

多宝山斑岩铜(钼)矿床某些地球化学特征 及地球化学异常分带

冶金工业部地质研究所化探室斑岩铜矿组

为了总结斑岩铜矿的地球化学找矿标志,研究了多宝山斑岩铜矿在成岩、蚀变—矿化过程中某些地球化学特征,重点研究了成矿元素、伴生元素、控矿元素及矿化剂元素在时间和空间上的分布规律,总结了地球化学异常的水平分带和垂直分带。

在工作中得到黑龙江省地质局四队的大力支持和协助。

一 矿床的某些地球化学特征

1. 岩浆演化过程中的某些地球化学特征
矿区出露地层主要是奥陶系安山玢岩,北部为海西期斜长花岗岩。与矿有关的是一复合岩体,由花岗闪长岩(面积7平方公里,年龄292百万年)、花岗闪长斑岩(面积0.16平方公里)、更长花岗岩组成。

表1列出了多宝山矿区各岩石和蚀变带常量及微量元素平均值。由表1可见:

(1)从最早的安山玢岩→斜长花岗岩→花岗闪长岩→花岗闪长斑岩→更长花岗岩,Cu、Mo、 K_2O 、 Na_2O 的含量有明显增高的趋势,其中Cu、Mo的含量在花岗闪长斑岩中最高,而后剧降。MgO、Mn、Ti则有降低的趋势。

(2)成矿前形成的岩石中Cu、Mo含量比成矿后者高,花岗闪长斑岩最高,花岗闪长岩次之,反映了矿液与含矿岩体的物质成分同源。花岗闪长斑岩与矿的关系更密切。

(3)花岗闪长斑岩、花岗闪长岩与中国花岗闪长岩比较,前者 K_2O 、 K_2O/Na_2O 不高,而 K_2O+Na_2O 偏高。

2. 蚀变过程中的某些地球化学特征
斑岩铜矿的蚀变、矿化作用,从自变质阶段到

高中温、低温热液阶段,经历了一个漫长而完整的发展过程,矿化是一定的热液演化阶段的产物。各阶段均有不同程度的矿化,但一个斑岩铜矿床的形成,必有一主成矿期。

首先,在自变质阶段形成钾化带(钾长石化和黑云母化),之后,岩浆期后热液中大量的K、Si、OH、成矿元素和伴生元素,与原岩发生广泛的交代作用,使原岩结构破坏,矿物和化学成分都有强烈的变化,主要表现是斜长石→绢云母化、绿帘石化,钾长石→绢云母化,角闪石→黑云母化,黑云母→水黑云母→绿泥石,方解石→绢云母+石英的形成。在强蚀变的石英绢云母化带,磷灰石亦被绢云母交代。

花岗闪长斑岩的蚀变主要有石英钾长石化、强硅化(石英核)、石英绢云母化。花岗闪长岩的蚀变主要有石英钾长石化、黑云母钾长石化、青盘岩化,石英绢云母化和绿泥石化叠加于前三者之上。矿体在空间上与石英绢云母化关系最密切。

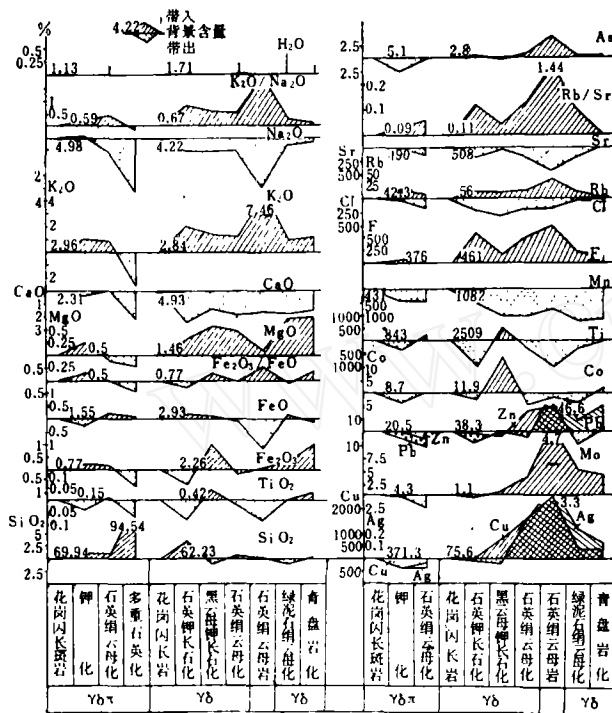
图1为蚀变过程中元素带出带入情况,由图1可知:

(1)带入元素(热液带来的元素):成矿及伴生元素有Cu、Ag、Mo、Au、Pb、Zn、Co、As等,矿化剂元素有F、S,控矿元素有 SiO_2 、 K_2O 及其伴随元素Rb。其中Cu、Ag、Mo、F、S、 K_2O 、Rb随蚀变强度增强带带量增大,在强蚀变的石英绢云母化带达到最高峰。 K_2O 的带带量与Cu、Mo的富集成正比。 SiO_2 、MgO的带带量分别在石英钾长石化带和青盘岩化带最大。

(2)带出元素及其活化转移特点:在整个蚀变过程中,CaO、 Na_2O 、Sr、Mn、Ti、Cl均带出,其中 Na_2O 、Sr的带带量随蚀变

表 1

— 73 —



强度的增强而增大,在石英绢云母化带最大。斜长石被绢云母交代的同时, Ca 随之带出转入溶液,形成晚期碳酸盐脉。 Na_2O 带出后去向不明,尽管在各蚀变带发现有具格子结构的钠长石(含量 $<3\%$),并在 Na 带出异常外围有 Na 的带入异常零星分布,但其量远远小于带出量。

3. 蚀变过程中几个有意义的元素对 正相关元素对有K—Rb、Ca—Sr, 反相关元素对(图1上呈镜象反映)有K—Na、Rb—Sr, Cu、Mo与K、Na正相关, 与Na、Sr反相关。Rb/Sr、 K_2O/Na_2O 比值随蚀变强度增强而增大。在各蚀变带中 $K_2O + Na_2O$ 近于常数。

二 指示元素的某些地球化学行为及其分布特征

1. 成矿元素及伴生元素

(1) Cu、Ag、Mo在整个蚀变过程中均有带入,在石英绢云母化带及石英绢云母中带入量最大,Cu平均为2527ppm, Mo为17.8

ppm, 反映了热液中富含的Cu、Ag、Mo在该带易于沉淀富集。

本区Cu主要以斑铜矿、黄铜矿的形式出现。含量很少的辉铜矿、黝铜矿、斜方辉铜矿、铜蓝只是Cu的富集矿物，此外，黄铁矿中含有一定量的铜，一般在1500~4000ppm，最低440ppm，最高>1%（可能有铜矿物包裹体）；闪锌矿、方铅矿中含Cu750ppm。

Ag与Cu在矿体中呈正相关（相关系数为0.81），Ag随Cu含量的增高而增高。Ag主要以类质同象存在于铜的矿物中，目前尚未发现银的独立矿物。

Mo主要以辉钼矿的形式出现。斑铜矿、黄铜矿中都含钼。黄铁矿中亦含Mo,且近矿黄铁矿中含量较高。

Cu、Mo、Ag的原生晕发育广泛(图2、表2、图3、图4),它们的中内带异常与石英绢云母化带和矿体赋存部位一致,外带异常反映整个矿化带。

(2) Pb、Zn在矿体部位主要赋存于斑铜矿中,在近矿黄铁矿中含量较高(Zn: 1000 ppm, Pb: 4000ppm)。在矿带外围有少量方铅矿、闪锌矿。两者均在铜矿带外围形成外带异常。

2. 控矿元素及其伴随元素

(1) K_2O 、 Na_2O 在花岗闪长(斑)岩的蚀变成矿作用过程中,晚期热液富 K^{+1} 、 $[OH]^{-}$ 、 Si^{+4} , 贫 Na^{+1} 。在整个蚀变过程中 K^{+1} 均有带出, Na^{+1} 均有带出。

在青盘岩化带, 由于 K_2O 、 $[OH]^-$ 带少量, 斜长石晶体只能被少量绢云母交代, 并出现少量条纹长石。据电子探针分析, 该带条纹长石中含 K_2O 为13.27~13.3%, 斜长石表面麻点状绢云母含 K_2O 为11.995%。

