

云南地区 $M_s \geq 6.7$ 地震前的中强地震活动*

钱 兆 震

(云 南 省 地 灾 局)

摘 要

本文分析了云南地区(通海、永善、龙陵、宁南、普洱)五次 $M_s \geq 6.7$ 大震前的中强地震活动,发现:(1)大震前一年或稍长一点时间内中强地震活动明显加强,年频度达 $n(M_s \geq 4) \geq 20$ 次/年, $n(M_s \geq 5) \geq 6$ 次/年;(2)同时区域内 b 值相应下降;(3)大震前数月至一年内中强地震活动由原来的大范围散布状态逐渐向未来震中收缩,有的地震(如龙陵、通海地震)的前震,收缩为交叉带状。这些特征可能与云南地区的地壳构造格局和孕震过程有关,文中称这些中强地震为“广义前震”。

一、前 言

笔者早已注意到大震前一、二年或稍长的时间里,在远大于震源区范围内,围绕未来大震,常有一串中强地震的发生^[1]。茂木清夫在研究大地震时指出,在其发生前后,大范围内地震活动的增加,就相当于广义的前震^[2]。本文研究了云南通海等五次大地震前的中强地震活动图象,显示出大地震都是在中强地震频繁活动的背景上发生的。因此,大震前在大范围内地震活动水平的增高,从广义角度理解,可视为“广义前震”。

图1为1965年—1979年3月云南地区震中分布图。在此期间该范围内发生6级以上地震为25次。因地震繁多,要从其中区别异常,或者肯定是那一次地震的异常是困难的。实际上,在一次强震孕育过程中很可能同时大面积上出现异常,一个地震异常叠加在另一个地震异常上。本文取一次大震之后到另一次大震前为一个时间段,大致划分为五个时间段(表1为通海等五次大震的参数)。当然,在每一个时间段里,也包含其它大震的孕育异常,但主要还是反映较近的那一次大震异常。

二、资 料

本文研究范围为北纬 21° — 29° ,东经 97° — 106° 。资料取自云南省地震目录,在省界外有少量的5级以上地震,取自中国地震台网观测报告。

* 1981年12月28日收到初稿,1982年11月30日收到修改稿。

表 1*

序号	地震日期 (年·月·日)	震中 地区	震中 烈度	等震线特征	序列空间分布	地 震 破 裂 带			震 源 机 制 结 果			由地质资 料得到的 发震断裂	资料来源		
						长 度	走 向	破 裂 特 性	断 层 面 解	主 压 应 力 轴	方 位	仰 角			
1	1970.1.5	通海	Ⅶ- Ⅳ	狭长形条带，长轴 方向北西，极震区长 轴52公里，短轴1- 5.5公里，长短轴之比 为16:1。	绝大部分余震沿北 西向密集成条带分 布。	50公里	北 西	右旋错动为主，兼 具压缩性，最大 水平错距2.7米	306° 306°	351° 351°	3° 3°	呈北西 向展江断 裂曲	**	造	
2	1974.5.11	永善 大关	IX	极震区长轴方向*** 是N35°W,长轴15.5 公里,短轴8.5公里,来 自二幅圆状。	5.7级(6月15日) 地震前,地震已由原 来沿N40E向活动。				326°	80°	101°	3°		造	
3	1976.5.29	龙陵	IX IX M _s ≥6 5次	两次大地震极震区均 为椭圆形,长轴方向约 为北东1:7;1,长轴之比 约为1.7:1,北东向,北西两 个方向。	全序列空间分布为 北北西,北东东和北 北东三条带组成,分 布为北东,长轴之比 约为1.7:1,北东向,北 西两个方向。	断续 分布	北 北 北 北 东 东 东 东 几 组 方 向	M _s =7.3 M _s =7.4 79°	72° 67°	148° 141°	3° 12°		造		
4	1976.11.7 12.13	宁南 盐源	VIII VII	椭圆形,长轴方向 近南北,极震区长轴 之比为2.8:1。 椭圆形,长轴方向 为北西,极震区长轴 之比为2:1。	余震空间分布呈北 东111°椭圆形. 余震空间分布呈北 西51°椭圆形.	断续 分布	北 东 北 东 东 东 北 西	非原生裂缝带	197° 111°	63° 80°	31° 15.9°	7°	震区内 北西向及北 西向断裂带	造	
5	1979.3.15	普洱	IX	等震线长轴方向约 北50°西。	余震主要分布于主 震的北西,呈现北 向的密集趋势。				132°	89°	178°	11°	(据云南地震局研究所震源物 理研究室)	造	

*—王绍晋,大地震发震断裂格架分类与大地震前的地震活动特征,地震研究,4,1,1981.

