

广西陆川小震群特征的初步研究

李家发 吴时平 莫敬业

一、引言

一九七七年冬, 广西陆川县乌石附近发生一起小震群。这次震群活动从77年12月开始, 到78年7月结束, 共发生小震和微震880余次, 释放的地震波总能量为 1.3×10^{17} 尔格。

广西是少震区, 地处桂东南的陆川县地震活动水平稍高一些。据史料记载, 陆川周围八个县自明朝以来六百年间, 共发生五级以上破坏性地震五次。陆川近年的小震活动平均每年3~5次, 2级以上地震为数甚少。类似这样的小震群活动, 在广西的地震观测史上是不多见的。

乌石小震群有 $M_L > 3$ 级地震4次, 2~3级56次, 1~2级159次, 1级以下600余次。其中最大的两次地震分别为3.9和3.8级(M_L , 下同)。这两次地震的主要参数如下表所列:

	最大地震($M_L=3.9$)	次最大($M_L=3.8$)
发震时间	1978年2月2日19 ^h 08 ^m 19.0 ^s	1978年3月1日02 ^h 33 ^m 14.7 ^s
震中位置	22°12'51"N/110°15'56"E	22°11'07"N/110°15'40"E
震源深度	10.6KM	6.1KM
地震波能量	0.62×10^{17} 尔格	0.42×10^{17} 尔格
占震群总能量百分比	48.1%	32.6%

陆川小震群恰好发生在桂东南与粤西区域地震台网的中心附近(见图1), 在其周围150公里范围内有玉林、灵山、合浦、信宜、廉江、茂名等六个固定观测台。震群发生之初, 又在乌石附近距震群活动区仅数公里处设置了临时观测点, 因而取得了这次震群的比较完整的记录, 为我们观察分析小震群活动提供了一次难得的机会。为了准确地反映震群活动的各种现象, 我们尽量搜集了粤桂两省台站的全部记录资料, 作了精细的测量和全面的总结(有140个地震可以给出五个主要参数)。以下是我们工作的部分结果。

二、陆川小震群的主要特征

1. 时间序列特征

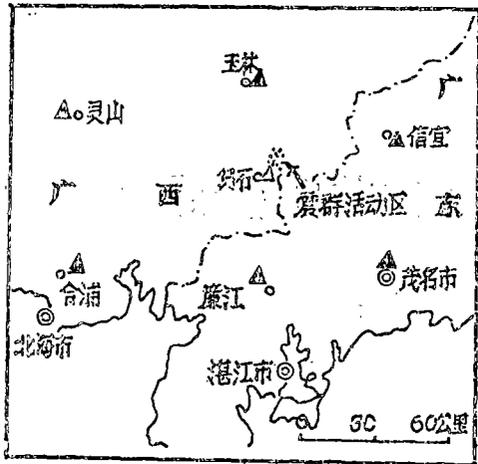


图1 陆川小震群位置和台站分布
▲固定台 △临时台

图2-a给出了陆川小震群1级以上地震的时间序列，图2-b是最大地震发生前后几天的部分序列。图2表明，从震群活动兴起到高潮来临，历时约两个月；从活动高峰衰减到平静恢复，历时约六个月。可见活动的增强和衰减过程都是相当缓慢的，衰减系数P为0.22(±0.10)，远比其他小震群的数值低。图3是最大地震前后的地震频数变化。从图2、3可见，在最大地震发生前，地震序列的密集—平静特征是相当明显的。

