



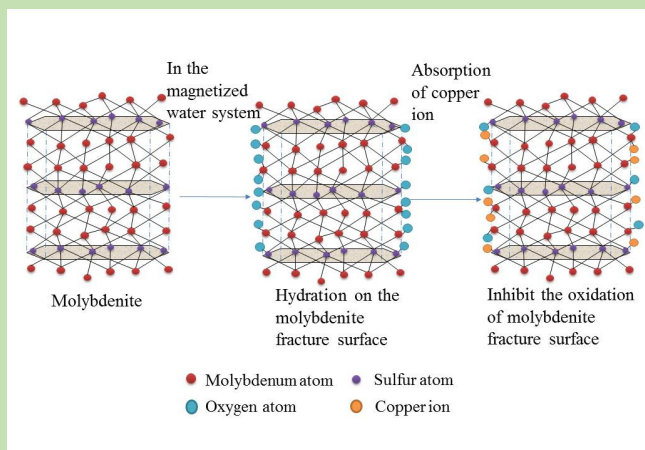
Effect of Cu^{2+} on improvement of molybdenite floatability in magnetized distilled water

Jingwen XUN¹, Yubin WANG^{1*}, Xiao WANG², Zhen WANG¹, Yan WANG¹

1. School of Resources Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China

2. College of Material & Chemical Engineering, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan, Henan 467036, China

Abstract: Magnetized water can improve the flotation behaviors of sulfide minerals such as molybdenite effectively, but the beneficiation index was unstable in flotation process of molybdenite by use of magnetized water. In order to investigate the effect of Cu^{2+} on the improvement molybdenite floatability in magnetized distilled water, different samples were characterized by means of the flotation test of pure molybdenite, Zeta potential, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive spectrometer (EDS). The results showed that the floatability of molybdenite in magnetized distilled



water was improved with the addition of copper ion when the amount of kerosene was 160 mg/L and the amount of 2[#] oil was 80 mg/L. Furthermore, the molybdenite recovery rate reached 83.06% when the concentration of dissolved copper ion in magnetized distilled water was 320 mg/L. Compared with Cu^{2+} concentration of 0 mg/L, the flotation recovery rate of molybdenite increased by 3.14 percentage point. The Zeta potential of molybdenite in magnetized distilled water obviously increased positively direction because Cu^{2+} and $\text{Cu}(\text{OH})^+$ adsorbed on the surface of molybdenite. The Zeta potential of molybdenite increased with the increase of copper ions dosage which was beneficial to the adsorption of kerosene on molybdenite surface in local positive charge. The Cu^{2+} and $\text{Cu}(\text{OH})^+$ adsorbed on the fracture surface of molybdenite interacted with MoO_4^{2-} in magnetized distilled water formed copper molybdate which covered on molybdenite surface, which decreased amount and reaction probability of reactive molybdenum and sulfur on molybdenite surface then inhibited the oxidation of molybdenum and sulfur elements on molybdenite fracture surface and the dissolution reaction of molybdenum oxide into solution. Therefore it highly improved the flotation behaviors of molybdenite. This work provided a certain theoretical basis for improving the flotation efficiency of molybdenite with magnetized water, and it also provided some degree of reference for the application of magnetized water in the process of ore.

Key words: magnetized distilled water; molybdenite; copper ion; improvement efficiency

收稿: 2019-04-29, 修回: 2019-07-10, 网络发表: 2019-08-13, Received: 2019-04-29, Revised: 2019-07-10, Published online: 2019-08-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 51674184); 河南省水体污染防治与修复重点实验室开放基金资助项目(编号: GJSP2018005)

作者简介: 荀婧雯(1995-), 女, 陕西省西安市人, 硕士研究生, 研究方向: 矿物加工工程, E-mail: 405248370@qq.com; 王宇斌, 通讯联系人, E-mail: wangyubin1972@sohu.com.

引用格式: 荀婧雯, 王宇斌, 汪潇, 等. Cu^{2+} 对磁化蒸馏水改善辉钼矿浮选效果的影响. 过程工程学报, 2020, 20(3): 332-337.

Xun J W, Wang Y B, Wang X, et al. Effect of Cu^{2+} on improvement of molybdenite floatability in magnetized distilled water (in Chinese). Chin. J. Process Eng., 2020, 20(3): 332-337, DOI: 10.12034/j.issn.1009-606X.219198.

