文章编号: 1009-3850(2008) 03-0001-07

汶川特大地震后成都盆地内隐伏断层活动性分析

董顺利,李 勇,乔宝成,马博琳,

张毅,陈浩,闫亮

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室,四川 成都 610059)

摘要: 成都盆地内主要有 3条隐伏的活动断裂带, 包括大邑断裂带、蒲江 新津断裂带和龙泉山断裂带, 它们在第四纪 都表现出了一定的活动性。"512"汶川特大地震后, 笔者实地考察的结果表明, 在汶川特大地震中成都盆地中的隐 伏断裂没有产生新的活动性, 目前成都盆地不存在发生特大地震的危险性, 是安全的。

关键 词: 汶川特大地震;成都盆地;活动断层;历史地震

中图分类号: P542⁺. 3 文献标识码: A

2008年 5月 12日,四川省汶川县映秀镇发生 M8. (级特大地震,为了解大地震中成都盆地隐伏 断裂有没有产生新的活动性,2008年 6月 3~4日 两天,成都理工大学十几位专家对成都盆地内的大 邑断裂带、蒲江 新津断裂带和龙泉山断裂带进行了 详细的实地考察,现将考察结果总结如下。

1 盆地概况

成都盆地位于青藏高原东缘, 西以龙门山为界, 东以龙泉山为界, 呈"两山夹一盆"构造格局 (图 1), 并显示为狭窄的线性盆地。盆地的长轴方 向为北东南西(NNE30°~40°), 与龙门山构造带 平行, 长为180~210^{km}, 盆地的短轴方向为北西南 东向, 垂直于龙门山构造带, 宽为50~60^{km}, 面积约 8400^{km²}。成都盆地内部可进一步分为3个凹陷 区, 即西部边缘凹陷区、中央凹陷区和东部边缘凹陷 区。其中西部边缘凹陷区位于关口断裂与大邑隐伏 断裂之间, 第四系沉积最大厚度为253^m, 主要由新 近系一下更新统、上更新统和全新统沉积物构成, 中 更新统极不发育; 中央凹陷区位于大邑隐伏断裂与 蒲江 新津隐伏断裂之间, 第四系沉积厚度巨大, 最 大沉积厚度为 541^m, 地层发育齐全, 同时也是中更 新统厚度最大的地区; 东部边缘凹陷区位于蒲江 新 津隐伏断裂与龙泉山断裂之间, 第四系沉积厚度薄, 主要为上更新统, 缺失下更新统和中更新统, 厚度仅 为 20^m左右。因此, 自西向东, 在成都盆地的短轴方 向, 第四系沉积厚度跨度为 20~541^m, 宏观上表现 为西部边缘陡, 东部边缘缓, 呈明显的楔状特征^[1,2] (图 2)。

2 历史地震

据统计,历史上成都盆地内的地震主要沿大邑 断裂、蒲江新津断裂和龙泉山断裂分布,其中,沿大 邑断裂分布的历史地震有 1987年灌县(都江堰)附 近的4.7级地震,1989年邛崃4.级地震,1993年郫 县竹瓦铺4.4级地震,现代小震也沿此断裂带分布。 1994年江油彰明4.7级地震也发生在此断裂北延部 分的江油 广元断裂上。发生于蒲江新津断裂的历 史地震有 1328年蒲江4.5级地震,1734年蒲江 5级 地震,1943年成都 5级地震,1962年洪雅5.1级地

收稿日期: 2008-07-23, 改回日期: 2008-07-31

作者简介: 董顺利 (1984—), 男, 硕士生, 主要从事沉积学研究。 T^c! (028) 84074002 E^{m a}il d^s2003 1984[@] ^{ya}h^{oo, con, cn} 资助项目: 国家自然科学基金项目 (4980 301 3, 403 720 84, 40 841 01 0); 中国地质调查局应急项目



图 1 青藏高原东缘地质构造与大地构造位置图 (据李勇等, 2006,修改)

