

# 华北强震孕育的地震活动性

卫鹏飞

(天津市地震局)

## 摘 要

通过对华北第四活跃期高潮期强震发生前中小地震的时、空、强分布图象的研究,发现每次七级以上强震发生前区域地震活动都经历过一个类似的阶段性变化过程,我们称为强震孕育阶段过程。华北地震活动高潮期就是由若干个这样的孕震过程所组成。

华北强震孕育过程都可以划分为三个不同的时期,即预备期(A期)、激进期(B期)、逼震期(C期)。

这三个时期地震活动具有的特点和某些规律性反映了华北地下介质应力应变的变化过程与现有的破裂机制概念相一致。因此认为强震的孕育不仅取决于区域应力场的作用,而且与区域内中小地震活动的变化和进程密切相关,同时提出一个简单的孕震模式——“阻导模式”。

## 一、华北强震前兆信息的提取

华北有史以来地震活动表现有明显的均匀性,至今大致可以划分出四个活跃期。在活跃期的高潮期中七级以上地震常常连续成串发生。如1668—1695年的二十七年中接连发生三次8.0级以上的地震。1966—1976年的十一年中又相继发生四次7.0级以上的地震(不计余震)。对于近代从邢台地震到唐山地震这样一个强震成串发生的过程及其活动特点已有不少人研究过〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕〔5〕。

华北成串强震的发生是有机联系的整体,是在统一区域应力场作用下地壳持续变动的产物。从总的活动性去探讨强震发生的前兆信息,这就是整体性。

同时,华北每次七级以上强震的孕育和发生又表现为一个独立的阶段,形成一次七级以上强震孕育的区域应力场足以控制和影响到整个华北面土的地震活动,这些中小地震的发生和发展无一不是区域应力作用的结果。在统一应力场的区域中,中小地震活动和强震的孕育是紧密相连的,强震是它们发展到最后阶段的必然结果。每次七级以上地震的孕育表现为一个独立完整的阶段过程,这就是阶段性。不言而喻,华北成串强震发生的总过程是由这一个强震孕育阶段过程所组成。

根据华北历史地震资料的统计分析、地震活动相关性和震源机制测定，我们认为把东经  $110^{\circ}-124^{\circ}$ ，北纬  $35^{\circ}-42^{\circ}$  这样一个区域视为一个受到统一区域应力场作用的块体来考虑是比较恰当的。这也就是本文研究地震活动性的“华北”空间范围。

近代强震成串发生的总过程的起始时间从1963年算起。我们根据的原则是：(1)这个大释放过程起始时间不宜取得过前；(2)华北地震活动的频度、强度从1963年开始明显增强，并在外围发生内蒙苏生特右旗5.4级中强震，预示华北地区已进入一个地震活动高潮期。

震级我们取华北所有的大于2.3级的地震，因为这些地震的记录完整，另外七级以上的地震的孕育过程也可以从这些地震活动上得到充分的体现。

这样，华北地区从邢台地震到唐山地震的总过程就是由四个独立的孕震阶段组成的：

- ①1963年—邢台地震；
- ②邢台地震—渤海地震；
- ③渤海地震—海城地震；
- ④海城地震—唐山地震。

以上四个孕震阶段中，大小地震活动分别是独立的，各阶段地震活动彼此不能重复使用。并且每次强震后的余震活动不能做为下一个孕震阶段中的地震活动，但可以参加以后各孕震阶段的讨论。四次强震孕育阶段地震活动见图1—4。

