

1999年台湾集集大地震预报问题讨论

秦保燕¹, 姚兰予², 邵永新²

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 天津市地震局, 天津 300201)

摘要:用地震活动性资料回顾性地研究了1999年台湾集集大地震的孕震结构和孕震过程, 应用组合模式和孕震过程中显著地震的时间特征对集集大震的预报问题进行了讨论.

关键词:孕震结构; 孕震过程; 强震预报

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)04-0319-07

0 引言

台湾是我国的多地震区, 但有明显的分区特征. 台湾岛东部濒临太平洋地震带, 不仅地震强度大, 且频次很高, 西部则属大陆型地震活动, 地震强度和频度均低, 其活动水平大体与云南省相当. 1999年9月21日在南投县集集地区(23.85°N, 120.78°E)发生的7.6级强震(台湾方面确定为 $M_s 7.3$; 许力生等确定矩震级为 $M_w 7.6^{[1]}$)位于台湾岛西部的中段, 属大陆型强震类型. 对于这样一次大震人们关心的是能否在震前有所觉察, 也是我们研究这次大震的主要目的. 本文试图由地震活动性资料得到的空间分布粗略研究其孕震结构, 并根据孕震过程显著地震活动的时间特征综合讨论集集大震的预报问题.

1 集集大震的孕震结构与强震位置和震级预测

1.1 集集大震的孕震结构

集集大震前在其震中区及其周围存在一尺度近百公里的地震活动性空区($M \geq 6$). 在空区南端为嘉义—台南强震区, 该区曾于1906年、1941年和1964年分别在嘉义(据徐明同^[2], 1971)、台南、台南发生7级大震. 图1为这几次强震的前、余震分布, 可以看到这三次强震的余震区首尾互有部分搭接区, 从而共同形成了空区南端的应力调整区, 尺度约80 km. 在空区北端为1935年台中—新竹7.1级强震区, 其余震分布尺度约70 km, 为空区北端的应力调整区. 此外在空区的东部边缘还存在一个埔里中强震活动区, 在1916~1921年间曾发生过5次6~6.5级地震, 但此后一直无较强地震活动, 直至大震发生. 因此该区可能是由活动区演化的闭锁区, 属震源早期的雏形, 其位置接近震时的始破裂区. 我们把上述三个区分别以A、B、C表示. 由图1可见, 地震活动的空间图像呈现组合模式的空间结构, 即A和B区相当于组合模式^[3]中的应力调整单元, 中间的空段相当于应力积累单元. 由图1可以量得空段尺度约为85 km.

由地震活动性资料所显示的集集大震的孕震结构, 还可从孕震的构造环境得到更为清晰的认识. 如图2所示, 在空区的南北两端有2个地震断层 F_A (梅山断层)和 F_B (屯子脚断层)分别在1906年和1935年大震时发生, 走向NEE, 右旋, 它们与空区内的NNE F_3 断层(车笼埔断层)横接^[4]. F_A 和 F_B 为已发生过大震的断层, 震后以蠕滑活动为主, 可作为应力调整单元. F_3 断层位于地震活动空区内, 为闭锁断层, 三条断层共同形成了孕震的组合构造结构. 此外根据断层走向和旋性还可大致求得区域压应力的方向为NNW向, 与发震断层 F_3 近于正交. 如以空区的中心作为始破裂区, 则C区偏于空区东侧, 故可推断 F_3 为倾向NEE的倾滑断层.

