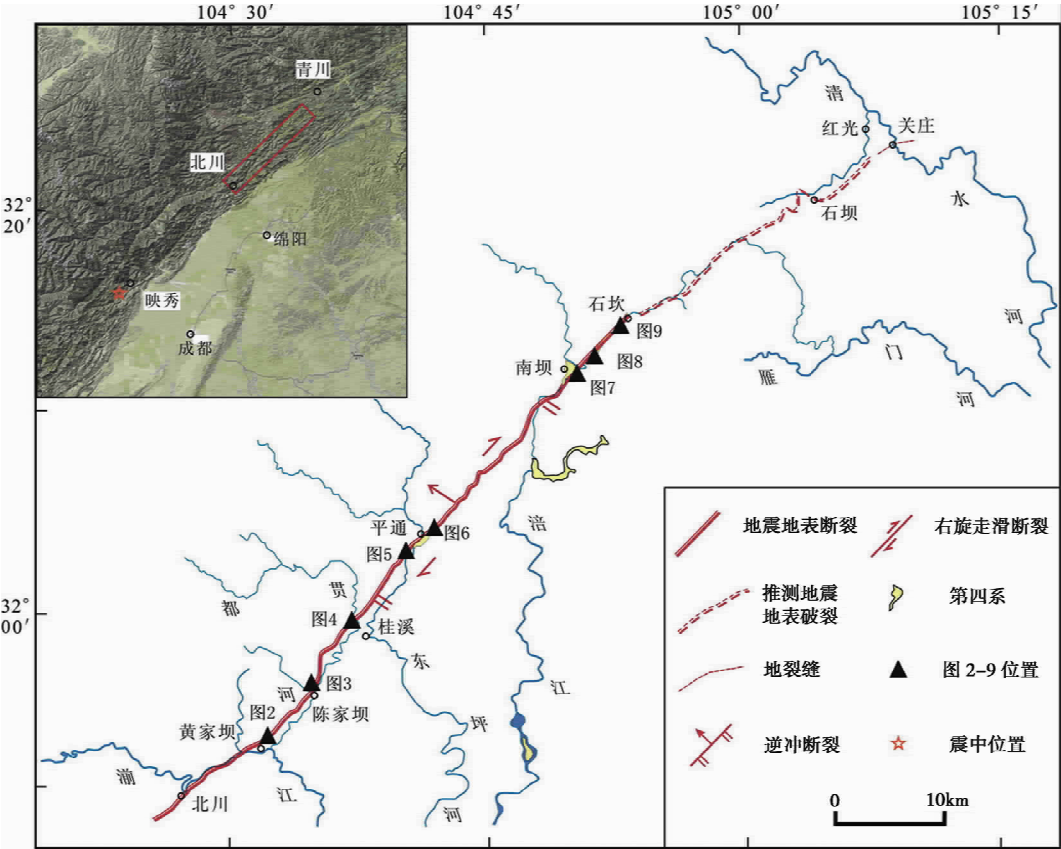


图 1 北川以北段地震地表破裂带展布图

Fig. 1 Stretch map of the surface rupture of the  $M_s = 8.0$  Wenchuan earthquake north to Beichuan.

左上图中红色方框示图 1 所处的位置



图 2 黄家坝地震地表破裂与断裂位错 (镜向: NW)

Fig. 2 Surface ruptures and coseismic displacement at Huangjiaba (view to NW).

