

地震活动的空间层次性特征

王立新¹, 李娟², 陈 颖³

(1. 中国科学院地球物理研究所, 北京 100101;

2. 中国地震局分析预报中心, 北京 100036; 3. 中国地震局, 北京 100036)

摘要: 分析了中美洲及北京地区不同时段、不同尺度区域的地震活动特征, 试图揭示地震空间活动的层次特征. 结果表明, 不管所研究区域的范围和总体地震活动水平如何, 总可以把它分为几个地震活动水平分别为高、中、低的小区域; 在把一个区域粗略划分成4个小区域的情况下, 地震活动性最高与最低小区域的地震数目比值约为4~5; 对于更小的区域, 地震活动也都具有这种规律, 表现出很好的层次性, 并且这种层次性不依赖于时间和震级. 地质构造的空间层次性是产生地震空间分布层次性的可能原因.

关键词: 地震活动性; 空间分布特征; 层次结构; 分形

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)01-0021-05

0 引言

地震活动性研究侧重于考察地震活动总体的时间、空间和强度分布特征. 人们根据地震活动的一些统计特征, 如空间集中性、时间依从性和强度比例性等, 将地震活动从空间上划分为地震区或带, 强度上归纳为震级-频度关系, 时间上则根据不同的假设前提构成各种时间序列模型^[1]. 近年来, 从分形几何学角度进行的研究表明, 许多地震参数的分布具有分形特征, 如震级、发震时间、震源位置^[2]、断层错动位移、地震矩等^[3, 4].

1994年乌洛莫夫综合了地质调查和深部探查资料, 研究了中亚地区的岩石构造, 证实了地球的岩石圈具有层次结构(hierarchy)^[3]. 前苏联科学家发现, 在空间上地震活动除了具有集中性以外, 还具有层次结构^[5]. 层次结构表明岩石圈构造具有标度不变性(scale-invariant), 这是一种分形构造. 这些研究主要局限在塔吉克共和国的努列克地区. 从更为广泛的角度来看, 发生在不连续的具有层次结构的地球介质中的地震活动, 其空间分布会不会也具有层次性呢? 地震活动在空间上是随机分布还是丛集分布? 本文在上述研究的基础上, 选择中美洲及北京地区, 侧重于运用分形的理论研究不同时段、不同尺度区域的地震活动性, 试图揭示地震空间分布的层次特征.

1 数据来源及分析方法

本文采用的地震资料主要来源于由国际地震中心(ISC)提供的美洲地区($4^{\circ} \sim 19^{\circ} \text{N}$,

收稿日期: 1999-12-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40074023)

作者简介: 王立新(1976-), 男(汉族), 安徽潜山人, 在读研究生, 主要从事地震活动性研究.

77°~93°W)1964~1994 年 4.5 级以上地震目录;由美国地质调查局(USGS)提供的中美洲地区 1692~1994 年 6.0 级以上历史强震目录以及由中国地震局(CSB)提供的北京地区(35°~42°N, 108°~125°E)1970~1998 年 1.0 级以上地震目录(表 1).

表 1 选取地震事件的时空范围、震级下限

地震目录	时间范围	空间范围	最小震级	地震数目
中美洲(历史)	1692~1994 年	4°~19°N 77°~93°W	6.0	566
中美洲(现代)	1964~1994 年	4°~19°N 77°~93°W	4.5	2 176
北京地区	1970~1998 年	35°~42°N 108°~125°E	1.0	60 948

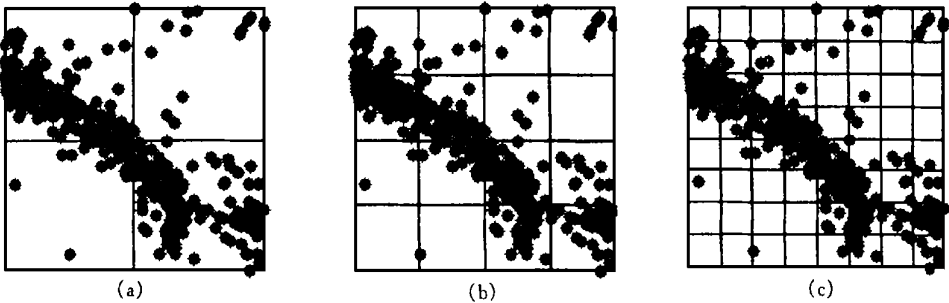
采用 G-C 方法^[6]删除了所用地震资料中的余震.该方法是一种新的鉴别余震的方法,它将余震的空间尺度与断层长度联系了起来,余震的时间范围则采用 Console 等给出的时间窗^[6].

