



Fe³⁺对蓝辉铜矿浮选行为的影响及机理

马英强^{1,2}, 黄发兰^{1,2}, 印万忠¹, 唐 远³, 张书超¹

- (1. 福州大学 紫金矿业学院, 福州 350116;
2. 紫金矿业集团股份有限公司, 上杭 364200;
3. 东北大学 资源与土木工程学院, 沈阳 110819)

摘 要: 通过单矿物浮选试验、浮选溶液化学计算和红外光谱分析的方法, 考察丁铵黑药浮选体系中 Fe³⁺对蓝辉铜矿可浮性的影响。结果表明: Fe³⁺可强烈抑制蓝辉铜矿的浮选, 且氢氧化铁沉淀是其抑制蓝辉铜矿浮选的有效组分。适量的柠檬酸钠能使蓝辉铜矿表面的氢氧化铁沉淀解吸, 有利于丁铵黑药在蓝辉铜矿表面的吸附, 从而活化蓝辉铜矿的浮选。

关键词: 蓝辉铜矿; Fe³⁺; 柠檬酸钠; 浮选

文章编号: 1004-0609(2018)-04-0817-06

中图分类号: TD923

文献标志码: A

在矿物磨矿-浮选过程中, 矿浆溶液中总有一些难免金属离子存在, 如 Cu²⁺、Fe²⁺、Fe³⁺、Ca²⁺等, 这些离子一方面来源于浮选剂(抑制剂或活化剂)的解离, 另一方面来源于矿物的溶解或水中本身就存在这些离子^[1-2]。矿浆溶液中金属离子的赋存状态及其物理化学行为常常显著影响矿物的浮选过程^[3]。魏明安等^[4]发现在乙基硫胺浮选体系中, 矿浆中 Ca²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺、Fe³⁺、Cu²⁺、Zn²⁺和 Al³⁺等难免金属离子对黄铜矿的浮选基本没有影响, 而 Cu⁺对方铅矿的浮选起活化作用, Fe²⁺、Fe³⁺、Cu²⁺、Zn²⁺和 Al³⁺对方铅矿的浮选起抑制作用, Ca²⁺和 Mg²⁺对方铅矿的浮选则基本不起作用。FORNASIERO 等^[5]研究发现, 以黄药为捕收剂, 在 pH 为 7~10 范围内, Cu²⁺和 Ni²⁺对绿泥石、利蛇纹石以及石英的浮选均有活化作用, 并指出 Cu²⁺和 Ni²⁺的氢氧化物沉淀在矿物表面的形成促进了黄药的吸附, 从而使这些矿物上浮, 并且在这个 pH 值范围内, Cu²⁺的活化作用较 Ni²⁺强。蒋世鹏等^[6]以硫化钠为硫化剂, 研究硫化过程中不同条件下 Cu²⁺、Pb²⁺、Zn²⁺对菱锌矿可浮性的影响。发现常温条件下, 硫化钠难以对菱锌矿表面进行有效硫化, 而金属离子的加入可使硫化过程得到显著改善。菱锌矿的可浮性在金属离子浓度接近于硫化剂浓度时达到最好, 且 Cu²⁺、Pb²⁺的作用效果优于 Zn²⁺, 其作用后的菱锌矿可浮性较稳定。Cu²⁺/Pb²⁺与硫化后的菱锌矿表面生成的 ZnS

发生反应生成 CuS/PbS, 因而使硫化过程得到强化, 有利于捕收剂在矿物表面的吸附。

上述研究多涉及金属离子对常见的硫化矿、氧化矿及硅酸盐矿物浮选的影响, 而对蓝辉铜矿浮选行为的影响则鲜有报道。蓝辉铜矿是紫金山金铜矿矿区最主要的硫化铜矿物, 在生产现场以丁铵黑药作为该矿物浮选的捕收剂, 而 Fe³⁺是蓝辉铜矿磨矿-浮选体系中常见的难免金属离子, 对蓝辉铜矿的浮选存在重要的影响。因此, 研究 Fe³⁺存在条件下硫化矿浮选体系中捕收剂丁铵黑药浮选蓝辉铜矿的行为规律, 并分析其作用机理, 对优化蓝辉铜矿的浮选具有重要意义。

