分形方法在遥感蚀变信息提取中的应用研究

梁钰琦, 王功文, 朱彦彦, 曲家楠
(中国地质大学(北京), 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

摘要: 分形方法已经成为提高勘查地球化学、地球物理信息的重要途径之一; 但该方法在遥感数据处理领域的应用研究较少。以河南卢氏木桐钼铁多金属矿区为实验区, ETM+遥感影像为数据源, 运用 MPH 与波段比值、滤波等方法组合提取该实验区的蚀变信息。采用分形理论的求和法像元亮度—面积模式, 对所提取出来的铁染蚀变进行定量分析, 并与传统阈值选取方法进行了对比研究。结果表明蚀变作为一种地质记录, 其空间展布不仅具有分形特征, 而且具有多重分形的特征, 在此基础上, 对实验区遥感蚀变异常进行分级, 弥补了传统的门限化方法和利用灰度直方图目视确定突变点方法的不足, 取得了较好效果。

关 键 词: 分形; 蚀变; MPH; 阈值; 遥感
中图分类号: P 614; TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1004-0323(2011)04-0508-04

1 引 言

近 10 a 来, 以 ETM+和 ASTER 多光谱遥感图像为数据源提取找矿信息成为矿产勘查的重要手段之一, 国内外普遍形成了较为系统的信息提取方法[1-4]。目前蚀变信息提取方法一般都选用综合提取法, 这种方法有机地综合了原始波段、比值波段和主分量波段的信息, 可以定向地提取感兴趣信息, 同时压抑或去除干扰信息。但在蚀变异常信息等级划分时主要是采取张玉君等[2]的去干扰门限化异常分级办法, 以标准离差 σ 作为尺度, 用数倍 σ 值+平均值的方法来限定异常水平。该方法在全国矿产资源潜力评价项目中得到推广应用。

自 20 世纪 70 年代 Mandelbrot[5] 提出分形的概念以来, 分形和多重分形模型已应用到地球科学诸多领域。成秋明等[6-7]对分形理论和方法应用于地球化学背景和异常分解的首次尝试, 证明了背景值常常服从正态和对数正态分布, 而异常值可能服从分形分布。我们借鉴已有的化探异常提取方法将分形方法应用于遥感蚀变异常的研究中: 首先将应用综合法提取出的致矿异常以遥感图像不同的像元亮度值以及像元个数进行统计, 通过非线性"分形"方法对蚀变数据进行研究, 得到遥感蚀变异常的分形特征和更有效、更精确的蚀变异常分级方法。

2 研究区和数据

实验区位于卢氏县西部的木桐乡, 总面积136 km^2。区内大地构造位置处于位于华北地台南部台缘区崤山—熊耳山地块, 卢北西西向断裂发育, 北东向断裂次之; 区内燕山期岩浆活动强烈而广泛, 形成花岗斑岩岩基和花岗岩岩体, 且该区裸露岩石蚀变十分普遍, 极其适合遥感解译。研究采用 ETM+遥感数据, 景号为 126/036, 数据时间 2000 年 4 月 12 日, 分辨率为 30 m。根据研究需要, 对经过大气校正和几何校正等预处理之后的图像以 110°25′~110°57′E, 33°51′~34°20′N 裁剪出实验区。

3 方法

分形是局部和整体以某种方式相似, 它们的局

收稿日期: 2010-12-22; 修订日期: 2011-05-11
基金项目: 中国东部典型矿集区深部资源勘查技术集成与示范项目(2010BAE00281), 地质过程与矿产资源国家重点实验室项目(GPMR0941), 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2011YYL013)。
作者简介: 梁钰琦(1986—), 男, 山西原平人, 硕士研究生, 主要从事遥感图像蚀变信息提取研究。E-mail: liangrui829@126.com。
通讯作者: 王功文(1972—), 男, 山东泰安人, 副教授, 主要从事矿产资源定量评价的研究与教学。E-mail: gwwang@cugb.edu.cn。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

部和整体的某种相似性并不是在任何尺度上都成立的。通常只是在某些特定的尺度范围内才成立分形。而且地质现象中产生的分形大多数属于无规分形,其特点是不具有严格的自相似性,只是在统计意义上是自相似的[8]。所以本文采用求和法,即像元亮度—面积模式来确定蚀变异常限。