所选的研究区域是一个长方形区域,参照文献[3]的分析方法,先将整个长方形区域等分成 4 个一级长方形,再将每个一级长方形等分成 4 个二级长方形(共 16 个),每个二级长方形又再等分成 4 个三级长方形(共 64 个),见图 1.

对于上述 3 个等级的长方形,分别计算它们的地震活动指数.所谓地震活动指数,是指一个长方形内的地震数目与包含它的上一级长方形内地震数目之比.这个指数可以粗略地反映一个区域内部各组成部分的相对地震活动水平的强弱.例如,如果 4 个一级长方形中地震数目分别为 n_1 、 n_2 、 n_3 和 n_4 ,则这 4 个一级长方形的地震活动指数分别为:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= n_1/(n_1+n_2+n_3+n_4) \\ P_2 &= n_2/(n_1+n_2+n_3+n_4) \\ P_3 &= n_3/(n_1+n_2+n_3+n_4) \\ P_4 &= n_4/(n_1+n_2+n_3+n_4) \end{aligned} \right\} \tag{1}$$

将不同级别长方形的 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 分别按从大到小的顺序排列起来,绘在图上.对第二、三级长方形取的是各自的平均值,即第二级长方形的地震活动指数按照上一级的 4 个长方形进行了平均,第三级则按第二级的 16 个长方形进行了平均.



(a) 4 个一级长方形; (b) 16 个二级长方形; (c) 64 个三级长方形

图 1 中美洲地区 6 级以上地震震中分布(1692~1994 年)及不同等级长方形的划分

Fig. 1 Distribution of $M_s \geq 6$ earthquakes in Central America from 1692 to 1994 and the divided rectangles of different scales.

2 地震活动的空间层次特征

图 2 给出了中美洲地区 2 个时段及北京地区不同等级长方形的地震活动指数变化曲线, 从图中可以看出地震活动具有以下特征:

(1) 单独考虑图中的任一条曲线可以发现, 不同长方形也即不同区域的地震活动指数相差很大. 有的地方只有零星地震存在; 有的地方地震却很密集, 可以占整个区域地震数目的 50% 以上; 另外一些地方地震活动则为中等水平. 活动性最高的长方形内的地震数目与活动性最低的长方形内地震数目的比值约为 4~5.

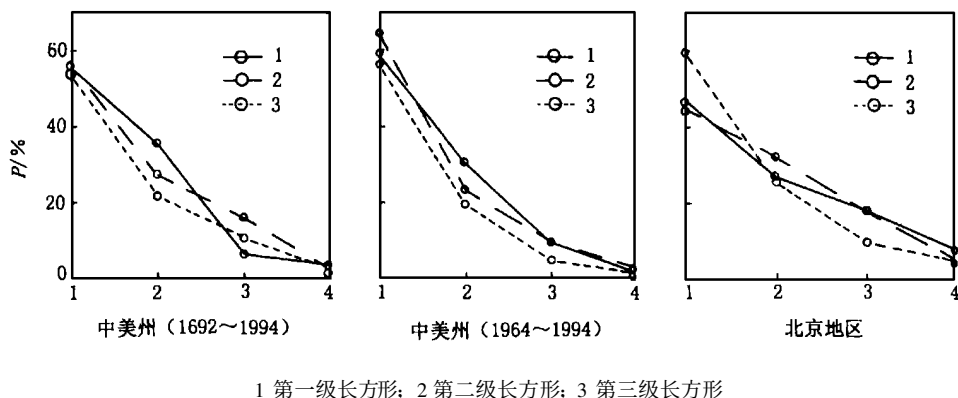


图 2 中美洲和北京地区不同等级长方形中的地震活动指数变化曲线

Fig. 2 Curves of seismicity indices of different scaled rectangles of Central America and Beijing region, China.

萨多夫斯基在对前苏联地震活动区作了大量计算检验后发现, 如果地震在空间上是随机分布的, 则在典型情况下地震活动性最高的网格中的地震数目与活动性最低网格中地震数目的比值应为 1.55 ± 0.2 , 并且随着地震数目的增加, 这个比例趋向于 1.0^3 . 这个数值远小于由图 2 得出的数值 4~5. 由此可以得出结论, 在 4 个相邻长方形内地震活动下降 4~5 倍的效应是显著的, 地震空间分布并不是完全随机的, 而是呈现出明显的丛集特征.