位置见图 1; a 洪积扇面上农田的垂直位错; b 现代冲沟沟床与水泥路面的同震位错

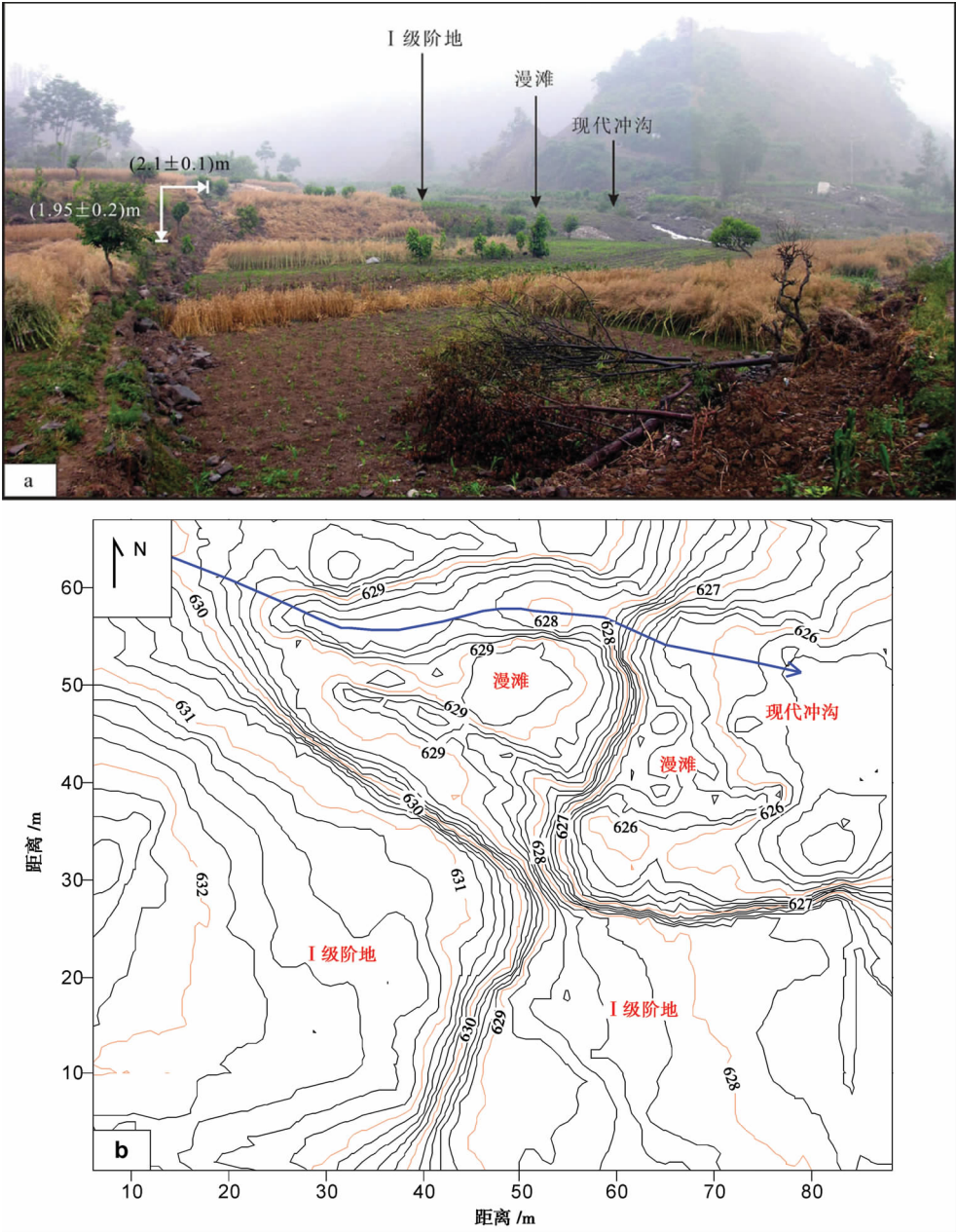


图 3 陈家坝乡西侧冲沟附近的断裂位错与地表破裂

Fig. 3 Surface ruptures and coseismic displacement at a valley west to Chenjiaba.

位置见图 1；a 断裂位错与地表破裂（镜向：NW）；b 断裂位错地貌实测地形等高线图，等高线间距为 0.2m

等高线获得的以 I 级阶地、漫滩和沟床等的边界为标志的右旋水平位移分别为  $(1.8 \pm 0.3)\text{m}$ 、 $(2.0 \pm 0.3)\text{m}$ 、 $(1.7 \pm 0.4)\text{m}$ （图 3b）。将获得的水平位移取平均值，得到右旋水平位错量为  $(1.90 \pm 0.30)\text{m}$ 。该段观察到的地表破裂长度为 300m。



## 2.3 桂溪乡凤凰村五组

该村位于都贯河的阶地上,该处的阶地主要为 I, II 两级。该段断裂走向为  $25^\circ \sim 30^\circ$ , 切过了河流 II 级、I 级阶地,漫滩与河床。同震形成的破裂构造主要表现为地表拱曲和与其平行的张裂缝、右旋水平位移以及下盘近断裂附近的鼓包。沿地表破裂带穿越处的所有建筑物全部毁坏。

其中最典型的地表破裂是沿断裂带形成的道路拱曲。该公路位于河流的 II 级阶地上,测量结果显示同震垂直位移量为  $(2.34 \pm 0.1)\text{m}$  (图 4a)。同时,以公路边界为标志获得的同震右旋水平位移量为  $(2.4 \pm 0.2)\text{m}$  (图 4a)。但由于此水平位移测量标志为单块的水泥板,在运动中可能具甩动作用,并不是水平位错的真实反映,测量结果只作为参考。



图 4 桂溪乡凤凰村地表破裂与同震位错

Fig. 4 Surface ruptures and coseismic displacement at Guixi.

位置见图 1; a 水泥公路路面的断裂位错(镜向: NW); b 田埂的右旋水平位错(镜向: SE)

同时,在以下观察点测量获得若干断裂地表位错数据。其中最东北的一点,图 4a 中公路的右侧靠近山边的一块农田被垂直位错  $2.0\text{m}$ 。而该点西南  $200\text{m}$ ,水平的油菜地被垂直位错  $(2.2 \pm 0.2)\text{m}$ ,油菜地中 3 条走向  $115^\circ \sim 120^\circ$  的田埂分别被右旋水平位错  $1.6\text{m}$ ,  $1.5\text{m}$ ,  $1.6\text{m}$  (图 4b)。往回跨过公路继续往西南,即图 4a 中公路左侧,位于河流 II 级阶地上的麦地被垂直位错  $2.2\text{m}$ ,水平位错没有明显的标志物。河流的漫滩与河床也被断裂垂直位错,漫滩的位移值约  $1.65\text{m}$ ,水平位错  $(1.4 \pm 0.2)\text{m}$ ;河床被垂直位错形成了明显的跌水。值得一提的是,此处沿破裂带发育 2 组地震裂缝,均位于断裂的上盘。其中一组与破裂带平行,另一组与破裂带斜交。与破裂带斜交的裂缝呈雁行斜列,指示右旋走滑分量。

将在此段获得的垂直位移取平均值,得到该段同震垂直位移量为  $(2.2 \pm 0.2)\text{m}$ 。将获得的水平位移同样取平均值,得到的结果为  $(1.5 \pm 0.1)\text{m}$ 。该段观察到的地表破裂长度为  $800\text{m}$ ,两侧入山后为滑塌体所掩盖。

## 2.4 平通镇枣子树

断裂在该观察段穿过了东坪河的 I 级阶地、漫滩与河床,往 SW 方向切过山体,往 NE 方向切过河流后出观察范围。地震地表破裂带在该段的可视长度近  $400\text{m}$ ,走向为  $35^\circ \sim 50^\circ$ 。断裂形成明显的地表变形(图 5a),同样表现为 NE 向的拱曲和右旋水平位移、拱曲之上与其平行的

