

分形理论在云南个旧锡矿遥感信息 定量化分析中的应用

张建东, 彭省临, 杨 斌, 刘 明

(中南大学 地学与环境工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 应用分形理论和方法对个旧锡矿遥感信息进行了定量化研究。结果显示, 在格子边长为 1.4~4.5 km 的标度范围内, 其遥感蚀变和断裂构造进入的总格子数的对数与格子边长的对数均具有很好的线性相关性, 表明在研究标度范围内, 各子区遥感线性与蚀变信息具有良好的统计自相似性和分形特征。在此基础上, 以 19 号区和 26 号区为例, 分析并进一步探讨了遥感信息分形特征的成矿意义。

关键词: 遥感; 分形; 蚀变; 个旧锡矿; 云南省

中图分类号: P627; P618.44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)02-0157-04

造的空间分布进行了分形统计。

0 引言

Mandelbort 在《大自然的分形几何学》^[1]一书中分析了分形几何与大自然中各种形态的联系, 发现完全可以用分形理论来描述自然界从宏观到微观的各种现象, 而作为对自然界客观反映的图像也不例外。目前分形理论在图像处理方面的应用主要集中在图像分析^[2]、图像去噪^[3]、图像压缩^[4-6]、图像分割^[7,8]、地形分析与仿真^[9]等。遥感影像是反映地球表面地形、地貌的一类特殊图像, 因此, 对遥感影像的纹理特征进行分析, 不仅是对图像本身的分析, 而是对其所反映的地区地貌的一种描述。分形维数作为刻划分形集合性质的维数, 可以反映影像的空间结构信息。一般来讲, 维数越高的图像几何结构就越复杂, 即图像的纹理特征就越丰富。因此可以利用分形维数对多源异质遥感影像进行纹理特征分析^[10,11]。大量研究显示, 矿床的时空分形分布与地壳所发生的物理、化学变化的分形分布遵循相同的数学模型, 它们的分维数也基本一致, 在遥感影像图上, 也可以解析出相同的成矿特征, 即相同的分形特征。为此, 笔者对个旧矿区遥感蚀变与遥感线性构

1 矿区地质概述

个旧矿区位于云南省东南部, 处于特提斯巨型锡矿带和环太平洋巨型锡矿带西带的交汇点, 是环太平洋巨型锡矿带西端的锡矿床之一。矿区内个旧断裂呈 SN 向纵贯全区, 将矿区分成东区和西区两个部分。东区所有的矿床受五子山复式背斜控制, 横跨五子山复式背斜之上的近 EW 向断裂的东西两端受 SN 向断裂的控制, 形成“梯子格”式断裂构造格局, 每一个“梯子格”控制着东区的一个矿田。在五子山复式背斜轴部发育有一系列的平行断裂, 它们是矿区内控制矿田矿带的重要构造。

个旧矿区花岗岩为燕山中-晚期壳源重熔型黑云母花岗岩, 在东区仅在北部和南部呈岩株状出露, 其余地段花岗岩均隐伏于地表以下 200~1 500 m 不等。花岗岩铝过饱和, 富硅、富碱, Sn 和 Cu 等金属元素质量分数高于正常花岗岩。

据庄永秋等研究^[12], 个旧矿区原生锡多金属矿床可分为层间热液型锡多金属矿床和花岗岩接触带夕卡岩型锡多金属矿床; 矿体的产出严格受花岗岩

收稿日期: 2007-03-25

基金项目: 国家“十五”科技攻关课题(2001BA609A-06)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(20030533012)联合资助。

