

云南 7 级大震前的中强地震密集现象研究

周 建

(云南省澜沧县地震局 ,云南 澜沧 665600)

摘要 经研究发现 20 世纪云南 7 级大震前有中强地震密集的现象. 根据中强地震的密集特征可对 7 级大震时间作出较好预报 ,再结合静中动地震的研究 ,可对 7 级大震地点作出较好预报. 最后对二者的联系机理进行了讨论.

关键词 7 级大震 ; 中强地震密集 ; 静中动地震 ; 云南

中图分类号 :P315.5 文献标识码 :A 文章编号 :1000 - 0844(2003)04 - 0338 - 06

0 引言

云南地区自公元 886 年开始有地震记载 ,但早期存在大量遗漏. 据文献 [1] 研究 ,云南地区 $M_s \geq 5.0$ 和 $M_s \geq 7.0$ 地震记载基本完整的起始年份分别是 1929 年和 1900 年. 在 7 级地震记载基本完整的 20 世纪 ,云南省内共发生 8 次 7 级大震(表 1 ,图 1) ,大震之前往往出现中强地震(5.0 ~ 6.5 级)密集活动的现象. 本文在前人工作成果的基础上 ,对这一现象作进一步的研究.

表 1 20 世纪云南省内 7 级大震简表

序号	时间	纬度(N)	经度(E)	地点	震级/ M	备注
1	1913-12-21	24°09′	102°27′	峨山	7.0	第 1 活跃期 揭幕地震
2	1925-03-16	25°42′	100°24′	大理	7.0	
3	1941-05-16	23°36′	99°24′	耿马	7.0	第 2 活跃期 揭幕地震
	1941-12-26	22°06′	100°06′	勐海	7.0	
4	1970-01-06	24°06′	102°36′	通海	7.7	第 3 活跃期 揭幕地震
5	1974-05-11	28°06′	104°00′	昭通	7.1	
6	1976-05-29	24°22′	98°38′	龙陵	7.3	第 4 活跃期 揭幕地震
	1976-05-29	24°33′	98°45′	潞西	7.4	
7	1988-11-06	22°50′	99°42′	澜沧	7.6	
	1988-11-06	23°23′	99°36′	耿马	7.2	
8	1996-02-03	27°18′	100°13′	丽江	7.0	

注 :1950 年和 1995 年发生在中缅边境缅甸一侧的 2 次 7 级大震未收入

1 资料选取与震例

地震活动的年发生率是定量描述一个地区地震活动特征的基本参数. 对于一个有限时间长度的地震记载的地震年发生率, 陈颢等 (1999) 将其定义为

$$\nu(\geq m, T, t) = N(\geq m, T, t) / T \quad (1)$$

式中 t 是统计起始时间, T 是统计时间长度; $N(\geq m, T, t)$ 是 $[t, t+T]$ 时段内的震级 $\geq m$ 的地震数. m, T 取定后, ν 是与 t 有关的随机变量; 取不同的 t , 可得到一组不同的 ν , 进而可求出其平均值和标准偏差. 苏有锦等的结果表明^[2], 当 $T = 1a$ 时, 20 世纪云南地区中强以上地震的年发生率大约为 2.6 次/年, 标准偏差 1.8; 自然概率 68%. 也就是说云南地区每年发生 0.8 ~ 4.5 次中强地震的自然概率是 68%. 因此, 本文将 4.5 次/年作为云南地区中强以上地震活动是否密集的标志, 当 $\nu > 4.5$ 时即认为活动密集. 研究时约定: 双主震和震群按一次事件统计, 余震不计, 时间可跨年统计, 但每次统计时段以 9 ~ 18 个月为宜.

