

汶川 8.0 级地震后云南地震趋势研究^{*}

赵小艳¹, 付虹¹, 王强²

(1. 云南省地震局, 昆明 650224 2 昆明市东川区地震局, 昆明 654100)

摘要: 根据川滇地区 7 级地震活动特征、四川 7.0 级地震与云南地震活动状态的统计规律、川滇 $M_s \geq 6.7$ 强震幕式活动特征、云南 5 级地震活动特征以及汶川地震后川滇 3 级地震活动特征等, 分析了汶川地震后云南的地震趋势, 初步认为: 云南地区 1~2 年内进入新一轮强震活跃期的可能性小; 川滇地区下一强震活动区应该以四川为主, 而云南 $M_s \geq 6.7$ 地震的活动强度要比四川低, 最大地震可能为 7.0 级左右, 川滇菱形块体为短期内最可能发生 $M_s \geq 5$ 地震的区域。

关键词: 川滇地区; 7 级地震活动特征; 汶川 8.0 级地震; 地震趋势; 云南

中图分类号: P315.75 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)增刊-0452-06

0 引言

川滇地区位于青藏高原东南缘, 地处我国强震活动频繁的南北地震带上, 是印度板块与欧亚板块碰撞的强烈变形地带, 地质构造错综复杂, 活动断裂异常发育。地震活动频度高、强度大, 是我国最重要的强震活动地区之一。据统计, 中国大陆 7 级以上强震 30% 以上发生在川滇地区。

2004 年 12 月 26 日印尼 8.7 级巨震发生后, 国内的许多学者专家从 GPS 统计、相关分析、应力触发、水位后效和相关性统计等各个方面做了很多分析研究, 发表了多篇论文 (张国民等, 2005; 杨国华等, 2006; 付虹等, 2007; 韩渭滨等, 2007; 薄万举等, 2006), 试图探讨这次巨震对我国大陆尤其是川滇地区未来地震趋势的影响, 认为印尼 8.7 级地震可能会加速西南地区尤其是云南地区 7 级强震发生的可能。2008 年 5 月 12 日四川汶川发生 8.0 级地震。而在这 3 年半的时间内, 云南地区仍然维持着一年 3 次左右 5 级地震的频率, 印尼地震对云南地区地震无论是从频度上还是强度上都没有明显的影响。而汶川地震发生后, 其对云南强震活动的影响又成了大家比较关注的问题。因此, 科学冷静地看待周边强震对云南强震趋势的影响, 对我们在日常中短期跟踪工作中地震活动水平的预测有重要的指导意义。而川滇作

为一个地震构造块体, 有着相同的新构造环境和地震活动紧密联系的充分依据 (黄圣睦, 2000)。因此, 对川滇强震活动特征进行研究, 可以为川滇后续强震的预测预报提供一定依据, 对减轻地震灾害损失具有重要意义。

1 区域构造动力学环境和川滇强震活动特征

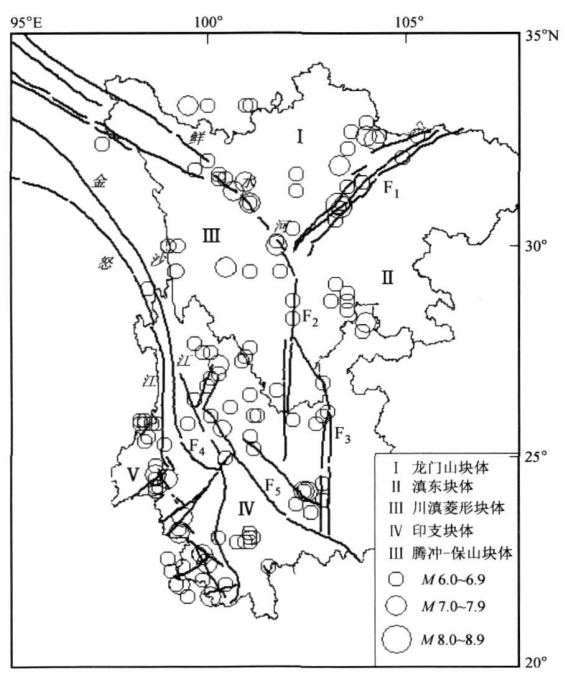
从川滇地区的主要活动构造与强震震中分布 (图 1) 可以看出, 川滇地区主要发育有 4 个大的断裂系, 分别是: ① NW 向的鲜水河、近 SN 向的安宁河和近 SN 向的小江断裂带; ② 近 SN 向的金沙江和 SE 向的红河断裂带; ③ 近 SN 向的怒江和 SSE 向的澜沧江断裂带; ④ NE 向的龙门山断裂带。除这 4 条大型活动断裂外本地区还存在一系列次级断裂, 如理塘断裂、木里弧形断裂、南汀河断裂、元谋—绿汁江断裂等 (国家地震局地质研究所等, 1990)。