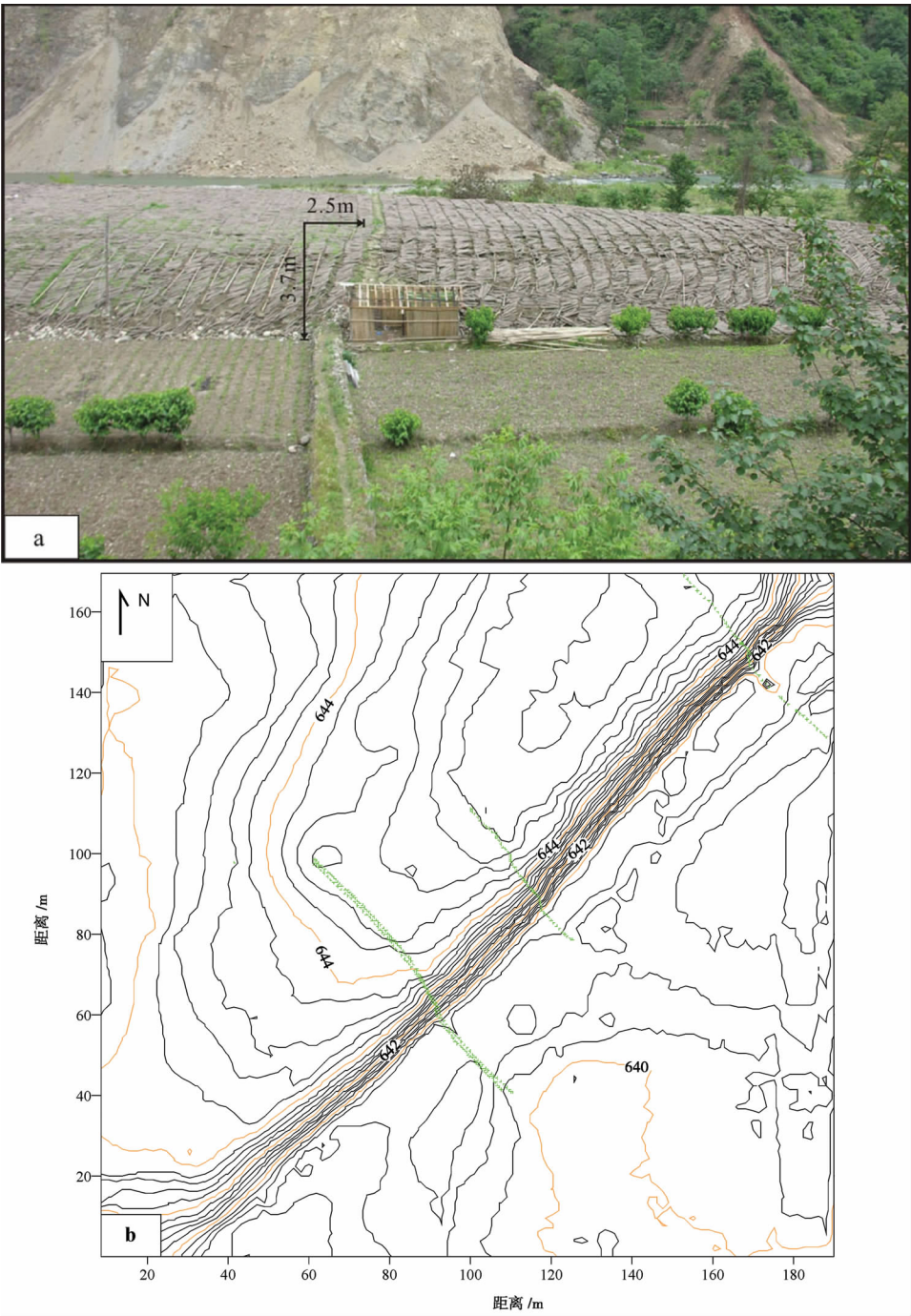


图 5 平通镇西南枣子树地表破裂与同震位错

Fig. 5 Surface ruptures and coseismic displacement at southwestern Pingtong.

位置见图 1；a I 级阶地上的地表破裂与位错（镜向：NW）；

b 该段地表位错实测地形图，等高线间距为 0.2m，绿色线示被位错的田埂

张裂缝,以及下盘近断裂附近的鼓包。

根据野外实测,在 I 级阶地上,村民的木耳地由垂直位移形成的拱曲陡坎高约 3.3m,高度最大处为 3.7m(图 5a, b)。但根据对这一段的观察,木耳地与断裂下盘一侧的农田之间原来有一条走向与断裂近于平行的、高 0.5m 左右的田坎。此处地表破裂大部分沿这一田坎发育,因而陡坎高度包含了原有的 0.5m 高差。由此估算,此段的同震垂直位移在 2.8m 左右。对挤压构造变形的初步测量和分析显示,该段的挤压缩短率约为 50%。以田埂为标志的右旋水平位移为 2.5m。其中,走向  $330^\circ$  的田埂被右旋水平位移 2.5m; 走向  $315^\circ$  的田埂被水平位移 2.6m(图 5b)。

在 I 级阶地两侧,垂直位移迅速减小,其西南侧的河流漫滩的垂直位移值变为 1.45m。右旋水平位移基本没有变化,为 2.8m。河床也被断裂所位错,形成了明显的跌水。

I 级阶地与河漫滩虽然相距不足 100m,但二者的垂直位移值相差很大,我们无法判定哪个更能反映真实的垂直位移量。将其取加权平均值,获得的该段垂直位移量为  $(2.1 \pm 0.7)$  m。而将获得的水平位移取平均值,得到的右旋位错量为  $(2.6 \pm 0.1)$  m。

## 2.5 平通镇

在平通镇,同样观察到了明显的地表破裂与断裂位错。该处的阶地至少可分为 2 级,平通镇位于东坪河的高阶地上。断裂同样切过了阶地与河流,产生的地表变形与前面所述的情形相近,主要表现为  $45^\circ \sim 70^\circ$  的隆起和右旋水平位移,以及隆起上与其平行的张裂缝等。

