

地震活动的自律现象

刘德富 黎令仪

(国家地震局分析预报中心,北京)

摘 要

我国大陆及主要活动省区的地震序列结构普遍存在有良好的自然节律性。强震以历经 8 次中强震为节并依此律(或倍 8 律)可数地发生在节点上。不同省区的强震节律活动既相似而又独立地行进,与时间无关。表明地震活动是一种有规律的自组织行为,具有自律性。

关键词: 地震序列,自律,自组织

一、引 言

研究地震活动的规律是预报地震的最现实途径。自从 Gutenberg 发现地震频度与震级之间存在有 $\log N = a - bM$ 的普遍统计规律之后, b 值一直是地震活动性估计的重要量度。在我国还曾先后采用划带分期^[1]、分区划幕^[2]或众多的地震统计,包括时域和空间域的相关分析、谱分析方法等,企图寻找可用规律。但至今各种方法包括用 b 值变化所寻找的规律仍有较大不确定性,特别是在强震的预报上收效甚微。其原因固然有地震活动复杂的一面,但也有可能是处理方法不当(例如单纯从能量或时间方面进行分析)而造成的影响。为避免此种人为因素可能产生的干预后果,本文按实际过程不失真地研究了我国几个主要地区地震活动事件自然形成的序列,发现普遍存在有良好的节律性。序列结构不仅分节有序可数,而且强震大多发生在节点上。从而揭示出一种新现象——地震自律现象。它的发现将为地震活动性提供一些新的研究因素,并有可能在强震的预测中获得一定应用。

二、资料与方法

研究地震活动规律需要较长期又较可靠的地震资料。这方面我国条件独厚、历史记载丰富而久远。本世纪以来,除了有国际仪器台网确定的中国强地震记录外,我国在解放后随着地震台网的建立以及科学工作者对大量历史地震的调查和考证,曾几经地震编目和增补,终于在 1983 年出版了《中国地震目录》^[3]。本文所用近代资料都取自于该目录。

为保证研究所用资料的长度可靠完整以及结果具有可比性,因而在分区研究强震事件($M \geq 7$)活动规律时都以 1950—1985 年期间资料为主体时段。个别地区向前延拓到上一世纪以保证资料长度。在研究中国大陆总体大地震事件($M \geq 8$)的活动规律时,资料时段取

自 1600—1985 年期间的强震序列。其中 1900 年以前的资料,本文参照《中国岩石圈动力学图集》所给出的“历史地震目录”(即将出版)进行了增补,以尽可能减少《中国地震目录》中早年可能遗缺的部分。

研究方法是将一定等级以上的地震活动一次不漏地按发生先后依次排列,构成由一次次地震事件组成的离散型震级序列。它客观地反映出地震活动起伏的自然过程,与时间间隔无关。对一定区域只要所含地震事件数目足够多,就可以寻找该区域自然序列的结构特点及其变化规律。

众所周知,地震常常沿地质构造呈条带状展布,形成地震活动带。一个省区通常含有数条地震带。在同一活动期内,地震往往在这些带上交替出现。强震有时又发生在两条地震带的交叉部位、甚至在非主要地震带上。虽然地震活动不是以省区为界的,但考虑到地震带的划分各有不同,地震序列活动又涉及到各条地震带,特别是我国当前的地震预报是以省或区可能发

生的强震活动为主要对策范围的,因此本文采用分省区研究的原则。这样做所得到的一些结果可能更有新意,更有利于地震预报的实际应用。

根据我国 1957 年地震台网建立后到 1980 年这一期间,全国(除台湾省) $M \geq 5$ 级地震活动序列的 $\log N = a - bM$ 曲线分析,发现有两个拐点影响到序列的线性关系(见图 1 中的断线和实线差异)。一个拐点在 $M = 5.5$ 级左右(A),另一个在 $M = 7$ 级左右(B)。这一变化表明有一种可能,即中强地震活动与强震活动(或强震活动与大地震活动)之间的规律既有关联又有不同。两者之间为非线性关系。因此本文在研究省区级强震事件序列时,震级下限取 5.5 级左右;而在研究中国大陆大地震事件序列时,震级下限取 7.0 级左右。

