

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2018.04.004

## 湖南郴州金狮岭地区地面 $\gamma$ 能谱测量数据的分形分析

吴文博<sup>1</sup>, 谭凯旋<sup>1,2\*</sup>, 韩世礼<sup>1</sup>, 谢焱石<sup>1</sup>, 谭婉玉<sup>1</sup>, 郭岳岳<sup>1</sup>, 蔡秋娥<sup>1,2</sup>

(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:**湖南郴州金狮岭地区是一个潜在的 Pb-Zn-U 多金属矿化区,对该地区进行了系统的伽马能谱测量,并应用分形理论对 U 测量数据进行分析.该区 U 含量分布具有明显的双分形特征,表明该区受到了多期地质作用的叠加.第一个分形分维值很小( $D_1=0.083$ ),代表了第一次地质作用和低的 U 含量背景值;第二个分形的分维值较大( $D_2=2.523$ ),代表了后期地质作用特别是成矿作用的叠加,并有较强的 U 富集作用.其分形临界值( $3.37 \mu\text{g/g}$ )可作为该区铀矿化的异常下限值.结果还表明该区 U 异常区分布较大且连续性好,具有较好的成矿远景.

**关键词:**地面  $\gamma$  能谱测量;分形和双分形;铀

**中图分类号:**P631.6 **文献标志码:**B **文章编号:**1673-0062(2018)04-0020-05

## Fractal Analysis of Terrestrial Gamma Ray Spectrometry in Jinshiling District of Chenzhou, Hunan

WU Wenbo<sup>1</sup>, TAN Kaixuan<sup>1,2\*</sup>, HAN Shili<sup>1</sup>, XIE Yanshi<sup>1</sup>,  
TAN Wanyu<sup>1</sup>, GUO Yueyue<sup>1</sup>, CAI Qiue<sup>1,2</sup>

(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:** Jinshiling district, located in Chenzhou city, Hunan province, is a potential Pb-Zn-U polymetallic mineralization area. The terrestrial gamma ray spectrometry measurements were carried out systematically in this district, and the measured data was analyzed using fractal theory. The results demonstrate that the distribution of U content in this district behave obvious bifractal characteristics, which indicates that this area is superimposed by multistage geological processes. The first fractal dimension is very small ( $D_1 = 0.083$ ), which

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:吴文博(1992-),男,硕士研究生,主要从事矿业工程等方面的研究.E-mail:1728123088@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

represents the first geological process and low U content background value, and the second fractal dimension is large ( $D_2 = 2.523$ ), which represents the superposition of late geological processes, especially the mineralization, and a strong U enrichment. The fractal critical value ( $3.37 \mu\text{g/g}$ ) can be used as the lower limit value of uranium mineralization in this district. In addition, the results show that the U anomaly area in this district has a large distribution and good continuity, indicating a good metallogenic prospect.

