

华北近代成串强震发生过程的探讨*

李自强 刘一鸣 和景昊 田抗援**

(国家地震局地球物理研究所)

摘要

本文从大面积的华北整体出发,探讨了成串大地震发生过程中的某些规律。

根据一些地震观测资料,就历年来的大地震频度, b 值随时间的变化,小地震活动的空间分布,震群活动,小地震的初动方向的变化等五个方面探讨各次强震发生与它们的关系。

一、引言

历史记录表明,华北地震活动是不均匀的,有高潮与低潮之分。在高潮中,常相继发生成串的破坏性地震,近代从邢台地震到唐山地震就是一例。一些作者对其中的单个地震已作了不少研究^[1-7]。但为什么这些地震会成串发生?这些地震有否内在联系?能否从发生过程当中找到某些规律和预报的信息?显然必须考虑多个强震在华北块体内的共同孕育与发展的问题。

本文结合华北近代地震活动的特征,从大面积的华北块体^[8]出发,探讨在统一应力场中成串强震成因上的联系,以及在几个地震带上孕育和发生地震过程中的某些规律性。

二、成串强震发生过程中的某些特征

华北地震主要发生在华北块体内的贺兰山以东,燕山—阴山以南。秦岭至大别山以北,海城以西这一区域中的银川,山西,华北平原以及辽鲁四条北北东向地震带和近东西向的阴山—燕山地震带上。

自公元 793 年以后,华北地区地震共经历了四个活跃期。地震活动是平静—活跃交替进行。794—1010 年、1077—1089 年、1369—1479 年和 1731—1814 年为平静期,其间全华北无六级以上地震发生;而在第一活跃期的 1011—1076 年,第二活跃期的 1090—1368 年,第三活跃期的 1480—1730 年及第四活跃期的 1815—1976 年中却分别接连发生一连串的 6 级以上至 8(1/2) 级的强烈地震。这一现象告诉我们,华北地区的各次强震并非孤立发生的,它们之间存在着内在联系,必须从整体出发去研究,认识它们的孕育发生过程。

第四活跃期至 1976 年已发生 6.0—6.9 级地震 23 次,7.0—7.8 级地震 7 次。在此期间内,地震在不均匀地增强着。继 1910—1948 年期间一系列强震活动之后,1949—1965

* 1978 年 10 月 16 日收到。

** 武宣英、曹新玲、陈家庚等同志部分地参加了本项研究工作。

年 18 年期间华北地区无 6 级以上强震发生。然而从 1966—1976 年这 11 年中却连续发生了邢台等 7 次 6 级以上地震，其中 7 级以上地震 4 次，最大震级达 7.8 级。展示了活动高潮的到来。

下面我们主要从小震活动的角度探讨 1960—1976 年期间的地震活动的某些特征和应力状态，以求对强震的成串活动这一特点有所佐证。

(一) 华北地区的小震频度

小震频度的变化反映了地下岩体在受力状态下的破裂过程，所以华北地区大面积的小地震频度的变化是华北地区统一应力场增强的一个标志。

我们分别统计了华北地区 $M_s \geq 2.5, 3.0, 3.5$ 和 4.0 的地震频度（不计余震）随时间的变化。变化曲线形态大体相同。考虑到既要有一定的地震个数，又要资料比较完整可靠，我们这里仅讨论 $M_s \geq 3.5$ 的地震频度随时间的变化（图 1）。

可以看到，在邢台、渤海两地震前一年，小震频度都迅速升高。然而小震频度随时间分布的重要一点，是 1972 年之前小震频度不断增大，1972 年达到峰值之后，又大幅度下降。在下降速度减慢之后的 1976 年，发生了这一成串强震中的最大一次——唐山 7.8 级地震。

我们曾按图 2(a) 将整个华北地区分成三个部分，分别作出小震频度随时间的关系曲线（图 2(b)），发现它们仍具有与整个华北地区同样的特点。这说明华北地区存在一个统

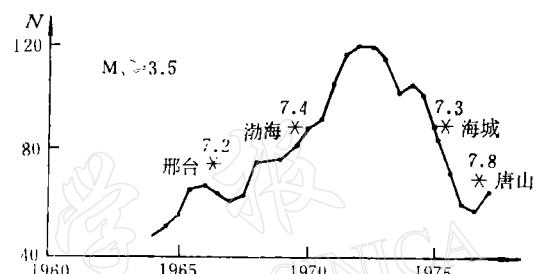


图 1 华北地区 $M_s \geq 3.5$ 地震频度
(4 年资料累计, 半年滑动计算)

