

文章编号: 1009-3850(2009)03-0071-08

云南麻栗坡地区成矿元素的多重分形特征与成矿预测

刘书生^{1,2}, 丁俊¹, 张林奎¹, 张斌¹, 石洪召²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 中国地质科学院 研究生部, 北京 100037)

摘要: 对麻栗坡地区 1:5 万水系沉积物测量数据的统计分析表明, W、Sn、Pb、Zn、Cu 等主要成矿元素不完全服从正态分布和对数正态分布, 而表现出多重分形结构特征。因此, 采用传统的地质统计学方法提取异常显然不能客观地反映区域的成矿元素分布特征。本文引用了“C-A”多重分形模型来研究该地区成矿元素特征, 并有效提取各元素异常下限值, 结合区域成矿地质背景, 对区内成矿潜力进行初步预测。实践表明, 分形方法所提取的剩余异常与研究区的矿产分布较为相符, 较好地反映了研究区成矿元素分布规律, 为研究区成矿预测提供了依据。

关键词: 麻栗坡地区; 成矿元素; 多重分形模型; 异常下限; 成矿预测

中图分类号: P622⁺. 2

文献标识码: A

1 前言

地球化学场可表征某一区域地球化学元素含量的空间分布及其时空结构^[1], 是一个受不同期次地质作用的影响而具有极其复杂的多重(多变量)标量场。其在一定程度上反映了元素矿化富集及空间变化的规律, 为成矿预测提供指示作用。

通过对地球化学数据的统计分析和计算各类地质体中元素的丰度, 可以揭示出元素的分布和共生组合规律, 并划分出地球化学异常和背景值。对于具有一定空间结构的区域化变量且并不完全随机的地球化学数据^[2], 传统的地质统计学方法因没有考虑样品的空间分布和统计特征随空间度量尺度的变化性, 仅仅在度量元素的一般值时效果较好, 而并不具备刻画异常值的功能^[3~5]。分形理论则是研究这类复杂系统时空结构特征的有效途径^[6], 它是一种研究具有自相似或统计自相似场的分布规律和描述场值的奇异性的有效方法, 可以用于研究与矿化有关的微量元素在岩石、水系沉积物和土壤等介质中

的空间分布和富集规律^[7~10]。成秋明等指出, 与矿化有关的微量元素地球化学场具有多重分形结构特征, 微量元素的背景值往往服从正态分布或对数正态分布, 而高低异常值服从多重分形分布^[3~5]。

对云南麻栗坡地区 1:5 万水系沉积物地球化学元素数据进行统计分析的结果表明, 该区主要成矿元素的含量值不完全服从正态或对数正态分布, 而体现出多重分形结构特征。因此, 本文应用“C-A”(即含量/面积)多重分形模型方法, 对区内 7950 个水系沉积物样品的 W、Sn、Pb、Zn、Cu 主要成矿元素进行了研究分析, 提取其异常, 结合区内地质背景对该区多金属矿产进行初步预测。

2 区域地质背景

研究区位于云南东南部麻栗坡、马关、西畴等地。从构造上来看, 本区位于扬子陆块东南部被动边缘褶皱带西南端(图 1), 属越北古陆边缘拗陷带, 是南岭钨锡多金属成矿带的西延地段, 为我国著名的滇东南锡多金属成矿区。

收稿日期: 2000-04-29 改回日期: 2009-06-19

作者简介: 刘书生(1977—), 男, 硕士, 主要从事矿产资源预测与评价研究。Tel: E-mail: cdlshusheng@cgsg.gov.cn

资助项目: 中国地质地质调查局“云南麻栗坡地区 1:5 万矿产远景调查”(1212010880402)