Cu^{2+} 对磁化蒸馏水改善辉钼矿浮选效果的影响

荀婧雯¹, 王宇斌^{1*}, 汪潇², 王真¹, 王妍¹

1. 西安建筑科技大学资源工程学院, 陕西 西安 710055

2. 河南城建学院材料与化工学院, 河南 平顶山 467036

摘要: 通过单矿物浮选实验、Zeta 电位测试及 X 射线光电子能谱(XPS)、扫描电子显微镜(SEM)和能谱(EDS)分析, 研究了 Cu^{2+} 对磁化蒸馏水改善辉钼矿浮选效果的影响。结果表明, 用磁化蒸馏水浮选时, 在煤油用量 160 mg/L 及 2[#]油用量 80 mg/L 的条件下, Cu^{2+} 浓度为 320 mg/L 时辉钼矿回收率可达 83.06%, 比 Cu^{2+} 浓度为 0 时的回收率增加了 3.14 个百分点, Cu^{2+} 对磁化蒸馏水改善辉钼矿浮选效果的影响较小。 Cu^{2+} 和 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 吸附在辉钼矿表面使其 Zeta 电位正向增大, 有利于煤油在辉钼矿表面的吸附。辉钼矿表面上吸附的 Cu^{2+} 和 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 与溶液中的 MoO_4^{2-} 反应生成 CuMoO_4 沉淀并覆盖在辉钼矿断裂面上, 抑制了辉钼矿断裂面上钼元素和硫元素的氧化反应及氧化钼溶解, 最终对磁化蒸馏水改善辉钼矿浮选效果有积极影响。

关键词: 磁化蒸馏水; 辉钼矿; 铜离子; 改善效果

中图分类号: TD952; TD913

文献标识号: A

文章编号: 1009-606X(2020)03-0332-06

1 前言

磁化预处理可增加浮选药剂的作用程度和选择性, 同时可加快矿物的选别过程, 还能减少药剂消耗量^[1-7], 对矿物的浮选效果及矿山环境有重要影响。邱廷省等^[8]的研究表明黄药溶液经磁化处理后吸光度增加, 有利于其与黄铜矿作用, 有效提高黄铜矿的回收率。但磁化后的黄药溶液不易保存导致药效消失过快, 最终造成浮选指标不稳定。黄向阳^[9]的研究表明磁化矿浆可增大硫化矿物表面疏水性, 提高其可浮性。边炳鑫等^[10,11]的研究表明矿浆磁化预处理可提高煤的疏水性及可浮性, 可强化煤泥的浮选脱硫降灰效果。但浮选工艺处理的矿浆量较大, 所需磁化设备投资成本也较大, 导致该技术在选矿生产实践中难以推广利用。目前, 关于磁化预处理煤油提高辉钼矿浮选效果的研究鲜见报道。鉴于此, 本课题组前期围绕用磁化水和煤油提高辉钼矿浮选指标进行了研究^[12,13], 结果表明该技术可提高辉钼矿回收率约 1 个百分点, 实验室指标较好。但后期现场应用中辉钼矿的回收率波动较大, 生产中所用的硫酸铜、水玻璃和硫化钠等多种调整剂对磁化水提高辉钼矿浮选效果有一定影响。因此, 本工作以磁化蒸馏水为浮选介质, 针对辉钼矿纯矿物在磁化蒸馏水中的浮选行为, 研究了铜离子对磁化水改善浮选辉钼矿可浮性的影响及机理, 以期利用磁化水提高辉钼矿浮选效果提供一定的理论依据。

2 实验

2.1 原料及药剂

辉钼矿单矿物取自河南某钼矿, 经手选、破碎、磨矿后筛取 0.038~0.150 mm 粒级的产品混匀后密封保存作为实验原料, 其 XRD 谱如图 1 所示。可以看出, 原料的特征吸收峰尖锐, 与 MoS_2 的特征衍射峰基本吻合, 且基本无其它物相的特征衍射峰, 结合化学分析可知其纯度高达 98%以上, 可作为纯矿物浮选原料。