1 走滑断层; 2 逆断层; 3 主要断裂及编号:①鲜水河断裂; ② 大渡河断裂; ③ 东昆仑断裂; ④岷江断裂; ⑤虎牙断裂; ⑥茂县 汶川断裂; ⑦北川 映秀断裂; ⑧彭县 灌县断裂; ⑨大邑断裂; ⑩蒲江 新津断裂; ⑪龙泉山西坡断裂; ⑫龙泉山东坡断裂 4 性质不明断层; 5. 成都盆地 Fig 1 Map showing the geological structures and regional tectonics of the easternmagin of the Qinghai-X izang Plateau (modified from Li Yong et al, 2006)

1= strke-slip fault 2= thrust fault 3= major fault and its number ① = Xianshuhe fault ② = Daduhe fault ③ = EastKunlun fault ④ = Minjiang fault ⑤ = Huya fault ⑥ = Maoxian W enchuan fault ⑦ = Beichuan Yingxiu fault ⑧ = Pengxian Guanxian fault ⑨ = Dayi fault ⑩ = Pujiang Xinjin fault ⑪ = W est Longquan shan fault ② = EastLongquan shan fault 4= uncertain fault 5= Chengdu Basin

震, 1966年蒲江3.3级地震, 1971年新都3.4级地震, 现代小震也较频繁¹³。自有仪器记录以来。1958 年到 2005年 12月龙泉山断裂带共发生 MI≥ 2.0级 地震66次(四川省地震目录),其中2.5~2.9级地震 24次, 3.0~3.9级地震12次, 4.0~4.9级地震 6次, 5.0~5.9级地震1次。其中比较有影响的几次地震 有 1967年 1月 24日双流籍田5. 3级地震; 1969年 2 月 24日金堂南4. 3级地震; 1979年井研天云4. 3级 震群; 2001年 5月 3日双流与仁寿间4. 4级地震^[4] (表1,图3)。资料表明,成都平原内部的地震史载 是从十四世纪才开始的,二十世纪之前的历史 地震仅有3次,主要地震是20世纪六十年代以后的



图 2 成都平原地下地质结构(据李勇等, 2003) Fig 2 Geological structures below the Chengdu Plain (after LiYong et al., 2003)

表 1 成都盆地内历史地震相关数据表^[34]

Table 1 Relevant data on the historical earth Quakes in the Chengdu Basin (after Qian Hong et al., 1997, Xu Shuisen et al., 2006)

时间	震中	震级	发震断裂
1787	灌县	4 7	大邑断裂
1989	邛崃	4 8	大邑断裂
1993	郫县竹瓦匍铺	4 4	大邑断裂
1994	江油	47	大邑断裂
1999	汉旺	50	大邑断裂
1328	蒲江	4 5	蒲江 新津断裂
1734	蒲江	5	蒲江 新津断裂
1943	成都	5	蒲江 新津断裂
1962	洪雅	5 1	蒲江 新津断裂
1966	蒲江	3 3	蒲江 新津断裂
1971	新都	3 4	蒲江 新津断裂
1967	仁寿	55	龙泉山断裂
1969	金堂	4 3	龙泉山断裂
1979	井研	4 3	龙泉山断裂
2001	双流与仁寿之间	4 4	龙泉山断裂
2002	双流	4 6	龙泉山断裂

事件,显然,成都平原本身的地震记载是很不完备的。从以上资料可以看出,成都盆地内的隐伏断裂可以说是地震频发带,但成都盆地内发生的地震都没有超过 6级,最大震级为为 1967年 1月 24日在 仁寿的 5.50。

3 隐伏断裂的晚新生代活动性分析

成都盆地的基底构造较为复杂,有不同方向的 断裂以及由此而成的不同规模的隆起和拗陷。成都 盆地以大邑断裂、蒲江新津断裂和龙泉山断裂最为 最为重要。该断裂呈北东向展布,且均为活动性断 裂,并在第四纪均具有很强的活动性。

