

浙江省诸暨地区元素地球化学分布与标度律

施俊法

(国土资源部信息中心, 北京 100037)

摘要: 以浙江省诸暨地区为例, 从 3 个不同尺度上(从区域到局部)研究了元素的地球化学分布模式, 提出元素服从多重分形分布的观点, 并将这种分布模式解释为地球化学背景与异常之间的关系。在矿床上方通常存在多重分形嵌套的地球化学模式。最后, 指出了标度不变性原理在地球化学研究中的应用前景。

关键词: 元素分布; 标度不变性; 多重分形。

中图分类号: P628⁺.1 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)02-0167-05

作者简介: 施俊法, 男, 研究员, 1964 年生, 2000 年获中国地质大学(北京)博士学位, 现从事非线性理论在地球化学中的应用研究。

近半个世纪以来, 人们一直在执着地探索地壳中元素的分布规律。早在 20 世纪 50 年代, Ahrens^[1~5]从统计学的角度, 研究地壳中的元素分布规律, 最终提出了痕量元素分布的规律——对数正态分布的观点。Vistelius^[6]提出, 由单一地球化学过程所形成的单一地质体, 化学元素的质量分数服从正态分布; 由数个地球化学过程叠加所形成的复合地质体往往为非均匀叠加, 化学元素偏离正态分布, 且多为正偏, 其中有些服从对数正态分布。

矿床学家从矿床分布着手, 希望通过矿床频率分布的研究阐明大矿与小矿床之间的比例关系, 并以此来预测未发现矿床的数目。De Wijs^[7,8], Lasky^[9], De Young^[10], Cargill 等^[11]在 20 世纪 50 年代便开始了这项探索, 建立了矿床品位与吨位之间的模型, 揭示出矿床累积吨位与其品位或质量分数之间呈对数关系。20 世纪 80 年代以来, Turcotte^[12]用新的思路研究这个模型, 认为这种分布模式为分形分布。

显然, 上述两类研究属同一个问题: 地壳中元素质量分数分布遵循某种普遍规律吗? 按照现代分形理论的观点, 由于没有一种痕量元素具有特征的浓度, 所以不禁要问痕量元素的分布服从某种标度律

(分形)吗?

20 世纪 70 年代, Mandelbrot 创立分形理论, 提出了分形体具有标度不变性的特征, 故常称作标度律 (scaling law) (据文献^[13])。金属品位的分形模型实际上是地壳中元素分布规律研究的继承与发展。然而, 大多数研究都是在矿床范围内得出的结论, 这种结果是否适用于区域上更大范围, 至今还没有一个肯定的回答。Allegre 等^[14]从理论上探讨了常态分布元素与超常富集的元素是否具有相同的分布规律的问题, 创造性地提出了痕量元素常见的分布模式为正态、多重正态、分形 (fractal) 和多重分形分布 (multifractal); 并指出分异作用导致分形分布, 混合作用产生高斯分布, 其中多重分形对应于对数正态分布。本文试图以浙江省诸暨地区为例, 把已有的地球化学数据频率分布知识与标度律结合起来, 拓宽这一领域的研究, 增进对元素分布规律的理解。

1 诸暨地区地质特征简述

浙江省诸暨地区位于两大地质构造单元的交接部位, 以绍兴—江山断裂为界, 其西北部为扬子准地台, 南部为华南褶皱系。区内北东、北北东向断裂带极为发育, 往往成群出现, 首尾相接, 构成规模宏大的深大断裂带。受北东向大断裂的控制, 形成了一系列北东向剪切带, 并充填一系列侵入体。沿此方向上

河上镇	漓渚镇	平水镇	丰惠镇
诸暨镇	枫桥镇	谷来镇	三界镇
牌头镇	铜岩山 陈蔡镇	崇仁镇	嵊县
苏溪镇	虎鹿镇	长乐镇	儒岙镇

图 1 浙江诸暨地区地球化学数据分布示意图

Fig. 1 Sketch of geochemical data distribution in Zhuji area, Zhejiang Province

整图为诸暨幅(1:20万)的范围;黑框为陈蔡幅(1:5万)的范围

也形成了一系列 Au, Cu 矿化。在绍兴—江山断裂的西南部, 产有浙江省最大的冶岭头金矿; 而在北部地区, 虽然发现了一些矿点, 但至今还没有重大突破, 尤其是在铜岩山矿区, 存在较大的铜异常, 但找矿突破不大, 从而引起了研究者广泛的兴趣。