**—刘正荣等,1974年5月11日云南省永善一大关地震,地球物理学报,20,2,1977.

***—一九七四年五月十一日云南省永善一大关(7.1级)地震考察工作初步总结。

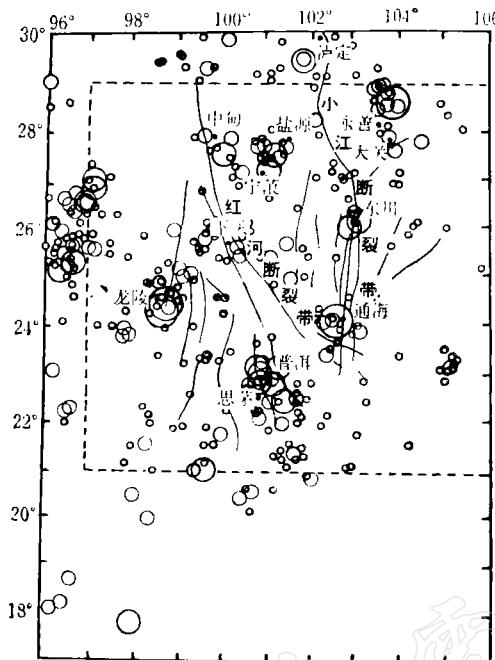


图 例
○ M 4~4.9 ○ 5~5.9 ○ 6~6.9 ○ 7~7.9 地名 研究范围

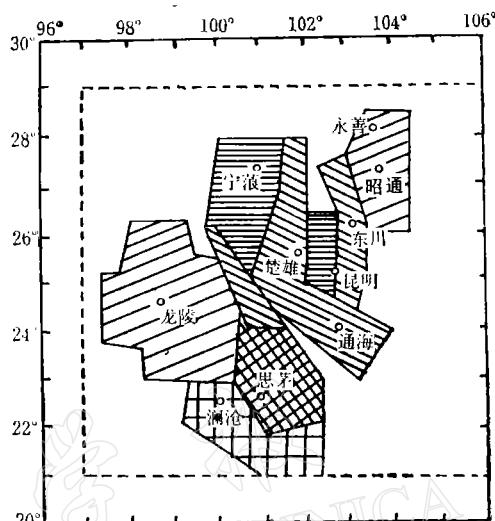


图 例
■ M_L ≥ 2.0 ■ ≥ 2.2 ■ ≥ 2.5 ■ ≥ 2.6 ■ ≥ 3.0 研究范围

图 1 主要断裂带和震中分布图(1965—1979.3)

图 2 地震台网控制震级能力示意图

图 2 为 1971—1979 年云南省地震台网控制震级能力示意图。1965—1969 年的资料,由于台网不健全,控制震级下限为 $M_{L3.2}$; 1970 年通海地震发生后,台网布局有所改善,大约可控制 $M_{L2.5}$ 以上地震,但在边界处控制震级能力稍差些。在计算 b 值时,考虑到地震序列是主要反映局部地区介质应力状态,因而一般只取主要的地震,其余舍去。

关于年频度 $n(M_s \geq 4)/\text{年的统计}$,一律采用面波震级 M_s ,主要是考虑到面波震级比较稳定。在处理地震序列时,地震个数规定为:当 $\Delta M \geq 0.5$ 时,只取主震;当 $\Delta M \leq 0.4$ 时,按照等权考虑,有几个地震就按几个统计。舍取的原则是: $M_{\pm} - M_{\text{余}} = 0.4$ 时,其能量差为 $\frac{E_{\pm}}{E_{\text{余}}} = 3.97 \approx 4$, 可视为同一个数量级。若 $\Delta M = 0.5$ 时,能量差为 5.63 倍,按四舍五入计,不应按等权对待。

