

下庄矿田控矿断裂的分形特征

李 社¹, 管太阳^{1,2}, 潘家永^{1,3}, 曹双林^{1,3}

(1. 东华理工学院 地球科学系, 江西 抚州 344000;

2. 中国科学院 地球化学研究所, 贵阳 550002;

3. 南京大学 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210093)

摘 要: 运用分形理论对下庄矿田控矿断裂的空间分布特征研究的结果表明, 控矿断裂的空间分布具有自相似性特征, 分形理论可以定量地描述控矿断裂的分布规律。应用盒计维数法计算了控矿断裂空间分布的分数维值, 并对不同成矿构造区的分数维特征进行了比较, 探讨了分数维值的物理意义。实际资料计算结果显示, 网格数目与尺度有很好的相关性, 其相关系数均达 0.99 以上。

关键词: 下庄; 分形; 分数维; 控矿断裂; 空间分布

中图分类号: O184; P613 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2005)04-0286-05

分形理论作为非线性科学的一个分支, 是研究自然界空间结构复杂性的一门学科, 可从复杂的看似无序的图案中, 提取出确定性、规律性的参量。近年来分形理论在地球物理学、石油地质学、构造地质学等地球科学领域得到了广泛的应用^[3]。

在区域成矿学研究中, 断裂构造往往是多尺度成矿系统(成矿带、矿田、矿床和矿体)的主导控制因素。在诸多控矿要素中, 断裂构造的复杂程度对成矿有着及其密切的联系。分形理论可以将断裂构造复杂程度定量化, 如 B. B. Mandelbrot 提出的分形几何学中的分维数, 用于定量描述断裂构造体系的复杂程度^[6-7]。孔凡臣等^[2]通过单条断裂体的分数维值的含义研究, 认为断裂构造的分数维 D 值的大小反映了其结构的复杂程度和活动性的强弱。具有不同分数维 D 值的断裂构造常常处于不同的构造发育阶段。本文试图运用分形理论来定量研究下庄矿田控矿断裂的空间分布特征。

1 分形理论简述

分形理论是由数学家 B. B. Mandelbrot^[8-9] 创立的。分形是其组成部分以一定方式与整体相似的形。以分数维、自相似性、统计相似性和幂函数等为工具, 研究不具有特征标度, 极不规则和高度分割但具有自

相似性的复杂现象。定量描述这种自相似性的参数为分数维, 简称分维 (fractal dimension), 记为 D 。由于研究对象是一些无序而具有自相似性的系统, 它的形成过程具有随机性, 因而维数的变化是连续的, 即可以是分数。这样就可以借助于分数维 D 值来定量表征断裂构造在空间的分布特征。

其分形具有以下基本性质:

具有某种自相似性的形式, 但不是完全数学意义上的自相似性, 而是统计的自相似性, 或是近似的自相似性; 在分形几何学中维数可以是整数或分数, 这与欧氏几何学中有所差别; 自然现象仅在一定的尺度范围内才表现统计自相似性, 该尺度之外, 不再具有该分形特征; 自然界中分形多是具有自相似性分布的随机现象。因此, 必须用统计的方法进行分析与处理。

B. B. Mandelbrot 把分形定义为: 其组成部分与整体存在一定的自相似性, 用分数维 D 值来定量描述分形的复杂程度。可以定义一个分形模型:

$$N_i = C/r_i^D \quad (1)$$

式中: N_i 为具有指定特征的物体数目; r_i 为特征物体的标度; D 为分数维; C 为比例常数。

对(1)式两边取对数:

$$\log N_i = \log C - D \log r_i \quad (2)$$

由(2), 则 $\log N$ 与 $\log r$ 呈线性关系, 分数维 D 是直线的斜率。根据分数维定义和(1)式, 设计一个

数学模型,从而求出分数维 D 值^[7]。

求分数维的方法有多种,通过对比分析认为,盒计维数的统计方法更适合于断裂分数维的测定。该法的基本步骤为:用边长为 r_i 的正方形网格覆盖所选断裂体系,统计相应的 N_i ,以 $\log r_i$ 为横坐标, $\log N_i$ 为纵坐标,在直角坐标系中采用最小二乘法对统计数据线性回归分析,如果所选断裂体系具有分形自相似性结构特征,那么 $\log N_i$ 与 $\log r_i$ 应满足 $D = \log N_i / \log r_i$ 的线性关系。该回归直线的斜率即为该断裂体系的分数维 D 值。利用该方法所求出的分数维 D 值代表了断裂构造的空间(平面)分布与几何结构特征^[8]。