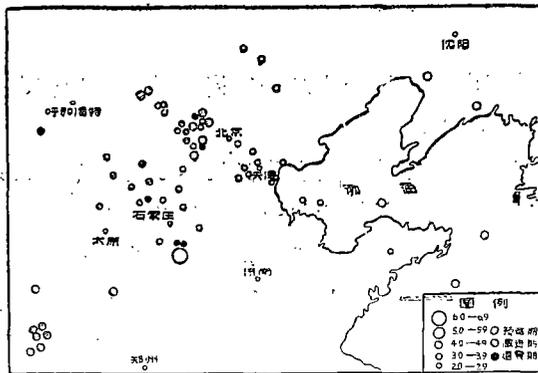


图1 邢台地震前(1963—1966年3月)  
 $M_s \geq 2、3$ 级地震震中分布图

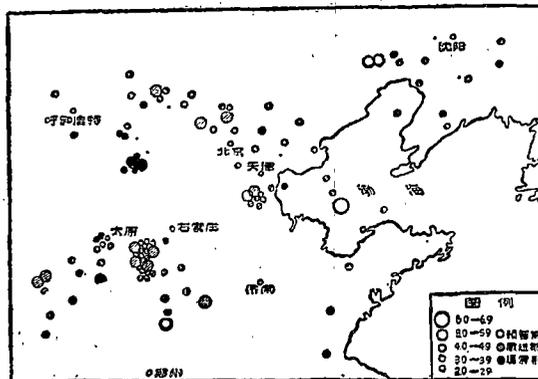


图2 渤海地震前(1966年3月—1969年7月)  
 $M_s \geq 2、3$ 级地震震中分布图

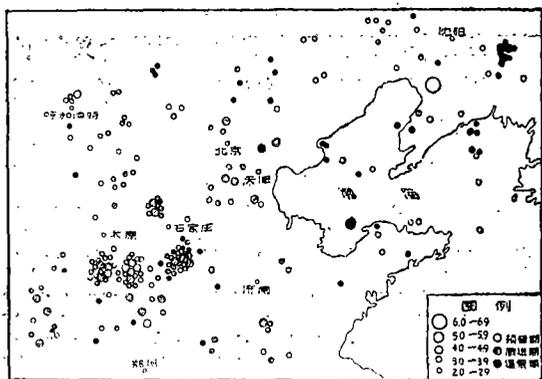


图 3 海城地震前 (1969 年 7 月—1975 年 2 月)  
 $M_s \geq 2$ 、3 级地震震中分布图

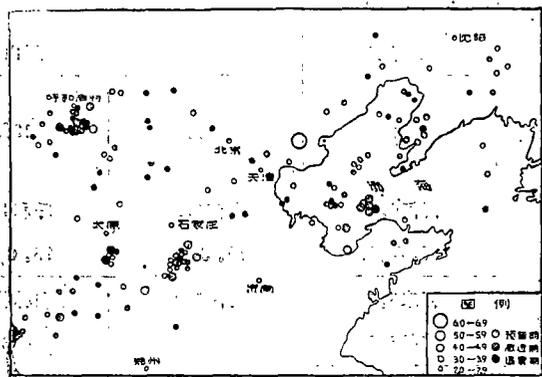


图 4 唐山地震前 (1975 年 2 月—1976 年 7 月)  
 $M_s \geq 2$ 、3 级地震震中分布图

## 二、华北强震孕育阶段的探讨

1. 孕震阶段中三个时期的划分 通过对华北四次强震孕育阶段中地震活动性的分析, 不难看出任何一个孕震阶段都由两次转折划分出三个发展时期:

预备期 (A 期) 表示一次强震后, 地震活动调整、布局 and 初具规模时期。这时地震活动水平相对较低, 时而稍强, 空间上活动面广, 较为零散和均匀分布。

激进期 (B 期) 表示地震活动充分发育和大规模活跃时期。往往有一定的空间分布, 以出现过渡震、早期前震、中等震群等大量地震活动为特征。伴随华北区域地震的活跃, 外围邻近地区往往发生一些 5—6 级外环震。如海城阶段中发生的宁夏吴忠 5.3 级、江苏溧阳 5.5 级地震, 唐山阶段中发生的黄海 5.3 级地震。

