

金属矿床地球化学垂直分带研究的几个方法问题

矿体及其原生晕的地球化学分带现象,近年来在热液矿床研究方面引起了地质、地球化学工作者的重视。过去,人们往往只涉及到深部矿体在地表的微弱反映,而又只能根据这些反映进行研究区的远景评价。目前,已从纯理论性的探讨过渡到积极利用垂直分带的研究成果来解决实际问题。垂直分带规律的应用,使我们全面地向解决隐伏矿体的找矿方面更进了一步,同时在苏联的若干金属矿区发现了几十个够工业品位的矿床。

1972年,在莫斯科举行了根据热液矿床的分带现象预测隐伏矿体的会议,总结了这方面的认识,归纳了现有的资料。有人认为,矿体、矿床以及更大的地质单元的分带现象,“是化学元素、矿物和矿石成分或构造的某些特征及与其伴生的矿化以不同形状的带在空间上的规律性分布”。也有人认

特点是地球不同地区(包括相距很远的地区)各种标志的稳定性。同时,它们是活动的,对地质条件变化有敏锐反应,并相应地发生变化。这就引起含矿建造系列的变化,在由一个构造岩浆带向另一个邻近的构造岩浆带过渡时,出现侧向含矿分带现象。体系,甚至于是它的一部分,都具有火山深成性质,所以含矿建造系列的上部各组成部分表面上可能属于火山岩,下部各部分则属于深成岩。由于深成构造是向火山构造逐渐过渡的,所以关于它们之间界线的争论则是不切实际的。看来,今后金属矿床地质学的发展方向将不把“火山”和“深成”含矿建造分隔开,而是确定和研究岩浆含矿体系与其有关的含矿建造成因系列。

结 论

1、世界上不同地区的青盘岩系列以同

为,分带的产生是地质与物理化学的空间条件发生变化的时期内,成矿过程发育的结果。

还有人把分带现象看作是原生地球化学晕的重要特征,表现为这种晕的质与量的参数在空间上沿含矿溶液运动方向发生的规律性变化。与此同时,沿着溶液运动的轴,元素发生差异分布,从而出现晕的带状分布现象。距离矿源最远的那些元素的前缘,构成分带系列的矿体上部一组元素;堆积在晕的后方的一些元素,则形成该系列矿体下部一组元素。持这种看法的人还指出,上述晕的分带性的基础是与成矿溶液内部平衡的变化有关的沉积分带,而成矿溶液内部的平衡则决定于元素单独的物理化学性质,诸如元素的运移能力以及在一定的温度、压力下的稳定性,等等。

此外,也有人根据某一种因素的主要影

样一套含矿建造为其特点,并形成于相似的地质条件。该系列可以认为是与特殊岩浆含矿体系有联系的含矿建造成因系列。

2、所研究的系列包括由最深成的斑岩铜矿到最近地表的硫黄铁矿(含自然硫)的含矿建造。该系列形成于由闪长岩或花岗闪长岩侵入体并分布在其上的安山岩成层火山组成的岩浆含矿体系的条件下。

3、岩浆含矿体系的发育往往是断续的,并经历几千年。

4、岩浆含矿体系和与它共轭的含矿建造成因系列依赖地壳构造而发生变化,并随着地质时代的流失而进化。

译自:《Геология рудных месторождений》

1975, № 5, стр. 18~24

作者: Г. М. 弗拉索夫

葆青译 鲁宁校

响,对最简单的同期分带划出了六个成因类型。

本文作者在垂直分带形成的机理问题上,同意目前公认的观点,但要探讨的是与确定垂直分带系列中元素的位置有关的若干方法,评价元素在该系列中的显著性,更明显地表示出所划分的分带的结果以及选择判定矿体侵蚀面水准的指示比值的方法等问题。

