第14卷 第3期 西北地震学报 Vol. 14, No. 3
1992年9月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL Sept., 1992

中国大陆板内地震活动自组织孕震模式的初步探讨

陆阳泉 赵和云 钱家栋

（国家地震局兰州地震研究所）

摘 要

本文在前人工作的基础上，分析了中国大陆板内地震活动的总体特征和地质构造背景及其动力学条件，把中国大陆看成一个整体系统，研究整体系统中地震事件的多层次结构及不同层次地震事件的相互联系，提出了中国大陆板内地震活动的自组织孕震模式，并进行了初步讨论。

一、前 言

近年来，系统科学和非线性理论在地震学研究中得到了广泛应用并取得了一定进展，人们越来越认识到地震的孕育和发生过程是一个多层次、多因子的非线性过程。理论和实验研究已经证实，这种非线性复杂系统的演化不是唯一的、确定的，而可能出现多种不同的结果，即在确定性系统中蕴藏着随机性与混沌行为。研究孕震过程中确定性与随机性的统一，寻找更广义、更普适的前兆场的有序演化过程和时空结构，对于地震预报研究有实际意义。

以往的研究仅仅是着眼于单个地震孕育过程，而对于中国大陆板内地震活动的总体特征研究较少。本文把中国大陆视为一个整体系统，将各个地震带或地震活动区视为子系统，考察整体系统的多层次结构和子系统不同层次之间的相互作用，研究了中国大陆地区地震活动的总体特征，进而提出了一种新的孕震模式——自组织孕震模式。

二、中国大陆板内地震活动过程的自组织现象

1. 地震活动时间（周期）分布的自组织现象

早在1960年，梅世蓉在研究中国的地震活动性时就注意到了强震活动的周期性特征，指出中国的构造地震活动在时间轴上高低起伏，其周期约为1000年[1]。后来许多学者进一步分析了全国各主要地震带（区）强震活动的时间分布规律，发现地震活动在时间上存在着层次性结构和韵律性特征。地震活动周期可以划分成300年左右的“地震期”[2]和20—30年左右的“地震幕”[3]。还有周期更长的“地震世”，时间尺度约千余年及周期更

短的“地震阶”，其时间尺度仅为几年。更低层次的周期可能为持续几个月的“地震丛”。地震活动在时间分布上的周期性规律和层次性特征似乎可以表明存在着某种自组织现象。

2. 地震活动空间展布的自组织现象

大量观测资料表明，在一次大地震的孕育过程中，其所引起的前兆性地震活动范围比未来震源区大数10倍，随着大震的临近，地震活动范围一步步向震源区收缩。如唐山大地震前，震源区及其邻近较大的区域内中小地震活跃期和平静期交替出现，随着大震的临近，中小地震向大震震源区及其周围迁移和集中。1966—1976年中国发生的9次大地震前区域地震活动也具有类似的现象[4]。地震活动的条带性、成串性、块体性、网络性[5—10]等都反映了不同空间尺度，不同层次结构的地震群体活动特征。因此，在研究地震活动总体特征时，不应孤立地研究某一个单独地震，而是把整个地震带（区、块、网）作为一个统一系统来讨论，这时就会发现，尽管它们的时间尺度不同、空间范围不同、震级大小不同，但它们的活动图象基本上都是相似的，具有明显的非线性特征（图1，图2）。