震逼期 (C 期) 时间上接近强震的发生, 地震活动明显收缩, 地震活动反而相对减少和平静, 空间上有向未来震中区逼进的趋向。

强震孕育阶段中这三个时期的划分不取决于时间的分布, 因为每个孕震阶段的时间各有

长短,主要是根据地震活动特点决定的。三个时期的变更以转折震出现为标志,整个孕震阶段完全是通过二次转折震的出现划分为三个不同的时期。

2. 概念的含义 上面提出的各种地震概念我们赋予的含义如下:

**转折震(亦称信号震)** 指在强震孕育阶段中出现的伴随在强度上和空间上发生显著变化的地震,称为转折震。就是说在前段地震活动低水平背景上突然出现的中强震,而且伴随远跳现象,从而促成华北地震活动的强度和空间随之发生变化。转折震的震级必须比它之前的地震的平均震级高1.5级以上,还要大大高于它前面的余震活动水平,一般近20天内不得有超过它的余震出现。根据华北地震活动水平得出,转折震应大于4.4级。

**过渡震** 强震孕育阶段中地震必然有一个从低级到高级的发展过程,在强度上一定会有一些过渡的中强地震发生。我们指在孕震阶段中出现的强度达到5.0级以上的地震为过渡震。

**早期前震** 在强震发生前一、二年或几个月内在震源附近发生的3—4级地震,称为早期前震。它既早于序列前震,又大大晚于通常所指的广义前震。

华北强震孕震过程的划分

表 I

阶段		邢台前	渤海前	海城前	唐山前	目前
分期	释能比率	15%	8%	7%	13%	26%
于 备 期	释能比率	15%	8%	7%	13%	26%
		15%	8%	7%	13%	26%
转 折 震	I	定县4.7 64.9.2.	河间6.3 67.8.27	丰南4.8 70.5.25	呼和4.4 75.6.24	阜新5.1 77.6.5
		垣曲5.5 5.1	怀来5.5 浦县5.5	河间5.3	和林格尔 6.3	海城5.7 丰镇5.8 介休5.4 邢台6.0
激 进 期	中等震群	张家口、垣曲、 天镇、五台、怀来	河间、昔阳、 逐鹿、河顺、繁峙	平遥、曲阜、 和顺、太谷、本溪	和林 庙岛	蔚县 太原
	早期前震	河北深县3.4 64.8.23	渤海3.0 69.4.22	盖县4.5 72.4.14	宁河4.0 75.12.1	安阳北4.8 80.8.7
期	释能比率	74%	84%	73%	76%	73%
	释能比率	74%	84%	73%	76%	73%
转 折 震	II	包头南4.8 65.10.22	繁峙4.6 69.4.24	渤海4.8 74.5.7	大城4.4 76.4.22	武安4.5 81.12.6
逼 震 期	释能比率	11%	8%	20%	11%	

