

龙门山断裂带晚第四纪活动性分段的初步研究

陈国光¹⁾ 计凤桔¹⁾ 周荣军²⁾ 徐杰¹⁾ 周本刚¹⁾
黎小刚²⁾ 叶友青²⁾

1) 中国地震局地质研究所, 北京 100029

2) 四川省地震局, 成都 610041

摘要 NE向展布于松潘-甘孜造山带与扬子陆块之间的龙门山断裂带,是由后山断裂等4条主干断裂及其控制的冲断构造岩片组成的具前展式发育特点的推覆构造带。它形成于印支运动,此后多次活动,第四纪以来活动强烈,但不同地段活动程度具有明显的非均一性。根据地貌、地质构造、布格重力异常和地震活动等资料的综合分析研究认为:1)以位于虎牙-北川-安县一线的近SN向虎牙断裂和插东断裂为界划分出断裂带西南段和东北段,其活动性迥然不同,西南段晚更新世以来活动强烈,中小地震频繁;东北段第四纪活动微弱,仅偶有小震分布。2)在青藏高原被挤压隆升和块体侧向滑移的作用下,川青地块向SEE滑动,使它东缘发育的岷山隆起与被其截切的龙门山断裂带西南段一起构成了川青地块东部的活动边界,而龙门山断裂带东北段则被遗弃。

关键词 龙门山断裂带 活动性分段 晚第四纪

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4967(2007)03-0657-17

0 引言

龙门山断裂带位于松潘-甘孜造山带与扬子陆块的结合部位,它与岷山隆起共同构成了青藏高原东部边界的中北段。龙门山断裂带及其东南缘最新的前陆盆地是中国中部南北地震构造带的组成部分,它们的活动不仅与川西油气藏的形成密切相关,并且对解释青藏高原东部的动力学和南北地震带的地震活动具有重要意义,故龙门山断裂带的变形特征、形成机制及演化历史等一直为许多地球科学家所关注,并从不同方面作了研究(罗志立,1991;许志琴等,1992,1999;唐荣昌等,1993;陈社发等,1994a,b)。但是,由于断裂带沿线山高谷深,植被茂密,第四系沉积不发育,加之人为破坏,因而对该断裂带第四纪尤其是晚第四纪以来不同区段的活动特征研究较少。

本文在收集了龙门山断裂带及邻区的地貌、活动构造、地球物理和地震等资料的基础上,通过部分野外实地考察,对龙门山断裂带西南段和东北段晚第四纪以来的活动差异性作了综合分析对比,初步论述了断裂带的分段依据,并对导致其活动差异的动力学环境进行了探讨。

1 龙门山断裂带的发育概况

龙门山断裂带南起泸定、天全,向东北经灌县、茂汶、北川、广元北后进入陕西勉县一带,总

〔收稿日期〕 2006-12-26 收稿,2007-07-16 改回。

〔基金项目〕 “十一五”国家科技支撑计划项目“强震危险区划关键技术研究”(2006BAC13B01)资助。

体呈 NE-SW 向展布,长约 500km,宽 30~40km(图 1)。该断裂带是由龙门山后山断裂(由耿达-陇东断裂和茂汶-汶川断裂组成)、主中央断裂(由盐井-五龙断裂、北川-映秀断裂和北川-林庵寺断裂组成)、山前断裂(由大川-双石断裂、灌县-安县断裂和江油断裂组成)和山前隐伏断裂等 4 条主干断裂及其控制的逆冲构造岩片(推覆体)组成的具有前展式发育特点的推覆构造带(唐荣昌等,1993)。

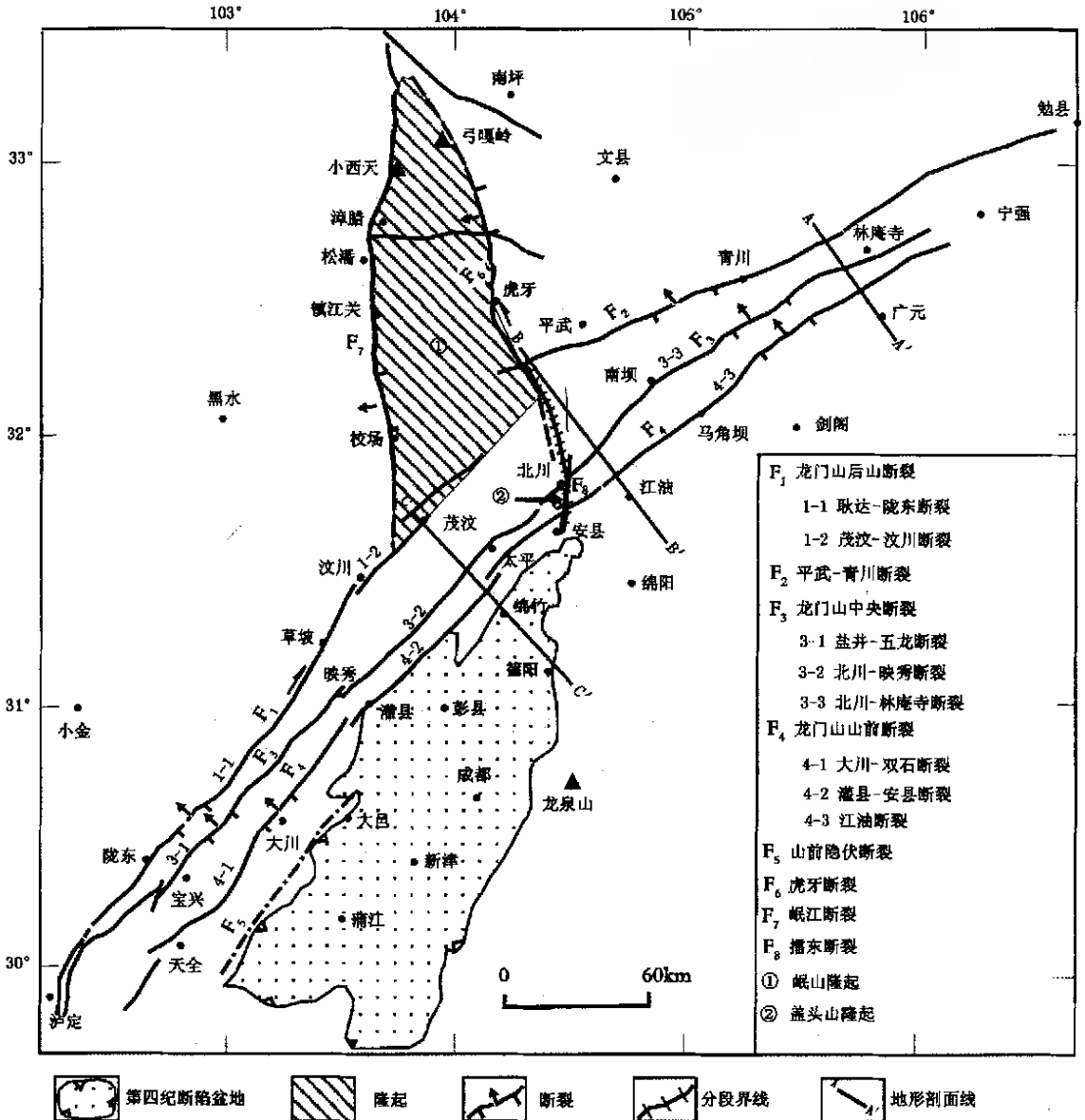


图 1 龙门山断裂带的展布及其分段

Fig. 1 Location of the Longmenshan Fault zone and its segmentation.

