逆冲型断裂同震地表变形定量分析的几个问题
——以汶川 M_S 8.0 地震为例

陈桂华[1)] 李 峰[1,2)] 郑荣章[1)] 徐锡伟[1)] 于贵华[1)]
闻学泽[3)] 安艳芬[1)] 李陈侠[1)]

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)中国地震灾害防御中心, 北京 100029
3)四川省地震局, 成都 610041

摘 要 2008 年 5 月 12 日四川汶川发生 M_S 8.0 地震,发震断裂在地表形成以逆断为主的破裂变形带。同震地表变形带的定量分析对理解地震的构造行为具有重要意义。文中以汶川地震典型调查点为例探讨了逆断型同震地表破裂变形带测量分析中值得重视并容易误解的几个问题,分析了地貌面标志和线性标志等测量数据与构造变形参数的几何关系,给出了变形参数的求解方法和相互关系。同时,就多观测点的定量数据在区域断裂几何结构变化和运动学分析中的运用进行了讨论。

关键词 汶川 M_S8.0 地震 同震地表破裂 逆断层 变形测量 地貌标志

中图分类号: P315.2 **文献标识码**:A **文章编号**:0253 - 4967(2008)03 - 0674 - 09

0 引言

2008 年 5 月 12 日四川西部龙门山地区发生强烈地震,中国地震台网测定震级为 M_S 8.0,震中 103.4E,31.0N,震源深度 14km(中国地震信息网,2008)。地震地表变形和地面振动造成了建筑物的倒塌并引发大量的崩塌、滑坡、泥石流、河流堰塞等次生地质灾害。

地震发生后,地球物理学者们迅速对主震进行了矩张量反演,对地震破裂过程进行了模拟研究,反演了震源参数(陈运泰等,2008; 王卫民等,2008; Ji *et al.*,2008; Sladen, 2008; USGS, 2008)。这些结果对同震变形大小和空间分布进行了反演与分析,不同的模型结果有一定的差异。那么,地表地震地质的调查结果如何?

已获得的调查结果显示,本次地震在龙门山地区沿北川 - 映秀断裂和灌县 - 江油断裂形成 2 条同震地表破裂变形带,前者长度约 240km,后者长 72km(徐锡伟等,2008)。断裂地表变形带具有非常复杂的几何结构特点,变形量的空间变化大,详尽的测量数据和定量分析对于同震地表变形带的几何学、发震断裂区域构造运动学等具有重要的意义。

作为陆内巨大的逆冲型地震,逆冲性质的断裂构造变形具有与其它走滑型大地震同震构造

〔**收稿日期**〕 2008 - 07 - 17 收稿,2008 - 07 - 24 改回。

〔**基金项目**〕 中国地震局地质研究所基本科研业务专项(DFIGCEA060712)、国家重点基础研究发展计划项目(2004CB418401)和中国地震局汶川 8.0 级地震应急科学考察项目共同资助。

变形完全不同的特点(Xu *et al.*, 2006)。1999 年台湾集集 M_W7.6 地震在车笼埔断层上形成逆断型地表破裂变形带,众多学者以此为契机开展了一系列的研究,促进了对逆断层发震过程、破裂行为、构造地貌等的认识(Ma *et al.*, 1999; Kelson *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2001,2002; Lee *et al.*, 2001,2002,2004; Angelier *et al.*, 2003a,b; Lee *et al.*,2007; Chang *et al.*, 2007)。这些研究成果一方面展示了定量研究的一些方法及其应用意义,另一方面揭露出定量化研究中还存在一些认识上的问题需要进一步探讨。本文结合汶川地震的断裂地表变形带,对逆断型地表变形定量分析中应该重视的几个问题进行了讨论,以使研究者能更准确地定量描述地震地表变形。

1　汶川地震发震断裂的地表同震变形样式

逆断层活动在浅表松散堆积物上的变形与地壳浅部刚性变形及深部韧性变形具有不同的样式,既可能出现地壳浅部刚性变形下的断坪和断坡组合,在地表地貌上表现为冲断坎; 也可能出现与深部韧性变形相似的断弯褶皱,在地表地貌上成为挠曲坎; 少数地方可以发现断层面直接出露地表。

