

个旧地区化探数据的各向异性及东西矿区的对比研究

刘才泽^{1,2}, 胡光道¹

(1. 中国地质大学(武汉)数学地质遥感地质研究所, 武汉 430074;

2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都 610081)

[摘要]化探数据的各向异性分析对控矿因素分析具有重要的指示作用。据热液成矿理论, 成矿元素含量对数值的空间分布为分数布朗运动, 作者采用对数值的变差函数求解变程 L 、基台 C 以及 Hausdorff 维数 H , 并对其各向异性进行了研究。个旧地区的研究中发现区域范围内 Sn 等成矿元素的分布受北东向、北西向以及近南北向构造的控制。而矿区范围内, 个旧东区还受到近东西向构造的影响, 个旧西区则仍表现出北东向构造的控制作用。为个旧西区的新一轮危机矿山找矿工作提供了依据。

[关键词]化探数据 各向异性 分数布朗运动 个旧地区

[中图分类号]P595 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2007)06-0081-05

0 引言

化探数据的各向异性是近几年来研究的热点问题。其各向异性为矿床的控矿因素分析、成矿规律研究以及矿产资源评价提供了依据。如何从化探数据中获取微弱的找矿信息对新一轮危机矿山找矿工作具有重要意义。

个旧地区处于滨太平洋构造域与特提斯构造域相接的部位, 位于北东向弥勒-师宗断裂、北西向红河断裂、近南北向小江断裂等多条深断裂的交汇部位, 是几个区域地球物理场、区域地球化学场的交汇地段^[14]。个旧锡铜多金属成矿区以南北向的个旧大断裂为界分为东西两个成矿区, 西区北东向、北北东向构造发育; 东区除北东向五子山复背斜及其轴部北东向断裂组发育外, 还发育大量的近东西向构造。已勘探的大型锡多金属矿床绝大多数分布于东区, 如马拉格、高松、松树脚、老厂、卡房矿田; 而西区仅在靠近个旧断裂附近的牛屎坡发现大型残坡积砂锡矿床。

西区的找矿前景, 众说纷纭, 莫衷一是, 近年来的找矿工作断断续续的进行, 一直未发现具规模的矿床。在综合前人成果并进行实地调查中发现, 西区的研究及找矿工作大致存在以下两个方面的问题: 一方面, 西区研究主要围绕花岗岩的成因、演化

及成矿作用进行, 对构造的控岩控矿作用研究不够深入; 另一方面, 西区找矿工作没有很好地借鉴东区成功的经验。

因此, 在对矿区控矿因素研究的基础上, 并进行东西区的对比, 可能会对西区找矿工作起到重要的指示作用, 文章就是基于这一点进行展开的。

1 理论与方法

1.1 瑞利分离定律

个旧锡多金属成矿区存在多种成矿作用^[7,13], 但各类型矿床均与花岗岩有着密切的关系, 与岩浆热液有关的机制是本次研究的理论基础。在成岩成矿过程中, 大多数情况是微量元素在矿物晶体中扩散很慢, 或者是矿物不断地从熔体中通过沉淀移出, 以此来达到矿物表面与熔体的平衡^[15]。这种表面平衡可以用瑞利(Rayleigh, 1896)所发展的描述蒸馏过程的模型来建立定量模型。瑞利分离作用描述的是溶液中晶体的生长, 这种规律首先由 Neuman (1948)、Hollande & Kulp (1949)、Neuman 等 (1954) 应用于岩浆分离过程, Greenland (1970)、Albarede & Bottingar (1972) 进行了修正。根据 Greenland (1970) 所修正的方程, 在岩浆分离结晶作用过程中微量元素的行为可用下式描述:

$$C_L = C_{0,L} F^{D-1} \quad (1)$$

[收稿日期]2006-12-18; **[修订日期]**2007-04-04。

[基金项目]横向合作项目: “个旧西区多元信息综合找矿预测研究”。

[第一作者简介]刘才泽(1976年—), 男, 2007年毕业于中国地质大学(武汉), 获博士学位, 工程师, 现主要从事成矿规律和矿产资源评价方面的工作。

这就是我们常说的分离结晶作用方程,或瑞利分离定律的数学表达式。式中 C_L 为微量元素在熔体中的浓度, $C_{0,L}$ 为微量元素在原始熔体中的浓度, F 为原始熔体分离结晶作用后剩余的部分(或成为结晶度,固结程度), D 为元素在结晶相与熔体之间的总分配系数。对于分离结晶作用时所晶出的固相中的微量元素平均浓度 C_s ,可用下式计算:

$$C_s = C_{0,L} \cdot \frac{1 - F^D}{1 - F} \quad (2)$$

根据能斯特(Nernst)定律,上式可改写成

$$C_s = k \cdot C_{0,L} \quad (3)$$

式中 k 是一个与 F 和 D 有关的常数。

1.2 模型假设

首先假设元素含量在某特定方向 h 上为一维随机过程 $X(h)$ 。并假设在任意相距较小的 Δh 的距离上发生了一次富集或者贫化,而这种富集和贫化过程又是遵循瑞利分离定律的(图1)。

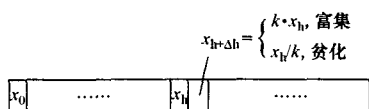


图1 元素富集成矿的空间模型(1维)
($k > 1$, 称富集系数)

其数学表达可简化为:

$$x_{h+\Delta h} = \begin{cases} k \cdot x_h, & \text{富集} \\ x_h / k, & \text{贫化} \end{cases} \quad (4)$$

式中 $x_h, x_{h+\Delta h}$ 分别为元素在 $h, h + \Delta h$ 处的含量, k 为大于1的常数,称富集系数。则其增量

$$x_{h+\Delta h} = \begin{cases} (k-1) \cdot x_h, & \text{富集} \\ (k^{-1}-1) \cdot x_h, & \text{贫化} \end{cases} \quad (5)$$

显然其增量与 x_h 有关,如果令 $y = \log x$, 则

$$y_h = \log x_h \quad (6)$$

$$y_{h+\Delta h} = \log x_{h+\Delta h}$$

$$= \begin{cases} \log x_h + \log k = y_h + \log k, & \text{富集} \\ \log x_h - \log k = y_h - \log k, & \text{贫化} \end{cases} \quad (7)$$

此时增量

$$y_{h+\Delta h} - y_h = \begin{cases} \log k, & \text{富集} \\ -\log k, & \text{贫化} \end{cases} \quad (8)$$

显然该增量与 x_h 无关,因成矿元素常为对数正态分布或偏对数正态分布,我们可以假设 $y_{h+\Delta h}$ 相对 y_h 富集的几率与贫化的几率相等,这就类似于经典的一维随机游走(Random Walk)模型了。

1.3 随机游走和分数布朗运动

考虑一个在直线(如 x 轴)上作无规运动的粒

子,它向右走一步(步长为 l)的概率 $p = 1/2$,向左走一步的概率 $q = 1/2$ 。假定粒子共走了 N 步,并且各步之间是相互独立的,这就是一个随机游走的例子。令 n_1 与 n_2 分别是向右和向左走的步数,则 $N = n_1 + n_2$ 。 N 步以后,净位移 $x = (n_1 - n_2) \cdot l$ 。当步数 N 很大时, t 时刻净位移 $x(t)$ 满足:

$$\langle x(t) \rangle = 0$$

$$\langle x^2(t) \rangle = 2Dt \quad (9)$$

其中: $D = \frac{1}{2}nl^2$; n 为单位时间内走的步数

1923 年, Winer 引入如下的布朗运动:考虑一个标准独立高斯随机过程 $N(0,1)$, 并引入如下的布朗粒子的位移函数

$$\hat{x}(t) = x(t) - x(t_0) \sim \xi |t - t_0|^H (t \geq t_0) \quad (10)$$

其中: $H = 1/2$

Mandelbrot & Ness^[1] 将上式中的 $H = 1/2$ 推广到 $(0,1)$ 内任意实数的情况,称 Hausdorff 维数。在这种情况下他们将随机变量 $x(t)$ 记作 $B_H(t)$, 称分数布朗运动。对于分数布朗运动,其数学期望为

$$\langle B_H(t) - B_H(t_0) \rangle = 0 \quad (11)$$

和二阶中心矩为

$$V(t - t_0) = \langle [B_H(t) - B_H(t_0)]^2 \rangle = c |t - t_0|^{2H} \quad (12)$$

其中: c 为扩散系数;