2 下庄矿田的断裂构造特征

下庄矿田是南岭钨多金属成矿带中的钨矿集区之一,也是我国花岗岩型富钨矿的主要产地之一。其位于贵东岩体东段,为其组成部分,贵东岩体属纬向南岭花岗岩带组成部分之一,北纬 $24^{\circ}30' \sim 25^{\circ}30'$ 的九疑山 大东山 泉州花岗岩带的西段近中段。本区在区域构造上处于华夏古陆西缘,闽赣后加里东隆起的西南缘与湘桂粤北海西-印支拗陷交接部位。

下庄矿田位于 NEE 向黄陂断裂带和马屎山断裂带所夹持的范围内。其矿田断裂构造极其发育,按其空间展布方向可分为 3 组:即 NWW、NEE 和 NNE 向,构造都按其等间距空间展布(图 1)。

2.1 NWW 向控矿构造

NWW 向构造是矿田最早发生发展的构造,在控岩(脉)构造基础上,受 SN 压应力的继续作用,在岩脉及其附近形成早期挤压、片理化糜棱岩化;晚期又与 NWW 向张裂构造叠加再次活动,形成储矿构造。早期 NWW 向构造从北向南有雷打山地段的 F1 挤压构造,大帽峰地区的 120 糜棱岩构造及张光营地段的石土岭挤压构造等,控制矿田最早所形成的钨矿化(337 矿床及 333 矿床部分矿体)。晚期,在 NNE 向构造活动的同时, NWW 向构造又发生张性活动,形成以钨-微晶石英型矿化为主的钨矿化类型(333 和 202 矿床)。

2.2 NEE 向控矿构造

受全南断裂带影响,NEE 向的黄陂和马屎山两断裂所夹持区内,同时发育同序次低级别构造,按 3

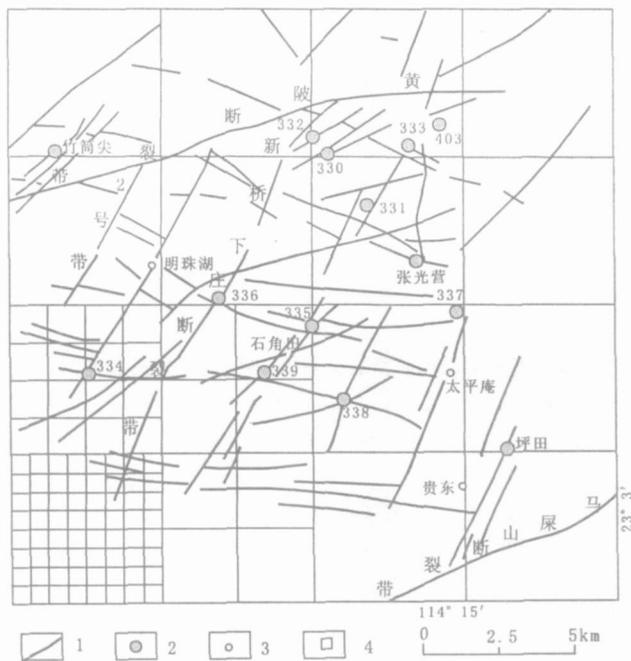


图 1 下庄矿田控矿断裂简图

Fig. 1 Sketch of ore-controlling faults in Xiazhuang ore field

1. 断裂 2. 矿床 3. 地名 4. 盒子

km 等间距从北向南展布 86, 106, 108, 16 及 31 号构造组。形成以 330 和 338 矿床为代表的成矿构造。

2.3 NNE 向控矿构造

坪田、太平庵、张光营 仙人嶂、102 石角围、新桥 下庄、明珠湖、2 号等 NNE 向断裂以 3~4 km 的间距规律性展布。形成以 332, 330, 336, 6009, 202, 333, 331, 335 和 339 等矿床的成矿构造。NNE 向构造控制矿田内 75% 的矿床和矿石总储量的 80%。

