

芦山 7.0 级地震前川滇地区中等地震密集活动^{*}

赵小艳¹, 苏有锦¹, 王强², 刘自凤¹

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 云南大学 资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

摘要:通过分析川滇地区 12 组 4~5 级地震密集活动及其对应强震的时空关系, 研究结果表明: 中等地震密集活动中的最大地震震级与后续强震震级不相关; 对应地震与密集活动的时间间隔多在半年内; 利用 4、5 级地震密集活动作为 $M \geq 6.7$ 地震 1 年尺度的预报异常, 预报效能 R 值为 0.258 5; 在云南地区, 强震多发生在密集地震集中区, 而四川的强震多发生在 4、5 级地震不活跃区。

关键词: 芦山 7.0 级地震; 中等地震密集活动; 川滇地区; R 值

中图分类号: P315.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2014)03-0347-07

0 引言

地震活动在一定程度上是构造应力场强弱变化的反映(沙海军等, 2009)。对大地震发生前地震活动变化的研究表明, 大地震前地震活动往往出现增强过程, 有的出现在未来大地震的震中及其邻近地区, 有的则出现在更大的范围内(张国民等, 2001)。2013 年芦山 7.0 级地震前, 川滇地区出现了显著的 4~5 级地震密集增强活动过程: 2013 年 2 月 7 日至 3 月 3 日共发生 8 次 4~5 级地震, 尤其是 2 月 19~22 日连续发生了巧家 4.9 级, 长宁—珙县 4.5、4.1 级, 三台 5.1 级, 广西 4.5 级, 墨江 4.8 级和永胜 4.2 级共 6 次(组)地震, 其密集活动性历史罕见。为研究这些地震的发生与芦山地震的可能关系, 我们系统分析了 1965 年以来川滇地区 4~5 级中等地震密集活动与后续强震的时空对应关系。

1 研究范围及资料的预处理

川滇地区位于青藏高原东南部、欧亚板块和印度板块汇聚和相互作用的边缘地带, 特殊的构造部位和强烈的地壳运动, 使得该地区成为中国大陆内部地震活动最强烈的区域之一(周连庆等, 2008)。根据川滇地区强震活动空间分布、活动断裂以及中小地震资料, 确定研究区范围为 ($21^{\circ} \sim$

35°N , $95^{\circ} \sim 108^{\circ}\text{E}$)。

笔者选用的地震目录为 1965 年 1 月至 2013 年 12 月中国地震台网中心地震月报目录, 并采用与主震震级相关的余震空间、时间窗方法(简称 $K-K$ 法)删除余震(Keilis-Borok, Knopoff, 1980; 陈凌等, 1998)。

此次中等地震密集活动时段为 1 个月, 因此我们按照 30 d 滑动、以 1 d 为步长统计 4.0~5.9 级地震频度。在整理数据时发现 1 个月 $M \geq 4.0$ 地震频次 $N \geq 6$ 的震例太多, 且对应后续强震的对应率不高; $N \geq 8$ 的震例太少, 不具备研究性, 故将频度 $N \geq 7$ 视为高频异常。统计中将震群活动计为 1 次地震, 如表 1 所示(震群放在每行表的最后)。当出现 30 d 频度 $N \geq 7$ 时, 按其 1 a 内发生的 $M \geq 6.7$ 地震统计对应强震活动情况。

2 统计结果

按照上述异常统计标准和对应强震统计原则, 对 1965 年以来川滇地区 4.0~5.9 级地震进行了全时空扫描, 发现 30 d 频度 $N \geq 7$ 的现象共出现过 20 组, 表 1 给出了这 20 组 4~5 级地震密集活动及对应强震情况。

由表 1 可见, 20 组中有 7 组无对应, 有 1 组(表中编号 18)是明显受 2004 年印尼 9.0 级地震影响。有 12 组对应了 $M \geq 6.7$ 强震, 对应率达 60%。从对应地震的震级来看, 12 组中有一半对应了 7.0 级以上地震。

^{*} 收稿日期: 2013-09-10.