该断裂带可能自志留纪开始初现雏形,晚三叠世早期的印支运动使之成形并由北向南逆冲,同时控制了东南缘前陆盆地的发育。晚新生代开始,随着青藏高原被挤压隆升,其东部的地

壳块体被挤出且沿一些主要边界断裂向相对约束较弱的东缘滑移,从而改造了原先的构造格局,形成新的块断构造系统。松潘-甘孜造山带被 NW 向鲜水河断裂带一分为二,西南部川滇地块往 SE 滑移,东北部的川青地块向 SEE 滑移。龙门山断裂带作为川青地块东南边界,总体上仍显示逆断推覆,但具一定的右旋走滑作用。第四纪以来,龙门山断裂带依然表现右旋逆冲活动方式,不过由于不同地段活动的非均一性,使之在构造地貌、地球物理场和地震活动等方面表现出明显的差异。

2 龙门山断裂带西南段和东北段的分段依据

通过对前人有关研究结果的综合分析,龙门山断裂带大致以岷山隆起东界的近 SN 向虎牙断裂和北川至安县一线的擂东断裂(龙学明,1994)为界,分为西南段和东北段(图 1),其晚第四纪活动差异显著。

2.1 地形地貌存在明显差异

基本上由龙门山断裂带控制的“冲断岩片”组成的龙门山,其西南段南部山顶面一般海拔高为 2 500~3 500m,最高 4 000m 左右;北部 2 500~4 000m 左右,茂县境内九顶山高达 4 984m;东北段 1 500~2 500m 左右,最高为 3 000m 左右,总体中部高,西南部较高,东北段低。西南段属于青藏高原东部的前缘过渡地带,山高谷深,与成都平原界线分明,犹如屏障拔地而起,地貌反差强烈;东北段则与之迥然不同。

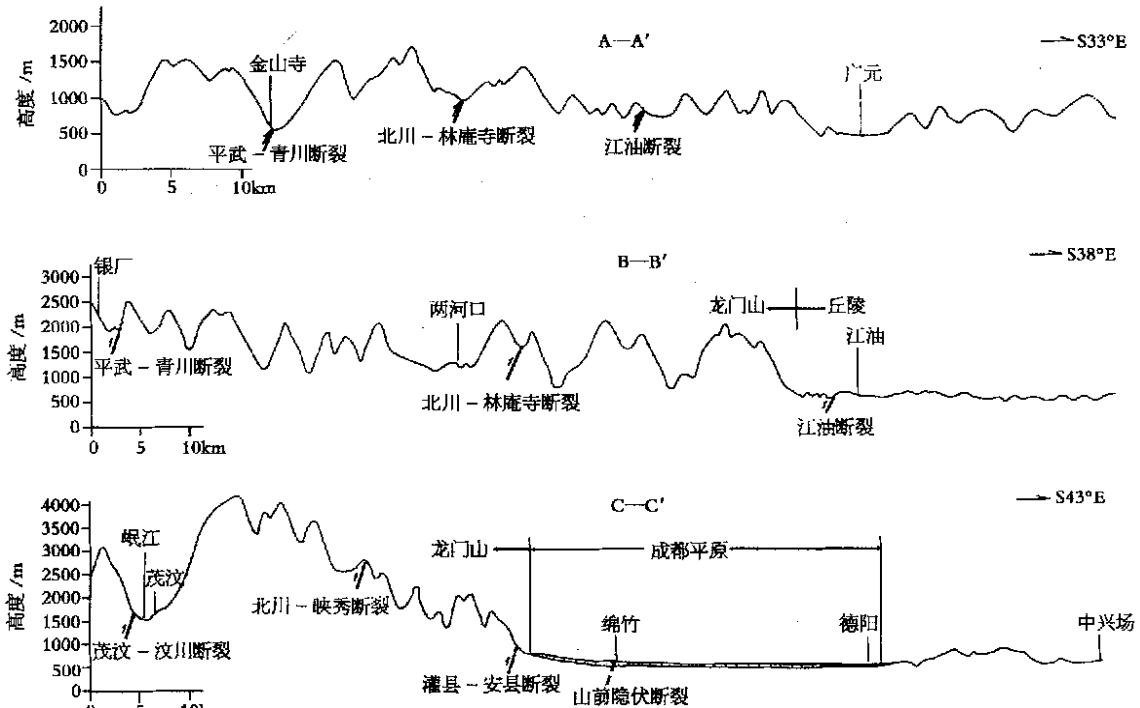


图 2 龙门山断裂带不同区段的地形差异

Fig. 2 Topographical differences at varied sections of the Longmenshan Fault zone.

A-A': 金山寺—广元地形剖面(断裂带东北段); B-B': 银厂—江油地形剖面(断裂带东北段);

C-C': 茂汶—德阳地形剖面(断裂带中段)

图 2 中 C—C 是跨越龙门山断裂带西南段北部的茂汶—德阳地形剖面。由图 2 可见,在断裂带通过处都出现显著的地形反差,切割深度达 1 000m 左右。流经断裂带的岷江自茂汶—灌县段河流的比降在 6‰~10‰ 之间,SL 指数异常(表 1)。由于河流的坡降大,出山后因坡降突然减小而形成扇状水系和巨大的冲积扇,构成成都平原的主体(赵小麟等,1994a,b)。灌县—安县断裂(山前断裂中段)是龙门山和成都平原的边界,对成都断陷第四纪沉积(图 3)有明显的控制作用。

在东北段,如金山寺—广元和银厂—江油的地形剖面(图 2A,B)所示,断裂带通过处两侧地形没有悬殊的高差,切割深度 < 500m,并且沿此段越往东北断裂两侧地形的高差越小。流经断裂带东北段的涪江及其一级支流的河床比降一般在 4‰ 以下(表 1),涪江出山后由于坡降变化不大,保持了单一的主河道,堆积以漫滩相为主的沉积物,并下切形成阶地,山地与平原间为丘陵(赵小麟等,1994a,b)。属于龙门山山前断裂东北段的江油断裂通过丘陵区,地形上为一个宽谷,对第四系沉积没有控制作用。

2.2 断裂活动性差异

在虎牙—安县近 SN 向界线两侧,龙门山断裂带的几条主要断裂自晚更新世以来的活动存在显著差异。

2.2.1 龙门山后山断裂

位于汶川、茂汶一线(图 1),向东北止于茂汶县的神溪沟一带。张金熔等(1994)据遥感图像解译认为,断裂自神溪沟往东北继续延伸,经治城至曲河、古城(青川县西南)一带并入平武—青川断裂,表现为韧性剪切带。现将其暂称为茂汶—汶川断裂的东北延伸部分。

2.2.1.1 茂汶—汶川断裂

该断裂为龙门山后山断裂的中段,在卫片上显示清晰的线性构造(图 4),在断裂通过处断层沟槽、坡中槽、断层陡坎等构造地貌清楚,并同步右旋断错了山脊、阶地和不同长度的冲沟。据周荣军等(2005)①,在茂汶县石鼓,断裂把顶部沉积物 TL 年龄为(2.64±0.17)万年的Ⅱ级阶地右旋断错 15~20m,并形成坡中槽;高坎附近,断裂从Ⅰ级阶地后缘通过形成明显的沟槽负地形。

在汶川县姜维城,晚更新世中晚期形成的Ⅲ级阶地砂砾层中有古地震引起的砂脉穿入(图 5),从砂脉穿过的地层判断,可能是由 2 次古地震事件形成的。

图 6 是茂汶—汶川断裂北端的断裂剖面。断裂通过处在地貌上呈现清晰的线性沟槽。它

表 1 岷江与涪江流经龙门山断裂带时比降和 SL 指数对比^①

Table 1 Comparison of gradient ratios and indexes SL between Minjiang and Fujiang rivers when flowing across the Longmenshan Fault zone

岷 江			涪 江		
地点	河流比降 ‰	SL 指数 ^②	地点	河流比降 ‰	SL 指数 ^②
汶川东北	6	1 178	平武东	4	465
汶川西南	9	2 084	南坝	4	454
映秀西北	10	2 542	江油西北	3	500
映秀	9	2 519			
灌县西北	6	1 592			
灌县东南	5	1 385			

