维普资讯 http://www.cqvip.com

第24卷 第5期 铀 矿 地 质 Vol. 24 No. 5
2008年 9月 Uranium Geology Sep. 2008

山东沂源福吉山铜矿区断裂体系的分数维特征

程光锁，张尚坤，张义江，罗文强，闫 诚，梁吉坡

（山东地质科学实验研究院，山东 济南 250013）

[摘要] 本文应用分形理论对福吉山地区铜矿区的断裂体系进行了分数维的计算和分析，结果表明了断裂体系的自相似性、该区的分数维值高于区域断裂体系的分数维值。断裂体系分数维值越大的地区越有利于铜矿的分布。

[关键词] 铜矿；分数维；断裂体系；沂源县

[文章编号] 1000-0658(2008)05-0306-05 [中图分类号] P628；P618.41 [文献标识码] A

1 引 言

断裂是构造变形和地壳演化的重要产物之一，也是一种重要的构造作用方式，它对热液迁移、矿床的形成和地震等起着重要作用。由于断层、裂隙等具有标度不变的特征，近年来，随着分形几何学在地质学上的广泛应用，对断层几何学特征的复杂性进行定量的描述和分析，为断裂构造的定量研究开辟了一条新的途径。国内外许多学者研究了断裂构造的分形结构特征及其在矿床、油气田、地震等方面的应用，并取得了许多有意义的成果[1~7]。断裂体系空间分布分数维值的大小是断层数量、规模、组合方式及其动力学机制的综合体现，是一项综合性指标，它可以作为断裂构造复杂程度的一个定量参数。影响断裂构造分数维值的因素有介质的物化性质、构造应力场及区域构造活动强度等。

2 福吉山铜矿区地质概况

福吉山铜矿位于山东省沂源县鲁中隆断区鲁村盆地西北，上五井断裂以西，主要出露寒武纪、奥陶纪灰岩、白云岩，区域岩层多为单斜地层，褶皱不发育。矿区内断裂主要有近南北向、北东向和近东西向；断裂性质多为左行走滑。区内无岩体出露。铜矿属于非岩浆热液矿床。（图1）

本区铜矿体均受断裂控制，铜矿体主要沿近南北向断裂分布，成矿元素铅、铜主要来自灰岩地层，由地下水在渗流过程中从流经的岩石中吸取而来，并在热源作用下成为地下热液沿断裂、裂隙运移，在适宜的部位充填和交代围岩形成矿体。

铜矿主要产于F1断裂及其上盘次级断裂带中，矿体多呈脉状产出，明显受断裂和白云岩层位的控制。脉状矿体沿断裂走向和倾向有膨胀、收缩、分枝等现象，往往在断裂交叉部位，矿体突然膨大成囊状、瘤状。这类矿床以规模小、矿体延伸不大为特征。由于受断裂构造的影响，矿区内节理、裂隙发育，为成矿热液的运移和积聚，提供了良好