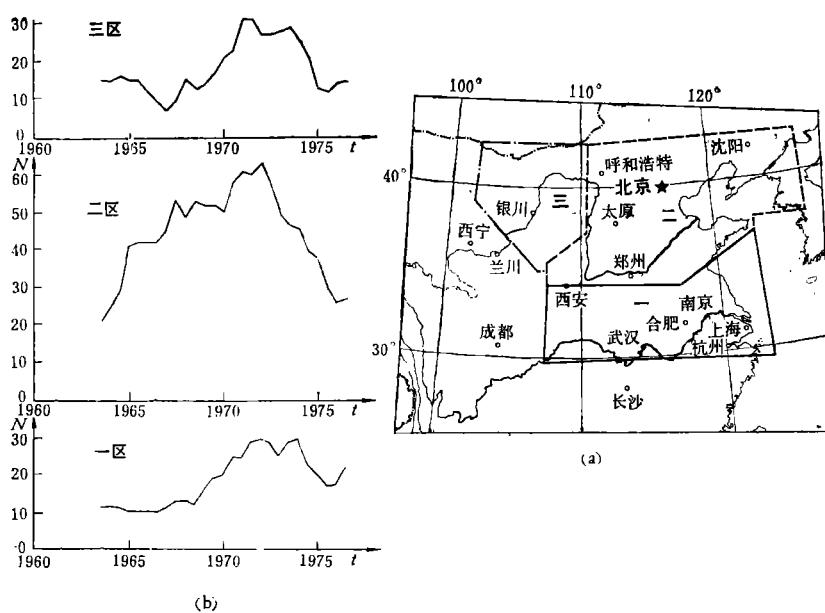


图 2 华北地区分区 $M_s \geq 3.5$ 地震频度

一应力场，在1972年达到使整个地区介质的破裂达到急剧的程度。另外，这期间发生的7次6.0—7.8级强震则是这统一应力发展过程中不同阶段的产物。

华北小震频度所表现的这种形态，并非这次成串强震发生过程所独有，历史上也有类似情况。华北地区进入第三活跃期后，有感地震频度不断增高。在高峰之前，发生1622年（固原），1626年（灵邱）二次7级地震，高峰之后，发生了1668年（郯城），1679年（三河、平谷），1695年（临汾）三次8级以上地震（图3）。

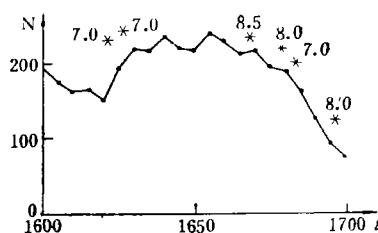


图3 华北地区历史有感地震频度

图1与图3所用的时间尺度和小震强度是有差别的，但在大震活动的高潮之前，出现小震频度高峰却是共同的。

应当指出，1960—1976年期间的地震活动，仅是第四活动期中的一个片断，而1600—1700年却几乎是第三活动期的全过程。

（二）华北地区**b**值随时间的变化

b值认为是反映震区地震应力分布和介质不均匀性的参数。国内外对此已有许多讨论^[9—12]。我们认为**b**值不是常数，应对强震有所反映。现采用最大似然法：

$$b = \frac{S \lg e}{\Sigma M_i - SM_0}$$

其中，**S**为**M₀**以上地震总数

ΣM_i 为**S**个地震**M₁**, **M₂**, ……的总和（地震次数50—100时，**b**的标准误差0.13—0.10）。对1960年以来全华北**M_s**≥3.5的地震**b**值进行统计（不计余震）。结果表明，**b**值随时间不断增长，并在1972年达到高峰（图4），这与华北小震频度随时间变化相类似（图1）。

（三）小震活动的空间分布

从小震活动的空间分布（图5_{(a)-(f)}）可以看出以下几个特点：

1. 华北块体的边缘。尤其是东西两侧，小震活动频繁，释放了较多的能量。这反映了周围块体对华北地区的北东东—南西西向动力作用增强。

2. 燕山南麓小震活动最为活跃，其他几个带相对较弱。

3. 1972年开始大面积的小震活动逐渐向北京，唐山以及本溪，营口一带收缩。1974年最为突出。全华北除块体边缘个别区域外，4级左右地震均集中在唐山邻近地区及本溪，营口附近（图5_{(d), (e)}）显示了全华北的小震活动与1975年海城地震和1976年唐山地震之间的联系。

