

汶川 8.0 级地震与云南东部主要构造带 强震关联性研究^{*}

刘 翔¹, 黄泰春¹, 朱荣欢²

(1. 云南省地震局, 昆明 650224 2. 昆明市防震减灾局, 昆明 650100)

摘要: 根据川滇区域构造及应力场背景系统研究了川滇强震活动时空分布特征, 并根据川滇强震所处构造的关联性深入研究了川青块体东西两边界断裂构造带、川滇菱形块体东边界断裂构造带强震活动的盛衰演变规律及三大断裂构造带强震互动性、相关性, 以此探讨汶川 8.0 级地震对云南特别是云南东部主要断裂带强震活动的影响, 并通过对云南东部中小地震活动的频度、 b 值、地震危险度 D 值等参数动态变化的深入研究, 对该区强震孕育的可能性进一步作了定量的、科学的论证。

关键词: 汶川 8.0 级地震; 断裂带; 四川; 云南; 强震; 关联性; 地震参数

中图分类号: P315.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)增刊-0445-07

0 引言

2008 年 5 月 12 日, 在四川长达 32 年无 7.0 级以上地震的背景上发生了汶川 8.0 级地震。截止到 7 月中旬, 地震已造成 69 196 人遇难, 374 176 人受伤, 18 381 人失踪。该地震是继 1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级大地震后, 中国大陆再一次经历的深重的灾难事件, 此灾难举世瞩目, 普天同哀。

汶川 8.0 级地震发生在龙门山断裂带上, 处于中国南北地震带的中南段, 它的发生打破了该地震带 12.3 年无 7.0 级以上地震的平静状态。根据统计研究的结果, 认为该地震带强震平静结束后, 有可能进入下一轮强震活动期。那么未来强震活动将向何处转移呢?

在行政区划上, 四川与云南紧密相连, 从构造上, 川青块体东边界岷江—龙门山断裂带与云南东部构造活动彼此关联, 两区域强震孕育, 发生的动力源均为印度板块向 NE 方向的推挤力。由此可见, 四川与云南有着密不可分的关系。汶川 8.0 级地震与云南强震活动有何关联、有何影响? 本文中笔者对此问题进行了大量系统、深入的研究。

1 川滇区域构造及应力场背景

川滇地区位于青藏高原的东缘, 由川青块体和川滇块体组成, 两块体边界由鲜水河断裂带、岷江—龙门山断裂带、安宁河—则木河断裂带、小江断裂带、楚雄—建水断裂带和红河断裂带等多条不同规模的活动断裂带所分割 (易桂喜, 2002)。

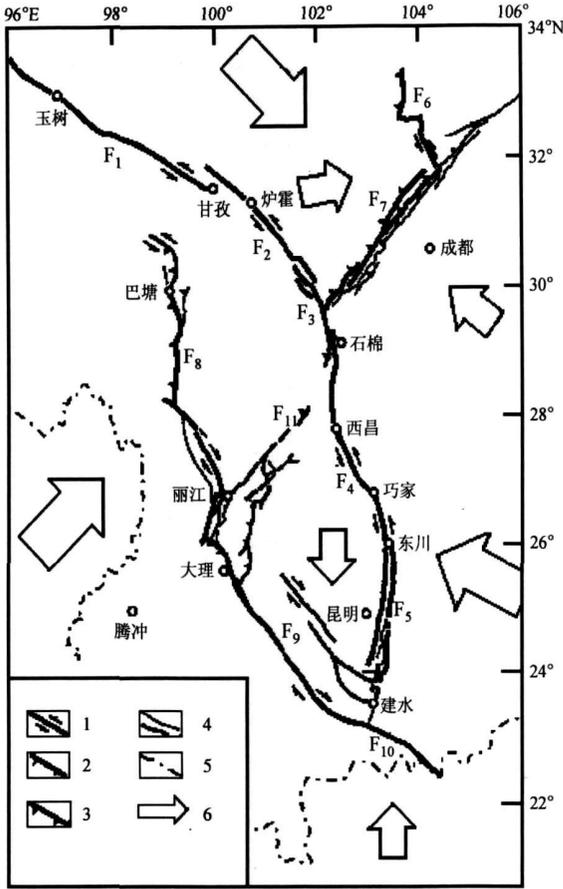
上新世晚期以来, 由于印度板块向欧亚板块中国大陆的正面强烈推挤, 青藏高原快速隆升, 西藏地块东移, 受阻于四川地块和华南地块, 遂转向南作用, 驱使川滇菱形块体的 SSE 方向楔入; 此外, 由于印度板块向北推移, 云南红河断裂以西地区直接受到侧向挤压的作用力 (阚荣举, 1977; 皇甫岗, 2006)。

