

扬子准地台西北边缘地区地壳稳定性问题

何耀灿

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 5·12汶川 8级大地震影响到整个四川盆地西部地区, 该区是扬子准地台与青藏高原造山带的结合部位——台槽交接区, 特殊的地震地质构造及其活动性, 加上人类活动的影响, 使得那里的地壳变得非常脆弱。扬子准地台从早期到晚期的发展过程中活动性比较大, 基底硬化程度较低, 有显著而广泛的褶皱和断裂运动。在此着重探讨四川盆地以西即从东面的龙泉山开始经成都平原至龙门山地区地壳稳定性问题。

关键词: 地震地质构造; 地震成因; 水库诱发; 人类活动

中图分类号: P315.2 P54

文献标识码: A

扬子准地台西北边缘地区在地理位置上指龙泉山褶皱带及其以西的成都平原及紧挨成都平原的龙门山台缘凹陷(图 1)。

1 地震地质构造背景

1.1 龙门山地区

龙门山地区在扬子准地台的西北边缘, 青藏高原东缘, 是青藏高原与四川地台的边界, 其走向自WS往NE方向, 延长约 600 km, 宽度 20~40 km, 全区面积超过 15 000 km²。区内很少岩浆活动, 缺乏区域变质现象, 其沉积建造特征完全属于地台性质的。它并非属其西部的昆仑秦岭地槽褶皱系, 具体地说它不属于次一级的松潘-甘孜地槽褶皱带。中生代以来各期构造运动比较强烈, 逐步形成规模巨大的鳞片逆掩深大断裂带。自东向西有江油-都江堰、北川-映秀、茂县-汶川 3条 NE向的深大断裂, 深大断裂带岩层的褶皱、挤压, 断裂破碎十分强烈, 断裂面总体向西部青藏高原倾斜, 构成叠瓦式构造, 构造以中段最为发育。

1. 江油-都江堰断裂是龙门山前主边界断裂, 走向 NE, 是龙门山断裂带中规模最大的断裂, 为龙门山构造活动带与川西台陷成都平原分界。

2. 北川-映秀深大断裂为龙门山主中央断裂, 在映秀可见“彭灌杂岩体”(中生代岩层)断块逆冲到更新世砾石层之上, 规模巨大, 说明该断裂挽近活动性强烈。

3. 茂县-汶川深大断裂属后龙门山断裂, 是龙门山与青藏高原的边界, 位在这条主后缘断裂上的茂县和汶川等地有温泉分布, 说明有新构造运动, 是活动区。

4. 龙门山深大断裂带上历史地震自公元 11世纪至 20世纪, 其强震活动的级别和频度都不算高, 震级 > 7级的仅有 1933-08-25发生在茂县叠溪的 7.5级大震, 龙门山断裂带是以中强地震为特征, 见表 1, 图 2。

1.2 成都平原

成都平原东以 SN走向的龙泉山褶皱带为界, 西与近 NE走向的龙门山褶皱带毗邻, 北至安县, 南至名山, 它是扬子准地台边缘的一个凹陷, 形成于白垩纪末第三纪初, 是一个典型的第四纪断陷盆地, 地势上西北高, 东南低, 坡面较缓的岷江水系冲积扇。据工程地质钻探资料, 第四纪冲积层厚度在 100 m 左右。从总体上看, 成都平原的分布与东西两侧的龙泉山褶皱带和龙门山深大断裂带走向一致, 为 NE-SW 向延伸约 200 km, 宽约 20~40 km, 面积 6 000