注 ①数据来自赵小麟等,1994a,b; ②SL 指数为河流坡降指数。

① 周荣军等,2005,青藏高原东缘活动构造。

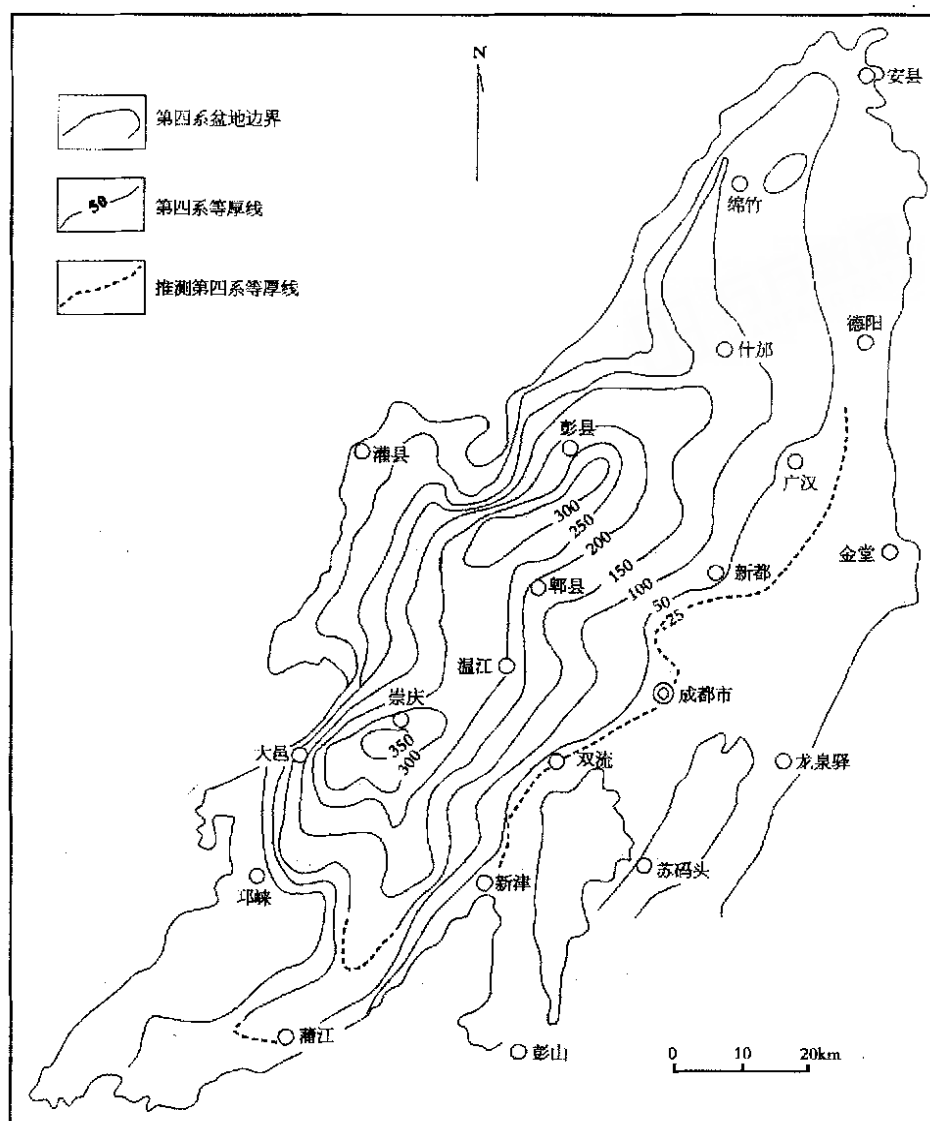


图3 成都平原第四系厚度等值线图(据四川省地质局,1977)

Fig. 3 Contours of Quaternary thickness in the Chengdu plain
(from Geological Administration of Sichuan Province, 1977).

发育在震旦系硅质岩、硅化白云岩与志留系砂页岩之间,形成可见厚度3~4m的钙质胶结断层角砾岩。在断层角砾岩和震旦系硅质岩、硅化白云岩之间有30cm厚、尚未胶结非常疏松的粉状破碎岩,断裂上没有第四纪沉积物覆盖。根据断层地貌、构造岩极为疏松而未胶结等判断,该断裂晚更新世以来可能活动过。

沿茂汶-汶川断裂,历史上曾发生多次5级左右的中强震,其中最大的是1657年汶川附近的6 $\frac{1}{4}$ 级地震。

根据上述茂汶-汶川断裂的构造地貌、古地震引起的砂脉、疏松而未胶结的构造岩和历史上有中强地震活动等判断,该断裂的活动可能延续到全新世,活动性质为右旋逆冲。

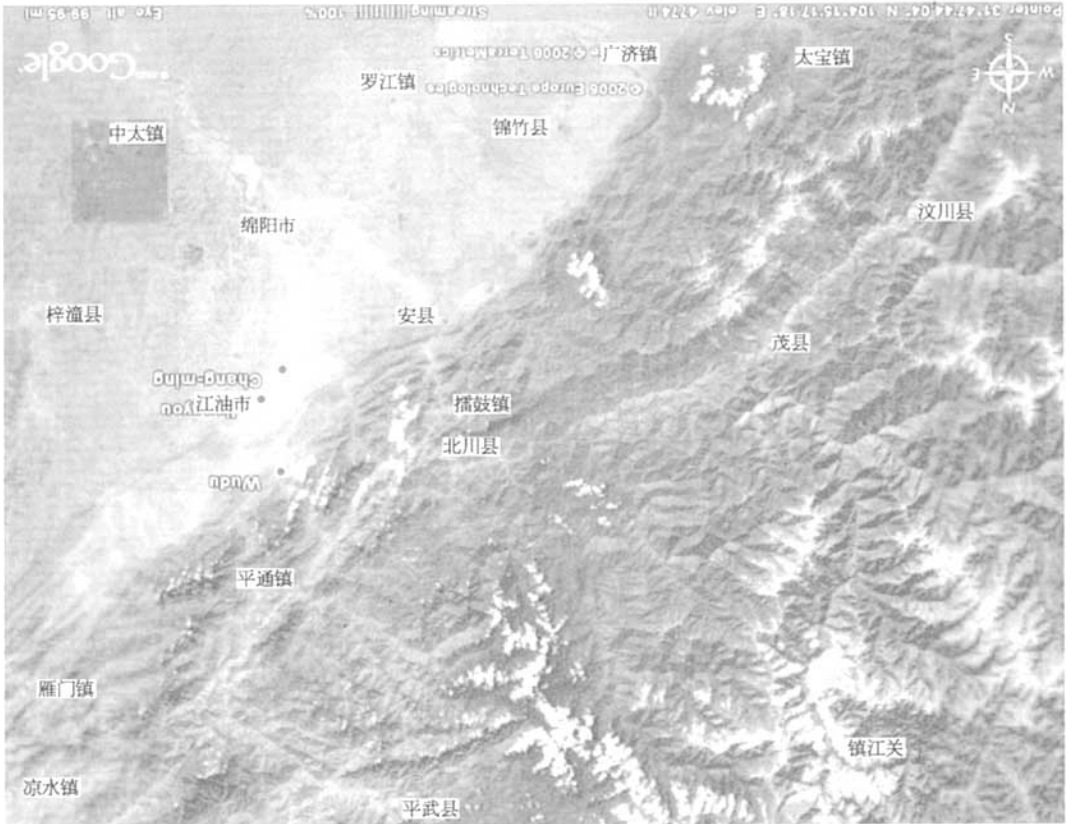


图 4 龙门山断裂带及邻区的卫星影像

Fig. 4 Satellite image of the Longmenshan Fault zone and its surrounding areas.

