

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2018.04.003

基于分形理论的土壤氡浓度矿化异常的分析方法： 以湖南郴州金狮岭地区为例

郭岳岳¹, 谭凯旋^{1,2,*}, 谭婉玉¹, 韩世礼¹, 谢焱石¹, 吴文博¹, 蔡秋娥^{1,2}

(1.南华大学 核资源工程学院,湖南 衡阳 421001;2.南华大学 数理学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:土壤氡浓度分布具有双分形特征,其分维值分别为 $D_1=0.0794$ 和 $D_2=1.4654$,分形临界值为 2167.7 Bq/m^3 .低于临界值的分形其分维值 D_1 很小,代表了区域背景分布,其背景值为 1088.16 Bq/m^3 .高于临界值的分形其分维值 D_2 显著增大,反映该区发生了较强的成矿作用的叠加.分形临界值可以作为异常下限值.金狮岭地区土壤氡浓度异常区分布范围较大,表明具有较好的成矿远景.

关键词:土壤氡浓度;分形;异常分析;铀

中图分类号:P628+.3 文献标志码:B 文章编号:1673-0062(2018)04-0015-05

The Analytic Methods of Mineralization Anomaly on Soil Radon Concentrations Based on Fractal Theory: A Case Study of Jinshiling District of Chenzhou, Hunan

GUO Yueyue¹, TAN Kaixuan^{1,2,*}, TAN Wanyu¹, HAN Shili¹,
XIE Yanshi¹, WU Wenbo¹, CAI Qiue^{1,2}

(1.School of Nuclear Resources Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2.School of Mathematics and Physics, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: The distribution of radon concentration in soil contains the characteristics of double fractal, the fractal dimension is $D_1=0.0794$ and $D_2=1.4654$ respectively, and the fractal threshold is 2167.7 Bq/m^3 . The fractal dimension value of D_1 is very small, which represents the region background distribution, and its background value is 1088.16 Bq/m^3 . The fractal dimension value of D_2 is higher than the critical value, and the strong mineralization superposition occurs in the reaction zone. The fractal critical value can be used as

收稿日期:2018-03-23

基金项目:湖南省军民融合产业发展专项科研类项目(2015JMH01-Z03)

作者简介:郭岳岳(1987-),男,硕士研究生,主要从事地质资源勘察及铀成矿地球化学信息提取的研究.E-mail:823690326@qq.com.*通信作者:谭凯旋(1963-),男,教授,博士,主要从事地球化学与成矿动力学、溶浸采矿、复杂性科学、核技术应用、环境科学等方面的研究.E-mail:nhtkx@126.com

the lower limit value. The distribution of radon concentration anomaly area in the area of the Golden Lion Ridge region is large, which indicates a better metallogenic prospect.

key words: soil radon concentration; fractal; anomaly analysis; uranium

0 引言

氡是天然铀、钍衰变系列中镭同位素的 α 衰变产生的一种稀有气体,其本身亦具有放射性。铀、钍和镭广泛存在于地壳岩石和土壤中,因此氡是无处不在的。氡有三种天然同位素 ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn ,其半衰期分别为3.8 d、56 s、4 s。由于氡同位素的半衰期都比较短,因此氡的浓度主要由其母体Ra同位素来维持,而Ra的浓度又受U、Th含量的支配。氡已广泛用于地质、地球化学、地球物理研究的示踪^[1],不仅在地震^[2-3]、火山^[4]、滑坡、泥石流等地质灾害研究中有较大作用,而且广泛应用于石油、煤、金矿、有色金属和铀矿资源的找矿勘探。氡及其子体测量已成为当前铀矿找矿的重要方法^[5-10],特别是对氡迁移机制的研究发现氡具有长距离迁移能力使得地表土壤中氡浓度测量可以用于寻找深部、隐伏的铀矿体^[11-14]。应用土壤氡浓度测量进行铀矿找矿勘探的一项重要工作是通过处理氡浓度数据将氡浓度背景值和异常值划分开,确定氡浓度异常区。

