

对强震前地震分形谱异常的研究*

朱令人¹⁾ 周仕勇¹⁾ 杨马陵¹⁾ 王海涛¹⁾ 龚宇清²⁾

1) 中国乌鲁木齐 830011 新疆维吾尔自治区地震局

2) 中国乌鲁木齐 830011 新疆电子计算中心

主题词 分形 分形谱 复杂性 Contor 模型

地震分形与自然界许多实际的分形(诸如材料结构等)一样,一般是多重分形。多重分形结构的特性难以用1个或几个维数来表征,而要用分形谱描述。近年来国内外学者已开始从计算地震分形为单一维数转向研究地震分形谱,观察比较不同时段地震分形谱的变化,提取大震前的异常信息(朱令人,周仕勇,1992; Hirabayashi, 1992; 郑兆蕊等,1994)。几十次震例表明强震发生前,多重分形谱异常的主要特征是 D_{q-q} 曲线变陡,相应的 $f(\alpha)-\alpha$ 曲线上 α 取值变宽, $f(\alpha)$ 的左端点或右端点值下降,异常提前几个月至一年。现在的问题是上述异常反映了什么,是什么物理原因造成了这种异常?

我们知道, α 是刻划有一定概率的子区域奇异性强度的因子, α 取值的宽窄表示不同奇异强度分布范围的宽窄。如同频谱分析中频率范围的宽窄反映了各种频率的均匀程度(或丰富程度)——对单音叉来说,其频率成分只有一个;对交响乐来说,其频域范围就非常宽。对均匀分形(简单几何分形)而言, D_{q-q} 是一条平直线, $f(\alpha)-\alpha$ 是一个点。有一定幅度或宽度的 D_{q-q} 或 $f(\alpha)-\alpha$,显然反映了非均匀分形结构的特性。强震前 α 取值变宽、 D_{q-q} 变陡说明,地震分形体中包含了更多不同奇异强度的子分形体。换言之,地震分形结构的不均匀性增大了、即更复杂、更丰富了。

现在我们通过比较双标度康托尔(Contor)模型的理论分形谱来进一步论证。

1 不同组合的多标度康托尔(Contor)集比较

多标度 Contor 集是多重分形,其分形谱可以从理论上求得(陈式刚, 1992)。设想把点集分成 N 个不相连的子集 S_1, S_2, \dots, S_n , 它们各有概率 P_i 与线度 l_i , 且设 $l_i < l$, 定义一个配分函数

$$\Gamma(q, \tau, \{S_i\}, l) = \sum_{i=1}^N \frac{P_i^q}{l_i^\tau} \quad (1)$$

可以论证,当 $N \rightarrow \infty$, $l_i \rightarrow 0$ 时,只当

$$\tau = (q-1)D_q$$

时 Γ 为有限量。容易看出 Γ 为 τ 的单调函数, τ 大于某临界值时 $\Gamma|_{N \rightarrow \infty} \rightarrow \infty$, 小于这个临界值时 $\Gamma|_{N \rightarrow \infty} \rightarrow 0$ 。若取 $\tau = [q-1]Dq$ 并将下式代入

* 地震科学联合基金会资助课题(91228)。

1995-08-07 收到初稿, 1997-02-03 收到修改稿并决定采用。

$$D_q = \frac{1}{q-1} [qa(q) - f(\alpha(q))] \quad (2)$$

得

$$\Gamma(q, \tau, \{S_i\}, l) = \sum l_i^{qa(q)-f(\alpha(q))} \sim \int d\alpha \cdot p(\alpha) l_a^{qa(q)-f(\alpha)}$$

这是一个非零的有限值。因此可以用

$$\lim_{l \rightarrow 0} \Gamma(q, \tau, \{S_i\}, l) = 1 \quad (3)$$

通过 $\tau = (q-1)D_q$ 来定义 D_q 。

对多标度 Contor 集，由于相似性

$$\Gamma(q, \tau, l^n) = [\Gamma(q, \tau, l)]^n = \left[\frac{P_1^q}{l_1} + \frac{P_2^q}{l_2} + \dots \right]^n = 1 \quad (4)$$