三、“广义前震”的某些特点

(一) 年频度

图 3 为地震频度随时间变化曲线。当 $n(M_s \geq 4) \geq 20$ 次/年,且 $n(M_s \geq 5) \geq 6$ 次/年时,在次年或稍长一些时间,在所研究的范围里将发生 $M_s \geq 6.7$ 级地震。

永善、龙陵、普洱地震,均发生在前一年出现上述标志后。通海地震震前四年出现年频度 $M_s \geq 5$ 9 次, $M_s \geq 4$ 30 次的高频率,这可能与通海地震的强度大有关。

(二) b 值

本文引用宇津公式用最大似然法估算 b 值:

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0}$$

式中, \bar{M} 表示所取地震的平均震级; M_0 表示所取震级中最小震级。这里取 $M_0 = M_{\text{最小}} - \frac{1}{2} \Delta M$, $\Delta M = 0.1$, $\log e = 0.4343$.

图 4 为 1965 年—1979 年 3 月云南地区 b 值变化曲线。图 4 与图 3 对照, 得到令人满意的結果, 即图 3 曲线的高頻度恰对应着图 4 b 值曲线上低值时段。如 1966, 1973, 1975, 1978 年下半年都出现地震年頻度超出正常值, 而 b 值这时同步下降。同时, 从图 4 还看出, 6 级地震前 b 值都有不同程度的变化。

1965 年—1979 年 b 值曲线上, 百分之九十的估值点的数据(子样), 超过 $n = 40$ 次, 其中 1971 年—1979 年, 每个估值点的数据一般超过 70 次。按照地震 b 值标准误差表(蒙特卡罗估计)^[3], 当 $n = 50$ 次时, b 值的均方误差约为 0.15—0.16。由此, 粗略地看区域总 b 值变化, 对估价地震危险性, 是有一定意义的。

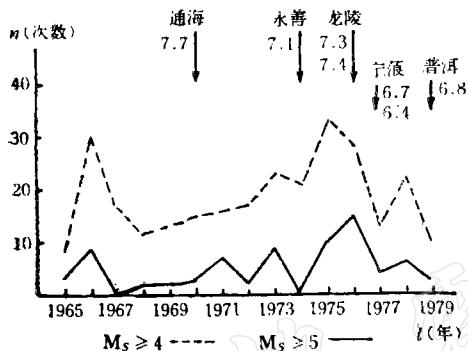


图 3 $n-t$ 图

(蒙特卡罗估计)^[3], 当 $n = 50$ 次时, b 值的均方误差约为 0.15—0.16。由此, 粗略地看区域总 b 值变化, 对估价地震危险性, 是有一定意义的。

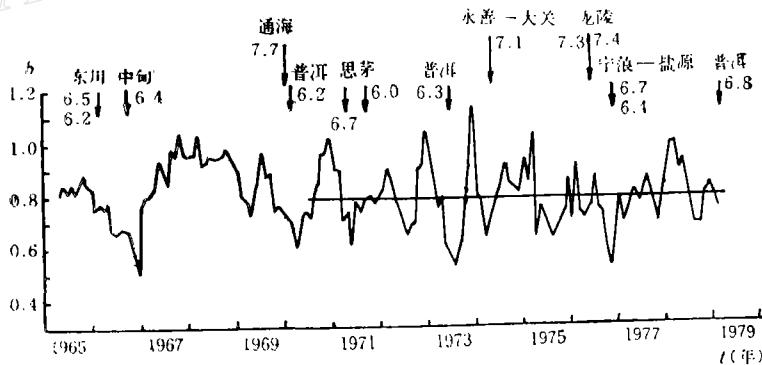


图 4 云南及邻区 b 值曲线。

(1965—1969 年时间间隔为 210 天的逐 30 天的 b 值变化
1970—1979 年 3 月时间间隔为 90 天的逐 30 天的 b 值变化)