作者简介: 张建东(1979), 男, 山西朔州人, 博士, 从事国土资源、地理信息研究。E-mail: csuzjd@sina.com

体、地层岩性和同生或早期隐形构造所控制,即“岩控、层控、构控”的矿床定位模式。岩控是指燕山期花岗岩是个旧锡多金属矿床的成矿母岩,上部的层间矿床和下部的接触带矿床总是以岩株为中心,成群、成带围绕岩体的顶部和周围产出;层控即区内三叠系中统个旧组碳酸盐岩为夕卡岩型锡多金属矿床的形成提供了有利的围岩条件,矿区内矿床的富集产出受到其中某些层位和岩性组合的控制;而构控是指五子山复式背斜控制着整个东部成矿区,而断裂构造控制了矿床、矿体的定位。断裂构造对矿床、矿体的定位控制可进一步分为断裂加互层式、断裂扎根式、断裂交叉式等形式:断裂加互层式是指断裂切割不同岩性互层产出的地段控制矿体的产出;断裂扎根式是指断裂与花岗岩交切的部位既作为控岩构造,又是导矿、容矿的构造;沿断裂贯入的酸性岩脉与岩体的相交部位、岩脉的端部是矿化集中的场所,NE向断裂与近EW向断裂相交部位和二者分别于层间滑动构造相交切的部位有利于矿体的形成。

近年来,在区内发现了花岗岩型富锡矿体,这种花岗岩型富锡矿体产出于含有大量硅酸盐角砾的隐性断裂带内,并认为此类矿体的形成是由于成矿溶液进入构造带后,因压力降低发生沸腾,产生酸碱分离、气液分离,使平衡受到破坏,锡的卤化物、络合物变得不稳定,经水解锡石大量析出,促使锡石沉淀而形成。通过对不同地质体中微量元素对比及因子分析,认为成矿热液活动源于花岗岩浆的侵位,花岗岩浆期后热液及地下水在岩体热力驱动下构成了一个系统的矿化热液活动体系,矿化热液活动使围岩产生广泛蚀变、产生一批热液脉体、在有利地段形成矿体。成矿热液活动体系为开放系统,运动方式以构造断裂导流为主,孔隙渗透为次。综上所述,在个旧锡多金属矿床的成矿和矿床定位过程中,线性的构造和蚀变起到了很大的作用,因此,利用遥感图片进行矿区分形特征研究对该区的找矿具有很高的参考价值。

2 分形理论简述

分形理论主要用于研究非线性问题,成矿预测学中的许多重大基础问题研究也涉及到非线性问题,如矿床与成矿事件及各种成矿控制因素之间不显示简单的线形关系,而迄今各种定量预测模型大

多以线形理论和方法为基础^[13,14]。

2.1 分形理论的思想

分形理论的基本思想可以简单表述如下:分形研究的对象是具有自相似性的无序系统,其维数的变化是连续的。自相似性是自然界一个普遍的规律,具有自相似或自仿射性的体系,如弯弯曲曲的海岸线,起伏不平的山脉,粗糙不堪的断面,变幻无常的浮云,九曲回肠的河流,遍布全身的血管,令人眼花缭乱的满天星等。这类客体不具备特征尺度,用不同倍数的放大镜去观察它们,其相貌是相似的,并且这个性质不随观察位置的变化而变化。自相似性普遍存在物质系统的多个层次上,物体或几何图形的维数变化可以是连续的,即其维数可以不是整数。分形理论就是专门研究分形的几何特征、数量表征及其规律和应用的科学。

2.2 分形模型

地质现象中的标度不变性特征十分普遍,但往往不是绝对相同的,而是统计意义上的相似。它存在于一定的标度范围内,即无标度区。以断裂构造的二维平面分布的分形统计研究为例,目前应用比较多的是数格子法(boxing-counting method),即改变观察尺度求维数的方法。该研究方法是用圆、线

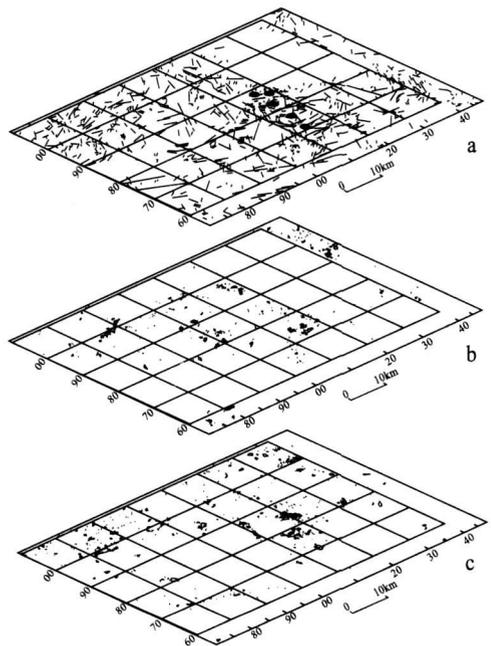


图1 统计区块划分与遥感信息透视图

Fig. 1 Statistical block division and perspective map of remote sensing data

a. 遥感线性构造分布(黑色圆圈为矿床分布位置)