3.1 大邑断裂

大邑断裂是龙门山最前缘的断裂,分布于成都 盆地的西部,走向呈 NE60°~70°,主要由大邑断裂、 竹瓦铺 什邡断裂和绵竹断裂呈左阶羽列组成。断 面倾向北西,具隐伏的逆断层性质,为成都盆地的北 西界。

在大邑县城北东方向的道明场,大邑断裂具有 明显的右行走滑性质,3条小河被错断,平面断距为 22^m。在郫县走石山一带,在航卫片上该断裂两侧 色差清楚,显示出清晰的线性特征,在地貌上该断裂 则表现为断续延伸的断层残山。断裂上盘的走石山 直接出露,横跨该断裂的一条浅层地震反射剖面 (图 3),揭示出该断裂倾向北西,倾角为 30°~40°, 显示由北西向南东方向逆冲,将白垩系灌口组砂泥 岩与第四纪分界线垂直位错了 15~20^m,据此估计 该断裂的平均垂直滑动速率为 0 13~0 24^{mm/ &21}。 3 2 蒲江 新津断裂

该断裂南西端始于蒲江以南,向北东经新津、双 流、成都、广汉直达德阳,全长约180^{km}。断裂走向 为^N30°~40°E倾向SE倾角不定,显示南东盘相对



图 3 成都盆地内隐伏断裂和地震分布图(据钱洪等, 1997,修改)

1 成都盆地; 2 活动断裂(箭头的指向为倾向,双刺为逆断层; 3. 隐伏断裂; 4 6 9~6 0; 5 5 9~5 0; 6 4 9~4 0; 7 3 9~3 0; ①. 大邑断裂; ②. 蒲江 新津断裂'③. 龙泉山西坡断裂; ④. 龙泉 山东坡断裂

Fig 3 Distribution of major buried faults and earthquakes in the Chengdu Basin (modified from Qian Hong et al, 1997)

1= Chengdu Basip, 2= active fault (The arrows indicate the strike, and the double thoms indicate the thrust faults); 3= buried fault 4=69-60, 5=59-50, 6=49-40, 7=39-30 (D = Dayi fault (2) = Pujang-Xinjin fault (3) = West Longquan shan fault (4) = East Longquanshan fault

上升的逆断层性质,控制了成都盆地第四纪断陷的 南东边界,导致了断层两侧第四纪数十米的厚度差 异。

据人工地震勘探结果, 蒲江 新津断裂具有与背 斜构造共生的特点, 断裂常发生在背斜的轴部或陡 翼。断距在地表或近地表最大, 向下则迅速锐减。 断层倾角在地表或近地表较陡, 向下逐渐变得单缓, 最后连同背斜构造一起消失于某一深度的滑脱面之 上,具断层弯曲背斜和断层扩展背斜的一般特征。 断裂在新津以南连续性较好,断距较大,可达3.3 km 左右,切割深度约7 km,新津以北断裂呈断续羽列状 延伸,断距较小,一般在数十米至百余米之间,切割 深度为2~3 km,最深可达4.5 km,最浅仅1 km左右。

在新津以南,该断裂显示出明显的晚第四纪活 动性,在蒲江黄土坡和邛崃回龙可以见到中生代红 层逆冲在中更新世一晚更新世的砂砾石层之上^[3]。 新津以北,该断裂大致沿牧马山台地西缘、茶店子、 凤凰山、新都、广汉至德阳、构成了断裂西侧平原与 东侧台地的地貌分界线。特别是在凤凰山附近,主 干断裂从台地与平原的分界处通过,在断层上盘的 晚更新世砂砾石层中形成有弯矩断层(bending moment faulth的正断层。横跨主干断裂的一条浅 层地震反射剖面 (图 4)揭示出该断裂在近地表为一 向南东缓倾的逆掩断层,断层倾角约在 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$,且 具有愈向下倾角愈缓的趋势。断层南东盘相对上 冲,将白垩系灌口组(K, S)砂泥岩和晚更新世晚期 的亚粘土砾石层同时垂直断错了 5~8^m 并影响到 上覆的全新世砂砾石层沉积,致使该层在断层下盘 厚度变大,应为同生断层的控制作用所致。于地表 在基岩与黄色亚粘土砾石层分界线上方,TI法测得 的砾石层年龄值为 (24500 ±2000 ~ 33000 ±2800) å 据此估算蒲江 新津断裂的平均垂直滑动速率值为