1 实验

1.1 试样和试剂

试验所用蓝辉铜矿取自福建省紫金山金铜矿矿区。人工选取纯度高的矿块, 用外包洁净白布的铁锤锤碎至粒径<3 mm, 手选提纯, 后用瓷球磨磨细, 筛分得到 45~150 μm 粒级试样, 储存在磨口瓶中备用。取样经化学分析和 X 射线衍射物相分析(XRD, 如图 1 所示)可知, 蓝辉铜矿(Cu₉S₅)含铜 73.18%, 纯度为 93.70%, 符合纯矿物试验要求。

试验所用捕收剂为丁铵黑药(一级品), 起泡剂为

MIBC(分析纯), pH 调整剂为 HCl 或 NaOH(分析纯), Fe^{3+} 由 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (分析纯)溶解获得, 试验用水为一次蒸馏水。

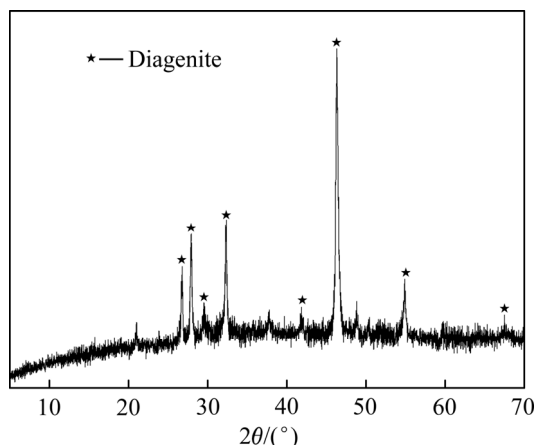


图1 蓝辉铜矿的 XRD 谱

Fig. 1 XRD pattern of digenite

1.2 单矿物浮选试验

单矿物浮选试验在 XRF 浮选机上进行。每次称取 2 g 蓝辉铜矿矿样于 40 mL 浮选槽中, 加入适量 0.5% 的稀盐酸并用超声波振荡 1 min, 倒去上清液, 再加入蒸馏水超声波清洗两次, 之后进行后续浮选试验, 试验流程如图 2 所示。浮选结束后, 将泡沫产品和槽中产品分别烘干称量, 计算回收率。

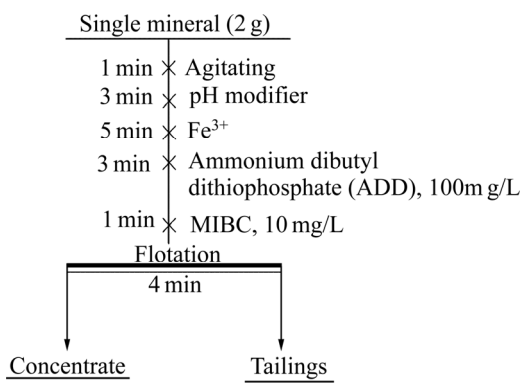


图2 单矿物浮选试验流程

Fig. 2 Flowsheet of single mineral flotation test

1.3 红外光谱分析

红外光谱分析采用溴化钾压片法。试验步骤为: 将粒径小于 45 μm 的蓝辉铜矿纯矿物用玛瑙研钵研磨至粒径小于 5 μm , 称取 1 g 加入 40 mL 浮选槽中, 先加入适量稀盐酸超声波清洗 1 次, 再加适量蒸馏水超声波清洗 2 次, 倒去上清液之后添加适量蒸馏水并搅

拌 1 min, 调节 pH 值至 10 后加入过量的预定药剂, 搅拌 30 min 后过滤, 并用相同 pH 值的蒸馏水冲洗 3 次, 所得样品自然风干。丁铵黑药金属盐的制备: 称取一定量的金属离子的可溶性盐, 溶解于浓度为 1 g/L 的丁铵黑药溶液中, 此时有沉淀析出, 经过滤、洗涤后干燥。所有样品均采用美国尼高力 360 智能型红外光谱仪进行红外光谱测试。

