

An Empirical Discriminant Method for Determining Background Values of Elements

Wang Ruolun

(Geophysical Exploration Brigade, Bureau of Geology & Mineral Resources, Heilongjiang)

Abstract

A simple and easy method for determining the exact background value of the elements is recommended. A rough statistical estimation is made at first to determine the interval of element contents for accurate statistical estimation. Then divide the interval of element contents equally into three groups and distinguish preliminarily the distributional class of the data based upon their respective frequency. Finally, on the basis of the distributional classes the data are grouped and statistically estimated.

中心差异向量法及其应用 ——地球化学找矿新方法初探

余祖成

(中国科学院地质研究所)

矿床所处的地球化学背景不同,其标志性伴生元素的特征异常值也不同。但元素的原子结构、矿物结构及其能量特征是基本不变的,在成矿过程中发生活化、迁移所表现出的相对活动性也基本不变。通过研究矿区中相关元素的富集中心差异关系,可预测另一些元素潜伏的富集中心,这就是本文提出的中心差异向量法。该方法对四川拉拉铜矿12个元素中心差异向量计算结果,已为钻探工作证实。表明该方法是一具有实际意义的地球化学找矿方法。

计算共生元素的相关系数,根据相关性较强元素的异常分布特征追索隐伏矿床、矿体在地球化学场中的空间位置,是地球化学找矿常用的方法之一。国外一些专业地质机构,投以重金研究典型矿床找矿标志元素之间的相关性和成矿特征值(如金矿区中的As、Te、Hg等共生元素),一些单位甚至不惜万元巨款购买典型矿区标志元素的成矿特征异常值数据,以作为不同矿区地球化学找矿的依据。

尽管一些元素(如亲硫、亲铁元素等)的共生组合关系具有普遍性,但因地区或地质单元不

同,地球化学背景也不尽相同,有的元素可能相差甚远,这就极大地限制了不同地区类似矿床地球化学勘查工作中,对标志元素相关性及其成矿特征异常值的套用。

求同一地质母体中共生元素的相关系数,常规方法是求两元素含量的协方差与两元素含量标准差乘积之比。即:

$$\gamma_{jk} = \frac{SP_{jk}}{\sqrt{SS_j \cdot SS_k}}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2][\sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2]}}$$

式中共四次用到平均值 $\bar{x}_j$ 和 $\bar{x}_k$, 说明相关系数是通过含量数据与其平均值的偏离程度来定量计算的。这种平均法计算的结果, 降低了部分相关性强的数据的相关性, 提高部分相关性弱的数据的相关性。然而地球化学勘探中需要的恰恰是“异常”, 即把部分相关性强的元素含量数据从相关性不强的数据中区别开。事实上, 同一地质体(同一含矿层或同一含矿岩体)在其不同部位往往有分相、分带、分区及分层等现象, 相应的往往有两元间的相关性不同, 即地球化学元素的非线性组合关系。

本文以四川拉拉铜矿为例, 根据同一地质体中共生元素的非线性组合关系, 通过恢复含矿层的地球化学场, 求出不同元素相对富集中心差异性的方法——中心差异向量法, 来寻求成矿元素的理论富集区。该方法在会理地区的应用性研究成果已为钻探验证, 地质效果良好。

理论基础

变质层控型矿床, 主要是由于矿源层中分布相对均匀但分散的成矿物质在动力、热力等的作用下, 发生活化、迁移, 最终富集成矿。由于不同矿物离解难易程度及不同元素活动性的差异, 在成矿过程中矿质的活化、迁移速度也不一样。在主成矿阶段, 成矿域中每一岩石单元中的各种矿物, 都遵循自身晶体场所给定的能量条件(晶格能临界值), 当外界能量聚积、转化并达到其临界条件时, 晶体结构发生变化, 甚至完全崩解, 被晶体场束缚的原子或离子开始活化、转移。活动状态物质的迁移, 主要受浓度差和压力差的控制。每一岩石单元在矿质迁移活动中, 都将自己的活性物质送往相邻的低压、低浓度单元, 同时又从相邻的高压、高浓度单元接受活性物质。如此循环迭代的结果, 使越是高能位单元, 岩石组份活化比率越大; 越是高压、高浓度单元, 岩石组份迁出比率越大; 越是活动性大的组份, 活化比率越高, 迁移距离越远。故同期矿化的元素其最