1.4 变差函数法求解

对于分数布朗运动,求解 Hausdorff 维数 H 方法很多,如分形盒子维数法、功率谱法、均方根法和变差函数法等。这里采用实验变差函数法(图2),并在变程 L 范围内拟合幂律关系,其实验变差函数关系式如式13所示。

$$\gamma^*(x, h) = \frac{1}{2} \langle [B_H(t_{0+h} - B_H(t_0))]^2 \rangle = \frac{1}{2} ch^{2H} \quad (13)$$

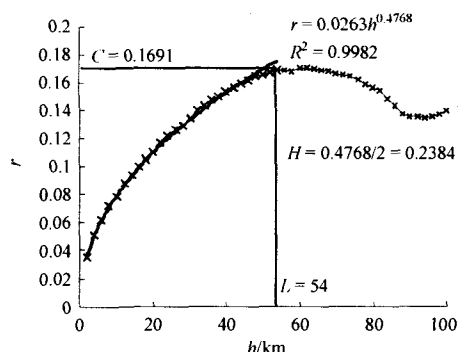


图2 个旧地区 Sn 元素含量东西向变差函数及各参数求解示意图

另外,变差函数图上(图2,图4),变程 L 还能指示分数布朗运动的空间尺度,基台 C 还能表示该尺度范围内变异的总强度,它们也是各向异性研究的重要指标。因此文中采用了 Hausdorff 维数 H 、变差函数变程 L 和基台 C 等进行各向异性的研究。

2 化探数据处理及分析

2.1 区域化探数据处理及分析

个旧地区为锡铜多金属成矿区,首先选取了

Sn、Cu、Pb、Zn 等成矿元素的 7350 个 1:20 万水系沉积物化探数据($2\text{km} \times 2\text{km}$),对这些元素的各向异性进行了分析。

经初步分析,个旧地区各元素的含量为对数正态分布或偏对数正态分析(图3)。因此我们对元素含量取对数值,然后采用变差函数法对其空间分布及各向异性进行了研究(图4)。因变差函数图难以表达多个方向的情况,在此还引进了玫瑰图的方法进行研究,结果如图5所示。

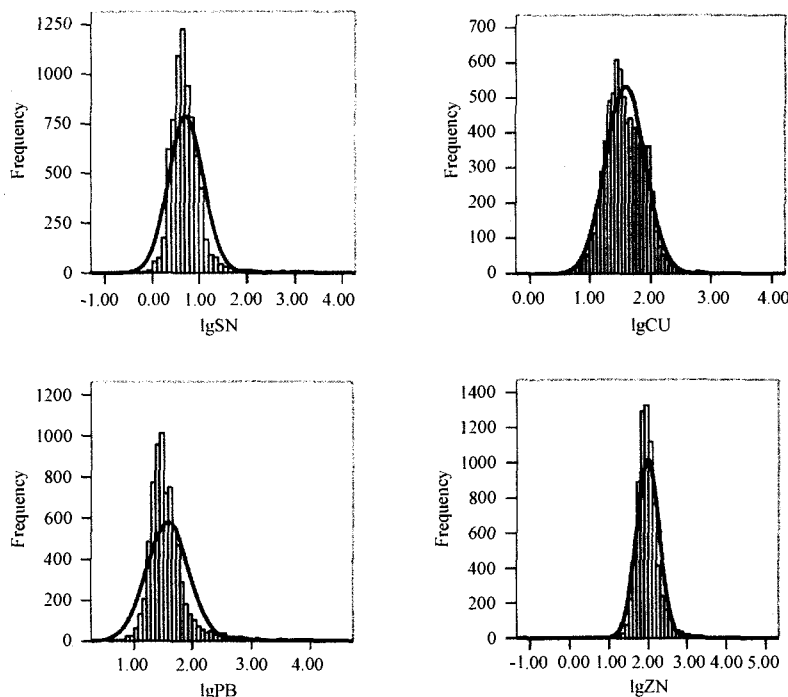


图3 个旧地区 1:20 万水系沉积物化探元素含量对数数据直方图
(a)~(d)分别为 Sn、Cu、Pb、Zn 的数据直方图

据变差函数理论,变程 L 表示区域化变量空间相关的距离尺度,基台 C 表示该尺度下空间变异的总强度,因此变程 L 和基台 C 的各向异性更多地体现了宏观的区域性构造。图5(a、b、c、d)中,Sn、Cu等元素的变程 L 玫瑰图呈“X”型,基台 C 玫瑰图(图5,e、f、g、h)也具有类似的特点,在对应的方向凸起或下凹,具带状异向性。表明元素含量的空间分布受北东向、北西向构造的双重控制。这可能是北东向断裂(如师棕-弥勒断裂、南盘江断裂)和北西向断裂(如红河断裂、哀牢山断裂带)共同作用引起的。