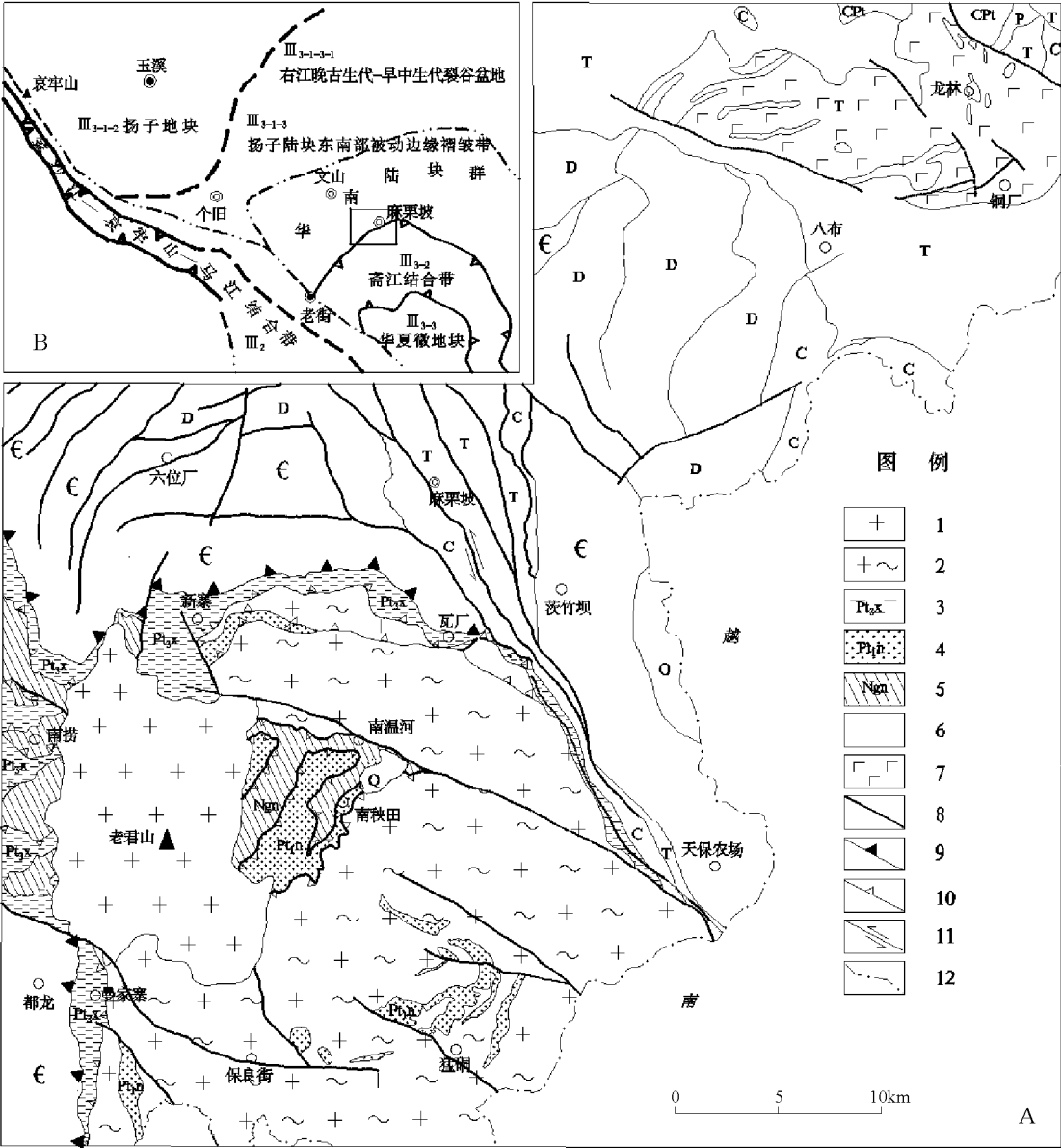


图 1 麻栗坡地区区域地质简图

A 据 1:5万和 1:20万地质图简化汇编; B 示意研究区在华南大地构造中的位置, 据林方成, 2006修改。1 燕山期花岗岩; 2 晚志留世花岗岩; 3 新寨岩组; 4 南秧田岩组; 5. 南捞片麻岩; 6 超基性岩; 7. 变质基性火山岩; 8 断层; 9 基底剥离断层; 10. 韧性剥离断层; 11 走滑断层; 12 研究区

Fig 1 Simplified regional geological map of the Malipo region

A Modified from the 1:50 000 and 1:200 000 geological maps; B Modified from Lin Fangcheng 2003 1=Yanshanian granite 2 = Late Silurian granite 3= Xinzhai Formation Complex 4= Nanyangtian Formation Complex 5= Nanlao gneiss 6= ultrabasic rock 7= metamorphic basic volcanic rock 8= fault 9= basal peel fault 10= ductile peel fault 11= strike slip fault 12= study area