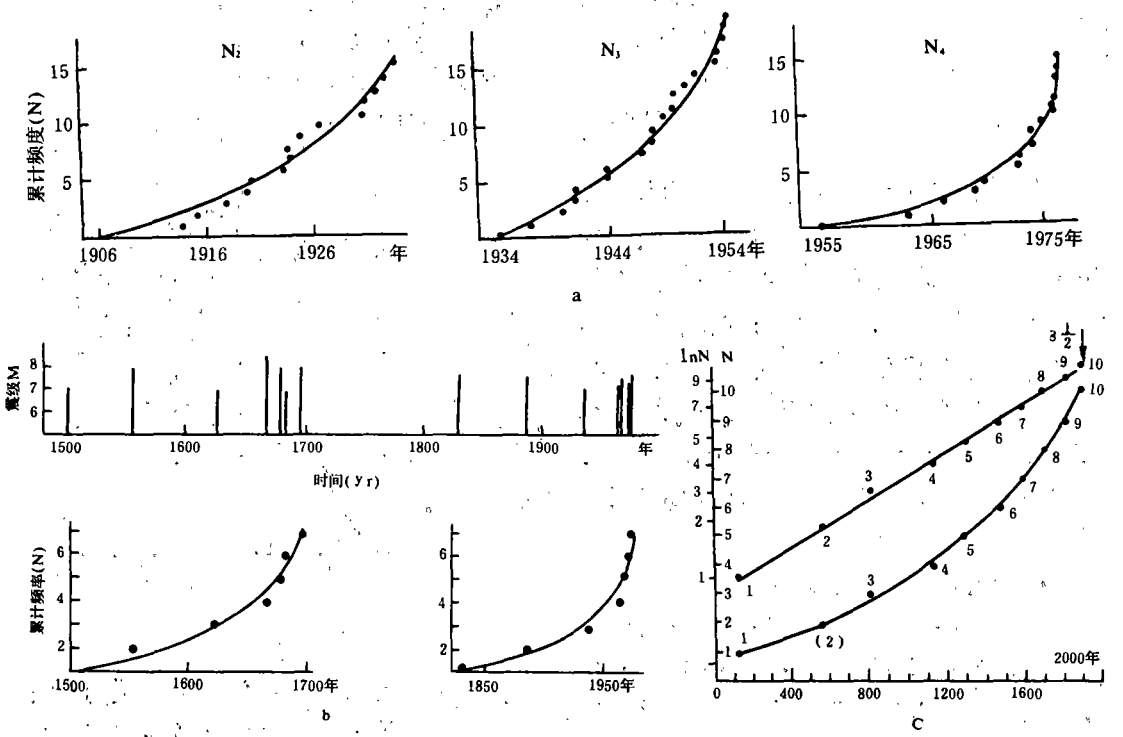

图1　地震活动时间分布的自组织现象

a. 各轮回的强度累计频度曲线（据张国民）

b. 华北强震活动的时间分布图（据张国民）

c. 南北地震带北段强震组的有序性（据李海华）

Fig. 1　The self—organization phenomenon of the seismicity time—distribution

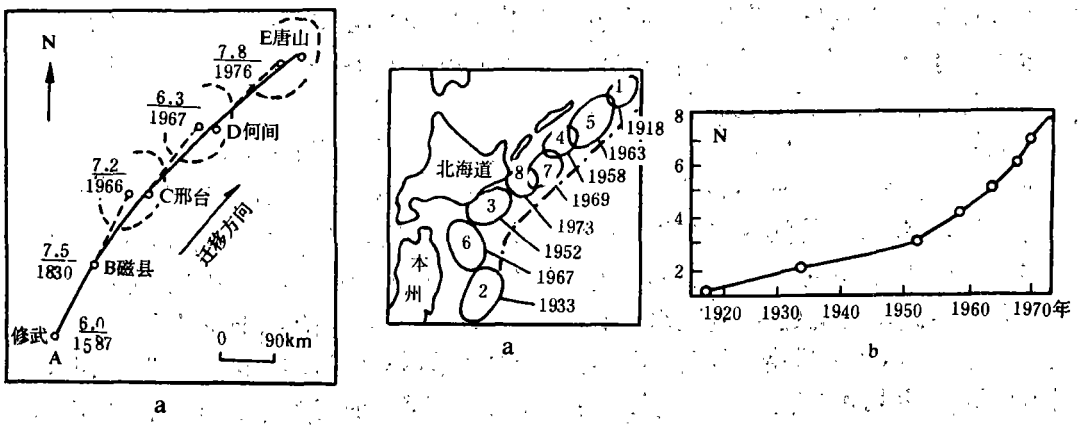

图 2 地震活动空间分布的自组织现象

a. 华北拗陷地震带 6 级以上地震的空间动态韵律（据王泽皋）

b. 千岛海沟西南部—日本海沟北部 1918—1973 年的地震分布（据张国民）。左图为震中分布及时间序号；右图为累积频度曲线.