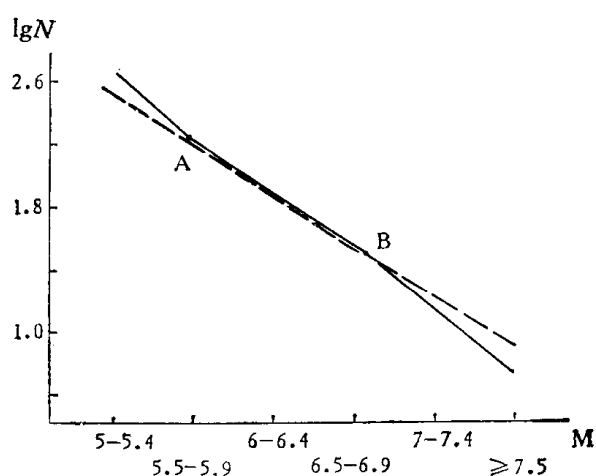


图 1 中国陆区 $M \geq 5$ 级地震活动序列的频度——震级关系(1957—1980 年)

者之间为非线性关系。因此本文在研究省区级强震事件序列时,震级下限取 5.5 级左右;而在研究中国大陆大地震事件序列时,震级下限取 7.0 级左右。

三、地震活动的节律

1. 中国大陆地震序列

中国大陆地区(指中国陆区和蒙古人民共和国地域)自公元 1600 年以来至今,有过多次强地震活动高潮期。例如: 1668—1695 年中国华北出现的三次 8 级以上大地震活动期、1902—1906 年新疆及中蒙边境的四次 8 级大地震活动期、1920—1931 年中国西北北部地区三次 8 级以上大地震活动期、1950 年前后西藏发生的两次 8 级大地震,还有 1970—1976 年华北和西南地区发生的一系列强震。它们的出现在时间上是不均匀的,有的间隔长达百年量级,有的短仅二、三十年,是一个复杂时间序列。若对其进行时域谱分析,将得到许多种周期成分,不确定性是显而易见的。而如果按强震事件排序,则可发现其序列结构是分节有序可数。

中国大陆地区 1600—1985 年发生的 $M \geq 6.8$ 级强震事件(包括主震后的强余震)共 104 次。取连续三次事件的滑动平均震级构成一个事件震级序列,其结构如图 2 所示。它有以下

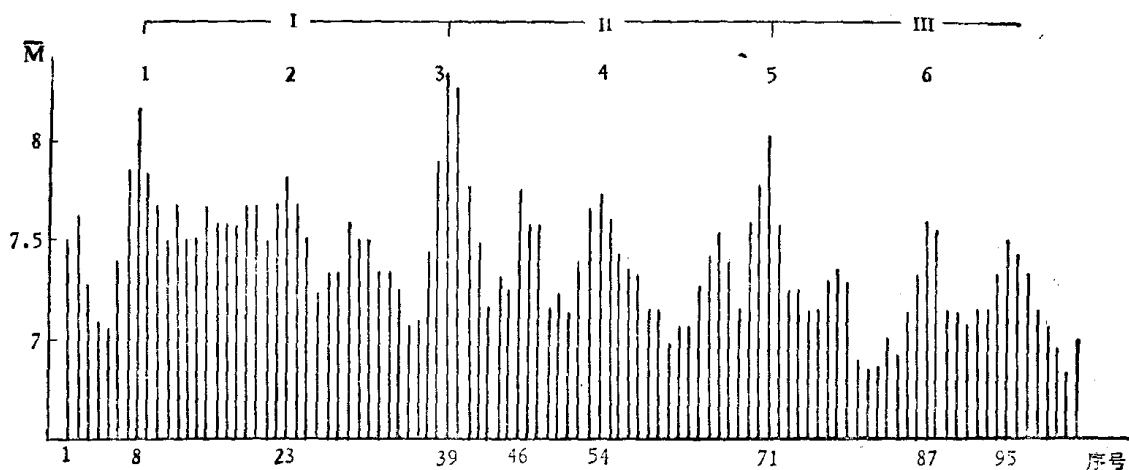


图2 中国大陆 $M \geq 6.8$ 级地震事件三次滑动平均震级 ($\bar{M}$) 序列图(1600—1985年)

