

江西九瑞地区典型矿床控矿断裂的分形特征研究

殷卓¹, 杨兴科¹, 张国柱²

(1. 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安 710054; 2. 同济大学隧道与地下建筑工程专业, 上海 200092)

[摘要] 利用断裂构造的分维值可以定量描述断裂分布的复杂性和构造演化的成熟度, 它是断层数量、规模、发育程度、组合方式及动力学的综合体现。文章将分形几何学的原理和方法应用于九瑞地区以及城门山和武山铜矿田的断裂系统的二维平面分布特征研究, 发现在研究的标度范围内不仅具有统计自相似性, 而且九瑞矿区子区域具有不同的分维数 D 值。结果表明矿化岩体产出部位分维值明显高于整个区域的分维值, 结合断裂产状、时代、穿切关系与岩体侵入部位对比可知, 分维值越高, 越有利于矿床形成, 矿床规模也越大。

[关键词] 分数维 断裂体系 铜矿 九瑞地区

[中图分类号] P542+.3

[文献标识码] A

[文章编号] 0495-5331(2009)05-0558-05

Yin Zhuo, Yang Xing-ke, Zhang Guo-zhu. Fractal characteristics of ore-controlling faults of typical deposits in Jiujiang-Ruichang area, Jiangxi province [J]. *Geology and Exploration*, 2009, 45(5): 558-562.

在矿田构造及成矿预测研究中, 断裂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, 断裂的复杂程度对成矿有着密切的联系。断裂既是构造变形的产物, 也是重要的机械—热力作用方式, 对岩体侵入、热液迁移和交代充填成矿、油气藏形成、地下水迁移等起着重要作用。研究矿田尺度成矿要素断裂的分形结构特征, 重点研究江西九瑞矿集区典型矿区控矿断裂的分形结构及其与矿化的相互关系, 具有重要的理论和现实意义。

1 九瑞铜矿集区地质概况

九瑞矿集区地处扬子准地台、北濒华北板块, 南临华南板块。西与鄂东南矿带连为一体, 东与庐江、安庆、贵池、铜陵矿带遥相对应^[1-4]。

区内断裂发育, 构成菱形网格结构, 控制本区岩浆岩和铜矿床的产状及分布。

按照断裂的规模, 可分为深大断裂(岩石圈断裂)、基底断裂和盖层断裂。

对该区有影响的岩石圈断裂主要有 F_{I-1} 广济—九江断裂、 F_{I-2} 金山店—丰山洞—城门山断裂、 F_{I-3} 团坡深断裂, 大体呈北西向展布, 其中 F_{I-1} 和 F_{I-3} 构成九瑞成矿带的南北边界。 F_{I-1} 广济—九江断裂是沿江断裂的组成部分, 为该区矿带的北侧边界断层。该区的基底断裂有十条, $F_{II-1} - F_{II-10}$ 。其中北东向五条, 北东东向两条, 北西向三条。本区盖层断裂(F_{III})主要有北东东(近北西向)、北西向和北东向等三组。

北东东向断裂: 该组断裂是区内最为发育的一组断裂, 从北往南依次为 F_{III-1} 、 F_{III-2} 、 F_{III-3} 、 F_{III-4} 、 F_{III-5} 、 F_{III-6} 、 F_{III-7} 、 F_{III-8} 等断裂。

北西和北东向断裂: 该组断裂大多隐伏于盖层中深部, 对盖层褶皱有一定影响, 区内主要有 F_{III-9} 、 F_{III-10} 、 F_{III-11} 、 F_{III-12} 、 F_{III-13} 等五组断裂, 与 NW 向基底断裂平行展布。

