

混沌理论在三江北段成矿地质条件研究上的应用

——以玉龙成矿带北段元素地球化学异常分析为例

陈建平¹, 唐菊兴², 李志军²

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 成都理工大学, 成都 610059)

[摘要]三江北段大地构造位置独特,地质构造活动复杂,矿产资源丰富。但由于自然条件限制,研究程度较低,缺少有效的矿产资源调查方法。文章应用混沌、分形等非线性理论进行成矿地质条件研究,取得了比较好的效果,对西部特殊景观区的地质矿产研究方法的探索提供一条新思路。

[关键词]三江北段 混沌理论 分维

[中图分类号]P595 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2003)03-0001-04

三江北段处特提斯—喜马拉雅构造域东部、构造线由近东西向急转为近南北向的转折部位,大地构造位置独特,所属构造单元是扬子地台南缘及夹持在扬子陆块与印度板块之间的义敦火山—岩浆岛弧带、江达火山岛弧带及羌塘—昌都中间地块。特提斯构造演化产生了复杂的地质构造—岩浆活动—沉积作用,表现为海底拉张期的构造—造山活动—沉积作用及拼合、挤压期的构造—岩浆作用。在板块或地块的拼贴、挤压、伸展过程中,地壳的深部拆沉作用造成岩浆的广泛上侵及深部流体的形成,在本区形成有众多的铜、银、铅、锌、金等多金属矿床,但由于本区属三江(金沙江、澜沧江、怒江)水系的强烈切割区,呈现高山峡谷地貌,海拔3000~5500 m,自然环境恶劣,交通非常不便,到目前为止,在许多方面明显存在研究程度不足,缺少在本区这种特殊景观区进行矿产资源调查研究的配套技术方法体系。本次研究主要就利用混沌、分形等非线性理论在这种特殊景观区进行矿产资源调查研究的方法进行探讨,以期研究程度极低的西部地区找到有效的矿产资源调查方法做一些有意义的探索^[1-2]。

1 混沌理论

混沌理论是20世纪60年代出现的新理论,对于解决非线性、不确定问题具有独特意义。混沌在

稳定的确定性的解和不稳定的确定性的解之间起桥梁作用。混沌解是从统计学意义上进行处理的,混沌对于初始条件具有指数方式的敏感性,也就是系统内部蕴含着非线性反馈机制,随着系统的发展,系统的非线性增强,结果出现混沌动态(Gleick J, 1988)^[3-4]。

混沌具有以下几个特征:(1)随机性。体系处于混沌状态是由体系内部动力学随机性产生的不规则性行为引起的,称为内随机性。体系内的局部不稳定是内随机性的特点,也是对初值敏感性的原因所在。(2)分维性。混沌具有分维性质,是指系统运动轨道在相空间的几何形态可以用分维来描述。体系的混沌运动在相空间无穷缠绕、折迭和扭结,构成具有无穷层次的自相似结构。(3)普适性。当系统趋于混沌时,所表现出来的特征具有普适意义。(4)标度律。混沌现象是一种无周期的有序态,具有无穷次的自相识结构,存在无标度区域。混沌运动是自相似的,代表混沌运动的奇异吸引子本质上就是一种分形,分形理论与混沌同属非线性理论,对于研究大量自相似、无标度地质现象、分析处理非稳定数据、离散非均匀数据带来了新的方法。

我们可以用简单的二次方程来表现混沌现象, Logistic 方程是最具代表性的,

$$f(x_{n-1}) = \mu x_n(1 - x_n) \quad \Delta\Delta(1)$$

[收稿日期]2002-04-12; **[修订日期]**2002-06-25; **[责任编辑]**曲丽莉。

[基金项目]国家自然科学基金项目(编号:40072030)和中国地质调查局项目(编号:200110200010)共同资助。

[第一作者简介]陈建平(1959年—),男,1995年毕业于成都理工大学,获博士学位,教授,主要从事矿产资源预测评价与“3S”技术地学应用研究工作。

通过逐次线性迭代,方程解由周期性变为无周期的无序状态(混沌状态)。在这一过程中,解结构不断分叉,随初始条件的微小变化而呈指数增长,在某一临界点发生突变,分叉中断,周期性消失,解结构达到混沌状态^[5]。

