

文章编号:1005-6157(2011)01-035-4

安徽省青阳县高家垅钨、钼矿床矿石物质组成及其赋存状态

张 鹏,袁晓玲,张 青,阳 珊

(安徽省地质实验研究所, 安徽 合肥 230001)

摘 要: 采用光、薄片观察、物相分析、电子探针和X粉晶衍射等分析手段, 经过综合研究认为: 安徽省青阳县高家垅钨、钼矿床矿石中主要有益元素为钨, 次要为钼, 其它元素皆不达综合利用含量, 经选矿后有害成份可能不存在; 主要含钨矿物为白钨矿, 主要含钼矿物为 $2H_1$ 型辉钼矿; 成矿温度在 $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ 间; 矿石主要自然类型为夕卡岩型和角岩型; 矿石中白钨矿呈自形-半自形结构, 粒径多为 $0.1\sim 0.5\text{mm}$, 辉钼矿自形片状结构, 粒径多为 $0.1\sim 0.15\text{mm}$; 矿石的主要构造类型为浸染状, 次要为细脉浸染状, 主要嵌布类型为间隙充填型。

关键词: 白钨矿;辉钼矿;赋存状态;夕卡岩

中图分类号: P618.67;P618.65 **文献标志码:** A

1 地质概况^[1]

矿区位于扬子准地台下扬子台凹IV级构造单元铜陵褶皱束的西南缘, 黄柏岭复背斜北西翼之次级高家垅背斜, 青阳花岗闪长岩体与早古生代地台盖层北缘接触带内, 近东西向与北西向基底断裂交汇部位^[1]。与成矿有关的地层为寒武系钙质页岩、大理岩和灰岩等。矿床规模接近大型, WO_3 0.15%、 MoO_3 0.06%左右。与成矿有关的蚀变为夕卡岩化、角岩化和多金属矿化。初步认为该矿床属层控夕卡岩型。

2 矿石的矿物成份及其主要特征

2.1 矿石的自然类型划分与矿物组合

据脉石矿物组合特征, 钨钼矿石可分为两大类, 即夕卡岩型钨钼矿石和角岩型钨钼矿石, 前者可进一步分成三类: 石榴石夕卡岩钨钼矿石、石榴石透辉石夕卡岩钨钼矿石、钾长石透辉石夕卡岩钨钼矿石, 见表1。

2.2 矿石矿物特征

2.2.1 含钨矿物

矿石中含钨矿物在镜下仅见白钨矿, 分布于夕

表1 矿石自然类型划分表
Table 1 Natural ore classification

矿石类型		矿物组合特征				备注
		矿石矿物		脉石矿物		
		主要	次要	主要	次要	
夕卡岩 型钨钼 矿石	石榴石夕卡岩钨钼矿石	白钨矿 辉钼矿	黄铁矿 黄铜矿 磁黄铁矿	石榴石	方解石 石英 阳起石 钾长石	主要类型
	石榴石透辉石夕卡岩型 钨钼矿石	白钨矿 辉钼矿	黄铁矿 黄铜矿 磁黄铁矿	石榴石 透辉石	方解石 石英 石榴石	
	钾长石透辉石夕卡岩型 钨钼矿石	白钨矿 辉钼矿	黄铁矿 黄铜矿 磁黄铁矿	透辉石 钾长石	阳起石 斜长石 石英	
	角岩型钨钼矿石	白钨矿 辉钼矿	黄铁矿 黄铜矿 磁黄铁矿	透辉石 石英 斜长石	阳起石 绿帘石	
						次要类型

卡岩及角岩中，呈自形一半自形粒状，粒径多为0.1~0.5mm，极少数粗大者可达2~3mm，其内可包含石榴石、透辉石等，主要呈浸染状分布。白钨矿占矿石中总量约0.15%~0.3%，最高达10%。

白钨矿的电子探针分析结果如表2。从表2中可看出白钨矿中：CaO略高于理论值，WO₃略低于理论值，SiO₂含量适中，铁含量较低；从加总结果看，矿物中类质同象代替现象不显著，极少的MoO₃替代WO₃，且不均一，相对其他白钨矿，这种替代量甚微。

