

地震前兆吸引子的演化特征^{*}

梁子斌

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 用非线性动力学重建相空间的方法对唐山地震前后(1971~1978年)昌黎地电台和地应力台前兆观测资料分别进行了关联维的计算. 结果表明, 地电阻率和地应力前兆资料吸引子具有分数维结构, 并且发现这两种不同前兆资料的吸引子具有相同的前兆动态变化特征. 在计算中发现, 地电阻率的分数维具有多层次性, 对此还进行了简单的讨论.

关键词: 分数维 时间序列 地震前兆 异常特征

1 前言

自从把耗散结构理论应用到地震研究领域以来, 它几乎影响到每一个研究分支. 人们已经注意到了, 对于地下这样一个极其复杂的动力学系统(可以看成是具有复杂边界并时刻同外界交换物质和能量(包括力、热、光、电)的系统), 不可能找到一个精确解, 而且迄今尚没有一个精确阐述地壳运动成因的完整理论. 正如 1989 年 2 月凝聚态物理学家和地球物理学家在加州安塞鲁马共同讨论“地震是确定的还是混沌的?”这个问题时指出的那样, 地震的每一个现象都表现为混沌特征. 事实上, 将里德(Reid)在本世纪初创立的地震弹跳理论用于大地震的周期复发性时, 人们就已注意到了断层的空间不均匀性可导致非周期的行为, 这正是产生混沌的必要条件和基本要求. 而混沌系统的一个重要标志就是具有分数维的标度率.

地震系统的许多现象均具有分数维的分布特征. 地震事件的古登堡-里克特公式就是一例, 它实质上就是地震在时间分布上具有分数维的标度率. 有关文献中得到的地震空间分布特征也是分形的. 大断裂中断层的分布是分形的. 通过实验还发现, 受压岩石的破裂也具有分形的分布. 由各种前兆观测手段所得到的时间序列也具有分数维的性质. 这足以说明地学系统处于一个复杂的混沌状态.

对混沌系统的研究具有很多办法, 最方便的是研究其分数维. 目前大部分用于地震预报的观测资料都是随时间而变化的. 如何利用这一时间序列获得系统的分数维? 已经有一套很巧妙的办法, 就是利用重建动力学相空间的办法, 在相空间中测定相点之间的关联程度, 以确定吸引子的结构, 求得其分数维^[1].

本文采用的是关联维的计算方法, 具体方法在许多文献中都有介绍, 这里恕不赘述.

2 地电阻率、地应力的分数维结构

^{*} 地震科学联合基金会资助课题

收稿日期: 1996-04-09

作者简介: 梁子斌, 男, 1963 年 8 月出生, 助研, 主要从事地电研究.

本文选用唐山地震前后(1971 ~ 1978 年)昌黎台的地电阻率和地应力观测资料分别进行了关联维的计算, 计算前资料未经过消除周期、倾斜等任何处理. 为了探讨分数维的前兆特征, 计算中取每一年作为一个时间段(数据长度 $n=365$)进行计算, 嵌入空间 k 分别取为 2、3、4、5、6、7. 因延迟时间 τ 的增加会减少相点个数, 所以 τ 不宜取得过大. 一般认为, 前后数据相互关联会影响无标度区的线性, 故 τ 又不能取得太小. 但实际计算中并未发现 τ 对计算结果有多大影响. 本文取 τ 为 4.

在计算分析过程中我们发现, 有些年份的地电阻率具有多重结构的分数维特点. 在比无标度区更小的特征尺度上, 还存在一个相对较窄且斜率更大的线性区域, 并且当嵌入空间达到一定值时, 该区域也具有饱和性并且由这一区域也可以获得一个较高的维数, 龙期威教授称这一现象为多度域分形. 日本高安秀树建议把分数维进行扩展^[2], 这时分数维是特征尺度函数, 在不同的尺度上观察, 分数维也不同, 平均行程为有限的随机行走就是一个较好的例子. 应该说这种现象并非每年都有, 有些年份的线性区宽度非常窄, 不能肯定. 本文给出了这种多维性质比较明显的两个年份(图 1). 我们认为产生多维性的原因就是: 作为开放的地学系统, 影响它的变量是无穷多的, 然而对地电阻率影响较大的变量数目较少, 当对地电阻率的描述要求较高时, 所要考虑的因素也必然要多, 就是特征尺度 r 较小时, 变量数要增加, 曲线变得更复杂, 分数维随之相应增大. 基实所谓的噪声也就是特征尺度 r 趋于 0 时参与变量数目无穷多的原因. 在 1974 年地电阻率的维数达到 3.89, 对仅一年的数据样本数目($N=365$)来说, 结果可能是不准确的. 依据前人的研究结果, 当维数为 4 时, 其样本数需大于 1 000. 但是从另一角度来说, 如果该年度资料具有分维结构的话, 其分数维值不会比计算结果小, 就是说所得到的结果至少是实际值的下限, 这样结果还是有意义的.