b. 遥感泥化蚀变分布 c. 遥感铁化蚀变分布

段、正方形等具有特征尺度的基本图形去近似分形图形。其具体分析方法是: 首先用间隔为 r 的格子把研究区分成若干个边长为 r 的正方形, 计算出含有断裂构造的格子数, 把这些正方形格子的数目记为 $N(r)$, 然后改变 r 的值重复上述过程。如果对不同的 r 都满足^[15,16]:

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (1)$$

则认为研究区域内的断裂系统的二维分布服从分形分布, D 为分维数。(1) 式可写成:

$$N(r) = kr^{-D} \quad (2)$$

其中, k 为常数, 将(2)式两边取对数:

$$\log N(r) = \log k - D \cdot \log r \quad (3)$$

显然, 在对数坐标系中 $N(r) - r$ 图为一曲线, 直线的斜率即为 $-D$ 。

表 1 个旧矿区遥感信息定量统计表

Table 1 Quantitative statistics of remote sensing data in Gejiu mining district

单元号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
泥化蚀变面积(km ²)	2.1	3.4	2	0.83	0.7	1.6	3.4	0.91	4.1	1.2	3.6	1.5
泥化蚀变分维数	1.03	1.08	1.1	0.47	0.71	1.07	1.31	0.64	0.96	0.87	0.76	0.8
铁化蚀变面积(km ²)	0.54	1.6	1.1	0.72	0.17	0	0	0.79	3.02	1.26	1.24	2.04
铁化蚀变分维数	0.99	0.88	0.83	0.64	0.19	-	-	0.82	1.04	0.75	0.62	1.14
线性构造分维数	1.44	1.39	1.61	1.48	1.62	0.95	1.44	1.49	1.32	1.21	1.41	1.11
单元号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
泥化蚀变面积(km ²)	0.9	1.7	0.08	1.6	0	1	4.6	5.4	1.6	0.72	0.59	0
泥化蚀变分维数	0.86	0.88	0	0.57	-	0.59	1.01	1.35	0.49	0.77	0.72	-
铁化蚀变面积(km ²)	0	0	0	0.94	1.18	2.23	1	0.06	0	0	0.05	1.18
铁化蚀变分维数	-	-	-	0.55	0.6	0.85	0.78	0	-	-	0	0.32
线性构造分维数	-	1.56	1.13	0.88	0.99	1.5	1.62	1.13	0.45	1.19	0.98	1.3
单元号	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
泥化蚀变面积(km ²)	0.05	8.9	0.43	1.45	0.05	1.65	0.52	0.39	0.75	0	0.37	
泥化蚀变分维数	0.85	1.38	0.88	0.64	0	0.78	0.68	1.27	0.44	-	0.68	
铁化蚀变面积(km ²)	0.76	4.83	0.57	0.63	0.47	0.16	0	0.82	0.02	0.26	0	
铁化蚀变分维数	0.44	1.17	1.05	0.78	1.09	0.6	-	1.2	0	0.68	-	
线性构造分维数	1.16	1.67	1.4	1.34	1.35	1.12	1.23	1.44	1.51	1.33	1.38	

3 个旧矿区遥感线性构造与蚀变信息的分形特征

为便于统计和对比, 笔者按直线坐标网将个旧矿区分成了 35 个 5 km × 5 km 的正方形区块并按顺序分别编号为 1~ 35 号(图 1), 应用上述改变观察尺度求维数的方法对每个区块内的遥感线性构造和泥化、铁化蚀变的分布分别进行了分形统计, 同时还对每个区块内泥化与铁化的分布面积进行了统计(表 1)。

个旧东区主要矿床(马拉革、松树脚、高松、老厂和卡房)集中分布在 19 号区与 26 号区, 在格子边长为 1.4~ 4.5 km 的标度范围内, 其有遥感蚀变和断裂构造进入的总格子数的对数与格子边长的对数均具有很好的线性相关性, 以 19 号区和 26 号区为例, 19 号区泥化蚀变进入的总格子数的对数与格子边