在汉旺镇泉新村的一处逆断层挠曲坎上(图 1a),可以看到地表面的挠曲变形,没有出现地面覆盖和缺失。在坎侧的剖面中,堆积在河床砾石层之上的河漫滩耕作土层在挠曲坎上下保持连续,整个土层弯曲而没有明显的断错。

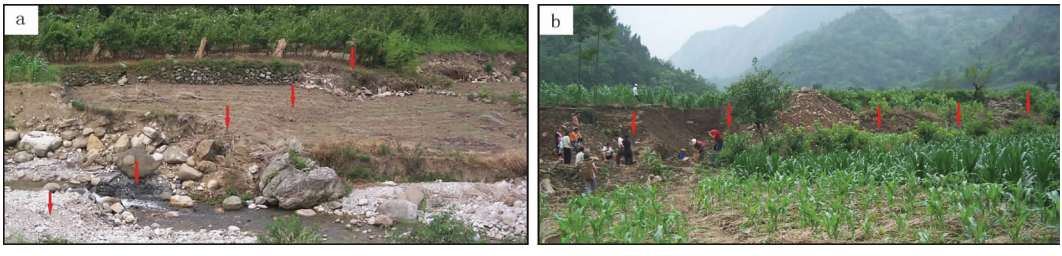


图 1　汶川地震形成的地表挠曲坎和冲断坎

Fig. 1　Fault scarp of flexure style and offset style.

a 汉旺镇泉新村庄稼地挠曲坎(镜向:NE); b 擂鼓镇石岩村庄稼地冲断坎(镜向:SW)

在擂鼓镇石岩村,断层在老断坎的基础上逆冲,在开挖的探槽中可以看到断层上盘上冲到下盘的原表面上,并沿原地表面位移形成断坪样式的结构。在地表则表现为上盘堆积物覆盖到下盘之上,下盘表面明显存在缺失。

挠曲型断坎与冲断型断坎具有比较明显的地表特征差异,一般比较容易识别。冲断坎一般比较陡,从地表面特征可以明显发现下盘表面存在不连续和缺失; 而挠曲坎比较宽缓、圆滑,可以确定地表面是连续的、不存在缺失。2 种不同的逆冲断裂同震地表变形样式可能受到同震断层运动速度、浅表堆积物组成、甚至地面振动强度等因素的影响和控制,断层的这种瞬间变形机制和样式还值得进一步探讨。两种不同的逆断层变形样式特点也决定了变形定量分析具有不同的特点。

2　面状标志的同震变形测量分析

对于断层变形的定量研究,通常需要选取一些变形测量参考标志。对于活断层和同震地表

变形的研究,地表地貌的参考标志是最常见和实用的。断裂变形需要用一个特征性的点标志在断裂变形前后的变位矢量来确切表达,如断层错断的特定砾石,但是事实上很难找到这种标志。更实用的方法是根据地貌特征恢复变形前的地貌位置来获取地貌变化反映的断裂变形,如断裂的水平断错、垂直抬升和水平缩短等,有的标志只能获取这些变形参数中的一部分,测量分析的关键在于选取一个特征标志点并恢复其变位前的位置。常用的标志有地貌面和地貌面上的线状地物。

2.1 不同倾斜度的地貌面标志对变形分析的影响

通常,我们可以垂直断坎走向进行跨断层陡坎的地形剖面测量,从地貌面的这一特征线的变位求解断层变形。水平地貌面和倾斜地貌面与断坎和变形具有不同的几何关系,水平地貌面相对简单,而倾斜地貌面还必须考虑变形的地形效应。另外,挠曲型变形和冲断型变形在地貌面上的表现不一样,变形分析时也必须做相应的考虑。

2.1.1 水平地貌面标志

以水平地貌面为标志,垂直断坎的地形剖面如图 2所示,在剖面上,变形前的 $A—B—C—D$ 变形后由 3 段组成,CD 段没有变形也没有变位,BC 段变形成为 $B'C$,AB 段变位成为 $A'B'$。那么,点 A 或点 B 的变位就代表了断层的变形。