在研究某一热液铀矿床矿带中元素的分布特征时,作者遇到了一系列困难,而这些难点又具有处理其它类型金属矿床地球化学数据过程中见到的那种普遍性。

显然,作为计算地球化学分带的代表性剖面,其中除矿石以外,容矿构造也要在矿上和矿下两个部分穿过剖面。但是,对比一系列经过勘探和分带计算的相近的剖面之后,发现所得资料有很大的出入。晕的含量值或米百分比(含矿程度)取决于坑道相对于矿体的位置,距离矿石上、下界的远近,平衡表内矿石的倾斜延伸长度以及该剖面的矿石线性储量。为了根据落入不同剖面的最

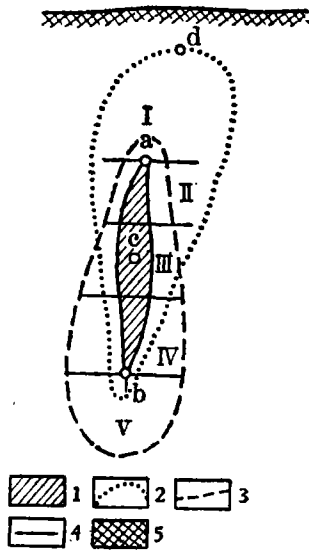


图1 通过矿体的垂直剖面

1—矿体; a—矿体上界; b—矿体下界; c—矿体中心;
晕的界线; 2—矿上元素晕; 3—矿下元素晕; 4—地球
化学分带界线; 5—地表; 几个分带: I—矿上带; II—
矿体上部带; III—矿体中部带; IV—矿体下部带;
V—矿下带

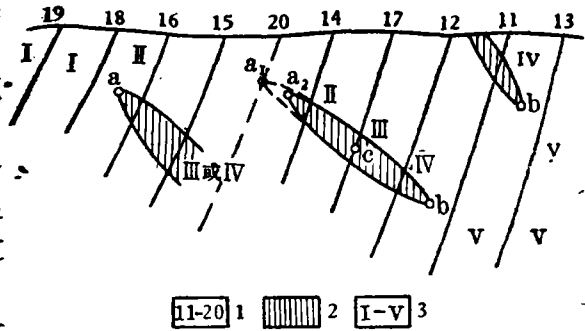


图2 勘探剖面示意

1—钻孔编号; 2—矿体; 3—相对于矿体剥蚀面的分带编号

大数量的坑道来确定地球化学分带,把整个含矿构造分为五个带。

I号带为矿上带,矿体的顶端是它的下限(图1中的a点),上限则是延伸最远的晕的上部尖灭部分(图1中的d点)。

II号、III号、IV号带则是矿体的上、中、下层。如果是延深不大的透镜状矿体,最好把整个含矿区间分为矿上与矿下两个带,以矿体中心为其界线(图1中的c点)。

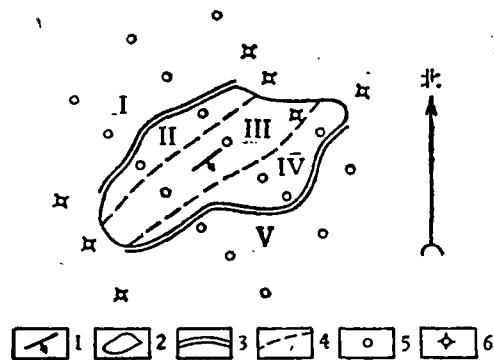


图3 缓倾矿体的勘探平面图

1—矿体走向与倾向; 2—矿体边界; 3—矿体的上界与下界; 4—地球化学分带之间的界线; 5—钻孔; 6—不列入分带计算的钻孔

V号带是矿下带,代表矿体沿倾斜方向尖灭部分以下晕的发育层。

利用这种划分方法,可以对比不同剖面的数据,其中一个剖面切穿矿上层,另一个则穿过矿下层。

图2表示的是如何根据三个成因与矿物成分相似而未完全探明的矿体来进行统一分

带的计算。

矿体的边界和中心(图中的a、b、c点)为计算I号带与V号带距离的0点,它们在剖面上的位置决定于勘探网的密度。对中部矿体而言(图2),表示矿体上部边界的a₁点,是14号孔与15号孔之间的原始位置。20号孔没有打到矿体,这个点就沿倾向下移到a₂点。

