

金属矿石形成特点、组合类型及其与选矿的关系讲座

第五讲：钨 矿 石

中南矿冶学院 王大伟

钨是工业和国防现代化不可缺少的金属原料之一。钨主要用于制造合金钢及生产碳化钨。我国有极其丰富的钨矿资源，矿床类型多，矿石品位富，选矿技术也比较先进。以1976年赣南各类矿床储量（包括已消耗的储量、工业储量及远景储量）统计资料为例，黑钨石英脉型矿床占90.6%，白钨夕卡岩型矿床占5.7%，黑钨浸染状及细脉浸染状矿床占3.3%，黑钨矿砂矿占0.4%。但就全国而言，白钨矿型矿床储量所占的比例要大得多。

60年代前后，我国硫化物型黑钨—白钨矿床新类型及钨—钼—锡特大型夕卡岩矿床的发现，给扩大钨矿储量开辟了新途径，白钨矿储量比重也大有增长。据60年代初湘、粤、赣三省××个新勘矿山地质储量统计，黑钨矿占6%，白钨矿37%，黑钨—白钨共生矿（白钨为主）57%。近20年来，脉状黑钨矿床出露原矿品位有明显下降。50年代赣南13个黑钨矿山出露原矿品位从0.6%降至0.5%左右。1973~76年南岭5个矿山出露原矿品位约为0.25~0.4%。因此，今后白钨矿的找矿勘探与生产亦应引起重视。

通过多年的生产实践，我国钨矿成矿理论与矿床分带性的研究，都有重大发展。脉状矿床“五层楼”规律及黑钨石英脉矿床顺向沉淀分带的提出，就是明显的例子。

钨矿床伴生有大量共生组分，包括铌、钽等稀有金属，亟应注意综合评价与利用。

一 钨矿石工艺性质的研究及其对选矿之影响

1. 主要钨矿物含量及矿物共生组合类型的研究

钨矿石中最主要的有用矿物是黑钨矿（包括钨锰铁矿、钨铁矿、钨锰矿等）和白钨矿。它们都有比重大、硬度中等和性脆，彼此互相伴生并与其他有用矿物共生的特点。由于形成条件的差异，而组成不同的组合类型。接触交代夕卡岩型钨矿有：白钨矿—黄铜矿—方铅矿—闪锌矿组合、白钨矿—锡石—辉钼矿—辉铋矿组合等；气成高温热液—高温热液黑钨石英脉矿床有：黑钨矿—绿柱石组合、黑钨矿—锡石组合、黑钨矿—锡石—辉钼矿组合及黑钨矿—多金属硫化物组合等。此外还有钠长石化云英岩化蚀变花岗岩中的浸染状钨—铌—钽矿物组合，中低温热液矿床中的黑钨矿—白钨矿—金属硫化物组合及白钨矿—辉铋矿—自然金组合等。

矿物共生组合类型的不同，直接影响选矿方法的选择。比如黑钨石英脉矿床中，黑钨矿是主要有用矿物，常采用重选回收。次要伴生组分——金属硫化物常用浮选回收；在矿石组分复杂时，结合其他工艺特性，可先后采用粗选、重选和精选等分段联合流程。就选矿方法而言，粗选段使用手选、光电选；重选段使用跳汰、摇床等；精选段使用台浮、

浮选、电选及冶金等联合作业。

湘南某云英岩-夕卡岩型白钨矿床主要矿物是白钨矿(70%)、黑钨矿(30%)，还有辉铋矿、辉钼矿、萤石和黄铁矿等可供回收利用。考虑到共生组合与矿石工艺性质，主要采用浮-重流程，即钼铋硫混合浮选、白钨矿优先浮选、萤石以黑钨矿共生部分混合浮选、黑钨浮选，然后用摇床(加磁选去磁铁矿)获得高品位钨精矿。

湘西钨锡金石英脉型矿床主要矿物为白钨矿、辉钨矿、自然金和黄铁矿。为了将上述组合全部回收，对白钨矿采用重-浮联合流程(即用摇床直接获得合格一级精矿)，对摇床尾矿中的白钨矿用浮选加酸浸脱磷。辉钨矿主要用浮选，金则采用重-浮-冶金(混汞)流程。

上述各例说明了有用矿物组合对选矿方法选择的影响，脉石矿物组合的研究同样不可忽视。特别是浮选作业中，方解石、萤石都会影响白钨矿的浮选效果和精矿质量。

2.有用矿物的嵌布特性及嵌镶关系的研究

有用矿物的嵌布特性及嵌镶关系是影响磨矿细度、有用矿物解离度及确定流程的重要因素。

黑钨石英脉型矿石中，一般黑钨矿粒度较大。据赣南脉钨矿统计，黑钨矿一般在3~8厘米，最大集合体可在1米以上，最小不到1毫米。它们在矿石中多呈不均匀粗一中粒嵌布。这有利于手选、光电选。在选矿作业早期使部分黑钨矿分离出来，节省碎磨作业，其余部分也不必磨得过细，可遵循“少磨多选、能收早收、能丢早丢及按窄级