国内外不少地震工作者, 都曾研究前、余震 b 值差异, 尤其是着重前震 b 值研究。李全林, 马鸿庆等人都取得了一些有价值的结果^[4,5]。文献[4]给出了永善、龙陵地震前的 b 值扫描结果, 发现震前多年震源区 b 值出现负异常。肖尔茨通过岩石的破裂试验给出, b 值不是常数, 随应力增强显著地减小^[6]。

地震频度和 b 值变化如此同步, 这是反映地震前, 在大范围内, 中强地震频度增高, 小

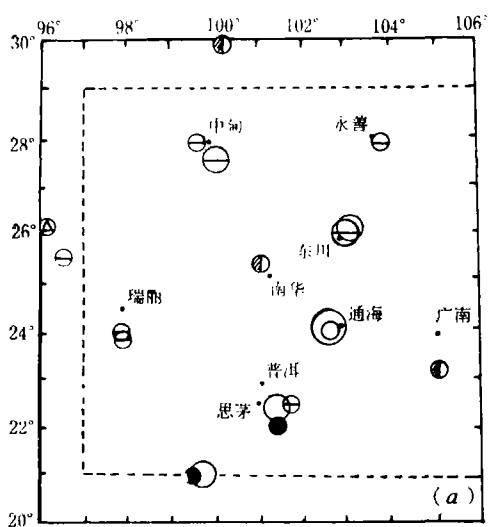


图 例 ○ ○ ○ 研究范围
例 M 5~ 6~ 1965 1966 1967 1968 1969
5.9 6.0 6.0 6.0 6.0 6.0 6.0 6.0

图 5(a) 通海地震前震中分布图
(1965—1970.1.5)

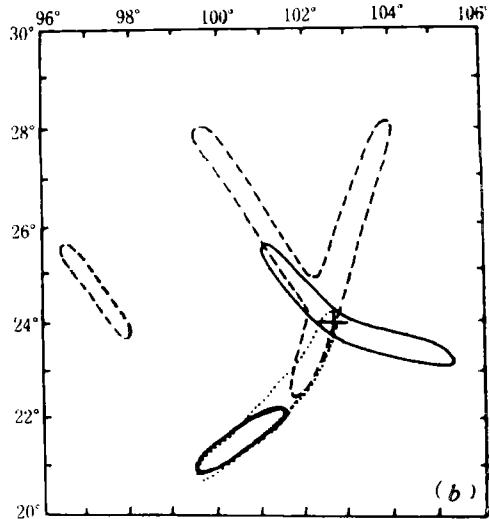


图 例 □ □ □ □ +
例 1965 1966 1968 1969 主震

图 5(b) 通海地震前 5 级地震区域位置示意图
(1965—1970.1.5)

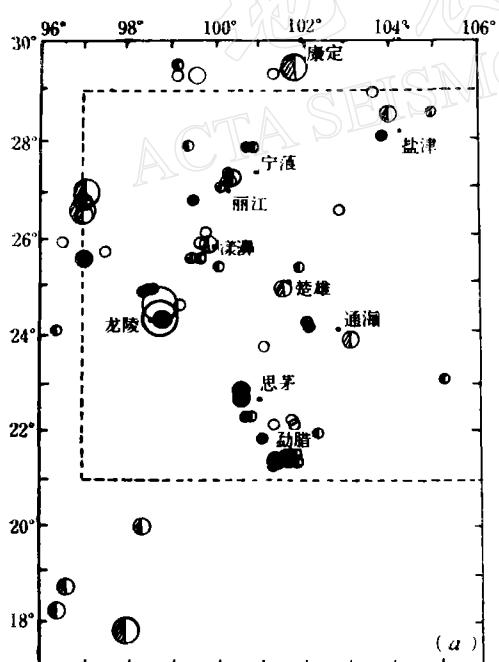


图 例 ○ ○ ○ 研究范围
例 M 4~ 5~ 6~ 1974 1975 1976.1.1
4.9 5.9 6.9 6.0 6.0 6.0

图 6(a) 龙陵地震前震中分布图
(1974.5.12—1976.5.29)