图4和图5分别是地震序列的能量和应变释放曲线。其特征是，最大地震前应变速率加快，震后减慢，能量释放有两次高峰。

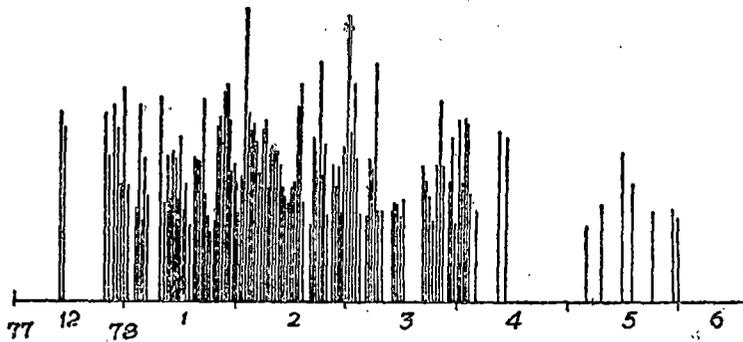


图2-a 陆川小震群3.9级地震前后部分序列

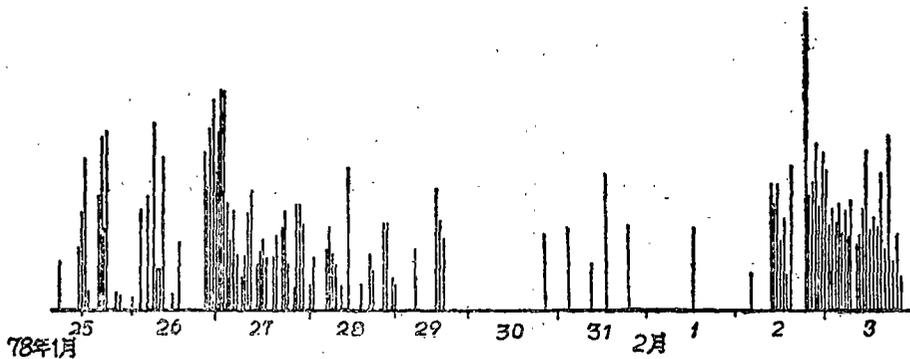


图2-b 陆川小震群1级以上地震序列

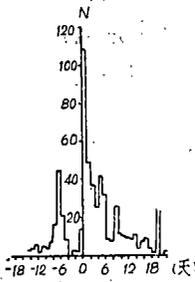


图 3 —a 陆川小震群最大地震前后每天频次

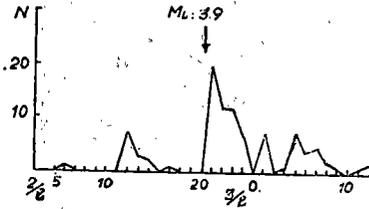


图 3 —b 陆川小震群最大地震前后每小时频次

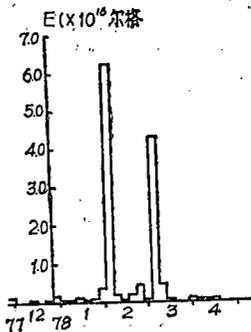


图 4 陆川小地震群每五日释放能量

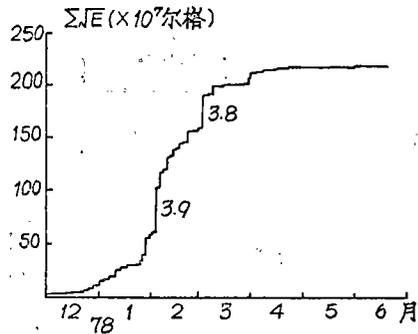


图 5 陆川小震群应变释放

2. b 值变化

全序列的 b 值为 0.82。两次最大地震前 b 值都出现较大幅度的变化，从 0.9 左右上升到 1.0，然后又下降到 0.65~0.70，再回升到平均值附近发生最大地震。震群后期 b 值稳定在 0.72 左右（见图 6）。

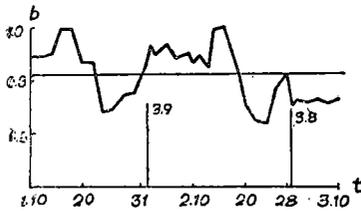


图 6 陆川小震群的 b 值变化

3. 震源分布集中，深度较浅

陆川小震群 1 级以上地震散布的范围大致是东经 $110^{\circ}12' - 18'$ ，北纬 $22^{\circ}06' - 13'$ ，即陆川县乌石小盆地的边缘地带，其中大多数地震集中发生在乌石盆地东北角，构成一条南北长 4 公里、东西宽 2 公里的近南北向分布带，两次最大地震分别发生在该带南北两端（见图 7）。值得注意的是，震群活动中心恰好处在盆地边缘与强烈褶皱带相接触的部位，而盆地中间平坦处及四周褶皱山地内部地震非常稀少。这一现象似乎表明，陆川小震群的发生受到盆地构造的制约，在区域应力的作用下，这个地区有小震群活动，是合乎逻辑的。这种现象可以从盆地构造的受力原理得到解释。