在平通镇西南,河流的漫滩与河床被断裂位错,估计垂直位移值约 2.0m,河床形成了壮观的跌水,其右旋水平位移的标志不明显。走向  $10^\circ$  的河流护堤被断裂 2 次位错,垂直位错为 1.6~2.0m。河流东北侧的 I 级阶地上,农田被垂直位错 2.0m 左右(图 6a, b)。位于 I 级阶地上的养鱼池被走向  $45^\circ$  的断裂所切错,其边界被垂直位错  $(2.0 \pm 0.2)$  m; 以走向  $355^\circ$  的鱼池边界为标志的右旋水平位移为  $(1.9 \pm 0.1)$  m(图 6a, c)。

在平通镇,位于高阶地上的水泥路面的垂直位移为 2m; 以公路中线为标志获得的右旋水平位移为  $(1.85 \pm 0.1)$  m。在平通镇东北山边,走向  $330^\circ$  的田埂被走向  $75^\circ$  的断裂垂直位错 1.7m。走向  $320^\circ$  的田埂被走向  $50^\circ$  的断裂垂直位错 1.6~1.8m,右旋水平位移 2.1m。此处与断裂斜交的张裂缝非常明显,走向  $85^\circ$ ,宽度可达 30~40cm。

将获得的垂直位移取平均值,得到该段断裂的垂直位错量为  $(1.9 \pm 0.1)$  m。同时将获得的水平位移取平均值,得到的结果为  $(1.95 \pm 0.05)$  m。该段观察到的地表破裂长度为 800m。

## 2.6 南坝镇南枇杷树涪江西岸公路边

该观察段位于涪江的深切峡谷内,断裂从西南侧的山中穿出,切过 305 省道后穿过涪江,往 NE 方向又切入山中,然后进入 NE 向涪江河谷的南侧并与其平行延伸直至南坝。地震地表破裂带在该段的走向为  $45^\circ$ 。地表破裂带在穿过公路时形成若干条走向  $40^\circ \sim 50^\circ$ 、横切公路的裂缝,以及路面 30cm 左右的高差变形。在穿过涪江时造成了河床明显的跌水。

## 2.7 南坝镇东

该观察段位于涪江由东南转向西南方向的拐弯部位,一条 NE 向河流——石坎河在此注入涪江。断裂切过了该 NE 向河流和公路,地表变形主要表现为走向  $35^\circ \sim 50^\circ$  的拱曲和右旋水平位移。断裂在穿过河流高阶地时,导致其上平整的农田一侧相对于另一侧抬高  $(1.5 \pm 0.1)$  m(图 7a),地表隆起走向  $45^\circ$ 。河流的漫滩被断裂垂直位错形成  $(1.35 \pm 0.1)$  m 的反向陡坎



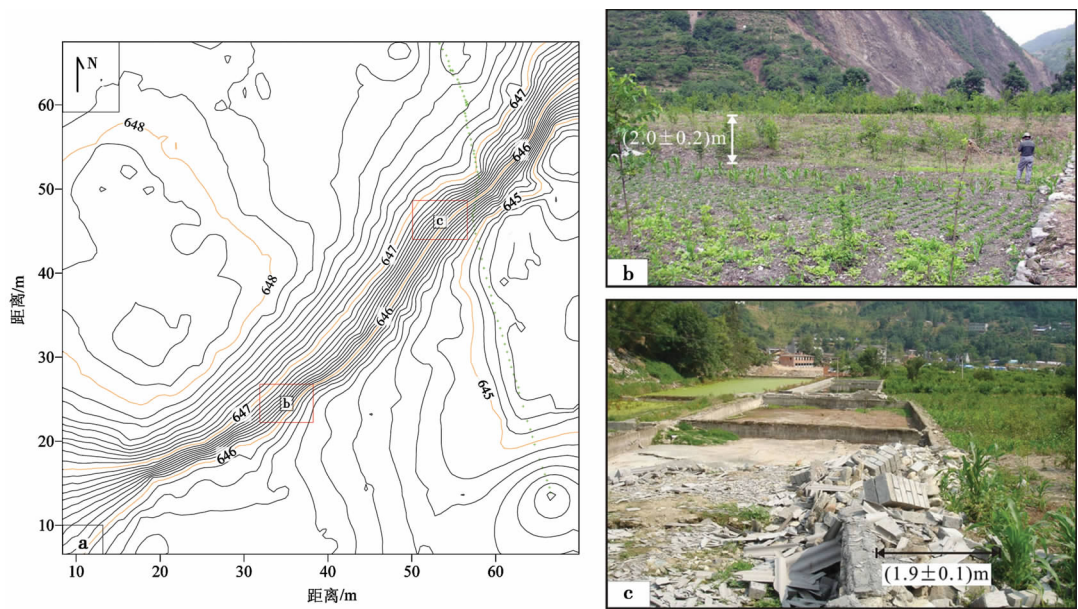


图6 平通镇西Ⅰ级阶地地表破裂与同震位错

Fig. 6 Surface ruptures and coseismic displacement of the  $T_1$  terrace west of Pingtong.

位置见图1；a 平通镇西Ⅰ级阶地地表位错实测地形图，等高线间距为0.1m，绿色虚线示鱼池边界，红色方框示b、c中心区域范围；b Ⅰ级阶地地表位错（镜向：NW）；c 鱼池右旋水平位错（镜向：SE）

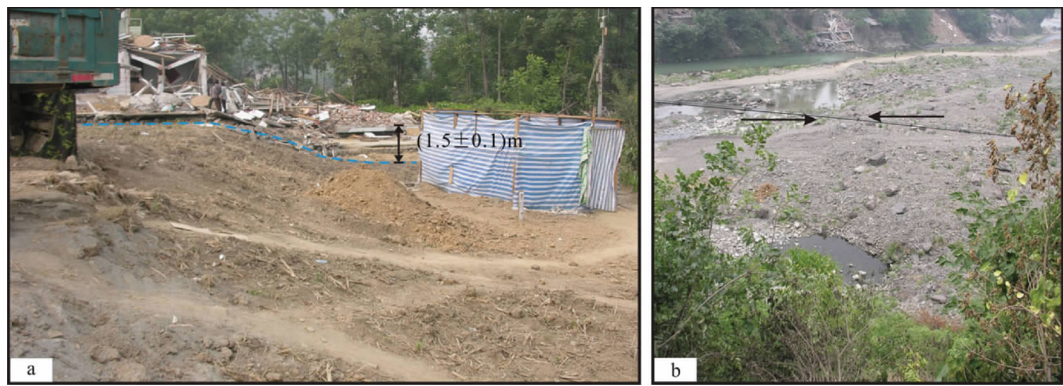


图7 南坝镇东地震地表破裂与同震位错

Fig. 7 Surface ruptures and coseismic displacement east of Nanba.

