

基于小波多尺度分析的异常下限确定方法

黄厚辉¹, 郭 科², 唐菊兴²

(1. 四川农业大学 生命科学与理学院, 四川 雅安 625014;

2. 成都理工大学 信息管理学院, 成都 610059)

摘 要: 应用小波技术对藏东 YJ 地区元素 Au, Ag, Cu, Pb 原始数据进行多尺度分析, 把原始数据中隐含的信息挖掘出来, 使本来看似无规律的数据显示出其自身的分布规律, 在此基础上再对元素的异常下限进行求解, 得到较好的效果。该方法简单易行, 便于操作。

关键词: 小波; 多尺度分析; 地球化学异常; 异常下限

中图分类号: P622.3; P618.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2007)04-0311-03

0 引言

在众多化探异常下限的确定方法中, 原有传统方法即: 异常下限 = $\mu - k\sigma$ (k 取 2~3, 一般取 2), 现在又有提出基于分形理论的面积模式以及含量面积法等。可是这两种方法都要求数据呈特定的分布形式, 即正态(对数正态)或是分形分布。据已有知识, 地壳中的元素含量是具有正态(对数正态)分布特性的, 在某些特殊区域元素的含量分布还具有分形特性, 所以怎样去提取数据中信息, 对选取什么方法来求元素下限值就显得尤为重要。本文以小波多尺度分析方法为基础, 对原始化探数据进行处理, 再结合传统方法求异常下限, 效果显著。

1 小波多尺度分析模型

小波分析方法是一种窗口大小(即窗口面积)固定但其形状可以改变, 时间窗和频率窗都可改变的时频局域化分析方法, 即在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率, 在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。正是这种特性, 使小波变换具有对信号的自适应性, 并且具有多分辨率(multiresolution)(也叫多尺度(multiscale))的特点, 可以由粗到细地逐步观察信号。

我们把平方可积的函数 $f(t) \in L^2R$ 看成是某

一级逼近的极限情况。每级逼近都是用某一低通平滑函数 $\Phi(t)$ 对 $f(t)$ 做平滑的结果, 在逐级逼近为平滑函数 $\Phi(t)$ 时也做逐级伸缩, 这就是“多分辨率”, 即用不同分辨率来逐级逼近待分析函数 $f(t)$ 。

我们把空间做逐级二分解产生一组逐级包含的子空间:

$$\dots, V_0 = V_1 \oplus W_1, V_1 = V_2 \oplus W_2, \dots, V_j = V_{j+1} \oplus W_{j+1}, \dots$$

这样空间 V_j 与空间 W_j 正交, 各个 W_j 之间也正交, 即:

$$V_j \perp W_j \quad V_j \perp W_{j'} \quad j \neq j'$$

V_1 中的任意函数, 如 $P_1 f(t)$, 均可以表示为 $\{\Phi_k(t)\}_{k \in Z}$ 的线性组合, 即:

$$P_1 f(t) = \sum_k x_k^{(1)} \Phi_k(t)$$

权重为: $x_k^{(1)} = \langle P_1 f(t), \Phi_k(t) \rangle = \langle f(t), \Phi_k(t) \rangle$

W_1 中的任意函数, $f(t)$ 均可以表示为 $\{\Psi(t-k)\}_{k \in Z}$ 的线性组合。我们设 $D_1 f(t)$ 代表 $f(t)$ 在 W_1 上的投影, 则有:

$$D_1 f(t) = \sum_k d_k^{(1)} \Psi_{1k}(t)$$

$$d_k^{(1)} = \langle D_1 f(t), \Psi_{1k}(t) \rangle = \langle f(t), \Psi_{1k}(t) \rangle, d_k^{(1)}$$

