

华南地区铀成矿及构造控制的分形分析

周泉宇,谭凯旋,谢焱石

(南华大学 核资源与安全工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:华南地区是我国铀矿资源的主要产区,华南主要铀矿床皆受北东-北北东向区域性深大断裂控制.华南地区断裂构造及铀矿床分布的分形分析结果表明,华南区域断裂构造与区域铀矿的分布均具有分形特征.整个区域断裂构造分维值 $D=1.4142$,显示该区断裂作用成熟度较高,十分有利于流体活动和铀成矿作用;铀矿床分布的分维值 $D=1.0527$,说明铀矿床分布的复杂性要小于断裂构造的分布;三个分区分析结果显示断裂的分布与局部区域铀矿分布具有正相关,断裂构造复杂且分维值高的区域铀矿分布的分维值越高,铀矿分布也越多.导致矿床分形分布的主要原因是分形断裂构造体系的活动.

关键词:铀矿床;断裂构造;分形;华南地区

中图分类号:P619.14

文献标识码:A

Fractal Character of Structural Control on Uranium Mineralization in South China

ZHOU Quan-yu, TAN Kai-xuan, XIE Yan-shi

(School of Nuclear Resource and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: South China is the most important uranium producer in the country. Most uranium ore deposits in south China are strictly controlled by NE - NNE trending regional fracture structure. Fractal analyses on spatial distribution of uranium ore deposits and regional fracture structure in south China have been done in this paper. It indicates that the spatial distribution of both uranium ore deposits and regional fracture structure in south China show fractal character. The fractal dimension $D=1.4142$ for the spatial distribution of regional fracture structure in the whole area indicate a higher ripening degree in the fracture structure evolution and an advantages to fluid flow and uranium mineralization. The fractal dimension $D=1.0527$ for the spatial distribution of uranium ore deposits in south China show a lower complexity than regional fracture structure. The fractal dimensions in three

收稿日期:2009-03-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70171057);湖南省自然科学基金资助项目(06JJ20070)

作者简介:周泉宇(1955-),湖南衡阳人,南华大学核资源与安全工程学院高级工程师.主要研究方向:铀矿开采.

sub-areas in south China on spatial distribution of uranium ore deposits show a positive correlation to which of regional fracture structure. The fractal spatial distribution of uranium ore deposits in south China is the result of the evolution of the fractal fracture structure system.

Key words: uranium ore deposits; fracture structure; fractal; South China

在研究自然界广泛存在的不规则形态和复杂集合体过程中, Mandelbrot^[1]发现自然界的诸多无序变化决不意味着绝对无规律,而是可采用分维值来定量地描述自然界中自相似系统的复杂性和不规则性. 虽然各种地质作用(如构造活动、岩浆作用、流体演化等)与成矿作用之间的关系不能精确地表述,但通过现有的大量地质数据之间结构的研究表明,表征成矿作用的各种地质数据,如断裂构造的空间分布^[2-3]、矿床的分布^[4-6]、石英脉的厚度分布^[7]、矿石品位分布^[8]等等,都广泛存在分形结构. 实际上,矿床是一个复杂的地质系统,成矿作用是一个复杂的时空混沌动力学过程. 这种成矿作用的时空混沌性必然会导致矿床的分布在空间上的极不均匀性和复杂性,并在一个矿床中也将导致矿体空间展布和品位变化的复杂性,而描述这种时空复杂性的有效方法就是分形方法^[9]. 本次研究通过分形分析对华南铀矿床的空间分布及其与区域断裂构造的发育的关系进行了研究.

1 华南铀成矿的地质构造背景

华南地处欧亚大陆东南缘,濒临西太平洋,由华夏和扬子古陆组成,毛景文等^[10]从成矿角度将我国华南地区界定为华夏古陆(或华南加里东褶皱带)和扬子古陆南缘,赣南、粤北和湘南-桂北地区,在白垩-第三纪地壳拉张作用下,形成一系列 NE-NNE 及 NW 向为主的深大断裂和断陷盆地,成为各类金属矿化-运-储的腹地,许多重要的花岗岩型、火山岩型和碳硅泥岩型工业铀矿床产生于此(图1).