按照上述约定, 对 20 世纪以来发生在云南的全部中强以上地震进行筛选, 共找出 8 次中强以上地震密集活动的现象, 几乎每次之后都有 7 级地震发生. 详情如下:

(1) 1909 年 5 月 ~ 1910 年 2 月, $\nu = 4.82$

10 个月内共发生 4 次地震, 依次为华宁 6.3、鲁甸 5.0、剑川 5.5 和龙陵 5.5 级地震. 其中前 3 次地震沿康滇菱形块体边界分布, 4 次地震呈 300 km 左右等间距反时针有序迁移特征. 平静了 3 年后, 从 1913 年 4 月开始发生 4 级地震, 最后于 1913 年 12 月发生峨山 7.0 级地震. 特征: 在大震震源区附近 1888 ~ 1908 年之间无中强地震活动, 震前 4.5 年开始中强地震活动, 震前 7 个月开始有 4 级地震活动.

(2) 1919 年 3 ~ 12 月, $\nu = 4.82$

10 个月内发生 5 次地震, 依次为陆良 5.0、弥勒 5.0、昭通 5.0、弥勒 5.8 和开远 5.5 级地震, 将 2 次弥勒地震计为 1 次后得出 $\nu = 4.82$. 5 次地震全部集中在滇东地区, 且分布在一条长约 410 km 的与小江断裂基本平行的 NNE 向条带内. 平静 20 个月后, 1921 年 9 月开始在大理附近发生 4 级地震; 1925 年 3 月 16 日发生了大理 7.0 级地震. 从中等地震密集现象结束到 7 级大震发生, 间隔 62 个月, 是时间间隔最长的一个震例, 可能受 1923 年 6 月沧源西南中缅边境 7.3 级地震影响. 特征: 震前 15 年内大震震源区附近高度平静, 无 1 次中强地震活动; 震前 5 年在远离大震震源区的滇东开始出现中强地震活动, 可表现为“指东震西”, 震前 3.5 年, 开始出现 4 级地震向震源区迁移现象.

(3) 1966 年 1 ~ 10 月, $\nu = 6.02$

10 个月内共发生地震 11 次, 其中东川 3 次、瑞丽 3 次、中甸 2 次各计为 1 次, 另 5 次为东川 6.5、瑞丽 5.4、宣威 5.0、中甸 6.4 和永善 5.1 级地震. 其中前 3 次地震构成一条长约 730 km 的 NE 向条带, 但在东川与瑞丽之间的空段达 600 km, 1968 年 3 月 16 日南华 5.0 级地震填充后条带形成. 平静 3 年多之后于 1969 年 1 月开始发生 4 级地震. 1970 年 1 月爆发了通海 7.7 级大震. 如果把南华地震视为中强地震密集活动结束标志的话, 与主震间隔 21 个月. 特征: 1955 ~ 1964 年间大震震源区附近无 1 次中强地震活动; 震前 5 年出现的中强地震密集活动, 主体地区在 $N26^\circ$ 线以北, 而大震发生在 $N24^\circ$ 线附近, 表现为“指北震

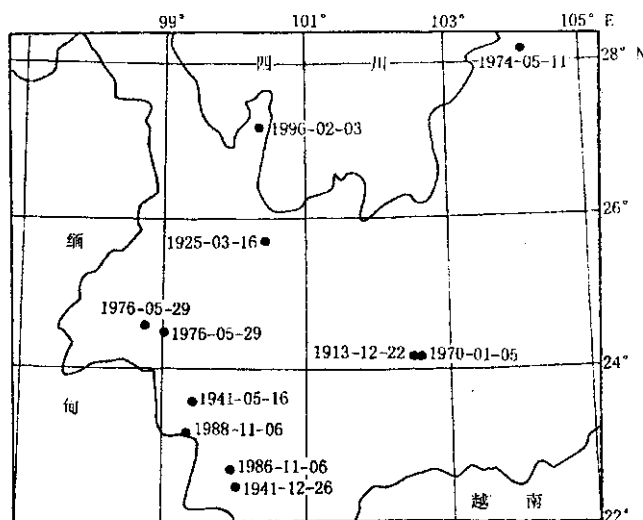


图1 20 世纪云南省 7 级地震分布图

Fig. 1 Distribution of $M \geq 7$ earthquakes in 20th century in Yunnan province.

南”,震前1年在大震震源区附近出现4级地震活动.