终富集中心彼此对应, 且中心连接线可作为标识元素迁移方向及规模的向量。根据几个已知元素的富集中心推算另一些元素的未知富集中心(标识隐伏矿体), 此即中心差异向量法。

向量式的建立及应用

中心差异向量法可分四个主要步骤: 求已知元素富集中心的差异向量; 求一个富集区的中心差异合向量; 求未知元素中心差异向量; 求未知元素富集中心区。

(一) 求已知元素的中心差异向量 设已知元素 i 和 j 的富集中心位于成矿域面直角坐标系中的 i 点和 j 点, 其坐标值分别为 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) , 中心差异值 M_{ij} 为:

$$M_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

向量 $\vec{M}_{ij}$ 的正方向由低活动性元素指向高活动性元素。

(二) 求一个富集区的中心差异合向量 元素 i 和元素 j 的中心差异向量 $\vec{M}_{ij}$ 对一个富集区的中心差异合向量 $\vec{M}$ 的贡献为 $\vec{F}_{ij}$, 它与元素活动性特征值 A_i 与 A_j 之差成反比, 与活性能 U_i 与 U_j 之差也成反比, 即有:

$$\vec{F}_{ij} = \frac{\vec{M}_{ij}}{|(U_i - U_j) \cdot (A_i - A_j)|} \quad (2)$$

式中 $U_i - U_j$ 是活性能梯度 $\text{grad}(U)$ 的离散形式, U_i 、 U_j 是成矿域中 i 点和 j 点的总活性能, 其中包括成矿期间导致矿质活化的地热能 Q 、构造机械能 W 和矿物化学能 E 等。即:

$$U_i = Q_i + W_i + E_i + \dots \quad (3)$$

元素活动性特征值 A 只有数量比例关系参与运算, 没有量纲。地球化学中常用的定量、半定量描述元素活动性的特征值列于表中。如果元素 i 、 j 分别以两种不同的主要矿物形式存在, 而且两种矿物的稳定性或稳定条件相差较大, 则需在元素活动性特征值 A_i 、 A_j 前加上修正系数 K_i 、 K_j , 式(2)即变为:

$$\vec{F}_{ij} = \frac{\vec{M}_{ij}}{|(U_i - U_j) \cdot (K_i A_i - K_j A_j)|} \quad (4)$$

对矿物稳定性的定量研究较少, 目前只能经验性

部分元素活动性特征值

元 素	Ni	Mn	Co	Cu	Sn	Ba	Cr	Be	Zr	Mo	Ti	V	Ga	说 明
原子能量特征值	2.51	1.98	1.77	1.42	0.28	0.18	1.93	1.88	0.53	0.47	0.24	0.22	0.77	相对单位 ¹
ESK活化度	0.87	0.59	0.68	0.82	2.6	1.25	0.75	1.12	1.19	1.32	0.74	0.91	0.79	相对单位 ²
电 离 势	143	130	133	148	126	93	190	66	116	131	141	151	149	电子伏 ³
负 电 性	1.8	2.5	1.7	2.0	1.9	0.9	2.4	1.5	1.5	2.1	1.6	1.9	1.6	相对单位 ³

①据张志杰、赵伊君1983年原始数据计算得出, 计算式 $E_r = E_k/E$;

②据E. Szadeczký - Kardoss, 计算式为 $M_c = (M_m + M_s)/z$;

③据贵阳地球化学研究所:《简明地球化学手册》, 1977年。

半定量确定, 当赋存元素*i*、*j*的两种矿物稳定性相似或稳定的温压条件近似时, K_i 、 K_j 取值为1, 式(4)则成为与式(2)相同的特例。

一个富集区的中心差异合向量为各元素对的中心差异向量之和。即:

$$\vec{M} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \vec{F}_{ij} \\ = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \frac{\vec{M}_{ij}}{|(U_i - U_j) \cdot (K_i A_i - K_j A_j)|} \quad (5)$$

同一成矿域如果有几个不连续的矿质低能位富集区, 可分区求出各区的中心差异合向量。如参与运算的已知元素较少, 在求出每一富集区的各已知元素对的中心差异向量后, 可用向量合成的几何作图法(图1), 将各中心差异向量逐一合成, 最后求得中心差异合向量。