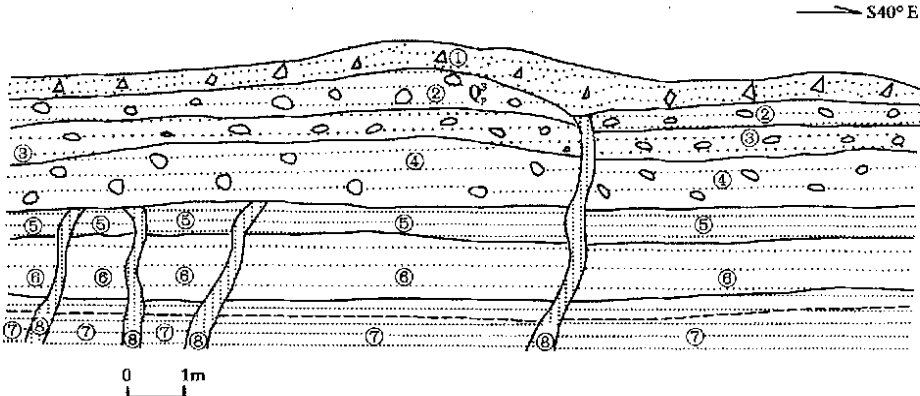


图 5 汶川姜维城河流Ⅲ级阶地砂砾石层中的古地震砂脉①

Fig. 5 Palaeoseismic sandy vein in the coarse sandy layer of terrace III at Jiangwei Town, Wenchuan.

- ①灰黄色坡洪积砾石层；②褐灰色砂夹次棱角状砾石；③粗砂；④褐灰色砂砾石；
⑤黄褐色细-粉砂；⑥土黄色细砂；⑦青灰色细-粉砂；⑧砂脉

① 同 660 页①。

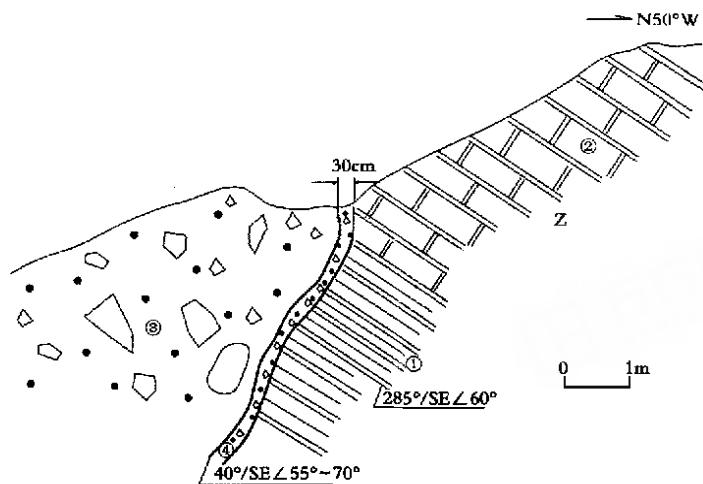


图 6 茂汶县城北一道班茂汶-汶川断裂剖面

Fig. 6 Cross section of Maowen-Wenchuan Fault at Daoban of north Maowen county.

①条带状硅质岩;②灰白色硅化白云岩;③钙质胶结断层角砾岩;④疏松的破碎岩

2.2.1.2 茂汶-汶川断裂 NE 向延伸部分

从卫星影像上看,茂汶-汶川断裂延伸至茂汶县城东北后,走向由 NE 转变为 NEE,断裂痕迹不清楚,影像也变得较模糊,但它未穿过近 SN 向构造(图 4)。据张金熔等(1994)研究,该段断裂东北段在志留系浅变质岩中通过,表现为韧性剪切带,没有晚更新世以来活动的迹象。

综上所述,龙门山后山断裂西南段(茂汶-汶川断裂段)的活动可能一直延续到晚更新世,甚至全新世,而其继续向东北延伸段晚更新世以来没有活动的迹象。

2.2.2 龙门山主中央断裂

龙门山主中央断裂包括南段的盐井-五龙断裂、中段北川-映秀断裂和北段北川-林庵寺断裂(图 1)。文中仅涉及其中段和北段。

2.2.2.1 北川-映秀断裂(中段)

北川-映秀断裂西侧是龙门山的高山区,海拔在 4 000~5 000m,而其东侧即为海拔 1 000~2 000m 的中低山区,断裂两侧地形反差悬殊(图 2C)。断裂在卫星照片上具有清晰的线性影像(图 4)。沿断裂各种断错地貌、断层槽沟、断塞塘等断裂地貌颇为发育,保存完好。

断裂在北川擂鼓北呈一典型的断裂沟槽,并右旋位错了下部沉积物 TL 年龄为 (8.3 ± 0.7) ka BP 的小冲沟达 8m^①。它在寒武系灰岩和砂岩中通过时使地层产生右旋逆冲的牵引(图 7),并在地形上形成陡坎,但因缺少新沉积物覆盖而难以确定其活动时代。

图 8 为北川-映秀断裂的构造破碎带,断裂发育在中-上志留统中,破碎带可见宽度约 5m,在破碎带的两侧断面上均有 2cm 左右厚、具磨擦镜面、细腻的灰白色新鲜断层泥,表明断裂活动时代相对较新。在该构造破碎带上方约几十米高处,断裂断错了 ¹⁴C 年龄为 (13.80 ± 0.26) ka BP 的沉积物(图 9)^②。

① 同 660 页①。

② 四川省地震局工程地震研究院,2005,95 工程场地地震安全性评价报告。

图 10 是北川-映秀断裂在胥家沟附近断塞塘的探槽剖面。在该剖面中可揭示出 2 次古地震事件:事件 I 发生在层④沉积以后,即 ^{14}C 年龄为 $(21.91 \pm 0.29)\text{ka BP}$ 以后,被层⑤所覆盖;根据砂脉②的穿透层位为层⑥,即 ^{14}C 年龄为 $(11.77 \pm 0.36)\text{ka BP}$ 判断,事件 II 应发生在该年龄以后^①。

沿该断裂历史上发生过多次中强地震,最大是 1958 年北川附近的 6.2 级地震。

因此,根据北川-映秀断裂的构造地貌、线性影像、地质剖面揭露的断裂活动性,以及所获得的年代

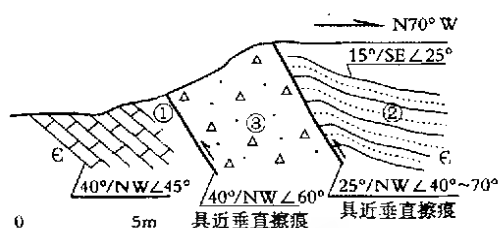


图 7 北川擂鼓北垭坎北川-映秀断裂剖面
Fig. 7 Cross section of the Beichuan-Yingxiu Fault at Yankan north to Leigu of Beichuan.

①灰黑色中薄层灰岩;②灰黑色中薄层细砂岩;
③灰岩破碎带

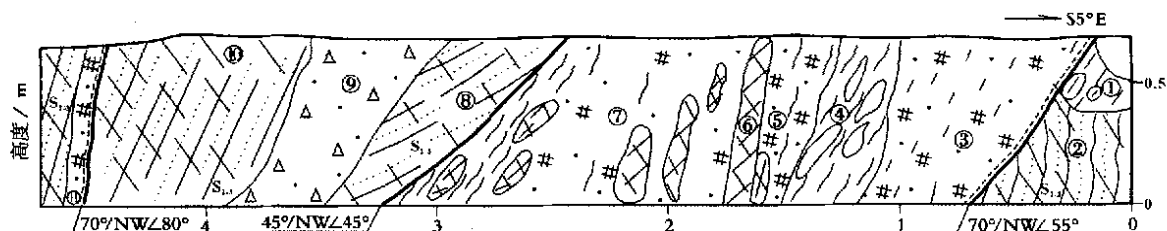


图 8 擂鼓盖头山西侧高楼门北小河左岸北川-映秀断裂的构造破碎带

Fig. 8 Crush belt in the Beichuan-Yingxiu Fault on the left bank of the Beixiaohe river, north of Gaoloumen, west flank of the Gaitoushan in Leigu.