区内构造十分发育, 以南温河变质核杂岩和文山麻栗坡断裂为主体构造格架, 不同期次的构造相互重叠。南温河变质核杂岩构造对区内地层、岩浆活动、变质作用及区域矿产起着控制改造作用。

研究区出露的地层以元古界和寒武系、泥盆系及三叠系为主, 并有少量奥陶系、石炭系及二叠系分布(图 1)。元古界由猛洞岩群 (Pt_m)及新寨岩组 (Pt₃x)组成, 猛洞岩群由变粒岩 片麻岩类、斜长角

闪岩类、片岩类和石英岩类岩石组成,其与前泥盆纪花岗岩麻岩、燕山期中酸性侵入岩及花岗伟晶岩构成变质核杂岩内核。新寨岩组是南温河变质杂岩的过渡层(剥离带),韧脆性变形变质强烈,是锡多金属矿的主要赋矿位层,主要岩性为片岩类、千枚岩类夹大理岩透镜体。古生代地层多呈环状,围绕南温河变质杂岩分布,分布面积最广的为寒武系,其下部为浅海相石英杂砂岩建造,向上渐变为浅海相及滨海相碳酸盐建造和砂泥质建造。中生代地层主要出露在研究区东北部,为一套厚度巨大的类复理石建造。

区内岩浆岩发育,按岩性可分为基性岩和酸性岩两类,以酸性岩为主。酸性岩分布于变质核杂岩核部,包括志留纪南温河岩基(γ_3^1)和白垩纪老君山花岗岩体(γ_5^1)。南温河岩基(γ_3^1)为上地壳物质重熔形成的“S”型花岗岩,主要岩性为灰浅灰色斑状、片麻状细中粒花岗岩。老君山花岗岩体(γ_5^1)主体为轴向近南北向的椭圆状多期次侵入的复杂花岗岩体,W、Sn、Ag、Pb等含量较高,属含矿花岗岩,在岩体内部及边缘接触带上,形成多处云英岩型和夕卡岩钨锡矿床。基性岩主要分布在研究区东北部,为一蛇绿岩套,主要岩石单元为铁镁质超基性岩、堆晶岩群(辉绿岩、辉长岩)、玄武岩。

区内主要发育钨、锡和多金属矿。围绕南温河变质核杂岩,呈“核部-滑脱带-盖层”的分布规律:核部基底变质岩系控制似层状白钨矿床及燕山期花岗岩控制锡多金属矿床,剥离断层控制锡多金属矿床,盖层正断层系控制寒武系田蓬组碳酸盐岩的铅锌铜矿床。

3 “C-A”分形模型及实现方法

所谓分形,是指局部与总体具有某种相似性形状,或者在不同尺度上具有基本相似的形状,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性。适当地放大或缩小分形对象的几何尺寸,其整个结构并不改变,叫做标度不变性。这种标度不变性,既非完全规则,也非完全随机,而是规律性与随机性的结合。由随机过程产生的现象,如果各种尺度的控制因素均对其施加影响,则这种现象极有可能成为分形。

地球化学元素的含量在很大程度上反映了地质现象的结构特征。某一矿区内岩石中的微量元素含量或者矿体的矿石品位均可看成是区域地质过程和矿化过程的综合产物。矿化过程尤其是与热液有关

的成矿过程往往呈多期次重复性。每次矿化作用均有可能导致岩石中某些微量元素的富集和贫化。这种多次重复的矿化叠加过程最终导致复杂的具有多重分形分布特征的微量元素空间分布格局^[5]。

3.1 “C-A”分形模型

“C-A”(即元素含量-面积)分形模型可表示为:

$$A(\rho) \propto \rho^{-D} \quad (1)$$

式中 $A(\rho)$ 表示元素含量大于某一值 ρ 的区域面积, D 为分维数, $\propto$ 代表成正比关系。随着 ρ 值的提高, A 总是相应的减小, A 随 ρ 变化的规律取决于分维数 D 的大小。分维数 D 定量地刻画了地球化学元素含量分布在该无标度区内的变化复杂程度。而如果 $A(\rho)$ 与某特征值 f 、 f 存在如下关系:

$$A(\rho \leq f) \propto \rho^{-D_1}, A(\rho \leq f_2) \propto \rho^{-D_2} \dots \dots, \text{则表明}$$