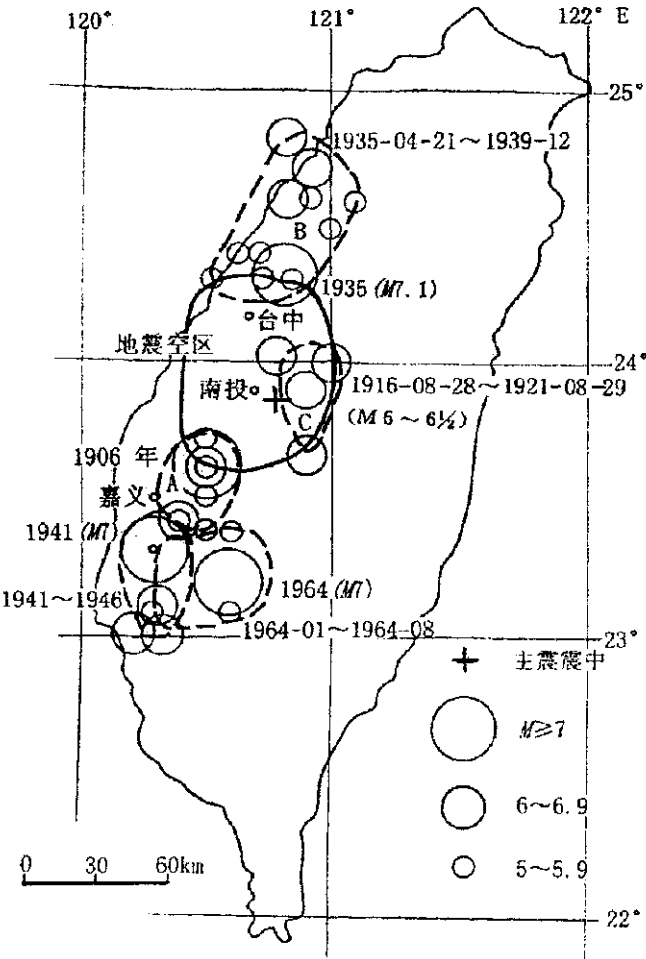


图1 集集大震前地震活动空区和活动区组合图像

Fig.1 Combination image of seismicity gap and active regions before Jiji strong earthquake.

集集大震的震源结构模型见图3. 由于不清楚 F_A 和 F_B 的断层参数(仅知走向),故调整单元粗略的用调整区表示. 在北西西或近东西向的区域力源作用下, A、B 两区作调整运动,并在震源

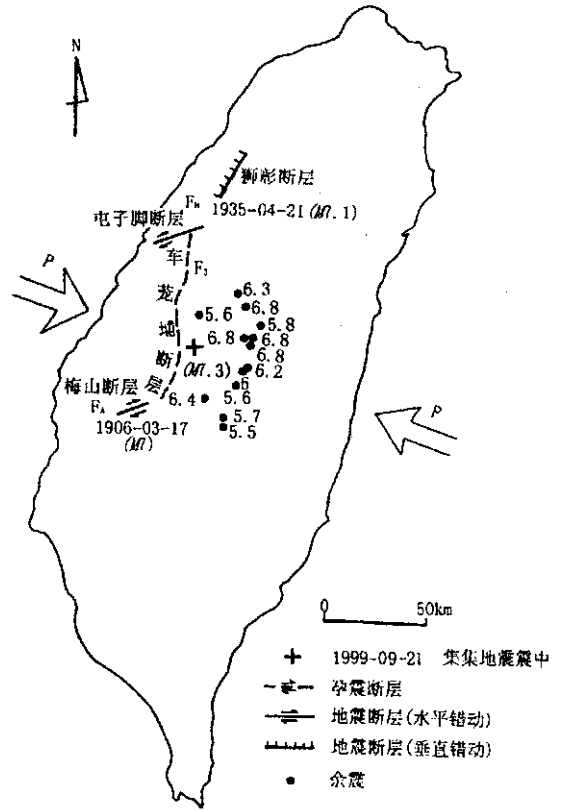


图2 集集大震孕震的构造组合

Fig.2 Pregnant combination tectonics of Jiji strong earthquake.

端部形成剪应力集中 F_3 断层积累应力. 由于区域力源与 F_3 断层近于正交(指水平方向),故其发震时必然具有逆冲为主的错动特征.

1.2 集集大震的位置预测和强度预测

如果我们在震前能对未来大震的孕震结构有所认识,则强震的位置和震级预测就有了基础.

1.2.1 强震位置预测

根据图3, C 区为震源断层面 F_3 的根部,大震发生时断层的破裂传播可能由此处沿断面向上和向 A 区和 B 区扩展并终止于 A、B 区端部附近. 因此集集大震的震中可预测为 $24^{\circ}N, 120.8^{\circ}E$, 这与大震的实际震中位置($23.85^{\circ}N, 120.78^{\circ}E$)已相当的接近. 如按空区中心($24^{\circ}N, 120.75^{\circ}E$)作为预测区,与实际震中位置也比较接近.

