

基于 MAPGIS 的分形方法确定化探异常

李随民 姚书振

石家庄经济学院 河北 石家庄 050031

摘 要 地球化学元素的异常下限值确定是地球化学中重要的问题之一,目前还没有一个令人满意的具有科学依据的计算方法。传统的化探异常下限值计算是基于元素的地球化学分布呈正态分布或元素含量在空间上呈连续的变化这一假设为基础的,而事实上地球化学元素含量的空间分布是极其复杂的,研究表明,地球化学景观可能是一个具有低维吸引子的混沌系统,元素的地球化学背景值和异常具有各自独立的幂指数关系,由此导致了一种多重分形分布,因而可以利用元素的分形分布求出其异常下限。利用元素的分形分布求异常下限的几种常用方法均是以求取不同尺度 r 下,对应的 $N(r)$ 数。如果用手统计方法计算,计算过程简单但繁琐,地理信息系统(GIS)可以实现图形单元的动态查询和属性统计,这种特性很适合于统计不同尺度 r 下对应的 $N(r)$,因此,可以将分形方法与地理信息系统加以结合,在 GIS 平台上对地学图形和属性信息进行分析及统计处理,将原来比较繁杂的分形计算操作变得方便简捷,易于实现。本文以武汉中地信息公司开发的 MAPGIS 地理信息系统为例,对河北某地 1:5 万 Cu 元素化探数据进行了处理,具体说明了以 MAPGIS 为工具,利用分形方法求取元素化探异常下限的过程,并将计算结果与传统异常下限计算方法所得的结果进行了对比,所得的异常下限值相近或一致,但由于传统的计算方法不仅要求对原始数据进行预处理,而且在下限值的确定上需要结合本地区的实际地质情况确定,因此人为干扰因素较大,而利用基于 MAPGIS 的分形方法计算元素异常下限值不仅操作简单,而且计算时由于不受元素特高值的影响,因而不用对原始数据进行预处理,人为干扰因素较少。通过对比得知该方法在实践工作中可行。

关键词 地理信息系统(GIS) 分形 分维数 化探异常

The Determination of Thresholds by the Fractal Method Based on MAPGIS

LI Suimin YAO Shuzhen

Shijiazhuang Colloge of Economy, Shijiazhuang, Hebei 050031

Abstract The determination of thresholds of chemical elements is an important problems in geochemical exploration. At present, there is not a satisfactory scientific way to confirm the thresholds. The traditional way of determining thresholds of chemical elements is based on the assumption that chemical elements are in normal distribution or element contents are continuously changed in space. Nevertheless, the spatial distribution of chemical elements is extremely complicated, and researches show that geochemical landscape may be a chaotic system of low dimension. The background and anomaly values of elements usually show independent power index relationship, resulting in the multifractal distribution of chemical elements. We can therefore use the fractal method of chemical elements to determine thresholds. Several fractal methods for determining thresholds of chemical elements often compute r of different scales and the corresponding number of $N(r)$. Geographical Information System (GIS) can realize dynamic inquiry and attribute analysis of figure units, and hence GIS is very suitable for statistic analysis of r of different scales and corresponding $N(r)$. So we can combine the fractal method with the geographical information system. With MAPGIS geographical information system designed by Wuhan Zondy Info-Engineering Co. Ltd. as an example, This paper deals with the determination of thresholds of chemical elements by using fractal methods based on GIS platform. The results obtained are compared with those obtained by traditional methods. The traditional methods for determining thresholds require pretreatment of original data and consideration of practical geological setting. However, the operation of the fractal methods based on MAPGIS platform is very simple and not affected by abnormally high values. Therefore, the fractal methods are less affected by artificial interference. A comparison with the traditional methods has led to the conclusion that the fractal method is an effective method for determining thresholds of chemical elements.

Key words Geographical Information System(GIS) fractal fractal dimension geological anomaly