据分形几何学理论,Hausdorff 维数 H 表示空间变量的变化连续性, H 小则连续性差, H 大则连续性好。因幂率关系仅在变程范围内拟合, H 的各向异性更多地体现了较小尺度内,也即空间相关的距离

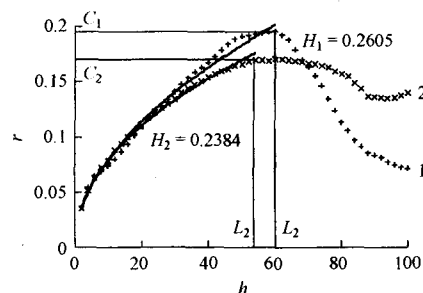


图4 个旧地区 Sn 元素含量对数值变差函数及各向异性
1—南北向;2—东西向

尺度内变化连续性。从图5(i、j、k、l)中可知,其各向异性图为近椭圆形,长轴指示变化连续性较好的方向,短轴指示变化连续性较差的方向。因此,Sn、Pb、Zn 等的空间分布还受到近南北向的构造控制。

可能是由于个旧东区马拉格、松树脚、高松、老厂、卡房等各大矿床沿五子山复背斜呈近南北向展布而造成的。而 Cu 仍受到北西向构造的控制。

2.2 东西矿区各向异性及其对比分析

个旧东西区矿种、矿床类型和规模、成矿特点等均有显著的差异^[8],因此有必要对东西区进行对比分析。据区域分析可知,变程 L 远大于个旧矿区

(小于 $50 \times 40 \text{ km}^2$) 的尺寸范围,如果选取变程 L 和基台 C 来研究矿区的各向异性是不现实的,也是不科学的。而 Hausdorff 维数 H 更多体现较小尺度的变化连续性,因此作者在东西区的对比研究中选择了 Hausdorff 维数 H 作为各向异性量化的指标,也是区别于传统变差函数法的独特之处。其结果如图 6 所示。

