

汶川 M_s 8.0 级地震发震构造 大震复发间隔估算¹

谢富仁 张永庆 张效亮

(中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要 汶川 M_s 8.0 级地震发生在青藏高原东缘著名的龙门山断裂带上, 造成了中央断裂和前山断裂共约 330km 的地震地表破裂带。初步研究表明, 龙门山断裂带上大震复发可能属特征地震模式。结合龙门山断裂带的地震地质情况和汶川地震地表破裂带的基本参数综合分析, 本文从地质学、地震学和 GPS 数据分析三个方面评估了龙门山断裂带的大震复发周期。结果表明, 上述三种方法获得的龙门山断裂带 M_s 8.0 级地震的复发间隔分别为: 3185a、1700—2264a 和 4310a, 平均为 3000a 左右; M_s 7.5 级地震的平均复发间隔为 1000a 左右; M_s 7.0 级地震的平均复发间隔为 500a 左右。这些结果与其他学者的研究结果相比, 相差不多, 基本反映了龙门山断裂带的地震能量水平和累积速度。

关键词: 龙门山断裂带 汶川 大震 复发间隔

引言

2008年5月12日的汶川 M_s 8.0 级地震是新中国成立以来发生的特大地震, 造成了极其巨大的经济损失和人员伤亡, 其震中位于龙门山断裂带中段。从余震分布和地震波反演结果来看, 地震引起地壳深部的岩石破裂长达 300 多公里 (王卫民等, 2008; Chen 等, 2008)。震源机制解和 GPS 测量表明, 相对于四川盆地龙门山既有垂直抬升, 又有北东向的水平运动, 汶川地震的发生正是这种运动长期积累, 导致地壳岩石中应变能增强, 最终释放的结果。

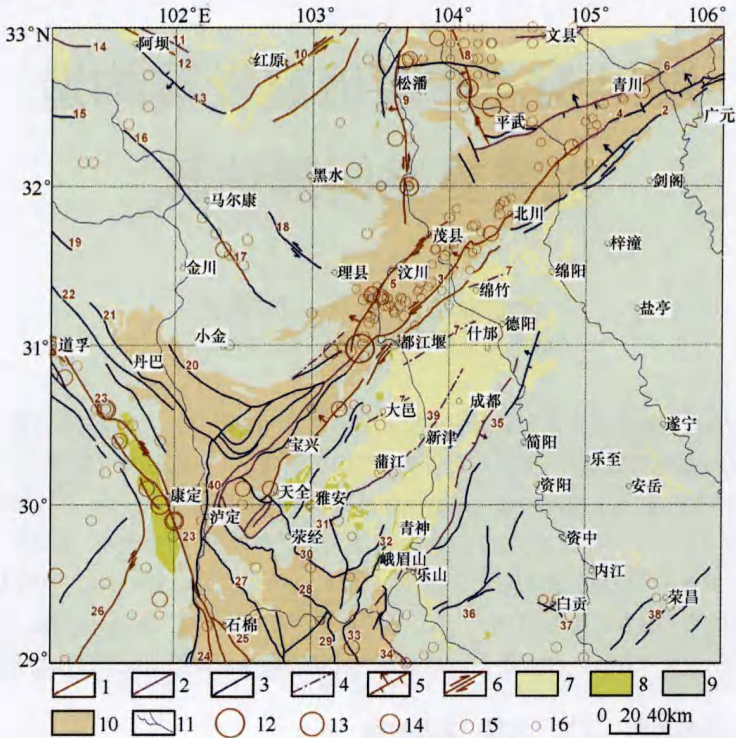
龙门山推覆构造带位于青藏高原东部边缘的中段, 是青藏高原和华南地块的边界构造带, 在经历了长期的地质演化后, 具有十分复杂的地质结构和演化历史 (罗志立等, 1994; Burchfiel 等, 1995)。东南侧的成都盆地是其前陆盆地 (陈社发等, 1994; 邓起东等, 1994), 是中国南北地震带的一部分。龙门山断裂带是龙门山推覆构造带的重要组成部分, 全长约 500km, 主要由 4 条逆冲走滑断裂组成, 自西北向东南分别为茂汶-汶川断裂 (后山断裂)、北川-映秀断裂 (中央断裂)、灌县-江油断裂 (前山断裂) 和龙门山山前隐伏断裂 (图 1)。每条断裂又由几个不同的段所组成。上述 4 条断裂呈叠瓦状向四川盆地内逆冲推覆, 断裂倾角近地表较大, 约为 60° — 70° , 有的地方近直立并随深度向下逐渐变缓, 在地下 20—30km