（四）小震群活动

假定介质不均匀的破裂地带，在某些部位常会出现小震群活动。这些部位不能积累更多的能量，所以只能出现小震群。考虑到华北地震台网的控制水平，仅分析近20年来3—5级的小震群活动，3级以下的仅作参考。

成串强震发生前，小震群活动有如下特征：

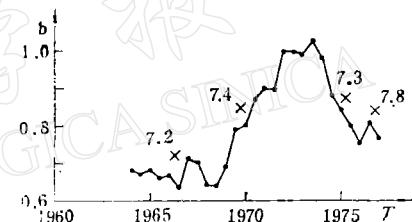


图4 华北地区**b**值随时间的变化曲线
(4年资料累计，半年滑动计算)

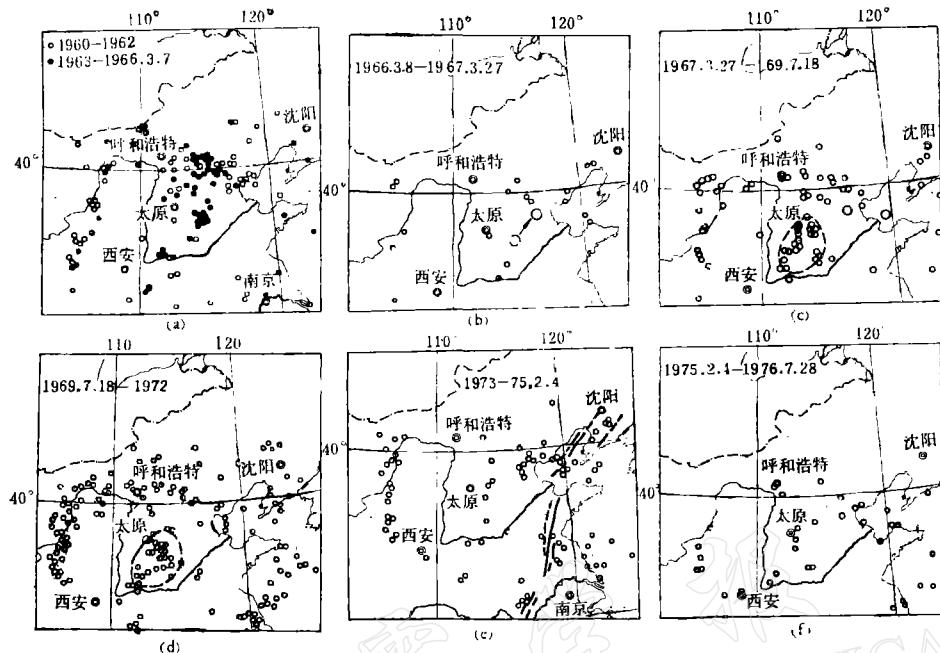


图5 华北地区小震活动空间分布

(a)—1960年—1966年3月7日 (b)—1966年3月8日—1967年3月27日
 (c)—1967年3月27日—1969年7月19日 (d)—1969年7月18日—1972年
 (e)—1973年—1975年2月4日 (f)—1975年2月4日—1976年7月28日

1. 强震发生前几年，外围地区呈现震群活动，随着强震的震级增加，震群活动范围亦增大。譬如：从五十年代后期开始，华北的中部地区，南北二段呈现震群活动，块体的东南与西北两端边缘，也先后开始活动，构成了成串强震中第一个地震——1966年邢台地震发生的背景（图6(a)）。七十年代开始，不仅在华北中部地区，而且在华北块体的边缘呈现较大规模的活动，构成了海城与唐山地震的背景（图6(c)）。

2. 临近强震前一年内，震群活动向强震震源区靠拢。譬如：1968年河北涿鹿、怀柔、八达岭一带以及山西和顺等地较大范围出现震群活动，1969年2月河北夏垫附近出现小于3级弱震群，4月渤海内出现了3级震群活动，向渤海地震震源区靠拢，海城地震前，也是从怀来、傲汉旗到本溪活动（图6(b)、(c)）。