2 结果与分析

2.1 Fe^{3+} 对蓝辉铜矿浮选的影响

在丁铵黑药浮选体系中研究在丁铵黑药浮选体系中, Fe^{3+} 对蓝辉铜矿可浮性的影响, 其结果如图 3 所示。

从图 3 可以看出, 蓝辉铜矿的自然可浮性较好, 在矿浆 $\text{pH} > 4$ 时, 其回收率达到 70% 以上。而 Fe^{3+} 对丁铵黑药浮选蓝辉铜矿有较强的抑制作用。当 Fe^{3+} 用量为 $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 时, 在 pH 为 4~9 范围内, 蓝辉铜矿的回收率急剧下降, 当 $\text{pH} = 8.91$ 时, 蓝辉铜矿回收率仅为 12.34%, 较不加离子时的回收率(73.51%)降低了 61.17%; 而 $\text{pH} > 9$ 后, 尽管蓝辉铜矿的回收率有所增加, 但还是低于相同 pH 值下不加离子时的回收率; 当 Fe^{3+} 用量为 $5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 时, 蓝辉铜矿被强烈抑制, 其浮选回收率随着 pH 值的增加而不断降低, 当 $\text{pH} = 10.86$ 时, 回收率下降至 4.27%; 当继续增加 Fe^{3+} 用量至 $1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 时, 在 pH 为 3~11 的范围内, 对蓝辉铜矿的抑制作用较用量为 $5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 时更为显著。

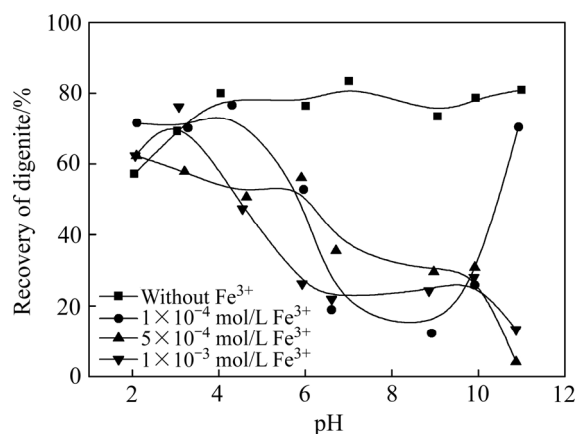


图3 Fe^{3+} 浓度对蓝辉铜矿可浮性的影响(丁铵黑药: 100 mg/L)

Fig. 3 Effect of Fe^{3+} concentration on flotation of digenite (Dosage of ADD: 100 mg/L)

2.2 柠檬酸钠对蓝辉铜矿可浮性的影响

柠檬酸钠是一种重要的柠檬酸盐,其分子式为 $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$,一般带两分子结晶水,分子结构中含1个 $-\text{OH}$,3个 $-\text{COO}^-$,对金属离子有很强的络合能力^[7]。从图3可以看出,在丁铵黑药浮选体系中,浓度为 $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 的 Fe^{3+} 在pH为7~10范围内对蓝辉铜矿浮选的抑制作用最为强烈。因此,本文作者以柠檬酸钠进行浮选调控,考察了不同pH值条件下柠檬酸钠对被 Fe^{3+} 作用后的蓝辉铜矿可浮性的影响,其结果如图4所示。

从图4可以看出,柠檬酸钠能有效活化被 Fe^{3+} 抑制的蓝辉铜矿。低浓度的柠檬酸钠($5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$)在pH为4~11范围内能显著提高蓝辉铜矿的浮选回收率,当pH=8时,回收率达到81.72%;当pH≈10时,回收率达到75.99%,接近其自然条件下的回收率(78.79%);较高浓度的柠檬酸钠($1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$)在pH为4~6范围内对蓝辉铜矿的活化作用增强,而在pH>6时,这种活化作用开始减弱;而继续增加柠檬酸钠浓度至 $2 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 时,当pH为7~11时,柠檬酸钠对蓝辉铜矿的活化作用虽有所增强,但远不及低浓度时的效果。

