

信息维在钻孔数据中的应用

申 维

中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002; 中国地质大学国土资源与
高新技术研究中心, 北京, 100083

内容提要 信息维是研究不均匀程度、复杂程度、粗糙程度和不规则程度的度量。本文提出了信息维分析基本原理, 解释了信息维实际意义。并用信息维研究钻孔深度的数据, 完成相应的信息维异常图。根据这一方法对某地钻孔深度的样品分析数据进行处理, 表明该方法能提供独特的信息。

关键词 分形 信息维分析 地质异常

分形理论创立于70年代中期, 其研究对象为自然界和社会活动中广泛存在的无序(无规则)而具有自相似性的系统。分形是其组成部分以某种方式与整体相似的形。它是以分维数, 自相似性, 统计自相似性和幂函数等为工具, 研究不具有特征标度, 极不规则和高度分割但具有自相似性的复杂现象, 定量描述这种自相似性的参数称为“分维”, 记为 D , 它可以是分数。分形理论的自相似性概念, 最初是指形态或结构的相似性, 即在形态或结构上具有相似性的几何对象称为分形。随着研究工作的深入发展和领域的拓展, 又由于一些新学科, 如系统论、信息论、控制论、耗散结构理论和协同论等相继涌现的影响, 自相似性概念得到充实与扩充, 把信息、功能和时间上的自相似性也包含在自相似性概念之中, 于是, 把形态(结构)、或信息、或功能、或时间上具有自相似性的客体称为广义分形。广义分形及其生成元可以是几何实体, 也可以是由信息或功能支撑的数理模型, 分形体系可以在形态(结构)、信息和功能各个方面同时具有自相似性, 也允许只存在某一方面具有自相似性; 分形体系中的自相似性可以是完全相同, 但这种情况不多, 也可以是统计意义上的相似, 这种情况占大多数, 相似性具有层次或级别上的差别。级别最低的为生成元, 级别最高的为分形体系的整体。级别愈接近, 相似程度越好, 级别相差愈大, 相似程度越差, 当超过一定范围时, 则相似性就不存在。

本文包括两个部分: ① 提出了信息维分析基本原理, 解释了信息维实际意义, 信息维是研究不均匀程度、复杂程度、粗糙程度和不规则程度的度量, 并用信息维研究钻孔深度的数据, 完成相应的信息维异常图。② 应用信息维分析方法, 对某地钻孔深度的样品分析数据进行处理, 表明该方法能提供独特的信息。信息维可以表示物质空间分布的变化性, 并且是一个无量纲的值, 它可以作为各种参数形式出现, 如金品位的信息维可以作为金矿床类型、勘探类型、勘探网度和采样间距的参数。

1 信息维分析基本原理

信息维的定义:

注: 本文得到国家自然科学基金项目(编号 49873027)、国土资源部矿产资源定量预测及勘查评价开放研究实验室基金和中国科学院重大项目(批准号 K2951-131-411)资助。

本文1999年10月收到, 2000年10月改回, 任希飞编辑。

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \sum_i P_i \ln P_i / \ln(r)$$

式中 P_i 是覆盖概率, 当用边长为 r 的小盒子去覆盖分形结构时, P_i 是分形结构中某些点落入小盒子的概率 ($\sum P_i = 1$)。

由于信息维 D 与熵成正比, 信息维 D 是以另一种度量来描述熵。熵是衡量随机现象的不肯定性程度的一个度量。不肯定性程度(随机现象的分布均匀程度)越高, 熵值越大。信息维 D 小, 表示物质分布不均匀, 聚集程度大, 反之, 信息维 D 大, 表示物质分布均匀, 聚集程度小。因此, 信息维 D 是研究不均匀程度、复杂程度、粗糙程度和不规则程度的度量。

设一维数据 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 。我们可将数据 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 视为一个序列。对于每一个这样的序列, 按数据值从小到大的次序排列, 并把数据列的分布区间分成 r 个子区间, 计算进入第 i 个子区间内的数据的频率 $P_i (i=1, 2, \dots, r)$, 令 $I(r) = \sum_{i=1}^r P_i \ln P_i$, 其中 r 为正整数。改变 r 的值, 这样得到一系列数据对 $(\ln r, I(r)) (i=1, 2, \dots, k)$, 将这些数据点在 $I(r) - \ln r$ 坐标中投点, 用最小二乘法拟合直线, 该直线的斜率即为所求信息维 D 估计值(图 1)。

设有 M 个钻孔深度的样品分析数据, 将每个钻孔深度的数据按深度排列, 得到一维数据, 应用以上方法可求得每个钻孔深度数据的信息维 D 估计值(共有 M 个)。设每个钻孔的平面坐标为 (i, j) (i 代表横坐标, j 代表纵坐标), 则每个钻孔深度的数据信息维可表示为 $D(i, j)$ (共有 M 个)。

