

铜陵凤凰山铜矿床南区化探数据分形研究

毛政利, 彭省临, 赖健清, 邵拥军, 杨 斌

(中南大学 地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083)

[摘要] 通过对铜陵凤凰山铜矿床南区不同标高、不同地质体中成矿元素 Cu 的分形特征的详细分析研究, 确定了本区成矿元素 Cu 的异常下限为 224.274×10^{-6} , 并对成矿元素 Cu 的富集趋势进行了尝试性分析, 认为地下较地表、深部较浅部、石英二长闪长岩较花岗闪长岩所经历的成矿期次要多, 样品间的差异性要大, 成矿元素的富集趋势要强, 因此, 深部有石英二长闪长岩是本区最有利的找矿区段。

[关键词] 化探数据; 分形; 富集趋势; 铜陵凤凰山; 安徽

[中图分类号] P595 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)04-0011-04

[作者简介] 毛政利(1967—), 男, 湖南武冈人, 博士研究生, 现从事 GIS 与矿床定位预测研究工作。

20 世纪 80 年代, 数学家 Mandelbrot^[1,2] 创立了分形几何学理论, 为人们研究描述自然界错综复杂、看起来是毫无规律的事物提供了有效方法。分形理论作为非线性科学的一个重要分支, 是研究自然界空间结构复杂性的一门学科, 它可以从错综复杂的事物中提取确定性的参量。因此, 分形理论在地质学的各个领域得到广泛应用。

地球化学元素分布规律的研究是揭示元素矿化富集及空间变化规律的重要途径之一。由于地球化学取样和分析结果常具有不确定性及元素在岩石中的分布本身也具有不均匀性和随机性, 因此, 统计方法在地球化学元素分布规律研究方面起着不可替代的作用。普通的统计方法并不考虑样品的空间分布和统计特征随空间度量尺度的变化性, 往往对度量元素的一般值效果较好, 严格地说它们并不具备刻画异常值的功能^[3,4]。多维分形理论能有效地克服普通统计方法的这种不足, 它不仅采用常规的低阶矩统计量, 而且包含了高阶矩统计量, 能同时对正常值和异常值进行较细致地刻画^[5]。另一方面, 成矿元素的空间分布是成矿作用过程的产物, 对成矿元素的分形特征研究可进一步揭示矿床形成过程, 为成矿预测提供依据。笔者试图通过对凤凰山铜矿床南区化探数据的分形研究,

确定成矿元素的背景值和异常值, 分析成矿元素的迁移富集趋势, 指出成矿有利地段, 为本区隐伏矿体的定位预测提供依据。

1 矿床地质简述

凤凰山铜矿床位于新屋里复式向斜的中段核部, 矿区出露的地层主要为三叠系条带状灰岩和白云质灰岩, 靠近岩体者都已变成大理岩。岩浆岩很发育, 主要为新屋里岩体。新屋里岩体为花岗质岩浆多次涌动侵入形成的复式岩体, 在平面上以新屋里村为中心呈椭圆形, 面积近 10 km^2 , 岩体呈岩株状, 产于新屋里向斜核部。岩体与围岩呈明显的侵入接触, 接触面产状及形态随岩体部位不同和深度变化有明显的差异: 北部铁山头、宝山陶一带, 接触面向北陡倾, 倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$, 接触面平直; 东部仙人冲一带, 接触面倾向东, 倾角较陡, 一般为 $45^\circ \sim 82^\circ$; 南部清水塘一带向南缓倾, 倾角 35° 左右; 西部及西南部药园山、相思树一带产状变化复杂, 部分地段超覆于围岩之上。上述产状反映了岩体接触面整体倾向围岩, 仅局部(药园山一带)倾向岩体, 使岩体超覆于围岩之上, 这也说明了岩体是由北东向南西向上侵位的, 西南部的超覆地段即为岩体侵位的前缘。岩石类型主要为花岗闪长岩和石英二长闪长岩, 沿岩体的接触带分布有一系列的矿床, 目前已发现的矿床主要有凤凰山、宝山陶、铁山头、

仙人冲、清水塘和江家冲等铜矿床。矿体主要呈似“板状”和“不规则透镜状”，产于新屋里岩体与三叠系灰岩间的接触带上，为矽卡岩-斑岩型，受接触带和断裂构造的复合控制。

本次研究的化探样品采集于凤凰山铜矿南区相思树一带，区内地表没有矿体出露，在位于测区中部的试验剖面深部揭露有斑岩型铜矿体。矿体产出受控于石英二长闪长斑岩体，具有形态复杂、分布规模大、品位变化大的特点。矿体总体走向北西，倾向东南，主要呈脉状、透镜状产出。主要矿石矿物为黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿，少量辉钼矿。主要矿石类型有细脉浸染状黄铜矿石，密集细脉状黄铜矿、斑铜矿石，不规则小脉状浸染状黄铜矿、斑铜矿石，块状黄铜矿石，块状黄铜矿斑铜矿石，团包状脉状黄铜矿、斑铜矿石，角砾状矿石等。根据钻孔和坑道揭露情况，矿体内部及其附近发育有强烈地钾化、石英-绢云母化、绿泥石化等，外围发育强烈地绿泥石化。