1:5万陈蔡幅位于诸暨幅中部地区西南侧(图 1)。区内产有铜岩山铜矿床。矿区内出露地层为陈蔡群。矿区内变质作用、构造运动强烈, 岩浆活动频繁, 出露的侵入岩以花岗岩、花岗闪长斑岩、正长斑岩、霏细(斑)岩、闪长玢岩等为主。地表褐铁矿化及孔雀石细脉带较为发育, 并常见团块状石英、方解石、褐铁矿和孔雀石(化)带。

本次研究将以浙江省诸暨地区为例, 取诸暨幅 1:20万地球化学数据(水系沉积物)、诸暨幅内的陈蔡幅 1:5万地球化学数据(水系沉积物), 以及陈蔡幅内铜岩山矿区 1:1万岩石地球化学数据为研究依据(图 1), 从 1:20万、1:5万和 1:1万三种尺度(从区域到局部)上研究 Au, Ag, Cu, Pb 的分布规律。需要指出的是, 由于地球化学勘查工作是一步步深入的, 因此, 这三组数据所代表的地质体范围是逐渐缩小的, 但取样密度是逐渐增加的。在本次研究中所涉及的元素质量分数, 除 Au 的单位为 10^{-9} 外, 其他元素的单位为 10^{-6} 。

2 元素的频率分布与标度律

2.1 元素地球化学分布的分形模型

一般来说, 把元素质量分数 w_B 大于某个数值 C 的样品数记为 N , 将 N 与 C 作双对数坐标图, 则 N 与 C 存在下述关系:

$$N = K \cdot C^{-D}, \quad (1)$$

上式中 K 是常数, D 是分维。(1)式是一个统计分形模型, 它在断裂、破碎物质的分布、地震频率与震级关系等方面已有了较好的应用。近年来, 国内外对于金矿床的品位分布模式进行了大量研究^[15,16], 也证实了(1)式。

2.2 诸暨地区元素频率分布

对诸暨幅、陈蔡幅和铜岩山矿区范围内 Au, Ag, Cu, Pb 4 种元素质量分数频率分布的研究表明, 各种元素的频率分布在不同程度上服从多重分形分布, 但随着研究范围的扩大和取样密度的增高(从诸暨幅到铜岩山矿区), 元素频率分布(图 2~4)呈现规律性的变化:

(1)诸暨幅元素频率分布基本上都为反“厂”字形分布, 其中 Au, Pb 略呈反“S”型。反“厂”形下部为高背景分布区, 在这个范围内, 随着元素质量分数的增加, 样品数减少, 虽然在样品的绝对数上变化较大, 但从数量级来看, 变化范围不大, 说明元素背景值处在一个相对稳定的范围。反“厂”字形下部为高背景区, 揭示了元素从背景值变化到特异值的趋势。对于 Au, Pb 略呈反“S”形, 说明在反 S 形下端存在几个特异值。

(2)对于铜岩山矿区岩石地球化学数据来说, 除 Ag 外, Au, Cu, Pb 主要表现为 3 个分形分布模式。在质量分数低值区, 原始样品数最多, 基本代表了铜岩山地区元素低背景值范围。在图 4 中, 各元素的分布图的上端, 表面上看只有两个点, 这是因为我们在最初的统计时, 考虑到元素质量分数实际的变化范围而没有给出更多的点, 实际上其原始样品数是最多的。元素质量分数处在一个相对稳定的范围, 下端的分布区, 是特异值样品分布区, 其样品数达到 10 个, 质量分数大大高于本区元素平均值, 这种分布模式可能指示着矿化元素的特征。中间的分形模式反映了高背景部分。整个铜岩山矿区的元素分布可以划分为背景区、高背景区和特异值区 3 个相互嵌套的地球化学分布模式。与诸暨幅相比, 铜岩山矿区高背景的样品数和特异值的样品数明显增多。

