

确定原生晕元素分带序列的计算

潘勇飞

内生多金属矿床, 由于成矿热液处于高温、高压状态, 多种元素向周围空间有渗透作用。这种渗透作用的强弱取决于成矿溶液的性质、压力、浓度和围岩的岩性及构造条件。往往这种渗透作用在矿体的周围空间形成封闭的元素分布圈, 即所谓矿体的原生晕。在原生晕中元素的分布是有一定顺序的, 即有分带性。这种分带性表现为垂向分带和水平分带。而且元素的分带和矿物的分带又常是相对应的。研究矿床元素或矿物在空间的分带序列, 对了解矿床类型、研究矿床的地球化学特点、划分化探元素组合异常、确定远进程元素和指示寻找盲矿体等都具有实际意义。

确定元素分带序列的方法有多种。譬如: 根据晕的大小强弱和克维亚特柯夫斯基的方法等。但用计算分带指数 D_{ij} 及其变化梯度 ΔG 的方法较精确和科学, 值得推荐介绍。如将数据按 i 行 j 列的数组排列后, 可编程序用电算处理。

一、求各指示元素金属量值的标准化数值

所谓标准化数值, 就是先使其各元素的最大含量值, 取其相同的数量级。最后使元素的分带指数取得相同数量级。

除非各元素最大含量值的数量级相同时, 方可直接利用分析化验出的金属量数值, 这是极个别的情况。一般不能直接利用分析化验出的金属量数值 A_j , 而是应把该数值化成所谓的标准化数值 a_j 。

$$a_j = K_j A_j \quad (1)$$

其中 K_j 叫标准化系数。 j 取 1、2、3…… m , 系元素的种类数。

应首先求出 K 值。方法是: 从不同标高或不同水平距离的各指示元素的金属量中找出每种元素的最大值来, 将其最大的作为确定标准化系数的单位, 则令该元素的 K 值为 1。其他元素的 K 值由每种元素金属量最大值的数量级 (分母) 与标准化系数单位的最大值的数量级 (分子) 相除的倍数来决定。求出各元素的 K 值后, 利用 (1) 式即求出各元素的标准化数值。

对各元素来讲, 由于最大含量值的数量级不同, 其标准化系数 K_j 可以是不同的。由于是数量级的关系, 标准化系数只能取 10^0 、 10^1 、 10^2 …… 10^k , 其中 k 为正整数。

所谓不同标高或不同水平距离的元素的金属量, 就是分别指在坑道的不同水平中段及钻孔内的不同深度或水平坑道内及地表平面内取的样品的元素金属量 (图 1、2)。以 i 表示取样点的顺序号由 1、2、3…… n 。以 j 表示元素的种类数, 由 1、2、3…… m 。

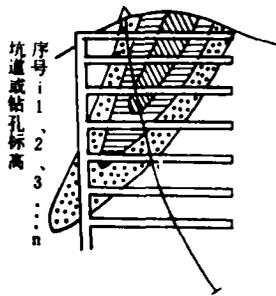


图 1 对计算垂向分带剖面

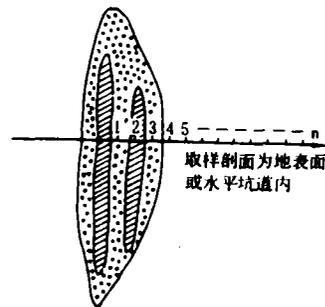


图 2 对计算水平分带剖面

二、将标准化的元素含量值 a_{ij} 按 i 行 j 列排成表1

表1

j	各种标准化元素含量值 a_{ij}											$\sum_{j=1}^m a_{ij}$	
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	...	M_{m-2}	M_{m-1}		M_m
1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	...	$a_{1(m-2)}$	$a_{1(m-1)}$	a_{1m}	$\sum_{j=1}^m a_{1j}$
2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	...	$a_{2(m-2)}$	$a_{2(m-1)}$	a_{2m}	$\sum_{j=1}^m a_{2j}$
3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}	a_{37}	a_{38}	...	$a_{3(m-2)}$	$a_{3(m-1)}$	a_{3m}	$\sum_{j=1}^m a_{3j}$
4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}	a_{47}	a_{48}	...	$a_{4(m-2)}$	$a_{4(m-1)}$	a_{4m}	$\sum_{j=1}^m a_{4j}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	a_{ij}	...	...	...	...
n-1	$a_{(n-1)1}$	$a_{(n-1)2}$	$a_{(n-1)3}$	$a_{(n-1)4}$	$a_{(n-1)5}$	$a_{(n-1)6}$	$a_{(n-1)7}$	$a_{(n-1)8}$	...	$a_{(n-1)(m-2)}$	$a_{(n-1)(m-1)}$	$a_{(n-1)m}$	$\sum_{j=1}^m a_{(n-1)j}$
n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	a_{n4}	a_{n5}	a_{n6}	a_{n7}	a_{n8}	...	$a_{n(m-2)}$	$a_{n(m-1)}$	a_{nm}	$\sum_{j=1}^m a_{nj}$

j —元素种类及序号； i —标高或水平点距序号

三、计算相应元素的分带指数 D_{ij}

某元素的分带指数 D_{ij} 被定义为该元素的含量 a_{ij} 与被研究的某标高或某平面距离上的全部指示元素的总含量之比。

$$\text{即: } D_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_{ij}} \quad (2)$$

