

广西恭城—栗木断裂带的分形分析*

Fractal Dimension Analysis of Gongcheng-Limu Fault Zone in Guangxi

隋志龙 梁金城**
Sui Zhilong Liang Jincheng

(中国地质大学研究生院 武汉市鲁磨路 31号 430074)

(Graduate School, China Univ. of Geoscience, 31 Lumolu, Wuhan, Hubei, 430074, China)

摘要 恭城—栗木断裂带的分形分析结果是: 整个断裂带的分维值 D 接近 1.5, 与整个华南地区线性构造的分维值 ($D = 1.35$) 相比, 该断裂带属结构较复杂、活动性较强的一类, 但总体上它已趋于成熟。在恭城—栗木断裂带中, 南北向断裂的分维值远大于北东向和东西向断裂的分维值, 这说明整个断裂带是以南北向断裂为主。

关键词 分形分析 断裂带 分维值

中图法分类号 P 542.3 O 242

Abstract The fractal dimension analysis of the Gongcheng-Limu fault zone indicated that the fractal dimension value D of the whole fault zone is 1.5 approximately. It is one of these fault zones which were characterized as complex texture and strong activity in comparison with the lineaments in the whole south China whose fractal dimension value D is 1.35. In the Gongcheng-Limu fault zone, the fractal dimension value of SN direction faults is higher than that of NE and EW direction faults. It is illustrated that the SN direction faults is the main part of the whole fault zone.

Key words fractal dimension analysis, fault zone, fractal dimension value

1 分形几何学的概念

1975年, Mandelbrot首次以“Fractal”命名自然界中不规则的、无序的和破碎的小块图形的维, 实现了把某些类型的非整数维应用于工程技术上的设想。在短短的 20 多年时间里, Fractal(分形, 也叫分数维、分维)的应用范围越来越广泛并逐步成为计算机图形学、地质学、仿真学及物理学等学科中的重要工具。

分形是指不管从某集合的小部分看还是从更大的部分看, 均可以看到相同的图形和结构的现象^[1]。

Mandelbrot所创立的分形几何学所描述的一些诸如海岸线的形态和断裂构造的空间展布等自然现象都具有尺度不变性和自相似特征。Mandelbrot认为: 自然界中这种不规则的但具有尺度不变性和自相似性的形态和事件称之为具有分形结构特征, 并给出了下列定义: $L \propto \Delta L^{1-D}$ 。式中 L 为海岸线长度, ΔL 是用以测量的尺度大小, 当 L 和 ΔL 满足上式时, D 为海岸线的分维值。分形的另一种定义为: $N(r) \propto r^{-D}$ 。式中 N 为其长度大于 r 的物体的个数, 即累计频数, D

为分维值^[2]。

2 断裂分形研究的理论基础

众所周知, 断裂构造的空间展布是一系列无规则的线状或面状集合体, 这是传统的欧氏空间几何学所无法精确描述的。但近年来的一些研究表明^[3, 4], 断裂破裂过程具有随机自相似性, 断裂的分布和几何形态具有分形结构特征。也就是说: 断裂的空间展布所具有的分形结构使其被定量描述成为可能。将断裂构造视为分形体, 按照分形几何学的方法可以求得断裂空间分布的分维值。这样, 断裂构造的分布和类型就能被其分维值唯一地确定下来。

分维值 D 的大小反映了断裂构造展布结构的复杂程度, 构造活动的强弱及构造发育的程度。 D 值越大, 其展布结构越复杂, 构造活动性越强, 构造处于发展之中; D 值越小, 其展布结构越简单, 构造活动性越弱且构造发育趋向成熟和衰亡^[5]。

根据近年来的一些研究成果^[6, 7] 我们知道: 不同区域, 不同范围的断裂构造之 D 值不同; 不同类型、不同方位、不同期次及不同时代的断裂构造之 D 值不同; 控矿断裂构造与非控矿断裂构造之 D 值不同。分形研究亦可用于通过检测断裂型式的差异, 来推断产生断裂的力学作用和事件方面的差异, 从而间接推