(3)对于陈蔡幅 1:5万地球化学数据而言, 其元素质量分数的频率分布模式介于前两者之间。其显著特征是, 背景值分形分布模式的无标度区间增大, 上下两个分形模式的交界部位还出现了弧形地段, 其中 Cu, Ag 更为明显, Au, Pb 表现出两个分布模式。

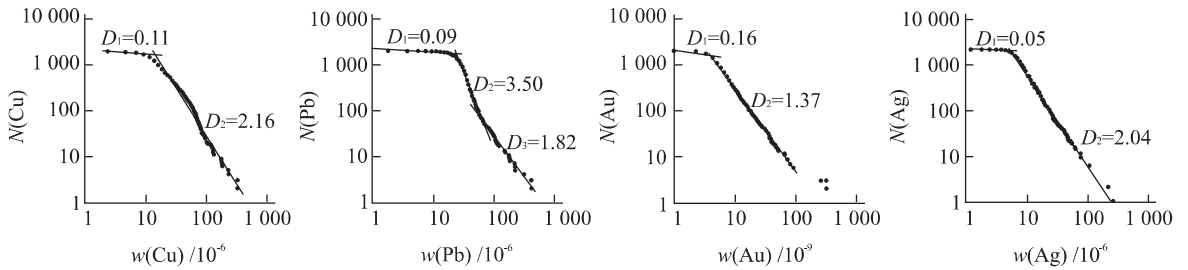


图 2 浙江省诸暨幅(1 : 20 万)水系沉积物元素质量分数频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of element mass fraction of stream sediment from Zhuji sheet (at scale of 1 : 200 000), Zhejiang Province

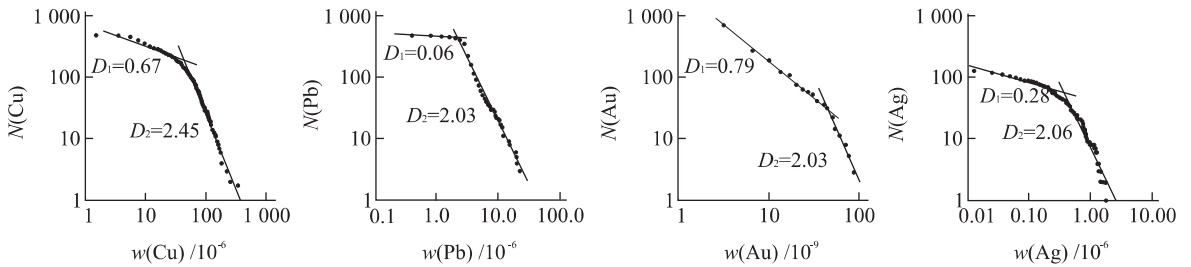


图 3 浙江省陈蔡幅(1 : 5 万)水系沉积物元素质量分数频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of element mass fraction of stream sediment from Chencai sheet (at scale of 1 : 50 000), Zhejiang Province

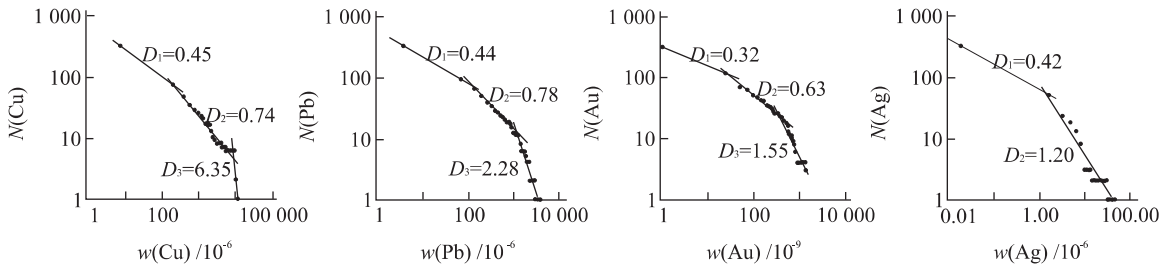


图 4 浙江省铜岩山矿区(1 : 1 万)岩石中元素质量分数频率分布

Fig. 4 Frequency distribution of element mass fraction of rock from Tongyanshan mining area (at scale of 1 : 10 000), Zhejiang Province

无论是诸暨幅、陈蔡幅,还是铜岩山矿区,虽然不同的元素分布模型略有差异,但从总体上来说,元素频率分布服从多个分形模式,即具有多重分形的特征.其最大特点是,元素的低背景值范围构成一个分形分布模式,而异常值构成另外一个分形分布模式.

