

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

湘中断裂体系分维与锑矿分布

卢新卫 马东升

(南京大学地球科学系, 210093)

内容提要 笔者将分形几何学的原理和方法,应用于湘中地区断裂体系的二维平面分布特征研究,发现在研究的标度范围内(r 约2~80 km)不仅具有统计自相似性,并且同一地区,不同分区具有不同的分维值 D 。分维值分布特征为东南区分维值高于西北区分维值。将本区断裂体系的这种分维值分布特征与锑矿床分布特征对比,可发现锑矿床(点)产出较多,矿床规模较大的地区,其分维值较大。

关键词 分形 断裂体系 锑矿床 湘中

分形(fractal)自相似性和标度不变性是地学中的一个普遍现象^[1]。近年来的研究表明,断裂构造的分布及其几何形状具有分形结构^[2~7]。鉴于断裂构造对矿产资源分布具有重要的控制作用,为了探讨分形结构—断裂构造—矿产资源之间的关系,发展新的资源预测与评价方法,本文尝试应用分形几何学理论(fractal geometry theory)研究湘中断裂体系,并由此而揭示该区断裂体系的分形特征,初步分析断层分维与锑矿床分布及成矿作用的关系。

1 研究区构造背景

湘中地处江南古陆东南侧,主要由震旦纪和古生代(寒武纪—二叠纪)沉积盆地,即湘中盆地组成。基底为新元古界板溪群(Pt_3)和中元古界冷家溪群(Pt_2)。该区具有较高的地质研究程度,也是世界上最著名的锑矿产区。在本区东南部,即下述“锡矿山—龙山子区域”产有世界最大的锑矿床——锡矿山锑矿床。区域内主要发育有NE向、NNE向及EW向等断裂构造。断裂构造在空间上,对锑矿床的分布起了明显的控制作用(图1)。

已有的研究表明,湘中地区基底断裂裂隙是同沉积阶段含矿热液上升至海底喷流的主要通道,而燕山期构造运动所产生的NNE向各组断裂是后生成矿阶段运矿、容矿的主要构造^①。在断裂体系的分形研究中,上述两种断裂同时考虑,视为一体。依据断裂构造的特征,该区断裂可分为4级:一级断裂具有延伸长、断距大、活动时间长等特点,延伸长度可达50 km以上;二级断裂具有产生早、延伸长、断距大、继承性强等特点,延伸一般可达20~30 km;三级断裂是一级和二级断裂的派生断裂,其延伸一般为5~10 km;四级断裂为次级派生断裂,其延伸不长,断距小。在本项研究中,对各级断裂不加以区别,而是将给定的图幅比例下所有断裂的集合视为整体(本文称为断裂体系)作为宏观研究。

注:本文为国家自然科学基金(编号49473186)资助项目。

① 湖南有色地质研究所研究室. 湖南省锡矿山锑矿田矿床地质特征. 1993.

本文1997年10月收到,12月改回,章雨旭编辑。

2 断裂体系的分维值计算

断裂的形成是岩石受地应力作用产生破裂和发生位移的一种重要的地质现象。从数学的观点来观察断裂的空间展布特征,实质上是一系列无规则的线状或面状几何体集合。将这些无规则形状的几何体集合视为分形体,则可按分形几何学的方法定量地求得分形体空间分布特征的参数分维。分维是分形几何学中的一个十分重要的参数,其计算方法很多^[8],本文采用计盒维数法(box-counting dimension method)来完成研究区断裂体系的分维计算。具体做法是,以边长 r 不同的正方形格子构成二维正交网络去覆盖断裂体系所在的平面,分别计算出有断裂穿越的网格数 $N(r)$ 。如果:

$$\lg N(r) = a + blgr$$

则断裂体系是分形分布的,且断裂体系的分维值 $D = |b|$ 。利用该方法所求出的分维值代表了断裂构造的平面分布与几何结构特征。

应用上述的计盒维数法原理分别对湘中地区(图1),大神山子区域(图1中 I 区域)和锡矿山—龙山子区域(图1中 II 区域)进行了平面断裂构造体系的分形分析,结果如图2所示。整个湘中地区($16 \times 20 \text{ cm}^2$, 约 $320 \times 400 \text{ km}^2$)用 $0.1 \sim 4 \text{ cm}$ (约 $2 \sim 80 \text{ km}$)的网格覆盖,在有断裂进入的总格子数对格子边长的双对数坐标图中有很好的线性相关性(图2a),其相关系数 $r = 0.9988$,求得的分维值 $D = 1.667$ 。大神山子区域($7 \times 7 \text{ cm}^2$, 约