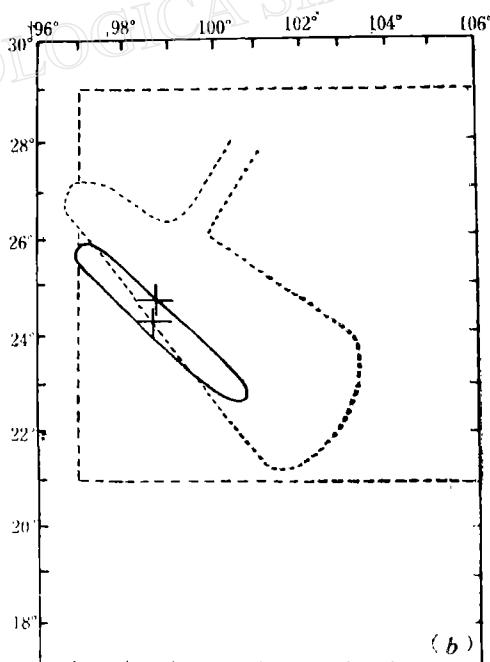


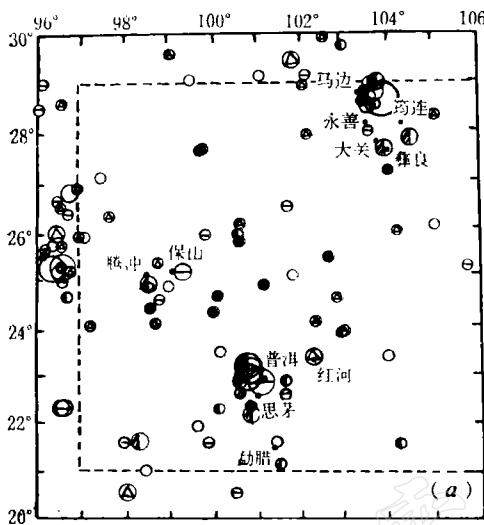
图 例 □ □ +
例 1975 1976.1 5.29 主震

图 6(b) 龙陵地震前 5 级地震区域位置示意图
(1975—1976.5.29)

地震频度相对降低,即大范围内应力水平增高导致 b 值下降。

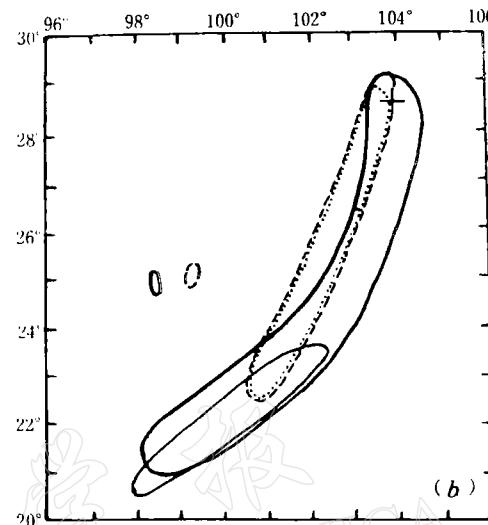
(三) 交叉带状和收缩现象

1. 交叉带状 通海、龙陵地震前, 区域地震很活跃, 空间分布呈现交叉带状, 见图



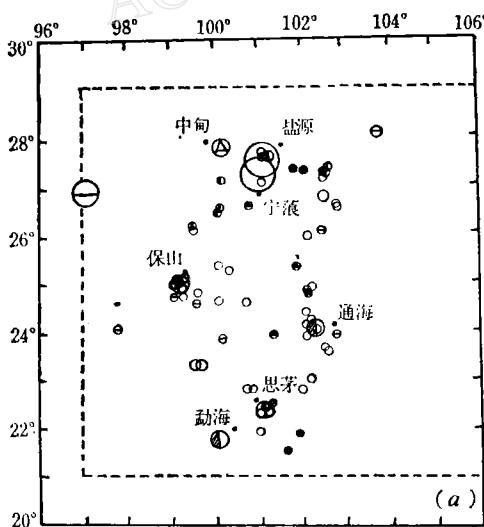
图例 ○○○○○○○○
M 4~5~6~7~8 主震
例 4.9 5.9 6.9 研究范围 1970 1971 1972 1973