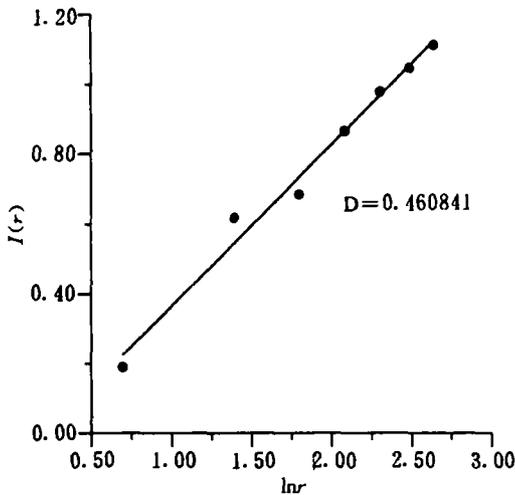


图 1 $I(r) - \ln r$ 图

Fig. 1 The diagram of $I(r) - \ln r$

$$\text{令 } D_{ij} = D^{(i, j)} - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M D^{(i, j)}$$

其中 $\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M D^{(i, j)}$ 为 M 个钻孔深度数据的信息维平均值。

对 D_{ij} 作二维等值线图, 该图反映了各钻孔深度的数据信息维对总体分维背景的异常, 可称为信息维 D 异常图。

2 应用实例

80 年代末, 分形理论开始引入地质学研究中。分形理论的创始人 Mandelbrot (1982) 对铜的研究认为, 高品位铜矿的分布是不均匀的, 在每一储铜区中, 无论区域大小, 其高品位铜矿的相对分布是相同的, 高品位铜矿可看作是由低分维相似性分形集合“集中”或“支持”的, 品位较低的铜矿, 可视为受到一个高维分形集合的支持, 从而得出铜矿的分布存在多重分形结构。孟宪国等 (1991) 的研究表明, 地质数据中广泛存在分形结构; 孟宪国 (1993) 认为分维和多标度分形谱是表示分形结构复杂性的定量指标, 对研究地质结构的异常特征有特殊意义, 在云南腾冲地区地质异常及矿产预测研究中将熵、变差函数与分形相结合, 取得了很好的效果; 该文进而提出, 在矿产预测数学模型中, 通过分维和多标度分形谱, 建立相似一类比的分形模型。周有武 (1993) 研究了地球化学元素含量分布的多标度分形测度, 用固定质量法计算滇西腾冲地区 Cu 的数据的广义分维数 D_q , 认为滇西腾冲地

区 Cu 含量分布存在多尺度分形特征。Cheng 等 (1994) 研究了地球化学异常,并用分形方法区分地球化学背景值和异常值,取得了较好的效果。申维 (1998) 提出了信息维分析基本原理,解释了信息维实际意义,并用信息维确定地球化学数据的异常,完成相应的信息维异常图。根据这一方法对鲁西某地 Au 和 Ag 元素水系沉积物地球化学数据进行处理,表明该方法能提供独特的信息。用分形理论进行诸如此类的研究正日益渗透到成矿规律与成矿预测、矿床勘查与评价中。

我们在某研究区取得 16 个钻孔深度的 Au 样品分析数据,将每个钻孔深度的数据按深度排列,得到一维数据,应用以上方法可求得该钻孔深度数据的信息维 D 估计值。图 1 为某一钻孔深度的数据信息维。

设每个钻孔的平面坐标为 (i, j) , 则每个钻孔深度的数据信息维可表示为 $D(i, j)$ 。

$$\text{令 } D_{ij} = D(i, j) - \frac{1}{16} \sum D(i, j)$$

其中 $\frac{1}{16} \sum D(i, j)$ 为 16 个钻孔深度数据的信息维平均值。

将前面所述的信息维分析方法应用这些数据,得到下列数据:

金矿床 32 号勘探线上的 5 个钻孔深度的数据信息维。

$D(0, 2.5) = 0.0769329$, $D(-1.3, 17.5) = 0.621532$, $D(0, 31) = 0.369671$, $D(0, 38) = 0.320925$, $D(0, 45.5) = 0.145275$ 。它们的 D_{ij} 分别为 -0.2447151 、 0.299884 、 0.0480230 、 -0.000723 和 -0.176373

金矿床 30 号勘探线上的 5 个钻孔深度的数据信息维。

$D(10.5, 20.5) = 0.037106$, $D(10.5, 31) = 0.204409$, $D(10, 39) = 0.197334$, $D(10, 44) = 0.585089$, $D(9.5, 50.5) = 0.136145$ 。它们的 D_{ij} 分别为 -0.284542 、 -0.117239 、 -0.124314 、 0.263441 和 -0.185503

金矿床 26 号勘探线上的 6 个钻孔深度的数据信息维。

$D(30, -6) = 0.425117$, $D(30, 10.5) = 0.286918$, $D(30, 20) = 0.730678$, $D(30, 26.5) = 0.460841$, $D(30, 32.5) = 0.37806$, $D(30, 42.5) = 0.170335$ 。它们的 D_{ij} 分别为 0.103469 、 -0.034730 、 0.40903 、 0.139193 、 0.056412 和 -0.151313 。

