

华北 5 级以上地震的震兆——中等地震的集中持续活动

郁 曙 君

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

1970 年以来, 在华北地区 (30° — 42° N, 109° — 125° E) 十次 $M_L \geq 5.0$ 地震发生前的若干年内, 震中附近都存在 $4.0 \leq M_L < 6.0$ 的地震集中持续活动的现象。这些地震的活动规模与未来主震的震级有一定的关系。本文将这些地震称为中等前震, 定义了标志前震系列活动规模的三个参量: 能量、持续时间和活动范围, 并通过回归分析建立了它们与主震震级的定量关系。

关键词 中等前震; 地震前兆; 地震活动性

一、引 言

傅承义教授早在 1971 年就提出“红肿”假说, 认为: “在一个较大地震(例如 $M_s > 4.5$)发生之前, 地壳上层在很大地区内部都已经起了变化, 并不局限于岩层断裂的地区; 断层不过是最后的爆发点而已。地震过程就仿佛象人身上长疮一样, 在一大片红肿的地方, 疮口的面积只占一个很小的比例”^[1]。笠原庆一教授指出: “震源尺度与震级有关, 震级越大则震源体积越大”^[2]。茂木清夫教授指出: “在巨大地震发生前后, 广大范围内的应力场要发生长期的变化, 与此同时还会有地震活动的变化”^[3]。本文所阐述的现象正是上述观点的有力例证。但是, 我们对“红肿”的时间尺度和空间尺度的认识是在研究过程中逐步加深的。最初只将主震附近小范围、短时间内的地震作为前震, 当然就此也可以看到前震的时空范围与主震震级的关系, 但前震参数(能量、持续时间和活动范围)对主震震级的单项回归拟合的效果较差, 两次 7 级以上强震的震级均低于回归值。后来将前震范围扩大, 并将时间延长后, 拟合效果大为改善, 前震的划分也更趋合理。

本文定义的中等前震属于广义前震^[3, 4]。前人研究广义前震往往仅局限于时、空、强关系中的某一个方面, 而本文则从时、空、强三个方面探讨广义前震和主震的定量关系。

本文所用资料: 1966 年到 1969 年的资料取自《中国地震目录》和《北京及邻区地震目录》, 1970 年以后的资料取自《中国东部地震目录》。

1988 年 3 月 24 日收到本文初稿, 1988 年 9 月 7 日决定采用。

二、典型震例

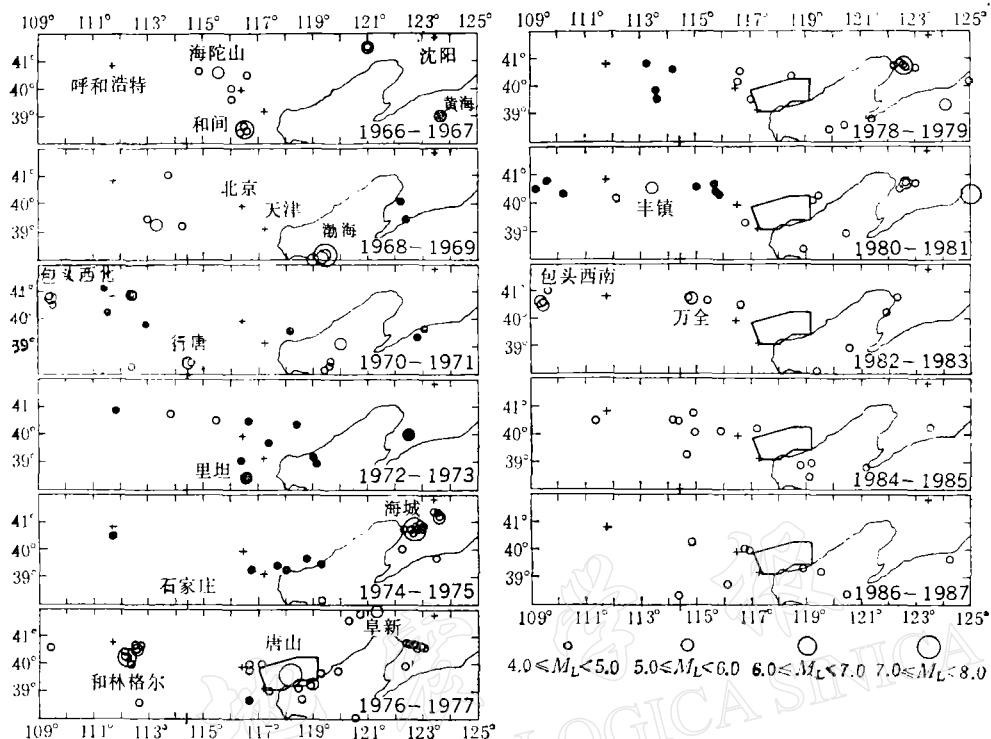
图1是华北北部(38° — 42° N, 109° — 125° E)每二年一张的震中分布图。由图1可以看到,在三次 $M_L \geq 6.5$ 强震(1975年2月4日海城7.4级,1976年4月6日和林格尔6.5级和1976年7月28日唐山7.9级)发生前若干年内,震中附近都有中等前震活动,而在其它地区只有零星地震活动。在三次5级地震(1981年8月13日丰镇5.8级,1983年2月9日包头西南5.1级和1983年4月3日万全5.1级)发生前也有类似的现象。