1.2.2 震级预测

应力积累单元为孕震区,其震级 M 与孕震体尺度 L (km)之间有如下统计关系^[3]:

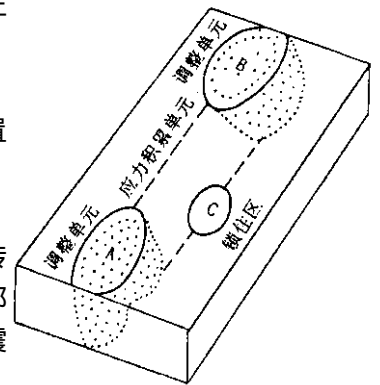


图3 集集大震孕震结构模型

Fig.3 Pregnant construction model of Jiji strong earthquake.

$$M = 3.3 + 2.1 \log L \quad (1)$$

图1中的空区呈北北东走向,其尺度约85 km,考虑到发震时相邻震源区之间有部分搭接,孕震区尺度可适当增大到100 km。将85 km和100 km分别代入式(1)得预测震级为7.35和7.5。因此 $M_x = 7.4 \sim 7.5$ 可作为预测集集大震震级的范围。

由上所述,在集集大震的震前根据地震活动图像结合组合孕震结构可以对强震位置和震级做出初步预测。

2 集集大震孕震过程的时间特征与强震的时间预测

如所周知,在强震孕育过程中孕震区及其附近显著地震活动并不是一个平稳随机的过程,而常常表现为活跃与间歇的交替。主要具有两种特征:一种为显著地震的时间间隔呈现周期性特征;另一种则随着逼近大震呈现间隔愈来愈缩短的特征。前者说明该震源系统的应力水平相当高,较强外因对该系统内的显著地震活动有强触发作用;后者说明孕震系统应力水平随孕震的时间进程呈现非线性的增强。由以上两种时间特征,加上已统计得到的孕震总时段 T (年)与震级 M 之间的关系式^[7]

$$M = 5.06 + 1.308 \log T \quad (2)$$

人们就可对强震发生时间作粗略估计。对于集集大震来说,上述两种时间特征均存在。

2.1 显著地震的周期性特征和强震时间预测

在台湾岛及其周围强震($M \geq 7$)的活动具有明显的周期性,统计得到的优势周期有30年、35年、21~22年和18~19年,分别与地球自转速度变化(29.783年)、地极移动(35年)、磁周(22年)和月亮赤纬角变化(18.6年)的周期相对应。在孕震区及其附近,如降低震级下限作统计,则除了以上优势周期外($M \geq 6$)还存在10~11年周期($M \geq 5.3$)。后者与太阳黑子活动周期11年相合。这种优势周期反映了台湾岛及其周围区域应力水平相当高,它导致外因触发强震发生的广域性和外因调制触发震源过程的局域性均显示优势周期。由前所述,外因触发强震具有广域性,因而利用强震的优势周期可以粗略给出强震的年份预测,而不能提出地点预测。但当我们把统计区缩小到孕震系统时,特别是当该系统具有相当高的应力水平时,也可以进行地点预测。

表1列出了集集大震孕震过程震源系统内显著地震的优势周期,可见存在了30年、35年、18~19年和10~11年的周期,后者与太阳黑子活动11年周期是一致的。此外,1999年恰好是日月同纬的前一年和太阳黑子活动的最高年^[4]。如果分别取1941年嘉义地震、1964年台南地震和1987年嘉义地震作为起算年,分别加 2×29 年、35年和11年,可得到预测年分别为1999年、1999年和1998年;又因为1999年是外因作用很强的年份,故可预测1999年为发震年。震源统计区范围内的强震位置,根据台湾强震具明显的等距特征($\Delta R = 45$ km),而在台中和嘉义强震之间出现空缺,故可预测空缺区可能为未来强震区,由此确定的位置为 24.0°N , 120.7°E ,与集集大震位置非常接近(图4)。此外由上节得知孕震时间 T 约为70~84年,如按1999年作为预测年,则孕震时间为83年,代入式(2)可求得预测震级为7.5。由此可认为1999年作为集集大震的预测年份是有根据的。

