

一种新型钼矿床中钼的赋存状态及对选矿工艺的影响

付强^{1,2}, 王均³, 贾木欣^{1,2}, 温利刚^{1,2}, 王清^{1,2}

1. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160;
2. 矿冶过程自动控制技术国家重点实验室, 北京 100160;
3. 贵州省地矿局——三地质大队, 贵州 六盘水 553000

中图分类号: TD91; TD954 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)01-0123-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.01.018

摘要 贵州西北地区五里平钼多金属矿床矿石性质复杂, 矿石中钼的回收指标不理想。利用矿物自动分析技术 BPMA、电子探针及化学物相分析等手段对矿石开展了系统的工艺矿物学研究, 对钼的赋存状态进行深入分析。结果表明, 矿石中的钼有 55.60% 以独立矿物彩钼铅矿和辉钼矿的形式存在, 是选矿过程中需要加强回收的主要目的矿物; 同时, 还有 32.37% 和 12.03% 的钼分别以吸附态方式赋存于褐铁矿和高岭石中, 需要采用湿法冶金工艺进行利用, 而湿法回收褐铁矿中的钼成本太高, 经济上不可行, 对于吸附于高岭石中的钼, 可以考虑采用酸浸或者碱浸工艺进行回收。本次发现的这种吸附态型钼矿床在自然界十分罕见, 将拓宽该区域内的找矿方向, 也为钼资源的优化利用提供了依据。

关键词 钼矿床; 吸附态; 工艺矿物学; 赋存状态; BPMA; 选矿; 彩钼铅矿; 辉钼矿

钼是一种重要的战略金属, 在钢铁工业、有色冶金、化工、农业等领域均有广泛应用^[1-2]。目前利用的钼资源以硫化钼即辉钼矿为主, 辉钼矿因其特有的片状结构而呈现较好的天然可浮性, 是一种较易利用的矿产资源^[3-5]。产于地表浅层的氧化钼矿, 因遭受强烈的风化和淋滤作用, 其矿物组成和结晶程度、有价元素的赋存状态及组构特征都与原生硫化钼矿存在显著差异, 选别难度非常大^[6-9], 处理这类矿石时总是存在回收率不高或者钼精矿品位低的问题^[10-11], 常被认为没有工业意义而弃置。随着钼矿资源的日益贫化、复杂化, 开发利用新型的钼矿资源十分重要^[12-13], 尤其是近年来选冶技术不断提高, 这些复杂的氧化钼矿资源也开始受到选冶科技工作者的关注与重视^[11-16]。

本次在贵州五里平地区发现了一种特殊的钼矿资源, 该矿石中钼的品位在 0.2% 左右, 同时共生有铅、锌和铋等有价值组分, 具有较大的开发利用价值。该钼多金属矿床大地构造位置位于扬子准地台黔北台隆六盘水断陷, 威宁北西向构造变形区北西部边缘, 矿区处于紫云亚都深大断裂旁侧的 As、Sb、Hg、Pb、Zn、Cu 成矿系列部位, 具较好的成矿地质条件^[17-18]。矿体常受到后期北西向断层的破坏, 导致部分矿石常呈角砾状构造产出, 矿石的氧化程度也较为严重, 褐铁矿化、

黏土化现象非常明显。在对该矿进行选矿试验研究过程中, 铅、锌均可取得较好的回收指标, 唯独钼无论采用浮选还是重选等选矿方式始终无法得到有效回收; 有学者对该钼铅锌矿的矿石性质进行过研究, 且认为钼基本上都是以彩钼铅矿的形式存在^[19], 但这很难解释为什么彩钼铅矿这种高密度的矿物在重选过程中也无法有效富集; 为了查清矿石中钼难选的原因, 本次采用矿物自动分析仪 BPMA 等先进技术手段对矿石中钼的赋存状态进行重点研究, 为今后矿床中钼资源的优化利用提供依据。