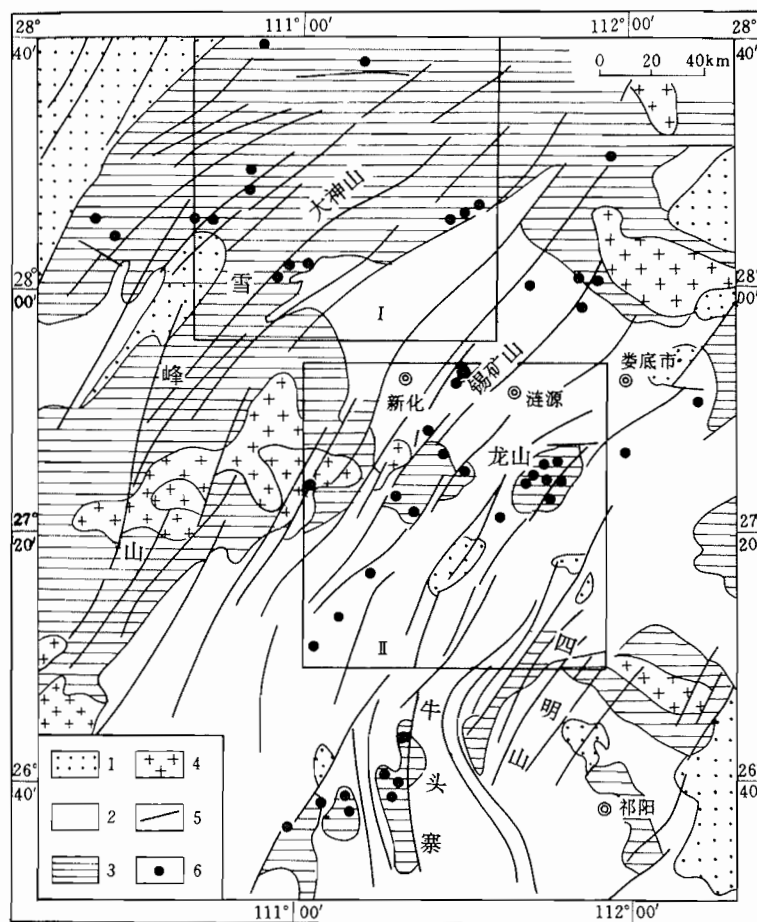


图1 湘中断裂体系与锑矿分布图

(据湖南区测队资料及航片解译)

Fig. 1 Fault system and distribution of antimony deposit in Central Hunan

(based on the data of Regional Geological Team of Hunan Bureau and explanation of aerophoto)

- 1—上三叠统—白垩系; 2—泥盆系—下三叠统; 3—前泥盆系;
- 4—花岗岩; 5—断裂; 6—锑矿
- 1—Upper Triassic—Cretaceous; 2—Devonian—Lower Triassic;
- 3—Predevonian; 4—granites; 5—fault; 6—antimony deposit

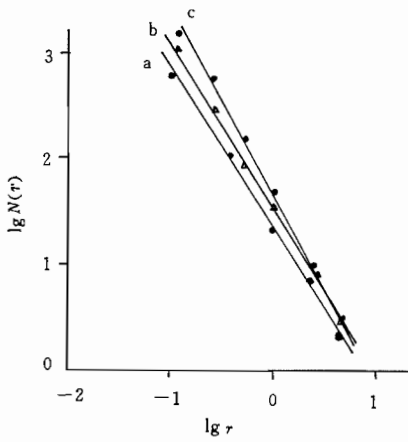


图2 湘中断裂体系 $\lg N(r)$ - $\lg r$ 曲线
 Fig. 2 Diagrams showing the $\lg N(r)$ - $\lg r$ of fault system in central Hunan
 a—湘中地区; b—大神山子区域 (I);
 c—锡矿山—龙山子区域 (II)
 a—Central Hunan; b—Dashenshan sub-range;
 c—Xikuangshan—Longshan sub-range

140×140 km²)和锡矿山—龙山子区域(7×7 km²,约140×140 km²)分别用0.1~3.5 cm(约2~7 km)的网格覆盖,在双对数座标中均呈现良好的线性关系(图2b和图2c),其相关系数和分维值分别为:大神山子区域相关系数 $r=0.9979$,分维值 $D=1.702$;锡矿山—龙山子区域相关系数 $r=0.9984$,分维值 $D=1.857$ 。显然,湘中地区断裂体系分维值的总体变化趋势是由东南向北西降低。