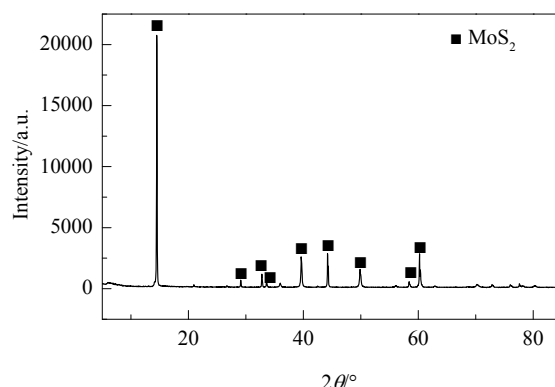


图1 辉钼矿的 XRD 谱

Fig.1 XRD pattern of molybdenite

浮选用水为磁化蒸馏水(在磁感应强度 160 kA/m 磁场中磁化 5 min 的蒸馏水), 煤油(工业级, 广州永齐化工贸易有限公司), 2[#]油(工业级, 山东正丰如实业有限公司)作为起泡剂, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (分析纯, 上海程欣实业有限公司)。

2.2 实验及检测方法

2.2.1 浮选实验

单矿物浮选实验在 XFD 型挂槽式浮选机(武汉洛克粉磨设备制造有限公司)中进行。称取 2 g 单矿物矿样,加入 50 mL 磁化蒸馏水,依次加入 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、煤油和 2#油并分别搅拌 2 min,充气 20 s 后浮选 3 min。将泡沫产品和槽内产品分别过滤、烘干并称重,计算单矿物的回收率(泡沫产品质量与泡沫产品和槽内产品质量总和的比值)。

2.2.2 检测方法

用 Delsa-440SX 型动电电位仪(美国 Beckman Coulter 公司)测定在磁化蒸馏水体系中辉钼矿表面的 Zeta 电位,每组实验测量 5 次,取平均值。

用 K-Alpha 型 X 射线光电子能谱仪(XPS, 英国 Thermo Fisher Scientific 公司)对不同辉钼矿样品粉末进行分析, Al 靶发射,激发源能量 1436.8 eV,分析面积 $400 \mu\text{m}^2$,分辨率 0.1 eV,真空度 3×10^{-10} kPa,用真空室中的污染碳(C1s284.6 eV)进行标定。

用 Quanta 冷场发射扫描电镜(SEM, 美国 FEI 公司)观察样品形貌,并结合 EDS 分析样品表面的元素种类及相对原子含量,加速电压 15 kV。

3 结果与讨论

3.1 Cu^{2+} 浓度对辉钼矿浮选行为的影响

为对比不同水质体系中 Cu^{2+} 浓度对辉钼矿浮选行为的影响,在煤油用量 160 mg/L 及 2#油用量 80 mg/L 条件下进行辉钼矿浮选,结果如图 2 所示。可以看出, Cu^{2+} 浓度为 0 时,磁化蒸馏水体系中辉钼矿回收率为 79.92%,而蒸馏水体系中辉钼矿回收率仅为 55.64%,可见磁化蒸馏水可明显改善辉钼矿的浮选效果。随磁化

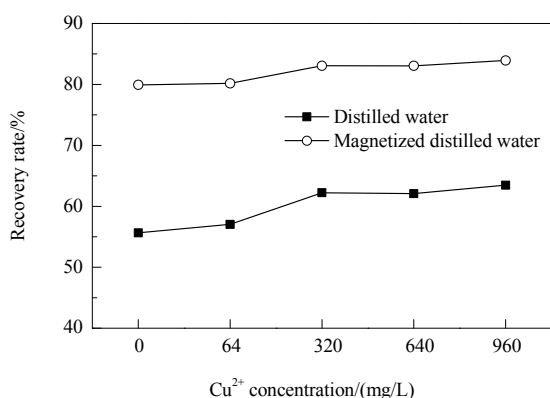


图2 Cu^{2+} 浓度对辉钼矿浮选行为的影响

Fig.2 Effect of Cu^{2+} concentration on recovery rate of molybdenite

蒸馏水体系中的 Cu^{2+} 浓度增大,辉钼矿回收率也逐渐增大。 Cu^{2+} 浓度为 320 mg/L 时,辉钼矿回收率达 83.06%,比 Cu^{2+} 浓度为 0 时增加了 3.14 个百分点,继续增大 Cu^{2+} 浓度,辉钼矿回收率基本不变,表明磁化蒸馏水可改善辉钼矿浮选效果, Cu^{2+} 对磁化蒸馏水改善辉钼矿浮选效果的有积极作用。