①灰白色、灰黄色夹砂砾;②灰黄色砂岩破碎带;③灰白色碎裂岩,断裂面上有 2cm 左右厚、具滑动镜面的灰白色断层泥;
④灰黄色透镜体带;⑤灰黄色、灰白色碎裂岩夹透镜体带;⑥灰紫色破碎透镜体;⑦灰黄色透镜体带,断面附近有片理化;
⑧灰黑色灰岩砂岩破碎带,略具层理;⑨灰黄色断层角砾;⑩灰黄色略具层理砂岩;⑪灰黄色、灰白色断层泥夹砂砾

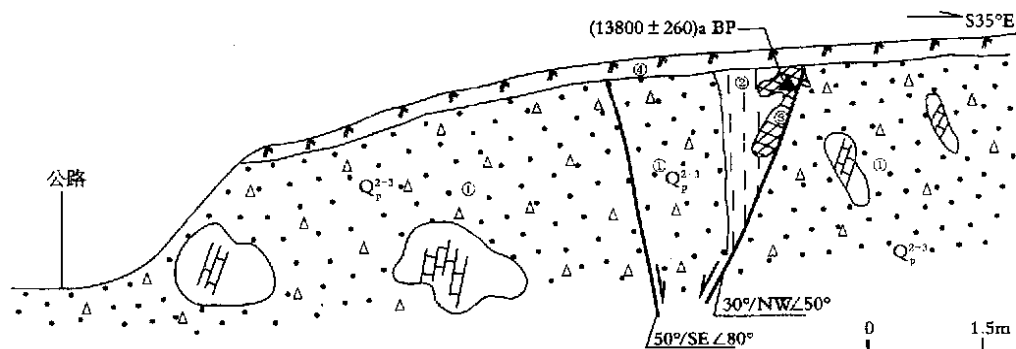


图 9 擂鼓盖头山西坡北川-映秀断裂剖面^①

Fig. 9 Cross section of the Beichuan-Yingxiu Fault at the western slope of the Gaitoushan hill in Leigu.

①褐红色黏土夹灰岩碎块;②土黄色黏土;③黑色黏土夹泥炭;④现代耕作土;▲ ^{14}C 采样点

① 同 660 页 ①。

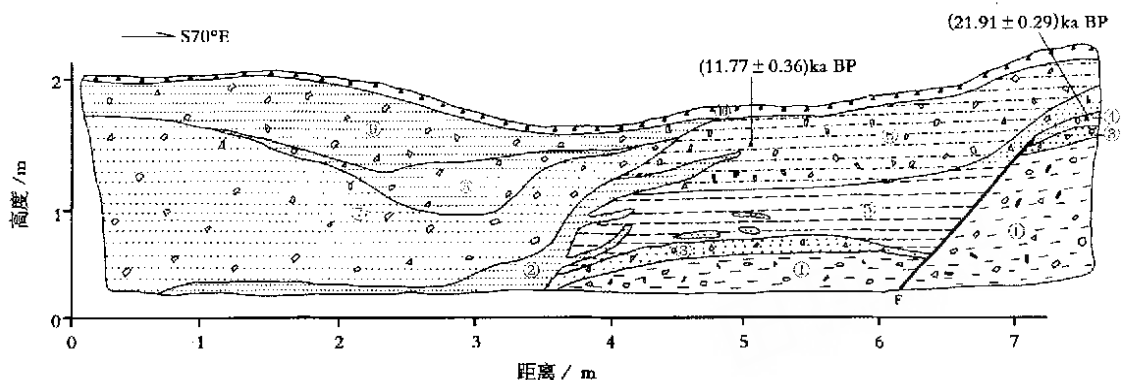


图 10 胥家沟附近北川 - 映秀断裂探槽剖面^①

Fig. 10 Cross section of the trench on the Beichuan-Yingxiu Fault near Xujiagou.

①棕黑色块碎石夹黏土、炭化木; ②灰黑色黏质粉砂; ③灰白色粗砂夹块碎石; ④灰黑色砂土夹块碎石、炭屑; ⑤灰白色黏土; ⑥褐黄色砂质黏土; ⑦土黄色砂土夹块碎石; ⑧青灰色粗砂夹块碎石; ⑨黄黑色块碎石夹砂土; ⑩现代腐殖土; ▲¹⁴C采样点及年代

学证据,可判定该断裂晚更新世晚期以来仍有较强烈的活动。

2.2.2.2 北川 - 林庵寺断裂

它为龙门山主中央断裂之北段。该断裂在卫星影像上有一定显示(图4),断裂在山坡上通过时形成一个不太清晰的坡折,在软弱岩层(如志留系页岩等)中通过时呈现为宽谷。

在北川北黄家坝村桥头,断裂发育于泥盆系灰岩和浅变质的志留系千枚状页岩之间,页岩破碎、变形强烈,灰岩较破碎。在破碎的两套地层间发育了10~50cm宽、半胶结的挤压透镜体和片理带(图11)。黄家坝村向北的复兴西南张家沟,断裂从半山腰通过,地貌上无显示;断错地层为寒武系砂岩与志留系砂页岩(图12),破碎岩为半胶结 - 胶结状态的构造角砾岩和密集劈理带。

在广元彭家湾,断裂上覆厚约3m的中更新世堆积物保存完好,在其下部样品的TL年龄为 $(124.83 \pm 7.25) \text{ ka}^{\text{②}}$ (图13)。根据地貌、构造岩胶结程度和上覆堆积物的测年资料,它晚更新世以来无活动。

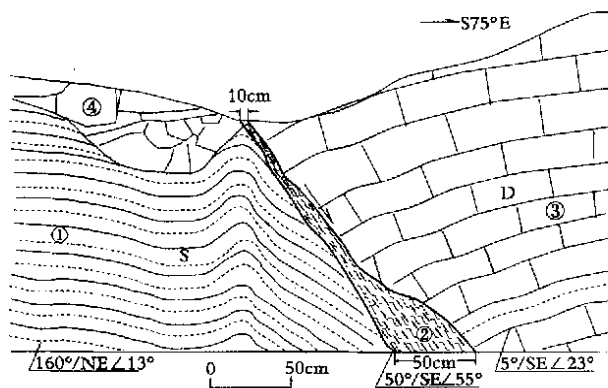


图 11 北川北黄家坝村桥头北川 - 林庵寺断裂剖面
Fig. 11 Cross section of the Beichuan-Linansi Fault at Qiaolou of Huangjiaba village, Beichuan.

①灰色、灰黄色千枚状页岩,破碎,近断裂处有牵引; ②挤压透镜体及挤压片理带,下宽上窄; ③中薄层灰岩,有方解石脉穿插,近断裂面处薄层灰岩有牵引; ④塌落体

① 同 660 页①。

② 中国地震局地质研究所,1999,兰州 - 成都输油管道工程沿线断裂活动性评价报告。

沿北川-林庵寺断裂历史上没有发生过破坏性地震,现代小震活动也很弱。

根据上述断裂的构造地貌、破碎岩的胶结程度、断裂上覆沉积物的年代和地震活动特征判断,北川-林庵寺断裂晚更新世以来没有地表活动的证据。

2.2.3 龙门山山前断裂

龙门山山前断裂包括灌县-安县断裂(中段)和江油断裂(东北段)(图1)。

2.2.3.1 灌县-安县断裂

该断裂在卫片上线性影像清晰(图4);沿断裂断层陡坎、边坡脊、断层沟槽、断错水系和山脊,以及大小不一的断塞塘等各种断裂地貌发育;它控制了成都第四纪断陷盆地的发育^①。

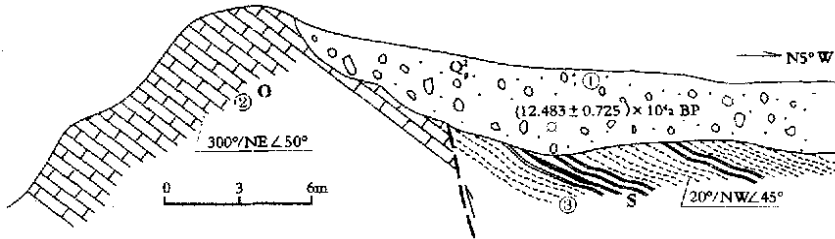


图 13 广元彭家湾北川-林庵寺断裂剖面②

Fig. 13 Cross section of the Beichuan-Linansi Fault at Pengjiawan, Guangyuan City.

