

河北涞源大湾钼矿床的 蚀变矿化研究

涂 勤

(北京大学地质系)

太行山北段发育有众多的与燕山期岩浆活动有关的接触交代型、斑岩型金属矿床。大湾钼矿就是近年来发现的斑岩型矿床之一。

钼矿床位于北东向涞易复背斜近轴部，燕山期北北东向大海坨—赤瓦屋构造-岩浆带的涞易复式中酸性杂岩体西缘。出露地层有五台群片麻岩、震旦系高于庄组和雾迷山组白云岩。区内断裂构造发育。

钼矿赋存于大湾流纹斑岩体中。在该岩体的围岩——白云岩中发育有与斑岩有关的矽卡岩型锌矿，与区域花岗岩有关的矽卡岩型铁矿（图1）。

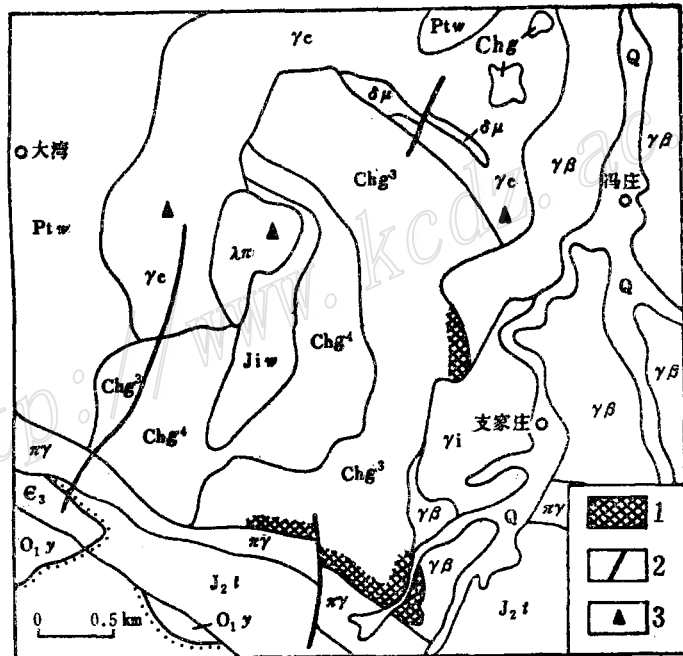


图 1 矿区地质略图

1—铁矿体；2—断层；3—年龄取样点

Fig. 1. Schematic map of the ore district.

1—Iron orebody; 2—Fault; 3—Sampling site for age.

一、岩体特征与成因概述

大湾流纹斑岩为一小岩株，出露面积为0.4km²，与围岩呈侵入接触。全岩样品钾-氩年龄为105Ma，与区域王安镇杂岩体（黑云母钾-氩年龄133—102Ma）^①晚期活动期次相当。

流纹斑岩以灰白色为主，斑状—显微斑状结构。斑晶量少，除钾长石外，还有很少量的斜长石。基质呈显著粒状结构、霏细结构、显微文象与球粒结构。岩石中矿物含量钾长石60—70%，石英25%左右，斜长石0—5%。块状构造，边部具流动构造。此外，岩体中还含有大量白云岩捕虏体和角砾。

岩石化学以高钾低钠为特征，SiO₂ 73.92—75.74%，K₂O 8.25—10.00%，K₂O/Na₂O比值为5.89—29.40，如此高的K₂O含量与钾钠比值在花岗质岩石中是少见的。

主要矿物钾长石中Or组分异常高。由电子探针和火焰光度计测定的K₂O含量换算的Or分子数高达97%。远比正常岩浆形成的钾长石固熔体中Or组分含量高。单矿物的X光粉晶衍射图谱上，钾长石（131）峰未分裂，Ab相（201）峰很弱。在Wright的三峰法鉴定图上多属中间微斜长石。X光有序度（Rangland公式）为0.54—0.57，红外有序度（Kyzhesaba公式）0.85—1.03，均高于一般斑岩。钾长石有序度较高，可能与次固相线温度下，热水溶液的影响，Al、Si位置发生调整有关。

显微镜下观察，大湾流纹斑岩斑晶中无溶蚀状高温石英变体，基质中钾长石和石英呈等粒镶嵌状，局部文象结构发育，都反映了低熔岩浆的结构特征。联系到岩石中异常高的钾含量和钾长石较高的有序度，根据O. F. Tuttle和N. L. Bowen的K₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O体系实验^[3]，认为大湾流纹斑岩作为区域岩浆活动晚期产物，是从一种富钾的含水残余熔体中结晶形成的。而这种富钾残余熔体与钼富集的密切关系已被众多的地质事实与实验研究所证实^[4]。

表1 钼矿床蚀变
Table 1. Composition of altered minerals

样品号	岩石类型	矿物名称	化 学							
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
d 915	绿化流纹斑岩	绿云母	39.46	13.54	0.41		14.71	0.74	18.69	0.02
d 905	黑云母化含矿片麻岩	富镁黑云母	37.59	14.91	2.91	1.92	13.16	0.43	14.99	0.00
d 1151	金云母大理岩	金云母	43.04	15.15	0.42	2.54	1.69	0.27	20.33	2.76
d 1179	绿化流纹斑岩	钙镁闪-角闪石	44.20	5.98	0.15		15.63	0.88	14.28	12.16
d 1161	绿化流纹斑岩的角砾	阳起-角闪石	50.17	2.57	0.04		15.54	1.13	13.60	12.20