图 4 郫县走石山浅层地震反射剖面 (上)及地质解释 (下)图

Fig. 4 Sallow seismic reflection profile (upper) and gedogical interpretation (bwer, in Zoushishan Pixian





图 5 成都凤凰山浅层地震反射剖面(上)及地质解释 (下)图

Fig 5 Sallow seism ic reflection profile (upper) and gedogical interpretation (bwer) in Fenghuangshan, Chengdu

(0, 15~0, 33) mm/ a

3.3 龙泉山断裂

该断裂系成都凹陷和川中台拱的分区界线,是 成都平原的东部屏障。1967年曾在断裂的南段仁 寿大林场发生5.5级地震,是成都平原东部一条重要 的弱震带,该断裂带处于龙泉山复式背斜东、西两 翼,分别称为龙泉山东坡断裂和龙泉山西坡断裂。

1. 西坡断裂

该断裂主要由草山断裂、金鸡寺断裂、龙泉驿断 裂和镇阳场断裂组成,断切侏罗系和白垩系,破碎带 宽2~7^m总体走向北20°~30°东,局部弯曲,除南、 北两端倾向北西外,其余地段均倾向南东,倾角多在 60°左右,为逆断层性质。根据地震勘探剖面,龙泉 山西坡断裂由地表到深部断距变小,倾角逐渐变缓, 最后消失于三叠系雷口坡组内。根据沿断裂带于秧 鸡口、镇阳、白马梗采集的3个断层泥样品作的 SEM特征分析,断层活动时间为早更新世,中晚更 新世也有活动。沿断裂带于黄家坳、洛带采集的热 释光样品测断裂最晚一次活动时间为(182700± 10800)和(180500±10500)3可见两种方法测定 的断层活动年代基本相似。

2 东坡断裂

该断裂主要由合兴场断裂、红花塘断裂、久隆场 断裂、尖尖山断裂、马鞍山断裂、文公场断裂和仁寿 断裂组成,北起中江,向南经淮口、文公场、仁寿至童 家场,全长160^{km},由数条断层呈左行斜列式展布, 总体走向北10°~30°东,主要倾向北西,倾角21°~ 82°,与西坡断裂倾向相反,均向背斜核部相向倾斜, 消失于三叠纪地层中。断裂在地表切割侏罗纪和白 垩纪地层,断层破碎带宽数米,从断层上盘发育的北 西向次级断层与主干断裂构成"入"字型构造,指示 东盘相对向南扭动,表明断裂在逆冲的同时兼具一 定的右旋滑动分量。

通过对成都盆地内 3条隐伏断裂的分析,可以 看出,断裂在第四纪都具有一定的活动性,历史上也 曾发生过 6级以下的地震,因此,汶川大地震后这 3 条隐伏断裂的活动性仍是不容忽视的问题。

4 汶川大地震对成都盆地的影响

4.1 成都盆地内的余震

据统计,截至 2008年 6月 25日,成都盆地内共 发生余震 14次,主城区虽没有余震发生,但成都周边 一些县、市有余震发生。其中,沿大邑断裂分布的余 震有 8次,沿蒲江 新津断裂分布的余震有 5次,沿 龙泉山断裂分布的余震有 1次(表 2)。可见,沿大 邑断裂分布的余震次数最多,最大震级 5. 级余震即 发生在这条断裂上,因为大邑断裂即是龙门山山前 断裂,距离龙门山断裂带最近,所以,受其影响也最 大。

表 2 成都盆地内余震相关数据表(据陕西省地震信息网) Table 2 Relevant data on the aftershocks in the Chengdu Basin from M ay 12 to June 23, 2008