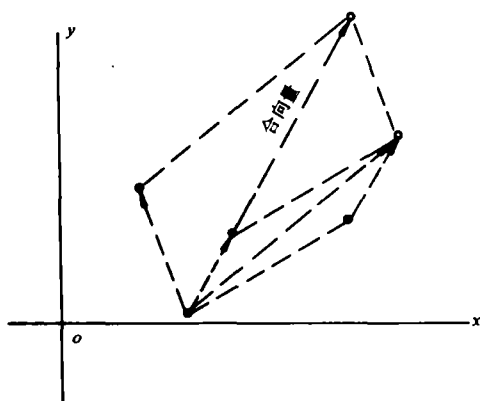


图1 几何作图法求中心差异合向量

(三) 求未知元素的中心差异向量 成矿域中每一已知元素可与未知元素构成一个求中心差异向量的元素对, 同一富集区有几个已知元素富

集中心, 可求得几个涉及未知元素的中心差异向量。未知元素的中心差异向量与能量梯度及元素活动性特征值之差成正比, 即:

$$\vec{M}_{ix} = \vec{M} \cdot \text{grad}(U_{ix}) \cdot (K_i A_i - K_x A_x) / \sum_{i=1}^{n-1} i \\ = \vec{M} \cdot (U_i - U_x) \cdot (K_i A_i - K_x A_x) / \sum_{i=1}^{n-1} i \quad (6)$$

式中 U_x 是成矿域中位于富集区内或最邻近的低能位中心的活化能总值, $K_x A_x$ 是未知元素的活动性特征值。

(四) 求未知元素的富集中心区 求得同一富集区中未知元素相对几个已知元素的中心差异向量后, 依次据已知元素富集中心标出各中心差异向量。连接同一富集区内各中心差异向量边界点(图5中+号所示)成圆滑曲线, 即得未知元素理论富集中心区。

应用实例

(一) 矿区地质概况 拉拉铜矿位于四川西部的攀西古大陆裂谷区南段, 川滇南北向构造带与会东—渡口东西向构造带的复合部位。矿床赋存于元古界会理群河口组火山沉积—变质岩系中, 分布于会理县境内的西南隅, 从落函经老羊汗沟延伸至石龙一带(图2)。矿床由3个已知矿区组成, 由西至东为落函、老羊和石龙矿区, 其中落函矿区最大, 占矿床总储量的一半以上。矿床中有用组份以铜为主, 伴有钴、钼、铁、镍、金、银等多种金属元素, 是该地质构造带上的一个重要内生金属矿床。其成因是中—晚元古代火山—沉积矿源层经晋宁—澄江期区域变质作用形

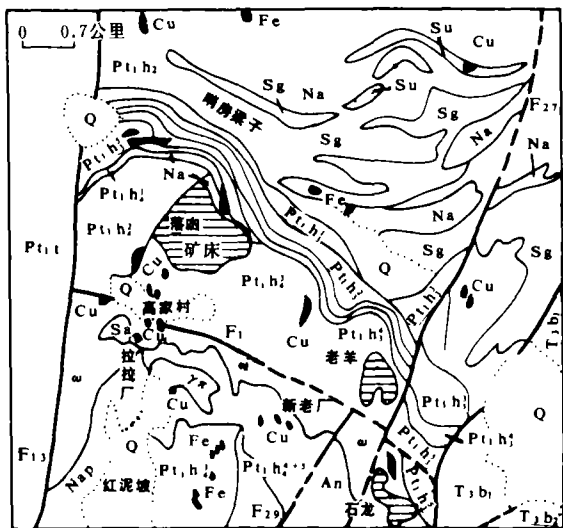


图2 拉拉铜矿床地质简图

(据四川省地质局403地质队资料改编)

Q—第四系; T₃b—白果弯煤组; Sa—云母长英岩;
Sh—角闪片岩; Su—黑云母片岩; Sg—白云母片岩;
Pt₁t—炭质板岩; Pt₁h—拉拉变质岩; Nap—钠长
浅粒岩; γπ—花岗斑岩; An—钠长岩; Na—石英钠
长岩; δ—闪长岩; ω—辉长岩; Cu、Fe—铜、铁矿点