(2) 综合考虑图中的所有曲线可以发现, 对应于不同等级长方形的所有地震活动指数曲线都是相似的, 其下降趋势都比较一致. 在任意一级相邻的 4 个长方形中, 都可以找到地震活动水平分别为高、中、低的区域. 地震活动水平最高的长方形内地震数目约占研究区域地震总数的 50%, 而活动指数最低的长方形内的地震则只占总数的 10% 左右, 二者地震数目之比约为 4~5.

上述结果与所划分的长方形的级别无关, 也即与观测尺度无关. 这意味着在较大区域中存在着地震丛集现象, 而在进一步划分的更小区域中这种分布规律仍然存在, 表现出很好的层次性和标度不变性. 这个结果表明: 不管一个区域总体地震活动水平如何, 都可以把它划分成更次一级的地震活动水平分别为高、中、低的小区域, 最高与最低小区域的地震数目比值约为 4~5.

应该指出, 上面的结论是在按区域面积求平均值的基础上得到的统计结果. 对于某些个别地段, 可能会出现与之不符的异常情况, 高、低地震活动地带的比值可能会与一般规律有所偏离, 这时要结合当地具体地质条件进行分析.

3 时间和震级对地震活动空间层次性的影响

为了研究地震活动指数随时间的变化特征, 对北京地区 1970~1998 年发生的 2 级以上的

地震进行了详细研究. 将整个时段分为3段, 即1970~1979年、1980~1989年和1990~1998年. 对每一子时间段分别作出相应的地震活动指数曲线, 结果见图3.

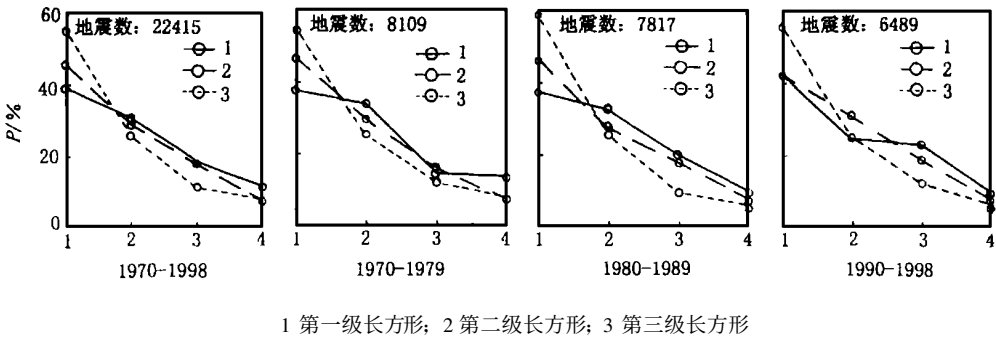


图3 北京地区不同时间范围内的地震($M_s \geq 2$)活动指数变化曲线

Fig. 3 Curves of seismicity indices of different scaled rectangles during different periods in Beijing region.

从图中可以看出, 不同时段内的曲线虽然在细节上略有差异, 但都具有比较相似的总体特征, 即不同级别长方形的地震活动指数曲线下降的趋势都很一致, 地震活动最高与最低的长方形内的地震数目之比都集中在4~5左右. 这说明地震活动的空间层次性在不同时段遵循着相同的规律, 是与时间无关的.

为了考察震级的影响, 选取不同的震级下限, 对北京地区发生的地震按震级进行了重新分类. 挑选出 $M_s \geq 2.0$ 、 $M_s \geq 3.0$ 、 $M_s \geq 4.0$ 和 $M_s \geq 4.5$ 的地震, 分别作出它们的地震活动指数曲线, 图4给出了最后结果.

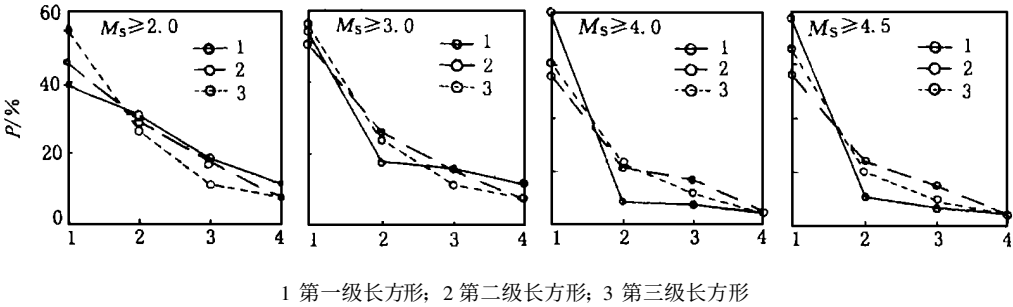


图4 北京地区不同震级范围的地震活动指数变化曲线

Fig. 4 Curves of seismicity indices of different scaled rectangles of different magnitudes in Beijing region.