[收稿日期] 2007-09-25 [改回日期] 2008-01-02

[作者简介] 程光锁（1969-），男，高级工程师，2006年毕业于中国地质大学（北京），获硕士学位。

维普资讯 http://www.cqvip.com

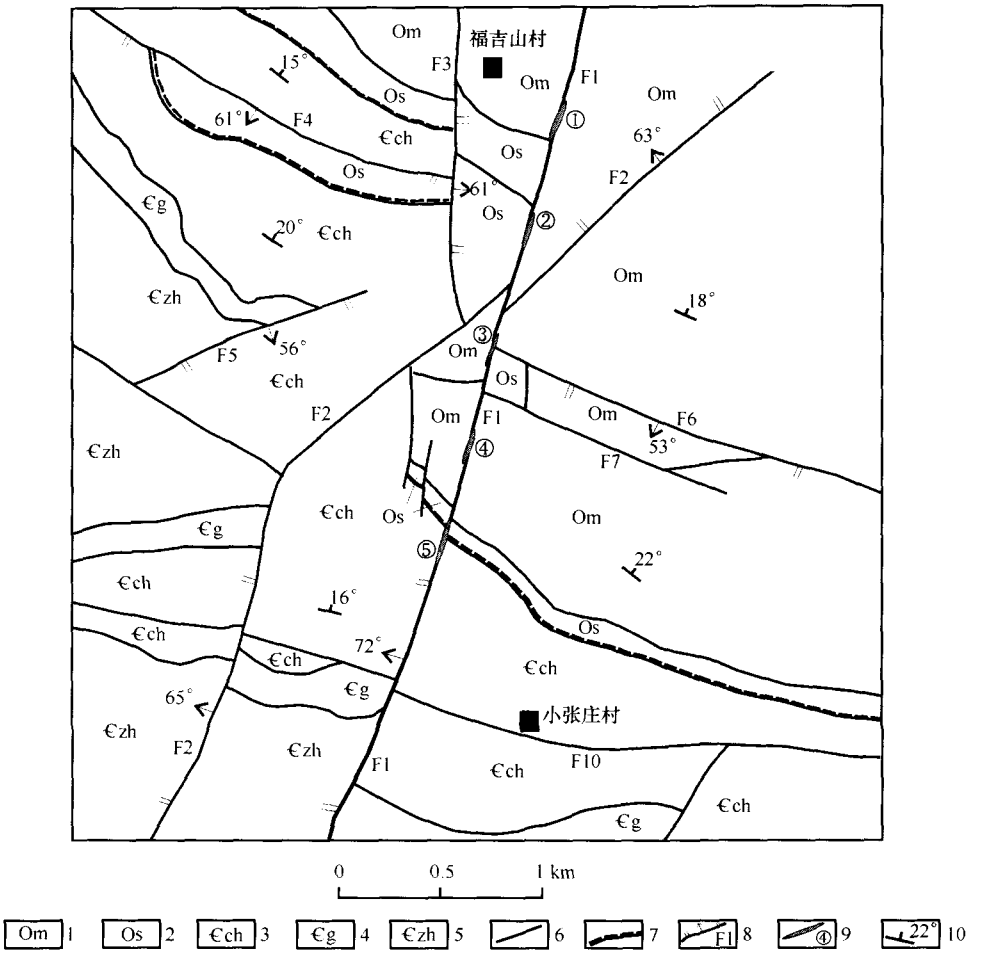

图 1　山东省沂源县福吉山地区构造地质图

Fig. 1　Geological map of Fujishan area, Yiyuan county, Shandong province

1——奥陶纪马家沟组；2——奥陶纪三山子组；3——寒武纪炒米店组；4——寒武纪崮山组；5——寒武纪张夏组；6——地质界线；7——平行不整合界线；8——断裂及其编号；9——铜矿体及其编号；10——岩层产状。

的空间。沿裂隙石英脉、褐铁矿脉、铜矿脉发育。断裂活动使含矿热液沿构造空间上移，到达有利的构造部位，富集沉淀形成黄铜矿。其后，又由于构造和热液的多次活动，方解石脉、石英脉沿断裂充填。黄铜矿、黄铁矿氧化为孔雀石、蓝铜矿和褐铁矿。矿石多为矽卡岩类型。

3　计算方法的选择

分数维是一种集的复杂性或者不规则性的度量，我们可以把断裂带的断层体系看成不同的集，一个集的分数维一旦被确定，就可以为我们提供一种表征该集分数维性质的定量手段。许多学者用不同的测量方法对断层体系的分数维进行了实际测量与研究。其断裂长度随测量尺度的减小而变大。由于本文主要研究的是几何体的平面分布问题，因此采用了数格子的办法，此方法适用于二维的几何体分数维测量，而且此方法简单易行[2,5]。