1 试验样品及分析方法

用于测试的样品来自于贵州五里平钼铅锌多金属矿的 24 个钻孔中的岩芯样, 以钼矿为主攻矿种, 兼顾铋、铅、锌等元素进行抽样, 按不同矿石类型、不同矿体、不同标高多点采取, 不同矿体采样数量比基本与相应矿体的资源储量比例一致。样品的多元素化学成分结果见表 1。

元素分析结果显示, 样品中主要有价元素 Mo 的含量为 0.24%, Pb 和 Zn 的含量分别为 0.42% 和 1.34%, 伴生元素 Re 的含量达到 2×10^{-6} , 均达综合利用指标。

表 1 矿样的化学分析结果

Table 1 Chemical analysis results of the ore samples

成分	Mo	Pb	Zn	Re*	Fe	V	As	S
含量/%	0.24	0.42	1.34	2	13.32	0.038	0.25	6.25
元素	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C	
含量/%	44.50	8.09	1.78	0.58	0.60	0.31	1.15	

* * 单位为 10⁻⁶。

研究样品粒度为 0 ~ 2 mm, 用于进行化学元素分析和制备砂光片。矿物组成及粒度、嵌布关系的参数测定利用 Ultima IV 系列 X 射线衍射分析仪、TESCAN VEGA 3 扫描电子显微镜和 Bruker QUANTAX 200 双探头能谱仪、电子探针(EPMA - 1720H)及矿物自动分析仪(BPMA)等综合手段完成。

2 结果与讨论

2.1 矿石的矿物组成

矿石中的矿物组成非常复杂。其中钼矿物主要为彩钼铅矿, 另有少量的辉钼矿, 还有部分钼赋存于褐铁矿和高岭石中; 锌矿物主要为闪锌矿, 还有少量的异极矿、硅锌铝石和钒铅锌矿; 铅矿物主要为方铅矿, 其次为彩钼铅矿, 另有少量的白铅矿和钒铅锌矿; 硫矿物主要为黄铁矿。脉石矿物主要为石英和高岭石, 其次为重晶石、长石、白云石、方解石, 另有少量绢云母、炭质、绿泥石、绿帘石、黄钾铁矾、金红石、硬水铝石及锆石等。矿石中的矿物组成及含量见表 2。

表 2 矿石中重要矿物组成及相对含量

Table 2 Major mineral composition of the ore samples

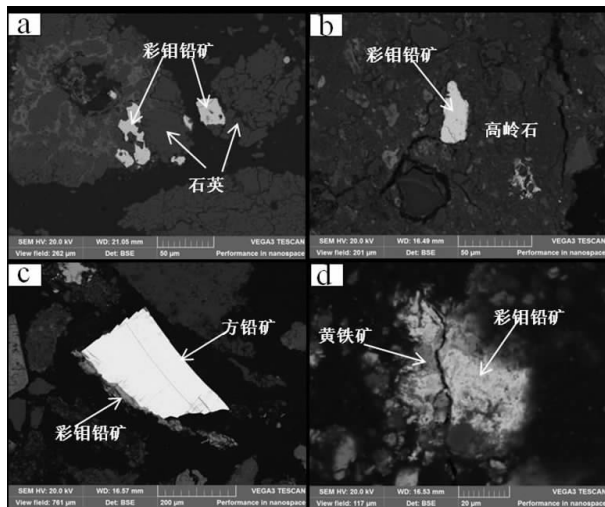
矿物名称	含量/%	矿物名称	含量/%
辉钼矿	0.05	重晶石	9.30
彩钼铅矿	0.40	长石	4.79
方铅矿	0.18	白云石	2.39
白铅矿	0.04	方解石	1.46
钒铅锌矿	0.02	白云母	1.12
砷铅矿	0.01	炭质	0.47
闪锌矿	1.37	黄玉	0.40
异极矿	0.20	绿帘石	0.23
硅锌铝石	0.28	绿泥石	0.19
黄铁矿	8.38	黄钾铁矾	0.18
褐铁矿	21.80	金红石	0.06
石英	27.92	其他	0.53
高岭石	18.23	合计	100.00