本文由中国地质调查局综合研究项目(编号:20010200015)资助。

改回日期:2003-11-18,责任编辑:宫月莹。

第一作者:李随民,1971年生,在读博士生,主要从事地学信息处理的研究,E-mail:smli71@163.com。

地球化学元素含量的异常确定是勘查地球化学中最重要的工作之一,但迄今为止还没有找到一个完全令人满意的具有科学依据的方法。长期以来,人们主要是使用经典的统计学方法,以样品数据呈正态分布为假设前提,通过计算数据的统计学参数(如均值、标准离差等)对异常进行筛选和评价。一般是以平均值(\bar{X})与2倍(也有为1.5倍或3倍)的标准离差(δ)之和作为地球化学的异常下限值。该方法仅适用于地球化学数据呈正态分布的情况,但实际上对于元素的地球化学分布而言正态分布并不是唯一的一种分布,人们已经发现许多元素,特别是微量元素并不遵循正态分布,而是呈明显的正向偏斜或表现为一种幂型的拖尾分布。其他几种用来筛选和评价地球化学异常的方法,如移动平均法、趋势面法、克里格法以及概率格纸法等,除了概率格纸法仍是基于正态分布这一观点外,其他的几种方法虽然注意到了元素含量分布的空间信息,但都是以地球化学含量数据在空间上呈连续变化,且是一个光滑的连续曲面这一假设为基础建立的。事实上,地球化学元素含量的空间分布是极其复杂、十分粗糙而并非处处可微的。正如李长江等(1995)研究揭示的地球化学景观可能是一个具有低维($D=2.9$)吸引子的混沌系统,是分形。

1 分形模型及分维数求取

分形(Mandelbrot,1982)是其组成部分以某种方式与整体相似的形。这一定义反映了自然界中很广泛的一类物质的一种基本属性:局部与局部、局部与整体在形态、结构、功能和信息等方面具有(统计意义上的)自相似性。定量描述这种自相似性的参数称为“分维数”或简称“分维”,记为 D 。许多地质现象具有标度不变的特征,如断层、地震、火山喷发和矿产等。这些现象的频度和大小之间的分布具有尺度不变性。分形分布的特点要求大于等于某一尺度的数目或和数,与物体大小之间存在幂函数关系,即

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

式中, r 表示特征尺度; $C > 0$ 称为比例常数; $D > 0$ 称为分维数; $N(r) = N(\geq r)$ 表示尺度大于等于 r 的数目或和数。

为了求出其分形模型中分维数 D ,将观测数据 $\{(N(r_1), N(r_2), \dots, N(r_n))$ 和 $(r_1, r_2, \dots, r_n)\}$ 绘在双对数坐标纸上,如果其散点大致分布在一条直

线上的话,其分维数 D 便可以利用直线的斜率求出。也就是将观测数据 $\{(N(r_1), N(r_2), \dots, N(r_n))$ 和 $(r_1, r_2, \dots, r_n)\}$,代入 $N(r) = Cr^{-D}$ 式中,然后两边取对数,得 $\lg N(r) = -D \lg r + \lg C$,用最小二乘法求出斜率 D 的估计量,即为分维数;如果其散点大致分布在两段直线上时,可以采用分段拟合,有的分界点清楚,有的则不清楚,为了提高分界点确定的客观性,在两个区间用最小二乘法进行回归时用最优方法确定分界点。其基本思想是,找出合适的分界点 r_{i0} ,使各区间拟合的直线与原始数据之间的剩余平方和 $E_i (i=1, 2)$ 在两个区间的总和 $E = E_1 + E_2 = \sum_{i=1}^{i_0} [\lg N(ri) + D_1 \lg ri - \lg C_1]^2 + \sum_{i=i_0+1}^n [\lg N(ri) + D_2 \lg ri - \lg C_2]^2$ 为最小。其中 r_{i0} 是分界点; D_1 和 D_2 分别为相应区间的斜率,即分维数。为了检验回归方程的显著性,应对每个回归方程都进行相关系数检验及方差分析检验。分界点的地质意义可以看成元素含量在空间上至少存在两个层次的分布,即小于分界点 r_{i0} 对应的值为元素含量的背景分布,大于分界点 r_{i0} 对应的值为元素含量的异常分布, r_{i0} 对应的值为元素含量分布的异常下限。

陈秋明等(1994)从分形的观点认识到地球化学背景值和异常具有各自独立的幂指数关系,由此导致了一种多重分形分布。在此基础上,陈秋明等(1994)提出了确定地球化学异常的含量-面积分形方法。地球化学元素含量-面积的分形分布服从如下方程

$$C = kA^a$$

其中, C 为含量; k 为常数; A 为大于含量 C 的面积; a 是与最大奇异指数有关的指数。

2 含量-面积法的 MAPGIS 实现方法

地理信息系统,即GIS,是一种获取、存储、检索、操作、分析和显示地球空间数据的计算机系统。将GIS与分形统计学结合起来,在GIS平台上对地质图形和数学信息进行分析及统计处理,将会使原来比较繁杂的分形计算操作过程变得方便简捷,易于实现。MAPGIS是由武汉中地信息工程有限公司研制的一种属于矢量型的GIS软件^①。下面以MAPGIS软件为例,说明在GIS系统中用含量-面积法确定化探异常的实现方法。