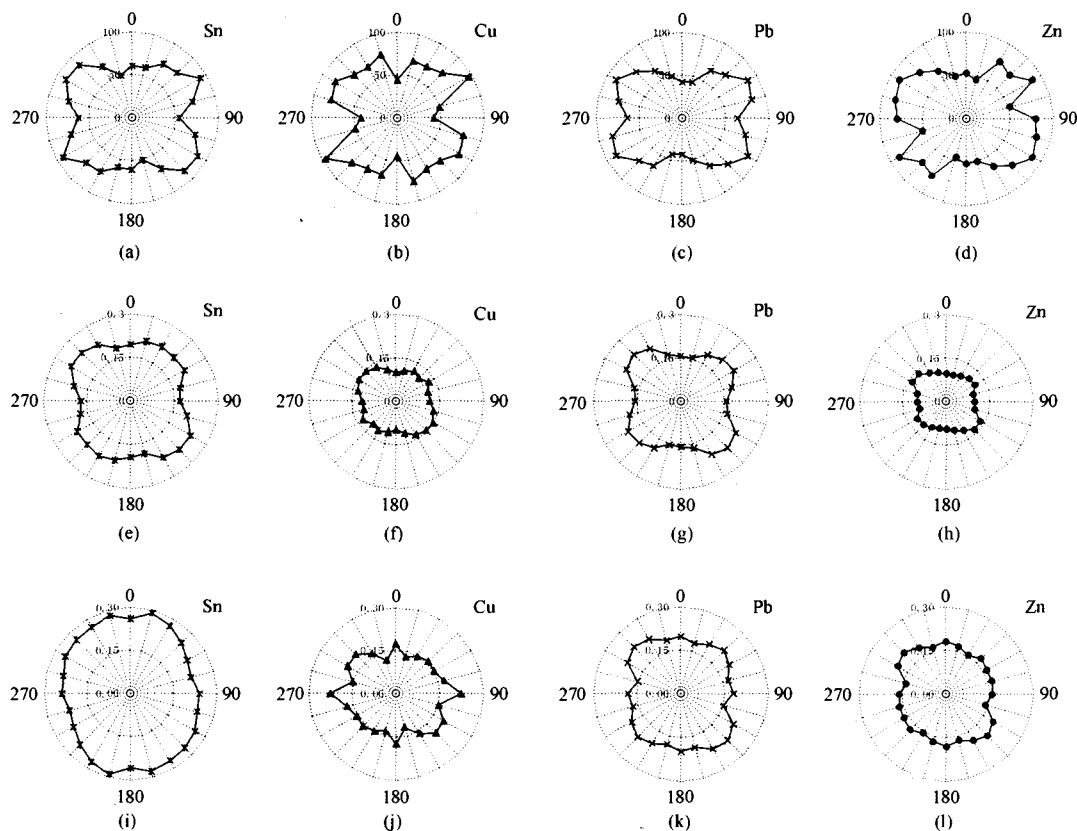


图5 个旧地区区域化探数据的各向异性

(a)~(d) 为变程 L 玫瑰图;(e)~(h) 为基台 C 玫瑰图;(i)~(l) 为 Hausdorff 维数 H 玫瑰图

从图 6(a、b、c、d) 中可知,东矿区 Sn、Cu、Pb、Zn 等元素的空间分布受近东西向构造控制,这与东矿区各矿床总体上受近南北、北东东向构造控制,而局部受近东西向断裂控制的地质事实是相符的。与东矿区不同,西矿区 Sn、Pb、Zn 等元素受到北东、北北东向构造控制(如图 6e、g、h 所示),而 Cu 元素的各向异性不明显(如图 6f 所示)。西区北东向构造可能起到了重要的控岩、控矿作用,在今后的研究和找矿工作中应予以重视。

3 结论

根据化探元素含量取对数值为分数布朗运动的特点,变差函数法求解的变程 L、变程 C 和 Hausdorff 维数 H 的各向异性有效地刻画了个旧地区及矿区

化探数据的空间分布及其影响因素。研究表明区域内 Sn 等成矿元素的分布受北东向、北西向以及近南北向构造的影响。而矿区范围内,个旧东区还受到近东西向构造的影响,个旧西区则仍表现出北东向构造的控制作用。西区的新一轮找矿工作应该加强对构造的控岩控矿作用方面的研究,并区别对待东西区之间存在的差异。

[参考文献]

- [1] B Mandelbrot, J Van Ness. Fractional Brownian motion, fractional noises and applications[J]. SIAM Review, 1968, 10:422-437.
- [2] C J Allègre, E Lewin. Scaling laws and geochemical distributions [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1995, 132:1-13.
- [3] E Vidal Vázquez, J G. Vivas Miranda, A. Paz González. Characterizing anisotropy and heterogeneity of soil surface microtopography using fractal models[J]. Ecological Modelling, 2005, 182:

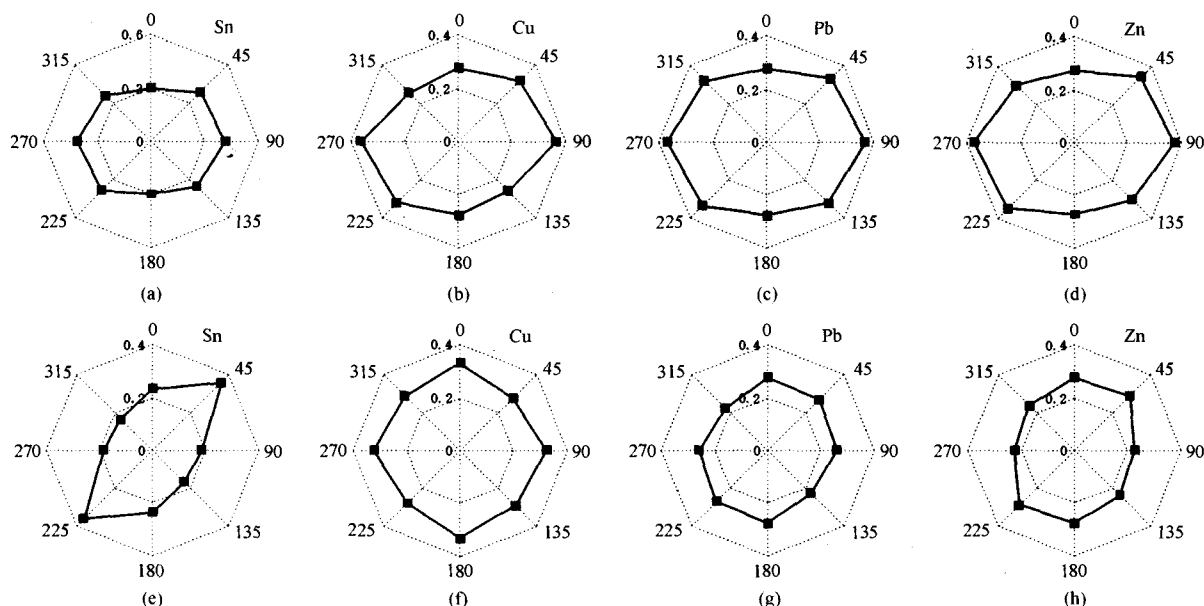


图6 个旧东西区化探数据各向异性对比

(a) ~ (d) 为东区 Hausdorff 维数 H 玫瑰图; (e) ~ (h) 为西区 Hausdorff 维数 H 玫瑰图

- 337-353.
- [4] Militky J, Bajzík V. Surface Roughness and Fractal Dimension [A]. 30th Textile Research Symposium, Mt Fuji, August 2001.
- [5] Justin B, Butler Stuart N, Lane Jim H. Chandler. Characterization of the Structure of River - Bed Gravels Using Two - Dimensional Fractal Analysis [J]. Mathematical Geology, 2001, 33 (3): 301-330.
- [6] Turcotte D L. 分形与混沌 - 在地质学和地球物理学中的应用 [M]. 北京:地震出版社, 1993.
- [7] 陈国达, 彭省临, 戴塔根, 等. 云南铜 - 多金属壳体大地构造成矿学 [M]. 长沙:中南大学出版社, 2004.
- [8] 戴福盛. 个旧西矿区构造体系得生成发展及控矿特征 [J]. 矿产与地质, 1990, 4(2): 35-42.
- [9] 李才伟. 地学数据的分形插值与成图, 地球科学 - 中国地质大学学报 [J], 1995, 20(2): 191-198.
- [10] 王仁铎, 胡光道. 线性地质统计学 [M], 北京:地质出版社, 1988.
- [11] 王仁铎, 杨明国. 地质现象分形统计学研究的若干问题 [J], 现代地质, 1998, 12(1): 91-95.
- [12] 伍勤生, 许俊珍, 杨志. 个旧含 Sn 花岗岩的 Sr, Pb 同位素特征及其找矿标志 [J]. 冶金工业部地质研究所学报, 1983, (3): 15-26.
- [13] 张欢, 高振敏, 马德云, 等. 个旧超大型锡多金属矿床成矿物质来源的铅和硫同位素示踪 [J]. 地质与勘探, 2005, 41 (2): 17-20.
- [14] 庄永秋, 王任重, 杨树培, 等. 云南个旧锡铜多金属矿床 [M]. 北京:地震出版社, 1996.
- [15] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M], 北京:科学出版社, 1997.

ANISOTROPY AND COMPARISON OF GEOCHEMICAL EXPLORATION DATA BETWEEN EASTERN AND WESTERN DISTRICT IN THE GEJIU AREA, YUNNAN

LIU Cai - ze^{1,2}, HU Guang - dao¹

(1. Institute of Mathematical Geology and Remote Sensing, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081)

Abstract: Anisotropy of geochemical exploration data has a guide for ore - controlling structure analysis. According to theory of hydrothermal deposit, special distribution of logarithm of element concentration may be a fractional Brown Motion (fMB). Lag L, sill C and Hausdorff dimension H are extracted from logarithmic semi - variogram to discuss anisotropy. A case study in the Gejiu district of Yunnan province shows regional distribution of ore - forming elements are mainly controlled by NE - , NW - and NS - trending structures. In the local district, regional distribution of ore - forming elements in the eastern Gejiu is controlled by EW - trending structures, and in the western Gejiu is controlled by NE - trending structures. The results will be helpful for ore prognoses in the western Gejiu.

Key words: geochemical exploration data, anisotropy, fractional Brown Motion, Gejiu district, Yunnan