(4) 1972年8月~1973年8月, $v = 5.56$

13个月内发生地震6次,依次为思茅5.5、景洪5.5、昭通5.0、腾冲5.1、彝良5.2和思茅6.3级地震,震中形成一个封闭等腰三角形.平静7个月后,1974年4月8日在彝良发生4.4级地震,为直接前震;一个月后在偏北50 km之处发生了昭通大关7.1级地震.特征:在1950~1972年这23年间大震震源区附近仅有3次5.0~5.1级地震发生,而中强地震密集活动中有2次位于大震震源区附近,震前1个月发生4.4级直接前震.

(5) 1975年1~12月, $v = 5.00$

1年之内共发生地震5次,依次为楚雄5.6、建水5.2、漾濞5.0、勐腊5.5和丽江5.0级地震.其中前3次地震等距分布在一条400 km长的NW向条带上,主体地区在红河—程海断裂两侧.5个月后的1976年5月29日龙陵7.3、潞西7.4级双主震发生;之前只在主震前25分钟发生过一次5.2级地震,可视为直接前震.特征:1947~1960年间大震震源区附近无中强地震活动,而1961、1966、1971和1973年各有1次中强地震发生,活动明显增强;从1975年开始密集活动的5次中强地震全部分布在震源区外围地区,表现为“指外震内”.

(6) 1985年4月~1986年10月, $v = 4.67$

18个月内发生地震7次,依次为禄劝6.3、建水5.3、鹤庆5.3、巧家5.1、景洪5.1、普洱5.2和富民5.3级地震.主体地区在101°E线以东,其中巧家、禄劝、富民、普洱、景洪5次地震构成一条550 km长的NNE向条带.平静11个月后于1987年9月3日开始发生4.5~5级地震,最后于1988年11月6日发生澜沧、耿马7.6和7.2级双主震.特征:1959~1964年间滇西南无1次中强地震活动;从1965年开始进入地震活跃期,几乎年年都有中强地震活动,但全部分布在7.6级地震震中100 km之外;1985年4月开始密集活动的中强地震基本分布在101°E线以东地区,而大震则发生在100°E以西地区,表现为“指东震西”;1988年3~8月大震震源区附近开始有4.6级地震活动.

(7) 1992年12月~1993年8月, $v = 8.00$

9个月内发生地震6次,依次为永胜5.4、普洱6.3、大姚5.3、景谷5.3、中甸5.8和姚安5.6级地震.除普洱、景谷地震之外,其余4次地震构成一条300 km长的NW向条带,但在中甸与大姚之间留有180 km的空段.28个月后,在空段中部发生了1996年2月丽江7.0级地震.特征:中强地震在大震震源体两端活动,表现为“指两头,震中间”;震前2.5年内,震源区附近虽然发生过3次4~4.3级地震,但震中分散,既无明显迁移迹象,也无直接前震特征.

由以上震例可见,发生在20世纪的8次7级大震中,有7次在震前5.2年内出现了程度不同的中强地震密集现象,其中3年内发震4次,占57%;4年内发震6次,占86%.一次例外为1941年发生在滇西南的2次7.0级地震.但这次例外比较特殊:1938年5~11月,分别在澜沧、禄丰、呈贡等地发生过3次中强地震, $v = 5.17$,已达到密集指标,而且收尾地震与主震相距时间在29~36个月之间,也在允许范围内,只是因为时间太短而未统计在内.考虑到当时的地震监控能力,在滇西南这样偏远的少数民族地区缺漏个别中强地震并非不可能,所以这次例外有可能是由于地震记载缺漏所致.此外还有一点值得注意,即7次中强地震密集现象之后至7级大震发生之前,有4次出现4~5级地震向主震震中迁移,其中4次出现在大震前2个月;另有2次在主震前1个月至25分钟发生过前震.