日期	时间	经度	纬度	震级	参考地区
2008 05 12	17:30	103. 6	30. 7	5.1	四川崇庆县
2008 05 13	1, 54	103. 9	30.8	5.0	四川郫县
2008 05 14	16 39	104. 3	31. 1	3. 3	四川广汉
2008 05 17	22, 14	104.5	30. 7	2.8	四川金堂
2008 05 20	3 07	103. 7	30. 7	3. 0	四川崇庆县
2008 05 20	12, 17	103. 5	30. 7	4.3	四川崇庆
2008 05 21	5 00	103. 6	30.8	3. 2	四川崇庆
2008 05 27	4 53	104.5	30. 7	2.8	四川金堂
2008 05 27	14 49	103. 6	30. 6	3. 5	四川崇庆县
2008 06 05	14 35	103. 6	30. 7	3. 3	四川崇庆县
2008 06 11	06 14	103. 6	30. 7	3. 1	四川崇庆
2008 06 11	07.17	104.0	30.8	2.6	四川郫县
2008 06 11	10 20	103. 4	30. 7	3. 3	四川大邑
2008 06 23	19,05	103. 4	30. 5	3. 2	四川邛崃县

4.2 汶川大地震对成都盆地内隐伏断裂的影响

1.大邑断裂

在郫县竹瓦铺走石山四川 GPS观测网络基准 站内(N30°54′28 2," E103°45′33 4″), 据 GPS观测 网络观察, 汶川大地震时, 观测点处地面平移了约 5 ^{cm}, 据测氡显示, 走石山断层经过处测氡级数为 7& 沿垂直断层走向远离断层 200^{cm}, 测氡级数为 32, 远离断层 400^{cm}, 测氡级数为 4, 一般, 若断层产生了 新活动, 则断层处测氡级数要达到 100以上, 走石山 处断层的数据都在正常范围之内, 说明大邑断裂没 有产生新的活动构造。

在郫县唐昌镇金星村村头稻田内(^{N30°}57[′] 02.0,["]E103°46′261^{′′}), 地震时稻田内产生1~2^m 长, 5~7^m宽的裂缝, 裂缝走向为70°~80°, 并向外 冒沙, 喷水, 水柱高达1~2^m据当地人介绍, 喷出的 水会快速流入到地下, 这说明地下产生了大量的裂 缝, 便于水的下渗。据测氡显示, 裂缝内测氡级数为 9, 距裂缝1^m处测氡级数为 7, 说明裂缝只是地表破 裂, 而非深部断裂。

2 蒲江 新津断裂带

在蒲江黄土坡($N30^{\circ}10'53_2,"E103^{\circ}31'$ 32. 5^{''}),蒲江新津断裂经过此点,断层南东盘为白 垩系夹关组,北西盘为第四纪雅安砾石层。断层面 产状为 $SE \swarrow 37^{\circ}, - 般情况下,砾石呈叠瓦状分布,$ 倾角较缓,此点断层两侧的砾石层倾角较陡,近乎直 $立,砾石产状为 <math>143^{\circ} \measuredangle 71^{\circ},$ 说明经过断层的错动。 但从此剖面的整体观察,此次地震中蒲江新津断裂 没有新的活动迹象。

在蒲江黄土坡公路旁果园内(^N30°10′50 1", E103°31′34 2′), 地面上出现由一点发散出的 3个 方向的小裂缝, 每个方向裂缝长约 10 ^{cm},在一平方 米内大约出现 10组这样的裂缝, 三组裂缝的走向分 别为 83[°], 185°和 285[°]。经观察, 这些裂缝为此次地 震产生的新的地表破裂。

3. 龙泉山断裂

在双流县籍田镇([№]30°42′24, 4," E104°31′ 22. 2[″])对龙泉山断裂带进行了观察,此点为龙泉山 断裂西翼断层,发育侏罗系蓬莱镇组,岩性为红色泥 岩与灰色砂岩互层,地层产状为 125°∠76°,断层面 产状为 298°∠60°,据观察研究,断层无新活动的迹 象。

