第 15 卷 第 4 期 铀 矿 地 质 Vol 15 No. 4
1999 年 7 月 Uranium Geology Jul 1999

# 吉林东部重力异常的分形特征及其地质意义①

李桐林 林 君
(长春科技大学信息科学与技术学院 长春 130026)

刘绍华
(中国科学院地球物理研究所 北京 100101)

分形是研究复杂地质地球物理问题的手段之一。本文利用分数布朗噪声模型, 采用能谱法, 计算了吉林东部重力异常的分维数, 分维数等值图为地质体的划分提供了新的证据。

关键词 分形 分维数 分数布朗运动 重力异常

分形(Fractal)理论是B. B. Mandelbrot 60 年代初首次提出的, 但只是最近十几年来才引起人们的注意。研究表明: 在地学中, 很多现象符合分形分布规律, 如地震的时空分布和矿床、油藏的空间分布等; 利用分形来研究复杂地质和地球物理问题已揭示出了一些新的规律[1]。M. E. Gregotiski(1991)利用径向平均功率谱研究了加拿大地盾的航磁数据[2], 表明浅源磁化率参数遵循分形分布规律。从能量的角度认识分维数值, 其反映的是由低频信号到高频信号的能量衰减关系。具有不同构造发展历史的地质体, 无论是磁源还是重力源, 其物理差异是必然的。如果异常遵循分形分布规律, 其分维数必有差异。基于这种思想, 我们对吉林东部重力异常进行分维数分析。

## 1 分维数抽取算法及其意义

对基于分数布朗噪声模型(FBM)二维曲面, 分维数抽取通常有如下两种方法, 即基于能量概念的功率谱法[3]和基于布朗噪声的定义法[4]。

(1) 功率谱法

对 $N^2$ 个离散资料点场值 $h_{nm}$ 进行二维离散 Fourier 变换, 可得到 $N \times N$ 的复系数矩阵 $H_{st}$, 其中: $h_{nm}$ 的下标 $n$ 和 $m$ 分别沿 $x$ 和 $y$ 方向; $s$ 表示 $x$ 方向上的变换 $s = 0, 1, 2, \cdots, N-1$; $t$ 表示 $y$ 方向上的变换 $t = 0, 1, 2, \cdots, N-1$。

对每个变换系数 $H_{st}$, 指定一个等效半径 $r = (s^2 + t^2)^{1/2}$, 则等效半径为 $j$, 波数为 $K_j$ 的二

①本论文得到国家教委博士点基金资助

李桐林 男, 37 岁, 教授, 1995 年毕业于长春科技大学, 获地球物理博士学位, 导师申宁华教授。

收稿日期 1998 年 5 月 21 日 改回日期 1999 年 1 月 29 日

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

维平均功率谱密度由下式给出:

$$E_j = \frac{1}{N_j}\sum_{1}^{N_j}|H_{st}|^2$$

$N_j$ 是满足条件 $j < r < j+1$ 的系数的数目,求和是对于这个范围内的系数 $H_{st}$ 进行的,对于分数布朗运动,若径向平均功率谱密度 $E_j \propto K_j^{\beta}$,其中 $\beta = 2H+1$ $(1<\beta<3)$,而 $H$ 为一常数 $(0<H<1)$。则分数布朗运动的分维数为 $D_2 = \frac{7-|\beta|}{2}$。

(2) 分数布朗运动定义法

设 $x \in En$ (En 是 $n$ 维欧氏空间),$f(x)$ 是关于 $x$ 的实值随机函数,若存在常数 $H$ $(0<H<1)$,使得

$$F(t) = p\left\{\frac{f(x+\Delta x)-f(x)}{\|\Delta x\|^H} < t\right\} \tag{1}$$

$F(t)$ 是一个与 $x$, $\Delta x$ 无关的分布函数,则 $f(x)$ 称为分维布朗函数。

假定 $F(t)$ 服从均值为零、方差为 $\sigma$ 的正态分布,则实际布朗噪声可写成

$$E[|f(x+\Delta x)-f(x)|] - \|\Delta x\|^{-H} = C \tag{2}$$

式中 $C = \frac{2}{\sqrt{2\pi}}$。

对(2)式两边取对数,则:

$$\lg E[|f(x+\Delta x)-f(x)|] - H\lg\|\Delta x\| = \lg C \tag{3}$$

$$D = 3-H \tag{4}$$

式中 $D$ 为分维数。

对重磁异常抽取分维数算法如下:

①对于 $\|\Delta X\| = 1, 2, \cdots, k$ 个点距及研究区的所有 $X$,则

$$E[|f(X+\Delta X)-f(X)|] \to E[I] \qquad (I = 1, 2, \cdots, k)$$

其中

$$f(X+\Delta X)-f(X) = \frac{1}{3}\{[|f(x,y+\Delta y)-f(x,y)|] + [|f(x+\Delta x,y)-f(x,y)|] + |f(x+\Delta x,y+\Delta y)-f(x,y)|\}$$

②对(3)式采用最小二乘法求出 $H$ 和 $\lg C$。

③$\frac{\sqrt{2\pi}}{2}C \to \sigma$, $3-H \to D$

从频率域的角度看分维值,其反映的是不同频率能量之间的关系,如从低频向高频能量衰减较低。从空间域的角度来看,分维数反映了形状的某种复杂度,直观上代表了表面之粗糙程度,$D$ 越大,相当于表面起伏越剧烈,相关程度越低;$D$ 越小,相当于表面变化越缓慢,相关程度越高。

