

文章编号:1671-8879(2008)02-0108-03

## 基于分形理论的地震数据分析

田 丰,王晋国,王明祥

(长安大学 理学院,陕西 西安 710064)

**摘 要:**根据地下结构的分形特征,采用分形理论中的计盒维数法的短时分维数方法,对地震数据进行了分析研究。该方法使用一短的时间窗沿地震道或其瞬时属性道滑动,计算每一窗的分维数,得到地震资料或其瞬时属性的维数道,并通过理论模型和实际地震资料的计算对该方法进行了验证。结果表明,该方法可以准确诊断地下结构的断层位置,是分析地下结构缺陷的一种非常有效的方法。

**关键词:**地震数据;分形维数;计盒维数;反射系数序列;瞬时相位

**中图分类号:**O17

**文献标志码:**A

## Treatment of seismic datum based on fractal theory

TIAN Feng, WANG Jin-guo, WANG Ming-xiang

(School of Science, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** The short time fractal dimension of box counting dimension in fractal theory was applied to studying the seismic datum based on the fractal character of the stratum rhythm. The method was characterized by using the short time window glide along seismic trace or instantaneous attribute trace, and the fractal dimensions were gotten in each window. The calculated results of the theory model and practical seismic datum prove that the method can determine the underground breaking layer position, and it is a good method for studying the physical characteristics of seismic datum. 9 figs, 6 refs.

**Key words:** seismic datum; fractal dimension; box counting dimension; reflectance series; instantaneous phase

## 0 引 言

分形几何学是由 Mandelbrot 在 20 世纪 70 年代创立的。分形几何具有下述典型特点:①按一定规则或方法构成,而不一定能用数学公式描述;②存在于所有标度空间;③具有自相似性或自仿射性;④存在分数分维数;⑤整体与局部、局部与局部是长程相关;⑥存在不可微的无界空间;⑦作为非光滑点集合,是描述“斑痕、麻点、破碎、扭曲、缠绕和交错”的

几何学。

由于许多地质结构具有比例不变性,如岩石片、断层、地震、火山侵蚀、矿层和油层等的频率特性和分布<sup>[1]</sup>,所以 Mandelbrot 用分形来仿真地形,结果特别逼真。分形和分维数在地质科学领域得到了广泛应用。由于地下沉积序列中包含着许多不同层次的沉积旋回,在大的旋回中包含着更小的旋回,在一些小的旋回中又包含有沉积韵律,从而构成了多层次自相似嵌套结构<sup>[2]</sup>,所以地震资料和其属性的分

收稿日期:2007-01-10

基金项目:国家自然科学基金项目(40674064);陕西省科技攻关项目(2007K04-15)

作者简介:田 丰(1961-),女,陕西西安人,副教授,E-mail:cathy.feng@hotmail.com

维数能刻画地下地层特征。1996~1997年, Boschetti<sup>[2]</sup>、Kumar<sup>[3]</sup>、Davidson<sup>[4]</sup>、Mandel<sup>[5]</sup>等人用分维数的突变来检测地震道的起跳点;2002年, Sankar等人应用 Divider 和 Hust 方法来计算地震属性分维数<sup>[6]</sup>,并识别地下反射界面。本文主要应用分形理论中计盒维数对地震资料和其属性的分维数进行计算,以此来刻画地下反射层面和断层等。

## 1 分形维数的提取方法

为了研究分形集的几何性质,传统的“长度”、“面积”和“体积”的概念已经不够用了。在分形几何中主要采用了“分维数”的计算方法。所谓“分维数”是指更深更广泛意义上的定义  $n$  维空间中“长度、面积、体积”旧的概念的新度量。它度量的是一个分形集“充满空间的程度”。目前计算“分维数”的方法有很多。因此,人们应用不同的计算方法所得的计算结果可能是不同的。但总体的要求是:分维数必须能反映在不断缩小直径的很小比例下,去观察一个分形集,找出这个分形集所代表的“维数”,使它能反映该图形的复杂程度,或“不规则程度的量度”,或“充满空间的程度”。

### 1.1 计盒维数

对平面中的分形集图形  $F$  来说,用宽度为  $\delta$  的正方形盒子打成方格覆盖整个图形,如图1所示。覆盖在图形上的方格个数为  $N_\delta(F)$ 。这样由不同的  $\delta$ , 得到不同的  $N_\delta(F)$ ,那么该图形  $F$  的计盒维数为

$$\dim_B F = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\lg[N_\delta(F)]}{-\lg(\delta)}$$