收稿日期 (Received date): 2008-12-28。

作者简介 (Biography): 何耀灿, 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所高级工程师, 主要从事环境地质研究。[He Yaocan, Senior engineer, his main research field is environment geology.]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

km², 成都占 1 500 km²。

表 1 龙门山深大断裂带强震* 简目¹⁾

Table 1 Strong earthquakes in the fault zone of Longmenshan		
(1) 1169- 01- 24	北川	4 $\frac{3}{4}$ VI度
(2) 1488- 09- 16	茂汶	5. 5 VI~ VII
(3) 1597- 02- 24	北川	5 VI
(4) 1657- 04- 21	汶川	6 VIII
(5) 1610- 03- 19	平武	5. 5 VII
(6) 1713- 09- 04	茂汶叠溪	> 6. 5 VIII
(7) 1748- 02- 08	汶川一带	5~ 6 VII~ VIII
(8) 1787- 12- 13	灌县 (现都江堰)	4 $\frac{3}{4}$ VI
(9) 1879- 05- 12	江油	5 VI
(10) 1913- 08- 18	江油	5 VI
(11) 1933- 08- 25	茂县叠溪	7. 5 X
(12) 1940	茂县	5. 5
(13) 1952- 08- 31	汶川西南	5
(14) 1956- 06- 30	平武北西	4 $\frac{3}{4}$
(15) 1957	汶川	6
(16) 1958- 02- 08	北川	6. 2 VII
(17) 1961- 06- 28	茂汶绵竹间	4. 8
(18) 1961- 07- 25	茂汶红光北	4. 8
(19) 1961- 12- 8	北川南东	4. 7
(20) 1970- 03- 22	茂汶吉鱼寨	4. 9 VI
(21) 1976- 08- 18	平武胡家磨	5. 2
(22) 1976- 09- 01	平武虎牙	5. 1
(23) 1977- 03- 11	平武牧羊场	4. 7
(24) 1977- 04- 25	绵竹与茂汶交界处	4. 1
(25) 1978- 05- 30	平武胡家磨	4. 7

* 强震要 > 5级 VI度, 此“简目”把震级 < 5级的列上, 可能其烈度已达到 > V - VI度。

20世纪 80年代前后, 四川省和成都市有关地震、地质、水文、工程等部门对成都平原作了宏观调查, 证实了成都平原内部及周边地质构造发育的广泛程度, 从卫片上解译, 成都平原构造线密集, 断层纵横交叉, 平原支离破碎, 其西部边缘地带为沉降区, 而成都市区处在上升一侧, 第四纪冲积层厚度仅 15~ 20 m, 但下降一侧的茶店子第四纪厚度为 100 m^[1]。光弹试验结果, 应力集中值中等, 故成都市区

具备发生 5~ 5. 5级地震的构造背景, 最高震级是 1970- 02- 24发生在大邑的 6 $\frac{1}{4}$ 级强震。

通过成都平原上的大断裂有两条 (图 2):

1. 蒲江 - 新津 - 成都 - 德阳断裂带

该断裂带为成都平原中部地震活动带, 晚更新世以来活动十分明显, 但该断裂上仅有中小地震发生, 断裂带全长约 180 km, 在成都的地震史上发生在成都的中强地震有 1942- 11的 5. 5级, 1943- 06 - 21的 5级, 1934- 03在蒲江发生的 5级。1966年和 1991年在蒲江和新都分别发生 3. 3和 3. 4级地震。

2. 银川 - 成都断裂带

这条断裂带自银川往南至成都后继续向 SSW方向延伸, 直至昆明。它是一条 NNE 向的巨型断裂带, 主要由一系列的大型断裂和断陷盆地所组成, 这条断裂带宽 80~ 100 km, 它是我国的一条强震带。中世纪发生在水 SN 的诸多中强震, 1622 - 10- 25海原 7级大震、1879- 07- 01武都 7. 5级大震、1920- 12- 16海原 8. 5级特大震、1976- 08- 23平武西 7. 2级大震等, 都发生在这条断裂带上, 2008- 11- 24宁夏固原发生 4级地震就在这一断裂带上。20世纪 70年代后期在该断裂带的宁夏中宁发现古地震剖面, 剖面上保存了中更新世以后的多次地震活动遗迹^[2]。