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAK19B01-07)资助。

表 1 川滇地区 4~5 级中等地震密集活动及对应强震情况

Tab. 1 M4.0~5.0 moderate earthquake clusters and their corresponding strong earthquakes in Sichuan-Yunnan region

编号	异常时间/年-月-日	频次	地震情况		对应强震	时间间隔/月
1	1966-04-14~1966-05-05	7	1966-04-14 理塘 4.9 级地震 1966-04-19 麻栗 4.9 级地震 1966-04-26 缅甸 5.2 级地震 1966-05-05 缅甸 4.0 级地震	1966-04-14 永平 5.0 级地震 1966-04-24 屏山 4.5 级地震 1966-04-30 石棉 4.9 级地震	无对应	
2	1966-09-11~1966-10-11	9	1966-09-11 缅甸 4.5 级地震 1966-09-21 瑞丽 5.4 级地震 1966-10-01 巧家 4.8 级地震 1966-10-11 大关 5.1 级地震 1966-09-19 缅甸 5.4、5.4 级地震	1966-09-21 绿春 4.0 级地震 1966-09-23 宣威 4.9 级地震 1966-10-03 越南 4.8 级地震 1966-09-18 江城 5.3、5.4 级地震	1967-08-30 炉霍 6.8 级地震	9.6
3	1967-04-14~1967-05-05	7	1967-04-14 芒康 4.6 级地震 1967-04-19 漾濞 4.8 级地震 1967-04-27 康定 4.0 级地震 1967-05-05 乐山 4.8 级地震	1967-04-15 邛崃 4.0 级地震 1967-04-24 东川 4.6 级地震 1967-05-05 乐山 4.6 级地震	1967-08-30 炉霍 6.8 级地震	3.8
4	1972-06-27~1972-08-07	8	1972-06-27 缅甸 4.9 级地震 1972-07-17 澄江 4.6 级地震 1972-07-22 冕宁 4.1 级地震 1972-08-07 曲靖 4.5 级地震	1972-07-09 普洱 4.0 级地震 1972-07-21 缅甸 4.2 级地震 1972-07-26 武都 4.3 级地震 1972-07-16 囊谦 5.3、4.9 级地震	1973-02-06 炉霍 7.6 级地震	4.8
5	1973-07-22~1973-08-16	9	1973-08-02 道孚 5.2 级地震 1973-08-05 称多 4.5 级地震 1973-08-14 澜沧 4.0 级地震 1973-08-15 缅甸 4.9 级地震 1973-07-24 缅甸 4.3、4.2 级地震	1973-08-02 彝良 5.2 级地震 1973-08-06 勐海 4.2 级地震 1973-08-15 澜沧 4.2 级地震 1973-07-22 越南 4.9、5.2 级地震	1974-05-11 大关 7.1 级地震	8.9
6	1974-12-22~1975-01-22	9	1974-12-22 缅甸 4.4 级地震 1975-01-04 鹤庆 4.0 级地震 1975-01-07 玛沁 4.1 级地震 1975-01-12 楚雄 5.6 级地震 1975-01-22 巧家 4.6 级地震	1974-12-30 沐川 4.9 级地震 1975-01-06 河南 4.1 级地震 1975-01-08 河南 4.1 级地震 1975-01-15 八宿 4.9 级地震	无对应	
7	1975-06-01~1975-07-09	9	1975-06-01 峨山 4.1 级地震 1975-06-09 丽江 4.2 级地震 1975-06-15 宁蒗 4.1 级地震 1975-06-28 墨脱 4.1 级地震 1975-07-01 景洪 4.6、4.3 级地震	1975-06-06 玉树 4.4 级地震 1975-06-10 察隅 5.0 级地震 1975-06-19 永平 4.0 级地震 1975-07-09 建水 5.2 级地震	1976-05-29 龙陵 7.4、7.3 级地震	10.7
8	1976-01-23~1976-02-19	7	1976-01-23 景洪 4.9 级地震 1976-02-04 富宁 4.1 级地震 1976-02-10 勐腊 4.7 级地震 1976-02-16 思茅 5.7、5.5 级地震	1976-01-27 河南 4.0 级地震 1976-02-07 宁蒗 4.0 级地震 1976-02-15 汶川 4.9 级地震	1976-05-29 龙陵 7.4、7.3 级地震 1976 年 8 月松潘、 平武间 7.2、7.2 级地震	3.3 6.0
9	1978-08-31~1978-09-28	8	1978-08-31 盐源 5.6 级地震 1978-09-10 普洱 5.5 级地震 1978-09-17 平果 4.4 级地震 1978-09-26 理塘 4.9、4.7 级地震 1978-09-28 越南 4.8、4.9 级地震	1978-09-04 龙陵 4.8 级地震 1978-09-14 东川 4.5 级地震 1978-09-24 威宁 4.0 级地震	1979-03-15 思茅 6.8 级地震	5.5
10	1979-12-06~1980-02-02	13	1979-12-06 波密 5.1 级地震 1979-12-10 牟定 4.0 级地震 1979-12-25 普洱 4.0 级地震 1980-01-03 类乌 4.7 级地震 1980-01-09 武定 4.0 级地震 1980-01-15 宁南 4.6 级地震 1980-01-01 缅甸 4.6、4.8 级地震	1979-12-07 宕昌 4.3 级地震 1979-12-15 建水 4.4 级地震 1980-01-06 井研 4.1 级地震 1980-01-05 澜沧 4.0 级地震 1980-01-13 碧土 4.9 级地震 1980-02-02 木里 5.8 级地震	1981-01-24 道孚 6.9 级地震	11.6