分形是数学家 Mandelbrot 在 1975 年提出的,如果一个集合在欧氏空间中的 Hausdorff 维数 D_H 恒大于其拓扑维数 D_T ,该集合为分形集,简称分形。通俗地讲,组成部分以某种方式与整体相似的形体叫分形。分形以分维数、自相似性、统计自相似性和幂函数为工具,为研究一类无规则、混乱、复杂但局部与整体有自相似性的体系提供了一种有效的手段。定量描述分形自相似性的参数称为分维数,简称分维。分维数是连续变化的,可以是分数。分形的核心是“标度不变性”,即“自相似性”。在地质学中常使用容量维数、信息维数和关联维数^[6~7]。

目前对于混沌主要通过吸引子的分维数、李雅普诺夫(Lyapunov)指数进行描述。吸引子维数是判别吸引子类型的复杂程度的表征量,它可以描写混沌系统在变化过程中整体稳定性和确定性的程度,维数也同时决定了系统变化所依赖的最小独立变量数。维数的定义有很多,其中关联维数是有代表性的一种。设

$$\bar{X}_i = \{X_{(i)}, X_{i+\tau}, \Lambda, X_{i+(m-1)\tau}\} \quad \Lambda\Lambda(2)$$

是嵌入维数为 m 的相空间中的一个参考点,计算它到其余 $N-1$ 个点

$$\bar{X}_j = \{X_{(j)}, X_{j+\tau}, \Lambda, X_{j+(m-1)\tau}\}, (j \neq i) \quad \Lambda\Lambda(3)$$

的距离 $\bar{X}_i - \bar{X}_j$, 可得到以 $\bar{X}_j$ 为中心,以 r 为半径距离的相点数目。对所有的 i 值进行重复计算,可以得到

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1, i \neq j}^N \Theta(r - |\bar{X}_i - \bar{X}_j|) \quad \Lambda\Lambda(4)$$

其中 Θ 为 Heaviside 函数。

在一定的范围内, $C(r) = r^d$, 由 $\lg C(r)$ 对 $\lg r$ 的斜率可得到维数 D 。

2 混沌理论在地质上的应用

许多地质现象都具有标量不变性,如断裂、岩石裂隙、地震、火山、矿产分布等,其频度与大小之间的分布具有幂指数关系,亦即无标度特性。孟宪国(1993)指出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的意义。他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进而提出通过分维和多标度分形谱在矿产预测数学模型中建立

相似一类比的模型。在地质学中发现的标度不变性表明地质过程具有分形特征,但并非用简单的分形就能够描述,复杂地质现象往往体现的是多重分形的特征,可以用多重分维谱来描述^[3~4]。

分形与混沌在地学中的应用越来越广泛,在地震、断裂构造、物化探数据处理、矿床矿石品位分析等方面的研究取得了重要进展。Freyr Thorarinnsson 等(1990)将分形分析引入重力勘探领域,朱自强等(1995)在湖南研究区对布格重力异常进行地形改正,使用分形分析方法,取得了很好的效果。李强(1999)对南黄海的地震进行研究,分析了地震中地壳形变的分形和混沌特征,并进行地震预报的探索。

元素在地壳内的运移形成的地球化学异常分布其本质就是一种标量不变性的地质现象,地球化学异常是一个复杂系统,异常的分布受到地质构造、地形、水文、元素地球化学性质等因素影响,这些因素自身也是一个复杂的系统。孟宪国、赵鹏大(1991, 1995)的研究表明,地质数据中广泛存在分形结构。通过测量得到的地球化学元素含量在地壳中的分布是在漫长的地质年代中经过复杂的地质、构造等各种运动不断作用,相互转化,使元素不断迁移、分配、再分配,进而形成及其复杂度分布现象。对这种复杂的现象,仅用简单的分形不能刻画地球化学数据的内在本质,必须通过多标度分形即多重分维谱的手段^[10~11]。