2 化探数据分形研究

2.1 成矿元素背景值和异常值的确定

矿区中岩石微量元素的含量或者矿体矿石品位均可看成是区域地质过程和矿化过程的综合产物。矿化过程尤其是与热液活动有关的过程往往呈多期次重复性成矿，每次矿化作用均有可能导致岩石中某些微量元素的富集或贫化。这种空间上有关的多次重复矿化叠加作用最终导致复杂的具有多维分形分布特点的微量元素空间分布格局。多维分形模型研究结果表明^[6,7]，与矿化有关的微量元素富集规律和空间分布具有多维分形特征，微量元素的背景值往往服从或近似服从正态或对数正态分布，而高低异常值满足分形分布^[5]。

确定元素背景值和异常值一般采用元素含量-面积模式。李长江等在研究浙江陈蔡地区水系沉积物中 Pb、Zn 的含量统计时，发现利用元素含量-面积模式不能很好地区分元素的背景值和异常值，于是提出了在元素含量-面积模式不适用的情况下确定元素背景值和异常值的元素含量-距离相关模式^[8]。

笔者采用元素含量-面积分形方法来确定本区成矿元素的异常下限。该方法是将研究区内各采样点的成矿元素含量进行加权移动平均插值后

作出成矿元素含量等值线图，在等值线图上量取不同含量值(ρ)的等值线圈闭区域面积($A(\rho)$)，对所有统计点，如果满足：

$$A(\rho \leq v) \propto \rho^{-\alpha_1}; A(\rho \geq v) \propto \rho^{-\alpha_2},$$

式中： α_1 和 α_2 是与最大奇异指数有关的指数； v 为异常下限。

图 1 是本区成矿元素 Cu 的地球化学等值线值 ρ 与等值线圈闭面积 $A(\rho)$ 关系图，从图中可以看出，本区成矿元素 Cu 的地球化学分布为多重分布，用元素含量-面积模式拟合效果非常好，其异常下限($\text{Cu} = 224.274 \times 10^{-6}$) 在图中得到非常清楚地显示。

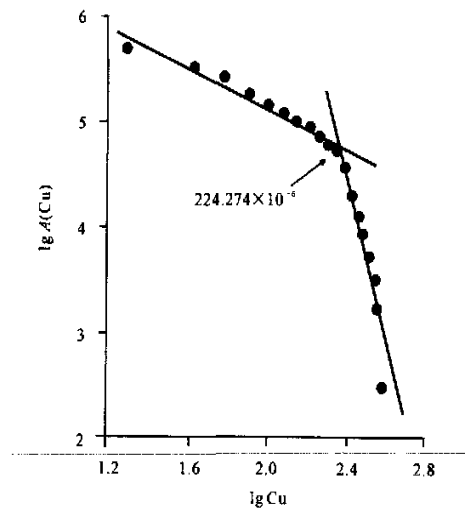


图 1 Cu 地球化学等值线值 ρ 与等值线圈闭面积 $A(\rho)$ 的关系

fig. 1 The relation schema between geochemical

2.2 成矿元素在不同地质体和不同标高的分形特征及其富集趋势分析

据研究，分维数 D 值可以表征元素品位偏离正态分布的程度， D 值越小样品之间的差异性就越大，对成矿就越有利， D 值越大，样品之间的品位差异性就越小，则不利于成矿；若有多个 D 值，说明样品之间的差异性更大，经历多次的矿化富集事件就有利于成矿作用的进行^[9,10]。

利用微量元素含量进行分形研究并分析其富集趋势的文献目前较为少见。笔者参照矿石品位分形方法，运用元素含量-频数模式对本区 Cu 元素在不同标高、不同地质体中的分形特征及其富集趋势进行尝试性分析探讨。该方法是依次统计元素含量(r)大于某一数值的样品数 $N(r)$ 。按照分形理论，在其标度范围内，如果满足：

$$N(r) \propto r^{-D},$$

则认为元素含量分布服从分形分布。在矿区及其周围, 成矿元素的含量分布是多期地质作用和成矿作用的综合产物, 受到了多期地质作用和成矿作用的叠加和改造, 而且, 这种叠加和改造程度随空间位置的不同而不同。由此看来, 在矿区及其周围成矿元素的含量分布应具有多重分形的特征, 即其在空间上的自相似性存在局域性。因此, 根据成矿元素在不同标高、不同地质体中的分形特征可以分析成矿元素在各空间位置上、各地质体中所经历的叠加和改造作用, 进而探讨其富集趋势。