成。矿体均呈层状、似层状,明显受一定层位控制(图3),是较为典型的火山沉积—变质型层控矿床。

(二) 矿区成矿域地球化学场 建立成矿域地球化学场,进而确定已知元素在成矿域内的富集中心,是应用差异向量法寻找未知元素富集中心的前提。

根据拉拉矿区107个钻孔9600余个岩心样品的光谱分析数据(四川地矿局403地质队提供),将数据经电子计算机均一化、网格化处理后,用M-180型计算机联机极光绘图仪,绘制了拉拉矿区12种成矿相关元素的平面分布图(图4-1, 4-2),单位为ppm。

(三) 单元元素富集中心的确定 由成矿域多元素平面分布图(图4-1, 2)可知,单元元素可有一个或几个富集中心,当出现两个或两个以上不等值富集中心时,应取最高值的富集中心参与中心差异向量法计算;当出现两个或两个以上等值的富集中心时(Co),可将成矿域分为对应的几个富集区。据此,拉拉矿床主要成矿域各元素的富集中心,分属于3个富集区(图5)。

在确定单元元素富集中心时,应注意结合多种地质因素进行综合分析。参与中心差异向量计算的应是主成矿阶段地球化学场中的元素富集中心,即在同一成矿期间形成的元素富集中心。如果有成矿后地质因素导致的单元元素富集中心,可能会干扰中心差异向量计算,故应予以剔除。如拉拉矿床主要含矿层沿北西向展布(见图2),成矿前有北西向和东西向构造,成矿期有南北向构

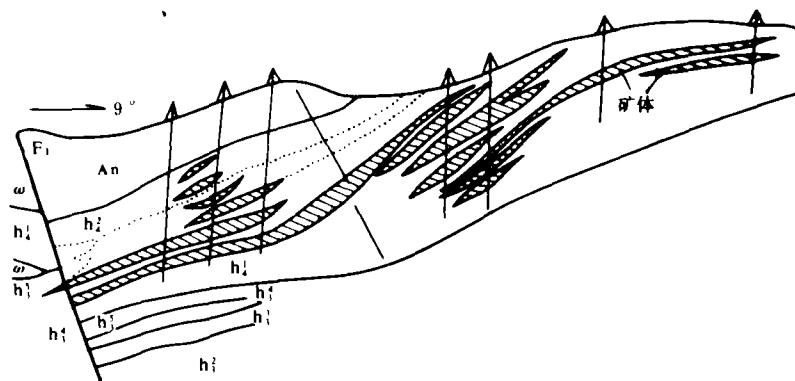


图3 落内矿区IV勘探线剖面图

(据403地质队资料)

h₄—河口组第四亚组; h₃—河口组第三亚组; An—钠长岩; ω—辉长岩

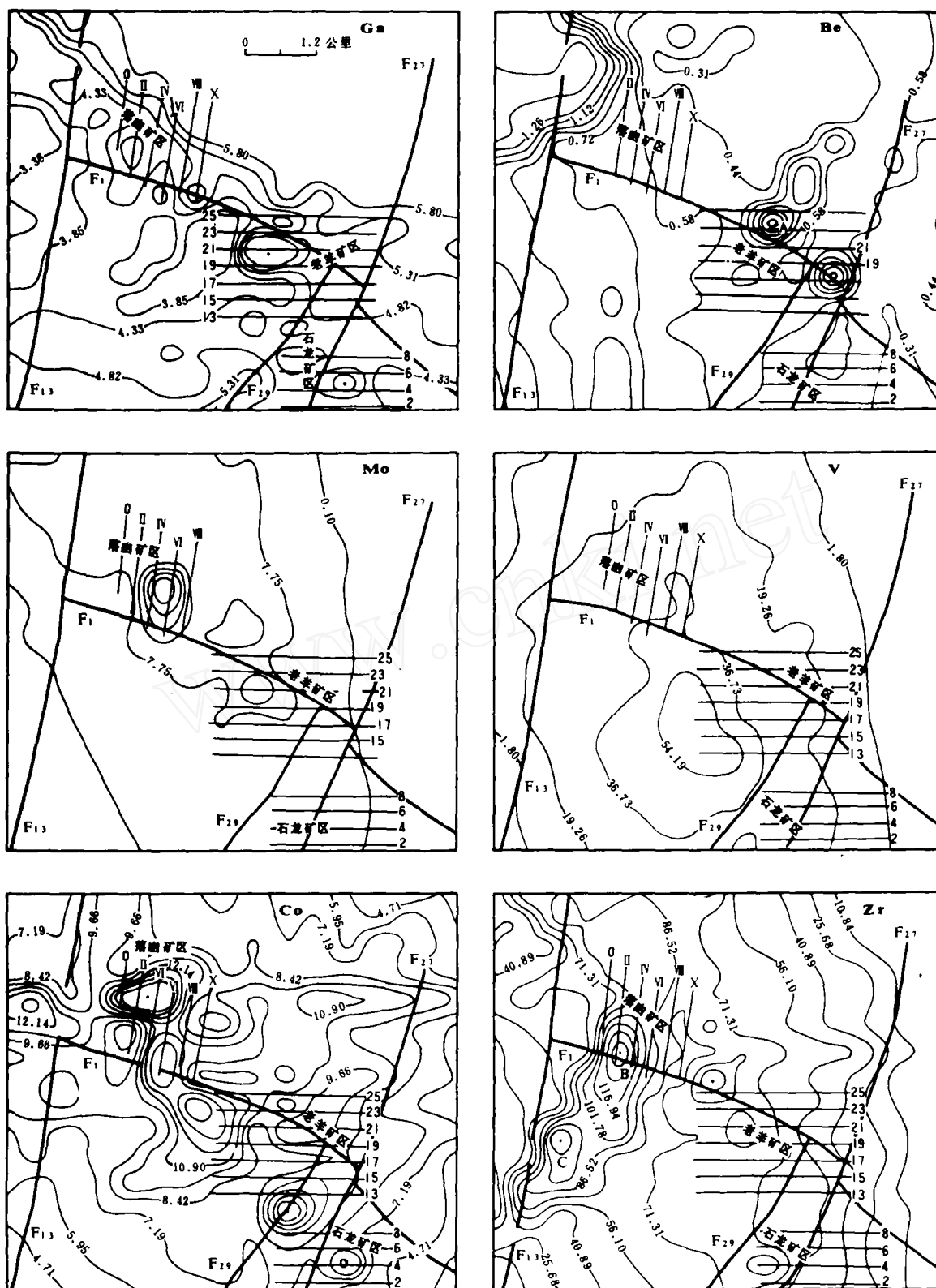


图 4 - 1 拉拉矿区 Ga、Mo、Co、Be、V、Zr 品位等值 (ppm) 线分布图

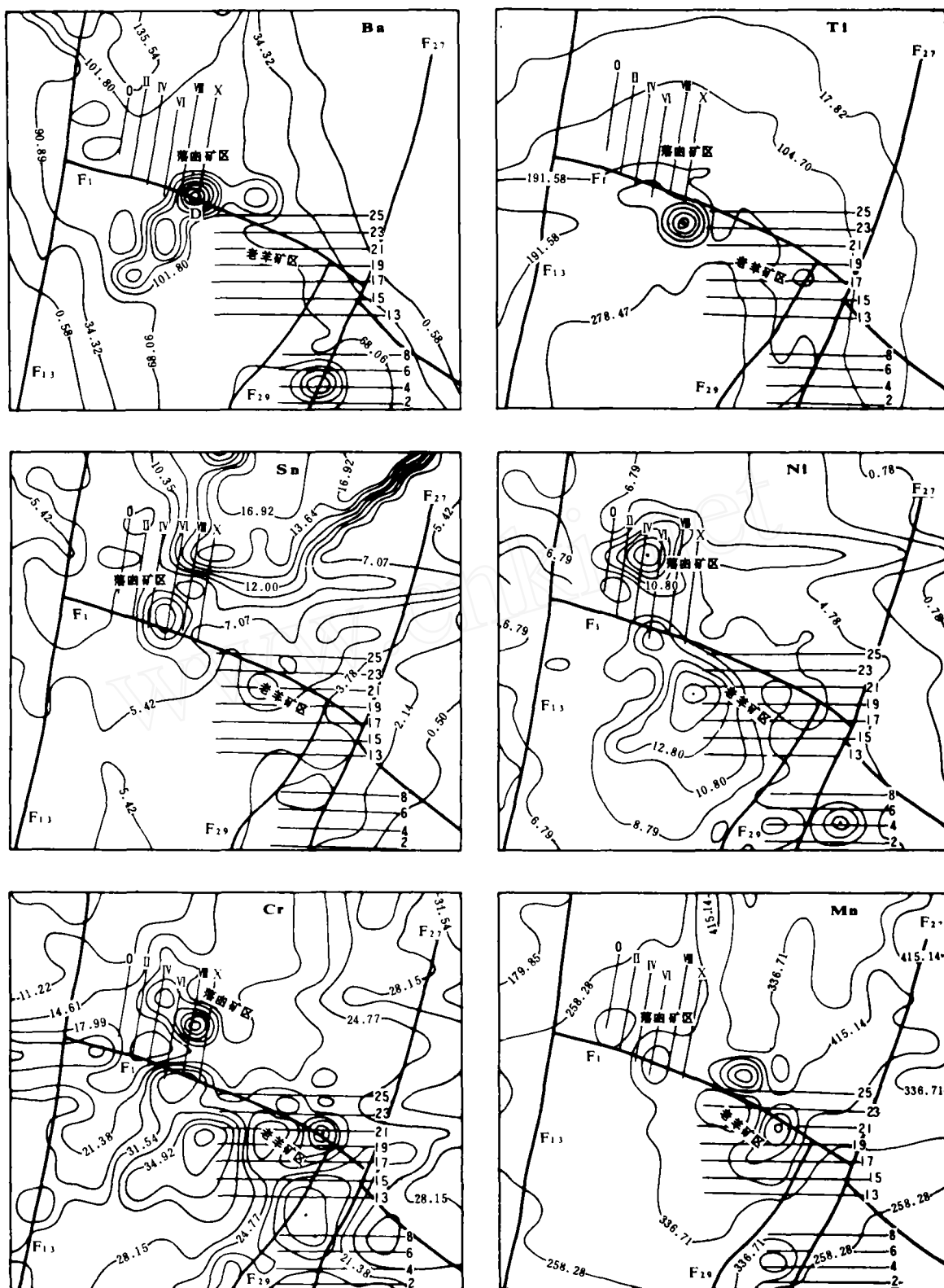


图 4 - 2 拉拉矿区 Ba、Sn、Cr、Ti、Ni、Mn 品位等值 (ppm) 线分布图

造,成矿后有北北东向构造及沿北北东向断裂侵入的岩脉。图4中Ba元素平面分布显示了三个不等量富集中心,沿北北东向呈串珠状排列,综合地质资料表明,Ba富集与成矿后的北北东向断裂活动及有关的花岗斑岩侵入有关,故其富集中心不应参与中心差异向量计算。

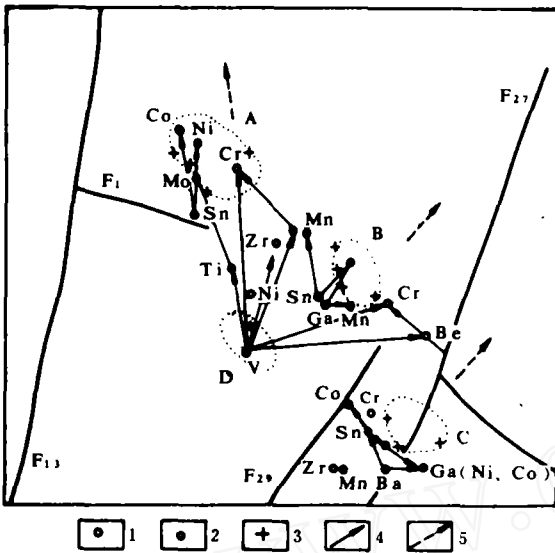


图5 中心差异向量法对拉拉矿区铜富集区预测图

1—低能元素; 2—高能元素;

3—未知元素富集区差异分布边界点;

4—中心差异向量; 5—中心差异合向量

(四) 求铜的未知富集区 根据拉拉矿区的地质、岩浆活动、控矿构造等多种地质因素,综合分析、推断矿区地球化学场的形成与演化,剔除成矿后的地质作用引起的部分元素的富集中心(图4中Be—A点、Zr—B和C点、Ba—D点),将其余各元素富集中心投入图5,并据上述各式求各中心差异向量及Cu的未知富集区。

1.元素活性特征值按前表中数据计算。图5是据元素最外壳层相对能量值计算结果作出的。由于各元素原子的最外层和次外层电子能量变化对元素的活化影响较大,故将相关元素分为高能元素——原子的波函数最外电子层增大(图6a)和低能元素——原子波函数最外电子层降低(图6b),并对每一富集区分别计算高能元素和低能元素的中心差异向量(见图5)。