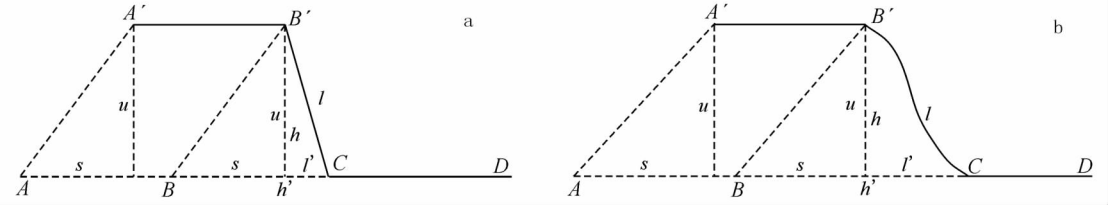


图 2 以水平地貌面为标志的变形参数几何关系图

Fig. 2 Sketch of the geometry of deformation parameters in the case of horizontal geomorphologic surface.

a 膝折型连续断坎; b 挠曲型连续断坎

l 标志线变形部分的长度; l' 标志线变形部分竖直投影到标志线上的长度; h 标志线变形前后的高差; h' B'与 C 点的高差; s 真实水平缩短量; u 真实垂直位移量

对于挠曲型同震断层地表变形,地表具有连续的特点,BC 段和 $B'C$ 段变形前后长度都为 l,l 竖直投影到水平线上的长度为 l',变形前后标志线的竖直距离为 h。那么,断层水平缩短量:$s = l - l'$; 垂直位移:$u = h$; 断层倾角可以用 $\mathrm{arctg}(u/s)$ 表示。

对于冲断坎,原地表产生不连续变化和长度缺失,变形后测得的 l 值比变形前的长度小,在不进行探槽开挖的情况下难以获得缺失的长度。但是可以获得断层的垂直位移:$u = h$; 水平缩短量$s > l - l'$,断层倾角则小于 $\mathrm{arctg}(u/(l - l'))$。

2.1.2 倾斜地貌面标志

倾斜地貌面垂直断坎的地形剖面如图 3所示,在剖面上,变形前坡角为 α 的标志线 $A—B—C—D$,变形后由 3 段组成,CD 段没有变形也没有变位,BC 段变形成为 $B'C$,AB 段变位成为 $A'B'$。同样,点 A 或点 B 的变位就代表了断层的变形。

对于挠曲型同震断层地表变形,BC 段和 $B'C$ 段变形前后的长度为 l,l 竖直投影到标志线方向的长度为 l',变形前后标志线的竖直高差为 h。那么,断层变形参数如下:

水平缩短量:$s = (l - l') \times \cos\alpha$;

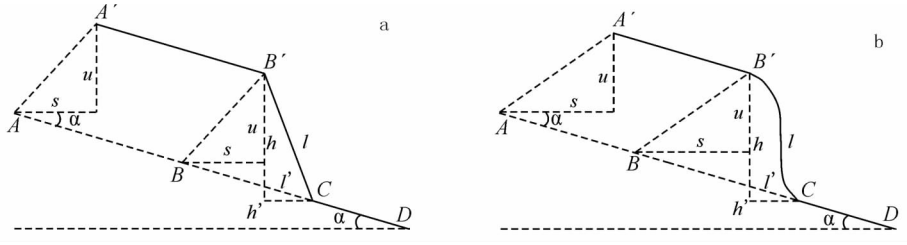


图 3　倾斜地貌面标志下的变形参数几何关系图

Fig. 3　Sketch of the geometry of deformation parameters in the case of oblique geomorphologic surface.

a 膝折型连续断坎；b 挠曲型连续断坎；字符含义与图 2 相同

垂直位移：$u = h - (l - l') \times \sin\alpha$

断层倾角：$\mathrm{arctg}(u/s)$

同样，对于冲断坎或者人为改造过的断坎，由于测量长度比变形前的小，如果以缺失后的值来计算，真实水平缩短量比计算值偏大，真实垂直位移比计算值偏小，真实断层倾角比计算值偏小。但是，当坡角 α 很小时，真实垂直位移与标志线竖直高差相差也很小，$u \approx h$。