对多重分形的研究一般采用广义维数 D_q ,

$$D_q = \begin{cases} \frac{1}{q-1} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\lg \left[\sum_{i=1}^N P_i(\varepsilon) \varepsilon^q \right]}{\lg \varepsilon}, & q \neq 1 \\ \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\left[\sum_{i=1}^N P_i(\varepsilon) \lg P_i(\varepsilon) \right]}{\lg \varepsilon}, & q = 1 \end{cases} \quad \Lambda\Lambda(5)$$

ε 为研究区域划分的 N 个小区域后第 i 个子区域 S_i 的尺度($i = 1, 2, \dots, N$); $P_i(\varepsilon)$ 为 S_i 上的质量; q 可以是负到正的一系列整数; D_q 为 q 的函数,也是多标度分形的分维谱。

3 应用实例

分形与混沌在地学领域中的广泛应用,为地学定量化研究提供了一定的理论基础。本次研究就是应用分形、混沌理论对玉龙成矿带北段元素地球化学异常进行分析,探讨元素地球化学异常特征,为成矿地质条件研究提供一定依据。

首先对研究区元素地球化学测量(水系沉积物)资料进行统计,并列出矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \Delta x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} \Delta x_{2n} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ x_{m1} & x_{m2} \Delta x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

利用(2)、(3)、(4)式关联维数的计算方法计算本区元素地球化学异常的关联维数。根据(5)建立元素地球化学异常的分维谱(图1)。

元素化探异常的形成是由多方面引起的,计算出的分维谱系值需要对其进行判断才能确定真正的致矿异常的分维值。由于实际情况中混沌现象是非常复杂的,自然界中的混沌只具有一种统计意义。混沌边缘的突变临界点,为非线性的问题向线性转化提供一个切入口。在 Logistic 方程中,从正常的周期形态到混沌状态,系统要经过 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow \dots \rightarrow \infty$ 的周期序列,使周期达到 ∞ 进入混沌状态的 $m \infty$ 就是我们所需要的突变临界点。