物相分析结果如表3所示。

WO₃的赋存矿物在薄片显示仅为白钨矿，镜下无黑钨矿；矿物相分析如表4所示，在品位为0.26%的矿石中，白钨矿为0.23%，黑钨矿与钨华极少，可忽略。

2.2.2 含钼矿物

辉钼矿为本矿床的主要含钼矿物，属次要有用矿物，镜下灰白色，叶片状自形晶，浸染状分布于脉石矿物中；粒径0.10~0.15mm，常显定向排列，与变质条带延伸方向一致。在矿石中含量不匀，为偶见至0.1%，常与其它金属矿物相伴存在。

表4的钼矿物相分析结果表明，在钼总量为

表2 高家塆矿区矿石电子探针分析氧化物含量结果表 (10⁻²)
Table 2 Results of electronic probing of oxides in ores from the Gaojiabang mine (10⁻²)

编号	矿物名称	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	Al ₂ O ₃
X1-10-1	钙铝榴石	0.069	0.010	0.029	1.583	35.353	0.210	17.994
X1-10-2	钙铝榴石	0.081	--	--	1.678	35.847	0.121	17.776
X1-10-3	石英	--	0.017	--	0.012	0.018	--	0.040
X1-10a1	白钨矿	0.004	--	--	0.040	20.281	--	--
X1-10a2	白钨矿	0.012	--	--	0.047	20.091	--	--
X1-10a3	白钨矿	0.059	--	--	0.037	19.987	--	--
编号	矿物名称	TiO ₂	FeO	SiO ₂	MoO ₃	WO ₃	SnO ₂	Total
X1-10-1	钙铝榴石	0.844	3.139	36.284	--	--	--	95.515
X1-10-2	钙铝榴石	1.032	3.071	36.726	--	--	--	96.332
X1-10-3	石英	0.032	0.019	99.744	--	--	--	99.882
X1-10a1	白钨矿	0.106	0.095	0.423	0.087	78.514	0.132	99.682
X1-10a2	白钨矿	0.093	0.076	0.382	0.263	78.690	0.147	99.801
X1-10a3	白钨矿	0.046	0.094	0.418	0.051	78.892	0.090	99.674

注：石英为成矿期产物；--低于检出限(分析单位：中国地大·武汉)

表3 钨矿物相分析结果表 10⁻²
Table 3 Results of phase analysis of tungsten ore (10⁻²)

矿物名称	钨华	白钨矿	黑钨矿	总量
含量	0.0056	0.23	0.023	0.26
分配率%	2.17	88.94	8.89	100

表4 钼矿物相分析结果表 (10⁻²)
Table4Results of phase analysis of molybdenum ore (10⁻²)

矿物名称	钼华	钼钙钨矿	钼酸铅矿	辉钼矿	总量
含量	0.0018	0.0009	0.0036	0.016	0.0223
分配率%	8.07	4.03	16.14	71.75	99.99

0.022%的矿石中，赋存于辉钼矿中的钼达0.016%，在其他矿物相中的钼极少，可忽略。

由中国科技大学实验所内做X衍射室图谱如图1所示，经与标准图谱对比，认为辉钼矿皆为2H₁型。在《矿物X射线粉晶鉴定手册》(贵阳地化所，1978)中表明“2H₁型见于温度较高的花岗伟晶岩及夕卡岩内”，形成温度在600~1300℃间^[2]。

2.2.3 黄铁矿

多呈自形一半自形粒状，亦见有他形粒状，粒径0.03~0.15mm，一般0.1mm左右；矿石中含量不匀，偶见-3%，常与其它金属硫化物相伴出现。电子探针分析结果见表5，S略低于理论值，Fe几乎等于理论值，可见类质同象代替不强；

