

此在利用二次场时间特性区分异常性质时应主要研究异常中心部位的衰减曲线,那里二次场读数较大,值也稳定。

结 论

1.不同物质成分、不同结构构造的岩、矿石其二次场时间特性和衰减速度存在明显的差异,

是区分异常的前提和基础;

2.矿体埋深和大小对衰减速度有影响,在野外应进行必要改正;

3.异常中心部位二次场的值大而稳定,异常的区分工作最好选在异常中心进行。

由于实验工作量不多,上述结论可能不一定正确,望读者批评指正。

圈定斑岩铜矿蚀变矿化范围及分带的新途径

段祝龄

吕秀峰

斑岩体及其围岩蚀变,是斑岩铜(钼)矿床极为重要的找矿标志。斑岩铜矿通常都具有明显的蚀变分带。矿化与蚀变关系密切,矿体主要赋存在石英—绢云母化带或钾长石化带内。蚀变又是矿化规模和富集程度的标志,矿床规模越大,蚀变越强,分带性愈好,则矿化富集程度愈高。因此,在普查找矿评价中,研究斑岩与围岩蚀变及其分带特征具有重要的意义。很多人常把蚀变带看成是寻找斑岩铜(钼)矿富集部位的“脉搏”。

地质上对蚀变岩石的命名及蚀变带划分的方法是以恢复原岩性质为基础,根据标型蚀变矿物的种类和强度以及 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 FeO 、 Fe_2O_3 等常量元素的含量来确定。常需作大量的镜下鉴定和常量元素的分析,常因岩浆的多期性、围岩性质及构造因素,使蚀变带的划分成为较复杂的工作,跟不上普查找矿评价工作的需要。本文介绍了圈定斑岩铜矿蚀变矿化范围及分带的数理统计方法及其应用效果。

方法的选择

采用数理统计方法解决地质问题的关键,是选择恰当的数学模型。这就需要对数学方法的数学前提及地质条件进行深入的分析。如所周知,斑岩铜矿的蚀变分带一般都有一定的规律,每个蚀变带都含有标型矿物。反映在元素上,微量和常量元素的含量在各个蚀变带都存在一定的差异

(见表1)。从数理统计的观点讲,各蚀变带之间的元素差异大,就表明元素的离差大,而带内元

富家坞各蚀变岩石中元素的含量 表1

元素	千枚岩	绿泥石化带	伊利石水白云母化带	石英—绢云母化带		钾长石化带	斑岩
				千枚岩	斑岩		
SiO_2	67.67	64.03	62.89	69.58	80	65.62	66.63
Al_2O_3	14.64	16.06	15.26	13.46	8.88	14.81	14.19
K_2O	2.38	3.49	4.83	5.33	1.77	3.16	3.21
Na_2O	2.65	0.77	0.29	0.66	0.26	3.76	3.31
H_2O^+	2.84	3.82	2.23*	1.68*	1.28*	1.22	1.27
Cu	123.3	174.7	1069.3	4592	6250	3426.7	131.7
Mo	1	3	3	131	4	49	2
Pb	36	29	14	25	19	29	23
Mn	1359	1221	588	549	915	736	703

* 质量%

素的含量较均匀,则说明离差小。对蚀变带的划分问题实际上就是解决分类问题。分类问题一般可采用聚类分析的方法。现在我们所观察到的蚀变分带,是由于在成矿过程中,在时间和空间上,元素经过迁移与沉淀、分散与集中、带入与带出变化而形成的蚀变矿物晕。基于上述分析,对蚀变带的划分是采取从元素的空间分布规律出发,以聚类分析方法为手段的一条快速和较准确地圈定蚀变矿化范围及分带的数理统计途径。

元素的分布特征

元素在蚀变带的分布规律主要取决于元素在蚀变矿化过程中的地球化学行为。从国内外学者对斑岩铜矿床气液包裹体和地球化学研究的成果,表明其蚀变矿化是经历了气液—高中(低)温