2.3 元素分布的标度律及其意义

从诸暨幅(约 1 700 km²)、陈蔡幅(约 100 km²)到铜岩山(20 km²),研究范围逐渐缩小、取样密度逐渐加大(依次为 1 个/4 km²、1 个/km² 和 16 个/km²),元素地球化学分布具有规律性的变化.总体来说,元素的背景与异常分别属于两个不同的分形分布模式.除 Ag 外,在铜岩山矿区,出现了 3 个分形分布模式,即呈

现多个分形嵌套模式.对不同尺度的金矿床群集分布^[17]和储量分布研究表明,金矿床的储量服从多重分形分布,大型矿床与小型矿床服从两个不同的分形分布模式.这个规律与元素分布具有惊人的相似之处.

国内外大量研究表明,地球化学异常具有级次的特性.俄罗斯地球化学家认为,不同级次的地球化学场都有与之相对应的成矿客体.例如,成矿带、成矿省、成矿域、矿带、成矿区段、矿结、矿体分别对应于区域地球化学带、地球化学省、地球化学域、地球化学带、地球化学区段、局部地球化学异常.不同级次地球化学异常的差异,不仅反映在元素质量分数水平、分布规模上,而且也反映在元素的变异性、元素赋存形式上.这些观点

表 1 浙江诸暨地区元素分布的分维 D 值Table 1 D values of fractal dimension of element distribution from Zhujia area, Zhejiang Province

元素	分区	诸暨幅	陈蔡幅	铜岩山
Au	低背景区	0.16	0.79	0.32
	异常区	1.37	2.03	0.63, 1.55
Ag	低背景区	0.79	0.28	0.42
	异常区	2.04	2.06	1.20
Cu	低背景区	0.11	0.67	0.45
	异常区	2.16	2.45	0.74, 6.35
Pb	低背景区	0.09	0.06	0.44
	异常区	3.50, 1.82	2.03	0.78, 2.28

对于那些明显为 3 个分形分布的模式,在此将第 3 个分维值与第 2 个分维值列在一起。

是从传统地球化学异常研究得出的,但从分形理论更容易理解。痕量元素地球化学分布服从多重分形分布,具有较普遍的意义。

从诸暨幅到铜岩山矿区,随着取样密度的加大,研究范围的缩小,背景值元素质量分数的变化范围逐渐增大;元素低背景值区的 D 值逐渐升高(表 1)。一般来说,元素的 D 值越小,元素的分布越均匀。另一方面,随着取样密度的增加,地球化学异常的细节更为清楚,也使元素质量分数变化增大。因此,在指定的无标度区间内, D 值是该无标度区间内元素质量分数不均一性的标志。

图 2~4 中第 1 个点的 N 值代表元素最低质量分数的样品数,即本区的样品总数。在铜岩山矿区,该点通常位于总体拟合直线下方(在这里,将它拟合成一个单独分布模式)。沈步明等^[16]在研究新疆某金矿床金品位分布时也注意到这一点。他认为,这是由于对品位(质量分数)的样品数取样不充分引起的。事实上,在铜岩山矿区开展 1:1 万的岩石地球化学测量,其目的就是要对区域异常追踪、查证,力争发现矿床。因此,在野外取样时,尽可能地采集肉眼可见的矿化样品,结果造成与矿化有关的元素的背景样品数偏少,从而导致第 1 个点向下偏离。

值得指出的是,图 2~4 的横坐标是元素质量分数,其无标度区间的范围可以作为地球化学异常划分的标志。以金为例,在诸暨幅可以 0.8×10^{-9} 和 40×10^{-9} 两个截值来划分异常;对于陈蔡幅,可用 40×10^{-9} ;对于铜岩山地区,可以 20×10^{-9} 和 300×10^{-9} 两个截值。

3 结论

(1)在一般情况下,从区域到局部元素分布可以划分出背景区与异常区两个或多个不同的分形分布模式,即多重分形嵌套模式,这种规律具有普遍的意义。(2)在指定的无标度区间内,分维 D 值是元素质量分数分布不均一性的标志。不同的分形分布模式所确定的无标度区间的范围,可以用于确定地球化学异常的下限。(3)地壳中元素无特征的浓度值,即地球化学规律具有标度不变性的特征,因此,可以用现代标度不变性的理论来认识地球化学规律。

