

# 大吉山钨矿床成矿规律研究

孔昭庆

大吉山钨矿是一个开采六十余年的老矿山，素以埋藏量丰富、采选规模大而著称。目前矿山已开掘数十万米坑道和数百万立方米的采空区，对矿床进行了充分的揭露，积累了大量宝贵的第一手地质资料。矿山、地质、科研、教学等部门协作对矿床进行了较为系统的研究。矿床地质的新认识、新发现，特别是大吉山钨矿床多元共生模式和成岩成矿序列的提出，引起了国内外地质工作者的广泛兴趣与关注。

本文试图对大吉山钨矿床主要成矿规律作一简略介绍，并对矿区周边和深部找矿探矿方向进

行初步探讨。

## 矿区地质概况

矿区位于南岭东西复杂构造带东端中部，区域性北东向构造与东西向构造带相交部位。

出露地层主要为寒武系中上组砂板岩和泥盆系中下统桂头群砂砾岩。强烈的燕山早期岩浆活动伴随着广泛的成矿作用。根据火成岩与成矿的关系，综合已有资料，矿区所见火成岩大体可分为三个世代（表1）。

成矿期内三种花岗岩类，具有连续演变特征。

大吉山钨矿火成岩侵入期次特征表

表1

矿成期	时代	代号	岩性	同位素年龄 ( $1 \times 10^6$ 年)	岩体形态	有关矿化
成矿前	燕山旋回 早期第II 阶段J <sub>2</sub>	Q $\pi$	石英斑岩		岩墙	无
		$\delta$	闪长岩	191 (?) (K-Ar法、白云母)	岩脉	无
成矿期	燕山旋回	$\gamma_5^{1,1}$	中粗粒似斑状 黑云母花岗岩	180 (K-Ar法、黑云母)	岩基	TR
		2mb $\gamma$	中粗粒二云母花岗岩		小岩基	Nb, TR
	早期第III 阶段J <sub>3</sub>	3m $\gamma$	细粒白云母花岗岩		岩枝、岩脉	Ta, Nb, W, Be
		Q $\nu$	含钨石英脉	178 (K-Ar法、白云母)	矿脉	W, Bi, Mo, Be
成矿后		$\mu$	玢岩类		岩脉	无

1. 岩石学特征 从黑云母花岗岩向白云母花岗岩，岩石结构由粗到细，颜色由深到浅，斜长石逐渐减少，最后钠长石、石英增多，黑云母由多至无，白云母由无至多，云母的物理化学性质亦明显地呈规律性变化，副矿物组合向含有色、稀有矿物方向变化。

2. 岩石化学成分 从黑云母花岗岩向白云母花岗岩，Na<sub>2</sub>O、MnO、SiO<sub>2</sub>及挥发分升高，K<sub>2</sub>O、CaO、MgO、FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>及P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>降低。

3. 查氏数值特征对比 见表2。

从表2可见，从黑云母花岗岩向白云母花岗

岩、黑云母花岗岩、二云母花岗岩n值与中国酸性岩、华南花岗岩较接近，而白云母花岗岩n值极高，c值极低，f'、m'均偏低。

4. 地球化学参数 从黑云母花岗岩向白云母花岗岩，岩石中主要阳离子离子半径增大，电价、电位、能阶降低。

5. 微量元素含量 从黑云母花岗岩向白云母花岗岩，岩石中与成矿有关的微量元素逐渐富集，微量元素组合特征反映了强烈的酸性岩特点，黑云母花岗岩中Ta、Nb、W、Be分别为酸性岩平均含量的3.1、1.5、140、3.6倍，反映了成矿元素具有较高丰度。

大青山钨花岗岩类查氏数值特征与世界、中国同类岩石对比表

表 2

岩 性	S	a	c	b	f'	m'	c'	a'	n	Q
黑云母花岗岩	75.9	12.4	3.3	8.4	52.5	29.2	18.3		46.7	23.7
二云母花岗岩	81.3	15.6	0.8	2.2	73.5	14.7		11.8	54.2	30.7
白云母花岗岩	80.8	15.2	0.06	4.0	39.3	8.2		52.5	78.6	31.0
华南花岗岩	81.25	13.59	0.98	4.18	41.35	11.18		47.17	52.17	34.34
中国酸性岩	78.77	13.57	2.41	5.29	55.70	29.11		15.19	60.00	28.07
戴里花岗岩	78.80	13.40	2.40	5.40	57.50	27.50		15.00	56.00	28.40