据不完全统计, 1900~2008 年川滇地区共记录 $M_s \geq 6.0$ 地震 143 次, 其中 6.0~6.9 级 120 次, 7.0 级以上 23 次, 最大地震为 2008 年 5 月 12 日汶川 $M_s 8.0$ 地震。其中发生在块体内部或边界的 6.0~6.9 级地震 106 次, 占 89%, 7.0 级以上 23 次, 占 100%。由图 1 可见川滇地区 $M_s \geq 6.0$ 强震分布极不均匀, 多数集中分布在块体边界的断裂带上,

* 收稿日期: 2008-07-21.

基金项目: 云南省人才培养计划 (2006PY01-39) 资助。

部分分布在块体内部的次级断裂带上。从 5 大块体的地震活动强度来看 (图 1), 最强的是由鲜水河—安宁河—小江断裂带和金沙江—红河断裂带围成的川滇菱形块体。1900 年以来发生在块体内部或边界的 6.0~6.9 级地震有 48 次, 占 40%; 7.0 级以上地震 9 次, 占 39%。其次是腾冲—保山块体, 1900 年以来该区共发生 6.0~6.9 级地震 27 次, 7.0~7.9 级地震 8 次, 分别占同时期全区的 23% 和 35%。龙门山块体 1900 年以来共发生 6.0~6.9 级地震 17 次, 7.0 级以上地震 5 次, 分别占同时期全区的 14% 和 22%; 活动强度最低的是小江断裂带以东的滇东块体 (1900 年以来该区共发生 6.0~6.9 级地震 6 次, 7.0 级以上地震 1 次) 和印支块体 (1900 年以来该区共发生 6.0~6.9 级地震 8 次, 7.0 级以上地震 0 次)。地震活动水平的空间差异与活动地块及其边界断裂的现今运动状态差异有密切关系 (苏有锦等, 2001)。



F_1 : 龙门山断裂带; F_2 : 安宁河断裂带; F_3 : 小江断裂带;
 F_4 : 澜沧江断裂带; F_5 : 红河断裂带

图 1 1900~2008 年川滇地区活动构造与 $M_s \geq 6.0$ 强震分布图

2 川滇强震活动特征

黄圣睦 (2000) 认为川滇作为一个地震构造

块体, 有着相同的新构造环境和地震活动紧密联系 的充分依据, 因此在研究川滇地区强震活动时, 根据行政区划对地震进行研究没有充分的依据和 意义, 而应当将其作为一个整体的构造区来进行 研究。前人的研究结果也认为川滇强震活动的时 空特征存在一定的规律性。如石绍先等 (2003) 认为川滇 6.0 级以上地震存在成组活动的特征, 成 组强震是川滇地区地震活跃期的最重要特征, 川 滇地区 95% 的 7.0 级以上大震均处于强震组内; 皇甫岗等 (2007) 认为滇东与川西地区的强震活 动存在一定的呼应关系; 黄圣睦 (2003) 认为川 滇强震有明显的密集—平静交替分布特征, 川滇 东带、西带具有交替活动的趋势。

2.1 川滇 7 级以上地震活动特征

本文选取 1900 年以来川滇地区 ($21^{\circ} \sim 35^{\circ}N$, $95^{\circ} \sim 108^{\circ}E$) $M_s \geq 7.0$ 地震共 23 次 (20 组, 双震 当一组计) 进行研究。历史上川滇地区 7 级以上 强震存在密集活动期, 也存在单个地震突发的情况。如果不考虑强震密集活动期的地震, 川滇地 区 7 级强震存在平均 9.1 年 (3 321 天) 的平静 特征。