按 (2) 式分别计算各元素的在相应标高 (或相应平面距离) 上的分带指数 D_{ij} 并列成表 2。

表2

j	分带指数值 D_{ij}											
	1	2	3	4	5	6	7	8	...	$m-2$	$m-1$	m
1	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{15}	D_{16}	D_{17}	D_{18}	...	$D_{1(m-2)}$	$D_{1(m-1)}$	D_{1m}
2	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{24}	D_{25}	D_{26}	D_{27}	D_{28}	...	$D_{2(m-2)}$	$D_{2(m-1)}$	D_{2m}
3	D_{31}	D_{32}	D_{33}	D_{34}	D_{35}	D_{36}	D_{37}	D_{38}	...	$D_{3(m-2)}$	$D_{3(m-1)}$	D_{3m}
4	D_{41}	D_{42}	D_{43}	D_{44}	D_{45}	D_{46}	D_{47}	D_{48}	...	$D_{4(m-2)}$	$D_{4(m-1)}$	D_{4m}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	D_{ij}	...	...	...
n-1	$D_{(n-1)1}$	$D_{(n-1)2}$	$D_{(n-1)3}$	$D_{(n-1)4}$	$D_{(n-1)5}$	$D_{(n-1)6}$	$D_{(n-1)7}$	$D_{(n-1)8}$	...	$D_{(n-1)(m-2)}$	$D_{(n-1)(m-1)}$	$D_{(n-1)m}$
n	D_{n1}	D_{n2}	D_{n3}	D_{n4}	D_{n5}	D_{n6}	D_{n7}	D_{n8}	...	$D_{n(m-2)}$	$D_{n(m-1)}$	D_{nm}

j —分带指数值及序号； i —标高或水平距离序号

从表 2 求得的分带指数值中, 可找出每个元素中的最大分带指数值 $D_{ij \max}$ 。按在同一标高 (或平

面距离)上,各元素出现最大分带指数值的个数和所处的位置,可分下列三种情况讨论和计算:

1.各标高(或平面距离)上,分别只有一个元素的最大分带指数时,为最简单情况。可按计算结果,由下(近)往上(远)排列元素的分带序列。

2.对于有两个以上元素最大分带指数值同时出现在最上部标高(或最远平面距离)或最下部标高(或最近平面距离)时,可用计算每个元素的变化指数 G_{ij} 来进一步确定顺序。

对于在最上部(或最远距离)时 G_{ij} 的一般表达式是:

$$G_{ij} = \sum_{i=2}^n \frac{D_{ij \max}}{D_{ij}} = \frac{D_{1j \max}}{D_{2j}} + \frac{D_{1j \max}}{D_{3j}} + \frac{D_{1j \max}}{D_{4j}} + \dots + \frac{D_{1j \max}}{D_{(n-1)j}} + \frac{D_{1j \max}}{D_{nj}} \quad (3)$$

对于在最下部(或最近距离)时 G_{ij} 的一般表达式是:

$$G_{ij} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{D_{nj \max}}{D_{ij}} = \frac{D_{nj \max}}{D_{1j}} + \frac{D_{nj \max}}{D_{2j}} + \dots + \frac{D_{nj \max}}{D_{(n-2)j}} + \frac{D_{nj \max}}{D_{(n-1)j}} \quad (4)$$

计算后 G_{ij} 大者其元素排在上(远),小者其元素排在下(近)。

3.对于有两个以上元素最大分带指数值 $D_{ij \max}$ 处于中间某 K 标高(或平面距离)上时,要由分别计算各元素的变化指数的梯度(沿高度或平面距离)大小来确定元素的先后顺序。