目前对于背景值、异常值和异常区的确定方法不尽一致,我国制定的相关核行业标准^[15]的数据处理方法是:1)采用正态分布统计检验剔除不符合正态分布的测量数据,剩余的符合正态分布的测量数据的平均值作为氡浓度的背景值;2)以背景值的5倍作为异常值,大于异常值(5倍背景值)的区域为异常区,大于背景值加3倍均方差异常值的区域为异常晕区,大于背景值加2倍均方差至背景值加3倍均方差的区域为高晕区,大于背景值加1倍均方差至背景值加2倍均方差的区域为偏高晕区。此外有的研究者是简单地采用所有测量值的平均值加2倍均方差作为异常值下限^[7];或者根据数据平均值 X 和标准偏差 σ 之间的关系,多次剔除大于 $X+2\sigma$ 的数据后,得到的平均值 X_n 作为背景值,以 $X_n+2\sigma_n$ 值作为异常值下限进行异常的确定^[16]。随着分形理论的发展,一些学者应用多重分形理论进行地球化学异常的分辨和矿产资源的找矿预测^[17-20]。但是,目前应用分形方法研究土壤氡浓度的矿化异常信息提取还比较少。本文对湖南郴州金狮岭Pb-Zn-U多金属

成矿远景区进行土壤氡浓度测量,应用分形理论研究土壤氡浓度的矿化异常信息和成矿异常区。

1 研究区地质概况和研究方法

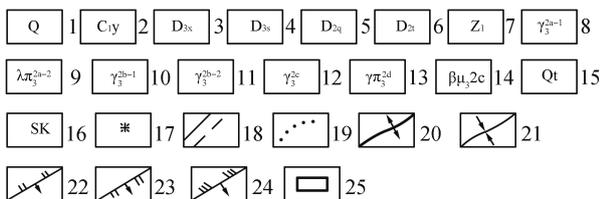
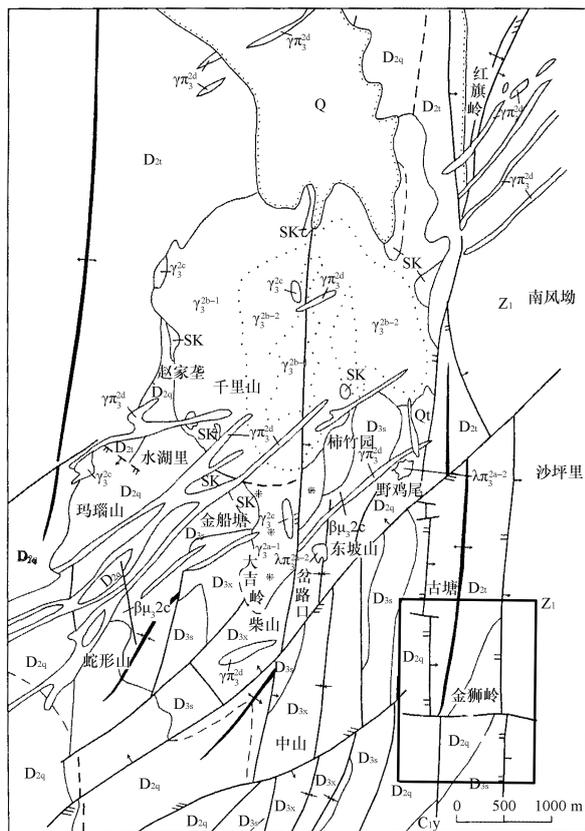
1.1 研究区地质背景

金狮岭铅锌铀矿山位于我国湖南省郴县瑶山地区,郴县是我国湘南地区最大的金属矿山开采基地(图1),原有钻探工程地质资料显示有隐伏的Pb-Zn-U多金属矿体,被划定为潜在的成矿远景区。矿区内地层分界明显,主要包含有泥盆系中统跳马涧组砂岩,白云质灰岩、棋梓桥组灰岩;震旦系浅变质砂岩、凝灰质长石砂岩、板岩;上统佘田桥组泥质灰岩、碎屑岩,锡矿山组泥质灰岩和泥质条带灰岩;主要的含矿地层是灰岩。区内东、西、南三面为高山环绕,群山簇立,沟壑纵横,北面为丘陵区,地势开阔,土壤覆盖层厚,植被茂盛。地质构造极其复杂,构造主体走向为近南北向的金狮岭向斜,发育南北向、北东向、北西向和东西向等多组断裂构造带,这些断裂构造相互交错、贯通,致使岩浆的侵入和含矿流体的运移与汇集对成矿起了极其重要的作用。金狮岭矿区内虽然没有发现大规模的岩浆岩出露地表,但位于其北方10 km处的柿竹园矿区,即是著名的超大型钨锡铋钼多金属矿床,主要的成矿岩体是千里山燕山期花岗岩体。