距活动区最近的乌石点 S—P 在 0.8~1.2 秒之间变化，将近 70% 的 S—P 变化小于 0.1 秒。



图7 陆川小震群1级以上地震震中分布图

其余各点 S—P 的变化大都不超过 1 秒 (见图 8)。绝大多数地震的深度在 5~9 公里之间。其经向和纬向的两个震源深度剖面, 见图 9 所示。

4. 震源机制

利用 P 波初动资料作了七个地震的机制解, (见图 10, 提供求解每个地震震源机制资料的台站数目有 8—20 个不等, 矛盾符号都少于 10%)。结果表明, 最大地震发生之前的两次地震, 它们的机制解与最大地震的机制解完全一致。最大地震发生过后, 所有作出的四个地震的机制解 (包括 3 月 1 日的 3.8 级地震) 都与前面三个地震截然不同, 这四个地震彼此之间差别也很悬殊。

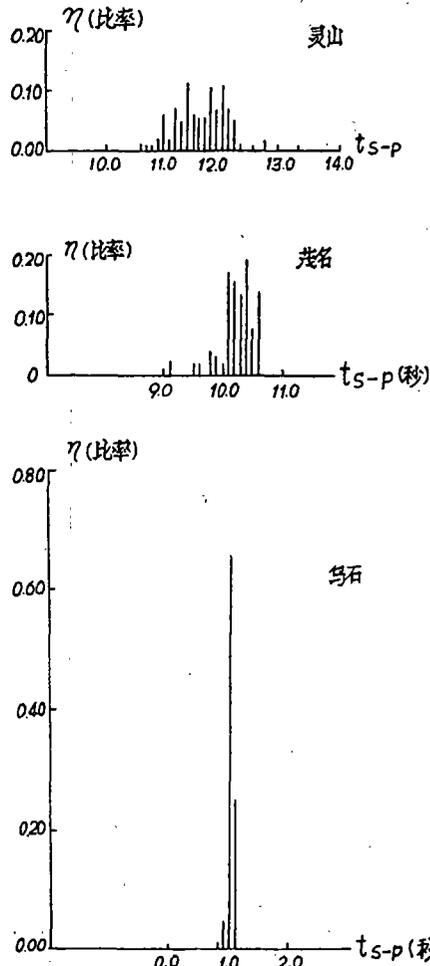
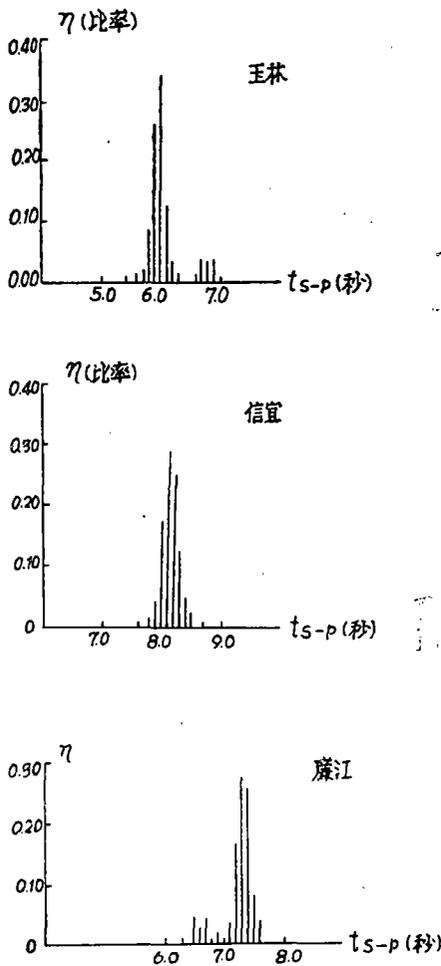


