第4卷 第4期 西北地震学报 Vol.4,No.4
1982年12月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL Dec.,1982

华北强地震余震震群应力场“窗口”效应

姜秀娥 单锦芬
徐京华 李晓玲
（国家地震局分析预报中心）

摘 要

本文研究了华北最近地震活动期的三次强地震（邢台、海城、唐山）的余震序列，从实际观测资料与国内外的一些实验结果，提出余震震群的出现是在区域应力场增强的背景下余震区应力加强的效应。强震余震震群的起伏，可以作为监视华北地区中强以上地震孕育的“窗口”。

文中以“多点场”观点讨论了余震震群与中强以上地震关系，认为强震与中强震在区域应力场中是处于支配与被支配的不同地位。

一、序 言

凡不遵循余震衰减规律的余震频度高值，我们均称其为余震震群。

发生强地震后的震源及其附近地区存在大量的小破裂面，这些小破裂面构成该区（一般称为余震区）应力分布的复杂图案，即不具备强大的应力优势方向。由于余震区仍然处于区域应力场控制之下，当区域应力增强时，不仅大小地震关系发生变化，那些和区域应力最大剪切面方向一致的处于准断错状态的小破裂面，将敏感地发生快速断错而释放应变能，从而，使余震区在一定的时段内出现频度的高值与显著的应力优势分布。余震区出现大小地震比例关系的改变，余震频度的高值及初动优势方向的分布是区域应力场变动的效应，余震区的这些现象，我们称其为区域应力场“窗口”效应。

二、余震区应力加强效应

华北地区最近活动期的四个强地震（邢台、渤海、海城、唐山）除渤海地震发生在海域而无法取得很详细的余震序列资料外，其它三次强震都有很系统的余震序列资料，这些资料都足以定量描述余震序列活动特征。

在文（1）研究的基础上，本文选用了邢台地震的红山地震台记录的$\overline{S}-\overline{P}\leqslant 8.5$秒，海城地震的营口石棚峪地震台记录的$\overline{S}-\overline{P}\leqslant 4.0$秒，唐山地震的昌黎地震台记录的$\overline{S}-\overline{P}\leqslant 12$秒的全部地震资料，对它们进行6个月累积月滑动的频度统计，月最大震级的平均震级（$\overline{M}$）的计算，还统计研究了各组序列的P波初动符号。通过对三次强地震余震序列的研究，它们都有类似的震群的应力场“窗口”效应，其事实如下：

1.华北一定区域内中强以上地震前出现余震震群。

红山地震台记录到的邢台地震序列频度图（图1a）与石棚峪地震台记录到的海城地震序列频度图（图2a）及昌黎地震台记录到的唐山地震序列频度图（图3a）都表现出有不服从余震正常频度衰减规律的频度高值。这种高值意味着余震区地震活动水平的增高，并且与华北地区一定构造带上的中强以上地震对应较好。1967年至1981年9月，除邢台、唐山余震以外，华北地区（北纬31—42°；东经106—124°）发生$M_L>5.5$级地震十次，即1967年3月27日河间6.3级地震；1969年7月18日渤海7.4级地震；1975年2月4日海城7.3级地震；1976年4月6日和林格尔6.3级地震；1976年7月28日唐山7.8级地震；1976年9月23日巴音木仁6.2级地震；1978年5月18日海城6.0级地震；1979年7月9日溧阳与8月25日五原6.0级地震；还有一次是1981年8月13日丰镇5.8级地震。这几次中强以上地震前，邢台、海城、唐山余震区分别出现余震震群，有的余震震群后有多次中强以上地震，我们将其视为区域应力同一加强时期多个应力集中点应变能的释放。

2.余震震群出现之前或同时，月最大震级的平均震级（$\overline{M}$）曲线上升，P波初动方向表现优势分布

图1、2、3是根据邢台，海城，唐山余震序列资料作半年累积月滑动的频度、月最大震级的平均震级及P波初动优势方向的曲线。图1b、2b、3b是表示余震区月最大震级的平均震级（$\overline{M}$）随时间的变化，余震区的平均震级曲线和一般地区的区别是在于随时间有规律地缓慢衰减。因此，明显地破坏这种有规律的衰减曲线的起伏反映了余震区大小地震比例关系的变化，也就是余震区应力水平的变化。中强以上地震前，余震震群月最大震级的平均震级的高值几乎同时或稍超前于余震频度高值出现。

图1c、2c、3c的纵坐标pa为P波初动向下的百分比，统计表明，在余震频度高值出现的同时，P波初动出现优势分布，Pa可以降低至30%左右或上升至60%以上。

对比图1、2、3，不难发现，$\overline{M}$值的上升及Pa的优势分布均同时或提前于余震震群出现，而中强以上地震又滞后于频度高值发生。

华北地区三次强震余震震群的特征和中强以上地震的呼应，可以用以下的实验结果及观点来解释。

月最大震级的平均震级（$\overline{M}$）曲线。实质上是反映大小地震比例关系的变化，和b值是反函数关系[2]。肖尔茨等人的实验和理论认为，主破裂前，微破裂的次数及频度—震级关系中的b值是应力的函数。在单轴压力下，低应力阶段（应力小于破裂强度的30%），裂缝被压紧和滑动是主要的，这时观测到高的b值；当应力达到破裂强度的30—50%时，岩石近于线性弹性形变，此时微破裂事件很少，b值往往难以测定；当应力大于破裂强度的50%时，新破裂稳定增长，此时b值随应力的增加而减小；当应力达到破碎应力的90%以上时，微破裂次数则急剧增加。这表明，b值的下降往往比频度突增出现得早。在三轴压力下得到类似的结果，只是没有裂缝被压紧的阶段。陈颙等同志所作的实验表明[8]，小震机制的相

对一致性，是地震活动增强的标志，可作为应力增强的判据，因此可以认为，余震震群频度高值的特点是余震区应力增强的反映。

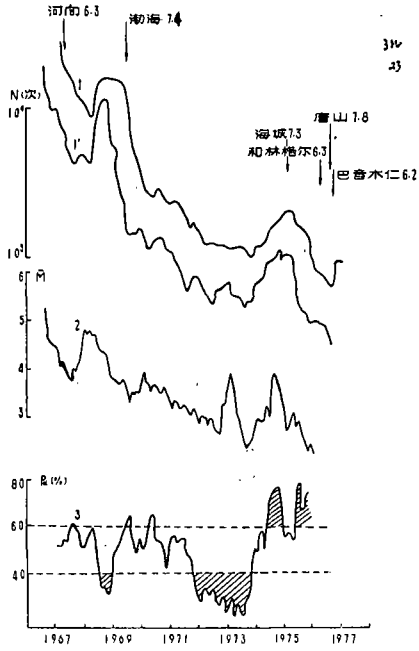

图　1

a 红山台频度曲线；b 红山台$\overline{M}-t$图；
c 红山台P波初动向下的百分比。

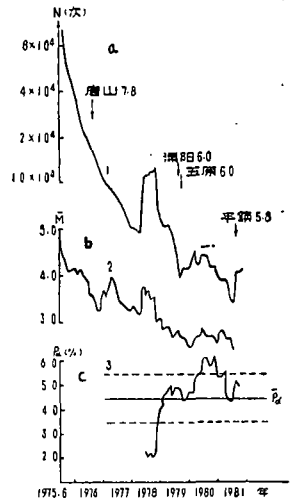

图　2

a 石棚峪单台频度曲线；
b 石棚峪台$\overline{M}-t$图；
c 石棚峪台P波初动向下的百分比

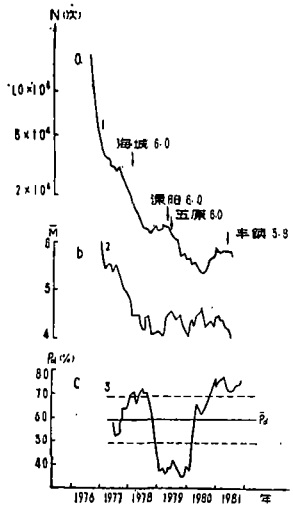

图　3

a 昌黎单台频度曲线；
b昌黎单台$\overline{M}-t$图；
c 昌黎单台P波初动向下的百分比

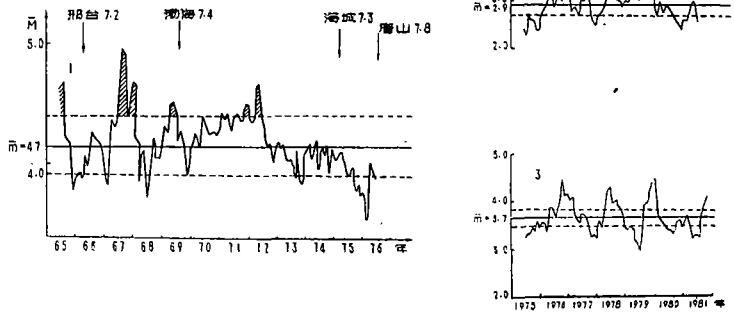

图　4

1.华北地区$\overline{M}-t$图，
2.郯庐断裂南段$M-t$图，
3.阴山燕山构造带$M-t$图

三、区域应力增强效应

为了进一步讨论作为余震区应力增强指标的余震震群与距它数百公里的中强以上地震的关系，图4绘出了华北全区、阴山燕山构造带与郯庐断裂带南段的月最大震级的平均震级（$\overline{M}$）曲线，这三条曲线反映了华北地区，阴山燕山构造带、郯庐断裂南段的地震活动水平与应力状态。比较图1、2、3、4，华北全区地震活动与邢台震群活动的起伏，阴山燕山构造带、郯庐断裂南段地震活动与海城、唐山余震区地震活动的起伏基本上是呼应的。这方面观测事实表明余震区震群指标变化可以解释为区域应力增强的效应，余震震群与中强以上地震的先后出现，是它们共同所在的构造区域强地震孕育过程中区域应力场加强的反映。我们按照马宗晋同志“多点场”观点[5]进行分析，在地壳应力场中，往往有多个应力集中点不均匀发育，随着区域应力场的增强，其中的一些特殊部位，逐渐演变成应力高度集中的地区，并最终进入失稳滑动，产生大破裂，从而发生大地震，这种局部地区的应力状态，不仅随着全区应力的发展而变化，而且本身的演变也反馈于全区的应力发育。因而，在一定时期起着支配区域应力场的主导作用。另一些应力集中点的情况却与之不同，它们本身不具备积累巨大应变能的条件，当区域应力增强时，那里往往发生小规模断裂闭锁段的串通或快速错断，从而发生一系列中小地震。这种局部地区的应力状态，不仅受区域应力所支配，而且也随强地震的兴衰而起伏，它们虽然与未来大震远隔数百公里，却与孕震过程中区域应力的变化密切相关，甚至十分“敏感”，往往能以其小震活动的增强或前兆的急剧变化，给人们以强震将临的“信息”。孙加林同志曾指出1），余震震群分布方向与中强地震震源机制二个节面方向一致。这同样表明它们是在区域统一应力场增强作用下的产物。但余震区的特殊介质与应力状态以它敏感的先行起到了监视中强以上地震的应力“窗口”作用。

四、结　　语

对以上事实的分析可以归纳为三点：

1.余震震群各项指标的变化（大小地震比例的改变，P波初动符号出现优势方向）、表明余震震群的出现是余震区应力增强的反映。

2.余震震群和区域地震活动起伏呼应的事实，可以认为是区域应力场增强背景下余震区应力加强的效应。

3.按“多点场”观点解释，强震虽然可以随全区应力发展而变化，但它本身的演变也可以反馈于全区的应力发育，从而在强震孕育一定时期起着支配区域应力场的主导作用，而中强地震和余震区地震一样，却属于那些本身不具备积累巨大应变能的应力集中点，只能受区域应力变化支配的。但余震区的特殊介质条件与应力状态，使余震震群的敏感先行起到了监视中强以上地震的应力“窗口”作用。

对三次强震序列的研究表明，强震余震震群的应力场“窗口”效应。在华北地区是具有普遍意义的。

（1982年4月13日收到）

1）孙加林，中强地震孕育的某些震兆特征，内蒙古地震，1980，2。

参　考　文　献

〔1〕姜秀娥、陈非比、汤淮，邢台震群的应力场“窗口”效应，地震，1981，№. 2.

〔2〕C. H. Scholz，岩石微破裂的频度—震级函数及其与地震的关系，B. S. S. A.，58. 1，399—415，1968.

〔3〕陈顒，用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数，地球物理学报，21，2，1978.

〔4〕地球物理所，震兆分析一例，地震，1973. 2.

〔5〕马宗晋，华北地壳的多点（应力集中）应力场与地震，地震地质，2，1，1980.

THE "WINDOW EFFECT" OF STRESS FIELD FOR REFLECTING AFTERSHOCKS OF THE STRONG EARTHQUAKE IN NORTH CHINA

Jlang Xlue Shan Jinfen

Xu jinghua Li Xiaoling

(*Analysis and prediction Center, SSB*)

Abstract

We called all the higher frequency of aftershocks not keeping the aftershock decay rule is discussed and called an swarm of aftershocks.

In this paper, the aftershock sequences of the three strong earthquakes located in Xingtai (邢台)、Haicheng (海城) and Tangshan (唐山) in the latest earthquake active period of Northern China are studied. From observed data and some experimints we consider that the aftershock swarm is the effect of the strengthened stress at aftershock region under the background of the strengthened regional stess field. the fluctuation of the aftershocks sequences of a strong earthquake can be regarded as a"window" from which the preparing process of a middling—strong or more earthquake in North China can be found and watched.

The relation between the aftershock swarm and the middling-strong earthquakes is discussed from the view of "the field of more than one point", and consider the strong earthquake and the middling—strong earthquake are at dominating and being dominated situation in the regional stress field respectively。