热液的漫长作用过程。各元素的地球化学行为极不相同。有些在蚀变过程中由热液带来;有的则在蚀变过程中带出;另一些则活化转移。现从蚀变带岩石样品的因子模型结果也能清晰地表明元素在蚀变矿化过程中的行为。这里只列出富家坞千枚岩及其蚀变岩石的因子模型例子(表2)。

富家坞千枚岩及蚀变岩石正交因子矩阵

表 2

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
Cu	0.01	0.24	0.69	0.17	-0.13	-0.49	0.09
Mo	0.16	0.31	-0.05	-0.07	0.15	-0.83	-0.09
Pb	-0.90	-0.18	0.17	-0.07	0.09	0.06	0.00
Zn	-0.59	-0.09	-0.18	0.31	0.40	0.44	-0.16
Ag	0.03	0.26	0.87	0.07	-0.01	0.09	0.04
Co	0.09	-0.16	-0.12	0.91	-0.03	0.08	0.01
V ₂ O ₅	-0.28	-0.87	-0.12	0.11	-0.15	0.08	0.13
TiO ₂	-0.09	-0.79	-0.29	-0.11	0.09	0.40	-0.00
Mn	-0.44	0.02	-0.23	-0.33	0.40	0.52	0.05
Sr	-0.03	-0.19	0.58	-0.37	0.50	-0.09	0.18
Ba	-0.06	0.06	0.88	-0.03	-0.35	-0.05	-0.02
As	-0.46	-0.34	-0.29	-0.44	0.16	0.19	0.18
F	-0.00	-0.10	0.08	0.05	-0.17	0.05	0.95
S	0.19	0.11	0.12	0.86	-0.29	-0.12	0.13
K ₂ O	0.11	-0.11	0.44	0.25	-0.80	-0.00	0.15
Na ₂ O	-0.14	-0.31	-0.05	-0.13	0.78	0.13	-0.00
Rb	0.10	-0.34	0.06	0.06	-0.82	0.10	0.23
TFe	0.11	-0.46	-0.17	-0.52	0.26	0.39	0.09

从表2可以看出, F_3 —因子为Cu、Ag、Ba、Sr、K₂O (Pb、S)组合,代表成矿因子; F_1 —因子为Pb、Zn、Mn、As组合,为矿化的伴生金属; F_5 —因子为Sr和Na₂O组合,代表蚀变过程中的带出组合,与K₂O和Rb带出组分相对立; F_6 —因子为Mo、Cu组合,代表另一期矿化因子。根据因子分析结果,结合元素在蚀变矿化过程中的行为与作用,可将作因子分析的18个元素分成三大类即:

①成矿元素: Cu、Mo、Ag、S等; ②蚀变分带的特征元素: Pb、Zn、Mn、Ti、K₂O、Na₂O等; ③控矿元素,即在蚀变矿化过程中起到特殊作用的元素,如带出组分K (Rb),带出组分Na (Sr)。原生晕的研究也表明,上述三类元素在蚀变分带上的空间分布也是极不相同的。Cu、Mo、Ag成矿元素一般在石英绢云母化带与钾长石化带富集成矿。伴生金属Pb、Zn、Mn在矿体上是负异常,而在绿泥石—绿帘石化带则可形成局部富集。因此上述

三类元素基本反映了斑岩铜矿蚀变分带的元素空间分布特征。考虑到快速经济,选取了Cu、Mo、Pb、Mn、K₂O、Na₂O六个元素及K₂O/Na₂O比值作为从地球化学元素分布特征角度来研究蚀变分带的有用变量。它们也是参与数理统计方法研究蚀变分带的变量。

最优分割配合点群分析可作为圈定斑岩
铜矿床蚀变矿化范围及分带的
快速、有效、可行的新途径

地质上对蚀变岩石的命名和蚀变带的划分,首先是在地质剖面上系统地采集标本进行观察和薄片鉴定。对于地球化学数据运用数理统计方法解决蚀变分带问题,则是根据地球化学剖面,从解决剖面上的蚀变分带入手。考虑到斑岩铜矿蚀变分带具一定的规律性,蚀变带的空间分布上从岩体向外呈有顺序排列的这一特点,而采取有序