2000-10-30收稿, 2001-02-19修回。

* 广西 1: 5万区域地质调查资助项目(桂地调[1997] 85)。

** 桂林工学院, 桂林市, 541004 (Guilin Institute of Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

测出其形成机制方面的差异。此外,分形研究还可用于分析断裂地震的活动特点。

按照分形的定义: $N(r) \propto r^{-D}$, 目前有 3 种方法来求解断层的分维值: 长度-频数统计法、圆覆盖法和粗视化网格法。对于具有较复杂结构的断层来说,粗视化网格法最为合适^[5]。具体步骤是: 1 整理收集到的断层资料及划分统计区段; 2 用粗视化网格法对统计区段进行统计,即选用不同尺度的格网(格网方格的尺度为 $r_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$) 覆盖某个断层或断层段, 数出含有断层的格子总数 $N_i(r_i)$; 3 对 (n) 和 $N(n)$ 分别取对数, 将 $\{(n), N(n)\}$ 各对数值对标绘在 $N(r)$ - r 双对数坐标中; 4 用最小二乘法把对数坐标图上的各点拟合成一条直线, 如式 (1) 所示, 该直线的斜率即为所求的分维值 D

$$\log N(r) = A - D \log r, \quad (1)$$

其中 A 为一未知参数。设 $\log N(r)$ 为 y , $\log r$ 为 x , 由式 (1) 而得的线性回归方程为:

$$\hat{y} = \hat{A} - \hat{D} \cdot x, \quad (2)$$

所谓最小二乘法即选择函数 $\hat{y} = \hat{f}(x)$, 使得偏差 $|y_i - \hat{y}_i|$ 的平方和最小:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{A} - \hat{D}x_i)]^2 = \min_{-\infty < \hat{A}, \hat{D} < \infty} \sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{A} - \hat{D}x_i)]^2, \quad (3)$$

根据 (3) 式分别对 \hat{A} \hat{D} 求一阶偏导并整理得到:

$$D = \frac{n \cdot \bar{x} \bar{y} - \sum x_i y_i}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2}, \quad (4)$$

$$A = \bar{y} - D \bar{x}. \quad (5)$$

3 恭城—栗木断裂带的分形分析

恭城—栗木断裂带为栗木—马江断裂带的北段。断裂带的雏形形成于加里东期并控制了泥盆系的沉积岩相, 当时的断裂带基本上是由正断层组成。印支期, 由于受近东西向挤压力的作用, 由新形成的逆断层和改造原先正断层而形成的逆断层构成了现今恭城—栗木断裂带的基本格架。恭城—栗木断裂既是一

表 1 恭城—栗木断裂带分维测量统计

Table 1 Fractal determination of the Gongcheng-Limu fault zone

区域 Area	方向 Direction	格子数 Number of boxes $N(r)$					A (回归参 数 Regression parameter)	D (分维值 Fractal value)	R (拟合度 Fitting degree)
		$r = 40.0$	$r = 20.0$	$r = 10.0$	$r = 5.0$	$r = 2.5$			
南区 South region	SN	8	31	81	173	550	3.33	1.474	0.9914
	NE	7	17	39	71	168	2.67	1.126	0.9963
	EW	6	12	22	38	70	2.22	0.890	0.9987
	所有 All	13	41	115	279	831	3.51	1.481	0.9984
北区 North region	SN	9	33	91	194	617	3.38	1.481	0.9930
	NE	8	22	51	99	250	2.88	1.215	0.9957
	EW	4	7	17	32	66	2.23	1.031	0.9964
	所有 All	14	44	133	302	930	3.57	1.494	0.9973