通常将  $\lg(\delta)$  为横坐标,  $\lg[N_\delta(F)]$  为纵坐标。对不同的坐标点  $(\lg(\delta), \lg[N_\delta(F)])$  用最小二乘法拟合合成一条直线,该直线的斜率就是分形集  $F$  的“分维数”,如图2所示。

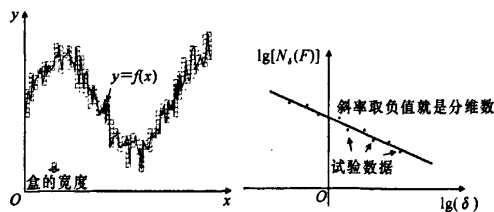


图1 计盒维数方法

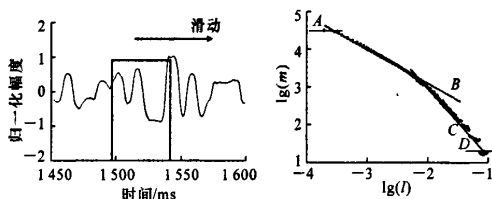
图2 计盒维数估计分维数

对二维图像和三维物体同样可以用计盒维数方法来计算其分维数。

### 1.2 短时分维数的计算

用计盒维数法对地震道或其瞬时属性道的短时分维数计算步骤为:用一短的时间窗沿地震道或其

瞬时属性道滑动,计算每一窗的分维数,就得到地震资料或其瞬时属性的维数道,如图3所示。这里需要解决的问题是:①对具体的地震资料或是其瞬时属性,应该选择多大的时间窗,试验表明,对计盒维数法,窗宽应该选择信号优势频率的周期长度附近;②盒长  $l$  的选择,实际处理的地震资料都是离散信号,盒长受采样间隔的限制,因此对地震资料三次样条插值以适合比较小的盒长,盒长的不同选择直接导致分维数的不同,所以对具体的资料,必须尽量选择能反映信号特性的盒长。由图4可以看出,当盒长  $l$  很小或很大时,前后两次计盒数  $m$  相差很小,拟合线段见图4中的直线A或D,显然,不能反映信号的特征;直线B和C可以分别反映信号不同的特征。一般情况下,带噪声信号根据不同盒长可以拟合多个不同的直线,从而得到不同的分维数,有的是噪声的分维数,有的是信号的分维数。理想的分形图形,在图4的坐标平面内,应该是一条理想的直线,造成这些现象的原因为:①信号不是理想的分形图形;②信号是离散的。

图3 地震道的短时  
分维数计算图4 盒长  $l$  与计盒数  $m$   
的拟合关系曲线

## 2 短时分维数用于地震模型

### 2.1 地震模型的反射系数序列识别

用 50 Hz 的 Ricker 子波和反射系数序列褶积得到合成地震记录模型。该反射系数序列是正负交替,第一反射系数在 0.113 s 处,第一和第二反射系数相距 0.013 s,以后各反射系数间距以 0.001 s 递减到 0.001 s 后,又以 0.001 s 递增,如图5(a)所示,合成记录如图5(b)所示,计盒维数法得到合成记录的分维数,如图5(c)所示。计算过程中取窗宽 19 ms,盒长取值范围为 0.5~10 倍采样间隔。由图5可以看出,当反射序列间隔大于 6 ms 时,反射系数的局部极小值对应反射序列;当小于 6 ms 时,虽然也出现极小值,但和反射序列位置不对应。从而说明计盒维数识别反射序列的有效性。

### 2.2 用计盒维数分析实际地震资料

#### 2.2.1 实例一

图6是某油田的地震剖面 and 计盒维数剖面。该

地震资料的优势频率约为 40 Hz, 窗宽选 20 ms, 由图 6(b) 可以清楚地看出各反射界面和各层的接触关系。

图 7 是图 6 地震剖面的瞬时相位和计盒维数剖面, 可看出瞬时相位维数剖面比瞬时相位剖面在刻画各层的连续性方面更清晰。因此, 瞬时相位的维数能更好地识别断层等地质现象。