图8 六个观测点记录的陆川小震群 S—P 时差分布

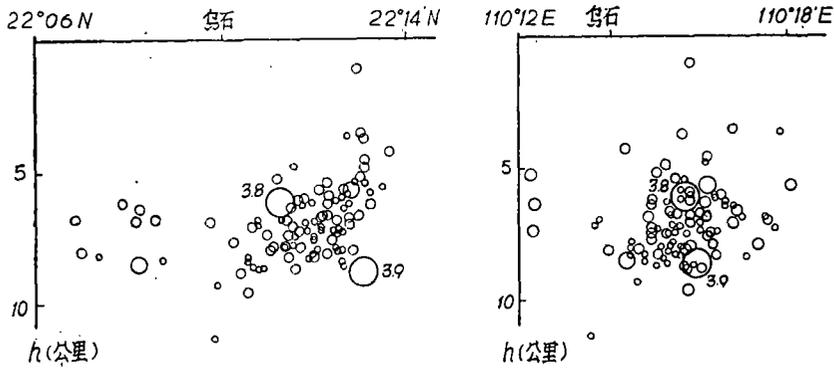


图 9 陆川小震群的深度剖面

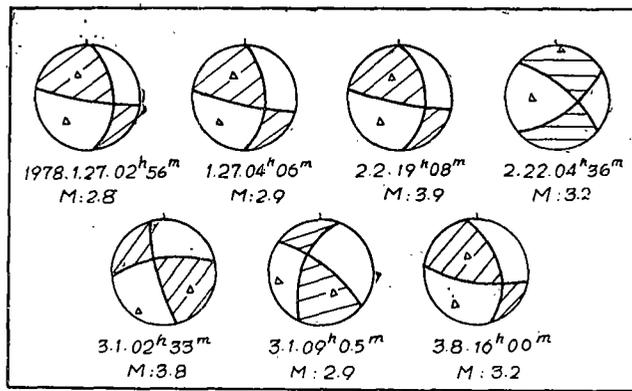
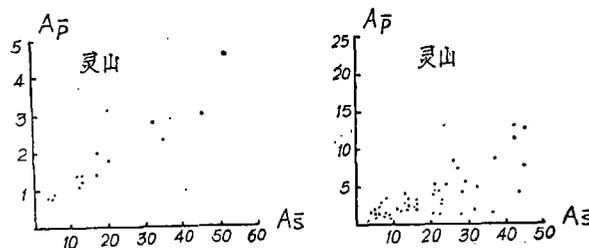


图 10 陆川小震群七个地震的机制解(斜线部分为压缩区)

图 11 给出了玉林、廉江、信宜、灵山等四个台站记录的在三个不同时间段纵横波振幅比图像。其中图 11-a 给出的是从 77 年 11 月 29 日至 78 年 1 月 4 日这一期间各次地震的振幅比 (灵山缺资料)。三个台站的点子都比较分散。图 11-b 是从 78 年 1 月 5 日至 2 月 2 日最大地震发生前各次地震的振幅比图像, 点子分散程度大为减小, 比较好地成直线排列 (廉江台例外, 较其他台分散)。图 11-c 是最大地震发生之后各次地震的振幅比图像, 所有四个台的