是线性组合的权重。

因为 $V_0 = V_1 \oplus W_1$, 所以 $P_0 f(t) = P_1 f(t) + D_1 f(t)$

由此我们可以得到:

$$P_0 f(t) = \sum_k x_k^{(j)} \Phi_k(t)$$

其中, $x_k^{(j)} = \langle D_j f(t), \Psi_{jk}(t) \rangle = \langle f(t), \Phi_k(t) \rangle$

$$D_j f(t) = \sum_k d_k^{(j)} \Psi_{jk}(t)$$

其中, $d_k^{(j)} = \langle P_j f(t), \Phi_{jk}(t) \rangle = \langle f(t), \Psi_{jk}(t) \rangle$
 $P_j f(t) = P_{j+1} f(t) + D_{j+1} f(t)$
 $P_j f(t)$ 是 $f(t)$ 在 V_j 中的投影, 是 $f(t)$ 在分辨率 j 下的平滑逼近, $x_k^{(j)}$ 称为 $f(t)$ 在分辨率 j 下的离散逼近. $D_j f(t)$ 是 $f(t)$ 在 W_j 中的投影, 反映了 $P_j f(t)$ 和 $P_{j-1} f(t)$ 之间的细节差异, 其离散值 $d_k^{(j)}$ 就是小波变换 $WT_f(j, k)$ 。

2 应用实例分析

藏东测区的异常在 1: 50 000 的地球化学异常图上的编号 YJ, 异常元素组合复杂, 套叠性好, 异常面积大, 异常元素组合为 Au, Ag, Cu, Pb 多金属元素组合, 异常元素具有极大值、衬度高、规模大、相互套合较好、浓度分带好、浓积中心明显的特点, 是有利于进一步找矿的异常区。我们在野外采集的样品进行分析得到的数据是随机排列的, 在用小波分析前需要先按从小到大的顺序排列(以 Cu 为例)。

在实际操作中, 我们只需把原信号 $f(t)$ 分解为 $f(t) = a_j + d_j + d_{j-1} + \dots + d_2 + d_1$, 对不同 j 值进行讨论。Matlab 软件已经为我们准备好了小波多尺度分析工具。

- (1) 打开 Matlab 软件(版本 7.0), 在命令窗口键入 wavemenu 命令。
- (2) 在出现的对话框中选择: wavelet 1-D 选项。
- (3) 在新对话框中导入自己的数据(我们选择 haar 小波分析)。窗口中会出现多条曲线, 它们分别代表原信号的高频和低频部分。

在图 1 中 S 即是原始信号, 从 S 可以看出大部分的数据对应的含量值是非常低的, 对这部分数据进行小波分析时, 主要反映的是它的时域规律, 从 d_1 可以看出分析信号时发生跳跃的部分是从 334 开始, 大约到 342 的时候就发生了明显的变化。而从 $a_2 - a_5$ 随着对高频部分信号进一步的分解, 明显的体现出高频信号之间的层次关系(表 1)。这就我们对异常级别划分提供了依据。事实上对于远异常区, 我们采集的数据是很满足正态(对数正态)分布的, 当我们的采集点有

落入异常或近异常区后, 数据会发生跳跃, 但由于我们布点的方式, 使得数据的阶跃值反映得不明显, 然而进行小波多尺度分析后, 数据之间的层次关系就明显地显现出来, 这正是我们需要的。

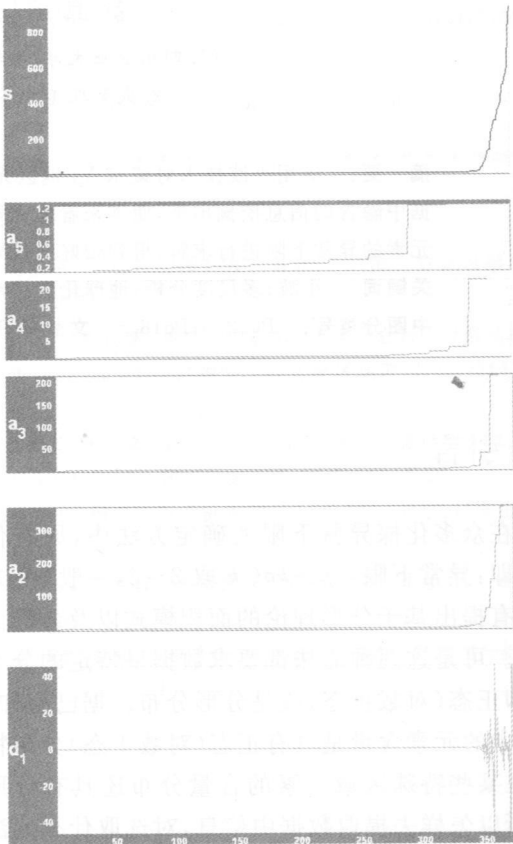


图 1 Level 值从 1 到 5 时 Cu 信号的 haar 小波分析值
Fig. 1 The statistics of Cu data on haar wavelet with level from one to five
横轴表示元素个数, 纵轴为不同含量区间上的含量分布

