

龙门山断裂带北段第四纪活动的 地质地貌证据

杨晓平¹⁾ 冯希杰²⁾ 戈天勇³⁾
宋方敏¹⁾ 师亚芹²⁾ 刘玉法³⁾

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) 陕西省地震局, 西安 710068

3) 四川省地震局, 成都 610041

摘要 以龙门山断裂带北段中的青川断裂、茶坝-林庵寺断裂沿线的地质地貌为研究对象, 在青川断裂沿线的土关铺、大安, 茶坝-林庵寺断裂上的薛家沟、胡家坝等地, 对断裂附近的河流地貌进行了详细的构造地貌制图。龙门山断裂带北段所在地区的河流一般发育5级阶地, T_1 阶地拔河高度3~5m, 为全新世堆积阶地。 T_2 阶地拔河高度10m左右, 为晚更新世基座阶地。 T_3 阶地拔河高度一般为30~35m, 为晚更新世早期形成的基座阶地。 T_4 阶地拔河高度60~70m, 残留的阶地砾石层中花岗岩、砂岩砾石已经被强风化, 只保留砾石的形态。 T_5 阶地拔河高度为90m左右, 阶地堆积物被剥蚀殆尽。青川断裂、茶坝-林庵寺断裂在河流的 T_4 和 T_5 阶地上形成宽30~180m的断层槽地, 深度达8~20m, T_4 阶地砾石层底面落差达10~15m。 T_3 阶地上不发育断层槽地, 或断层两盘的 T_3 阶地拔河高度一致, 一些地段断层被 T_3 阶地砾石层覆盖。因此认为, 这两条断裂在 T_3 阶地形成之前, T_4 阶地形成之后有过强烈的活动。

关键词 龙门山断裂带 河流阶地 断层槽地 断层活动 第四纪

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4967(2008)03-0644-14

0 引言

青藏高原东缘是国际地学界争论的焦点地区, 也是研究青藏高原隆升与变形过程的理想地区, 其原因在于该地区现今仍处于活动状态, 构造变形强烈, 地貌反差大。对该地区新生代构造作用与地貌响应的研究是认识龙门山地区地质、地貌演化的关键, 同时也是研究印度板块与欧亚板块碰撞作用及四川盆地西部地震灾害的关键。河流阶地蕴含着丰富的第四纪构造运动和气候变化的信息, 其形成受多种因素的影响, 其中最重要的因素是构造运动和气候变化, 单一因素或二者共同作用导致河流的侵蚀、堆积和搬运作用发生变化而形成阶地。通过河流阶地及其变形研究构造活动期次和幅度是一个长期研究的课题(杨景春等, 1987、1998; Molnar *et al.*, 1994; 张培震等, 1995; 杨晓平等, 1995, 1998, 2006; 李吉均等, 1996; 程绍平等, 1998; 谭利华

〔收稿日期〕 2008-07-17 收稿, 2008-08-03 改回。

〔基金项目〕 国家自然科学基金(40572126)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。

等,1998; 马保起等,1999; 郑文涛等,2000; Lave *et al.*, 2000; 邢成起等,2001; Chen *et al.*, 2002); 运用河流阶地研究构造-气候旋回是近年来的热点(陈云等,1999; 潘宝田等,2000)。无论那种因素对河流阶地的形成起主导作用,阶地面上记录到的构造变形遗迹是活动构造研究的主要对象之一。

2008年5月12日汶川8.0级地震发生后,截止6月30日,沿NE方向的龙门山断裂带发生了 ≥ 4.0 级余震223次。余震总体从映秀、北川、汶川向青川方向迁移,即余震从龙门山断裂带的中段向东北段迁移(据中国地震信息网,2008-07-03),引起了陕西汉中地区、甘肃陇南地区极大的社会恐慌。2008年5月24日青川6.4级余震就发生在龙门山断裂带的东北段,该地区是否还会发生强烈地震成为社会关注的问题。本文通过活动断裂构造地貌考察、地貌年龄分析,研究了龙门山断裂带北段中的青川断裂、茶坝-林庵寺断裂第四纪时期的活动性。

1 龙门山断裂带基本特征

现今龙门山的位置大致与中生代板块碰撞带位置一致,那时羌塘地块与华北-昆仑-柴达木地块、华南地块碰撞而导致古特提斯洋闭合。构造变形开始于晚三叠纪的印支造山运动(Li *et al.*, 2003),一直延续到晚白垩纪。在板块碰撞期间,包含松潘-甘孜残留洋盆的三叠纪海相沉积在内的巴颜喀拉地块向SE逆冲到华南地块上,形成晚三叠纪以来的前陆盆地和复杂的褶皱冲断带(Chen *et al.*, 1994; Burchfiel *et al.*, 1995; Li *et al.*, 2003),具有约42%~43%的地壳缩短率(Li *et al.*, 2003)。

龙门山断裂带南起泸定、天全,向东北经都江堰、汶川、茂县、北川、青川、朝天驿、宁强,与勉略断裂带在勉县一带斜交,终止于勉县一带。总体呈NE-SW向展布,长约600km,宽30~50km(图1)。该断裂带是一个巨大的推覆构造带,由多条挤压逆冲断裂和多个推覆体组成,自NW向SE依次称为后山断裂、中央断裂、前山断裂和山前隐伏断裂。后山断裂占据了龙门山的主脊线,包括青川断裂、茂县-汶川断裂、耿达-陇东断裂。中央断裂包括盐井-五龙断裂、北川-映秀断裂、茶坝-林庵寺断裂。前山断裂包括大川-双石断裂、灌县-安县断裂和江油断裂。山前隐伏断裂由大邑断裂等组成。4条主干逆冲断裂及其控制的逆冲推覆体组成具有前展式特点的推覆构造带。本文讨论的龙门山断裂带东北段,是指东经105°以东的龙门山后山断裂——青川断裂;龙门山中央断裂——茶坝-林庵寺断裂。龙门山前山断裂的东北段——江油断裂的活动性研究见本专辑中陈立春等的相关研究(陈立春等,2008)。

2 断裂活动时代的分析方法

龙门山断裂带东北段分布在龙门山地区的中高山区,基岩裸露,只有在嘉陵江、汉江和白龙江等及其支流的特殊部位发育少量第四纪堆积。断裂穿越这些有限的第四纪地层分布地区时,为龙门山断裂东北段活动性研究提供了优良的研究场所。本文对断裂地貌显示良好的地段采用的研究方法如下:

(1)阶地划分和形成时代的确定。野外对断裂通过部位的河流地质地貌进行制图,确定各级阶地的分布范围、拔河高度,阶地堆积物成分、沉积物结构、断代样品的采集,阶地砾石层中不同岩类砾石风化程度的对比和研究。结合区域第四纪地层研究成果,确定阶地堆积物和阶地形成的时代。

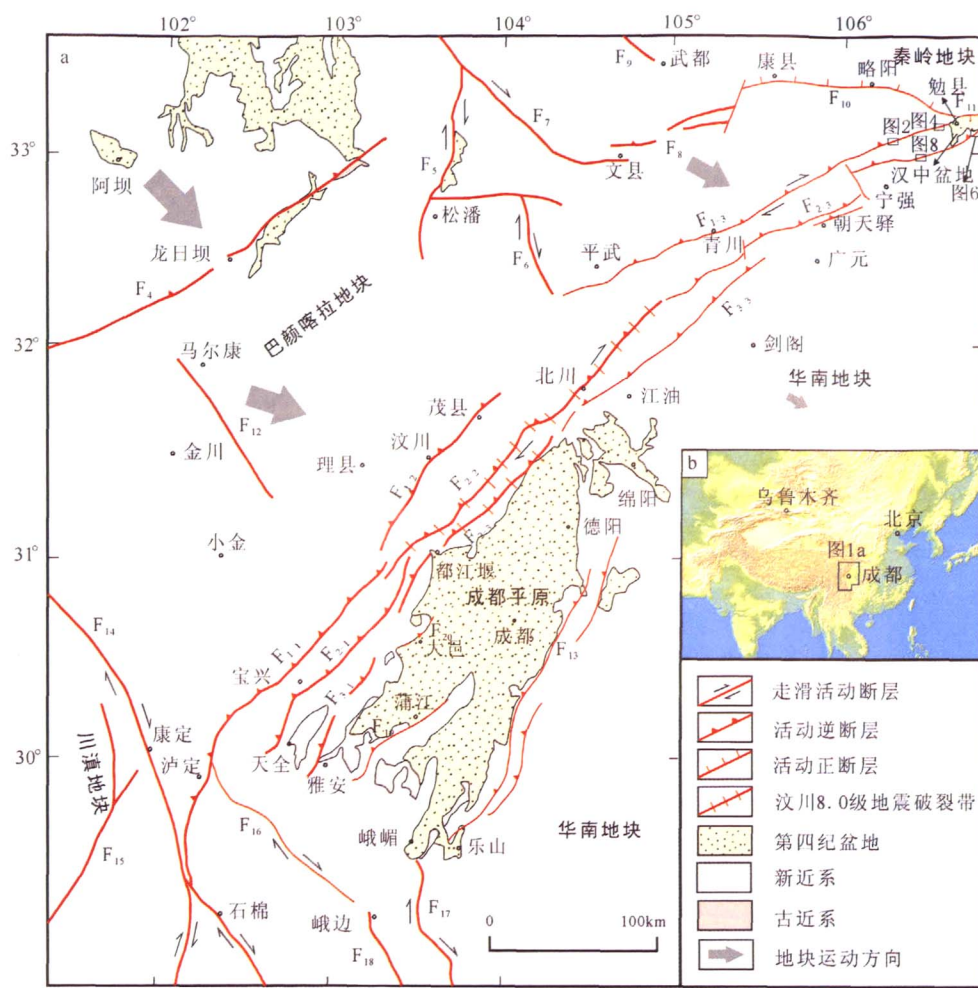


图1 龙门山推覆构造带及其邻区地质构造简图

Fig. 1 Geological sketch of the Longmenshan thrust tectonics and its adjacent area.