我们这里以汉旺镇泉新村挠曲坎为例（图 1a，4），由剖面测量数据可以得到，$l = 4.80\mathrm{m}$，$l' = 4.62\mathrm{m}$，$h = 0.94\mathrm{m}$；拟合的未变形地面坡角：$\mathrm{tg}\alpha = 0.031$。由上述几何关系得到，水平缩短：$s = 0.18\mathrm{m}$；垂直位移：$u = 0.93\mathrm{m}$；断层倾角：79°。

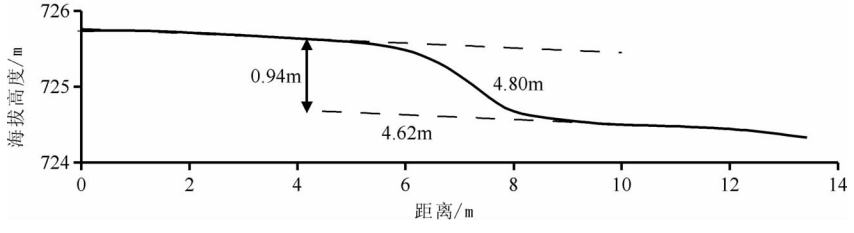


图 4　汉旺镇泉新村挠曲坎地形剖面

Fig. 4　Surface profile of the fault scarp in Quanxin village of Hanwang.

有的研究者在测量时以变形段上下拐点的高差来表示断层的垂直位移，即 B' 和 C 的高差 h'。根据几何关系可以知道，当地貌面水平时，$h = h' = u$，h 和 h' 都能代表真实垂直位移（图 2）；但是，当测量标志的地貌面倾斜时，$u = h - (l - l') \times \sin\alpha = h' - l \times \sin\alpha$，$h'$ 不但比真实的垂直位移 u 更大，而且也比剖面标志线高差值 h 大（图 3）。

2.2　由与断层走向斜交剖面获得的视位移到真位移的转换

实际上，很多情况下，地貌面的坡向与断坎走向不垂直，我们通常沿地貌面坡向进行地形剖面测量。因此，获得的变形结果是断层的视位移，需要转换得到其真实的位移。

如图 5所示，β 为真倾角，β' 为视倾角，γ 为断层走向与剖面线的夹角，s 为真实缩短量，s' 为视缩短量。

其中存在下述几何关系：

$\mathrm{tg}\beta = \mathrm{tg}\beta'/\sin\gamma$

$s = s' \times \sin\gamma$

从这 2 个关系式可以看到,垂直位移没有夸大或缩小,而真水平缩短量比视水平缩短量小,真倾角比视倾角大。

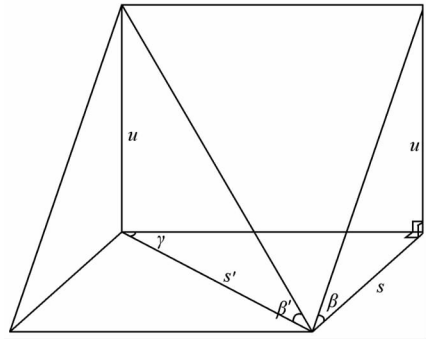


图 5 断层视位移与真位移的几何关系

Fig. 5 Geometry of the real deformation with the apparent one.