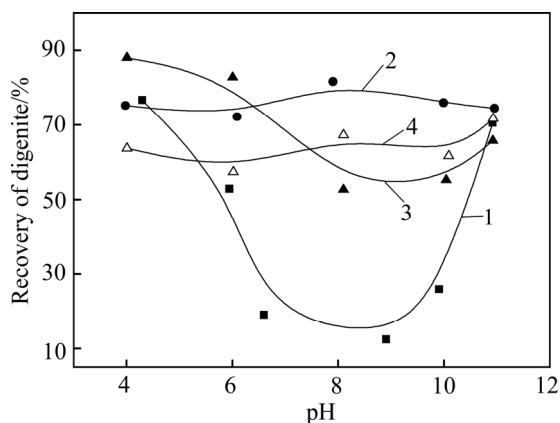


图4 不同pH值条件下柠檬酸钠对蓝辉铜矿可浮性的影响
Fig. 4 Effect of sodium citrate on recovery of digenite at different pH (Dosage of ADD: 100 mg/L): 1— $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ Fe^{3+} ; 2— $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ Fe^{3+} and $5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ sodium citrate; 3— $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ Fe^{3+} and $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ sodium citrate; 4— $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ Fe^{3+} and $2 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ sodium citrate

3 Fe^{3+} 存在下蓝辉铜矿与丁铵黑药的作用机理

3.1 Fe^{3+} 水解组分图

一般来说,金属离子在溶液中的存在形式是十分复杂的,主要包括以下几种^[8]: 1) 键合在矿物晶格上,

从而吸附在矿物表面,或者是在表面生成氢氧化物沉淀; 2) 在矿物表面或液相中,与捕收剂络合或沉淀; 3) 与水作用,发生电离、水解或生成体相沉淀。本文作者充分考虑 Fe^{3+} 在溶液中的溶液化学性质,根据溶液化学计算结果,绘制出 Fe^{3+} 水解组分的浓度对数图,如图5所示。

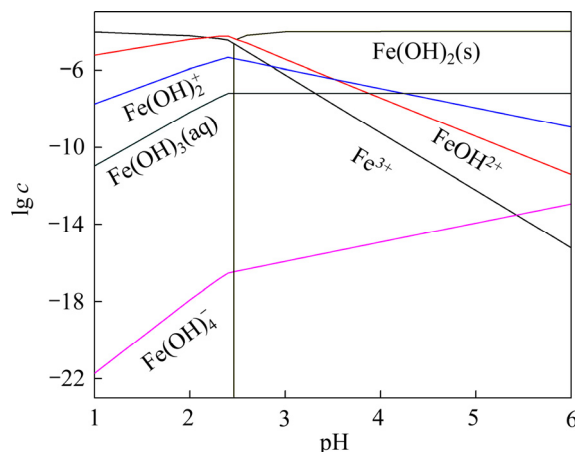


图5 Fe^{3+} 的lg c—pH图($c_T=1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$)

Fig. 5 lg c—pH diagram of Fe^{3+} ($c_T=1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$)

从图5可以看出,当pH>3时, Fe^{3+} 在溶液中主要以氢氧化铁沉淀的形式存在。从图3的试验结果来看,pH>3时蓝辉铜矿受到显著抑制,这是由于氢氧化铁沉淀具有很强的亲水性,吸附在矿物表面,阻碍了捕收剂与蓝辉铜矿的吸附,使得蓝辉铜矿被抑制。