黑云母—钾长石化带和石英—钾长石化带中 K_2O 的带入量都大于1%，这与热液成因的小鳞片状黑云母集合体及交代(斜长石)成因的绢云母、条纹长石的增加有关。该带条纹长石中含 K_2O 为11.4~13.5%，鳞片状黑云母含 K_2O 为8.5~10.7%。

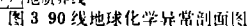
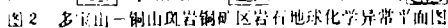


表 2

含 量 元 素	Cu	Mo	Pb	Zn	Ag	Rb	Sr	As	F	K ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O/Na ₂ O	Rb/Sr
	ppm									%			
背 景	35	1	10	60	0.1		500	1	460	2.84	4		
外 带	70	2	20	120	0.2	60	≤320	2.5	500	3	< 3	1	0.2
中 带	280	8			0.8		≤ 80		800				0.8
内 带	1120	32			3.2		≤ 20						3.2

石英绢云母化带含K₂O平均为4%，石英绢云母岩中平均为7.5%，最高达9%。由于大量K₂O、[OH]⁻的带入，Na₂O、CaO的带出，使原岩结构消失，原岩矿物绝大多数变为绢云母，该带绢云母可达40~80%，绢云母中含K₂O 11.33%，Na₂O 0.41%。强绢云母带与K₂O > 3%的异常基本一致，K₂O > 3，Na₂O < 3，K₂O/Na₂O > 1的范围与矿化带范围一致（图2、3）。

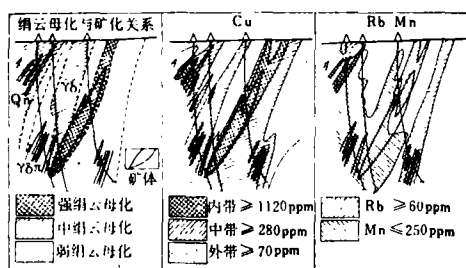
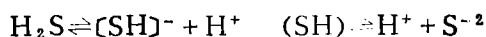


图 4-46 线岩石地球化学剖面图

关于钾与铜的内在联系研究得不多，但据实际资料和地质—地球化学理论可以设想：在酸性或弱酸性介质中，Cu可与Cl结合形成络合物。如果Cu主要以K₂[CuCl₃]形式迁移，则Cu的沉淀富集主要取决于上述络合物的破坏。试验表明，斑岩铜矿形成温度大致在260~360℃之间（相当于中高温阶段），溶液的性质为碱性或弱碱性环境。由于Cu形成硫化物时需要丰富的硫离子，因此，其沉淀与H₂S的电离有很大关系。



$$[\text{S}^{2-}] = K_1 K_2 \frac{[\text{H}_2\text{S}]}{[\text{H}^+]^2}$$

式中K₁、K₂为电离常数

计算表明：S²⁻在溶液中的浓度与H₂S在溶液中的浓度成正比，而与H⁺浓度的平方成

反比。由于H₂S在溶液中的溶解度随温度的降低而增大，所以当温度下降至400℃以下时，H₂S溶解度可大大增加并大量离解，给溶液提供了大量的S²⁻和H⁺，这样促使硫离子与Cu结合形成斑铜矿、黄铜矿等矿物。因为K₂[CuCl₃]被破坏，游离出K⁺，游离的K⁺和H⁺是使斜长石蚀变为绢云母的物质基础，斜长石绢云母化，消耗了K⁺、H⁺，钾长石的绢云母化和黑云母的绢云母化消耗了H⁺；H⁺的消耗使溶液变碱性，更促使H₂S离解，K⁺的消耗和碱性环境也促使络合物分解，更有利于成矿。

据此可以认为，蚀变与矿化是一个作用的两个方面，石英绢云母化是斑岩铜矿的主成矿期。已有实验资料说明Cu以CuCl的络合物形式迁移，但没有研究钾的作用。根据K与Cu的关系及其地球化学性质可以推测Cu、Ag、Au、Mo、Mg、Zn等重金属元素（Me）以（K、Na）[Me_m(Cl, OH, F, SH)_n(CO₃)_p]形式迁移。