参考文献:

- [1] Ahrens L H. The lognormal distribution of the elements: a fundamental law of geochemistry and its subsidiary [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1954, 5: 49~73.
- [2] Ahrens L H. The lognormal distribution of the elements—II [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1954, 6: 121~131.
- [3] Ahrens L H. Lognormal-type distributions—III [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1957, 11: 205~212.
- [4] Ahrens L H. Lognormal-type distributions in igneous rocks—IV [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1963, 27: 333~343.
- [5] Ahrens L H. Lognormal-type distribution in igneous rocks—V [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1963, 27: 877~890.
- [6] Vistelius A B. The skew frequency distributions and the fundamental law of the geochemical processes [J]. J Geol, 1960, 68: 1~22.
- [7] De Wijs H J. Statistics of ore distribution: (1) frequency distribution of assay values [J]. Geol Mijnbouw, 1951, 13: 365~375.
- [8] De Wijs H J. Statistics of ore distribution: (2) theory of binomial distribution applied to sampling and engineering problems [J]. Geol Mijnbouw, 1953, 15: 12~24.
- [9] Lasky S G. How tonnage and grade relations help predict ore reserves [J]. Eng Min J, 1950, 151: 81~85.
- [10] De Young J H Jr. The Lasky cumulative tonnage-grade relationship — a reexamination [J]. Econ Geol, 1981, 76: 1067~1080.
- [11] Cargill S M, Root D H, Bailey E H. Resource estimation from historical data; mercury a test case [J]. Math Geol, 1980, 12: 489~522.
- [12] Turcotte D L. A fractal approach to the relationship between ore grade and tonnage [J]. Econ Geol, 1986, 81: 1528~1532.
- [13] 林鸿溢,李映雪.分形论——奇异性探索[M].北京:北京理工大学出版社,1992. 1~112.

[14] Allegre C J, Lewin E. Scaling laws and geochemical distributions [J]. *Earth and Planetary Letters*, 1995, 132: 1~13.

[15] Sanderson D J, Roberts S, Gumiel P. A fractal relation between vein thickness and gold grade in drill core from La Co-dosera Spain [J]. *Economic Geology*, 1994, 89: 168~173.

[16] 沈步明,沈远超. 新疆某金矿床的分数维特征及其地质意义[J]. *中国科学(B辑)*, 1993, 23(3): 297~302.

[17] 施俊法,王春宁. 中国金矿床分形分布及其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.

ELEMENT GEOCHEMICAL DISTRIBUTION FROM ZHUJI AREA, ZHEJIANG PROVINCE AND SCALING LAWS

Shi Junfa

(China Information Center of Land and Resources, Beijing 100037, China)

Abstract: Element geochemical distribution pattern from regional to local which resulted from Zhuji area, Zhejiang Province has been studied. It is shown that element distributions obey multifractal distribution which can be used to interpret relation between geochemical background and anomaly. There is a hierarchy of geochemical patterns above known deposits. Finally, since geochemical laws can apply to various scales, and are scale-invariant, they should be treated with the modern concept of scale-invariance.

Key words: element distribution; scale-invariance; multifractal.

* * * * *

《地球科学——中国地质大学学报》 2001 年 第 26 卷 第 3 期 要目预告

四川盆地侏罗纪至早白垩世沉积旋回及古气候的演变与周边山系构造隆升之间的关系探讨	王永标	徐世球	徐海军
四川剑门关地区上侏罗统一白垩统磁化率特征及地质意义	林文姣	刘育燕	朱宗敏
四川盆地北缘达县、开县一带早侏罗世珍珠冲植物群及其古环境			黄其胜
四川剑门关侏罗—白垩系红层分子化石的古环境和古气候意义	王红梅	刘育燕	王志远
运用地球化学方法研究中、新生代环境气候演替——兼论四川盆地侏罗纪气候变化	匡少平	马振东	
东南水北调西线工程地质灾害初步研究	王学潮	张辉	刘振红等
多重网格区域分裂分布式计算			罗铁祥