华南铀矿床自西向东总体分布趋势是碳硅泥岩型-花岗岩型-火山岩型. 碳硅泥岩型铀矿床主要分布于江南古陆两侧,受铀含量较高的碳硅泥岩系控制;花岗岩型铀矿床主要分布于华南后加里东隆起带上,受铀含量较高的花岗岩控制;火山岩型铀矿床主要分布于华南后加里东隆起带东部的大陆板块边缘地区,受铀含量较高的中酸性火山岩控制. 成矿时代的相对集中性和空间上铀矿床与中生代断陷盆地及盆缘断裂的密切相关

性,是华南不同类型铀矿床中普遍存在的两大特征. 华南铀矿化时代集中在白垩-第三纪这一相当短地质时期内,与中生代断陷红盆的发育、发展时期相一致,属于伸展体制矿化系列.

2 华南铀矿与断裂构造空间分布的分形特征

华南沿海地区,主要有3组走向分别为北东-北北东、北东东-东西和北西-北西西的活动断裂^[11],其中以北东-北北东向断裂规模最大(图1),分布最广,地表迹象最清晰,多形成于中生代,华南沿海构造地貌的显著特征——北东走向的平行岭-谷乃该组断裂强烈活动结果. 北东东-近东西向断裂在地壳深部有明显反映,主要形成、活动于前中生代;北西-北西西向断裂是一组新生的、近期活动性最强的断裂,规模较小、切割不深. 华南铀矿田皆受北东-北北东区域性深大断裂控制,如产于江南古陆南东侧的花岗岩型和碳硅泥岩型铀矿化主要受北东向的融安-溆浦和四堡-溆浦等深大断裂带控制,江南古陆北缘的花岗岩型、碳硅泥岩型铀矿化主要受长寿-衡阳-观音阁深断裂控制,贵东下庄铀矿田则主要受东西向的宜山-全南和邵阳-汕头深断裂带的复合部位控制,而赣杭构造带上的火山岩型铀矿则主要受近东西向至北东向的绍兴-萍乡地块拼接断裂带控制^[12].

分维数的计算方法有多种,其中采用容量维的方法容量维又称作盒维数,实际上是 Hausdorff 维数 D 的一种具体实现,其定义是以覆盖为基础. 其具体分析方法是,以边长为 r 的正方形格子构成二维正交网格去覆盖研究区域,在不断改变长度 r 的取值下,分别计算出研究对象所分布的网格数 $N(r)$. 若 $N(r)$ 与 r 满足如下幂定律关系: $N(r) = Cr^{-D}$, C 为常数,则研究对象为分形. 显然,若在双对数坐标中 $N(r) - r$ 图为一一直线,则该直线的斜率为 $-D$,也即为容量维 D ,这就是通常所称的数盒子法.

根据图1,采用容量维的方法,在 25~400 km 的尺度范围内分别取不同尺寸的网格边长 r ,分别

统计有断裂或矿床进入的网格数 $N(r)$, 并且在双对数坐标中作出 $\lg N(r) - \lg r$ 关系曲线(图 2), 用最小二乘法拟合直线求得华南区域断裂的分维值 $D = 1.4142$, 相关系数 $R^2 = 0.9895$; 铀矿分布的分维值 $D = 1.0468$, 相关系数 $R^2 = 0.9940$.

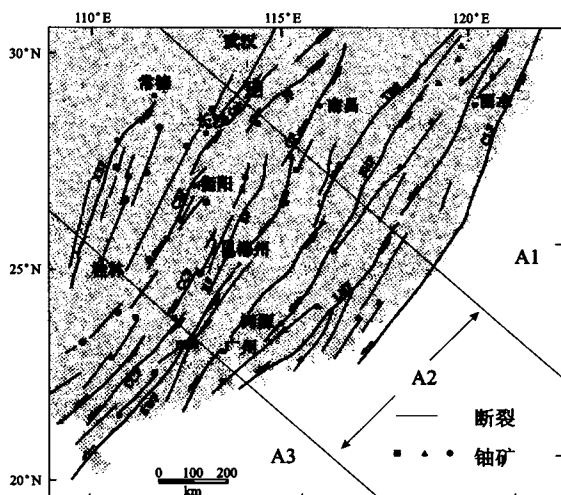


图 1 华南铀矿与断裂构造分布略图

(据 Li Jianwei^[12] 修改)

Fig.1 Simplified map showing the distribution of faults and uranium deposits in South China

(Modified from Li Jianwei^[12])

为了分析铀矿床分布与断裂构造的关系, 将华南地区进一步分为 A1、A2、A3 三个区域(图 1), 同样采用容量维方法分别计算每个区域内断裂构造与铀矿床分布的分维值, 分析结果列于图 3 和表 1.