**key words:** terrestrial gamma ray spectrometry; fractal and bifractal; uranium

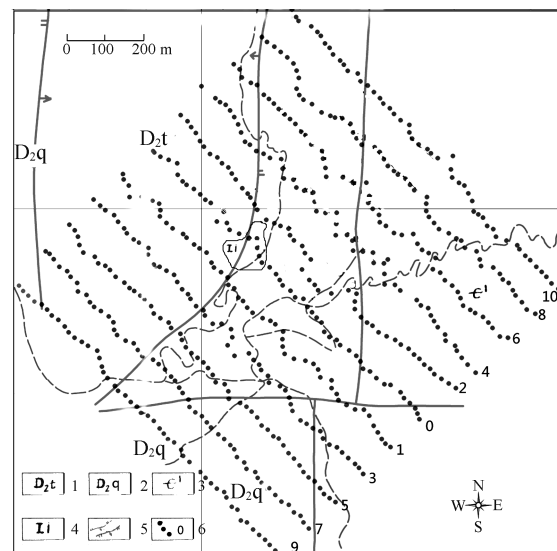
## 0 引言

伽马射线是原子核能级跃迁蜕变时释放出来的射线,具有极强的穿透能力,地面  $\gamma$  能谱测量可以快速、直接地测定岩土体中的 U、Th、K 这 3 种具有放射性核素的当量含量,因而在地质填图、测井和找矿勘探特别是铀矿床的找矿工作中得到了广泛应用<sup>[1-7]</sup>.应用地面  $\gamma$  能谱测量进行找矿的主要原理是通过  $\gamma$  射线测定地面岩土体中的 U、Th、K 含量数据,分析这些数据的空间变化规律进而分析异常区及有利的找矿远景区.目前从  $\gamma$  能谱数据确定异常区的主要方法有两个,一是对  $\gamma$  能谱数据作等值线图,从等值线的变化趋势分析异常区;二是  $\gamma$  能谱数据进行常规的统计分析确定背景值和异常值,大于异常值的区域为异常区.因此,异常值的确定对于  $\gamma$  能谱测量的应用具有重要意义.本文对湖南郴州金狮岭地区开展了地面  $\gamma$  能谱测量,并应用分形理论对测量数据进行分析,探讨确定异常值的分形方法及该区成矿异常区.

## 1 研究区地质概况

研究区金狮岭矿区位于湖南省郴州市东坡矿田南部的瑶山地区,曾有少量钻探工程发现有隐伏的 Pb-Zn-U 多金属矿体,是一个潜在的成矿远景区.矿区内(图 1)地层主要有震旦系浅变质砂岩、板岩、凝灰质长石砂岩;泥盆系中统跳马涧组砂岩、棋梓桥组灰岩、白云质灰岩;上统余田桥组泥质灰岩、泥质条带灰岩,锡矿山组泥质灰岩和碎屑岩;灰岩是主要的含矿地层.区内地质构造复杂,主体构造为近南北向的金狮岭向斜,发育北东向、南北向、北西向和东西向等多组断裂,这些断裂构造相互交切、贯通,为本矿区的岩浆侵入和含矿流体的运移与汇集成矿起了极其重要的作用.金狮岭矿区内虽然没有大规模的岩浆岩出露,但是其北方 10 km 处即是著名的与柿竹园超大型钨锡铋钼多金属矿床密切相关的千里山燕山期花岗

岩体.区内东、西、南三面为高山地区,群山簇立,沟谷纵横,北面为丘陵区,地势开阔.区内土壤覆盖层厚,植物茂盛.



1-中泥盆统跳马涧组石英砂岩;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 1 金狮岭地区地质和测点布置简图

Fig.1 Brief diagram of geological and survey point layout in Jinshiling district

## 2 $\gamma$ 能谱测量

本次在研究区内共布置 11 条测线(图 1),测线方位为  $\text{NW}315^\circ$ ,每条测线上布置 101 个测点,总共 1 111 个测点.测线间距 100 m,测点的间距为 10 m 左右,监测范围为  $1\ 000\ \text{m} \times 1\ 000\ \text{m}$ .

测量采用的  $\gamma$  能谱仪是北京华盛谱信仪器有限公司生产的 HD-2002 便携式  $\gamma$  能谱仪.便携式  $\gamma$  能谱仪工作原理是<sup>[8-9]</sup>:当伽马射线射入探测器后会被 NaI 闪烁晶体吸收,并产生荧光,射入的  $\gamma$  射线的能量越高其闪烁晶体产生的荧光光子数量越多.而后荧光进去光电倍增管,在倍增管的阳极产生电流脉冲.一般这种脉冲信号的幅度与开始射入探测器中  $\gamma$  射线的能量是成正比的,脉冲信

号经过放大器放大后进入峰值甄别采样电路进行峰值的采集,当脉冲下降回路时,峰值采样电路会输出一个采集完毕的信号.该信号会触发 A/D 转换器,会对脉冲进行数据转换,而后再由嵌入式系

统读取数据通过 USB 被电脑上专业软件所接收(图 2).放射性铀、钍、钾含量的准确性能控制在 7% 以内,灵敏度相对误差在  $\pm 5\%$ .