1.2 土壤氡浓度测量

测线布置:根据测点坐标布置测线,其中一条断裂带位于西北方向,少量测点分布断裂带附近。金狮岭矿区共布置11条测线(如图2),测线方位为北偏西 314° ,每条测线上布置51个测点,总共561个测点。测线间距100 m,测点的间距为20 m左右。

采用美国Durrige公司生产的Rad7测氡仪进行土壤氡浓度测量,测量方法和步骤如下:1)打孔,利用直径约1 cm的钢钎打孔,打孔深度约70 cm,避免外界空气干扰;2)氡浓度测量,设置测量模式为sniff(嗅探),周期5 min,循环次数3;3)记录数据,每个循环记录三个氡浓度值,然后求取平均值,作为该点氡浓度值。



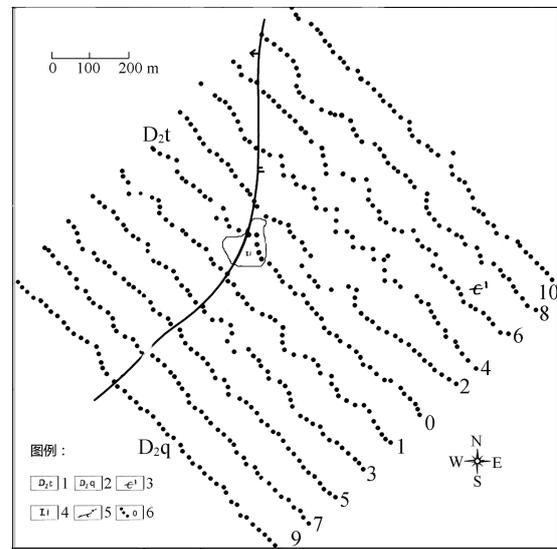
- 1—第四系;2—下石炭统岩关阶;3—上泥盆统锡矿山组;
- 4—上泥盆统余田桥组;5—中泥盆统棋梓桥组;
- 6—中泥盆统跳马洞组;7—震旦系;8—细-中粒斑状黑云母钾长花岗岩;9—绢英斑岩;10—细粒斑状黑云母钾长花岗岩(边缘相);11—中粗粒黑云母花岗岩(中心相);12—细粒黑云母钾长花岗岩;13—花岗斑岩;14—辉绿斑岩;15—石英脉;
- 16—砂卡岩;17—石英岩化;18—实测、推测地质界线;
- 19—渐变地质界线;20—背斜轴;21—向斜轴;22—压性断层;
- 23—张性断层;24—扭、压性断层;25—研究区域。

图 1 金狮岭 Pb-Zn-U 多金属矿体地质图
Fig.1 A geological map of Jinshiling mine in Chenzhou, Hunan Province

1.3 传统统计方法

传统统计方法认为数据应当服从正态分布,因此分析过程中采用正态分布统计检验剔除不符合正态分布的异常值,剩余的符合正态分布的测量数据的平均值作为氡浓度的背景值.本文采用国家核工业行业标准的分析方法^[15],实际分析中采用平均值(\bar{X})、均方差(S)和逐步剔除统计法,

剔除大于 $X+2S$ 的数据,直至所有剩余的数据没有大于 $X+2S$ 为止,然后计算剩余数据的平均值(\bar{X}_n)和均方差(S_n).最后将 \bar{X}_n 作为研究区氡浓度的背景值;将背景值的 5 倍($5\bar{X}_n$)作为异常下限值,高于此值的区域为异常区^[15].