Co含量高于Ni，这和一般夕卡岩型黄铁矿相反；其它元素含量极低，但Au却达2120g/t。

2.2.4 磁黄铁矿

多为他形粒状，粒径为0.03~0.2mm，集合体呈长轴状，甚至是线状，常与黄铜矿共生，二者具共边结构；可分布于各种矿石中，含量不匀，变化在0~4%。

电子探针分析结果见表5，其中S、Fe和一般磁黄铁矿无明显区别，其它元素含量极低，与江西钨矿中磁黄铁矿极为相似；Au达1500g/t左右。

2.2.5 黄铜矿

镜下铜黄色，多为他形粒状集合体，粒径约0.05~0.21mm；常与磁黄铁矿形成共边结构；稀疏分

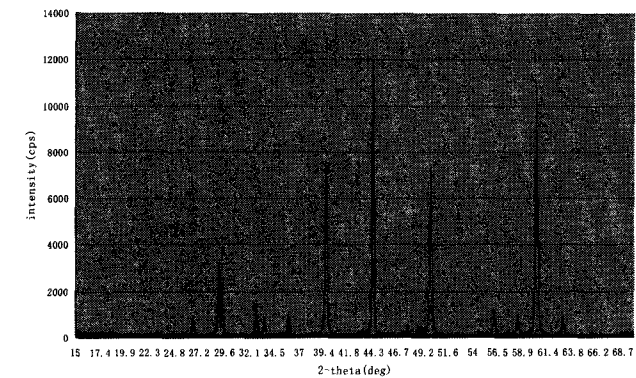


图1 辉钼矿X衍射图谱
Fig.1 X-ray diffraction of molybdenite

散分布于各种矿石, 含量不匀, 变化0~1%间, 多数0.1%左右。

电子探针分析结果如表5所示, S的含量接近或略低于理论值, Fe的含量几乎等于理论值, Cu的含量接近或略低于理论值, 其它元素含量皆极低, 类质同象代替不强; 与山西细脉浸染型铜矿中黄铜矿

相近。但Au含量达1500g/t左右。

2.3 与成矿有关的主要非金属矿物

所谓与成矿有关的非金属矿物, 是指在成矿或蚀变过程中次生和发生变化的矿物, 它们往往与成矿作用密切相关。

2.3.1 透辉石

是常见的脉石矿物, 在矿石中含量一般在8%左右, 在透辉石大理岩和透辉石夕卡岩中较集中。透辉石可分为两组, 其一产于长英质角岩中, 呈他形粒状, 粒径0.05~0.1mm, 沿变质条带定向分布; 其二产于石榴石透辉石夕卡岩中, 呈他形粒状, 粒径0.1~0.5mm, 部分纤闪石化, 偶见与石英形成合晶。

2.3.2 石榴石

主要见于石榴透辉夕卡岩中, 主要为钙铝榴石, 在矿石中含量不匀, 0~25%, 常见; 据结构可分两种, 其一为中粗粒变晶石榴石, 多碎裂和被其它矿物交代, 自形粒状, 粒径达2~3mm, 镜下红褐—黑褐色, 显示异常消光; 其二为显微变晶石榴石,

表5 高家榜矿区电子探针分析单质含量结果表 (10⁻²)
Table 5 Results of electronic probing of simple substance from the Gaojiabang mine (10⁻²)

编号	矿物名称	As	S	Mn	Se	Pb	Fe	Au
X1-4-1	磁黄铁矿	--	39.065	--	0.022	0.033	59.900	0.150
X1-4-2	磁黄铁矿	--	39.342	--	--	0.038	59.968	0.172
X1-5-1	黄铜矿	--	34.135	--	0.004	--	30.351	0.152
X1-5-2	黄铁矿	--	51.310	--	0.012	0.034	46.501	0.212
编号	矿物名称	Co	Ag	Ni	Sb	Cu	Zn	Mo
X1-4-1	磁黄铁矿	0.163	0.023	0.198	--	0.054	0.086	--
X1-4-2	磁黄铁矿	0.152	0.010	0.119	--	0.070	0.089	--
X1-5-1	黄铜矿	0.037	0.045	0.027	--	33.538	0.828	--
X1-5-2	黄铁矿	0.251	0.025	0.106	--	0.481	0.072	--