6. 岩石化学特征数值 从黑云母花岗岩向白云母花岗岩出现TR—Nb—Ta的富集序列, 伴随Ta的富集,  $R^{1+}/R^{2+}$ ,  $Na^{+}/K^{+}$ ,  $Mn^{2+}/Fe^{2+}$ ,  $1000Rb_2O/K_2O$ ,  $1000TiO_2/SiO_2$ 随之降低。

矿区与成矿有关的构造主要是断裂构造, 有东西、北北东、北东、北西西向四组, 矿区东西两侧北东向压扭性断裂为控制成矿的主干断裂

(图1)。

矿区具二种类型的钨矿床: 含钨石英脉矿床和花岗岩浸染型钨矿床, 在成矿作用的时间上紧密相随, 空间上密切伴生。

此外, 在矿区东部、南部和西部还发现有与主要脉组走向近于一致的含钨石英脉矿化标志带; 矿区深部发现具Ta、Nb、W、Be矿化, BeO品

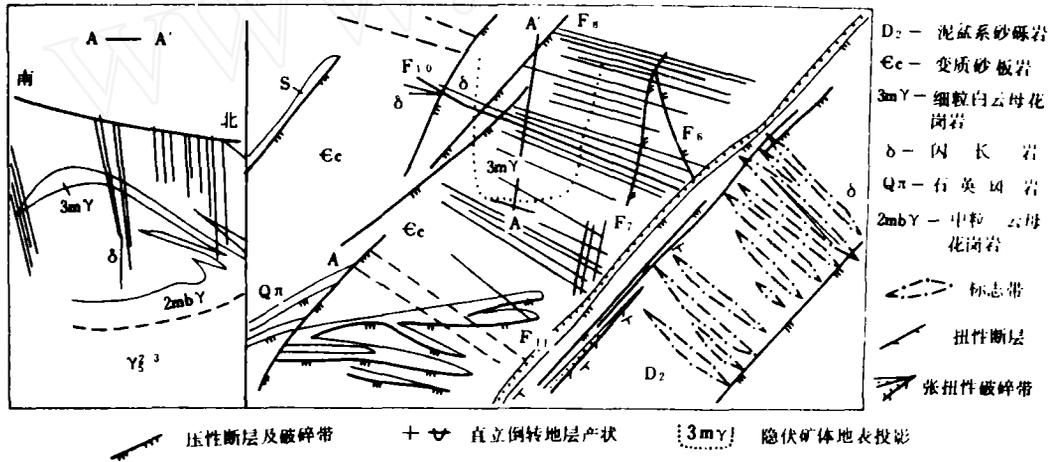


图1 大青山矿区地质构造示意图

位较高的花岗岩岩枝、岩脉多条, 矿区北部发现花岗岩风化壳离子吸附型稀土矿床, 有待今后进一步研究查明。

### 主要成矿规律

1. 断裂构造控矿与容矿裂隙展布规律 区内发育的南北、北西、东西、北东、北北东五个方向的压性构造线, 反映了不同时期、不同方式的构造力的多次作用, 构成了一幅十分复杂的构造图景。

矿区容矿裂隙的生成和发展, 主要受东西、北东和北北东向三组断裂先后活动的控制, 而北东向断裂为控制成矿的主干断裂, 对成矿的控制主要表现为:

(1) 主干断裂控制了成矿区间和矿体分布范围, 矿体产于矿区东西两个北东向大断裂之间, 北东向压性断裂是在南北向力偶作用下生成的。由于这一应力场的作用, 生成北西西及北北东向共轭扭裂隙, 为矿区二组主要容矿裂隙之雏形, 在空间分布及规模上奠定了基础(图2)。

(2) 矿体产出形态、结构面力学性质及其生成演化历史, 直接受主干断裂构造多次活动的影响。

通过矿区主要容矿裂隙力学性质分析, 在南北向应力场的反复作用下, 矿区主要北西西向容矿裂隙, 脉壁平直整齐, 尖灭侧翼及空间排列的纺锤状中石, 表现为初始扭性, 矿脉呈舒缓波状、