续表 1

编号	异常时间/年-月-日	频次	地震情况		对应强震	时间间隔/月
11	1983-02-06~1983-03-01 1983-02-13~1983-03-12	7	1983-02-06 澜沧 4.4 级地震	1983-02-13 富宁 4.5 级地震	1983-06-24 越南莱州 7.0 级地震	3.4
			1983-02-14 自贡 4.2 级地震	1983-02-17 曲靖 4.5 级地震		
			1983-02-17 筠连 4.3 级地震	1983-03-01 缅甸 4.2 级地震		
			1983-03-01 察隅 4.9 级地震	1983-03-12 绵竹 4.4 级地震		
12	1986-03-06~1986-04-04	8	1986-03-06 越南 4.9 级地震	1986-03-07 缅甸 4.2 级地震	无对应	
			1986-03-07 盐井 4.2 级地震	1986-03-13 鹤庆 5.3 级地震		
			1986-03-18 巧家 4.6 级地震	1986-03-25 宁南 4.1 级地震		
			1986-03-29 泸水 4.3 级地震	1986-04-04 玉树 5.1 级地震		
13	1991-02-1991-12~03-11	7	1991-02-12 察隅 4.1 级地震	1991-02-14 察隅 4.0 级地震	无对应	
			1991-02-18 小金 5.2 级地震	1991-02-27 曲靖 4.7 级地震		
			1991-03-02 澜沧 4.1 级地震	1991-03-05 绿春 4.7 级地震		
			1991-03-09 普洱 4.2 级地震	1991-03-11 甘德 4.8 级地震		
14	1992-01-15~1992-02-09	7	1992-01-15 广南 4.1 级地震	1992-01-25 泸水 4.4 级地震	1992-04-23 缅甸 6.9、6.7 级地震	2.4
			1992-02-04 缅甸 4.1 级地震	1992-02-06 波密 5.4 级地震		
			1992-02-08 迭部 4.6 级地震	1992-02-09 会泽 4.5 级地震		
			1992-01-23 缅甸 4.4、4.1 级地震			
15	1995-04-25~1995-05-12	7	1995-04-25 金平 5.6 级地震	1995-04-26 沐川 5.1 级地震	1995-07-12 孟连 7.3 级地震	2
			1995-04-30 荣昌 4.2 级地震	1995-05-05 勐腊 4.1 级地震		
			1995-05-09 若尔 4.4 级地震	1995-05-12 临沧 4.9 级地震		
			1995-05-12 马尔 4.3 级地震			
16	1998-11-14~1998-12-09	7	1998-11-14 普洱 4.4 级地震	1998-11-18 宕昌 4.4 级地震	无对应	
			1998-11-26 巍山 4.1 级地震	1998-11-27 玛多 4.1 级地震		
			1998-12-01 宣威 5.0 级地震	1998-12-09 宁南 4.0 级地震		
			1998-12-02 大理 4.3、4.7、4.0 级地震			