3.2 Cu^{2+} 溶液的化学分析

为了解溶液中 Cu^{2+} 的赋存状态与 pH 值的关系,计算了不同 pH 值下 Cu^{2+} 各赋存状态的分布系数,结果如图 3 所示。可以看出, Cu^{2+} 在溶液中赋存形式较多, $4 < \text{pH} < 10$ 时, Cu^{2+} 含量随 pH 值增大逐渐减小,而 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 含量逐渐增大,同时 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 含量先增大后减小。 $\text{pH} > 9$ 时,溶液中开始生成 $\text{Cu}(\text{OH})_3^-$ 和 $\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$,其中 $\text{Cu}(\text{OH})_3^-$ 含量随 pH 值增大先增大后减小, $\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$ 含量随 pH 值增大而增大。本实验所用的磁化蒸馏水 $\text{pH}=6.25$,所以溶液中的主要成分为 Cu^{2+} , $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 和 $\text{Cu}(\text{OH})_2$,且 Cu^{2+} 占优势。

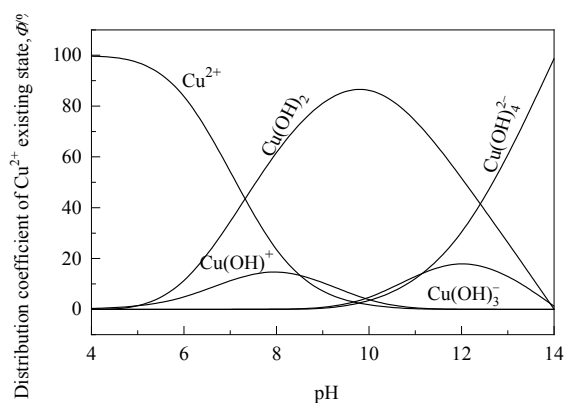


图3 Cu^{2+} 赋存状态的分布系数与溶液 pH 值的关系

Fig.3 Relationship of distribution coefficient of Cu^{2+} existing state with solution pH value

3.3 辉钼矿的表面 Zeta 电位

为探究磁化蒸馏水体系中 Cu^{2+} 浓度对辉钼矿的表面 Zeta 电位的影响,在 $\text{pH}=6.25$ 时检测了不同浓度 Cu^{2+} 作用下辉钼矿的表面 Zeta 电位,结果如图 4 所示。可以看出,在磁化蒸馏水中辉钼矿颗粒的表面 Zeta 电位均为负值,且随溶液中 Cu^{2+} 浓度增大逐渐正向增大,绝对值逐渐减小。 Cu^{2+} 浓度为 640 mg/L 时,辉钼矿表面 Zeta 电位达最大值 -2.04 mV。当 $\text{pH}=6.25$ 时, Cu^{2+} 在溶液中主要以 Cu^{2+} , $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 和 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 形式存在,其中, Cu^{2+} 和 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 可通过静电作用吸附在辉钼矿表面,使其表面 Zeta 电位正向增大。由于煤油主要通过静电作用吸附

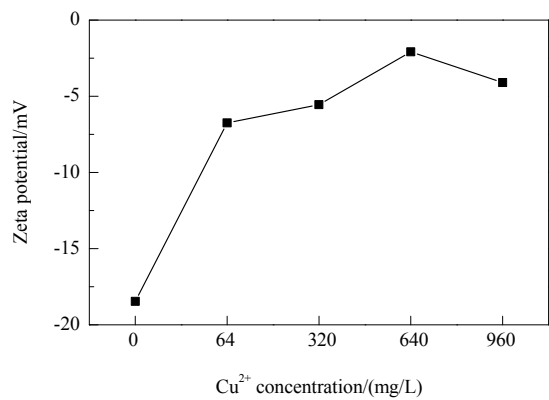


图 4 Cu^{2+} 浓度对辉钼矿表面 Zeta 电位的影响
Fig.4 Effect of Cu^{2+} concentration on Zeta potential of molybdenite surface