分形模型[9]:

$$N(r) = Cr^{-D}, r = 0 \quad (1)$$

其中:r 表示特征尺度,$C > 0$ 称为比例系数,$D > 0$ 称为分维数,$N(r)$ 表示尺度大于等 X_I 的数目或和数。设像元亮度值$\{X_I\}$,$I = 1, 2, \cdots, N$,记作:

$$N(r) = \sum_{I=1}^{N} X_I$$

这个式子是对于所有满足 $X_I \geqslant r$ 的 X_I 求和:$\min X_I \leqslant r \leqslant \max X_I$。这样就得到了数据 $N(r)$ 与 r。将式(1)两边取对数:

$$\lg N(r) = \lg c - D\lg r \quad (2)$$

由式(2)可以看出 $\lg r$ 与 $\lg N(r)$ 呈线性关系,斜率为 $-D$,所以分维值 D 是双对数拟合直线斜率的绝对值。将这些数据代入分形模型中生成双对数图,用最小二乘法分段拟合直线,从而求出分维值 D 以及拟合度 R^2。背景值和异常值可以对应于不同的斜率值,不同线段所对应的分界值往往可作为区分背景和异常的临界值[10],如果该地区蚀变信息具有自相似性分形结果特征,$N(r)$ 与 r 的对数坐标应呈现线性关系,可以拟合为一条直线。

4　实验及结果

4.1　遥感 ETM 图像铁染蚀变信息的提取

根据铁蚀变异常信息提取的波谱依据,选择经过去云、水体、植被等干扰信息处理的遥感图像中的 1、3、4、5 波段组合进行主成分分析(PCA)来提取铁蚀变异常信息的方法,得到如表 1 的 PCA 各波段主成分特征向量统计表。

表 1　各主成分特征向量统计

Table 1　Eigenvectors statistics of ETM

特征向量	band 1	band 3	band 4	band 5
PC1	0.256761	0.668351	0.110802	0.689278
PC2	0.195485	0.447321	−0.785540	−0.380284
PC3	−0.221399	−0.448887	−0.608720	0.615584
PC4	0.920240	−0.389501	−0.010495	0.036567

由表 1 可见:第四主分量 PC4 中 ETM1 和 ETM3 特征向量的绝对值最大且符号相反,而其他两个波段的特征向量值却很低。因此它主要集中了 ETM1 和 ETM3 的信息,对于含铁矿物如褐铁矿菱铁矿等在 ETM1 波段具有强烈吸收的光谱特征,而在 ETM3 波段具有高反射的特点。所以将第四主分量 PC4 作为铁化蚀变异常信息提取的变量,PC4 分量中暗色调部分表征了铁染信息[11-13]。

4.2　蚀变异常阈值限定

4.2.1　门限化方法选取遥感图像蚀变异常阈值

去干扰异常主分量门限化技术是运用统计学原理,借用正态分布中的标准差 σ 来限定异常水平,该法不仅能够提取蚀变遥感异常而且可以定量划分蚀变异常级别。据遥感图像各主成分特征向量统计(表 1),可知铁蚀变信息都主要包含在 PC4 中。将 PC4 波段进行拉伸,使得 DN 值范围变为 0 ~ 255,得到平均值为 130.05,标准差为 39.53。然后根据表 3 中的均值 + n 倍标准差进行密度分割,赋予不同的颜色,然后进行均值滤波,去掉孤立的点,生成最终的蚀变分级图。

表 2　TM 图像 PC4 灰度数据略图

Table 2　Digital Number (DN) data in PC4

Number	r	lg(r)	lg($N(r)$)
1	2.905589	0.463234	4.87225
2	3.342352	0.524052	4.772842
3	3.779115	0.57739	4.66042
…	…	…	…
30	15.57171	1.192336	2.401401
31	16.00847	1.20435	2.30963
32	16.44524	1.21604	2.346353
33	16.882	1.227424	2.214844
…	…	…	…
38	19.06581	1.280255	1.897627
39	19.50258	1.290092	1.838849
40	19.93934	1.299711	1.60206
41	20.3761	1.309121	1.544068
…	…	…	…

表 3　门限法与分形方法异常界定值极其比例表

Table 3　Threshold and fractal analysis

阈值选取方法	异常级别	临界 DN 值	像元比例/%
去干扰门限化方法	特级异常(3σ)	254.00	99.22
	一级异常(2.5σ)	234.00	98.56
	二级异常(2σ)	214.00	97.00
	三级异常(1.5σ)	194.00	93.40
分形方法	一级异常	17.31	99.98
	二级异常	4.65	97.33
	三级异常	3.34	93.87