条深大断裂又是一条受多期应力作用的长寿断裂, 它对测区不同构造阶段的沉积建造和岩浆活动都起到控制作用并制约着各地质历史时期中拗陷与隆起的展布和演化^[8]。

恭城—栗木断裂带总体走向近南北, 在测区内北起栗木锡矿南至恭城县城, 延伸长度为 38 km, 控制宽度大于 15 km, 由 4 条主干断裂组成。组成恭城—栗木断裂带的这 4 条主干断裂呈平行等间距排列, 彼此间距离约 4 km。

恭城—栗木断裂带的组成断裂据其走向展布特征及形成时代的先后可划分为近 SN 向、近 NE 向和近 EW 向 3 组。此次分形分析应用粗视化网格法对断裂带进行分区 (嘉会以南为南区, 嘉会以北为北区) 分组 (SN 向、NE 向、EW 向 3 组) 分形分析。采用广西地质一队在恭城测区进行的 1: 5 万区调工作时所编绘的测区构造纲要图作为原始图件, 图件的比例尺 1: 200 000, 该图件收录在 1: 5 万区域地质调查报告 (恭城幅、栗木幅) 中。分析的范围南起恭城, 北至栗桂, 东西分别以龙虎关和西岭为界。与区调工作的精度要求相协调, 在分析中选取分支断裂的实际长度下限为 0.25 km, 所采用的标度为 80 km~ 0.5 km (断裂的实际长度)。步长 r 是与正方形边长有关的变量, 以覆盖整个南区或北区的初始正方形边长 40 cm 为基准, 以下依此减半。双对数 $\log N(r)$ - $\log r$ 图解 (图 1) 是以 $\log N(r)$ 为纵座标, $\log r$ 为横坐标, 根据所测数据绘制散点图并加以拟和而得到的。从双对数 $\log N(r)$ - $\log r$ 图解中我们可以看到: 各组 $\log r$ 与 $\log N(r)$ 均具有良好的线性相关性。因此, 用最小二乘法拟和直线并求其斜率是可行的。从计算结果 (表 1) 中我们可以看出: (1) 北区断裂的总体分维值略高于南区的总体分维值。(2) 无论在南区还是在北区, SN 向断裂的分维值与全区断裂的分维值很接近, 可以说基本上是代表了全区断裂的分形特征。(3) NE 向和 EW 向断裂的分维值很小, 与 SN 向断裂相比,

处于次要地位。(4)无论是全区还是其它任何方向的断裂,其分维值都小于 1.5

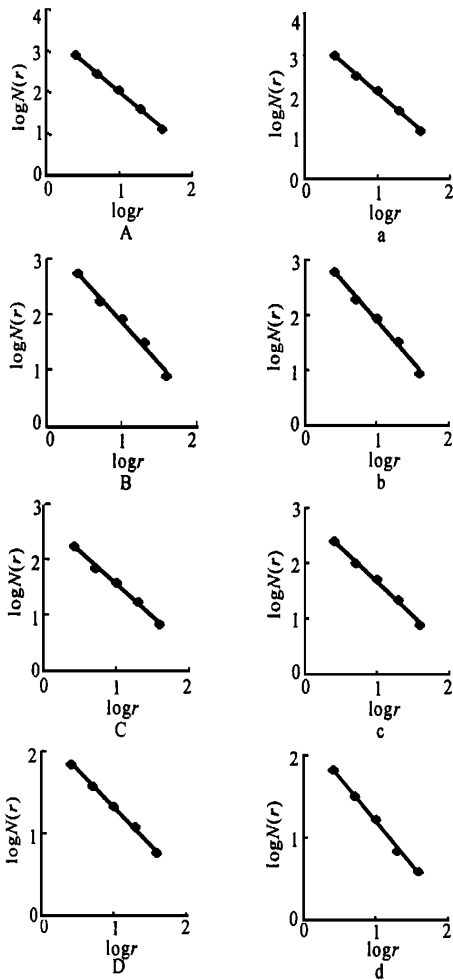


图 1 恭城—栗木断裂带平面分维的双对数坐标图解

Fig. 1 Diagram showing the $\log r - \log N(r)$ of fracture systems in Gongcheng-Limu fault zone
A—D 嘉会以南地区; a—d 嘉会以北地区; A, a 所有断裂; B, b SN 向断裂; C, c NE 向断裂; D, d EW 向断裂; r —格子边长; $N(r)$ —为有断层进入的格子数. A—D South region to Jiahui; a—d North region to Jiahui; A, a All faults; B, b SN direction faults; C, c NE direction faults; D, d EW direction faults; r —Length of boxes at each side; $N(r)$ —Number of boxes having fractures.