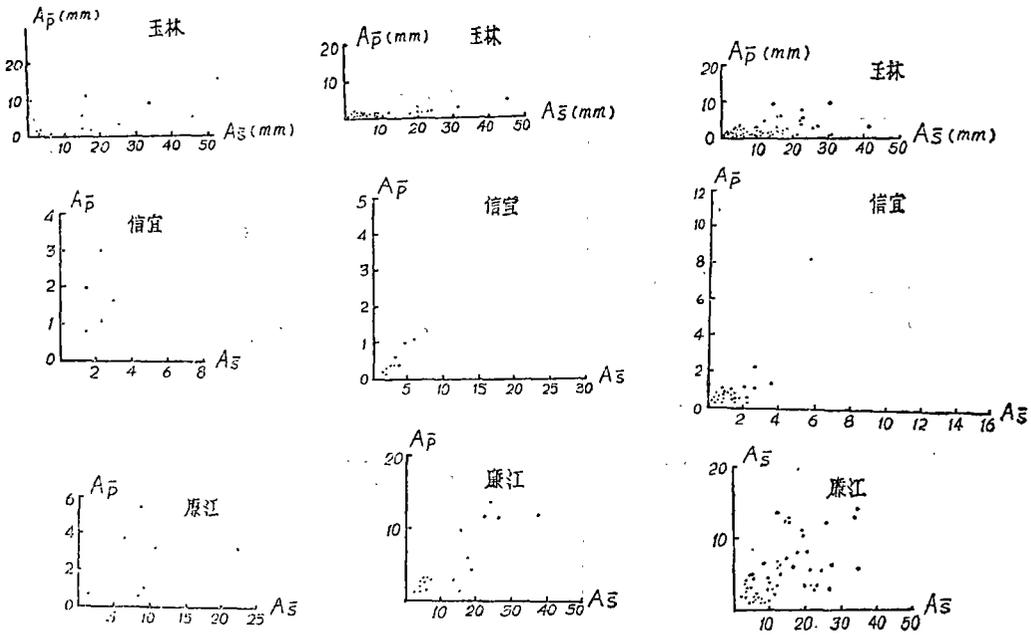


图 11

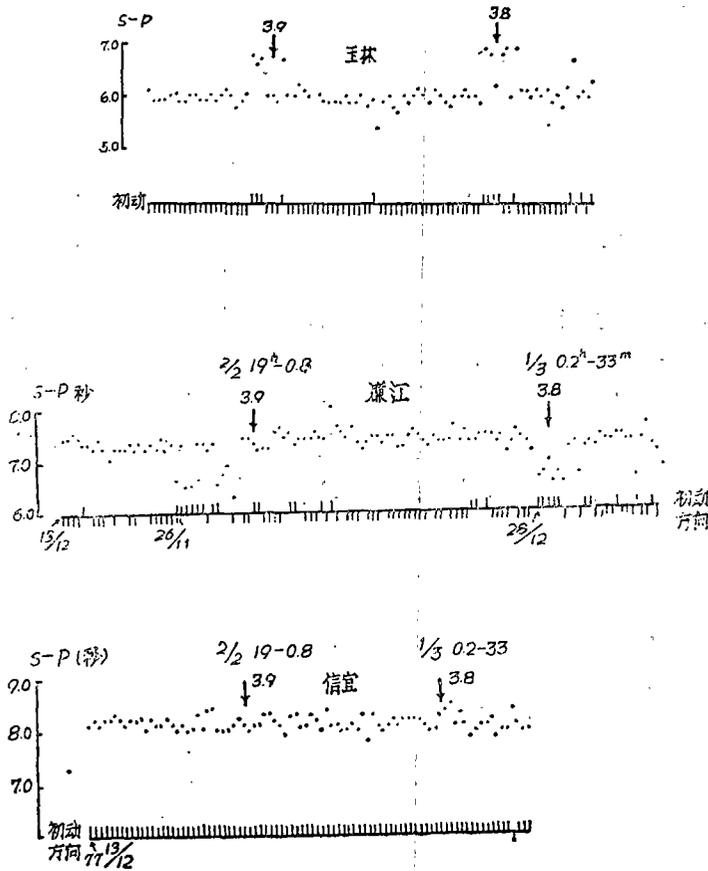


图12 玉林、廉江、信宜的S—P及P波初动变化

点子都很分散，而且绝大部分地震P波振幅较小（即小头大尾形），这与震源较浅有关。

从以上可见，在小震群的活动过程中，震源机制的稳定性在活动过程的不同阶段具有不同的特征，这种特征的变化是以地震活动高峰（以最大地震为标志）作分界线的。

5. 震中迁移与初动符号的变化

在两次最大地震发生前后，玉林、廉江两台的S—P及初动符号都发生了显著的突变，信宜台由于所处位置特殊，S—P变化较小，初动符号则几乎自始至终保持不变（见图12）。对震源位置进行追踪的结果表明，这种突变是由于震源位置的长距离跃迁引起的，即从活动带的北段跃迁到南段（坡脚以南称南段，见图7）。发生在北段（官甬以北）的地震，S—P与初动符号都比较稳定；发生在南段的地震，自然引起处在南北两头的玉林、廉江两台的S—P发生较大的变化，同时初动符号也反向了。在最大地震发生前后出现的这种震源位置远距离跃迁现象，我们对此尚未有满意的解释。

乌石观测点距震源区太近，该点记录的初动符号始终是杂乱的。在初动清楚的700余次地震中，初动为负的略占优势（占63%）；在最大地震发生之前，则是初动为正略占优势（占53%）。

三、小震群与前震的比较和识别问题

陆川小震群结束至今已经三年了，在此期间广西及邻近地区始终未见有强震发生，因此可以认为这是一起与强震无因果关系的一般小震群活动。深入研究这种类型的小震群各方面的特征，并与典型的前震活动特征相比较，从中发现它们之间的异同点，对于识别前震与小震群无疑是有益的。作为典型的例子，我们试图把陆川小震群与海城地震的前震进行一些简单的比较，以期能从现象的对比中受到启迪，进一步开拓我们的思路。