3 断裂体系分维特征与锑矿分布

湘中断裂体系分维特征研究的重要目的之一,就是要了解和认识断裂体系分维特征与锑矿分布在空间上是否存在某种关系。通过研究这种关系来评价和预测湘中锑矿分布和富集的有利区域。

断裂体系分维值的大小体现了构造发育的复杂程度以及二维平面上构造分布的均匀性。上述分维研究结果显示湘中地区断裂体系的分维值较别的地区大^[9,10],表明该区构造相对复杂,断裂极为发育。另外,分维值由东南向西北降低这一趋势也表明东南区较西北区断裂发育,这一结论正好与湘中断裂展布相一致。

各子区域断裂体系分维值的差异,表征了不同子区域断裂体系分布在分形几何特征上的差异,同时也反映了湘中在地质演化过程中,构造作用所产生的断裂在时空上的一种不平衡性和非均匀性。而研究表明断裂体系时空上的这种不平衡性和非均匀性与锑矿分布有着相当密切的内在联系。为了研究锑矿分布与断裂体系分维之间的这种关系,笔者应用分形理论分析了大神山和锡矿山—龙山两个子区域内锑矿床的分布特征。结果(图3)表明锑矿床的空间分布具有分形结构。

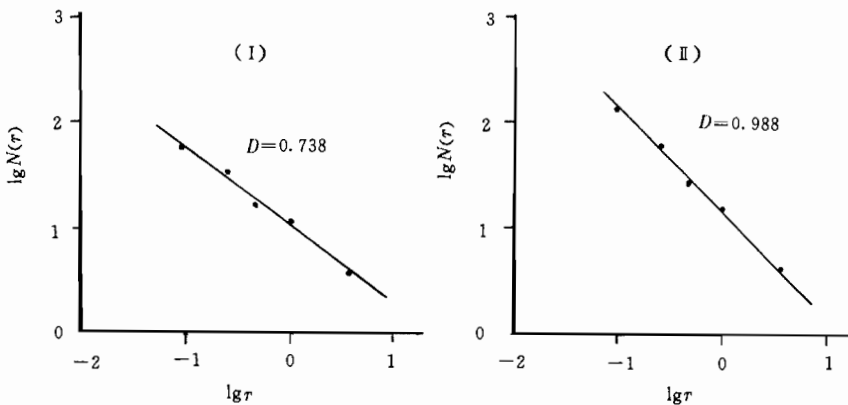


图3 湘中 I、II 子区域锑矿分布 $\lg N(r)$ - $\lg r$ 区线
 Fig. 3 Diagrams showing the $\lg N(r)$ - $\lg r$ of antimony deposits distribution in I, II sub-ranges of central Hunan

两个子区域分维值的差异显示了锑矿床的空间分布特征,II区分维值大于I区,其锑矿产出较多,规模较大,分布也较I区均匀。湘中地区锑矿分布的分维特征与断裂构造的分维特征呈正相关关系,即断裂体系分维大的地区,其锑矿空间分布的分维值也大,

锑矿产出较多,规模较大,分布较均匀;反之,断裂体系分维值小的地区,其锑矿空间分布的分维值小,锑矿产出较少,分布不均匀。湘中断裂体系分维研究结果表明,断裂体系对锑矿分布有着一定的控制作用,分维值较大的区域即东南部是矿床产出集中的部位。

以上的研究分析启示,利用断裂体系在不同子区域上的分维值来预测湘中锑矿的产出和分布,不失为一种值得更进一步探索的新方法。但值得注意的是,矿床的分布受控于断裂体系并不意味着矿床的分布与产出由断裂体系的空间分布所决定。因为成矿流体的运移与聚集沉淀成矿,是受特定的地质演化过程所制约,是一个多种因素相互作用产生在一定时空上的状态过程。断裂体系的分维值可能是与这一状态过程相关的状态参数之一。这一状态参数反映的仅是状态过程的某一方面特征。所以,利用断裂体系的分维特征去研究锑矿成矿、分布规律时,必须结合实际的地质背景,辨明不同地质历史时期的断裂体系与成矿作用的关系,才能更准确地认识成矿流体的运移、聚集规律。尽管目前的认识还很难用明确的数学解析式定量地描述成矿流体运移与聚集成矿这一状态过程,但相信随着分形几何学在矿床学、流体地质学上应用的深入,结合数值模拟技术有可能走出一条更宽的路。

4 断裂体系分形特征的地质意义

分维数的物理意义是分形研究中一个重要的问题。因为,只有真正搞清楚了 D 的物理意义,才能正确地运用分维值 D 解决实际问题^[11]。前文提到,断裂分维的大小显示了构造的复杂程度以及空间分布的均匀性。分维值大的区域,常是应力集中(释放)、断裂发育的地段,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(面)上升,在浅部的构造有利部位聚集成矿^[12]。图2表明,湘中东南子区域断裂体系分维值大于西北子区域的分维值,该子区域内与锑矿成矿作用有关的 NNE 向断裂极为发育。相应地,锑矿产出数量及规模也较西北子区域大。著名的锡矿山超大型锑矿床和龙山锑矿床就产出于此区域。以上的分析说明,断裂体系平面分布的分维值越大,可能越有利于成矿。

5 结束语

应用计盒维数法所计算出的断裂体系分维,其本质是 Hausdoff 维数^[8]。按不同的分维定义,可得到不同的分维结果,分别描述的是研究对象不同情况下的系统熵^[13]。采用不同的分维计算方法去刻画断裂体系的分维特征,可以获得不同的定量信息,能够从多方面去揭示出更多的、蕴含在“无序”之中的有序规律。本文的研究结果仅反映了湘中断裂体系分维与锑矿分布一方面的规律。

虽然上述研究作为一个开端,且仅是一个初步结果。但由此可见,分形几何学作为一种新的数学理论和方法,至少在应用于描述湘中断裂体系的空间分布特征方面是有效的。该方法的引入使我们能定量地描述和对比区域断裂体系的分布,从而在成矿流体运移和矿床成因的过程模拟,以及矿床区域成矿条件的量化研究等方面有重要的理论价值。尤其在利用遥感构造影像分析及结合遥感影像处理,应用分形理论发展新的区域找矿预测方法方面,有一定的应用意义。

参 考 文 献

- 1 Turcotte D L. Implication of chaos, scale-invariance, and fractal statistics in geology. *Global and planetary Change*, 1990, 89:301~308.
- 2 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.
- 3 平田隆幸. 断层与分维数. 孙永华译. 地震地质译丛, 1990, 12(1):53~56.
- 4 孙岩, 万玲, 张喜慧, 勾佛义. 新疆塔里木北部地区压、扭、张破裂面分维数 D 值测算. 地质论评, 1997, 43(2):162~166.
- 5 四川地震局, 四川大学. 中小地震时间组织结构的无标度与大震前期征兆. 大自然探索, 1990, 9(1):38~41.
- 6 金邓辉, 马谨. 红河断裂带的断层几何特征及其与地震活动的关系. 见: 第二届构造物理学学术讨论会文集. 北京: 地震出版社, 1990. 75~80页.
- 7 周尽. 海原断层系的分形研究. 西北地震学报. 1991, 13(3):78~85.
- 8 肯尼恩·法尔科内. 分形几何-数学基础及其应用. 曾文曲, 刘世耀, 戴连贵, 高占阳译. 沈阳: 东北工学院出版社, 1991. 58~66页.
- 9 Okubo P G, Aki K. Fractal geometry in the San Andreas fault system. *J. Geophys. Res.*, 1987, 92:345~355.
- 10 刘顺生, 谭凯旋. 开放体系成矿动力学. 北京: 地震出版社, 1996. 99~102页.
- 11 刘代志, 邹红星, 苏娟, 赵克. 鲁西西部区域重磁异常场的分维计算与信息复合. 大地构造与成矿学, 1996, 21(2):119~126.
- 12 解庆林, 马东升, 刘英俊. 锡矿山锑矿大气降水-岩石交换作用模式. 南京大学学报(自然科学版), 1996, 32(地质专辑): 190~194.
- 13 董连科. 分形理论及其应用. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1991. 30页.

Fractal Dimension of Fault Systems and Antimony Deposit Distribution in Central Hunan

Lu Xinwei and Ma Dongsheng

(Department of the Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093)

Abstract

The principles and methods of fractal geometry are applied to the study of fractal characteristics of two-dimensional fault systems in central Hunan. The authors find that these fault systems not only possess statistical self-similar characteristics in the scale extent studied ($r=0.1\sim 4$ cm, about $2\sim 80$ km) but also have different D values of fractal dimension in different sub-ranges of the same area. The distribution of D values of fractal dimension in sub-ranges shows that the D value in the southeast sub-range is slightly higher than that in the northwest sub-range. Comparison of the distribution characteristics of D values with those of antimony deposits in central Hunan reveals that the more and larger the antimony deposits are the higher the D value will be, given the same spacial location.

Key words: fractal; fault system; antimony deposit; Central Hunan

作 者 简 介

卢新卫, 男, 1970年生. 1996年在西安矿业学院地质勘探专业获硕士学位. 现为南京大学地球科学系地球化学专业在读博士生. 通讯地址: 210093, 南京大学地球科学系, 96博士.