三道庄矿区高氧化率钼矿石的工艺矿物学 新建平¹²,车文芳¹,何亚清¹,刘书鹏¹,李付博¹,杨剑波¹,陈炳龙²

(1. 洛阳栾川钼业集团股份有限公司,河南 洛阳 114043;2. 西安西北有色地质研究 院有限公司,陕西 西安 110054)

摘要:这是一篇工艺矿物学领域的论文。本文利用化学多元素分析、化学物相分析、光学显微镜及矿物 参数自动分析系统 (MLA)等综合手段,对三道庄矿区高氧化率钼矿石的矿石化学成分、矿物组成、钼和钨的 赋存状态以及目的矿物的嵌布特征等影响钼回收的矿物学因素进行了系统的工艺矿物学研究。结果表明,矿石 中 Mo 含量为 0.06%, WO₃ 含量 0.10%;矿石中主要金属矿物为黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、白钨矿和黄铜矿, 非金属矿物主要为石榴子石、石英、透辉石以及蚀变形成的角闪石,并含有少量的碳酸盐矿物、斜长石、磷灰 石、萤石以及蚀变形成的绿帘石;原矿钼物相分析表明,原矿中硫化钼占比为 72.13%,氧化钼占比为 27.87%,氧化钼的载体矿物主要为白钨矿,该部分钼将随钨的回收而回收,所以会影响钼精矿的回收率;矿石 中铜的含量虽然较低(为 0.016%),但有部分黄铜矿可浮性较好,会使钼精矿中铜含量超标,所以铜抑制剂的 选择和流程结构的确定也是该矿石选矿回收关注的焦点。

关键词:工艺矿物学;高氧化率;钼矿石;矿物组成;嵌布特征

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.05.017

中图分类号: TD954; P575 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2023)05-0093-07

自然界中已知的钼矿物及含钼矿物约有 30种,其中分布最广目具有现实工业价值的是辉 钼矿(MoS₂)^[1-2]。由于其复杂的成矿因素和伴生 矿物浮选行为的影响,不同矿石类型的辉钼矿表 现出程度不等的可浮性变化。其中,氧化后的辉 钼矿可浮性下降,而且氧化程度越高,可浮性越 差^[3-5]。比较常见的氧化钼矿物有钼华 MoO₃、铁钼 华 Fe₂(MoO₄)₃·8H₂O、钼钙矿 CaMoO₄和钼铅矿 PbMoO₄等,此类矿物多存在于辉钼矿矿床的顶 部,天然亲水、疏水性极低、结晶欠完整、多呈 细粒浸染,较难选冶和利用[6-7]。近年来,随着新 技术和理念的不断应用,推动了选矿工艺矿物学 的快速发展,尤其在低品位、共伴生、复杂难选 冶等矿产资源的开发利用中,工艺矿物学的作用 显得更为明显,它能为选矿工艺流程的制定和选 厂工艺流程的优化改进,提供关于矿石的组成矿 物及其工艺性质方面的所需资料[8-11]。

洛阳栾川钼矿是我国重要的钼矿资源。三道 庄矿区的钼矿石氧化程度高,目前选厂的工艺流 程并不能很好地适应现在开采的矿石性质,因此 有必要对入选矿石进行工艺矿物学研究,重新认 识矿石组成和构造,进而有针对性地设计相应的 分选工艺流程以及对现有工艺流程进行改造,提 高钼选矿回收率。

本文以栾川三道庄矿区钼矿为研究对象,运 用化学分析、光学显微镜、X射线衍射等手段施 行全面的工艺矿物学特性探讨,为提升矿石的回 收率及改进现场工艺流程奠定基础。

1 矿石物质组成

1.1 矿石化学多元素分析

对矿石进行化学成分分析,结果见表1。

由表 1 可知,该矿石中主要回收元素 Mo 和 WO₃ 含量分别为 0.06% 和 0.10%, Mo 含量达到钼

收稿日期: 2022-04-08

作者简介: 靳建平(1984-), 男, 副教授, 主要从事贵金属及有色金属矿的选矿研究工作。

基金项目:国家自然科学基金青年项目(51904222)