印度板块 NE 方向持续推挤欧亚板块, 导致中国大陆形成统一的应力场, 在其作用下, 云南西部和川滇块体北部受压, 而东部和南部受阻并形成反作用力 (图 1), 这样川滇地区地壳得以积累起巨大的地震能量。

笔者根据川滇地区历史地震记录的强震活动时空分布特征及构造的关联性, 探讨了该区主要构造带大震活动的呼应、转移等的规律。

* 收稿日期: 2008-07-02.

基金项目: “十一五” 国家科技支撑项目子专题“地下流体长期动态特征与强震趋势预测研究” (2006BAC01B02-03-04) 资助.



1. 走滑断层及旋性; 2. 正断层; 3. 逆断层;
4. 次级活动断裂; 5. 国界; 6. 粗箭头为
大区应力场方向, 细箭头为应力场方向

F₁: 甘孜—玉树断裂带; F₂: 鲜水河断裂带; F₃: 安宁河断裂带;
F₄: 则木河断裂带; F₅: 小江断裂带; F₆: 岷江断裂带;
F₇: 龙门山断裂带; F₈: 金沙江断裂带; F₉: 楚雄—建水
断裂带; F₁₀: 红河断裂带; F₁₁: 小金河—剑川断裂带

图 1 川滇地区主要断裂带展布图

由此可见, 川滇地区高水平地震活动状态及其有序空间分布的特征, 与其所处的特殊构造区位和所受的区域应力场应力作用有着密切不可分的关系。

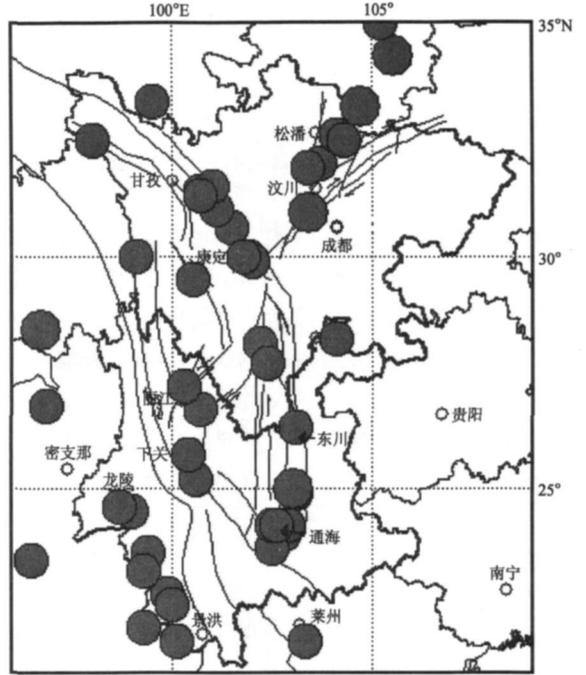


图 2 1500 年以来川滇 M ≥ 7.0 地震活动空间分布

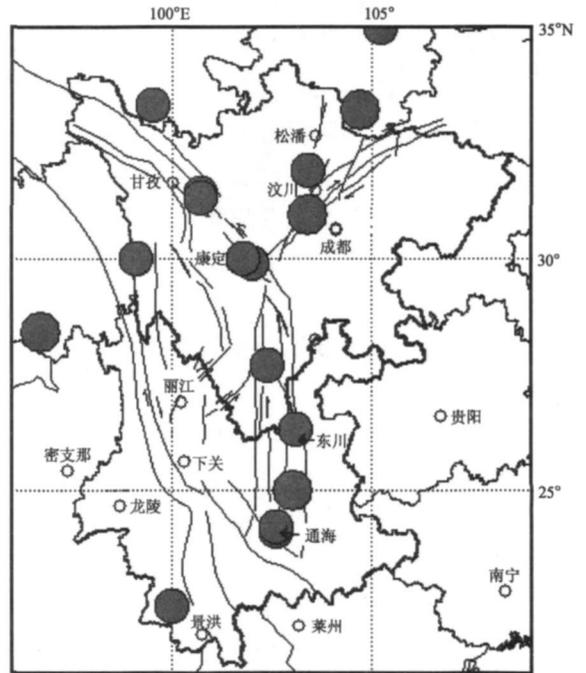


图 3 1700 年以来川滇 M ≥ 7.5 地震空间分布

2 川滇强震活动时空分布特征

2.1 川滇强震活动空间分布特征

根据历史地震记载, 1500 年以来川滇地区共发生 7.0 级以上地震 41 次, 其中 7.0~7.9 级地震 39 次, 8.0~8.9 级地震 2 次, 最大地震强度为 8.0 级。由图 2 可见, 川滇 7.0 级以上地震主要分布在川滇和川青两块体边界断裂带上, 其余分布在滇缅块体中的景洪—腾冲 NW 向强震带上。从强度而言, 川滇和川青块体东边界的龙门山断裂带和小江断裂带地震强度最高, 均发生过 8.0 级地震 (图 3)。