地质质量的方法——最优分割法来解决剖面上有序样品的分类问题。即根据离差平方和的原理,把通过岩体和蚀变带剖面上的 n 个样品顺序分割成 g 段(带),使各段内样品之间的差异尽可能小,而各段之间的差异尽可能大,所得到的这些分割点就是最优分割点。它基本反映了剖面上蚀变岩石

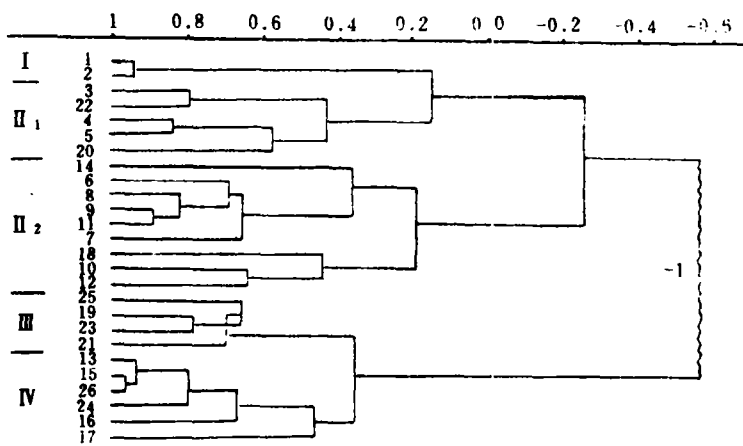
的变化。如富家坞地表3线地球化学剖面及舒家店1407孔,按最优分割法所得到的分割点与剖面上出现蚀变界线是基本一致的(表3)。因此,用最优分割法可以得到剖面上的蚀变分界点。

剖面上找到蚀变界线后,还要解决不同剖面之间蚀变分带的对比问题。解决各剖面之间蚀变

地质与最优分割划分蚀变带对比

表 3

富 家 坞 地 表 3 线				舒 家 店 1407 孔		
第 一 种 意 见		最优分割点 对应的样品号	第 二 种 意 见		地质划分 蚀 变 带	最优分割点 界线对应 样品号
地质划分蚀变带	界线对应 样品号		界线对应 样品号	地质划分蚀变带		
绿泥石—黄铁矿带	16	36	33	千 枚 岩	伊利石—白云母化带	69
		35	32	绿泥石—绿帘石化带		
		23	23	伊利石—白云母化带		
		22	22	绿泥石—绿帘石化带		
石英—絹云母化带	12	13	16	石英—絹云母化带	绿泥石—绿帘石化带	54
		11	12			
		6	11			
钾长石化带	45	5	7	钾 长 石 化 带	钾长石—更钠长石 化 带	30
		4	6			
		44	45			
石英—絹云母化带	53	53	50	石英—絹云母化带	伊利石—白云母化带	9
		54	51			
		58	58			
		59	59			
绿泥石—黄铁矿带		66	63	绿泥石—绿帘石化带	黑云母—钾长石化带	19
		67	64			
		73	72			
		71	71			



I—钾长石化带 II—1—石英絹云母化斑岩 II—2—石英絹云母化千枚岩
III—伊利石水白云母化带 IV—绿泥石绿帘石化带

图 1 富家坞地表蚀变岩石 Q 式点群分析谱系图
(标准化相似系数)

带的对比则是根据同一蚀变带内样品的相似程度大,不相同的蚀变带样品相似程度小而采用一般聚类分析方法。具体作法是以各剖面上所划分出的段作为研究对象进行点群分析的。在点群谱系图上归为一群的样品即表明样品之间相似程度大,应归为同一个蚀变带,从而解决了各剖面之间的对比问题。如富家坞地表蚀变带的圈定,是选取了六条地球化学剖面的数据,按剖面经过最优分割法处理,再作点群分析进行横向对比的。其点群分析结果将研究对象(蚀变岩石)归成5群(图1)。点群分析可将不同剖面的同一蚀变带的样品归为一类,从而解决不同剖面蚀变带的对比问题。因此可以圈定蚀变分带。