图3说明的是勘探钻孔布置上的某些辅助特征,而且是在计算地球化学分带时不可能加以利用的。图上表示的是平面上由若干勘探钻孔剖面控制的一个缓倾矿体。落在矿体两翼的钻孔,不得不排除在地球化学分带计算之外,而其中一部分见矿孔,例如在北东翼打到矿体的钻孔,也属于这一类。因为这个孔的位置是不定的,从矿体分为几条带来看,它位于Ⅲ号带的底部,而对距离最近的矿体边界来说,它又应该属于Ⅱ号带的上限。

在这里要附带提一下有时在关于内成晕的文献中使用的“近、中、远带”的术语。作者认为这些术语可用来评价晕距离矿体的远近程度。从图1可以看到,矿体上部的矿上元素晕,与矿下元素晕相比较则是外部的,而在矿体下部就改变了位置。所以,通过这些术语而把元素划属于某一个分带,尤其是根据这种分带来确定地球化学分带系列是不恰当的。

1973年曾有人提供了盖依铜矿床不同层位晕的发育资料(图4)。我们据此确定了晕的垂直延伸,同时明确地区分出地球化学系列中的4个上部元素,4个中部元素和2个下部元素。为了评价矿体的剥蚀面,在应用地球化学中通常使用的指示性比例关系是以晕中的矿上元素的米百分比或含量作为分子,以矿下元素的这个值为分母。

对盖依矿床来说(图4),指示性比值应该随深度增加而变小,列为分子的可以是碘、汞、锌和铜,作为分母的是钴与钼。由

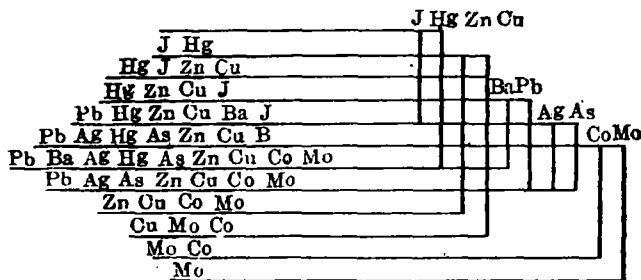


图4 盖依矿床各层位元素晕的发育

a—别人测定的结果;

b—作者据以上结果确定的晕的垂直延伸

于碘与汞只对上部层位有特征意义,那么还可以分析次一级的两组比例关系的反差性(контрастность)与单调性(монотонность),即 $\frac{I \cdot Hg}{Co \cdot Mo}$ 和 $\frac{Zn \cdot Cu}{Co \cdot Mo}$ 。

然而仅仅有晕的垂直延伸还不足以确定地球化学分带系列。在这里可以举出利用某热液铜矿点的一系列剖面计算地球化学分带的例子。该矿点位于几个大断裂构造交汇部位的泥盆纪火山岩单斜层中。个别的陡倾断裂破坏线被基性与中性岩墙充填。从岩石成分来看,围岩为各种酸性凝灰岩、熔岩、角砾岩及其过渡变种。沿倾向向上矿化受石英玢岩岩层的限制,后者起到屏蔽层的作用。

矿体中除沥青油矿与铀黑之外,还见有辉钼矿、方铅矿、毒砂和闪锌矿的矿染。钼、铅、砷、锌和银的晕可明显地圈定矿体。部分矿体赋存于陡倾断层内,倾角几乎垂直;另一些矿体沿多孔隙的缓倾熔岩层发育,倾角15~20°。整个矿点已打过钻。原先是根据几个钻孔构成的个别剖面计算,在引入5条分带的概念之后,就用综合剖面来代替,对陡倾矿体利用了11个钻孔的数据,对缓倾矿体利用了28个钻孔的数据。