如图 2、表 1 所示, 1900 年以来川滇 7 级以上 地震平静超过 12 年的震例只有 3 次, 前 2 次长时 间的 7 级地震平静都是由云南省内 7 级地震打破 平静, 平静期结束后云南地区分别进入第 III、IV 活跃期 (苏有锦等, 2001), 川滇地区也进入 7 级地震频发 期。从 1996 年 2 月 3 日丽江 7.0 级到 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震, 7 级地震平静时间为 12.3 年, 根据历史上 7 级地震平静超过 12 年的震例来看, 川 滇地区有可能进入 7 级地震频发时段。

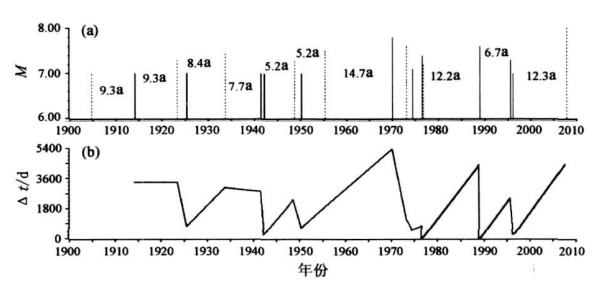


图 2 1900~2008 年川滇地区 $M_s \geq 7.0$ 地震 时间进程曲线

(a) M —图; (b) Δt —图

从四川 7 级以上地震与云南活跃期或平静期的 统计规律分析 (表 1), 1900 年以来, 四川的 8 次

表 1 四川 7 级地震后云南发生 7 级地震的时间间隔

序号	四川 7.0 级地震	云南 7.0 级地震	时间间隔 / a	备注
1	1904—08—30 道孚 7.0	1913—12—21 峨山 7.0	9.3	第 I 平静期
2	1923—03—24 炉霍 7.3	1925—03—16 大理 7.0	2	第 I 活跃期
3	1933—08—25 叠溪 7.5	1941—12—26 勐海 7.0	7.7	第 II 平静期
4	1948—05—25 理塘 7.3	1950—02—03 勐海 7.0	1.7	第 II 活跃期
5	1955—04—14 康定 7.5	1970—01—05 通海 7.8	14.7	第 II 活跃期
6	1973—02—06 炉霍 7.6	1974—05—11 大关 7.1	1.3	第 III 活跃期
7	1976—08—23 松潘 7.2	1988—11—06 澜沧 7.6	12.2	第 III 活跃期
8	2008—05—12 汶川 8.0		平均 8.2	第 V 平静期

7 级地震中有 2 次分别发生在云南第 I、II 平静期中。这 2 次地震前后云南省内 7 级地震分别平静了 26 年、16 年。其余 6 次（5 组）7 级地震分别发生在云南强震第 II、III 活跃期内。由此可见，川滇 7 级强震活动有明显的关联性，如果四川地震发生在云南地震平静期内，那么云南的强震很可能会被延迟或者弱化。而 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震发生的时间不同于上述 7 次地震，它发生在云南第 V 平静期的“末期”，而这个“末期”是相对于前 4 个平静期的时间而言。而根据四川发生 7 级地震后云南发生 7 级地震的时间间隔来看，7 次（6 组）7 级地震之后平静时间最短的为 1.3 年，平均时间间隔长达 8.2 年。因此，云南地区 1~2 年内发生 7 级及以上地震的概率较小。

2.2 川滇 6.7 级以上强震幕式活动特征

不同的地震活动区（带）内的大地震在长期地震活动过程中表现出平静与活动交替的现象，不少学者将这种活动交替现象称为地震活动幕式特征。实际工作中，比较常用的方法是根据 M—T 图和应变释放曲线划分地震活动幕。苏有锦等（2001）、皇甫岗等（2000）利用中国地震目录，以 6.7 为起始震级，划分了云南地区百年尺度 4 个活跃期。平静—活跃期的划分在云南地区得到了广泛的应用和认可，在云南省每年的大形势和年度会商会上，研究人员都将这一认识作为预测云南地区未来强震活动中长期危险区域和危险强度的主要依据。

将川滇地区作为一个整体来进行其活动幕式特征的研究相对较少，原因是川滇地区作为一个整体，其强震幕式活动特征不如云南那么明显，但是为了探究川滇中长期地震活动特征，这方面的探索研究也是必不可少的。黄圣睦（2000）依据近百年来川滇强震（ $M \geq 6.5$ ）的时序特征和地