F_1 龙门山后山断裂, F_{1-1} 耿达-陇东断裂, F_{1-2} 茂县-汶川断裂, F_{1-3} 青川断裂; F_2 龙门山中央断裂, F_{2-1} 盐井-五龙断裂, F_{2-2} 北川-映秀断裂, F_{2-3} 茶坝-林庵寺断裂; F_3 龙门山前山断裂, F_{3-1} 大川-双石断裂, F_{3-2} 灌县-安县断裂, F_{3-3} 江油断裂; F_4 龙日坝断裂; F_5 岷江断裂; F_6 虎牙断裂; F_7 东昆仑断裂; F_8 文县断裂; F_9 白龙江断裂; F_{10} 勉县-略阳断裂; F_{11} 汉中盆地北缘断裂; F_{12} 抚边河断裂; F_{13} 龙泉山断裂; F_{14} 鲜水河断裂; F_{15} 玉农希断裂; F_{16} 泸定-峨边断裂; F_{17} 利店断裂; F_{18} 峨边断裂; F_{19} 蒲江-新津断裂; F_{20} 大邑断裂

(2)断裂与阶地的关系调查。第四纪不同时期的地貌、地层记录了第四纪不同时期的断裂活动遗迹,拔河高度越高的阶地形成时代越老,能够记录长期的断裂活动信息,拔河高度越低的阶地形成时代越新,能够记录较短的断裂活动信息。通过野外调查不同阶地上的断裂活动地貌遗迹,区分断裂不同时期的活动。

3 几个典型地段河流阶地与断裂的关系

龙门山断裂东北段中的青川断裂、茶坝-林庵寺断裂发育在龙门山的中高山区,基岩区断

裂出露的位置通常表现为线状的断层凹槽、断层哑口等。本区的河流地貌一般为峡谷地貌,阶地分布不连续,纵向上不易对比。在很少的几个河流段阶地发育连续完整,而且记录了断裂第四纪时期活动的信息。

3.1 青川断裂分布及其活动性

青川断裂在地貌上表现为 NEE 向的沟谷、垭口和断层槽地等,显示了断裂带的巨大规模和长期活动的历史。北起陕西勉县,向西南终止于四川平武附近。第四纪早中期的活动迹线不是一条简单的曲线,而是由几条相互斜列的断层段组成,彼此之间相隔几百米不等。

3.1.1 大安附近的断层地貌

大安位于青川断裂带的东北段。青川断裂沿汉江河谷发育,断裂带宽 500 ~ 800m,最新断裂活动的遗迹分布在汉江北岸,地貌上形成一系列断层槽地(图 2)。大安至列金坝段汉江阶地发育完整连续,阶地堆积物出露良好,可以较容易地进行对比分析。

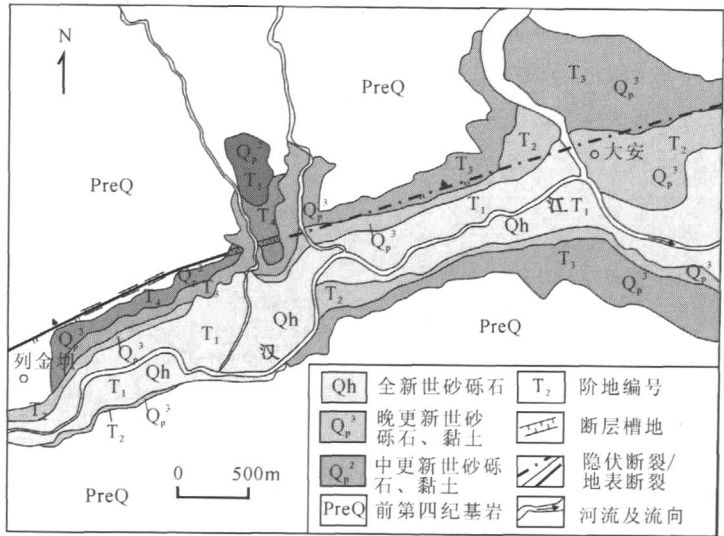


图 2 大安附近断层地质地貌图(阶地堆积物的时代暂且使用区域地质测量资料,下同)

Fig. 2 Geological and geomorphic map near the Da'an village.

(1)阶地分布。大安附近的汉江发育 5 级阶地,其中 T₁ 阶地沿汉江两岸连续分布,拔河高度 3m 左右,为堆积阶地,主要堆积物为灰褐色砂砾石黏土层。T₂ 阶地沿汉江条带状分布,拔河高度明显高于 T₁ 阶地,为 10m 左右,民居等主要建筑物就分布在该阶地表面上,主要堆积物为灰红色砂土和砂砾石层,为晚更新世堆积阶地。T₃ 阶地在汉江的南北两岸均有分布,下部基座为前古生代千枚岩,上部堆积为黄棕色、灰褐色砂土和砾石层,砾石没有明显的风化,可见厚度 10m 左右,为晚更新世堆积,阶地面拔河高度为 30 ~ 35m。T₄ 阶地分布在列金坝东北,拔河高度为 60 ~ 70m,基座为前古生代千枚岩,上部为紫红色砂质黏土和砾石层,其中花岗岩、砂岩砾石被强风化,只保留砾石的形态,石英岩砾石保存完好。T₅ 阶地分布局限,拔河高度约 90m,阶地砾石层中花岗岩、砂岩被风化,其它硅质岩类砾石保存完好。阶地表面为紫红色砂质黏土,基座为前古生代千枚岩。

(2)阶地上的断层地貌。在大安附近的 T_4 阶地上,发育的断层槽地走向 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$,深约 8m,宽 50m 左右(照 1)。在断层槽地向 NE 和 SW 的延伸方向上, T_3 阶地上不存在断层槽地等构造微地貌。列金坝东北的基岩山坡上,发育 NEE 方向的断层槽地或相对平坦的台地(图 2)。

(3)断错地层。断层槽地的位置实际是断层破碎带发育的位置,断层带内为灰色、灰绿色断层角砾岩和断层碎裂岩(图 3),其中发育断层泥的断面倾向 NNW,倾角 50° 。 T_4 阶地表面为厚约 3~6m 的黄棕色坚硬的黏土,下部为 6~7m 厚的冲洪积砾石层。砾石层底面落差 6m。

3.1.2 土关铺附近的断层地貌

(1)阶地分布。在土关铺靠近勉县的汉江河谷内,青川断裂沿汉江河谷发育。汉江自西向东沿断层谷地流向汉中盆地。土关铺到邵家山一带,汉江河谷宽 600~1 000m,分布了 5 级河流阶地(图 4),各阶地的拔河高度大体与大安附近的相应的阶地高度一致。 T_1 阶地拔河高度 $<5\text{m}$,阶地表面上部为灰红色砂质黏土,下部为粗砂砾石层,为堆积阶地,也

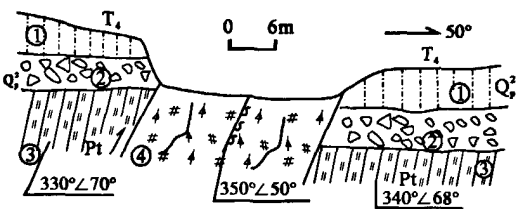


图 3 大安西断层地质剖面

Fig. 3 Geological profile at the west of Da'an village.
①黄棕色砂质黏土;②砂砾石层;③千枚岩;④断层破碎带

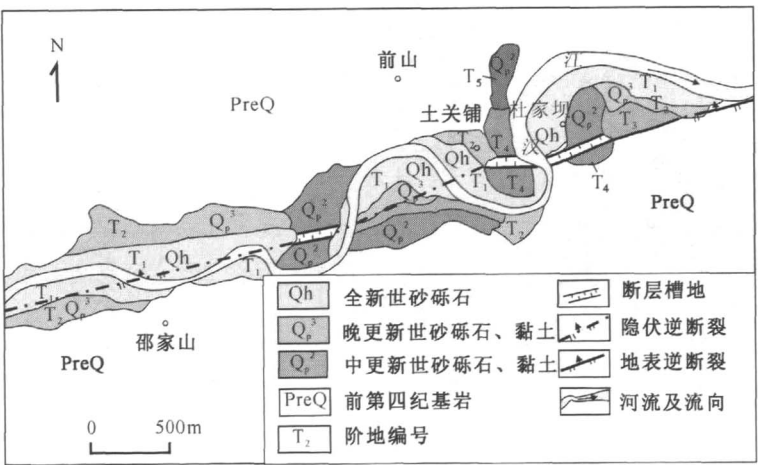


图 4 土关铺附近的阶地和断裂分布图

Fig. 4 The distribution map of terraces and fault near Tuguanpu village.