实例

运用上述方法在我国几个典型斑岩铜矿床,如富家坞、八大关及多宝山矿床的地表蚀变分带的划分上,得到了与地质划分一致的结果。并成功地运用此方法圈定了广东区域化探待评价中的一个未知岩体——金门I号斑岩体的地表蚀变分带。

实例1 富家坞斑岩铜(钼)矿床的地表蚀变分带 富家坞矿床属大型斑岩铜(钼)矿床。成矿岩体为花岗闪长斑岩,出露面积为0.16 km²,向北倾呈筒状。围岩为下震旦统凝灰质千枚岩,对蚀变带的划分上存在着两种不同的意见。一种认为从岩体中心向外分三个蚀变带:①钾长石化带;②石英—绢云母化带;③绿泥石(黄铁矿)化带。另一种意见认为应分四个带:①石英钾长石化带;②石英—绢云母化带;③伊利石—水白云母化带;④绿泥石—绿帘石化带。两种意见分歧点在于绿泥石—绿帘石化带的界线(表3)。通过地球化学剖面资料的数理统计处理后所划分的蚀变带与地质上所划分的四个蚀变带的意见基本一致,地表蚀变带的形态呈同心环状分布(图2)。

实例2 多宝山斑岩铜钼矿床地表蚀变分带

多宝山矿床位于中国北部斑岩铜矿成矿域的东端,明显地受NW向帚状构造控制。矿区出露7 km²的花岗闪长岩复合岩体。在复合岩体中心部分出露0.16 km²的花岗闪长斑岩。围岩为中性

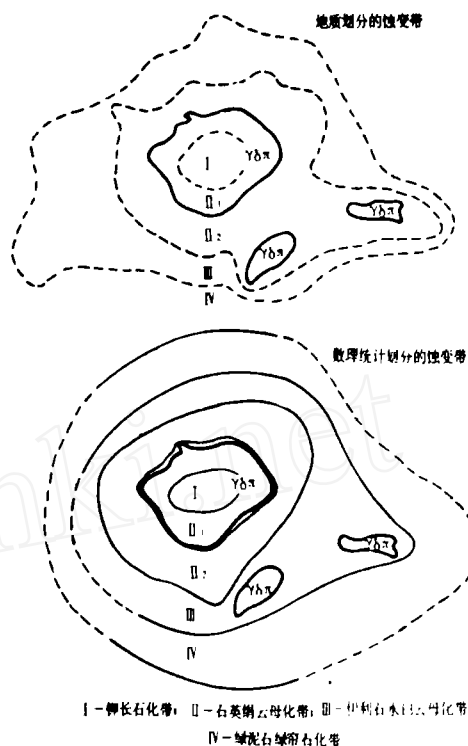
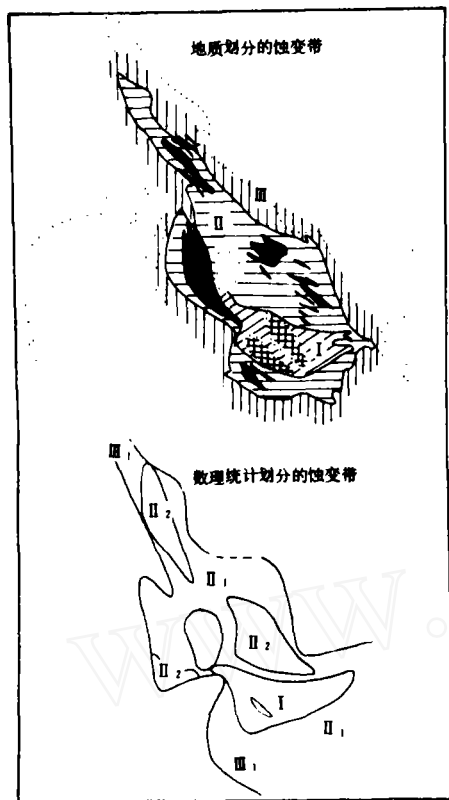