在GIS平台中用含量-面积法求取化探元素异

① 中国地质大学信息工程学院,2000.EAPGIS地理信息系统使用手册。

常的基本过程为将地球化学元素数据网格化,绘制元素含量等值线图, $N(r)$ 为以等值线为 r 值所围成的平面面积,显然 $N(r)$ 是递减函数。这样就得到数据 $(N(r_1), N(r_2), \dots, N(r_n))$ 和 (r_1, r_2, \dots, r_n) 。将这些数据代入分形模型公式中,应用最小二乘法求出相应的分维数的估计值和对应的拐点。

具体实现过程如下:

(1)用 MAPGIS 的 DTM 分析模块,先将元素含量数据进行等值线绘制,形成一个区文件。该区文件的属性字段有 5 个,分别为 ID、面积、周长、起始值和终止值。

(2)在空间分析子系统装入该区文件,用检索菜单下的条件检索进行不同 r 值所围成的平面面积检索。具体为在起始值字段大于等于操作符后输入

不同的 r 值。 r 值为 DTM 分析中等值线设定对话框中的起始值加 n 倍的步长增量值。如起始值设定为 120,步长增量设定为 50,则 r 值分别为 120、170、220 ...到终止值。

确定后将出现大于等于设定 r 值的所有圈闭的等值线的图形(图 1)。再选择属性分析菜单中的单属性统计选项,即可进行以等值线 r 为起始值所圈闭的全部面积统计。

(3)不断重复(2),选取不同的 r 值,统计不同 r 值所围成的平面面积。

(4)对不同 r 值及其对应取的面积数据取对数,用相关软件(如 GRAPHER、STATISTICA 等)对数据进行拟合,求取分维数 D_1 和 D_2 ,分界点对应的 r 即为元素异常下限。

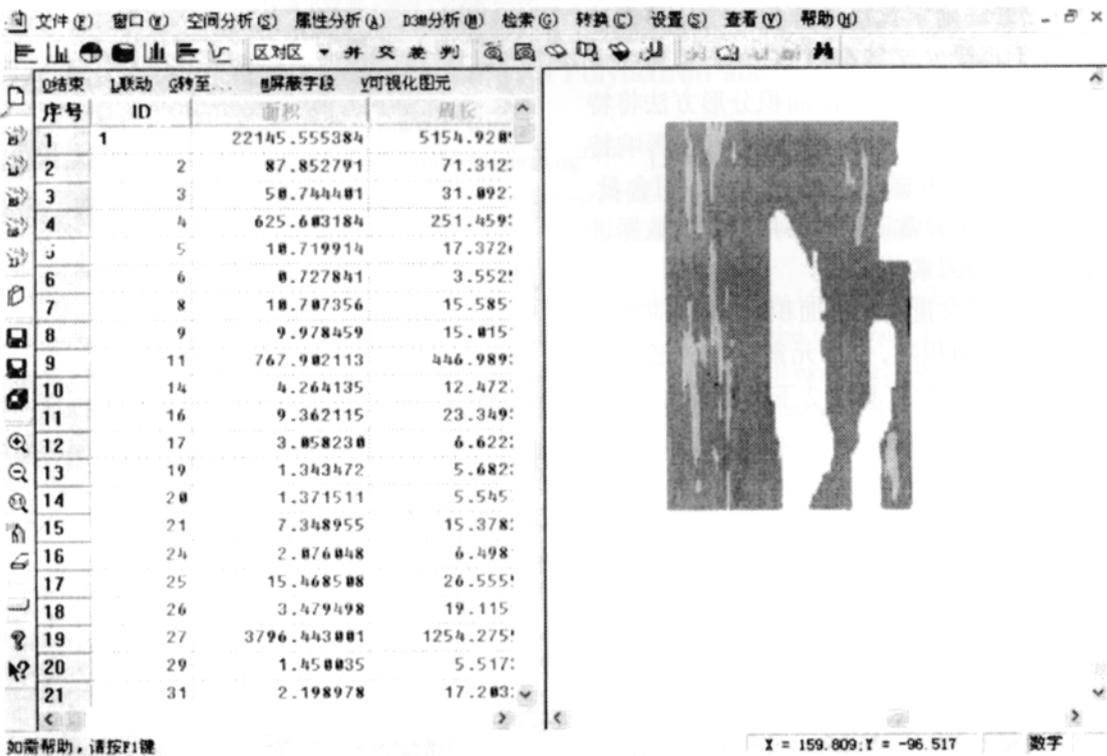


图 1 大于确定的 r 所形成的范围

Fig. 1 Area enclosed by contours which have contour values greater than or equal to r