## 2 吉林东部重磁异常的分维数抽取及其地质意义

原始数据为1∶100万的布格重力异常,点距为4 km。窗口大小选取60 km×60 km,重力最低频对应波长为30 km的异常,最高频对应波长为2 km的异常。

对全区重力异常抽取了分维数(图1)。重力异常减去60 km×60 km滑动平均异常,求得剩余重力异常分维数(图2)。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

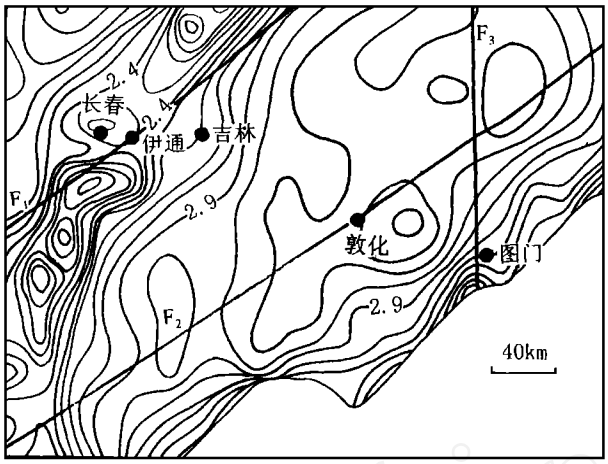



**图 1　原始重力异常分维数**

Fig. 1　Fractal dimension of gravity anomaly

$F_1$——伊通-舒兰断裂; $F_2$——敦化-密山断裂; $F_3$——图门江断裂。

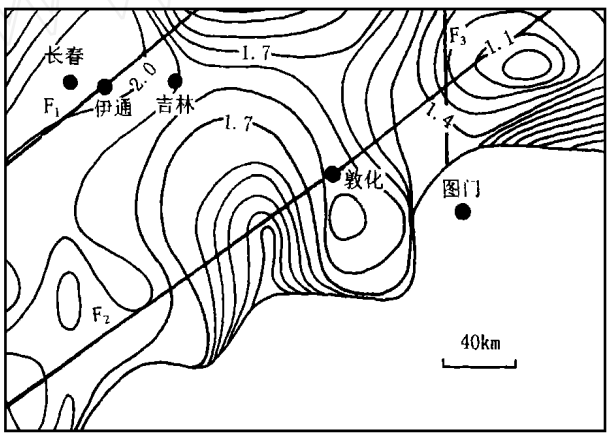



**图 2　剩余重力异常的分维数**

Fig. 2　Fractal dimension of residual gravity anomaly

$F_1$——伊通-舒兰断裂; $F_2$——敦化-密山断裂; $F_3$——图门江断裂。

吉林东部区域重力场的分维数特性提供了重力异常分维数的物理意义和区域重力场数据所未能清晰反映的隐含信息, 主要表现在如下几个方面:

(1) 根据分维数的大小及差异, 吉林东部地区可明显地划分出两个区域, 长春、吉林一带为分维数低值区(2- 2.5), 以东则为高值区。低值区分维数等值线密集, 变化剧烈, 等值线总体延伸方向为北东方向。高值区等值线稀疏, 其空间位置横跨在华北地块北缘东段及延边地区。通过与该区滑动平均重力异常的比较可知, 这种格局反映了区域重力场的特点, 特别是莫氏面的影响。分维数等值线密集带的位置与莫氏面深度陡变带对应。这表明了区域重力异常的分维数主要反映的是几何因素, 而非物性因素。

(2) 对剩余重力异常所做的分维数(图 2) 计算表明, 吉林东部以图门江构造带为界可分为

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

东西两个区域,东部分维数为1.4,西部分维数为1.7。剩余重力异常已将区域场去掉,因此,分维数的差异主要反映的是浅部密度分布模式的差异。珲春地质体(图2中图门江构造以东地区)与吉林中部的分维数差异,说明构成这两个地质体边界的图门江构造带是浅就位的推覆构造,即薄皮改造,这与野外地质调查,大地电磁测深及地震剖面提供的信息一致。

(3)敦化-密山断裂及伊舒地堑在分维数上没有明显显示。这可能是由于滑动窗口过大,而断裂带较窄,其影响范围较小,从而造成分维数差异较小。

## 参 考 文 献

1 李桐林. 地球物理中的分形几何及其应用研究. 长春科技大学博士学位论文, 1995.

2 M. E. Gregotski. Fractal stochastic modeling of aeromagnetic data. Geophysics, 1991. 56(11): 1706-1715.

3 D.L. 特科特. 分形与混沌. 陈 等译. 北京: 地震出版社, 1993.

4 丁德恒,蔡义发,吕维雪. 三维复杂表面形状的分维数分析和内插. 计算机学报, 1991. (9): 710-714.

# THE FRACTAL FEATURE OF GRAVITY ANOMALY OF EASTERN JILIN PROVINCE AND ITS GEOLOGIC SIGNIFICANCE

Li Tonglin Li njun

(*College of Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Jilin*, 130026)

Liu Shaohua

(*Geophysics Institute of Chinese Academy of Sciences, Beijing*, 100101)

**Abstract**

Recently, the fractal has become one of the effectual methods to dealing with complex geophysic phenomena. In this paper, based on the fractional Brown motion model, using spectrum analysis method, the authors abstract the fractal dimension of gravity anomaly of eastern Jilin province. The fractal contour map of gravity anomaly provides new arguments for dividing geologic bodies.

**Key words** Fractal, Fractal dimension, Fractional Brown motion, Gravity anomaly

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net