2.2 含钼矿物的产出特征

2.2.1 彩钼铅矿

彩钼铅矿(PbMoO₄)是矿石中最主要的含钼矿物, 主要呈板状、不规则粒状嵌布于石英、高岭石等脉石矿物中(见图 1a、图 1b), 其中有部分彩钼铅矿孔洞发育,

常被微细粒的脉石充填呈筛状结构; 有时可见彩钼铅矿沿方铅矿、黄铁矿等硫化物边缘进行交代呈浸蚀结构(见图 1c、图 1d)。彩钼铅矿的 X - 射线能谱分析结果显示, 其 Mo 的平均含量为 26.14%, Pb 的平均含量为 53.45%, 部分彩钼铅矿含少量的 Fe 和 Ca。



a—彩钼铅矿呈粒状嵌布于石英中; b—彩钼铅矿呈粒状嵌布于高岭石中; c—彩钼铅矿沿方铅矿边缘对其进行交代; d—彩钼铅矿与黄铁矿紧密镶嵌在一起

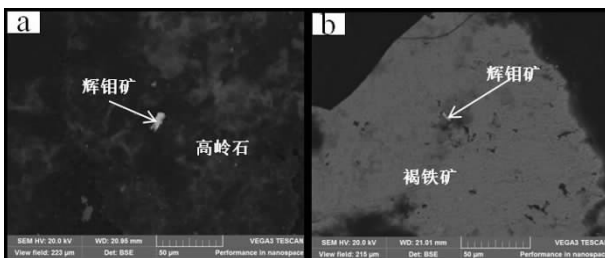
图 1 矿样中彩钼铅矿的产出特征

Fig. 1 Output characteristics of wulfenite in ore samples

2.2.2 辉钼矿

矿石中的辉钼矿含量很少, 主要以自形~半自形片状结构产出, 常呈微细粒分布于脉石矿物中(见图 2a), 也见少量包裹于褐铁矿中(见图 2b)。由于辉钼矿粒度极其微细, 在磨矿过程中很难解离, 而容易损失到尾矿中。

X - 射线能谱图分析结果显示, 部分辉钼矿含少量的 W、Fe 和 Re, 其中 Re 的含量范围为 0 ~ 0.36%。



a—辉钼矿呈微粒片状分布于高岭石中; b—辉钼矿呈微粒自形片状包裹于褐铁矿中

图 2 矿样中辉钼矿的产出特征

Fig. 2 Output characteristics of molybdenic in ore Samples

2.2.3 褐铁矿

褐铁矿是该矿石中常见的氧化铁矿物, 粒度分布

极不均匀,多以粒状、不规则状、网脉状、蜂窝状及胶状等形式产出(见图 3a)。部分褐铁矿保留黄铁矿的假象;部分褐铁矿的蜂窝状空洞、孔隙和裂隙中充填有各类脉石矿物。矿石中褐铁矿具有强烈吸附作用,X-射线能谱分析结果显示,褐铁矿中普遍含有一定量的硅、铝、钙、镁等杂质元素,部分褐铁矿还含有钼和锌(见图 3b),其中,钼的含量范围为 0~1.12%,锌的含量范围为 0~7.74%。

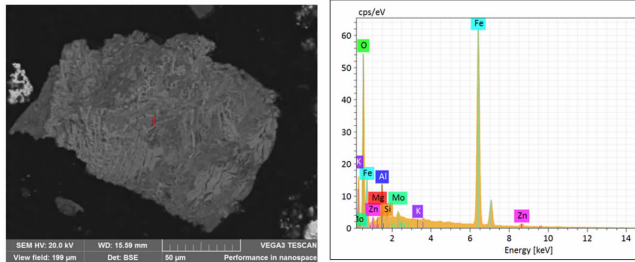


图 3 褐铁矿的背散射电子图(a)及 X-射线能谱图(b)
Fig. 3 Back scatter electron image (a) and X-ray spectra (b) of limonite