几个特点:

1. 全序列可划分为三个大节(图2中I, II, III)、6个小节(图2中的1—6)。每一个大节或小节的节点都是大地震连续发生之所在。在序号8和39及71各大节点上分别发生有1668年山东郯城 $M = 8.5$ 级、1905年中蒙边界 $M = 8.4$ 级、1950年西藏察隅 $M = 8.6$ 级等一系列大地震。各小节的节点如第23和54及87也分别发生有1833年云南嵩明 $M = 8$ 级、1931年新疆富蕴 $M = 8$ 级、1970年云南通海 $M = 7.8$ 级等大地震。还有第46和95节点上分别是1920年宁夏海原 $M = 8.5$ 级、1976年河北唐山大地震等。

2. 各节长度即两个节点之间历经近7级以上强震事件数目可数而且基本相同(误差 ± 1 次事件)。各大节长度, 序号8—39和39—71各历经31次和32次事件。各小节长度, 序号8—23, 23—39, 39—54, 54—71, 71—87各历经15或16次事件。

3. 整个序列显示有韵律性。韵律是某种自然现象之间或两种不同的自然现象之间发生关联的一种节奏。开端现象(或过程)一出现, 经过一定的‘时间’或‘事件数量’, 同一现象(或另一关联现象)会按照同样的节奏重复出现。从图2可以看出, 若按大节所历经的32次事件数目为节奏计算, 则序号8—39, 23—54, 39—71, 54—87等大地震高潮活动都是按照‘32’这一韵律出现的。同样, 序列还有另一种韵律结构, 即从序号23—46, 46—71, 71—95各历经‘24’次事件的大地震活动。自然各小节的节长‘16’也是一种韵律。

序列结构的这种可分节有序可数, 强震发生在节点上并依律重复发生的现象, 我们称为节律。从上述中国大陆地区强震活动节律的特点看出, 三种节(韵)律16和24及32之间各相差为‘8’, 而‘8’又恰是各节律的最基本可公度数。从下述分析结果可看到该数字在我国强震活动的规律中起十分重要的作用。

2. 我国陆域范围大地震活动的节律

1950—1985年期间, 我国陆域发生的强震都有可靠的仪器记录。当将所有 $M \geq 7.1$ 级强震事件按发生先后排列而构成一个序列时(图3), 可看到从序号1(1950年8月15日西藏察隅大地震, $M = 8.6$)到第9(1970年1月5日云南通海大地震, $M = 7.8$); 第9到第18(1976年7月28日河北唐山大地震, $M = 7.8$)可分成两节, 节长分别历经八次和九次强地震事件。节点上的这三次大地震都是我国解放后发生的最大地震。虽然1951年西藏当雄还

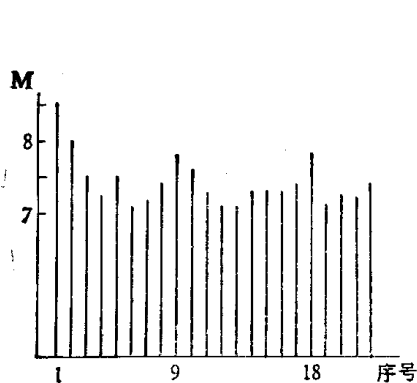


图3 中国陆域地震事件序列
(1950—1985年)