只要已知 $P_1, P_2, \dots, l_1, l_2, \dots$ 就可以利用多项式展开，对设定的 q ，求出相应的 $\tau(q)$ ，进而求出 D_q 。下面我们考察不同尺度分割、不同概率分布组合的双标度 Contor 五分集的多重分形谱 D_q-q ， $f(\alpha)-\alpha$ 。
为了便于比较， q 值统一取 $[-5, 5]$ 。

1.1 设计双标度 Contor 五分集非空集尺度取值均为 $l_1=0.1$, $l_2=0.2$, $l_3=0.3$

(a) 概率取值 $P_1=0.167$, $P_2=0.333$, $P_3=0.5$ 时，有

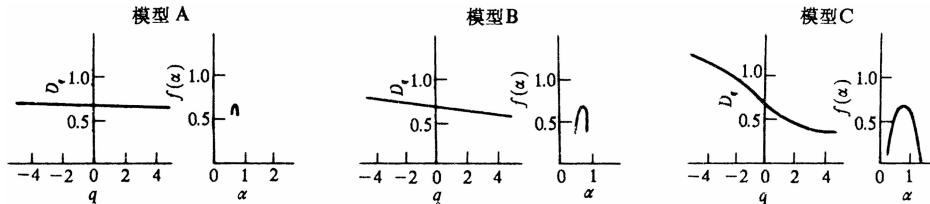
$$\frac{P_1}{l_1} = \frac{P_2}{l_2} = \frac{P_3}{l_3}$$

(b) 概率取值 $P_1=P_2=P_3=0.333$ 时，有

$$\frac{P_1}{l_1} > \frac{P_2}{l_2} > \frac{P_3}{l_3}$$

(c) 概率取值 $P_1=0.5$, $P_2=0.35$, $P_3=0.15$ 时，有

$$\frac{P_1}{l_1} > \frac{P_2}{l_2} > \frac{P_3}{l_3}$$

应用前述公式计算而得各分形集的 D_q-q 曲线和 $f(\alpha)-\alpha$ 图(图 1)。图 1 尺度分割相同、概率分布不同的双标度 Contor 集 D_q-q 和 $f(\alpha)-\alpha$ 曲线

由图可见， $D_{oA}=D_{oB}=D_{oC}=0.670$ 。模型 A 单位尺度上概率是相同的，即非空集概率分布是均匀的，所以 D_q-q 基本上是一条平直线， $\Delta D_{q,A}=0.054$ ， $f(\alpha)-\alpha$ 集中于一点， $\Delta \alpha_A=0.100$ 。基本上可认为是简单的几何分形；模型(B)单位尺度上概率分布是不均匀的，相对模型 A，负 q 端 D_q 增大，正 q 端 D_q 下降， $\Delta D_{q,B}=0.212$ ， $\Delta \alpha_B=0.351$ ，明显与模型 A 不同。

上述特点在单位尺度上概率分布极不均匀的模型 C 更为突出， $\Delta D_{q,C}=0.944$ ， $\Delta \alpha_C=1.259$ 。

1.2 设计反映“密集”特性和“稀疏”特性的模型

前者为模型 D

$$l_1=l_2=l_3=l_4=l_5=0.140 \quad P_1=P_2=P_3=P_4=0.100, P_5=0.600$$

后者为模型 E

$$l_1=l_2=l_3=l_4=l_5=0.140 \quad P_1=P_2=P_3=P_4=0.240, P_5=0.040$$

两模型的理论分形谱见图 2。

从图中可以看出，模型 D 在 $q > 0$ 的部分 D_q “下沉”明显。在 $f(\alpha)-\alpha$ 图上，顶点右偏，左端显著下降。这是“密集”区起主要作用的表现。与此相反，模型 E 的 D_q-q 线上是负 q 区曲线“上扬”明显， $f(\alpha)-\alpha$ 顶点左偏，右端显著下降。这是“稀疏”区起主要作用的表现。因而根据地震分形 $f(\alpha)$ 谱的偏向，可较容易地判断是密集型地震异常，还是稀疏型(或平静型)地震异常。