长的对数之相关系数 $r = -0.932$, 分维数 $D = 1.012$; 铁化蚀变 $r = -0.975$, $D = 0.782$; 线性构造 $r = -0.975$, $D = 1.618$ 。26 号区泥化蚀变相关系数 $r = -0.996$, 分维数 $D = 1.382$; 铁化蚀变 $r = -0.987$, $D = 1.173$; 线性构造 $r = -0.982$, $D = 1.665$ (图 2, 图 3)。

4 遥感信息分形特征的成矿意义

根据个旧矿田遥感线性构造影像所做的分形统计, 主要矿床集中分布的 19 号区与 26 号区, 分维值分别为 1.62 和 1.67, 在参与统计的区块中为最高, 表明线性构造影像的分维高值区与成矿有利区之间具有对应关系。

从遥感蚀变信息的分形统计数据来看, 各统计区块中的蚀变面积与蚀变分维数之间具有一定的对应关系。在参与统计的等面积区块中, 19 号区和 26

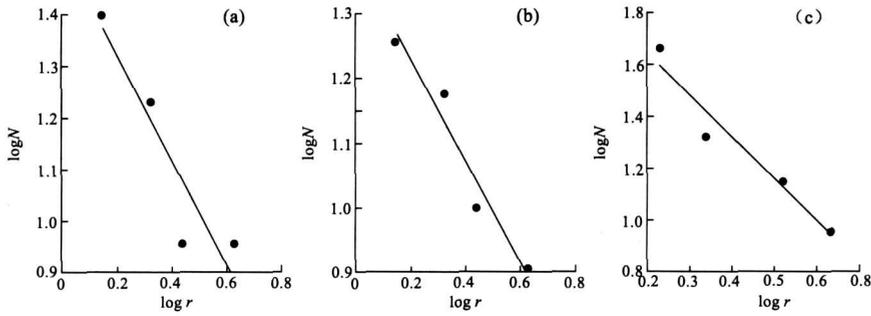


图 2 19号区遥感信息分形统计图

Fig. 2 The fractal statistics map of remote sensing data for area 19

a. 泥化蚀变分形统计图 b. 铁化蚀变分形统计图 c. 断裂构造分形统计图

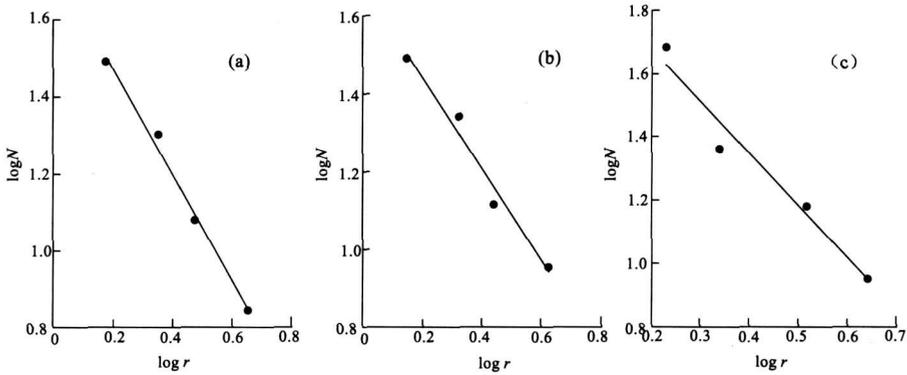


图 3 26号区遥感信息分形统计图

Fig. 3 The fractal statistics map of remote sensing data for area 26

a. 泥化蚀变分形统计图 b. 铁化蚀变分形统计图 c. 断裂构造分形统计图

号区泥化蚀变与铁化蚀变的分布面积及出现蚀变的分维数均为高值,显示蚀变面积及出现蚀变的分维数与成矿有利度之间存在某种对应关系。

以 19 号区和 26 号区为参照,通过蚀变面积、蚀变分维数和线性构造分维数的综合对比,笔者认为,分布在个旧东区已知矿床外围的 20 号、28 号和 32 号区块仍有找矿前景,而分布在西区的 1 号、2 号、3 号和 9 号、10 号、11 号区块也是有利的找矿靶区。

参考文献:

[1] Mandelbort B B. The fractal geometry of nature [M]. 上海:远东出版社, 1998. 15-20.