总之, 北东东向和北西向断裂构成了本区盖层菱形网格构造, 其结点是区内主要的导岩、导矿构造^[5]。

综上所述, 区内基底菱形格状构造和盖层菱形网格构造构成本区构造的基本格架。断裂分布图见图1。

[收稿日期] 2009-01-23; [修订日期] 2009-07-01。[责任编辑] 杨欣。

[基金项目] 中国地质调查局的国土资源大调查增量项目(编号: 1212010813051)资助。

[第一作者简介] 殷卓(1982年—), 女, 2006年毕业于吉林大学, 在读硕士生, 现主要从事地球物理、构造地质及盆地分析研究工作。

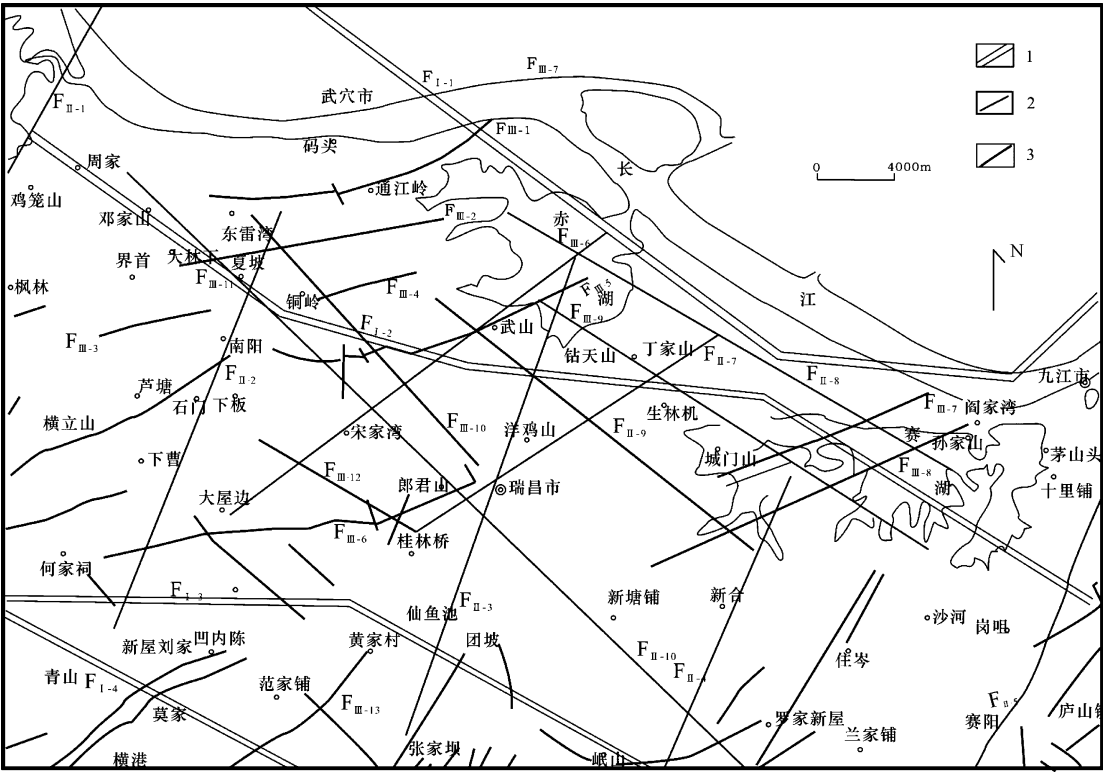


图1 江西九江-瑞昌矿区构造纲要图(据文献[5]修编)

Fig. 1 Geological map of tectonic setting of Jiujiang-Ruichang area in Jiangxi province(After reference [5])