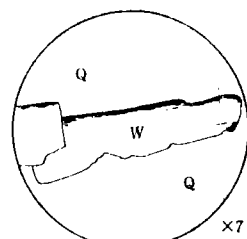


图1 黑钨矿(W)与脉石(Q)为平行毗连嵌镶关系(Y矿)

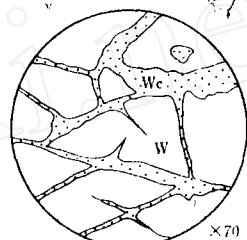


图2 白钨矿(We)交代黑钨矿(W)成网脉状嵌镶关系(I矿)

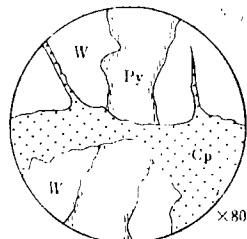


图3 黑钨矿(W)被硫化物(Cp, Py)交代溶蚀形成不规则毗连嵌镶关系及网脉状嵌镶关系(I矿)

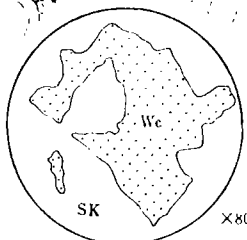


图4 白钨矿(We)与夕卡岩矿物(SK)成不规则毗连嵌镶关系(I矿)

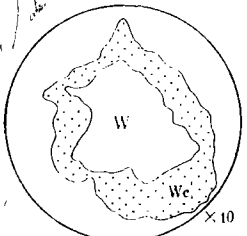


图5 黑钨矿与白钨矿呈包裹嵌镶关系(I矿)

夕卡岩型矿床中白钨矿粒度* 表1

矿 区	原矿品位 WO ₃ , %	粒 度, 毫 米			备注
		最大	一 般	最小	
夕卡岩1	0.29	2.3	0.053~1.0	<0.026	J矿
夕卡岩2	0.36	0.5~1.0	0.05~0.1	<0.01	
夕卡岩8	0.296	0.7	0.07~0.5	0.016	
夕卡岩4	0.25	3.0	0.1~1.0	<0.10	
网脉型黑-白钨矿床	0.344	0.5	0.01~0.5	0.004	L矿

* 据周翰夫, 1963

别分选”的原则将黑钨矿回收。应严格控制磨矿，避免过粉碎，以取得满意的磨矿效果。

从嵌镶关系来看，黑钨矿与石英一般多呈平直毗连，易于解离（图1）。但白钨矿常交代黑钨矿，形成不规则毗连，包果或网脉状嵌镶（图2）。黑钨矿与硫化物的关系，由于后者常沿黑钨矿晶体裂隙充填交代，形成网脉状、不规则毗连及包果嵌镶（图3），而使黑钨矿不易解离，影响精矿质量。为了回收伴生金属硫化物，需要磨得更细才行。这类矿石一般需破碎到0.5~0.3毫米，即可使有用矿物大部分达到单体解离。

夕卡岩型白钨矿矿石及硫化物型黑钨矿—白钨矿矿石多系细—微粒、不均匀散布，粒度一般在1.0~0.5毫米（表1）。这种粒度要求磨矿较细，只能用重选（如摇床、溜床等）。从嵌镶关系来看，白钨矿粒度细，又常被其他矿物溶蚀交代，构成不规则毗连嵌镶（图4）。这类矿石一般不易解离。网脉型黑钨—白钨矿石中，黑、白钨矿之间及与其他矿物的嵌镶关系亦很复杂，多呈网脉状及包果嵌镶（图5）。这类矿石有用矿物解离较难，磨矿要求很细。如湖南S矿磨矿细度—200目占90%，J矿—240目占77%；安徽H矿—200目占75%。

综上所述，有用矿物的散布特征、嵌镶关系对确定磨矿细度、方法、流程有很大影响，对夕卡岩型含钨多金属矿床尤其突出。

3. 钨矿石中伴生组分的综合利用

钨矿石中伴生组分极其复杂，可综合利用的组分很多，如铍、锂、钼、锡、铋、铜、铅、锌、锑、金、铌、钽、铀、钍等。在研究钨矿石时，首先应查明矿石中含有何种元素、赋存状态怎样和含量多少，以便决定该元素可否回收，在何时回收。上述元素多数以独立矿物形式存在。如铋常呈辉铋矿或自然铋，铌、钽常呈铌钽铁矿、铌锰矿、锰钽矿、钽铌矿等。呈类质同象存在的组分如黄铁矿中的金，辉钼矿中的铋，黑钨矿中的铌、钽、铀等。尽管这种赋存状态不能在选矿中回收，但亦需考虑使含这些元素的矿物富集起来，留待冶金过程中去处理。

