

门源6.4级强震前地震活动 时间的分维结构

李海华 张文孝¹⁾ 张勇利 马文静²⁾ 郭亚平²⁾

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文应用分维概念与方法,引入度量地震活动时间不均匀结构的物理量D对门源地区(37—38°N, 101°30′—103°E) 1970—1985年地震活动的时间结构进行了初步分析。发现门源6.4级强震前D值随时间系统减小,表明愈接近强震发生时间,该地区地震活动的时间结构愈不均匀,即对称性破缺或有序性增强,其有序性具有多层次嵌套的自相似特征。

一、方法与资料选取

1. 关于度量地震活动时间及其不均匀结构的物理量D

关于分数维的基本概念及其测定方法可见文献〔1〕,本文应用标度变换法计算地震活动时间结构的分数维。

若将地震事件在时间轴上视为“点过程”,则地震活动为类似康托尔不连续集合。令所取的起讫时间为1个单位,那么取一系列愈来愈小的时间标度($\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{8}$ 、…… ϵ)作为时间“尺子”去量取“有震时间段数”(N($\frac{1}{2}$)、N($\frac{1}{4}$)、N($\frac{1}{8}$)……N(ϵ)),然后在双对数坐标系上画出 $\lg N(\epsilon) - \lg 1/\epsilon$ 曲线,其直线部分的斜率就是分数维D,可用最小二乘法求出。

在一定的时间范围内,若D=1,意味着“有震时间段”在该时间范围内处处“充满”,亦即地震活动的时间分布处处均匀或完全对称或没有结构。当D<1时,则表明肯定存在“无震时间段”,即日常震情分析中常迁到的地震活动出现“密集—平静”现象,意味着地震时间结构出现不均匀,或对称性破缺,或存在有序性,而且这种结构在一定时间范围内不随 ϵ 的取值而变化,在分维理论中称为“无标度性”〔2〕。

2. 资料的选取

计算地震活动时间的D值时,首先要考虑时间精度。在一般情况下,地震观测报告给出的地震发震时刻的误差小于 ± 0.2 秒,因此在划分地震事件的时间间隔大于几秒以上的情况

下来讨论其时间分布特征和求取D时,精度是足够的。当然对大地震而言,只要相应加大所取的最小时间间隔,仍可把地震作为点过程来对待。

其次,为了保证所讨论的地震事件在时间轴上不致遗漏,所取的震级下限必须满足该地区测震台网观测能力的要求。

第三是要考虑震级的误差问题。因为相应于震级M的地震事件数量N满足G—R关系式:

$$\log N = a - bM$$

在M变化0.1的情况下,当 $b = 1$ 时,N就要增加26%或减少21%;当 $b = 0.6$ 时,N就要增加15%或减少13%。一般情况下,b介于0.5—1.2之间,因之对N的影响不可忽视。

3. 由实例讨论求D的条件

图1给出了门源地区地震活动在临近6.4级强震前的时间分维。图中虚线为斜率等于1的直线,四条实线为相同时空范围内取不同震级下限的 $\lg N - \lg(1/\varepsilon)$ 曲线,由图可见:

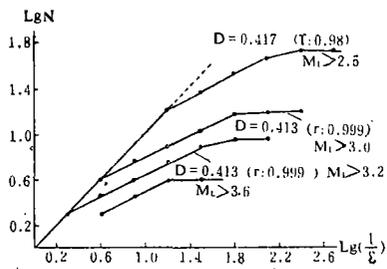


图1 门源6.4级强震前该地区的时间分维
 Fig.1 Temporal fractals of seismic activity before the earthquake of $M = 6.4$ in Menyuan area

(1) 四条直线基本上可分为三段,即斜率为1,斜率为分数的直线段和斜率趋于零的曲线段。前者表示 $N(\varepsilon)$ 与 ε 严格呈倒数关系;末者表示 $N(\varepsilon)$ 随 ε 变化很小,N趋于饱和(即所讨论时空强范围内地震事件的全体集合);中间斜率为分数的直线段即分维存在段。

(2) 每个分维段都相应有 ε 的始点和终点,可用 $\varepsilon_s, \varepsilon_e$ 表示,此即无标度区。大量结果表明类似图1中分维段的无标度区长度总是有限的。 ε_s 比 ε_e 约大1—2个数量级。若小于一个数量级,显然失去意义,为什么不能大于两个数量级?很可能是受到震级测定和震中位置测定的误差以及地震活动的背景噪声等因子的限制。