从前述的一些特征来看，陆川小震群与海城前震无疑有许多相似之处。如最大地震发生前的密集—平静现象，应变释放加速，纵横波振幅比稳定，震源机制解稳定且与最大地震一致，以及震源高度集中等等，这些特征都是非常近似的，从这里很难找出它们之间的差别来。但是深入地分析一下就会发现，它们之间的相似只限于在某一阶段上，并非在地震活动的整个过程中始终具有相似的特征。如果我们以最大地震为界，把一次地震活动过程划分为前后两个阶段（以最大地震为界实际上即是以地震活动高峰为界，最大地震发生与地震频度和能量释放高峰在时间上是一致的），把地震活动高峰到来之前的阶段称为“升起阶段”，把高峰过后的阶段称为“衰落阶段”。由于这两个阶段分别处在不同的介质状态与应力环境之中，因而在这两个阶段发生的地震其本质特征应当是有差异的，陆川小震群在这方面提供了一个证据。按照这个划分原则，前震序列只是分布在地震活动过程的“升起阶段”之内，而小震群序列则跨越了地震活动过程的各个阶段，它本身包含了性质不同的复杂个体，其群体特征当然不会前后一致。如果笼统地把整个小震群拿来与前震作比较，其结果只能把真象掩盖，从而导致错误的结论。因此，合理的方法应当是把小震群序列划分为不同的阶段，然后分别与前震作比较。

图3和图13分别是陆川小震群和海城前震的频度变化，图14是国内八个小震群的平均频度变化曲线。比较图3和图13，在海城前震和陆川小震群的频率高峰之前，二者的频度变化非常近似，与八个震群平均的频度变化更为相似。而在频率高峰之后，其衰减方式则很不相

同,小震群在头几小时内猛烈衰减,随后衰减速度变慢,而前震在高峰过后头几小时衰减较慢,然后加快。在频率高峰过后三小时之后的衰减系数,陆川小震群是0.56,而海城前震则是1.06,二者差别相当大。

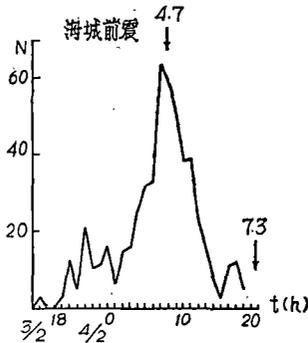


图13 海城地震前震的每小时频次

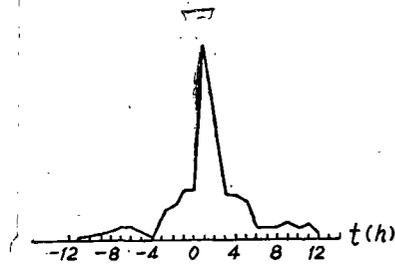


图14 国内8个小震群的平均频度

图15是海城前震的应变释放曲线。把它与图5陆川小震群的应变曲线比较一下就不难看到,在海城地震的最大前震($M=4.7$)和陆川震群的最大地震($M=3.9$)之前,二者的应变释放曲线是相似的,即应变释放速率加快,其曲线近似于指数上升。而在最大地震过后,二者的应变释放则表现出截然不同的形态,小震群的应变释放在最大地震后仍保持较高的速率,且速率逐渐减低,转入平静的过程是比较缓慢的;而前震序列在它的最大地震过后应变释放速率急转直下,猛然转入平静,过程异常迅速。这一差别不须经过复杂的计算就能从直观上加以识别。

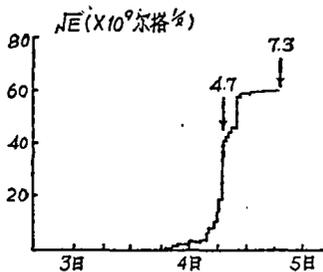


图15 海城地震前震的应变释放

从震源机制来看,二者的差别也是明显的。前震的机制解和振幅比直到强震发生前都是稳定的,而小震群则不同。从陆川小震群来看,小震群的机制解和振幅比(大多数观测点的记录)只是在靠近最大地震发生前的一段时间内表现稳定,当最大地震发生后,这种稳定即遭破坏,与强震发生后的余震情况相似。

从以上三方面的特征比较我们可以看到,前震与小震群的群体特征,在最大地震发生之前非常相似,而在最大地震发生过后则有很大的差别。仔细地检出这些差别,将是识别前震与小震群的可能途径。