Fig. 2 The self—organization phenomenon of the seismicity spatial—distribution

3. 地震活动频度和强度的自组织现象

在许多强地震之前都观测到了地震活动性异常，如小震活动频度增加；地震活动密集、平静现象；地震空区；所发生的地震震级呈弱—中—强逐步升级等等现象，它们都反映了大小地震之间的相互关系和有序结构。著名的古登堡—里克特公式 $LgN=a-bM$ 本身就表征了大小地震之间的相互关联，反映了地震总体活动的自组织特征。

4. 岩石破裂实验的启示

从岩石破裂实验中产生的声发射现象也可以证实，岩石内部发生的微破裂的空间分布具有自组织结构。图 3 是茂木清夫在岩石破裂实验中得到的微破裂时空分布图象。该图显示，样品在外载作用下，应力很小时无微破裂出现（图中 A 区）；随着载荷增加微破裂也逐渐增多，并较均匀地分布在整个样品上（B 区），表现出最无序的状态；应力继续增高，全区小破裂减少，大破裂增多并向未来主破裂附近迁移和集结（C 区），向有序转化。平田在 40MPa 围压下对花岗岩进行的破裂

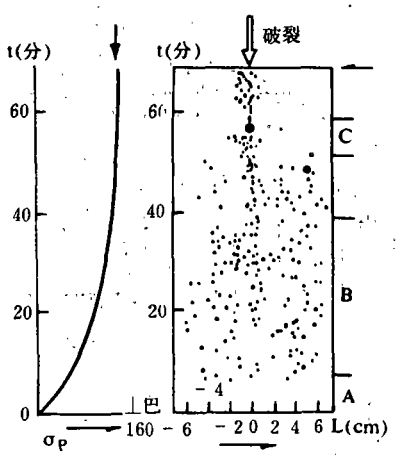

图 3 岩石破裂实验中微破裂时空分布的自组织现象〔花岗岩样品形变中弹性脉冲源的时空分布图（据茂木清夫）〕

A. 无微裂 B. 整个体积上微破裂的扩散分布 C. 微破裂集结在未来主干断裂方向附近

Fig. 3 The self—organization phenomenon of micro—rupture time—spatial distribution in rock rupture experiment

实验同样得到了上述结果[11]。日本学者还在实验中发现了岩石宏观破裂前存在声发射的空区现象，国内学者所进行的岩石试验也得到了类似结论[12]。本文作者在现场开展 100×100×150cm³ 大尺度试件三轴加载实验和 100×100×85cm³ 大型花岗岩标本的缓慢破裂实验中，也观测到了微裂隙的增生、传播、密集和串通等多次破裂过程以及声发射脉冲的平静、增强交替出现和伴随宏观破裂的强脉冲现象[13,14]。将岩石破裂实验结果与实际地震活动进行对比就会发现，岩石内部微裂隙的迁移、丛集、围空、串通的有序结构完全是自发形成的，其本身具有自组织的功能。

5. 孕震地质构造背景和介质力学性质的非均匀性

地震活动过程中为什么会有自组织功能呢？这是因为有不均匀的地质构造背景和动力学原因。中国大陆地震活动的分布，主要集中在几个地震活动带和一些有关的构造部位，而地台区和一些稳定区域却没有发生地震，说明地震的孕育（或自组织演化）需要有一定的环境条件和背景。因此，在研究中国大陆板内地震孕育的总体特征时，对其环境系统的分析是研究自组织演化的基本前提和必不可少的条件。