A—武山矿区;B—城门山矿区;1—深断裂;2—基底断裂;3—盖层断裂

F_{I-1}—广济-九江断裂;F_{I-2}—金山店-丰山洞-城门山断裂;F_{I-3}—团坡深断裂;F_{II-1}—广济-木港断裂;F_{II-2}—宝山-东雷湾断裂;F_{II-3}—赤湖-瑞昌断裂;F_{II-4}—城门山-陈溪垄断裂;F_{II-5}—新港-庐山隘口断裂;F_{II-6}—邓家湾-桂林桥断裂;F_{II-7}—丁家山-瑞昌断裂;F_{II-8}—赤湖-牛皮州断裂;F_{II-9}—丁家山-城门山断裂;F_{II-10}—丰山洞-瑞昌断裂;F_{III-1}—通江岭-邓家山断裂;F_{III-2}—黄岭-夏坂断裂;F_{III-3}—夏坂断裂;F_{III-4}—宝山-大桥断裂;F_{III-5}—武山断裂;F_{III-6}—丁家山-大冲断裂;F_{III-7}—长山-城门山断裂;F_{III-9}—相家湾-冯家垄断裂;F_{III-12}—邓家湾-桂林桥断裂;F_{III-14}—猪岭山断裂

A—Wushan mine;B—Chengmenshan mine;1—profound fault;2—basement faults;3—superficial fractures;

F_{I-1}—Guangji-Jiujiang fault; F_{I-2}—Jinshandian-Fengshandong-Chengmenshan fault; F_{I-3}—Tuanpo deep fault; F_{II-1}—Guangji-Mugang fault; F_{II-2}—Baoshan-Dongleiwang fault; F_{II-3}—Chihu-Ruichang fault; F_{II-4}—Chengmenshan-Chenxilong fault; F_{II-5}—Xingang-Lushanyikou fault; F_{II-6}—Dengjiawan-Guilinqiao fault; F_{II-7}—Dingjiashan-Ruichang fault; F_{II-8}—Chihu-Niupizhou fault; F_{II-9}—Dingjiashan-Chengmenshan fault; F_{II-10}—Fengshandong-Ruichang fault; F_{III-1}—Tongjiangling-Dingjiashan fault; F_{III-2}—Huangling-Xiabang fault; F_{III-3}—Xiabang fault; F_{III-4}—Baoshan-Da-qiao fault; F_{III-5}—Wushan fault; F_{III-6}—Dingjiashan-Dachong fault; F_{III-7}—Changshan-Chengmenshan fault; F_{III-9}—Xiangjiawan-Fengjialong fault; F_{III-12}—Dengjiawan-Guilinqiao fault; F_{III-14}—Zhulingshan fault

2 断裂的分形分析方法

对断裂的分形分析研究后认为,分形虽然显示出无规则的变化,但这决不意味着其绝对无规则,分形具有自相似特征,并可应用分维对其形状和复杂程度进行定量描述。同样,看似复杂的断裂也可用分形方法进行分析。计算断裂分维值 D 的最常用方法是盒维法 (box-counting dimension method) [6-11,16]。即以边长为 r 的正方形格子构成网格平面去覆盖断层平面分布图,在标度不变性范围内改变 r 值的大小,统计出包含断层的网格数 N(r)。

根据分维的定义:

$$N(r)=Cr^{-D} \tag{1}$$

对公式(1)两边分别取对数得:

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

由于随格子边长 r_i ($i=1,2,3\cdots n$) 变化,就得到一组 $N(r_i)$ ($i=1,2,3\cdots n$)。

在双对数坐标图上采用最小二乘法将 $\lg N(r)$ 和 $\lg r$ 拟合成一条直线。

分维值 D 是反映断层体系复杂性程度的参数 [12-15]。相关系数 R 是反映断层系分布相似程度的参数。如果 $\lg N(r)$ 和 $\lg r$ 之间拟合的相关系数达

到预定要求,说明断层分布在该标度尺寸 r 范围内具有自相似性。该直线的斜率就是所求的分维值 D 。

3 测量数据和计算结果

计算九瑞矿集区的断裂分维值,具体的计算方法是:首先,选择 7 个不同边长 r 的正方形,边长分别为 10.2km、7.2km、4.2km、2.6km、2.0km 和 1.0km,填满整个研究区域。然后,分别统计出不同边长取值时,研究区域内包含断裂的格子数 $N(r)$ 。最后,利用最小二乘法在双对数坐标上进行曲线拟合。优选出该矿集区武山铜矿区和城门山铜矿区作为典型的研究对象。这两个大型矿区也是利用上述同样的方法获得各自的分维值的。