### 2.2.2 实例二

图 8 是某油田的地震剖面 and 计盒维数剖面。该地震资料的优势频率约为 40 Hz, 窗宽选 25 ms, 盒长取值范围为 0.5~10 倍采样间隔。

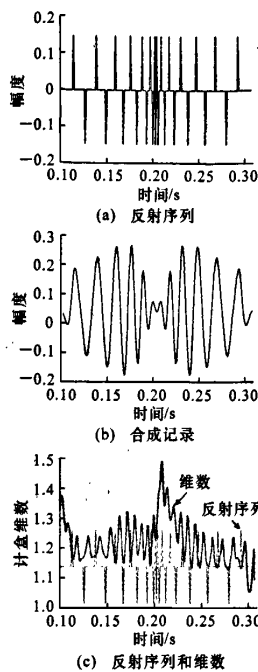


图 5 计盒维数法用于地震模型分维数

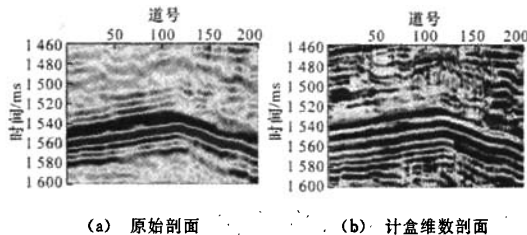


图 6 某油田地震资料及其维数剖面

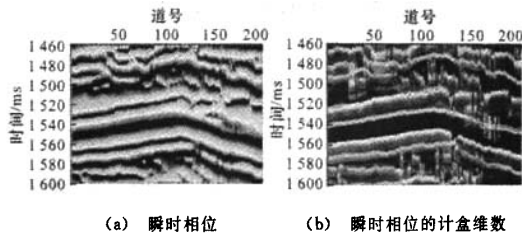


图 7 瞬时相位及其计盒维数

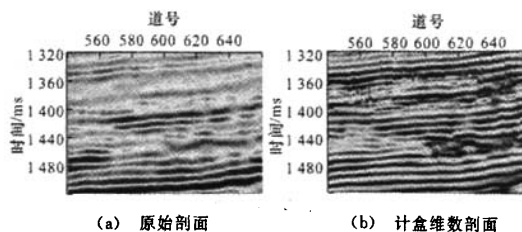


图 8 某油田地震资料及其维数剖面

图 9 是图 8 地震剖面的瞬时相位及其计盒维数剖面。分析图 8、图 9, 同样可得出实例一的结论。

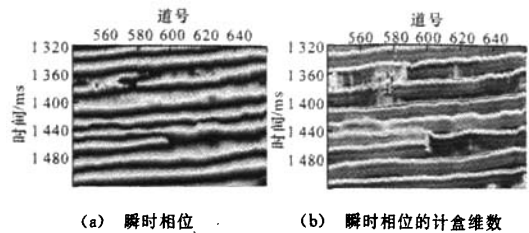


图 9 瞬时相位及其计盒维数

## 3 结 语

(1) 地震资料分形维数可以作为一种地震属性, 它可以用于地震反射序列的提取, 由分维数提取的反射系数剖面比原始剖面具有更好的分辨率。

(2) 地震资料瞬时相位的分维数比瞬时相位更能描述地层的连续性。

## 参考文献:

### References:

- [1] 崔若飞, 许 东. 利用分形技术和人工神经网络技术检测小断层[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(3): 258-261.  
CUI Ruo-fei, XU Dong. Detection of minor faults using both fractal and artificial neural network techniques[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1999, 28(3): 258-261.
- [2] Boschetti F, Dentith M D, List R D. A fractal-based algorithm for detecting first arrivals on seismic traces[J]. Geophysics, 1996, 61(4): 1095-1102.
- [3] Kumar N S, Dewangan P. Detection of seismic reflections from seismic attributes through fractal analysis[J]. Geophysical Prospecting, 2002, 50(3): 341-360.
- [4] Davidson K L, Loughlin P J. Instantaneous spectral moments[J]. Journal of the Franklin Institute, 2000, (337): 421-436.
- [5] Mandel L. Interpretation of instantaneous frequency[J]. AJP, 1974, 42(10): 840-846.
- [6] Mitza S, Sankan K P, Pabitra M A. Data mining in soft computing framework: a survey[J]. IEEE Transactions on Neural, 2002, 13(1): 3-14.