注: --低于检出限; (分析单位: 中国地大. 武汉)

粒径0.05~0.1mm, 部分产在钾长石中。

电子探针分析结果见表2, Ca较一般夕卡岩中的钙铝榴石略高; Si较一般夕卡岩中的钙铝榴石略低; Mg高于一般夕卡岩中的钙铝榴石2~3倍; Fe远低于一般夕卡岩中的钙铝榴石; Ti高于一般夕卡岩中的钙铝榴石; Al高于一般夕卡岩中的钙铝榴石。显示出本矿床的钙铝榴石以高Ca、Mg、Al、Ti, 低Fe、Si为特点, 不同于其它夕卡岩矿床中的钙铝榴石。

2.3.3 钾长石

为矿石中常见的矿石矿物, 含量不匀, 0~10%, 一般4%左右; 常呈带状集合体, 单体粒径0.1~1mm; 可交代、包裹石榴石、透辉石等, 钾长石表面又被粘土矿物交代, 多数钾长石为高温蚀变产物。

2.3.4 石英

在矿石中含量不匀, 0~70%, 多为硅化的产物; 不规则状, 粒径0.02~3mm。可分成两类, 其

一为长英质角岩中石英, 呈等粒状变晶结构, 粒径较大, 可达1~3mm; 其二为集合体细脉状、斑点状分布的石英, 可交代早期矿物, 或穿插、充填其它矿物粒间, 或形成细脉, 粒径多在0.02~0.2mm间, 在夕卡岩和角岩中皆可出现。成矿期的石英电子探针分析结果如表2所示, 其Al含量为212PPm, 在丹伦(1970)的石英地质温度计(图2)中, 显示温度范围为730~900℃间, 与2H₁型辉钼矿形成温度吻合。

2.4 矿物生成顺序

据矿物组合及其相互关系, 总结的生成顺序为:

透辉石、石榴石、绿帘石、白钨矿、辉钼矿、黄铁矿、石英(夕卡岩形成、钨钼矿化阶段)→磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、钾长石、石英(中—高温金属硫化物矿化蚀变阶段)→闪锌矿、黄铜矿、绿帘石、阳起石、石英、方解石(中—低温金属硫化物矿化蚀变阶段)→铜蓝、石英、方解石(低温

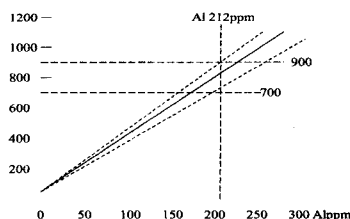


图2 石英温度计图解^[4]($\angle$ 温度范围)(丹伦,1970)
Fig.2 Quartz thermometer graph^[4](temperature range)(after Danlun,1970)

氧化阶段)。

3 矿石的化学成分及其特征

矿石的多项分析结果如表6,从表中可见Mo的含量低于边界品位,仅达综合利用低限指标,WO₃含

表6 矿石多项元素分析结果表 10⁻²

Table 6 Analytical results of more elements in ores (10⁻²)

项目	WO ₃	Mo	Cu	Pb	Zn	Fe	Sn	Sb	CaF ₂
含量	0.26	0.022	0.014	0.026	0.0083	6.44	0.0014	0.000101	1.52
项目	Mn	Al ₂ O ₃	P	S	CaO	MgO	As	Bi	SiO ₂
含量	0.29	9.09	0.046	0.35	23.83	3.97	0.00037	0.000119	50.93

分布。

(2) 他形粒状结构:具有这种结构的主要是黄铜矿、磁黄铁矿和极少的闪锌矿等,很少的白钨矿、黄铁矿也有如此结构。表现为矿物颗粒细小,形态不规则,多数分散浸染状分布。