图 7(a) 永善—大关地震前震中分布图
(1970—1974.5.11)



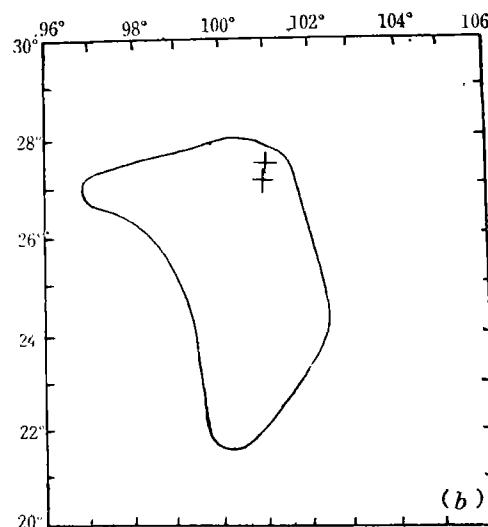
图例 □□□□○○○○+
1970 1971 1972 1973 主震

图 7(b) 永善—大关地震前 5 级地震区域位置示意图 (1970—1974.5.11)



图例 ○○○○○○○○□○○○○○○○○+
M 3~4~5~6~7~8~9~10~11~12 主震
例 3.9 4.9 5.9 6.9 研究范围 7

图 8(a) 宁蒗—盐源地震前震中分布图
(1976.5.30—11.7.)



图例 ○○○○○○○○+
1976.6.~11.7. 主震

图 8(b) 宁蒗—盐源地震前 5 级地震区域位置示意图 (1976.5.30—11.7.)

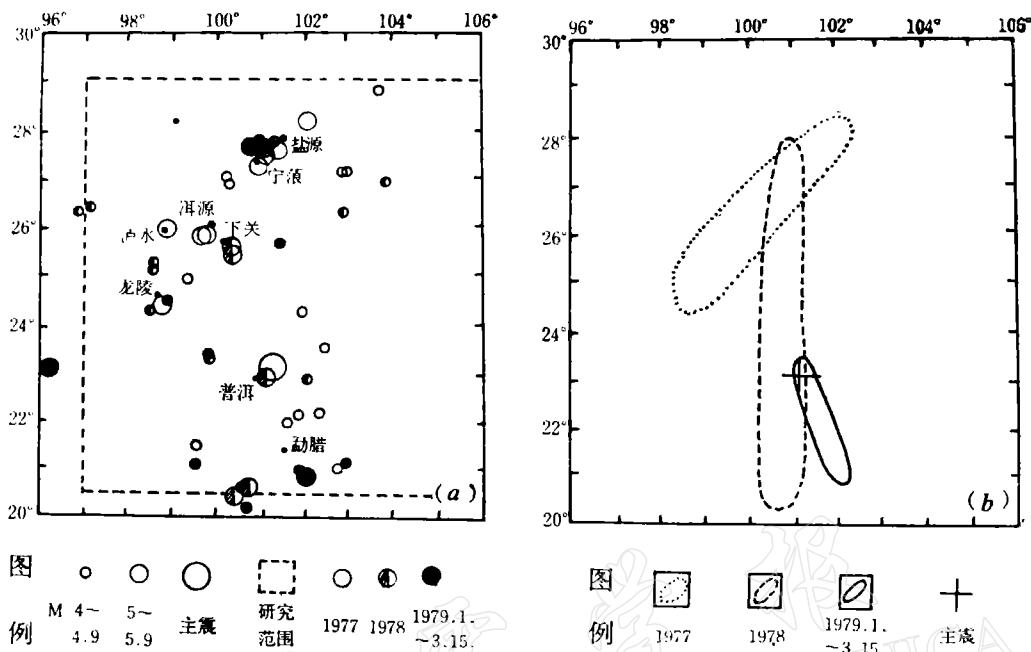


图 9(a) 普洱地震前震中分布图
(1977—1979.3.15)

图 9(b) 普洱地震前 5 级地震区域位置示意图
(1977—1979.3.15)

5—6.