[2] 赵军, 李先华, 单勇兵. 北京地区典型地物遥感图像分形研究 [J]. 东北测绘, 2001, (2): 3-7.

[3] M ohsen Ghazel, George H Freeman, Edward R Vrscay. Frae-

tal Image Denoising [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 2(12): 1560-1578.

[4] Barnsley M, Jaquin A. Application of Recurrent Iterated Function System to Images [J]. SPIE Visual Communications and Image Processing, 1998, 1001: 122-131.

[5] Fisher Y. Fractal Image Compression Theory and Application [M]. Springer-Verlag, 1994. 89-101.

[6] Ghosh S K, Jayanta Mukherjee, Das P P. Fractal Image Compression: A Randomized Approach [C] // Pattern Recognition Letters. 2004. 1013-1024.

[7] 朱光喜, 张平, 朱耀庭. 基于分形维数的图像分割研究 [J]. 计算机科学, 1994, 21(1): 59-65.

[8] Sonny Novianto, Yukinori Suzuki, Junji Maeda. Near optimum estimation of local fractal dimension for image segmentation [C] // Pattern Recognition Letters. 2003. 365-374.

[9] 李旭涛, 曹汉强, 赵鸿燕. 分形布朗运动模型及其在地形分析中的应用 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2003, 31(5): 50-52.

[4] 吴德文, 朱谷昌, 吴健生, 等. 青海芒崖地区岩石光谱特征分

析及应用[J]. 国土资源遥感, 2001, (4): 28-34.

A NEW METHOD OF MINERALIZATION-ALTERATION INFORMATION EXTRACTION FROM REMOTE SENSING IMAGE BASED ON SPECTRAL SIMILARITY SCALE

FU Weng-jie

(*Environment and Bio-sciences Department, Putian University, Putian 351100, Fujian, China*)

Abstract: The paper describes a spectrally similar scale based mineralization- alteration information extraction method from remote sensing image. The spectrally similar scale is used to extract alteration information related to metal mineralization directly from TM images on basis of spectral data measured from altered rocks and ore host rocks of ore bodies. The extraction test was conducted in Mangya district, Qinghai province with effective results.

Key Words: the spectrally similar scale; remote sensing; mineralization- alteration information, Mangya district, Qinghai province

(上接第 160 页)

[10] 夏勇, 赵荣椿. 基于形态学多重分析的遥感图像多尺度分割

[J]. 计算机应用, 2006, 26(9): 2071-2073.

[11] 邢帅, 郭金华, 徐青. 多源异质遥感影像的分形特征分析

[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(8): 254-257.

[12] 庄永秋, 王任重, 杨树培, 等. 云南个旧锡铜多金属矿床

[M]. 北京: 地震出版社, 1996. 1-105.

[13] 王仁铎, 胡光道. 线性地质统计学[M]. 北京: 地质出版社,

1988. 1-30.

[14] Cheng Q. Multifractality and spatial statistics[J]. Computer & Geosciences, 1999, 25(9): 949-962.

[15] Mandelbrot B B. Multifractals and 1/f Noise[M]. New York: Springer-Verlag, 1999. 1-442.

[16] 毛政利, 彭省临, 赖健清, 等. 个旧矿区东区断裂构造分形研究及成矿预测[J]. 地质找矿论丛, 2004, 19(1): 17-19.

APPLICATION OF FRACTAL THEORY TO QUANTITATIVE ANALYSIS OF REMOTE SENSING INFORMATION IN GEJIU TIN DEPOSIT, YUNNAN

ZHANG Jian-dong, PENG Sheng-lin, YANG Bin, LIU Ming

(*School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China*)

Abstract: Based on the theory and methodology of fractal, the authors have quantitatively studied remote sensing information. The results showed apparent linear correlation of logarithm for the grid number into which the remotely sensed alterations and fractures entered to that of side length from 1.4-4.5 km indicating that the statistical self-similarity and fractal characteristics of the remote sensing information are well developed in each subdivision. Based on the results area 19, 26 are taken as the examples to discuss the metallogenic significance of fractal characteristics of the remote sensing data.

Key Words: remote sensing; fractal; alteration; Gejiu tin deposit; Yunnan province