对于昌黎地应力资料, 由于资料的跳跃较大, 而且因仪器故障多次停测, 所以没有按每年作为一个时段进行计算, 而是取一些较平稳的连续时间作为一个时段来处理, 有些时段的资料长度不到一年. 其它与地电资料的处理方法相同. 地应力资料的计算结果也明显存在线性无标度区. 为节约篇幅, 图 2 仅给出线性较好且无标区也较明显的两个时段的统计分布曲线.

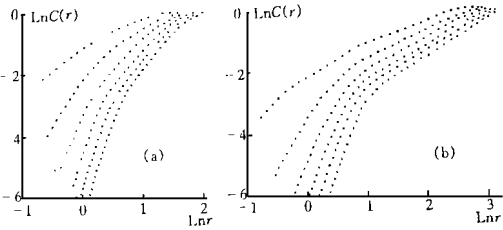


图 1 地电阻率分数维 $\text{Ln } C(r) - \text{Ln } r$ 关系图

Fig. 1 Fractal $\text{Ln } C(r) - \text{Ln } r$ relationship of ground resistivity.

(a) 1975 年; (b) 1976 年

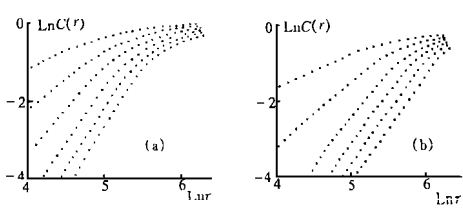


图 2 地应力分数维 $\text{Ln } C(r) - \text{Ln } r$ 关系图

Fig. 2 Fractal $\text{Ln } C(r) - \text{Ln } r$ relationship of ground stress.

(a) 1971 年; (b) 1976 年

表 1 给出了各时间段的数据长度、无标度区范围及分数维的统计结果. 可以看出, 在有些时段中, 无标度区很窄, 不到 1 个单位, 特别是地电资料, 这可能受数据有效位数的影响^[3]. 然而我们关心的不是无标度区的宽窄, 而是是否有无标度区. 关于有效位数影响的问题, 作者将在关于关联分维计算中参数如何选取及如何较可靠地选定无标度区的论文中作进一步探讨.

3 分数维前兆异常特征

昌黎地电台与地应力台距离只有 15 km, 因此可以近似看成是一个动力学系统. 我们的目的就是在同一个系统中探索系统各变量的共同特征. 由于各变量都是描述系统的运动特征的, 系统各变量的分数维应有相同的变化趋势. 为了进行比较, 图 3 给出了地电和地应力两个序列所得到的分数维随年份的变化图象, 可以看到其分数维随时间的变化趋势比较一致. 需要指出的是, 象地学这样一个十分复杂的系统, 其变量个数是无穷多的. 对地电和地应力而言, 影响它们的主要变量是不同的, 有些变量可能影响其中的一个, 因此利用二者获得的分数维可能是有差异的.

表 1 各年份地电阻率和地应力分数维计算结果

年份	地电阻率				地应力			
	数据个数	无标度区		分数维	数据个数	无标度区		分数维
		上限	下限			上限	下限	
1971	365	1.0	1.8	2.65	347	4.5	5.6	2.94
1972	366	1.0	1.7	2.85	366	4.6	5.6	2.09
1973	365	0.9	1.6	2.72	335	4.6	5.7	2.34
1974	365	0.9	1.5	3.89	332	4.7	5.6	2.79
1975	365	0.9	1.7	2.27	365	4.6	5.5	3.18
1976	366	1.1	2.4	1.06	366	5.2	6.1	2.10
1977	365	1.0	2.2	1.14	365	4.8	5.9	2.13
1978	365	1.0	2.0	1.68	365	4.9	5.9	2.47

由图 3 可以看到, 分数维随时间的变化具有如下特征: 从 1972 年到 1974 年, 分数维有一个比较缓慢的上升过程, 1975 年开始出现降维, 在发生地震的 1976 年分数维突然大幅度下降, 在地震之后的 1977 和 1978 年, 分数维又有所回升. 在整个过程中, 分数维具有上升一下降一上升的变化特征.