是主要的农田分布区,形成时代为全新世。 T_2 阶地拔河高度 8~10m,上部堆积为紫红色砂质黏土,下部为粗砂卵石层,基座为元古代或震旦纪的千枚岩或白云质灰岩,阶地堆积物的形成时代为晚更新世。 T_3 阶地分布局限,拔河高度 35~40m,为基座阶地,阶地堆积物形成于晚更新世。 T_4 阶地分布于土关铺、杜家坝一带,拔河高度 60~75m,阶地堆积物仅有少量残留,其中砾石层中的花岗岩、砂岩砾石被风化,石英岩砾石保存完好,砾石层上残留着 1m 左右的紫红色砂质黏土,为基座阶地。 T_5 阶地拔河高度 90m 左右,阶地上的河流堆积物部分已经被剥蚀。

(2)阶地上的断层地貌。在杜家坝、土关铺及其西南,断层槽地沿 NEE 方向展布,延伸长度达 800m。断层槽地分布在 T_4 阶地上,深 3~5m 不等,宽 30~50m, T_2 、 T_3 级阶地上没有发育断

层槽地(图4,照2)。

(3)断错地层。槽地北侧为元古界,南侧为震旦系,槽地两侧汉江 T_4 阶地拔河 60~70m 左右,断裂两侧阶地面约有 5m 的垂直落差(图5),反映断裂错断了汉江 T_4 阶地。

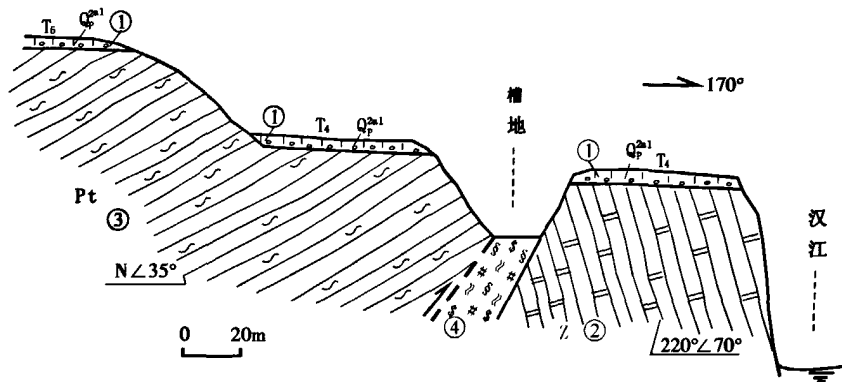


图5 土关铺地质剖面图

Fig. 5 The geological profile at Tuguanpu village.

①含黏土砾石层; ②白云岩、白云质灰岩; ③褐灰色千枚岩、变质砂岩; ④断层及破碎带

3.1.3 其它地点的断错地质地貌

在宁强县燕子贬西南肖家沟公路边,沿断裂发育1条逆断层和1条正断层,两条断层之间为宽约35m的破碎带,破碎带之上,地貌上也形成断层槽地,槽地宽约600m。槽地发育在嘉陵江 T_4 阶地上,阶地拔河约70m,西北侧抬升,东南侧下降。垂直位错达12~15m。陕西安强金山寺一带,两条断裂平行出现,它们形成的断层谷长分别为7km和3km,宽400~800m。南侧断裂发育在元古界与志留系之间,北侧断裂发育在元古界内部。在金山寺东北王家沟,白龙江支流刘家河 T_4 阶地拔河约60m,南侧断裂切割该阶地,地貌上形成槽地,断裂两侧同级阶地有垂直位移达10m。青川寨溪河至好溪,沿断裂断层谷地和槽地十分发育,其中槽地所在位置地貌上大多相当于河流 T_4 、 T_5 阶地的位置。如走马岭,相当于 T_4 阶地的台地拔河约70m,断裂通过该台地时,地貌上形成清楚的槽地。青川好溪一带相当于 T_5 阶地的洪积台地拔河约100m,断裂通过该台地时,地貌上形成清楚的断层槽地,宽约40~50m。青川东木鱼镇以北,白龙江支流 T_2 阶地基座为断裂破碎带,其上有厚10m的砾石层和砂砾石层。断裂破碎带宽近100m,其中有多条断层发育,它们对阶地砾石层没有影响,反映 T_2 阶地形成以来的晚更新世断裂停止活动。

3.2 茶坝-林庵寺断裂分布及其活动性

该断裂北起陕西勉县东南,向西南经宁强北、朝天驿、林庵寺、茶坝、关庄坝,终止于南坝附近,与北川-映秀断裂相交。茶坝附近由2条大致平行的逆冲断层组成,间隔2~8km。在朝天驿附近,总体走向NEE,由多条不连续的逆冲断层组成,大致呈右阶斜列。在陕西勉县东南、宁强东北、四川茶坝等地线性地貌清晰,主要表现为河流高阶地上的断层槽地、断层三角面和断层眉脊,基岩中的断层垭口、断层凹槽等,其它地段没有突出的地貌显示。

3.2.1 薛家沟附近的断层地貌和地层

位于勉县东南的汉江右岸,地貌上表现NE走向的断层三角面(图6),现存的断层眉脊高



照 1 大安西南 T_4 阶地上的断层槽地(镜向 SE)

Photo 1 The fault groove on T_4 terrace at the west of Da'an(view to SE).
两排箭头之间为断层槽地;远处的深切河谷为汉江;高压线铁塔的位置为 T_3 阶地



照 2 土关铺附近的断层槽地(镜向 SE)

Photo 2 The fault groove near Tuguanpu (view to SE).
箭头所示位置为断层槽地,右侧地层为灰岩,左侧地层为页岩、千枚岩夹泥灰岩; T_4 为 IV 级阶地



照 3 薛家沟附近的断层眉脊(镜向 SE)

Photo 3 Fault eyebrow near the Xuejiagou village(view to SE).
高 4m; 突出的岩石为灰岩



照 4 玉带河 T_5 阶地上的断层凹槽(镜向 NE)

Photo 4 The fault groove on T_5 terrace along Yudaihe(view to NE).
两排箭头之间为断层槽地; T_5 表示玉带河 V 级阶地,
右侧的高山为灰岩, T_5 阶地基座为页岩、泥灰岩

2~4m(照3)。

在村民开挖的梯田陡坎处,可以看到震旦纪灰岩和震旦纪页岩的断层接触,其中比较松软的断层碎裂岩厚10~15cm。断层陡坎前发育1个褐红色的楔状堆积,长约3m,最高约0.5m(图7)。楔体上覆盖厚约0.5~0.8m的残坡积层,其中夹有灰岩角砾。初步分析认为,断层活动使得在断层陡坎下方形成凹槽,崩积、坡面流等作用形成楔形堆积层④,即大致在形成楔形体层④的时代断层有一次明显的垂向活动。从楔形堆积物的密实程度和颜色看,它可能是中更新世堆积物。从黄沙镇附近的地形、地貌和断层剖面看,该断层段可能为中更新世活动断层。

3.2.2 胡家坝附近的断错地貌

胡家坝位于汉江的一级支流玉带河畔,该处河流曲流发育,在河流的两岸形成层次清晰的阶地地貌。茶坝-林庵寺断裂从胡家坝的北部通过,地貌上形成清楚的线状影像。

(1)胡家坝附近的河流阶地。通过野外1/5万构造地貌填图,可以发现胡家坝附近发育5级河流阶地(图8),拔河高度分别为: T₁ 阶地为2~5m, T₂ 阶地为8~10m, T₃ 阶地为30m左右, T₄ 阶地为60~70m, T₅ 阶地为90m左右。其中 T₁ 阶地为堆积阶地, T₂、T₃、T₄ 和 T₅ 阶地为基座阶地, T₃ 和 T₄ 阶地表面保留的卵石层厚度分别为2m和3m, T₅ 阶地顶部的砾石层已经被剥蚀殆尽。

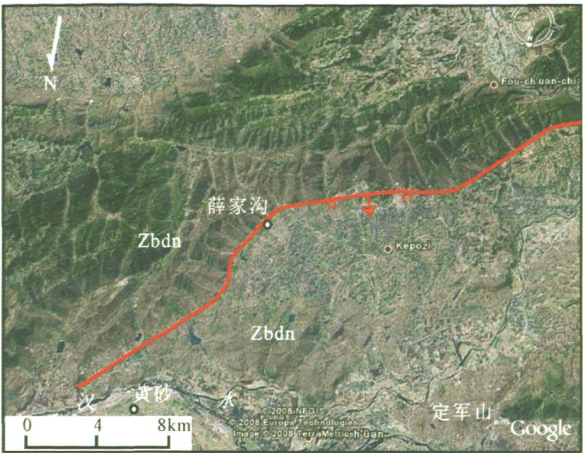


图6 勉县东南影像解释图(影像来自 Google)
Fig. 6 Landform and distribution of fault
at the southeast of Mianxian(image from Google).