(2) Rb、Sr都是分散元素，自然界中Rb不形成独立矿物，Sr很少形成独立矿物。在花岗闪长（斑）岩中Rb主要以类质同象存在于钾长石、黑云母中，Sr主要存在于斜长石中。绿帘石中含有较高的Sr（1250ppm）。

在溶液蚀变过程中Sr随Ca带出，Rb随K进入绢云母，因此，Rb、Sr的带入带出量也反映了K₂O、Ca的活动规律（图2、4）。

3. 矿化剂元素

(1) S：是硫化矿床不可缺少的元素。下面谈谈S的浓度与金属矿物分带的关系。

本矿床的矿物共生组合分带，矿体深部和中心以斑铜矿为主，向上向外黄铜矿逐渐增加，过渡到以黄铜矿为主的带。再向外过渡到黄铁矿带。也就是从矿体中心向外Cu减少，S增加，Cu/Fe减小。这种分带特点反

映了在成矿时Fe、Cu、O、S的矛盾发展结果。在矿体深部和中心温度高，H₂S分解少，S浓度低，但活动氧更少，故S仍居主导地位。因为Cu的亲S性大于Fe，所以Cu优先与S结合；但溶液中S浓度低，故在深部和中心形成了含Cu高、含S低的斑铜矿和少量黄铁矿。向上向外随着温度降低，溶液中S的浓度因H₂S的大量分解而增加，形成了以黄铜矿为主的组合。再向外向上，H₂S继续分解，此时由于斑铜矿、黄铜矿的大量形成，Cu在溶液中的浓度已大大减少，因此S的浓度相对增加，使Fe得以与S结合形成最外圈的黄铁矿。从Cu与S在溶液中的比例来看，在多宝山矿体S相对低（浓集克拉克值为8），因而形成以斑铜矿为主的矿物组合，黄铁矿较少。而在铜山矿体S浓度较高（浓集克拉克值为11），因此黄铁矿较多。

S形成的各异常浓度带，也基本反映了上述矿物分带特点（见图2~4）。

(2)F：热液中重金属元素与卤素结合成络合物后，溶解度大大增加，从而增强了重金属元素的迁移能力。在本矿床中，F与Cu的带入量呈正比关系。F在剖面上变化梯度不大，但仍能较好地反映矿带。

4. 活化转移元素

Ti、Mn主要存在于含铁暗色矿物中，在蚀变作用过程中，由于角闪石、黑云母的绿泥石化，Mg、Fe的带出，Ti、Mn也被挤出形成含Ti矿物。此时Ti仍可出现异常。当暗色矿物进一步被绢云母交代时，Ti、Mn进一步活化转入溶液带出，在强蚀变带和赋矿部位形成负异常（见图3、4）。

Co异常与黄铁矿的分布基本一致。

三 矿床的地球化学分带特征

寻找斑岩铜矿时，研究元素的分带有助于圈定矿化远景区、赋矿地段和赋矿部位。研究和发现岩体或矿体晕中元素的垂直分带是评价岩体和矿体剥蚀程度的关键。

1. 矿床的水平分带特征

(1)在矿床中，以矿体为中心，根据各指示元素内、中、外三级异常出现的部位和范围，可以综合出三种模式（图5）。

①中等剥蚀程度矿床的水平分带模式（图5A）：在矿体赋存部位是Cu、Mo、S内带，Ag中带，F外带组合异常，K₂O(>3%)、Rb和K₂O/Na₂O(>1)的正异常和Na₂O、Sr的负异常组合。矿带范围内是Cu、Mo、S中带，Ag、F外带的组合异常，K₂O、Rb、K₂O/Na₂O也有明显异常，Na₂O、Sr是负异常，Pb、Zn、As异常一般在矿带外侧，Mn、Ti负异常在矿带中不太一致。