在辉钼矿上,且在水溶液中可优先吸附羟基使其表面带负电^[14],所以煤油更易吸附在携带更多正电荷的辉钼矿表面上,故辉钼矿 Zeta 电位正向增大有利于煤油的吸附,提高辉钼矿浮选回收率。

3.4 辉钼矿的 XPS 分析

对磁化蒸馏水中的辉钼矿进行了 XPS 分析,结果如图 5 所示。可以看出,经磁化蒸馏水和 Cu^{2+} 作用后,辉钼矿表面主要有钼、硫、铜、氧等元素,其含量见表 1。可知,与只有磁化蒸馏水作用的辉钼矿相比,经磁化蒸馏水及 Cu^{2+} 作用后的辉钼矿表面钼元素的相对含量增加了 2.79 个百分点,硫元素增加了 2.97 个百分点,氧元素减少了 0.76 个百分点。

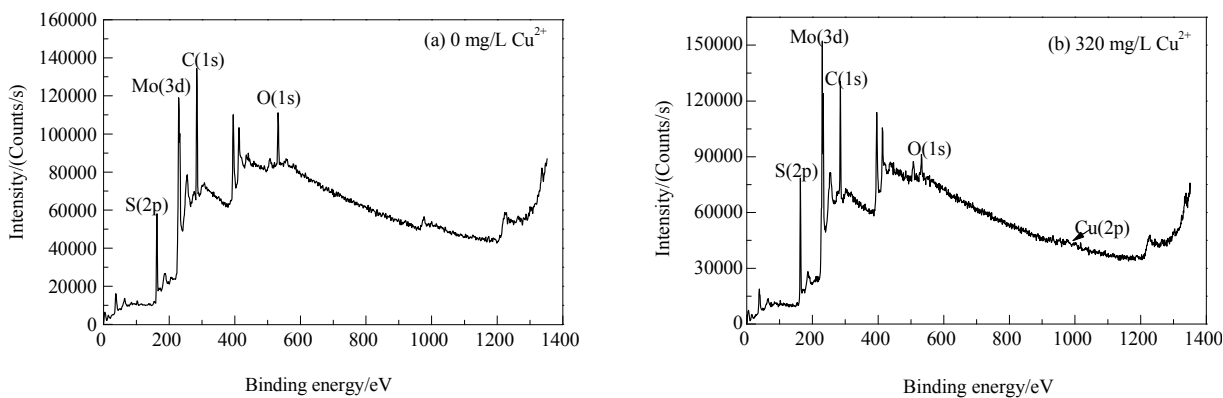


图 5 磁化蒸馏水中辉钼矿的 XPS 谱
Fig.5 XPS spectra of molybdenite in magnetized distilled water

表 1 磁化蒸馏水中辉钼矿表面不同元素的相对含量
Table 1 Relative content of elements on molybdenite surface in magnetized distilled water

Cu^{2+} concentration/(mg/L)	Relative content/%				
	Mo	O	S	Cu	C
0	14.53	8.78	29.73	—	46.96
320	17.32	8.02	32.70	0.13	41.83

辉钼矿表面不同元素的电子结合能见表 2。可以看出,经磁化蒸馏水和 Cu^{2+} 作用后,辉钼矿表面各元素的结合能发生了变化,其中钼元素的结合能增加了 0.68 eV,而氧元素的结合能减少了 0.95 eV,表明吸附在辉钼矿表面的 Cu^{2+} 和 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 与溶液中的 MoO_4^{2-} 发生化学反应生成了 CuMoO_4 沉淀,并覆盖在辉钼矿表面,即在磁化蒸馏水体系中 Cu^{2+} 和 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 在辉钼矿表面的吸附可改变辉钼矿表面钼元素和氧元素的化学环境^[15]。

为进一步了解钼元素在辉钼矿表面的存在形态,对不同辉钼矿中钼元素的结合能进行了分峰拟合处理,结果如图 6 所示。各形态钼的分布比例见表 3。由

表 2 磁化蒸馏水中辉钼矿表面不同元素的电子结合能
Table 2 Electron binding energy of elements on molybdenite surface in magnetized distilled water

Cu^{2+} concentration/(mg/L)	Electron binding energy/eV			
	Mo(3d)	O(1s)	S(2p)	Cu(2p)
0	229.34	532.09	162.14	—
320	230.02	531.14	163.02	953.30