NNE 向构造具有从西向东和从早到晚活动和空间展布规律性。据此,以明珠湖断裂构造组为界以西为成矿构造活动西区;以明珠湖断裂构造以东至太平庵断裂构造以西夹持区为成矿构造活动中区;太平庵以东为成矿构造活动东区。

3 下庄矿田控矿断裂的分形特征

我们用(2)式来求下庄矿田控矿断裂的分形维数。研究中所采用的控矿断裂资料引自核工业 290 研究所编制的《下庄矿田各成矿阶段分布图》,由笔

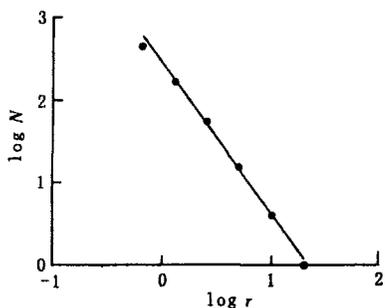


图2 下庄矿田控矿断裂分布 $\log N-\log r$ 关系曲线

Fig.2 $\log N-\log r$ curve of ore-controlling faults in Xiazhuang ore field

表1 下庄矿田控矿断裂数据

Table 1 Data of the ore-controlling faults in Xiazhuang ore field

网格边长 r/km	20	10	5	2.5	1.25	0.625
网格数 $N/(r)$	1	4	16	55	167	443

者提取其中的控矿断裂构造(图1)。对于图1为边长为 $R=20\text{ km}$ 的正方形区域,从 0.625 km 到 20 km 改变网格的边长,分别数出有断裂进入的网格数 N_i (表1),并且在双对数坐标中作 $\text{Log } N-\text{Log } r$ 关系曲线(图2)。可以看出,良好的线性拟合关系反映了该区控矿断裂体系空间分布的统计自相似性特征和分形分布特征。由最小二乘法求得分维数 $D=1.77$, 相关系数为 0.998 。说明下庄矿田控矿断裂的空间分布很好地遵从幂律关系式(1),回归曲线如图3所示。

为进一步研究下庄矿田控矿断裂的分区空间展布特征。如图4所示,将初始网格进行编号,即1~20,其中1~6网格作为Ⅰ区,7~16网格为Ⅱ区,17~20网格为Ⅲ区,这3个区域基本对应着下庄矿田的3个成矿构造活动区:成矿构造活动西区、成矿构造活动中区、成矿构造活动东区。采用实际边长为 $5\sim 0.3125\text{ km}$ 的5种不同标尺的正方形网格,分别统计各区有

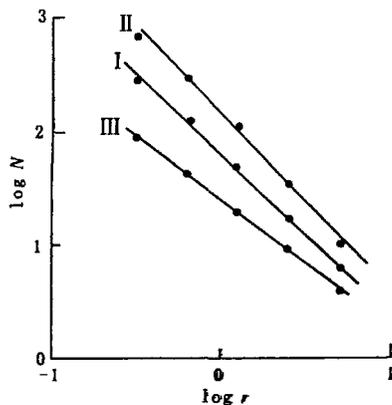


图3 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区控矿断裂的 $\log N-\log r$ 关系曲线

Fig.3 $\log N-\log r$ curves for sub-areas

断裂进入的网格数(表2)。同样在双对数坐标中作 $\text{Log } N-\text{Log } r$ 关系曲线,由最小二乘法求得 $D=1.40, 1.54$ 和 1.12 , 相关系数分别为 $0.998, 0.997$ 和 0.997 。