(3) 随着震级下限的减小,无标度区沿 ε 座标往右移动,其右端即 ε_e 受虚线座标的控制,右端即 ε_s 受无标度区长度所制约。四条实线不但都有分维,且其线性段大致平行,即斜率或分维数相近,约为0.42。这意味着愈小的地震在愈小的时间尺度内仍保持着相同的分维结构,即N的变化(随震级下限而异)不影响分维结构。

若某地震集合的 $\log N - \log 1/\varepsilon$ 不具有如图1所示的线性段,或仅在一种情况下具有线性段,而取不同震级下限时则线性段消失,显然该集合不具有时间的分维结构,亦即为杂乱无序的“噪声”。

如何合理地选取震级下限,尚有待进一步研究。若震级下限取得过高将会受到N过少的限制,震级下限取得过低又会受到测震能力的限制,根据大量实际资料,一般可取测震能力的震级下限并取两个相近的震级下限,其级差要大于震级测定误差。

综上所述,在求取D时,至少应满足下述条件,一是无标度区不能过小, ε_s 比 ε_e 至少大一个数量级,二是D的显著性水平 $\alpha < 0.01$;三是至少取两组地震下限的集合,震级下限的级差 $\Delta M \geq 0.5$ 。

二、门源6.4级强震前该地区地震序列的时间分维结构

本文所指的门源地区系指北纬 37° — 38° ，东经 $101^{\circ}30'$ — $103^{\circ}00'$ 的范围，包括古浪和九条岭，如图2所示。

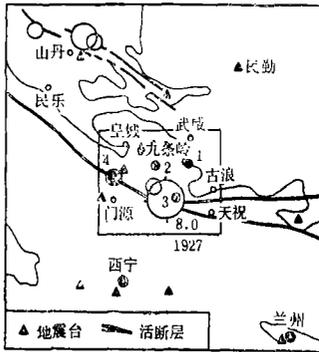


图2 门源地区范围(37° — 38° N, 101.5° — 103° E)与附近地震台分布

1. 1982年6月武威 $M=4.0$ 2. 1984年1月武威 $M=5.5$
3. 1984年12月哈溪 $M=4.6$ 4. 1986年8月门源 $M=6.4$

Fig. 2 Distribution of seismic station around Menyuan area (37° — 38° N, 101.5° — 103° E)

由于震中位置误差较大，一般约20公里，因此在划分地区范围时应尽可能把地震密集区圈入，使边界线附近的地震相当稀疏。由图2可见，门源地区中心为1927年古浪8级大震所在，范围包括了古浪—九条岭—门源地震密集区。该区附近地震台网配置较匀称，可检测到 $M_L \geq 2.0$ 级地震。

由于本项工作目的之一在于探索1986年门源6.4级强震前该地区地震活动时间结构中可能含有预测意义的信息，这就要求处理资料时必须要有—定的时间“提前量”。考虑到区域台网测震报告一般约有半年左右的延时，因此当年强震的资料未参与处理，主要对1970—1985年共16年资料¹⁾分别按1年，4年，8年和16年共四个不同时间段进行D计算，初步结果如下：

1. 16年全段时间的分维结构

1970—1985年期间在门源地区发生 $M \geq 2.0$ 级的地震总数为442个(约占甘肃及邻近地区的四分之一)。由图3a可见，相应于三个震级以上的 $\lg N - \lg 1/\epsilon$ 曲线中存在线性段，其无标度区跨一个数量级， $D = 0.580$ (相关系数 $r: 0.98$)。表明在这16年内，地震活动时间分布的不均匀性具有一定的内在结构。

2. 两个8年时段时间分布结构

把上述16年全段时间划分为两个8年时段，由图3b表明，前半时段即1970—1977年地震活动的时间分布不具有分维结构。图3c表明，后半时段即1978—1985年则D存在，约为0.540($r: 0.99$)。这表明虽然16年整段时间地震活动的时间分布具有分维结构，但其部份可以不具有分维结构。