每个次级区域内其断裂和铀矿分布均为分形分布, 且铀矿分布分维值与断裂分维值呈正相关关系, 即断裂分维值大的区域其铀矿分布分维值也大. 这说明断裂构造越发育越利于铀矿床的形成.

根据上述图表总结数据表 1, 可以看出华南区域断裂的分维值 $D_{A2} > D_{A3} > D_{A1}$, A2 区域断裂分布比其他 A1 和 A3 区域复杂, 铀矿分布也相应增多; 与区域铀矿分布分维值变化具有相同的规律, 这说明断裂的空间分布与铀矿分布成正相关.

上述分析结果表明: ①华南区域断裂构造的分布具有分形特征, 整个区域分维值 $D = 1.4142$, 三个分区的分维值 D 分别为: 1.072、1.3684、1.2113, 其中中部区域的分维值明显大于其它两个区域的分维值, 断裂分布也相应较其它两个区域复杂; ②区域铀矿分布同样具有分形特征, 整个区域分维值 $D = 1.0527$, 三个分区的分维值 D 分别为: 0.9761、1.1547、1.1300, 中部区域铀矿分布大于其它两区, 分维值与铀矿分布成正相关; ③华南中新世 NNE 走滑断裂的分布与局部区域铀矿分布具有正相关, 断裂构造复杂且分维值高的区域铀矿分布的分维值越高, 铀矿分布也越多.

断裂构造的分维值要明显大于其矿床的分维值. 对于断裂和矿床分布来说, 分维值越大, 说明其发育演化程度越高, 分布密度越大. 因此, 华南地区铀矿床的发育程度和分布密度要比断裂低. 造成断裂与矿床分布的分形差异的主要原因是矿床的形成和分布受断裂的控制以及断裂的发育演化过程的复杂性.

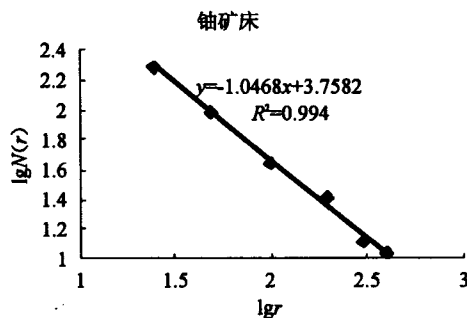
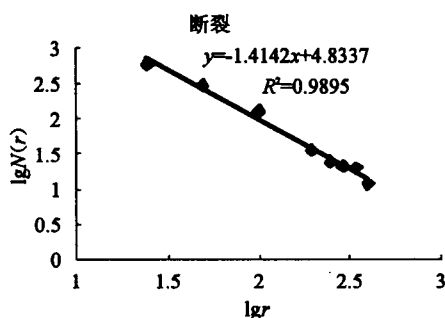


图 2 华南地区断裂构造和铀矿床分布分形图解

Fig.2 The fractal analysis on the distribution of faults and uranium deposits in South China

3 华南地区断裂构造对铀矿床分布的控制

华南不同类型铀矿床都与区域性深大断裂有

着密切的关系, 并主要是受北东向断裂构造控制. 众所周知, 深断裂切割的部位往往是热对流、热点火山岩浆活动的有利场所, 为深部成矿流体的运移提供了很好的连通条件. 但矿床、矿体的储矿构

造是低级别的断裂,是连通性更好的次一级构造。然而空间上,并不是在深大断裂带到处都可成矿,成矿应该是在断裂与热点或地幔柱的次一级构造的交汇部位,在时代上也并不是任何地质时代活动的断裂都可能成矿,而是在地幔柱构造强烈作用时期与热点活动相叠合的构造才是有利的成矿构造。这也就很容易解释断裂带不同部位有的有矿,有的无矿,矿化只产在特定时期的特定部位断裂带中^[12]。