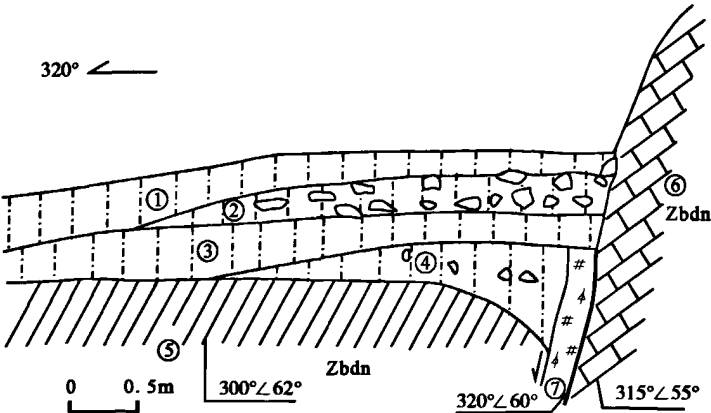


图7 薛家村断层地质剖面
Fig. 7 The geological profile near Xuejiagou village.

- ①种植土,底部夹小砾石;②灰黄色黏土夹2~5cm的角砾石;③灰黄色黏土;④棕褐色、密实黏土夹风化的灰岩角砾;
⑤揉皱变形的页岩和薄层砂岩;⑥灰岩;⑦断层碎裂岩

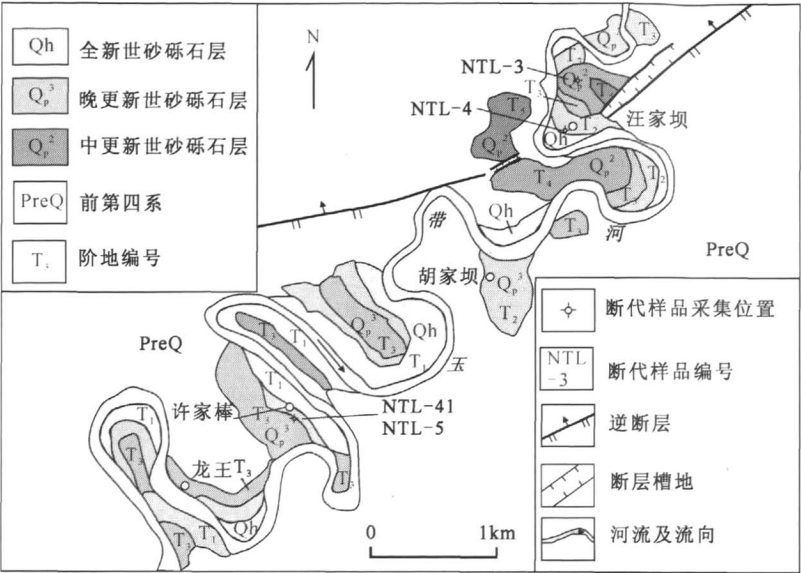


图 8 胡家坝附近阶地和断层分布图

Fig. 8 The distribution map of terraces and fault near Hujiaba village.

(2)断层和阶地的关系。通过 1/5 万地貌填图可以发现, T_4 和 T_3 阶地上发育 NEE 走向的断层凹槽, T_1 和 T_2 阶地覆盖在断层通过的位置(图 8, 照 4), 断层两侧 T_3 阶地的高度没有明显变化。从而可以看出, 胡家坝附近河流阶地上的断层地貌反映出断层在 T_4 阶地形成后有明显的活动, T_3 阶地形成以来不再活动。

(3)断层凹槽处发育的断层。在汪家坝的西南侧河流 T_4 阶地上, 发现宽约 150 ~ 180m 的断层凹槽, 凹槽处即为断层破碎带。断层倾向 NW, 倾角 56° , 震旦纪泥灰岩、砂岩向南逆冲到寒武纪页岩、千枚岩之上(图 9)。汪家坝对岸的河流左岸, 长约 300m 的剖面上存在 2 个断层破碎带, 其中一个破碎带的位置与 T_4 阶地上的断层凹槽位置在空间上相对应。

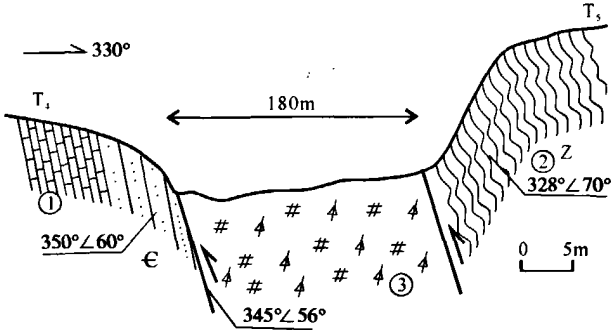


图 9 玉带河 T_4 阶地上的断层地质剖面

Fig. 9 Geological map on T_4 terrace at Yudaihe river bank.

①寒武纪砂岩、泥灰岩; ②震旦纪页岩、千枚岩; ③断层破碎带

3.2.3 其它几个地点的断错地质地貌

青川县凉水镇附近,寒武系下统的千枚岩向南逆冲到志留系灰岩夹砂岩上,断层带宽 40m,倾向 NW,倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$,剖面北端,断层面被拔河高度约 30m 的晚更新世阶地砾石层覆盖。陕西宁强五丁关西南的三道河(汉江支流)东岸,出露的断层带宽约 40m,由 2 个断层带和 1 个断层面组成。北盘的震旦纪白云岩向 S 逆冲到志留纪页岩、砂岩上,断层带部分被 T_3 阶地堆积物覆盖,最南侧的断面上覆盖了晚更新世坡积黏土夹砾石层。志留纪页岩中发育 1 组倾向 S、陡倾的破裂面,显示出主断层的向 S 逆冲活动。

4 研究区河流阶地及其形成时代

4.1 区域地质调查资料对阶地形成时代的认识

根据区域地质调查结果^{①②},可以确定嘉陵江、汉江和白龙江流域河流阶地的拔河高度及其堆积物形成时代。

拔河高度 $>35 \sim 45\text{m}$ 、 $<100\text{m}$ 的阶地,为 T_4 、 T_5 阶地。堆积物的上部地层为褐红-棕红色砂质黏土,密实,坚硬。下部为卵石层,其中的花岗岩卵石和砂岩卵石普遍被风化,只保留卵石的形态,石英岩卵石坚硬,没有被风化。为中更新世堆积物,即雅安砾石层^②。

拔河高度约 $10 \sim 35\text{m}$,为河流的 T_2 、 T_3 阶地,沿汉江、嘉陵江、白龙江等零星分布。下部为砾石层,呈褐灰色,为砂-钙质胶结。砾石成分复杂,以砂岩为主,其次为火成岩、变质岩等,直径一般 $<10\text{cm}$,少数在 $10 \sim 20\text{cm}$ 之间,磨圆度好。在广元附近称为“江北砾石层”^①,为晚更新世堆积物。 T_1 、 T_2 阶地为主要的居民和耕地分布区。

拔河高度 $2 \sim 5\text{m}$,地表为砂质黏土,下部为砾石层,是河流的 T_1 阶地,也是主要耕地分布区,为全新世堆积^{①②}。

4.2 北川-映秀附近阶地堆积物的热释光测年

李勇等(2006)在北川、映秀、汶川、大邑等地对龙门山中段地区的河流阶地进行了初步划分,用热释光方法测定阶地堆积物的形成时代。拔河高度 $30 \sim 40\text{m}$ 的 T_3 阶地堆积物年代为距今 $2.3 \sim 3.6$ 万年,拔河高度 $60 \sim 80\text{m}$ 的 T_4 阶地堆积物年代为距今 $4.2 \sim 7.6$ 万年,岷江拔河 $164 \sim 170\text{m}$ 的 T_5 阶地堆积物热释光年代为距今 7.7 万年。

Kirby 等(2000)在该地区研究了河流阶地与山脉的隆升,得到的结果大致和李勇等(2006)的结果相近,岷山一带 T_5 阶地形成时代为 $9 \sim 10$ 万年。

本次科学考察中,我们在龙门山断裂带东北段的胡家坝、土官铺、大安等地采集了 $T_2 \sim T_5$ 阶地堆积物的测年样品,在国家地震动力学实验室进行光释光和 ESR 测年,阶地形成年代有待进一步确定。

5 结论和讨论

从以上几个地点的阶地发育可知,龙门山断裂带东北段所在的地区主要河流至少发育 4~5 级阶地,其中 T_1 阶地形成于全新世,为堆积阶地。 T_2 、 T_3 、 T_4 和 T_5 阶地为基座阶地,其堆积物

① 地质部四川省地质局,1966,1/20 万广元幅区域地质测量报告。

② 陕西省地质局秦岭区域地质测量大队,1961,1/20 万略阳幅地质图及矿产图说明书。

的形成时代有待进一步论证。河流的高阶地上(T_4 和 T_5),几个典型观察地点均发育断层槽地,低阶地上(T_1 、 T_2 和 T_3)不发育断层槽地,或断裂带两侧的低阶地的拔河高度一致。部分地段保留了线性排列的断层三角面和断层眉脊。可以认为,青川断裂、茶坝-林庵寺断裂在 T_4 阶地形成之后, T_3 阶地形成之前有过强烈的活动。