脉壁局部凹凸面和纺锤状中石，反映了容矿裂隙经压性改造，追踪充填，无定向排列的中石、压扭性中石裂隙张开时被拉开，反映在矿液充填时明显的张性特征。同时，受成矿前后断裂构造多次活动的制约，脉体产出上受北东或北北东向断裂分段控制。在相邻的两个北东或北北东向断裂之间，脉体呈中间大、两端尖灭的长透镜状，构成并列的梯形构造格式。

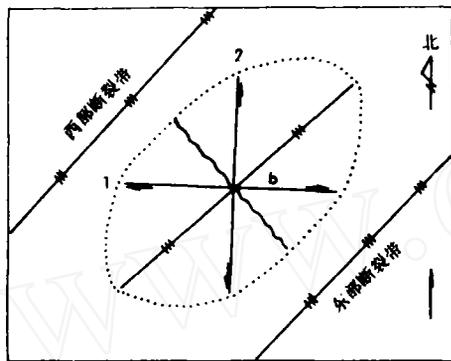


图 2 容矿裂隙生成时构造应力场示意图  
 a 压性结构面 b 扭性结构面  
 c 张性结构面 区域构造作用力  
 1, 2 北西西, 北北东向容矿裂隙

矿区北北东向容矿裂隙显示明显的扭性特征，亦可见矿液充填的张性特征并多被成矿后的沿脉断层错开。

(3) 控制矿脉的空间展布排列形式：①受构造应力波动机制作用，矿脉成组成带等距离韵律性分布，如北组、中组、南组、再南组近似等距分布；②受来自北西向南东推挤力作用，各脉西部收敛，东部撒开；③容矿裂隙受初始扭力作用，在平面和剖面上成侧列式展布。

单脉多具尖灭侧现特征，垂直方向以前型侧现多见，水平方向以右型侧现多见（图 3、4）。

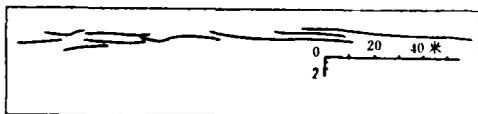


图 3 细脉带平面形态

(4) 矿床中物质组分的空间变化具顺序沉淀顺向分带及脉动沉淀的逆向分带特征（金属硫化物在矿床下部大量增多），反映构造活动的多期

性和继承性控制了矿床物质组分的空间分布和矿体结构特征的变化（表 3）。

(5) 断裂构造控制了与成矿有关的岩浆岩侵入、矿液运移和矿化富集：矿区与成矿有关的隐伏二云母花岗岩沿矿区西部北东向断裂侵入，走向为北东 $40^\circ$ 、向南东倾伏。对断裂充填物取样化学分析，发现与成矿有关的有色—稀有金属元素有较高的含量。北西西向裂隙向下合并延伸均可与二云母花岗岩沟通，既是矿液运移的通道又是贮矿的场所。这与富矿柱向南西侧伏及成矿温度由西下向东上逐渐降低的事实相吻合。

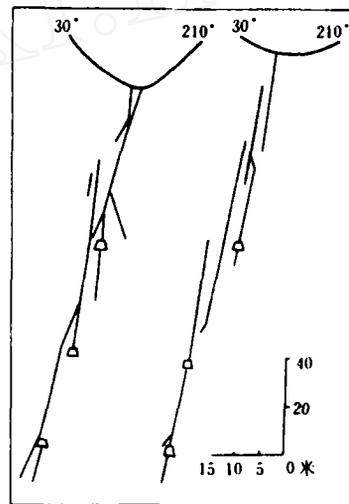


图 4 矿脉在垂直方向上的尖灭侧现形态

2. 花岗岩控矿与成岩成矿演化规律 区内燕山早期岩浆活动甚为强烈，矿区黑云母花岗岩成矿元素含量较高，黑云母花岗岩—二云母花岗岩—白云母花岗岩在岩石学、岩石化学、地球化学等方面具连续演变特征。含钨石英脉在成因上与之联系密切：空间上从深部至地表依次为黑云母花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗岩、含钨石英脉；规模由大逐渐变小，形态由岩基—岩枝、岩脉—矿脉，具一定垂直分带性。时间上黑云母花岗岩年龄为： $180 \times 10^6$  年；含钨石英脉为  $178 \times 10^6$  年，形成更晚。从石英包裹体生成温度和包裹体特征来看，亦具连续演变特征（表 4）。