**中等震群** 短期内(一般指二、三天)在一个小范围里连续发生三次以上大于或等于2.3级地震的地震群称中等震群,以区别于1—2级小震群。中等震群的主震符合条件者亦可作为转折震或过渡震。

3. 征兆的认识 说明了上述概念之后,我们就可以把华北四次强震孕育阶段及目前状

况分期列入表 I 中。根据中小地震活动图象分别作出每个孕震阶段的分期征兆图 5—8，从时空变化规律，对其进行探讨。

A 期地震活动扩散边界区往往已达到下次强震发生的地方，尤其以大于 3.0 级地震为多的散落边缘地段作为初步监视区。

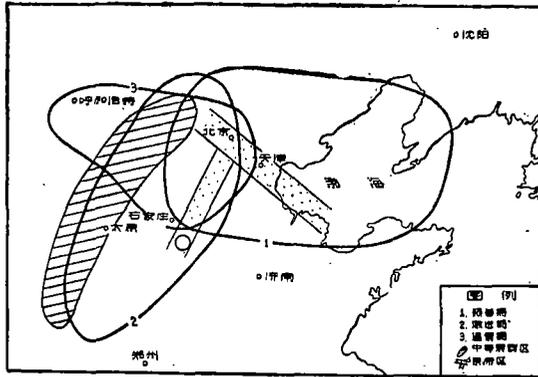


图 5 邢台地震前征兆图

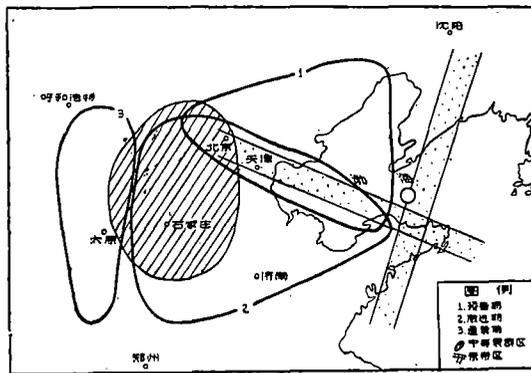


图 6 渤海地震前征兆图

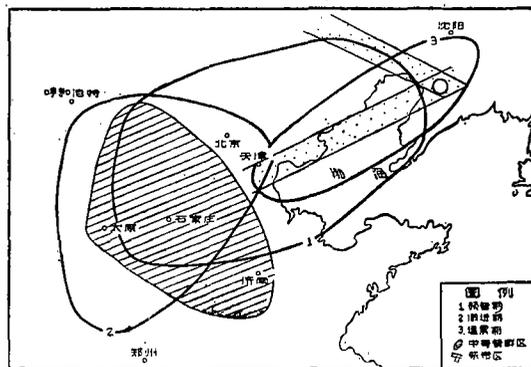


图 7 海城地震前征兆图

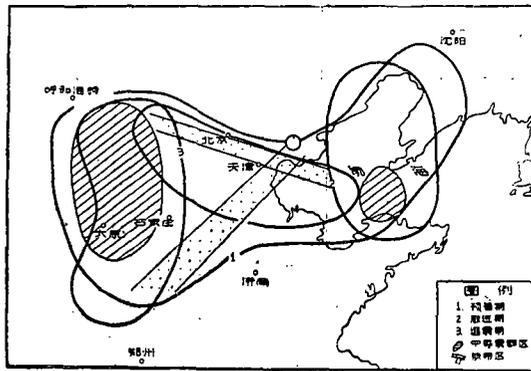


图8 唐山地震前征兆图

地震活动条带分布。特别是A期中已出现的条带与B期或C期形成的条带交汇部位和两端部更应注意。

B期中已出现过3—4级地震的地方，后来又较长时间只有小震，可能一些具有早期前震性质，若还有短条带指向此处，则更应注意。

未来强震发生地点往往远离中等震群区，而5—6级过渡震却发生在靠近震群区。

激进期应变能释放比率达到70%，是孕震过程将转入短期的重要信号。

C期地震活动绝大多数向震中区收缩，但也有个别处于震中的一侧。

进入C期一年或半年内发生强震。

空间收缩大致呈指数衰减。C期收缩范围约为华北全区面积的十分之一，强震震源区又约为C期范围的十分之一。

4. 物理意义 华北强震孕育过程可以看作华北块体这块不均匀介质在一个稳定的区域应力作用下受压的过程，它出现的三个时期大致相当于均匀裂隙发生期，裂隙相互作用加速产生裂隙期，不稳定裂隙产生期和形成断裂期，这已为破裂机制概念和实验资料所确定。这里宏观破裂资料——地震活动性具体找出了裂隙转折的标志。而这种转折与前兆资料的变化在时间上往往是吻合的。

### 三、讨 论

1. 基本设想 地震活动是地壳突然发生弹塑性破裂的最直接的反映，是地壳或上地幔应力应变的产物。地震活动可以作为该部位受到应力应变的“指示灯”。用大量地震活动的时、空、强变化特征可以反映地壳应力应变的发展变化。应力是向薄弱地段（如断裂交汇部、端部、拐点等）或易于积累应力的高值区（如高密度岩石闭锁区）不断传递、集中和积累。一次地震发生以后，不仅使该地局部应力场有所变化，同时也使该地的岩石力学性质发生变化，因此在一段时间里积累应力的条件随之改变，可暂不再积累应力。这是因为摩擦、热等作用，局部介质可能塑化，不利于应力的积累和破裂的继续发育。地震活动时、空、强变化规模和强度对应于形成它们的应力场，就是说相应是等量级尺度的。全球巨大地震的发生受全球弹性应力场控制，范围大，震级高。反之，小地震仅受局部应力作用，影响地区