3 线状标志的同震变形测量分析

对于断层运动,可能是纯的倾向滑动或者走向滑动,也可能是沿断面的斜向滑动。对于倾滑断层,以特定的参照标志分析可能出现走向位移的假象。然而从构造几何学上不难定量获取这些视位移与真位移的关系,进而得到断层的性质和运动学参数。

如图 6所示,在纯逆冲作用下断层两盘相对运动产生大小为 u 的垂直位移和大小为 s 的水平缩短,与断层走向夹角 γ_1 和 γ_2 的 2 个线性标志 L_1 和 L_2 位移后在平面上的投影为 L_1' 和 L_2',以 L_1 为标志得到的右旋水平断错为 $h_1 = s/\mathrm{tg}\gamma_1$,而以 L_2 为标志得到左旋水平断错 $h_2 = s/\mathrm{tg}\gamma_2$,只有与断层倾向一致的线性标志没有水平断错现象产生。

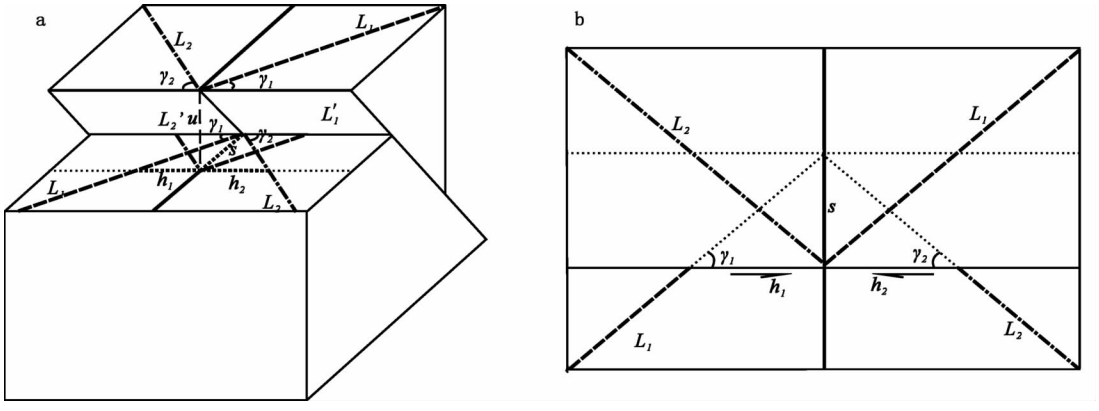


图 6 线性标志在断层纯逆倾滑时产生的走向位移假象

Fig. 6 Deformation of the linear mark after pure dip-slip.

a 立体图; b 俯视图

利用这种定量关系,一方面可以从断层变形测量数据分析断层的运动性质,另一方面可以从多个线性标志的视水平位移求解断层的真实水平运动。

如果沿断层获取的 2 个线性标志存在: $h_1 \times \mathrm{tg}\gamma_1 = h_2 \times \mathrm{tg}\gamma_2$,则说明断层为纯倾滑运动。

如果存在: $(h_1 - C) \times \mathrm{tg}\gamma_1 = (h_2 - C) \times \mathrm{tg}\gamma_2$, C 为一个固定值,则说明断层除了大小为 $(h_1 - C) \times \mathrm{tg}\gamma_1$ 的水平缩短外,还存在大小为 C 的走向滑动,二者按矢量合成可以得到断层的水平运动量。

我们在小鱼洞观察点见到走向 SN 的公路被走向 315°的同震变形带左旋断错 2.3m,而在其西侧 100m 处,与同震断坎垂直的田埂被左旋断错 1.5m(图 7)。由此,可以认为前者有 0.8m 的视左旋水平位移是由断层逆冲倾滑形成的,倾滑的水平缩短量为

0.8m × tg(360° − 315°) = 0.8m。

另外，剖面测量得到公路观测点的垂直位移为 1.47m，由此得到断层倾角 arctg(1.47/0.8) = 61°。因此，断层在此处沿倾角 61°的断面倾向滑动 1.67m，并沿走向滑动 1.5m。根据倾向水平缩短量和走向位移的比例，得到断层的上盘水平运动方向为 107°，水平位移量 1.7m。

4　断裂迹线的“V”字型法则与断裂几何结构变化

由于地形变化，倾斜断层的地表出露迹线以“V”字型法则在走向上发生弯曲。如果断层保持稳定的产状，那么断层在相同高程上的出露点应该在同一直线上，这一连线与断层的走向是一致的。而如果断层在走向上发生几何结构变化，断层迹线同样会出现弯曲，但是相同高程的出露点不能保持在同一直线上。