这里着重谈谈黑钨矿中铌、钽的若干特征。①黑钨矿中的W常被Nb、Ta等元素置换。据李秉伦等总结赣南钨矿得出：Nb、Ta与MnO呈正消长关系，而与FeO呈反消长关系。一般说来，交代成因的黑钨矿富Mn、Nb、Ta，而较贫Fe；充填方式形成的黑钨矿Fe高、Mn低，较贫Nb、Ta。反映在矿物物理性质上，黑钨矿的反射力、硬度、比重常随MnO含量的增高而降低。②不同成因类型的黑钨矿中Nb、Ta含量有明显差异（表2）。一般气成高温黑钨石英型、蚀变花岗岩型黑钨矿中含Nb、Ta较高，后者并常呈独立矿物构成有工业意义的铌钽矿床。石英脉中的黑钨矿，自气成高温热液→高温热液→中温热液，FeO含量增高，而MnO和Nb、Ta含量逐渐降低。同一

不同成因类型黑钨矿中元素混入物含量*

表 2

成 因	元 素 混 入 物 含 量 (克/吨)						
	Nb	Ta	Sc	In	Ga	Tl	Ag
含 矿 花 岗 岩	4530	260~360 300	—	—	—	—	—
希有元素花岗岩	3300~10000 6235	3300	—	—	—	—	—
伟 晶 岩	—	—	500~2000 1200	—	—	—	—
云英岩化高温热液矿床	未见~18400 5121	未见~8900 1845	未见~2000 601	0.7~16 6	1~8 1.5	痕迹~46 5	3~161 52
硅酸盐—锡石矿床	<10	未 见	未见~25 8	8~16 8	—	—	—

*据徐国风，1975.3。

矿床中早世代的黑钨矿比晚世代者富 Mn、Nb、Ta。矿床中含 Sn 量增高时，Ta 含量降低，而对 Nb 含量影响不大，故 Nb_2O_5/Ta_2O_5 升高。③一般含钨花岗岩岩体矿脉中含 Nb、

Ta 较高，距岩体越远含量逐渐降低。④黑钨石英脉在垂直方向上越向下黑钨矿成矿温度越高，Nb、Ta 含量也明显增加(表 3)。

大吉山石英脉型矿床垂向变化*

表 3

部位	矿物组合	黑钨矿特征, %			石英包体 均化温度	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 构造者	Nb_2O_5	Ta_2O_5					
上	黑钨矿—石英	10	0.1±	0.03±	257°C ±	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°C ±	强	>0.05	绿柱石、脉壁云母、电气石、大量金属硫化物	钠长石化、电气石云英岩化
	微斜长石—石英 (微斜长石<50%, 对称环带状构造)	80	0.4±	0.2±	295°C	中	>0.05	微斜长石、绿柱石、大量金属硫化物	电气石云英岩化、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
下									

*据江西冶勘13队, 1976.7.

由上可见, 在矿床评价勘探和选厂设计时, 都应注意有用组分的综合利用, 并根据矿石物质成分组合确定合理的选矿流程。

二 我国主要钨矿石类型及选矿特点

过去, 不同研究人员对我国繁多的钨矿

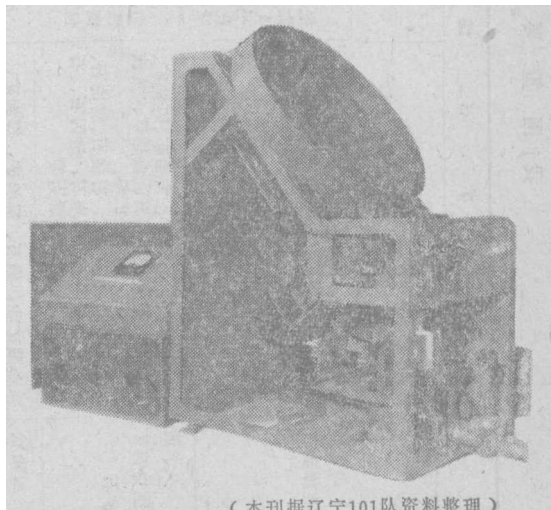
成因类型与工业类型的划分作了大量工作, 本文不一一评述。这里从主要矿物组合与工艺特点的角度将最主要的矿石类型及选矿特点归纳如表4。其中最重要的是黑钨石英脉型及夕卡岩白钨矿型矿石。浸染型钨—锡—钼—钽矿石虽非主要钨矿石类型, 但常构成有工业意义的综合矿石, 应引起足够的重视。