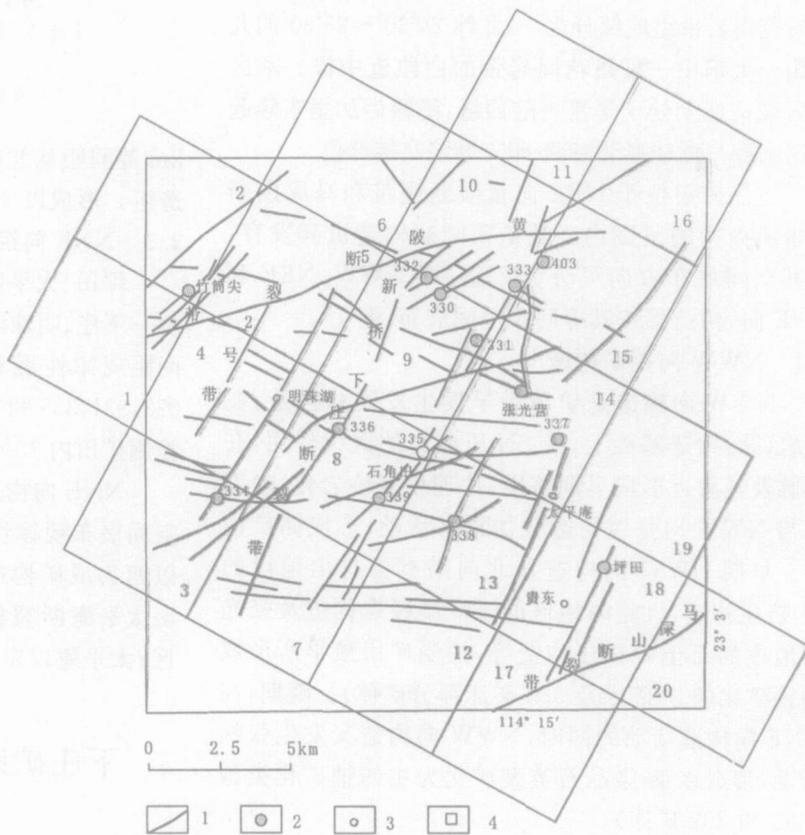


图4 下庄矿田控矿断裂分区图

Fig.4 Sketch showing division (sub-area) of ore-controlling faults in Xiazhuang ore field

1. 断裂 2. 矿床 3. 地名 4. 盒子序号

0.999。各区的拟合直线见图 3。显然,分维数 D 值的总体变化趋势是 $D_2 > D_1 > D_3$; 反映了控矿断裂在矿田中区较之西区 and 东区的空间分布复杂的特点,分维数越大构造活动强^[5]。

表 2 分区控矿断裂数据

Table 2 Data of ore-controlling faults in sub-areas

网格边长 r/km	5	2.5	1.25	0.625	0.3125
网格数	6	17	49	125	283
$N/(r)$	10	34	109	294	696
	4	9	19	43	90

上述结果表明,在该标度范围内,控矿断裂的空间分布均具有分维结构特征,相关系数均达 0.99,说

表 3 控矿断裂空间分布与分数维对比

Table 3 Contrast between spatial distribution of ore-controlling faults and fractal dimension

区域	控 矿 构 造	矿 点	分数维	相关系数
区	明珠湖、2 号、黄陂、龟尾山等构造展布区	明珠湖、黄陂、斜仔	1.40	0.998
区	新桥 下庄、102 石角围、张光营 仙人嶂 构造展布区	332、330、336、6009、26 公里、202、焦坑、333、 331、335、339、338、张光营、竹园头	1.54	0.997
区	太平庵、坪田构造展布区	坪田	1.12	0.999

5 结论

分形理论可以刻画下庄矿田控矿断裂的空间分布特征,分数维是其定量描述这种分布的有效参数。应用盒计维数法求得下庄矿田控矿断裂的空间分布的分数维 D 值在 1.12~ 1.54 之间,总体分布分数维 D 值为 1.77,分数维总体变化趋势是中区最高、西区较高和东区最低,反映了控矿断裂在矿田中区较之西区 and 东区的空间分布复杂的特点。分数维与矿田控矿断裂空间分布的复杂程度成正相关,控矿断裂的空间分布越复杂,分数维值越高。本文成果说明网格覆盖数目与尺度具有很好的相关性,其相关系数达 0.99 以上,说明幂律关系(1)式成立。

下庄矿田控矿断裂的空间分布具有很好的统计自相似性结构特征,因此可以用分形理论的方法和原理定量研究控矿断裂构造的发育和分布特征。控矿断裂构造分数维 D 值的大小可反映其发育的复杂程度以及二维平面上控矿断裂构造的结构性。控矿