表1 华北地区典型震例主震及相应中等前震目录

地 点	主 震	前 震				
		No	年·月·日	ϕ_N	λ_E	M_L
渐川 (1)	1973.11.30	1	1970.12.21	33°00'	111°42'	4.2
	$\varphi_N = 32^{\circ}52'$	2	1972.04.03	32°38'	111°36'	4.0
	$\lambda_E = 111^{\circ}31'$	3	1973.11.29	32°53'	111°31'	4.8
	$M_L = 5.0$	4	1973.11.29	32°53'	111°31'	4.7
海城 (2)	1975.02.04	1	1967.06.08	39°00'	123°42'	4.8(M_S)
	$\varphi_N = 40^{\circ}42'$	2	1969.03.04	39°30'	122°24'	4.0(M_S)
	$\lambda_E = 122^{\circ}42'$	3	1969.09.23	40°06'	122°12'	4.3(M_S)
	$M_L = 7.4$	4	1971.01.26	39°37'	123°00'	4.8
		5	1971.05.05	39°19'	122°48'	4.2
		6	1972.04.14	40°01'	122°30'	5.2
		7	1974.12.22	41°12'	123°36'	5.2
		8	1974.12.30	41°12'	123°36'	4.1
		9	1975.02.04	40°40'	122°47'	4.0
		10	1975.02.04	40°40'	122°47'	4.0
		11	1975.02.04	40°41'	122°35'	4.3
		12	1975.02.04	40°41'	122°35'	5.1
		13	1975.02.04	40°41'	122°35'	4.0
		14	1975.02.04	40°41'	122°35'	4.8
黄海 (3)	1975.09.02	1	1970.11.13	34°00'	121°12'	4.5
	$\varphi_N = 32^{\circ}54'$	2	1971.12.28	33°30'	121°30'	4.0
	$\lambda_E = 121^{\circ}48'$	3	1973.10.22	33°21'	121°48'	4.0
	$M_L = 5.7$					
	$\varphi_N = 33^{\circ}00'$					
	$\lambda_E = 121^{\circ}48'$					
	$M_L = 5.1$					
和林格尔 (4)	1976.04.06	1	1970.07.03	39°48'	112°54'	4.2
	$\varphi_N = 40^{\circ}14'$	2	1970.09.05	41°05'	111°22'	4.0
	$\lambda_E = 112^{\circ}12'$	3	1971.07.17	40°12'	111°30'	4.7
	$M_L = 6.5$	4	1971.08.04	40°54'	112°24'	5.1
		5	1972.08.22	40°47'	111°45'	4.2
		6	1975.06.24	40°30'	111°42'	4.8