表 1 华南地区断裂构造与铀矿床分布分维值
Table 1 The fractal dimension values for the distribution of faults and uranium deposits in South China

	A1	A2	A3	全区
断裂分维值	1.072	1.368 4	1.211 3	1.414 2
铀矿床分维值	0.976 1	1.154 7	1.130 0	1.046 8

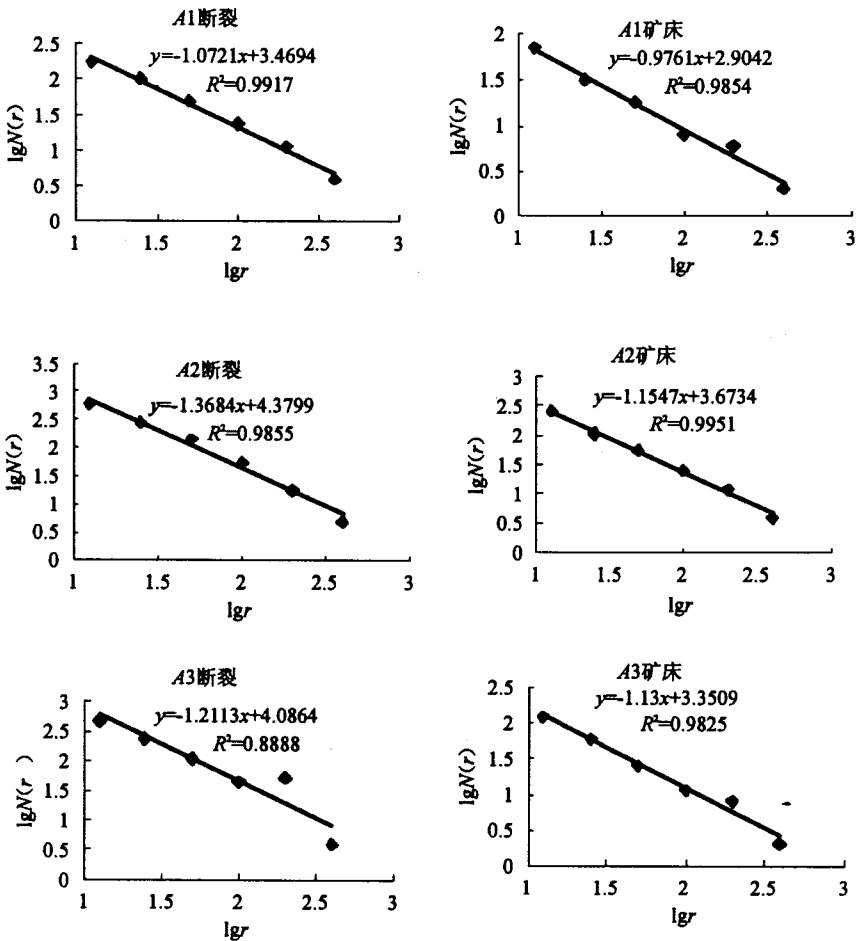


图 3 华南不同区域断裂构造与铀矿床分布的分容量维分析
Fig. 3 The fractal analysis on the distribution of faults and uranium deposits in various zones of South China

断裂是构造变形和地壳演化的重要产物之一,也是一种重要的构造作用方式,它对热液迁移和矿床的形成、油气运移和油气藏形成、地下水迁移和废物的地下储存、地壳运动和地震灾害的研究等方面具有重要意义。因此,断裂构造的研究历来受到广大地质工作者的高度重视。地壳中断裂构造的形成、发展、演化及其分布是一个十分复杂的过程,长期以来,人们对断裂构造的研究都只停留在定性描述的范围内。分形理论的提出和不断完善为断裂构造的定量研究开辟了一条新的途径。近年来,断裂构造的分形研究在越来越受到重视,人们已认识到断裂构造的分布和几何形状具有分形结构^[13],国内外许多学者研究了断裂构造的分形结构特征及其在矿床、油气田、地震等方面

的应用,并取得了许多有意义的成果^[3,9].