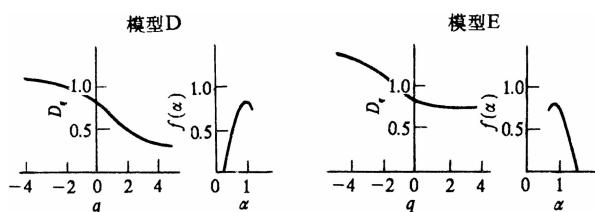


图 2 “密集”(模型 D)和“稀疏”(模型 E)的双标度 Contor 九分集 D_q-q 和 $f(\alpha)-\alpha$ 曲线

2 分形点集不同空间分布的多重分形谱

蒋海昆等^①模拟地震的空间分布，用 Poisson 过程和 Neyman-scott 过程产生 1 000 个样本。样本集强度分布由 G-R 关系 $f(M) = A \cdot e^{-\lambda M}$ 约束。用数盒子法求得 $f(\alpha)-\alpha$ 谱，如图 3。

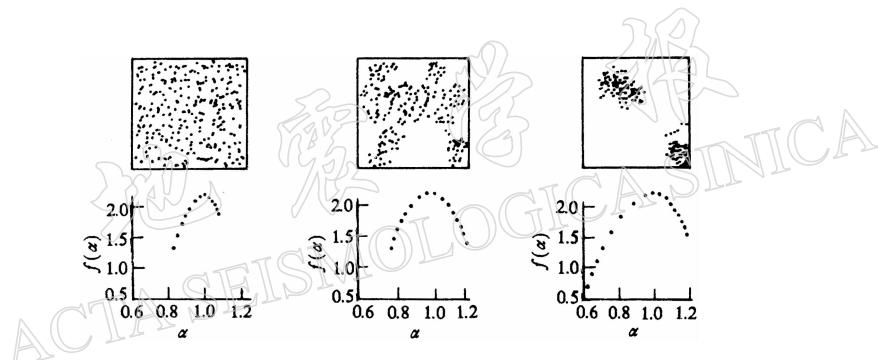


图 3 地震空间分布数值模型及其 $f(\alpha)-\alpha$ 曲线图(据蒋海昆等^①)

从图上明显地看到，随着空间位置不均匀性的增加， α 取值逐步变宽， $f(\alpha)$ 左端点显著下降。这个特征与前面时间序列特征是完全吻合的。它们的物理原因是一致的。大震前多重分形谱 α 取值变宽反映了分形结构复杂性的增加，反映了地震分布时空不均匀性的增加——而复杂性(不均匀程度)的增加正是具有普遍意义的地震前兆。

3 结论

多标度 Contor 理论模型和地震空间分布的数值模型研究证明，地震分形谱异常的物理本质是点集(地震)分布不均匀增加了，即复杂性增加了。从简单到复杂，从均一到不均一，从“白脸”到“花脸”，正是具有普遍意义的前兆。地震多重分形谱是描述地震复杂图象的一种很好的前兆，值得进一步研究。

参 考 文 献

- 陈式刚，1992. 映象与混沌。北京：国防工业出版社。188~189
- 郑兆蕊，张军，汪秉宏，1994. 地震空间分布奇异性 $f(\alpha)$ 研究。中国地震，(4):371~337
- 朱令人，周仕勇，1992. 地震多重分形标度指数谱 $f(\alpha)$ 的研究。西北地震学报，14(2): 30~35
- 朱令人，周仕勇，1993. 阔克沙勒-吉萨尔地震活动时间分形研究。内陆地震，7(4): 319~324
- Hirabayashi, 1990. 洪时中(译)，1992. 地震的多分形分析。世界地震译丛，(5): 60~80

^① 蒋海昆等，1994. 地震能量空间分布分形特征及其中短期震兆信息研究。地震科学联合基金进展报告。