4 讨论和结论

在图 1 中可看出地电阻率有时出现了多重标度, 在更小的特征尺度 r 下还存在一个宽度较小的线性区, 它又不可能是热噪声, 因为其斜率比维数 k 小得多, 而且在 k 达到一定的值时, 其曲线的斜率也具有饱和特征, 因此它也可能是系统的一个维数. 自然界中的许多事物都具有这种多层次的标度, 如皮带、发丝、纸张、绳球等等都具有这种属性, 即在不同的尺度、层次上观测, 会得到不同的结果.

本文旨在寻找地学系统变量地电阻率和地应力所具有的共同前兆特征. 通过研究我们可以认识到地学系统的每一个变量均携有系统最本质的非线性特征, 关键的问题就在于这一特征(分数维)能否成为地震的前兆, 这是我们所关心的问题. 如果这一特征能充分表现出地震

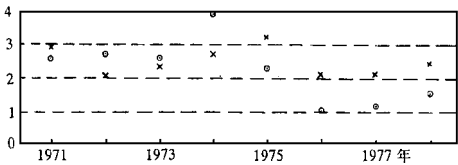


图 3 地电阻率、地应力分数维随时间的变化

Fig. 3 Fractal variation of ground resistivity and stress with time.

○ 地电阻率; × 地应力

的前兆异常,则我们便可利用分数维这个指标进行地震预报的探索,通过分数维的变化研究地学系统的演化过程.

利用两种前兆资料算得的分数维有较大的差异(图 3),分析认为有以下几个原因:第一,数据个数不足,如地应力资料在有些年份中其数据样本还不到 300 个,按计算要求相差许多,特别是维数较大时,结果更不可靠;第二,地电台与地应力台相距 15 km 之远,我们把它近似看成是一个系统;第三,数据的精度也不很高,无标度区受到影响.尽管如此,但我们仍可以从分数维上找到各类前兆的共同特征,即降维变化.因此看来本文结果还是令人鼓舞的,可以说降维变化是地震前兆最有普遍性的前兆特征之一.

从本文的计算结果来看,分数维对地震的反应还是较敏感的.在地震前的 2~3a 分数维有一个上升的过程,在地震期间分数维明显下降,震后又有所回升,这与地震的孕育、发生及恢复的几个过程是相对应的.因此利用分数维来研究地震预报问题似乎是一条出路.本文计算结果表明,地震前兆吸引子的维数在整个地震过程中具有上升—下降—上升的变化规律.降维性是发生在地震前还是地震后,目前还不能肯定,更为细致的描述还需要有较多台站并且利用小时值资料在短时间进行计算才能得以解决.

本文在研究中得到以下两点结论:

(1) 昌黎台地电阻率和地应力资料具有分数维结构,并且两者的维数随时间的变化趋势是一致的.

(2) 在唐山地震过程中,分数维具有在地震前 2~3a 开始上升、地震期间突然下降、地震后又有所回升的变化规律.

参考文献

- 1 Nicolis C, Nicolis G. Is there a climatic attractor? *Nature* 1984, 311(11): 529~532.
- 2 高安秀树. 分数维. 地震出版社, 1989.
- 3 梁子斌, 等. 地电阻率的分数维结构. *西北地震学报*, 1995, 18(1): 29~35.
- 4 国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组. 一九七六年唐山地震. 北京: 地震出版社, 1982.

DIAGNOSTIC VARIATION OF EARTHQUAKE PRECURSOR ATTRACTOR

LIANG Zibin

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

The fractal dimensions of earthquake precursor time series (resistivity and stress) which are gained from Changli ground resistivity station and ground stress station before and after the Tangshan earthquake (from 1971 to 1978) are calculated by the method of phase space reconstruction in this paper. The results show that the attractors of these two time series are of fractal dimension structure and the two different earthquake precursor attractors have the same diagnostic variation. It is also discovered that the ground resistivity is of multiple fractal dimension in different character scale, which is discussed in this paper.

Key words: Fractal Time Sequence, Earthquake Precursor, Anomalous Character