图2 富家坞地表蚀变分带图

喷出岩、凝灰岩及安山玢岩。矿体主要产在花岗闪长岩中,小部分产于安山玢岩和花岗闪长斑岩中。用最优分割配合点群分析可圈出三个蚀变带及矿体赋存部位(图3)。I—与钾长石化带范围一致;II+(III₁)—与石英绢云母化带的范围基本一致;III₂为青盘岩化带;II₂—与铜矿带的范围一致。南部所圈出的II₂范围小是由于未取到矿体的数据所致。地表蚀变带的范围及分带与地质划分的基本一致。

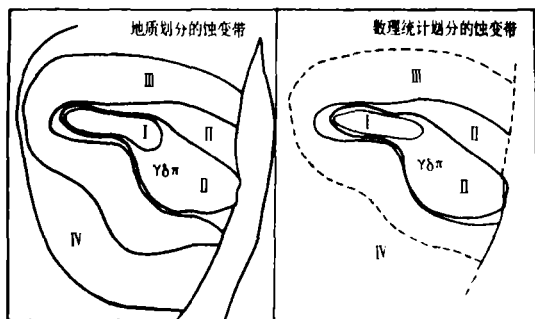
实例3 广东金门I号斑岩体的蚀变分带

金门I号斑岩体是广东区域化探中待评价的一个花岗闪长斑岩。其围岩为泥盆系东岗岭组灰岩、白云岩、粉砂岩和页岩;柱头群细—粗粒石英砂岩和粉砂岩。运用上述方法圈出的蚀变分带为:I—为绿泥石绿帘石化带范围;II—为黄铁矿绢云母化带的范围;III+IV为黄铁矿绢云母硅化带及弱绢云母化带范围。III与IV带样品矿物组成一致,都为绢云母化和硅化,带内的蚀变矿化不均匀,



I—钾长石化带; II (III₁)—石英绢云母化带; III₂—青盘岩化带

图3 多宝山矿床地表蚀变分带图



I—弱绿泥石化带; II—黄铁矿化绢云母化带;
III—黄铁矿化绢云母硅化带; IV—弱绢云母化带.

图4 广东金门I号岩体地表蚀变分带图

有强有弱。从总体上看, III带的蚀变要比IV带稍强一些。

用数理统计方法除了圈定蚀变矿化范围及分带外,还可以对研究蚀变矿化形成机理提供一些有意义的信息。如采用最优分割法所得到的分割点除了是蚀变带的分界点外,还可以进一步探讨其地球化学意义,如可用来指示成矿物理化学条件的变化。

1. 研究蚀变带的分带特征,实际上就是研究蚀变矿物晕。从这点来分析,最优分割点可认为是蚀变带形成时的物理化学条件的转变点,如是成矿溶液的酸碱性的明显变化点。我们所见到的蚀变分带,是矿液经历了从碱→弱碱弱酸→酸性→弱碱的这样一个变化过程。当然不排除矿液的多次活动。