3. 临近强震前，大面积呈现相对平静。震群依然活跃，可能是地震前兆的一种标志。譬如：主余震类型的唐山地震，无明显的前震，大面积范围亦呈现相对平静，1976年上半年，震群频度一跃为6次，华北块体的边缘以及内部的薄弱环节呈现震群活动（图6(d)）。此外，长岛震群、太原震群、磴口震群等本身的频度在唐山地震之前也都出现显著的高潮（图7）。

上述结果表明，小震群活动可能反映华北块体应力场的变化及强震的一种孕育过程。

（五）小震初动方向的变化

北京白家疃地震台从1958年起所记录到的（周围约300×600平方公里）小震初动

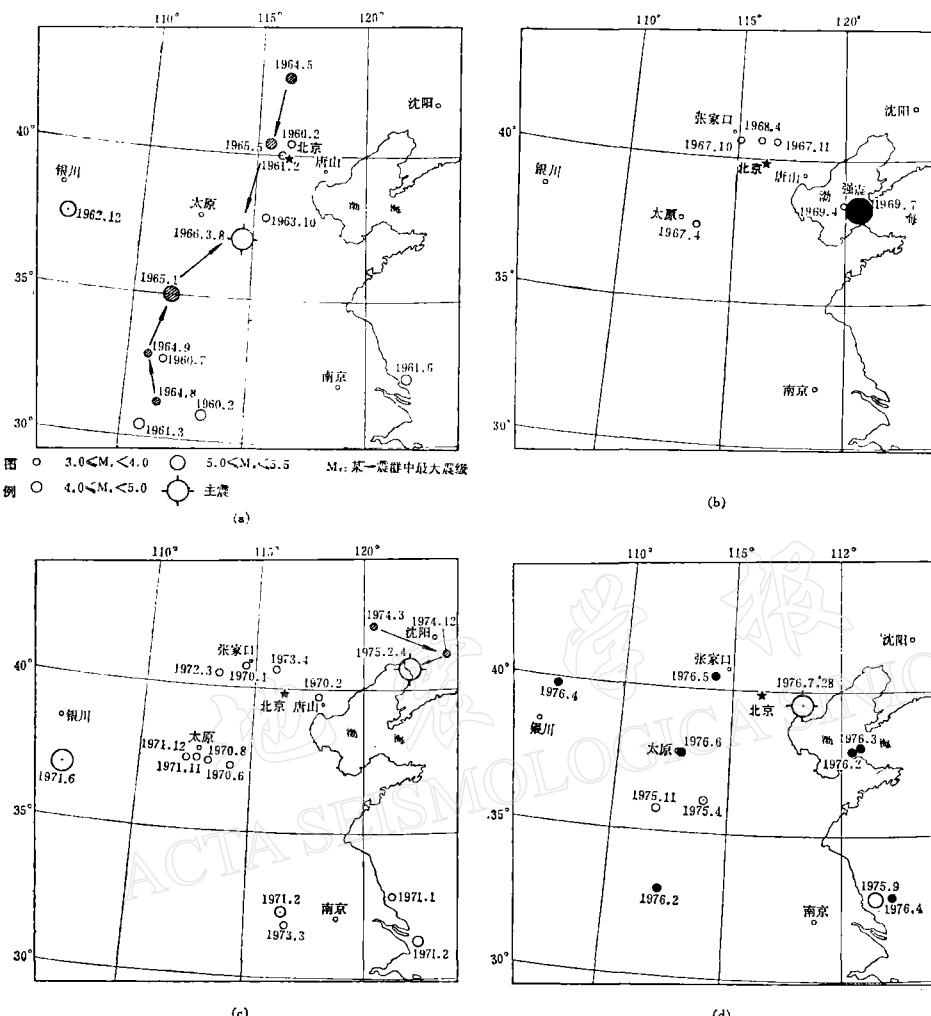


图 6 华北地区小震群活动空间分布

- (a) —— 1966年3月邢台地震前小震群活动(1960年—1966年3月8日)
- (b) —— 1969年7月渤海地震前小震群活动(1967年4月—1969年7月18日)
- (c) —— 1975年2月海城地震前小震群活动(1970年—1975年2月4日)
- (d) —— 1976年7月唐山地震前小震群活动(1975年—1976年7月28日)

方向,自1972年起改变了1958年—1971年间初动分布的不规则状态(图8(a)),形成了一个压力轴的方位为 259° ,仰角为 49° 的有规则象限分布(图8(b)).这一区域应力场与华北统一应力场是基本一致的.这也说明了自1972年起,华北应力场的增强达到了一个新的转折点.