理图像分别作出了两种不同的活跃幕划分，其划分的结果也不是唯一的。

在本文中，我们选取 1900 年以来川滇地区 $M_s \geq 6.7$ 地震绘制 M—图，根据图上显示的 6.7 级以上地震活跃时段和相对平静时段，将其大致划分为 5 个活跃期。从图 3 和表 2 可见，每个活跃期的强震持续活跃时间在 7.3~11.3 年不等，平均为 9.1 年。在以四川为 $M_s \geq 6.7$ 地震活动主体区时，持续时间较短；反之，强震活动主体区在云南时，持续时间相对较长。

如表 2 所示，我们按照 $M_s \geq 6.7$ 地震次数、 $M_s \geq 5.0$ 地震总能量、活跃期两省最大震级，可以按川滇行政区划将强震活动区域划分为不同的主体区域。需要特别说明的是，用这种方法对活动主体区进行划分会出现 3 个指标不一致的结果，如第一活跃期内，云南 $M_s \geq 5.0$ 地震的能量释放为 5.19×10^{15} J 四川为 6.26×10^{15} J 似乎云南 $M_s \geq 5.0$ 地震要相对活跃，但从 $M_s \geq 6.7$ 地震次数来讲，云南共发生 6.7 级以上地震 3 次，四川 1 次，故认为 $M \geq 6.7$ 地震主体活跃期为云南。

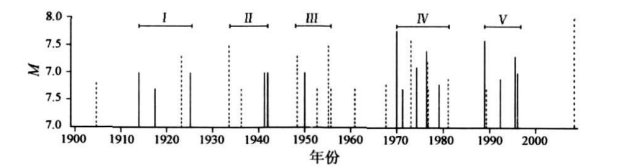


图 3 川滇地区 $M_s \geq 6.7$ 强震活跃幕的时间分布及活跃期划分（虚线为四川地震）

从图 3 和表 2 还可以看出，在以云南 7.0 级以上地震为首发地震的活跃期 I、IV、V 内，6.7 级以上地震的活动主体区均为云南，四川省地震活动水平相对偏低。而在首发 7.0 级地震发生在四川的第 II、II 两个活跃期内，6.7 级以上地震活动以

表 2 川滇地区 $M_{\geq 7.0}$ 强震活跃期地震参数统计表

编号	时间分布	持续时间 / a	强震次数				强震能量		最大震级		$M_{\geq 6.7}$ 地震
			$M_{5.6 \sim 6.9}$		$M_{\geq 7.0}$		$(M_{\geq 5.0} \cdot 10^{15} \text{ J})$				活动主体
			四川	云南	四川	云南	四川	云南	四川	云南	
I	1913~1925	11.3	0	1	1	2	6.26	5.19	7.3	7.0	云南
II	1933~1942	8.5	2	1	1	2	13.21	5.23	7.5	7.0	四川
III	1948~1955	7.3	2	1	2	1	18.41	4.31	7.5	7.0	四川
IV	1970~1981	11	3	2	3	4	28.02	52.05	7.6	7.8	云南
V	1988~1996	7.3	2	3	0	4	2.40	31.23	6.7	7.6	云南

四川为主体区，与之对应的云南强震活动水平偏低，最大地震也均为 7.0 级。汶川 8.0 级地震发生后，根据上述经验推测，川滇地区下一强震活跃区应该以四川为主体地区，而云南 $M_{\geq 6.7}$ 地震的活动强度要比四川低，最大地震强度可能为 7.0 级左右， $M_{\geq 6.7}$ 地震次数估计为 2~3 次左右。

3 汶川 8.0 级地震对云南强震趋势的影响

3.1 汶川 8.0 级地震对云南的影响

由图 4 可见，汶川地震余震分布在主震 NE 向，沿着龙门山断裂带向 NE 方向展布约 320 km，显示了这次地震序列过程由西南向北东发展的大

规模破裂图像。结合龙门山断裂带所处区域构造应力可以看出，龙门山断裂西南处由鲜水河—安宁河—小江断裂带和金沙江—红河断裂带围成的川滇菱形块体对汶川地震应力有阻挡的作用，虽然短期内菱形块体内部仍处于稳定状态，发生大地震的可能性小，但从长期来看，阻隔所带来的效果很可能是触发菱形块体断裂带不稳固结构的弹性破裂，以及在菱形块体周边断裂上，塑性形变区域应力的继续积累。汶川地震后，川滇地区 3 级以上地震震中主要集中在川滇菱形块体及其边界带上。由图 5 可见，汶川 8.0 级地震后，3 级地震频度增加，这表明汶川地震后川滇菱形块体 3 级地震活动加速。