所谓变化指数的梯度,应是:

$$\Delta G = \frac{G_{\text{下(近)}} - G_{\text{上(远)}}}{L} \quad (5)$$

这里 L 是假想的、抽象的距离,但对每个元素来讲,它都应是相同的,为方便起见,令其为 r 。

则(5)式变为:

$$\Delta G = G_{\text{下(近)}} - G_{\text{上(远)}} \quad (6)$$

其中 $G_{\text{上(远)}}$, $G_{\text{下(近)}}$ 的一般表达式分别如下:

$$G_{\text{上(远)}} = \sum_{i=1}^{k-1} \frac{D_{kj \max}}{D_{ij}} = \frac{D_{kj \max}}{D_{1j}} + \frac{D_{kj \max}}{D_{2j}} + \frac{D_{kj \max}}{D_{3j}} + \dots + \frac{D_{kj \max}}{D_{(k-2)j}} + \frac{D_{kj \max}}{D_{(k-1)j}} \quad (7)$$

$$G_{\text{下(近)}} = \sum_{i=k+1}^n \frac{D_{kj \max}}{D_{ij}} = \frac{D_{kj \max}}{D_{(k+1)j}} + \frac{D_{kj \max}}{D_{(k+2)j}} + \frac{D_{kj \max}}{D_{(k+3)j}} + \dots + \frac{D_{kj \max}}{D_{(n-1)j}} + \frac{D_{kj \max}}{D} \quad (8)$$

各元素按变化指数的梯度大小 $\Delta G_1, \Delta G_2, \Delta G_3, \dots, \Delta G_n$ 的顺序排列。因为在同一标高(或同一平面距离)内,某元素的 $\Delta G = G_{\text{上(远)}} - G_{\text{下(近)}}$ 越大,反映该元素由下向上(或由近向远)的迁移能力也越大。故 ΔG 大的元素应排在上(或远)处。

四、计算实例

利用某金矿原生晕元素金属量原始数据进行计算。

计算标准化数据:

按表3查得 $S_n \quad A_{\max} = 7.1$, $W \quad A_{\max} = 5.3$,

$Co \quad A_{\max} = 0.33$, $Cu \quad A_{\max} = 69.0$,

$Zn \quad A_{\max} = 6.5$, $Pb \quad A_{\max} = 8.8$,

$Bi \quad A_{\max} = 2.9$, $As \quad A_{\max} = 29.1$,

$Ag \quad A_{\max} = 0.10$, $Sb \quad A_{\max} = 0.50$ 。

在各元素的 A_{\max} 中,最大者为 Cu 的 $A_{\max} = 69.0$,于是令 Cu 的标准化系数 $K_{Cu} = 1$ 。则 $K_{Sn} = 10$, $K_W = 10$, $K_{Co} = 10^2$; $K_{Zn} = 10$; $K_{Pb} = 10$; $K_{Bi} = 10$; $K_{As} = 1$; $K_{Ag} = 10^2$; $K_{Sb} = 10^2$ 。

各元素按(1)式算得表4标准化数据:

按(2)式计算 a_{ij} 的分带指数 D_{ij} 见表5。

表 3

元素种类及 序号 <i>j</i>	元 素 含 量 原 始 数 值 A (ppm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标高或 水平点距序号 <i>i</i>	Sn	W	Co	Cu	Zn	Pb	Bi	As	Ag	Sb
1	0.07	0.016	0.002	1.4	0.2	0.34	0.04	0.63	0.025	0.01
2	3.3	5.3 *	0.01	31.5	0.5	0.26	2.9 *	27.4	0.10*	0.44
3	7.1 *	0.85	0.33*	69.0*	6.5 *	8.8 *	0.76	29.1*	0.062	0.50 *
4	1.8	0.33	0.01	4.1	1.3	2.5	0.055	0.25	0.009	0.01
5	1.8	4.79	0.21	27.7	2.1	1.5	0.12	16.4	0.02	0.30

* 各元素中最大含量者。

表 4

元素种类及 序号 <i>j</i>	标 准 化 数 据 a_{ij}										$\sum_{j=1}^{10} a_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
标高或 水平点距序号 <i>i</i>	Sn	W	Co	Cu	Zn	Pb	Bi	As	Ag	Sb	
1	0.7	0.16	0.2	1.4	2	3.4	0.4	0.63	2.5	1	12.39
2	33	63	1	31.5	5	2.6	29	27.4	10	44	236.5
3	71	8.5	33	69.0	65	88	7.6	29.1	6.2	50	427.4
4	18	3.3	1	4.1	13	25	0.55	0.25	0.9	1	67.1
5	18	47.9	21	27.7	21	15	1.2	16.4	2	30	200.2

表 5

元素分带指数 及序号 <i>j</i>	相 应 元 素 分 带 指 数 值 D_{ij}									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标高或 水平点距序号 <i>i</i>	Sn	W	Co	Cu	Zn	Pb	Bi	As	Ag	Sb
1	0.056	0.013	0.016	0.113	0.161	0.274	0.032	0.051	0.202*	0.081
2	0.140	0.224	0.004	0.133	0.021	0.011	0.123*	0.116*	0.042	0.186*
3	0.166	0.020	0.077	0.161*	0.152	0.206	0.018	0.068	0.015	0.117
4	0.268*	0.049	0.015	0.061	0.194*	0.373*	0.008	0.004	0.013	0.015
5	0.090	0.239*	0.105*	0.138	0.105	0.075	0.006	0.082	0.010	0.150