我们选择一定区域，用 r 为边长的正方形格子把平面分割（图 2），数出包含断层的正方形格子数，计为 $N(r)$，r 和 $N(r)$ 满足：

$$N(r) = C/r^D \qquad (1)$$

式中：D——断层的分数维值；C——比例常数。将（1）式两边取对数，得：

维普资讯 http://www.cqvip.com

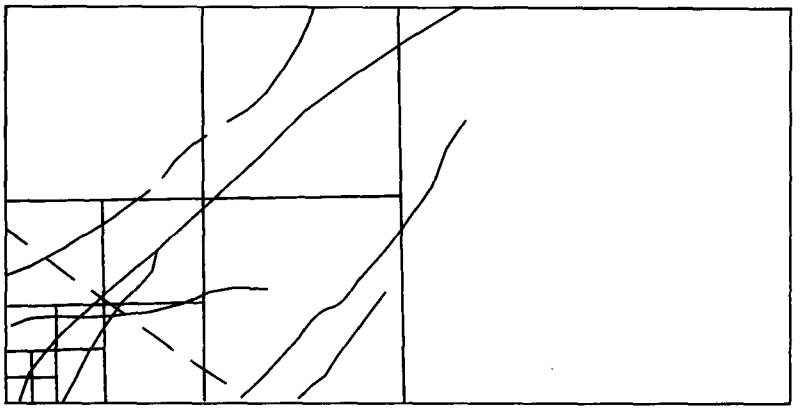

图2 统计断裂的网格划分图

Fig. 2 Sketch of statistics fault with net divided method

$$\lg N(r) = C - D\lg r \tag{2}$$

从（2）式可以看出，D 实际上是 $\lg N(r)$ 和 $\lg r$ 所构成直线的斜率。由于随格子边长 r_i（$i=1, 2, \cdots\cdots, n$）变化，就得到一组 $N(r_i)$（$i=1, 2, \cdots\cdots, n$）。采用最小二乘法，即可以拟合出这条直线。计算断层系分数维值 D 和相关系数 R 的公式为：

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} X * Y - \overline{Y} * \sum_{i=1}^{n} X}{\sum_{i=1}^{n} X^2 - \overline{X} * \sum_{i=1}^{n} X} \tag{3}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X}) * (Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \overline{Y})^2}} \tag{4}$$

式（3）、（4）中：$X = \sum_{i=1}^{n} \lg r_i$，$Y = \sum_{i=1}^{n} \lg N(r_i)$，$\overline{X} = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^{n} \lg r_i$，$\overline{Y} = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^{n} \lg N(r_i)$。

分数维值 D 是反映断层体系复杂性程度的参数。相关系数 R 是反映断层系分布相似程度的参数。

4 测量数据和计算结果

福吉山地区主要发育北东向、近南北向和近东西向3组基本断裂。具体计算方法为：选择7个不同的正方形边长 r，分别为1.0、0.8、0.5、0.4、0.25、0.2及0.16 km，用不同边长的格子把研究区划分为不同的分区。按前述方法，在1∶1万基础图件上，用不同 r 为边长的正方形格子量取各组断裂及各个分区内的所有断裂，从而得到各组断裂及各区所含不同 r 为边长格子的数目 $N(r)$，并用前述公式求出分数维值 D 及相关系数 R，其结果列于表1。

表1 福吉山铜矿断裂分数维测量统计计算表

Table 1 Statistics of fractal dimension of faults system in Fujishan coppor deposit

r（km）	$N(r)$（个）	D	R
1.0	16		
0.8	21		
0.5	45		
0.4	60	1.626	0.996
0.25	104		
0.2	123		
0.16	156		

自相似性是局部和整体在形态、功能、信息等方面具有精确的或统计意义上的相似性，而与测量尺度无关。自然界中的许多现象都具有分形特征，地质学中分形现象则更为常见。地壳变形、岩石破坏、地震的发生以及地质过程中多期次和空间相关性等都是一个自相似过程，且这些事件的空间分布在

维普资讯 http://www.cqvip.com

一定标度域内常常是具有统计自相似性的。这种自相似性可以帮助分解不同地质过程所产生的地质体。

自然界中的地质现象分形体往往具有统计意义上的自相似性。如果矿区的断裂分布具备自相似性特征，那么不同标度的 lg N (r) 与 lg$r$ 在双对数图上应该拟合成一个高度相关的线性直线。图 3 是将福吉山铜矿地区分区及各组断层系不同的 r 值和 N (r) 值投影到双对数坐标上所得到的，从图中可以看出，各分区及各组断层系的 lg N (r) 与 lg$r$ 之间具有良好的线性关系。相关系数 R 的数值和图 3 表明各分区断层及各组断裂系都具有较好的自相似性，指示该矿区较为规则的断裂分布，和不同方向的断裂系在演化上具有继承性。

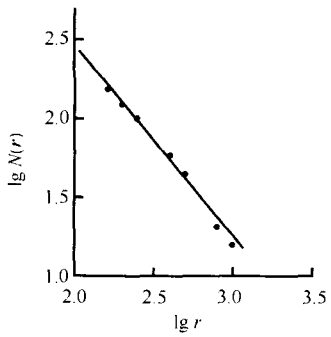

图 3　福吉山地区铜矿 lg N (r) - lg$r$ 曲线

Fig. 3　The relationship between lg N (r) and lg$r$ in Fujishan copper deposit

5　福吉山地区断裂构造的分数维特征及其与热液成矿的关系

由前面的计算结果可知本区的断裂分数维值为 1.626；而鲁中南地区沂源县、莱芜市一带断裂构造总的分数维值是 1.605[5]。本区作为鲁中隆断区的一个小的构造单元相对总体构造格局基本一致，且略高于背景值。本区断裂发育，构造活动强烈，发育阶段复杂。本区的断裂体系自燕山运动开始发育，直至新生代是一个基底不断抬升，断层间断性复活、同时不断产生新的张性掀斜断层的过程，发育于构造活动强烈的较浅部的脆性、张扭性断裂带，断裂长度较大，小断层及分支断层繁多，带内破碎程度高。断裂构造愈复杂，具有较大的分数维值。因此本区分数维值较总体偏高。