周荣军等(2005)^③,在大邑青石坪沿该断裂开挖的探槽中,揭示出2次古地震事件,最新一次发生的¹⁴C年龄为(3 830 ± 220) ~ (1170 ± 100) a BP,而比较接近前者。

在彭州菩萨堂开挖的剖面上,灌县-安县断裂发育于洪积砂砾石和灰色、灰黑色的黏土夹碎石(断塞塘沉积)之间,由2条次级断裂组成,断面光滑,具有清晰的斜擦痕。断裂断错了TL年龄为(14.30 ± 0.11) ka BP的地层(图14),表明该断裂自晚更新世晚期以来仍有较强烈的活动。

沿该断裂于1327年和1970年分别发生过6级和6.2级地震。

2.2.3.2 江油断裂

该断裂又称香水断裂(邓起东等,1994)或马角坝断裂(唐荣昌等,1991)。它主要发育于中生代地层中,线性地貌不明显(图4),呈一宽谷。断裂规模小,由数条延伸长度<20km的次级断裂组成,破碎带宽仅几米,构造岩胶结程度好^②。

图15是江油断裂的一个剖面,主断裂被I级阶地的沉积物覆盖,沉积物未变形。从断裂两侧地层的完整性看,下盘侏罗系灰岩比较完整,仅发育一些节理;而上盘三叠纪地层变形较强

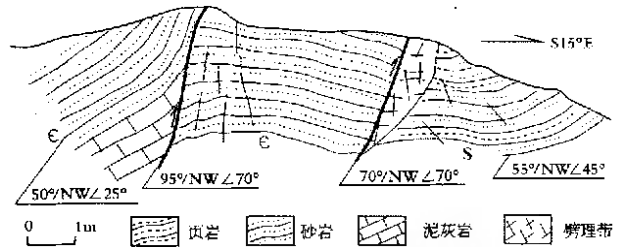


图 12 北川北复兴西南张家沟北川-林庵寺断裂剖面

Fig. 12 Cross section of the Beichuan-Linansi Fault at Zhangjiagou, southwest of Fuxing, north to Beichuan.

① 李勇等,2005,青藏高原东缘龙门山晚新生代走滑挤压作用的沉积响应。

② 同 665 页②。

③ 同 660 页①

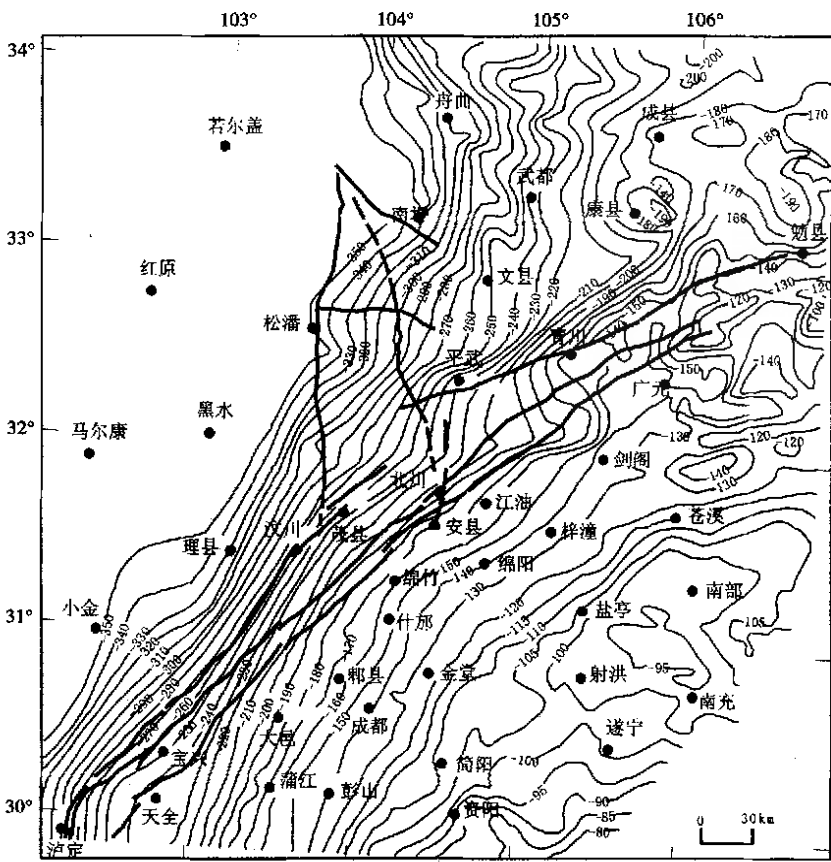


图 16 龙门山断裂带及邻区布格重力异常图(单位:mgal)②③

Fig. 16 Map showing Bouguer gravity anomalies around the Longmenshan Fault zone(unit: mgal).

2.4 龙门山断裂带中段和东北段小震活动的差异

图 17 示龙门山断裂带及邻区 37 年(1966 年 4 月至 2003 年 12 月)仪器记录的 $M_L \geq 2.0$ 地震震中分布^①。在北川—安县一线的两侧,地震震中分布图像明显不同。西侧沿龙门山断裂带中和西南段小震活动频繁,成带性明显(图 17a,b,c),并有多次中强地震(图 17d);东侧的龙门山断裂带东北段,除在剑阁西侧有一略呈 NW 向的 $M_L = 2.0 \sim 2.9$ 地震密集区外(图 17a),其余地区小震频度低而分散,没有发生过 5 级以上的中强地震(图 17d)。

北川—安县一线两侧小震活动频度、成带性及中强地震发生率等的明显差异,也证实了这一分段界线的存在。

2.5 近 SN 向断裂带的存在及其活动性

由图 4 可见,从虎牙、北川和安县一线断续存在着一条清晰的近 SN 向线性影像。根据已有

① 国家地震局分析预报中心编,《中国地震详目》。
② 据国家测绘局资料,1978。
③ 据地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所资料,1989。