`物

微量

矿床的最低工业品位,WO₃含量达到了钼矿床伴生有用组分回收指标(GB/T 25283-2010)。

Mo和WO₃含量偏低,对提高精矿回收率有一定的影响。

	表	1	原矿	多	元素	影 分	·析结果	₹/%	
1	4	1			1		1.	c	

Table 1 Element analysis results of faw ore											
Мо	WO ₃	Cu	Pb	Zn	S	TFe	Mn	Р	TiO ₂	SiO ₂	TC
0.06	0.10	0.016	0.0023	0.0086	1.53	13.20	1.47	0.14	0.28	40.36	0.77
Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Ni	As*	Au*	Ag*	K ₂ O	Na ₂ O	LOI	Со	Bi
3.67	21.60	1.81	0.0045	0.0001	0.09	1.00	0.24	0.22	3.53	0.0034	0.0003

*单位为: g/t。

1.2 矿石中钼和钨物相分析

矿石中铁物相分析结果见表 2。

表 2 原矿钼物相分析结果

Table 2	Iron chemical phase analysis results of the ore							
名称	硫化钼中钼	氧化钼中钼	总计					
含量/%	0.044	0.017	0.061					
分布率/%	72.13	27.87	100.00					

由表 2 可知, 原矿中硫化钼占比为 72.13%, 氧化钼占比为 27.87%。其中硫化钼的载体矿物主 要为辉钼矿,氧化钼含量高是影响钼精矿回收率 的主要原因。

由表 3 可知,钨主要以白钨矿的形式存在, 占 90.62%,钨华和黑钨矿含量较低,分别为 8.09%和1.29%。

1.3 矿石的矿物组成

利用光、薄片镜下鉴定和 MLA 分析,并结合 化学多元素分析结果,查清了矿石的矿物组成及 相对含量,分析结果见表 4。

表 3 原矿钨物相分析结果

Table 3	Iron chemica	l phase analy	sis results of the	ore
名称	白钨矿中WO3	钨华中WO3	黑钨矿中WO3	总计
含量/%	0.112	0.01	0.0016	0.1236
占有率/%	90.62	8 09	1 29	100.00

由表 4 可知, 矿石矿物组成复杂, 金属矿物 主要有黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、白钨矿和黄铜 矿, 并含有微量的辉铜矿和斑铜矿, 黄铜矿和黄 铁矿对钼的选别有一定不利影响, 实验过程中应 重点关注钼精矿中铜含量; 非金属矿物主要为石 榴子石、石英、透辉石以及蚀变形成的角闪石, 并含有少量的碳酸盐矿物、斜长石、磷灰石、萤 石以及其他蚀变矿物, 碳酸盐、萤石等含钙矿物 含量高, 给白钨矿的浮选带来一定的难度。其中 石榴子石属钙铝榴石-钙铁榴石系列, 成分中含少 量的锰, 透辉石中含一定量的铁形成透辉石-钙铁 辉石系列, 同时含少量的锰。目的回收矿物为辉 钼矿和白钨矿。

表 4 矿石中主要矿物组成及含量/%

	Table 4 Main minerals composition and contents of the ore									
辉钼矿	白钨矿	石榴子石	石英	透辉石	磁铁矿	斜长石	角闪石	黄铁矿	碳酸盐矿	
0.11	0.16	59.11	11.16	7.10	1.34	2.38	6.26	2.85	4.96	
磷灰石	绿泥石	萤石	钾长石	褐铁矿	黑云母	白云母	榍石	黄铜矿	辉铜矿	

0.37

2 钼钨元素赋存状态

1.50

0.47

矿石的构造在选矿工艺中发挥着关键性的作用。通常情况下,矿石的构造为矿物及其集合体 在空间上散布的特质,而结构则为矿物及集合体 各自的形态特点^[12]。由表3可知,原矿中白钨矿 中钨占比为90.62%,钨华中钨占比为8.09%,但 钨华主要存在形式为白钨矿表面薄膜,在制片过 程中会损失掉。镜下鉴定显示含钨矿物为白钨矿。