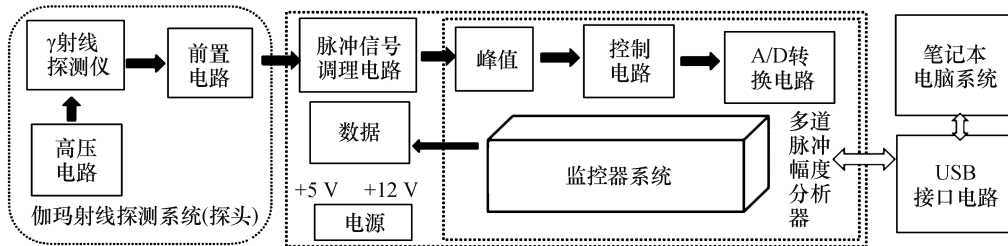


图 2  $\gamma$  能谱仪工作原理图

Fig.2 Working principle of  $\gamma$ -energy spectrometer

### 3 $\gamma$ 能谱测量结果与数据分析

#### 3.1 $\gamma$ 能谱测量结果

根据  $\gamma$  能谱测量结果分别获得 U、Th、K 含量数据,本文仅对 U 进行分析.测得的 1 059 个 U 含量数据变化范围为(0.23~94.94)  $\mu\text{g/g}$ ,统计分析

结果为铀含量平均值 4.95  $\mu\text{g/g}$ ,中位数 4.04,众数 3.26,标准偏差 5.26,方差 27.70,偏斜度 9.32,峰度值 121.34.从 U 含量的频率分布直方图(图 3)可见,U 的含量呈单峰分布,高峰值在  $(3\sim 5)\times 10^{-6}$  之间,但有较长的重尾分布.

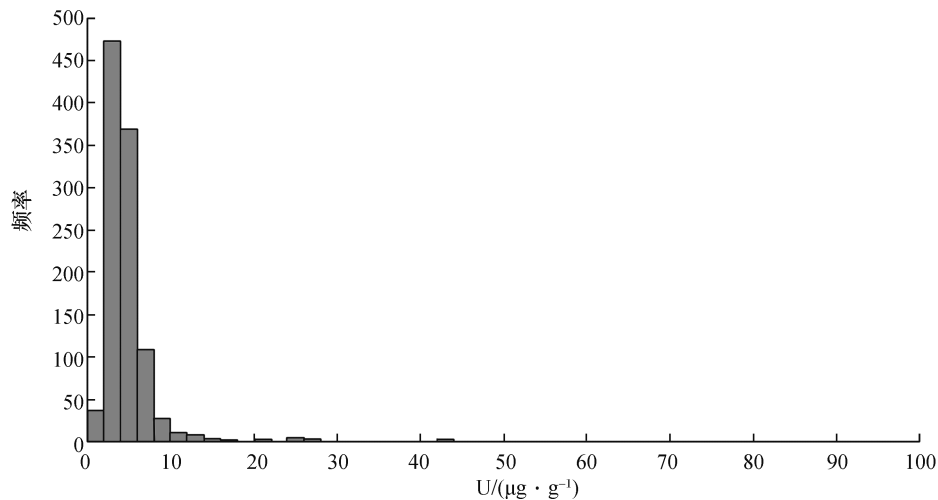


图 3 金狮岭地区 U 含量频率分布直方图

Fig.3 Histogram of U content frequency distribution in Jinshiling district

#### 3.2 U 含量分布分形分析

本文分别采用 2 种方法:

##### 1) 含量-累积数量分形分析法

元素含量与累积样本数的频率分布可表示为如下方程<sup>[10]</sup>:

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

式中  $C$  为 U 含量, $N$  为 U 含量大于或等于  $C$  的测点累积数量, $D$  为分维值.选取不同的 U 含量  $C$

值,分别统计大于或大于  $C$  的累积测点数量,作出累积测点数  $N$  对含量  $C$  的双对数图,对数据点进行线性拟合,其拟合直线的斜率的绝对值即为分维值.