据塔乌松的划分，K/Rb变化在100~390之间为地壳重熔再生岩浆形成的花岗岩浆。矿区黑

大吉山矿区石英脉型钨矿床垂向变化表

表 3

部位	矿物组合	黑钨矿特征 (%)			石英包裹体均化温度 (°C)	钨矿化强度	铍矿化强度 (BeO, %)	脉中特征矿物	围岩蚀变特征
		具环带状构造者占	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					
上 ↓ 下	黑钨矿-石英	10	0.1 ±	0.03 ±	257 ±	中 ↓ 强	< 0.05	脉壁云母, 萤石	电气石化、白云母化、萤石化
	绿柱石-黑钨矿-石英	67	0.3~0.4	0.1~0.2	284 ±	强	0.05	绿柱石、脉壁云母、电气石、大量金属硫化物	钠长石化、电气石化、云英岩化
	微斜长石-石英 (微斜长石 < 50%, 具环带状构造)	80	0.4 ±	0.2 ±	295 ±	中	0.05	微斜长石、绿柱石、大量金属硫化物	电气石化、云英岩化
	微斜长石-石英 (微斜长石 > 50%, 具文象结构)					弱	0.05	微斜长石, 大量金属硫化物	云英岩化

云母花岗岩K/Rb为160,故属于地壳重熔花岗岩岩浆结晶分异产物。黑云母花岗岩的稀土矿化,表现为表生作用形成的风化壳离子吸附型稀土(以ΣCe为主)矿床。

矿区深部隐伏二云母花岗岩是母岩到白云母花岗岩矿体演化过程中的过渡产物,推测前者

为黑云母花岗岩向南倾伏延伸的隆起部位,采自钻孔的二云母花岗岩标本薄片鉴定认为白云母系黑云母变成,白云母的出现及Nb的矿化富集是黑云母花岗岩进一步分异演化及碱质交代作用的结果。

白云母花岗岩矿体是二云母花岗岩分异演化

大吉山矿田成岩成矿温度及包裹体特征表

表 4

垂向部位	矿床类型及相带		石英包裹体特征				
			生成温度 (°C)	体积 (%)	大小 (μ)	主要形态	气液比
上	石英脉型钨矿床	黑钨矿-石英	260	3	12~16	圆形、纺锤状占50%	20
		绿柱石-石英	287	3	10~16	圆形、纺锤形占60%	25
		微斜长石-石英	295	3	10~18	圆形、纺锤形占70%	25~30
下	花岗岩浸染型钽铌钨铍矿床	石英	455	2~3	16~56	纺锤形、不规则	30~70
		似伟晶岩	503	2	10~32	纺锤形、圆形	25~35
		细粒白云母花岗岩	526	1~2	10~24	纺锤形、圆形	20~30
		中粒二云母花岗岩	550	0.5~1	8~18	纺锤形、圆形	20~25
		中粗粒似斑状黑云母花岗岩	640	0.5	< 8	圆形、纺锤形	15~20

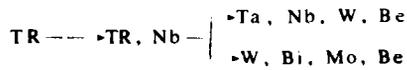
至高级阶段的含矿岩浆,在构造作用下再次向上侵位而成,Ta、Nb、W、Be矿化是在相对封闭的环境下,岩浆晚期热液交代-分异作用的结果。

含钨石英脉切过含矿的白云母花岗岩继续向下延伸,至二云母花岗岩尖灭。它是深部二云母花岗岩进入岩浆期后的含矿热液在相对开放的条

件下,沿上部裂隙充填而成。含钨石英脉并非含矿白云母花岗岩直接演化而成,二者应为“兄弟姐妹”关系。

上述成矿机制告诉我们:矿区黑云母花岗岩为成矿母岩,伴随成矿母岩在时间和空间上的演化,形成一个连续演变的成岩成矿系列:

黑云母花岗岩 → 二云母花岗岩 → 细粒白云母花岗岩矿体 (白云母花岗岩岩相-似伟晶岩相-石英相) → 含钨石英脉 (微斜长石石英相-绿柱石石英相-黑钨矿石英相)



据此综合归纳大吉山矿田成岩成矿模式如图5。

上述研究结果表明：细粒白云母花岗岩Ta、Nb、W、Be矿床和含钨石英脉矿床（以下简称花岗岩矿床和石英脉矿床）为同一母岩分异演化不同阶段的产物，只是时间上有先后；目前大多认为前者为岩浆晚期结晶分异—交代型矿床，后者为岩浆期后高温热液裂隙充填型矿床。它们之间密切的“亲缘”关系及花岗岩型矿床对脉钨矿床赋存规律的控制作用主要表现在：