注:像元比例指≤某 DN 值的像元总数占全部图像的比例

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.2.2 分形方法选取遥感图像蚀变异常阈值

根据遥感图像各主成分特征向量统计(表 1),可知铁蚀变信息主要包含在 PC4 中。以门限化方法异常下限值所占比例所对应 PC4 波段图像的 DN 值进行统计分析,共有 56 个数据,具体数据略图见表 2,表中 r 值为 PC4 波段的亮度 DN 值。据表中数据生成双对数图像,得到图 1。图中直线拟合度高达 0.9927,由此证明该地区蚀变信息具有分形的结构特征。进一步统计分析以及分形得到图 2,说明该地区蚀变信息具有多重分形的特征。根据图中直线交点值算出临界点的 DN 值,见图 2 和表 3。然后在 PC4 上根据这些临界点进行密度分割,赋予不同的颜色,进行均值滤波,去掉孤立的点,生成最终的蚀变分级图。

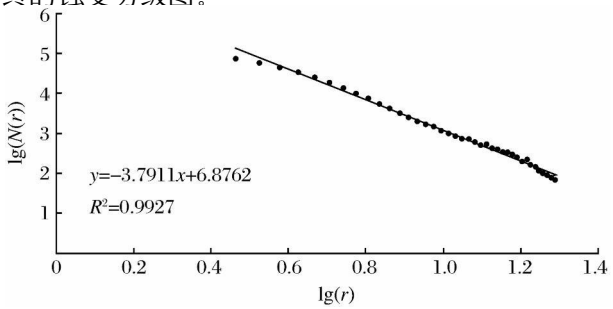

图 1 TM 图像 PC4 波段灰度数据双对数图

Fig. 1 Fitting line rely on DN data

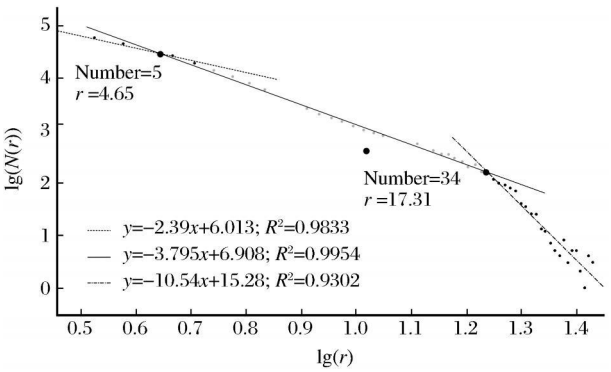

图 2 TM 图像 PC4 波段灰度数据双对数多重分形图

Fig. 2 Multi-fractal on DN data

5 结 语

多光谱遥感图像蚀变信息提取技术现今已相当完善,但对于提取出的蚀变异常分级还没有一个定量的解决办法,本文采用分形理论对实验区蚀变信息特征及其分级方法进行了系统研究,可得出:

(1) 由图 1 可知,该地区蚀变信息在双对数图上呈现高度的线性相关,说明该地区蚀变信息在尺度 r 下具有高度的自相似性。可以说:蚀变作为一种地质记录,空间展布具有分形的特征。由表 2 数据进一步统计分析、分形得到图 2,说明该地区蚀变信息符合多重分形的特征,可以依靠分形方法进行蚀变信息的阈值选取。

(2) 由图 2 和表 3 可看出,分形统计出的分维 D 值与异常级存在一致性。异常级别越高分维数 D 值越大,分维数与异常级别呈现一定的正相关性。即蚀变信息的分维值可以定量描述蚀变等级,是进行蚀变强弱判别的一把标尺。

(3) 从图 2 以及表 3 可以明确得出,分形方法圈定的二级蚀变异常信息(见图 2 中直线拟合线)占据全图 97%~99.98%,蚀变信息拟合直线的拟合度高达 0.9954,可见在这一范围内的蚀变是同一等级的,而运用门限化方法圈定的一级异常限也在该范围内,即便以 3σ+均值作为一级蚀变也是不准确的,可以说分形方法确定异常限要比传统的标准差法准确。

综上所述,遥感蚀变异常不仅具有分形特征而且可以用 D 来定量描述蚀变等级。分形方法可以对遥感蚀变异常进行有效、合理的分级,以弥补传统的门限化方法和利用灰度直方图目视确定突变点方法的不足。因此,分形方法为地学工作者今后研究遥感蚀变信息提供了一种定量化的技术以及准确进行阈值选取的新方法。

参考文献(**References**):

[1] Ma Jianwen. Methodology Study of Quickly Identifying Mineral Bearing Alterations from TM Data[J]. Journal of Remote Sensing, 1997, 1(3): 208-213. [马建文. 利用 TM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 208-213.]