(3) 自形叶片状结构:自形叶片状结构是辉钼矿专有结构,几乎所有辉钼矿皆呈叶片状。偶见集合体呈玫瑰花状,分散浸染状于矿石中。

(4) 共边结构:主要是磁黄铁矿与黄铁矿、黄铜矿间的结构类型,表现为磁黄铁矿与黄铜矿、黄铁矿共生,矿物颗粒多为他形。

4.2 矿石构造

(1) 浸染状构造:是矿石的主要构造类型,表现为白钨矿及所有的金属硫化物单颗粒或较少的集合体分散浸染状于矿石中。

(2) 细脉浸染状构造:白钨矿或金属硫化物矿物产在石英等细脉中,呈浸染状分布。

(3) 斑点浸染状构造:即由金属矿物集合体形成斑点,这种斑点呈均匀或不均匀分散浸染状。尤其是白钨矿,斑点直径达3~5mm。

(4) 变质条带构造:主要见于角岩型矿石,表现为磁黄铁矿长条状集合体、辉钼矿叶片沿变余层理方向定向排列,白钨矿亦可沿变余层理线状断续分布。

4.3 矿石矿物的嵌布特征

量高于工业品位,本样品矿石可代表钨矿床矿石。因Mo含量不匀,实际该矿床多数地段Mo含量高于表6所示。其它有益成分低于综合利用指标,可忽略。据现有资料分析,在有用矿物中类质同象代替不强,意味着精矿粉中杂质成分较低。矿石中较高的SiO₂和CaO说明钙的硅酸盐和钙的碳酸盐及石英为矿石的主要成分。

4 矿石的结构构造

4.1 矿石结构

(1) 自形一半自形粒状结构:是矿石的主要结构,大部分白钨矿和黄铁矿具有这种结构,断面呈方形粒状,或部分边界平直,可以呈线状或浸染状

(1) 白钨矿:间隙充填型嵌布,是白钨矿的主要嵌布形式,白钨矿颗粒呈星点状浸染分布于石榴石、透辉石等脉石矿物粒间。白钨矿颗粒形态较规则,断面多为四边形;裂隙镶嵌型嵌布;偶见这种嵌布形式,表现为透辉石脉状穿插于白钨矿中及白钨矿产于脉石矿物裂隙中。

(2) 辉钼矿:间隙充填型嵌布,大多数辉钼矿具有这种嵌布形式。叶片状的辉钼矿充填于石榴石、透辉石、石英等脉石矿物粒间,边界规则;包裹型嵌布:偶见白钨矿包有辉钼矿晶体,形成此类嵌布形式。

(3) 黄铜矿:间隙充填型嵌布,此为黄铜矿的主要嵌布形式,黄铜矿他形星点状充填于石榴石、透辉石、石英等脉石矿物粒间;毗连镶嵌型嵌布;这种镶嵌形式较少,表现为黄铜矿与磁黄铁矿等其他矿物毗连镶嵌,具有共边结构;包裹型嵌布;偶见细小黄铜矿颗粒包裹于磁黄铁矿内。

(4) 磁黄铁矿:间隙充填型嵌布,多数磁黄铁矿呈单颗粒充填在石榴石、石英、透辉石等脉石矿物粒间,形成间隙充填型嵌布形式;毗连镶嵌型嵌布;磁黄铁矿与黄铁矿等其它矿石矿物伴生在一起,具共边结构。

(5) 黄铁矿:间隙充填型嵌布;同其它金属硫化物矿物一样,多数黄铁矿单体分散充填在石榴石、石英等脉石矿物粒间,构成粒间充填型嵌布形

式;毗连镶嵌型嵌布;即为与其它矿石矿物毗连嵌布形式;包裹型嵌布;偶见黄铁矿包裹于磁黄铁矿内。

(6) 闪锌矿: 间隙充填型嵌布, 闪锌矿为矿石中的偶见矿物, 呈星点状充填于脉石矿物粒间。

(7) 铜蓝: 镶边型嵌布; 此种嵌布形式偶见, 为铜兰沿黄铜矿边缘形成约0.001mm左右宽的镶边。

(8) 有益、有害元素的赋存状态

本矿床主要有益组分为 WO_3 , 赋存矿物为白钨矿; 按伴生有益组分评价标准, 从表3可知本矿床可综合利用的伴生组分仅Mo, 含钼矿物仅为辉钼矿; 此外, 在金属硫化物中普遍含较高的金, 但是, 矿石中总体含金属硫化物较少。