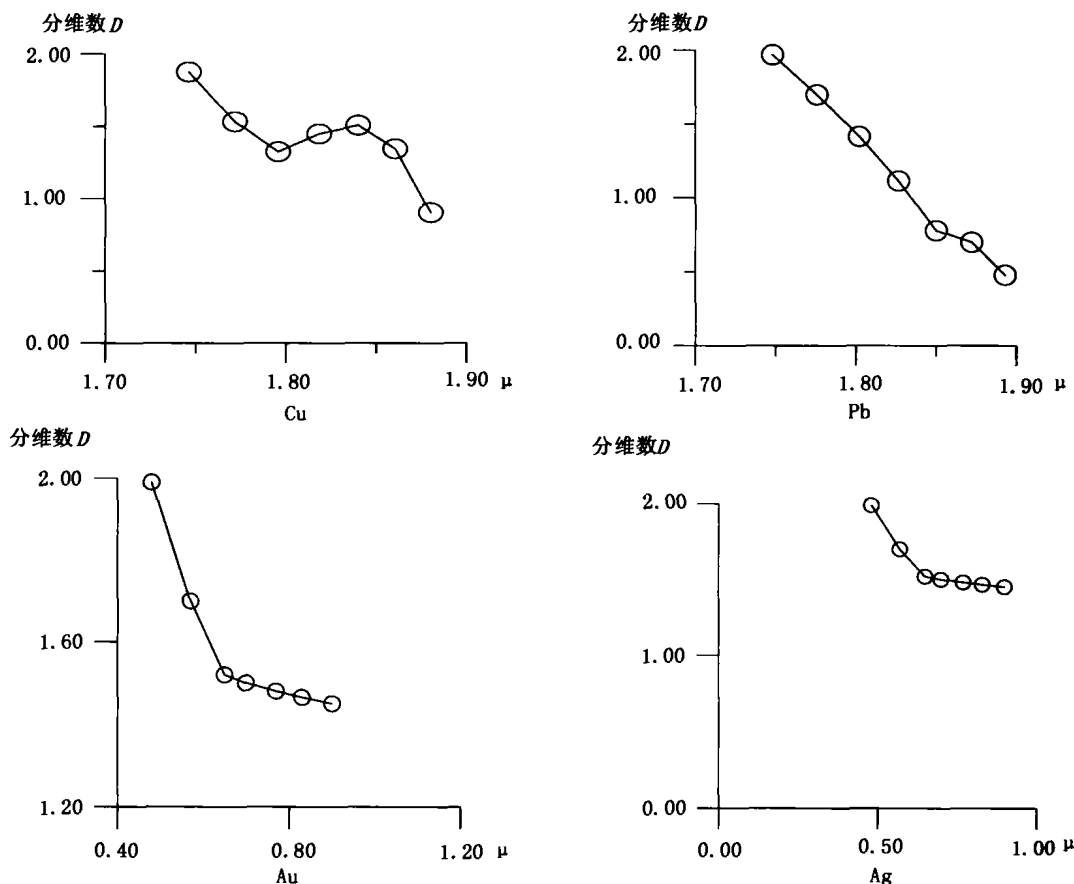


图1 玉龙成矿带北段元素地球化学分维谱

分析中,我们作出元素化探异常的多重分维谱线图,谱线图上,分维数随着元素化探异常浓度降低,分维值的变化率(直线段的斜率)在谱线上均存在一个突然的变化,分维值发生突变的进程。分维值反映的是分形的自相似性,分维值变化规律的突然改变说明系统出现了大幅度的波动,系统进入混沌状态。分维值变化率的突变点也就是发生混沌的临界点。从地质意义上讲,异常的形成是受到各种地质因素的共同作用形成的,在不同形成阶段,其元素化探异常浓度是不一样的,其分维值也不一样,当系统中的某些因素改变时,系统的平衡被打破,异常

浓度随之发生变化,在这些复杂因素组成的系统中达到混沌状态——形成各种各样的异于周围环境的化探异常,这种异常也就是最有可能的致矿异常。

根据图1,我们得到 Cu、Pb、Au、Ag 的混沌临界点。

$$D_{Cu} = 1.38$$

$$D_{Pb} = 1.13$$

$$D_{Au} = 1.53$$

$$D_{Ag} = 1.52$$

临界点的分维值 D 本身是在一定的区域尺度 ε 上用地球化学异常 $P(\varepsilon)$ 求得的,是地球化学异常

特征分布的内在表现,利用计算出的分维值对地球化学异常进行改正更具有实在意义。利用分维值 D 作为参数建立改正模型如下:

$$Z_j = \sum_{i=1}^4 D_i X_{ij} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (7)$$

其中 D_i 为 Cu 、 Pb 、 Au 、 Ag 4 种元素的分维值, n 为划分的区域, X_{ij} 为区域内的元素地球化学异常值 (或其平均值), Z_i 为处理后的综合异常 (或成矿有利度)。