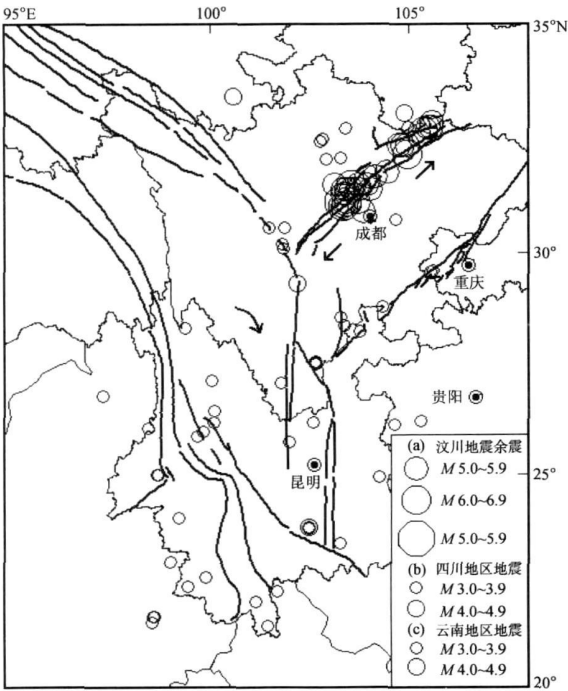


图 4 汶川地震后川滇地区 3 级以上地震震中及汶川地震余震分布图

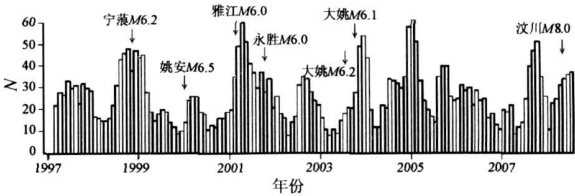


图 5 1997—01~2008—07 川滇菱形块体 3 级以上地震 3 个月频度图

在云南日常短临跟踪工作中，我们常将大地震引起的水位震后效应作为判断未来中强地震危险区的手段之一。付虹等（2002）研究认为前兆后效区与井孔所在构造部位的后继地震有关，震后效应是地震波传播后，震后应力调整，在某一地块或断裂上井孔含水层在区域应力场和地震波传播形成附加应力场迭加作用引起的变化，这种变化包含着前兆信息。图 6 给出的是汶川地震云南数字化和模拟水位后效井孔分布，由图可见共有 17 口井出现后效，其中川滇菱形块体共有 11 口井，占 65%，可见震后效应的井孔主要分布在川滇菱形块体及其边界。据此推断，川滇菱形块体是未来最可能发生中强地震的区域。

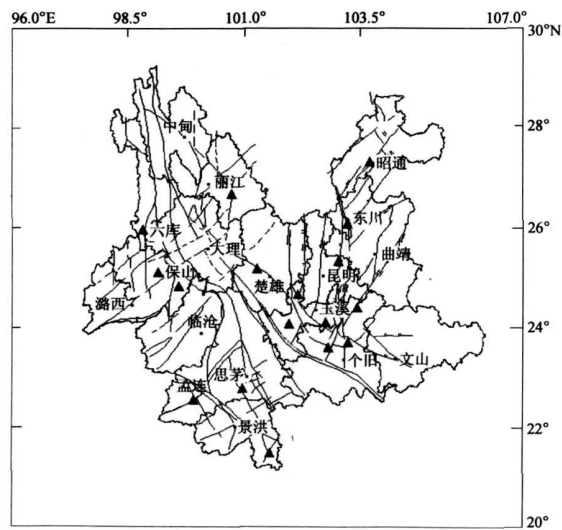


图 6 汶川 8.0 级地震后效井孔分布

3.2 云南地震趋势分析

王强在东川区地震局《2008年度云南省地震趋势研究报告》^①中指出,根据地震能量和频次可以把云南 $M_s \geq 6.7$ 强震活跃期和 $M_s < 6.7$ 强震平静期分别分为强(弱)活跃期和强(弱)平静期。苏有锦在《2007年度云南大形势报告》^②中指出,云南 $M_s \geq 5.0$ 地震存在明显的强弱交替的活动特征。