2.2 显著地震时间间隔非线性缩短特征和强震时间预测

2.2.1 孕震过程的时间特征

在1987~1989年的研究中我们发现孕震过程的显著地震(中、强震或中小震群)间隔有愈来愈缩短的特征,即在孕震后期出现广义前兆间隔非线性缩短现象^[5,6],可以认为这是孕震系统向不稳定状态——发震转变的重要条件。进一步统计后发现,孕震过程存在两个时间特征。

(1)由震例统计得到孕震前期 T_0 与孕震后期 T_A 之比约为2,此比值与震级大小无关,因而是一个类似普适性的常数,即

$$C_1 = \frac{T_0}{T_A} = 2, T = T_0 + T_A \quad (3)$$

表1 集集大震孕震区和周围中强地震优势周期

年份	震中	震级/ <i>M</i>	Δ <i>T</i> / 年	年份	震中	震级/ <i>M</i>	Δ <i>T</i> / 年	年份	震中	震级/ <i>M</i>	Δ <i>T</i> / 年
1906	嘉义	7		1927	甲仙	6.8		1906	嘉义	7	
							18	1916	南投	6.5	10
1935	台中-新竹	7.1	29	1945	嘉义	6.3		1927	甲仙	6.8	11
1964	台南	7	29	1946	新竹	6		1935	台中	7.1	8
1999	集集	7.3	35	1946	台南	6.8	18~19	1946	新竹	6	11
1906	嘉义	7		1964	台南	7	18	1946	台南	6.8	
1941	嘉义	7	35	1999	集集	7.6	35	1966	嘉义	5.9	20
1999	集集	7.6	58					1976	嘉义	5.8	10
								1987	嘉义	5.6	11
								1998	台湾中部	6.3	11
<i>M</i> ≥ 7 组				<i>M</i> ≥ 6 组				<i>M</i> ≥ 5.6 组			

(2) 在孕震后期 T_A 又可分为 T_{a1} 和 T_{b1} , T_{b1} 又可分割为 T_{a2} 和 T_{b2} , 如此分割直至大震发生, 形成多层次、自相似的时间结构, 其表达式如下

$$T_{bi} = T_{ai+1} + T_{bi+1} \tag{4}$$

由统计得到

$$\frac{T_{ai}}{T_{bi}} = 4, \quad \frac{T_{ai}}{T_{ai+1}} = 5 = C_2, \quad \frac{T_{bi}}{T_{bi+1}} = 5 = C_2 \tag{5}$$

C_1 和 C_2 是反映孕震时间特征的两个普适数. 如果已预测了震级和孕震开始时间, 则利用 C_1 和 C_2 可计算出相应的各层次点时间 $t_1, t_2, t_3, \dots$, 然后与实际地震资料作对比, 确定强震的孕震层次, 再利用前面列出的统计式进行强震的长、中、短、临时间预测. 层次点愈多预测值愈多, 对多个预测值作平均可作为最可能的预测时间. 利用孕震层次进行强震时间预测的方法简称为“层次法”.

2.2.2 集集大震孕震阶段和孕震后期层次点时间的确定

(1) 孕震开始时间 t_0 的确定

集集大震前在南投、埔里区曾于 1916~1921 年相继发生 6~6.5 级中强地震 5 次, 此后至大震发生前一直无 $M \geq 6$ 地震活动. 我们以这一时段的首次中强地震, 即 1916 年 8 月 28 日南投 6.5 级地震作为孕震开始时间.

(2) 孕震阶段点 t_1 的确定

集集大震前在台中、台南、埔里、嘉义地区曾发生中强震 6 次 ($M = 4.7 \sim 5.4$), 为一显著的地震活动过程, 主要发生在 B 区(北区), 故 t_1 取 B 区的首发震, 即 1972 年 2 月 12 日台中 5 级地震作为 t_1 时间点.

(3) t_2 层次点的确定

之后比较明显的中强地震活动开始于 1987 年, 但频次较低. 高频活动出现在 1994~1995 年, 达 6 次, 活动以 A 区(南区)为主. 取首次地震, 即 1994 年 3 月 28 日台南 5.1 级地震作为 t_2 层次点.