3. 四个4年时段的时间分布结构

按4年时段划分，其中仅有最后一个时段即1982—1985年D值存在(图3d)约为0.487($r: 0.996$)。而前三个4年时段则不具有分维结构。

4. 逐年或1年时段的时间分布结构

1) 取自兰州地震研究所地震观测室提供的1970年以来地震目录

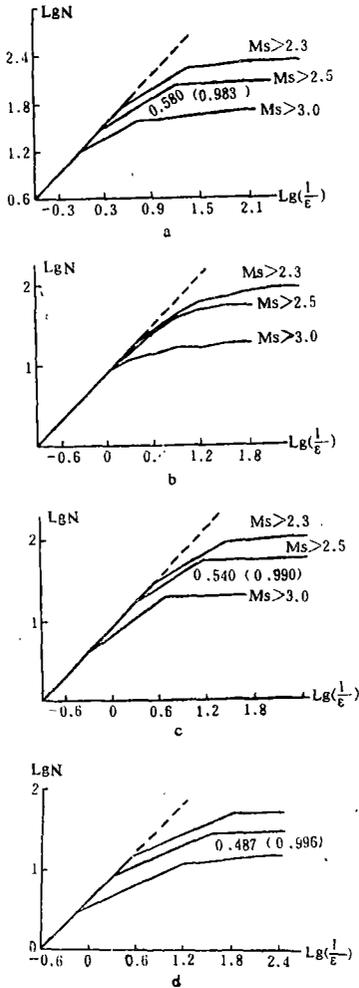


图3 1970—1985年门源地区在不同时段内的时间分布结构
 a.1970—1985 b.1970—1977
 c.1978—1985 d.1982—1985

Fig.3 Temporal fractals of seismic activity of some time domain during1970—1985 in Menyuan area

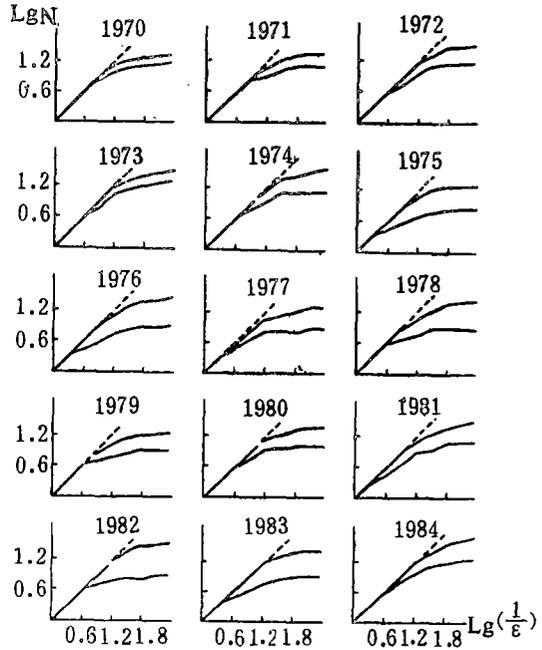


图4 1970—1984年逐年地震活动的时间分布结构

Fig.4 Temporal fractals of seismic activity year by year (1970—1984)

图4是1970—1984年逐年 $lgN-lg1/\epsilon$ 曲线,由图可见,虽然有个别年份(如1981、1983、1984年等)略显示D值存在,但总的看来皆不理想。此外,还依次将每年下半年与次年上半年为一年时段进行计算,结果雷同。但其中最接近强震的时段即1984年7月—1985年6月D值存在(图1), $D=0.420(r: 0.99)$ 。

三、D值存在意义的初步讨论

1.物理意义

由于地震事件在时间轴上为处处不连续的点过程,仅当地震时间分布为均匀、对称分布时,在一定的时间内 $D \approx 1$ 。因此若一组观测可靠的地震活动序列,其D值存在,且D

< 1, 则表明其时间分布是非均匀或非对称的。前述四组即16年、8年、4年和1年的D值依次为0.580、0.540、0.487、0.420, 即趋势性减小。表明愈接近门源6.4级强震, 该地区地震活动的时间结构愈不均匀或愈有序(对称性破缺)。

图 5 是门源地区6.4级强震前几组地震活动在不同层次上的有序情况。图 5 b是门源地区1978年6月—1985年9月M≥3.0级地震呈五组有序性分布的情况。在每组内, 地震的序次

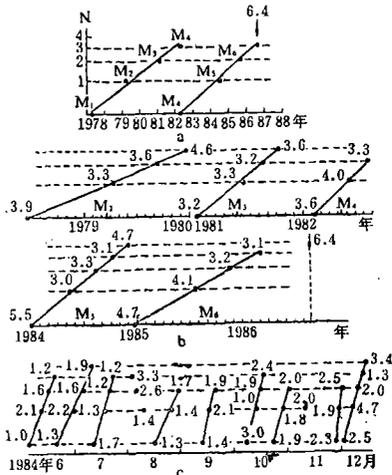


图 5 6.4级强震前门源地区地震活动不同层次的有序性

a. 1978—1986年“地震组”的有序性 b. 1978—1986年五个“地震组”内3级以上地震的有序性 c. 1984年6—12月小震(M>1.0)的分组及组内地震的有序性