在定量数据上，对于“V”字型法则产生的不同断层弯曲段，断层观测点所获得的断层运动和变形数据是一致的。而对于断裂几何结构变化形成的不同断层段，断层的性质和运动学参数则相应发生变化，可以产生与局部应力场相适应的构造变形，如挤压阶区和拉张阶区。

震源反演的结果显示，地震破裂面不同部位的滑动量是不同的，在空间上呈现不均匀的分布（陈运泰等，2008；王卫民等，2008；Ji *et al.*, 2008；Sladen, 2008）。同震构造变形可能与长期的构造变形分布具有不同的特点，前者可能在空间上变化更复杂，而后者可能在经过瞬间变形和长期调整后更能反映区域构造应力场状态，从而在空间上均一化和规则化。图 8 显示，小鱼洞西侧河滩内同震地表变形带的走向由 NW 转为近 SN，但是不同走向的破裂带在样式和变形大小上没有明显的差异。

5　结论

2008 年 5 月 12 日四川汶川 M_S 8.0 地震是由龙门山断裂带活动产生的，断裂带的中央断裂（北川 − 映秀断裂）和前山断裂（灌县 − 江油断裂）在地震中产生了显著的构造变形，沿断裂在地表形成以逆断为主的破裂变形带。地表破裂变形带记录的构造变形可以通过定量测量数据进行描述。

通过地貌面和地貌面上线性标志的测量，可以获得断裂垂直位移、水平缩短、断层倾角和走向位移等构造几何学和运动学参数。但是，测量数据与构造变形参数之间存在着复杂的几何关系，一方面将多个参数相互联系在一起，可以更详细地描述构造变形；另一方面这对定量分析提出了苛刻的要求，不严谨地理解测量数据可能会使构造变形描述出现偏差甚至错误。通过几何关系分析可以看到，从地貌面的剖面测量可以定量获得同震变形带反映的断层垂直位移、倾向水平位移和下部断层倾角。可以通过 2 个观测点数据分析线性标志在逆断层作用下的走向视位移与断层倾向水平缩短以及走向位移的定量关系，避免对断层走向位移的夸大或缩小。

多个观测点的数据在区域尺度上可以进行综合分析，对于断裂几何结构变化和运动学转换的理解有一定的意义，但是断裂的同震快速变形与长期地质变形可能存在一定的差异，在对同震变形带几何学和运动学的理解上可能需要采取不同的方法。

向汶川地震的逝者表示哀悼！向在抗震救灾中奋战的人们，尤其是冒着生命危险进行道路抢修的人们致敬！感谢四川省地震局提供后勤保障！感谢一起参加地震科考的成员们不畏艰险、团结奋斗！感谢北京麦格天宝公司无私提供测量设备和技术支持！