a 南坝镇东高阶地上的垂直位错（镜向：NE），兰色虚线示变形剖面；b 河流漫滩被断裂位错形成的反向陡坎，2个黑色箭头之间为断裂通过处，位于河流下游方向的右侧黑色箭头为断裂上盘（镜向：SW）

（图7b）；而现代冲沟的沟床被断裂位错形成了明显的围堰，并导致右旋水平位移的标志不清楚。与205省道交会附近的105省道平整的水泥路面垂直位移 $(1.5 \pm 0.2)\text{m}$ ；以公路边界为标志获得的右旋水平位移为 $(2.5 \pm 0.2)\text{m}$ 。断裂将公路北侧的山体右旋错开，形成约2.0m的水平位移，并出露基岩断裂剖面，走向 $50^\circ$ ，倾向NW，倾角为 $70^\circ$ 。此处的垂直位移取平均值为 $(1.45 \pm 0.15)\text{m}$ ；水平位移取平均值为 $(2.3 \pm 0.2)\text{m}$ 。该段观察到的地表破裂长度为1km。

## 2.8 磨湾 - 唐家坝

该观察段位于 NE 向石坎河西侧的 I 级阶地上。断裂在该段沿着河流谷地展布, 地表变形主要表现为走向  $50^\circ$  的隆起和右旋水平位移。地表破裂作用致使横穿的道路发生拱曲破坏, 造成山体垮塌, 并导致河流改道。

经野外实测, 位于 I 级阶地上的田地垂直位移  $1.0 \sim 1.2\text{m}$  (图 8a, b)。以走向  $310^\circ$  的田埂为标志获得的右旋水平位移量为  $1.6\text{m}, 1.3\text{m}$  (图 8a, c)。将获得的水平位移量取平均值, 得到的结果为  $(1.45 \pm 0.15)\text{m}$ 。该段观察到的地表破裂长度为  $2\text{km}$ 。

## 2.9 石坎乡南 1km 处的 105 省道

该观察段位于石坎河东岸。断裂在该段沿着河流东侧谷地展布, 地表变形也主要表现为走向  $35^\circ \sim 55^\circ$  的隆起、隆起核部的平行张裂缝和右旋水平位移。掩门子南的山坡上, 平整的田地显示被垂直抬高了  $2.12\text{m}$ , 但据当地村民该处原有  $0.5 \sim 0.8\text{m}$  左右的高差。将此值扣除, 获得此处田地的垂直位移为  $1.32 \sim 1.62\text{m}$ 。同时, 与其相邻点估计的位错也为  $1.5\text{m}$  左右。此处以麦地边界为标志获得的右旋水平位移为  $(2.1 \pm 0.3)\text{m}$  (图 9a)。断裂穿过山坡后进入河谷内, 沿着 105 省道西边界外露。此处断裂与公路近于平行, 走向约  $40^\circ$ 。断裂将平整的公路一半掀起, 形成的高差为  $1.6 \sim 1.8\text{m}$  (图 9b)。将所获得的垂直位移取平均值, 得到该段地表破裂的垂直位错量为  $(1.55 \pm 0.15)\text{m}$ 。

地表破裂在该观察段与上一段之间被文家坝堰塞湖所淹没, 经该段往 NE 进入山体, 此段观察到的地表破裂长度为  $500\text{m}$ 。

## 2.10 青川县关庄镇

该观察段位于关庄镇清水江西岸的山前部位。在山前一带横穿中央断裂可能出露的位置, 长约  $1\text{km}$  的观察段内, 未发现断裂活动的迹象。

这一带的房屋等建筑物沿断裂线走向位置呈现严重的破坏, 许多房屋甚至倒塌。在该段约  $500\text{m}$  内, 断续发育 1 组走向  $20^\circ \sim 60^\circ$  和 1 组 NW 向的裂缝。这些裂缝宽几厘米至十几厘米不等, 长度不足  $1\text{m}$  至几米。在河流的堤坝、岸边往往发育与堤岸平行的裂缝。另外, 在推断的断裂通过位置, 发现走向  $25^\circ$ 、高度约  $30\text{cm}$  的局部隆起及与其平行的细裂缝。在断裂通过位置出现大量的喷沙冒水, 并沿 NE 向呈带状分布。

在关庄西南  $300\text{m}$  处发现出露的断裂剖面。断裂发育于寒武系变质砂岩和泥盆系观雾山组石英砂岩夹页岩之间, 走向  $25^\circ \sim 30^\circ$ , 倾向 NW, 倾角  $40^\circ$ , 具逆冲性质。断裂带内发育黑色断层泥, 宽  $40\text{cm}$ , 半固结。断裂之上覆盖的第四系坡积层没有错动, 断裂走向上与断裂近于正交的公路无破坏。

总之, 该段断裂附近房屋等建筑物呈线性破坏, 并表现出一些地表裂缝, 但断裂通过处的公路等地表标志物无明显破坏。由此可以推断, 地震地表破裂没有到达此处。关庄镇附近其它可能发育与此断裂平行的地表破裂的位置如曲河—前进、苏河北等地点的调查也均未发现地表破裂。其它考察小组在关庄镇至青川之间的调查也没有发现地震地表破裂的存在, 进一步证明此次地震的地表破裂在关庄镇以南就已终止。