所有钻孔的岩心均按其全长以5米间距刻槽取样,样品经过伦琴射线光谱分析铀和光谱分析一系列其它元素。总共研究了10种元素的分布(图5)。

首先按照5个地球化学分带并结合钻孔在剖面上的位置和距离各带的上界或下界的

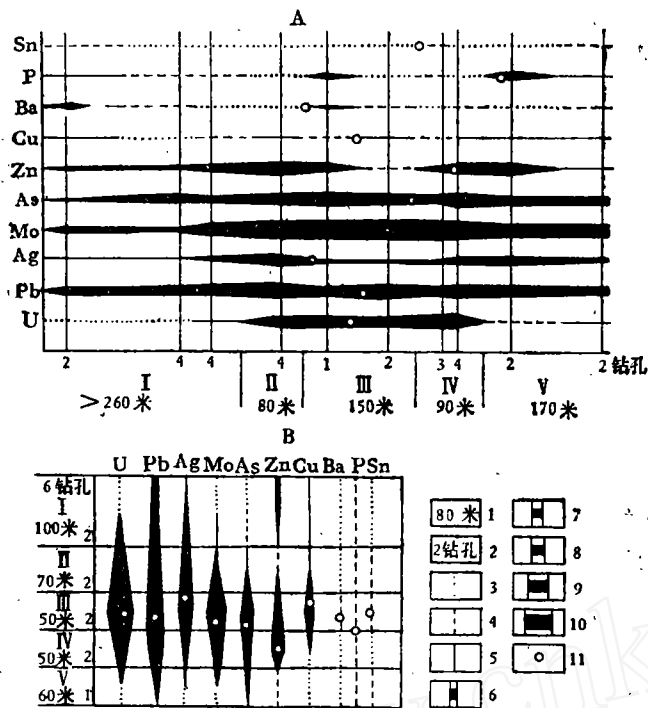


图5 元素沿矿体倾向的含矿程度分布

A—缓倾矿体；B—陡倾矿体；

1—沿倾向带的长度（米）

2—断面上的钻孔数；

3~11—以假定单位代表晕的含矿程度；

3—0~10, 4—10~30, 5—30~100, 6—100~300, 7—300~1000, 8—1000~3000, 9—3000~10000, 10—>10000; 11—元素储量的中心位置

远近，对钻孔进行编组分类。按每个钻孔计算出相当于该含矿构造的每一种元素晕的米百分比（含矿程度），同时求出这一参数对该剖面的平均值。

该剖面晕的含矿程度的平均值乘以沿矿体上升和倾没方向该交点的影响值。所有交点乘积的总和（面积含矿程度，米²%）表示反映该元素沿矿体倾斜方向全长分布的总量。这个数值相当于矿体中元素的储量。从

地球化学系列中的元素及其编号（由上至下）

表1

元素位置	矿体性质													
	缓倾的							陡倾的						
	Ag	U	Cu	Pb	Mo	As	Zn	Ag	Cu	U	Pb	Mo	As	Zn
主要元素及其编号	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
表现不明显的元素及其位置	Ba					Sn	P				Sn, Ba	P		
	0					6~7	8				4~5	8~7		

这个数字当中不难求出该元素的储量重心，并以相应的标志在剖面上注明。

元素的储量中心如以等高线表示高于另一元素的重心，则前者相应地球化学分带系列中的位置也高于后者。因此，确定了所有对比元素的重心位置以后，同样可以得知它们在分带系列中的相互位置。图5说明的是结合元素储量重心位置和含矿程度大小来表示各种元素晕的方法。