- 1—中泥盆统跳马洞组石英砂岩;2—中泥盆统棋梓桥组灰岩;
- 3—下寒武系砂页岩;4—铁帽;5—断层;6—测点及测线编号。

图 2 金狮岭矿区地质和测点布置简图
Fig.2 The layout of the measuring line of the lead and zinc uranium mine in Jinshiling

1.4 分形分析方法

采用数目-大小分形模型^[20]分析土壤氡浓度的分布:

$$N(\geq C) = A * C^{-D} \quad (1)$$

式中 C 为氡浓度, $N(\geq C)$ 为氡浓度大于或大于 C 的测点数量, A 为常数, D 为分维值。

实际分析中,作 N 对 C 的双对数图,其拟合直线部分的斜率的绝对值就是分维值 D ,可以用最小二乘法求出。

2 结果与讨论

2.1 土壤氡浓度测量结果

本次对湖南郴州金狮岭矿区土壤氡浓度的测量,共得到 520 个测量值,氡浓度最小值为 33.3 Bq/m^3 ,最大值为 $97\ 680 \text{ Bq/m}^3$,最高值是最低值的 2 933 倍,平均值 $5\ 023.147 \text{ Bq/m}^3$,标准偏差 827 5.79.氡浓度分布等值线图如图 3 所示,高值位于测区东北和西南两端。

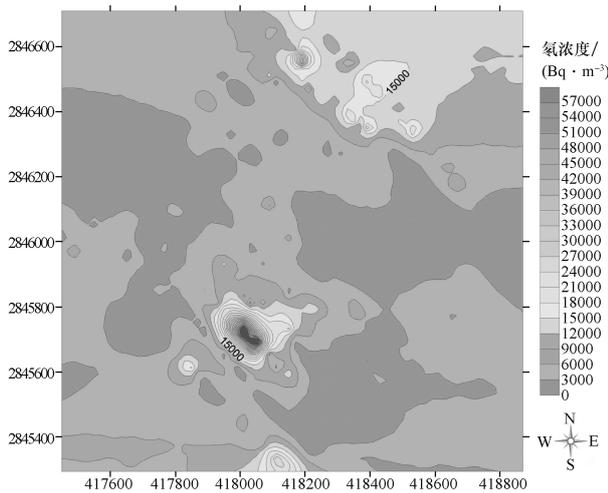


图3 金狮岭地区土壤氡浓度等值线图

Fig.3 The isoline map of soil radon concentration in Jinshiling area

2.2 统计分析

采用上述传统统计方法对土壤氡测量数据进行分析,氡浓度高于 $4\ 440\ \text{Bq}/\text{m}^3$ 的 168 个数据均被逐步剔除掉,最终得到平均值即背景值为 $2\ 004.05\ \text{Bq}/\text{m}^3$,均方差为 $1\ 189.27\ \text{Bq}/\text{m}^3$,由此确定氡浓度异常下限值($5\bar{X}_n$)为 $10\ 020.25\ \text{Bq}/\text{m}^3$,大于该异常下限值的测点个数为 55 个,占总测量点数的 10.6%。这样画出的异常区很小,并且这些区域都在断裂带附近,断裂结构发育完整,对氡浓度高值区域有一定的影响。已有非断裂带处见矿的钻孔基本在异常区之外,说明采用传统的统计分析方法在该区土壤氡测量分析中是不适合的。

2.3 氡浓度分形分析结果

对所测得的土壤氡浓度数据进行分形分析,结果如图 4。氡浓度分布具有 2 个明显不同的线性关系,即该区域土壤氡浓度具有双分形分布特征,其中第一个分形的分维值 $D_1 = 0.079\ 4$,第二个分形的分维值 $D_2 = 1.456\ 4$,两个分形的临界值(两直线交叉点所对应的氡浓度)为 $2\ 167.7\ \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

2.4 讨论

氡是镭的直接衰变产物,镭是铀的衰变产物,铀镭比不变,在一个范围较小的测量区可以认为铀镭比不变,依据放射性长期平衡理论,土壤氡浓度能反映铀含量特征。土壤的铀含量又取决于土壤的物质来源即成土母岩的铀含量。因此土壤氡含量的分布特征反映了基岩的铀含量分布特征。土壤氡浓度分布的双分布特征表明该地区岩石中