# 3 地震地表破裂带的基本特征

归纳起来, 汶川  $M_s8.0$  地震地表破裂带北川以北段的主要特征体现在以下几方面。



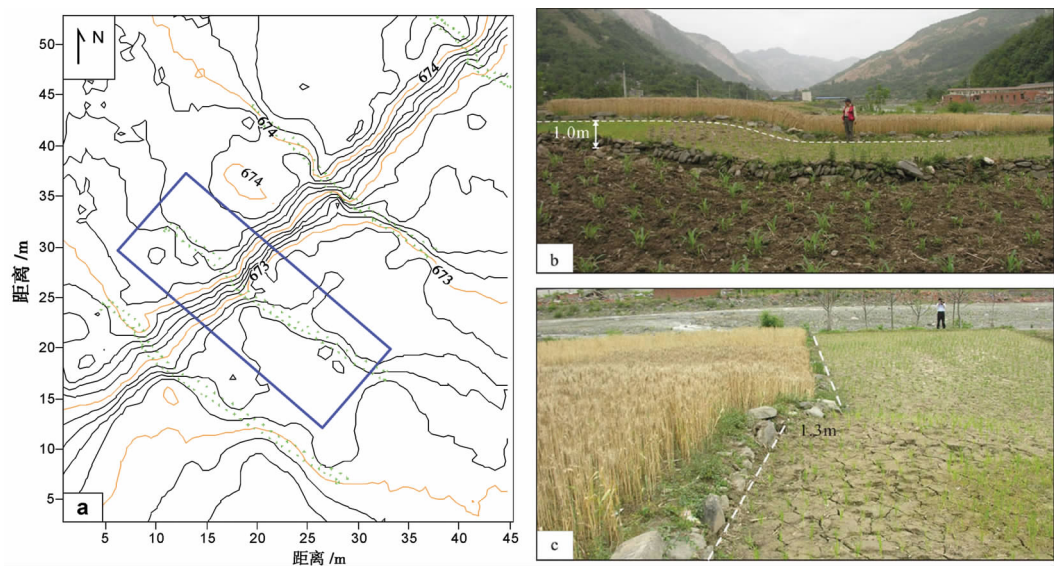


图 8 梨子坝东一带的地震地表破裂与位错

Fig. 8 Surface ruptures and coseismic displacement at eastern Liziba.

a I 级阶地位错实测地形图,等高线间距为 0.1m,蓝框示图 b,c 范围; b 阶地垂直位错(镜向:NE),白色虚线示变形剖面; c 阶地上田埂右旋水平位错(镜向:E),白色虚线示田埂界线

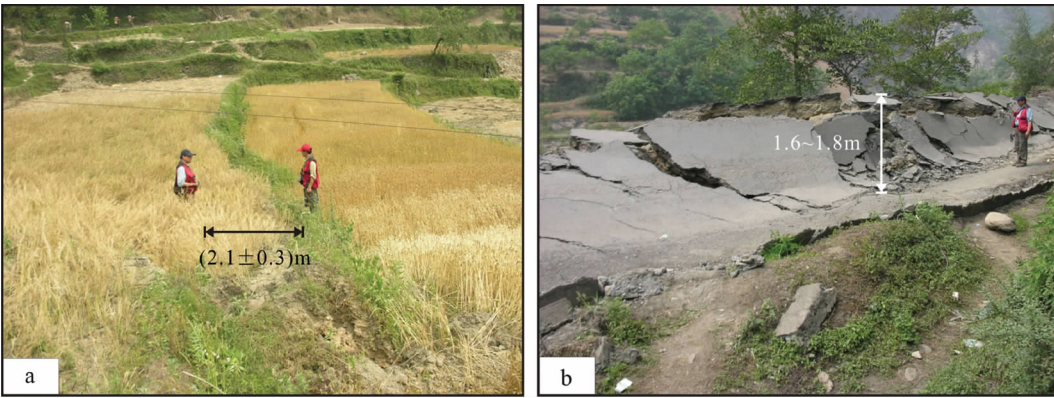


图 9 石坎乡南一带的地震地表破裂与位错

Fig. 9 Surface ruptures and coseismic displacement southeast of Shikan.

a 石坎乡南 1.5km 处高阶地上田埂右旋水平位错(镜向:SE); b 石坎乡南 1km 处 105 省道公路垂直位错(镜向:N)

(1)地表破裂类型。在北川以北,地震形成的破裂最突出的表现是沿断裂带的地表拱曲。表现为一条走向 NE 的、长条形的线性地形隆起带,在剖面上呈反“S”形。虽然在拱曲的一侧有时也发育一些张裂缝,但那只是由拱曲作用引起的局部拉张的产物。这些裂缝是局部的、断续的,是断裂活动导致的地表变形所产生的一种次生现象,并不是地震地表破裂。地表破裂的另一个显著特征是被其切过的地表物体的水平移位。这种位移也不是地表物体的完全分裂,而是一种以扭曲为主的变形。

这种破裂形式与断裂纯剪切走滑形成的破裂明显不同。如 2001 年 11 月 14 日昆仑山库赛湖  $M_s8.1$  地震地表破裂带的调查表明(徐锡伟等,2002),地震地表破裂带由一系列拉开状张裂缝、张剪切裂缝、剪切裂缝以及隆起鼓包或开裂陷坑等斜列状组合而成,其给人的明显特征就是一条长几百千米、将地表切开的锯齿状裂缝。

此次地震形成的地表破裂所显示的特征充分表明了龙门山断裂带的活动特性。垂向上的地表拱曲,指示了深部断裂的逆冲作用;水平方向上的扭曲则指示了深部断裂的右旋走滑运动。地震破裂显示的滑动面向 NW 倾斜,上盘(NW 盘)遭挤压隆升,下盘则相对下降。