(六) 余震频度变化

由于成串强震的孕育和发展是处于统一应力场下进行的,所以强震之间是有联系的.在一次强震的余震衰减过程中,对以后将要发生的强震同样有所联系.例如,邢台地震的余震频度,在1969年渤海地震前的1968年和1975年海城地震,1976年唐山地震前的1974年均有较大幅度的回升,说明华北统一应力场的增强,预示了这几次强震的来临(图9).

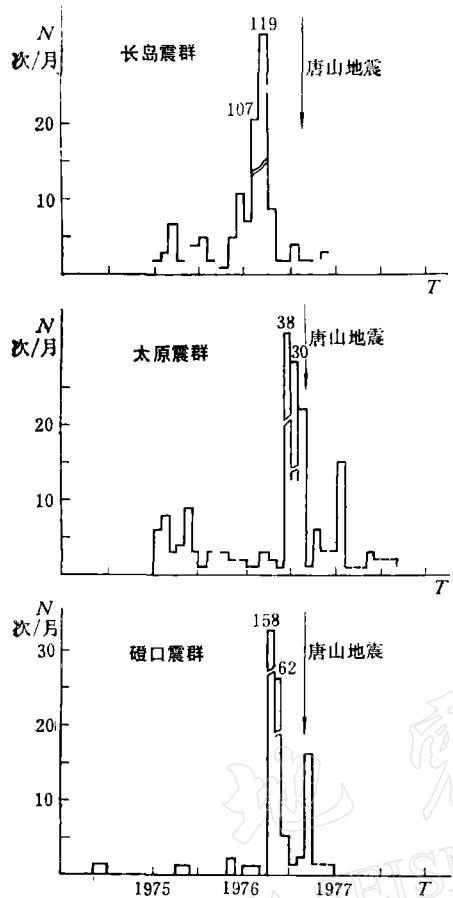


图7 震群频度

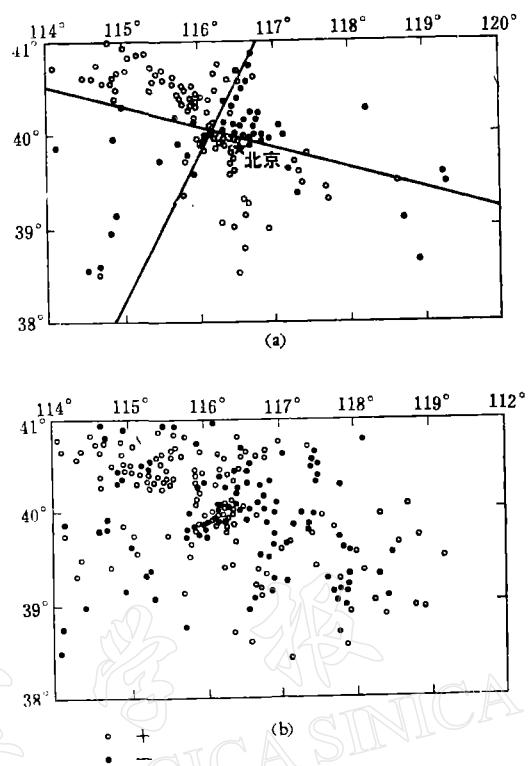


图8 小震初动分布

(a) —— 1958年—1971年小震初动分布
 (b) —— 1972年—1976年6月小震初动分布

(引自白家疃地震台资料)

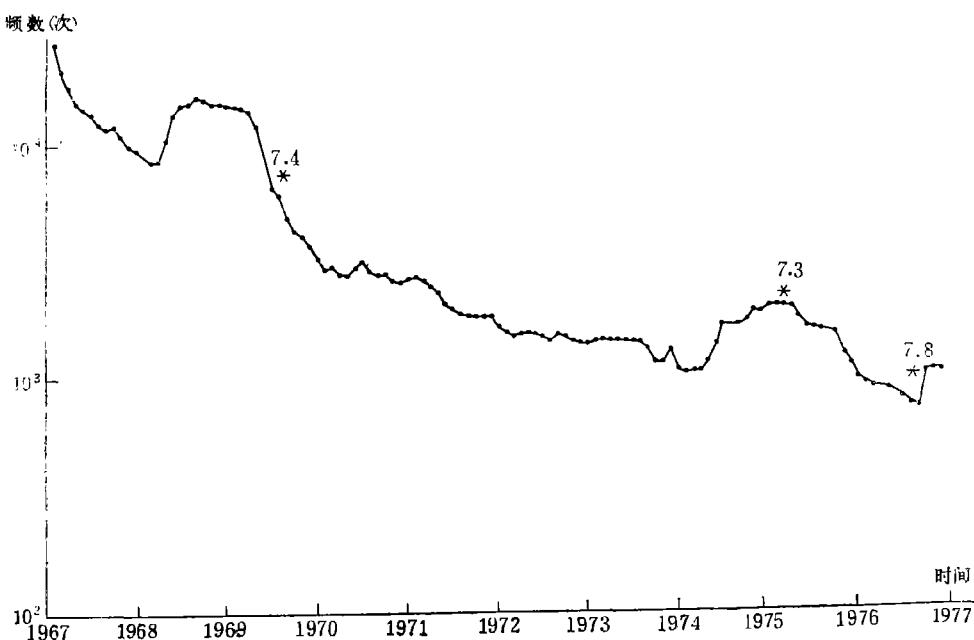


图9 邢台地震余震频度

(根据红山台记录一年资料累计算步长一月滑动计算)

三、结 束 语

华北地震活动的高潮尚未结束。从华北整体出发，根据大面积地震活动展现的某些特征来判断所处的地震发生过程的阶段以及当前华北统一应力场的应力状态，将是预报今后强震的有效途径之一。

成串强震孕育与发生过程是一个粘塑弹性的力学过程，大震前可分为弹性形变，稳态蠕变和非稳态蠕变三个阶段，将于另文专题论述。

参 考 文 献

- [1] 陈运泰等，根据地面形变的观测研究 1966 年邢台地震的震源过程，地球物理学报，**18**, 3, 1975.
- [2] 何志桐等，邢台地震系列的空间分布，构造应力场及其发生过程的探讨，地球物理学报，**20**, 2, 1977.
- [3] 吴开统等，海城地震序列的特征，地球物理学报，**19**, 2, 1976.
- [4] 邓起东等，关于海城地震震源模式的讨论，地质科学，**3**, 1976.
- [5] 顾浩鼎等，1975 年 2 月 4 日辽宁省海城地震的震源机制，地球物理学报，**19**, 4, 1976.
- [6] 邱群，1976 年 7 月 28 日河北唐山 7.8 级地震的发展背景及其活动性，地球物理学报，**19**, 4, 1976.
- [7] 虢顺民等，唐山地震区域构造背景和发展模式的讨论，地质科学，**4**, 1977.
- [8] 张文佑，初论断裂的形成和发展及其与地震的关系，地质学报，**49**, 1, 1975.
- [9] T. Utsu, A method for determining the value of b in formula $\log(n) = a - bm$ showing the magnitude-frequency relation for earthquakes, *Geophys. Bull. Hokkaido University*, 13, 99—103 1965.
- [10] K. Mogi, Laboratory study of Elastic shocks prior to Rock Failure, *EOS Trans. Amer. Geophys. Union*, **50**, 5, 401, 1969.
- [11] C. H. Scholz, The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, *BSSA*, **58**, 399—415, 1968.
- [12] 李全林等， b 值时空扫描，地球物理学报，**21**, 2, 1978.

A PRELIMINARY STUDY OF THE PROCESS OF DEVELOPMENT AND OCCURRENCES OF A SERIES OF RECENT STRONG EARTHQUAKES IN NORTH CHINA

LI ZE-QIANG LIU YI-MING

HE JING-HAO TIAN KANG-YUAN

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

Abstract

This paper deals with the study of certain empirical relations regarding the development and occurrences of a series of recent strong earthquakes in North China from the view point of the broad North China region as a whole.

Based on the seismological data thus accumulated, five different aspects, namely, frequency of occurrence of small earthquakes, variation of b -value with time, spatial distribution of small earthquakes, earthquake swarm activity, variation of the signs of first motion of small earthquakes, are concerned as to their relations with the occurrences of the strong earthquakes.