2.2.4 高岭石

高岭石是矿石中常见的黏土矿物,多由长石等铝硅酸盐矿物蚀变而来,常呈土状或块状构造,片状、鳞片状、放射状结构(见图 4a),内部解理十分发育。高岭石内部常常包裹有微细粒的石英、白云母等脉石矿物;其次,可见高岭石与褐铁矿、彩钼铅矿、硅锌铝石、白铅矿、钒铅矿等金属氧化物紧密镶嵌在一起。高岭石具有较强的吸附作用,X-射线能谱分析结果(见图 4b)显示,高岭石中常含有少量的钼和铁,其中 Mo 的平均含量为 0.16%。

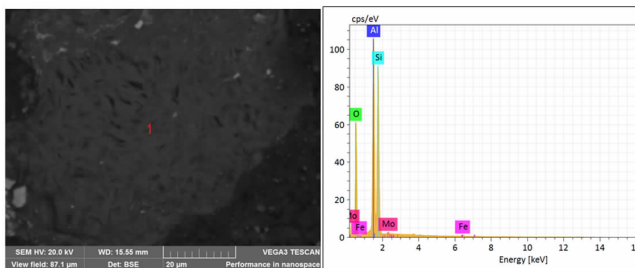


图 4 高岭石的背散射电子图(a)及 X-射线能谱图(b)
Fig. 4 Back scatter electron image (a) and X-ray spectra (b) of kaolinite

2.3 矿石中钼的赋存状态

赋存状态是指目标元素在其载体矿物中的分布形式,既可以指示成矿过程中目标元素的迁移规律和流体演化过程,又是决定其在资源利用过程中影响回收工艺及回收指标的重要因素^[20]。因此,对矿石中的

Mo 进行赋存状态的研究,不论是对开展矿床成因分析还是进行资源可利用性评价,都具有非常重要的意义。为查清矿石中 Mo 的赋存形式并进行量化,将原矿磨至粒度 100% 小于 0.074 mm 进行化学物相分析^[21],并借助扫描电镜和电子探针微区分析手段测定了各矿物中的钼含量,对样品中钼的赋存状态进行研究。

化学物相分析结果(表 3)显示,矿石的氧化程度较深,钼的氧化率高达 87.55%,钼的赋存形式可分为独立矿物和吸附态,钼在二者中的分布率分别为 55.60% 和 44.40%,前者即为钼选矿的最大理论回收率,吸附态形式产出的钼一般通过湿法冶金的方式回收。值得注意的是,以吸附态形式存在的钼又可分为两种,即黏土表面离子吸附态和氧化铁内部均匀吸附态,其中,前者形式产出的钼,通过改变溶液 pH 值来调节离子平衡浓度即可轻易从黏土颗粒表面解吸出来,而后者形式产出的钼是氧化铁胶体在形成过程中不断吸附而成,钼在氧化铁胶体内部是均匀分布的,只有当氧化铁胶体溶解后,分布其内的钼才能同步释放出来。

表 3 钼的化学物相分析结果 /%

相别	黏土表面 吸附钼	氧化铁 结合钼	彩钼铅矿	硫化钼	总钼
含量	0.029	0.078	0.104	0.03	0.241
分布率	12.03	32.37	43.15	12.45	100.00

钼的元素平衡计算见表 4。结果显示,以独立矿物形式存在的钼主要分布于彩钼铅矿中,其次分布于辉钼矿中,钼在二者中的分布率分别为 43.15% 和 12.45%;以吸附态形式存在的钼则主要赋存于褐铁矿中,其次赋存于高岭石中,钼在二者中的分布率分别为 32.37% 和 12.03%。