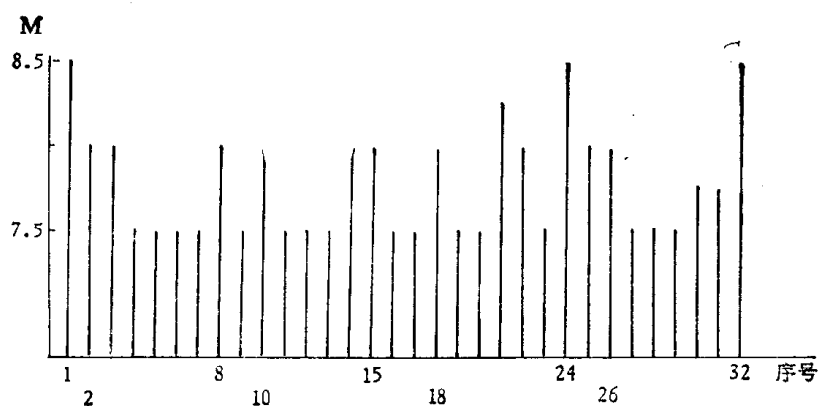


图4 中国陆区 $M \geq 7.5$ 级地震事件序列
(1668—1950年)

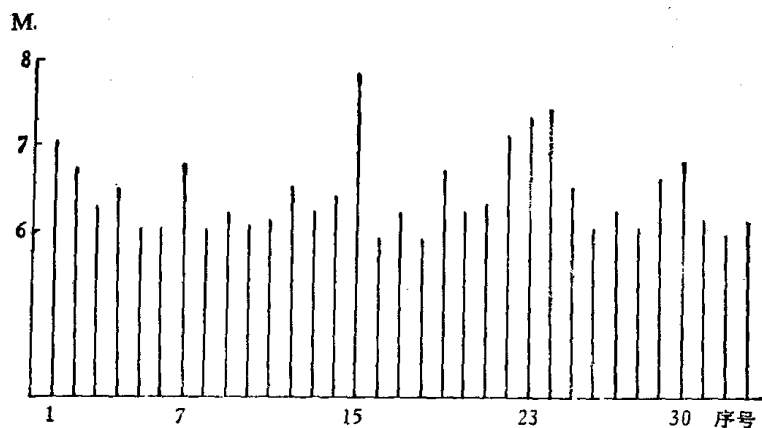
发生过一次8级地震(序号2),但由于与察隅大地震紧相随未能构成独立的一节。可是在这两次8级以上大地震之间所历经的6级以上地震事件数是16次,恰为原节长的二倍。

1950年以前我国虽然没有台网仪器测定记录,但根据国外仪器测定和我国宏观资料及历史资料所确定的强震事件还是可信的,缺漏很少,特别是对 $M \geq 7.5$ 级强震。因此将1668年到1950年期间所有发生的该等级以上的强震依出现先后排列成序时,从图4可发现从1668年郟城 $M=8.5$ 级地震到1739年宁夏平罗 $M=8$ 级地震,再到1833年云南嵩明 $M=8$ 级地震,再到1920年宁夏海原 $M=8.5$ 级大地震,直至1950年察隅大地震,其间各节历经的 $M \geq 7.5$ 级强震事件都是七或八次。尽管这些节内也有其它几次8级大地震发生,但它们之间仍以8为韵而出现。例如从1670年河北三河8级地震(序号2)到1812年新疆绥定近8级地震(序号10),再到1879年甘肃武都8级地震(序号18),直至1931年新疆富蕴地震(序号26)。又如从1833年西藏聂拉木8级地震(序号14)到1902年新疆阿图什 $8\frac{1}{4}$ 级地震(序号21);从1906年新疆玛纳斯8级地震(序号22)到1947年青海和西藏发生的两次 $M=7.8$ 级地震(序号30和31)也都是以8为韵(或节长)而出现的。