2008年5月12日汶川8.0级地震沿龙门山中央断裂形成近240km的地震地表破裂带,沿前山断裂形成72km的地震地表破裂带(徐锡伟等,2008),东经 105° 以东的龙门山中央断裂带东北段(茶坝-林庵寺断裂)、龙门山后山断裂东北段(青川断裂)和前山断裂的东北段(江油断裂)均没有出现地震地表破裂。汶川8.0级地震的余震在东经 105° 以西沿龙门山断裂带呈NE向分布,而东经 105° 以东地区,余震分布的优势方向与龙门山断裂带北段有 11° 的夹角,没有沿龙门山断裂带北段分布,说明汶川地震在东经 105° 以东形成1条新的地震断层,这条新的隐伏地震断层打破了原有的构造格局。

关于龙门山断裂带东北段晚更新世以来没有活动的动力学机制,不同的学者给出了一些解释,认为晚第四纪以来岷山隆起的形成,对龙门山推覆构造带的东北段起着屏障的作用,使龙门山推覆构造带东北段的活动减弱,活动强度由NE向SW增强。因此,从那时直到现代,龙门山推覆构造带中南段和岷山隆起构造带共同成为持续挤压作用的东界,控制着现代地形、地貌和地震活动(邓起东等,1994;李传友等,2004)。陈国光等(2007)从龙门山断裂带地区的地形地貌、断裂活动性、地震活动、布格重力异常等方面,讨论了龙门山断裂带的晚第四纪活动性分段,认为大致沿安县、北川到虎牙一线为龙门山断裂带北段和中、南段分段的边界位置,中、南段为晚更新世断裂,北段为中更新世断裂。汶川8.0级地震地表破裂、余震分布突破了这个分段标志,说明龙门山断裂带的活动性分段以及动力学解释还需要深入分析。

致谢 仅以此文向四川汶川8.0级地震遇难民众表示哀悼,对战斗在抗震救灾一线的解放军官兵、武警战士、医务人员和支援者等表示感谢,是他们挽救了一个又一个鲜活的生命,使灾区民众生活得以安定。感谢陕西省地震局、四川省地震局提供了周到的后勤保障。感谢审稿专家提出的宝贵建议。

参 考 文 献

- 陈国光,计凤桔,周荣军,等. 2007. 龙门山断裂带晚第四纪活动性分段的初步研究[J]. 地震地质, 29(3): 657—673.
- CHEN Guo-guang, JI Feng-ju, ZHOU Rong-jun, et al. 2007. Primary research of activity segmentation of Longmenshan Fault zone since late-Quaternary [J]. Seismology and Geology, 29(3): 657—673 (in Chinese).
- 陈立春,陈杰,刘进峰,等. 2008. 龙门山前山断裂北段晚第四纪活动性研究[J]. 地震地质, 30(3): 710—722.
- CHEN Li-chun, CHEN Jie, LIU Jin-feng, et al. 2008. Investigation of late Quaternary activity along the northern range-front fault, Longmenshan [J]. Seismology and Geology, 30(3): 710—722.
- 陈云,童国榜,曹家栋,等. 1999. 渭河宝鸡段河谷地貌的构造气候响应[J]. 地质力学学报, 5(4): 49—56.
- CHEN Yun, TONG Guo-bang, CAO Jia-dong, et al. 1999. Tectonic climate response in geomorphology of the Weihe River valley around Baoji, Shaanxi Province [J]. Journal of Geomechanics, 5(4): 49—56 (in Chinese).
- 程绍平,邓起东,闵伟,等. 1998. 黄河晋陕峡谷河流阶地和鄂尔多斯高原第四纪构造运动[J]. 第四纪研究, (3): 238—248.

- CHENG Shao-ping, DENG Qi-dong, MIN Wei, *et al.* 1998. Terraces in the valleys of Shanxi and Shaanxi Provinces along the Yellow River and Quaternary tectonic movement of the Ordos Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, (3): 238—248 (in Chinese).
- 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 geodynamics of the Longmenshan Mountains and its adjacent regions [J]. *Seismology and Geology*, 16(4): 389—403 (in Chinese).
- 李传友, 宋方敏, 冉勇康. 2004. 龙门山断裂带北段晚第四纪活动性讨论 [J]. *地震地质*, 26(2): 248—258.
- LI Chuan-you, SONG Fang-min, RAN Yong-kang. 2004. Late Quaternary activity and age constraint of the northern Longmenshan Fault zone [J]. *Seismology and Geology*, 26(2): 248—258 (in Chinese).
- 李吉均, 方小敏, 马海州, 等. 1996. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起 [J]. *中国科学(D 辑)*, 26(4): 317—322.
- LI Ji-jun, FANG Xiao-min, MA Hai-zhou, *et al.* 1996. Late Cenozoic evolution of landforms in the upper reach of the Yellow River and the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Science in China (Ser D)*, 26(4): 317—322 (in Chinese).
- 李勇, 周荣军, Densmore A L, 等. 2006. 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*, 26(1): 40—51.
- LI Yong, ZHOU Rong-jun, Densmore A L, *et al.* 2006. Geomorphic evidence for the late Cenozoic strike-slipping and thrusting in Longmen Mountains at the eastern margin of the Tibetan Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 26(1): 40—51 (in Chinese).
- 刘树根, 罗志立, 戴苏兰, 等. 1995. 龙门山冲断带的隆升和川西前陆盆地的沉降 [J]. *地质学报*, 69(3): 205—214.
- LIU Shu-gen, LUO Zhi-li, DAI Su-lan, *et al.* 1995. The uplift of the Longmenshan thrust belt and subsidence of the western Sichuan foreland basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 69(3): 205—214 (in Chinese).
- 马保起, 李克, 吴卫民, 等. 1999. 大青山河谷地貌特征及新构造意义 [J]. *地理学报*, 54(4): 327—334.
- MA Bao-qi, LI Ke, WU Wei-min, *et al.* 1999. Features and neotectonic significance of river valley landforms in Mt. Daqingshan [J]. *Acta Geographica Sinica*, 54(4): 327—334 (in Chinese).
- 潘保田, 邬光剑, 王义祥, 等. 2000. 祁连山东段河流阶地的年代与成因 [J]. *科学通报*, 45(24): 2669—2675.
- PAN Bao-tian, WU Guang-jian, WANG Yi-xiang, *et al.* 2000. The age and genesis for the river terraces at eastern segment of Qilian mountains [J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(24): 2669—2675 (in Chinese).
- 谭利华, 杨景春, 段锋军. 1998. 河西走廊新生代构造运动的阶段划分 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 34(4): 523—532.
- TAN Li-hua, YANG Jing-chun, DUAN Feng-jun. 1998. Stages of Cenozoic tectonic movement in Hexi Corridor, Gansu Province [J]. *Acta Scientiarum Naturalium, Universitatis Pekinensis*, 34(4): 523—532 (in Chinese).
- 邢成起, 丁国瑜, 卢演涛, 等. 2001. 黄河中游河流阶地的对比及阶地形成系列中构造作用的多层次分析 [J]. *中国地震*, 17(2): 187—201.
- XING Cheng-qi, DING Guo-yu, LU Yan-chou, *et al.* 2001. Comparison of river terraces in the middle reach valleys of the Yellow River and analysis on the multi-gradational features of tectonic action in the formation of terraces series [J]. *Earthquake Research in China*, 17(2): 187—201 (in Chinese).
- 徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 等. 2008. 汶川 $M_s 8.0$ 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 $M_s 8.0$ Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure [J]. *Seismology and Geology*, 30(3): 597—629 (in Chinese).
- 杨景春, 刘光勋. 1987. 汾河南段河流阶地与新构造运动 [A]. 见: 国家地震局地壳应力研究所编. 地壳构造与地壳应力文集(1). 北京: 地震出版社. 30—41.
- YANG Jing-chun, LIU Guang-xun. 1987. River terrace and neotectonic motion on the southern reach of the Fenhe River [A]. In: Institute of Crustal Dynamics, SSB (ed). *Crustal tectonics and crustal stress* (1). Seismological Press,