1. 3 成都地区

对成都地区的地震活动性历来分歧较大, 看法不一。

早在 20世纪 80年代成都市地震局的洪时中研究员就认为, 在现有资料和认识水平上很难将成都市区划为“安全岛”^[3], 现有的某些迹象恰恰表明市区危险性较大 (如: 光弹实验提出, 市区附近是应力集中区; 市郊磨盘山一带第四系中即可能存在断裂带等等)^[3], 国家地震局地质研究所明确指出, 目前值得注意的问题之一就是“大多数大地震往往都发生在新区 (指历史上没有记载大地震的地区)”^[3]。此外值的重视和研究的是中国建筑科学研究院工程抗震所鲍霭斌等采用最大熵原理, 地震危险性分析等方法对全国 45个城市 50个超越概率 0. 1的地震烈度进行了计算, 成都的计算值为 7. 92度! 美国学者 C layton等用地震层析技术^[4] (St) 发现, “在成都

1)四川地震局, 四川地震资料汇编, 1981, 第 2卷。

2)地震层析图像显示了驱动板块运动的地幔对流和地幔热柱及其在深部物质与能量交换耦合过程中的动力效应, 考虑到全球热流值的分布等因素, 当今对地幔对流为板块运动的动力源问题得到较广泛的认同^[4]。

©1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的下面有波速异常慢(热)的上地幔物质,这是否说明包括整个成都断陷盆地在内的较大区域具备发生

较强地震的深部构造背景?总之,对成都市区的地震危险性不能估计过低^[3]。

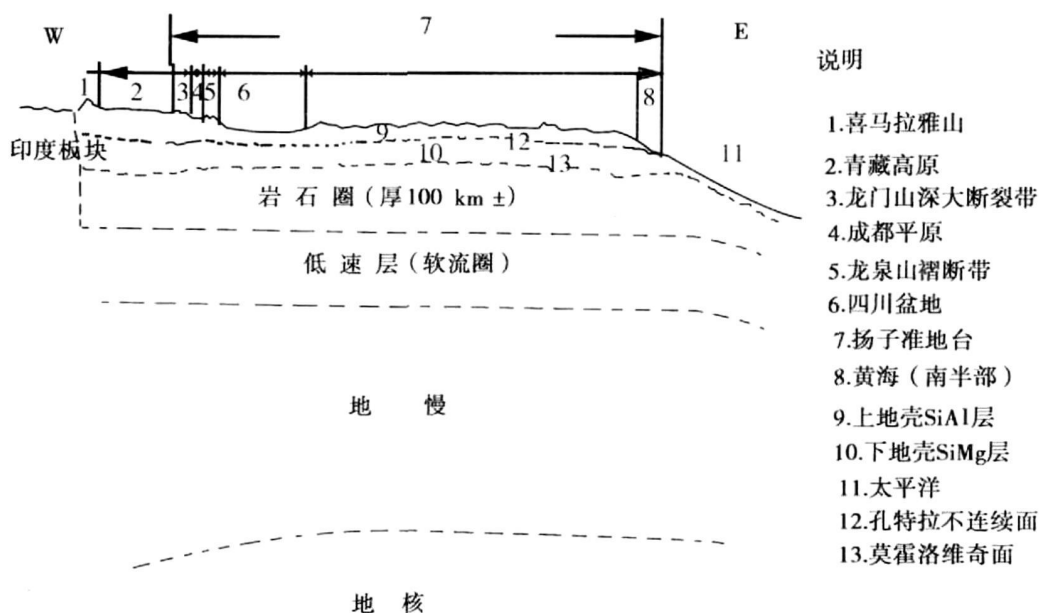


图 1 扬子准地台的位置与地球层圈分布示意图

Fig 1 Location of the Yangtze craton in the crust

现就 2008-11-24 在成都市政府新闻办第二十七次专题新闻发布会上披露的“汶川地震对成都影响”研究课题成果²⁾,提出几点需商榷之处。

1. “成果”中提到汶川余震将持续到明年夏天,看来太乐观。1976 年唐山发生 7.8 级地震后,“最大的强余震发生在唐山平县,震级 7.1,晚期的强余震延续到 1991-05-29 和 05-30 发生在唐山开滦的 5.2 与 5.5 级。这表明唐山地震持续了整整 15 d³⁾发生在龙门山广阔地域地震带上的 5·12 汶川大地震,其地应力聚集在 300 余 km 长, 30 余 km 宽的范围内,短期是释放不完的。