3.2 丁铵黑药与蓝辉铜矿作用的红外光谱分析

采用红外光谱分析的方法对 Fe^{3+} 存在下蓝辉铜矿与丁铵黑药的作用机理进行了更深入的研究,并取高波数处的吸收峰表征药剂在蓝辉铜矿表面的吸附情况。

3.2.1 丁铵黑药红外光谱分析

丁铵黑药的红外光谱图如图6所示。丁铵黑药的分子式为 $(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_2\text{PSSNH}_4$ 。从图6可以看出,3068.33 cm^{-1} 处的强宽峰是N—H的伸缩振动,2958.00 cm^{-1} 处的强吸收峰是烷烃的 $-\text{CH}_3$ 的不对称伸缩振动,2872.19 cm^{-1} 处的弱吸收峰是 $-\text{CH}_3$ 的对称伸缩振动,1466.52 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_3$ 的不对称弯曲振动或 $-\text{CH}_2$ 的剪式弯曲振动,1388.88 cm^{-1} 处的强吸收峰是N—H的弯曲振动,1041.54 cm^{-1} 和984.34 cm^{-1} 处的强吸收峰是P—O—C的伸缩振动,661.52 cm^{-1} 和563.45 cm^{-1} 处的一强一弱吸收峰是P—S₂的伸缩振动。由此可以确认,此为丁铵黑药的红外光谱图,与文献[9~11]中所述的基本一致。

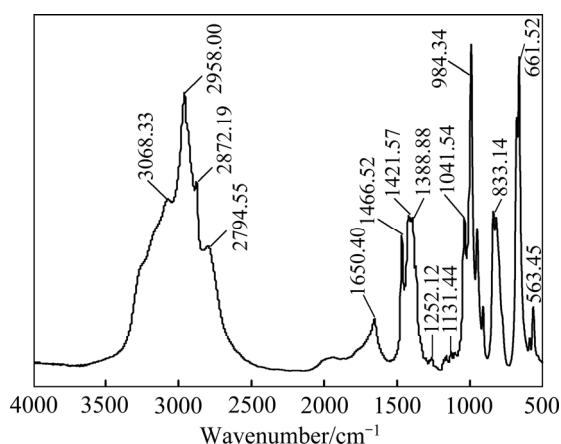


图6 丁铵黑药的红外光谱

Fig. 6 Infrared spectrum of ADD

3.2.2 蓝辉铜矿与药剂作用后红外光谱分析

文献[12-13]中的光谱数据表明,蓝辉铜矿的红外光谱图在红外光谱的波长范围内($400\sim 4000\text{ cm}^{-1}$)没有明显的特征吸收峰,因此,本文作者并未做出蓝辉铜矿纯矿物的红外光谱图。而为了分析蓝辉铜矿与药剂的作用过程,将药剂作用后的蓝辉铜矿进行了红外光谱分析,结果如图7所示。

由图7曲线1的吸附产物的特征频率可知, 3427.92 cm^{-1} 处强而宽的吸收峰是水分子的—OH的伸缩振动, 2970.26 cm^{-1} 处的吸收峰是—CH₃的不对称伸缩振动, 2929.40 cm^{-1} 处的吸收峰是—CH₂的不对称

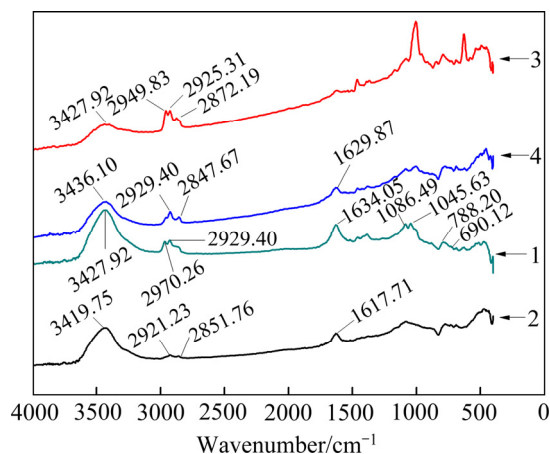


图7 药剂作用后的蓝辉铜矿红外光谱图(pH=10)

Fig. 7 Infrared spectra of digenite after action of reagents (pH=10): 1—Infrared spectrogram of digenite after action of ADD; 2—Infrared spectrogram of digenite after action of Fe^{3+} ; 3—Infrared spectrogram of digenite after action of Fe^{3+} and ADD; 4—Infrared spectrogram of digenite after action of Fe^{3+} , sodium citrate and ADD