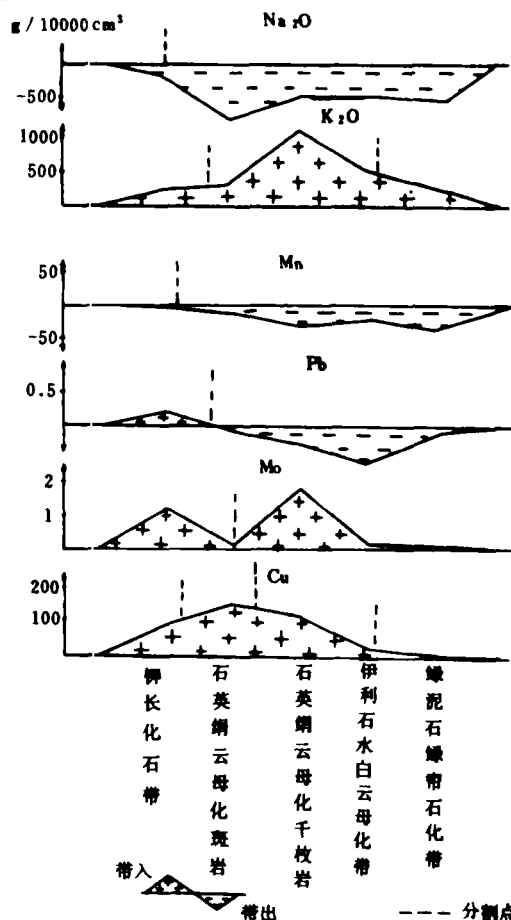


图5 富家坞矿床各蚀变带元素带入带出变化曲线图

2. 分割点又可看作是元素的迁移与沉淀、带入与带出的明显变化点。

以富家坞为例，各元素出现分割点的位置正是蚀变矿化过程中元素的迁移与沉淀，带入与带

表 4

	钾长石化带	石英绢云母化带	伊利石—水白云母化带	绿泥石—绿帘石化带
Cu	带 入	带 入	带 入	带 入
Mo	带 入		带 入	
Pb	带 入	带 出		
Mn	带 出	带 出		带 入
K ₂ O	带 入	带 入		带 入
Na ₂ O	带 出	< 带 出		

出明显变化的地方（表 4）。

这里所说的元素的带入与带出是指溶液与岩石相互作用而发生的物质交换过程中的元素带入带出。带入带出量可采用单位体积重量计算法。根据冶金部地质研究所化探室斑岩铜矿组计算的各蚀变带单位体积重量中元素的带入和带出量作出六个元素在各蚀变带元素变化曲线（图 5）。对比图 5 与表 4 就不难看出，各元素在蚀变带的带入带出量明显变化的地方正好与各元素出现分割点的位置是一致的。

结 语

基于上述分析及实际应用效果看可得出结论：在普查找矿评价中，用最优分割法配合点群分析来处理地球化学剖面资料，能够快速较准确地圈定斑岩体与围岩的蚀变矿化范围及分带，以缩小找矿靶区。但还需说明一点的是在用数理统计方法圈定蚀变带时，还要以地质为基础，尤其是对已划分出的蚀变分带的定名，还需作少量的手标本观察及薄片鉴定。



地质人员要了解矿业发展动向

矿产地质工作的主要目的是发现资源和开发资源，繁荣社会经济。因此，它与采矿、选矿、冶炼以及矿业经济等有着密切的关系。找矿勘探工作，既要从我国的矿产地质特点和区域成矿规律出发，又要重视国内外矿冶技术经济的发展现状和动向。

首先，应对国内金属矿山的发展现状有一个比较全面的了解。例如，1979年国内铁矿石产量为1亿吨，其中90%为露天开采，有色金属矿石产量6500万吨。不同的采矿方法所占的比重是：留矿法—38.4%，崩落法—33.1%，空场法—17.3%，充填法—11.2%。有色金属矿的选矿方法，以浮选（铜、钼、铅、锌等）和重选为主体。国外针对铜的氧化矿和贫矿的利用，正在大力发展溶浸（液化）采矿新

工艺。美国用溶浸法生产的铜产量已占三分之一，这是一种采矿—水冶联合流程。至于各专业交叉渗透的发展趋势和地质勘探中研究矿床开采条件和矿石可选性，以及综合技术经济评价的需要，国外在地质院校中新增加了综合开发与利用等课程，苏联也开始强调这个问题。

另外，还要了解世界矿产资源的经济动向。世界矿产资料的经济形势，已成为当前各国社会经济发展的重要因素。1980年10月在东京召开的日美第四次矿冶联合会议上，T. Pindor以“矿物资源缺乏是经济发展的障碍”为题的论文指出：七十年代后半期世界经济的特点是经济增长率低，资源的影响不可低估。他统计，这个时期资源出口国占25%，而进口国占75%。了解资源形势，对于地质工作的部署有着重大的意义。

【彭 彪】