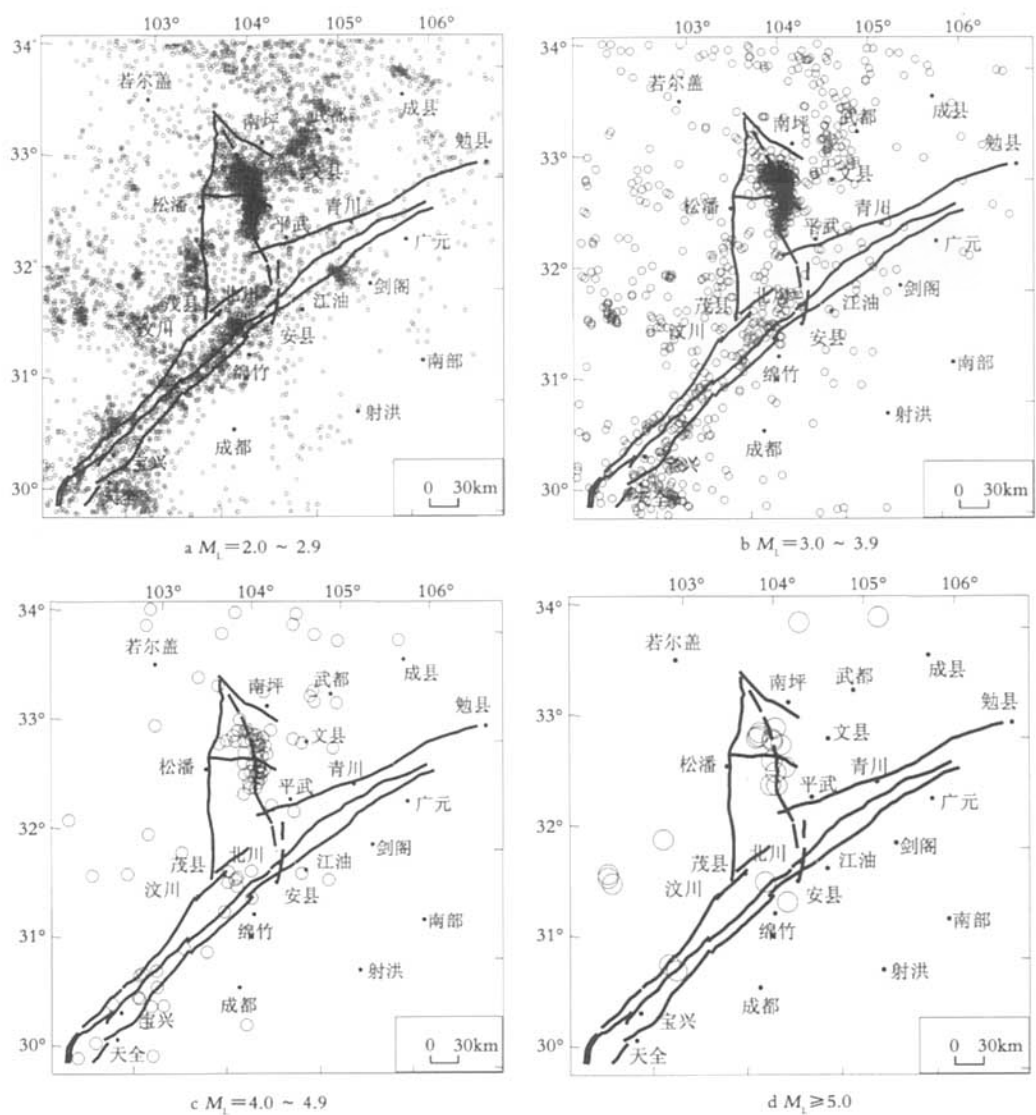


图 17 龙门山断裂带及邻区 $M_L \geq 2$ 的地震震中分布图(地震资料取自 1966 - 04 - 2003 - 12)

Fig. 17 Distribution of $M_L \geq 2$ earthquakes around the Longmenshan Fault zone
(data of April 1966 ~ December 2003).

的地质资料,影像北段是虎牙断裂,南段相当于播东断裂的位置。对于虎牙断裂,前人已做过比较详细的研究(唐荣昌等,1993;邓起东等 1994),它是一条全新世以来活动强烈的断裂,控制了岷山第四纪强烈隆起的东界,沿此断裂历史上发生过多中强地震,1976 年发生了 2 次 7.2 级和 1 次 6.7 级地震。

关于播东断裂知之甚少,在 1/20 万绵阳幅区测图(四川省地质局第二区域地质测量队,1970)上仅填出该断裂的北段,向南呈弧形与龙门山断裂带中的次级断裂相连。张金熔等(1994)根据遥感图像解译确定了这条断裂。

播东断裂在卫星影像上有清晰的显示,并左旋错断了龙门山主中央断裂和山前断裂。地貌

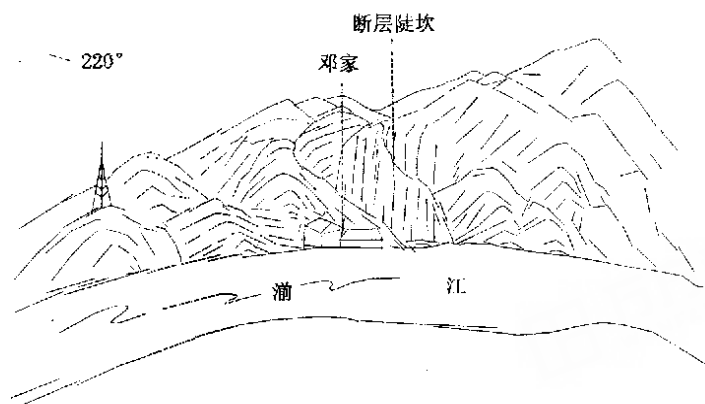


图 18 北川东北上渡口南眺擂东断裂的断层地貌

Fig. 18 Morphostructure of the Leidong Fault at Nantiao, Shangdukou, northeast to Beichuan.

上表现为一深切的断层沟槽,沟槽一侧有高达 10 多米的断层崖(图 18)。在擂鼓镇南辕门坝的一个采石场揭示了该断裂的活动特征。断裂发育在中三叠统白云质灰岩中,可见破碎带宽度 8m 左右(其余被覆盖),近主断面有宽 1.5m 左右、结构疏松的挤压透镜体和破碎岩带(图 19),主断面上清晰的斜擦痕指示断裂呈左旋逆冲性质。

擂东断裂延伸方向为断层沟槽,植被十分发育,难以揭示其第四纪活动的确切时代。但根据周荣军等(2005)研究^①,位于擂东断裂以西的盖头山是第四纪的新隆起;同时,从成都平原第四系厚度由西南向东北逐渐递减,至安县一带已缺失连续的第四纪冲积层,其沉积的东北边界受到擂东断裂南延部分制约(图 3),以及清晰的线性影像和断错晚第四纪较强烈活动的龙门山主中央断裂和山前断裂、深切的断裂沟槽和疏松的断裂破碎带等推断,擂东断裂在晚第四纪时期有过活动。

综上所述,无论从地形地貌、断裂活动性,还是从布格重力异常、中小地震的活动等方面看,在平武—北川—安县一线存在

一条断续延伸的近 SN 向断裂构造带,它和其以西的第四纪新隆起把龙门山断裂带分为中段和东北段,并使这两段在断裂活动强度、活动时代及地震活动性等方面产生了显著差异。

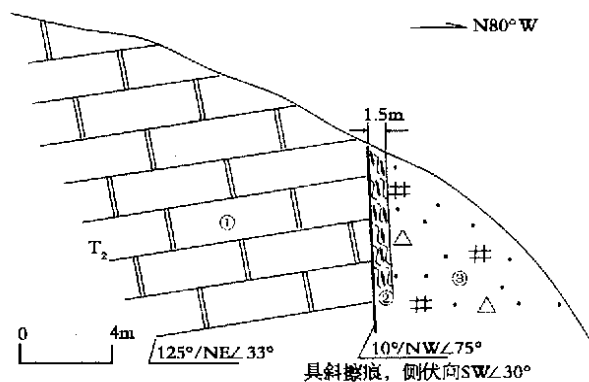


图 19 北川擂鼓南辕门坝擂东断裂剖面

Fig. 19 Cross section of the Leidong Fault at Nanyuanmenba, Leigu, Beichuan.

- ①中三叠统白云质灰岩; ②挤压透镜体和碎裂岩带;
③白云质灰岩破碎带

①同 660 页①。

3 龙门山断裂带西南段与东北段第四纪活动差异的动力学环境

晚三叠世中晚期的印支运动,松潘-甘孜造山带全面褶皱隆升、并由北向南往扬子陆块逆冲推覆,使龙门山断裂带成形,同时控制了前陆盆地的形成和发展。到第四纪,由于青藏高原强烈隆升及其产生的侧向挤压作用,使高原东北部的川青地块向 SEE 滑移。该滑动地块不仅导致其东缘 SN 向的岷山挤压抬升,而且因岷山隆起的限制和阻挡,致使与之相关的龙门山断裂带中段和西南段强烈活动,它们共同构成川青地块东部的活动边界,而龙门山断裂带东北段则被废弃,其活动性明显减弱,至晚更新世以来趋于停息(罗立志,1991;陈社发等,1994a,b;邓起东等,1994;龙学明,1994)。

岷山隆起与龙门山断裂带中段和西南段组成了统一的川青块体东部边界,接受由青藏高原隆升产生的强大侧压作用而继续活动,成为中国中部南北地震构造带的组成部分。此时龙门山断裂带相关地段的活动性质由强烈的推覆逆掩或逆冲转变为逆冲兼右旋走滑。

4 认识和问题

通过上面的分析,可得到以下几点认识:

(1)虎牙断裂、擂东断裂及其西侧的岷山和盖头山第四纪新隆起共同组成了近 SN 向的分段界线,把龙门山断裂带分为活动性截然不同的中段和东北段,并且它与龙门山断裂带中段和西南段组成了统一的川青块体东部活动边界,成为中国中部南北地震构造带中段的重要组成部分。

(2)龙门山断裂带中段是晚更新世以来强烈活动段,历史上发生过多中强地震,现代小震成带分布,因而具备发生强震的构造条件;东北段自第四纪以来活动性明显减弱,晚更新世趋于停息,小震活动微弱,因此不具备发生强震的构造条件。