##### 2) 含量-面积分形分析法

将所测得的 U 含量数据点在空间分布图上采用加权移动平均方法进行插值获得 U 含量分布的等值线图,则 U 含量等值线所圈定范围的面

积与含量值之间具有如下幂定律关系<sup>[11-12]</sup>:

$$A(\geq C) \propto C^{-D} \quad (2)$$

式中  $A(\geq C)$  为 U 含量高于等值线值  $C$  的面积,  $D$  为分维值. 实际分析步骤为: 1) 应用 MAPGIS 软件将 U 含量数据在研究区地图上进行离散性处理, 采用加权移动平均方法进行插值并按照一定的 U 含量间隔作出等值线图; 2) 取不同的 U 含量分别计算其等值线所圈定范围的面积; 3) 在面积对 U 含量的双对数图上进行分形分析, 拟合直线的斜率的绝对值即为分维值.

对该区 U 含量数据分别用上述 2 种方法进行分形分析, 结果如图 4 和表 1. 含量-累积数量和含量-面积 2 种分形图上均呈现 2 个明显不同的线性关系, 说明研究区地表岩、土的 U 含量分布具有 2 个分形行为, 即表现为双分形分布. 将每种方法中两条拟合直线联立求交点, 得出的  $x$  值即为 U 含量异常下界的临界值. 两个分形分析方法得出的分维值和分形临界值都非常接近, 说明分形分析的结果是比较准确的, 由此得出研究区 U 含量分布的平均分维值  $D_1=0.083$ ,  $D_2=2.523$ , 平均临界值为  $3.37 \mu\text{g/g}$ .

表 1 金狮岭地区 U 含量分形分析结果

Table 1 Results of fractal analysis of U content in Jinshiling district

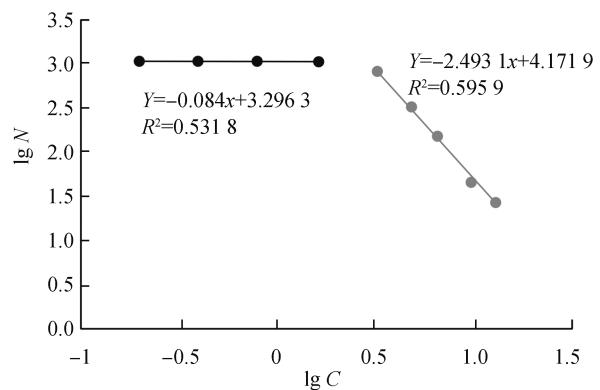
方法	$D_1$	$R^2$	$D_2$	$R^2$	临界值
含量-累积数量	0.084	0.531 8	2.493	0.995 9	3.10
含量-面积	0.082	0.443 3	2.553	0.980 1	3.63
平均	0.083		2.523		3.37

### 3.3 讨论与分析

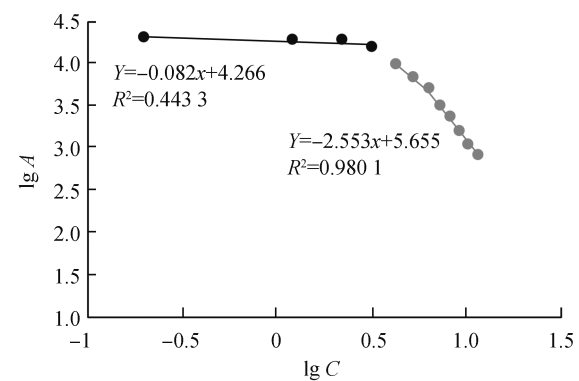
上述分析表明, 金狮岭地区 U 含量分布不但具有分形特征, 而且具有双分形特征. 一般认为单一的地质作用下产生单一的分形分布, 而 2 个或多个地质作用的叠加会导致双分形分布甚至多重分形分布<sup>[10, 13]</sup>. 因此, 金狮岭地区 U 含量分布具有显著的双分形结构, 说明该地区发生了与铀相关的成矿作用的叠加. 双分形中低值区域的分形结构(小分维值)代表了第一次地质作用的分布, 及研究区的背景分布; 高值区域的分形结构(大分维值)代表了成矿作用的分布. 两个分形的交叉点代表了 2 个地质作用的分形临界值, 该临界值可以作为成矿异常的下限值.