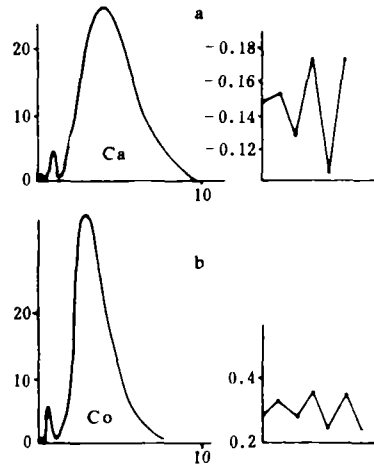


图6 量子型元素能量特征值对比

(据张志杰、赵伊君资料数据,1983)

2.总活化能计算。考虑到成矿域中区域变质程度及变质矿物组合比较均一,表明变质成矿过程中热能梯度较小,矿物化学能梯度也可忽略不计,导致矿质迁移的主要动力机制是动力能梯度或压力差,故各点活化能 U 即为变质矿物或矿石矿物的平衡稳定压力值。将最终计算结果投图(图5)显示出Cu有4个富集中心。其中A、B、C区与3个已知矿区吻合;D区位于F₁断裂以南,前人研究认为是无矿地段。1986年四川省地矿局403地质队对D预测区进行钻探验证,在该区发现一中型铜矿体。

结束语

中心差异向量法是利用不同元素在同一成矿活动中发生活化、迁移的共同性和差异性,从已知元素的分布信息中,提取未知的元素潜在富集信息的一种地球化学找矿新方法。与某些传统的地球化学找矿方法相比,元素相关系数及相关图解只给出了一个地质单元(地质体或地层)一般性元素间特征;元素分带(矿相、变质相、蚀变作用分带)相关性给出了由面性提高到线性的元素间特征;而中心差异向量法则进一步通过多元素的地球化学场,利用元素富集中心的点性特征,给出了追索隐伏矿体的点间向量法则。初步实践证明,这是一项有意义的探讨。

中心差异向量法克服了在不同地区机械套用典型矿床标志元素成矿特征异常值带来的弊病,跳出了不同地区地球化学场差异的局限,因而有着更为广泛地应用前景。但中心差异向量法有其应用前提,即多种相关元素在同一能量背景下迁移,故只适用于矿源体或矿源层中的矿质经活化迁移而形成的变质型矿床。

野外工作得到四川省地矿局 403 地质队张元熙、钟小朗、刘先泽及拉拉铜矿刘承志等同志的支持与协作,室内工作承蒙陈光远教授和刘秉光研究员的帮助,在此一并致谢。

主要参考文献

[1] 余祖成:《中国攀西裂谷文集》(2),地质出版社,

1986年

[2] 中国科学院贵阳地球化学研究所:《简明地球化学手册》,科学出版社,1977年

[3] 刘承祚、孙惠文:《数学地质基本方法及应用》,地质出版社,1981年

[4] 张志杰、赵伊君:《原子的X_α波函数》,原子能出版社,1983年

[5] 涂光炽:《地球化学》,上海科学技术出版社,1984年

[6] Szadeczký - Kardoss, E.: «Metallogenetic and Geochemical Provinces», Springer - Verlag, 1972, p. 78~80

Associated Element Enriching Center Difference Vector Method and Its Application: A New Geochemical Prospecting Method

Yu Zucheng

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing)

Abstract

The characteristic anomalous values of the dominant associated elements are different for deposits occurred in different geological settings. However, the atomic structure, mineral tecture and energy characteristics of these elements are essentially not varied with the change of the geochemical background, and their relative mobilities manifested by activation and migration during their metallogenetic process are also constant. Therefore it is possible to make a minerogenetic prognosis for the concealed enriching centres of certain elements by studying the difference of the enriching centres of relevant elements in the mining district investigated. Such difference may be denoted by a vector. In the present paper the associated element enriching centre difference vector method is discussed. This method has been used in the exploration of the Lala copper mine, Sichuan. The computation results for the defference vectors of twelve relevant element enriching centres have been confirmed by drilling. It clearly shows that this method is of practical significance in geochemical prospecting.