17	2004-09-24~2004-10-19	8	2004-09-24 类乌 4.6 级地震	2004-09-28 波密 4.9 级地震	无对应	
			2004-09-28 保山 4.3 级地震	2004-10-03 元谋 4.9 级地震		
			2004-10-04 久治 4.1 级地震	2004-10-12 左贡 4.5 级地震		
			2004-10-17 澄江 4.3 级地震	2004-10-19 保山 5.4 级地震		
18	2004-12-14~2005-01-26	12	2004-12-14 缅甸 4.3 级地震	2004-12-15 马尔康 4.3 级地震	2004 年印尼 9.0 级 地震影响	
			2004-12-26 宾川 5.0 级地震	2004-12-26 双柏 4.9 级地震		
			2004-12-30 漾濞 4.0 级地震	2005-01-04 龙陵 4.2 级地震	无对应	
			2005-01-05 马尔 5.0 级地震	2005-01-07 保山 4.8 级地震		
			2005-01-08 盐源 4.0 级地震	2005-01-19 礼县 4.0 级地震		
			2005-01-25 玉树 4.0 级地震	2005-01-26 思茅 5.1 级地震		
19	2008-12-26~2009-01-20	7	2008-12-26 瑞丽 4.9 级地震	2008-12-26 罗甸 4.5 级地震	无对应	
			2008-12-28 察隅 4.2 级地震	2009-01-06 久治 4.0 级地震		
			2009-01-17 威宁 4.5 级地震	2009-01-18 冕宁 4.0 级地震		
			2009-01-20 勐腊 4.2 级地震			
20	2013-02-07~2013-03-03 2013-02-19~2013-03-19	8	2013-02-07 盐津 4.2 级地震	2013-02-19 巧家 4.9 级地震	2013-04-20 芦山 7.0 级地震	1.5
			2013-02-19 三台 5.1 级地震	2013-02-20 墨江 4.8 级地震		
			2013-02-20 壮族 4.5 级地震	2013-02-22 永胜 4.2 级地震		
			2013-03-03 洱源 5.5 级地震			
			2013-02-19 长宁 4.5、珙县 4.1 级地震			

图1给出了密集活动丛中最大地震震级与对应地震震级的关系。12组密集地震最大震级为4.8~5.8级,对应地震震级为6.7~7.4级,由图1可见二者之间并没有明显的相关性。

从对应地震与密集活动的时间间隔来看,0~12个月不等,但半年以内有8次,占75%,10~12个月4次,占25%,表明中等地震密集活动后,强震多在半年内发生。根据长—中—短—临震异常的划分(梅世蓉等,1993),可以认为中等地震的密集活动可能是强震前的中—短期异常指标。

密集地震的发生时间有一定的规律性,1973~1979年共出现了7次异常,平均每年1次(图2),远高于密集地震41%的年发生概率(41%=20次/49年)。而这一异常时期,刚好对应了川滇地区第IV地震活跃期,也是川滇地区最强的一个活跃期