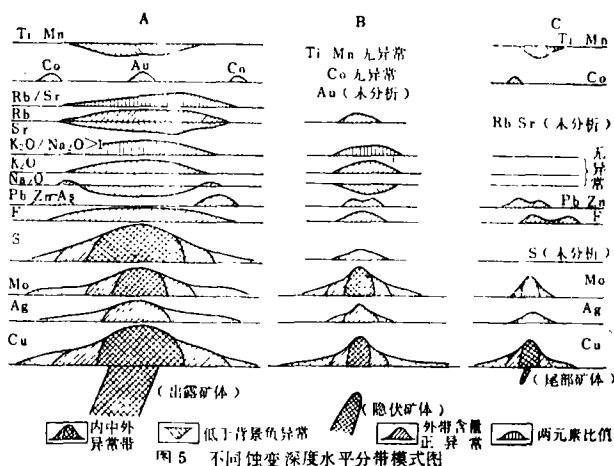


图5 不同蚀变深度水平分带模式图

②盲矿体前缘或侧上晕水平切面的元素分带模式（图5B）：与有一定剥蚀程度的矿床之区别是：Cu、Mo、Ag与Pb、Zn异常重叠；Cu、Mo、Ag异常中心部位没有Mn、Ti负异常。

③矿体尾部或小矿体的水平分带模式（图5C）：异常分带与第一种模式基本一致，区别在于地表矿化弱，各元素浓度低，Mo的异常相对较强，Ti、Mn有负异常，K₂O>3%的异常不连续。

(2)应用因子分析研究矿床地球化学分带在多宝山地表约10平方公里范围内，根据岩性、构造、矿化、蚀变特点并考虑样品的均匀性，抽出176个样品进行因子分析，得

出三个因子(表3)。

多宝山地表岩石因子分析结果

表3

	Cu	Ag	Mo	As	F	Pb	Zn	Hg
F ₁	<u>0.85</u>	<u>0.78</u>	<u>0.69</u>	0.37	<u>0.51</u>	0.078	0.04	0.2
F ₂	-0.15	0.2	-0.05	<u>0.59</u>	0.02	<u>0.73</u>	0.09	<u>-0.61</u>
F ₃	0.04	-0.14	-0.05	-0.4	0.3	0.17	0.9	<u>-0.01</u>

注: 数字下划线者为所属因子。

由表3可见: F₁由Cu、Ag、Mo、F组成, 反映在成矿作用过程中主要成矿元素(Cu、Mo)和重要伴生元素(Ag)及矿化剂F的共生组合; F₂由As、Pb、Hg(-)组成, 为成矿作用过程中的易挥发元素组合; As、Pb与Hg呈反消长, 反映了它们在富集部位上的差异, Hg异常在矿体周围, Pb、As异常在矿体外围。F₃由Zn组成, 为矿体的远程指示元素, 异常分布在外围。

三个因子中元素组合特征反映了成矿作用过程中元素的分带特点。F₁、F₂正交因子计量趋势分析结果表明: 三次趋势面较好地反映了元素的分带特点。F₁、F₂趋势中心明显分离, F₂的趋势中心在一矿带东部(图6), F₁的剩余值反映矿体赋存部位, F₂的剩余则围绕矿带呈环状半环状断续分布。

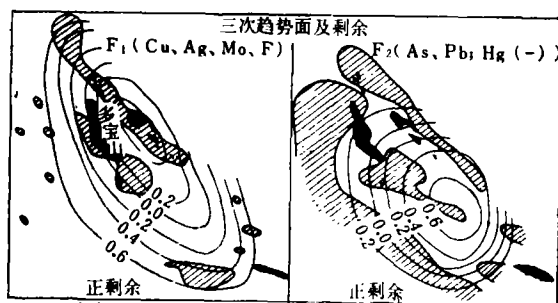


图6 地表岩石因子计量及Cu的趋势图

2. 矿床地球化学垂直分带特点

(1) 三矿带主矿体10个不同标高水平切面元素组合的垂直变化规律:

① 矿体(Cu > 2000ppm异常)不同标高

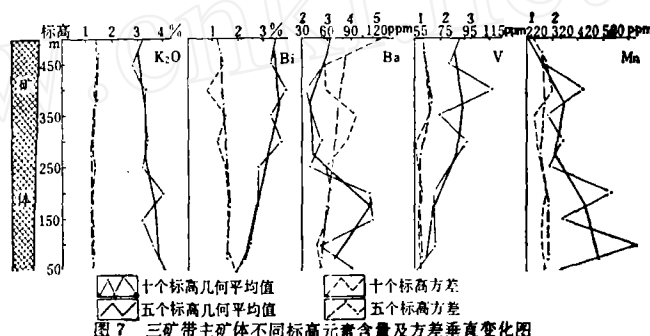


图7 三矿带主矿体不同标高元素含量及方差垂直变化图

元素几何平均值的方差的变化规律, 由图7可见: 矿体自上而下, Bi、V明显降低, 且Bi的方差增大。K₂O、Ba、Mn逐渐升高, 且K₂O的方差降低。说明深部含矿部位K₂O升高, 离散程度小。Mn的方差随其含量增高而增大。