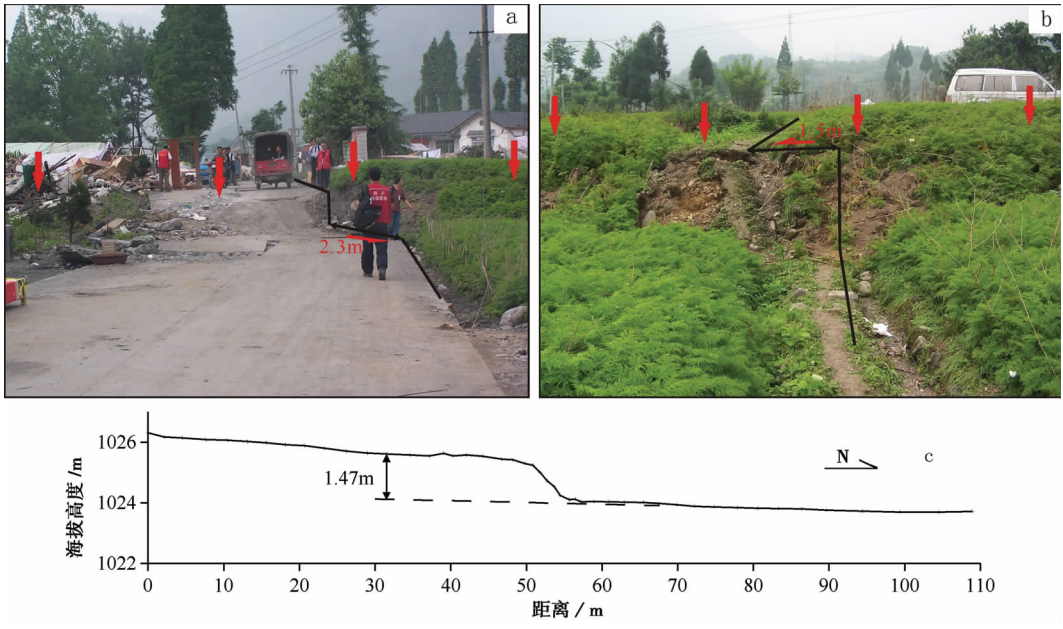


图 7 小鱼洞观测点断层位移

Fig. 7 Displacements of the sites in Xiaoyudong.

a 小鱼洞公路观测点公路的视水平位移(镜向:S); b 小鱼洞公路观测点西 100m 处田埂的水平位移(镜向:SW);
c 小鱼洞公路观测点沿公路的地形剖面



图 8 小鱼洞西河滩同震地表变形带走向变化(镜向:SW)

Fig. 8 The strike of co-seismic rupture on the riverbed near Xiaoyudong(view to SW).

参 考 文 献

陈运泰,许力生,张勇,等. 2008. 2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源特性分析报告[R]. http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf.

CHEN Yun-tai, XU Li-sheng, ZHANG Yong, *et al*. 2008. Report on the Wenchuan large earthquake source of May 12, 2008 [R]. http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf(in Chinese).

王卫民，姚振兴. 2008. 再谈汶川 8.0 级地震震源破裂过程[R]. http://www.csi.ac.cn/sichuan/sichuan080512_110.htm.

WANG Wei-min, YAO Zhen-xing. 2008. Reissaes for the rupture process of the M_S8.0 Wenchuan earthquake [R]. http://www.csi.ac.cn/sichuan/sichuan080512_110.htm.

徐锡伟，闻学泽，叶建青，等. 2008. 汶川 M_S8.0 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质，30(3)：597—629.

XU Xi-wei, WEN Xue-ze, YE Jian-qing, *et al*. 2008. The M_S8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure [J]. Seismology and Geology, 30(3)：597—629(in Chinese).

中国地震信息网. 2008. 四川汶川县 M_S8.0 地震地震参数[R]. http://www.csi.ac.cn/sichuan/sichuan080512_cs1.htm.

China Seismic Information Net. 2008. Seismological parameters for the M_S8.0 Wenchuan earthquake, Sichuan [R]. http://www.csi.ac.cn/sichuan/sichuan080512_cs1.htm(in Chinese).

Angelier J, Lee J C, Hu J C, *et al*. 2003a. Three-dimensional deformation along the rupture trace of the September 21st, 1999, Taiwan earthquake: a case study in the Kuangfu school [J]. Journal of Structural Geology, 25(3): 351—370.

Angelier J, Lee J C, Chu H T, *et al*. 2003b. Reconstruction of fault slip of the September 21st, 1999, Taiwan earthquake in the asphalted surface of a car park, and co-seismic slip partitioning [J]. Journal of Structural Geology, 25(3): 345—350.

Chang Y F, Chen C C, Liang C Y. 2007. The fractal geometry of the surface ruptures of the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan [J]. Geophysical Journal International, 170(1): 170—174.

Chen Y G, Chen W S, Lee J C, *et al*. 2001. Surface rupture of 1999 Chi-Chi earthquake yields insights on active tectonics of central Taiwan [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 91(5): 977—985.

Chen Y G, Chen W S, Wang Y, *et al*. 2002. Geomorphic evidence for prior earthquakes: Lessons from the 1999 Chichi earthquake in central Taiwan [J]. Geology, 30(2): 171—174.

Ji C, Hayes G. 2008. Preliminary result of the May 12, 2008 M_W 7.9 Eastern Sichuan, China Earthquake [R]. http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2008/us2008ryan/finite_fault.php.