2.2 川滇强震活动时序分布特征

图 4 为川滇 7.0 级以上历史地震活动时序分布图。由图 4 可见, 1500 年前川滇只有个别 7.0 级

以上地震有记载, 所以川滇 7.0 级以上地震资料起始时间应于 1500 年算起, 但仍有遗漏。其中 1700 年后 7.5 级以上地震资料可能比较完整, 而 7.0 级以上地震资料从 1900 年后才比较完整。

从图 4 可看出, 川滇 7.5 级以上地震具有明显的活跃、平静的盛衰交替活动的韵律, 平静期时间尺度为 50~60 年, 活跃期内 7.5 级以上地震间隔时间优势分布为 20 年左右; 1900~1955 年全球处于 8.0 级以上地震强活跃时段, 此期间川滇 7.0 级以上地震也一直处于活跃中, 地震间隔为几年或 10 年左右; 1955 年后川滇 7.0 级以上地震呈现活跃、平静交替活动的动态过程, 平静期长度为 12~15 年 (图 4c)。2008 年 5 月 12 日在龙门山断裂带上发生汶川 8.0 级地震, 打破了川滇 12.3 年无 7.0 级以上地震的平静。分析认为, 汶川 8.0 级地震将启动下一个川滇 7.0 级以上地震活跃期。

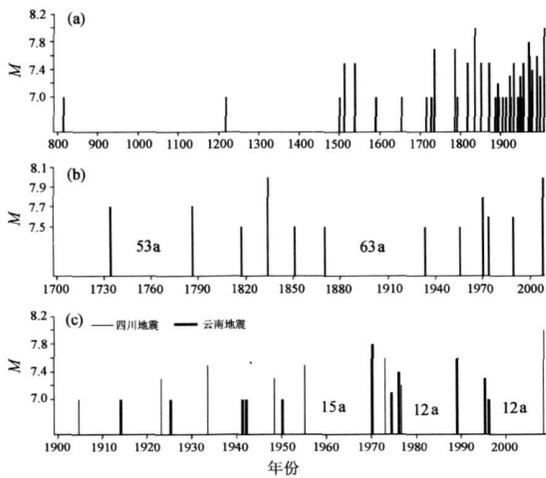


图 4 川滇历史大震时序分布

(a) 800~2008 年 $M \geq 7.0$ 地震; (b) 1700~2008 年 $M \geq 7.5$ 地震; (c) 1900~2008 年 $M \geq 7.0$ 地震

3 汶川 8.0 级地震对川滇主要断裂构造地震活动的影响

3.1 川青块体东西两边界断裂构造带、川滇菱块东边界断裂构造带强震活动特征及关联性

上文已指出, 川滇 7.0 级以上地震主要分布在川滇和川青两块体边界断裂带上, 从图 3 可以看出, 1700 年以来川滇共发生 12 次 7.5 级以上地震, 其中 11 次分布在川青块体东、西边界断裂构造带及川滇菱块东部主要断裂构造带上。这三大