注：Mf = Mg / (Mg + Fe²⁺ + Fe³⁺ + Mn)；Tf = Ti / (Ti + Mg + Fe²⁺ + Fe³⁺ + Mn)；闪石探针分析用 stout 方法计算

① 中国科学院地球化学研究所一室测定。

二、蚀变类型与蚀变化学特征

大湾流纹斑岩的蚀变类型（蚀变带）划分为：

1、黑云母化流纹斑岩（钾化带） 分布于斑岩体下部。蚀变矿物占5—10%，以黑云母为主，少量石英和钾长石。黑云母为0.05—0.2mm大小的鳞片状，呈团斑状、浸染状、细脉状分布。多色性Ng'为棕黄色，Np'为浅黄色。伴随有浸染状辉钼矿化。共生矿物还有浸染状磁铁矿、鳞片状绿泥石、细粒磷灰石。并多见硬石膏脉。

2、石英-绢云母化流纹斑岩（硅化带） 硅化石英呈细粒状、绢云母鳞片状。蚀变以石英化为主，分布广，以岩体中部最为强烈。硅化持续时间长，具多阶段性，有多种产出形式。早期硅化石英、石英-辉钼矿以细脉、网脉状为特征，辉钼矿呈鳞片状分布于石英脉的边部。可见石英脉穿切热液黑云母团斑。晚期硅化大脉状、坨状石英十分发育，叠加于早期蚀变之上，不具矿化，并部分破坏了早期矿化。

3、绿云母-镁角闪石-绿帘石化流纹斑岩（绿化带） 该绿化带为本矿区的特征蚀变，与矿化关系密切。

绿云母：多色性 Ng' 为黄绿色，Np' 为黄白色。形成于流纹斑岩中，在长英质基质中呈鳞片状，在白云岩角砾中呈叶片状。成分特征（表1）同斑岩体下部含矿片麻岩中的热液富镁黑云母及接触带金云母大理岩中金云母相比较，其Si、Al^{IV}离子数、含镁率（Mf）均介于二者之间，含钛率（Tf）更接近于金云母，按成分和产状称绿云母^[1]。

镁角闪石：柱状细粒集合体。绿色多色性，Ng'为蓝绿色，Nm'为绿色，Np'为浅黄绿色。呈团斑状、不规则脉状产出，或与绿云母一起交代白云岩角砾和流纹斑岩基质。其成分，在角砾中为阳起-角闪石，在基质中为钙镁闪石、角闪石（表1），可统称为镁角闪石^[2]。不同闪石的成分差异主要在Al^{IV}含量上，显然受原岩成分控制。

矿物成分表

from the molybdenum deposit

成 分 (%)															
Na ₂ O	K ₂ O	Σ	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Ti	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Mf	Tf
0.09	12.07	99.83	5.78	2.22	0.11	0.04		1.80	0.09	3.82	0.00	0.02	2.25	0.67	0.007
0.20	9.78	98.82	5.58	2.42	0.19	0.33	0.21	1.64	0.06	3.33	0.00	0.06	1.86	0.64	0.059
0.60	8.92	99.49	6.01	1.99	0.50	0.04	0.27	0.20	0.03	4.23	0.41	0.16	1.59	0.89	0.008
1.35	0.79	95.42	6.44	1.54	—	—	1.31	0.60	0.11	3.10	1.90	0.19	0.07		
0.58	0.36	96.24	7.48	0.45	—	—	0.37	1.57	0.15	3.02	1.95	0.17	0.07		

Fe²⁺、Fe³⁺：中国科学院硅酸盐所探针分析，沈阳地质矿产研究所化学分析

绿帘石：呈脉状，分散粒状交流利纹斑岩，也见呈细粒集合体交代镁角闪石、绿云母。这种蚀变近接触带尤为发育，可形成绿帘石岩。

该带还见有少量绿泥石、钠长石。伴随有浸染状、稠密浸染状黄铁矿、磁铁矿。

绿化蚀变强度受控于岩体与白云岩的距离, 尤其与白云岩角砾的含量密切相关。强烈绿化主要发生在接触带及白云岩角砾中, 流纹斑岩中钾长石斑晶尚可辨认, 基质呈孤岛状残留体, 形成具各种变晶结构的绿色矿物集合体。远离接触带, 蚀变仅发生于白云岩角砾内部。

辉钼矿呈线状、脉状分布于角砾边缘的岩石裂隙中, 呈浸染状分布于角砾及其边部。

各类蚀变岩石的化学成分见表2。除绿化带个别样品(强烈混染白云岩物质)外, 各带岩石 K_2O 含量变化不大, 只是在钾化带略有升高, 这是由于蚀变是在极为高钾的岩石中发生的。钾化带由于黑云母、磁铁矿的形成而使 MgO 、 TFe 较高, CaO 、 Na_2O 赋存于残留的斜长石中。硅化带氢交代作用产生的酸性淋滤, 大大降低了岩石中 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 TFe 含量。绿化带由于白云岩物质的加入所发生的绿化蚀变, 带来了大量 CaO 、 MgO 、 TFe 、 Na_2O , 且含量变化幅度大, 反映了这种蚀变分布的不均一。白云岩物质的加入, 中断了斑岩体酸性淋滤的进程, 这也许就是本区未出现泥化带的原因之一。