小。中强地震的应力场是中等量级尺度的。

2. 华北孕震“阻导”模式 华北地区在一个持续稳定的区域应力场作用下，一次强震的发生使积累的应变能得到一次充分的释放，同时进入下一个强震的孕育过程。这个过程应力应变情况就是直接通过三个时期中地震活动的变化反应出来的。A期：一次强震孕育过程的开始阶段发生后，断裂位移，应变能充分释放，对于原来紧张的应力作用是一次短暂的卸载和普遍的调整时期。由于区域应力暂时缓解，应力作用强度相应降低，作用点显得多而分散，强度不大而分布均匀。表现为地震活动分布广，震级小。但随着区域应力场的持续作用，岩层各部位渐渐重新紧张起来，导致应力逐步加强而向某些区域汇集。

B期：区域应力渐渐加强，华北面上已发生过分散中小地震的地方的介质条件产生一定变化，暂时不再积累应力，应力积累点相对变少，区域应力不再分散受阻而集中在某些地区，应力强度提高。中小地震“导通”了应力的传递途径，使某些部位应力相对集中而加强，我们简称“导通”。地下介质经过中小地震活动以后，应力达到一定程度的饱和，区域应力作用就被传递到某些薄弱地区或易于积累应力的地段，这就是B期勾划的空间范围，实际资料表明，在华北主要是太行山两侧地区（山西盆地和冀中拗陷）。由于区域应力的不断输送，积累了大量应变能，使得此地地震活动极为活跃，广泛发育着中强地震和地震群。

C期：区域应力场作用不断加强，B期所占地区的地下介质通过大量地震活动又一次“导通”，区内介质达到高一级的饱和，这块地区暂不再积累更强的应力，因此区域应力作用又源源不断地传递到那些介质条件更坚硬，摩擦极限极高的地区，形成所谓应力高值区或闭锁地段。由于摩擦极限高，小震相对减少，活动空间明显收缩，应力已达高度集中，形成强有力的震源应力场。其作用超过岩石耐剪强度，便破裂爆发强烈地震。

因此，华北块体孕震阶段三个时期的演变过程可归结为：

在区域应力场的持续作用下，应力分散积累  $\xrightarrow{\text{中小地震活动}}$  应力集中积累  $\rightarrow$  强震 这样  
 （低阻） （导通） （高阻）

一个简单模式，称为“阻导”模式。

因而华北强震发生不仅取决于区域应力作用的大小，还与区域内应力“阻导”而集中的进程有关。直接反映在中小地震活动与强震发生的密切关系上。

韦森在1973年指出，小震活动同中等强度或大地震孕育之间的关系，有可能为我们提供强有力的地震预报手段。同时也描绘了一个模式，提出“阻延区”的概念，指出，在阻延区上，应力与强度之间的差别是不均匀的，只要局部地区达到破坏标准，那里就会发生小震。一个个小震将使应力与强度之间的差别在空间上消失。因为应力与强度之间的差别在空间上的不规则性已消失了，结果就发生一次较大的地震。韦森明确地提出，中等强度地震前的小震不仅是适应于地震滑动的环境的朕兆，它们也可能是导致中等强度地震中发生破坏过程的一个基本部分。当然，我们这里研究的区域要广一些。

3. 地震产生的总体过程 为了研究方便和验证华北强震的孕震过程，我们提出一个孕震总体过程。

一级：虽然目前对地震的力源尚有多种解释，如地球自转角速度的变化、极移、椭率变化、潮汐摩擦和地幔对流、板块漂移等。但是，由这些力源形成一个全球弹性应力场。在这种应力场的作用下，应力传递集中在全球几个大构造带上，也就是容易积累应力的几个板块边界上，如环太平洋地震带，阿尔卑斯—喜马拉雅地震带。