- Beijing. 30—41 (in Chinese).
- 杨景春. 1998. 祁连山北麓河流阶地与新构造演化 [J]. 第四纪研究, (3): 229—237.
- YANG Jing-chun. 1998. River terraces and neotectonic evolution on the north margin of the Qilianshan Mountains [J]. Quaternary Sciences, (3): 229—237 (in Chinese).
- 杨晓平, 邓起东, 张培震, 等. 1995. 利用阶地变形资料研究北天山吐谷鲁逆断裂—背斜带晚更新世以来的褶皱变形调整 [A]. 见: 国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(4). 北京: 地震出版社. 46—62.
- YANG Xiao-ping, DENG Qi-dong, ZHANG Pei-zhen, *et al.* 1995. Fold deformation along the Tugulu reverse fault-fold zone since late Pleistocene, North Tianshan [A]. In: Institute of Geology, SSB (ed). Active Fault Research(4). Seismological Press, Beijing. 46—62 (in Chinese).
- 杨晓平, 邓起东. 1998. 新疆独山子背斜的断裂扩展褶皱作用 [A]. 见: 国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(6). 北京: 地震出版社. 66—73.
- YANG Xiao-ping, DENG Qi-dong. 1998. The fault-propagation folding of the Dushanzi anticline, Northern Tianshan, Xijiang [A]. In: Institute of Geology, SSB (ed). Active Fault Research(4). Seismological Press, Beijing. 66—73 (in Chinese).
- 杨晓平, 冉勇康, 程建武, 等. 2006. 柯坪推覆构造中的几个新生褶皱带阶地变形测量与地壳缩短 [J]. 中国科学(D 辑), 36(10): 905—913.
- YANG Xiao-ping, RAN Yong-kang, CHENG Jian-wu, *et al.* 2007. Measurement of terrace deformation and crustal shortening of some renascent fold zones within Kalpin nappe structure [A]. Science in China (Ser D), 50(1): 33—42.
- 郑文涛, 杨景春, 段锋军. 2000. 武威盆地晚更新世河流阶地变形与新构造运动 [J]. 地震地质, 22(3): 318—328.
- ZHENG Wen-tao, YANG Jing-chun, DUAN Feng-jun. 2000. A study on the relation between deformation of river terraces and neotectonic activity in the Wuwei Basin [J]. Seismology and Geology, 22(3): 318—328 (in Chinese).
- 张培震, 邓起东, 杨晓平, 等. 1995. 天山北麓的冰水冲洪积地貌与新构造运动 [A]. 见: 国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(4). 北京: 地震出版社. 63—78.
- ZHANG Pei-zhen, DENG Qi-dong, YANG Xiao-ping, *et al.* 1995. Glaciofluvial geomorphology and neotectonics along the range-front of Northern Tianshan [A]. In: Institute of Geology, SSB (ed). Active Fault Research(4). Seismological Press, Beijing. 63—78 (in Chinese).
- Burchfiel B C, Chen Z, Lin Y, *et al.* 1995. Tectonics of the Longmenshan and adjacent regions, Central China [J]. International Geology Review, 37: 661—735.
- Chen Jie, Burbank D W, Scharer K M, *et al.* 2002. Magnetochronology of the Upper Cenozoic strata in the Southwestern Chinese Tian Shan: rates of Pleistocene folding and thrusting [J]. Earth and Planetary Science Letters, 195, 113—130.
- Chen S F, Wilson C J L, Deng Q D, *et al.* 1994. Active faulting and block movement associated with large earthquakes in the Min Shan and Longmen Mountains, northeastern Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research, 99: 24025—24038.
- Lave J, Avouac J P. 2000. Active folding of fluvial terraces across the Siwaliks Hill, Himalayas of central Nepal [J]. Journal of Geophysical Research, 105(B3): 5735—5700.
- Li Yong, Allen P A, Densmore A L, *et al.* 2003. Geological evolution of the Longmen Shan foreland basin (western Sichuan, China) during the Late Triassic Indosinian orogeny [J]. Basin Research, 15: 117—136.
- Molnar P, Brown E T, Burchfiel B C, *et al.* 1994. Quaternary climate change and the formation of river terraces across growing anticlines on the north flank of the Tianshan, China [J]. J Geology, 102: 583—602.
- Kirby E, Whipple K X, Burchfiel B C, *et al.* 2000. Neotectonics of the Min Shan, China: Implications for mechanism driving Quaternary deformation along the eastern margin of the Tibetan Plateau [J]. GSA Bulletin, 112(3): 375—393.

GEOLOGICAL AND GEOMORPHIC EVIDENCE FOR THE QUATERNARY ACTIVITY ON THE NORTHEAST SEGMENT OF LONGMENSHAN FAULT ZONE

YANG Xiao-ping¹⁾ FENG Xi-jie²⁾ GE Tian-yong³⁾
SONG Fang-min¹⁾ SHI Ya-qin²⁾ LIU Yu-fa³⁾

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

2) *Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China*

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

Abstract

The Longmenshan Fault zone is an important thrust belt on the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau, consisting of the back-range, the central and the front-range faults, which differ from each other in size and activity. The rupture zone of the Wenchuan earthquake of 12 May 2008 occurred over a length of ~270km along the Yingxiu-Beichuan Fault (a segment of the Central Fault) and a length of ~70km along the Guanxian-Anxian Fault (a segment of the Front-Range Fault). The northern end of the fracture zone is at the Nanba region in Central Fault. In this work, we make a detailed field investigation on the northeast segment of the Longmenshan Fault zone. Qingchuan Fault is the northeast segment of the Longmenshan Back-range Fault, and the Chaba-Lin'ansi Fault is the northeast segment of the Longmenshan Central Fault. Along the above two faults, we make geological and geomorphologic mapping of Tuguanpu, Da'an and Hujiaba regions, where the Qingchuan Fault runs through the Tuguanpu and Da'an area, and Chaba-Lin'ansi Fault runs through the Hujiaba area. Based on the field investigation, there are five terraces in the northeast Longmenshan area along the major rivers. The height above the river of T_1 terrace is about 3 ~ 5m, and the formation time is Holocene. The heights of T_2 and T_3 terraces are 10m and 30 ~ 35m above the river, and the deposition time of alluvium and diluvium is Late Pleistocene. The remnant of T_4 terrace's sediment covers on some hills, with the height above the river of about 60 ~ 70m. In the remnant, granite cobble and sandstone cobbles have been air slaked, these gravels have the shapes only. T_5 terrace's height is about 90m, the sediment on it has been eroded. Qingchuan Fault and Chaba-Lin'ansi Fault were strongly active faults in the times before T_3 and after T_4 formed. Some fault grooves were formed on T_4 or T_5 terrace, they have 30 ~ 180m in width, and 8 ~ 20m in depth. The vertical displacement of T_4 terrace's gravels is 10 ~ 15m. Fault groove didn't form on T_3 terrace, or the terrace height on a fault wall is consistent with other fault wall. At some places, T_3 terrace's gravels overlie the fault zone.

Key words Longmenshan Fault zone, river's terrace, fault groove, fault activity, Quaternary

〔作者简介〕 杨晓平,男,1963年生,1995年在中国地震局地质研究所获得博士学位,研究员,主要从事中生代构造、活动构造和工程地震等方面的研究,电话:010-62009144, E-mail: yangxiaopingdzs@sina.com。

作者: [杨晓平](#), [冯希杰](#), [戈天勇](#), [宋方敏](#), [师亚芹](#), [刘玉法](#), [YANG Xiao-ping](#), [FENG Xi-jie](#), [GE Tian-yong](#), [SONG Fang-min](#), [SHI Ya-qin](#), [LIU Yu-fa](#)

作者单位: [杨晓平, 宋方敏, YANG Xiao-ping, SONG Fang-min\(中国地震局地质研究所, 国家地震活动断层研究中心, 北京, 100029\)](#), [冯希杰, 师亚芹, FENG Xi-jie, SHI Ya-qin\(陕西省地震局, 西安, 710068\)](#), [戈天勇, 刘玉法, GE Tian-yong, LIU Yu-fa\(四川省地震局, 成都, 610041\)](#)

刊名: [地震地质](#) **ISTIC PKU**

英文刊名: [SEISMOLOGY AND GEOLOGY](#)

年, 卷(期): 2008, 30(3)

被引用次数: 17次

参考文献(51条)

1. 陈国光, 计凤桔, 周荣军 [龙门山断裂带晚第四纪活动性分段的初步研究](#)[期刊论文]-[地震地质](#) 2007(03)
2. CHEN Guo-guang, JI Feng-ju, ZHOU Rong-jan [Primary research of activity segmentation of Longmenshan Fault zone since late-Quaternary](#)[期刊论文]-[Seismology and Geology](#) 2007(03)
3. 陈立春, 陈杰, 刘进峰 [龙门山前山断裂北段晚第四纪活动性研究](#)[期刊论文]-[地震地质](#) 2008(03)
4. CHEN Li-chun, CHEN Jie, LIU Jin-feng [Investigation of late Quaternary activity along the northern range-front fault, Longmenshan](#) 2008(03)
5. 陈云, 童国榜, 曹家栋 [渭河宝鸡段河谷地貌的构造气候响应](#)[期刊论文]-[地质力学学报](#) 1999(04)
6. CHEN Yun, TONG Guo-bang, CAO Jia-dong [Tectonic climate response in geomorphology of the Weihe Riv-er valley around Baoji, Shaanxi Province](#)[期刊论文]-[Journal of Geomechanics](#) 1999(04)
7. 程绍平, 邓起东, 闵伟 [黄河晋陕峡谷河流阶地和鄂尔多斯高原第四纪构造运动](#)[期刊论文]-[第四纪研究](#) 1998(03)
8. CHENG Shao-ping, DENG Qi-dong, MIN Wei [Terraces in the valleys of Shanxi and Shaanxi Provinces along the Yellow River and Quaternary tectonic movement of the Ordos Plateau](#) 1998(03)
9. 邓起东, 陈社发, 赵小麟 [龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学](#) 1994(04)
10. DENG Qi-dong, CHEN She-fa, ZHAO Xiao-lin [Tectonics, seismicity and geodynamics of the Longmenshan Mountains and its adjacent regions](#) 1994(04)
11. 李传友, 宋方敏, 冉勇康 [龙门山断裂带北段晚第四纪活动性讨论](#)[期刊论文]-[地震地质](#) 2004(02)
12. LI Chuan-you, SONG Fang-min, RAN Yong-kang [Late Quaternary activity and age constraint of the northern Longmenshan Fault zone](#)[期刊论文]-[Seismology and Geology](#) 2004(02)
13. 李吉均, 方小敏, 马海州 [晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起](#) 1996(04)
14. LI Ji-jun, FANG Xiao-min, MA Hai-zhou [Late Cenozoic evolution of landforms in the upper reach of the Yellow River and the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau](#) 1996(04)
15. 李勇, 周荣军, Densmore A L [青藏高原东缘龙门山晚新生代走滑-逆冲作用的地貌标志](#)[期刊论文]-[第四纪研究](#) 2006(01)
16. LI Yong, ZHOU Rong-jun, Densmore A L [Geomorphic evidence for the late Cenozoic strike-slipping and thrusting in Longmen Mountains at the eastern margin of the Tibetan Plateau](#)[期刊论文]-[Quaternary Sciences](#) 2006(01)
17. 刘树根, 罗志立, 戴苏兰 [龙门山冲断带的隆升和川西前陆盆地的沉降](#) 1995(03)
18. LIU Shu-gen, LUO Zhi-li, DAI Su-lan [The uplift of the Longmenshan thrust belt and subsidence of the western Sichuan foreland basin](#) 1995(03)