表 2 蚀变流纹斑岩化学成分表(%)

Table 2. Chemical composition of altered rhyolite porphyry (in percentage)

序号	样号	蚀变类型	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	TFe	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOS
1	801412	黑云母化	67.08	13.09	0.19	4.00	3.55	5.60		1.20	0.77	0.90	9.60	0.04	0.19
2	801414	同上	68.72	12.73	0.25	3.82	1.22	3.56		1.73	1.28	0.80	9.48	0.04	0.15
3	820614	同上	68.43					3.28		1.31	1.10	0.70	8.85		
4	d986	同上	69.64					2.26		1.42	2.21	1.00	7.90		
5	d1191	同上	71.29					1.85		1.12	2.09	1.05	8.32		
6	d904	硅化	73.85	12.84	0.05	0.85	0.33	0.56	0.33	0.56	0.43	0.80	8.88	0.03	0.92
7	d1227	同上	74.47					1.09		0.51	0.74	0.50	8.48		
8	831349	强烈硅化	78.55					1.23		0.58	0.75	0.55	7.10		
9	d914	绿化	71.35	11.62	0.08	4.05	2.25	4.59	0.10	1.09	0.26	1.10	7.53	0.13	1.00
10	820447	同上	66.69					4.83		3.01	1.22	0.64	7.34		
11	d915	强烈绿化(角砾)	61.03	10.95	0.40	6.19	4.21	7.62	0.95	3.28	3.13	1.85	7.08	0.20	1.12
12	820443	同上	54.87					6.98		5.20	4.84	2.55	7.08		
13	d1232	强烈绿化(接触带)	60.50	12.26	0.20	5.47	2.73	5.96	0.20	3.35	7.05	0.66	4.65	0.10	2.44
14	830927	同上	63.35					8.42		1.63	2.87	0.90	7.20		
15	820257	同上	56.50					3.28		3.19	4.65	0.90	9.70		

河北地质矿产局六队、北京大学地质系测定

三、蚀变剖面建立与钼矿富集条件探讨

大湾流纹斑岩矿物颗粒细小, 靠肉眼和显微镜观察建立蚀变剖面是困难的。D. B. Tatlock⁽⁵⁾用X射线衍射分析美国内华达州一些细粒长英质岩石中矿物含量的方法给笔者以启发。对全岩粉末样品进行X射线衍射, 用X光图谱上各物相特征峰的出现及其强度高低反映蚀变矿物组合及含量变化, 以建立蚀变剖面。

根据蚀变岩石中的主要矿物, 选择的矿物特征峰(表3, 图2)位置独立、强度大、峰形对称尖锐、灵敏度好, 并集中于 $2\theta=7-30^\circ$ 之间。需要说明的是, 当样品中石英含量很低时, 次强峰受钾长石(201)峰干扰而变形, 这时强度用其最强峰($2\theta=26.6^\circ$)高度的1/5计

表 3 矿物特征峰的衍射参数表

Table 3. Diffraction parameters of characteristic peaks of minerals

矿 物	云 母 MiCa	闪 石 Amp	石 英 Q	钾 长 石 Or	斜 长 石 PlAb	绿 泥 石 Chl	绿 帘 石 Ep
<i>hkl</i>	001	110	100	002	002	002	102
<i>d</i> (Å)	10.0	8.41	4.26	3.23	3.13	7.14	5.01
<i>2θ</i>	8.9	10.5	20.9	27.6	28.0	12.4	17.7
强度	100	100	20	100	100	100	30

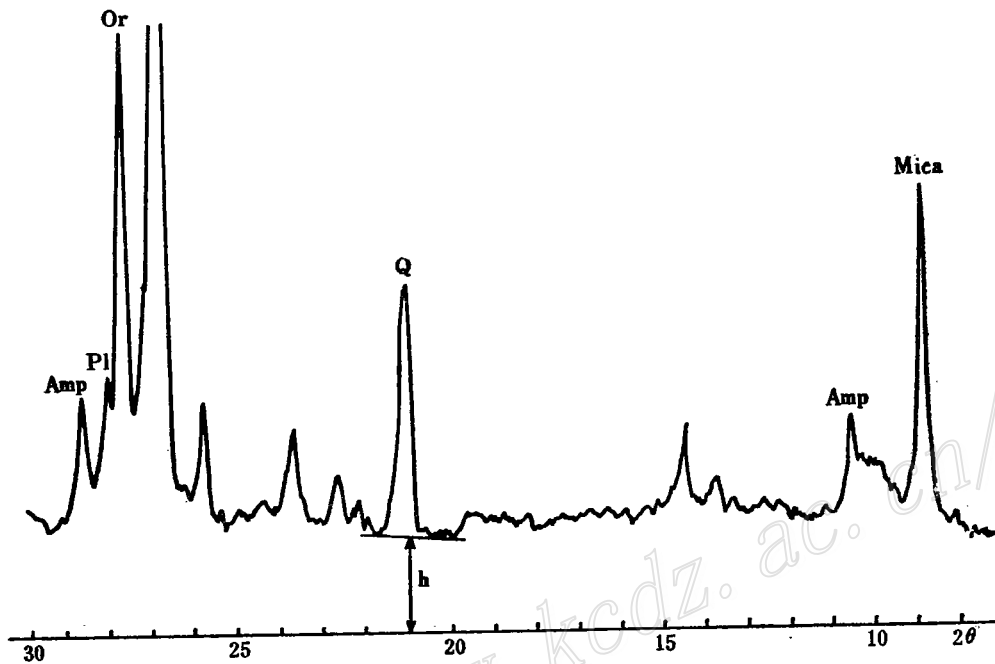


图 2 820447号样品X光谱图 (h—本底高度)

Fig. 2. X-ray spectrogram of sample No. 820447.