元素含量在空间上的自相似性存在局域特征,即具有多重分形特征。这就说明在该区域内,元素含量在空间上至少存在两个或两个以上不同层次的分布。同时也反映在该区域的背景场和异常场范围内存在不同的 D 值。不同的 D 值在双对数 ($\lg$ - $\lg$) 坐标图上决定拟合直线不同的斜率,而不同直线段所对应的含量分界值往往可作为区分背景和异常的临界值。这就为应用该模型来研究地球化学的分布规律和区分矿化异常与背景提供了理论依据。

3.2 实现方法

(1) 绘制等值线图,求取面积、含量数据集。基于 MapGIS 软件,在空间分析模块下的数字地面模型 (DEM) 子系统中,将地球化学数据进行离散数据网格化处理,然后绘制相应的平面等值线图。等值线图上的区文件 (*.wp) 将会记录下每一个分带的面积、起始值、终止值。记 $A(\rho)$ 为大于元素含量 ρ 所对应的平面面积之和。这样,根据区属性统计求出每个元素对应的面积、含量数据集 $\{A(\rho_1), A(\rho_2) \dots, A(\rho_n)\}$ 和 $\{f_1, f_2 \dots \dots f_n\}$ 。

(2) 求取分维数 D 。将所获得的数据集 $\{A(\rho_1), A(\rho_2), \dots, A(\rho_n)\}$ 和 $\{f_1, f_2 \dots \dots f_n\}$ 绘在双对数坐标纸上。如果投点大致分布在一条直线上,分维数 D 可以利用直线的斜率求出,亦即,将数据集 $\{A(\rho_1), A(\rho_2) \dots A(\rho_n)\}$ 和 $\{f_1, f_2 \dots \dots f_n\}$ 代入 (1) 式,然后两边取对数,将 (1) 式化为一元线性回归模型:

$$\lg A(\rho) = -D \lg f + \lg K \quad (K > 0 \text{ 为比例常数}) \quad (2)$$

采用最小二乘法求出斜率 D 的估计量,即为分维数。如果投点大致分布在二段直线上时,可采用分段拟合。为了提高分界点确定的客观性,在两个

区间用最小二乘法回归时用最优化方法确定分界点,其基本原理为:找出合适的分界点 x_k 使用各区间拟合的直线与原始数据之间的剩余平方和 $E_i(i=1,2,\dots)$ 在两个区间的总和最小,其中:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + \sum_{i=1}^b [A(\rho_i) + D_1 |g_{ri} - g_{Rj}|^2] + \sum_{i=b+1}^n [A(\rho_i) + D_2 |g_{ri} - g_{Rj}|^2] + \dots \quad (3)$$

式中 x_k 是分界点, $D_1, D_2, \dots$ 分别为相应区间的斜率分维数。为了检验回归方程的显著性,对每个回归方程都要进行相关系数检验及方差分析检验。

4 应用结果及综合分析

4.1 水系沉积物元素分形特征

应用“C-A”分型模型,对麻栗坡地区1:5万水系沉积物测量数据(Cu、Pb、Zn、Au、Ag等12种元素)进行分形统计分析,得到元素含量-面积双对数图,即 $\log(\eta) - \log(A)$ (图2)。图2中 D_1, D_2 为经最小二乘法拟合的直线斜率,即该标度区的分维数,各回归方程均进行了显著性检验。分析表明:

(1)在 $\log(\eta) - \log(A)$ 图中,各元素含量与面积的投影点呈现出连续的曲线分布,显示出一种连续多重分形特征,拟合于两条或两条以上直线段,表明各元素含量在空间分布普遍存在两个或两个以上无标度区。从图2可以看出:第一拟合直线段(D_1)非常平直,它所代表的无标度区反映了某种与局部地质因素有关的元素含量贫化现象,即元素低背景区^[11-12]。第二直线段(D_2)较为平缓,与第一条直线间无明显的转折点,反映了元素含量的非奇异背景分布,面积较大,为元素的主要含量区间^[12]。而第三条直线(D_3)比较陡,其所代表的无标度区反映了与区内矿化现象有关的异常分布,为元素含量的高值区或异常区。两条直线之间的拐点对应的元素含量值可以作为划分异常和背景的分界值^[5-6]。