全自动水平撒样仪

辽宁冶金地质勘探公司101队, 自制成功两台光谱分析全自动水平撒样仪, 现已正式投产。经上万个样品的检验, 仪器运转正常, 分析质量合乎要求, 每班可摄样品900个, 自动化程度较高。把样品一次装入装样转盘后, 开动电钮可自动摄完120个样品。

该仪器主要由撒样、换样、推进电极、调整电极等主要部分组成。另外还有自动启弧、熄弧、停导、移极等控制机构。

该仪器的试制成功, 大大提高了光谱分析效率, 减轻了劳动强度, 使室内灰尘大为下降, 可延长光学仪器的使用寿命。



(本刊据辽宁101队资料整理)

我国重要钨矿矿石类型及其选矿工艺特点

表 4

矿石类型	矿物共生组合特点	矿石性质	原矿品位 (WO ₃)	选矿方法及流程	磨矿细度	选矿指标, %			备注
						原矿品位	尾矿品位	回收率	
黑钨石 英脉矿石	金属矿物: 黑钨矿、锡石、绿柱石、辉钨矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然铋矿、白钨矿、黄铁矿、毒砂、自然砷等 脉石矿物: 石英、长石、云母、黄玉、电气石、磷灰石、方解石等 还有伴生组分Nb、Ta、Sc等	黑钨矿多呈粗一中粒不均匀散布, 粒度一般1~10厘米, 最大者20~30厘米或更大, 小者1厘米以下。黑钨矿与石英、辉钨矿多成不规则脉状或网脉状嵌布关系	单脉型: 2.14~0.47% 细脉带或大脉带: 0.2%±	手选—光电选—筛分—浮选—重选—联合流程	磨矿至0.5~0.3毫米, 黑钨矿基本解离	0.249	0.0414	84.46	江西D矿 湖南D矿
夕卡岩 型白钨矿 矿石	金属矿物: 白钨矿、方铅矿、闪锌矿、辉钨矿、锡石、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、毒砂、自然砷等 脉石矿物: 透辉石、石榴石、透闪石、方解石、石英、萤石、黄玉、方解石等	白钨矿为细粒不均匀散布, 粒度多在0.05~1毫米, 白钨矿与辉钨矿、夕卡岩矿物、硫化物多成不规则脉状或网脉状嵌布关系	1.12~0.20%	浮选+重选(捕床)+磁选(去磁铁矿), 浮选	磨矿—200目占90%	0.62	0.106	80.4973	湖南S矿、J矿
浸染状 或细脉浸 染状钨— 锡—钼— 钽矿石	金属矿物: 黑钨矿、辉钨矿、方铅矿、闪锌矿、辉钨矿、锡石、方解石、黄铜矿、磁铁矿、毒砂、自然砷等 脉石矿物: 石英、长石、云母、黄玉、电气石、磷灰石、方解石等	有用矿物均为微—细粒不均匀散布, 如黑钨矿一般为1.0~0.35毫米, 大于0.2毫米占13%, 0.1~0.2毫米占47%, 有用矿物与脉石多呈不规则脉状嵌布及包裹嵌布关系	一般<0.5% Nb、Ta含量较高	重选(捕床)+水—螺旋—磁选	重选阶段磨矿, 及-0.15毫米	0.02	—	37.7	广西L矿 • Ta、Nb、W 精矿中 WO ₃ 含量
网脉带 硫化物型 黑钨—白 钨矿石	金属矿物: 黑钨矿、白钨矿、锡石、辉钨矿、方铅矿、闪锌矿、辉钨矿、锡石、方解石、黄铜矿、磁铁矿、毒砂、自然砷等 脉石矿物: 石英、长石、云母、黄玉、电气石、磷灰石、方解石等	黑钨矿、白钨矿均为细粒不均匀散布, 粒度多1~2毫米, 以下, 以0.01~1毫米之间最多。黑、白钨矿与硫化物共生, 形成复杂脉状嵌布关系	0.61~1.12%	重选+浮选+水治, 后先重选黑钨矿, 联合流程	—	0.697	0.305	52.89	广东L矿
石英脉 型钨—锡 —金矿石	金属矿物: 白钨矿、辉钨矿、自然金、黄铁矿、方铅矿、方解石、辉钨矿、锡石、方解石、黄铜矿、磁铁矿、毒砂、自然砷等 脉石矿物: 石英、长石、云母、黄玉、电气石、磷灰石、方解石等	白钨矿为粗—细粒不均匀散布, 粒度多在0.6~8毫米之间。白钨矿与脉石嵌布关系简单, 与辉钨矿除脉状嵌布外, 还有细脉状嵌布关系	0.6~0.7%	钨: 重选(捕床、溜槽)+浮选, 后金: 重选(溜槽)+浮选	白钨矿磨矿至-6毫米开始解离, 200目占90%完全解离	0.553	0.075	71.97 82.24	湖南O

(表中列举的主要选矿指标均以某一典型型选厂的指标为例, 供作参考)