(1) 两类钨矿床在成矿阶段上具连续性并具有相似矿物组合。钨矿脉中含有长石及白云母，向下具有长石逐渐增多取代石英的趋势，且亦具钠长石化交代现象。花岗岩型钨矿床富含黑钨矿，特别是脉侧钨矿巢中，黑钨矿晶体可见一半在石英脉中一半在本身矿巢中（图6）。

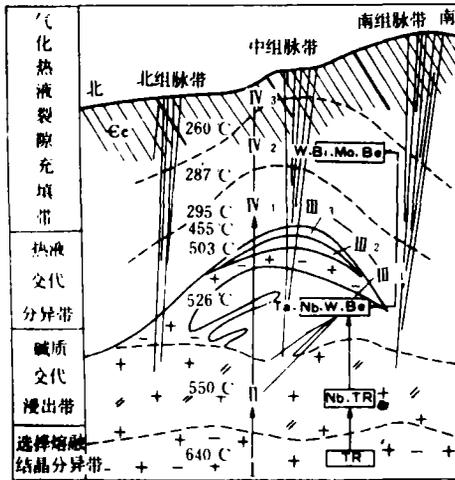


图5 大吉山矿田成岩成矿模式图  
I - 黑云母花岗岩；II - 白云母花岗岩；III<sub>1</sub> - 白云母花岗岩；III<sub>2</sub> - 似伟晶岩；III<sub>3</sub> - 石英相；IV<sub>1</sub> - 微斜长石石英相；IV<sub>2</sub> - 绿柱石石英相；IV<sub>3</sub> - 黑钨矿石英相

(2) 两类矿床受同一构造体系控制而在空间上重叠，花岗岩矿床位于中组矿脉西部，是四组断裂构造复合部位（图7）。在坑内和许多钻孔中尚可见细粒白云母花岗岩脉与含钨石英脉充填在

同一裂隙中形成复脉（图8）。

(3) 石英脉中黑钨矿Nb、Ta含量从上至下靠近花岗岩矿体逐渐升高（图9），同一矿床中靠近花岗岩矿体的石英脉中黑钨矿的Ta、Nb含量

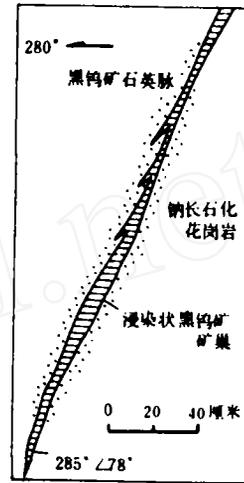


图6 脉侧黑钨矿巢素描图  
(可见黑钨矿晶一半在石英脉中，一半在脉旁矿巢中)

比远离的高，如靠近花岗岩矿体的中组6°脉比远离花岗岩矿体的南组20°脉黑钨矿Ta高11倍，Nb高5.9倍，Ta/Nb比值高近一倍。同一条脉靠近花岗岩矿体一侧黑钨矿Nb、Ta含量显著升高（图10）。