0.73

0.97

2.1 目的矿物化学组成

0.14

2.1.1 辉钼矿

0.15

辉钼矿的能谱分析结果见表 5。

0.19

0.04

由表 5 可知,辉钼矿成分 Mo:S 质量比为 59.55:39.08,与理论值(Mo:S=96:64)差距不 大,其含氧量也较低。

2.1.2 白钨矿

白钨矿能谱分析结果见表 6。同时,对白钨矿

	衣) 件扣训 能值力们约本/%						
Table 5	Energy spectrum an	alysis results of	molybdenite				
序号	Mo	S	0				
1	59.14	39.35	1.50				
2	59.83	38.72	1.45				
3	59.63	38.64	1.73				
4	59.22	39.24	1.54				
5	59.31	39.74	0.95				
6	60.17	38.81	1.02				
平均	59.55	39.08	1.37				

进行扫描电镜背散射分析(BSE)和元素面扫描,结果见图1。

Table 6	Energy spectrum analysis results of scheelite						
序号	0	Мо	Ca	W			
1	25.76	17.78	16.76	39.71			
2	23.00	6.75	14.56	55.69			
3	26.52	13.06	15.28	45.13			
4	26.13	11.60	14.44	47.83			
5	26.47	9.96	15.09	48.49			
6	28.26	14.51	15.55	41.68			
7	24.55	7.69	14.87	52.89			
8	25.31	10.05	15.19	49.45			
9	27.99	6.64	13.94	51.43			
10	25.91	12.99	15.59	45.51			
120	27.48	9.01	13.12	50.39			
平均	25.80	8.97	14.50	50.82			

表 6 白钨矿能谱分析结果/%

因数据过多,只列举部分数据





后,结果表明白钨矿中普遍含 Mo, Mo 含量在 0.7%~19.61%,平均值为 8.97%,Ca 含量在 13.12%~16.76%,平均值为 14.50%,W 含量在 35.09%~63.58%,平均值为 50.82%,因此,此白 钨矿中 Ca 与 W 的质量比为 14.5:50.82,而白钨矿 (CaWO₄)中 Ca 与 W 的理论质量比为 40:184。 由图 1 BSE 图像和元素面分布图发现,白钨矿颗 粒上存在钼元素,且同一个白钨矿颗粒的成分存 在不均一性。

综上可知,矿石的白钨矿中含钼而形成钼钨钙矿,且钼的含量不均匀,有较大差异,因此对 120个白钨矿颗粒中 Ca、W 元素的含量与 Mo 元素的相关性进行分析。图 2为白钨矿中 Ca 与W 元素含量与 Mo 元素含量关系。





从图 2 可以看出,随着 Mo 含量的增多, W 含量逐渐降低,而 Ca 含量变化不大,这说明白 钨矿中 Mo 含量与 W 含量呈明显的反相关性,与 Ca 含量相关性不明显,而 Mo 的离子半径与 W 的 离子半径较为接近,说明在白钨矿中,Mo 与 W 以类质同像替代的形式存在(Ca(W, Mo)O₄)。 该部分钼将随钨的回收而回收,是影响钼回收率 偏低的主要原因。

2.2 目的元素分布状态

2.2.1 钼

钼元素主要分布于辉钼矿和白钨矿中,由表 5、6可知,辉钼矿中 Mo平均含量为 59.55%,白钨矿中 Mo平均含量为 8.97%,经计算,Mo元素在辉钼矿中占比为 76.67%,在白钨矿中占比为 23.33%。

2.2.2 钨

钨元素分布于白钨矿中,由表6可知,白钨 矿中W元素平均含量为50.82%,在其他矿物中未 见有钨元素的分布。

2.3 目的矿物粒度统计

对光片中共计 4088 个辉钼矿颗粒进行了粒度 统计,统计时以辉钼矿单晶的短径为准,统计结



果见表 7。因白钨矿在显微镜下较难分辨,镜下统 计颗粒容易漏掉,因此对白钨矿的粒度统计利用 MLA 测试分析的数据(磨矿细度-74 μm 60%), 结果见图 3。

由图 3a 可知,该矿石中辉钼矿单晶主要分布 在 <74 μm 范 围 内 , 占 比 达 74.47%, 粒 度 较细。



(b) 白钨矿

图 3 粒度分布 Fig.3 Particle size distribution

分布率/%

由图 3b 可知,该矿石中白钨矿主要分布在 -38+9.6 μm 范围内,占比为 49.86%,其次分布在 -75+38 μm 和-9.6 μm 范围内,占比分别为 26.06% 和 20.76%。