算。云母的最强峰(001)灵敏,但不同云母分不开,由矿物组合确定。对于不同矿物质量吸收系数的影响,长英质为主要成分时,强度不失真,实验中配制的不同比例钾长石、石英样品,强度与含量呈线性关系。质量吸收系数较大的铁镁质矿物的加入引起的强度误差在10%内^[5]。另外,铜靶衍射荧光效应产生的本底高低可以指示样品中含铁量变化^[5],配制的不同比例磁铁矿、石英样品,得到含铁量与石英(100)峰本底高度呈正相关线性关系。这样,在允许的误差范围内,在一个不大的 2θ 角区间,在大量样品的统计分析基础上,通过X光谱图上反映出来的矿物组合和含量的相对变化建立了蚀变剖面。

这一方法的应用克服了细粒岩石薄片分析的困难,为不同蚀变带的划分给予了量的概念,以众多的物相分析代替少数化学分析作为分带依据。该方法简便,能大量测试。还可利用已有钼金属含量、化学分析数据的岩芯副样,这样即可以将矿物含量与钼品位相比较,又能够用化学成分对矿物含量变化进行验证。

分析在国产BD-74型衍射仪上进行, Cu靶, Ni滤波, 40 kV, 25 mA, 发射 1° , 防散射 2° , 接收0.24 mm, 时间常数2 s, 扫描速度 $2^\circ/60$ s, 衍射强度以峰高计, 精度 ± 1 mm。利用已知含量强度的石英—钾长石、磁铁矿—石英工作曲线样品插入监测仪器稳定。样品主要选自岩芯副样, 将蚀变、矿化相近者合并或选其代表, 测试了约150个岩芯、地表样品。

位于岩体边部的ZK 1302孔, 矿化好。分析结果按深度作出的矿物强度、化学成分、钼含量变化图显示, 不同蚀变类型和蚀变强度区别显著, 各氧化物及其主要赋存矿物变化同步, 钼在绿化带的品位最高(图3)。

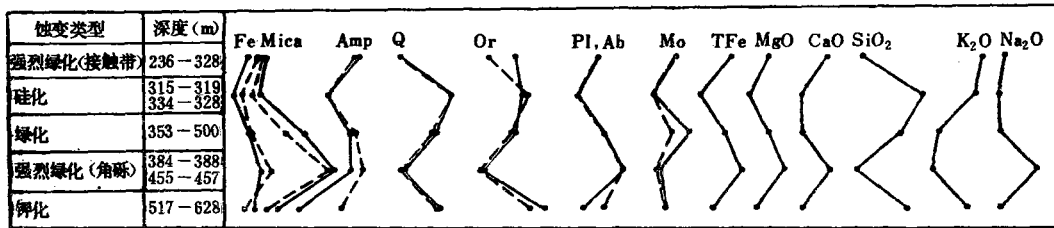


图3 ZK1302孔不同矿物蚀变强度、化学成分、钼含量变化相关图

虚线点为矿物蚀变强度平均值; 实线点为化学分析样品值

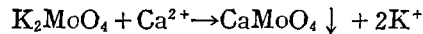
Fig. 3. Diagram showing variation in alteration intensity of minerals, chemical composition and molybdenum content in drill hole ZK1302.

Dash lines refer to averages of alteration intensity of minerals, while solid line to chemical analyses.

图4给出了ZK1703的全部结果。该孔位于岩体中心, 分带典型。根据矿物含量的相对变化确定了蚀变带界限。钾化带黑云母增加, 斜长石得以保留。硅化带矿物含量变化平缓, 强烈硅化地段斜长石消失。绿化带矿物含量变化大, 钾长石、石英量少, 绿云母、镁角闪石、斜长石(为钠长石)、铁含量高。部分样品出现绿帘石、绿泥石特征峰(图中未统计)。此外, 与流纹斑岩结构相近, 界线不清的脉岩也以明显的浅色矿物被区别出来。

根据主要钻孔的测试结果, 结合岩芯观察, 作出了蚀变剖面图5。钼矿化富集于岩体上部、边部的绿化带, 在中部强烈硅化地段较贫, 在钾化带和弱硅化地段钼矿化中等。

由图4可见, 钼含量较高时, 多与图谱中云母、闪石、钠长石、铁含量达到高峰、石英、钾长石位于峰谷一致。岩芯观察也发现, 钼品位高的地段无一不伴随有与白云岩角砾有关的绿色蚀变。这些角砾在辉钼矿的富集上起了双重作用: ①引起热液化学组成的变化。大量碱土金属(以 Ca^{2+} 为例)的进入, 造成热液中 Ca^{2+}/K^+ 比值骤然升高, 碱金属钼酸盐被碱土金属钼酸盐所取代。对于前者, 无论是钼酸盐或是硫代-氧化硫代钼酸盐都是稳定的可溶性络合物, 而后者的溶解度则很小, 于是有:



$CaMoO_4$ 在含硫溶液存在的条件下不稳定, 最后被辉钼矿代替。角砾与流纹斑岩接触处既是组分化学势梯度变化最大的反应界面, 又是结构上的薄弱处, 有矿质沉淀可用的空间。

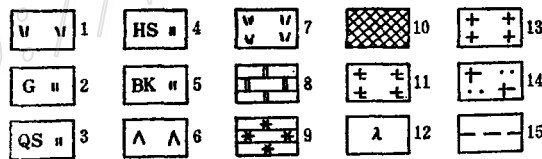
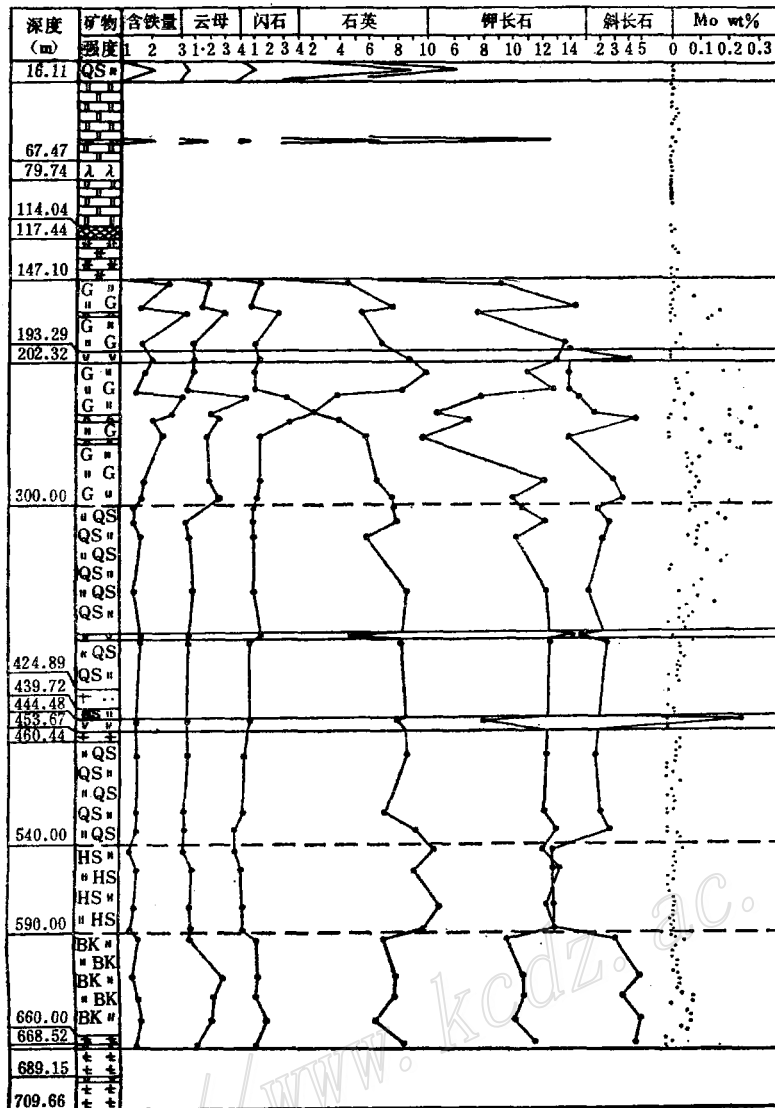


图4 ZK1703孔矿物X射线强度分布与蚀变矿化柱状图

1—流纹斑岩；2—强硅化带；3—钾长石化斑岩；4—锌矿体；5—花岗斑岩；6—绿化带；7—钾化带；8—蛇纹石大理岩；9—中细粒花岗岩；10—花岗闪长斑岩；11—硅化带；12—绿帘石岩；13—砂卡岩；14—闪长玢岩；15—蚀变带界线

Fig. 4. Geological column showing relationship of X-ray intensity of minerals to mineralizing alterations in drill hole ZK 1703.

1—Rhyolite porphyry; 2—Intense silicification zone; 3—potash feldspathized porphyry; 4—Zinc orebody; 5—Granite porphyry; 6—Propylitization zone; 7—Potash feldspathization zone; 8—Serpentine marble; 9—Medium and fine-grained granite; 10—Granodiorite porphyry; 11—Silicification zone; 12—Epidotite; 13—Skarn; 14—Diorite porphyry; 15—Boundary of alteration zone.