(2)地表破裂的展布与长度。调查表明,北川以北主要存在一条地震地表破裂带。该破裂带结构单一,宽度一般 20~50m,走向在  $20^\circ \sim 55^\circ$  之间,总体沿北川-青川断裂带展布。破裂沿走向连续分布,在北川以北的黄家坝、陈家坝、桂溪、平通、南坝、石坎等地,均发育明显的地表破裂。

地表破裂没有到达青川县关庄镇。从北川到石坎这一段距离为 62km,这是我们在该段所能确定的破裂长度。北川到关庄的断裂长度为 96km,则是该段破裂长度的最大值。因此,本段破裂长度介于 62~96km 之间。由于断裂通过的石坝、红光南一带有滑坡、堰塞湖等,无法到达这些地点进行观察,但由这些地段滑坡、地震破坏等的严重程度可以推断,破裂极有可能达到了石坝,并逐渐在这一带终止。因此,北川以北地震地表破裂带的长度应该在 90km 左右。

在香水场、含增和江油一带的初步调查表明,与这一段破裂带平行的灌县-江油断裂(龙门山前山断裂)北段在此次 8.0 级地震中没有发生地表破裂。因此,地震过程中北川以北段没有前山断裂参与活动。

(3)位移的分布特征。以上野外观察结果显示,此次 8.0 级地震地表破裂的垂直位移从西南段黄家坝的 3m 左右,逐渐降低到南坝、石坎的 1.0~1.5m 左右;右旋水平位移则没有明显变化或略有增加,一般在 1.5~2.0m 之间(图 10)。垂直位移量与水平位移量的比值从西南段的 1.8:1 降低到中段的 1:1,进而降低到东北段的 0.7:1。本段地表破裂带显示的水平运动主要为右旋走滑,不存在左旋走滑分量。

## 4 结论与问题讨论

综合野外调查获得的实际资料和归纳的地表破裂特征,关于汶川  $M_s8.0$  地震地表破裂和本次地震的发震断裂,可以得到以下一些初步认识:

(1)在北川以北,地震破裂最显著的形式仍然是沿断裂带的地表拱曲,是浅部地层遭挤压发生挠曲变形的一种体现,这表明断裂的深部活动在地表主要表现为挤压隆起或断裂生长褶皱。

(2)本段地表破裂显示的水平运动主要为右旋走滑,这与北川以南的破裂带局部存在左旋走滑不同。在北川以南,破裂带的水平位移与垂直位移相比只占了较小的比例,虽然以右旋走滑为主但一些段又出现左旋走滑分量,这可能表明水平运动在该段只是起到调节作用。而在北川以北,水平位移量与垂直位移量的比值从南向北逐渐增加,并在接近末端时超过 1:1,从而成为主要的运动形式。这表明断裂主体为逆冲作用,而在端部则转变为以走滑运动为主。总之,地表破裂显示的本段断裂以逆冲运动为主,同时具有较高的右旋走滑运动分量,为右旋走滑逆冲性质的断裂作用。这与美国地质调查局([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov))等公布的主震震源机制解显示的结

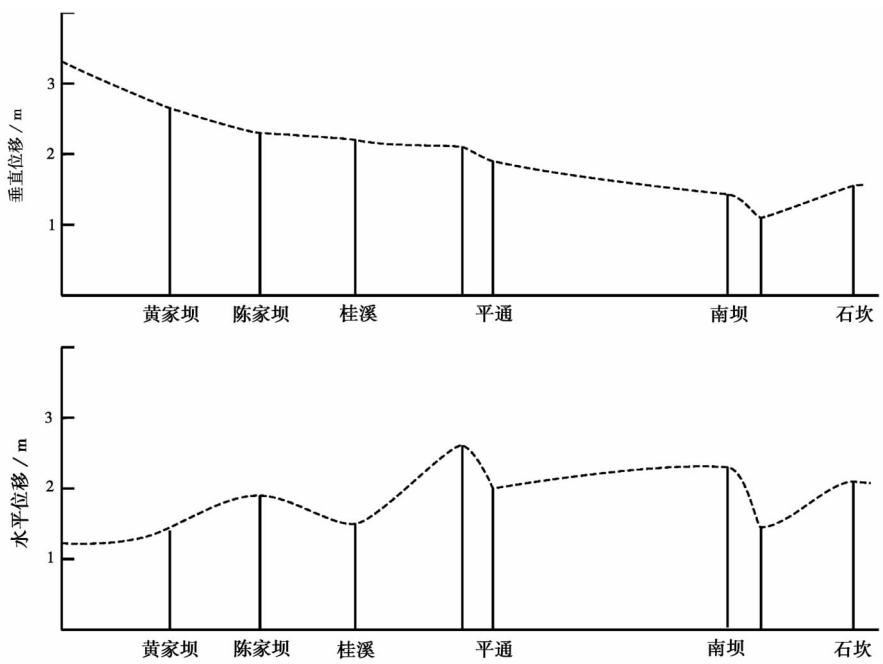


图 10 北川—石坎同震位移分布图

Fig. 10 Distribution of coseismic displacements from Beichuan to Shikan.