2.4 目的矿物分布特征

2.4.1 辉钼矿

辉钼矿反射色呈灰白色,强非均质性,多呈 鳞片状、细小片状、片状的单晶或集合体(图4a), 偶尔可见有六方板状辉钼矿(图4b),主要分布 于其他矿物粒间,少量辉钼矿被白钨矿、黄铁矿 或磁铁矿包裹(图4c、4d和4e)。

1.呈星点状分布:辉钼矿的单晶或集合体分布 于矿石之中,与后期脉体关系不明显(图 4f、 4g)。

2.呈稀疏浸染状分布:辉钼矿的单晶集合体呈 稀疏浸染状分布于矿石之中,这类的辉钼矿含量 较少(图4h)。

2.4.2 白钨矿

白钨矿反射色呈灰色,具非均质性,多以粒 状单晶呈星点状分布,主要分布于矿物粒间(图4a、 4b、4c、5a、5b、5c、5d),与后期脉体关系不明 显,少量白钨矿内部包裹有辉钼矿(图4c和5d)。

2.5 目的矿物嵌布特征

2.5.1 辉钼矿

与辉钼矿连生的主要为非金属矿物,其次为 金属矿物,详述如下:

(1) 辉钼矿与非金属矿物的连生

矿石中与辉钼矿连生关系较为紧密的非金属 矿物主要有石榴子石及其蚀变矿物(绿帘石)、 透辉石及其蚀变矿物(角闪石、绿泥石)以及石 英,其次为碳酸盐矿物,与钾长石、斜长石等其 他非金属矿物的连生较不紧密。

①辉钼矿与石榴子石的连生关系

石榴子石是该矿石的主要组成矿物,辉钼矿 多呈单晶或单晶集合体以星点状或稀疏浸染状分 布于石榴子石粒间(图 4a、4b、4f、5a、5b), 基本没有被石榴子石颗粒包裹的辉钼矿,因此这 部分辉钼矿较易解离。

②辉钼矿与透辉石的连生关系

辉钼矿多呈单晶以星点状分布于透辉石粒间 (图 4g、4h),基本没有被透辉石颗粒包裹的辉



图 4 辉钼矿的分布特征 Fig.4 Distribution characteristics of molybdenite



图 5 白钨矿的分布特征 Fig.5 Distribution characteristics of scheelite

钼矿,因此这部分辉钼矿也较易解离。

③辉钼矿与石英的连生关系

辉钼矿多呈单晶或集合体以星点状或稀疏浸 染状分布于石英粒间(图 5a、5b),少量细小的 辉钼矿被石英颗粒的包裹(5b),这些被石英包 裹的辉钼矿较难解离。

④辉钼矿与碳酸盐矿物的连生关系

辉钼矿多呈单晶以星点状或稀疏浸染状分布 于碳酸盐矿物粒间(图 5c),这部分辉钼矿因很 少被包裹因此也较易解离。

(2) 辉钼矿与金属矿物的连生

矿石中辉钼矿与金属矿物的连生关系主要与 黄铁矿、磁铁矿和白钨矿较为紧密,其次为与其 他金属矿物如黄铜矿、辉铜矿和斑铜矿等关系不 紧密。多以单晶或集合体呈星点状或稀疏浸染状 分布与金属矿物与非金属矿物粒间,少量的辉钼 矿被金属矿物包裹。

①辉钼矿与黄铁矿的连生关系

辉钼矿呈星点状或稀疏浸染点分布于黄铁矿与非金属矿物粒间(图 4e),少量细小的辉钼矿 被黄铁矿包裹,这部分被包裹的辉钼矿不易完全 解离。

②辉钼矿与磁铁矿的连生关系

辉钼矿多呈星点状或稀疏浸染状分布于磁铁 矿粒间或磁铁矿与非金属矿物粒间(图4h), 少量呈星点状分布于磁铁矿内部(图4d),这部 分被包裹的辉钼矿不易完全解离。

③辉钼矿与白钨矿的连生关系

辉钼矿多呈星点状或稀疏浸染状分布于白钨 矿粒间或与非金属矿物粒间(图 4a、4b、4c、 4c、5b、5c、5d),少量辉钼矿呈星点状被白钨矿 包裹(图 4c 和 5d),这部分被包裹的辉钼矿不易 完全解离。