表 4 钼在不同矿物中的分布率 /%

矿物名称	矿物量	矿物中钼含量	钼分布率
彩钼铅矿	0.40	26.14	43.15
辉钼矿	0.05	57.94	12.45
褐铁矿	21.80	0.36	32.37
高岭石	18.23	0.16	12.03
合计			100.00

根据矿石中钼的赋存状态,可以推断该地区原生钼矿石历经长期的风化-淋滤作用,长石矿物多已蚀变成高岭石等黏土矿物,硫化铁矿物则氧化成氢氧化铁凝胶体,二者都具有很强的吸附作用。同时,硫化钼则形成可溶性钼随地表水下渗,其中一部分钼离子交

代氧化铅形成彩钼铅矿,一部分被吸附到黏土矿物表面,一部分被氢氧化铁胶体不断吸收。这种吸附态形式产出的钼矿床在自然界尚属首例,将有可能成为今后钼资源开发利用的新类型,同时也是在我国西南地区寻找大型内生钼矿床的重要标志之一。

2.4 矿石中钼矿物的粒度组成

该矿石中,可通过选矿回收的钼矿物仅有彩钼铅矿和辉钼矿,其粒度大小是决定磨矿细度的主要依据。表5结果显示,彩钼铅矿主要分布于中细粒级别,其在+0.074 mm 粒度中的占有率仅有34.90%,且主要分布于0.038 mm~0.104 mm;而辉钼矿的粒度则明显更细,普遍分布于0.015 mm 以下。

表5 样品中钼矿物粒度组成

Table 5 Grain size distribution of molybdenum mineral in the ore

粒度/mm	彩钼铅矿		辉钼矿	
	含量/%	累计/%	含量/%	累计/%
-0.147+0.104	8.68	8.68	0.00	0.00
-0.104+0.074	26.22	34.90	0.00	0.00
-0.074+0.053	18.14	53.04	0.00	0.00
-0.053+0.043	9.23	62.27	0.00	0.00
-0.043+0.038	14.65	76.92	0.00	0.00
-0.038+0.020	8.48	85.40	0.00	0.00
-0.020+0.015	9.21	94.61	0.00	0.00
-0.015+0.010	1.47	96.08	53.16	53.16
-0.010+0.005	2.92	99.00	36.22	89.38
-0.005	1.00	100.00	10.62	100.00

2.5 影响矿石中钼回收的矿物学因素及提高回收指标的途径

(1) 矿石中钼的氧化率高达87.55%,且钼的赋存状态非常复杂,以独立矿物形式产出的钼矿物主要为彩钼铅矿。目前对彩钼铅矿的回收主要采用重选法,但该矿床中彩钼铅矿的粒度很细,其在+0.074 mm 粒度中的分布率仅有34.90%,且矿石中的钼品位低、含泥量高,采用重选难以取得较好的分选效果,近年来,不少学者在探索彩钼铅矿浮选药剂的筛选和研发,并在稀土矿床共伴生彩钼铅矿资源综合利用领域有所突破^[22-23],但利用浮选方法回收彩钼铅矿在工业实践上鲜有案例^[24-25]。此外,还有12.41%以辉钼矿的形式存在,但辉钼矿粒度极其微细,磨矿过程中很难解离,选别回收难度也很大^[26]。

(2) 矿石中有32.37%和12.03%的钼分别以吸附态的形式赋存于褐铁矿和高岭石中,基本无法利用选矿的方式直接进行回收,而是需要通过湿法冶金的方式对其进行利用。对于吸附于褐铁矿中的钼,需要通

过酸溶等方式破坏褐铁矿的结构才能将钼释放出来,但成本太高,经济上不可行;而对于吸附于高岭石中的钼,在弱电解质溶液中很容易从高岭石表面游离出来,如通过酸浸或者碱浸即可将高岭石中的钼顺利解吸,且工艺简单,回收成本低。