果一致。

(3)地震破裂的末端以沿断裂位置、平行断裂走向的地裂缝的形式结束。除此之外,在地震破裂末端的延伸部位,同时发生沿 NE 向呈带状分布的喷沙冒水和鼓包等现象。这可能表明深部断裂的活动在接近端部时已经没有足够的能量使其在地表显现,其活动性通过小的鼓包和地面裂缝等形式表现出来。

(4)上述地表破裂特征和此次野外调查获得的其它资料表明,导致此次汶川  $M_s8.0$  地震的发震构造是映秀—北川—青川断裂带,也可称为龙门山中央断裂带(邓起东等,1994)。该断裂以逆冲运动为主,兼具右旋走滑分量,逆冲方向由西向东。地震地表破裂表明,中央断裂带活动不仅在映秀、北川之间晚第四纪特别是全新世具有较强活动(Densmore, *et al.*, 2007),在北川以北也同样是一条全新世活动断裂。根据地震地表破裂确定的主压应力方向为 NW—SE 方向。在这一挤压应力作用下,龙门山中央推覆带向 NE 方向发生逆冲运动,同时伴随顺时针方向的走滑作用。从这一点上讲,本次地震属于走滑逆冲型地震,这与 1999 年台湾集集  $M_w7.6$  强震的类型相似(Bilham *et al.*, 2000)。

感谢全体地震科学考察队的同事,大家在野外工作期间互相帮助,同舟共济,并就地震中形成的各种地表现象展开了讨论。四川省地震局周到细致的后勤工作,更为此次科学考察的顺利进行提供了有力保障。特别感谢青川段科考小组于慎谔、李细光、戈天勇等同志提供了关于该段是否存在地震地表破裂的信息。

## 参 考 文 献

- 邓起东,陈社发,赵小麟. 1994. 龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学 [J]. 地震地质,16(4): 389—403.
- DENG Qi-dong, CHEN She-fa, ZHAO Xiao-lin. 1994. Tectonics, seismicity and dynamics of Longmenshan Mountains and its adjacent regions [J]. Seismology and Geology, 16(4): 389—403 (in Chinese).
- 邓志辉,杨主恩,陈桂华,等. 2008. 汶川 8.0 级强震北川、映秀地表破裂现象[J]. 地震地质,30(2): 355—358.
- DENG Zhi-hui, YANG Zhu-en, CHEN Gui-hua, *et al.* 2008. Surface fractures of the Wenchuan earthquake ( $M8.0$ ) in Beichuan and Yingxiu [J]. Seismology and Geology, 30(2): 355—358 (in Chinese).
- 何宏林,孙昭民,王世民,等. 2008. 汶川  $M_s8.0$  地震地表破裂带[J]. 地震地质,30(2): 359—362.
- HE Hong-lin, SUN Zhao-min, WANG Shi-min, *et al.* 2008. Surface rupture of the  $M_s8.0$  Wenchuan earthquake [J]. Seismology and Geology, 30(2): 359—362 (in Chinese).
- 徐锡伟,陈文彬,于贵华,等. 2002. 2001 年 11 月 14 日昆仑山库赛湖地震( $M_s8.1$ )地表破裂带的基本特征[J]. 地震地质,24(1): 1—13.
- XU Xi-wei, CHEN Wen-bin, YU Gui-hua, *et al.* 2002. Characteristic features of the surface ruptures of the Hoh Sai Hu (Kunlunshan) earthquake ( $M_s8.1$ ), Northern Tibetan Plateau, China [J]. Seismology and Geology, 24(1): 1—13 (in Chinese).
- Bilham R and Yu T T. 2000. The morphology of thrust faulting in the 21 September 1999, Chi-Chi, Taiwan earthquake [J]. J Asian Earth Sci, 18: 351—367.
- Densmore A L, Ellis M, Li Y, *et al.* 2007. Active tectonics of the Beichuan and Pengguan Faults at the eastern margin of the Tibetan Plateau [J]. Tectonics, 26, TC4005, doi: 10.1029/2006TC001987.

# CHARACTERISTICS OF THE SURFACE RUPTURE ZONE OF THE $M_s8.0$ WENCHUAN EARTHQUAKE, CHINA ALONG THE SEGMENT NORTH TO BEICHUAN

LI Chuan-you<sup>1)</sup> YE Jian-qing<sup>2)</sup> XIE Fu-ren<sup>3)</sup> ZHENG Wen-jun<sup>1)</sup>  
HAN Yong-bing<sup>2)</sup> LIU Yu-fa<sup>4)</sup> WANG Wei-tao<sup>1)</sup> WEI Zhan-yu<sup>1)</sup>  
ZHAO Dong<sup>2)</sup> MA Bao-qi<sup>3)</sup> REN Jun-jie<sup>3)</sup>

1) *National Center for Active Fault Studies, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*

2) *Earthquake Administration of Zhejiang Province, Hangzhou 310013, China*

3) *Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China*

4) *Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, China*

## Abstract

Field investigation on the surface ruptures of the  $M_s8.0$  Wenchuan earthquake along the segment between Beichuan and Qingchuan shows that there is one surface rupture zone developed on this segment, which extends generally along the Beichuan-Qingchuan Fault zone. Observation at Huangjiaba Chenjiaba, Guixi, Pingtong, Nanba, and Shikan suggests that the surface ruptures on this segment spread continuously along the trend of the fault, with single structure and a length of 60 ~ 90 km. The surface rupture has not reached Guanzhuang of Qingchuan county. The observable rupture zone is about 62 km, between Beichuan and Shikan, trending  $20^\circ \sim 55^\circ$  in general, dipping NW with an angle of  $70^\circ$ , showing mainly thrusting with dextral strike-slipping. The most distinct feature of the surface ruptures of this earthquake is the vertical surface bending, which indicates the thrusting of the deep fault. Its horizontal motion on this segment displays as dextral strike slipping, without sinistral slipping component. The value of the vertical coseismic displacements decreases gradually from 3 m at Huangjiaba to about 1.5 m at Nanba and Shikan; The amount of the dextral displacements does not change evidently, generally between 1.5 m and 2.0 m. Features of the surface rupture show that the causative tectonics of this  $M_s8.0$  Wenchuan earthquake is the Yingxiu-Beichuan-Qingchuan Fault, whose movement is characterized mainly by thrusting, with a dextral slipping component, and the thrusting direction is from west to east.

**Key words**  $M_s8.0$  Wenchuan earthquake, surface rupture, coseismic displacement, thrusting, dextral strike slip

〔作者简介〕 李传友,男,1971年生,2006年在中国地震局地质研究所获得博士学位,副研究员,现主要从事新构造与活动构造方面的研究,电话:010-62009033, E-mail:chuanyou@ies.ac.cn。