2. “长短轴效应”问题。5·12 汶川发震的龙门山深大断裂带, NE-SW 向延伸很远,其宽仅仅是其走向延伸的十分之一,烈度分布肯定是蛮长的扁椭圆形,所以地震对断裂带两侧的影响较小,但是不排除其对两侧意外的威胁。

3. 成都周边的断裂带有东面的龙泉山大断裂,自中江经仁寿至乐山一带,断裂带距成都市区不超过 100 km,西面的龙门山深大断裂带距成都更近,

不超过 70 km,汶川大震震中距成都才 77 km,至于通过成都的银川-成都大断裂带与蒲江-新津-成都-德阳地震活动带更不用说了。因此,成都周边的断裂带不像“成果”中所说的在 150 km 以外。

4. 成都理工大学朱教授认为,成都平原所在的“扬子地块”具有完整而稳定的基底,不存在低速层。在中国大地构造资料库里,没有“扬子地块”这个单元,在张文佑的断块构造说中也只提到“扬子断块”,但它只限于部分长江流域地区。致于“低速层”在地球上不论大陆海洋,岩石圈下面都存在低速层,板块就“浮”在它上面,无休止地在低速层上滑动。

地台较地槽是稳定的,但是不排除稳定的地台上就不会发生大震,华北地台是中国三大地台中较稳定的,但在 1966 年发生了 7.2 级的邢台大地震,1976 年在唐山发生了 7.8 级的大地震。

1.4 龙泉山褶断带

龙泉山褶断带地理位置上自南端的乐山向 NNE 经仁寿至中江,延长约 250 km,它以龙泉山箱

1) 1976 年前分别发生在成都平原与龙泉山褶断带上的 4 次 5 级与 3 次 5 级以上的强震未标出是该图的缺陷。

2) 据 2008. 11. 24 华西都市报。

3) 据 1991. 7 四川震苑。

状大背斜为骨干, 包括一系列的 20°N ~ 30°E 的褶皱、冲断层, 压性、压扭性结构面发育, 构造形迹规模宏大, 大背斜两翼发育着反冲压扭性断裂。龙泉山的基底断裂位于龙泉山背斜褶皱的 ES 翼。

龙泉山褶断带为一中小地震带, 至今发生在龙泉山断裂带的最大地震震级 5.5, 1967-01-24 发生在仁寿, 震源深 4 km, 历史地震分布见表 2。

表 2 龙泉山褶断带地震分布

Table 2 Earthquakes in the fold zone of Longquan shan

1271-07-02	乐山	5 级
1913-07-16	乐山	5 级
1963.12-26	安县绵阳间	4 级
1966-03-29	金堂东北	4.1 级
1967-05-05	乐山福祿一带	4.8 级
1968-02-09	仁寿北	4.1 级
1969-02-24	龙泉驿	4.3 级
1985	自贡	4.6 级

2 5·12 汶川特大地震成因探讨

1. 印度板块与欧亚板块碰撞, 挤压, 其碰撞线宽度在 300~900 km, 在碰撞线以北的青藏高原上, 宽度达 800 km 以上。可见印度板块撞击青藏高原随即传递到龙门山深大断裂地应力高度集中的孕震构造上, 使断裂带上盘逆冲引发地震, 其规模和威力之大, 简直不可抗拒。

2. 水库诱发

我国曾总结了可能发生水库诱发地震的 7 项定性标志:

- (1) 坝高 > 100 m, 库容 > $10 \times 10^8 \text{ m}^3$;
- (2) 库坝区有活动断裂;
- (3) 库坝区为中生代断陷盆地或其边缘, 近代升降活动明显;
- (4) 深部存在重力梯度异常;
- (5) 岩体深部张裂隙发育, 透水性强;
- (6) 库坝区历史上曾有地震发生;
- (7) 库坝区有温泉。

上述 7 条, 符合数越多, 该水库蓄水后诱发地震的可能性就越大。对紫坪铺水库来说, 上述 7 项全部符合, 开创在中外闻名的龙门山地震带上修建大型水库是很有胆识的。

水库蓄水诱发地震, 原因是由于该区地质构

造原来就有发生地震的潜在因素, 蓄水后改变了地应力条件, 水体负荷使库底下沉, 在这种情况下, 水库诱发地震的主因就是库水的渗漏, 这样就大大降低了岩层层面之间和孕震构造断裂面上的抗滑力导致地震。

中国人民为了根本改变西部地区的落后面貌, 发展山区经济, 在紫坪铺及其以上岷江上游干流上建了 8 座大中型梯级水电站, 还有在其支流上修建了 8 座中小型水电站, 所有这些电站和水库无一例外地都位于广阔的龙门山活动的深大断裂带上, 将来它们会给龙门山地区带来什么样的负面影响, 人面不能拭目以待, 要长期采取限止库容的措施。

3. 人为因素

西部山区大开发, 无数大型工程的建设, 千百万吨炸药的爆破, 破坏了山坡山麓的休止角, 扰动了构造断裂带, 对地壳运动起到触发作用。

3 其他

1. 北川位在龙门山主中央活动断裂带上, 在地震史上曾发生过 6.2 级 VII 度强震 (1958-02-08), 如果在那次地震后, 将北川中小学及城建的所有项目的抗震设防烈度定为 VII-Ⅷ度, 楼层不超过 3~4 层, 那么在这次 5·12 汶川大震中造成的损失就会缩小到最低限度, 不致于把北川这座历史名城夷为平地, 悲剧就不会发生得如此惨烈。此次重建家园, 抗震设防的烈度要定得高一些, 避免大灾难。发展中国家人民贫困, 促使他们有冒风险的倾向, 容易听天由命, 因此他们会继续居住在危险区。在规划重建家园的关键时刻, 必须慎之又慎, 尽量避开危险区。在此, 我们要牢记早在上世纪 1949 年毛泽东就提出的“世间一切事物中, 人是第一个可宝贵的”论点。再也不能像过去那样, 对自然灾害“防、抗、救”的力度是倒置的, 后者轰轰烈烈, 前者则相形见绌。

2. 三个观点

- (1) 本世纪 2035 年前是世界地震的高发期。
- (2) 一次大震后便会引起深大断裂带其余部分的应力增加, 致使大震连续发生。
- (3) 大震后还会在原地重复。

以上观点我们不一定相信, 但要引起高度警戒。

3. 岷江上游紫坪铺等 16 座大中型梯级水电站该不该在龙门山那样活动的深大断裂带上修建? 修是为了开发大西南, 发展山区经济、造福人民, 但是风

险太大了,这次 5·12汶川大地震与它们不无关系。

4. 我的论题中提到“两山一平原”面积大约相当于台湾省,约 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ (龙门山约 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 成都平原 $0.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 龙泉山约 $1.0 \times 10^4 \text{ km}^2$)。

这块宝地是我国西部重中之重,过去现在乃至将来都引起国内外特别关注,我们要保卫它,要使它成为“安全岛”。

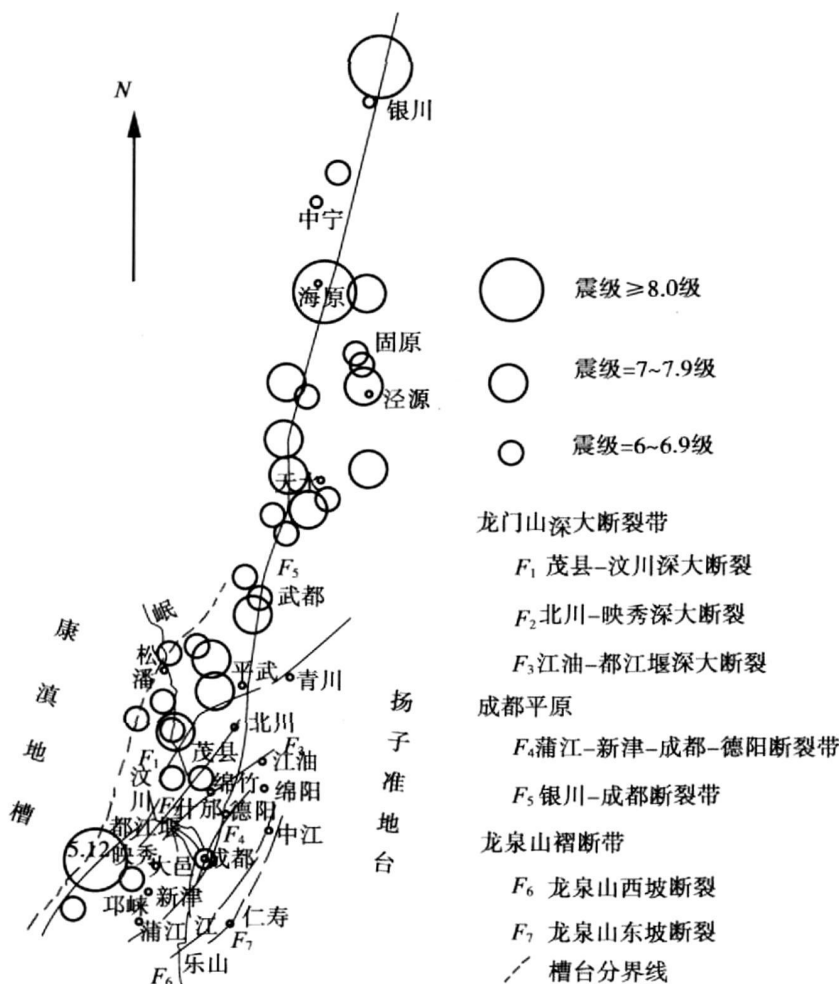


图 2 扬子准地台两北边缘地区构造与地震分布示意图 (震中与震级除 5·12 外,据中国科学院地球物理研究所编 1:15 000 000《中国强震震中分布图》^[1], 1976)

Fig 2 Distributions of earthquakes in the north and south edges of the Yangtze craton

4 结语

5·12汶川特大地震触动全世界人民的心,要吸取震灾赋予我们的严重教训,我们必须全力以赴去研究地震灾害形成的原因。

最后,用世界著名的地质科学家李四光在提到四川地震时谈到“盆地西部是个危险区”这个论点作为终结。

参考文献 (References)

- [1] Xu Zhonglu, Lin Yaping. A Preliminary analysis of the development of the western Sichuan Plain Based on Visual interpretation of landsat images [J]. *Geological Review*, 1982, 28(5): 440~445 [许仲璐, 刘亚平. 卫片目视解释川西平原的初步分析 [J]. 地质论评, 1982, 28(5): 440~445]
- [2] Zhu Haizi, Zhu Shulian, Wang Ligong, et al. Found in the ancient seismic profiles of Ningxia Zhongxin [J]. *Earthquake Geology* 1979, 1(4) 26 [朱海之, 朱淑莲, 王立功, 等. 宁夏中宁发现古地震剖面 [J]. 地震地质, 1979, 1(4) 26]
- [3] Hong Shizhong. Earthquake risk research several questions of in

Chengdu [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 1987, 7(1): 12~17 [洪时中, 成都市地震局, 成都地区地震危险性研究的几个问题 [J]. *四川地质学报*, 1987, 7(1): 12~17]

[4] Dong Sunwen, Cheng Xinhua, Si Jing *et al*. Development of the inter-

national Geological Sciences [M]. Beijing: Geology Press, 2005: 122~125 [董树文, 陈宣华, 史静, 等著. 国际地质科学发展动向 [M]. 北京: 地质出版社, 2005: 122~125]

Stability of the Northwest Edges of Yangtze Paraplatform

HE Yaocan

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China*)

Abstract The Wenchuan earthquake on May 12, 2008 struck all the west of Sichuan Basin, which is located in the conjunction of the Yangtze Paraplatform and the Tibet-Qinghai tectonic zone. The specialty and activity of the tectonics and the human behaviors make the crust fragile and crumbly. The paraplatform evolves in different manners from the early to the late period. Its base is relatively less consolidated and the folds and faults develop extensively. This paper focuses on the stability of the crust from the Longquan Mountains in the east through the Chengdu Plain to the Longmen Mountains in the west.

Key words Wenchuan earthquake; Yangtze paraplatform; stability