通过模型改正,得到图 2 所示的异常分布图。

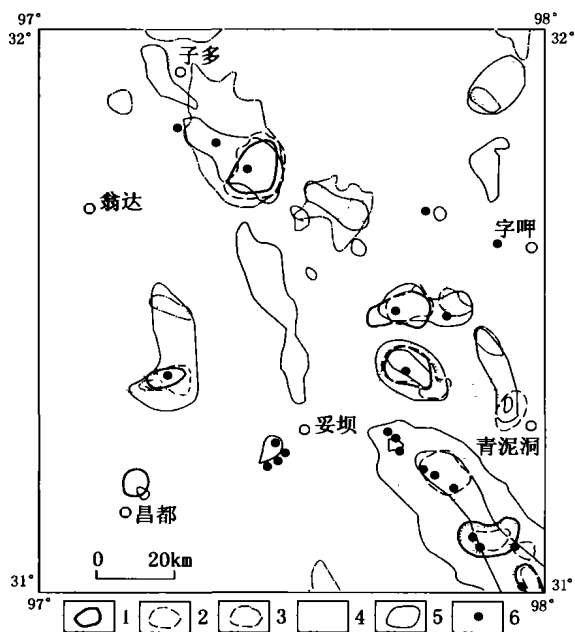


图 2 元素地球化学预测结果与矿点分布图

1—Au 异常;2—Cu 异常;3—Pb 异常;
4—Ag 异常;5—综合异常;6—矿床(点)

从图上可见,处理后的综合异常突出了主要的有利地段,与矿床点的分布十分吻合,并且发现了一些新的异常,例如在青泥洞以北地区出现的异常,提供了新的找矿靶区。青泥洞综合异常产出地带的地层主要为奥陶系、泥盆系、石炭系等老地层和上三叠统地层,在老地层与三叠系地层的接触带上,已经发现了金以及多金属矿化点,具有较好的找矿前景。

4 结论

三江地区是目前研究的热点地区,但由于其特殊自然环境条件,各方面的研究有待深入,应用非线性理论进行研究,取得了较好的效果。首先,三江北段地区构造复杂,这为非线性理论的应用提供了前提条件。

其次,三江北段地区由于自然条件限制,需要有一些高效而且使用方法进行研究。

第三,混沌理论在研究中取得了很好的应用成果,为我们探索新方法提供了一条新思路。

[参考文献]

- [1] 叶庆同, 胡云中, 杨岳清, 等. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 1992.
- [2] chen Jianping. Remote Sensing Research on North Part of the Yulong Copper Deposits Zone in Xizang (Tibet) [J]. 地学前缘, 2000, 7. Sumppe.
- [3] 孟宪国. R/S 分析和地球化学数据的分形处理[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(3): 281~287.
- [4] Yfantis E A, Flatman G T, Englund E J. Simulation of geological surfaces using fractals[J]. Mathematical Geology, 1988, 20(6): 667~672.
- [5] 孟宪国, 周有武, 林碧英. 方位一分维估值法[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1992, 17(1): 63~69.
- [6] 施俊法, 王春宁. 中国金矿床分形分布及对超大型矿床的勘查意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(6): 616~619.
- [7] 许顺山, 吴淦国, 江万, 等. 分形在紫金山矿床中的应用[J]. 地质与勘探, 1999, 35(5): 50~52.
- [8] 池顺都, 吴新林. 云南元江地区铜矿 GIS 预测时的找矿有利度和空间相关性分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(1): 75~78.
- [9] 池顺都, 周顺平, 吴新林. GIS 支持下的地质异常分析及金属矿产经验预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(1): 99~103.
- [10] 孟宪国, 赵鹏大. 地质数据的分形结构[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(2): 207~211.
- [11] 王仁铎. 地质统计学与分形理论的某些结合应用[J]. 地质科技情报, 1993, 12(3): 93~96.

APPLICATIONS OF CHAOS IN METALLOGENETIC CONDITIONS IN THE NORTHERN PART OF THREE - RIVER AREA, CHINA

CHEN Jian - ping¹, TANG Ju - xing², LI Zhi - jun²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: The northern Three - River area has a unique geotectonic position. There is a series of complex tectonic movements which leads to the enrichment of ores. Because of confinement of natural conditions, there is lack of efficient research methods. Non - linear theory is applied for the research, and a favorable result has been received. Those provide a new clue for the exploration of mineral resources in the Western China.

Key words: northern Three - River area, chaos, fractal dimension