由于本区山高谷深,植被繁茂,因而对擂东断裂的活动特征和最新活动时代还未获得确凿证据;盖头山第四纪新隆起是岷山隆起的南延,还是一个局部的单体?两者之间有何内在联系?这些问题均有待深入工作。

本文成稿中得到钱洪、黄祖智和张裕明研究员等的热情指导,周荣军总工程师提供了很多最新资料,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 陈社发,邓起东,赵小麟,等. 1994a. 龙门山中段推覆构造带及相关构造的演化历史和变形机制(一)[J]. 地震地质, 16(4): 404—412.
- CHEN She-fa, DENG Qi-dong, ZHAO Xiao-lin, *et al.* 1994a. Deformational characteristics, evolutionary history, and deformation mechanism of the middle Longmenshan thrust-nappes and related tectonics (I) [J]. Seismology and Geology, 16(4): 404—421 (in Chinese).
- 陈社发,邓起东,赵小麟,等. 1994b. 龙门山中段推覆构造带及相关构造的演化历史和变形机制(二)[J]. 地震地质, 16(4): 413—421.
- CHEN She-fa, DENG Qi-dong, ZHAO Xiao-lin, *et al.* 1994b. Deformational characteristics, evolutionary history, and deformation mechanism of the middle Longmenshan thrust-nappes and related tectonics (II) [J]. Seismology and

- Geology, 16(4): 404—421(in Chinese).
- 邓起东,陈社发,赵小麟,等. 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—402.
- DENG Qi-dong, CHEN She-fa, ZHAO Xiao-lin, *et al.* 1994. Tectonics, seismicity and dynamics of Longmenshan mountains and its adjacent regions [J]. Seismology and Geology, 16(4): 389—402(in Chinese).
- 龙学明. 1994. 龙门山中北段地史发展的若干问题[A]. 见:罗立志主编. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化. 成都:成都科技大学出版社. 149—156.
- LONG Xue-ming. 1994. Several questions of geochronic evolution in the mid-northern segment of the Longmen Mountains [A]. In: LUO Li-zhi(ed). Uplift of the Longmenshan orogenic belt, and formation and evolution of the Sichuan basin. Science and Technology Press of Chengdu, Chengdu. 149—156(in Chinese).
- 罗立志. 1991. 龙门山造山带岩石圈演化的动力学模式[J]. 成都地质学院学报, 18(1): 1—7.
- LUO Li-zhi. 1991. Dynamic models of the lithospheric evolution of the Longmenshan orogenic belt [J]. Bulletin of Geological Institute of Chengdu, 18(1): 1—7(in Chinese).
- 四川省地质局. 1977. 成都幅区域水文地质普查报告(1: 200000)[R].
- Geological Bureau of Sichuan Province. 1977. Report of Hydrogeological Reconnaissance of the Chengdu area (1: 200000)[R]. (in Chinese).
- 四川省地质局第二区域地质测量队. 1970. 绵阳幅区域地质测量报告(1: 200000)[R].
- Second Team of Regional Geological Survey, Geological Bureau of Sichuan Province. 1970. Report of Geological Survey of the Mianyang area(1: 200,000)[R]. (in Chinese).
- 唐荣昌,韩渭宾主编. 1993. 四川活动断裂与地震[M]. 北京:地震出版社. 123—132.
- TANG Rong-chang, HAN Wei-bing(eds). 1993. Active faults and earthquakes in Sichuan Province [M]. Seismological Press, Beijing. 123—132(in Chinese).
- 唐荣昌,文德华,黄祖智,等. 1991. 松潘—龙门山地区主要活动断裂带第四纪活动特征[J]. 中国地震, 7(3): 64—71.
- TANG Rong-chang, WEN De-hua, HUANG Zhu-zhi, *et al.* 1991. The Quaternary activity characteristics of several major active faults in the Songpan-Longmenshan region [J]. Earthquake Research in China, 7(3): 64—71(in Chinese).
- 许志琴,侯立玮,王宗秀,等著. 1992. 中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M]. 北京:地质出版社. 73—87.
- XU Zhi-qin, HOU Li-wei, WANG Zong-xiu, *et al.* 1992. Processes of mountain building of the Songpan-Ganzi orogenic belt in China [M]. Geological Publishing House, Beijing. 73—87(in Chinese).
- 许志琴,杨经绥,姜枚,等. 1999. 大陆俯冲作用及青藏高原周缘造山带的崛起[J]. 地学前缘, 6(3): 139—151.
- XU Zhi-qin, YANG Jing-sui, JIANG Mei, *et al.* 1999. Continental subduction and uplifting of the orogenic belts at the margin of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Earth Science Frontiers, 6(3): 139—151(in Chinese).
- 赵小麟,邓起东,陈社发. 1994a. 龙门山逆断裂带中段的构造地貌学研究[J]. 地震地质, 16(4): 422—428.
- ZHAO Xiao-lin, DENG Qi-dong, CHEN She-fa. 1994a. Tectonic geomorphology of the middle segment of the Longmenshan thrust fault zone [J]. Seismology and Geology, 16(4): 422—428(in Chinese).
- 赵小麟,邓起东,陈社发. 1994b. 岷山隆起的构造地貌学研究[J]. 地震地质, 16(4): 429—439.
- ZHAO Xiao-lin, DENG Qi-dong, CHEN She-fa. 1994b. Tectonic geomorphology of Mingshan uplift in western Sichuan, southwestern China [J]. Seismology and Geology, 16(4): 429—439(in Chinese).
- 张金熔,丁伟明. 1994. 龙门山中北段遥感图像解译的新发现[A]. 见:罗立志主编. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化. 成都:成都科技大学出版社. 188—194.
- ZHANG Jin-rong, DING Wei-ming. 1994. New discoveries of remote sensing image interpretation in central-northern

segment of Longmen Mountains [A]. In: LUO Li-zhi(ed). Uplift of the Longmenshan orogenic belt, and formation and evolution of the Sichuan basin. Science and Technology Press of Chengdu, Chengdu. 188—194 (in Chinese).

PRIMARY RESEARCH OF ACTIVITY SEGMENTATION OF LONGMENSHAN FAULT ZONE SINCE LATE-QUATERNARY

CHEN Guo-guang¹⁾ JI Feng-ju¹⁾ ZHOU Rong-jun²⁾ XU Jie¹⁾
ZHOU Ben-gang¹⁾ LI Xiao-gang²⁾ YE You-qing²⁾

1) *Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*

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

Abstract

The Longmenshan Fault zone, trending in NE, lies between the Songpan-Ganzi orogenic belt and the Yangzi block. It consists of four major faults, such as the Houshan Fault, and related thrusting sheets. It is a nappe structure characterized by forward spreading. It formed during the Indo-China movement and was active many times since then. Since the Quaternary, this fault zone has been very active, and exhibits differential activity on its various sections. In this work, we make an integrated analysis of this fault zone based on data of geomorphology, geology, Bouguer gravity anomalies, and earthquakes. The results show that the near NS-striking Leidong Fault, located along Beichuan-Anxian, is the boundary between the middle and northeastern sections of the Longmenshan Fault zone. The two sections have high distinctive activity. The middle section is very active since late Pleistocene time with frequent medium-and small-sized earthquakes, while the northeastern section has weak activity since Quaternary with occasional small earthquakes. Due to the compression and uplift of the Tibetan Plateau and lateral sliding of blocks, the Sichuan-Qinghai block moves towards SEE, resulting in an active boundary of the block. This boundary includes the Mingshan uplift and the middle and southwestern sections of the Longmenshan Fault zone, both of which are truncated by the Mingshan uplift. And the northeastern section of the Longmenshan Fault zone has been abandoned.

Key words Longmenshan Fault zone, activity segmentation, late-Quaternary

〔作者简介〕 陈国光,男,1951年生,1975年毕业于南京大学地质系,副研究员,现主要从事地震工程和新构造学研究,电话:010-62009150, E-mail: dzscgg@sina.com。