[2] Zhang Y J, Yang J M, Yao F J. The Potentials of Multi-spectral Remote Sensing Techniques for Mineral Prognostication-Taking Mongolian Oyu Tolgoi Cu-Au Deposit as an Example [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 63-70.

[3] Agar B, Coulter D. Romote Sensing for Mineral Exploration-A Decade Perspective 1997-2007[C]//Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, Edited by B. Milkereit, 2007: 109-136.

[4] Wang G W, Liang Y Q, Zhang S T. Hydrothermal Alteration Mapping based on MPH and Fractal Technologies Using ASTER and ETM+ Data in Lushi Region, Henan Province, China[J]. IEEE Transactions on Environmental Science and Information Application Technology, 2010, 9: 762-767.

[5] Mandelbrot B B. Intermittent Turbulence in Self-similar Cascades: Divergence of High Moments and Dimension of the Carrier[J]. The Journal of Fluid Mechics, 1974, 62: 331-350.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[6] Li C J F, Ma T F, Shi J F. Application of a Fractal Method Relating Concentrations and Distances for Separation of Geochemical Anomalies from Background[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 77(2-3): 167-175.

[7] Cheng Q M, Agterberg F P, Ballantyne S B. The Separation of Geochemical Anomalies from Background by Fractal Methods [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1994, 51(2): 109-130.

[8] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature[M]. San Francisco: University of California, 1982. 468.

[9] Shen Wei. Fractal Chaos and Mineral Prediction[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 37-52. [申维. 分形混沌与矿产预测[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 37-52.]

[10] Cheng Qiuming, Zhang Shengyuan, Zuo Renguang, *et al*. Progress of Multifractal Filtering Techniques and Their Applications in Geochemical Information Extraction[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(2): 185-198. [成秋明, 张生元, 左仁广, 等. 多重分形滤波方法和地球化学信息提取技术研究与进展[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 185-198.]

[11] Jing Feng, Chen Jianping. The Review of the Alteration Information Extraction with Remote Sensing[J]. Remote Sensing Information, 2005, 2: 62-65. [荆凤, 陈建平. 矿化蚀变信息的遥感提取方法综述[J]. 遥感信息, 2005, 2: 62-65.]

[12] Han Ling, Bu Xiaocui. Extraction Method of Alteration Anomalies based on ERDAS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2007, 22(6): 696-699. [韩玲, 卜晓翠. 基于 ERDAS 的蚀变遥感异常提取方法[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(6): 696-699.]

[13] Zhang Manlang. Principal Component Analysis Used in Gold Alteration Extraction[J]. Remote Sensing Technology and Application, 1996, 11(3): 1-6. [张满郎. 金矿蚀变信息提取中的主成份分析[J]. 遥感技术与应用, 1996, 11(3): 1-6.]

Alteration from ETM+ Data Rating based on Fractal Technologies

LIANG Yu-qi, WANG Gong-wen, ZHU Yan-yan, QU Jia-nan

(*China University of Geosciences, State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: Fractal is an important method to improve effect about geochemistry and geophysics, but currently fractal theory is rarely used in the field of remote sensing. In this paper, the multi-metal mining area in Lushi, Henan is selected as the studying area, and the ETM+ is the data source. Using the method of MPH Masking, Principle Component Analysis(PCA), Hue and Saturation Transform (HIS) (MPH)) extracts alteration information from the studying area. The method includes three aspects: ① mask, ② PCA, ③ IHS transform. Next, adopting the method of summation in the fractal theory: the pixel brightness-area model make a quantitative analysis about the extracted iron alteration form MPH. And then compare the result with the common methods of threshold selection by standard deviation. It is proved in this paper that the alteration information as a geologic record of spatial distribution has not only fractal characteristics but also multi-fractal characteristics. The research results show that fractal technique is an effective method to classify alteration information of remote sensing data, and it makes up for the weakness of threshold methods and achieves better results.

Key words: Fractal; Altered; MPH; Threshold; Remote sensing

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net