(4) t_3, t_4 层次点确定

1995 年后震中区及其附近又出现平静, 直到 1998 年 7 月 17 日突然在彰化南发生 6.3 级地震. 又平静了近一年后于 1999 年 7 月 7 日在彰化发生 5 级地震. 这两次地震均发生在空区(孕震区)西南边缘偏内

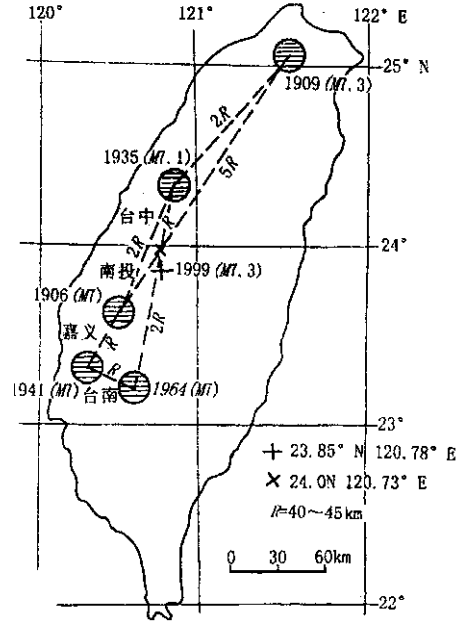


图4 台湾岛西部强震的等间距分布
Fig. 4 Equal distance distribution of strong earthquakes in west of Taiwan.

侧,在一定程度上反映了震源区应力水平的增高,故令其为 t_3 和 t_4 。其中 t_3 震曾在上一节周期性(11 年)中讨论过,此处仍将其作为层次震。

2.2.3 集集大震孕震的时间结构与大震时间和震级预测

由上述确定的层次点不仅可计算 C_1 和 C_2 ,而且可以进行长、中、短临强震的时间预测。结果如表 2 所示。孕震时间结构图示于图 6。

由表 2 和图 6 可见,集集大震实际的孕震阶段和孕震后期的层次时间特征与“层次法”大体一致,其预测的发震时间、震级与实际很接近。此外从不同层次点附近地震活动主体活动区明显地从一个调整单元(B 区)转移到另一个调整单元(A 区),然后再转移到空区边缘(孕震区)来看,层次不仅反映了孕震的时间结构,而且也反映了应力在空间上的转移特征,使我们在不同阶段预测时不会丢失预测目标,从而实现跟踪目标最终进行大震预报的目的。因而“层次法”具有强震地点、时间、震级三参数预测的能力。但震前由于多个强震源孕震层次的混合,导致确定单个强震源层次的困难,造成预测难度加大。因而实际预测过程中需用多种方法进行反复求证,或对多源系统的各强震源的层次按层次法进行分离后,才能对某次强震的孕震层次做出正确选择。例如在 1991 年 3 月 12 日台南市曾发生 6 级中强震,而此震属 1994 年 9 月 16 日台湾海峡 7.3 级大震孕震过程 t_2 层次点,与台湾海峡孕震过程引起的广义前兆场有关^[8]。

3 讨论

由于地震预报的复杂性,人们不得不采用多途径去研究,如统计预测、经验性预测和成因性预测等。对于成因性预测来说,研究贴近自然界震源和震源环境的孕震结构至关重要。例

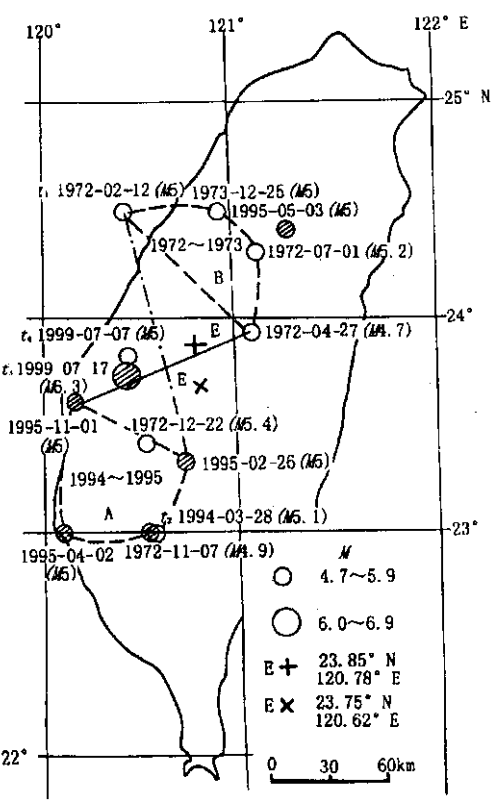


图 5 在层次点 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 附近中强震活动分布

Fig. 5 Distribution of medium-strong earthquakes nearby the hierarchical points(t_1 、 t_2 、 t_3 and t_4).

