

华北地区中等强度地震前近震中区 微震活化—寂静图象*

魏光兴 赵兴兰 聂振海**

(山东省地震局)

摘要

本文研究了1970—1979年华北地区11个中等强度地震前区域微震时-空分布图象。发现大部分地震前1—2年，在其周围70—120公里范围内（简称“震兆区”），微震活动出现活化—寂静图象。同时，震前微震活动似有一个逐渐扩散到日趋收缩直至发震的过程。

利用泊松分布检验活化、寂静阶段地震次数发生的概率，其结果是活化阶段绝大多数地震的概率小于5%，而寂静阶段只有近半数地震的概率小于5%。另外，发现大多数地震前震兆区的累加频度曲线的速率有一个加速—减小的过程，而外围区的速率基本保持稳定。

最后，给出典型的异常图象模式并予以初步解释。

一、引言

近十几年来，国内外对于大地震，中等强度地震前地震活动图象的研究日益展开。除研究大地震前中等地震异常活动外，对于大、中地震前区域微震活动特征的探讨亦逐步深

表1 11个中等强度地震简目

| 地震编号 | 发震时间 (年.月.日) | 震 中 位 置 | | | 震 级 (M_L) |
|------|-----------------|---------|--------|---------|------------------|
| | | 地 点 | 纬 度 | 经 度 | |
| 1 | 1973.11.30 | 河南淅川 | 32°53' | 111°31' | 5.0 |
| 2 | 1973.12.31 | 河北河间 | 38°28' | 116°33' | 5.6 |
| 3 | 1974.4.22 | 江苏溧阳 | 31°27' | 119°19' | 5.8 |
| 4 | 1974.5.7 | 河北昌黎 | 39°36' | 119°18' | 5.2 |
| 5 | 1976.4.6 | 内蒙和林格尔 | 40°14' | 112°12' | 6.5 |
| 6 | 1977.6.5 | 辽宁阜新 | 41°57' | 121°18' | 5.1 |
| 7 | 1977.7.9 | 山东成武 | 34°53' | 115°44' | 5.2 |
| 8 | 1978.6.5 | 河南新乡 | 35°26' | 114°06' | 5.0 |
| 9 | 1979.3.2 | 安徽固镇 | 33°11' | 117°25' | 5.4 |
| 10 | 1979.6.19 | 山西介休 | 37°06' | 111°52' | 5.5 |
| 11 | 1979.7.9 | 江苏溧阳 | 31°27' | 119°15' | 6.3 |

* 1982年3月16日收到。

** 顾贞庆、刁守中参加部分工作。

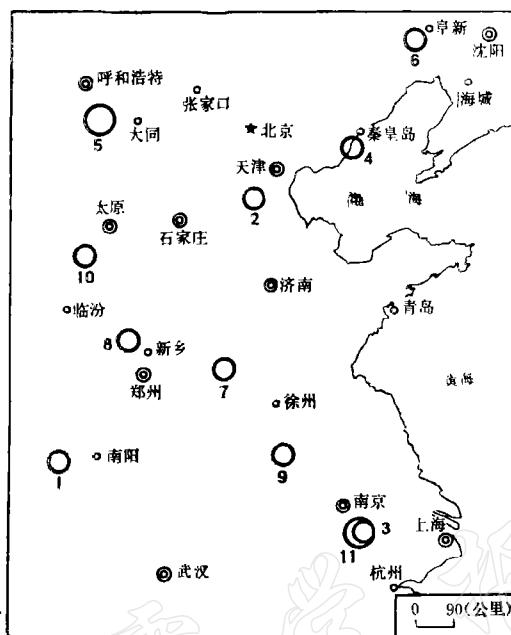


图 1 中强地震震中分布
(图中圆圈及其阿拉伯数字代表地震及其编号)

人^{[1-5]1}。本文利用 1970—1979 年的“中国东部地区地震目录”(国家地震局分析预报中心编)和华东地区地震目录(华东地区地震目录汇编工作会议),依据华北区域台网的控制能力,取震级阈值为 $M_L = 2.0$ 。考虑到资料的等精度性,凡涉及 1970 年前资料的中等地震未进行研究。台网控制能力较低的黄海海域地震未取。另外,对于晚期强余震、震群中最大地震不在本文研究之列。最后选取华北地区(北纬 29° — 43° , 东经 110° — 124°) 11 个 5.0—6.5 级 (M_L) 独立事件(表 1, 图 1), 对其分布半径 200—300 公里范围内的地震活动时空图象进行了系统地研究。发现绝大多数中等地震前一、二年出现“活化—寂静”图象。

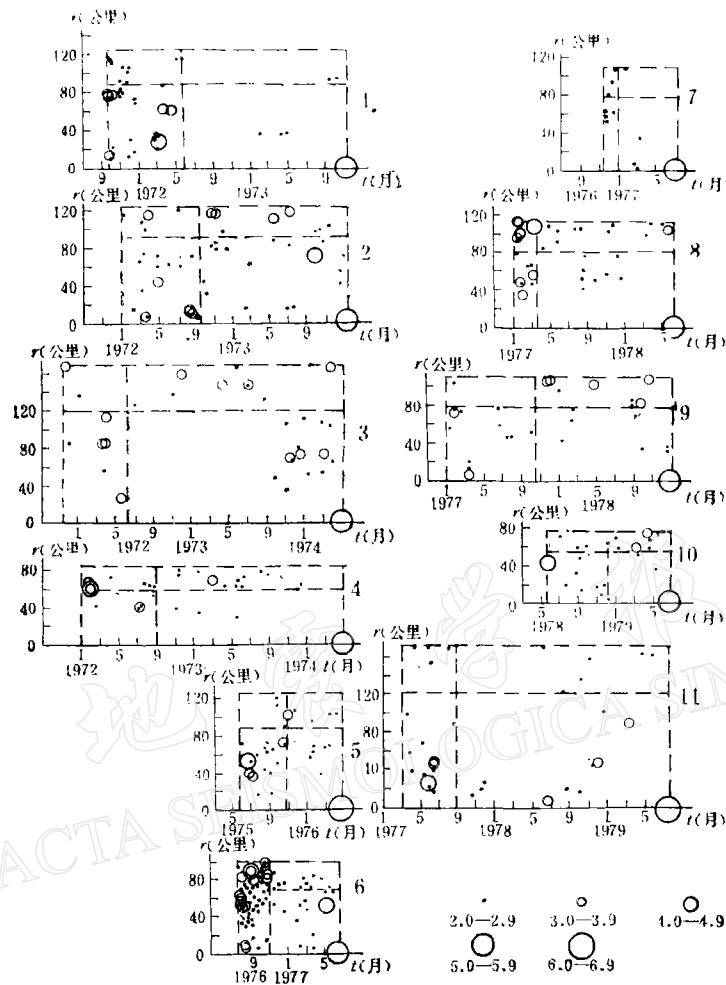
二、主震前的微震活化—寂静图象

确定异常地震活动图象的方法是以主震震中为中心,画周围地震到主震的距离随时间变化图,即 $r-t$ 图(图 2),寻找异常活动时段。在此基础上,作不同时段以主震震中为圆心的不同半径的圆形震中分布图(图 3),研究微震平面分布的细部特征,发现华北地区 11 个震例中均不同程度地存在着微震活化—寂静图象,其中大多数震例这一特征表现得很明显。我们认为,这种图象属于一种地震前兆现象,它所展布的区域称为“震兆区”。

1. 活化阶段特征

一般在正常地震活动背景上,在大地震前 1 至 2 年,小地震在围绕主震的震兆区(其

1) 根据中国科学院地球物理研究所资料, 1970。

图2 11个中强地震前 $r-t$ 图

半径约为 70 至 120 公里)内突然发生, 经历时间约三、四个月至半年, 地震季度频次一般高于正常地震活动水平 3—5 倍。这期间往往有一个 3—4 级地震在离未来主震 10—40 公里范围内发生, 我们称这阶段地震为“早期前兆震”。活化之后的小地震逐渐远离震源区, 有向外扩展之势。

2. 寂静阶段特征

继地震活化之后是寂静阶段, 其地震活动水平明显低于前者。大多数震例也低于正常活动阶段, 一般没有 ≥ 3.0 级地震发生, 表现为相对寂静(这里所用“寂静”一词, 实际是指时间性空区, 即相对于正常活动时段或活化时段地震活动水平明显偏低, 没有考虑其与周围地区地震活动水平高低和地震具体分布状态)。平静时间间隔一般是半年至 1 年半, 是活化时间段的 1—2 倍。寂静阶段的中期, 有时是末期距主震 20—40 公里范围内出现几个或一丛小地震(如 1、2、3、8、11 号), 少数主震前几个月、半年时间离主震震中 40—80 公里范围内恢复 3.0—4.0 级地震活动(如 2、3、6 号)。这种小地震局部活化或复活现象, 我们称其为“晚期前兆震”。

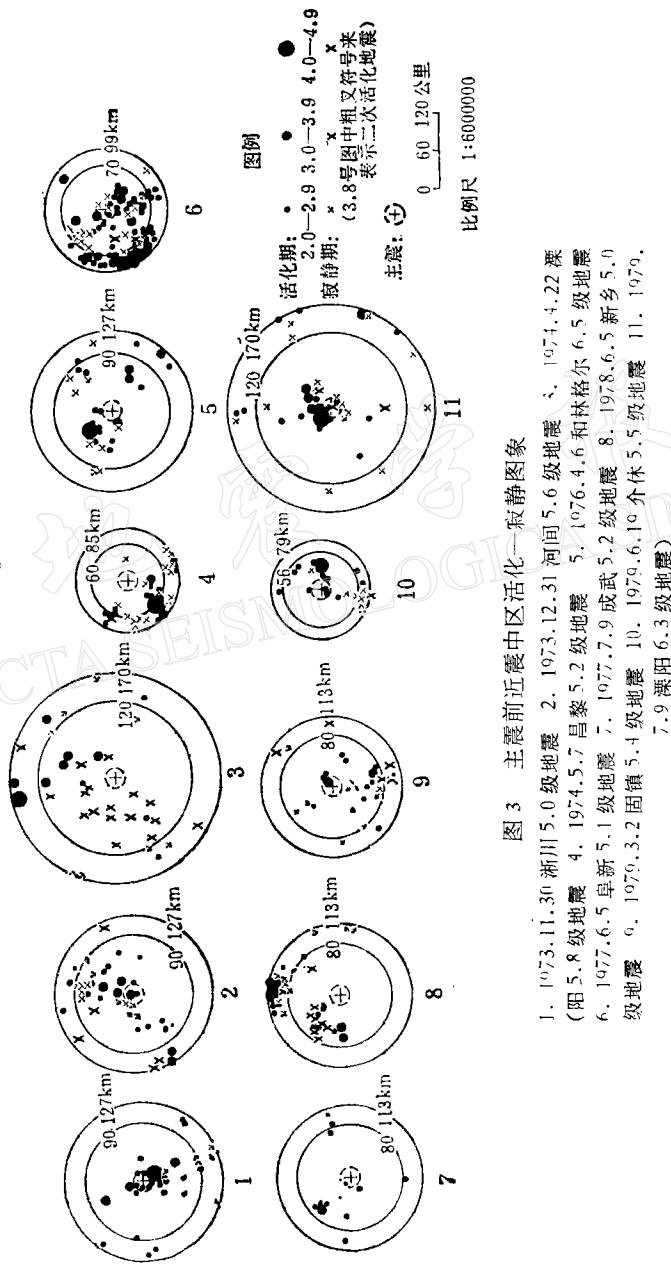


图 3 主震前近震中区活化—寂静图象

1. 1973.11.30 深川5.0级地震 2. 1973.12.31 河间5.6级地震 3. 1974.4.22 漯河5.8级地震 4. 1974.5.7 昌黎5.2级地震 5. 1976.4.6 和林格尔6.5级地震 6. 1977.6.5 阜新5.1级地震 7. 1977.7.9 成武5.2级地震 8. 1978.6.5 新乡5.1级地震 9. 1979.3.2 固镇5.4级地震 10. 1979.6.10 介休5.5级地震 11. 1979.7.9 漯阳6.3级地震

3. 震兆区特性

以地震活化、寂静图象为特征的震兆持续时间一般为1—2年。冯德益^[6]给出的相应的中等强度地震的波速比异常持续时间为0.5—1年；力武常次^[7]根据世界不同地震活动区地震前兆资料统计的前兆出现时间与震级关系式所给出的相应的中等地震的异常时间也是0.5—1年。这里给出的震兆持续时间正好比它们大一倍。震兆区的分布半径一般70—120公里，它是文献[8]所给出相应震级的波速异常区长半轴的2倍（短半轴的4倍），是文献[3]指出的相应的震源区最大限度的20倍。由于所研究的震级范围是5.0—6.5级，级差甚小，故震级与震兆持续时间，震兆区大小之间未显示明显的线性关系。

由上述震兆区地震图象特征，可归纳为五个阶段：正常活动—早期前兆震（活化）—寂静（或空区）—晚期前兆震（即二次活化）—主震。纵观震兆区地震活动，基本上有一个逐渐扩散到日趋收缩直至发震的过程。一般活化阶段的早期前兆震到主震的距离近于寂静阶段的晚期前兆震（图4）。推测早期前兆震是应力开始加强的讯号，所以往往发生在受阻的地段—震源区及其附近；晚期前兆震则是震源区应变高度积累，其介质强度大大提高的标志，因而它只在离震源区较远的地方发生。

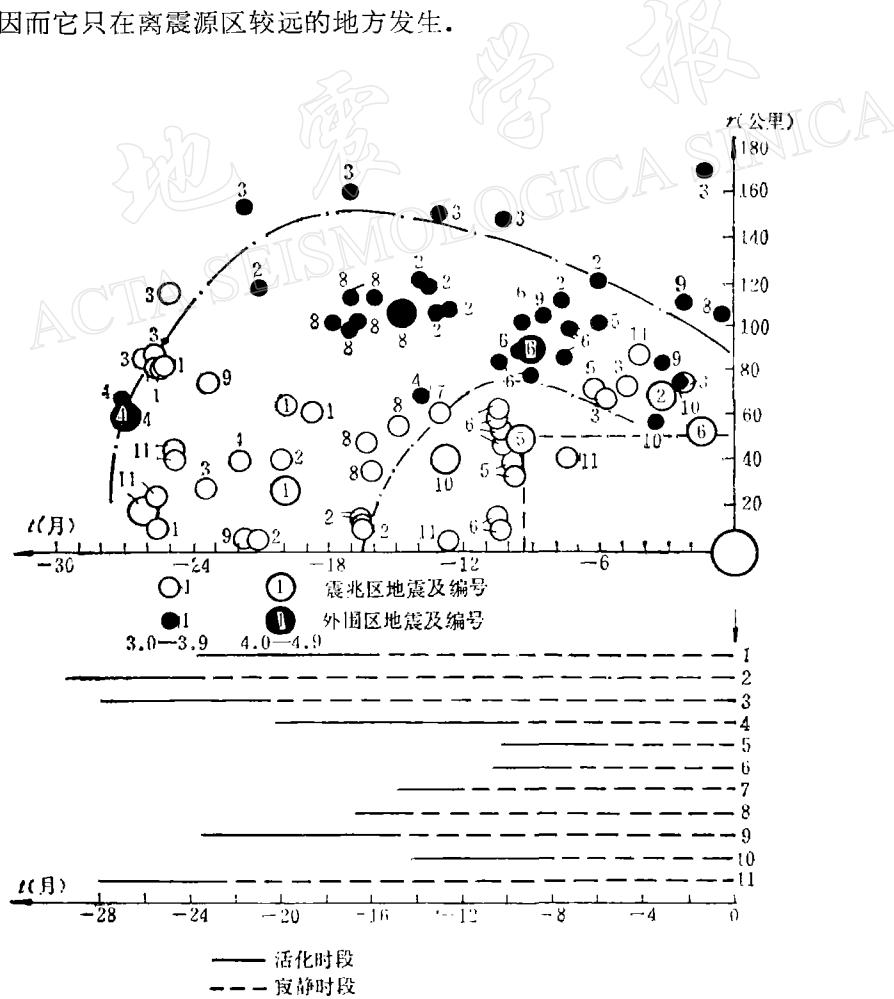


图4 11个地震活化—寂静时段 $M_i \geq 3.0$ 地震点聚图(上)和震兆持续时间示意图(下)

三、活化—寂静图象的检验

1. 检验方法

假定正常情况下微震的发生是一个均匀泊松过程^[3]。即在剔除余震、震群及前震后，微震的时空分布具有均匀的、独立的、随机的性质，对于任意时间间隔 Δt ，它遵从下列关系式：

$$P(x_{\Delta t} = j) = \frac{(\lambda \Delta t)^j}{j!} \cdot e^{-\lambda \Delta t}$$

式中： Δt 取半年，令其为一个单位时间；

λ ——地震正常活动阶段平均半年时间内发生地震的期望值(即半年均值)

j ——被检验的半年平均发震次数；

P ——半年内发生 j 次地震的概率。

地震正常活动阶段取尽量长的时间，由活化阶段开始时间往前推到一次中强地震发生为止或最多推至 1970 年，一般有 3 年乃至 6、7 年的尺度，算得半年均值；对于活化、寂静时间间隔的地震次数都归化为“半年均值”。检验时取概率 $P=5\%$ 为界(即 $\alpha=0.05$)；凡是 $P \leq 5\%$ 者，则是小概率事件，属非随机因素引起；若 $P > 5\%$ 者，则可能是随机因素引起。

2. 检验结果

所研究的全部地震的统计检验结果列入表 2. 11 个异常地震图象中，活化阶段的 11 个地震半年频次均有显著差异，(须要指出，成武地震(7)的活化阶段太短，仅 1.4 个月，归算的半年频次较大，故有显著差异，实际该阶段活动水平与正常阶段无明显差别)；寂静阶段浙川、溧阳(1974)、新乡、介休和溧阳(1979)地震(1、3、8、10、11)有显著差异。由

表 2 震兆区不同阶段半年均值及检验结果

| 地震编号 | 正常阶段 | | 显著性水平 $\alpha = 0.05$ | | 活化阶段 | | | 寂静阶段 | | |
|------|-------------|------------|--------------------------|------|-------------|------------|------|-------------|------------|------|
| | 时间间隔 (月) | 平均半年 频次 | 下限值 | 上限值 | 时间间隔 (月) | 归算半年 频次 | 检验结果 | 时间间隔 (月) | 归算半年 频次 | 检验结果 |
| 1 | 21 | 6.8 | 3.2 | 11.9 | 8.2 | 22.7 | 显著 | 17.4 | 1.0 | 显著 |
| 2 | 24 | 6.8 | 3.2 | 11.9 | 8.0 | 15 | 显著 | 15.8 | 6.5 | 不显著 |
| 3 | 29 | 1.9 | 0.34 | 4.9 | 6.6 | 6.4 | 显著 | 15.6 | 0 | 显著 |
| 4 | 22 | 1.6 | 0.3 | 4.5 | 8.0 | 6.8 | 显著 | 20 | 0.9 | 不显著 |
| 5 | 23 | 6.2 | 3 | 11 | 5.2 | 19.6 | 显著 | 5.8 | 6.2 | 不显著 |
| 6 | 79 | 2.7 | 0.9 | 5.8 | 3.3 | 83.6 | 显著 | 7.2 | 11.7 | 显著* |
| 7 | 83 | 2.9 | 1 | 6.5 | 1.4 | 17.1 | 显著 | 6.2 | 1.9 | 不显著 |
| 8 | 84 | 4.2 | 1.5 | 8.4 | 2.4 | 20.0 | 显著 | 14.6 | 0 | 显著 |
| 9 | 86 | 1.3 | 0.2 | 3.8 | 9.4 | 7.0 | 显著 | 14.6 | 2.9 | 不显著 |
| 10 | 74 | 7.6 | 3.9 | 12.9 | 6.4 | 15.4 | 显著 | 6.6 | 1.8 | 显著 |
| 11 | 33 | 3.8 | 1.3 | 7.7 | 6.0 | 13.0 | 显著 | 22 | 0.5 | 显著 |

* 它是超上限值的“显著”

此可见,“活化”基本属小概率事件,震兆是显著的,并有普遍意义;而“寂静”有5个属小概率事件,表明“异常”的显著性较差。阜新地震(6)在寂静阶段属超上限“显著”是一特例,如果相对“活化”来说,它也是显著的。需要指出的是,中等强度地震前一般先出现“活化”,再跟随“平静”,而活化对于绝大多数地震都会出现。对没有活化为先导的“平静”则难以辨别它是否为震兆,尤其在背景地震活动低的华北地区如此。相反,对这个地区的“活化”则较容易识别。我们要注意寻找不同地区,不同背景地震活动水平下的显著性指标。

需要说明,这里所采用的泊松分布检验有一定局限性,它不能描述空间分布特征,也不能说明频次随时间变化的细部特征。

四、震兆区及其外围微震累加频度的变化

取主震震中为圆心,作大于震兆区(实际是圆形域)的圆,使二圆所夹的环形面积,即外围地区的面积等于震兆圆的面积。按季度计算了震兆区内、外的累加频度(图5)。由图5可以看出,除昌黎、新乡和固镇地震(4、8、9)外,其余八个地震累加频度的“速率”呈现较明显的变化,其具体特点是:

1. 震兆区(r_0)的累加频度曲线的速率在主震前有一个加速—减小的过程。如果以正常斜率作基值线,则累加频度起初明显偏离,随后有转折接近之势。一般加速阶段对应于微震活化时段,减速阶段对应于寂静时段。

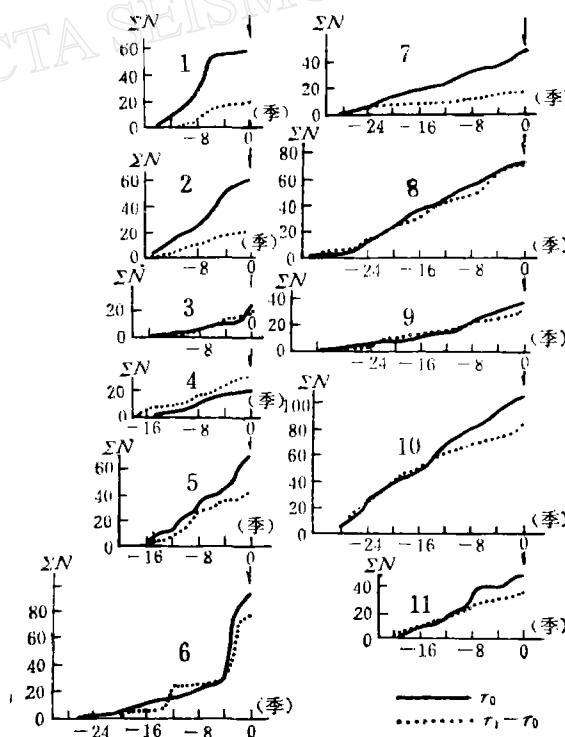


图5 11个中强地震前震兆区(r_0)及其外围($r_1 - r_0$)累加频度曲线

2. 一般外围区 ($r_i - r_0$) 累加频度的速率保持恒定, 无明显变化, 仅个别地震, 如新乡、阜新 (1.6) 有类似的加速一减速现象, 但变化率也不及震兆区。总之, 一般震兆区及其外围区累加频度曲线的间距, 随时间逐渐加大, 出现形似“喇叭口”这种特殊图象。

由此可见, 前述活化一寂静图象确属异常图象, 它们在频度上亦有相应的反映。累加频度存在速率加大一减小现象, 而速率加大比减小现象更为明显。进一步表明微震活化现象是一种明显性震兆。

另外, 按 20×20 平方公里的单位面积, 计算了震兆区及其外围区的有震面积数累加曲线。(规定每单位面积内出现 1 个或数个地震都算作 1 个有震面积) 得到与上述累加频率曲线极为相似的结果, 只是曲线的增大速率不如累加频度明显。为此, 将累加有震面积与累加频度相比 $\Sigma s_i / \Sigma n_i$, 得到 1 个单位累加频度所占的单位累加面积数。发现绝大多数地震震兆区 $\Sigma s_i / \Sigma n_i$ 从活化阶段至寂静阶段有下降之势, 而外围区则无此现象 (图 6)。由此可见, 大部分地震震兆期内微震活动的展布确实存在一个由广布离散到局部集中的现象。

图 6 震兆区及其外围 $\Sigma s_i / \Sigma n_i$ 点聚图

图 6 展示了震兆区及其外围 $\Sigma s_i / \Sigma n_i$ 点聚图。上部图表为“外围区 ($r_i - r_0$)”点聚图，下部图表为“震兆区 (r_0)”点聚图。纵轴表示 $\Sigma s_i / \Sigma n_i$ ，横轴表示时间 t (季)。图中显示了不同类型的点聚图，如活化、寂静、二次活化等，反映了地震活动的时空分布特征。

五、典型的异常图象模式及其初步解释

由 11 个中等强度地震前地震活动图象 (图 2) 可以归纳一个完全的典型的异常地震图象 (图 7) 震兆区由背景地震活动—早期前兆震 (即“活化”)—寂静—晚期前兆震 (即“二次活化”)—主震; 外围环形区相应的由背景活动—低活动—高活动。

实际上由于介质的非均匀性, 断层面非弹性性质, 应变积累速度, 断层强度及其与应力关系等因素的不同, 很难得到一个非常典型的图象。本文研究的 11 个震例中, 只有溧阳、固镇地震 (3,9) 比较典型 (图 2)。大部分地震的主要特征是震兆区的活化—寂静现象, 而外围区微震活动与其正常活动水平未显示出明显差别。须要指出, 和林格尔、成武和阜新地震 (5,6,7) 的震兆期明显偏短, 一般在 1 年内, 可能因为它们发生在唐山 7.8 级大地震前后, 与应变积累速度加快有关。这里还要说明, 本文研究的是围绕主震震中等距离范围内微震图象, 在发现异常图象全貌方面有其局限性, 围空现象可能部分被发现, 但主震前震兆区的基本异常图象可被发现。地震活动能量和频度的活化—寂静现象, 以

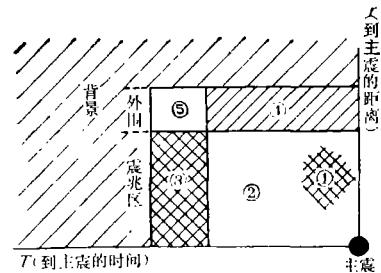


图 7 典型的异常地震图象
①晚期前兆震(群) ②寂静 ③早期前兆震(群) ④高活动环形区 ⑤低活动环形区

及空间分布有由离散到集中的趋势。这一基本图象可用岩石破裂试验的结果予以解释: 在单轴压力下, 岩石的破裂实验^[10]在主破裂前的高应力阶段, 岩石的小破裂(即微震动)急剧增多。此结果相当于微震活化阶段。不同加载速度进行的破裂实验发现采用 $10^{-9}/\text{秒}$ 的慢速加载时, 临近大破裂前声发射突然减少, 出现主破裂前的“平静”。此结果相当于微震活动寂静阶段。非均匀花岗岩的破裂实验表明^[11]在加压的初期, 小破裂(振动源)具有或多或少的随机性, 随着应力持续作用, 小破裂逐渐集中在一个或几个有限的区域, 而在其它部位则减少; 上面提到的异常地震活动由随机离散分布到局部集中即与此结果相当。总之, 主震前的异常图象是由于应力大小及其作用时间, 介质的性质及其不均匀性等因素造成的。

参 考 文 献

- [1] S. A. Fedotov, Dolbilkina, N. A. et al., Investigation on earthquake Prediction in kamchatka, *Tectonophysics*, 9, 249—258, 1970.
- [2] 魏光兴等, 华北地区地震前大地震的围空区特征, 地球物理学报, 21, 3, 213—217, 1978.
- [3] F. F. Evison, Precursory seismic sequences in New Zealand, *New Zealand J. Geol. Geophys.*, 20, 1, 129—141, 1977.
- [4] Mizuho Ishido & Hiroo Kanamori. The foreshock activity of the San Ferando earthquake California, *B. S. S. A.*, 68 5, 1265—1279, 1978.
- [5] Wei Guangxing (魏光兴), Zhao Xinglan (赵兴兰) and Gu Zhenqing (顾贞庆), An example of seismic gaps prior to two moderate intraplate, earthquakes, *Kexue Tongbao*, 26, 12, 1113—1115, 1981.
- [6] 冯德益, 1974 年 5 月云南省永善一大关 7.1 级强震前波速比的异常变化, 地球物理学报, 18, 4, 1975.
- [7] 力武常次, 地震预报(冯锐、周新华译), 地震出版社, 1978.
- [8] 冯德益等, 我国西部地区一些强震及中强震前后波速异常的初步研究(二)——波速异常区及其特性, 地球物理学报, 20, 2, 1977.
- [9] 牛志仁, 我国西部地区某些强震及中强震前后的异常地震活动, 地震学报, 2, 3, 1980.
- [10] 地球物理研究所三室, 单轴压力下岩石破裂的初步研究, 地球物理学报, 19, 4, 1976.
- [11] K. Magi, Laboratory study of elastic shocks prior to rock failure, *Eos. Trans. Amer., Geophys.*, 50, 5, 401, 1969.

ON ACTIVE—QUIET PATTERN OF MICROEARTHQUAKES IN AND AROUND THE EPICENTERS PRIOR TO SOME MODERATE EARTHQUAKES IN NORTH CHINA

WEI GUANGXING ZHAO XINGLAN NIE ZHENHAI

(Seismological Bureau of Shandong Province)

Abstract

In this paper, the time-space distribution patterns of microearthquakes before 11 moderate earthquakes occurred during 1970—1979 in North China have been studied. It is found that active-quiet patterns of microearthquakes, 1—2 years before most of the moderate earthquakes prevail in areas of radii 70—120km around the epicenters (“earthquake precursory areas”). At the same time, these microearthquakes seem to undergo a process from gradual spreading to contraction until the occurrence of the moderate earthquakes.

The probability of the microearthquake frequencies for the active—quiet stages is tested by using the Method of Poisson Distribution. As a result, the probability of the majority of microearthquake frequencies for the active stage is less than 5%. Besides, in the “earthquake precursory areas”, the rate of change of the curve of accumulated microearthquake frequencies before most moderate earthquakes show a spreading and slowing down process; but in the areas around this rate keeps basically unchanged.

Finally, a model of the typical anomalous pattern before moderate earthquakes is given and preliminarily discussed.