(3) 矿石氧化程度比较严重,存在20%左右以高岭石为主的黏土矿物,还存在20%左右的褐铁矿,这些矿物在磨矿过程中容易形成矿泥,恶化选矿环境,故需要选择合适的磨矿细度和磨矿方式,尽量避免矿石过磨给有用矿物的分选带来不利影响。

3 结论

(1) 矿样中钼的含量为0.24%,钼的氧化率较高达87.55%。该矿石中钼的赋存状态十分复杂,除了有部分以彩钼铅矿和辉钼矿的形式存在外,还有近一半以吸附态的方式分散于褐铁矿和高岭石中,是一种首次发现的新型钼矿床。

(2) 该矿石中的辉钼矿含量很低,且粒度十分微细,基本都分布于0.015 mm 以下,回收难度较大。彩钼铅矿是矿石中最主要的载钼矿物,虽然粒度不粗,但分布集中,有近80%分布于0.038~0.147 mm,且与其他矿物的嵌布关系简单,因此采用合适的磨矿细度应该能够实现彩钼铅矿较好的解离,重点是要选择合适的捕收药剂实现对彩钼铅矿的高效富集。

(3) 吸附于褐铁矿和高岭石中的钼很难通过选矿的方式直接回收,而是需要采用湿法冶金工艺进行利用。回收褐铁矿中的钼成本太高,经济上不可行,对于吸附于高岭石中的钼,可以考虑采用酸浸或者碱浸工艺进行回收。

(4) 基于上述矿石性质特点,如果要保证钼的回收率,首先需突破对彩钼铅矿回收的技术难关,重点是选择有效的药剂制度实现对彩钼铅矿的捕收;其次,有一部分钼以表面吸附态的形式分布于高岭石中,可通过酸浸或者碱浸的方式将钼从高岭石表面解吸出来。结合矿石中泥质较多的特点,可以考虑在回收彩钼铅矿前,对矿石进行预先脱泥,一方面降低泥质对后续选矿作业的影响,一方面也可以将高岭石进行富集,作为湿法提钼的原料。

参考文献:

- [1] 张亮,杨卉,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] 董延涛.我国钼矿开发利用及产业可持续发展研究[J].现代矿业,2016,32(7):5-7+53.
DONG Y T. Research on the exploitation and utilization and sustainable development of molybdenum industry in China[J]. Modern Mining, 2016, 32(7): 5-7+53.