龙陵地震前广义前震明显的为交叉带状分布。震前 1—3 个月内,于主震的东南方向思茅附近发生了 5.7, 5.5 级地震,又于西北方向缅甸境内发生了 5.2 级地震。这两次地震是发生在主震的两侧,对称于主震(200—250 公里),与龙陵第一个 7.3 级主震的断层面走向是一致的^[7]。这两次区域地震的发生,反映了龙陵大震前周围介质已处于很高的应力状态,区域地震空间分布已明显向主震收缩的特点。

通海地震前的广义前震与小江断裂和红河断裂构造活动密切有关。

2. 收缩现象 图 7—9 为永善、宁南、普洱地震前中强地震活动图象。从活动图象看出:其一,大震发生在中强地震比较密集的地区;其二,中强地震向未来主震附近收缩。例如,永善地震前半年多时间,在筠连、马边发生了几次 5 级地震。普洱地震前就更明显了,在主震附近及其以南中缅、勐腊地区发生多次 5 级以上地震,是很典型的 5 级地震围空区。

四、讨 论

云南地区地处印度洋板块和欧亚板块接触带的东侧,由于印度洋板块的长期作用,形成了云南地区断裂构造纵横交错,几条深大断裂穿越云南及其邻区,控制了云南地区的地震活动。

云南地震震源深度较浅,约在 30 公里内,是发生在地壳里。把地壳简化为一块弹性

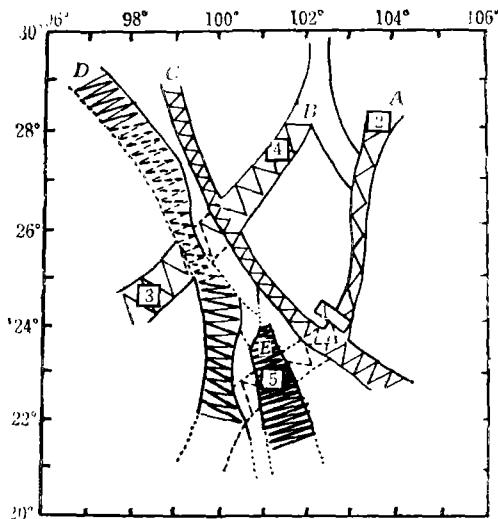


图 10 假设弹性组合板示意图

(1. 通海地震; 2. 永善一大关地震; 3. 龙陵地震; 4. 宁蒗—盐源地震; 5. 普洱地震)

板^[8]，并认为这块弹性板是由许多小的弹性板组成，假定弹性板之间是由弹簧连接起来。图 10 是依据云南主要构造断裂，结合 5 级以上地震分布假设的弹性组合板示意图。图 10 分成 A、B、C、D、E 五组弹性板，也就相当于五组大断裂，彼此紧密相连，但又是一个整体。

一个大地震的孕育，是地壳长期受力，经历了由弹性阶段到非弹性阶段的演变过程，直至地震发生。赵根模等把地震孕育过程分成五个阶段^[9]，即正常活动期—前兆活动期—平静期—前兆活动期—主震及余震发生期。本文所讨论的广义前震，就是平静期后的前兆活动期的反映。这可能是因为地壳长期受力，某些构造部位已积累应变能，在统一区域应力场作用下，发展到一个应力加速阶段，形成了在较大范围内释放应变能，导致一连串广义前震的发生。

通海大地震的孕育，主要受 A、C 组控制，因而广义前震分布形成交叉带状。通海地震后就相当于 A、C 组处于松弛状态，接着启动另一组弹性板组。永善地震处于 A 组的北端，尽管它和通海大震的 A 组同存于一个弹性板内，但各有各自的区域应力场，该震震前主要活动在主震附近和 E 组里，它的广义前震和通海地震的广义前震，空间上并不重复。永善地震后，地震活动向西迁移，迁移到 B、C、E 组活动，导致龙陵大震的发生。龙陵大震后，5 级地震分布在 B、E 组里，发生了宁蒗—盐源 6.7, 6.4 级双震。之后，平静了一年多，B、E 又活动了，导致了 6.8 级普洱地震的发生。