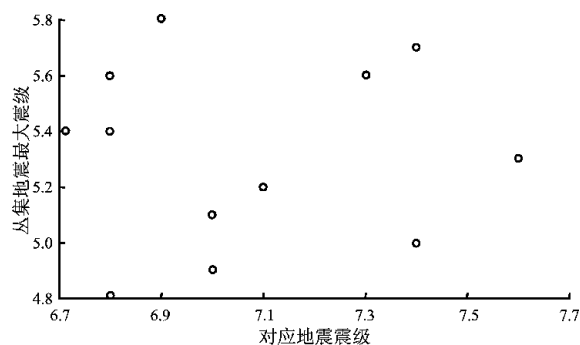


图1 密集地震最大地震震级与对应地震震级的关系

Fig. 1 Relationship between magnitude of maximum earthquakes in strong earthquake clusters and the magnitude of their corresponding strong earthquakes

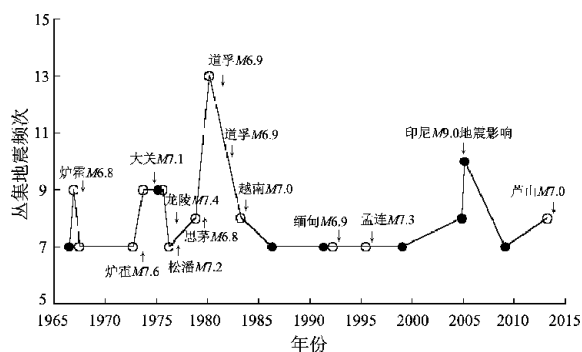


图2 密集地震出现时间及其对应地震
(黑色实心圆表示无地震对应)

Fig. 2 The occurring time of earthquake clusters and their corresponding earthquakes (black dots mean no corresponding earthquake)

(赵小艳等, 2008)。表明在区域强震活跃时段, 中等地震会出现频繁的密集活动。这一特征也可以为我们预测活跃时段的到来提供一个参考依据。

3 地震预报效能评估

利用 R 值对地震预报效能进行评估的方法是由许绍燮(1989)提出的, 在时间序列研究中应用较多(张国民等, 2002; 王晓青, 2000), 此方法经过不断的改进和更新(罗兰格, 2004, 2010)。本文采用《地震学分析预报方法式指南》(国家地震局科技监测司, 1990)中的地震预报效能 R 值评分方法, 该方法能给出不同报对次数、漏报次数下具有 97.5% 置信水平的 R 值表, 可以用于检测预报方法的可信度。

假设某种预报方法或学科预报评价研究总的时间段为 T (天), 该研究时段内实际发生地震次数为 N_1 , 若干次预报有震所用的总时间为 t (天), 预报有震并且发生了地震的次数为 n_1^1 (天), 预报有震但没有发生地震(虚报)所用的时间为 n_1^0 (天), 于是定义 R 值为

$$R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应报对的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的时间}} \\ = \frac{n_1^1}{N_1} - \frac{t}{T}.$$

1965年1月至2013年12月49年内, 川滇地区共发生 $M \geq 6.7$ 地震18次。本文中4级地震密集共发生20次, 预测时间20年, 其中报对12次, 漏报6次, 8次虚报, 预测评分 R 值为

$$R = 12/18 - 20/49 = 0.2585.$$

在《地震学分析预报方法式指南》(国家地震局科技监测司, 1990)中给出的报对12次, 漏报6次情况下具有 97.5% 置信水平的 R 值为 0.257, 本文得到的 R 值为 0.2585, 满足检验条件, 证明用川滇地区4、5级地震密集活动作为 $M \geq 6.7$ 地震1年尺度的预报指标, 可以取得一定的预测效应。

4 强震发生区域统计

前述分析结果表明, 我们可以用中等地震密

集活动对后续强震做出年度尺度的时间预测，那么强震的发生地点是否与密集地震空间分布有关？为此，我们分析了 12 组密集地震空间分布及其后续强震的空间分布（图 3）。4 级地震密集活动后对应地震多集中分布在以下区域：红河断裂带以西的滇西南（4 次）及滇西北东条带（5 次），震中多为 4~5 级地震活跃区；鲜水河—安宁河断裂带及其附近区域（4 次），为 4~5 级地震不活跃区，另外有 2 次发生在龙门山断裂带及其附近区域。