表 1 (续)

地 点	主 震	前 震				
		No	年·月·日	φ_N	λ_E	
唐山 (5)	1976.07.28	1	1970.05.25	39°33'	118°07'	4.7
	$\varphi_N = 39^{\circ}38'$	2	1972.01.30	38°57'	119°06'	4.8
	$\lambda_E = 118^{\circ}11'$	3	1972.03.25	40°26'	116°36'	4.9
	$M_L = 7.9$	4	1972.06.26	39°09'	118°58'	4.5
		5	1973.02.28	40°20'	118°24'	4.0
		6	1973.05.13	39°38'	117°22'	4.3
		7	1973.09.21	39°03'	116°20'	4.9
		8	1973.12.31	38°28'	116°33'	5.6
		9	1974.03.24	39°15'	116°42'	4.0
		10	1974.05.07	39°30'	119°18'	4.9
		11	1974.05.07	39°30'	119°18'	4.8
		12	1974.10.03	39°41'	118°46'	4.3
		13	1974.12.15	39°22'	117°38'	4.6
		14	1975.12.01	39°15'	118°00'	4.2
		15	1976.04.22	38°41'	116°40'	4.8
丰镇 (6)	1981.08.13	1	1978.04.21	40°35'	114°11'	4.9
	$\varphi_N = 40^{\circ}30'$	2	1978.06.01	39°52'	113°33'	4.9
	$\lambda_E = 113^{\circ}25'$	3	1978.10.04	39°32'	113°35'	4.5
	$M_L = 5.8$	4	1979.07.04	40°52'	113°13'	4.2
包头西南 (7)	1983.02.09	1	1980.10.13	40°30'	109°10'	4.5
	$\varphi_N = 40^{\circ}38'$	2	1981.02.09	40°46'	109°36'	4.0
	$\lambda_E = 109^{\circ}24'$	3	1981.10.25	40°21'	110°13'	4.1
	$M_L = 5.1$	4	1982.12.08	40°38'	109°24'	4.9
	1983.02.12	5	1982.12.14	40°38'	109°25'	4.0
	$\varphi_N = 40^{\circ}30'$	6	1983.01.13	40°36'	109°22'	4.0
	$\lambda_E = 109^{\circ}10'$	7	1983.01.13	41°00'	109°36'	4.0
万全 (8)	1983.04.03	1	1980.11.05	40°23'	115°45'	4.0
	$\varphi_N = 40^{\circ}45'$	2	1980.11.10	40°39'	115°38'	4.2
	$\lambda_E = 114^{\circ}47'$	3	1981.08.25	40°33'	115°00'	4.7
	$M_L = 5.1$	4	1981.09.06	40°19'	115°51'	4.4
菏泽 (9)	1983.11.07	1	1977.07.09	35°00'	115°48'	4.6
	$\varphi_N = 35^{\circ}18'$	2	1981.12.23	35°36'	115°26'	4.6
	$\lambda_E = 115^{\circ}36'$	3	1982.07.28	35°00'	115°09'	4.0
	$M_L = 6.2$					
黄海 (10)	1984.05.21	1	1979.01.04	33°50'	120°30'	4.3
	$\varphi_N = 32^{\circ}31'$	2	1982.04.22	32°49'	121°04'	5.0
	$\lambda_E = 121^{\circ}41'$	3	1983.10.19	33°49'	121°25'	4.1
	$M_S = 5.6$					
	$\varphi_N = 32^{\circ}29'$					
	$\lambda_E = 121^{\circ}36'$					
	$M_S = 5.8$					

图 1 华北北部 $M_L \geq 4.0$ 震中分布图

(实心圆标出 6 次 $M_L \geq 5.0$ 地震的中等前震; 多边形是唐山余震的删除范围)

表 1 列出了华北地区 (30° — 42° N, 109° — 125° E) 十次典型震例, 图 2 是与之相应的图。

上述现象表明, 中等地震可以作为 $M_L \geq 5.0$ 地震的震兆, 中等地震集中、持续活动的地区是未来 $M_L \geq 5.0$ 地震发生的可能地点。