Fig. 5 The ordering of different stratification of seismic activity in Menyuan area before the earthquake of M = 6.4

$N(t)$ 与其相应发生时间 t 均遵从下式〔8〕:

$$t = a + b \ln N \pm \sigma, N = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

式中 a 、 b 为常数, σ 为标准偏差。若将这五组分别记为 M_2 、 M_3 …… M_6 , 以每组的中间时间代表该组时间, 在 M_2 之前于1976年5月—1978年5月还有一组, 记为 M_1 , 则六组的序次与其相应时间分段遵从(1)式, 如图 5 a中的 M_1 — M_4 和 M_4 — M_6 两条直线所示, 门源6.4级地震就发生在 M_4 — M_6 直线上。门源6.4级地震后紧接发生一系列余震, 当然也是“地震组”, 而且一般主—余震组内地震也是有序的〔8〕。

以上两级层次都表明了地震活动在时间分布上的有序性。显然, 由(1)式和图 5 所表明的时间分布是非均匀、非对称和非线性的。须要补充说明的是, 就整个1970—1985年时段发生的 $M \geq 3.0$ 级地震来看, 1970—1976年7年间无类似于图 5 b的有序分布, 而在1976年5月以后则表现为有序。这与前述的时间分维结果是吻合的。即1970—1977年8年时段为D值而1978—1985年时段存在D值。由图 5 a还可见, M_1 — M_4 所在直线(相应于1977—1981)的拟合情况要比 M_4 — M_6 所在直线(相应于1982—1985)要差些, 这也与上述分维结果一致。从资料中抽取了1984年6—12月 $M \geq 1.0$ 级地震的分组有序情况示于图 5 c中, 表明在此期间内更小地震的时间分布也比较有序, 并非随机发生。这是更低层次的情况。

还须指出的是, 由D值存在所反映的地震活动的有序性(包含不同层次内的有序性)不一定都能用(1)式表达, 只要是非均匀、非对称、非线性的有序性就可能存在D值。

2. 预报意义

由以上结果可知, 愈接近强震发生时间, D值不仅存在并且随时间趋势性降低, 反映了地震活动的时间结构更不均匀和更为有序化, 这可能反映了震源信息增益过程。因此在预报时应采取“逐步逼近”或“跟踪分析”的作法。不断分析新震情的D值, 才能获得更多的信息以作出较好的预测。

由于D值可以较方便地由计算机求得,因次当出现D值时,可对地震序列的不同震级进行时序的层次分析,求出(1)式中的各参数或作出图5,则可方便地进行地震发生时间的预测。要注意震情新动态以便随时修正。发震地点则为所取资料的范围,其震级则依据层次分析的结果来确定。尽管本文的方法还极不成熟,但还是向定量化方向进行了尝试。而本文所指出的地震活动多层次嵌套的有序性本身又是自相似的,这对认识地震活动的混沌(Chaos)运动本质不无裨益。

(本文1987年7月5日收到)

参 考 文 献

- [2]洪时中等,分致维及在地震科学中的应用前景,四川地震, No. 1, 1987.
 [1]郝柏林,分形和分维,科学杂志, Vol. 38, No. 1, 1986.
 [8]李海华,地震活动的有序性和层次性,地球物理学报, 1987(待发表).

THE TEMPORAL FRACTAL STRUCTURE OF SMALL SEISMIC ACTIVITY BEFORE THE MENYUAN EARTHQUAKE (M=6.4)

Li Haihua, Zhang Wenxiao, Zhang Yongli, Guo Yaping and Ma Wenjing
 (Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)

Abstract

This paper, by means of the fractal method and fractal dimension D, studies preliminarily on the temporal fractal structure of seismic activity in the Menyuan area during 1970—1985. The result shows that there is D value and it changes from 0.58 to 0.42 before the Menyuan earthquake (M=6.4). It indicates that the temporal structure of seismic activity in this area trends forward more heterogeneous, i.e. the symmetry is broken or the ordering is strengthened, when the strong earthquake is more approaching to occur.

The ordering has the characteristic of the multiple levels with self similar mosaic structures. It has not only the prediction meaning but also the theoretical meaning.