(2)分维数 D 定量地刻画了元素含量在空间分布上的丛集程度和不均匀程度。在同一无标度区间内, D 值越小,拟合直线斜率越低,直线越平缓,反映元素从低含量点到高含量点下降频率越慢,这表明元素含量在空间上的丛集程度越高,空间分布越不均匀,存在较多高含量点的分布,并有富集成矿的趋势。而 D 值越大,则高含量值分布较少,表明富集成矿可能性较低。对各元素 $\log(\eta) - \log(A)$ 图分维数 D_2 的统计,大致分为三类(表1),I类、II类元素

D 值偏小,具有高丛集多重分形模式。通过Q-Q正态分布图检验,不服从正态分布,包含了该地区大多数成矿元素,具有该模式的元素在其所处的地球化学区块内存在很大的局部富集成矿的可能性;而III类为 D 值偏大,从图形上可以看出曲线与直线的拟合较好,存在简单的多重分形模式。通过Q-Q正态分布图检验,均成正态分布,在区内没有明显的富集,局部成矿可能性概率较小。

表1 元素的分维值 D_2 范围及分类
Table 1 Classification of the D_2 values for the elements

类别	D_2 范围	元素
I	0.5—1	W, Sn, As, Bi, Sb
II	1—1.5	Au, Hg
	1.5—2.0	Cu, Pb, Zn
III	> 2.0	Mo, Ag

4.2 地球化学异常的提取

通过对各元素的多重分形特征曲线的分析,我们可以计算出两个无标度空间(D_2, D_3)的含量临界值,以此作为元素的异常下限,并与传统的异常计算方法($T = \bar{X} + 2S$)相比较(表2),明显看出传统方法所求得的异常下限相对分形算法所得的值偏高。主要原因是研究区成矿地质环境复杂,存在大面积花岗岩区和基性岩浆杂岩的地球化学高值区,导致整个区域的地球化学数据均值及样本偏差值偏大,不服从对数正态分布或正态分布,表现出元素的多重分形结构特征。显然,应用分形方法能有效消除局部高背景区对异常圈定的影响,从而有效地提取不同背景上的异常,与客观情况更为相符。

根据各元素异常下限,本文以区内主要成矿元素W、Sn、Pb、Zn、Cu为例圈定单元素异常图(图3),从图中可以看出,各元素异常浓集中心突出,分带性好,异常特征显著,分布符合地质规律,与区域上矿产分布规律基本一致:(1)分布于研究区西南角与岩体密切相关的异常区主要围绕变质核杂岩核部燕山期花岗岩接触带及岩体内部不同期次岩体接触带产出,W、Sn为主,面积较大,W最高峰值为 3000×10^{-6} ,衬度为7.45,其中老君山异常较为典型;(2)分布于新寨岩组(P_3s)与主拆离断层有关的异常主要位于核杂岩基底与盖层之间的拆离断层带内,异常面积较大,以Sn、Zn为主,其中都龙漫家寨一带异常最大,面积达 40 km^2 ,Sn最高峰值为 2300×10^{-6} ,衬度为3.65;(3)分布于研究区西北部与正断层系密切相关的异常主要位于寒武系地层