明控矿断裂的空间分布分形特征明显。

4 分数维的物理意义

一般地,控矿断裂空间分布的复杂程度与分数维 D 值的大小成正相关,为了说明这一点,分别统计了, 区控矿断裂的空间展布与矿点的分布,其与分数维 D 值的对应关系如表 3 所示,分析该表可知, 区内控矿断裂的空间分布较之 区和 区复杂,其矿点的分布也远远多之 区和 区。同时, 区分数维 D 值为 1.54,也比 区和 区的分数维 D 值 1.40 和 1.12 大。由此可见,控矿断裂空间分布的复杂程度是影响分数维 D 值的重要原因。

断裂的分数维 D 值越大,反映控矿断裂体系空间分布的复杂程度和发育程度越高。

致谢:野外工作期间,广东省核工业地质局二九三大队一瑞钦总工、张振奋总工等给予了大力协助,在此深表谢意。

参考文献:

- [1] 肯尼思·法尔科内(曾文曲,刘世耀译). 分形几何数学基础及其应用[M]. 沈阳:东北大学出版社,1991.
- [2] 孔凡臣,丁国瑜. 线性构造的分维值的含义[J]. 地震,1991,10(5):33.
- [3] 施俊法. 分形理论与矿产资源定量预测研究[J]. 国外地质科技,1998,(2):62.
- [4] 张均,周乔. 川西北地区控矿断裂的分形特征及其预测意义[J]. 长春科技大学学报,2000,10(4):342-346.
- [5] 朱晓华. 中国大陆山系、断层系的分形分维探讨[J]. 地质力学学报,1999,2(5):45-48.
- [6] Mandelbrot B B. Self-affine fractals and fractal dimension[J]. Physica Scripta,1985,32: 257-259.
- [7] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature[M]. W. H. Freeman, San Francisco,1982.

- [8] Mandelbrot B B. Stochastic models for earth's relief, the shape and the fractal dimension of the coastlines, and the number-area rule for islands, *Proc J J. National Academy of Science, USA* 1975, 72, 3825-3828.
- [9] Mandelbrot B B. *Fractals: forms, chance and dimension*[J]. W. H. Freeman, San Francisco. 1977, 10 (5): 33.

FRACTAL CHARACTERISTICS OF ORE-CONTROLLING FAULTS IN XIAZHUANG URANIUM ORE FIELD

LI She¹, GUAN Tai-yang^{1,2}, PAN Jia-yong^{1,3}, CAO Shuang-lin^{1,3}

(1. *Department of Earth Sciences, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China;*

2. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of sciences, Guiyang 550002, China;*

3. *State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, China)*

Abstract: Spatial distribution characteristics of the ore-controlling faults in Xiaozhuang uranium ore field are studied by using fractal theory in this paper. The results show that the spatial distribution are in self-similarity statistically and the distribution regularity can be quantitatively described by fractal theory. Through utilization of grid chart method, the fractal dimensions of spatial distribution of ore-controlling fault are calculated. In addition, properties of fractal dimension in different sub-area are compared and physical significance of fractal dimension is explored in this paper. Real datum computation shows that gridding counting number correlates to the scale very well with a correlation coefficient of more than 0.99.

Key words: Xiaozhuang; fractal; fractal dimension; ore-controlling fault; spatial distribution

(上接第 285 页)

STUDY ON THE PRIMARY DIAMOND ORE SEARCH INFORMATION FOR WAFANGDIAN AREA, LIAONING PROVINCE

FU Hai-tao^{1,2}

(1. *Collage of Resources and Civil Engineering of Northeast University, Shenyang 110014, China;*

2. *Liaoning Geological Exploration Bureau, Shenyang 110032, China)*

Abstract: Wafangdian region, in the southern of Liaoning province, is an important producer of diamond in China. From 1970s, there are 111 kimberlite veins or pipes to have been found. As much as half of Chinese original diamond reserves are located there. After exploitation for many years, the diamond reserves proved decreases. It is necessary to prospect new resource. Through analysis information of prospecting of regional geochemical survey, regional gravitational survey, regional gem washings survey, aeromagnetic survey and remote sensing data, the author puts forward a new idea for prospecting of original diamond and determines some new target area on summing up the previous work.

Key words: Wafangdian; diamond; original ore; information of prospecting; Liaoning province