苏有锦等（2005）研究指出我国西南地区部

分强震前震中附近会出现显著的地震活动增强，这一现象在云南地区部分强震前格外明显，如 1974 年大关 7.1 级、1976 年龙陵 7.4 级、1988 年澜沧 7.6 级地震。而部分地震前中强地震活动又表现为大面积中强地震的平静，如 1970 年通海 7.8 级地震。这可能表明不同构造区强震前的地震活动表现是不一样的，不能一概而全。

由于本文只简单的统计了中等密集地震与对应地震的空间关系，而密集活动距离强震发生往往有一段时间（表 1），这一时间段的地震活动空间分布没有考虑在内。而这一时间段的地震活动

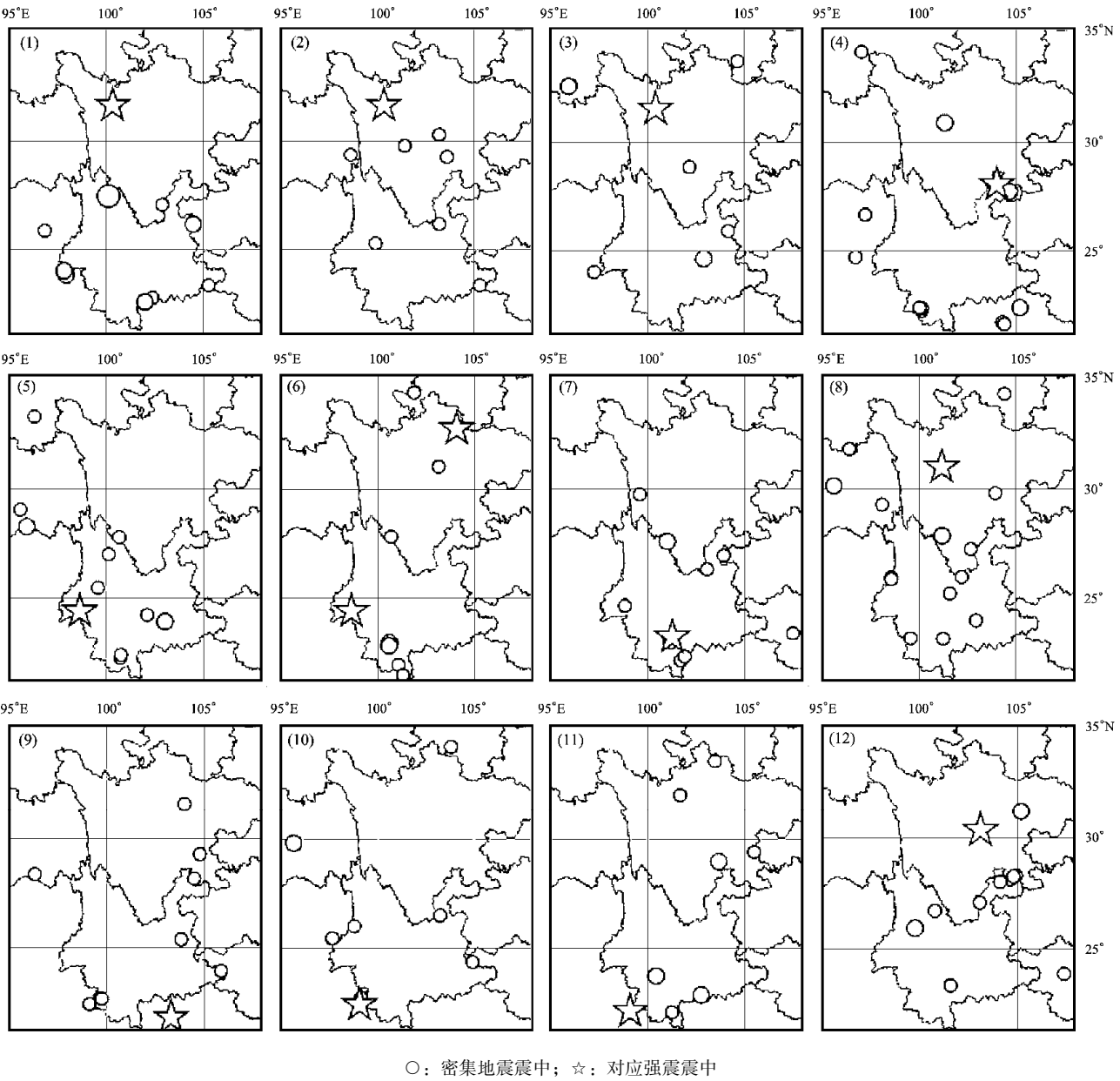


图 3 中等密集地震及其对应强震震中分布

Fig. 3 Distribution moderate earthquake clusters and the of epicenter of their corresponding strong earthquakes

空间有可能有助于对后续强震发震地点预测。陈宇卫等(2006)通过对中国大陆及邻区4个I级活动地块中1972~2003年全部地震资料进行系统分析,认为强震中期阶段典型的地震活动演化图像是中等地震聚集活动,震前震中区附近的地震密度和有效速率增高。如果要对发震地点有更好的预测,可以在中等地震密集活动出现后,密切关注地震频度异常高值区。因为地震频度的增加反映了区域构造应力场的增强,反之,地震频度的降低反映了应力场的减弱(沙海军等,2009)。因此,可以在中等地震密集活动出现后,密切关注地震频度异常高值区,并结合其他地震活动图像如空区、条带和前兆异常分布进一步对强震发震地点做出预测。