综上所述,通过对成都盆地内 3条隐伏断裂的 考察研究,笔者认为在汶川大地震后隐伏断裂没有 产生新的活动性。虽然,考察区地表见大量裂缝,但 根据测氡数据,没有异常现象,说明这些裂缝只是浅 层破裂,为汶川特大地震主震所致,与盆地内隐伏断 裂无关。

5 结论与建议

(1)汶川特大地震的发震断裂为龙门山中央大断裂北川 映秀断裂,其运动方式为逆冲兼右行走 滑,于是,主震发生时,地表破裂从震中映秀沿断裂 带往北东方向扩展,造成此次地震的等震图是许多 长轴平行于龙门山断裂带的椭圆, 而非同心圆, 成都 恰位于椭圆的短轴方向, 因此, 成都的地表烈度远低 于椭圆长轴上的地区, 如北川、青川等。这些地区距 震中映秀距离需比成都大, 但受灾程度却比成都严 重的多。

(2)地震波在由震中映秀向东传向成都的过程 中,在彭县 灌县断裂带和大邑断裂上会产生反射和 折射,损失很大一部分能量。透过断裂带继续传播 的透射波在传播过程中,在斜坡界面又会因反射再 衰减一部分能量,地震波到达成都市能量大为衰减, 这也是成都受灾较轻的重要原因之一。

(3)成都盆地的地下结构为一个三层结构,最 底层为坚硬的扬子地台的基底岩系,中间为扬子地 台的厚约 10 km的沉积盖层,顶层为 500余米的成都 盆地松散沉积物。这种三层结构,尤其是顶层的松 散沉积物,对地震波传播过程中的的能量衰减起到 了很大作用。地表烈度在短短 90 km内从震中映秀 的11度衰减为成都的 6度,这种三层结构可谓"功 不可没"。

(4)成都盆地内的3条活动性断裂,即大邑断裂、蒲江新津断裂和龙泉山断裂,虽然在第四纪确 有明显的活动性,但通过对这3条断裂以及地表破 裂的实地考察结果表明,它们在汶川地震中没有产 生新的活动性。

总之, 通过以上的实地考察和分析论证, 笔者认 为在汶川特大地震中成都盆地中的隐伏断裂没有产 生新的活动性, 目前成都盆地不存在发生大地震的 可能性, 是安全的。因此, 居民可以安心生活, 企业 可以安心的投资建设。

参考文献:

- [1] 李勇,周荣军, Densmore A I,等. 青藏高原东缘龙门山晚新生
 代走滑挤压作用的沉积响应[].沉积学报,2006 24(2):1 12.
- [2] 李勇,周荣军, Densmore A I,等. 青藏高原东缘大陆动力学过 程与地质响应[^{M]}.北京:地质出版社, 2006.
- [3] 钱洪,唐荣昌. 成都平原最大可能地震能力估计[J.四川地 震, 1997, (4): 1-7.
- [4] 徐水森,任寰,宋杰.龙泉山断裂带地震活动性浅析[4].四川 地震,2006(2):21-27.
- [5] 钱洪,唐荣昌,马声浩.蒲江 新津 德阳断裂带 成都平原内
 一条代表性弱活动地 震带的地质特征[1].四川地震,1992
 (4):17-23.

Analysis of the new activity of the buried faults in the Chengdu Basin after the 8.0 magnitude W enchuan earthquake

DONG Shun li LIYong QIAO Bao cheng MA Bo lin ZHANG Y, i CHEN Hao YAN Liang (State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sidhuan, China)

Abstract There are three mapr buried faults in the Chengdu Basin including the Dayi fault Pujiang Xinjin fault and Longquanshan fault all of which display some activity in the Quaternary. The field observations after the 8.0 magnitude Wenchuan earthquake on May 12, 2008 have disclosed that no new seismic activity and risk have been found for the mapr buried faults in the Chengdu Basin following the major earthquake. It follows that there is no possibility that will tregger a strong earthquake in the Chengdu Basin and the basin area is safe and sound at present for the residents

Keywords 8.0 magnitude Wenchuan earthquake Chengdu Basin active fault historical earthquake