分维值 D 的大小与断裂构造之间一般具有如下关系^[5,7]:

(1) 断裂的发展演化趋势是一个降维的过程。在由具复杂几何结构的次级断裂组合向单一连续型大断裂过度的同时,分维值也由大变小。断裂系分维值 D 的大小在一定程度上反映了断裂的发育程度,即分维值 D 越低断裂系的发育程度越高。

(2) 分维值 $D > 1.5$ 时,小断层和分支及次级断层层相对较多,结构较复杂。构造活动性强,多条多段分支断层有贯通的倾向,断裂构造处于发育阶段。

(3) 分维值 $D < 1.5$ 时,小断层和分支及次级断

层相对较少,构造的贯通性和连续性较好,结构简单。断层基本上已完全贯通,断裂构造趋于成熟。

4 结语

基于恭城—栗木断裂带的分形分析,作者对该断裂带作出如下推断:

(1) 北区的分维值略高于南区,说明北区断裂构造较南区间断和分支多,结构要复杂而且不够成熟。恭城—栗木断裂带是栗木—马江断裂带的北段,断裂从中部恭城一带形成并向两端逐步扩展可以成为北区分维值略高的一种解释。

(2) 无论是在南区还是北区,SN向断裂的分维值都与全区断裂系的分维值接近,这说明SN向断裂在全区处于绝对的主导地位,从规模和复杂程度及其它方面均代表了全区的断裂构造。实际上,恭城—栗木断裂带主要就是由近SN向的断裂组成。

(3) NE向和EW向断裂处于次要地位,它们结构简单,活动性不强并且处于衰亡状态。它们只是在后期错断了SN向断裂,但不影响全区的构造格架。

(4) 全区的断裂构造(主要指SN向断裂)总体上分叉和间断较少,构造的贯通性和连续性较好,结构较简单,构造活动性不算太强,构造发育趋于成熟。但与华南地区断裂体系相比(整个华南地区线性构造的分维值为 1.35^[5]),恭城—栗木断裂则属结构较为复杂、活动性偏强的一类。

分形在地质学中的应用使得某些原本模糊的概念得到量化处理,分形研究使断裂构造研究向数字化,即量化方向发展。恭城—栗木断裂带是一条构造现象丰富,研究条件较齐备的大型断裂构造,还可进一步开展诸如碎裂岩的分维值分析、扭裂面分数维分析等研究。

参考文献

- 1 大野博之,小島圭二. 岩体破裂系的分数维. 地震地质译丛, 1990, 12 (2): 1-6
- 2 Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature. New York: W H Freeman and Company, 1983. 1-468.
- 3 Okubo P G, Akik. Fractal geometry in the San Andreas fault system. J G R, 1987, 92: 345-355.
- 4 平田隆幸. 断层与分数维. 地震地质译丛, 1990, 12 (1): 53-56.
- 5 孔凡臣,丁国瑜. 线性构造分维值的含义. 地震, 1991, 5: 33-37.
- 6 金章东,卢新卫,张传林. 江西德兴斑岩铜矿田断裂分形研究. 地质论评, 1998, 44 (1): 57-61.
- 7 皇甫岗,韩明,王晋南. 滇西北地区断层分数维几何学的研究. 地震地质, 1991, 13 (1): 61-65.
- 8 广西壮族自治区地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1982.

(责任编辑: 黎贞崇)