图2是本区成矿元素Cu在不同标高、不同地质体中的元素含量-频数分形统计图, 从中可以看出:

(1)对比地表和试验剖面Cu元素的分形特征, 地表所有样品点可拟合成一条直线, 其分维值D为0.67, 说明地表所遭受的叠加改造作用较弱, 在Cu元素的分形特征上显示不出, 其较高的分维值也说明样品间的差异性小, 总体上不利于矿体的形成。而试验剖面Cu元素显示出了多重分形的特征, 其样品点可以拟合成4条直线, 说明试验剖面经历了多期次的叠加改造作用, 样品间的差异性大, 成矿元素在叠加改造过程中得到了富集, 有利于矿体的形成。

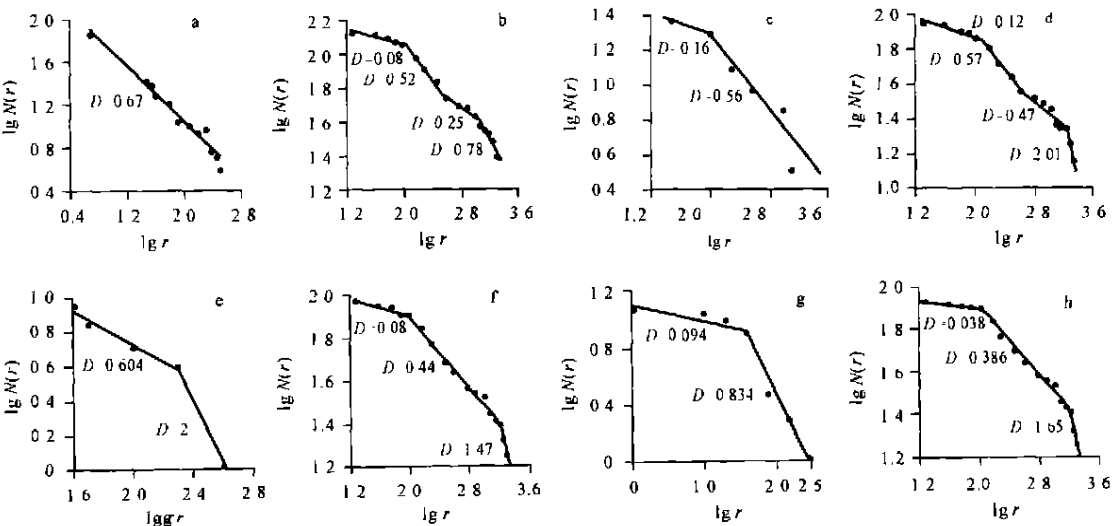
(2)试验剖面-300 m标高以上的样品点在图中可以拟合成两条直线, 其分维值D分别为0.16, 0.56, 说明本区段主要经历了两期成矿作用, 样品

间的差异性较大。而在-300 m标高以下的样品点则可以拟合成4条直线, 其分维值分别为0.12, 0.57, 0.47, 2.02, 说明在-300 m以下主要经历了4期成矿作用, 样品间的差异性更大, 成矿元素Cu得到了更强的富集, 更有利于Cu的成矿。

(3)比较花岗闪长岩和石英二长闪长岩中Cu元素的分形特征, 在花岗闪长岩中所有样品点可以拟合成两条直线, 其分维值分别为0.604, 2, 说明花岗闪长岩主要经受了两期成矿作用, 其较高地分维值显示其样品间的差异性较小。在石英二长闪长岩中则可以拟合成3条直线, 其分维值分别为0.08, 0.44, 1.47, 说明石英二长闪长岩主要经历了3期成矿作用, 样品间差异性较大, 成矿元素Cu得到了较强地富集, 更有利于矿体的形成。

(4)对比地表石英二长闪长岩和试验剖面石英二长闪长岩中Cu元素的分形特征, 地表石英二长闪长岩的样品点可以拟合成两条直线, 其分维值分别是0.094, 0.834, 说明其主要经历了两期成矿作用, 样品间的差异性较大。试验剖面石英二长闪长岩的样品点可以拟合成3条直线, 其分维值分别为0.038, 0.386, 1.65, 说明试验剖面石英二长闪长岩主要经历了3期成矿作用, 样品间的差异性较之地表更大, 成矿元素得到了更强烈地富集, 更有利于矿体的形成。

上述特征与本区所揭露的斑岩型铜矿体的赋



a—地表; b—试验剖面; c—试验剖面-300 m 以上; d—试验剖面-300 m 以下; e—花岗闪长岩; f—石英二长闪长岩; g—地表石英二长闪长岩; h—试验剖面石英二长闪长岩