19. [马保起, 李克, 吴卫民](#) [大青山河谷地貌特征及新构造意义](#) [期刊论文] - [地理学报](#) 1999 (04)
20. [MA Bao-qi, LI Ke, WU Wei-rain](#) [Features and neotectonic significance of river valley landforms in Mt. Daqingshan](#) [期刊论文] - [Acta Geographica Sinica](#) 1999 (04)
21. [潘保田, 邬光剑, 王义祥](#) [祁连山东段河流阶地的年代与成因](#) [期刊论文] - [科学通报](#) 2000 (24)
22. [PAN Bao-tian, WU Guang-jian, WANG Yi-xiang](#) [The age and genesis for the river terraces at eastern segment of Qilian mountains](#) [期刊论文] - [Chinese Science Bulletin](#) 2000 (24)
23. [谭利华, 杨景春, 段锋军](#) [河西走廊新生代构造运动的阶段划分](#) [期刊论文] - [北京大学学报 \(自然科学版\)](#) 1998 (04)
24. [TAN Li-hua, YANG Jing-chun, DUAN Feng-jun](#) [Stages of Cenozoic tectonic movement in Hexi Corridor, Gansu Province](#) 1998 (04)
25. [邢成起, 丁国瑜, 卢彦传](#) [黄河中游河流阶地的对比及阶地形成系列中构造作用的多层次分析](#) [期刊论文] - [中国地震](#) 2001 (02)
26. [XING Cheng-qi, DING Guo-yu, LU Yah-chou](#) [Comparison of river terraces in the middle reach valleys of the Yellow River and analysis on the multi-gradational features of tectonic action in the formation of terraces series](#) 2001 (02)
27. [徐锡伟, 闻学泽, 叶建青](#) [汶川Ms8.0地震地表破裂带及其发震构造](#) [期刊论文] - [地震地质](#) 2008 (03)
28. [XU Xi-wei, WEN Xue-ze, YE Jian-qing](#) [The Ms8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure](#) 2008 (03)
29. [杨景春, 刘光勋](#) [汾河南段河流阶地与新构造运动](#) 1987
30. [YANG Jing-chun, LIU Guang-xun](#) [River terrace and neotectonic motion on the southern reach of the Fenhe River](#) 1987
31. [杨景春](#) [祁连山北麓河流阶地与新构造演化](#) [期刊论文] - [第四纪研究](#) 1998 (03)
32. [YANG Jing-chun](#) [River terraces and neotectonic evolution on the north margin of the Qilianshan Mountains](#) 1998 (03)
33. [杨晓平, 邓起东, 张培震](#) [利用阶地变形资料研究北天山吐谷鲁逆断裂-背斜带晚更新世以来的褶皱变形调整](#) 1995
34. [YANG Xiao-ping, DENG Qi-dong, ZHANG Pei-zhen](#) [Fold deformation along the Tugulu reverse fault-foldzone since late Pleistocene, North Tianshan](#) 1995
35. [杨晓平, 邓起东](#) [新摄独山子背斜的断裂扩展褶皱作用](#) 1998
36. [YANG Xiao-ping, DENG Qi-dong](#) [The fault-propagation folding of the Dushanzi anticline, Northern Tianshan, Xi-jiang](#) 1998
37. [杨晓平, 冉勇康, 程建武](#) [柯坪推覆构造中的几个新生褶皱带阶地变形测量与地壳缩短](#) [期刊论文] - [中国科学d辑](#) 2006 (10)
38. [YANG Xiao-ping, RAN Yong-kang, CHENG Jian-wu](#) [Measurement of terrace deformation and crustal shortening of some renascent fold zones within Kalpin nappe structure](#) [期刊论文] - [Science in China \(Series D\)](#) 2007 (01)
39. [郑文涛, 杨景春, 段锋军](#) [武威盆地晚更新世河流阶地变形与新构造运动](#) [期刊论文] - [地震地质](#) 2000 (03)
40. [ZHENG Wen-tao, YANG Jing-chun, DUAN Feng-jun](#) [A study on the relation between deformation of river terraces and neotectonic activity in the Wuwei Basin](#) [期刊论文] - [Seismology and Geology](#) 2000 (03)

41. [张培震, 邓起东, 杨晓平](#) [天山北麓的冰水冲洪积地貌与新构造运动](#) 1995
42. [ZHANG Pei-zhen, DENG Qi-dong, YANG Xiao-ping](#) [Glaciofluvial geomorphology and neotectonics along the range-front of Northern Tianshan](#) 1995
43. [Burchfiel B C, Chen Z, Lin Y](#) [Tectonics of the Longmenshan and adjacent regions, Central China](#) 1995
44. [Chen Jie, Burbank D W, Scharer K M](#) [Magnetochronology of the Upper Cenozoic strata in the Southwestern Chinese Tian Shan: rates of Pleistocene folding and thrusting](#) 2002
45. [Chen S F, Wilson C J L, Deng Q D](#) [Active faulting and block movement associated with large earthquakes in the Min Shan and Longmen Mountains, northeastern Tibetan Plateau](#) 1994
46. [Lave J, Avouac J P](#) [Active folding of fluvial terraces across the Siwaliks Hill, Himalayas of central Nepal](#) 2000 (B3)
47. [Li Yong, Allen P A, Densmore A L](#) [Geological evolution of the Longmen Shan foreland basin \(western Si-chuan, China\) during the Late Triassic Indosinian orogeny](#) 2003
48. [Molnar P, Brown E T, Burchfiel B C](#) [Quaternary climate change and the formation of river terraces across growing anticlines on the north flank of the Tianshan, China](#) 1994
49. [Kirby E, Whipple K X, Burchfiel B C](#) [Neotectonics of the Min Shan, China: Implications for mechanism driving Quaternary deformation along the eastern margin of the Tibetan Plateau](#) 2000 (03)
50. [地质部四川省地质局](#) [1/20万广元幅区域地质测量报告](#) 1966
51. [陕西省地质局秦岭区域地质测量大队](#) [1/20万略阳幅地质图及矿产图说明书](#) 1961

相似文献 (5条)

1. 期刊论文 [马保起, 苏刚, 侯治华, 舒赛兵, Ma Baoqi, Su Gang, Hou Zhihua, Shu Saibing](#) [龙门山断裂带中段晚第四纪活动速率 - 国际地震动态 2004 \(z1\)](#)

1 龙门山断裂带概述

龙门山断裂带为青藏高原川青块体与华南四川盆地间的边界断裂, 沿龙门山展布, 走向北东, 全长约500km, 宽40~50km. 该带主要由茂汶-汶川断裂(后山断裂)、北川-映秀断裂(主中央断裂)、江油-灌县断裂(主边界断裂)和后山、前山和前缘三条推覆构造带组成. 全长约500km, 宽40~50km. 断裂带中段与岷江斜交并断错了岷江及其支流的河流阶地. 本文应用河流阶地变形研究了该断裂带中段晚第四纪的活动速率.

2. 期刊论文 [任俊杰, 张世民, 马保起, 田勤俭, Ren Junjie, Zhang Shimin, Ma Baoqi, Tian Qinjian](#) [龙门山断裂带中段大震复发特征与复发间隔估计 - 地震学报 2009, 31 \(2\)](#)

汶川Ms 8.0地震发生在青藏高原东缘著名的龙门山断裂带上, 造成了从映秀、北川至南坝长约240 km的同震地表破裂带. 然而目前关于龙门山断裂带的大震复发特征研究较少. 通过地震地质科学考察和断层断错地貌的差分GPS测量, 发现第一级河流阶地、河床和河漫滩上的垂直断距大致相当, 均代表汶川地震的位错, 第二级河流阶地上的累计位移大致是最新地震垂直位移的2倍. 利用断错地貌、地震矩率和滑动速率3种方法, 分别估算了龙门山断裂带大地震的复发间隔. 结果表明: 龙门山断裂带中段可能发生与汶川大地震相当的地震, 大震复发符合特征地震模型; 大震复发间隔为3 000~6 000 a. 该结果可为龙门山断裂带的大震预测和地震危险性评价等研究提供重要的定量数据.