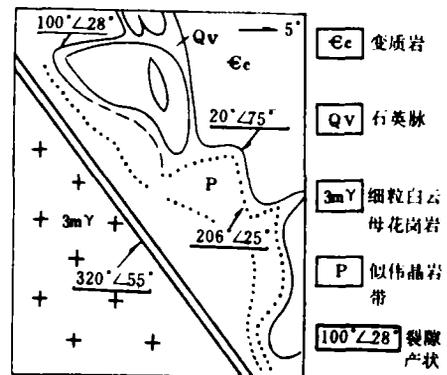


图7 花岗岩体受多组断裂控制素描图

(4) 从石英包裹体测温结果来看，靠近花岗岩矿体的温度高，远离花岗岩矿体的温度低。如中组6°脉等温线成近似向西倾伏的背斜状，成矿

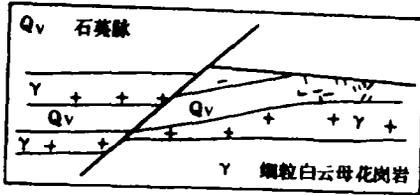


图8 细粒白云母花岗岩和含钨石英脉充填同一裂隙成复脉  
Qv-石英脉, Y-细粒白云母花岗岩

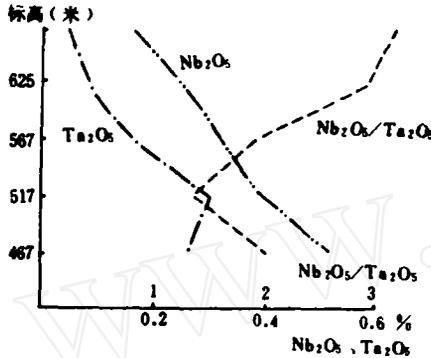


图9 6号脉黑钨矿成分垂向变化图

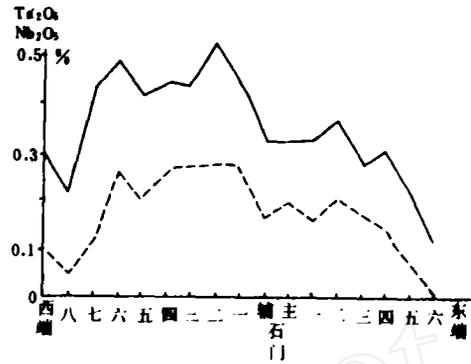


图10 中组脉黑钨矿中钽铌含量水平变化图

温度西部高东部低。从而反映了矿液来源及花岗岩侵入方向由西下方向东上方侵入(图11)。

(5) 石英脉赋存的深度和富集标高及矿物组合受花岗岩矿床隆起形态控制。在花岗岩矿床隆起峰部的中组赋存深度和富集标高浅,在隆起倾伏部位的南、北组则深。石英脉靠近花岗岩矿床微斜长石大量增加,钨的含量大幅度降低。

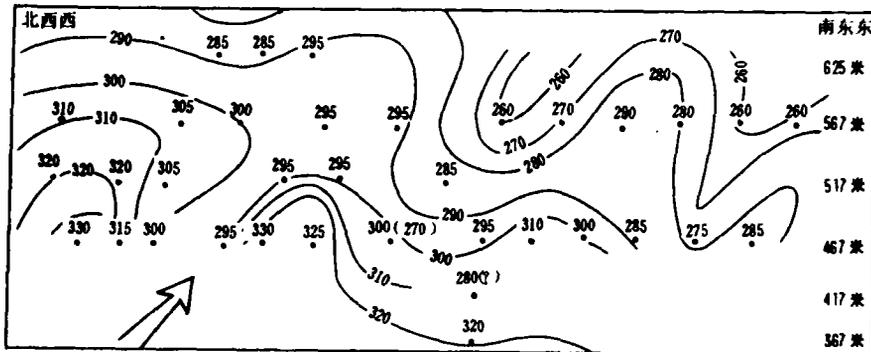


图11 6号脉石英爆破温度

## 结 语

根据上述研究,对今后矿区周边部及深部盲矿预测和找矿探矿提出以下几点参考意见:

(1) 含钨石英脉矿床深部(467中段以下)由于矿床赋存深度变化、围岩条件和容矿裂隙生成时物理、化学条件的不同,应开展盲矿赋存规律的研究和注意盲矿脉的寻找。

(2) 对矿区周边部的含钨石英脉矿化标志带应继续加强评价研究工作,如果石英细脉脉幅向深部无明显增大,应注意寻找和评价隐伏含钨以及稀有元素矿化的花岗岩岩枝、岩脉型矿床。

(3) 含钨石英脉型矿床是深部花岗岩型盲矿床的找矿标志,在含钨石英脉型矿床的下部,应继续注意寻找隐伏的花岗岩型含稀有、稀上和有色金属矿床。

(4) 含钨石英脉矿床的赋存深度、矿化富集部位和矿物组合分带受深部隐伏花岗岩体起伏形态控制,因此,今后可根据花岗岩起伏形态预测石英脉矿床矿化深度,反之,也可根据含钨石英脉矿化情况,矿物组合变化预测深部隐伏矿化花岗岩

(5) 含钨石英脉矿床随其距深部隐伏矿化花岗岩的远近、成矿温度、矿物组分、化学成份、矿

(下转第13页)

于稀氨水的钼华)约为8.00%,铁钼华(即易溶于稀氨水的氧化钼)约为0.80%。矿石薄片钼矿物的目估定量,铁钼华约1~2%,钼钙矿约10%,辉钼矿约90%,基本上与化学分析吻合。