铀含量分布也具有双分形特征。自然界的自组织临界过程形成分形结构,一般认为单一的地质作用下产生单一的分形分布,而 2 个或多个地质作用的叠加会导致双分形分布甚至多重分形分布^[20]。金狮岭地区土壤氡浓度分布的双分形特征表明该地区发生了多次地质作用特别是与 U 相关的成矿作用的叠加。低于临界值的第一个分形代表了第一次地质作用,其分维值很小($D_1 = 0.079\ 4$),该分形包含了 194 个数据点,占总测点总数的 37.3%,氡浓度范围 $33.3 \sim 2\ 127.5\ \text{Bq}/\text{m}^3$,平均值 $1\ 088.16\ \text{Bq}/\text{m}^3$,标准偏差 591.88。说明第一次地质作用中 U 的分异和富集成矿作用很小,其土壤氡浓度的平均值 $1\ 088.16\ \text{Bq}/\text{m}^3$ 代表了该地区土壤氡浓度的背景值。高于临界值的第二分形包含了 326 个测点,占总测点总数的 62.7%,氡浓度范围 $2\ 175.6 \sim 99\ 680\ \text{Bq}/\text{m}^3$,平均值 $7\ 364.83\ \text{Bq}/\text{m}^3$,标准偏差 $9\ 716.99$,该分形的分维值显著增大($D_2 = 1.456\ 4$),说明该地区受到了较强烈的与 U 相关的成矿作用的叠加,发现了较显著的铀的分异与富集作用。

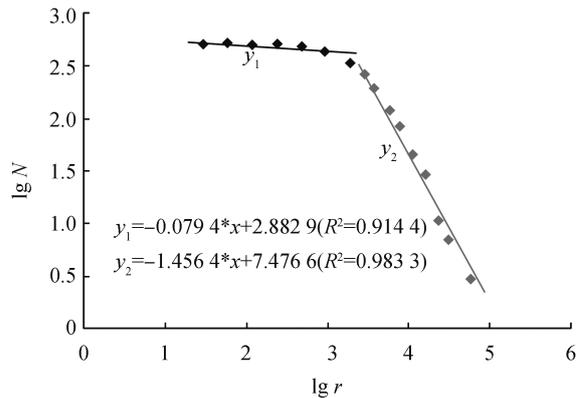
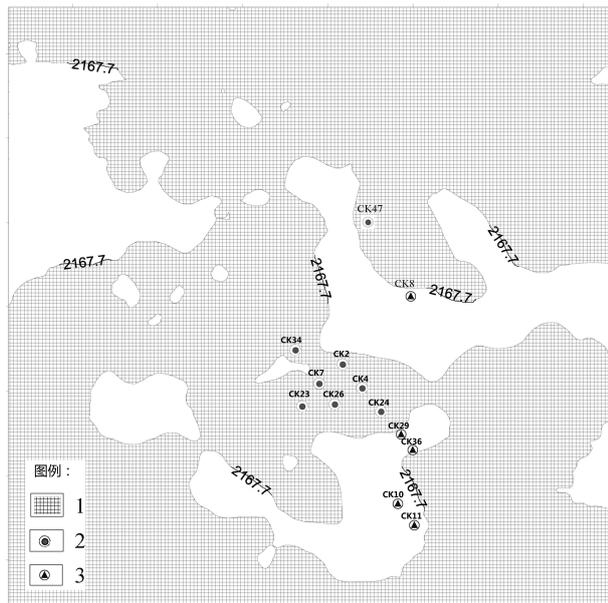


图4 土壤氡浓度分布分形图解

Fig.4 The fractal diagram of radon concentration distribution in soil

显然,分形临界值可以作为异常下限值,大于该值的区域为异常区。以分形临界值 $2\ 167.7\ \text{Bq}/\text{m}^3$ 为下限值作出金狮岭地区土壤氡浓度的异常区如图 5,可见异常区范围较大,空间连续性较好,已前施工的见矿钻孔均包含在异常区内,而未见矿钻孔均在异常区外。说明土壤氡浓度测量可以作为该区找矿勘探的一种有效方法,同时也说明该区有较好的成矿远景,值得开展进一步的找矿勘探工作。



1—氡浓度异常范围;2—见矿钻孔;3—无矿钻孔。

图5 金狮岭地区土壤氡浓度异常分布图

Fig.5 The demarcation of the favorable target area for uranium mineralization

3 结论

1) 应用分形理论处理土壤氡浓度数据可以获得两个分形分布及其分维值和分形临界值,低于临界值的分形代表了第一次地质作用,其平均值可作为背景值;高于临界值的分形代表多次地质作用尤其是成矿作用的叠加,其分维值反映成矿作用强度;分形临界值可作为异常下限值。

2) 金狮岭地区土壤氡浓度低于临界值的分形的分维值很小($D_1 = 0.0794$),土壤氡浓度背景值为 $1\ 088.16\ \text{Bq}/\text{m}^3$ 。高于临界值的分形分维值显著增大($D_2 = 1.4564$),成矿作用比较强烈。分形临界值为 $2\ 167.7\ \text{Bq}/\text{m}^3$,异常区范围较大。该地区具有较好的成矿远景。

3) 分形方法在土壤氡浓度的分析中显示出比传统的统计分析更有优势。

参考文献:

[1] BASKARAN M. Radon: A tracer for geological, geophysical and geochemical studies [M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.