断裂构造带交汇于康定一带, 形成 Y 字型构造分布。在印度板块向北东推移过程中所形成的区域应力场作用下, 这三大构造带断裂活动彼此影响。

川青块体东边界断裂构造带上的 7.0 级以上地震主要发生在龙门山、岷江和虎牙等断裂带上, 川青块体西边界断裂构造带 7.0 级以上地震主要分布在鲜水河断裂上; 川滇菱块东部断裂构造带上的 7.0 级以上地震主要发生在则木河、小江、曲江和石屏—建水等断裂带上。

取康定至川甘交界的武都 NE 向 7.0 级以上地震带、康定—甘孜 NW 向鲜水河 7.0 级以上地震带、西昌—昆明—石屏 SN 向 7.0 级以上地震带进行深入分析研究, 结果得出, 1700 年以来, 这三条 7.0 级以上地震带地震活动基本同步, 经历了 4 个活跃及 4 个平静的盛衰交替活动过程, 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震打破这三条地震带 32 年无 7.0 级以上地震的平静。其较大的差异性有两点 (图 5):

(1) 三条地震带每个 7.0 级以上地震活跃期, 均是从 NE 向地震带活动开始进入高能量大震释放阶段。

(2) 在同一活跃期内, NE 向 7.0 级以上地震与 NW 向、NS 向 7.0 级以上地震具有明显盛衰交替活动的特征。NE 向 7.0 级以上地震带地震频次低, NW 和 NS 向 7.0 级以上地震带地震频次高。基本上, 一次 NE 向地震带 7.0 级以上尤其是 7.5 级以上地震发生后, 该地震带将处于平静状态, 而后在长达数年、十几年时间段内, NW、NS 向地震带 7.0 级以上地震相继交替活动。此地震活动特点决定川青块体东边界断裂构造带 7.0 级以上地震平静期长, 川青块体西边界断裂构造带及川滇菱块东边界断裂构造带 7.0 级以上地震平静期短。

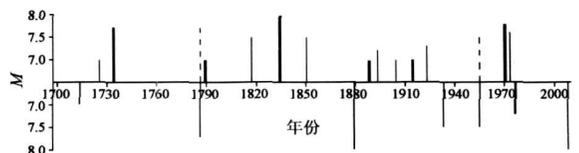


图 5 川青块体东西边界、川滇菱块东边界断裂构造带 $M \geq 7.0$ 地震时序分布

注: 虚线表示其与下方的地震是同一个地震, 该地震发生在龙门山地震带与鲜水河地震带交汇部位; 横轴上方为川青块体西边界 NW 向地震带和川滇菱块东边界地震带 (| 为云南东边界); 下方为川青块体东边界 NE 向地震带。

3.2 汶川地震与云南东部主要构造带相关性

上述研究结果表明, 岷江—龙门山地震带、鲜水河地震带、云南东部主要构造带地震活动不仅具有显著的盛衰交替性, 还存在一定程度的关联性或互动性。其中, 岷江—龙门山地震带上的地震活动对其它两个构造带地震的影响程度是比较显著的, 在其上发生大震后, 将引发另外两个构造带上的强震活动。由此推测, 发生在龙门山地震带上的汶川 8.0 级地震对未来川滇强震丛集活动的启动具有重

要的指示意义。那么该地震将对云南东部构造地震活动的强度及发生时间等有何影响呢?

云南东部主要断裂构造带由小江、曲江和石屏—建水等断裂带组成。从图 5 可看出, 云南东部主要构造带 7.0 级以上地震与川青块体东西边界构造带 7.0 级以上地震存在北南往返迁移规律, 尤其在沿龙门山、岷江、虎牙等断裂带展布的 NE 向地震带强震活跃期首发震后, 云南东部构造带首先出现强震响应, 典型震例见表 1。

表 1 龙门山、岷江、虎牙等断裂构造带与云南东部构造带强震迁移统计表

序号	龙门山、岷江、虎牙等断裂构造带			云南东部构造带	
	时间	地点和震级	意义	时间	地点和震级
1	1786-06-01	康定 7.7 级	活跃期首发震	1789-06-07	华宁 7.0 级
2	1879-07-01	武都南 8.0 级	活跃期首发震	1887-12-16	石屏 7.0 级
3	1933-08-25	茂汶 7.5 级		1935-12~1936-05	马边 6.7 级地震群
4	1955-04-14	康定 7.5 级	活跃期首发震	1955-09-23	永仁 6.7 级
5	1976-08-16、23	松潘 7.2 7.2 级	活跃期尾震	1970-01-05	通海 7.8 级
6	2008-05-12	汶川 8.0 级			