表 2 集集大震孕震阶段点和层次点及发震时间与震级预测(按“层次法”)

	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	C_1	C_2	T	M_x
实际	1916-08-28	1972-02-12	1994-03-28	1998-07-17	1999-07-07				
层	南投 M 6.5	台中 M 5	台南 M 5.1	彰化南 M 6.3	彰化 M 5.1	2.0	4.8	83a	7.5
次	(23.7°N , 120.9°E)	(24.5°N , 120.4°E)	(23.0°N , 120.5°E)	(23.7°N , 120.4°E)	(23.8°N , 120.4°E)				
t_x		1999-11-04	1999-10-10	1999-08-14	1999-10-05			t_x 1999-10-01	
Δt_x		+43d	+18d	-36d	+14d			(预测值)	
理	[t_0]	[t_1]	[t_2]	[t_3]	[t_4]			[t_x] 1999-09-21	
论	1916-08-28	1972-01-23	1994-03-07	1998-08-11	1999-07-01			实际发震日期	
层 [t_i]	$\Delta t = t_i - [t_i]$								
次	$i = 0 \ 1 \ 2 \ 3 \dots$	+19d	+21d	-24d	+6d			取 $C_1 = 2 \ C_2 = 5$	

如在 20 世纪 70 年代至今中外地震学家主要提出了两类震源模型:一类是单体模型,主要研究震源本体在

[参考文献]

- [1] 许力生, 杨智烟, 陈运泰. 集集地震序列和震源破裂过程初步分析[A]. 见: 陈运泰主编. 中国地震学会成立 20 周年纪念文集[C]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [2] 徐明同. 台湾的地震活动及一些有关问题[J]. Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake, 1971 (8) : 11—16.
- [3] 郭增建, 秦保燕, 徐文耀, 等. 震源孕育模式的初步讨论[J]. 地球物理学报, 1973 (1) : 43—48.
- [4] 王彦斌, 王永, 李建成, 等. 1999 年台湾集集大震的地表断层破裂特征[J]. 地震地质, 2001, 22(2) : 97—102.
- [5] 秦保燕. 大震前复杂震源系统的非线性阶段和大震预报(一) [J]. 西北地震学报, 1986, 8(4) : 1—8.
- [6] 秦保燕. 复杂震源系统的非线性阶段的多层次数性及大震的中、短临预报(二) [J]. 西北地震学报, 1987, 9(1) : 1—9.
- [7] 秦保燕, 谭爱娜, 等. 我国大陆活动断层致锁和解锁指标与大震预报问题讨论[J]. 西北地震学报, 1989, 11(增刊) : 9—16.
- [8] 秦保燕, 刘耀伟. 由层次法讨论 1994 年台湾海峡强震的孕育和发生[J]. 华南地震, 1998, 18(2) : 21—26.

DISCUSSION ON THE PREDICTION OF JIJI STRONG EARTHQUAKE IN 1999 ,TAIWAN

QIN Bao-yan¹ , YAO lan-yu² , SHAO Yong-xin²

(1. Lanzhou Institute of Seismology ,CSB ,Gansu Lanzhou 730000 ,China ;

2. Seismological Bureau of Tianjin Municipality ,CSB ,Tianjin 300201 ,China)

Abstract :Using seismicity data ,the pregnant construction and the process of the Jiji strong earthquake in 1999 , Taiwan ,are studied. The possibility of prediction for Jiji earthquake is discussed by using the combination model and time characters of remarkable earthquakes in the pregnant process.

Key words :Pregnant construction ; Pregnant process ; Strong earthquake prediction