图中一条轴上标出了沿矿体倾斜方向各取样截面之间的距离。每一截面含矿程度的数值用每种元素的一定粗细的轮廓线表示。对这一矿点的缓倾与陡倾矿体进行了含矿溶液运动方向上表现出的所谓轴地球化学分带的研究。也就是说，对陡倾矿体而言，它与垂直分带相一致，对近似水平的矿体则与水平分带相一致。从图中可以看出，缓倾矿体的5种基本亲铜元素晕是沿矿体倾斜方向向上延伸250米。除锌以外，这些元素沿矿体倾向还延续到矿体尖灭部位以下几乎200米。

由于各带的勘探程度不足，陡倾矿体晕的延伸长度在上升和倾没方向上要小得多。

各元素在地球化学分带系列中的顺序以及缓倾与陡倾矿体元素储量重心向深部倾没的情况参见表1。

对比这两个系列可以看出，除2号、3号元素的重心位置非常接近并变换位置之

外, 其余所有基本元素都是一致的。

钼、锡、磷三种元素的量, 其含矿程度不高。虽然对矿床作了仔细的矿物研究, 但均未发现单独的锡矿物与磷矿物。这几种元素在地球化学分带系列中的位置, 尤其是钼与锡, 非常不固定。

以上列举的分带系列是和按Григорян法计算得出的地球化学系列的结果十分接近的, 区别在于此法确定的元素在系列中的位置在计算不同数量元素的分带指数时, 是有变化的。因此, 对于铜和锌是否属于该矿化类型的指示元素的问题是有争议的, 而把它们列入到分带指标的计算之中则会改变元素在系列中的位置。

图6是根据若干钻孔资料确定的7种元素的含矿程度。这些钻孔按照5条地球化学分带勘探了一个垂直矿体。

所有各个分带的每一种元素的全部储量作为100%, 矿上带(I)、含矿带(II + III + IV)和矿下带所占的储量以相对于全部储量的百分比来估计。图的中心是铀, 它的储量百分比在含矿带中最大, 两侧排列的是矿石中储量百分比渐少的, 而铀的左侧的元素是在矿上带的储量百分比高, 右侧的是在矿下带的储量百分比高。这就可以看出, Ag与Cu是矿上元素, Zn与Pb是典型的矿下元素。

此外, 还利用图6和表1有关元素含矿

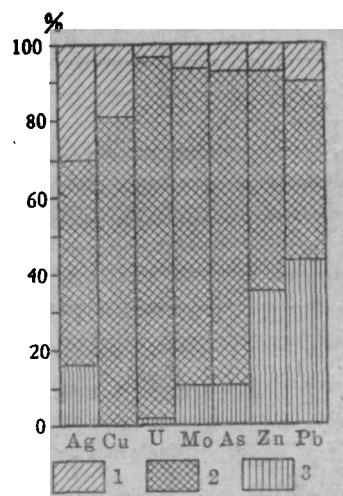


图6 三条地球化学分带中元素含矿程度分布
1—矿上带; 2—含矿带; 3—矿下带

程度的数据整理成为比值关系, 即以同一元素在矿上带的含矿程度为分子, 在矿下带的含矿程度为分母, 得出的最大比值代表矿上元素, 最小的则是矿下元素 (见表2)。

根据矿上带与矿下带含矿程度比值的大小得出地球化学系列 (由上至下): Cu—Ag—U—As—Mo—Pb—Zn。

这种方法最便利的一点, 就是在缺乏含矿层元素的含矿程度数据的情况下, 也可以按照这个比值得出分带的地球化学系列。如用其它的方法, 在缺少这种数据时就无从求出元素在系列中的顺序。

建立分带系列时要排除以下几点:

矿上分带、含矿分带和矿下分带的元素含矿程度 (1) 为假定单位, (2) 为% 表2

分带		元素						
		U	Pb	Mo	As	Ag	Zn	Cu
矿上带	1	874	669	1007	241	708	326	118
	2	3.43	9.8	6.3	7.2	30.2	6.75	18.8
含矿带	1	23892	3171	13199	2720	1253	2763	507
	2	94.6	46.6	82.7	81.5	53.5	57.65	81.0
矿下带	1	500	2971	1774	379	382	1701	1
	2	1.97	43.6	11.3	11.3	16.3	35.6	0.2
比值	矿上/矿下	1.75	0.225	0.57	0.64	1.85	0.19	118.0
元素在系列中由上至下编号		3	6	5	4	2	7	1