(8) 2000年8月~2001年10月, $v = 6.40$

这是最近的一次中强地震密集现象,15个月内共发生地震10次,将3次施甸地震计为1次后,还有8次,依次为武定5.1、澜沧5.0、施甸5.9、宁蒗5.8、楚雄5.3、江川5.1、景谷5.0和永胜6.0级地震.震中分布呈现三个特征:一是顺时针方向完成内外两个轮回(武定~澜沧~施甸~宁蒗为外轮,楚雄~江川~景谷~永胜为内轮);二是武定、楚雄、景谷、澜沧等4次地震等间距地构成了一条450 km长的NE向条带,而宁蒗、永胜、施甸等3次地震又构成另一条360 km长的NE向条带;三是武定、宁蒗、楚雄、江川、永胜等

5 次地震分布在康滇菱形块体边界附近. 但截止于 2003 年 4 月 ,云南省内还没有出现过明显的 4 级地震迁移和前震现象.

2 中强地震密集现象与 7 级大震的关系

2.1 中强地震密集现象与 7 级大震的震级关系

众所周知 ,云南 6.7 级以上地震存在 10 年尺度的活跃 ~ 平静交替发生过程 ,20 世纪共经历了如下 4 个活跃期 :1913 ~ 1925 年、1941 ~ 1955 年、1970 ~ 1979 年、1988 ~ 1996 年. 但 7 级大震的这种特征并不明显 ,所以在研究 7 级大震的活动周期时 ,往往要将震级降至 6.7 级. 但这又带来一个问题 :在一个活跃期内发生的地震究竟是强震(小于 7 级) ,还是大震(7 级以上)? 目前尚无较好的区别办法. 本文的研究表明 ,中强地震密集现象的出现与否 ,可能是能否发生 7 级大震的一个决定性指标. 如果指标出现 ,则在地震活跃期内发生 7 级大震的可能性大 ;反之 ,则很可能仅仅是一次强震活动而已.

2005 年前后云南又可能进入一次新的 6.7 级以上地震活跃期. 上节震例(8)中的中强地震密集现象已于 2001 年 10 月结束 ,因此最迟在 2005 年 10 月发生的这次 7 级大震将可能成为云南 21 世纪第一次 6.7 级以上地震活跃期的揭幕地震.

2.2 中强地震密集现象与 7 级大震的时间关系

如果把中强地震密集现象与云南 6.7 级以上地震的活动周期联系起来考察 ,将会发现 :中强地震密集现象与其对应的 7 级大震之间的时间间隔 ,随着密集现象在时间轴上出现位置的不同而不同. 如果出现在平静期内 ,则二者相距 2 ~ 4 年 ;如果出现在活跃期内 ,则二者相距 0.5 ~ 2.5 年 ,如表 2 所示. 根据这一特征推测 ,最后一次中强地震密集现象处在 1996 年 3 月开始的平静期内 ,它可能预示着未来 2 ~ 4 年 ,即 2003 年 9 月 ~ 2005 年 9 月之间 ,云南省内可能发生一次 7 级大震.

表 2 中强地震密集现象出现位置与对应 7 级大震的时间间隔

序号	出现时段	位置	对应 7 级大震			时间间隔/a	备注
			年代	地点	震级/ <i>M</i>		
1	1909-05 ~ 1910-02	平静期	1913 年	峨山	7.0	3.75	
2	1919-03 ~ 12	活跃期	1925 年	大理	7.0	5.25	间隔偏大
3	1966-01 ~ 10	平静期	1970 年	通海	7.7	3.16	
4	1972-08 ~ 1973-08	活跃期	1974 年	昭通	7.1	0.67	
5	1975-01 ~ 12	活跃期	1976 年	龙陵	7.4	0.50	双主震
6	1986-03 ~ 12	平静期	1988 年	澜沧	7.6	1.83	双主震
7	1992-12 ~ 1993-09	活跃期	1996 年	丽江	7.0	2.33	
8	2001-02 ~ 10	平静期				?	预测 2005 年 10 月前发震