从广义上讲，可以把整个中国大陆看成是由若干极不完整、极不均匀、形状各异的块体所拼合成的，各个块体或块体之间又由不同的构造元素所组成。块体有大有小，一个大块体有许多中块体组成，而一个中块体又由许多小块体所组成。无论块体大小，每个块体都有类似的层次结构，不同尺度的块体之间都有边界，边界区通常由软弱物质，或者由断层、断裂破碎带、裂隙、微裂缝等相衔接。在板块力的驱动下，块体之间发生相对运动，地震是其主要运动形式之一。各块体岩石介质的力学性质不同，受力后其动态特征也不一样，有的表现出弹性，有的表现为塑性，还有的显示出流变性质。

把尺度缩小，具体到一个地震带也同样具有层次性结构。还可以把尺度缩到更小，如一个具体孕震范围或局部地区的结构特征和岩石力学性质，同样可以找到上述特征。只不过范围愈小，介质结构和力学性质的差异显得更加突出，更加明显。

三、中国大陆板内地震活动的自组织孕震模式

1. 地震活动的动力学机制

中国大陆板块属欧亚板块的一部分，其西部被欧亚板块的主体所阻挡；北面受西伯利亚板块的约束；南面有印度洋板块向北推挤；东面太平洋板块和菲律宾板块向西和西北方向俯冲，地球动力学的研究者们认为这些板块的运动是中国大陆板内地震的基本力源。最近对太平洋和北美洲板块运动的研究表明，板块的构造运动从几年得到的平均速率和由几百万年得到的平均速率是相等的，这就意味着板块的构造运动是稳定的[15]。因此，中国大陆四周所受到的力，在地震预报研究的尺度上可以认为是不变的常力。事实上，我国大陆地震活动性有明显的“成丛性”，例如从 1976 年 5 月 29 日到 8 月 23 日，短短三个月时间内，中国大陆就发生 7 级以上地震 6 次。不能想象大陆四周所受边界挤压力会在这样短的时间内有大的变化；也不能想象每一次强震都是边界力在不断增加所

致。因此，大陆边界力的稳定性是我国大陆地区应力场形成和地震活动的基本力学条件，也是大陆内部各块体发生相对运动的重要原因，它控制着中国板内地震的孕育、发生和分布。大陆地震以水平错动为主的特征也说明了大陆四周的挤压力是大陆板内地震活动的基本力源这一事实。

2. 自组织孕震模式

基于上述基本事实，考虑到中国大陆地壳结构的多层次性、介质力学性质的不均匀性、地震活动的韵律性及大小地震之间的关联性，结合大陆板内地震活动力学条件，本文提出一种新的孕震模式—自组织孕震模式。这个模式的主要观点是：在某种多层次不均匀介质边界上施加一常应变速率的边界力，由于介质内部力学性质的差异，会出现多点局部应力集中或破裂。随着破裂所引起的应力调整和转移，或受力介质的弱化、松弛，会发生一系列破裂活动。这种破裂事件有大有小，随介质条件不同所发生破裂（地震）的类型也不同：有时为孤立型或突发型；有时以震群形式或成串出现；有时则会经过较长的平静时段。介质性质不同，破裂事件的介质部位也会随时间发生转移。所有这些特征构成了地震活动演化过程中时、空、强的自组织现象。

对于一个地震带或地震区，该模式同样可以说明地震活动的自组织演化进程。在边界力的作用下，由于地震带（区）内各个构造单元刚度不同而应力分布也各不相同。经过一定时间后，其中强度最低的部位会发生变形而首先破裂，释放部分能量发生小地震。每发生一次地震，该部位原来所承受的载荷就要向介质强度较高的地方转移。因此，强度较高的部位能量积累越来越大，加之地壳中流体的作用，有的地方会出现弱化或应力松弛，地壳中出现微破裂并且断层开始蠕滑。最初微裂隙的分布可能是随机的、分散的（处于无序状态），随着应力的不断积累，分散的微破裂逐步向某个部位迁移和集中（向有序转化）直至较大破裂发生即发生中强地震。地震后系统内的应力又会重新调整并向更高层次集中，最后在强度最高的坚固体或断层闭锁段形成高应力集中区，直至强地震发生。由于孕震系统是一个极不均匀的弹塑系统，每一次地震破裂的传播都可在塑性区或软弱带自行终止。一轮（期、幕、阶）地震活动以后，系统内可能出现暂时的相对平静，经过一定时（期）间后，在边界力的驱动下，这种暂时平静又会重新打破，出现新的地震活跃期的自组织演化过程。循环往复，便形成了地震带（区）内地震活动的周期性和迁移现象。