小分形分布的分维值很小( $D_1=0.083$ ), 说明该次地质作用形成的 U 分布变异较小, 很难形成

铀矿床. 该区段(U 含量小于临界值 3.37)的数据点共计 321 个, U 含量范围  $0.23 \sim 3.36 \mu\text{g/g}$ , 平均值  $2.67 \mu\text{g/g}$ , 与上地壳 U 的丰度值( $2.7 \mu\text{g/g}$ )相当. 大分形分布的分维值较高( $D_2=2.523$ ), 说明所叠加的地质作用发生了 U 的较强烈的分异作用, U 含量变化大, 有可能发生 U 的富集和成矿作用. 该区段(U 含量大于临界值 3.37)的数据点有 738 个, 占全部测点的 70%, U 含量范围  $3.37 \sim 94.94 \mu\text{g/g}$ , 平均值  $5.95 \mu\text{g/g}$ , 是上地壳丰度值的 2.2 倍. 说明金狮岭地区是有利的成矿远景区.



(a) 含量-数量法



(b) 含量-面积法

图 4 金狮岭地区 U 含量分布分形图解

Fig.4 Fractal diagram of U content distribution in Jinshiling district

成矿过程虽然是具有随机性的过程, 但是地球上已形成了一定的矿床体, 可以把一定空间范围内的成矿过程看成具有混沌奇异性, 即在某一空间范围内的矿物含量与分布范围呈非线性关系<sup>[14-17]</sup>:

$$\langle \mu[A(\varepsilon)] \rangle = c\varepsilon^\alpha \quad (3)$$

式中  $\mu[A(\varepsilon)]$  代表在一定空间范围  $A$  内成矿元素含量(如金属量或储量);  $\langle \rangle$  为期望值;  $\alpha$  为奇

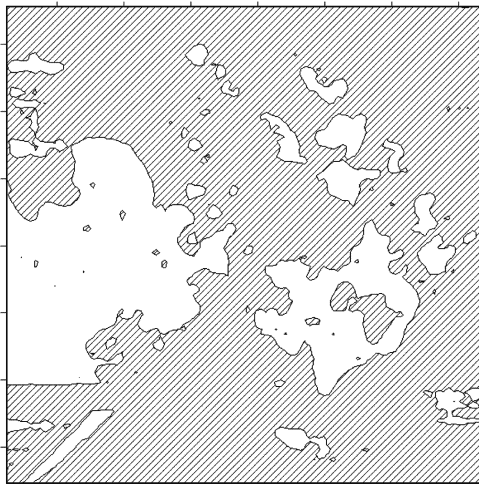


异性指数,是一个无量纲,具有空间维数的性质; $c$ 表示在 $\alpha$ 维空间中所度量的成矿元素含量的 $\alpha$ 维分形密度, $\varepsilon$ 是 $A$ 的线性尺度.假设研究的空间范围是2维平面,此时可以将式(2)和式(3)结合起来得出:

$$\langle \mu[A(\varepsilon)] \rangle \propto A(\varepsilon)^D \varepsilon^\alpha \quad (4)$$

可以看出,分维 $D$ 值越大, $\mu$ 的期望值也越大.从上述得出金狮岭地区U含量分布的分维值看,第一次地质作用(背景值)分维值 $D_1 = 0.083$ ,成矿期望值接近于0;而后期地质作用的分维值 $D_2 = 2.523$ ,成矿期望值显著增大.