2.3 中强地震密集现象与 7 级大震的地点关系

郭增建等将发生在平静期内的 6 级强震定义为“ 静中动 ”地震^[3] ,并用来预测未来 30 ~ 45 年内发生的 7 级大震震中 ,具有长期预报意义. 本文结合中强地震密集现象稍作改进 ,用同时具备“ 静中动 ”地震和密集地震二重属性的强震来确定未来 4 ± 0.5 年内发生的 7 级大震震中 ,使其具有中期预报意义. 比如 ,在 20 世纪前 13 年这一个平静期内共发生“ 静中动 ”地震 2 次 ,即 1901 年洱源 6.5 级地震和 1909 年华宁 6.5 级地震. 其中只有华宁地震具备二重属性 ,说明未来 4 年左右在附近地区或同一断裂带上将有可能发生 7 级大震. 事实上 4.58 年后发生的峨山 7 级地震震中与华宁地震相距不足 70 km ,对应情况比较理想. 洱源地震只是单纯的“ 静中动 ”地震 ,如果附近发生地震时间应在 30 年以上. 实际上 1925 年 3 月发生的大理 7 级大震与之相距 24 年 ,比理论研究的结论稍短.

同理 ,可将其他几个平静期内发生的所有“ 静中动 ”地震都列入表 3 ,用来作为未来 7 级大震的震中判据. 对于最后一次中强地震密集现象的出现 21 世纪发生在云南省内的第一次 7 级大震震中似乎应在洱海断裂或程海断裂附近 ,理由主要有二点 :一是在洱海断裂附近历史上曾分别发生过 1962 年 6 月南华 6.2 级地震和 1963 年 4 月永平 6.0 级地震 ,至今已达 40 年以上 ,未来 5 年正好是“ 静中动 ”地震后 7 级大震的最佳爆发时间 ;二是在程海断裂上 2001 年 10 月的永胜 6.0 级地震同时具备“ 静中动 ”地震和中强地震密集的双重属性 ,表明未来 4.5 年内(即 2006 年 4 月之前)附近地区将有可能发生 7 级大震.

表 3 云南 1926 年以来全部“ 静中动 ”地震与对应 7 级大震关系

序号	静中动地震			震中分布范围	对应 7 级大震			时间间隔/a	备注
	时间	地点	震级/ <i>M</i>		时间	地点	震级/ <i>M</i>		
1	1929-03-22	通海	6.0	小江断裂带				41	
	1934-01-12	石屏	6.0		1970-01-05	通海	7.7	36	
2	1929-10-17	腾冲	6.5	滇西				47	
	1933-08-11	腾冲	6.5		1976-05-29	龙陵	7.4	43	
3	1930-05-15	巧家	6.0	滇东北	1974-05-11	昭通	7.1	44	
4	1933-06-07	中甸	6.3	滇西北	1976-11-07	宁蒗	6.7	43	
5	1938-05-14	澜沧	6.0	滇西南	1941-12-26	勐海	7.0	3.5	兼密集地震
6	1961-06-27	中甸	6.0	滇西北				35	
	1966-09-28	中甸	6.4		1966-02-03	丽江	7.0	30	
7	1962-06-24	南华	6.2	滇中	2004 ~ 2006 ?			44 ±	
8	1963-04-23	永平	6.0	滇中	2005 ~ 2007 ?			44 ±	
9	1965-07-03	江城	6.1	滇西南	1979-03-15	思茅	6.8	14	
10	1966-02-05	东川	6.5	小江断裂带	1970-01-05	通海	7.7	4	兼密集地震
11	1984-04-24	孟连	6.0	滇西南	1988-11-06	澜沧	7.6	4.5	兼密集地震
12	1985-05-04	禄劝	6.3	小江断裂带	2015 ~ 2028 ?			30 ~ 43 ?	
13	1998-11-19	宁蒗	6.0	滇西北	2028 ~ 2041 ?			30 ~ 45 ?	
14	2000-01-15	姚安	6.5	滇中	2030 ~ 2043 ?			30 ~ 45 ?	
15	2001-10-27	永胜	6.0	滇西北	2005-04 ~ 2006-04			4 ± ?	兼密集地震

将云南地区 $M_s \geq 6.7$ 地震的活跃期与平静期相比较 ,可得比值约为 0.8 ~ 1.0 个月 ,说明二者长度大致相当. 由于上一活跃期为 1988 年 11 月 ~ 1996 年 2 月 ,共 88 个月 ,按上述比值计算可得出云南自 1996 年 3 月开始的平静期应当在 85 ~ 108 个月之间 ,即在 2003 年 4 月 ~ 2005 年 2 月之间开始新一次 $M_s \geq 6.7$ 地震活跃期.