所谓有害元素, 在钨矿《规范》中即为杂质成分。表3中所示, 除Mo外, 皆可视作杂质成分。

《规范》中罗列的杂质成分有: S、P、As、Mo、Cu、Mn、Ca、Sn、 SiO_2 、Fe、Sb、Bi、Pb、Zn, 经选矿后各杂质含量可能皆在限量指标内。

6 结论与建议

(1) 矿石组分相对简单。主要有益元素为钨, 次要为钼, 其它元素皆不达综合利用含量, 经选矿后有害成份可能不存在; 主要含钨矿物为白钨矿, 主要含钼矿物为2H₁型辉钼矿; 类质同象代替微弱; 据贵阳地化所, 《矿物X射线粉晶鉴定手册》^[2], 3R

型辉钼矿富Re, 因此, 可能本矿床辉钼矿不富Re。

(2) 尽管在金属硫化物中含有较高的金, 但矿石中整体含金属硫化物少, 可见金几乎无法被工业利用。

(3) 青阳县高家垌钨、钼矿床矿石成矿温度可能在700~850℃间, 相当于石榴石析出的温度^[3], 但一般认为金属矿物的析出是在450℃以下; 矿石主要自然类型为夕卡岩型和角岩型; 矿石中白钨矿呈自形-半自形结构, 粒径多为0.1~0.5mm, 辉钼矿自形片状结构, 粒径多为0.1~0.15mm; 矿石的主要构造类型为浸染状, 次要为细脉浸染状, 主要嵌布类型为间隙充填型。

(4) 建议在以分选白钨矿为主的工艺中, 选出可供综合利用的辉钼矿, 在辉钼矿精粉中金可能被工业利用。

参考文献:

- [1] 蒋其胜,等.安徽省青阳县高家垌钨矿床地质特征及控矿因素[J].安徽地质, 2009,19(4).
- [2] 贵阳地化所.矿物X射线粉晶鉴定手册[S].北京:科学出版社,1978.
- [3] 袁见齐,等.矿床学[M].北京:地质出版社,1979.
- [4] 王奎仁.地球与宇宙成因矿物学[M].合肥:安徽教育出版社,1989.
- [5] 王濮,等.系统矿物学[M].北京:地质出版社,1981.
- [6] 岩石分类和命名方案GB/T17412[S].北京:地质出版社,1998.

ORE COMPONENTS AND THEIR STATE OF OCCURRENCE IN THE GAOJIABANG TUNGSTEN-MOLYBDENUM DEPOSIT, QINGYANG COUNTY, ANHUI PROVINCE

ZHANG Peng, YUAN Xiao-ling, ZHANG Qing, YANG Shan

(Geoanalysis Institute of Anhui Province, Hefei, Anhui 230001, China)

Abstract: Based on microscopic observation of polished section and slice, phase analysis, electronic probing and X-ray powdered crystal diffraction, it is suggested that the primary beneficial element is tungsten and secondary molybdenum in the ores from the Gaojiabang tungsten-molybdenum deposit, Qingyang county, Anhui province, other elements are insufficient for comprehensive use, and harmful components may be removed after processing. Major tungsten-bearing ore is scheelite and molybdenum 2H₁ molybdenite. Mineralizing temperature ranges from 700 to 900C. The substantial ore in natural state is hosted in skarn and breccia. Scheelite exists as euhedral and subhedral, with grain size being 0.1-0.5mm, and molybdenite euhedral sheetlike ranging 0.1-0.15mm. The ores occur structurally more as disseminated, less stringer disseminated, and ore gap filling dominates.

Keywords: scheelite; molybdenite; state of occurrence; skarn