断裂构造的分数维特征与福吉山地区铜矿体的关系密切。断裂组成越复杂，规模越大，断裂分布的分数维值越高，断裂构造的活动性就越强，从而愈有利于成矿元素的活化及成矿流体的运移、聚集。本区的断裂构造对铜矿体的空间分布起着明显的控制作用，主要的铜矿体都分布于近南北向的断裂带中，且近等间距分布。

岩石的断裂变形随分数维值的增大而显著增大，地质体的连通性与断裂分布的分数维值有关，并存在一个断裂分数维临界值。当断裂分布分数维值低于该临界值则连通性差，若达到或高于该临界值时，则断裂的连通性好，发育连续的断裂族贯穿整个地质体。研究区的分数维值为 1.625，高于区域背景值 1.605。分数维值大的区域，常是应力集中释放、断裂发育和连通性好的地段，从而为成矿流体的运移、聚集提供了有利的运移通道和汇聚场所，成矿流体沿着断裂带上升，在浅部的构造有利部位聚集成矿。

6　结　论

通过对福吉山地区的分形分数维值的计算以及与鲁中南地区的分数维背景值的比较分析，初步得出以下认识。

(1) 分数维值反映了断裂构造的复杂程度，数值越大，断裂构造的间断点和交汇点越多，构造越复杂。断裂的分数维值 D 是定量表示断裂体系空间分布及其几何结构特征的一种有效方法。福吉山地区的断裂系分数维值为 1.625，相对于鲁中南地区的断裂系分数维值略高。

(2) 断裂体系深部多相互贯通，为矿液的运移和富集成矿提供了通道和沉淀空间，也为铜矿提供了矿物质来源和热动力。断裂

维普资讯 http://www.cqvip.com

构造体系的分数维值可指示矿床定位及成矿流体运移的条件，断裂的分数维值越大，越有利于流体成矿作用。

（3）分形几何学的理论和方法为研究断裂构造与金属矿产空间分布关系提供了新的思路和方法，同时为预测成矿远景区提供了新的依据。鲁中南地区断裂构造分数维值达到1.62以上表明本区可能是铜矿的有利分布区。

[参考文献]

[1] Cello G. Fractal analysis of a Quaternary fault array in the central Apennines, Italy [J]. Journal of Structural Geology, 1997. 19 (7): 945～953.

[2] 孔凡臣，丁国瑜. 线性构造分数维值含义 [J]. 地震，1991. (5): 33～37.

[3] 刘锡大，赵希俊，侯建军，等. 太行山山前断裂带的分形几何特征 [J]. 地震研究，1998. 21 (2): 165～17.

[4] 卢新卫，马东升. 湘中锑矿带断裂体系分维及其对成矿流体运移和矿床定位的指示作用 [J]. 矿床地质，1999. 18 (2): 168～174.

[5] 薛　革，王红卫，刁守中. 鲁中南地区断层体系的分数维特征 [J]. 高原地震，1994. 6 (3): 57～62.

[6] 谢炎石，谭凯旋. 断裂构造的分形研究及其地质应用 [J]. 地质地球化学，2002. 30 (1): 71～77.

[7] 曾联波，金之钧，李京昌，等. 柴达木盆地北缘断裂构造分形特征与油气分布关系研究 [J]. 地质科学，2001. 36 (2): 241～247.

The features of fractal dimension of faults system in Fujishan copper deposit, Yiyuan county, Shandong province

CHENG Guang-suo, ZHANG Shang-kun, ZHANG Yi-jiang, LUO Wen-qiang, YAN Cheng, LIANG Ji-po

(*Shandong Geosciences and Tests Institute, Jinan, Shandong* 250013, *China*)

Abstract: Based on fractal theory, this paper calculates the fractal dimension of fracture systems in Fujishan copper deposit. The value of fractal dimension has the statistical self-similar characters and fractal characteristics; and the fractal value of deposit is higher than that of the other area. The fractal dimension suggests that the higher the value, the more favorable the conditions for copper deposition formation.

Key words: copper deposit; fractal dimension; fracture systems; Yiyuan county