伸缩振动, 1086.49 cm^{-1} 和 1045.63 cm^{-1} 处的吸收峰为P—O—C的伸缩振动, 788.20 cm^{-1} 和 690.12 cm^{-1} 处的吸收峰为P=S的伸缩振动。说明在pH=10的碱性条件下,蓝辉铜矿表面既存在亲矿的P=S吸收峰,又存在亲水的—OH吸收峰。此外,与图6相比,经丁铵黑药处理后的蓝辉铜矿的特征峰位置发生偏移,且强度有明显变化,表明丁铵黑药在蓝辉铜矿表面发生了化学吸附。

为考察 Fe^{3+} 对蓝辉铜矿浮选的作用机理,将 Fe^{3+} 先作用于蓝辉铜矿,再将蓝辉铜矿与丁铵黑药作用,分别得出的红外光谱图如图7中的曲线2和3所示。从曲线2可以看出,蓝辉铜矿被 Fe^{3+} 作用后的红外光谱图出现明显的特征峰,其中 3419.75 cm^{-1} 处的吸收峰为—OH的伸缩振动。根据图5中 Fe^{3+} 的水解组分图可知,在pH=10的条件下, Fe^{3+} 主要以 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀的形式存在,由此说明 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀在蓝辉铜矿表面产生了吸附。而 Fe^{3+} 作用后的蓝辉铜矿与丁铵黑药作用后,其谱图(曲线3)与曲线1相比,—OH、—CH₃和—CH₂的谱峰位置相近,但强度明显增强,同时在 2872 cm^{-1} 处产生新峰,这说明在 Fe^{3+} 的作用下,蓝辉铜矿与丁铵黑药的作用过程被破坏,导致蓝辉铜矿浮选受到抑制。

丁铵黑药性质较为稳定,不易被氧化而易与重金属离子反应生成沉淀。为了检测被 Fe^{3+} 处理后的蓝辉铜矿与丁铵黑药作用后的吸附产物,将丁铵黑药与氯化铁进行反应,反应物是沉淀。取该沉淀进行红外光谱测试,结果如图8所示。

从图8可以看出,其主要谱带位置与图6中丁铵黑药的基本相同,只是强度有所不同,而与图7中曲线3的谱带相比,则在 3427 cm^{-1} 以及 $500\sim 1500\text{ cm}^{-1}$ 范围内都存在很大差别,意味着丁铵黑药不能在

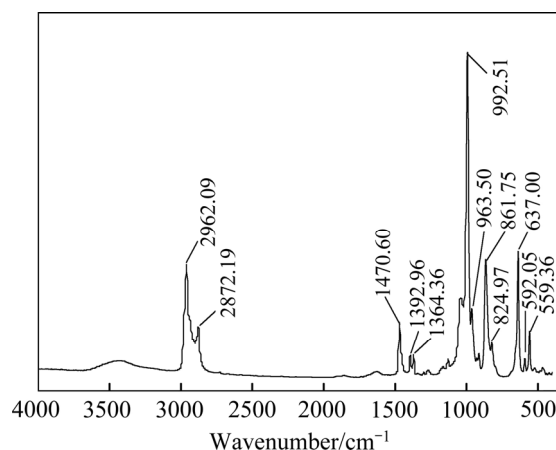


图8 正二丁基二硫代磷酸铁的红外光谱

Fig. 8 Infrared spectrum of $[(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_2\text{PSS}]_3\text{Fe}$

Fe^{3+} 处理后的蓝辉铜矿表面吸附形成正二丁基二硫代磷酸铁。再一次表明, Fe^{3+} 的加入阻碍了丁铵黑药在蓝辉铜矿表面的吸附, 从而导致蓝辉铜矿的浮选被抑制。