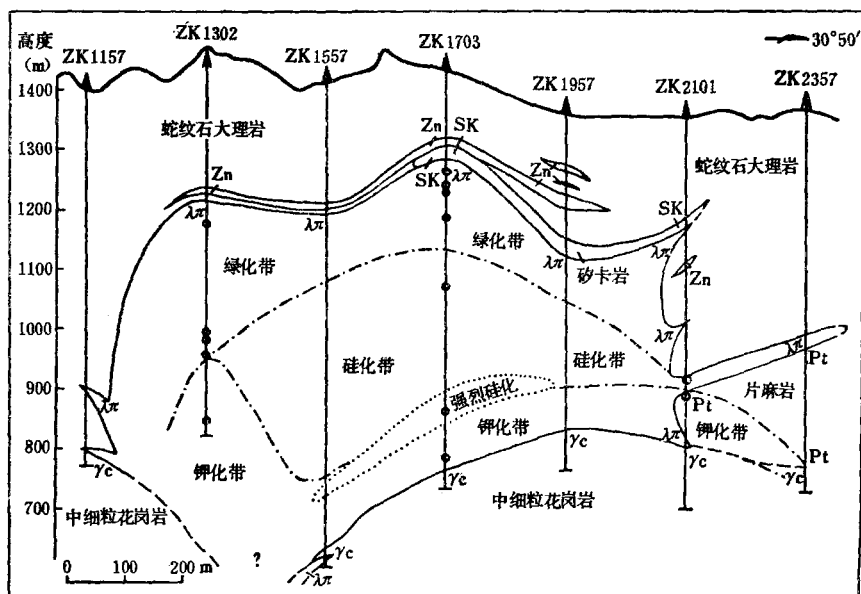


图 5 57号蚀变剖面图

●—化学取样点, 其余图例同图1

Fig. 5. Alteration zoning along No. 57 section.

●—Site for chemical sample; other symbols as for Fig. 1.

四、矿物流体包裹体研究

用包裹体主要研究不同阶段的石英脉。按照室温下物理状态将包裹体分为两种类型(表4)。

I 类型: 气液两相包裹体(气体百分数 $<40\%$)。

II 类型: 含子矿物多相包裹体, 由气相、液相和石盐子矿物三相组成。石盐无色透明, 为立方均质体, 折射率近于1.54。

温度、盐度的测定是在Chaixmecca显微测温仪上进行的(均一温度未作压力校正)。

温度直方图上得到了三个区间(图6)。早期阶段含石英脉温度范围为 $460-260^{\circ}\text{C}$, 集中于 $320-380^{\circ}\text{C}$; 晚期硅化温度为 $260-120^{\circ}\text{C}$; 次生包裹体最低至 50°C , 可作为本区热液作用的下限温度。

I 类型包裹体的盐度区间为 $0.3-22.4\%$ (wt% NaCl, 下同)。盐度与均一温度呈正相关(图7)。II 类型包裹体由石盐子矿物消失温度(测得7个数据, $320-450^{\circ}\text{C}$)以及参照石盐子矿物占据的包裹体面积与盐度对应图^[6]得到的盐度范围为 $30-50\%$ 。不同阶段石英脉中, 早期盐度为 $16-50\%$, 以中等盐度为主。晚期盐度为 $0.3-11.8\%$, 以低盐度为主。

大湾蚀变流纹斑岩的包裹体特征表明:

1. 各期石英脉都是在热水介质中形成的。未发现气相包裹体, 表明沸腾作用很局限或没有发生。

2. 蚀变作用持续的温度区间较大, 钼矿化主要发生在高中温阶段, 硅化作用一直延续到低温阶段。

表4 大湾钼矿床包裹体特征表

Table 4. Characteristics of inclusions in the Dawan molybdenum deposit

特 征 \ 类 型	I 气液两相包裹体		II 含子矿物多相包裹体
大 小 (μ)	一般1—3, 少量3—8		一般1—5, 大者8—10
形 状	圆形、椭圆形, 负晶状、不规则状少见		不规则状为主
气体百分数 $\frac{V_{气}}{V_{气} + V_{液}}$	一般20—35%, 大者至40%	5—10%	一般10—20%, 个别没有气泡
子矿物分布			石盐立方体占包裹体面积的10—20%, 大者至40%
分布特征	早期阶段含矿石英细脉、网脉中多见	晚期阶段脉状、块状、坨状石英中多见	在早期阶段石英脉中占包裹体总量的15—30%
均一状态	液 相		液相。气泡消失早于石盐溶解
均一温度($^{\circ}\text{C}$)	460—260	260—120	
盐度(NaCl wt%)	16—22.4	0.3—11.8	30—50

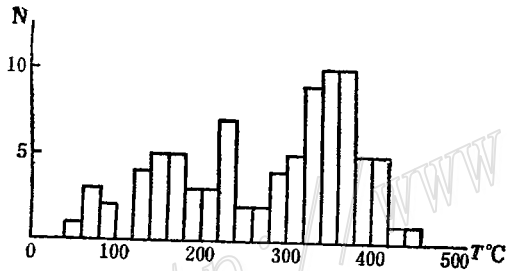


图6 均一温度直方图

Fig. 6. Histogram of homogenization temperatures.

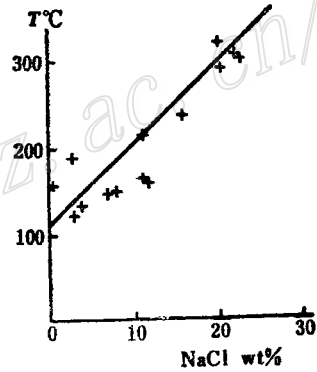


图7 均一温度—盐度图

Fig. 7. Diagram of homogenization temperatures versus salinities.