从图4中可以看出, 不同震级的曲线总体变化规律是相似的, 有着良好的一致性. 这说明地震活动的空间层次性与地震震级下限关系不大. 同时也可以看到, 图4中不同震级的曲线除了拥有上面所述的共性之外, 相互之间还有一定的差异, 有震级越高, 曲线越陡的趋势. 这可能是由于震级越高, 地震数目越少, 不均匀性更明显的缘故.

由于中美洲地区2个时段内的地震数目较少, 按时间或震级划分后数目更少, 不适合于用作统计分析, 故本文没有对中美洲地区的地震活动进行随时间和震级变化的分析.

4 讨论

以上分析表明, 在一个区域的同一级别长方形中地震活动指数从最高的40%~50%下降到最低的10%左右. 这个性质对于不同级别的长方形都是相同的, 与长方形的级别无关, 也与所研究区域的尺度大小无关, 具有标度不变性(scale-invariant). 这是一种分形分布^[3].

地震现象作为岩石破裂的产物,其空间分布应与岩石圈的空间结构有关.地质构造空间分布的不均匀性与层次性是产生地震空间分布层次性的一个可能原因.

乌洛莫夫(1994)证实了地球的岩石圈具有层次结构(hierarchy)^[3].岩石圈可以分成许多块体,大的块体即板块,而板块又可以分成一些更小的次一级块体,一层层分下去,形成层次结构.不同尺度的断层对应着不同震级的地震.岩石层的这种空间层次结构便导致了地震活动的空间层次分布.

地震活动的层次性给出的一个直接结果是,即使在较小面积范围内也可以找到比较平静的地震活动地段,其地震活动要比邻近地段低4~5倍.根据这一结果,就可以把这样的平静地段选择为工业建筑物、原子能电站和化工设备等大型重要设施建设的场地,从而可以大大减少地震危险性.世界上许多国家如日本、德国、美国等已开始使用此方法进行场地小区划及工程建设选址工作.

[参考文献]

- [1] 傅征祥.中国大陆地震活动性力学研究[M].北京:地震出版社,1997.
- [2] Kagan Y Y Knopoff L. Spatial distribution of earthquakes: the two-point correlation function[J]. Geophys J R Astr Soc, 1980, 62: 303—320.
- [3] 陈,陈凌.分形几何学[M].北京:地震出版社,1998.
- [4] Turcotte D L. 分形与混沌——在地质学和地球物理学中的应用[M].陈,郑捷,季颖译.北京:地震出版社,1993.
- [5] 陈英方.非线性科学在地球物理和地震学中的应用研究专辑[J].国际地震动态,1994,(11):1—40.
- [6] 陈凌,刘杰,陈,陈龙生.地震活动性分析中余震的删除[J].地球物理学报,1998,41(增刊):244—252.

THE HIERARCHICAL CHARACTERISTIC OF SPATIAL DISTRIBUTION OF EARTHQUAKES

WANG Li-xin¹, LI Juan², CHEN Yong³

(1. Institute of Geophysics, CAS, Beijing 100101, China;

2. Center for Analysis and Prediction, CSB, Beijing 100036, China;

3. China Seismological Bureau, Beijing 100036, China)

Abstract: Seismicity feature of different scaled rectangles of Central-America and Beijing region is analyzed to study the hierarchical characteristic of spatial distribution of earthquakes. The result shows that the spatial distribution is hierarchical and scale-invariant. When the studied area is roughly divided into four small regions, the ratio between the number of earthquakes of the small region of which seismicity is high and the number of small region of which seismicity is low is 4~5. The earthquake distribution of smaller regions divided further possesses the same regularity. And this hierarchy is independent on time and magnitude. The hierarchy of crustal structure is the possible reason for the hierarchy of the earthquake spatial distribution.

Key words: Seismicity feature; Spatial distribution characteristic; Hierarchical structure; Fractal