3.2.3 柠檬酸钠对丁铵黑药与蓝辉铜矿作用影响的红外光谱分析

柠檬酸钠对丁铵黑药与蓝辉铜矿作用影响的红外光谱分析如图7中的曲线4所示。文献[14-16]中的研究表明, 在柠檬酸的红外光谱图中, $3000\sim 3700\text{ cm}^{-1}$ 处的特征峰为水分子的羟基特征峰和柠檬酸的羟基特征峰, 1735 cm^{-1} 处附近的特征峰为柠檬酸中羰基的特征峰, $1510\sim 1680\text{ cm}^{-1}$ 和 $1350\sim 1480\text{ cm}^{-1}$ 处的特征峰为柠檬酸中羧基的特征峰。从图7曲线4可以看出, 3436.10 cm^{-1} 处的特征峰为 $-\text{OH}$ 特征峰, 2929.40 cm^{-1} 处的特征峰为烷烃的 $-\text{CH}_2$ 的不对称伸缩振动, 2847.67 cm^{-1} 处的特征峰为 $-\text{CH}_2$ 的对称伸缩振动, 而在 1735 cm^{-1} 处附近并未出现特征峰, 由此说明柠檬酸钠没有在蓝辉铜矿表面产生吸附。此外, 与图7中的曲线3相比, $-\text{OH}$ 特征峰、 $-\text{CH}_2$ 特征峰强度明显减弱, 而与图7中的曲线1相比, 则特征峰位置基本一致, 且强度相差不大。可见, 柠檬酸钠的加入能使蓝辉铜矿表面的氢氧化铁沉淀解吸, 有利于捕收剂丁铵黑药的吸附, 从而使蓝辉铜矿的浮选回收率明显增加。

4 结论

1) 在丁铵黑药浮选体系中, Fe^{3+} 在一定的 pH 范围内可强烈抑制蓝辉铜矿的浮选, 且氢氧化铁沉淀是其抑制蓝辉铜矿浮选的有效组分。

2) 柠檬酸钠能有效活化被 Fe^{3+} 抑制的蓝辉铜矿, 尤其低浓度时($5\times 10^{-5}\text{ mol/L}$)的活化作用更为显著, 在 pH 为 10 左右时, 蓝辉铜矿回收率达到 75.99%, 接近其自然条件下的回收率(78.79%)。原因是柠檬酸钠能使蓝辉铜矿表面的氢氧化铁沉淀解吸, 有利于丁铵黑药在蓝辉铜矿表面的吸附, 从而活化蓝辉铜矿的浮选。

REFERENCES

- [1] 欧乐明, 黄思捷, 朱阳戈. 硫化矿浮选体系中金属离子对石英浮选行为的影响[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(2): 407-411.
OU Le-ming, HUANG Si-jie, ZHU Yang-ge. Influence of metal ions on floatability of quartz in flotation of sulfide ores[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43(2): 407-411.
- [2] LUO Xi-mei, YIN Wan-zhong, WANG Yun-fan, SUN Chuan-yao, MA Ying-qiang, LIU Jian. Effect and mechanism of dolomite with different size fractions on hematite flotation using sodium oleate as collector[J]. Journal of Central South University, 2016, 23(3): 529-534.
- [3] 王淀佐, 胡岳华. 浮选溶液化学[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1988.
WANG Dian-zuo, HU Yue-hua. Solution chemistry of flotation[M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 1988.
- [4] 魏明安, 孙传尧. 矿浆中的难免离子对黄铜矿和方铅矿浮选的影响[J]. 有色金属, 2008, 60(2): 92-95.
WEI Ming-an, SUN Chuan-yao. Influence of metal cations in pulp to chalcopyrite and galena floatability[J]. Nonferrous Metals, 2008, 60(2): 92-95.
- [5] FORNASIERO D, RALSTON J. Cu(II) and Ni(II) activation in the flotation of quartz, lizardite and chlorite[J]. Int J Miner Process, 2005, 76: 75-81.
- [6] 蒋世鹏, 张国范, 常永强, 冯其明, 张佰发. 金属离子对菱锌矿硫化浮选影响研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2016(2): 23-28.
JIANG Shi-peng, ZHANG Guo-fan, CHANG Yong-qiang, FENG Qi-ming, ZHANG Bai-fa. effect of metal ions on sulfiding flotation of smithsonite[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2016(2): 23-28.
- [7] 朱玉霜, 朱建光. 浮选药剂的化学原理[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996.
ZHU Yu-shuang, ZHU Jian-guang. Chemical principle of flotation reagents[M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996.
- [8] 董宏军, 陈 苒, 毛钜凡. 金属离子对蓝晶石可浮性的影响及机理研究[J]. 非金属矿, 1996(1): 27-29.
DONG Hong-jun, CHEN Jin, MAO Ju-fan. Influence and mechanism of metal ions on flotation of kyanite[J]. Non-Metallic Mines, 1996(1): 27-29.
- [9] 刘之能, 覃文庆, 张建文. 丁基铵黑药体系下单斜磁黄铁矿浮选行为及其表面吸附机理[J]. 有色金属(选矿部分), 2009(2): 41-44.
LIU Zhi-neng, QIN Wen-qing, ZHANG Jian-wen. Flotation and adsorption mechanism of clino-pyrrhotite on butylamine dithiophosphate[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2009(2): 41-44.
- [10] 松全元, 张晓峰. 用 FTIR 研究丁铵黑药浮选磁黄铁矿的作用机理[J]. 金属矿山, 1996(12): 13-17.
SONG Quan-yuan, ZHANG Xiao-feng. Study on the mechanism of butylamine dithiophosphate in pyrrhotite flotation by FTIR[J]. Metal Mine, 1996 (12): 13-17.