- [3] LI S L, GAO L H, WANG J C, et al. Polyethylene oxide assisted separation of molybdenite from quartz by flotation[J]. *Minerals Engineering*, 2021, 162: 106765.
- [4] LI M Y, WEI D Z, LIU Q, et al. Flotation separation of copper - molybdenum sulfides using chitosan as a selective depressant[J]. *Mineral Engineering*. 2015. 83: 217 - 222.
- [5] 谢小燕, 邱显扬, 罗传胜. 辉钼矿可浮选性及其捕收剂的研究进展[J]. *中国钼业*, 2013, 37(5): 29 - 33.
XIE X Y, QIU X Y, LUO C S. research progress on floatability of molybdenite and its collectors[J]. *China Molybdenum Industry*, 2013, 37(5): 29 - 33.
- [6] LIU G Y, LU Y P, ZHONG H, et al. A novel approach for preferential flotation recovery of molybdenite from a porphyry copper - molybdenum ore[J]. *Mineral Engineering*. 2012. 36 - 38: 37 - 44.
- [7] 赵平, 张艳娇, 刘广学, 等. 提高氧化钼矿技术指标的选矿试验研究[J]. *矿产保护与利用*, 2007(6): 26 - 28.
ZHAO P, ZHANG Y J, LIU G X, et al. Study on mineral processing experiment of increasing technological index for a molybdenum oxide ores[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2007(6): 26 - 28.
- [8] 肖骏, 李晓东, 陈代雄, 等. 某钼尾矿氧化钼选矿试验研究[J]. *中国钼业*, 2016, 40(1): 7 - 12.
XIAO J, LI X D, CHEN D X, et al. Experimental study on the beneficiation of molybdenum oxide from a molybdenum floatation tailings[J]. *China Molybdenum Industry*, 2016, 40(1): 7 - 12.
- [9] 库建刚, 王安理, 林国梁. 多金属氧化钼矿工艺矿物学及其综合利用技术研究[J]. *福州大学学报(自然科学版)*, 2012, 40(3): 362 - 369.
KU J G, WANG A L, LIN G L. Mineralogical characteristics and comprehensive utilization of polymetallic oxidized molybdenum ore[J]. *Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition)*, 2012, 40(3): 362 - 369
- [10] SCOVIL J A. Wulfenite from China: A pictorial[J]. *Taylor & Francis*, 2019, 94(1): 68 - 69.
- [11] 桑群, 宋宝旭, 董晓蓉, 等. 彩钼铅矿电子结构和暴露面预测的第一性原理计算研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2021(6): 144 - 150.
SANG Q, SONG B X, DONG X R, et al. First - principles study on electronic properties and commonly exposed surfaces of wulfenite crystal[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2021(6): 144 - 150.
- [12] 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]. *China Mining Magazine*, 2009, 18(10): 64 - 66 + 86.
- [13] 曹耀华, 高照国, 刘红召, 等. 难选氧化钼矿提取氧化钼的试验研究[J]. *稀有金属与硬质合金*, 2011, 39(1): 1 - 3 + 7.
CAO Y H, GAO Z G, LIU H Z, et al. Experimental study on the molybdenum oxide extraction from a refractory molybdenum oxide ore[J]. *Rare Metals and Cemented Carbides*, 2011, 39(1): 1 - 3 + 7.
- [14] 赵平, 邵伟华, 张艳娇, 等. 某难选钼矿混合浮选试验研究[J]. *金属矿山*, 2009(9): 98 - 101.
ZHAO P, SHAO W H, ZHANG Y J, et al. Experimental study on the bulk flotation process of refractory molybdenum ore [J]. *Metal Mine*, 2009(9): 98 - 101.
- [15] YIN Z G, SUN WEI, LIU J D, et al. Investigation into the flotation response of refractory molybdenum ore to depressant mixtures: A case study[J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2016, 26(6): 1089 - 1094.
- [16] DU S H, LUO Z F. Flotation technology of refractory low - grade molybdenum ore[J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2013, 23(2): 260 - 265.
- [17] 李再勇, 杨德传, 李媛媛. 贵州省赫章县五里坪钼多金属矿控矿特征和成因研究[J]. *企业技术开发*, 2015, 34(7): 58 - 59 + 69.
Li Z Y, YANG D C, LI Y Y. The characteristics and causes of molybdenum polymetallic ore control in Wuliping Hezhang county of Guizhou province[J]. *Technological Development of Enterprise*, 2015, 34(7): 58 - 59 + 69.
- [18] 邓克勇, 张正荣, 金翔霖. 贵州省赫章县五里坪钼(铅锌)矿地质特征及成因浅析[J]. *贵州地质* 2007(3): 179 - 184.
DENG K Y, ZHANG Z R, JIN X L. Geological Characteristics and Formation Analysis on Wuliping Molybdenum (Pb - Zn) Deposit, Hezhang County, Guizhou Province [J]. *Guizhou Geology*, 2007(3): 179 - 184.
- [19] 黄庆, 王均, 宋振涛, 等. 贵州省五里坪钼多金属矿床地质特征及找矿前景[J]. *世界有色金属*, 2019(16): 82 - 84.
HUANG Q, WANG J, SONG Z T. Geological characteristic and prospecting prospects of the Wuliping molybdenum polymetallic deposit, Guizhou province[J]. *World Nonferrous Metals*, 2019(16): 82 - 84.
- [20] 周乐光. 工艺矿物学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009: 177 - 179.
ZHOU L G. *Process mineralogy* [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2009: 177 - 179.
- [21] 北京矿冶研究院. 化学物相分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1976: 1 - 5.
Beijing general research institute of mining and metallurgy. *Chemical phase analysis* [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1976: 1 - 5.
- [22] 李秀娟. 稀土矿床中彩钼铅矿的选冶新技术及捕收特性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
LI X J. study on the new technology and collecting characteristics of color molybdenum - lead ore in rare earth deposits[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology. 2014.
- [23] 胡真, 宋宝旭, 邹坚坚, 等. 某稀土矿床中伴生彩钼铅矿的综合回收试验研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2013(S1): 124 - 128.
HU Z, SONG B X, ZOU J J, et al. Experimental study on comprehensive recovery of associated molybdenite from a rare earth deposit[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2013(S1): 124 - 128.
- [24] 朱耀平. 某彩钼铅矿的可选性[J]. *有色金属*, 2010, 62(2): 74 - 78.
ZHU Y P. Beneficiation of Certain Color Wulfenite [J]. *Nonferrous Metals*, 2010, 62(2): 74 - 78.
- [25] 刘燕, 曹亮, 张文, 等. 从彩钼铅矿中提取钼的研究现状[J]. *中国钼业*, 2021, 45(4): 1 - 4.
LIU Y, CAO L, ZHANG W, et al. Research Status of Molybdenum Extraction from Wulfenite[J]. *China Mining Magazine*, 2021, 45(4): 1 - 4.
- [26] ALVAREZ A, GUTIERREZ L, LASKOWSKI J S. Use of polyethylene oxide to improve flotation of fine molybdenite[J]. *Mineral Engineering*, 2018, 127: 232 - 237.