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^[16]。

表 1 九瑞矿集区断裂分数维测量统计计算表

Table 1 Statistical table of fractal dimension values of fault systems in Jiu-Rui mine area

r/km	$N(r)/\text{个}$	D	R
10.2			
7.2	22		
	34		
5.2	73		
4.2	102	1.58	0.9939
	222		
2.6	328		
2.0	694		
1.0			

从图 2 至图 4 和表 1 至表 3 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。

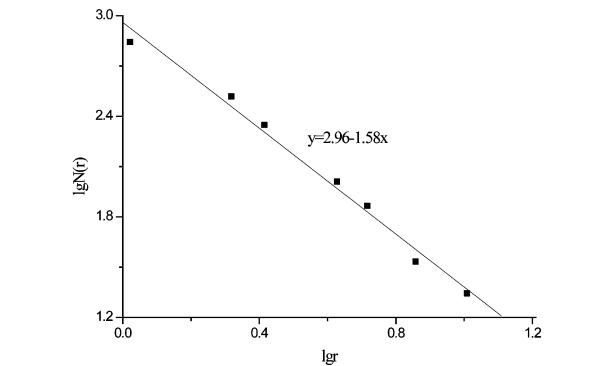


图 2 九江-瑞昌矿集区铜矿 $\lg N(r)$ - $\lg r$ 曲线
Fig. 2 The relationship between $\lg N(r)$ and $\lg r$ of fault systems in Jiujiang-Ruichang mine area

表 2 武山铜矿断裂分数维测量统计计算表

Table 2 Statistics of fractal dimension values of fault system in Wushan Cu deposit

r/km	$N(r)/\text{个}$	D	R
6			
4	4		
3	9		
	16		
2.4	24	1.82	0.9974
	33		
2.0	58		
	100		
1.5			
1.0			

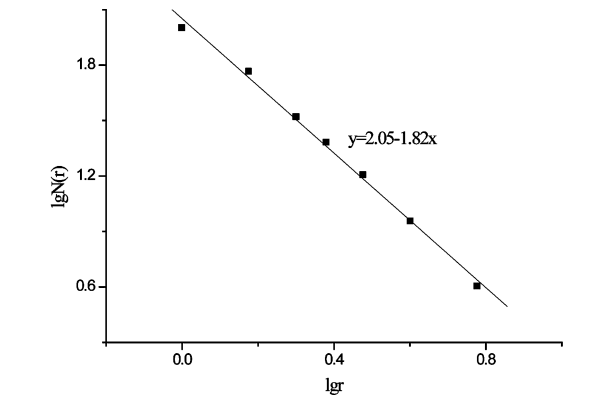


图 3 武山铜矿 $\lg N(r)$ - $\lg r$ 曲线
Fig. 3 The relationship between $\lg N(r)$ and $\lg r$ of fault system in Wushan copper deposit

表3 城门山铜矿断裂分维测量统计计算表
Table 3 Statistical table of fractal dimension values of fault systems in Chengmenshan Cu deposit

r/km	$N(r)/\text{个}$	D	R
6	4	1.85	0.9983
4	9		
3	16		
2.4	24		
2.0	34		
1.5	60		
1.0	106		

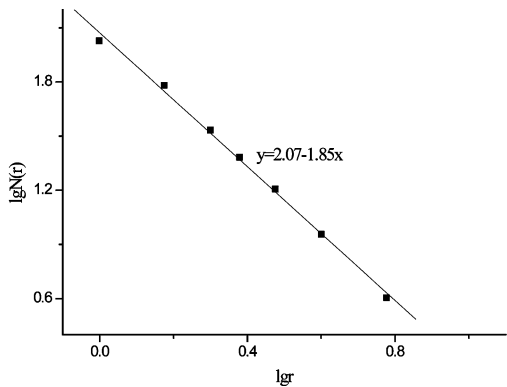


图4 城门山铜矿 $\lg N(r) - \lg r$ 曲线
Fig. 4 The relationship between $\lg N(r)$ and $\lg r$ of fault system in Chengmenshan Cu deposit

4 断裂分维数与成矿关系

从前面的计算结果可知该区的断裂分维值是1.58,而武山和城门山分维值分别为1.82和1.85,明显高于区域值。该区断裂发育,构造活动强烈,发育阶段复杂。断裂的分维特征与九瑞地区的铜矿体关系密切。

金属成矿的关键在于金属离子的运移、聚集和沉淀,强烈的构造运动可以促使金属离子的富集。九瑞地区总体断裂分维值 $D = 1.58$,明显高于四川盆地 ($D = 1.462$) [17] 的断裂分维值。岩石的断裂变形随分维值的增大而显著增大,地质体的连通性与断裂分布的分维值有关,并存在一个断裂分维临界值。当断裂分布分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。武山矿区和城门山矿区的分维值明显高于区域背景值。而城门山的分维值又高于武山的分维值。分维值大的区域,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。

5 结论

断裂体系空间分布分维值的大小是断层数量、规模、组合方式及动力学机制的综合体现,是一项综合性指标,它可以作为断层构造复杂程度的一个定量参数 [6,13,15]。影响断裂构造分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。

1) 断裂体系的空间分布具有很好的统计自相似性,因此可以用分形几何的方法和原理来定量地研究断裂的发育和展布情况,及其与矿产资源的相关性;

2) 断裂分维值的大小可以反映断裂发育的复杂程度和规模的大小,断裂愈复杂,规模愈大,愈具有较大的分维值,断裂的活动性就越强,从而愈有利于成矿元素的活化及成矿流体的运移、聚集。

该区的断裂对铜矿体的空间分布起着明显的控制作用。但斑岩成矿为主导的成矿作用期,成矿早期,成矿期及成矿期后不同阶段的断裂控矿作用程度不一,应结合实际地质情况,分析断裂期次、方位和形成时代,才能更好地反映断裂的分形特征。

[参考文献]

[1] 崔彬,李忠文.江西九-瑞地区铜金成矿系列[M].武汉:中国地质大学出版社,1992,1-130.
Cui Bin, Li Zhong-wen. Copper and gold metal logenic series in Jiu-Rui area Jiangxi province [M]. WuHan: ChinaUniversity of Geosciences Press, 1992, 1-130.

[2] 李启全,罗健雄.九瑞地区区域地质构造环境新述[J].江西地质,1997,11(3):67-73.
Li Qi-quan, Luo Jian-xiong. A new description of the registrictural environment of Ruichang area [J]. Jiangxi geology, 1997, 11 (3):67-73.

[3] 陈波,占岗乐.浅论赣北九瑞铜金矿集区的资源潜力[J].地质与勘探,2007,43(3):46-50.
Chen Bo, Zhan Gang-le. Potential of mineral resources in the Jiu-jiang-Ruichang Cu-Au concentration area, northern Jiangxi province [J]. Geology and Exploration, 2007, 43(3):46-50.

[4] 钟良水.江西九瑞铜金矿床控矿条件及成矿预测[J].地质与勘探,1991,27(9):1-8.
Zhong Liang-shui. Metallogenic control and prognosis of the Jiurui Cu-Au deposit, Jiangxi [J]. Geology and Exploration, 1991, 27 (9):1-8.

[5] 翟裕生,姚书振,周综桂.长江中下游铜金矿床矿田构造[M].北京:地质出版,1999,19-58.
Zhai YU-sheng, Yao Shu-zhen, Zhou Zong-gui. Middle and lower reaches of the Yangtze River copper-gold deposit field structure [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999, 19-

58.

[6] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature. New York: W. H. Freeman and company, 1983,1-486.

[7] 程光锁,张尚坤,张义江. 山东沂源福吉山铜矿区断裂体系的分数维特征[J]. 铀矿地质,2008,24(5):306-310.

Chen Guang-suo,Zhang Shang-kun,Zhang Yi-jiang. The features of fractal dimension of faults system in Fujishan copper deposit,Yiyuan county ,Shandongprovince [J]. UraniumGeology, 2008,24(5):306-310.

[8] 李本亮,张喜慧,孙 岩. 断裂分维值对矿产资源预测的指示意义-以西藏地区为例[J]. 高校地质学报,1999,5(1):17-21.

Li Ben-liang,Zhang Xi-hui,Sui Yan. Significance of Dimension Value of Fault System In Evaluatiing Natural Resources With Tibet as Example[J]. Geological Journal of China Universities, 1999,5(1):17-21.

[9] 高安秀树. 分数维[M]. 沈步明,常子文译. 北京:地震出版社,1989,1-147.

TAKAYASU H. Fractal dimension[M]. Translated by Shen Bu-ming,Chang Zi-wen. Beijing:Earthquake Press,1989,1-147.

[10] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature[M]. New York: W. H. Freeman and company, 1983: 1-486.

[11] Sun Yan, Yang Shu-feng, Zhang Qing-long, Cui Wei-dong. Dissipative structures of rock and ore-forming systems in faults [J]. Chinese journal of geochemistry, 1992,11(2): 121-132.

[12] Hirata T. Fractal dimension of fault systems in Japan: fractal structure in rock fracture geometry at various scales [J]. Pafeoph,1989,13(1): 157-170.

[13] Aviles C A, Scholz C Z, Boatwright J. Fractal analysis applied to characteristic segments of the San Andreas fault [J]. Geophys Res, 1987,92,331-344.

[14] Vignes-Adler M, Paeg A L, Adler P M. Fractal analysis of fracturing in two African regions, from satellite imagery to ground scale[J]. Tectonophysics, 1991,196:69-86.

[15] 卢新卫,马东升. 湘中断裂体系分维与锑矿分布[J]. 地质论评,1998,44(5):542-546.

Lu Xin-wei,Ma Dong-sheng. Fractal dimension of fault systems and antimony deposit distributionin central Hunan[J]. Geological Review, 1998,44(5):542-546.

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

Kong Fan-chen,Ding Guo-yu. The Implications of The Fractal Dimension Values of lineaments[J]. Earthquakes, 1991, (5): 33-37.

[17] 张 均,周乔伟. 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. 2000,30(4):342-346.

Zhang Jun,Zhou Qiao-wei. Fractal features and forecasting significance of ore controlled frature in northwest Sichun province. journal of Changchun university of science and technology, 2000,30(4):342-346.

Fractal Characteristics of Ore-controlling Faults of Typical Deposits in Jiujiang-Ruichang Area, Jiangxi Province

YIN Zhuo¹,YANG Xing-ke¹,ZHANG Guo-zhu²

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054;
2. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract:Fractal dimension can be used to quantify the complexity of the fracture distribution and its evolutionary maturity. It is a synthetic characterization of fault amount, scale, evolution, assembly pattern and mechanism. Through the application of the principles and methods of fractal geometry to the study of fractal characteristics of the Jiujiang-Ruichang area, both Chengmenshan and Wushan deposits. In the research of Jiujiang-Ruichang copper deposit, the authors found that these fracture systems not only possess the statistical self-similar character in the scale extent studied, but also have different D values of fractal dimension in different ore districts and fracture systems. The characteristic distribution of D values coupled with comparison of the attitudes, penetration relationships and ages of different fracture systems with the location of porphyry copper deposit bodies indicates that the higher the D value, the more favorable the conditions of copper formation and larger the deposit size.

Key words:fractal,fracture system,copper deposit,Jiujiang-Ruichang area