图和表可知,经磁化蒸馏水作用后,辉钼矿表面含 Mo-S 及 Mo-O-S 键,加入 Cu^{2+} 后,其表面新增了 Cu-Mo-O 键,Mo-S 键相对含量增加了 18.41 个百分点,Mo-O-S 键的相对含量减少了 23.11 个百分点。这是由于吸附在辉钼矿表面的 Cu^{2+} 和 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 与溶液中的 MoO_4^{2-} 反应生成的 CuMoO_4 沉淀覆盖在辉钼矿断裂面上,使辉钼矿断裂面上暴露的钼元素和硫元素活性点减少,抑制了二者与溶液中氧气的氧化反应。

3.5 辉钼矿的 SEM 及 EDS 分析

为对比辉钼矿不同晶面的元素含量差异,对其不同断裂面和解理面部分区域进行了 SEM 和 EDS 检测,

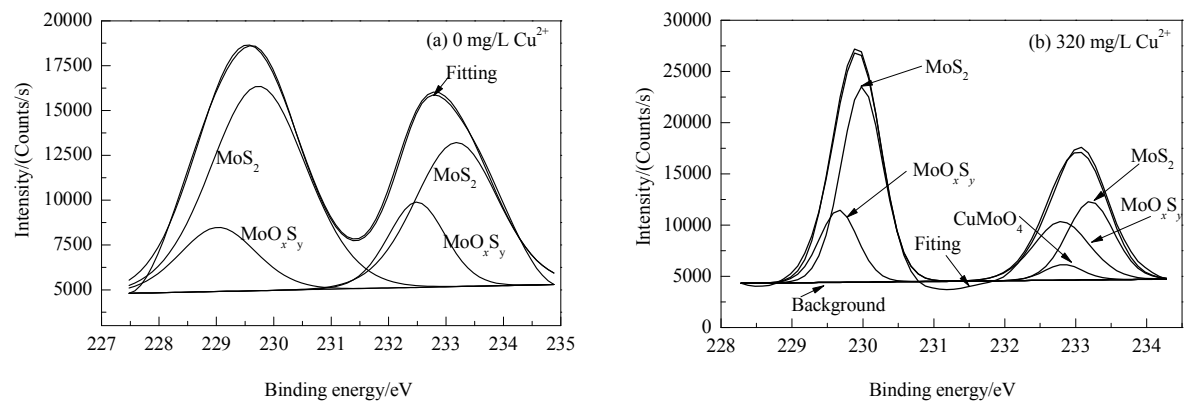


图 6 磁化蒸馏水中钼元素的分峰拟合图
Fig.6 Peak fitting charts of molybdenum in magnetized distilled water

表 3 磁化蒸馏水中各形态 Mo 的分峰拟合比例
Table 3 The ratio of peak fitting of different Mo forms in magnetized distilled water

Cu ²⁺ concentration/(mg/L)	Electron binding energy/eV	Peak area				Area ratio/%		
		Total	MoS ₂	Mo-O-S	CuMoO ₄	MoS ₂	Mo-O-S	CuMoO ₄
0	229.34	37698.81	14940.80	22758.01	—	39.63	60.37	—
320	230.02	31997.92	18570.02	11923.95	1503.95	58.04	37.26	4.70

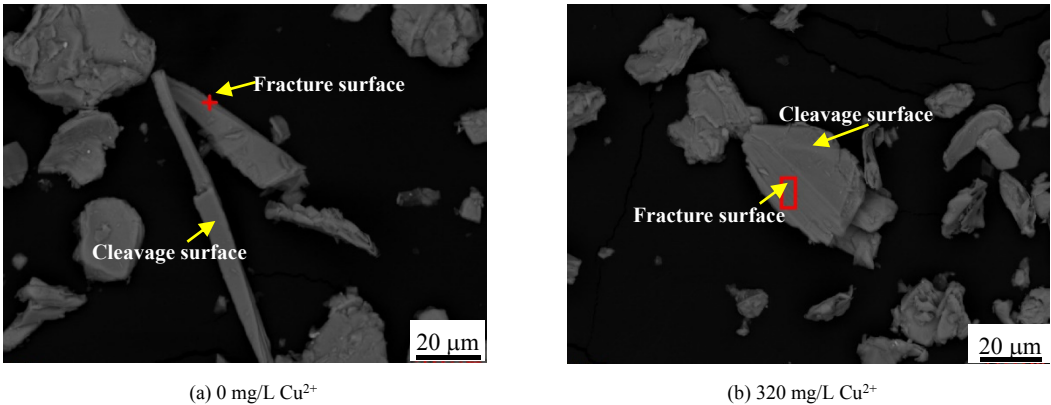


图 7 磁化蒸馏水中辉钼矿的 SEM 照片
Fig.7 SEM images of molybdenite in magnetized distilled water

分别如图 7 和表 4 所示。由表 4 可知，辉钼矿断裂面 100%，断裂面上其含量相对较少。断裂面上 Mo 含量较多，O 含量相对较少。与无 Cu²⁺ 时相比，经磁化蒸馏水和 Cu²⁺ 作用后的辉钼矿断裂面上 Mo 含量提高了 15.73 个百分点，S 含量减少了 14.65 个百分点，O 含量减少了 1.23 个百分点。原因是在磁化蒸馏水中辉钼矿断裂面上的 S 可被蒸馏水中的氧气氧化生成 SO₄²⁻ 溶于水中，而 Mo 则与钼氧化物水解生成 MoO₄²⁻。CuMoO₄ 沉淀覆盖在辉钼矿断裂面上屏蔽了断裂面上的钼元素及硫元素与氧气的氧化反应，从而抑制辉钼矿断裂面钼元素氧化及氧化钼在蒸馏水中溶解，最终使表面钼元素含量增大而氧元素含量减少。

表 4 磁化蒸馏水中辉钼矿不同晶面的 EDS 分析结果
Table 4 EDS analysis results of different crystal faces of molybdenite in magnetized distilled water

Cu ²⁺ concentration/ (mg/L)	Crystal face	Content/wt%			
		Mo	S	Cu	O
0	Fracture surface	60.05	30.69	—	9.26
	Cleavage surface	—	100.00	—	—
320	Fracture surface	75.78	16.04	0.14	8.03
	Cleavage surface	—	100.00	—	—

4 结 论

通过单矿物浮选实验、Zeta 电位测试、X 射线光电

子能谱(XPS)分析及扫描电子显微镜(SEM)和能谱(EDS)分析,研究了 Cu^{2+} 对磁化蒸馏水改善辉钼矿浮选效果的影响,得出以下结论:

(1) Cu^{2+} 对磁化蒸馏水改善辉钼矿的浮选效果的影响较小。在磁化蒸馏水体系中,煤油用量 160 mg/L 及 2[#]油用量 80 mg/L 的条件下, Cu^{2+} 浓度为 320 mg/L 时辉钼矿回收率为 83.06%, 比不加 Cu^{2+} 时提高了 3.14 个百分点。

(2) 辉钼矿表面的 Zeta 电位在磁化蒸馏水中均为负值,溶液中的 Cu^{2+} 和 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 吸附在辉钼矿表面使辉钼矿表面 Zeta 电位正向增大,有利于辉钼矿与煤油间的吸附,提高辉钼矿的疏水性和可浮性,改善其浮选指标。

(3) 在磁化蒸馏水体系中吸附在辉钼矿断裂面上的 Cu^{2+} 和 $\text{Cu}(\text{OH})^+$ 与溶液中的 MoO_4^{2-} 反应生成 CuMoO_4 沉淀,并覆盖在辉钼矿断裂面上,抑制了辉钼矿断裂面钼元素和硫元素的氧化反应及氧化钼在溶液中的溶解反应,使辉钼矿表面的 Mo-S 键的相对含量增大而 Mo-O-S 键的相对含量减小,这是铜离子对磁化水改善辉钼矿可浮性有积极作用的根本原因。