④辉钼矿与其他金属矿物的连生关系

在镜下还可见有辉钼矿呈星点状分布于黄铜 矿与非金属矿物粒间,这种类型的辉钼矿含量极 少,对选矿的影响不大。

2.5.2 白钨矿

与白钨矿连生的主要为非金属矿物,与金属 矿物连生不紧密,详述如下:

(1) 白钨矿与非金属矿物的连生

白钨矿与石榴子石的连生关系较为紧密,与 其他非金属矿物的连生关系一般。

①白钨矿与石榴子石的连生关系

白钨矿多以粒状单晶呈星点状分布于石榴子 石矿物粒间,没有被包裹的白钨矿颗粒(图 5a、 5c)。

②白钨矿与其他非金属矿物的连生关系

白钨矿多以粒状单晶呈星点状分布于透辉 石、碳酸盐矿物、石英等非金属矿物粒间,没有 被包裹的白钨矿颗粒(图 5c)。

(2) 白钨矿与金属矿物的连生

白钨矿主要与辉钼矿连生关系较为紧密,以 粒状单晶呈星点状分布于辉钼矿与非金属矿物粒 间,少量白钨矿颗粒内部包裹有辉钼矿(图4c、 5b、5c、5d)。与其他金属矿物基本没有连生 现象。

3 目的矿物的解离连生关系

基于现场生产工艺分级机溢流细度为-74 µm



60%,为更好的优化并改造现场磨矿分级流程,将 原矿样粉碎到-74 μm 60% 左右后进行 MLA分 析,以分析在此细度下目的矿物的解离与连生关 系情况。

由图 6 可知,在-74 μm 60% 细度下辉钼矿的 单体解离度为 73.11%,75% 以上富连生体及单体 总含量为 84.81%; 白钨矿的单体解离度为 54.61%,75% 以上富连生体及单体总含量为 85.10%。

由解离度分析可知,在现有磨矿细度条件下,辉钼矿、白钨矿单体解离度较高,基本能满 足实验要求,但实际生产过程中,分级机溢流细 度-74 µm 含量大于 60% 为宜。



图 6 目的矿物的解离度 Fig.6 Dissociation degree of target minerals

(2) 连生关系

辉钼矿和白钨矿在-74 μm 60% 细度下与其他 矿物的连生关系见表 7。 由表 7 可知,在-74 μm 60% 细度下辉钼矿的 自由边长占比为 86.05%; 白钨矿的自由边长占比 为 81.33%。

表 7	辉钼矿和白钨矿与其他矿物连生关系/%

Table 7	Intergrowth relationshir	between molvbdenite and	l scheelite and other minerals
	0		

		. 0	I	5			
矿物名称	石英	斜长石	石榴子石	碳酸盐矿物	钾长石	萤石	绿泥石
辉钼矿	1.28	0.05	2.66	0.79	0.15	0.16	1.04
白钨矿	1.64	0.43	7.21	0.92	0.03	0.43	0.32
矿物名称	透辉石	角闪石	磷灰石	榍石	黑云母	帘石	磁铁矿
辉钼矿	0.01	4.31	0.01	0.00	0.03	0.30	0.64
白钨矿	1.70	4.09	0.27	0.08	0.00	0.23	0.06
矿物名称	褐铁矿	黄铁矿	辉钼矿	白钨矿	钼钙矿	其他	自由边长
辉钼矿	0.38	1.53	0.00	0.51	0.00	0.08	86.05
白钨矿	0.27	0.04	0.34	0.00	0.18	0.44	81.33

⁽¹⁾ 解离度分析

4 结 论

(1) 原矿含 Mo 0.06%, 含 WO₃ 0.10%, 原 矿中硫化钼占比为 72.13%, 氧化钼占比为 27.87%, 目的矿物为辉钼矿和白钨矿。矿石中 Mo、WO₃ 品 位低且 Mo 氧化率高, 对钼精矿 Mo 回收率有较大 影响。

(2) 矿石中金属矿物主要有黄铁矿、磁铁 矿、辉钼矿、白钨矿和黄铜矿,并含有微量的辉 铜矿和斑铜矿,非金属矿物主要为石榴子石、石 英、透辉石以及蚀变形成的角闪石,并含有少量 的碳酸盐矿物、斜长石、磷灰石、萤石以及蚀变 形成的绿帘石。