综上所述 ,我们可对 21 世纪发生在云南省内的第一次 7 级大震作出如下预测 2005 年 4 月前后(± 1 年) ,云南洱海 ~ 程海断裂附近地区 ,将有可能发生 7 级大震 ,并从此揭开新一轮 10 年左右时间尺度的 6.7 级以上地震活跃期序幕.

3 讨论

20 世纪云南 7 级大震之前 ,基本上都经历了以下的有序节奏过程 :震源体附近“ 静中动 ”地震活动—外围中强地震密集活动—4 ~ 5 级地震向大震震中迁移(或发生直接前震)—爆发 7 级大震. 整个过程中虽然“ 静中动 ”地震因年代久远、4 ~ 5 级地震因强度较低 ,它们与 7 级大震的联系往往被人们忽略 ,但它们之间的联系是显而易见的. 关于这种联系的形成机制目前存在多种说法. 以下为笔者的观点 ,参与讨论.

普遍认为,地震是震源体破裂的结果.傅征祥^[4]在平面上把大震影响地区粗略地划分为震源区、近源区和远源区三个部分;与之相对应,在时间上把大震孕育阶段粗略地划分为长期、中期和短临三个部分.根据这一观点,可将上文的种种现象解释如下:在区域应力场作用下,地壳中的高应力集中点形成震源体.当应力不断加强,应变积累到震源体岩层的承受极限时震源体破裂,应变释放使地壳应力水平恢复到正常状态,重新积累应变.这就是云南7级大震之前30~45年内首先在震源区或近源区发生1次或多次6~6.5级所谓的“静中动”地震,然后进入长期的地震平静阶段.韩新民等将之称为强震活动的“免疫性”^[5].经历30~45年的演变,到了大震前0.5~5年,以远源区为活动主体开始出现中强地震密集现象,并呈现出时空分布上的某些有序性,如条带、顺(反)时针迁移或轮回等等,而震源区或近源区则相对平静,反映出区域应力场活动开始出现优势取向,大震孕育进入中期阶段.大震前0.5年(多数在2个月)内,区域应力场优势取向进一步凸现,出现4~5级地震由远源区或近源区向震源区迁移,或发生直接前震的现象,表明一次7级大震孕育已基本成熟,进入短临阶段.

[参考文献]

- [1] 黄玮琼,李文香,曹学峰.中国大陆地震资料完整性研究(之二)[J].地震学报,1994,16(4):423—432.
- [2] 苏有锦,李忠华,刘祖荫,等.20世纪云南地区 $M_s \geq 5.0$ 地震活动的基本特征[J].地震研究,2001,24(1):1—9.
- [3] 郭增建,秦保燕,李革平.未来灾害学[M].北京:地震出版社,1992.
- [4] 傅征祥.大地震前后区域地震活动聚散及其讨论[J].地震地质,1983,5(2):31—38.
- [5] 韩新民,周瑞琦,王兴辉.云南强震活动的“免疫性”特征研究[J].地震研究,1996,19(3):246—252.

STUDY ON THE PHENOMENON OF CONCENTRATION OF MEDIUM-STRONG EARTHQUAKES BEFORE $M \geq 7.0$ EARTHQUAKES IN YUNNAN PROVINCE

ZHOU Jian

(Seismological Bureau of Lancang county, Yunnan, Lancang 665600, China)

Abstract It is found that the phenomenon of concentration of medium-strong earthquakes before $M \geq 7.0$ exists in 20th century in Yunan province. A flexible time prediction of main earthquakes can be made on the basis of the features of concentration of medium-strong earthquakes, and the epicenter of potential main earthquake can also be predicted through the study combining with "the earthquake in quiescence". At the end, the mechanism of relation between the foreshocks and main shock is discussed.

Key words : $M \geq 7.0$ earthquake ; Concentration of medium-strong earthquake ; Earthquake in quiescence ; Yunnan