The Study of Mo Occurrence State in a New Type of Molybdenum Deposit and Its Influence on Mineral Processing

FU Qiang^{1,2}, WANG Jun³, JIA Muxin^{1,2}, WEN Ligang^{1,2}, WANG Qing^{1,2}

1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China;

2. State Key Laboratory of Process Automation in Mining & Metallurgy, Beijing 100160, China;

3. Guizhou Provincial Bureau of Geology and mineral resources geology 113 Brigade, Liupanshui 553000, China

Abstract: The ore property of Wuliping molybdenum polymetallic deposit in northwest Guizhou is complex, while the recovery index of molybdenum is not ideal. The means of mineral automatic analysis system (BPMA), electron probe micro analysis (EPMA) and chemical phase analysis has been utilized to study ore property and Mo occurrence state in the ore. The results show that molybdenum mainly exists in the form of independent mineral such as Wulfenite and Molybdenite; while 32.37% of Mo exists in limonite as well as 12.03% exists in kaolinite in the form of adsorption. This part of molybdenum is difficult to recover by beneficiation, and needs to be utilized by hydrometallurgical process. However, the cost of molybdenum recovery from limonite by hydrometallurgical process is too high and economically infeasible. Molybdenum adsorbed in kaolinite can be recovered by acid leaching or alkali leaching process. The discovery of this adsorbed molybdenum deposit is the first case in nature, which will enrich the prospecting theory in this area and lay a foundation for the optimal utilization of molybdenum resources.

Keywords: molybdenum deposit; adsorbed state; process mineralogy; occurrence state; BPMA; beneficiation; wulfenite; molybdenite

引用格式:付强,王均,贾木欣,温利刚,王清.一种新型钼矿床中钼的赋存状态及对选矿工艺的影响[J].矿产保护与利用,2022,42(1): 123-128.

FU Qiang, WANG Jun, JIA Muxin, WEN Ligang, WANG Qing. The study of Mo occurrence state in a new type of molybdenum deposit and its Influence on mineral processing[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2022, 42(1): 123-128.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn