

# 基于遥感技术的断裂构造分形特征 及其地质意义研究

——以湘南九嶷山地区为例

雷天赐, 崔放, 余凤鸣, 徐宏根

武汉地质调查中心, 武汉, 430205

**内容提要:**以九嶷山地区 ETM + 遥感影像数据为信息源,通过信息提取与解译快速获取该区断裂构造。运用分形理论的盒维数法对断裂构造体系进行分形研究,结果表明,区内断裂构造在 0.05 ~ 2.75km 尺度范围内具有良好的自相似性和分形特征,总体分维值  $D = 1.1155$ 、 $R^2 = 0.9964$ ,分维值接近中国大地构造单元稳定区分维值;不同走向断裂分维值  $D$  在 0.9184 ~ 1.0441 间、 $R^2$  介于 0.9983 ~ 0.9996 间,各分维值  $D$  不仅定量描述了各走向断裂分布的复杂性和构造演化的成熟度,而且还反映了断裂的成矿作用:NE 向断裂分维值最大, $D$  值在 1.0441 附近时主要表现为导矿构造;SN 向断裂分维值次之, $D$  在 0.9870 附近时主要表现为控矿构造;NW 向断裂分维值偏小, $D$  在 0.9502 附近时主要表现为含矿构造。

**关键词:**分形;分维值;遥感;九嶷山;断裂

20 世纪 70 年代中期, Mandelbrot 创立了分形几何学理论。其作为现代非线性科学的一个重要分支,深入到自然科学与社会科学的多个领域,用来解释自然界中各种不规则、不稳定和具有高度复杂结构的现象。80 年代初,分形理论被逐渐引入地质领域并得到广泛应用,尤其是在岩石孔隙结构、大地构造分析、成矿动力学、地球化学、矿石品位与储量、成矿规律与成矿预测等方面,并且对于地质现象的分形研究已经由单分形过渡到了多重分形。如金强等(1995)、陈传仁等(1996)研究了储层砂岩粒度、孔隙的分形特征与砂岩的成分、结构及成岩作用的关系;Okubo(1987)和 Hirata(1995)分别研究证实了断裂构造都具有分形结构特征;连长云等(1995)、谭凯旋等(1998)研究总结了中国大陆深大断裂构造的分形特征及其大地构造意义;谢焱石等(2002)从成矿动力学角度研究得出了断裂分维值越高越有利于流体流动汇聚和矿床的形成;陈建国等(1998)、成秋明等(2000)、徐明钻等(2010)通过多重分形方法提取化探隐蔽信息并圈定出地球化学异常;秦长兴等(1992)、沈步明等(1993)、程小久等(1994)、王祖伟(1999)研究了矿床中的若干自相似

现象及矿体中金属品位分布的分形结构特征;申维(1997)发表了成矿预测的分形模型、成秋明等(2006)采用多重分形矿产资源预测理论和 GeoDAS GIS 技术,对国内外多个金属成矿区带进行了矿产资源勘查与评价。

本文以九嶷山地区的遥感影像数据为信息源,通过人机交互式解译快速获取线性构造并进行分形研究。结果表明,不同走向断裂分维值  $D$  不仅反映了断裂构造的成因、复杂程度及其时空演化关系,而且还体现了断裂的成矿作用,即控矿特征与分维值的相关性。

## 1 区域地质背景

九嶷山地区位于湘南地区西南部、湘粤交界处,我国著名的有色金属成矿区,也是南岭地区重要的锡成矿远景区之一。研究区地理座标:东经  $111^{\circ}41'16'' \sim 112^{\circ}03'56''$ ,北纬  $25^{\circ}09'35'' \sim 25^{\circ}25'51''$ ,面积  $1102 \text{ km}^2$ 。

在大地构造上,处于华夏板块与扬子板块接合带附近,南岭纬向构造带中段北缘、NE 向炎陵—蓝山基底断裂与 EW 向都庞岭—九嶷山断隆带交汇部

注:本文为中国地质调查局“南岭地区钨锡多金属矿找矿靶区优选与验证”(编号 K201025)的成果。

收稿日期:2011-03-29;改回日期:2012-03-27;责任编辑:章雨旭。

作者简介:雷天赐,男,1977 年生。硕士,矿产普查与勘探专业。通讯地址:430205,武汉市东湖新技术开发区光谷大道 69 号武汉地质调查中心;Email:leitianci@126.com。

位。区内构造经历了加里东、印支、燕山等多期构造活动,不同期次形成的构造形迹彼此交截、叠加、改造,呈现以 EW 向隆起为基底, NNE—近 SN 向断裂为主体,伴随 NE、NW、近 EW 向断裂的复杂构造格局(付建明等,2007)。其中 NE、近 SN 向断裂为区内的重要控矿构造,控制了该区锡多金属矿及 Sn、W、Mo、Bi、Pb 和 Zn 等高中温元素异常的分布。出露地层以边缘海槽盆相砂泥质岩石为主的震旦系—志留系和以浅海台地相碳酸盐岩为主的泥盆系—中三叠统,在一些断陷盆地中发育晚三叠世—侏罗纪和白垩系的陆相沉积岩,区域地质略图如图 1 所示。

区内岩浆岩相当发育,岩性以酸性、超酸性为主,另有少量的中性、碱性及基性岩。形成时代为志留纪、中三叠世及中、晚侏罗世,以中侏罗世金鸡岭岩体及晚侏罗世螃蟹木岩体活动最强烈,演化最完全,与锡多金属成矿关系密切。花岗质岩体出露广泛,沿隆起核部呈近东西向展布,自西向东由雪花顶、金鸡岭、螃蟹木、砂子岭、西山等 5 个岩体组成。

## 2 断裂构造的遥感影像机理及信息提取

本次研究采用的遥感信息源为美国陆地资源卫星 Landsat-7 接收的 ETM + 数据,其空间分辨率在可见光、近红外、中红外及远红外波段为 30 m,热红外波段为 60 m。覆盖研究区的 ETM + 涉及两景数据,其轨道号分别为 P122R42 和 P122R43,成像时间为

2000 年 10 月 30 日。遥感影像色彩鲜明,层次感强,影像中纹理细节都有清晰的显示,区内影像没有积云。通过相关系数和优化指数分析,选取信息量最丰富的 ETM + 742 假彩色组合图像作为人机交互式解译基础图像(图 2a),并选择局部增强和二维空间域定向卷积滤波相结合的数据处理方法。

### 2.1 断裂构造形成的影像机理

断裂构造遥感解译,主要是借助光谱特征和形状特征分析而判定的(程飞,2004;张志等,1999;魏永明等,2005)。由于受断裂构造活动的影响,断裂带本身及其旁侧在含水性、岩石成分以及结构特征等方面与其外围均存在较明显的差异,这些差异通过地物波谱异常反映出来,微观上显示出不同的色调、纹理结构,宏观上主要表现为地表状况、地形地貌及水系特征等差异,通过这些个性特征建立目视解译的标志和信息提取模型。

### 2.2 断裂构造信息提取与解译

断裂构造线性特征提取,首先采用空间滤波消除噪声、增强边缘,使图像清晰化,边界、线段与周围的像元形成高反差;再在边缘增强图像上,对滤波图像进行二值化处理(方洪宾等,2002)。本次空间滤波采用  $3 \times 3$  的矩阵算子作为卷积函数:

$$g(i, j) = \sum_{K=i-w}^{i+w} \sum_{L=j-w}^{j+w} f(K, L) \cdot h(i - K, j - L) \quad (1)$$

二值化阈值由下式确定:

$$T = 255 - Z$$

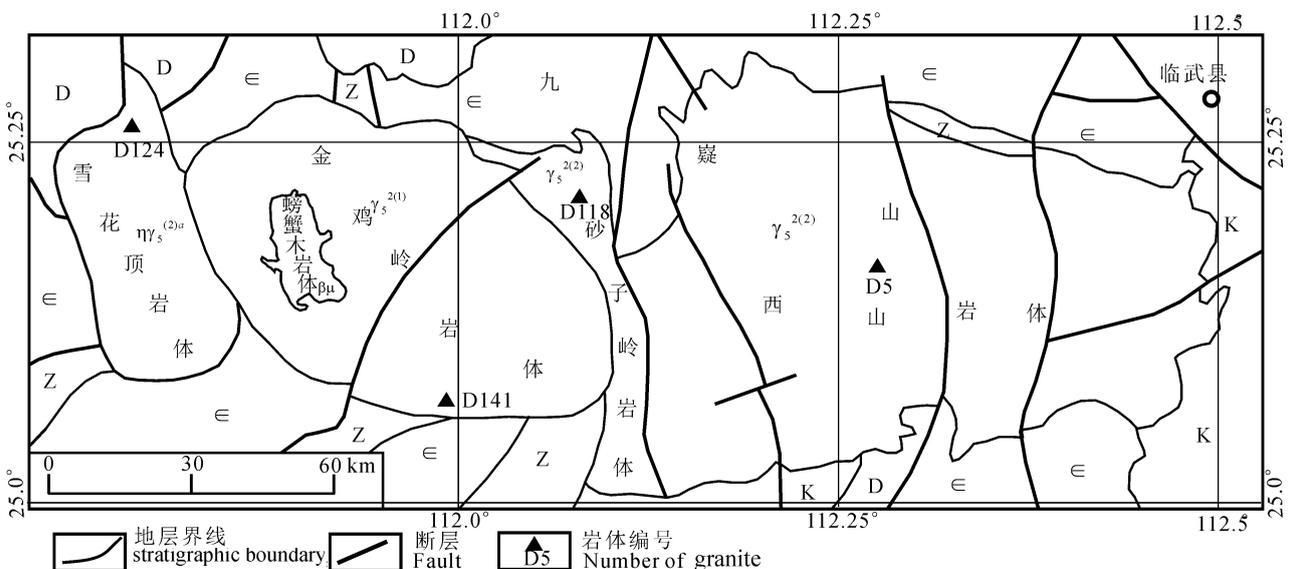


图 1 湘南九嶷山地区区域地质略图

Fig. 1 Simplified geological map of the Jiuyi Mountain area, southern Hunan

K—白垩系; D—泥盆系; ∈—寒武系; Z—震旦系

K—Cretaceous; D—Devonian; ∈—Cambrian; Z—Sinian

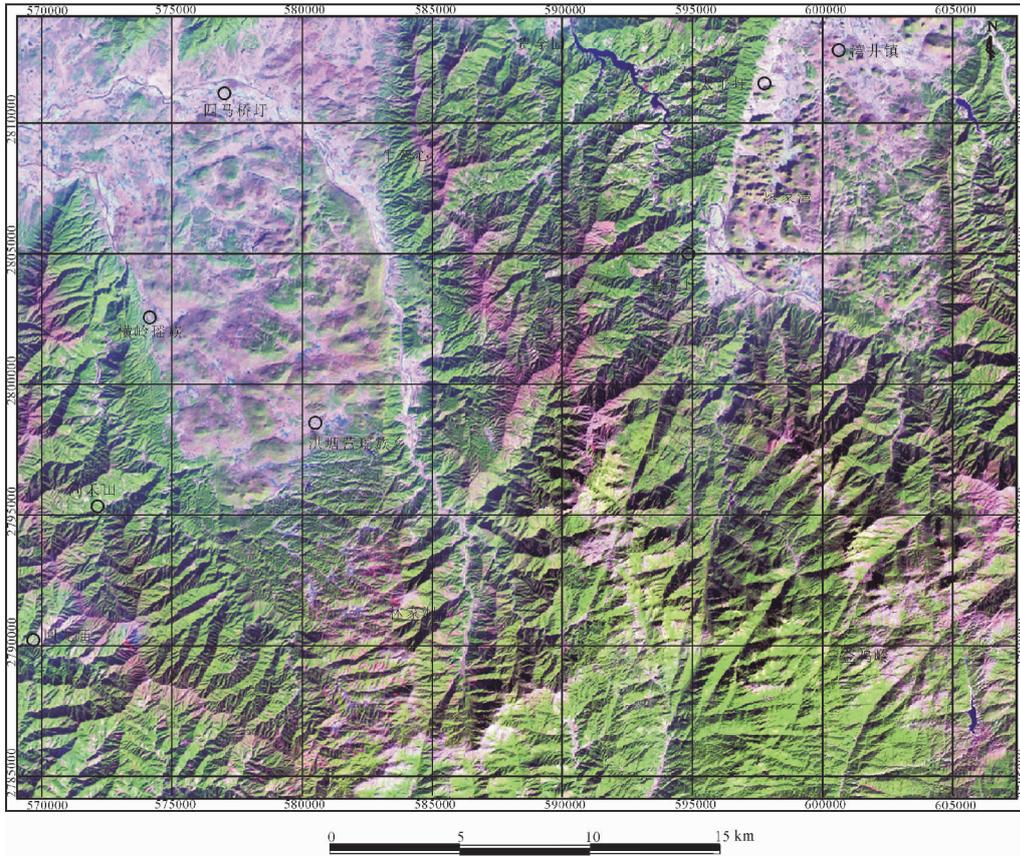


图 2 (a) 湖南九嶷山地区 ETM + 742 遥感影像图; (b) 九嶷山地区断裂构造遥感解译图

Fig. 2 (a) Remote sensing image of ETM + 742 in the Jiuyi Mountain area, southern Hunan; (b) Remote sensing interpretation map of faults in Jiuyishan region



选择  $Z$  使其满足:

$$S = \sum_{i=0}^Z H(255 - i) \leq 20\% \quad (2)$$

式(1)中,  $f$  为输入图像、 $h$  为滤波函数、 $g$  为滤波后的输出图像; (2) 式中,  $H$  为滤波图像的直方图函数。根据九嶷山地区 ETM+ 图像线性体的方位分布特征, 在目视解译基础上, 设计 NE、SN、NW 向及近 E—W 向和全方位空间滤波卷积运算的方位模板(图 3); 与此同时, 还尝试了多方法综合使用: TM7/4、5/4、5 合成 + 局部增强 + 动态反差变换, 并进行空间滤波, 增强并提取了线性体在不同方位上的空间分布信息, 编制断裂构造遥感解译图(图 2b)。

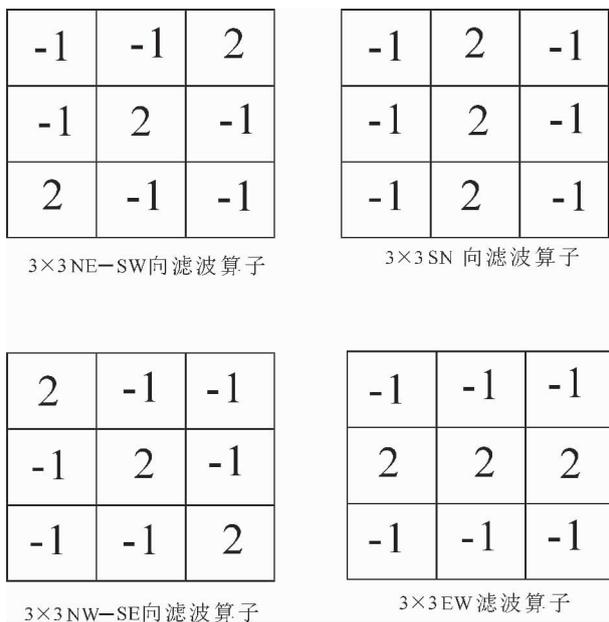


图 3 湘南九嶷山地区方位滤波算子卷积核

Fig. 3 The convolution kernel of azimuth filtering in Jiuyi Mountain area, southern Hunan

### 3 九嶷山地区断裂构造空间分形特征

#### 3.1 分形理论简述

众所周知, 自然界大多数图形都是十分复杂而且不规则的, 而传统的欧几里德几何学在绚丽多姿的大自然面前显得十分软弱无力。因此, 人们一直希望能够找到一种描述这些复杂现象的几何工具。1967 年, Mandelbrot 在美国《科学》杂志上发表了一篇题为“英国的海岸线有多长?”的划时代论文, 标志着他的分形思想萌芽, 1982 年他又进一步提出的分形理论为断裂构造的定量研究开辟了一条新的途径 (Mandelbrot, 1967, 1982)。诸多研究表明, 断裂

构造具有随机自相似性, 断裂的分布和几何形态具有明显的分形结构 (金章东等, 1998; 方茂龙等, 2000; 胡春明等, 2004)。

Mandelbrot (1986) 把分形定义为: 部分以某种形式与整体相似的形状叫做分形, 用分维值  $D$  来定量描述分形的复杂程度。可以定义一个分形模型:

$$N_i(r) = \frac{C}{r_i^D} \quad (3)$$

式中,  $N_i(r)$  为具有指定特征的物体数目,  $r_i$  为特征物体的标度,  $D$  为分维值,  $C$  为比例常数。对(3)式两边取对数:

$$\lg N_i(r) = \lg C - D \lg r_i \quad (4)$$

由(4)式可知,  $\lg N_i(r)$  与  $\lg r_i$  呈线性关系, 分维值  $D$  是直线斜率的绝对值。根据分维定义和(3)式, 设计一个数学模型, 从而求出分维值  $D$ 。本文采用盒维数法测定九嶷山地区断裂构造的分维值  $D$ , 该法的基本步骤为: 用不同边长为  $r_i$  的离散化的小正方形网格覆盖九嶷山地区, 统计相应的  $N_i(r)$ ; 以  $\lg r_i$  为横坐标,  $\lg N_i(r)$  为纵坐标, 在双对数坐标系中采用最小二乘法对统计数据线性回归分析; 如果九嶷山地区具有自相似性分形结构特征, 那么  $\lg N_i(r)$  与  $\lg r_i$  应满足

$$D = \left| \frac{\Delta \lg N_i(r)}{\Delta \lg r_i} \right|$$

的线性关系。

#### 3.2 断裂构造空间分形特征

研究数据选用九嶷山地区断裂构造遥感解译成果(图 2b), 测量中采用了 15 个单元尺度,  $r$  位于 0.05 ~ 2.75km 的标度范围内。然后, 利用 ArcView3.2 软件的空间分析模块 (朱晓华, 1998) (Spatial Analyst) 分别统计出某一尺度下有断裂构造进入的网格数  $N_i(r)$  (表 1), 并在  $\lg N_i(r) - \lg r_i$  双对数坐标系中进行线性拟合(图 4)。可以看出, 其分维值  $D = 1.1155$ 、相关系数的平方 ( $R^2$ ) 为 0.9964, 说明  $\lg N_i(r) - \lg r_i$  具有良好的相关性, 反映了九嶷山地区断裂构造空间展布的统计自相似性特征, 即断裂构造空间展布具有分形特征。

研究区发育多组不同走向的断裂, 由于其产生于不同的地质构造运动, 具有不同的时代、规模及类型, 并在成矿过程中起着不同的作用。为进一步研究各走向断裂构造空间展布的复杂性, 利用 ArcView GIS 的空间分析模块 (Spatial Analyst) 分别统计 NE、SN、NW 及 EW 向各组断裂构造不同尺度下的网格数, 并求得其对应的分维值  $D$  和相关系数

的平方  $R^2$  (见表2),关系曲线如图5所示。各走向断裂分维值在 0.9184 ~ 1.0441 间、相关系数的平方  $0.9983 \sim 0.9996$ , 且  $D_{NE} > D_{SN} > D_{NW} > D_{EW}$ 、 $R_{NW}^2 > R_{SN}^2 > R_{EW}^2 > R_{NE}^2$ , 反映了不同走向断裂各自的分维特征。由表2可知,断裂构造空间展布的复杂程度与其分维值大小成正相关,NE向分维值最大,相对应的断裂构造空间展布的复杂程度最高;依次为SN、NW和EW向断裂,其相对应的断裂构造空间展布的复杂程度也相应降低。

表1 湘南九嶷山断裂构造统计表

Table 1 Statistical data of fault in the Jiuyi Mountain area, southern Hunan

尺度 $r$ (km)	网格数 $N$	尺度 $r$ (km)	网格数 $N$
2.75	157	0.75	891
2.5	182	0.5	1394
2.25	215	0.25	2873
2	249	0.125	5778
1.75	314	0.1	7236
1.5	375	0.075	9651
1.25	490	0.05	14513
1	641		

### 3.3 断裂构造分维值及其地质意义

研究区内,所有断裂分维值  $D = 1.1155$ 、相关系数平方  $R^2 = 0.9964$ ,说明区内断裂空间结构具有良好的分形特征。同时,这一分维值接近中国大陆构造单元的稳态区(即地台)的  $0.827 \sim 1.074$  (朱晓华等,2002)、略低于华南地区线性构造的分维值  $1.35$  (谭凯旋等,1998),属于结构较简单,活动性偏弱的一个地区,这与其位于扬子板块与华夏板块边界处的地质特征相吻合。从各走向断层来看,NE向断裂分维值  $D_{NE}$  最大、EW向断裂分维值  $D_{EW}$  最小,大小顺序为  $D_{NE} > D_{SN} > D_{NW} > D_{EW}$ ,分维值  $D$  都徘徊在

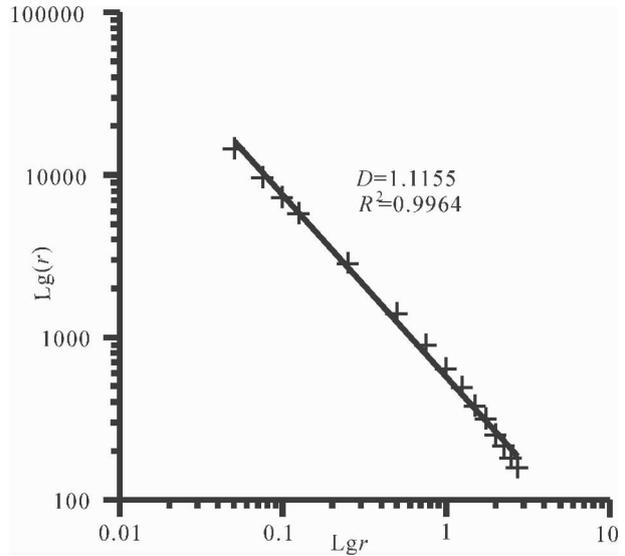


图4 九嶷山地区断裂构造空间特征分布盒维数曲线  
Fig. 4 Hausdorff dimension of distribution feature of faults in Jiuyi Mountain area

1.0 附近、相关系数平方  $R^2$  都大于 0.99,说明各走向断裂都具有良好的分形特征,但NE向断裂在本区域中占主体地位,其结构的复杂性和强度均大于其它走向的断裂。根据野外实地调查与分析,四组不同方向的构造具有先后的发展顺序,又具有叠加、改造、利用等联系。NE向断裂是区内规模最大、活动时间最长的断裂,沿断裂带走向节理、裂隙发育,起着导矿构造作用,控制着矿床矿点的定位,本身也有少部分矿体赋存。近SN向构造控制区内主要的矿体,该组断裂中矿化品位较富,但不够稳定,厚度及品位变化较大,主要表现为含矿构造;从构造结构面特征来看,构造表现为先压后张,最后逆冲推覆的特点。NW向断裂与NE向断裂具有同样的发展历史,但规模较小,区内主要矿体就赋存在此组断裂构

表2 湘南九嶷山地区不同走向断裂构造分维值及属性

Table 2 Fractal value and attribute of different strike faults in the Jiuyi Mountain area, southern Hunan

断裂方位	分维值	相关系数	断裂特征
NE	1.0441	0.9983	区内规模最大、活动时间最长,总体走向 $45^\circ \sim 55^\circ$ 、倾角 $60^\circ \sim 85^\circ$ ,走向、倾向上均呈舒缓波状。沿断裂带走向节理、裂隙发育;在外接触带主要表现为破碎带,岩石破碎、片理化发育
SN	0.9870	0.9995	总体走向约 $350^\circ$ 、倾向东,倾角 $45^\circ \sim 60^\circ$ ,断裂面沿走向及倾向呈舒缓波状。构造带内中心部位为硅化角砾岩,两侧为挤压破碎带,围岩具有明显的片理化现象。从构造结构面特征,表现为先压后张,最后逆冲推覆的特点
NW	0.9502	0.9996	走向 $315^\circ \sim 320^\circ$ 、倾向 NE,倾角 $55 \sim 78^\circ$ ,断裂面沿走向及倾向呈舒缓波状,缓波状;在外接触带表现为挤压破碎带,局部表现为层间挤压破碎,中心部位为破碎角砾岩带,两侧地层挤压片理、平行构造面的裂隙发育
EW	0.9184	0.9992	规模小、活动时间长,重要的含矿构造

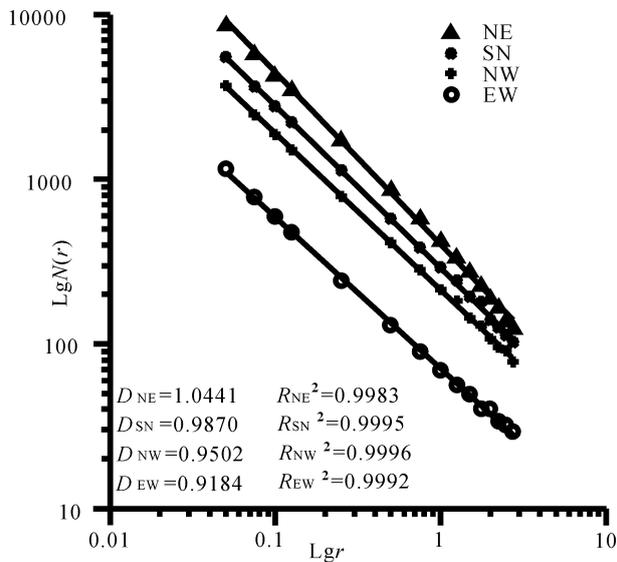


图5 九嶷山地区不同走向断裂构造空间特征盒维数曲线

Fig. 5 Hausdorff dimension of distribution feature of different strike faults in Jiuyi Mountain area

造中,但矿化品位较低,延伸比较稳定;矿体赋存在多组构造的交接复合部位、断裂的分枝或复合部位、断裂带的转折和膨胀部位、断裂与岩体接触界面交切部位及构造与岩脉的交切部位等。近EW向断裂发育较少。根据分维值与断层规模、发育程度及矿体赋存状态对应关系可知:本区断层分维值 $D$ 在1.0441附近时,成矿作用主要表现为导矿;分维值 $D$ 在0.9870附近时,成矿作用主要表现为控矿;分维值 $D$ 在0.9502附近时,成矿作用主要表现为含矿。因此,本区成矿作用与构造作用关系密切,断裂分形分维值的高低在一定程度上指示了研究区内的成矿作用强度以及进一步的找矿方向。

## 4 结论

断裂构造的分形结构特征与断裂的发育演化有关,其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。因此,分维值可作为断裂构造发育成熟度和复杂程度的一项综合性反映指标。通过对九嶷山地区断裂构造的分形研究及野外实地调查,主要取得了以下几点认识:

(1) 九嶷山地区断裂构造在0.05~2.75 km范围内符合分形分布,且断层分维值的大小可以作为判别断层构造活动复杂的程度。

(2) 研究区断裂分维值 $D$ 为1.1155,属于结构较简单,活动性偏弱的地区,与其位于扬子板块

内与华夏板块边界处的地质特征相适应。

(3) 断裂分形值 $D$ 的大小反映了断裂在成矿过程中的作用:分维值 $D$ 在1.0441附近时,断层主要表现为导矿构造;分维值 $D$ 在0.9870附近时,断层主要表现为控矿构造;分维值 $D$ 在0.9502附近时,断层主要表现为含矿构造。

## 参 考 文 献 / References

- 陈传仁,周熙襄.1996. 储层砂岩孔隙分形性质的研究. 成都理工学院学报,23(4):65~68.
- 陈建国,王仁铎,陈永清.1998. 利用分形统计学提取化探数据中的隐蔽信息并圈定地球化学异常. 地球科学,25(3):311~318.
- 程飞.2004. 浅谈断裂构造的遥感解译标志. 中国高教论丛,26(2):28~31.
- 成秋明.2000. 多维分形理论和地球化学元素分布规律. 地球科学,23(2):175~178.
- 成秋明.2006. 应用复杂性—非线性理论开展成矿预测——奇异性理论—广义自相似性—分形谱系多重分形理论与应用. 矿床地质,25(增刊):463~466.
- 程小久,卢建杭,宋亮明.1994. 铅锌品位分维 $D$ 值的意义和计算程序. 地质与勘探,30(5):32~35.
- 方洪宾,赵福岳,和正民,刘刚,等.2002. 1:25万遥感地质填图方法和技术. 北京:地质出版社,44~46.
- 方茂龙,孙文鹏,蔡文伯,徐道一.2000. 断裂组合自相似性探讨. 地质评论,46(3):312~318.
- 付建明,李华芹,屈文俊,杨晓君,魏君奇,刘国庆,马丽艳.2007. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的Re-Os同位素定年研究. 中国地质,34(4):651~656.
- 胡春明,周海强,李红,李贤丽.2004. 断裂分形理论的应用. 大庆石油地质与开发,23(6):11~12.
- 金强,曾怡.1995. 储集性砂岩粒度组成的分形结构. 石油大学学报(自然科学版),19(3):12~16.
- 金章东,卢新卫,张传林.1998. 江西德兴斑岩铜矿田断裂分形研究. 地质评论,44(1):57~62.
- 连长云,苏小四,朴寿成,严光生.1995. 中国大陆深断裂系的分形特征. 世界地质,14(3):34~38.
- 秦长兴,翟裕生.1992. 矿床学中若干自相似性现象及其意义. 矿床地质,11(3):259~265.
- 沈步明,沈远超.1993. 新疆某金矿的分形特征及其地质意义. 中国科学(B辑),23(3):297~302.
- 申维.1997. 成矿预测中分形模型分维数估计的新方法. 长春地质学院学报,27(1):86~91.
- 谭凯旋,郝新才,戴塔根.1998. 中国断裂构造的分形特征及其大地构造意义. 大地构造与成矿学,22(1):17~20.
- 王祖伟,周永章,姚东良,张海华.1999. 两广庞西坳—金山成矿带银金矿床分形性质研究. 矿床地质,18(2):183~188.
- 魏永明,蔺启忠,王学潮,魏成阶,李家存.2005. 南水北调西线工程区活动断裂构造遥感研究. 遥感学报,9(5):616~622.
- 谢焱石,谭凯旋.2002. 断裂构造的分形研究及其地质应用. 地质地球化学,30(1):71~77.
- 徐明钻,朱立新,马生明,陈晓峰.2010. 多重分形模型在区域地球化学异常分析中的应用探讨. 地球学报,31(4):611~618.
- 张志,张雪亭.1999. 基于遥感影像信息的东昆仑活动断裂带研究. 西安工程学院学报,21(3):5~8.
- 朱晓华,查勇.2002. MapInfo与ArcView GIS软件在线体分形分析中

的应用. 测绘信息与工程, 27(5): 4~5.

Hirata T. 1995. Fractal dimension of fault systems in Japan; Fractal structure in rock fracture geometry at various scales. Pure and Appl. Geophys., 131:157~170.

Mandelbrot, B. B. 1967. How long is the coast of Britain? Statistical selfsimilarity and fractional dimension. Science, 155:636~638.

Mandelbrot, B. B. 1982. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco;

Freeman, 135~140.

Mandelbrot, B. B. 1986. Self-affinefractalsets. Amsterdam; L. Pietronero and E. Tosatti, 3~28.

Okubo P G, Aki K. 1987. Fractal geometry in the San Andreas fault system. J. Geophys. Res., 92(B1):345~355.

## Study on Fractal Feature of Fault Structure and Its Geological Implications Based on Remote Sensing

—A Case Study of Jiuyi Mountain Area, Southern Hunan

LEI Tianci, CUI Fang, YU Fengmin, XU Honggen  
Wuhan Center of Geological Survey, Wuhan, 430223

**Abstract:** Based on the ETM + data source in Jiuyi mountain area, the faults in the area are extracted rapidly through information extraction and interpretation. Applying the Box-Counting method of fractal to fault structures, the result shows that fault structures have self-smilarity and fractal character within the scale range of 0.05 ~ 2.75km. As the same time, fractal dimension value is 1.1155 for the whole area and 0.9184 ~ 1.0441 for different strike faults and the square of correlation coefficient is greater than 0.996. Fractal dimension value here is close to the stable region of overall tectonic units in China, it not only describes the complexity of the fault distribution and the maturity of tectonic evolution, but also reflects the role in process of mineralization; fractal dimension values access to 1.0441, the faults mainly being ore-transporting structures; fractal dimension values access to 0.9870, the faults mainly being ore-controlling structures; fractal dimension values access to 0.9502, the faults mainly being ore-hosting structures.

**Key word:** fractal; fractal dimension value; remote sensing; Jiuyi Mountain; faults

## GEOLOGICAL REVIEW

Vol. 58 No. 3 2012

### CONTENTS

#### Discussion

Tectonic Environment of the Metamorphosed Basement in the Jiangnan Orogen and Its Evolutional Features .....	..... WANG Ziqiang, GAO Linzhi, DING Xiaozhong, HUANG Zhizhong(413)
Analysis of Structural Styles in Northern Segment of Tancheng—Lujiang Fault Zone .....	..... WANG Shuqin, SUN Xiaomeng, DU Jiyu, WANG Yingde, XU Qiangwei, TIAN Jingxiong(425)
Re-discussion on the Origin of the Rudstone in Middle Permian Qixia Formation along Lower Yangtze River of Anhui Province .....	..... DU Yelong, LI Shuangying, JIA Zhihai, WANG Song(433)
Study on Dinosaur Track Fossils and Footprints Reconstruction in Zhucheng Area, Shandong Province .....	..... LI Su, ZHOU Yaoqi, YAO Xu, LI Chao(441)
Characteristic and Dynamical Mechanism of Post-Collision Extensional Basins .....	..... YANG Xin, WANG Yadong, LIU Xingwang, ZHENG Jianjing(450)
A Study on Mineralogical Phase Confines Reaction from Spinel to Garnet in Baigang Iherzolite of the Yarlung Zangbo Suture Zone, and Its Geological Implication .....	..... XIA Bin, ZHOU Guoqing, LI Jianfeng, CHEN Genwen, LIU Weiliang, WANG Ran, DONG Binghua (468)