3. 盐度与温度呈正相关关系, 反映了蚀变作用不断进行的过程也是大气降水不断加入的过程。早期阶段热液具高、中温, 高、中等盐度, 为一 NaCl-H₂O 型盐水体系, 钼在这一阶段沉淀。晚期阶段的蚀变介质为低温、低盐度热水。

五、氧、氢、硫稳定同位素组成特征

氧同位素分析使用BrF₅法, 以 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NBS-28}/\text{SMOW}} = 10.0\text{‰}$ 进行计算, 分析误差为 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

氢同位素由北京大学地质系分析, 误差为 $\pm 2\%$ 。

分析结果与“正常值”相比较, 大湾蚀变流纹斑岩大部分全岩和矿物的 ^{18}O 、D值都发生了贫化。这种贫化与大气降水参与成矿作用有关。

石英的氧同位素组成有良好的保存性。根据石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值及包裹体均一温度计算的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值可代表其形成介质的氧同位素组成, 从而指示热液来源。表5中不同阶段硅化石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值相差十分明显, 对应的介质水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值早期阶段为 $5.3-4.6\%$, 晚期阶段在 -10.9% 以下。按照H. P. Taylor 给出的正常初始岩浆水的 $\delta^{18}\text{O}$ 范围值($6.0-9.0\%$)^[7], 可推断早期阶段的成矿热流体中已有部分大气降水混入, 演化到晚期, 大气降水占了主导地位。这与包裹体温度、盐度的测定结果是一致的。

钾长石作为最易退化交换的矿物, ^{18}O 的贫化最为显著(表5)。

表5 不同硅化阶段的石英脉的氧同位素组成

Table 5. Oxygen isotope values of quartz veins at different stages of silicification

样号	位置	阶段	均一温度(°C)	$\delta^{18}\text{O}_\text{Q}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)
d1210	ZK1703孔653m	早期	400°C	8.7	4.6
d1219	ZK1703孔476m	早期	350°C	10.7	4.7
d1220	ZK1703孔470m	早期	350°C	10.6	5.3
d1202	ZK1703孔588m	晚期	120°C	0.5	
d947	地表	晚期	200°C	0.8	-10.9
d955	地表	团斑状		2.3	

Clayton 方程计算 $1000\alpha_{\text{Q-H}_2\text{O}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ (200—500°C)

氢同位素组成(表6)中, 绿帘石的 δD 值与岩浆水的正常 δD 值范围($-50-85\%$)尚接近, 而 ^{18}O 已贫化。其他矿物都发生了D的贫化。

表6 不同矿物的氧、氢同位素值

Table 6. Oxygen and hydrogen isotope values of different minerals

样号	矿物	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	样号	矿物	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
d961	钾长石	1.0		d1045	钾长石	0.1	
d950	钾长石	2.1		d1233	绿帘石	-4.7	-89
d1019	钾长石	3.1		F915	绿云母、镁角闪石		-122
d890	钾长石	2.1		d1151	金云母		-155

全岩样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化表现了很好的规律性(表7), 其值在未(弱)蚀变和深部钾化带较高, 接触带的绿化岩石中较低。据此推断沿接触带有大量大气降水进入热液体系, 这里恰是蚀变强烈、矿化富集地带。

流纹斑岩周围的花岗岩矿物、全岩, 矽卡岩矿物及磁铁矿的30件样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值、 δD 值也都有程度不同的降低, 反映了成矿晚期的大规模大气降水热液活动。

流纹斑岩绿化带黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值($3.0-3.7\%$)和钾化带石膏的 $\delta^{34}\text{S}$ (16.0%)值也略高于一般斑岩矿床^[7], 不排除有大气降水带来的重硫参加矿化的可能。

表7 流纹斑岩全岩氧同位素组成

Table 7. Oxygen isotope composition of rhyolite porphyry (whole rock)

顺序号	样号	位置	蚀变	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$
1	d 916	ZK1302孔 450m	未蚀变	5.8
2	d 887	地表	弱蚀变	4.5
3	d 807	地表	弱蚀变	3.7
4	d 813	地表	硅化	2.7
5	d 1152	ZK1705孔 130m	弱蚀变	4.0
6	d 1236	ZK1703孔 198m	弱蚀变	2.4
7	d 1191	ZK1703孔 650m	钾化	5.7
8	d 915	ZK1302孔 457m	强烈绿化	5.1
9	d 986	ZK1702孔 495m	钾化	3.5
10	d 904	ZK2101孔 450m	硅化	4.0
11	d 914	ZK1302孔 490m	绿化	1.7
12	820257	ZK1302孔 268m	绿化	1.9
13	d 1232	ZK1703孔 230m	绿化	0.9

结 语

大湾流纹斑岩钼矿区发育有一套特征的蚀变岩石。利用全岩粉末样品X射线衍射分析,通过矿物强度的变化建立了蚀变剖面,从岩体深部至顶部及边部依次为钾化—硅化—绿化。

绿化是本矿区的特征蚀变,它是由于围岩(白云岩)物质的加入引起的,而不同于以铝硅酸盐岩为围岩的典型斑岩矿床的青磐岩化。辉钼矿在绿化岩石中富集,白云岩角砾与热液的反应为钼的沉淀提供了赋存空间。

包裹体与稳定同位素特征表明,早期成矿热流体中已有大气降水混入,并有利于蚀变的发育与矿质的沉淀。晚期阶段,蚀变是在以大气降水为主要来源的热热水溶液中发生的。

本文是在冯钟燕教授的指导下完成的,闻广老师审阅全文并提出修改意见,野外工作中,河北地矿局六队给予了大力支持,实验中得到了卢焕章、张德美老师的指导。在此一并致以感谢。