二级：板块互相碰撞挤压的力及其变化要不断地被传递汇集到板内某些易于聚集应力的大构造单元上，形成一个或数个大构造单元应力场，如板内地震活跃的中国大陆及其邻近地区。

三级：在大构造单元应力场的作用下，应力又被传递到某些容易积累应力的区域，形成一个或数个区域应力场，如华北、川滇等地震活动区。

四级：在区域应力场的作用下，应力又进一步被传递集中在区域内某些薄弱地带、地段和易于集中应力的闭锁地区。在应力高度集中的地方形成强有力的震源应力场。

区域应力场强而持久，处于高潮期，就往往形成多个震源应力场，最后陆续突破，发生一次次强震。

从以上总体过程中，我们可以得知，华北孕震过程属于总过程中的四级过程。区域应力场这一级过程的作用已为许多研究所证实。

由于有了这个总过程，可以容易地解释一个时期里同时形成华北、川滇等多个活动区，某大地震带与某个地震活动区的相关性；为什么区域应力场会有随时间的强弱变化等。当然，对于一、二、三级之间应力传递、集中和应变变化的过程几乎还一无所知。我们以上阐述的华北强震孕育过程往往使人误以为孕育一个七级以上地震似乎只有两、三年时间，这与通常认为一次强震孕育需要几十年的应变积累是矛盾的。实际上从总过程中就可以得知，我们所说的华北孕震过程阐明的仅仅是第四级演变过程，而通常所指的长时间弹性压缩变形阶段的应变积累相当我们所说的三、四两级过程。

(本文1980年5月4日收到)

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 李自强等，华北近代成串强震发生过程的探讨，地震学报，Vol. 2, No. 4, 1980.
- [ 2 ] 李钦祖等，华北地壳应力场的基本特征，地球物理学报，Vol. 23, No. 4, 1980.
- [ 3 ] 朱传镇等，震群与大地震关系的研究(华北地区)，地震学报，Vol. 3, No. 2, 1981.
- [ 4 ] 华祥文，唐山强震前后北京天津周围地区应力的变化过程，地震学报，Vol. 2, No. 2, 1980.
- [ 5 ] 张之孟，我国及邻区板内地震与板缘地震的关系，地震地质，No. 3, 1979.
- [ 6 ] 吴佳翼等，华北地震同日本地震的相关性，地球物理学报，No. 4, 1979.

## SEISMIC ACTIVITY BREWING PROCESS IN THE STRONG EARTHQUAKE DEVELOPMENT IN NORTH CHINA

Wei Peng-fei

(*The Seismological Bureau of Tianjin*)

### Abstract

In this paper the space-time-intensity distributional pattern of the moderate and small earthquakes before the strong earthquake occurred during the peak period of the fourth active stage in North China is analysed. It is found that the regional seismicity before each strong earthquake occurrence with magnitude  $m \geq 7$  undergoes a similar variation which is called the developmental process at various stages of strong earthquake. The peak period of seismicity in North China consists of such developmental processes. On the basis of the similar pattern of seismicity and characteristics of related energy ratio in such processes, the developmental process of strong earthquake in North China can be divided into three different periods:

period A—the preparative period,

period B—the severe Period,

Period C—the immediately Period.

The characteristics and some regularities of the seismicity during these Periods show the stress and strain variation of the ground medium in North China and coincide with the present concepts about the fracture mechanism. Therefore it is considered that the development of strong earthquake is dependent on the action of the regional stress and is related closely to the active variation and progress of regional moderate and small earthquakes. A simple model of the earthquake development—the stop-pass model—is proposed. The research of the characteristics of seismicity and divisional indications by stages in the developmental process of earthquakes in North China may give a clue to predict the strong earthquakes in this region.