表 1 元素含量分布

Table 1 Element contents distribution					
范围	1~ 345	346~ 352	353~ 364	365~ 369	370~ 371
含量	0.06~ 10.02	14~ 91.5	118~ 401	493~ 598	794~ 941

表 2 YJ1: 5 万水系沉积物测量特征值

Table 2 Characteristics of river sediment survey at scale of 1: 50000												
元素	平均值	中位数	最小值	最大值	$X_{0.25}$ 分位点	$X_{0.75}$ 分位点	四分位区间	平滑后平均值 (10%)	标准差	变化系数	偏度	峰度
Au(10^{-9})	185.73	3.0	1.0	6079	1.8	10	8.2	19.71	814.21	662931.62	5.13	4.38
Ag(10^{-6})	21.91	0.24	0.06	941	0.18	0.44	0.26	1.89	100.57	10114.84	5.74	4.59
Cu(10^{-6})	4112.89	38.3	4.7	146463.3	38.3	112	86	342.34	18337	336264880	5.25	4.45
Pb(10^{-6})	52.12	29.8	5.2	1872.8	18.2	45.2	27	34.35	125.75	15812.31	10.21	2.41

表 3 各元素的异常下限值

Table 3 The abnormity lower limit for each element			
元素	背景值	异常下限 (非参数估计法)	异常下限 (多尺度分析剔除数据后)
Au(10 ⁻⁹)	3	10	12.672
Ag(10 ⁻⁶)	0.30	0.50	0.4851
Cu(10 ⁻⁶)	40	100	97.253
Pb(10 ⁻⁶)	30	50	55.228

表 3 分别是以非参数估计法(传统方法)和小波多尺度分析(本文讨论的方法)所得出的异常下限。从两表可以看出两种方法对 4 种元素求得的异常下限匹配得非常好,由此两种方法相互验证了其正确性,表明在该地区此两种方法效果都显著。

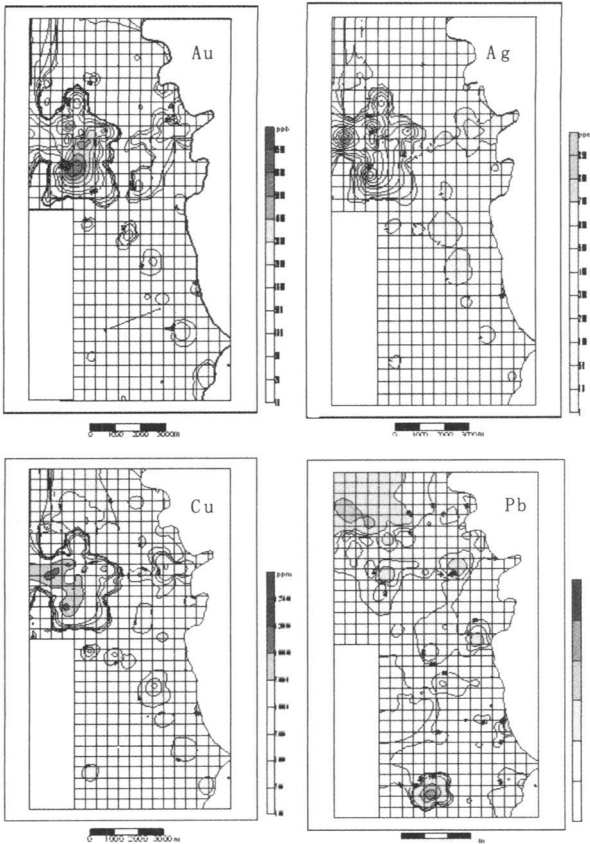


图 2 藏东 YJ 地区 1: 5 万水系沉积物测量 Au, Ag, Cu, Pb 元素异常图

Fig. 2 The anomaly map showing distribution of Au, Ag, Cu, Pb in YJ area of east Tibet

图 2 是用 surfer 软件绘制的 4 种元素的分布

图,从图中很明显地看出各元素的浓集中心所在,并且对于元素的走向分布也显示得非常清晰。不仅各种元素单独分布和实际情况非常吻合,而且各种元素也共同反映了成矿元素的分布趋势。