主要参考文献

- [1] 胡受奚 1980 交代蚀变岩相学 地质出版社 第28页
- [2] 北京大学地质系岩矿教研室 1979 光性矿物学 地质出版社 第303页
- [3] Tuttle, O. F. and Bowen, N. L., 1958, Origin of granite in the light of Experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, Geol. Soc. Amer. Mem., 76: 84—89.
- [4] Westra, Gand Keith, A. R., 1981, Classification and genesis of stockwork molybdenum deposits. Econ. Geol. 76: 864—966.
- [5] Tatlock, D. B., 1966, Rapid modal analysis of some felsic rocks from calibrated X-ray diffraction Patterns. U. S. Geol. Sur. Bull. No. 1209, 41p.
- [6] Roedder, E., 1984, Fluid inclusions. Review in Mineralogy Vol. 12. Min Soc. Am p. 235.
- [7] Hoefs, J., 1980, Stable isotope geochemistry, 2nd Edition., Springer-Verlag Berlin, Heidenberg, pp. 70—95.

HYDROTHERMAL ALTERATION AND MOLYBDENUM MINERALIZATION OF THE DAWAN MOLYBDENUM DEPOSIT, LAIYUAN COUNTY, HEBEI PROVINCE

Tu Kan

(Department of Geology, Beijing University, Beijing)

Abstract

The Dawan porphyry molybdenum deposit is located in a rather small rhyolite porphyry body that contains extremely high K_2O and has dolomite as its wall rock.

Three types of alteration are well developed within the porphyry, namely potassic alteration, silicification and green alteration. The chief product of potassic alteration is hydrothermal biotite; silicification is of multiple phases; green alteration mainly occurring at the contact zone is noted for the assemblage of Fe-rich phlogopite, magnesiohornblende, epidote and/or albite. Being characteristic of the deposit, the green alteration is related to dolomite breccias in the porphyry and is accompanied by rich molybdenite precipitation.

In view of the very tiny size of the minerals, and with a purpose of depicting quantitatively the relationship between the alteration and the mineralization, the author applies X-ray diffraction analysis to whole rock samples with known molybdenum contents. The intensities of the characteristic peaks of quartz, orthoclase, plagioclase, mica and hornblende as well as the height of the background have been determined systematically, which leads to the establishment of an alteration profile. From the bottom upward and from the middle outward, the potash alteration changes into silicification and then into green alteration. It is revealed that molybdenum is enriched in green alteration zone, and high extremes of molybdenum contents are always in consistency with high abundance of mica, hornblende and Fe-content as well as low contents of quartz and orthoclase. This suggests that green alteration was favorable to molybdenum enrichment, for there must have been obvious changes in the physical-chemical condition of the hydrothermal solution in green alteration zone, and the highly permeable breccias and their rims could provide space for mineralization.

At the earlier stage, the quartz inclusions of ore-bearing veinlets had homogenization temperature ranging from 460—260°C, salinity 50—16 NaCl wt%,

$\delta^{18}\text{O}_\text{O}$ 10.7—8.7‰, and $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5.7—4.6‰, indicating that molybdenite had been precipitated from hydrothermal solution mainly composed of magmatic water. At the late stage, homogenization temperature was 260—120°C, salinity 11.8—0.3%, $\delta^{18}\text{O}_\text{O}$ 0.8—0.5‰ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ under-10.9‰, suggesting that by this stage, meteoric water had probably played a predominant role in the hydrothermal solutions and $\delta^{18}\text{O}$ of whole rock had also been more or less reduced.

书刊介绍

《稳定同位素在地质科学中的应用 ——金属活化热液成矿作用及找矿》

The Application of the Stable Isotope to Geology—the
Hydrothermal Mineralization of Metal Activation and Its
Prospecting

由中国地质科学院宜昌地质矿产研究所张理刚著, 陕西科学技术出版社出版的《稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿》一书, 是应用稳定同位素地球化学知识, 探讨和研究地质学中的有关问题, 特别是热液成矿作用的一系列理论和实际找矿问题。

全书除绪论外, 共分八章。在绪论中作者对热液矿床成因研究作了历史的回顾, 并介绍了国内外近年来热液矿床成因研究的重大进展和新发现; 第一、二章系统地概述了氢、氧、硫、碳等稳定同位素的一些基本概念、分馏作用机理及地质应用的最基本原理和方法; 第三—七章中较系统地概述和研究了大气降水(雨水)、海水(大洋水)、再平衡混合岩浆水、变质分泌水和复合混合水的概念, 同位素组成和变化机理, 水与岩石交换作用和金属浸出-活化转移成矿作用等; 第八章对金属活化热液成矿作用和找矿评价的有关问题作了综述。以国内外不同类型矿床的稳定同位素研究为实例, 对这些矿床的成矿物质及其成矿介质的来源、成矿模式及其找矿评价等问题进行了探讨。

南京大学地质系徐克勤、张祖还、孙薰、胡受奚等教授为该书写了序言, 并给予了较高评价, 认为该书实际资料丰富、内容新颖、观点明确、立论扎实, 是地球化学、岩石学、矿床学研究中非常有价值的一本新著。它对于有关大专院校师生、从事地质找矿、科学研究的地质工作者均有一定的参考价值。特此向广大读者推荐。