② 矿体不同标高元素相关系数的垂直变化(表4), Cu—Au在矿体上部相关, 下部不相关且为负值; Cu—Ag在上部相关程度高; Ag—V在上部不相关, 下部相关; Ag—Bi在中部相关, 两头不相关。

③ 矿带(包括矿体的晕)不同标高元素相关系数的垂直变化(见表4), 在矿体上部Cu—F、Cu—Au、Mo—F、Mo—Au、Co—V相关, Co—Ti不相关; 在矿体下部上述元素除Co—Ti相关外, 都不相关。

④ 不同标高元素组合分带的垂直变化规律, Cu、Ag、Mo、K₂O、Na₂O(-)等元素的异常从上到下都包围矿体, 而V则有规律地变化: 在350米标高以上, V异常出现在矿体中; 在250~300米标高内, V异常出现在矿体两侧; 而在200米以下的四个标高中均无异常出现。

(2) Rb、Hg异常出现在矿体头部, 而Mn

标高	样数	体				样数 矿带(包括矿体的晕)						
		Cu—Au	Cu—Ag	Ag—Bi	Ag—V	样数	Cu—F	Cu—Au	Mo—F	Mo—Au	Co—V	Co—Ti
地表	8	0.91*	0.87*	0.57	0.18	27	0.51*	0.8*	0.4**	0.77*	0.54*	0.3
450	9	0.74**	0.77**	0.36	-0.26	27	0.61*	0.92*	0.55*	0.64*	0.63*	0.41**
400	10	0.13	0.88*	-0.09	0.26	27	0.58*	0.49*	0.27	0.09	0.47*	0.39**
350	10	0.64	0.94*	0.73**	0.24	27	0.33	0.73*	0.25	0.39**	0.54*	0.37
300	9	-0.4	0.55	0.77**	0.62	27	0.21	0.5*	0.1	0.51*	0.64*	0.54*
250	16	0.82*	0.92*	0.80*	0.51**	26	0.37	0.82*	0.22	0.31	0.6*	0.72*
200	13	0.41	0.85*	0.82*	0.61**	26	0.25	0.72*	-0.03	0.44**	0.44**	0.62*
150	11	-0.08	0.55	0.81*	0.61**	24	0.41**	0.48**	0.18	-0.02	0.29	0.79*
100	8	-0.29	0.66	0.65	0.54	21	0.23	0.37	0.11	0.15	0.19	0.32
50	6	-0.03	0.70	0.45	0.65	17	0.38	0.35	0.09	0.11	0.46	0.83*

* 表示在0.01置信水平上相关, **表示在0.05置信水平上相关。

在矿体下部出现负异常。

× × ×

多宝山斑岩铜矿床的地球化学异常分带

是明显的, 对于地球化学找矿具有一定指导意义。但有些规律, 虽然发现了若干现象, 还不能从理论上得到解释, 如K对Cu的控制作用等, 仍有待通过模拟实验解决。

利用岩石薄片鉴定碳酸盐矿物的简便方法



在碳酸盐岩分布区找菱铁矿时, 常需解决碳酸盐矿物的正确鉴定问题。现将我们在实际工作中应用的方法介绍如下:

岩石薄片经初步鉴定后, 去掉盖玻璃, 用酒精除去树脂。再以5%的HCl和酸性蓝钢笔水按5:1的比例制成混合溶液; 取一、二滴这种溶

液滴在薄片上。若起泡, 待1~2分钟后小心地用吸水纸将残留溶液吸干净。起泡的是方解石, 被染成蓝色; 不起泡的是菱铁矿或白云石, 进一步用含赤血盐的10%HCl(放几粒赤血盐)溶液一、二滴, 均匀涂在薄片上。如果是菱铁矿则晶面会产生一极薄的蓝色铁盐层, 白云石则无此现象。

刘松义