(3) 白钨矿颗粒能谱分析结果表明,氧化钼的载体矿物主要为白钨矿,该部分钼将随钨的回收而回收,所以会影响钼精矿的回收率。

(4) 辉钼矿的粒度较细,-0.074 mm 74.47%, 主要分布于其他矿物粒间,有利于解离回收,但 有少量细粒的辉钼矿包裹在脉石矿物或白钨矿 中,较难解离,会影响钼的选矿回收;且该矿石 辉钼矿中含有少量的氧,将影响辉钼矿的可浮 性,选矿过程中需考虑捕收剂的选择。

(5) 矿石中铜的含量虽然较低(为0.016%), 但有部分黄铜矿可浮性较好,会使钼精矿中铜含 量超标,所以铜抑制剂的选择和流程结构的确定 也是该矿石选矿回收关注的焦点。

(6) 岩石整体蚀变较强,矿石中含有一定量 的易泥化矿物透辉石、角闪石、绿泥石等,产生 的细泥会对选矿产生一定的影响,生产过程中应 考虑脱泥作业。

参考文献:

[1] 张亮, 杨卉芃, 冯安生, 等. 全球钼矿资源现状及市场分析 [J]. 矿产综合利用, 2019(3):11-16.

ZHANG L, YANG H P, FENG A S, et al. Study on general situation and analysis of supply and demand of global molybdenum resource[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3):11-16.

[2] 陈丽娟, 李治杭, 姚辉, 等. 辉钼矿浮选药剂研究进展[J]. 现代矿业, 2022, 38(2):19-23+27.

CHEN L J, LI Z H, YAO H, et al. Research progress of molybdenite flotation reagents[J]. Modern Mining, 2022, 38(2):19-23+27.

[3] 刘翠华. 钼矿石的物相分析及其氧化率[J]. 山西冶金, 2018, 41(2):8-10+14.

LIU C H. Phase analysis and oxidation ratio for molybdenum

ores[J]. Shanxi Metallurgy, 2018, 41(2):8-10+14.

[4] 刘明实, 万选志, 刘子龙, 等. 某高氧化率铜矿石的选矿实验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(6):24-27.

LIU M S, WAN X Z, LIU Z L, et al. Experimental study on beneficiation of the high mud and high oxidation rate copper ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(6):24-27.

[5] 李国尧. 某高氧化率铜矿石浮选实验[J]. 现代矿业, 2017, 33(12):102-104.

LI G Y. Flotation test on high oxidation copper ore[J]. Modern Mining, 2017, 33(12):102-104.

[6] 王伊杰, 文书明, 刘丹, 等. 云南某高氧化率混合铜矿石选 矿实验[J]. 现代矿业, 2013, 29(5):20-22.

WANG Y J, WEN S M, LIU D, et al. Experimental research on beneficiation of a Yunnan mixed copper ore with a high oxidation rate[J]. Modern Mining, 2013, 29(5):20-22.

[7] 张成强, 李洪潮, 张颖新, 等. 我国复杂难选钼矿资源选矿 技术进展[J]. 中国矿业, 2009, 18(10):64-66+86.

ZHANG C Q, LI H C, ZHANG Y X, et al. Progress in China's beneficiation technology for complex refractory molybdenum ore[J]. Modern Mining, 2009, 18(10):64-66+86.

[8] 张文, 田承涛, 翁孝卿, 等. 矿物解离分析系统在磷石膏工 艺矿物学研究中的应用[J]. 矿产综合利用, 2022(1):205-210.

ZHANG W, TIAN C T, WENG X Q, et al. Research on the process mineralogy of phosphogypsum using mineral liberation analysis system[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(1):205-210.

[9] 秦玉芳, 马莹, 李娜, 等. 白云鄂博尾矿稀土的工艺矿物学研究[J]. 矿冶, 2021, 30(6):120-126.

QIN Y F, MA Y, LI N, et al. Study on the process mineralogy of rare earth in Bayan Obo tailings[J]. Mining and Metallurgy, 2021, 30(6):120-126.

[10] 赵玉卿, 应永朋, 熊艳, 等. BPMA 在某低品位铌钽矿工 艺矿物学研究中的应用[J]. 矿产综合利用, 2021(5):129-134.