根据对 1900 年以来较完整的 7.0 级以上地震资料的研究, 大部分四川 7 级地震后, 在 1~2 年时间段内, 云南将出现不同程度的地震活动响应。统计结果显示, 四川 7 级地震后短期内, 云南首先出现响应的地震是中强地震, 强度达 6 级, 最高强度为 6.7 级, 6 级地震响应最长时间为 6 个月, 优势时段为 3 个月 (比例为 57%); 随着区域应力不断调整、增强, 能量积累也随之增高, 达到 7 级地震的能量, 其释放的高概率时段为四川 7 级地震后 1.3~2.3 年 (表 2、表 3)。该统计结果对未来云南东部强震活动最快时间尺度有一定的借鉴。

表 3 四川 $M \geq 7.0$ 震后半年内云南地区最大地震强度统计表

四川	云南	间隔/月
1904-08-30 道孚 7.0		
1923-03-24 炉霍 7.3	1923-07-01 勐海 6.5	3
1933-08-25 茂汶 7.5	1934-01-12 石屏 6.0 1934-01-19 泸水 6.0	5
1948-05-25 理县 7.3	1948-06-27 剑川 6.2	1
1955-04-14 康定 7.5	1955-06-07 华坪 6.0 1955-09-23 永仁 6.7	2 5
1973-02-06 炉霍 7.6	1973-08-16 宁洱 6.3	6
1976-08-16 23 松潘 7.2	1976-11-07 盐源 6.7	3
2008-05-12 汶川 8.0	?	?

表 2 四川 $M \geq 7.0$ 地震后云南首发强震统计表

四川	云南及周边	间隔/月
1904-08-30 道孚 7.0		
1923-03-24 炉霍 7.3	1923-06-22 缅甸 7.3 1925-03-15 大理 $M7.0$	3 24
1933-08-25 茂汶 7.5	1935-12~1936-05 马边 6.7 震群	28
1948-05-25 理塘 7.3	1950-02-02 勐海 7.0	21
1955-04-14 康定 7.5	1955-09-23 永仁 $M6.7$	5
1973-02-06 炉霍 7.6	1974-05-11 大关 7.1	15
1976-08-16 松潘 7.2 1976-08-23 松潘 7.2	1976-11-07 盐源 $M6.7$	3
2008-05-12 汶川 8.0	?	?

4 汶川地震前后云南东部地区地震活动

4.1 云南东部构造带及川滇交界中小地震活动特征

2003 年 11 月至 2006 年 11 月, 小江断裂以北及构造附近的鲁甸、盐津发生 6 次 5 级地震。研究认为, 该构造及附近地区中强震丛集活动过程与所处构造急剧活动有一定程度的内在关系, 该区域中强震高度丛集活动是构造释放 6.5 级以上地震能量的一个重要震兆 (刘翔, 2006)。

同一地区、地震带的地震活动一般具有一定的共性特征。2006 年会泽 5.3 级地震前, 小江断裂带及附近出现中小地震反复活跃的现象, 结果, 不仅在中小地震活动的条带上发生了会泽地震, 而且其后在该中小地震活动条带北端发生两次同等强度的盐津地震 (刘翔等, 2006)。2008 年 1 月以来, 川滇交界一带 3 级以上地震十分活跃 (图 6)。若汶川 8.0 级地震前中小地震的活跃与大尺度区域应力场应力增强有关的话, 震后的活跃可能表明该构造在汶川地震后仍处于高应力状态, 并有可能通过发生强震的方式来释放构造所积累的能量。