这一事实进一步表明我国陆区近几十年大地震活动所表现出来的节律(如图3中1950—1985年)并非偶然现象,几百年来基本如此,有长期稳定性。

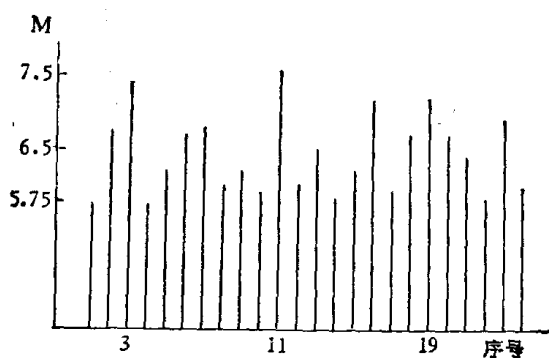
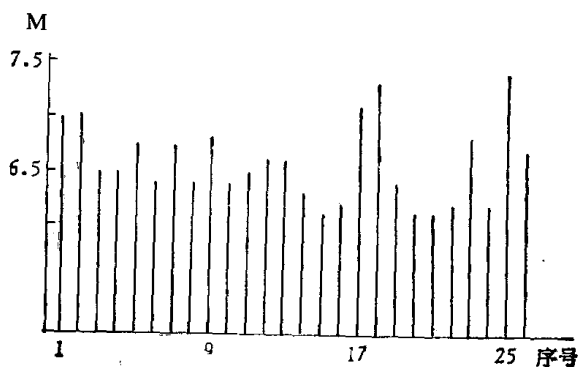
3. 云南省强震活动的节律

云南省是我国强震活动频繁的地区之一。仅1950—1985年发生的 $M \geq 5.9$ 级地震事件就有33次之多,居全国各省区之第三位。这些强震活动事件组成的序列如图5所示。可以看出,自1950年2月3日勐海7级地震起(序号1)到序号7(1955年永仁, $M=6\frac{3}{4}$),7到15(1970年通海, $M=7.8$),15到23(1976年龙陵, $M=7.3$ 和 $M=7.4$)以及23到30(1979年普洱, $M=6.8$)共有五节,除第一节长度略短外,其它各节长度都历经了八次中强以上地震事件。各节点上发生的都是近7级以上强震,震级都比节内的高。第五节正在行进之中,整个序列显示出良好的节律性。只有1974年的昭通7.1级地震未能构成独立一节。同我国陆域大地震活动完全相似,也是以‘8’为律的。

图 5 云南省 $M \geq 5.9$ 级地震事件序列(1950—1985 年)

4. 四川省强震活动的节律

四川省处于我国南北大地震带的中段。强震活动主要集中在武都—马边, 康定—甘孜和安宁河谷三个地震带上。历史上虽然没有发生过 8 级大地震, 但近 30 多年来已有多次 7 级以上强震。在这样一个具有多组不同方向构造强烈活动的省份, 强震事件序列的结构仍然表现出以‘8’事件为节长的活动规律。图 6 是四川省 1950—1985 年期间 $M \geq 5\frac{3}{4}$ 级地震事件序列变化情况。从序号 3 (1955 年康定 7.5 级地震) 到 11 (1973 年炉霍 7.6 级地震), 11 到 19 (1976 年松潘 7.2 级地震) 都是历经八次而在节点上发生 7 级以上强震的。只有 1976 年 8 月 16 日和 22 日松潘发生的两次 7.2 级地震中的第一个地震(序号 16)不在节点上, 但它以 7—9 为韵向前或向后都有较强地震与之相应。例如从序号 7 (1960 年 11 月 9 日松潘 $6\frac{3}{4}$ 级地震) 到第 16, 第 16 到第 23 (1981 年 1 月 24 日道孚 6.9 级地震)。

图 6 四川省 $M \geq 5\frac{3}{4}$ 级地震事件序列
(1950—1985 年)图 7 新疆地区 $M > 6$ 级浅源地震
($h \leq 60\text{km}$) 事件序列(1950—1985 年)