对 D_{ij} 作二维等值线图,该图反映了各钻孔深度的数据信息维对总体分维背景的异常,可称为信息维 D 异常图。图 2 是研究区钻孔深度数据的信息维异常图。

图 2 能反映钻孔深度的数据信息维数值高低的分布情况。信息维数值高的区域(见图中实线,即左右部分),表示物质分布均匀,聚集程度小,设计各钻孔之间的距离应该大一些;信息维数值低的区域(见图中虚线,即上部和中部),表示物质分布不均匀,聚集程度大,设计各钻孔之间的距离应

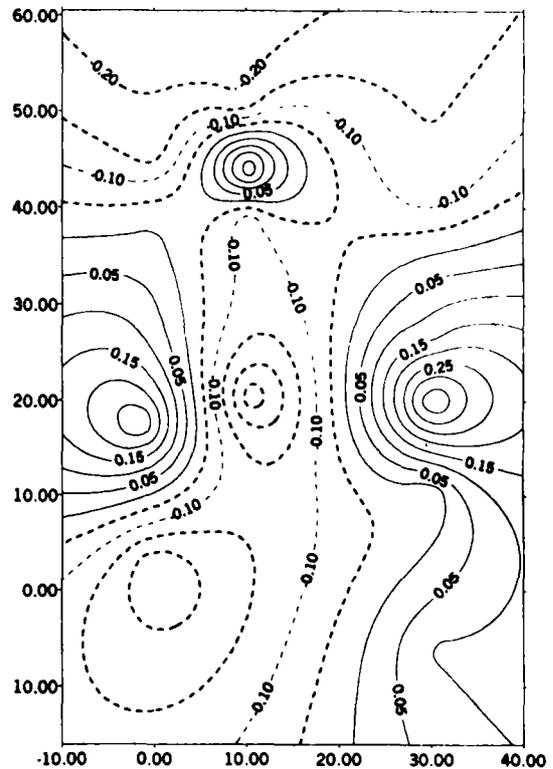


图 2 研究区钻孔深度数据的信息维异常图

Fig. 2 The diagram of information dimension anomalies of drill hole depth data in the study area

该小一些。

3 结论

(1) 信息维 D 小, 表示物质分布不均匀, 聚集程度大; 反之, 信息维 D 大, 表示物质分布均匀, 聚集程度小。因此, 信息维 D 是研究不均匀程度、复杂程度、粗糙程度和不规则程度的度量。

(2) 对某地钻孔深度的样品分析数据进行处理, 完成相应的信息维异常图。信息维数值高的区域, 表示物质分布均匀, 聚集程度小, 设计各钻孔之间的距离应该大一些; 信息维数值低的区域, 表示物质分布不均匀, 聚集程度大, 设计各钻孔之间的距离应该小一些。表明该方法能提供独特的信息。

(3) 信息维可以表示物质空间分布的变化性, 并且是一个无量纲的值, 它可以作为各种参数, 如品位的信息维可以作为矿床类型、勘探类型、勘探网度和采样间距的参数。

参 考 文 献

- 孟宪国. 1991. R/S 分析和地球化学数据的分形处理. 地球科学, 16(3): 281~287.
- 孟宪国, 赵鹏大. 1991. 地质数据的分形结构. 地球科学, 16(2): 207~211.
- 孟宪国. 1993. 试论非线性科学在数学地质中的地位和作用. 地球科学进展, 8(1): 66~71.
- 申维. 1998. 信息维分析及在地质异常中的应用. 长春科技大学学报 1998 年专集, 12~17.
- 周有武. 1993. 地球化学元素含量分布的多标度分形测度初探. 见: 第一届分形理论与地质科学学术讨论会论文集. 武汉: 中国地质大学出版社.
- Cheng Qiuming, Agterberg F P, Ballantyne S B. 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51: 109~130.
- Mandelbrot B B. 1982. *The fractal geometry of nature*. San Francisco, W. H. Freeman.

The Applications of Information Dimension in Drill Hole Data

Shen Wei

Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002; China University of Geosciences, Beijing, 100083

Abstract

This paper advances a method of the information dimension analysis and explains the real meaning of the information dimension. The information dimension is the a numerical index of the asymmetry degree, complication degree, coarseness degree and abnormity degree. The anomaly map is compiled on the basis of the information dimension. Then the drill hole depth data in some region are studied with the information dimension analysis and it can provide us with a great amount of unique information.

Key words: fractal; information dimension analysis; geological anomaly

作 者 简 介

申维, 男, 教授, 1957 年生。1997 年毕业于中国地质大学数学地质专业并获得博士学位。主要从事数学地质科研和教学工作。通讯地址: 100083, 北京, 中国地质大学国土资源与高新技术研究中心, 电话: 010—82323583; Email: shenweihome@263.net。