

图3 蓝家沟矿区3号线综合剖面图

1—细粒花岗岩；2—石英斑岩；3—铝矿体；4—锰染硅化带；  
5—激电异常曲线；6—化探异常曲线

蓝家沟铝矿的发现，说明该矿区具备地球物理和地球化学找矿前提。化探的次生晕法和物探的激发极化法综合应用，取得了良好的地质效果，为地质找矿工作作出了贡献。

## 个旧东部矿区原生晕分带指数及其应用

西南冶金物探队研究室

唐甲光

在个旧东部矿区，过去应用原生晕推测成矿母岩——燕山期花岗岩的埋藏深度，由于使用的化探指标系非定量化的，故仅能给出一个误差颇大的深度范围<sup>[1, 2]</sup>。本文研究了白泥坝矿床内，成矿花岗岩沿三迭系个旧组碳酸盐类岩层层间剥离带的原生晕中，主要成矿和伴生元素 Be、Bi、

Sn、Cu、Pb、Cd、Ag的轴向分带序列；选择确定了可指示成矿花岗岩面埋深（沿构造裂隙延深的深度，用Z表示，下同）的元素分带性指数（ $\nu_n$ ），建立了这些分带性指数与成矿花岗岩面Z的线性回归方程；经初步检验，效果良好。从而弥补了矿区内推测成矿花岗岩面Z的化探指标

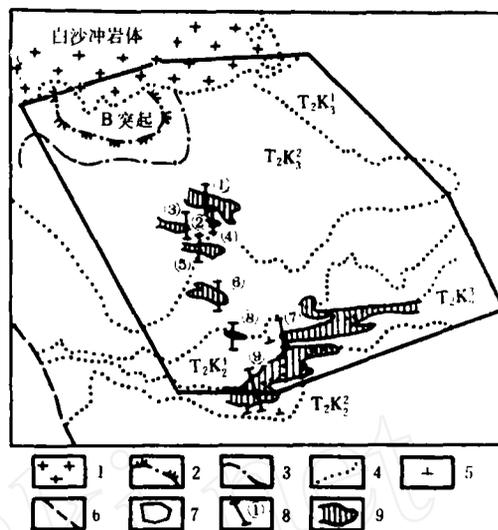
非定量化的不足。

### 矿区地区简况

矿区位于扬子板块（云南部分）内，成矿与中生代燕山期花岗岩的形成及活动有关。

矿区受五子山复式背斜控制，区内分若干个矿田，各矿田又受次一级的褶皱和断裂控制，更次一级的褶皱、断裂、挠曲、层间滑动控制着各矿田内的矿床和矿体的分布。矿区的主要矿体都沿断裂、层间剥离带、节理等构造裂隙及花岗岩顶部或凹陷赋存。燕山中晚期黑云母花岗岩为成矿母岩，它侵入于中三迭统个旧组碳酸盐类岩石及砂板岩中。岩体在矿区内零星出露，大部分隐伏在地表下垂深200~1000米深处，岩体上部呈多峰式岩株突起，下部相连，往往以突起为中心形成矿体。所以，寻找花岗岩突起或凹陷是间接找矿的重要途径。

白泥垌矿床受白泥垌隐伏花岗岩突起控制，系以层间锡、铅氧化矿为主的矿床。矿体赋存于个旧组马拉格段（ $T_2K_2$ ）白云岩及白泥垌段（ $T_2K_3$ ）内的层间剥离带中。矿体为延深大于走向的管状矿体。矿床属高一中温热液矿床。在约5 km<sup>2</sup>的矿床范围内，地表为以Sn、Pb为主的原生异常，在 $T_2K_2$ 或 $T_2K_3$ 地层中层间剥离带上出现，出露的层间剥离带有异常存在的地段到花岗岩面Z可达1500米（图1）。



· 图1 白泥垌地质及原生异常分布示意

1—花岗岩；2—白泥垌隐伏花岗岩突起；3—花岗岩等高线；4—地层界线；5—岩层产状；6—断裂；7—矿区范围；8—化探异常剖面（①300米，②400米，③420米，④500米，⑤600米，⑥825米，⑦1165米，⑧1250米，⑨1500米）；9—化探异常（Sn、Pb为主）； $T_2K_2$ —马拉格组，白云岩为主； $T_2K_3$ —白泥垌组，灰岩为主

### 原生异常剖面的元素线金属量及数据说明

在白泥垌矿床面积范围内，选择了已经探矿工程控制的九条原生异常剖面，编号为1至9号。

白泥垌矿床地表1至9号异常剖面元素异常线总金属量值

表1

剖面号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
米*	300	400	420	500	600	825	1165	1250	1500	
线总金属量 (米%)	Be	0.54	1.01	0.09	0.10	0.157	0.002 <sup>△</sup>	0.002 <sup>△</sup>	0.002 <sup>△</sup>	0.002 <sup>△</sup>
	Bi	0.50	0.41	0.03	0.205	0.003 <sup>△</sup>	0.003 <sup>△</sup>	0.003 <sup>△</sup>	0.003 <sup>△</sup>	0.003 <sup>△</sup>
	Sn	0.95	1.29	0.69	0.25	0.145	0.03	0.075	0.06	0.04
	Cu	0.05	0.12	0.14	0.39	0.265	0.16	2.83	0.003 <sup>△</sup>	0.05
	Pb	5.1	2.7	2.55	4.8	2.4	0.4	125.35	0.15	1.7
	Cd	0.015	0.1	0.003 <sup>△</sup>	0.02	0.01	0.003 <sup>△</sup>	0.003 <sup>△</sup>	0.003 <sup>△</sup>	0.003 <sup>△</sup>
	Ag	0.0021	0.0042	0.0007	0.0027	0.0007	0.0003 <sup>△</sup>	0.0003 <sup>△</sup>	0.0003	0.0003 <sup>△</sup>

\* 沿层间剥离带距成矿花岗岩面距离；带<sup>△</sup>者为：取该元素光谱分析灵敏度值的1/3乘一个点距（10米）的值，代替线异常总金属量值的零数值。

上述剖面位置详见图 1。

计算了各剖面上 Be、Bi、Sn、Cu、Pb、Cd、Ag 等元素的异常线总金属量值 (米%), 结果列于表 1。

上述剖面岩样采集方法是采裂隙矿化样品; 样品中元素含量值分析方法为光谱半定量。各元素的分析灵敏度值 (ppm) 为: Be 5, Bi 10, Sn 10, Cu 10, Pb 10, Cd 10, Ag 0.1。

### 与成矿花岗岩有关的 原生晕的轴向分带

#### 1. 原生晕中元素的分带性

在白泥垌矿床内, 沿层间剥离带形成的构造原生晕中, Be、Bi、Sn、Pb、Cu 等元素异常线金属含量变化是复杂的。在选择研究的地表九条原生异常剖面上, 有的元素异常线总金属含量曲线在距成矿花岗岩不同部位上形成多个极大值, 如 Pb、Sn、Cu 元素; 有的元素则只有一个极大值, 如 Be。此外, 上述元素异常线总金属含量曲线并不具同起伏的对应变化 (图 2), 其他元素 Bi、Ag、Cd 也不例外。反映了构造原生晕中 Sn、Bi、Be、Cu、Pb、Cd、Ag 元素具有轴向分带性。这种分带性与矿床矿化活动多期性有关。

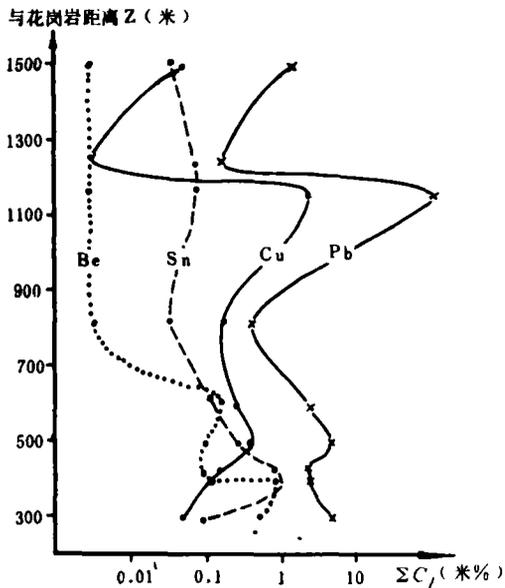


图 2 白泥垌矿段成矿花岗岩构造原生晕 Sn、Cu、Pb、Be 线金属含量距花岗岩远近变化示意图

#### 2. 原生晕轴向分带序列的计算结果

(1) 用 C. B. 格里戈良分带指数方法的计算结果

① 分带指数的计算结果: 按参考文献 [3] 中所述, 各指示元素 (本文为 Be、Bi、Sn、Cu、Pb、Cd、Ag) 的分带指数计算公式如下:

$$II_{z_i} = \frac{PI_i}{\sum_{i=1}^n PI_i}$$

式中  $II_{z_i}$ —某一距离剖面上某元素的分带指数;

$PI_i$ —该距离剖面上某元素线金属量标准化数值;

$PI_i$ —该矿化类型 (本文为成矿花岗岩沿岩层层间剥离带的原生晕) 中所有指示元素在该中段上线金属量标准化数值。

在上述计算分带指数公式中, 用到剖面上元素线金属量标准化数值, 亦即要先将各元素原始线金属量值标准化。方法为: 先确定各指示元素的标准化系数  $K_H$ 。就是在被研究的原生晕剖面上, 找出各指示元素中最大的线金属量值, 又从这些含量极大值中找出最大的数值作为标准化系数的单位, 即该元素的  $K_H$  值为 1。其它元素的  $K_H$  值由每种元素线金属量最大值的数量级与标准化系数单位相差的数量级倍数决定。然后在确定各元素标准化系数  $K_H$  的基础上, 将各元素  $K_H$  值与该元素不同距离剖面上的原始线金属量值相乘得标准化的元素金属量值, 即可计算  $II_{z_i}$  值。

从表 1 中选第 1、4、5、6、7 号剖面进行计算分带指数, 结果列于表 2。

② 元素分带序列的确定: 按表 2 中元素的  $II_{z_i}$  值来确定原生晕分带序列中元素的位置。具体做法是:

根据某元素的分带指数最大值出现在某一剖面上, 即确定该元素在原生晕分带序列的位置即该剖面对应的 Z 距离上。如此得白泥垌矿床沿岩层间剥离带的、成矿花岗岩的原生晕分带序列为 (从深到浅、或从下到上): Bi、Sn → Be → Cd、Ag → Pb、Cu。

精确分带序列的确定。上述分带序列中 Bi 和

元素分带指数值 ( $D_{iz}$ ) 表

表 2

剖面	Be	Bi	Sn	Cu	Cd	Pb	Ag
1 (300米)	0.2288	0.2119	0.4025	0.0021	0.0636	0.0022	0.0890
4 (500米)	0.0936	0.1918	0.2340	0.0365	0.1872	0.0045	0.2527
5 (600米)	0.3122	0.0040	0.2883	0.0527	0.1988	0.0048	0.1392
6 (825米)	0.0180	0.0269	0.2693	0.1436	0.2693	0.0036	0.2693
7 (1165米)	0.0036	0.0055	0.1368	0.5161	0.0547	0.2286	0.0547

Sn, Cd 和 Ag, Pb 和 Cu 占据同一 Z 值的剖面上, 为此进行精确分带序列的计算。对位于 Z 值最小和最大的剖面上的元素组, 用下式确定相互间的分带序列位置:

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{D_{max}}{D_i}$$

G—变化指数;

$D_{max}$ —该元素分带指数最大值;

$D_i$ —该元素在不同 Z 的剖面上的分带指数值;

n—不考虑  $D_{max}$  所在剖面的其它剖面数。

据此, 得  $G_{Bi}$  为 100.48,  $G_{Sn}$  为 7.55。故 Bi 比 Sn 离花岗岩近些 (该两元素同处离花岗岩面 Z 最小的剖面之故)。另又得  $G_{Cu}$  为 273.3,  $G_{Pb}$  为 265.8, 故 Cu 比 Pb 离花岗岩远些 (该两元素同处于离花岗岩面 Z 最大的剖面之故)。

对于 Cd 和 Ag, 由于所处分带序列位置的剖面为距花岗岩中等的剖面, 故用分带指数比的梯度差 ( $G_1 - G_2$ ) 来确定相对分带序列位置。其中  $G_1$  为最大分带指数所在剖面往距离花岗岩更远之剖面分带指数比值之和,  $G_2$  为最大分带指数所在剖面往距离花岗岩更近之剖面分带指数比值和 (均以  $G_{max}$  作分子)。计算 Cd 和 Ag 元素的 ( $G_1 - G_2$ ) =  $\Delta G$  值为: Cd 7.03, Ag 6.03。故 Ag 相对 Cd 更离花岗岩面近些。

综合得成矿花岗岩沿岩层层间剥离带原生晕分带序列 (离花岗岩面近到远, 或下至上): Bi → Sn → Be → Ag → Cd → Pb → Cu。

(2) 用 E. M. 克维亚特科夫斯基金属量梯度方法的计算结果

①距花岗岩面不同 Z 间隔上的金属量梯度  $gr$  的计算: 据文献 [4] 所述, 各元素在不同 Z 间

隔上的  $gr$  值计算公式如下:

$$gr = M_{上} / M_{下}$$

$M_{上}$ —相对 Z 值大的剖面某元素的金属量;

$M_{下}$ —相对 Z 值小的剖面某元素的金属量。

据表 1 中九条剖面对应的九个距花岗岩面 Z 值, 共得 36 个距成矿花岗岩面不同 Z 的间隔 (表 3 中第一列), 计算不同 Z 间隔各元素的  $gr$  值列于表 3 第二列至第八列中。

②元素分带序列的确定: 局部的元素分带序列的确定。每一 Z 间隔的各元素  $gr$  值计算出后, 按由小到大的  $gr$  值确定该 Z 间隔上相对与成矿花岗岩由近到远的、局部的元素分带序列次序, 用从 1 开始的自然数字表示。36 个距成矿花岗岩面不同 Z 的间隔的、局部的元素分带序列次序, 见表 3 中第 2 行到第 37 行的括号内数字。

元素的分带序列。分别计算各元素的 36 个 Z 间隔上  $gr$  的几何均值, 列表 3 第 38 行, 按其从小到大次序, 对应确定按  $gr$  值得出的元素分带序列为 (从深到浅部、或从下部到上部): Be → Bi → Sn → Ag → Cd → Cu → Pb。又据不同 Z 间隔中各元素的元素局部分带序列次序数, 得 36 个不同 Z 间隔的、元素局部分带序列次序数和  $\Sigma N_i$ , 列于表 3 中第 39 行, 按  $\Sigma N_i$  值由小到大次序得各元素的局部分带序列为 (从下部到上部): Be → Bi → Sn → Ag → Cd → Pb → Cu。据该两种分带序列结果, 结合表 3 中各元素局部分带序列结果对比, 综合得本方法的元素的分带序列为 (从下部到上部): Be → Bi → Sn → Ag → Cd → Pb → Cu。

3. 不同形式的原生晕轴向分带序列的比较

综合上述第 2 点结果, 可得个旧东部矿区与成矿花岗岩有关的原生晕轴向分带序列 (表 4 所列)。

不同Z值剖面间隔(区段—高程)元素的gr值

表 3

区 段	Be	Bi	Cu	Sn	Pb	Cd	Ag
1500—1250	1.000 (2)	1.000 (2)	16.667 (7)	0.667 (1)	11.333 (6)	1.000 (2)	1.000 (2)
—1160	1.000 (4)	1.000 (4)	0.018 (2)	0.571 (3)	6.014 (1)	1.000 (4)	1.000 (4)
— 825	1.000 (2)	1.000 (2)	0.313 (1)	1.333 (6)	4.250 (7)	1.000 (2)	1.000 (2)
— 600	0.006 (1)	1.000 (7)	0.189 (2)	0.276 (3)	0.708 (6)	0.300 (4)	0.429 (5)
— 500	0.010 (1)	0.015 (2)	0.128 (4)	0.160 (6)	0.354 (7)	0.150 (5)	0.111 (3)
— 420	0.011 (1)	0.100 (3)	0.357 (4)	0.058 (2)	0.667 (6)	1.000 (7)	0.429 (5)
— 400	0.001 (1)	0.007 (2)	0.417 (6)	0.031 (4)	0.630 (7)	0.030 (3)	0.071 (5)
— 300	0.002 (1)	0.006 (2)	1.000 (7)	0.042 (3)	0.333 (6)	0.200 (5)	0.143 (4)
1250—1160	1.000 (4)	1.000 (4)	0.001 (1)	0.800 (3)	0.001 (1)	1.000 (4)	1.000 (4)
— 825	1.000 (3)	1.000 (3)	0.019 (1)	2.000 (7)	0.375 (2)	1.000 (3)	1.000 (3)
— 600	0.006 (1)	1.000 (7)	0.011 (2)	0.414 (5)	0.063 (3)	0.300 (4)	0.429 (6)
— 500	0.010 (2)	0.015 (3)	0.008 (1)	0.240 (7)	0.031 (4)	0.150 (6)	0.111 (5)
— 420	0.011 (1)	0.100 (5)	0.021 (2)	0.087 (4)	0.059 (3)	1.000 (7)	0.429 (6)
— 400	0.001 (1)	0.007 (2)	0.025 (3)	0.047 (5)	0.056 (6)	0.030 (4)	0.071 (7)
— 300	0.002 (1)	0.006 (2)	0.060 (4)	0.063 (5)	0.029 (3)	0.200 (7)	0.143 (6)
1160— 825	1.000 (1)	1.000 (1)	17.688 (6)	2.500 (5)	313.375 (7)	1.000 (1)	1.000 (1)
— 600	0.006 (1)	1.000 (5)	10.679 (6)	0.517 (4)	52.229 (7)	0.300 (2)	0.429 (3)
— 500	0.010 (1)	0.015 (2)	7.256 (6)	0.300 (5)	26.115 (7)	0.150 (4)	0.111 (3)
— 420	0.011 (1)	0.100 (2)	20.214 (6)	0.109 (3)	49.157 (7)	1.000 (5)	0.429 (4)
— 400	0.001 (1)	0.007 (2)	23.583 (6)	0.058 (4)	46.426 (7)	0.030 (3)	0.071 (5)
— 300	0.002 (1)	0.006 (2)	56.600 (7)	0.079 (3)	24.578 (6)	0.200 (5)	0.143 (4)
825— 600	0.006 (1)	1.000 (7)	0.604 (6)	0.207 (3)	0.167 (2)	0.300 (4)	0.429 (5)
— 500	0.010 (1)	0.015 (2)	0.410 (7)	0.120 (5)	0.083 (3)	0.150 (6)	0.111 (4)
— 420	0.011 (1)	0.100 (3)	1.143 (7)	0.044 (2)	0.157 (4)	1.000 (6)	0.429 (5)
— 400	0.001 (1)	0.007 (2)	1.333 (7)	0.023 (3)	0.148 (6)	0.030 (4)	0.071 (5)
— 300	0.002 (1)	0.006 (2)	3.200 (7)	0.032 (3)	0.078 (4)	0.200 (6)	0.143 (5)
600— 500	1.570 (7)	0.015 (1)	0.680 (6)	0.580 (5)	0.500 (3)	0.500 (3)	0.259 (2)
— 420	1.744 (6)	0.100 (1)	1.893 (7)	0.210 (2)	0.941 (3)	3.333 (5)	1.000 (4)
— 400	0.155 (3)	0.007 (1)	2.208 (7)	0.775 (5)	0.889 (6)	0.100 (2)	0.167 (4)
— 300	0.291 (3)	0.006 (1)	5.300 (7)	0.153 (2)	0.471 (5)	0.667 (6)	0.333 (4)
500— 420	1.111 (2)	6.833 (7)	2.786 (4)	0.362 (1)	1.882 (3)	6.667 (6)	3.857 (5)
— 400	0.099 (1)	0.500 (4)	3.250 (7)	0.194 (2)	1.778 (6)	0.200 (3)	0.643 (5)
— 300	0.185 (1)	0.410 (3)	7.800 (7)	0.263 (2)	0.941 (4)	1.333 (6)	1.286 (5)
420— 400	0.089 (3)	0.073 (2)	1.167 (7)	0.535 (5)	0.944 (6)	0.030 (1)	0.167 (4)
— 300	0.167 (2)	0.060 (1)	2.800 (7)	0.726 (6)	0.500 (5)	0.200 (3)	0.333 (4)
400— 300	1.870 (4)	0.820 (2)	2.400 (6)	1.358 (3)	0.529 (1)	6.667 (7)	2.000 (5)
$\bar{gr}$	0.034 (1)	0.085 (2)	0.574 (6)	0.206 (3)	0.650 (7)	0.351 (5)	0.337 (4)
$\Sigma Ni$	69 (1)	103 (2)	193 (7)	138 (3)	180 (6)	165 (5)	153 (4)

括号外为该区段的金属量梯度, 括号内为该区段中按梯度值递增顺序确定的分带系列中元素的顺序

个旧东部矿区不同形式的成矿花岗岩原生晕轴向分带序列

表 4

资料来源	元素分带序列 (从下而上)
文献 [1]	Sn, Cu, W (Bi, As) → Sn, Cu (W, Bi, Mo) → Sn, Pb (Zn, Ag, Mo) → Pb, Zn (Ag, Cd, In, Mn, Sn) → Fe, Mn (Pb, Zn, Ag, Sn)
文献 [2]	W, Be, Nb (Sn, Cu, Bi) → Cu, W, Bi (Sn, Be, Ag) → Sn, Cu (Bi, W, Mo) → Sn, Pb (Cu, Ag, In) → Pb, Zn (Cd, Ag, Mn) → Mn (Pb, Ag, Sb)
本文	Be → Bi → Sn → Ag → Cd → Pb → Cu

注: 括号中元素为主要伴生元素。

从表 4 比较可见, 本文确定的原生晕分带序列中, Cu 为上部元素。而以前, 文献 [1, 2] 的认识是, Cu 为下部元素。

成矿花岗岩面  $Z$  与分带性指数的依从关系  $\gamma_n = f(Z)$  函数的确定

按本文得到的原生晕分带序列, 参照 E. M. 克维亚特科夫斯基根据分带性指数估算矿体截面深度的方法 [4], 确定分带性指数  $\nu_n$  与成矿花岗岩面  $Z$  的依从关系。

#### 1. 分带性指数 $\nu_n$ 的选择

选择元素线金属含量值由分析给出的 4 至 7 条剖面, 分别计算了一级分带性指数 ( $\nu_1$ ) 12 个, 二级分带性指数 ( $\nu_2$ ) 22 个, 三级分带性指数 ( $\nu_3$ ) 9 个。分带性指数计算中, 分子与分母所用的元素线金属量, 分别为分带序列中上部与下部的元素的线金属量值。此外, 是根据相关系数值  $\gamma_{lgz, lg\nu} > \gamma_n$  (检验值) 来选择。  $\gamma_n$  (检验值) 选用置信度  $\alpha = 0.05$ ,  $n$  为计算所用剖面数减 2。计算了 43 个分带性指数与  $Z$  的相关系数, 其中九个分带性指数与  $Z$  的相关系数值列表 5 第 16 行, 相关系数检验值列表 5 第 17 行, 可见 Ag/Be 与 Ag/Bi

部分分带性指数  $\nu_n$  与成矿花岗岩面  $Z$  的相关系数及回归方程系数

表 5

$\nu_n$	Ag	Ag	Cu	Cd Pb	Cu Pb	Cu Cd	Cu Cd	Cu Cd	Cu Pb Cd
	Be	Bi	Sn	Bi Sn	Bi Sn	Be Bi	Be Sn	Bi Sn	Be Bi Sn
剖面数 $n$	5	5	7	5	5	4	5	5	5
$\sum x = \sum \lg \nu_n$	-10.81	-8.49	-0.24	0.50	5.49	-5.32	-8.49	-6.16	-0.45
$\sum y = \sum \lg Z$	13.18	13.18	19.16	13.18	13.18	10.40	13.18	13.18	13.18
$\bar{x} = \sum \lg \nu_n / n$	-2.16	-1.70	-0.03	0.10	1.10	-1.33	-1.70	-1.23	-0.09
$\bar{y} = \sum \lg Z / n$	2.64	2.64	2.74	2.64	2.64	2.60	2.64	2.64	2.64
$\sum x^2$	23.86	16.13	6.30	4.01	14.12	9.71	18.04	14.70	9.50
$\sum x^2 / n$	4.77	3.23	0.90	0.80	2.82	2.43	3.61	2.94	1.90
$\sum y^2$	34.79	34.79	52.69	34.79	34.79	27.07	34.79	34.79	34.79
$\sum y^2 / n$	6.96	6.96	7.53	6.96	6.96	6.77	6.96	6.96	6.96
$\sum xy$	-28.43	-22.12	0.53	1.72	15.04	-13.58	-21.98	-15.67	-0.52
$(\sum x \cdot \sum y) / n$	-28.49	-22.38	-0.67	1.31	14.46	-13.83	-22.37	-16.25	-1.19
$L_{xx} = \sum x^2 - (\sum x)^2 / n$	0.50	1.71	6.29	3.96	8.10	2.64	3.64	7.10	9.46
$L_{yy} = \sum y^2 - (\sum y)^2 / n$	0.05	0.05	0.24	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05
$L_{xy} = \sum xy - (\sum x \times \sum y) / n$	0.06	0.26	1.20	0.41	0.58	0.25	0.38	0.58	0.67
$\gamma = L_{xy} / \sqrt{L_{xx} \cdot L_{yy}}$	0.3593	0.8765	0.9744	0.9066	0.9106	0.9736	0.8894	0.9698	0.9661
$\gamma (n-2, 0.05)$	0.878	0.878	0.811	0.878	0.878	0.950	0.878	0.878	0.878
$b = L_{xy} / L_{xx}$	0.1148	0.1508	0.1908	0.1026	0.0702	0.0955	0.1050	0.0820	0.0707
$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$	3.2901	2.8920	2.7439	2.6257	2.5589	2.7274	2.8141	2.7369	2.8423

本表中计算格式参看文献 [5]。

对于Z的相关关系不够密切,故认为对确定成矿花岗岩面Z值不够理想,其余34个分带性指数亦如此。表5中第一行的第4列起以后的七个分带性指数,选择作为确定本矿区成矿花岗岩面Z的原生晕指标。

### 2. $\nu_n$ 与Z的回归方程

从选择的七个指示成矿花岗岩面Z的分带性

指数中,与Z的回归直线有两种:一是Cu/Sn, Cd Pb/Sn Bi, Cd Pb/Be Bi类型,回归直线斜率较陡,另一种为Cu Pb Cd/Be Bi Sn、Cu Cd/Sn Bi类型,回归直线斜率较缓。可分别从图3及表5中该分带性指数对应的回归方程b系数值大小看出。

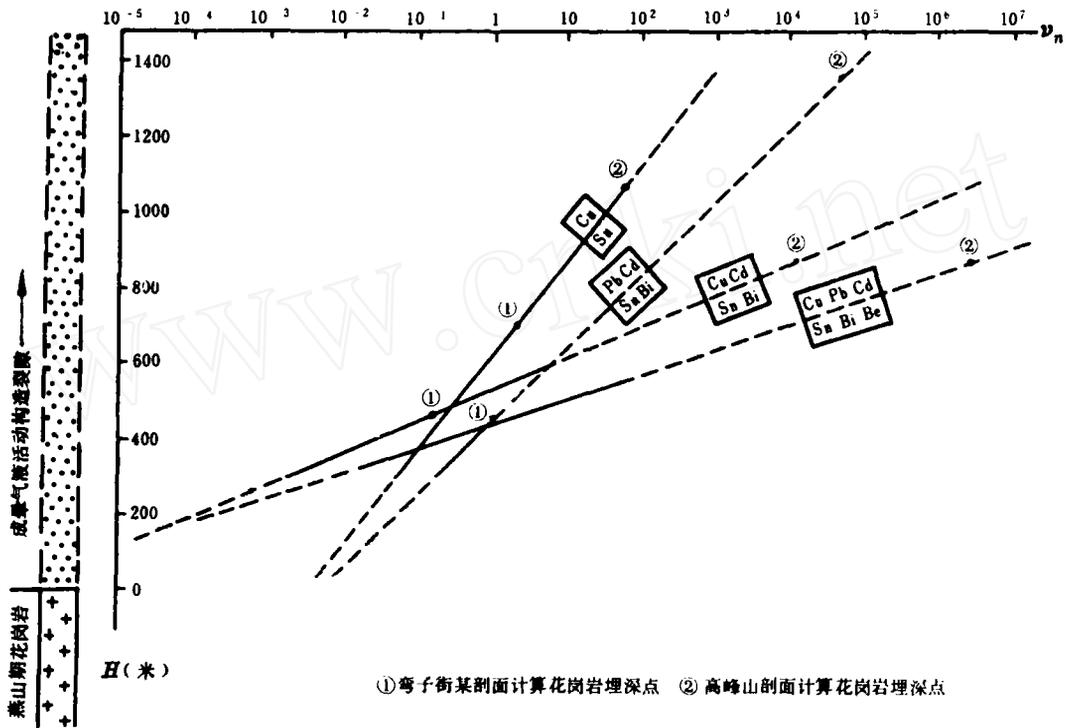


图3 个旧东部矿区白泥坝矿段构造原生晕部分分带性指数的  $\nu_n = f(Z)$  的回归线及用它们确定个旧东部矿区花岗岩面深度的标准回归线

据表5计算结果,可列出Cu/Sn、Cd Pb/Bi Sn、Cu Pb/Bi Sn、Cu Cd/Be Bi、Cu Cd/Sn Be、Cu Cd/Bi Sn、Pb Cd Cu/Be Bi Sn等七个分带性指数与Z的回归方程式(表6)。

成矿花岗岩面Z与最佳分带性指数  $\nu_n$  的回归方程 表6

最佳 $\nu_n$	$\lg z = a + b \cdot \lg \nu_n$
Cu/Sn	$2.7439 + 0.1908 \lg \nu_n$
Cd Pb/Bi Sn	$2.6257 + 0.1026 \lg \nu_n$
Cu Cd/Bi Sn	$2.5589 + 0.0702 \lg \nu_n$
Cu Cd/Be Bi	$2.7274 + 0.0955 \lg \nu_n$
Cu Cd/Be Sn	$2.8141 + 0.1050 \lg \nu_n$
Cu Cd/Sn Bi	$2.7369 + 0.0820 \lg \nu_n$
Cu Pb Cd/Be Bi Sn	$2.6423 + 0.0707 \lg \nu_n$

### 1. 应用效果

为检验所选择的七个分带性指数的效果,在个旧东部矿区的弯子街矿床和高峰山矿床的各一条剖面上,确定了构造断裂上的原生晕,计算了上述Cu/Sn、Cu Pb/Bi Sn等七个(上述)分带性指数值(表7中第二行至第8行数字,为对数值)。按表6中回归方程式计算,每一分带性指数对应的成矿花岗岩面Z值列于表7第9行至第15行数字。每一剖面预测成矿花岗岩面Z值平均值列表7第16行。与工程验证查得成矿花岗岩面Z的真值(表7第17行数字)相比,相对误差分别为+22.78%和+17.68%。上述验证结果表明,成矿花岗岩沿构造断裂和层间剥离带原生晕的元

两个验证剖面检验结果表 表 7

地区剖面	弯子街矿床 某剖面	高峰山矿床 某剖面	
分带性指数及数值 (lg)	Cu/Sn	0.4337	1.6990
	Cd Pb/Bi Sn	0.3500	4.6467
	Cu Pb/Bi Sn	2.1642	5.0447
	Cu Cd/Be Bi	1.3463	4.6167
	Cu Cd/Be Sn	0.8017	4
	Cu Cd/Bi Sn	-0.7894	4
	Cu Pb Cd/Be Bi Sn	2.5322	6.3457
	分带性指数及预测 Z 值 (米)	Cu/Sn	670.9
Cd Pb/Bi Sn		458.8	1266.2
Cu Pb/Bi Sn		513.8	818.54
Cu Cd/Be Bi		717.7	1286.5
Cu Cd/Be Sn		791.2	1714.35
Cu Cd/Bi Sn		470.1	1161.2
Cu Pb Cd/Be Bi Sn		662.7	1232.8
Z 值 (米)		613.9	1253.6
实际 Z 值 (米)	500	1050	
Z <sub>0</sub> - Z̄ / Z̄ × 100 (%)	22.78	17.68	

素分带序列是类同的。

### 结 论

1. E. M. 克维亚特科夫斯基应用分带性指数确定矿体截面深度的方法 [4], 可适用于个旧东部矿区用构造原生晕确定成矿花岗岩面 Z 的数值 (深度)。

2. 个旧东部矿区中, 成矿花岗岩沿围岩层间剥离带和构造断裂中均有相类似的原生晕的元素分带系列, 已为文中应用分带性指数确定花岗岩面 Z 值的效果所证实。沿构造轴向的原生晕元素

分带序列为 (从下而上): Be → Bi → Sn → Ag → Cd → Pb → Cu。

3. 个旧东部矿区确定成矿花岗岩面 Z (埋深) 的原生晕分带性指数为: Cu/Sn, Cd Pb/Bi Sn, Cu Pb/Bi Sn, Cu Cd/Be Bi, Cu Cd/Be Sn, Cu Cd/Bi Sn, Cu Pb Cd/Be Bi Sn 等七个。随着分析技术的改善, 将来能够检出的元素越多, 可能个数会有增加或修改。

4. 根据最佳分带性指数 (指标) 的  $lg Z - a + blg v_n$  回归方程计算预测的成矿花岗岩面 Z 值 (深度), 与真深度 (Za) 相比: 单一分带性指数确定的成矿花岗岩埋深, 误差一般较大, 同时使用七个分带性指数预测成矿花岗岩深度, 准确度较高。

本文承林振芳工程师给予帮助, 顺致谢意。

### 参考文献

- [1] 云南某冶金地质勘探队, 地质与勘探, 1975年第1期40页
- [2] 云南冶金地质勘探公司物探队, 地质与勘探, 1980年第2期51页
- [3] 中国地质科学院地质情报所方法室化探组编写, 《苏联原生晕研究近况》, 地质科技动态, 1978年第4期 (试刊)
- [4] 叶, 米, 克维亚特科夫斯基 (张国容、邱郁文译), 《岩石化学找矿法 (内生金属矿床岩石化学普查方法)》, 地质出版社, 1980年1月
- [5] 中国科学院数学研究所数理统计组编, 《回归分析方法》, 科学出版社, 1975年

## 生物地球化学找铜矿的方法

生物地球化学找矿, 是通过发现植物的地球化学异常, 以确定基岩矿化情况的方法。

岩石、矿体 (包括原生异常), 由于表生风化作用, 转变为风化产物 (以矿物形式或非矿物形式存在), 部分是可溶性的含氧酸盐, 如硝酸盐、碳酸盐、硫酸盐、有机络合物等, 为生长在该区的植物根系, 无休止地选择性吸收; 即使是难溶化合物, 如硫化矿, 也因为植物根系分泌的

有机酸, 在一定程度上被溶解了。这样, 使成矿元素及其伴生元素, 浓集于植物机体内。根据植物相应部分 (根、茎、叶、枝) 的灰分分析资料, 可以推断地下隐伏矿床的存在和规模。此种方法, 多用在植被发育良好的森林区、大面积覆盖的草原区、厚层土壤区、矿体露头被冲积层掩盖的地区以及沼泽和沙漠区。

进行生物地球化学调查, 应尽量考虑以常见