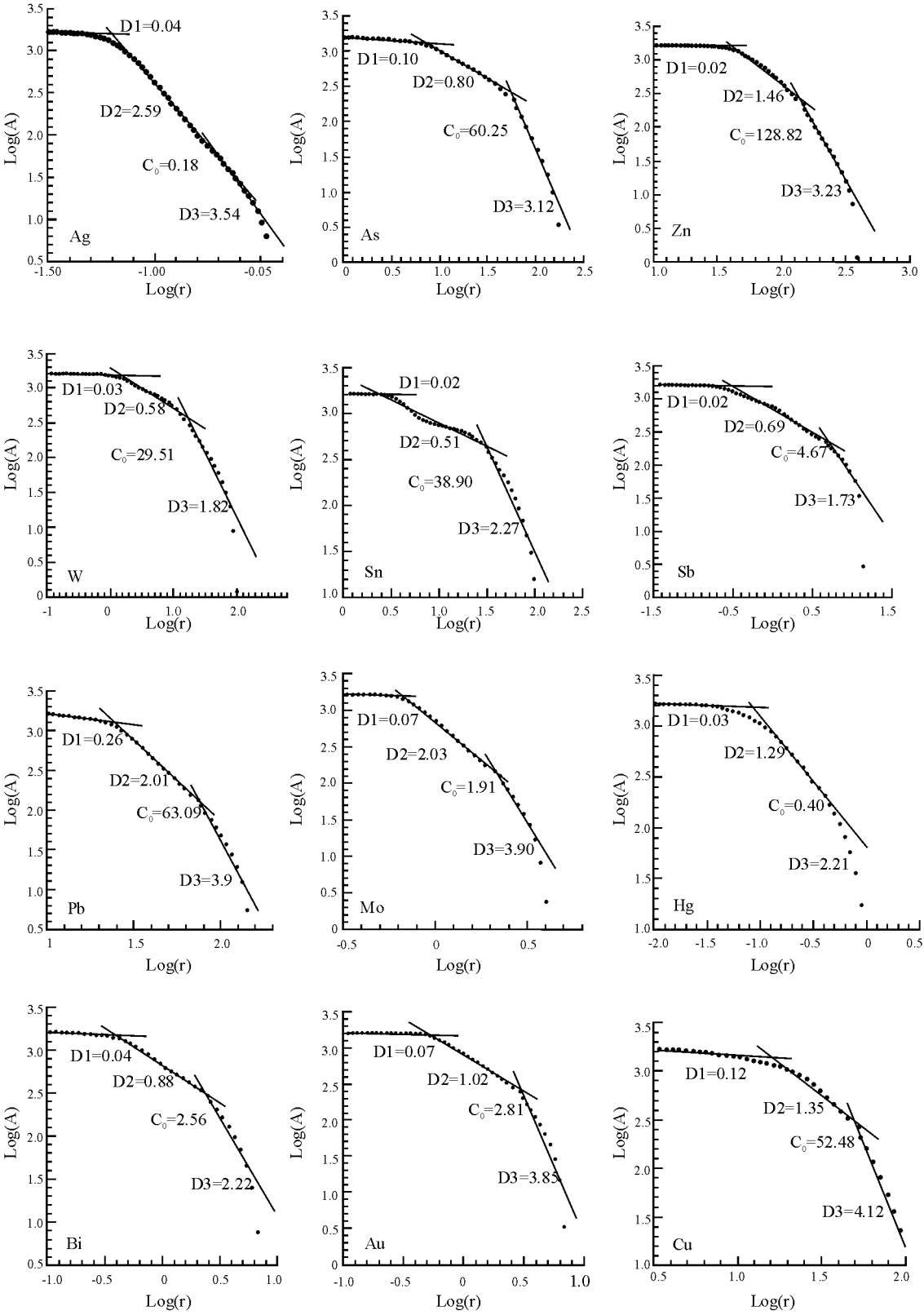


图 2 麻栗坡地区元素含量 $\rho > \gamma$ 的面积 A 与 r 的双对数图

Fig 2 Log-log plots of different element contents (r) and areas (A) in response to the element contents ($\rho > \gamma$) in the Malipo region

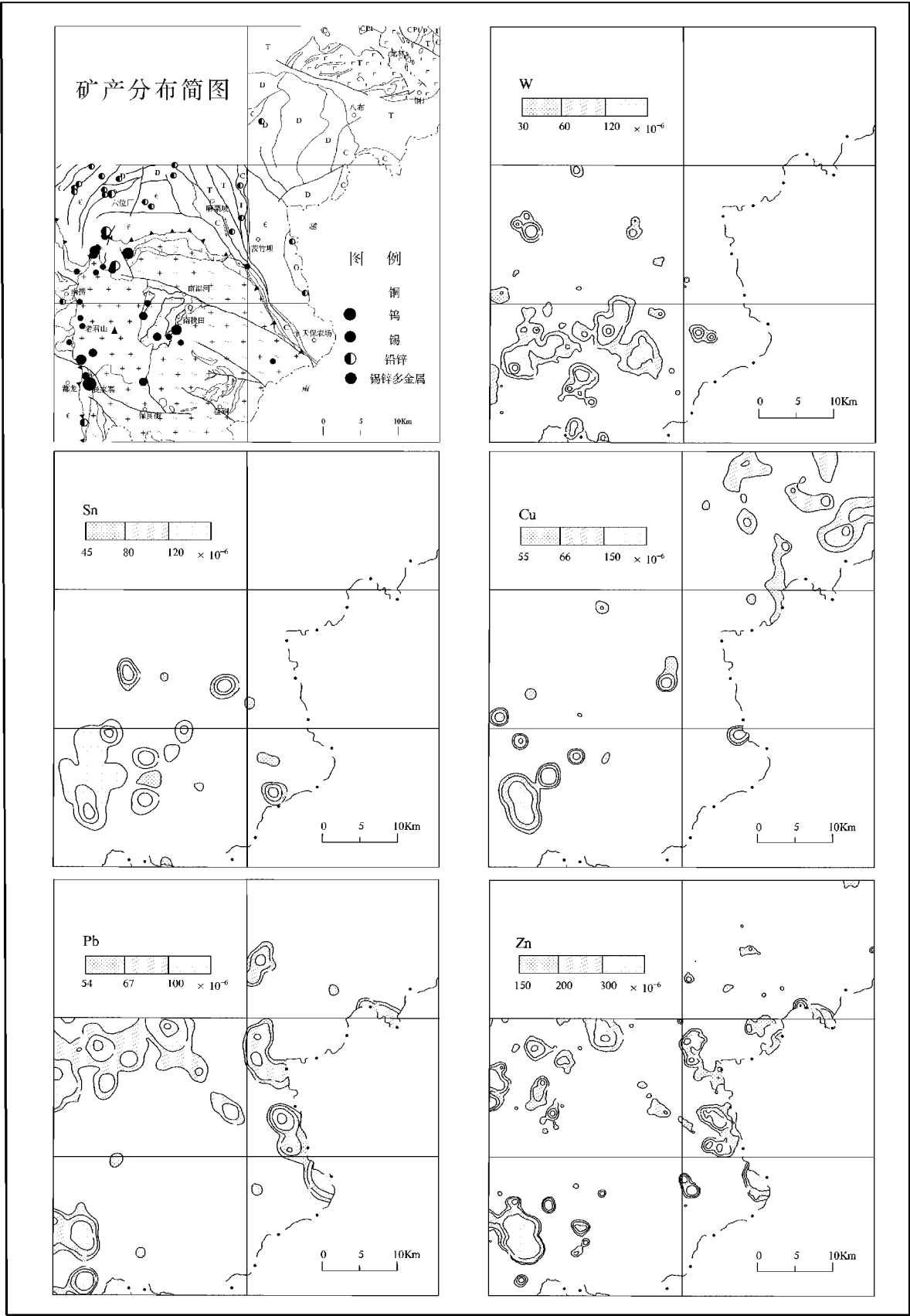


图 3 单元素异常图

Fig 3 Diagrams showing the distribution of the single elemental anomalies and associated mineral resources

表 2 麻栗坡地区异常下限对比表
Table 2 Threshold values for the elements from the Malipo region

元素	Cu	Pb	Zn	Ag	Sn	W	Mo	As	Sb	Bi	Hg	Au
均值 $\bar{X}$	31.94	36.90	89.65	0.09	21.56	12.19	1.18	27.76	2.19	1.43	0.20	1.66
样本偏差 S	25.81	27.60	70.66	0.056	25.53	19.40	0.79	36.08	3.30	1.59	0.21	1.60
对数下限	83.56	92.1	230.97	0.202	72.62	50.99	2.76	99.92	8.79	4.61	0.62	4.86
分形下限	52.48	63.09	128.82	0.18	38.90	29.51	1.91	60.25	4.07	2.56	0.4	2.81

Au为 10^{-9} , 其余元素为 10^{-6}

中,受到变质核杂岩盖层中发育的次级断裂控制,多分布于断裂带的交汇处,以 Pb-Zn 为主; (4) 分布于研究区东部寒武系地层中并受文山-麻栗坡断裂控制的异常呈近圆形状产出,以 Pb-Sn 为主; (5) 分布于研究区东北部与出露该地区的基性火山岩有关的异常,面积达 30 km², Cu 具有明显的浓度分带,最高峰值为 1500×10^{-6} , 衬度为 2.7。

5 成矿预测

根据区域成矿地质背景、区域成矿规律及 1:5 万水系沉积物异常特征,划分出 5 个成矿远景区(I、II、III、IV、V)。

远景区 I: 位于变质核杂岩的核部,老君山-沟秧河一带, W-Sr 高温元素组合地球化学特征显著,围绕燕山期花岗岩、老基底地层 (P₁N) 分布,是寻找夕卡岩型 W-Sr 矿床的有利区域。

远景区 II: 位于变质核杂岩主拆离断层 (滑脱带) 内都龙-新寨一带, Sn-Pb-Zn 等亲硫元素组合特征较为显著,异常浓集中心分布于新寨岩组 (P₁X), 是锡锌-铅锌矿床的主要远景区。

远景区 III: 位于研究区西北部六位厂一带, Pb-Zn 等元素异常显著, 是寻找碳酸盐岩铅锌矿床的有利区域。

远景区 IV: 位于研究区东部茨竹坝-天保农场一带,以中低温 Pb-Sr 矿床为主。

远景区 V: 位于研究区东北部铜厂-大丰一带,是寻找喷流沉积型铜矿床的主要远景区。

6 小 结

(1) C-A 多重分形模型不仅考虑了元素含量分布频率,而且考虑了元素含量的空间变化性、空间形态及其形态的自相似性和随尺度的变化性,在一定程度上克服了传统计算方法的局限。该模型应用到麻栗坡地区 1:5 万水系沉积物数据的处理中,解决

了区内由岩体以及矿石堆 (矿渣) 引起的高背景值带来的偏差,较好地 把地球化学背景场和异常场划分出来,有效提取了低背景区的弱异常和隐蔽异常,弥补了传统地质统计方法中所遗漏的具有指示意义的异常,较客观地反映了研究区成矿元素的分布形态。

(2) 根据区内成矿地质背景和区域成矿规律,结合 1:5 万水系沉积物异常特征,在区内划分出了 5 处成矿远景区,对指导区内找矿具有重要意义。

参考文献:

[1] 於崇文,岑况,鲍征宇,等.成矿作用动力学[M].北京:地质出版社,1998

[2] 王仁铎,胡光道.线性地质统计学[M].北京:地质出版社,1988,1—30

[3] CHENG Q. Multifracalitiv and spatal statistics[J]. Computer & Geosciences, 1999, 25(9): 949—962

[4] 成秋明.多维分形理论和地球化学元素分布规律[J].地球科学,2000,25(3): 311—18

[5] 成秋明.空间模式的广义自相似性分析与矿产资源评价[J].地球科学,2004,29(6): 733—743.

[6] 申维.分形理论与矿产预测[M].北京:地质出版社,2002,1—68

[7] 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,2001,26(2): 167—171.

[8] 陈建平,唐菊兴,李志军.混沌理论在三江北段成矿地质条件研究上的应用[J].地质与勘探,2003,39(3): 1—4

[9] 谢淑云,鲍征宇.地球化学场的连续多重分形模式[J].地球化学,2002,31(2): 191—200

[10] 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

[11] 李堃,胡光道,刘才泽.个旧地区地球化学元素的多重分形特征及找矿预测[J].矿产与地质,2006,20(4—5): 498—502

[12] 邹林,彭省临等.青海阿尔茨托山地区地球化学(异常)场的多重分形研究[J].中国地质,2004,31(4): 436—441

Multifractal characteristics and metallogenic prognosis of the ore forming elements in theMalipo region, Yunnan

LIU Shu sheng², DING Jun¹, ZHANG Lin ku¹, ZHANG Bi¹, SHI Hong zha²
(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China)

Abstract: The statistical analyses for the stream sediment samples(scale 1 :50 000) from the Malipo region, Yunnan show that the main metallic elements W, Sn, Pb, Zn and Cu display not the normal or lognormal distribution but the multifractal distribution. The“ C-A” (content area) multifractal model is presented here to obtain the threshold values of individual elements from 7950 samples of stream sediments. The distribution of residual anomalous values based on the multifractal model apparently represents the distribution of the above mentioned metallic elements and associated mineral resources. It follows that the results of research in this paper may provide useful evidence of metallogenic prognosis.

Key words: Malipo region, ore forming elements, multifractal model, threshold values, metallogenic prognosis