在本文中,笔者把云南 $M_s \geq 5.0$ 地震活动特征与强(弱)活跃(平静)期结合起来研究,得到一些新的认识。如图 7、表 3 所示,云南弱的活跃期前(第 I 活跃期前目录缺失,不予考虑)为强的平静期,

强的活跃期前则为弱的平静期。根据 1996 年 2 月 3 日丽江地震之后云南省内 $M_s \sim 6.7$ 地震活动频度和能量可以判定,目前所处的平静期为强平静期,如表 3 所示。历史上只有第 II 活跃期前为强平静期。因此可以将目前的情况与第 II 活跃期前的第 I 强平静期进行类比。

如图 4 所示,在第 I 强平静期中的 1934 年 1 月 19 日泸水西 6.0 级地震后,云南地区 ($21^{\circ} \sim 29^{\circ}N$ $97^{\circ} \sim 106^{\circ}E$) 出现了 4.3 年的 6 级地震平静,其后分别发生 1938 年 5 月 14 日澜沧 6.0 级和 1940 年 4 月 6 日石屏 6.0 级地震。而目前的情况是,第 IV 强平静期 2003 年 10 月 16 日大姚 6.1 级地震之后,云南地区 6 级地震平静 3.7 年,再次发生 2007 年 6 月 3 日宁洱 6.4 级地震。因此,无论从平静期的能量释放、地震次数,还是从 6 级地震平静以及平静时间间隔上来讲,第 I、IV 这两个平静期的活动状态都是非常相似的。根据第 I 平静期末期的活动情况,可以推测未来 1~2 年内,云南仍然要再次发生 1~2 次 6 级地震后,才具备发生下一活跃期首发 7 级强震的可能。

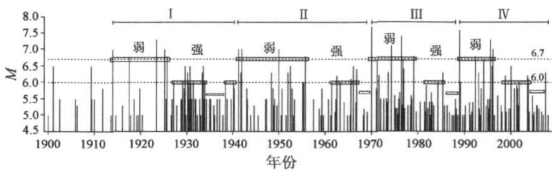


图 7 云南地区 ($21^{\circ} \sim 29^{\circ}N$ $97^{\circ} \sim 106^{\circ}E$) 5 级以上地震 M —图

表 3 活跃期、平静期的特征及其参数表

编号	平静期				活跃期				备注 (A 平静期 B 活跃期)
	时间段	$M_s 5.0 \sim 6.7$ 地震次数	能量释放 $/10^{15} J$	称谓	时间段	$M_s \geq 6.7$ 地震次数	能量释放 $/10^{15} J$	称谓	
1	1925—03~1941—05	78	4.72	强 A	1913—12~1925—03	5	11.00	弱 B	强 A 弱 B
2	1955—09~1970—01	36	1.27	弱 A	1941—06~1955—09	6	9.94	弱 B	弱 A 弱 B
3	1979—03~1988—11	27	0.44	弱 A	1970—01~1979—03	7	50.10	强 B	弱 A 强 B
4	1996—02~2008—06	52	1.86	强 A	1988—11~1996—02	7	25.30	强 B	强 A 强 B

4 认识与结论

(1) 川滇地区 $M_s \geq 6.0$ 强震分布极不均匀,

与构造有明显的关联性,集中在块体边界的断裂带上,部分地震分布在块体内部的次级断裂带上。川滇地区作为一个地震构造块体,有着相同的新构造环境和与地震活动紧密联系的充分依

① 王强. 2007. 2008年度云南省地震趋势研究报告.

② 苏有锦. 2006. 2007年云南大形势研究报告.