三、中等前震的能量、持续时间、活动范围与主震的关系

由图 2 可以看到: 中等前震的次数越多, 震级越大, 持续时间越长, 活动范围越大, 则主震的震级也就越大。为此, 进行了一些定量的计算, 希望能够通过已经发生的中等地震来估计即将发生的 $M_L \geq 5.0$ 地震的震级。从时、空、强三要素出发, 选用以下三个参量作为中等前震活动的定量指标:

1. 总能量 (E)——所有中等前震的能量总和, 以 10^{12} 焦尔为单位;
2. 持续时间 (T)——第一个中等前震到主震的时间, 以月为单位;
3. 折合圆半径 (R)——与最外围中等前震的连线所围成的多边形面积相等的圆的半径, 以公里为单位, 其算式为:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

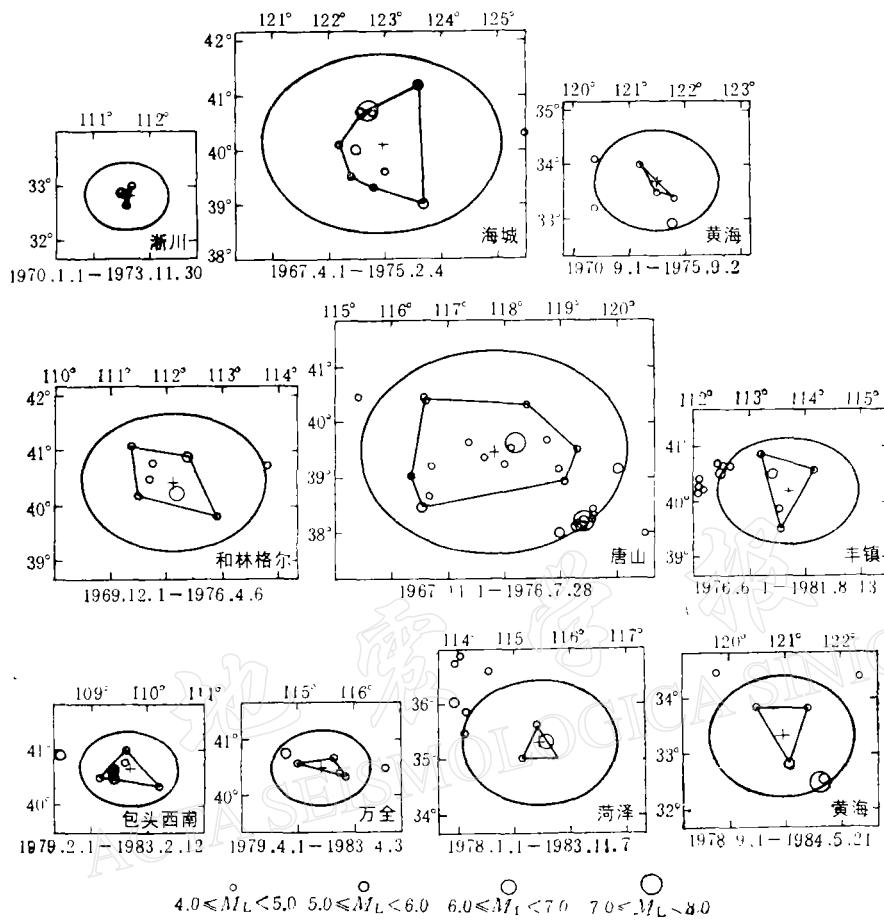


图 2 华北地区典型震例主震及相应中等前震震中分布图

(多边形——最外层中等前震的连线; “+”——中等前震的中心位置(其纬度等于中等前震最大和最小纬度的平均值, 其经度等于最大和最小经度的平均值); 椭圆——以“+”为中心的等距线。该图的起止时间是由主震震级唯一确定的, 更详细的说明见正文)

