

Z-200 体系下 Pb^{2+} , Zn^{2+} 对黄铜矿可浮性的影响及其机理

鱼博^{1,2}, 何廷树¹, 王鑫¹, 贺寒冰¹, 王宇斌¹

(1. 西安建筑科技大学 资源工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 铜川润鑫新材料有限公司, 陕西 铜川 727018)

摘要: 这是一篇矿物加工工程领域的论文。黄铜矿、方铅矿和闪锌矿通常会相互伴(共)生, 为了探究 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 对黄铜矿浮选行为和表面性质的影响, 本研究对黄铜矿进行了单矿物浮选实验, 并利用溶液化学计算、Zeta 电位和 XPS 检测等方法, 对比研究了 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 对黄铜矿浮选行为和表面性质的影响。黄铜矿上的 Zn^{2+} 。矿石可浮性影响的差异。测试结果表明, Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 都会吸附在黄铜矿表面, 改变黄铜矿表面的 Zeta 电位, 抑制黄铜矿的可浮性, 并且随着 pH 值的升高, 抑制作用增强; 结合浮选实验结果可知, 浮选所处的矿浆 pH 值范围内, 锌主要以 $Zn(OH)_2$ 沉淀的形式吸附在黄铜矿表面从而对黄铜矿的浮选产生抑制效果, 所以 Zn^{2+} 对黄铜矿浮选的抑制效果要比 Pb^{2+} 显著; 且 XPS 分析结果表明, Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 都能在黄铜矿表面形成沉淀物, 并以化学吸附的形式出现在黄铜矿表面, 从而抑制黄铜矿的可浮性。

关键词: 矿物加工工程; 黄铜矿; 铅锌离子; 可浮性; 抑制作用

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.01.020

中图分类号: TD912 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2024)01-0155-05

引用格式: 鱼博, 何廷树, 王鑫, 等. Z-200 体系下 Pb^{2+} , Zn^{2+} 对黄铜矿可浮性的影响及其机理[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(1): 155-159.

YU Bo, HE Tingshu, WANG Xin, et al. Effect of Pb^{2+} , Zn^{2+} on floatability of chalcopyrite in z-200 system and its mechanism[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(1): 155-159.

金属铜具有良好的热导率、化学性质和电导率, 且可塑性和延展性好等特点。因此, 铜被广泛应用于机械制造、建筑业、电气、轻工、国防工业等领域。随着新的工业技术的发展, 人类发展对铜的需求也正逐步增长^[1-2]。研究表明在硫化矿中黄铜矿的可浮性较好, 目前黄铜矿的选别方法主要为浮选法^[3-4]。目前, 黄铜矿的浮选研究大多集中在浮选药剂、工艺流程、矿浆条件等方面, 但很少有研究关注选矿回水体系中杂质离子的影响^[5-6]。由于黄铜矿常与方铅矿和闪锌矿伴生^[7-8], 所以在浮选矿浆中存在 Pb^{2+} , Zn^{2+} 等金属阳离子, 并会对黄铜矿的浮选产生影响。魏明安^[9]等发现 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} 等离子, 在用乙基硫胺酯做捕收剂的体系中对黄铜矿的浮选具有影响。王亮^[5]等发现高浓度 Ca^{2+} 对黄铜矿浮

选的抑制作用是在溶液中形成了亲水的 Ca^{2+} 羟基络合物 ($Ca(OH)^+$), 通过很强的亲和力吸附于黄铜矿表面, 降低了黄铜矿表面的 Zeta 电位负值, 进而降低其表面疏水性, 抑制黄铜矿浮选。但是对于 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} , 目前暂无这方面的研究。因此, 为了探明 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 对黄铜矿浮选行为和表面特性的影响, 试验并采用浮选溶液化学计算、Zeta 电位测量、XPS 等方法探究了 Pb^{2+} , Zn^{2+} 对黄铜矿浮选的影响机理研究。

1 实验

1.1 材料与试剂

实验中所用黄铜矿取自湖北大冶矿区, 将单矿物破碎至 -2 mm, 再磨矿, 通过 -0.074 mm 筛分,

收稿日期: 2021-05-10

基金项目: 陕西省科技厅重点研发项目 (2018GY-088)

作者简介: 鱼博 (1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事矿物综合利用研究。

通信作者: 王宇斌 (1972-), 男, 博士, 副教授, 主要从事矿物综合利用研究。

取筛下产物用作测试矿样。测试结果显示，制备的纯矿物样本中 CuFeS_2 的含量达到了 99.34%。实验所用药剂：Z-200 捕收剂和 MIBC 起泡剂均为工业纯，用 NaOH 调节矿浆 pH 值，用 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 和 ZnSO_4 调节矿浆中 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 浓度，以上药剂均为分析纯。实验用水为去离子水。