5 结论与认识

2013年2月7日至3月19日,川滇地区出现4~5级地震密集活动,这是芦山7.0级地震前一个非常显著的地震活动异常现象(图4)。

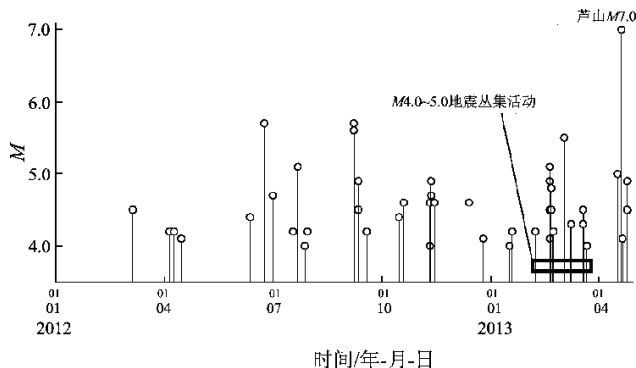


图4 芦山7.0级地震前川滇地区4~5级地震密集活动 $M-t$ 图

Fig. 4 $M-t$ scheme of $M_{4.0} \sim 5.0$ earthquakes cluster in Sichuan-Yunnan region before Lushan $M_s 7.0$ earthquake

通过分析川滇地区1965年以来4~5级地震密集活动及其对应强震的时空关系,得到以下主要认识:

(1) 中等地震密集活动中的最大地震震级与后续强震震级不相关。

(2) 对应地震与密集活动的时间间隔多在半年内,表明中等地震密集活动后,强震地震多在半年内发生,故可将密集活动作为强震的中—短期异常指标。

期异常指标。

(3) 将4、5级地震密集活动作为 $M \geq 6.7$ 地震1年尺度的预报异常,预报效能 R 值为0.2585,可以取得一定的预测效应。

(4) 密集地震空间分布及其后续强震的空间分布显示:在云南地区,强震多发生在密集地震集中区,而四川的强震多发生在4、5级地震不活跃区。

研究表明大震的孕育过程具有阶段性,在各个阶段地震活动图像有不同的特点,因此受大震影响的区域地震活动性在一定程度上取决于其处于哪个孕震阶段(中国地震局监测预报司,2008)。具体在本文中,部分强震前在震前不同时间段出现了4、5级地震丛集活动可能是其孕震过程中表现出的地震活动特征之一。