[2] SCIARRA A, FASCETTI A, MORETTI A, et al. Geochemical and radiometric profiles through an active fault in the Sila Massif (Calabria, Italy) [J]. Journal of geochemical exploration, 2015, 148: 128-137.

[3] 李必红, 吴慧山, 赵丹, 等. 基于放射性地球物理的深部砂岩型铀矿化信息提取技术 [J]. 地球物理学进展, 2016, 31 (2): 683-687.

[4] 刘武生, 李必红, 史清平, 等. 二连盆地砂岩型铀矿土壤氡异常模型及应用 [J]. 物探与化探, 2015, 39 (2): 234-239.

[5] 韩军, 薛伟, 宋庆年. 内蒙古多伦县核桃坝地区火山岩型铀成矿特征及找矿标志 [J]. 吉林大学学报 (地), 2015, 45 (3): 772-790.

[6] RAMOLA R C, SANDHU A S, SINGH M, et al. Geochemical-exploration of uranium using radon measurement techniques [J]. Nucl Geophys, 1988, 70 (1/2): 190.

[7] 刘汉彬, 尹金双, 崔勇辉. 土壤氡气测量在鄂尔多斯盆地西缘砂岩型铀矿勘查中的应用 [J]. 铀矿地质, 2006, 22 (2): 115-120.

[8] 杨亚新, 刘庆成, 龙期华, 等. 氡气测量在下庄铀矿田扩大矿床范围中的应用 [J]. 物探与化探, 2003, 27 (3): 184-186.

[9] 李茂, 高翔, 王泽霞, 等. 本溪县金家堡子地区氡浓度异常分布特征及其地质找矿意义 [J]. 铀矿地质, 2015, 31 (5): 524-530.

[10] FLEISCHER R L, HART H R, MOGRO-CAMPERO A. Radon emanation over an ore body: Search for long-distance transport of radon ☆ [J]. Nuclear Instruments and methods, 1980, 173 (1): 169-181.

[11] 白云生, 林玉飞, 常桂兰. 铀矿找矿中氡的迁移机制探讨 [J]. 铀矿地质, 1995, 11 (4): 224-230.

[12] 汪来, 焦智伟, 牛禹, 等. 综合物探方法在四川 505 地区铀矿勘查中的应用 [J]. 矿产勘查, 2017, 8 (1): 132-138.

[13] 李庆阳, 蔡惠蓉. 再论地面氡及子体探测深部铀矿的机理 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2010, 37 (3): 279-282.

[14] 张智慧. 空气中氡及其子体的测量方法 [M]. 北京: 原子能出版社, 1994.

[15] 中国核工业总公司. 氡及其子体测量规范: EJ/T605-1991 [S]. 北京: 中国核工业集团公司, 1991.

[16] 成秋明. 地质异常的奇异性度量与隐伏源致矿异常识别 [J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2011, 36 (2): 307-316.

[17] DAYA A A. Comparative study of C-A, C-P, and N-S fractal methods for separating geochemical anomalies from background: A case study of Kamoshgaran region, northwest of Iran [J]. Journal of geochemical exploration, 2015, 150: 52-63.

[18] MOHAMMADI N M, HEZARKHANI A, SALJOOQHI B S. Separation of a geochemical anomaly from background by fractal and U-statistic methods, a case study: Khooni district, Central Iran [J]. Chemie der Erde-Geochemistry, 2016, 76 (4): 491-499.

[19] ZUO R G, WANG J, CHEN G X, et al. Identification of weak anomalies: A multifractal perspective [J]. Journal of geochemical exploration, 2015, 148: 12-24.

[20] TURCOTTE D L. Fractals in petrology [J]. Lithos, 2002, 65 (3/4): 261-271.

(责任编辑: 扶文静)