5. 新疆和西北地区强震活动的节律

新疆地区强震活动居我国之首。仅本世纪就有三次 8 级、十二次 7 级大地震发生, 中强地震近三百次之多。具有频度高、复发周期短、强度大三个明显特点。地震活动分布广阔, 跨度可达 2000km, 主要集中在南北天山地区, 尤以南天山为最集中。作者曾指出其西部小区内强震活动有明显的节律性^[4]。1950—1985 年期间新疆全区 $M > 6$ 级浅源地震事件按发生先后

排序(图 7),发现从序号第 1 (1955 年乌恰双 7 级地震)到第 9 (1961 年巴楚 $M = 6.8$ 级地震)、第 9 到第 17 和 18 (1974 年巴里坤 $M = 7.1$ 级和乌恰 $M = 7.3$ 级地震)、第 17 到第 25 (1985 年乌恰 $M = 7.4$ 级地震)可分为四节,节长都为 8,节点上都是强震,节内震级都低。研究还发现,即使序列起始震级取 $M = 5.7$ 级,新疆地区仍然存在以 8 为节律的活动,只是节数增大、节点上出现一些 6.5 级左右的强震而已。

西北地区的甘肃和青海两省解放后发生的强震事件不多,考虑到新疆 80°E 以东地区境内也基本如此,不易独立分析其强震序列结构,因而将其组合起来,成为研究跨区域的序列结构特征。该区 1947 年到 1985 年共发生 $M \geq 6$ 级地震 34 次,序列如图 8。从序号第 1 (1947 年青海达日 $M = 7.7$)到第 10 (1954 年甘肃山丹, $M = 7.4$)、第 10 到第 18 (1963 年青海阿兰克湖, $M = 7$)、第 18 到第 25 (1974 年新疆巴里坤, $M = 7.1$)、第 25 到第 33 (1981 年青海乌兰乌拉湖, $M = 6.8$) 等分为四节。节长分别为 9, 8, 7 和 8, 平均为八次,各节点上都是强震,只有一次不在节点上,即 1949 年新疆库车, $M = 7.4$ 级地震。图 8 表明即使区域扩大,几省区组合在一起,其强震活动依然分节有律,律长大致不变。若将该区序列起始震级降低到 $M = 5.5$,发现其节律也同样存在,只是节长增大为‘16’,成倍 8 节律。

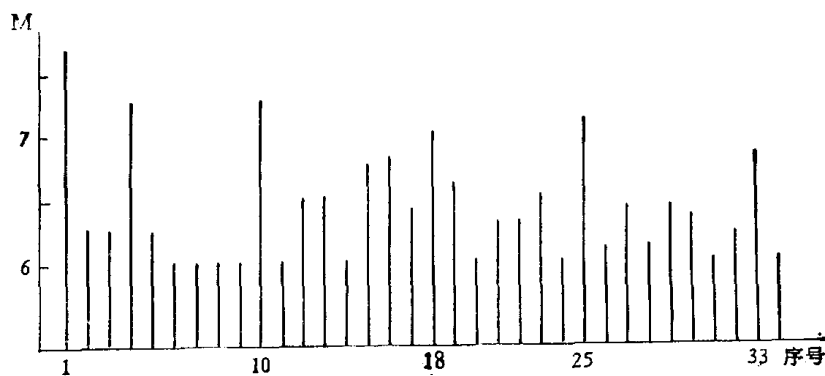


图 8 新疆 (80°E 以东)、青海、甘肃地区 $M \geq 6$ 级地震事件序列(1947—1985 年)