以分形临界值3.37作为该地区成矿异常下限值作出该地区的成矿异常区分布如图5,可见U成矿异常分布范围比较大且在空间上连续,因此该区具有良好的找矿前景.



阴影—异常区;空白—正常区。

图5 金狮岭地区U成矿异常分布

Fig.5 Anomalous distribution of U mineralization in Jinshiling district

## 4 结论

本文对湖南郴州金狮岭地区进行了地面伽马测量并对测量数据进行分形分析,得出如下认识:

1) 该区U含量分布具有双分形特征,第一个分形分维值( $D_1 = 0.083$ )很小,代表了第一次地质作用和背景值;第二个分形分维值( $D_2 = 2.523$ )较大,代表了后期地质作用的叠加并发送了较强烈的铀成矿作用.分形临界值(3.37  $\mu\text{g/g}$ )可以作为成矿异常下限值.

2) 金狮岭地区具有较强的U多金属成矿异常,具有较好的找矿前景.

3) 分形理论为地面伽马测量数据的处理和分析提供了有效的方法,对成矿异常和找矿远景区分析具有较好的作用,值得我们开展进一步的研究.

## 参考文献:

- [1] 刘菁华,王祝文,田钢,等.地面伽马能谱测量在浅覆盖区地质填图中的应用[J].地质与勘探,2003,39(2):61-64.
- [2] 孙建孟,李召成.应用自然伽马能谱测井确定粘土矿物类型和含量[J].石油大学学报(自然科学版),1999,23(4):42-45.
- [3] 徐皓,吕希华.伽马能谱测量在乌拉嘎金矿外围柳树河地区找矿中的应用[J].吉林地质,2009,28(4):72-75.
- [4] 侯新生,马英杰,周蓉生.地面 $\gamma$ 能谱和 $\alpha$ 杯测量在寻找铀(金、铜)矿产中的应用[J].成都理工学院学报,1998,25(1):8-12.
- [5] 张文字,周四春,张国亚.粤北某铀矿勘查区地气测量与 $\gamma$ 能谱方法异常特征分析[J].科学技术与工程,2015,15(28):120-124.
- [6] 刘维国,杨世发,邱元德,等.川北砂岩型铀矿地区 $\gamma$ 能谱测量找矿模式的研究[J].成都理工学院学报,1994,21(3):87-95.
- [7] 曹秋义,山亚,张恩,等.地面伽马能谱测量在铀矿找矿中的应用研究-以黑龙江省嘉荫县磨石山地区为例[J].物探与化探,2016,40(4):701-704.
- [8] 刘超卓,孙立杰,牛法富.闪烁 $\gamma$ 能谱仪工作过程的实验设计[J].实验技术与管理,2012,29(10):76-80.
- [9] 贾景光.基于NaI(Tl)探测器的 $\gamma$ 能谱分析技术及软件设计[D].衡阳:南华大学,2011.
- [10] TURCOTTE D L. Fractals in petrology[J]. Lithos, 2002, 65(3/4):261-271.
- [11] CHENG Q, AGTERBERG F P, BALLANTYNE S B. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods[J]. Journal of geochemical exploration, 1994, 51(2):109-130.
- [12] 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.
- [13] 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):334-342.
- [14] 成秋明.成矿过程奇异性与矿产预测量化的新理论与新方法[J].地学前缘,2007,14(5):44-55.
- [15] 成秋明.成矿过程奇异性与矿床多重分形分布[J].矿物岩石地球化学通报,2008,27(3):298-305.
- [16] LI Q, CHENG Q. Visual Anomaly: A GIS-based multifractal method for geochemical and geophysical anomaly separation in Walsh domain[J]. Computers and geosciences, 2006, 32(5):663-672.
- [17] AGTERBERG F P. New applications of the model of de Wijs in regional geochemistry[J]. Mathematical geology, 2007, 39(1):1-26.