需要特别指出的是，以往对孕震模式的检验以能否解释较多的地震前兆现象和是否符合地球物理基本原则为标准。对于本文提出的模式，作者拟在实验中验证。即用实验方法研究大尺度样品自组织破裂的演化进程及其前兆场的时空分布规律。

四、结　语

本文在前人工作的基础上，结合我国地震活动的总体特征提出了中国大陆板内地震活动自组织孕震模式的基本构思，这只是一种大胆设想和初步探索。本文也只是抛砖引玉，希望引起讨论并能对这一领域作更深入的研究。自组织孕震模式所包含的内容十分丰富和广泛，限于篇幅，文中只对自组织模式作了极为粗浅的宏观描述。我们准备在分析

中国大陆地震活动整体规律的基础上，解剖某段时间、某一地区的地震活动和介质结构特征，提取有说服力的自组织模式的证据。同时，用数值模拟和物理实验相结合的方法对自组织模式进行更深入的理论研究和实验研究。地震活动中的自组织现象已寓于不少学者的研究成果中，笔者受益于这些思路和研究结果，并引用了部分资料。在此，谨向有关学者致以深深的谢意。

（本文1992年3月23日收到）

参考文献

〔1〕梅世蓉，中国的地震活动性，地球物理学报，Vol. 9，No。1，1960.
〔2〕马宗晋，华北地区的地震地质分析，地震战线，No. 5，1975.
〔3〕马宗晋等，1966—1976中国九大地震，地震出版社，1982.
〔4〕傅征祥，大地震前区域地震活动迁移，地球物理学报，Vol. 25，No. 6，1982.
〔5〕张国民、刘蒲雄、陈修启，高潮期中成串强震间的相互关系及其机理探讨，地震，No. 3，1991.
〔6〕时振梁等，中国地震活动的某些特征，地球物理学报，Vol. 17. No. 1，1974.
〔7〕陈章立等，大震前区域地震活动性特征，国际地震预报讨论会文集，地震出版社，1981.
〔8〕刘蒲雄、陈章立，地震条带及其在地震预报中的作用，中国地震，Vol. 1，No. 5，1989.
〔9〕戴英华等，华北中强地震前的地震活动条带特征，华北地震科学，Vol. 3，No. 4，1985.
〔10〕丁国瑜、李永善，我国地震活动与地壳现代破裂网络，地质学报，No. 1，1979.
〔11〕陈颙等，分形与分维在地球科学中的应用，学术书刊出版社，1988.
〔12〕许昭永、梅世蓉等，真三轴压缩时几种岩样微破裂定位的初步结果（待刊）.
〔13〕陆阳泉、温新民，三向压缩下大型混凝土标本的电性特征，西北地震学报，Vol. 2，No. 4，1980.
〔14〕陆阳泉、钱家栋、刘建毅，大型花岗岩标本缓慢膨胀破裂过程中电阻率和声发射前兆特征的实验研究，西北地震学报，Vol. 12，No. 2，1990.
〔15〕郑栋译，板块运动是稳定的，地震科技情报，No. 1，1992.

PRELIMINARY DISCUSSION ON SELF—ORGANIZING EARTHQUAKE PREPARATION MODEL OF INTRAPLATE SEISMICITY IN CHINESE CONTINENT

Lu Yangquan, Zhao Heyun, Qian Jiadong
(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

Abstract

Based on the former researches, the overall characteristics, architectonic setting and dynamic properties of intraplate seismicity in Chinese continent have been analysed in this paper. Taking the Chinese continent as a whole system, this paper researched the multiple stratification of earthquakes and the relationship between different size of earthquake, approached possibility of self—organizing earthquake preparation model of intraplate seismicity in Chinese continent.