式中 s 为多边形的面积。

对表 1 中所列的 10 个地震, 其 E , T 和 R 列于表 2, 主震震级对 E , T 和 R 的回归方程如下:

$$M = (4.1753 \pm 0.1241) + (0.0495 \pm 0.0530)E + (0.0205 \pm 0.0023)T + (0.0156 \pm 0.0038)R \quad (1)$$

由回归系数的不确定性引起的误差

$$\Delta M = 0.1241 + 0.0530E + 0.0023T + 0.0038R$$

为了检查回归效果, 进行了显著性检验。用来对整个回归进行显著性检验(检查线性关系是否显著)的 F 值为:

$$F = \frac{U/K}{Q/N - K - 1}$$

表 2 十次典型地震的中等前震参数、主震震级的测定值、内符值及误差表

No.	发震时间 (年·月·日)	E (10^{12} J)	T (月)	R (km)	M_L 测定值	$M_L \pm \Delta M_L$ 内符值	$M_L - M_L$ 内测	地点
1	1973·11·30	0.3762	35	9.5796	5.0	5.1±0.3	0.1	浙 川
2	1975·02·04	4.3852	92	80.6495	7.4	7.5±0.9	0.1	海 城
3	1975·09·02	0.0824	58	14.3611	5.7	5.6±0.3	-0.1	黄 海
4	1976·04·06	1.0636	69	57.8599	6.5	6.5±0.6	0.0	和林格尔
5	1976·07·28	6.6337	74	113.9388	7.9	7.8±1.1	-0.1	唐 山
6	1981·08·13	0.6958	40	42.1007	5.8	5.7±0.4	-0.1	丰 镇
7	1983·02·09	0.4200	28	29.7986	5.1	5.2±0.3	0.1	包头西南
8	1983·04·03	0.2126	29	18.6703	5.1	5.1±0.3	0.0	万 全
9	1983·11·07	0.1988	76	25.0882	6.2	6.1±0.4	-0.1	菏 泽
10	1984·05·21	0.4947	64	38.8463	6.1	6.1±0.4	0.0	黄 海

表 3 外验表

主 震 参 数				M_L (内符值或外推值) - M_L (测定值)									
No	地 点	年·月·日	M_L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	浙 川	1973·11·30	5.0	0.1*	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	海 城	1975·02·04	7.4	0.1	0.3*	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
3	黄 海	1975·09·02	5.7	-0.1	-0.1	-0.2*	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
4	和林格尔	1976·04·06	6.5	0.0	0.1	0.1	0.1*	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
5	唐 山	1976·07·28	7.9	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.4*	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
6	丰 镇	1981·08·13	5.8	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2*	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
7	包 头	1983·02·09	5.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2*	0.1	0.1	0.1
8	万 全	1983·04·03	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0*	0.0	0.0
9	菏 泽	1983·11·07	6.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1*	-0.1
10	黄 海	1984·05·21	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0*

式中, U 是回归方差, Q 是剩余方差, N 是样本个数, K 是自变量的个数。对于方程 (1), $N = 10$, $K = 3$, $F = 204.75$ 。而由 F 分布表查出的理论值为:

$$F_{K, N-K-1}^{0.05} = F_{3, 6}^{0.05} = 4.76^{1)}.$$

上述三元回归拟合的 F 值 204.75 远大于分布表上的理论值 4.76, 线性关系显著。利用三元回归求得的主震震级的内符值、计算误差及内符值与测定值之差列于表 2。由该表可见内符效果是相当好的。

对表 2 中的数据做了一组外验, 即用其中的 9 个进行回归拟合, 外推剩余的一个, 表 3 中加“*”的数是外推值(其余是内符值)。由表 3 可见外推结果也是相当好的。

四、划分前震的时空范围

下面, 本文通过前震参数对主震震级的单项回归拟合, 求出划分前震时空范围的界

1) E , T 和 R 分别对主震震级进行一元回归拟合, $F_E = 26.87$, $F_T = 23.27$, $F_R = 47.83$; $F_{1,8}^{0.05} = 5.32$ 。都通过了 F 检验, 线性关系显著, 但没有三元回归拟合效果好。