3 结论

在实际问题中,待探元素的含量是以矿点或以成矿带为中心而向四周发散(即矿点或是矿带中心待探元素的含量最高,越往外围含量越低,当越过异常边界线时,其含量接近该地区背景值),加之待探元素在不同矿物岩石中的含量差异非常明显,以及采样时布点的不均匀性,这 3 种情况造成了数据的含量梯度。由于含量梯度的存在,使得人们在确定异常下限时并未反映出大部分数据的分布情况,而是由于少量特高值的拉动,极大地提高了下限值。所以这样确定的下限值并未起到异常与背景之间分界线的作用。缘于此,本文引入小波多尺度分析,即:

$$f(t)=a_j+d_j+d_{j-1}+\cdots+d_2+d_1$$

把原信号分解成低频和多个高频之和。其中,低频代表大部分数据的分布,高频则代表不同梯度的数据分布,这与地质实际情况一致。本文通过和传统方法的比较,以及应用实例的分析,充分说明了该方法的可行性。而且本文给出的操作流程很简单,是广大地质工作者都能接受的。

参考文献:

[1] 郭科,胥泽银.最优化方法及其程序设计[M].成都:四川科学技术出版社,1998.

[2] 胥泽银,郭科.多元统计方法及其程序设计[M].成都:四川科学技术出版社,1999.

[3] 赵鹏大,陈永清,刘吉平,等.地质异常成矿预测理论与实践[M].武汉:中国地质大学出版社,1999.

[4] 陈聆,魏友华,郭科.用含量面积法确定深切割地区地球化学异常[J].西南师范大学学报(自然科学版),2004,29(5):867-869.

[5] 李志军,唐菊兴,辛忠雷,等.分形、混沌理论在藏东矿产资源预测及评价中的应用[J].西藏地质,2002,21(2):29-36.

(下转第 320 页)

- [4] 熊煥. 市场预测与灰色 GM(1, 1) 模型[J]. 企业经济(江西), 2001, (8): 73-74.
- [5] 杨萍. 灰色预测法及其在选煤中的应用[J]. 矿业科学技术, 2002, (3): 33-35.
- [6] 陈宁生, 赵秀兰, 藏逸中. 关联度的计算方法[J]. 地下水, 1990, (4): 231-233.
- [7] 马田生. 地质统计学在山东焦家金矿床深部含矿性预测中的应用[J]. 安徽地质, 2005, 15(2): 87.
- [8] 纪瑛瑛, 孙忠实. 灰色系统理论在海沟金矿成矿预测中的应用[J]. 吉林地质, 1999, 18(4): 38-42.
- [9] 胡昌平. 情报用户研究[M]. 武流: 湖北科学技术出版社, 1987.

GRAY GM(1, 1) MODEL IN METALLOGENIC PREDICTION AT DEPTH IN JIAOJIA GOLD DEPOSIT, SHANDONG

MA Tian-sheng

(Luneng Aluminum Industry Limited Liability Company Mineral
Mountain Department North in Shanxi Province, Yuanping 034100, Shanxi, China)

Abstract: The results calculated according to the fractal theory show vertical variation in mineralization and the extension to depth of ore bodies is predicted on basis of the results of gray GM(1, 1) model. The prediction is that mineralization of ore body I, III is gradually intensified to depth and ore grade of ore body II rises but becomes thin to depth and mineralization intensity is not as high as ore body I, II.

Key Words: gray GM(1, 1) model; metallogenic prediction; Jiaojia gold deposit; Shandong province

(上接第 313 页)

THE WAVELET THEORY-BASED MULTI-SCALE ANALYSIS METHOD TO DETERMINE THE LOWER LIMIT OF ELEMENT GEOCHEMICAL ANOMALIES

HUANG Hou-hui¹, GUO Ke², TANG Ju-xing²

(1. Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China;

2. College of Information Management, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: We treat raw data of Au, Ag, Cu, Pb from east Tibet by multi-scale analysis of wavelet theory in this paper with ideal result. The implied information is extracted by the method making chaos-like data showing its distribution pattern. This method is simple and easy to operate.

Key Words: wavelet; multi-scale analysis; geochemical anomaly; the lower limit of anomalies