参考文献

- [1] 黄向阳,王中海,罗小苟,等.磁浮选技术在选矿中的应用[J].矿业快报,2007,(5):84-85,90.
Huang X Y, Wang Z H, Luo X G, et al. The application of magnetic treatment technique on flotation[J]. Express Information of Mining Industry, 2007, (5): 84-85, 90.
- [2] 陈锋,张忠辉,张良林,等.选矿中磁处理技术研究现状[J].现代矿业,2010,26(2):22-24.
Chen F, Zhang Z H, Zhang G L, et al. Research on situation of magnetic treatment technology of mining[J]. Modern Mining, 2010, 26(2): 22-24.
- [3] 邹健.磁化浮选的发展与探讨[C]//中国金属学会.中国钢铁年会论文集.北京:中国金属学会.1997:1.
Zou J. Development and investigation of magnetic flotation[C]//The Chinese Society for Metals. Proceeding of China Iron & Steel Annual Meeting. Beijing: The Chinese Society for Metals. 1997: 1.
- [4] 朱巨建,李晓安,陈炳辰.磁化处理技术的发展及其在矿物浮选中的应用[J].国外金属矿山,1997,(3):52-56.
Zhu J J, Li X A, Chen B C. The development and application of magnetic treatment technique on flotation[J]. Foreign Metal Mining Magazine, 1997, (3): 52-56.
- [5] 杨益彬.磁化处理技术在矿物加工中的应用[J].能源与节能,2018,(6):126-127.
Yang Y B. Application of magnetization treatment technology in mineral processing[J]. Energy and Energy Conservation, 2018, (6): 126-127.
- [6] 邱廷省,崔立凤,方夕辉.磁处理技术在矿物加工中的应用研究进展[J].金属矿山,2008,(12):1-4,8.
Qiu T S, Cui L F, Fang X H. Progress in the application research of magnetic treatment technology in mineral processing[J]. Metal Mine, 2008, (12): 1-4, 8.
- [7] 徐秋生.磁化烃油选钼实验研究[J].金属矿山,2006,(9):53-54.
Xu Q S. Research on hydrocarbon oil magnetization for molybdenum separation[J]. Metal Mine, 2006, (9): 53-54.
- [8] 邱廷省,崔立凤,方夕辉.磁化对浮选药剂及浮选过程的影响[J].中国有色金属学报,2009,19(7):1338-1344.
Qiu T S, Cui L F, Fang X H. Effect of magnetization on flotation reagents and process[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2009, 19(7): 1338-1344.
- [9] 黄向阳.水系磁处理在硫化铜矿浮选过程中的影响研究[D].赣州:江西理工大学,2008:8-10.
Huang X Y. The Influence about sulfide copper flotation by magnetization[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2008: 8-10.
- [10] 边炳鑫,陈清如,韦鲁滨.浮选矿浆的磁化处理效应和机理研究[J].煤炭学报,2004,(1):97-100.
Bian B X, Chen Q R, Wei L B. Study on flotation pulp's magnetization effect and mechanism[J]. Journal of China Coal Society, 2004, (1): 97-100.
- [11] 边炳鑫,陈清如,韦鲁滨.药剂磁化处理对煤泥浮选效果影响的研究[J].中国矿业大学学报,2004,(3):109-112.
Bian B X, Chen Q R, Wei L B. Research on coal slime flotation using magnetized agents[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, (3): 109-112.
- [12] 王真,何廷树,王宇斌,等.磁化水改善钼粗选作业回收率实验研究[J].矿业研究与开发,2018,38(9):72-74.
Wang Z, He T S, Wang Y B, et al. Experimental study on magnetized water improving the recovery rate of molybdenum by roughing[J]. Mining Research and Development, 2018, 38(9): 72-74.
- [13] 何廷树,石旭,李慧,等.磁化改性煤油对洛阳某钼矿石低温浮选指标的影响[J].金属矿山,2017,(6):99-103.
He T S, Shi X, Li H, et al. Influence of magnetized kerosene on flotation index of molybdenum ore from Luoyang at low temperature[J]. Metal Mine, 2017, (6): 99-103.
- [14] 魏桢伦,李育彪.辉钼矿晶面各向异性及其对浮选的影响机制[J].矿产保护与利用,2018,(3):31-36.
Wei Z L, Li Y B. Anisotropy of molybdenite surface and its effects on flotation mechanism[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018, (3): 31-36.
- [15] 崔林,李锐.光电子能谱在选矿工艺矿物学上的应用[J].化工矿山技术,1987,(4):26-31.
Cui L, Li R. Application of X-ray photoelectron spectroscopy on technological mineralogy of beneficiated products[J]. Industrial Minerals & Processing, 1987, (4): 26-31.