

1966年邢台地区强震前小震的“密集—平静”特征及其初步解释

林邦慧 胡小幸 周冉

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

本文利用邢台地震台网的地震目录资料,研究了邢台地区强震前小震的“密集—平静”特点及其空间分布的立体图象。研究结果表明:

(1)1966年3月邢台地区发生的几个6级以上强震前小震均有“密集—平静”现象,但明显程度随时间减小。部份4.5级地震前小震也有“密集—平静”现象,但因出现在6级以上地震后的余震活动背景上,情况比较复杂。相对平静期的长度,密集期中最大地震的震级均与相应主震震级之间有一定关系。一般来讲,主震震级越大,平静期越长,密集期中最大地震震级也越大。

(2)3月22日7.2级主震前,小震的“密集—平静”过程在空间上有清晰的物理图象。3月8日6.8级地震发生后,3月20日在其余震区的两个端部中介质强度较弱的南西端首先达到破裂强度,发生一系列中小地震,对应于主震前的密集期。3月21日至22日主震前小震明显减少,是主震前的相对平静期,而且小震有由南西端向东北方向迁移的趋势。显示震区应力场在迅速地改变,应力由南西端向东北端进一步集中,并促使22日在东北端尖端部位失稳而发生6.7级及7.2级主震。3月26日6.2级强震前小震的“密集—平静”过程在空间上也有类似清晰的物理图象。

此外,本文对大震前小震的“密集—平静”特点作初步的解释。

关键词 “密集—平静”特征;邢台地震;剖面图;地震图象

一、引 言

大震前小震的“密集—平静”特点是指大地震前二至三天内,小震的频度变化呈现出由相对明显增大阶段到相对减小阶段的过程,这种图象用 $M-t$ 图描绘较为直观。

在1966年邢台地区强地震活动期间,邢台地震考察队从实践中总结出邢台地区大地震前小震有“密集—平静”的特点。当时这个特点曾被作为地震预报的主要依据来应用。然而,这个特点是怎样提出来的呢?

1966年3月7日,地球物理研究所地震考察队第一批成员来到邢台耿庄桥地区,了

解到3月6日该地区有感地震频繁,但从3月7日到3月8日凌晨没有感到地震。这种“平静”的假象使大家放松了警惕,结果3月8日凌晨5时30分发生了强烈地震($M_s = 6.8$),造成了严重损失。这一血的教训给在现场的地震工作者留下了极为深刻的印象。

但开始时对这个特点的认识非常肤浅。3月20日邢台地区又出现了地震的密集现象,第二天有感地震却极少。由于大家没有意识到邢台地区还会有大地震危险,没有给予足够的重视,结果3月22日发生了更加强烈的地震($M_s = 7.2$)。这次地震使考察队对这个特点的认识进了一步。四天之后,利用再次出现的这个特点及配合其它现象,预报了3月26日四芝兰6.2级地震。尽管当时分析预报的方法还很原始,但它是我国地震科学史上的第一次。

由此“密集—平静—大震”的特点便提出来了。九年之后,辽宁省地震局再次使用这个特点及其它现象,成功地预报了1975年海城7.3级地震。

本文利用邢台地震台网资料确定的邢台地震目录,研究邢台地区大震前小震的“密集—平静”特征及其空间分布的立体图象,并对这个特点进行物理解释。

二、资料及方法

本文使用邢台地震台网提供的邢台地震目录进行研究。邢台地震台网是1966年3月8日6.8级地震后建立起来的,各台安装有短周期高灵敏度地震仪。大部分地震参数用石川法确定,即用 $\bar{S}-\bar{P}$ 到时差确定参数,避免了当时时间服务较差带来的不利影响。本文选用目录中 $M_L \geq 3.0$,地震精度为I类或II类的地震进行研究(即震中误差小于3km或5km)。

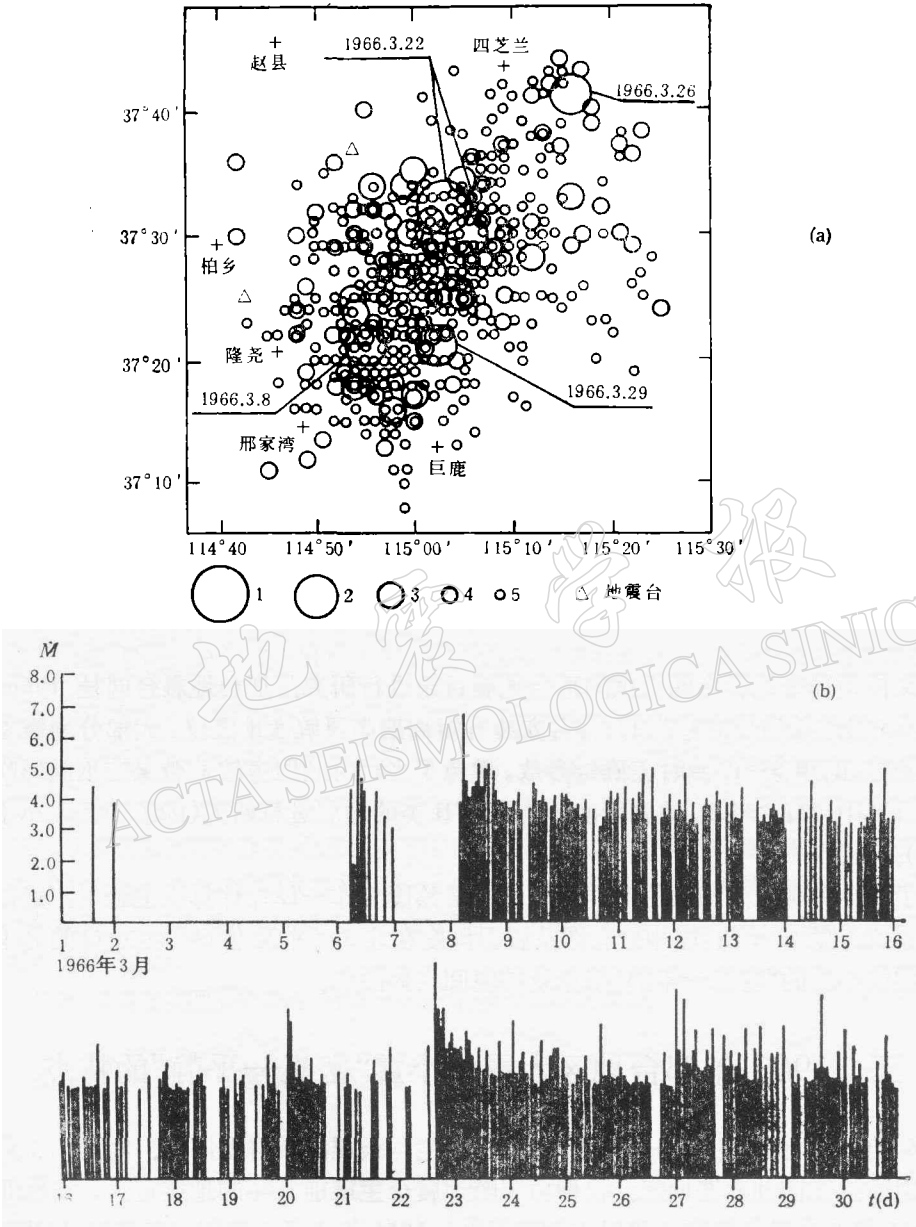
为了避免各种人为因素的影响,研究总结绘图工作一律在计算机上进行。通过在计算机绘图仪上做 $M-t$ 图、震中分布图及震源深度在北 30° 东及北 60° 西方向的剖面图,研究强震前小震的“密集—平静”现象及其空间立体图象。

三、1966年邢台地区大震前小震“密集—平静”的特点

1966年邢台地震序列是一个典型的有前、主、余震的震群型序列。在同年3月份强震活动之前地震活动逐渐增强。根据白家疃地震台主震前几年的地震资料,发现邢台地区从1965年8月份开始有3级以上地震活动。1966年3月1日起明显增强,发生 $M_s = 4.9$ 地震,3月6日又发生 $M_s = 5.2$ 强震。

3月6日至3月30日是邢台地区地震的强烈活动期。在这个时期内发生五次6级以上的地震,即3月8日马兰6.8级地震;3月22日东旺6.7级及7.2级主震;3月26日四芝兰6.2级地震及3月29日巨鹿6.0级地震[见图1(a)]。地震强度大,频度高,6级以上地震和部份5—6级地震前小震有“密集—平静”现象^[1],现将这些地震的“密集—平静”特征列于表1。

图1(b)是邢台地区3月份的 $M-t$ 图。由图可知,6级以上强震前小震的“密集—平静”现象的明显程度随时间减小。3月8日马兰6.8级地震前小震的“密集—平静”特点



1、 $7.0 \leq M$; 2、 $6.0 \leq M < 7.0$; 3、 $5.0 \leq M < 6.0$; 4、 $4.0 \leq M < 5.0$; 5、 $3.0 \leq M < 4.0$

图1 1966年3月邢台地区3级以上地震震中分布图(a)及M-t图(b)

最为明显; 3月22日6.7及7.2级大震前次之, 平静期中仍有少量地震发生, 估计这与3月22日大震发生在3月8日大震的余震背景上有关; 3月26日四芝兰6.2级地震又比3月22日主震明显程度差些; 3月29日6.0级地震前的“密集—平静”现象已不明显。

图2和图3^[4]是3月22日7.2级主震及3月26日6.2级强震前后震中分布图及震源深度剖面图。由图可知, 3月22日大震发生在3月8日6.8级地震北北东向余震分布带上界面的北北东端邻近。从平面看, 两个大震余震区的长轴没有明显的变化。3月26日6.2级强震发生在3月22日主震北东方向上约20 km处的新区。这个地震发生后几天

表 1 强震前小震“密集—平静”现象特征表

发 震 时 间		地 区	$M_{\text{主震}}$	异常平静期 (小时)	密集期中最大震级 M_{max}
年·月·日	时·分·秒				
1966.3.8	05-29-14	邢台	6.8	~34	5.2
1966.3.15	18-43-24	邢台	5.0	~ 5	4.4
1966.3.20	00-59-31	邢台	5.6	~12	4.0
1966.3.22	16-19-46	邢台	7.2	~51	5.6
1966.3.24	01-27-56	邢台	5.2	~ 4	4.5
1966.3.25	14-33-17	邢台	5.0	~ 4	4.0
1966.3.26	23-19-04	邢台	6.2	~25	5.0
1966.3.29	14-11-59	邢台	6.0	~17	5.0
1966.4.20	22-31-15	邢台	5.3	~15	4.2
1975.2.4	19-36-07	海城	7.3	~ 6	5.1

内，邢台全区虽有少量较小地震发生，但其邻近地区地震比较集中，可见该震的余震区范围比全区小。因此，在全区的 $M-t$ 图上，这个地震的“密集—平静”现象不明显是可以理解的。我们取该震后小震密集区范围做 $M-t$ 图(见图 4)，情况便大大改观，特点比较明显。3 月 29 日 6.0 级地震发生在几个 6 级以上地震余震区的背景上，即便选取其邻近地震做 $M-t$ 图，密集平静特点也不明显，预示了它是地震活动阶段的转折点。

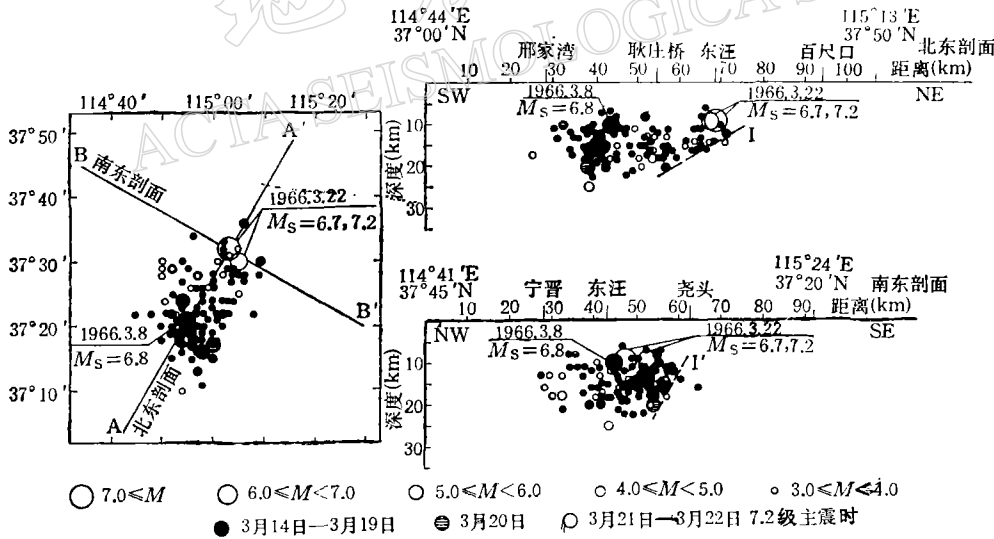


图 2 1966 年 3 月 22 日邢台 7.2 级主震前后地震震源位置分布图

6 级以上强震前的密集期中的最大地震震级比相应主震一般小一级多，相对平静期时间约 17—34 小时，在大震前约几分钟至 1 个多小时内均有一个预备震发生。5—6 级强余震前的“密集—平静”情况比较复杂，因为出现在大震发生后地震活动频繁的背景上，只有部份强余震有这种现象。

相对平静期，密集期中最大地震的震级与相应主震震级之间有一定关系，图 5 是其关

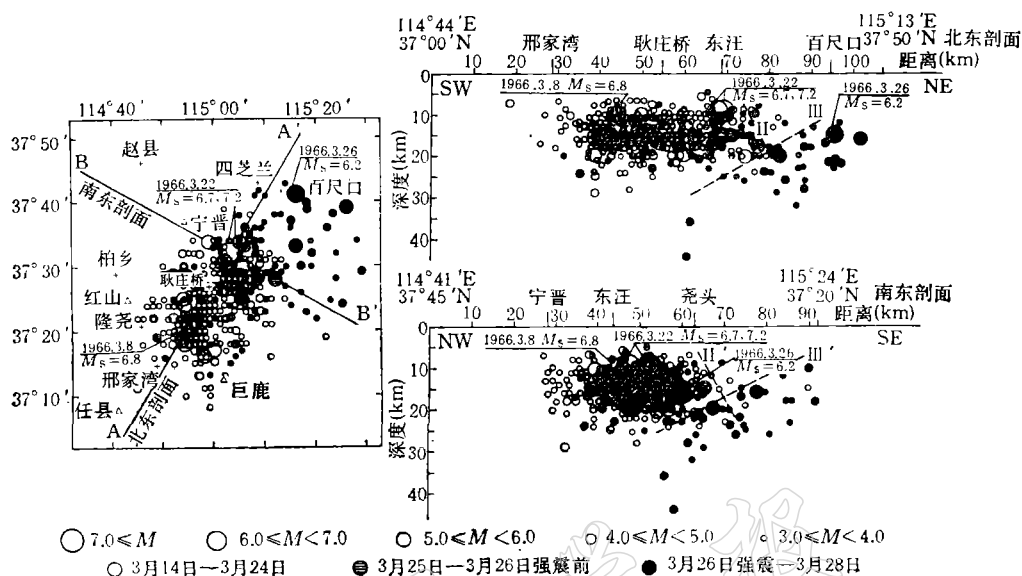


图3 1966年3月26日邢台6.2级强震前后地震震源位置分布图(“△”为地震台)

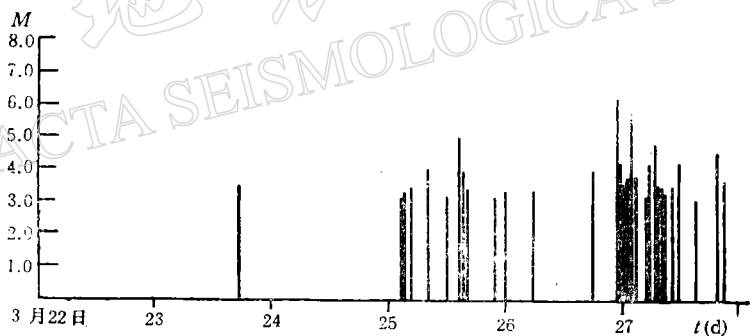


图4 1966年3月24—27日邢台北区地震M-t图

系图。由图可知,主震震级越大,平静期越长,密集期中最大地震震级也越大。应该指出,考虑到数据点比较少,图中的关系仅供参考。

1966年3月29日四芝兰6.0级强震后,邢台地区地震活动再不具有“密集—平静”特点。地震从成串出现过渡到多数是单个出现。地震频度比强烈活动期中的正常活动阶段少,强度也较弱,震级大于5级的地震明显减少。

1966年以来华北地区发生的强震中,1975年海城地震是又一个表现出很明显的震前小震“密集—平静”特点的地震^[3](见图6)。与邢台地震比较,海城地震的密集期最大震级落在邢台地区密集期最大震级与主震震级关系曲线的偏下方(见图5),但偏离不大。而相对平静期比邢台地震明显小,说明这些关系与地区具体情况有关。1978年5月18日海城地区发生5.9级晚期强余震,但在这次地震之前没有记录到临震前震发生。与邢台地区类似,看来晚期强余震一般没有大震前小震“密集—平静”的特征。

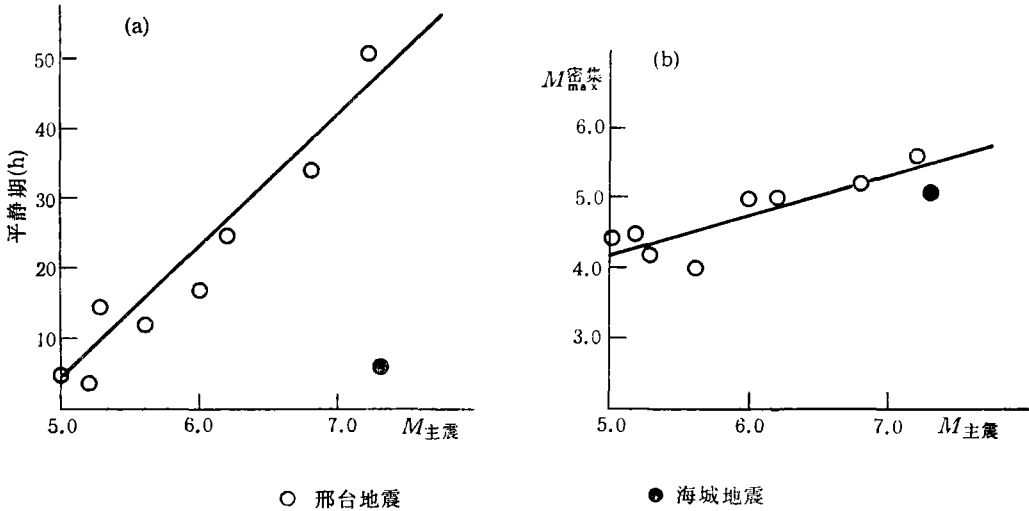


图 5 相对平静期、密集期中最大地震震级与主震震级关系
(a)——相对平静期与主震震级关系；(b)——密集期中最大地震震级与主震震级关系

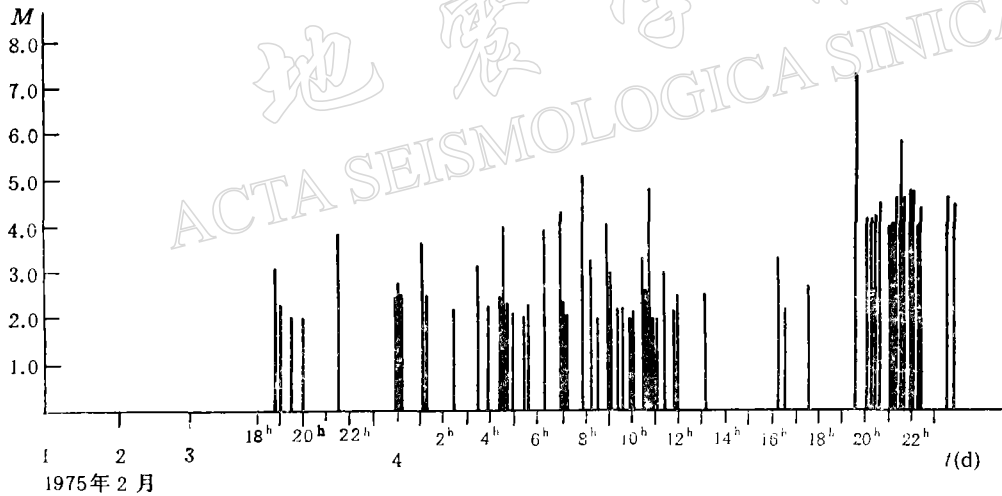


图 6 海城地区 $M-t$ 图(1975.2.1—1975.2.4)

四、邢台地区强震前小震的“密集—平静”特征的空间分布立体图象

本文从 3 月 22 日 7.2 级主震及 3 月 26 日 6.2 级强震前后的地震震中分布图及北 30° 东和北 60° 西震源深度剖面图^[3]得到这两个地震前小震的“密集—平静”过程在空间上的三维图象,见图 2 及图 3.

由图 2 可知,在 3 月 22 日主震发生前,3 月 8 日 6.8 级地震的余震区为北 30° 东走向的带状分布。在北 30° 东走向的震源深度剖面图上,3 月 8 日 6.8 级地震的余震区上下

界面接近水平,南西侧界面接近直立,而北东端呈明显的尖端图象。3月20日在余震区南西端部出现了一个包括两次5级地震和一系列中小地震的地震活动小高潮,相对应于22日主震前小震的“密集”期,21日至22日大震前是小震的相对“平静”阶段,小震活动明显减弱,并且其空间位置有由南西端向北东方向迁移的趋势,22日16时在北东端尖端部位邻近发生6.7及7.2级地震。以上表明:3月22日主震前小震的“密集—平静”过程,实际上是3月8日6.8级强震余震分布带两个端部即两个应力集中区中介质强度较小的南西端部首先达到破裂强度,发生一系列中小地震,接着应力由南西向北东端部集中,并促使北东端尖端部位失稳发生更强地震的过程。

由图3可知,3月26日6.2级地震发生在主震余震区的北东端部外约二十公里的新区。强震后的地震活动主要分布在强震南侧。从地震的平面分布图上看似乎与22日主震余震区相连,但在北东剖面图上的地震分布却明显的与主震余震区水平扩展图象不同,形成一个倾角约 60° 的带状分布。这个图象明显地显示出3月26日强震的余震区是从该震位置出发,以北浅南深、东浅西深的方式斜插入22日主震的余震区之下,并与其北东端界面相连。在26日强震余震区上界面与22日主震余震区北东端上倾界面之间形成了一个倒锥形的地震空区。看来这个倒锥形体是一个介质强度非常高的障碍物,22日主震与26日6.2级强震均未能冲破这个块体。26日强震前小震密集期的地震,主要发生在22日主震余震区的北东端,即障碍体的南西侧。而26日强震及其余震却发生在障碍体的北东侧,表明障碍体的存在使震区应力分布不均匀,在障碍物界面邻近应力相对集中,首先在22日主震余震区北东端邻近的应力集中区发生中强地震及频繁的小震,形成强震前小震的密集期。而平静期实际上是应力从障碍体的南西侧向北东侧集中,并使北东侧某处达到破裂强度,发生6.2级强震的过程。

看来在时间上大震前小震的“密集—平静”过程在空间上相应于震区中某一应力集中区首先达到破裂强度发生一系列中小地震,然后应力向另一应力集中区集中,并促使其发生更大地震的过程。

从1966年3月8日至3月29日地震震源深度随时间的变化(图7)可知,在22日7.2级主震与26日6.2级强震发生前,地震的深度分布经历了一个由宽变窄的过程,在时间上恰好与大震前小震的“密集—平静”过程相对应。表明在平静期内不仅地震少,而且震源深度分布集中,这种现象可能是大震前应力场集中过程的显示。

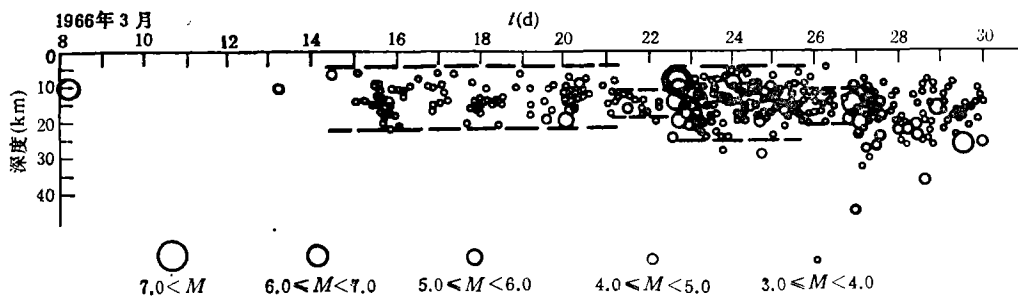


图7 邢台地区1966年3月14—29日地震震源深度随时间变化图

五、“密集—平静—大震”特点的初步解释

根据模拟实验,具有这类特点孕震区的地质构造比较复杂。假设在主要发震断层区邻近存在若干尺度不等的障碍体或介质薄弱区。在区域应力场的作用下孕震区的介质以一定速度积累应变能,在该区强震活动之前已积累了大量能量,介质已处于较高的应力紧张状态,接近产生力学上的不稳定性,并在薄弱地区产生一定的粘性蠕动,释放应变能。局部放松调整的结果可以造成邻近区域应力进一步增强,使得介质薄弱处破裂或中小障碍体被冲破,发生一系列中小地震。这些中小地震的发生不会显著地降低原来已经积累的应变能,却可以急剧改变区域内的应力分布,导致其他中小障碍体或介质薄弱处应力更为集中,发生破裂,形成中小地震的密集。在大震前,发震断层周围的中小障碍体和薄弱区已基本被冲破,这时主要发震断层上的应力已接近但还未达到该处的破裂强度,则出现了大震前地震活动的相对平静期。此外,由于中小地震不断发生而造成的孕震区主要发震断层上受力的加强,将对其周围的中小地震的发生起抑制作用,也使得平静期内地震活动减少。

在孕震区,介质的粘滞性产生的力学场变化的滞后使得发震断层处应力水平逐步增高。当主要发震断层上应力达到破裂强度时,平静期结束,爆发大地震。大震造成更大范围内应力的急剧变化,在震区介质中产生更大的不均匀性,使更大区域内发生很多中小地震,这就是余震活动。大震及其余震的发生大大改变了震区应力场及介质的非均匀分布。对于类似邢台地区,即应力场及介质相当非均匀的地区,有可能造成新的“密集—平静—大震”的过程。直到孕震区应力水平大大降低,不具备以上形成“密集—平静—大震”的条件时,这个特点也就随之消失了。这类问题的更深入的研究应当考虑流变断裂力学模拟。目前这类工作仍缺乏理论计算结果,今后我们将进一步开展这方面的研究。

作者对梅世蓉、王泽皋、朱传镇等同志给予本文的支持及帮助表示感谢。

本文得到地震科学联合基金会的资助。

参 考 文 献

- [1] 河北省地震局,1966. 一九六六年邢台地震,地震出版社。
- [2] 胡小幸、林邦慧,1989. 邢台地震空间分布随时间变化的立体图象与地震发生过程。地震学报,11,1—11。
- [3] 辽宁省地震局,1982. 一九七五年海城地震。地震出版社。

THE “DENSE—QUIET” CHARACTERISTICS OF SMALL SHOCKS BEFORE THE MAJOR EVENTS OF THE 1966 XINGTAI EARTHQUAKES

LIN BANGHUI, HU XIAOXING and ZHOU RAN

(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau*)

Abstract

The “dense—quiet” characteristics of small shocks prior to major shocks of the 1966 Xingtai earthquakes is investigated in this paper using an earthquake catalogue given by the Xingtai seismic network and so a 3-D picture of hypocentral distribution is established. Results show (1) small shocks before all major earthquakes of $M \geq 6.0$ that occurred in the Xingtai region in March 1966 are characterized by the “dense—quiet” phenomena, but is less distinguishable as time increases. Similar features are noted in small shocks before some of those $M_s=4.5$ strong shocks. In such cases, however, it is rather complicated as the small shocks emerge on the background of aftershocks of much stronger earthquakes of $M \geq 6.0$. The duration of a relative “quiet” period as well as the magnitude of the largest shock in a “dense” period is related to the magnitude of the succeeding major event. In general the higher the magnitude of the major event is, the longer the “quiet” period will last and the higher the magnitude of the largest shock in the “dense” period will be; (2) The “dense—quiet” process of small shocks before the $M_s=7.2$ mainshock of March 22 was clearly a physical process which was revealed by spatial distribution maps of the hypocenters. After the $M_s=6.8$ earthquake of March 8, the breaking strength of the crust was reached first at the southwest end of the aftershock zone, where the medium was weaker, causing a series of minor and moderate shocks on March 20. This corresponded to the “dense” period prior to the main shock of March 22. By contrast, the time period from March 21 to 22 before the main shock was the relatively “quiet” period during which seismicity was evidently lower and had a tendency to migrate from the SW end to the NE. This indicated a rapid change in the stress field of the earthquake area and a further transfer of stress concentration from the SW end to the NE end. It was responsible for the instability at the tip of the NE end that resulted in the $M_s=6.7$ and 7.2 major shocks of March 22. The same was true for the $M_s=6.2$ strong shock of March 26.

In addition, the present paper intends to give a tentative explanation for the “dense—quiet” characteristics of small shocks before a strong earthquake.