通海、龙陵大震前呈现交叉带状，从图 10 不难得到解释。地震震源区是局限在一个小范围里，但孕育它的构造断裂在空间上是很广阔的，延伸到很远距离(数倍于震源区)。而广义前震，主要是沿着断裂活动，在大震错动方向上有着最大剪切应力，也就是地震孕育和发生过程中共轭断层活动的结果^[10]。

笔者注意到 5 级以上地震活动，有两条北东向分布(宁蒗一下关—龙陵；永善—东川

—通海—普洱、思茅)见图 10。对照图 10, 比较容易地解释这种活动图象。*A*、*B* 组在控制云南地区的地震活动是不可忽视的, 至少在本文研究的时间域里, 是显示了这一活动分布特征。从实验也得到了证实^[11]。

通海等五次地震前的广义前震, 都紧密地和 *E* 区有关, 这一点都引起了很多人的注意。从图 10 中比较容易地看出, 由于云南地区特殊构造格局所决定, 形成了 *E* 区和 *A*、*B*、*C*、*D* 区都相通, 这就造成了 *E* 区是地震活动特别频繁的原因。同时在文献 [11] 中指出, 思茅、普洱地区无论何种方式受力, 剪应力均集中在“思、普地区”。

至于 *D* 组, 可能暂时处于积累应变阶段。

本文承刘祖荫, 晏风桐二同志提出宝贵意见, 笔者深表谢忱。

参 考 文 献

- [1] 钱兆霞, 大震前的中强地震活动特征, 地震研究, **3**, 4, 1980.
- [2] 茂木清夫, 论巨大地震, 国外地震, 2, 1979.
- [3] 张建中等, 地震 *b* 值的估计方法及其标准误差, 地震学报, **3**, 3, 1981.
- [4] 李全林等, *b* 值时空扫描, 地球物理学报, **21**, 2, 1978.
- [5] 马鸿庆, 华北地区几次大震前的 *b* 值异常变化, 地球物理学报, **21**, 2, 1978.
- [6] C. H. Scholz, The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, *BSSA*, **58**, 399—415, 1968.
- [7] 晏风桐等, 龙陵地震的震源机制, 地震研究, 1, 1978.
- [8] 马宗晋, 华北地壳的多(应力集中)点应力场与地震, 地震地质, **2**, 1, 1980.
- [9] 赵根模等, 我国若干强震的前兆地震序列, 地震研究, **3**, 4, 1980.
- [10] 章光月等, 在地震孕育和发生过程中共轭断层活动的作用, 地震地质, **2**, 1, 1980.
- [11] 彭万里等, 云南构造应力场模拟实验, 地震研究, 2, 1978.

ON THE SEISMIC ACTIVITY OF MEDIUM-SIZE EARTHQUAKES BEFORE LARGE EARTHQUAKES OF MAGNITUDES GREATER THAN OR EQUAL TO 6.7 IN YUNNAN PROVINCE

QIAN ZHAOXIA

(*The Seismological Bureau of Yunnan Province*)

Abstract

In this paper, the seismic activity of medium-size earthquakes before five large earthquakes (Tonghai, Yongshan, Longling, Ninlang, Puer) of magnitudes $M \geq 6.7$ occurred in Yunnan Province has been analysed. It is revealed that (1) one year or little longer time before the large earthquakes, seismic activity of medium-size earthquakes is distinctly enhanced, reaching 20 or more earthquakes of $M_s \geq 4$ and 6 or more earthquakes of $M_s \geq 5$ per year respectively; (2) at the same time, b-values within the earthquake regions decrease correspondingly; (3) few months to one year before the large earthquakes, those medium-size earthquakes scattering over very broad areas begin to move toward the epicenters of the coming large earthquakes. They gathered onto intersecting belts in the case of the Longling and Tonghai earthquakes.

The phenomena may be related to the crustal structure of Yunnan and the process of development of the earthquake sources. All such medium-size earthquakes are given a term "general foreshocks" in this paper.