Kelson K Ⅰ, Kang K H, Page W D, *et al*. 2001. Representative styles of deformation along the Chelungpu Fault from the 1999 Chi-Chi(Taiwan) earthquake: Geomorphic characteristics and responses of man-made structures [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 91(5): 930—952.

Lee J C, Rubin C, Mueller K, *et al*. 2004. Quantitative analysis of movement along an earthquake thrust scarp: a case study of a vertical exposure of the 1999 surface rupture of the Chelungpu Fault at Wufeng, western Taiwan [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 23(2): 263—273.

Lee J C, Chu H T, Angelier J, *et al*. 2002. Geometry and structure of northern surface ruptures of the 1999 M_W = 7.6 Chi-Chi Taiwan earthquake: influence from inherited fold belt structures [J]. Journal of Structural Geology, 24: 173—192.

Lee J C, Chen Y G, Sieh K, *et al*. 2001. A vertical exposure of the 1999 surface rupture of the Chelungpu Fault at Wufeng, western Taiwan: Structural and paleoseismic implications for an active trust fault [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 91(5): 914—929.

Lee J C, Chan Y C. 2007. Structure of the 1999 Chi-Chi earthquake rupture and interaction of thrust faults in the active fold belt of western Taiwan [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 31(3): 226—239.

Ma K F, Lee C T, Tsai Y B, *et al*. 1999. The Chi-Chi, Taiwan earthquake: large surface displacements on an inland thrust fault [J]. EOS, 80(50): 605—611.

Sladen A. 2008. Preliminary Result 05/12/2008(M_W 7.9), East Sichuan [R]. http://www.tectonics.caltech.edu/slip_history/2008_e_sichuan/e_sichuan.html.

USGS. 2008. Magnitude 7.9 – Eastern Sichuan, China [R]. http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2008/eq_080512_ryan/.

Xu X W, Yu G H, Klinger Y, *et al*. 2006. Reevaluation of surface rupture parameters and faulting segmentation of the 2001 Kunlunshan earthquake(M_W7.8), northern Tibetan Plateau, China [J]. Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 111(B5), doi 10.1029/2004jb003488.

SEVERAL ISSUES IN THE QUANTITATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC SURFACE RUPTURE PRODUCED BY REVERSE FAULTS: A CASE STUDY FROM THE 2008 WENCHUAN EARTHQUAKE

CHEN Gui-hua[1)] LI Feng[1,2)] ZHENG Rong-zhang[1)] XU Xi-wei[1)]
YU Gui-hua[1)] WEN Xue-ze[3)] AN Yan-fen[1)] LI Chen-xia[1)]

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

2) *China Earthquake Disaster Provention Center, Beijing* 100029, *China*

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

Abstract

The Wenchuan earthquake(M_S = 8.0) of May 12, 2008 in Sichuan Province, China produced surface ruptures along the seismogenic reverse faults. It is very important to analyze the co-seismic surface ruptures quantitatively for the comprehension of tectonic behavior of the great earthquake. We discuss several issues about the quantitative analysis of co-seismic surface ruptures produced by reverse faults with some examples from Wenchuan earthquake. With the geometric relations between the parameters of deformation and survey data from planar and linear geomorphologic benchmark, solution methods for those parameters are provided. The vertical slip, horizontal dip-slip and dip angles on survey profiles were measured to calculate the actual deformation of the fault. The relationship between the apparent deformation and the real value was provided quantitatively for oblique profiles and linear benchmarks. We also made some discussions on the application of the survey data to the analysis of regional structural geometry and kinematics.

Key words M_S8.0 Wenchuan earthquake, co-seismic surface rupture, reverse fault, deformation survey, geomorphologic benchmark

〔作者简介〕 陈桂华,男,1977 年出生,1999 年毕业于中国地质大学(武汉)地球科学学院地球科学基地班,2006 年在中国地震局地质研究所获得博士学位,助理研究员,现主要从事活动构造、构造地貌以及 3S 技术在活动构造中的应用研究,电话:010 – 62009170,E – mail:gh_chen@163.com。