

岩石地球化学异常下限的确定方法对比 ——以云南思姑锡矿区为例

李前志, 周 军, 刘 磊, 张继荣, 张建超

(长安大学地球科学与资源学院, 西安 710064)

摘要: 文章以云南思姑锡矿区周边岩石的X荧光化探样品中的Sn元素为研究对象,分别采用传统统计法、勘查数据分析和多重分形法确定异常下限,并对各方法在研究区的使用效果进行了对比。勘查数据分析法圈定的异常比已知矿床、矿化带范围小,异常较为分散;传统统计法圈定的异常与已知矿床、矿化带范围基本吻合,且较为连续,但漏掉很多弱小异常;多重分形法圈定的异常与已知矿床、矿化带范围几乎完全吻合,异常连续性好,没有漏掉弱小异常,并圈定出一些未知的异常区域,为下一步矿区外围找矿工作提供了重要参考。

关键词: 思姑锡矿;岩石地球化学测量;异常下限;勘查数据分析法;多重分形分布法;云南省

中图分类号: P632.2 **文献标识码:** A

0 引言

地球化学异常下限的确定是勘查地球化学工作的重要工作,它关系到能否识别出与成矿有关的矿化信息,直接决定着勘查地球化学工作的成败。目前确定地球化学异常下限的方法很多,较常用的有传统统计法^[1]、累计频率法^[2]、概率格纸法^[3]、直方图解法^[4]等。由于地球化学数据具有随机性、确定性和空间结构性的特征,而以正态分布为前提的上述方法忽视了地球化学数据的空间分布,不能准确地反映真实的地质信息。新兴的分形几何是刻画空间不规则形体的一种比较有效的工具,分维值可以表征空间不规则形体的确定性本质^[5],因此,越来越多的地球化学家采用分形方法来确定元素的地球化学异常下限^[6-8]。由于地质背景和成矿模式的复杂多样性,各种方法各有优势,又受自身应用条件的局限,至今还没有一种普遍适用的异常下限确定方法。笔者认为,采用多种方法计算异常下限,再结合地质背景综合分析后确定异常下限是目前圈定异常

的一种有效途径。本文以云南思姑锡矿区为研究区,采用传统统计法、勘查数据分析和多重分形分布法等3种方法分别计算异常下限,根据异常下限值圈定异常,通过与已知矿体、矿化带分布范围对比,确定计算异常下限的最优方法,为区域地球化学研究提供参考。

1 矿区地质特征

云南思姑锡矿区位于三江褶皱系成矿带的高黎贡山—潞西复背斜北中段西部,高黎贡山东坡花岗岩岩体以东。区域内岩性简单,地层主要为石炭系板岩、大理岩、片岩,岩浆岩主要为花岗岩和伟晶岩^[9]。断层走向以NW-NNW向、NE向和近EW向为主,其控制着锡矿化的分布(图1)。

矿区出露地层单一,除部分地段分布有第四系覆盖物之外,主要为石炭系板岩、片岩、大理岩,变质强烈的局部地区可见千枚岩等。

矿区岩浆岩特别发育,出露大量侵入岩体,主要为二长花岗岩和各类脉岩。花岗岩分布在马娃卡一

收稿日期: 2014-11-19; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 李前志(1990—),男,硕士研究生,研究方向为地质化探遥感多元信息综合找矿。通信地址:陕西省西安市雁塔区育才路长安大学雁塔校区;邮政编码:710064;E-mail:qianzhil@126.com