图2 Cu 在不同标高、不同地质体中的元素含量对数lg r -频数对数lg N(r)分形统计

Fig. 2 The fractal statistical map of element (Cu) content-frequency in difference level and geological bodies

存特征基本吻合,斑岩型铜矿体赋存于离地表近 400 m 以下的石英二长闪长岩中。根据上述分析,越往深部,其分维值越大,且越具多重分形特点,说明样品间的差异性越大,成矿元素所经受的叠加改造作用越强,越有利于富集成矿;而石英二长闪长岩较之于花岗闪长岩具有较高地分维值,较多重分维分布特征,说明石英二长闪长岩中样品间的差异性较大,叠加改造作用较强,更有利于成矿元素的富集。

3 结论

综合上述分析,可以得到如下认识:

(1)在研究区内成矿元素 Cu 总体具有多重分形的特征。运用元素含量-面积模式拟合效果非常好,可清楚地显示出区内成矿元素 Cu 的异常下限为 224.274×10^{-6} 。

(2)总的说来,地下较地表、深部较浅部、石英二长闪长岩较花岗闪长岩所经历的成矿作用期次要多,样品间差异性要大,成矿元素的富集趋势要强。因此,本区最有利的找矿区段是深部石英二长闪长岩赋存区段。

(3)成矿元素的分形特征研究对成矿预测具有指导作用,常用的找矿方法如地球物理方法,其异常的形成具有多解性,金属硫化物、水、碳质岩石等均可引起地球物理异常,传统的化探方法可清楚地显示化探异常的存在,而成矿元素的分形特征研究

可定量给出主要成矿作用期次、成矿元素的叠加改造作用强度,进而分析矿床形成过程,推断最有利的矿体赋存部位;因此,将分形方法与其他找矿方法相结合,找矿预测效果将会更好。

[参 考 文 献]

- [1] Mandelbort B B. The fractal geometry of nature[M] . New York: W H Feemann, 1982.
- [2] Mandelbrot B B. Self-affine fractal sets[A] . In: Fractals in Physics[C] . North-Holland, Amsterdam, 1986. 3 ~ 28.
- [3] Cheng Q. Multifractality and spatial statistics[J] . Computer and Geoscience, 1999b, 25(9): 949 ~ 962.
- [4] Cheng Q. Gliding box method and multifractal modeling[J] . Computer and Geoscience, 1999c, 25(9): 1073 ~ 1080.
- [5] 成秋明. 多维分形理论和地球化学元素分布规律[J] . 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 311 ~ 318.
- [6] Cheng Q. Spatial and scaling modeling for Geochemical anomaly separation[J] . Explor Geochemistry, 1999d, 65: 175 ~ 194.
- [7] Cheng Q, Bonham-Carter G F, Hall G E M, et al. Statistical study of trace elements in the soluble organic and amorphous Fe-Mn phases of surficial sediments, Sudbury basin; 1. Multivariable and Spatial analysis[J] . Explor Geochem., 1997, 59: 27 ~ 46.
- [8] 李长江, 麻士华, 朱兴盛, 等. 矿产勘查中的分形、混沌和 ANN[M] . 北京: 地质出版社, 1999. 26 ~ 30.
- [9] 毛华海. 分形理论和成矿作用[J] . 地学前缘, 2000, 7(1): 195 ~ 204.
- [10] Sanderson D J, Roberts S A. Fractal relationship between vein thickness and gold grade in drill ore from La Codocera, Spain[J] . Economic Geology, 1994, 89: 168 ~ 173.

Fractal study of geochemical prospecting data in south area of Fenghuangshan copper deposit, Tongling Anhui

MAO Zheng-li, PENG Sheng-lin, LAI Jian-qing, SHAO Yong-jun, YANG Bin

(College of Geoscience and Environment Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract The fractal character of metallogenic element (Cu), which is contained at difference level and in difference geological bodies in south area of Fenghuangshan copper deposit, is analysed and studied in detail. It is ascertained that the low limit of metallogenic element's (Cu) anomalous value is 224.274×10^{-6} , and the metallogenic element's (Cu) concentrated trend is analysed attemptly. From this, it is presumed that the underground part, deep part and quartzite monzodiorite have more metallogenic periods, higher difference between samples, stronger metallogenic element's (Cu) concentrated trend than the surface part, superficial part and granodiorite. Accordingly, the most favorable mineral prospecting section may be the section which is consisted of quartzite monzodiorite at deep underground level.

Key words: geological prospecting data; fractal; concentrated trend; Fenghuangshan in Tongling; Anhui

[英文审定: 杨家喜]