断裂构造的分形结构特征与断裂的发育演化有关^[14],在断裂构造完全发育和连通之前,它们本质上是三维空间中的二维特征(盒维数为1左右),随着应变的增大和断裂体系的演化,分维值也不断增大(>1),当变形达到饱和时,断裂的分维值将达到一个常数值.根据自组织临界理论,在断裂作用的耗散过程中,断裂作用通过小断裂的连接而演化并自发组织到一点使应变集中到具分形几何的主断裂带上;最终形成具分形分布特征的断层体系.对岩石断裂与流体流动的数值模拟研究表明^[15],岩石变形作用随断裂分维值 D_0 增大而显著增大,并存在一个分维临界值 $D'_0 = 1.22 \sim 1.38$ (临界值的变化受岩性和断裂方向分布的影响),当断裂分维超过临界值时,则断裂的连通性好,岩石渗透率将显著增高,从而有利于流体的活动和热液成矿作用.华南地区断裂构造的分维值 D_0 为1.414 2,大于其临界值,因此该区是有利于流体活动和铀成矿作用的,而且该区断裂作用成熟度较高,是通过断层间的连通而演化的自组织过程.

导致矿床分形分布的主要原因是分形断裂构造体系的活动^[4].由于华南地区断裂构造为分形分布,受分形断裂构造系统的控制,其热成矿液流体系统也必定为分形分布,即每一个分形断裂体系控制了一个大的分形热液流体体系;每一个热液体系中,由于其分形断裂体系又产生数个流体对流循环单元,依次,每一单元又由几个更小的单元组成,矿床在这些热液单元尺度上共生,从而导致整个地区的矿床为分形分布.

参考文献:

- [1] Mandelbrot B B. Fractal Geometry of Nature[M]. San Francisco: W H Freeman & Co., 1982.
- [2] 连长云, 苏小四, 朴寿成, 等. 中国大陆深断裂系的分形特征[J]. 世界地质, 1995, 14(3): 35 - 39.
- [3] 谢焱石, 谭凯旋. 断裂构造的分形研究及其地质应用[J]. 地质地球化学, 2002, 30(1): 71 - 77.
- [4] Carlson C A. Spatial distribution of ore deposits[J]. Geology, 1991, 19: 111 - 114.
- [5] 沈步明, 沈远超. 新疆某金矿的分形维特征及其地质意义[J]. 中国科学(B辑), 1993, 23(3): 297 - 302.
- [6] 谭凯旋, 刘顺生, 谢焱石. 新疆阿尔泰地区矿床分布的多重分形分析[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(4): 333 - 341.
- [7] 谢焱石, 谭凯旋, 陈广浩. 湘西沃溪金锑钨矿床含金石英脉的分形生长动力学[J]. 地质论评, 2004, 50(4): 440 - 447.
- [8] 金章东. 江西德兴铜厂斑岩体铜品位的分形结构[J]. 矿床地质, 1998, 17(4): 363 - 368.
- [9] Korvin G. Fractal models in the earth sciences[M]. Amsterdam: Elsevier, 1992.
- [10] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地质学报, 2006, 80(6): 923 - 927.
- [11] 张虎男, 吴堃虹. 华南沿海主要活动断裂带的比较构造研究[J]. 地震地质, 1994, 16(1): 43 - 52.
- [12] Li Jianwei, Zhou Meifu, Li xianfu. Structural control on uranium mineralization in South China: Implications for fluid flow in continental strike - slip faults[J]. Science in China(Series D), 2002, 45(9): 851 - 864.
- [13] Hirata T. Fractal dimension of fault systems in Japan: Fractal structure in rock fracture geometry at various scales[J]. Pure and Appl. Geophys, 1989, 131: 157 - 170.
- [14] Cowie P A, Sornette D, Vanneste C. Multifractal scaling properties of a growing fault population[J]. Geophysics Journal International, 1995, 122: 457 - 469.
- [15] Zhang X. Sanderson D J. Fractal structure and deformation of fractured rock masses[C]//S H Kruhl (ed), Fractals and Dynamics Systems in Geoscience. New York: Springer - Verlag, 1994: 37 - 52.