3. 期刊论文 [马保起, 苏刚, 侯治华, 舒赛兵, Ma Baoqi, Su Gang, HOU Zhi-hua, SHU Sai-bing](#) [利用岷江阶地的变形估算龙门山断裂带中段晚第四纪滑动速率 - 地震地质 2005, 27 \(2\)](#)

用岷江都江堰-汶川段晚第四纪阶地地面的变形量估算了龙门山断裂带中段的滑动速率. 岷江及其支流发育3级晚第四纪河流阶地, 阶地地面的年龄分别约为10, 20, 50kaBP. 阶地纵剖面在茂汶-汶川断裂、北川-映秀断裂和江油-灌县断裂处有明显的垂直变形. 断裂活动具有间歇性特点, 晚第四纪以来有过3期活动, 其起始时间分别为50, 20, 10ka BP. 依据各级阶地地面年龄和变形量估算的茂汶-汶川断裂、北川-映秀断裂和江油-灌县断裂晚第四纪逆冲滑动速率分别为0.5, 0.6~0.3, 0.2mm/a; 据阶地走滑位错估算的茂汶-汶川断裂和北川-映秀断裂的晚第四纪右旋走滑速率均约为1mm/a. 现代河床之下发育很厚的河流堆积物表明, 龙门山的构造抬升经历了较为复杂的过程.

4. 期刊论文 [李勇, 周荣军, 董顺利, 张毅, 何玉林, 陈浩, 闫亮, 乔宝成, 马博琳, LI Yong, ZHOU Rong-jun, DONG Shun-li, ZHANG Yi, HE Yu-lin, CHEN Hao, YAN Liang, QIAO Bao-cheng, MA Bo-lin](#) [汶川地震的地表破裂与逆冲-走滑作用 - 成都理工大学学报 \(自然科学版\) 2008, 35 \(4\)](#)

2008年5月12日在龙门山映秀-北川断裂带发生的8.0级特大地震, 属于逆冲-走滑型地震. 作者以地表破裂为切入点, 在映秀-北川断裂和彭灌断裂的关键部位, 对断错山脊、洪积扇、河流阶地、边坡脊、断层陡坎、河道错断、冲沟侧缘壁位错、小路位错、公路位错、公路拱曲、构造裂缝、断层偏转、擦痕、挤压脊、坡中槽等汶川地震所导致的地表破裂和断裂带开展了详细的野外地貌测量, 标定了映秀-北川断裂和彭灌断裂的垂向断距和水平断距. 结果表明汶川地震的地表破裂带沿北东东向延伸, 走向介于NE30°~50°之间, 倾向北西, 倾角介于30°~40°之间. 其中北川-映秀断裂带的破裂带从映秀向北东延伸达180~190 km, 属于单侧多点破裂型, 以逆冲-右行走滑为特点, 垂直位错为1.60~6.00 m, 水平位错为0.20~6.50 m; 彭灌断裂的地表破裂带出露于彭州磁峰场-绵竹汉旺之间, 长度为30~40 km, 以逆冲-右行走滑为特点, 垂直位错为0.39~2.00 m之间, 水平位错为0.20~0.70 m. 表明该地震地表破裂带存在逆冲运动分量和右行走滑运动分量, 逆冲运动分量略大于或等于右行走滑运动分量. 根据历史地震和活动构造地貌的年龄测定资料, 作者认为该区单条断

裂的强震复发间隔在1~3ka。在此基础上,初步编制了龙门山地区的地质动力模型图,并认为下地壳物质在龙门山的近垂向挤出和垂向运动,导致了龙门山断裂带的向东逆冲运动、龙门山构造带抬升和汶川特大地震。

5. 学位论文 [刘玉亮 重庆黔江地区第四纪构造活动与地震地质研究](#) 2009

黔江地区地处渝东南,与长江三峡重庆库区相连,与湖北、湖南、贵州三省接壤,是连接三省与重庆的重要的交通要塞。该地区中生代以来经历了多期构造变形,发育滑脱构造,隔档式、隔槽式褶皱近平行排列,第四纪活动断裂广泛分布,曾有过中强地震活动。本文通过详细的野外调查和室内分析,综合运用地质学、地貌学、构造分析、地质统计、岩石学研究的理论和方法,对重庆黔江地区第四纪构造活动与地震地质进行研究。

(1)作为渝东南褶皱隆起区的组成部分,间歇性抬升和断裂活动是黔江地区第四纪构造运动的主要方式,第四纪构造运动具有继承性和新生性特点。第四纪构造运动的主要形迹、水系发展、河流阶地与岩溶地貌的发展,都表现出间歇性抬升和差异断块运动的特征。第四纪活动断裂中最重要的为NNE—NE和NNW—NW向2组。断裂的最新活动不仅切割了晚更新世地层,还控制着现代地震的发生。

(2)黔江地区的地震活动以中小震为主,偶有强震,中小震在空间分布特征表现为:按NE和NNW向断裂带组成的构造格架成带状分布;地震活动南北迁移性;地震分布图像呈现网络性;地震活动的丛集性等。黔江及邻区有记载的地震在时间上分布特征表现在:地震活动表现为相对集中的两个时段,即第一个时段为1855~1856年,以中强震为主,第二个时段为1989年至今,以中小震为主。

(3)黔江小南海处在八面山弧形构造带南段渝东南褶皱隆起区,是我国第二地貌阶梯和第三地貌阶梯的过渡地带,发育NE和NNW向两组断裂,构造背景较复杂。小南海1856年61/4级地震的发震构造为NNW向断裂带,控震构造为规模较大的NE向断裂带。

(4)小南海大垮岩、小垮岩崩滑地貌为小南海1856年61/4级地震所致,地震倒石呈NW—SE方向分布。小南海地震等震线形态为一狭长的椭圆形,长轴方向为NNW,与发震断层基本平行。

(5)对比研究结果表明,小南海地震极震区与2008年5.12汶川8级地震在地震效应与震害方面具有一定程度上的相似性,但汶川地震发震构造为NE向龙门山断裂带的中央断裂,即映秀—北川断裂,具逆冲兼右行走滑性质,能量大,影响范围广;小南海地震发震构造为NNW向断裂,具正断兼平移性质,能量较小,影响范围不大。因小南海地震震源更深(2~8km)、地表岩性差、岩石抗压强度低、地貌反差大,极震区也出现了大规模的崩滑和堰塞湖。小南海地震极震区烈度可以定为Ⅸ度;小南海地震表现为NNW向发震构造的左旋运动和NE向控震构造的右旋运动的发展机制。

(6)在印度板块北北东向、菲律宾板块北西向和太平洋板块南西西向挤压共同影响的动力学环境下,黔江地区新生代以来的构造应力场至少经历三次主压应力方向的转变:早期NNW—SEE或NW—SE;中期为NNE—SSW;晚期为NNW—SEE或NW—SE。

引证文献(9条)

1. [杨晓平](#). [李安](#). [刘保金](#). [鄧少英](#). [陈献程](#). [石金虎](#). [寇昆朋](#). [郭新景](#) [成都平原内汶川M_S8.0级地震的地表变形](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2009(10)
2. [滕吉文](#). [刘财](#). [韩立国](#). [阮小敏](#). [闫雅芬](#). [张永谦](#) [汶川-映秀MS8.0地震的介质破裂与深部物质运移的动力机制](#)[期刊论文]-[吉林大学学报\(地球科学版\)](#) 2009(4)
3. [石峰](#). [何宏林](#). [魏占玉](#) [汶川地震破裂带白沙河段同震水平缩短量的估算](#)[期刊论文]-[第四纪研究](#) 2009(3)
4. [江娃利](#). [张景发](#). [谢新生](#). [刘旭东](#). [龚丽霞](#). [姜文亮](#). [孙昌斌](#) [建立在雷达卫星影像判读基础上四川龙门山断裂带晚第四纪活动特征研究](#)[期刊论文]-[第四纪研究](#) 2009(3)
5. [彭建兵](#). [马润勇](#). [范文](#). [门玉明](#). [林鸿州](#). [邓亚虹](#) [汶川大震的科学思考](#)[期刊论文]-[地球科学与环境学报](#) 2009(1)
6. [朱守彪](#). [张培震](#) [2008年汶川Ms8.0地震发生过程的动力学机制研究](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2009(2)
7. [王虎](#). [冉勇康](#). [陈立春](#). [史翔挺](#) [地表破裂型逆断层地表缩短量计算方法探讨——以汶川MS 8.0地震地表变形为例](#)[期刊论文]-[地震地质](#) 2008(4)
8. [邓起东](#) [关于四川汶川8.0级地震的思考](#)[期刊论文]-[地震地质](#) 2008(4)
9. [陈立春](#). [陈杰](#). [刘进峰](#). [李峰](#). [杨晓平](#). [冉勇康](#) [龙门山前山断裂北段晚第四纪活动性研究](#)[期刊论文]-[地震地质](#) 2008(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzdz200803005.aspx

授权使用: 西北大学(xaxbdx), 授权号: f89529d6-01db-48cf-b4d1-9e9c00df4578

下载时间: 2011年3月4日