限,从而检验前震划分的合理性. 图 2 中的等距线就是划分前震空间范围的界限,起始时间就是划分前震时间范围的界限. 下面给出等距线半径 D 和起始时间 T_b 的求法:

将十次典型震例前震到主震的最大距离对主震震级进行回归拟合,得到方程

$$D = -162.0606 + 46.3683M \quad (2)$$

将十次典型震例前震的持续时间对主震震级进行回归拟合,得到方程

$$T = -63.3092 + 19.7055M \quad (3)$$

图 2 中各图的截止时间 T_e 是主震的发震时间,起始时间 T_b 则为

$$T_b = T_e - T(M) - \sigma$$

式中, σ 为 (3) 式中 T 的均方差, $\sigma = 11.2653$ (月).

由图 2 可以看到,除了强震(1966 年邢台 7.2 级,1969 年渤海 7.4 级和 1976 年和林格尔 6.5 级)的余震外,绝大多数零星地震都在等距线外.

用时间界线划分前震,十次地震中有两次例外:一次是唐山地震. 图 2 中唐山地震的起始时间是 1967 年 11 月,但是在表 1 中唐山地震的第一个前震是 1970 年 5 月 25 日丰南 4.7 级地震,舍弃了 1967 年 11 月 18 日马道峪 4.5 级地震($40^{\circ}28'N, 116^{\circ}34'E$),由图 1 不难看出该地震的舍弃是合理的,因为它与唐山前震序列(由丰南地震起算)从时间上相隔太远. 与上述情况相反,图 2 中菏泽地震的起始时间是 1978 年 11 月,而表 1 中菏泽地震的第一个前震是 1977 年 7 月 9 日成武 4.6 级地震,将该地震列为菏泽地震前震的理由是:1970 年以来在菏泽地区除了表 1 中所列的地震外没有发生过其它 $M_L \geq 4.0$ 的地震,成武地震在空间上离主震又很近,且超前起始时间也不到半年(在二倍方差的置信区间内).

上述分析表明,十次典型震例前震的划分基本上是合理的.

五、结语

本文通过回归分析,对华北 $M_L \geq 5.0$ 地震前中等地震活动的特征进行了探讨,得到一些定量的结果.当然,本本所阐述的定量关系只是一种宏观地震地质现象的统计关系,样本的随机性很大,样本的选取也不可能很准确,因而个别前震的错划和遗漏,并不会对计算结果产生太大影响.

本文算得的结果与笠原庆一教授算得的结果一致,如文献 [2] 中算得震源的有效半径在 $M = 8.6$ 时为 120 km,而本文算得 8.6 级地震中等前震折合圆半径的回归值为 122 km.

本工作系地震科学联合基金资助项目.

参考文献

- [1] 傅承义, 1971. 关于地震发生的几点认识. 地震战线, 8: 35—36.
- [2] 笠原庆一, 1984. 地震力学, 15—22, 赵仲和等译, 地震出版社.
- [3] 茂木清夫, 1979. 论巨大地震. 国外地震, 2: 1—6.
- [4] 赵根模, 1980. 我国若干强震的前兆地震序列. 地震研究, 3, 125—136.

PRECURSOR FOR EARTHQUAKES OF $M_L \geq 5.0$ IN NORTH CHINA, CONCENTRATIVE AND CONTINUOUS ACTIVITY OF MODERATE EARTHQUAKES

YU SHUJUN

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

Abstract

Concentrative and continuous activity of earthquakes ($4.0 \leq M_L < 6.0$) occurred within a few years before and around the epicenters of the 10 coming earthquakes of $M_L \geq 5.0$ in North China (30° — 42° N, 109° — 125° E) since 1970, and there seemed to be a relationship between the scale of activity of these earthquakes and the magnitude of the main shock. These earthquakes are called moderate foreshocks in this study. Three parameters indicating the scale of activity of foreshocks, i.e., energy release, duration time and area of activity are defined and the relationship between the three parameters and the magnitude of the main shock is established through regression analysis.