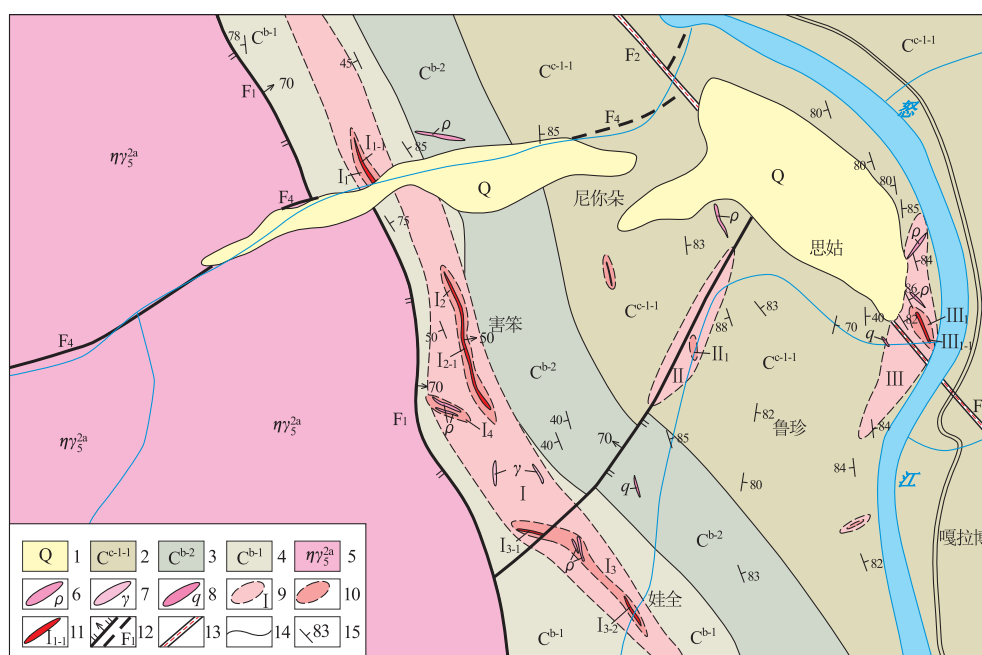


图1 云南思姑锡矿区地质图

Fig. 1 Geologic map of Sigu Sn deposit in Yunnan

1. 第四系; 2. 石炭系三段下亚段下岩组; 3. 石炭系二段上亚段; 4. 石炭系二段下亚段; 5. 燕山期早期二长花岗岩; 6. 伟晶岩脉; 7. 花岗岩脉; 8. 石英脉; 9. 矿化带及编号; 10. 矿化体及编号; 11. 矿体及编号; 12. 实测及推测断裂; 13. 剪性挤压带; 14. 地质界线; 15. 地层产状

娃全断层(F_1)以西,与石炭系呈断层接触;岩脉主要为伟晶岩脉、石英脉、花岗岩脉。伟晶岩脉的母岩是二长花岗岩,是花岗岩岩浆活动后期的产物。伟晶岩与锡矿化密切相关,常常形成云英岩化锡石-石英矿脉。

矿区断层主要有4条: NW-NNW向马娃卡一娃全断层(F_1)、NW向思姑剪性挤压带(F_2)、NE向尼你朵断层(F_3)以及近EW向马娃卡河断层(F_4)。锡矿化受构造控制较明显。

研究区位于三江褶皱系成矿带,据云南省地质矿产勘查开发局资料,区域Sn, Pb, Zn, Cu, Ag, Mo等元素的背景值普遍偏高,富集系数大,说明本区域具有有利的成矿地质背景。

2 地球化学异常下限的确定

2.1 数据获取

本次研究采用X荧光分析仪进行岩石地球化学测定。X荧光分析仪可同时对5种以上元素进行定性、定量测定,检出限达 $10 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$,在原位精度达2%~10%^[10]。由于其快速、经济、有

效的特点,近年已广泛应用于矿产资源评价、矿山开采和选冶过程等方面^[11-12]。X荧光分析仪的结果为相对数据,没有标准单位,为了使分析结果与定量的化学分析相比较,正样由保山地质实验室分析,副样用X荧光分析仪测定,建立X荧光分析仪分析与化学分析的近似定量关系。对比分析表明,X荧光分析仪测试结果比较可靠,满足本次工作需要^[13]。

2.2 传统统计法确定异常下限

传统统计法确定异常下限以地球化学数据分布符合正态分布或对数正态分布(包括经过反正弦、反余弦、平方根等变换后满足正态或对数正态分布)为前提,按照地球化学普查规范(DZ/T 0011—91)的要求,采用平均值加2倍均方差($\bar{x} + 2s$)作为异常下限。用传统统计法确定异常下限之前,先对Sn元素做元素偏度、峰度检验,检验Sn元素分布是否满足正态分布或对数正态分布。

据偏度、峰度检验方法^[14],当偏度 $< \pm 2\sqrt{6/N}$,峰度 $< 2\sqrt{24/N}$ 时,N为数据个数,可认为元素分布形式符合正态分布或对数正态分布。本次采样数目为114,故偏度和峰度要求分别不超过0.458 8, 0.917 7。Sn元素原始偏度为0.275 9,峰度为-0.371 1,原始数据均满足正态分布;对Sn元

素原始数据取对数后,偏度为-0.046 4,峰度为-0.330 5,也满足于正态分布,且取对数后 Sn 元素的偏度、峰度更小。故对 Sn 元素取对数数据计算异常下限,然后再用指数反算求得异常下限。用传统统计法求得 Sn 元素的异常下限为 30 196。

2.3 勘查数据分析法(EDA 法)确定异常下限

传统统计法要求数据服从正态分布或对数正态分布,但一般原始数据不服从正态分布或对数正态分布,即使经过反正弦、反余弦、平方根等变换后仍然不满足正态或者对数正态分布^[15]。在这种情况下,利用传统统计法确定的异常下限的合理性值得商榷。勘查数据分析法的出现解决了这一问题,它不受分布假设的限制,可以对不服从正态分布或者对数正态分布的数据以及多峰形态的数据,快速确定其异常下限。

勘查数据分析法利用箱图来了解数据的分布情况和确定异常下限^[16]。在箱图中,定义了 5 个参数(四分位数间距 iqr ,负异常上限 lif ,栅栏外上限 lof ,正异常下限 uif ,栅栏外下限 uof),这些参数能够描述数据的重要特点、结构、分布^[17]。具体的做法为:

第一,对数据进行从小到大排序,确定数据的最大值、最小值、25%分位值(Q_1)、50%分位值(Q_2)、75%分位值(Q_3)。

第二,通过下列式(1)一式(5)^[16]来确定四分位数间距 iqr ,负异常上限 lif ,栅栏外上限 lof ,正异常下限 uif ,栅栏外下限 uof 。

$$iqr = |Q_3 - Q_1| \quad (1)$$

$$lif = Q_1 - 1.5 * iqr \quad (2)$$

$$lof = Q_1 - 3 * iqr \quad (3)$$

$$uif = Q_3 + 1.5 * iqr \quad (4)$$

$$uof = Q_3 + 3 * iqr \quad (5)$$

位于 lif 和 uif 之外的所有数据即为异常,其中位于 lof 和 uof 之外的数据称为远异常。从式(4)看出,异常下限仅由四分位数间距 iqr 确定,少量特异值对结果影响很小,较多的特异值也不会对结果产生灾难性后果。实践证明,在化探数据的描述和分析中,勘查数据分析法非常有效^[18]。本次勘查数据分析法确定的异常下限值为 32 154。

2.4 多重分形方法确定异常下限

分形是指局部与总体具有某种相似性的形状,或者是在不同尺度上看起来基本相似的形状,即具有自相似性,而自相似性就是局部与整体在形态、功能和信息等方面具有统计意义上的相似^[19]。用分

维数 D 来定量描述这种自相似性。在地质学领域,分形应用已经非常广泛,如 D J Sanderson 等人对西班牙 La Codosera 金矿矿脉厚度与品位之间的分形关系^[20],丁式江等人对中国金矿床分布的分形研究^[21],施俊法等人对地球化学场的连续多重分形分布模式的研究^[22]等。

目前,利用分形确定地球化学异常下限的方法主要有含量-个数法^[22]、含量-面积法^[23]、含量-距离法^[24]等。鉴于含量-面积法已较为成熟且应用广泛,这里采用含量-面积法确定异常下限。

由分形和含量面积法的定义得出,大于等于元素某一含量值的面积与含量之间存在幂指数关系,由此得到含量-面积法统计模型,即

$$A(r) = Cr^{-D}, r > 0 \quad (6)$$

式中, r 为元素含量值; $A(r)$ 为元素含量大于等于 r 时的面积值; C 为比例常数; D 为分维数。

分形的关键在于求出分维数,将式(6)两端同时取对数,得到式(7):

$$\lg A(r) = -D \lg r + \lg C \quad (7)$$

将数据 $[A(r_1), A(r_2), \dots, A(r_n)]$ 和 $(r_1, r_2, \dots, r_n)$ 分别代入式(7)中,在 Excel, SPSS, Grapher 等软件中投点得到散点图,一般散点会分别在两段或多段直线上,再采用最小二乘法进行分段直线拟合,从而求出斜率 D 。由于人为确定分段分界点所造成的误差较大,为提高精度,采用最优法确定分界点^[25]。散点分布在两段直线上的情况最为常见,以它为例说明如何确定分界点,思路是找到一个分界点 r_{i0} ,使 2 个区间拟合的直线与原始数据之间的残差平方和 $E_i (i=1, 2)$ 在 2 个区间的总和 E (以公式 8 表示)最小。

$$E = E_1 + E_2 = \sum_{i=1}^{i0} [\lg A(r_i) + D_1 \lg r_i -$$

$$\lg C_1] + \sum_{i=i0+1}^n [\lg A(r_i) + D_2 \lg r_i - \lg C_2] \quad (8)$$

式中, r_{i0} 为分界点, D_1 和 D_2 分别为各自区间的斜率,即分维数。 E 值越小,说明方程的拟合优越性越高,能解释的信息量越多。式(6)到式(8)引自文献^[25]。该方法同样适用散点分布在多段直线上的情况。含量-面积双对数图见图 2,异常下限为 27 404。(本次研究中 Sn 元素的 E 值为 0.241 7。)

3 讨论

上述表明,勘查数据分析法确定的异常下限值最高,传统几何法确定的异常下限值次之,基于多重

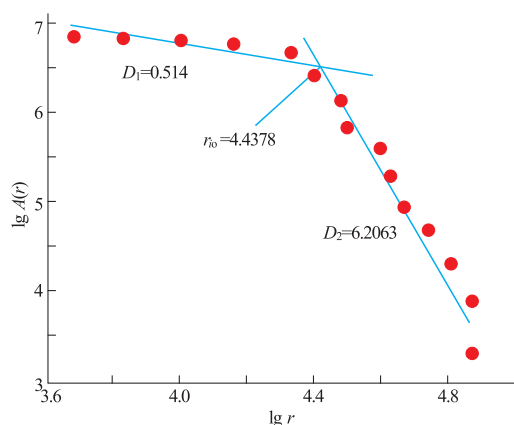


图2 Sn元素分形图

Fig. 2 Fractal diagram of Sn

分形技术的含量-面积法确定的 Sn 元素异常下限值最低。

对岩石地球化学测量数据 Sn 元素采用样条插值得到元素等值线值,在此基础上按照地球化学普查规范(DZ/T0011-91)绘制 Sn 元素异常图(图3,图4,图5)。图中各粉红色区域为元素异常区域。结合矿区已知矿体、矿化带的分布范围,对3种方法圈出的地球化学异常区域进行对比分析。

首先,异常的分布受断层控制非常明显,不仅走向与断层走向相似,而且异常均沿着断层线分布。3种方法圈定的异常区域内1、2、3号异常走向为NW-NNW向,这与马娃卡-娃全断层(F_1)的走向一致,3个异常分布于I号矿化带内。4号异常的走向近EW向,与马娃卡河断层(F_4)走向一致,沿断层展布。5号异常走向NE,与尼你朵断层(F_3)走向一致,沿断层线分布,指示着II号矿化带。6号异常则分布在思姑剪性挤压带(F_2)左侧,指示着III号矿化带。3、5、6号异常在东西方向上呈串珠状,推测研究区域内可能存在着EW向的隐伏构造,文献[9]验证了这条EW向断层的存在。

其次,所有圈定的异常所在位置都有伟晶岩脉存在,这与前述锡矿化与伟晶岩关系密切的地质认识相一致。

但3种方法圈定的异常在很多方面有明显不同。

(1)勘查数据分析法圈定的区域是最小的,比已知矿体、矿化带分布范围小很多,漏掉很多异常区域。异常形态较分散,不够连续,且异常形态均为小范围的块状分布,研究区的大部分地区被识别为背景值。这是因为勘查数据分析法从数据本身的结构

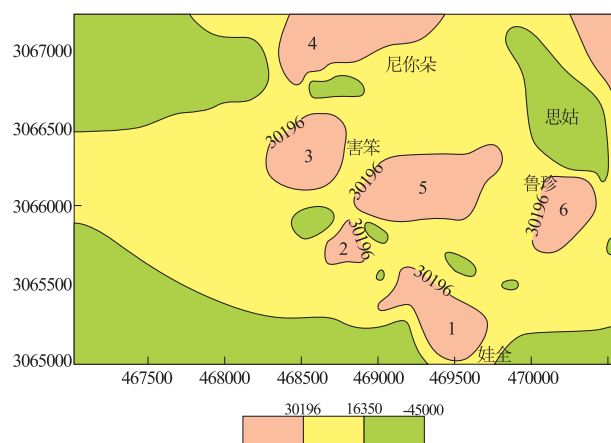


图3 传统统计法的 Sn 元素异常图

Fig. 3 Sn anomaly map (traditional methods)

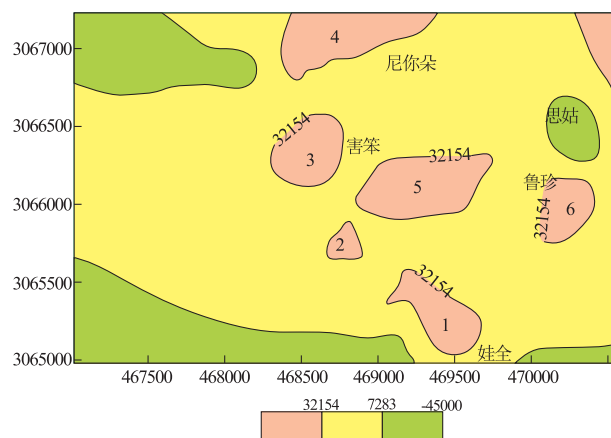


图4 勘查数据分析法的 Sn 元素异常图

Fig. 4 Sn anomaly map (EDA methods)

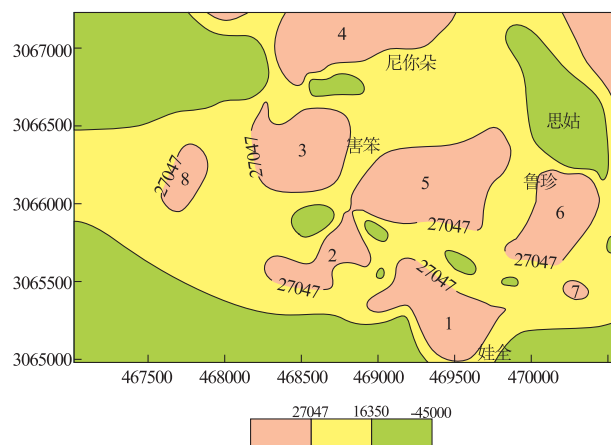


图5 多重分形法的 Sn 元素异常图

Fig. 5 Sn anomaly map (multi-fractal methods)

出发,不要求数据服从正态分布或对数正态分布,它能很好地抵抗特高值和特低值的影响。但在矿区或

个别元素富集区域等高背景值研究区进行勘查地球化学采样时,数据的变化范围大,中高值较多,使得四分位数间距较大,最终确定的异常下限值相对较高,圈定的异常范围较小,漏掉较多的异常,从矿区元素的地球化学特征中看出本次研究区即属于这种情况。

(2)传统统计法圈定的异常区域与已知矿体、矿化带分布范围契合度较高,异常形态连续,呈带状,但漏掉了7号这个弱小异常。这是因为研究区Sn元素数据分布符合正态分布或对数正态分布,满足了传统统计法的使用前提,其应用效果比较好。结合矿区岩石地球化学测量工作,且研究区内Sn元素的富集系数大,以及正态分布时的概率密度,笔者认为研究区中采用平均值加1.64倍均方差($u+1.64\rho$)作为异常下限值更客观一些(数据正态分布时, $u+1.64\rho$ 对应的概率密度为95%),不会漏掉区域内的弱小异常。

(3)含量-面积法圈定的异常区域范围最大,约占地球化学图幅面积15%,与已知的矿化带、矿体的位置几乎全部吻合,没有漏掉比较弱小的7号异常。异常的连续性好,呈带状异常。含量-面积法还圈定了一些思姑锡矿区地质图中没有的异常区域,即8号异常,这是勘查数据分析和传统统计法未圈定出来的,这为开展下一步矿区外围找矿工作提供了重要的信息。因此,基于多重分形理论的含量-面积法是确定云南思姑锡矿区内异常下限值的最优方法,可供以后类似研究参考。

4 结论

(1)传统统计法在原始数据服从对数正态分布和正态分布时,一般采用平均值加2倍均方差($u+2\rho$)作为异常下限。在实际应用中应结合地质背景,适当地调整均方差的倍数,如取平均值加1.65倍标准差甚至1.5倍均方差,这样不会漏掉一些弱小异常。

(2)在矿区或个别元素富集区域等高背景值研究区进行勘查地球化学工作时,采用勘查数据分析法确定异常下限时,由于数据的变化范围大,中高值较多,使得四分位数间距比较大,最终确定的异常下限值相对较高,圈定的异常面积小,漏掉很多异常,故该方法在高背景值研究区的应用效果不好。

(3)基于多重分形的含量-面积法将背景与矿化

异常的形成认为是两个相互独立的过程,更能体现地球化学数据原始特征,其分维数值的大小反映了元素含量的变化性,采用含量-面积法确定的地球化学异常比用勘查数据分析和传统统计法圈定的异常更加客观全面,不会漏掉弱小异常。含量-面积法是研究区确定岩石地球化学异常下限的最优方法。

(4)确定地球化学异常下限应结合实际地质背景,采用多种方法对比研究,选取合适的方法圈定成矿有利靶区。

参考文献:

- [1] Govett G J S, Goodfellow W D, Chapman R P, et al. Exploration geochemistry-Distribution of elements and recognition of anomalies[J]. *Mathematical Geology*, 1975, 7: 415-442.
- [2] Miller R L, Goldberg E D. The normal distribution in geochemistry[J]. *Geochim et Cosmochim Acta*, 1955, 8: 53-62.
- [3] Sinclair A J. Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1974, 3: 129-149.
- [4] 罗先熔, 文美兰, 欧阳菲, 等. 勘查地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 196-199.
- [5] 韩东昱, 龚庆杰, 向运川. 区域化探数据处理的几种分形方法[J]. *地质通报*, 2004, 23(7): 714-719.
- [6] Qiuming Cheng, Agterberg F P, Ballantyne S B. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, 51: 109-130.
- [7] Qiuming Cheng. The perimeter-area fractal model and its application to geology[J]. *Mathematical Geology*, 1995, 27(1): 69-82.
- [8] 陈永清, 张生元, 夏庆霖, 等. 应用多重分形滤波技术提取致矿地球化学异常: 以西南“三江”南段Cu, Zn致矿异常提取为例[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2006, 31(6): 861-866.
- [9] 刘磊. 云南思姑锡矿区地质化探遥感多元信息综合找矿研究[D]. 西安: 长安大学, 2007: 18.
- [10] 任家富, 周建斌, 庾先国, 等. EDXRF-1024便携式高精度X荧光分析仪[J]. *核技术*, 2006, 29(9): 698-700.
- [11] 赵志强, 杜晓冉, 李铭, 等. X荧光分析仪在地质工作中运用实例[J]. *化工矿产地质*, 2005, 27(1): 47-49.
- [12] 花永涛, 程锋, 赖万昌, 等. X荧光分析仪在新疆某地的应用[J]. *物探与化探*, 2006, 30(4): 370-373.
- [13] 付刚, 冯成贵, 刘宏, 等. 云南思姑锡矿区矿化晕测量找矿研究[J]. *地球科学与环境学报*, 2009, 31(2): 160-164.
- [14] 王崇云. 地球化学找矿基础[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 168.
- [15] 王志刚, 赵永存, 孙维侠, 等. 基于稳健统计学确定高潜在污染土壤Cu, Pb基线值[J]. *土壤学报*, 2011, 48(2): 246-254.
- [16] 胡以铿. 地球化学中的多元分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.

- [17] Emmanuei J M. Carranza. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS[M]. The Netherlands, 2008.
- [18] 史长义. 勘查数据分析(EDA)技术的应用[J]. 地质与勘探, 1993, 29(11): 52-58.
- [19] 袁峰, 张颖慧, 周涛发, 等. 基于分形方法的合肥大兴地区土壤中污染元素 Hg 异常下限[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2259-2263.
- [20] Sanderson D J, Roberts S, Gumiel P. A fractal relation between vein thickness and gold grade in drill core from La Codosera Spain[J]. Economic Geology, 1994, 89: 168-173.
- [21] 丁式江, 翟裕生, 邓军. 中国金矿床分布的分形研究[J]. 地质论评, 1998, 44(2): 188-193.
- [22] 施俊法. 浙江省诸暨地区元素地球化学分布与标度律[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2001, 26(2): 167-171.
- [23] Cheng Q M. Multifractality and spatial statistics[J]. Computer & Geosciences, 1999, 25(9): 949-962.
- [24] Cheng Q M, Agterberg F P. Multifractal modeling and spatial point processes[J]. Mathematical Geology, 1995, 2(7): 833-845.
- [25] 杨震, 梅红波. 基于 MAPGIS 的含量-面积法确定异常下限: 以个旧西区为例[J]. 物探化探计算技术, 2013, 35(4): 477-480.

Comparison of low limit determination methods of petro-geochemical anomaly—Taking Sigu area of Yunnan as an example

LI Qianzhi, ZHOU Jun, LIU Lei, ZHANG Jirong, ZHANG Jianchao

(School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The article takes the Sn analysis of X-ray fluorescence of geochemical exploration in Sigu area of Yunnan as an example. Results of the traditional statistical method, EDA method and multi-fractal approach are compared. Anomlies outlined with EDA method are smaller and more discontinuous and scattered than the known ore deposit and mineralization; Anomlies outlined with the traditional statistical method basically coincided with the known ore deposit and mineralization and more continuously but some weak and small anomlies disappeared; Anomlies outlined with multi-fractal approach basically coincided with the known ore deposit and mineralization and more continuously with appearance of unknown anomlies and without disappearance of the weak and small anomlies thus providing more possible targets for further prospecting.

Key Words: Sigu Sn deposit; petro-geochemical survey; low limit of anomaly; EDA method; multi-fractal method; Yunnan province