本文只是简单的统计了密集地震与后续强震的时空对应关系,而密集活动距离强震发生往往有一段时间,并没有考虑这一段时间的地震活动时空分布。而且由于这一时段长短不一(表1:0~12个月),比较难以得到较为共性的特征,故本文不对这一部分内容详述。

参考文献:

- 陈凌,刘杰,陈颢,等.1998.地震活动性分析中余震的删除[J].地球物理学报,41(增刊):244-252.
- 陈宇卫,张军,阎素萍,等.2006.强震孕育过程中区域地震活动演化与活动地块的关系[J].地震地质,28(1):61-70.
- 国家地震局科技监测司.1990.地震学分析预报方法程序指南[M].北京:地震出版社.
- 罗兰格.2004. R 值评分方法的再研究[J].华北地震科学,22(2):1-5.
- 罗兰格.2010.改进 R 值评分方法的一点更正及其多种用法[J].华北地震科学,28(4):47-50.
- 梅世蓉,冯德益,张国民,等.1993.中国地震预报概论[M].北京:地震出版社,44-96.
- 沙海军,刘冬英,张国红.2009.2007年云南宁洱6.4级地震前的地震频度空间演化[J].地震研究,32(2):114-118.
- 苏有锦,程万正,付虹.2005.西南地区强地震短期前兆特征和预测方法研究[M].北京:地震出版社.
- 王晓青.2000. R 值用于地震预测效能评估中的问题与改进[J].中国地震,16(3):256-262.
- 张国民,傅征祥,桂燮泰,等.2001.地震预报引论[M].北京:科学出版社.
- 张国民,刘杰,石耀霖.2002.年度地震预报能力的科学评价[J].地震学报,24(5):525-532.
- 赵小艳,付虹,王强.2008.汶川8.0级地震后云南地震趋势研究[J].地震研究,(增刊):452-457.

许绍燮. 1989. 地震预报能力评分[A]//国家地震局科技监测司. 地震预报方法实用化研究文集地震学专辑[C]. 北京:地震出版社, 586-589.

中国地震局监测预报司. 2008. 强地震中期预测新技术物理基础及其应用研究[M]. 北京:地震出版社.

周连庆, 赵翠萍, 修济刚, 等. 2008. 川滇地区 L_g 波 Q 值层析成像[J]. 地球物理学报, 51(6): 1745-1752.

Keilis-Borok V. I., Knopoff L. 1980. Bursts of Aftershock of Strong Earthquakes[J]. Nature, 283: 259-263.

Moderate Earthquakes Cluster before Lushan $M7.0$ Earthquake in Sichuan-Yunnan Region

ZHAO Xiao-yan¹, SU You-jin¹, WANG Qiang², LIU Zi-feng¹

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

(2. School of Resources Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China)

Abstract

The temporal-spatial relationship between the 12 groups of $M4.0 \sim 5.0$ earthquake clusters and the following strong earthquakes in Sichuan and Yunnan region is researched. The main cognitions are showed as follows: The magnitude of the maximum earthquake and the following strong earthquake are not correlative in the moderate earthquake clusters and the time intervals of the corresponding earthquakes and the earthquake cluster are mostly in half a year. Taking the $M4.0 \sim 5.0$ earthquake clusters as the prediction abnormalities in one year before $M \geq 6.7$ earthquakes, we obtain that the prediction efficiency R -value is 0.258 5. The strong earthquakes often occur in the concentrated areas of the earthquake clusters in Yunnan area, however they often occur in inactive areas of $M4.0 \sim 5.0$ earthquakes in Sichuan area.

Key words: Lushan $M7.0$ earthquake; the moderate earthquake clusters; Sichuan-Yunnan region; R -value