格衣乍、几子弯等地的含钼矿石中,同样见有上述三种钼矿物。

钼矿物的产状,一般呈集合体状。密集的辉钼矿组成不规则团状、树枝状等,在其周围有很多的散染颗粒,有时有一定量的钼钙矿和铁钼华。

钼矿物的集合体为自生石英、石英次生加大、方解石、粘土等砂岩的胶结物所胶结包裹。一般方解石、自生石英的包裹体是辉钼矿和钼钙矿,粘土、绢云母集合体内部则是铁钼华。由于这些胶结物的包裹胶结,致细小钼矿物又显得呈相对的分散状态。石英和长石等碎屑矿物内部一般均不含钼矿物,但碎屑矿物的裂隙中却可见到细脉状辉钼矿集合体。

一般风化程度弱的矿石中辉钼矿多,钼钙矿、铁钼华少;风化矿石中则钼钙矿、铁钼华多,辉钼矿少;风化愈强烈,辉钼矿愈少,直至不存在,此时其它钼矿物也遭受不同程度的淋失。由于矿石的风化作用,钼的含量下降,出现贫化现象。

据3队资料,格衣乍共生的铜钼氧化率一般成正比,且一般钼的氧化率高于铜的氧化率(见表)。

格衣乍铜钼物相分析结果(%)

样号	全铜	铜氧化率	全钼	硫化钼	氧化钼	钼氧化率
I s	1.35	10.44	0.098	0.072	0.024	24.49
I o	1.08	53.51	0.021	0.011	0.010	47.61
III s	0.817	5.26	0.071	0.061	0.010	14.08
III o	2.57	78.98	0.06	0.006	0.050	83.33

(上接第32页)

石结构构造等均呈有规律变化,因此,今后随矿床开采深度下降和开采部位距花岗岩部位之不同,要注意矿石物质组分的综合查定工作,以此划分不同矿石品级、类型,对矿床进行工艺填图,从而综合回收有用元素、选择合理采选方案,保证

滇中砂岩铜矿伴生钼及形成的含钼砂岩,对了解钼的地球化学行为提供了一些资料。从砂岩铜矿中辉钼矿的产出状态,结合野外观察认为,辉钼矿象含铜砂岩中的辉钼矿等矿物一样,也是属于沉积成因的。又从钼钙矿、铁钼华的粒度,分布状态与辉钼矿相似,从新鲜与风化矿石中这些矿物含量的变化来看,可以说明钼钙矿与铁钼华主要是辉钼矿的表生氧化产物。

和砂岩铜矿是产于浅紫交互带中的浅色(灰色)一侧一样,钼矿化或矿层亦均产于浅色砂岩中,是共生一成岩阶段还原环境形成。在含铜和钼等元素的水溶液中,主要由于铜钼的氧化还原电位和介质的还原性、酸碱度的差异,决定了在还原环境下金属硫化物的沉淀在空间、时间上的差异。例如铜、钼矿体有时大致吻合;有时钼矿体下界可低于铜矿体下界;有时铜、钼矿体分离,分别形成含铜砂岩和含钼砂岩。据本区区域地质特征和含铜钼砂岩存在的事实,推想这些物质主要来源于富含铜、钼元素的酸性岩浆岩和细脉浸染型铜钼矿化(矿床)的风化破坏,后经搬运,沉积而成。

目前的工作说明,单体辉钼矿的粒度太细小,又不构成致密块体,是浮选方法的严重障碍。虽然对立威模含钼1%的样品进行浮选试验,曾获得少量含钼达14%的精矿;一些兄弟单位,也对该地矿石样品经反复淘洗成重砂,再经电磁选后,在电磁部分中得到少量(回收率很低)含钼16.13%的精矿,这显然与原矿石钼的品位极高、辉钼矿局部成为集合体具有一定的可选性能有关。对于一般仅含钼万分之几至千分之几的矿石,目前难于利用,还须进一步研究改进选冶方法,以期今后回收利用一部分。

资源充分合理回收。

本文系矿床开发过程中,矿山、地质、科研和教学等部门多年来共同研究成果的初步总结。初稿完成后蒙高德福工程师审阅,李春生、周齐跃同志参加资料整理、绘制工作,陈冬凤、刘义珠同志清绘文中附图,在此一并表示感谢。