3 应用实例

以河北某地的 1:5 万 Cu 元素化探数据为例,共有样品 1 337 个。对原始数据进行特高值预处理(剔除含量高于 3 倍标准差的数据)后,用异常下限公式($T_L = \bar{x} + 2\delta$)计算 Cu 元素异常下限为 494.26。实际工作中可取 500 作为异常下限。用含量-面积法求取 Cu 元素异常下限值。应用含量-面积法对 Cu 元素($N = 1 337$)的统计结果见表 1。

应用表 1 的数据,在 $\lg r - \lg N(r)$ 坐标中投点,用最小二乘法拟合二段直线,得到相应的直线方程为:

$$\lg N(r) = -1.76858 \lg r + 8.70177 \quad 120 \leq r < 470$$

$$\lg N(r) = -4.9477 \lg r + 16.59314 \quad 470 \leq r < 2520$$

两个区间的剩余平方总和($E = E_1 + E_2$)为 0.948,以上两个方程均通过显著性检验。分界点 r_{i0} 为 470。因此得出,Cu 元素的异常值下限为 470。与用异常下限公式($T_L = \bar{X} + 2\delta$)计算的 Cu 元素异常

表1 用含量-面积法求出Cu元素数据的 $N(r)$
Table 1 $N(r)$ of Cu data calculated by the area method

| $r/\times 10^{-6}$ | $N(r)$ | $r/\times 10^{-6}$ | $N(r)$ | $r/\times 10^{-6}$ | $N(r)$ | $r/\times 10^{-6}$ | $N(r)$ |
|--------------------|---------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| 120 | 55763.8 | 520 | 1965.3 | 920 | 59.8 | 1720 | 7.5 |
| 170 | 55757.5 | 570 | 1151.0 | 970 | 48.8 | 1870 | 3.6 |
| 220 | 55287.7 | 620 | 642.1 | 1020 | 39.3 | 1920 | 3.1 |
| 270 | 48265 | 670 | 396.7 | 1120 | 27.2 | 2070 | 1.6 |
| 320 | 31902 | 720 | 259.6 | 1320 | 15.0 | 2120 | 1.4 |
| 370 | 17610.6 | 770 | 158.9 | 1420 | 12.9 | 2270 | 0.9 |
| 420 | 8509.1 | 820 | 106.3 | 1470 | 12.0 | 2470 | 0.4 |
| 470 | 4103.6 | 870 | 75.5 | 1670 | 8.3 | 2520 | 0.3 |

下限值基本一致。在实际工作中均可取500作为Cu元素异常下限值。

4 结论

(1)用分形方法确定化探异常比传统的异常计算方法优势在于不受元素特高值的影响,用传统方法必须进行特高值处理,而含量-面积分形方法将特高值形成的面积限定在一个很小范围内(仅影响特高值周围),不对整体数据产生影响,因此,用含量-面积的分形方法确定异常下限时不用对原始数据进行处理,减少了人为因素的干扰。

(2)在进行元素含量圈闭的面积统计时,应在预计拐点处增加分类面积数,但对元素特高值形成面积处统计时可以适当减少(见图2下部线段)。

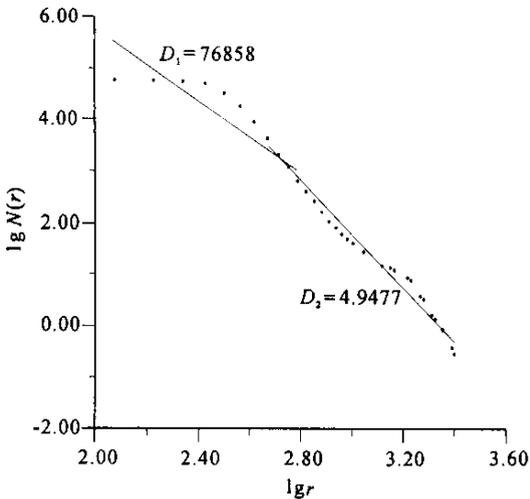


图2 $\lg N(r) \sim \lg r$ 图

Fig. 2 Figure of $\lg N(r) \sim \lg r$

参考文献

- 申维. 2002. 分形混沌与矿产预测. 北京:地质出版社.
李长江,麻士华,朱兴盛等. 1999. 矿产勘查中的分形、混沌与ANN. 北京:地质出版社.

References

- Chen Q M, Agterberg F P, Ballantyne S B. 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. Journal of Geochemical Exploration 51:109-130.
Li Changjiang, Ma Tuhua, Zhu Xingsheng et al. 1999. Fractal, chaos and ANN in mineral exploration. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
Mandelbrot B B. 1982. The fractal geometry of Nature. W. H. Freeman and Co., New York.
Shen Wei. 2002. Fractal and chaos with application in mineral resource prediction. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).