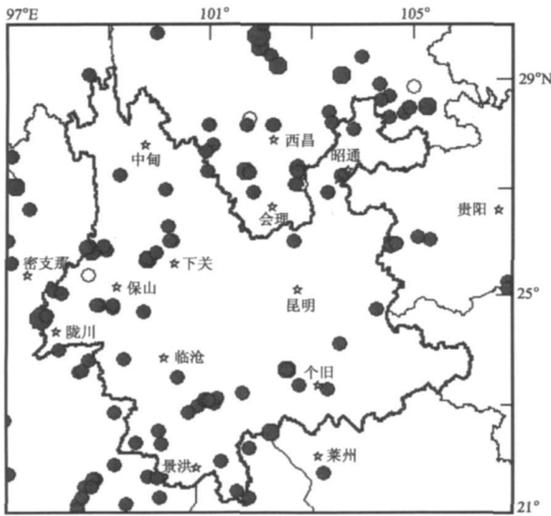


图 6 2008 年 1~7 月云南地区 $M \geq 3.0$ 地震空间分布

4.2 云南东部构造带及川滇交界中小地震参数异常特征

大量地震研究与预报实践工作表明, 准确的地震预测判断不仅建立在统计结果、经验等基础上, 更关键的是要以定量的科学数据作为充分的依据。

在地震研究中常将中小地震活动的频度 N 值、 b 值、地震危险度 D 值等参数大小的变化作为定量刻画中强或强震危险程度的主要依据, 其中:

- (1) 小震频度往往作为小震活跃与平静的定量标志;
- (2) 根据古登堡—里克特公式:

$$\lg N = a - bM \quad (1)$$

b 值反映了大小地震间的比例关系, 它决定于岩石中应力大小与破裂应力的百分比;

(3) 地震危险度 D 值反应了地震在时间上的丛集程度。根据陆远忠等 (2002) 的研究, D 值定义为

$$D = 1 - \exp(-\mu/\rho) \quad (2)$$

其中 μ, ρ 为待定参数, 它们服从 Weibull 分布

$$f(\tau) = \mu\tau^{\rho-1} \exp[-(\mu\tau^\rho)/\rho] \quad (3)$$

其中 τ 为两地震的时间间隔。

将图 6 中云南东北部及川滇交界中小地震活动区作为研究区, 6 个月为时间窗, 对研究区内中小地震活动的各种参数进行全时空扫描、和研究分析, 结果得到, 研究区 $M \geq 6.0$ 地震发生前, 该区中小地震活动参数 N 值、 b 值、 D 值都会相应出现显著的高值异常变化。2008 年上半年, 该研究区 $M \geq 3.0$ 地震活动超出 40 次高警戒的水平, $M \geq 2.0$ 地震 b 值处于高值状态, $M \geq 2.5$ 地震 D 值处于高值时段。这三个参数的异常可能是当前云南东北部及川滇交界一带 $M \geq 6.0$ 地震孕育的震兆信息显示。

综上所述, 孕震中期的 5 级地震活动丛集异常、短期的中小地震活跃都可能表明云南东部尤其是小江断裂北部及川滇交界一带活动构造可能处于 6~7 级地震孕育过程。

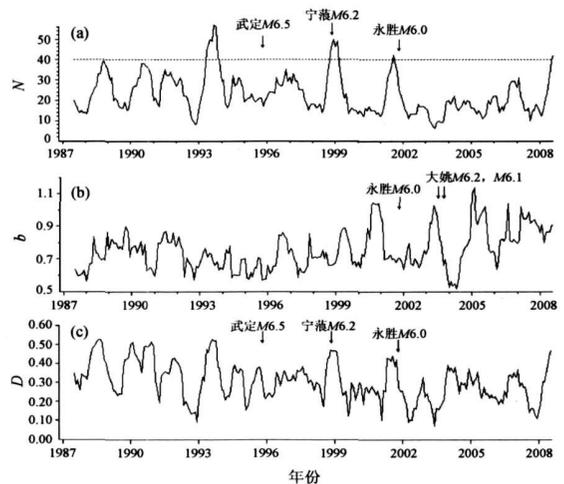


图 6 云南东北部 ($25^\circ \sim 30^\circ N$, $100.8^\circ \sim 106^\circ E$) 小震活动参数动态变化图

(a) $M \geq 3.0$ 地震 N —图; (b) $M \geq 2.0$ 地震 b —图;

(c) $M \geq 2.5$ 地震 D —图

5 结论与讨论

笔者从川滇区域构造及应力场背景、川滇强震活动时空分布特征两大方面研究分析了川滇强震活动与地质主要断裂构造间的关联性, 深入探讨了汶川 8.0 级地震与云南东部主要构造强震活动的相关性, 并通过对汶川地震前后小江断裂以北川滇交界一带地震活动参数动态变化特征的定量研究, 分析了当前云南东部主要构造的强震危险性。研究结果有以下几点:

(1) 川滇地区强震活动与其所处的特殊构造区位和所受的区域应力场应力作用有着密不可分的关系, 强震主要发生在川青和川滇两块体边界断裂带上, 并形成有序空间分布。

(2) 川青块体东、西边界及川滇菱块东边界强震活动水平比较强, 川滇 7.5 级以上地震几乎都发生在这三条 Y 字型地震条带上。由于这三条地震条带构造的特殊性、关联性, 它们的强震活动彼此影响, 主要表现为:

① 川滇 Y 字型地震带强震活动经历了 4 个活跃期、4 个平静期盛衰交替活动过程, 每次强震活跃期首发震均是从龙门山、岷江、虎牙等断裂形成的 NE 向构造带启动。汶川 8.0 级地震打破了川滇 Y 字型地震带 32 年无 7.0 级以上地震的平静, 该地震的发生将有可能启动川滇下一轮强震活跃期。

② 四川强震与云南东部主要构造带的强震存在北南往返迁移特征, 汶川 8.0 级地震后, 未来云南东部主要构造带发生 7.0 级以上地震的可能性较大。

③ 四川 7 级地震后, 云南首先响应的地震是 6 级中强地震, 优势时段为 3 个月, 最长为 6 个月, 7 级地震响应的时间较长, 优势时段为四川 7 级以上地震后 1.3~2.3 年。

(3) 汶川 8.0 级地震前云南东北部及川滇交界中小地震比较活跃, 震后该地区中小地震仍处于高水平活动状态, 其地震频度、b 值、D 值等地震参数相应出现显著的高值异常变化, 并超出该区发生 6.0 级以上地震的异常警戒线, 显示出云南东北部及川滇交界一带可能孕育着 $M \geq 6.0$ 的地震。

8 级与 7 级地震迁移时间的尺度可能有很大的差异性, 也可能基本相同。历史上四川无 8 级地震, 云南与四川响应的强震时间只能依赖于现有的 7 级地震资料进行统计得出。因此, 汶川 8.0 级地震后迁移到云南的强震发生时间的统计结果有一定的局限性, 还有待检验。

参考文献:

- 刘翔, 王绍晋, 钱晓东, 等. 2006. 2005 年会泽 5.3 级地震与小江断裂地震活动关系研究 [J]. 地震研究, 29 (4): 332-337.
- 皇甫岗, 秦嘉政. 2006. 云南地区大震活动规律研究 [J]. 地震地质, 28 (1): 37-47.
- 阚荣举, 王绍晋, 黄岷, 等. 1977. 中国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨 [J]. 地球物理学报, 20 (2): 96-109.
- 易桂喜, 闻学泽, 徐锡伟, 等. 2002. 川滇地区若干活动断裂带整体的强地震复发特征研究 [J]. 中国地震, 18 (3): 267-276.
- 陆远忠, 李胜乐, 邓志辉, 等. 2002. 基于 GIS 的地震分析预报系统 [M]. 成都: 成都地图出版社.

Correlation between the Wenchuan $M_s 8.0$ Earthquake and Strong Earthquakes on Main Tectonic Zones in Eastern Yunnan

LIU Xiang, HUANG Taichun, ZHU Ronghuan

(1. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

(2. Earthquake Prevention and Disaster Reduction Bureau of Kunming, Kunming, Yunnan, 650100)

Abstract

The Sichuan-Yunnan area is composed of Sichuan-Qinghai block and Sichuan-Yunnan tectonic block. The rupture zones at the eastern and western boundaries of the Sichuan-Qinghai block and the eastern boundary of the Sichuan-Yunnan block are main tectonic zones in eastern Yunnan. We analyze the spatio-temporal distribution features of strong earthquake activity in the Sichuan-Yunnan area according to regional tectonics and background stress field, and further study the evolution rule of the strong earthquake activities on the three rupture tectonic zones, and the interaction and relation between them. Based on above analyses we discuss the influence of the Wenchuan earthquake on the strong earthquake activity in Yunnan, especially on those on the major rupture zones in eastern Yunnan, and analyze the possibility of strong shock in this area quantitatively and scientifically according to the dynamic changes of frequency of small shocks, b value, and seismic risk D value in eastern Yunnan.

Key words: Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake, fault zone, strong earthquake, correlation, seismic parameter, Sichuan, Yunnan