- [11] 松全元, 陈秀枝, 张晓峰. 用 FTIR 研究丁铵黑药浮选黄铁矿的作用机理[J]. 有色金属, 1997(1): 33–38.
SONG Quan-yuan, CHEN Xiu-zhi, ZHANG Xiao-feng. Study on the mechanism of butylamine dithiophosphate in pyrite flotation by FTIR[J]. Nonferrous Metals, 1997(1): 33–38.
- [12] 彭文世, 刘高魁. 矿物红外光谱图集[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
PENG Wen-shi, LIU Gao-kui. Mineral infrared spectroscopy atlas[M]. Beijing: Science Press, 1982.
- [13] 闻 轲. 矿物红外光谱学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1988.
WEN Lu. The infrared spectroscopy of minerals[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1988.
- [14] NAKANI K, SOLOMON P. Infrared absorption spectroscopy[M]. 2nd ed. San Francisco, USA: Holden Day Inc, 1997: 499.
- [15] KALIVA M, GABRIEL C, RAPTOPOULOU C P, TERZIS A, SALIFOGLIOV A. Ph-specific synthesis, isolation, spectroscopic and structural characterization of a new dimeric assembly of binuclear vanadium(V)-citrate-peroxo species from aqueous solutions[J]. Inorganica Chimica Acta, 2008, 11: 1–10.
- [16] 王文波, 金洪艳. 红外光谱法研究柠檬酸高级脂肪醇单酯的合成过程[J]. 高师理科学刊, 2001, 21(1): 37–39.
WANG Wen-bo, JIN Hong-yan. Research of synthetic process of higher fatty alcohol monocitrate by infrared spectroscopy[J]. Journal of Science of Teachers College and University, 2001, 21(1): 37–39.

Influence and mechanism of Fe^{3+} on flotation of digenite

MA Ying-qiang^{1,2}, HUANG Fa-lan^{1,2}, YIN Wan-zhong¹, TANG Yuan³, ZHANG Shu-chao¹

(1. College of Zijin Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China;

2. Zijin Mining Group Co., Ltd., Shanghang 364200, China;

3. College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: In the ammonium dibutyl dithiophosphate flotation system, the influence of Fe^{3+} on the flotation of digenite was investigated through single mineral flotation experiments, the solution chemistry calculations and infrared spectrum analysis. The results indicate that Fe^{3+} has deterioration effect on the floatability of digenite, and the formation of hydroxide precipitation is the effective inhibition component. However, the sodium citrate can make the iron hydroxide desorpt from the surface of digenite, which is beneficial to the adsorption of the ammonium dibutyl dithiophosphate on its surface, thus, activating the flotation of digenite.

Key words: digenite; Fe^{3+} ; sodium citrate; flotation

Foundation item: Project(51374079) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (2015J05101) supported by the Natural Science Foundation of Fujian Province, China; Project (JAT160058) supported by Fujian Provincial Education Department, China

Received date: 2017-02-21; **Accepted date:** 2017-06-20

Corresponding author: MA Ying-qiang; Tel: +86-15659434383; E-mail: mayingqiang@mail.fzu.edu.cn

(编辑 李艳红)