化探原生晕详查工作中常量元素比值的应用

在许多后成矿床的周围,钾的交代作用很普遍,其产物一般是绢云母、黑云母、钠明矾石、钾长石粘土矿物、钾长石等。在交代过程中,常有钾与钠的置换反应,前者常常向着矿体的方向均匀增多,而后者则相应减少。因此, K_2O/Na_2O 比值通常在接近矿体时增大。也有相反的情况,但很少。这种交代序列多出现在钠长石化显著的地方,因此,根据薄片的研究比较容易辨认。

研究矿床蚀变晕中 SiO_2 的分布发现有四种趋势:

1. 有一类矿床,主要是在基性和中性岩中(如辉长岩、安山岩、绿泥石片岩),带有石英脉石的矿脉,在蚀变晕中随着 CO_2 的增高而 SiO_2 显著降低。换言之,由于矿化

作用使 CO_2 进入围岩, CO_2 相应带出。因此,在趋近矿体时 SiO_2/CO_2 比值相应减小。其原因是:硅酸盐被 CO_2 置换形成碳酸盐,释出的 SiO_2 运移进入矿脉所在位置,在那里沉淀成石英。可用下面化学反应式来解释:
 $(Ca, Fe, Mn, Mg) \text{ 硅酸盐} + CO_2 \rightarrow (Ca, Fe, Mn, Mg) CaCO_3 + SiO_2$ 。

2. 在花岗状岩石和硅质沉积岩的蚀变过程中, SiO_2 和 CO_2 的特性与基性和中性岩石中不同,一般这些成分没有变化。但在有些矿床中,在高度蚀变的岩石中, SiO_2 减少,在另一些矿床中 SiO_2 增多,因此,在接近矿体时, SiO_2/CO_2 比值的变化常常是不稳定的。但在许多矿床中,在趋近矿体时, $SiO_2/(H_2O + CO_2 + S)$ 比值,一直

1. 测定灵敏度不高的元素,即在实验室内测定含量为“痕量”或“未发现”的一些元素;

2. 对比性差的元素,其含量在所研究的区间沿倾向的变化低于30~50%;

3. 系列中的不稳定元素,其重心位置对同一矿床的不同矿体在系列中变化太大。

矿上元素含矿程度与矿下元素含矿程度的比值是随所选剖面沿倾向向下而减小。如果取系列的中部元素作为分母,即其最大含量和含矿程度属于工业矿石层位的,这样的指示性比例式是十分不便于使用的。特别是Ⅰ号到Ⅳ号分带内的基本金属元素的含矿程度和含量急剧增高,在这种情况下,函数失去了单调性,在含矿层位的值显著变小,而在矿下带(V号带)又再次增高。

结 论

1. 把整个含矿构造在垂直方向上分为5个带,有助于综合整理若干剖面的资料,得出更加可信的地球化学分带的统计数据。

2. 这种按照元素储量重心确定地球化学分带的新方法,具有计算简便的特点,可以求出每一元素的储量重心位于地表以下深部若干米,从而根据这些数据客观地把元素划分为矿上的、中部的和矿下的。

3. 含矿层、矿上层和矿下层范围内的元素储量分布图是含矿程度沿矿体倾向变化图的一个补充,可以确定元素在系列中的顺序。

4. 测定灵敏度不高的元素,以及对比性差和不稳定的元素应排除在分带系列之外。

5. 计算指示性比值时,不宜采用分带系列的中部元素,尤其是主要的金属元素。对比性最好的应是在地球化学系列中相距最远的元素之比。

柴 昶 译自:《Геология рудных месторождений》,

1975, №. 4, 83~90

作者: Н. Н. Сочеванов,
Е. К. Горелова