6. 华北地区强震活动的节律

华北地区包括河北、山西、山东及京津等省市,是我国东部近代地震活动最强烈地区。历史上 17 世纪后半叶曾发生过多 8 级以上大地震,最近 20 年再度活跃相继发生了邢台、唐山等大地震。由于该区历史地震记载丰富,可靠性较好,因此分析了自 1830 年到 1985 年的全部 $M \geq 5.4$ 级地震活动事件。从图 9 (a) 可以看出该区序列依然分节有序可数。从序号 1 (1830 年河北磁县, $M = 7.5$)到 9 (1937 年山东菏泽, $M = 7.9$)到 17 (1966 年河北邢台, $M = 7.2$)、17 到 25 (1976 年河北唐山, $M = 7.8$)、25 到 32 (1976 年天津市宁河, $M = 6.9$) 共有四节,每节长度几乎都历经八次中强地震事件,7 级以上强震都发生在节点上。只有序号第 28 是唐山大地震当天晚上发生 7.1 级强余震例外。

单独考察河北省同期的序列结构(图 9 (b)),可以看到以 8 为节律的活动特征是稳定存在的。它只比全华北区域的序列减少了以山东菏泽 7 级地震为节点的那一节而已。

7. 余震活动序列的节律

强余震活动是否分节有律,在大地震发生后的预报工作中有重要意义。从 1976 年唐山大地震发生后的强余震序列看,节律仍是十分鲜明的。根据《中国地震目录》取 1976 年 7 月 28

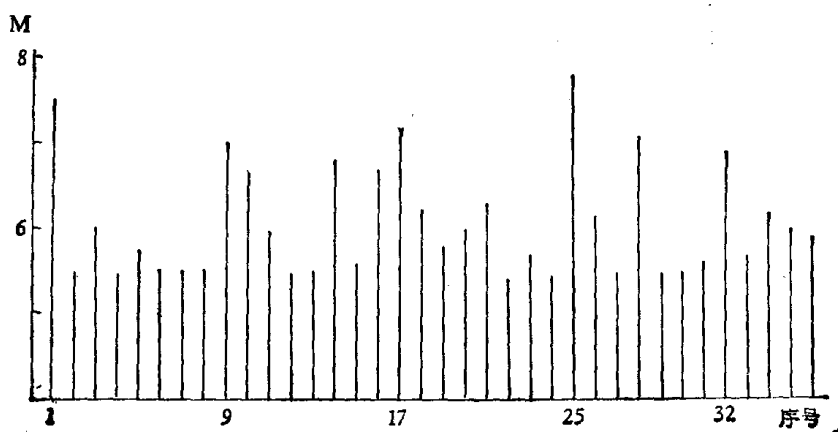


图 9(a)

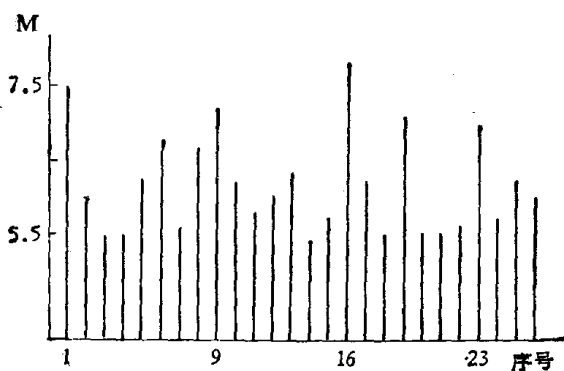


图 9(b)

图 9 (a) 河北、山西、山东三省区 $M \geq 5.4$ 级地震事件序列(1830—1985 年)

(b) 河北省 $M \geq 5.5$ 级地震事件序列(1830—1985 年)