ZHAO Y Q, YING Y P, XIONG Y, et al. Application of BPMA in process mineralogy of a low-grade Nb-Ta ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):129-134.

[11] 傅开彬, 徐信, 侯普尧, 等. 朝鲜某隐晶质石墨工艺矿物 学及可浮性研究[J]. 金属矿山, 2021(3):148-152.

FU K B, XU X, HOU P Y, et al. Study on process mineralogy and floatability of a cryptocrystalline graphite in North Korea[J]. Metal Mine, 2021(3):148-152.

[12] 刘月东, 刘凤泽, 王新富, 等. 滇西北羊拉铜矿床 3 175 m 中段铜矿石和构造岩地球化学特征及地质意义[J]. 有色 金属 (矿山部分), 2022, 74(1):56-67.

LIU Y D, LIU F Z, WANG X F, et al. Geochemical characteristics of copper ore and tectonite in the underground tunnel 3175 m section from Yangla copper deposit in northwest Yunnan and their geological implications[J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2022, 74(1):56-67.

(下转第126页)

Research Progress on Comprehensive Utilization of Tungsten Tailings

Xiao Junjie¹, Kuang Jingzhong^{1,2}, Yu Mingming¹, Qiu Tingsheng¹, Zhang Shaoyan¹, Wang Xiaoyuan¹ (1.School of Resource and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology,

Ganzhou, Jiangxi, China; 2.Key Laboratory of Mining Engineering of Jiangxi Key Laboratory of of

Mining Engineering, Ganzhou, Jiangxi, China)

Abstract: This is an essay in the field of mining engineering, which summarized the current situation and characteristics of tungsten tailings resources, and expounds the urgency and necessity of comprehensive utilization of tungsten tailings resources under the requirements of current economic development and environmental protection. The research status of recovery of valuable metal and valuable non-metals in tungsten tailings was comprehensively evaluated. The application and application prospects of tungsten tailings in new building materials were introduced in detail. Combined with the current research focus on tungsten tailings resources in China, the development direction of comprehensive utilization of tungsten tailings is proposed.

Keywords: Mining engineering; Tungsten tailing; Comprehensive utilization; Valuable components; Building materials

(上接第99页)

Process Mineralogy of Molybdenum Ore with High Oxidation Rate in Sandaozhuang Mining Area

Jin Jianping^{1,2}, Che Wenfang¹, He Yaqing¹, Liu Shupeng¹, Li Fubo¹, Yang Jianbo¹, Chen Binglong² (1.Luoyang Luanchuan Molybdenum Industry Group Co., Ltd, Luoyang, Henan, China; 2.Xi'an Northwest Nonferrous Geological Research Institute Co., Ltd, Xi'an, Shaanxi, China)

Abstract: This is an essay in the field of process mineralogy. By means of chemical multi-element analysis, chemical phase analysis, optical microscope and automatic mineral parameter analysis system (MLA), the systematic research on process mineralogy of the molybdenum ore with high oxidation rate in Sandaozhuang mining area has been done in this study, which mainly include mineralogical factors affecting molybdenum recovery, such as ore chemical composition, mineral composition, occurrence state of molybdenum and tungsten and embedding characteristics of target minerals. The results show that the content of Mo in the ore is 0.06%, and the content of WO_3 in the ore is 0.10%. The main metal minerals in the ore are pyrite, magnetite, molybdenite, scheelite and chalcopyrite. Nonmetallic minerals are mainly garnet, quartz, diopside and amphibole formed by alteration, and contain a small number of carbonate minerals, plagioclase, apatite, fluorite and epidote formed by alteration. The phase analysis of molybdenum in the raw ore shows that the proportion of molybdenum sulfide in the raw ore is 72.13%, and the proportion of molybdenum oxide is 27.87%. The carrier mineral of molybdenum oxide is mainly scheelite. This part of molybdenum will be recovered with the recovery of tungsten, so it will affect the recovery rate of molybdenum concentrate. Although the Cu content in the ore is low (0.016%), some chalcopyrite has good floatability, which will make the copper content in molybdenum concentrate exceed the standard. Therefore, the selection of copper inhibitors and the determination of process structure are also the focus of the beneficiation and recovery of the ore.

Keywords: Process mineralogy; High oxidation rate; Molybdenum ore; Mineral composition; Embedded characteristics