四、结 论

通过分析陆川小震群的特征并与海城前震的特征作比较,我们得到以下三点初步认识:

1. 地震活动过程按其表现特征来说是分阶段的。若以最大地震为界,可以把整个过程划分为两个阶段,即“升起阶段”和“衰落阶段”。处在不同阶段的地震序列具有不同的特

征。“升起阶段”中的小震群序列，其特征在许多方面与前震极为相似，因而在这一阶段很难把它与前震相区别。处在“衰落阶段”的小震群序列，其特征则与前震有很大差异，这些差异是：（1）频率衰减变化不同。小震群在最大地震之后头几小时衰减很快，然后逐渐变慢。前震则恰好相反，在头几小时衰减很慢，然后迅速加快。它们的后期衰减系数有很大差别。（2）应变释放速率不同。小震群在最大地震发生后仍保持较高的释放速率，并且逐渐变慢，转入平静的趋势缓慢。而前震则释放速率锐减，急剧地转入平静。（3）震源机制稳定情况不同，前震的震源机制始终稳定，表现为机制解和P波初动始终一致，振幅比相当稳定，直到强震发生，前震的这些特征都不变。小震群则以最大地震为转折点，最大地震前机制解一致，振幅比也在一段时间内稳定，最大地震过后则机制解与振幅比不再稳定，与强震后的余震性质相近。

2. 前震与小震群特征上的相似和差异不是偶然的，而是有成因上的深刻含意，即与地震活动过程的阶段性密切相关。二者特征上的异同，归根结蒂，是由过程的本质所决定的。从唯物辩证法的观点来看，在事物发展过程的不同阶段上，矛盾具有不同的特性。前震序列只发生在地震活动过程的其中一个阶段，即“升起阶段”；而小震群序列则经历了地震活动的全过程，即包含了“升起阶段”和“衰落阶段”。如果不分阶段地把小震群序列与前震序列作比较，就可能掩盖了两个事物之间的本质差别，从而不能真实地了解客观实际的多样性。对小震群而言，在最大地震未发生之前的“升起阶段”，这时的应力场和介质状态都与前震发生的背景相仿佛，因而它们二者的特征理应有许多相似之处；而当最大地震发生之后，小震群活动随即转入“衰落阶段”，这时的应力场和介质状态都与前一阶段大不相同。前震序列由于发生在“升起阶段”，过程的本质并未改变，只是在强主震发生之后，过程的本质才起了变化。所以小震群的后期序列，其特征就与前震序列发生很大差异。这就为我们识别此二者提供了客观的可能性。

3. 利用小震群序列本身所提供的某些信息，我们可以对地震活动过程的进展情况作出一些判断。比如，根据最大地震发生之前地震序列的密集—平静现象，应变释放加速，b值大幅度升降，震中位置出现远距离跃迁，以及最大地震前后震源机制解和振幅比从稳定过渡到不稳定等等，这些现象所提供的信息使我们有可能对该次地震活动的高潮是否已经过去或最大地震将在何时发生这一问题作出某种程度的判断。

这些认识仅是从个别典型震例中获得的，是否具有普遍性还有待更多的震例作出验证。

参 考 文 献

- [1] 金严等，辽宁省海城地震前震震源错动方式的一个特点，地球物理学报，19.3.1976。
- [2] 吴开统等，海城地震序列特征，地球物理学报，19.2.1976。

PRELIMINARY STUDY OF CHARACTERISTICS OF THE SMALL
EARTHQUAKE SWARMS IN THE LUCHUAN OF GUANGXI

Li jia-fa Wu Shi-ping Me Jing-Yie

Abstract

In this paper the main characteristics of the small earthquake swarms in the Luchuan have been investigated by comparing with the foreshocks of the Haicheng earthquake ($M_s=7.3$). It is found that seismic activity process of the small earthquake swarms may be divided into two stages which are distinguished by maximum earthquake. The first stage is basically in agreement with foreshocks. There are clear differences between the late stage sequence and the foreshocks in manner of frequency attenuation, the rate of strain release and the stationary of focal mechanism. It is believed that these differences are criterion of distinguishing foreshocks from small earthquake swarms.

It is shown that the messages of judging small earthquake swarms or foreshocks can be found by comparing small earthquake swarms with foreshocks. These messages are useful in earthquake prediction.