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

据, 因此在研究川滇强震活动时, 应当把川滇构造区作为一个整体来进行研究。

(2) 根据川滇 7 级以上地震活动特征及四川发生 7 级地震与云南活跃期、平静期的统计规律看, 四川地区较云南早进入新一轮强震活跃期, 云南地区 1~2 年内进入新一轮强震活跃期的可能性小。

(3) 根据川滇 $M_s \geq 6.7$ 强震幕式活动特征, 川滇地区下一强震活跃区应该以四川为主, 而云南 $M_s \geq 6.7$ 地震的活动强度要比四川低, 最大地震可能为 7.0 级左右。

(4) 根据汶川地震余震的展布方向、震后川滇地区 3 级地震震中分布区域、震后后效井孔的分布, 推测川滇菱形块体未来最可能发生 $M_s \geq 5$ 地震。

(5) 根据云南地震活跃期前平静期的强、弱特征, 推测云南下一活跃期为相对弱的活跃期, 且未来 1~2 年内, 云南要再次发生 1~2 次 6 级地震后, 才具备发生下一活跃期首发 7 级强震的可能。

参考文献:

薄万举, 刘广余, 郭良迁. 2006. 印度洋 8.7 级特大地震后川滇地

- 区地震活动趋势判定 [J]. 地震研究, 29 (1): 1—6.
- 付虹, 刘丽芳, 王世芹, 等. 2002. 地方震及近震地下水同震震后效应研究 [J]. 地震, 22 (4): 55—66.
- 付虹, 郭成栋, 刘强, 等. 2007. 印尼巨大地震引起的云南水位异常记录及其意义 [J]. 地震地质, 29 (4): 9—20.
- 国家地震局地质研究所, 云南省地震局. 1990. 滇西北活动断裂 [M]. 北京: 地震出版社, 200—205.
- 韩渭宾, 蒋国芳. 2007. 印尼苏门答腊 $M_w 9.0$ 级地震对全球及中国大陆地震趋势影响研究的反思 [J]. 四川地震, (4): 1—4.
- 皇甫岗, 李忠华, 秦嘉政, 等. 2007. 川滇菱形块体强震活动关联分析 [J]. 地震研究, 30 (3): 205—209.
- 皇甫岗, 李忠华, 苏有锦. 2000. 20 世纪云南地震活动研究 [J]. 地震研究, 23 (1): 1—9.
- 黄圣睦. 2000. 川滇百年强震活动的幕式图像与未来强震趋势 [J]. 四川地震, (3): 12—21.
- 石绍先, 曹刻, 和宏伟, 等. 2003. 川滇地区成组强震活动的基本特征 [J]. 地震研究, 26 (增刊): 554—561.
- 苏有锦, 李忠华, 刘祖荫, 等. 2001. 20 世纪云南地区 $M_s \geq 5.0$ 级地震活动的基本特征 [J]. 地震研究, 24 (1): 1—9.
- 苏有锦, 秦嘉政. 2001. 川滇地区强地震活动与区域新构造运动的关系 [J]. 中国地震, 17 (1): 24—34.
- 杨国华, 江在森. 2006. 印尼地震对我国川滇地区地壳水平活动的影响 [J]. 大地测量与地球动力学, 26 (1): 9—20.
- 张国民, 张晓东, 刘杰, 等. 2005. 印尼苏门答腊 8.7 级大震对中国陆区的影响 [J]. 地震, 25 (4): 15—25.

Earthquake Tendency in Yunnan after the Wenchuan $M_s 8.0$ Earthquake

ZHAO Xiao-yan¹, FU Hong², WANG Qiang²

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

(2. Earthquake Administration of Dongchuan District, Dongchuan 654100, Yunnan, China)

Abstract

We introduce the characteristics of $M_s \geq 7.0$ earthquake activities in the Sichuan-Yunnan region, the relationship between $M_s \geq 7.0$ earthquakes in Sichuan and the active/quiet period of $M_s \geq 6.7$ earthquakes in Yunnan, the characteristic of $M_s \geq 6.7$ earthquake episodes in the Sichuan-Yunnan region, the characteristics of $M_s \geq 5.0$ earthquake activities in the Yunnan region, the distribution of $M_s \geq 3.0$ earthquakes in the Sichuan-Yunnan region after the Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake, and analyzed the earthquake tendency in Yunnan after the Wenchuan earthquake. It is not too possible for the Yunnan region to enter a new round of active period in the coming 1-2 years. The Sichuan region will be the major seismicity zone of next active period in the Sichuan-Yunnan region, and the seismicity in Yunnan is lower than that in Sichuan, possible maximum magnitude about 7.0. The Sichuan-Yunnan tectonic block is the most possible place where $M_s \geq 5$ earthquake occurs.

Key words: Sichuan-Yunnan region; characteristic of $M_s \geq 7.0$ earthquake activity; Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake; earthquake tendency; Yunnan