1 基金项目 国家科技支撑课题 (2006BAC13B01) 和中国地震区划图项目 (20072009) 资助

【收稿日期】2008-11-15

【作者简介】谢富仁, 男, 生于 1956 年。研究员, 博士生导师。主要从事构造地质学和地震区划研究。E-mail:xxiefr@263.net

处收敛成一条剪切带，成为青藏高原推覆于四川盆地之上的主控断裂。



- 1. 全新世活动断裂; 2. 晚更新世活动断裂; 3. 早、中更新世断裂; 4. 隐伏断裂; 5. 逆断层; 6. 走滑断裂; 7. 第四系; 8. 第三系; 9. 中生界; 10. 前中生界; 11. 水系; 12. 震中 $M=8.0$; 13. 震中 $M=7.0-7.9$; 14. 震中 $M=6.0-6.9$; 15. 震中 $M=5.0-5.9$; 16. 震中 $M=4.7-4.9$;
- 主要活动断裂名称: (1) 江油-灌县断裂; (2) 江油-广元断裂; (3) 北川-映秀断裂; (4) 茶坝-林庵寺断裂; (5) 茂汶-汶川断裂; (6) 平武-青川断裂; (7) 龙门山山前隐伏断裂; (8) 虎牙断裂; (9) 岷江断裂; (10) 龙日坝断裂; (11) 阿坝盆地北缘断裂; (12) 阿坝断裂; (13) 阿坝南断裂; (14) 甘德南缘断裂; (15) 达日断裂; (16) 松岗断裂; (17) 抚边河断裂; (18) 米亚罗断裂; (19) 甲旭乡断裂; (20) 金汤弧形断裂; (21) 贝母山断裂; (22) 尼曲-玉科断裂; (23) 鲜水河断裂带 (南段); (24) 安宁河断裂; (25) 大凉山断裂; (26) 玉龙希断裂; (27) 金坪断裂; (28) 保新厂-凤仪断裂; (29) 西河-美姑断裂; (30) 天全-荣经断裂; (31) 峨边-烟峰断裂; (32) 峨眉断裂; (33) 老河坝-马颈子断裂; (34) 利店断裂; (35) 龙泉山断裂; (36) 长山镇断裂; (37) 墨林场断裂; (38) 华蓥山断裂; (39) 新津-浦江断裂; (40) 大渡河断裂

图 1 龙门山断裂带区域地震构造图

Fig.1 Regional seismo-tectonics map of Longmenshan fault zone

根据冉勇康等 (2008) 和郑文俊等 (1994) 的初步研究, 从已开挖的探槽来看, 无论中央断裂还是前山断裂均显示有包括“5.12”汶川地震在内的至少 2 次大小相近的地震事件, 虽然暂无测年数据, 但这还是意味着龙门山断裂带强震重复发生, 初步研究认为可能属于特征地震类型。

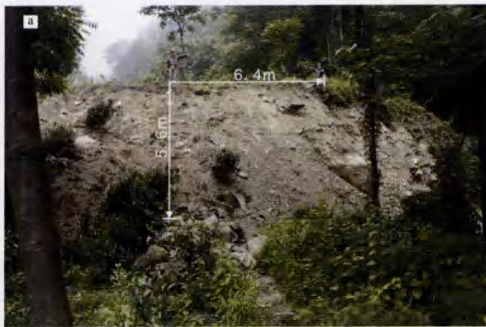
本文将基于上述基本认识和前人的研究成果, 利用断层滑动法、地震矩率释放法和 GPS 数据确定法, 评估龙门山断裂带的大震复发间隔, 并对所得结果进行简要的分析。

1 地震断裂特征

由于龙门山断裂带所在的地区多为山区, 晚第四纪地层分布受局限, 加之植被发育和人为破坏, 地表断错现象保存较少。有确定年龄支持的晚第四纪活动性的定量研究尚不多见 (马

保起等, 2005; Zhou 等, 2007)。已有的研究认为, 断裂带北段的青川断裂、茶坝-林庵寺断裂和江油-广元断裂晚更新世以来没有断错地表活动的证据(李传友等, 2004); 断裂南段除报道彭县-灌县断裂全新世有活动(Densmore 等, 2007)之外, 在中央和后山断裂上也仅发现晚更新世活动的证据(杨晓平等, 1999)。而断裂带中段的汶川-茂县断裂、映秀-北川断裂和灌县-江油断裂全新世以来有活动(马保起等, 2005; 李勇等, 2006; 周荣军等, 2006)。断裂以逆冲变形为主, 兼有右旋走滑。

震后科学考察表明, 2008 年 5 月 12 日汶川 $M_s8.0$ 级地震发生在青藏高原东缘龙门山推覆构造带上, 同时使北川-映秀、灌县-江油 2 条断裂倾向北西的叠瓦状逆断层发生地表破裂。其中, 沿北川-映秀断裂展布的地表破裂带长约 240km, 以兼有右旋走滑分量的逆断型破裂为主, 在北川擂鼓附近见到最大垂直和右旋水平位移, 错距分别为约 5.6m 和 6.4m (图 2); 沿灌县-江油断裂连续展布的地表破裂带长约 72km, 最长达 90km, 为典型的逆断型破裂(图 2), 在罗阳村测量到的最大垂直位移 3.5m, 水平位移 1.9m; 另外在上述 2 条地表破裂带的西部还有 1 条长约 6km 的北西向、具有左旋逆冲性质的地表破裂(小鱼洞), 这一地表破裂样式是近期发生的特大地震中结构最复杂的逆断型地表破裂(徐锡伟等, 2008)。后山断裂没有发现地表破裂。



(a) 北川擂鼓镇坪上村地震断层陡坎和小道右旋水平位移



(b) 贵溪乡凤凰村五队地震断层陡坎和公路右旋水平位移错



(c) 南坝乡地震断层陡坎和公路右旋水平位移错



(d) 虹口镇地震断层陡坎(前山断裂)

图 2 龙门山中央断裂和前山断裂地震断层陡坎与水平位移

Fig. 2 Fault scarp and horizontal displacement of Longmenshan central fault and front fault

2 计算原理和方法

冉勇康等(2008)和郑文俊等(2008)的探槽开挖初步结果表明, 龙门山地区存在包括“5.12”汶川地震在内大小相近的至少 2 次地震事件, 这表明地震原地复发的假定成立。本文

将在这一基础上, 利用多种方法对龙门山断裂带的大震复发间隔进行估计。

由于龙门山断裂带缺乏可靠的古地震数据, 历史地震和现代强地震数据也较少, 故大震复发间隔的估计只考虑地质学中常用的断层滑动法、地震矩率释放法和 GPS 数据确定法。

汶川 $M_s 8.0$ 级大地震是 2 条平行的断裂同时破裂, 这 2 条断裂同时参与了地震能量的释放过程, 相当于逆断层的级联破裂。因此, 将龙门山断裂带看作一个孕震系统, 在估算地震复发间隔时应该使用整个龙门山断裂带的位错量和滑动速率, 而不是只用映秀-北川断裂的位错量和滑动速率。

2.1 断层滑动法

断层滑动法适用于时间可预报模式。在已知全新世断裂段的长期平均滑动速率及最新事件的同震平均位移量的情况下, 通常可采用 Wallace (1970) 公式来估计大震复发间隔:

$$\bar{T} = \frac{u}{v} \quad (1)$$

式中, u 为平均同震位错量; v 为断裂带平均滑动速率, $v = V - C$, V 是由地质学方法得到的较长时期中断裂的平均滑动速率, C 是断裂上无震长期蠕滑平均速率。

2.2 地震矩率释放法

地震矩率释放法适用于特征地震复发行。一般采用地震矩 M_0 反映地震释放能量大小, 它是震源几何参数的函数; \dot{M}_0 表示单位时间内地震矩的平均释放量, 称为地震矩率。如果假定断裂带内的地震复发模式为特征地震, 则可通过如下公式估计平均复发间隔:

$$\bar{T} = \frac{M_0}{\dot{M}_0} \quad (2)$$

式中, M_0 为地震矩, 可由特征地震的矩震级 M_w 确定; \dot{M}_0 为地震矩释放率, 由断裂段平均滑动速率等确定。

2.3 GPS 数据确定法

GPS 数据确定法适合于大震历史资料缺乏和活动断层定量研究程度较低的地区。根据古登堡-里克特的震级-频度关系式和地震矩-震级关系式, Ward (1994) 推导了利用 GPS 数据计算地震平均复发间隔的计算公式:

$$T(M+) = \left[\frac{b}{c+b} \right] \frac{10^{(c+b)M_{\max}+d}}{\dot{M}_0 [10^{bM_{\max}} - 10^{bM}]} \quad (3)$$

式中, $T(M+)$ 为震级高于 M 的地震平均复发间隔, b 为研究区大小地震次数比例, 可由研究区地震目录拟合获得; M_{\max} 为研究区最大震级, 在计算最大震级的复发间隔时, 一般取 M_{\max} 在最大震级的基础上加 0.1 或 0.2; c 和 d 为研究区地震矩-震级关系式参数, 不同地区的地震矩-震级关系式不同, 选用适合研究区的关系式。 \dot{M}_0 为地震矩率, 可由应变率计算获得 (Kostrov, 1974; Savage 等, 1997):

$$\dot{M}_0 = 2\mu AH_s \dot{\epsilon}_{\max}, \quad \dot{\epsilon}_{\max} = \max(|\dot{\epsilon}_1|, |\dot{\epsilon}_2|, |\dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2|) \quad (4)$$

式中, μ 为地壳弹性层剪切模量, 一般取 $3.0 \sim 3.3e+10 \text{ N/m}^2$, 具体取值可以根据研究区地壳性质确定; H_s 为变形单元的震源深度, 认为在此深度上以弹性应变积累, 并以地震的形式释放, H_s 的取值可以根据研究区地震目录确定; A 为变形单元面积, 取值可以由断层定量研究资料

确定; $\dot{\epsilon}_1$ 和 $\dot{\epsilon}_2$ 分别为主张应变速率与主压应变速率, 可以利用 GPS 数据借助二次插值法计算获得 (朱守彪等, 2005; 陈小斌, 2007)。

3 平均复发间隔的估计

3.1 断层滑动法

根据 Zhou 等 (2007)、Densmore 等 (2007)、Burchfiel 等 (2008) 和马保起等 (2005) 对龙门山断裂带晚第四纪以来地貌学的研究结果显示, 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的总和约为 3mm/a 左右; 徐锡伟等 (2008) 的研究也认为, 龙门山断裂带晚第四纪滑动速率约 3mm/a。综合上述研究, 龙门山断裂带的滑动速率定为 3mm/a。

震后科学考察表明, 中央断裂 (北川-映秀断裂段) 地表破裂带的最大垂直位移为 5.6m, 右旋走滑位移为 6.4m, 换算成倾向滑动位移为 8.8m; 前山断裂最大垂直位移为 3.5m, 水平位移为 1.9m, 换算成倾向滑动位移为 4.1m; 后山断裂暂未发现地表破裂, 本次地震造成的褶皱变形尚无法估计, 故本文在计算位错量时暂不考虑后山断裂。

利用断层滑动法计算大震复发间隔需要 2 个重要参数: 平均同震位错 u 和全新世滑动速率 v 。其中, 平均同震位错按最大同震位错的 2/3 估计, 则本次地震的平均同震位错量为 8.6m 左右。龙门山断裂带总体滑动速率为 3mm/a 左右, 平均蠕滑速率 C 可参考鲜水河断裂带的参数, C 值不超过总滑动速率的 10%, 综合上述因素, 可以确定 $v=V-C=2.7\text{mm/a}$ 。

根据式 (1), 此次汶川地震的平均复发间隔为: 8.0 级地震的复发间隔 $T_{8.0}=u/v=3185\text{a}$ 。再根据各震级档之间复发间隔的换算关系可得到: $T_{7.5}=1590\text{a}$; $T_{7.0}=790\text{a}$ 。

3.2 地震矩率法

根据陈运泰等的报告¹, 汶川地震是一次以逆冲为主、兼少量右旋走滑分量的地震, 它所释放的标量地震矩为 $4.4\text{e}+021\text{N}\cdot\text{m}$; 美国 USGS 网站提供的矩张量为 $7.7\text{e}+020\text{N}\cdot\text{m}$; 哈佛矩张量的计算结果为 $9.43\text{e}+020\text{N}\cdot\text{m}$ 。三者相差较大, 为此本文采用经验公式 (样本来自全球) 来验证。此次汶川地震的 M_S 为 8.0, 换算成矩震级为 8.3 (Chen, 2008), 那么根据如下公式:

$$\overline{M_0} = 10^{1.5\overline{M} + 9.05 - 0.048\sigma_m + 1.775\sigma_m^2} \quad (5)$$

式中, \overline{M} 为特征地震震级的均值, 可以取强震的矩震级, 本次地震的矩震级 M_W 为 8.3; σ_m 为特征地震震级的标准差, 一般取 0.12。计算得到 $\overline{M_0} = 3.3\text{e}+021\text{N}\cdot\text{m}$ 。

据此, 我们认为此次汶川 M_S 8.0 级地震的标量地震矩为 $3.3\text{e}+021\text{N}\cdot\text{m}$ — $4.4\text{e}+021\text{N}\cdot\text{m}$ 。

地震矩释放率计算公式为:

$$\dot{M_0} = \mu A v \quad (6)$$

式中, μ 为剪切模量, 取 $3\text{e}+10\text{N/m}^2$; A 为震源破裂面面积, 根据汶川地震的地下破裂长度和余震分布特征, 取 $A=400\text{km}\times 60\text{km}$; v 为断层长期平均滑动速率 (扣除蠕滑量), 参考断层滑动法的参数, 取 $v=2.7\text{mm/a}$ 。

1 陈运泰等, 2008. 2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源特性分析报告. 中国地震局地球物理研究所汶川地震科技支撑报告 (内部资料)。

根据上述公式, 得到 $\dot{M}_0 = 1.94e+018 \text{ N}\cdot\text{m/a}$ 。

由此可以估计 8.0 的地震复发间隔 $T_{8.0} = \overline{M_0} / \dot{M}_0 = 1700\text{--}2264\text{a}$ 。再根据各震级档之间复发间隔的换算关系, 得到 $T_{7.5} = 840\text{--}1120\text{a}$; $T_{7.0} = 410\text{--}560\text{a}$ 。

3.3 GPS 数据确定法

利用 GPS 数据计算地震平均复发间隔所需要的参数包括: 剪切模量 μ 、变形单元面积 A 、 b 值、最大震级 M_{\max} 、矩震级关系式、震源深度 H_s , 下面将分别介绍上述参数的确定。

①考虑到龙门山断裂带属于大陆板内, 剪切模量取 $\mu = 3.3e+010 \text{ N/m}^2$; ②根据汶川地震的地下破裂长度和余震分布特征, 取变形单元面积 $A = 400 \text{ km} \times 60 \text{ km}$; ③根据龙门山断裂带 1970 年至 2008 年 2 月 29 日地震目录数据, 拟合获得 $b = -0.89$; ④根据龙门山断裂带上发生的历史地震, 最大震级取 $M_{\max} = 8.0$, 在计算 8.0 级地震复发间隔时按照惯例取 $M_{\max} = 8.2$; ⑤对于地震矩 M_0 与地震震级 M_S 的关系, 选取 Chen 等 (1989) 的研究成果: $\lg M_0 = 1.09 M_S + 11.6$, 其中, 地震矩 M_0 单位取 $\text{N}\cdot\text{m}$, c 取 1.09, d 取 11.6; ⑥根据张国民等 (2002) 对中国大陆地震震源深度的研究, 中国大陆西部的震源深度平均为 $(18 \pm 8) \text{ km}$, 因此本文取震源深度 $H_s = 18 \text{ km}$ 。

利用中国地壳运动观测网络 1999—2007 年 4 期的观测数据 (王敏研究员提供), 采用二次插值法计算应变率, 代入式 (4) 和式 (3), 计算得到的大震复发间隔为: $T_{7.0} = 483\text{a}$; $T_{7.5} = 1280\text{a}$; $T_{8.0} = 4310\text{a}$ 。

3.4 结果分析

表 1 给出了综合上面三种方法得到的计算结果。

表 1 龙门山断裂带三种方法计算的大震复发间隔 (单位: a)

Table 1 Large earthquake recurrence intervals of Longmenshan fault zone by thress methods (unit: a)

方法	$M_S 7.0$	$M_S 7.5$	$M_S 8.0$
断层滑动法	790a	1590a	3185a
地震矩率释放法	410—560a	840—1120a	1700—2264a
GPS 数据确定法	483a	1280a	4310a

基于上述三种方法, 综合判定龙门山断裂带 $M_S 8.0$ 级大震平均复发间隔为 3000a, 这与其他学者的研究结果基本一致 (李勇等, 2006; 张培震等, 2008; Burchfiel 等, 2008)。但是由于上述三种方法在参数确定方面都存在一定的不确定性, 如: 断层滑动法中野外调查获得的最大位错量和滑动速率存在一定的偏差; GPS 数据确定法对地表垂向构造运动考虑不足 (腾吉文等, 2008); 计算方法中的一些假定与实际情况不完全相符等。因此, 计算结果仅是对断裂带大震复发的一个粗略估计。

4 结论

(1) 本文利用地质资料、地震学和大地测量学资料, 采用三种方法分别计算了龙门山断裂带的大震复发间隔。综合判定的地震复发间隔为: 7.0 级地震的 $T = 500\text{a}$ 左右; 7.5 级地震的 $T = 1000\text{a}$ 左右; 8.0 级地震的 $T = 3000\text{a}$ 左右。

(2) 大震复发间隔的估算考虑了多断层能量的释放过程, 类似于逆断层的级联破裂, 这

种现象表现为龙门山中央断裂和前山断裂的同震地表破裂。

(3) 多项研究给出的龙门山断裂带晚第四纪滑动速率 $< 3\text{mm/a}$, 这说明“5.12”汶川大地震是一次低滑动速率、长复发间隔和高能量释放的巨大地震。

参考文献

- 陈社发, 邓起东, 赵小麟, 1994. 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. 地震地质, 16 (4): 404—421.
- 陈小斌, 2007. 中国陆地现今水平形变状况及其驱动机制. 中国科学 (D 辑), 37 (8): 1056—1064.
- 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. 地震地质, 16 (4): 389—403.
- 李传友, 宋方敏, 冉勇康等, 2004. 龙门山断裂带北段晚第四纪活动性讨论. 地震地质, 26 (2): 248—258.
- 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. 第四纪研究, 26 (1): 40—52.
- 罗志立, 赵锡奎, 刘树根等, 1994. 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.
- 马保起, 苏刚, 侯治华, 2005. 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, 27 (2): 234—242.
- 冉勇康, 陈立春, 陈桂华等, 2008. 汶川 $M_s 8.0$ 地震发震断裂大地震原地重复现象初析. 地震地质, 30 (3): 630—642.
- 腾吉文, 白登海, 杨辉等, 2008. 2008 汶川 $M_s 8.0$ 地震发生的深层过程和动力学响应. 地球物理学报, 51 (5): 1385—1402.
- 王卫民, 赵连锋, 李娟等, 2008. 四川汶川 8.0 级地震震源过程. 地球物理学报, 51 (5): 1403—1410.
- 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. 地震地质, 32 (3): 597—629.
- 杨晓平, 蒋溥, 宋方敏等, 1999. 龙门山断裂带南段错断晚更新世以来地层的证据. 地震地质, 21 (4): 341—345.
- 张国民, 汪素云, 李丽等, 2002. 中国大陆地震震源深度及其构造含义. 科学通报, 47 (9): 663—670.
- 张培震, 徐锡伟, 闻学泽等, 2008. 2008 年汶川 8.0 级地震发震断裂的滑动速率、复发周期和构造成因. 地球物理学报, 51 (4): 1066—1073.
- 郑文俊, 李传友, 王伟涛等, 2008. 2008 年汶川 $M_s 8.0$ 地震陡坎 (北川以北段) 探槽的记录特征. 地震地质, 30 (3): 697—709.
- 周荣军, 李勇, Alexander L.D. 等, 2006. 青藏高原东缘活动构造. 矿物岩石, 26 (2): 40—51.
- 朱守彪, 蔡永恩, 石耀霖, 2005. 青藏高原及邻区现今地应变率场的计算及其结果的地球动力学意义. 地球物理学报, 48 (5): 1053—1061.
- Burchfiel B.C., Chen Z., Liu Y. et al., 1995. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China. Int. Geol. Rev., 37 (8): 661—735.
- Burchfiel B.C., Royden L.H., Hilst R.D. et al., 2008. A geological and geophysical context for the Wenchuan earthquake of 12 May 2008, Sichuan, People's Republic of China. GSA Today, 18 (7): 4—11.
- Chen P., Chen H., 1989. Scaling law and its applications to earthquake statistical relations. Tectonophysics, 166: 53—72.
- Chen Y.T., 2008. On the magnitude and the fault length of the great Wenchuan earthquake. Science & Technology

- Review (in Chinese), **26** (10): 26—27.
- Densmore A.L., Ellis M.A., Li Y. et al., 2007. Active tectonics of the Beichuan and Pengguan faults at the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonics*, 26: doi: TC4005, 10.1029/2006 TC001987.
- Kostrov V., 1974. Seismic moment and energy of earthquakes and seismic flow of rock. *Iav. Acad. Sci. USSR. Phys. (Solid Earth)*, 1: 23—40.
- Savage J.C. and Simpson R.W., 1997. Surface strain accumulation and the seismic moment tensor. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **87**: 1345—1353.
- Wallace R.E., 1970. Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **81** (10): 2875—2890.
- Ward S.N., 1994. A multidisciplinary approach to seismic hazard in southern California. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **84** (5): 1293—1309.
- Zhou R.J., Li Y., Densmore A.L. et al., 2007. Active tectonics of the Longmen Shan region on the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Acta Geologica Sinica*, **181** (4): 593—604.

Estimation of Wenchuan $M_S8.0$ Earthquake Recurrence Interval

Xie Furen, Zhang Yongqing and Zhang Xiaoliang

(Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

Abstract The Wenchuan $M_S8.0$ earthquake occurred on Longmenshan Fault zone at the eastern margin of the Tibetan Plateau, which generated a 330km long surface rupture along Central Fault and Front Fault. Investigations suggest that earthquake recurrence of Longmenshan Fault zone may be treated as characteristic earthquake model. We estimate large earthquake recurrence of Longmenshan Fault zone from geology, seismology and GPS data analysis with seismo-geological information and basic parameters of surface rupture of the Wenchuan earthquake region. Our results show that earthquake recurrences for $M_S8.0$ along Longmenshan fault zone are 3185a from geological data, 1700—2264a from seismological data, and 4310a from GPS observation data, with an average of 3000a. $M_S7.5$ earthquake recurrence is 1000a and $M_S7.0$ earthquake recurrence is 500a. The results in this paper are similar with other results, which reflects the energy level and cumulate rate of Longmenshan Fault zone.

Key words: Longmenshan fault zone; Wenchuan; Large earthquake; Recurrence interval