* 各元素分带指数中最大者。

对于最下部标高(或最近距离)里,同时有两个元素的最大指数值,分别为 $D_w = 0.239$ 和 $D_{Co} = 0.105$ 。按(4)式得:

$$G_w = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{D_{n/jmax}}{D_{ij}} = \frac{0.239}{0.013} + \frac{0.239}{0.224} + \frac{0.239}{0.020} + \frac{0.239}{0.049} = 36.28,$$

$$G_{Co} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{D_{n/jmax}}{D_{ij}} = \frac{0.105}{0.016} + \frac{0.105}{0.004} + \frac{0.105}{0.077} + \frac{0.105}{0.015} = 41.17,$$

$\because G_{Co} > G_w, \therefore Co$ 在W上(或远)。

对于第2标高和第4标高内,各有3个元素的最大分带指数值,分别为 $D_{Bi} = 0.123$, $D_{As} = 0.116$,

$D_{Sb} = 0.186$, $D_{Sn} = 0.268$, $D_{Zn} = 0.194$, $D_{Pb} = 0.373$ 。

在同一标高内, 可用计算各元素的变化指数梯度大小来确定其先后顺序。按 (7) (8) 式有:

$$G_{Bi上(远)} = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.123}{0.032} = 3.84,$$

$$G_{Bi下(近)} = \sum_{i=K+1}^n \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.123}{0.018} + \frac{0.123}{0.008} + \frac{0.123}{0.006} = 42.71,$$

$$\text{则 } \Delta G_{Bi} = G_{Bi下(近)} - G_{Bi上(远)} = 42.71 - 3.84 = 38.87;$$

$$G_{As上(远)} = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.116}{0.051} = 2.27,$$

$$G_{As下(近)} = \sum_{i=K+1}^n \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.116}{0.068} + \frac{0.116}{0.004} + \frac{0.116}{0.082} = 32.12,$$

$$\text{则 } \Delta G_{As} = G_{As下(近)} - G_{As上(远)} = 32.12 - 2.27 = 29.85;$$

$$G_{Sb上(远)} = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.186}{0.081} = 2.30,$$

$$G_{Sb下(近)} = \sum_{i=K+1}^n \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.186}{0.117} + \frac{0.186}{0.015} + \frac{0.186}{0.150} = 15.23,$$

$$\text{则 } \Delta G_{Sb} = G_{Sb下(近)} - G_{Sb上(远)} = 15.23 - 2.30 = 12.93。$$

$\therefore \Delta G_{Bi} > \Delta G_{As} > \Delta G_{Sb}$, $\therefore Bi$ 最上 (或最远)、 As 次之、 Sb 最下 (或最近)。

同理:

$$G_{Sn上(远)} = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.268}{0.056} + \frac{0.268}{0.140} + \frac{0.268}{0.166} = 8.31,$$

$$G_{Sn下(近)} = \sum_{i=K+1}^n \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.268}{0.090} = 2.98,$$

$$\text{则 } \Delta G_{Sn} = G_{Sn下(近)} - G_{Sn上(远)} = 2.98 - 8.31 = -5.33;$$

$$G_{Zn上(远)} = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.194}{0.161} + \frac{0.194}{0.021} + \frac{0.194}{0.152} = 11.72,$$

$$G_{Zn下(近)} = \sum_{i=K+1}^n \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.194}{0.105} = 1.85,$$

$$\text{则 } \Delta G_{Zn} = G_{Zn下(近)} - G_{Zn上(远)} = 1.85 - 11.72 = -9.87;$$

$$G_{Pb上(远)} = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.373}{0.274} + \frac{0.373}{0.011} + \frac{0.373}{0.206} = 37.07,$$

$$G_{Pb下(近)} = \sum_{i=K+1}^n \frac{D_{Kjmax}}{D_{ij}} = \frac{0.373}{0.075} = 4.97,$$

$$\text{则 } \Delta G_{Pb} = G_{Pb下(近)} - G_{Pb上(远)} = 4.97 - 37.07 = -32.1。$$

$\therefore \Delta G_{Sn} > \Delta G_{Zn} > \Delta G_{Pb}$, $\therefore Sn$ 最上 (或最远)、 Zn 次之、 Pb 最下 (或最近)。

综上计算元素分带序列 (自下 (近) 而上 (远)) 应是: $W-Co-Pb-Zn-Sn-Cu-Sb-As-Bi-Ag$ 。