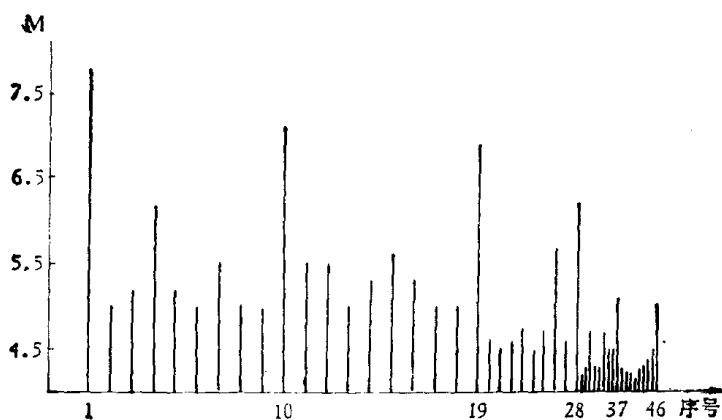


图 10 唐山大地震余震序列图

(1976.7.28—1976.11.15 取 $M \geq 5$ 级事件,
1976.11.16—1977.5.12 取 $M \geq 4.5$ 级事件,
1977.5.13—1979.9.2 取 $M \geq 4.2$ 级事件)

自唐山大地震主震发生后到 1979 年止,出现在唐山地区和天津市地区范围内的所有地震都看做为主震后的余震活动,并随着余震活动能量的逐渐衰减,序列起始震级不断降低,这样组成一个如图 10 所示的余震序列。可以看出从 7.8 级主震发生起始(序号 1)到当天午后卢龙 7.1

级(序号 10),再到 11 月 15 日宁河 6.9 级(序号 19)都历经了九次 $M \geq 5$ 级中强地震。其后由于 5 级以上余震活动次数锐减,到 1977 年 5 月 12 日天津 6.3 级强余震发生,其间历经的 $M \geq 4.5$ 级余震活动次数仍为九次。这次强余震过后再没有发生过 5.5 级以上的余震活动。但直到 1979 年止又每历经九次 4.2—4.7 级余震活动就发生一次 5 级多的地震。这一事实说明,尽管余震活动的序列结构较为复杂,但仔细分析仍有节律可寻。类似的现象在 1975 年辽宁海城 $M = 7.3$ 级强地震的余震活动中亦可发现。海城地震主震发生后到 1978 年止,其间发生的两次 6 级强余震,也都是以历经九次中等余震为节律的。

四、结 论

1. 强震事件序列结构自然地分节有律是普遍存在的客观现象。
2. 不同区域内的强震活动普遍以历经八次(或倍 8)中强以上地震为律,与时间无关,节点上都是强震。
3. 不同区域的节律具有长期的稳定性和独立行进性,不受区外强震活动的影响。
4. 强震活动特别是大地震活动有韵律性。
5. 余震活动,特别是强震发生后的早期强余震也有一定的节律。

这种与时间无关,不因区域不同及区域之间可能有的构造活动互相影响而彼此独立,并以相似的节奏长期保持稳定行进的强震活动,是地震自律性的表现。也就是一种有规律的自组织行为。其本质机理目前尚认识不清。是否与地壳块体因持续受力,在一个个孕震体不断形成与消解的过程中,由于相互并反复地进行着能量的交换(包括积累与释放、传递与转移),逐渐趋向协同,使其地震活动状态从不稳定变为稳定,从行为无序变为有序,因而形成分节有律的现象有关?是很值得深入探讨的理论问题。

地震自律比 ' b ' 值所反映的不同震级与频度间的总体统计平均关系更精细地描述了地震活动序列自身的有序行为。它的揭示不仅可能给地震活动性理论研究带来某种新的活力,而且以其简单而又客观的分析方法为区域性强震事件的预报开拓了新途径。其应用能力可望实现在指定区域较明确地预测下次地震的活动水平或还需历经多少次中强震事件才可能有大地震发生。自然,这种预测不能指定时间。

本文研究所得到的自律现象还只是对中强以上地震序列进行的。随着序列震级下限的降低,序列结构会有怎样的变化,序列节律之间还有什么样的互相关联,以及节律性与区域的不同组合是否有关?特别是不同序列之间自律性的统一数学描述等问题都还需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 时振梁等,地球物理学报,17(1974),1:1—12.
- [2] 马宗晋等,中国九大地震,地震出版社,1982,189—204.
- [3] 顾功叙主编,中国地震目录,科学出版社,1983.
- [4] 刘德富,地震,1986,6:48—50.