1.2 实验设备与分析仪器

DJ-1A 型磁力搅拌器，Delsa-440SX 型 Zeta 电位测定仪，K-Alpha-X 型 X 射线光电子能谱仪，Haake Mars 40 型旋转流变仪，RK/FGC5 型挂槽浮选机，RK/ZL- Φ 260/ Φ 200 型真空过滤机，101-3 型电热鼓风干燥箱，XDQM-2L 型行星式高能球磨机，TST-E804-60A 型真空干燥箱，JA21002、JA2603B 型电子天平，PHS-2F 型精密 pH 计。

1.3 实验方法

1.3.1 浮选实验

槽浮选机进行单矿物浮选试验，浮选机叶轮转速 1752 r/min。称取 2.0 g 黄铜矿纯矿物，加入 40 mL 去离子水，然后加入浓度为 50 mg/L 的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 和 ZnSO_4 溶液，再依次添加 pH 值调整剂 NaOH 溶液、捕收剂 Z-200、起泡剂，均搅拌 3 min，下来打开气阀充气 30 s，最后刮泡 3 min。然后过滤、烘干、称重，并计算出黄铜矿的回收率，实验流程见图 1。

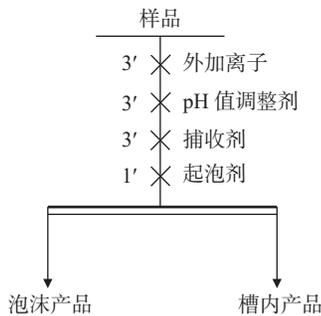


图 1 单矿物浮选流程

Fig.1 Flotation flowsheet of single mineral

1.3.2 分析检测

Zeta 电位测试是当前用来表征颗粒在电解质溶液中表面电性和表面荷电状态的最有效方法。称取粒度为 $-45 \mu\text{m}$ 的 0.1 g 黄铜矿纯矿物，50 mL 浓度为 50 mg/L 的 Pb^{2+} 或 Zn^{2+} 溶液，加入 NaOH 调节 pH 值，搅拌 10 min，取 1 mL 悬浮液，放入电位分析仪进行电位测试，每样测量五次后取平均值^[10]。

XPS 检测：称取 2.0 g 黄铜矿纯矿物置于烧杯中，加入 40 mL 去离子水、50 mg/L 的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液和 50 mg/L 的 ZnSO_4 溶液并调节 pH 值，将矿浆过滤、置于真空干燥箱中设定温度为 50 °C 烘干至恒重，用 K-Alpha-X 射线光电子能谱仪进行 XPS 分析，仪器工作参数为：X 射线源为 Al 靶发射，光子能量为 1486.71 eV，分析室真空度为 $1 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ^[10]。

2 结果与讨论

2.1 浮选实验结果

分别使用 50 mg/L 的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 和 ZnSO_4 溶液作浮选介质，研究不同 pH 值条件下 Pb^{2+} ， Zn^{2+} 对黄铜矿浮选回收率的影响，结果见图 2。

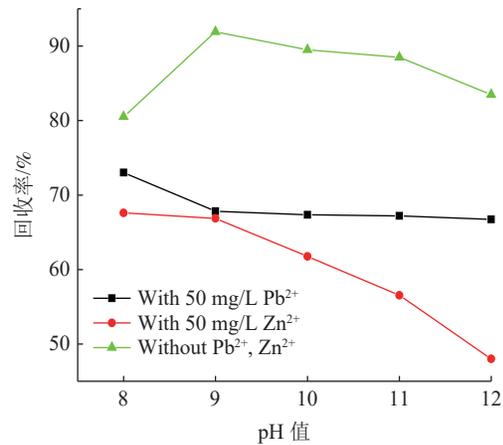


图 2 pH 值对黄铜矿浮选效果的影响

Fig.2 Effect of pH value on chalcopyrite flotation

图 2 表明，当 pH 值为 8~12 范围内，在不添加 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的矿浆中，黄铜矿具有良好的浮选特点，其回收率大于 80%；当 pH 值 > 9 时，浮选后的回收率随 pH 值的增大而增大，当 pH 值增大时，黄铜矿的回收率缓慢下降。表明在纯水矿浆中，黄铜矿在中性或弱碱性条件下浮选能力良好，但在强碱性条件下，随着 pH 值的升高，浮选能力缓慢下降。

在 Pb^{2+} 浓度为 50 mg/L 的矿浆中，随着 pH 值逐渐升高，其回收率降低。pH 值在 8~12 范围内， Pb^{2+} 矿浆中黄铜矿回收率降低 7%；当 pH 值为 9 时，回收率比纯水中黄铜矿回收率低 15 个百分点；当 pH 值 > 9 后，随着 pH 值的升高，回收率逐渐降低。当 pH 值 = 10 时，回收率比纯水低 20 个百分点。这说明 Pb^{2+} 对黄铜矿浮选有抑制作用；对于 Zn^{2+} 浓度为 50 mg/L 的矿浆溶液，在 pH 值在 8~12 范围内， Zn^{2+} 矿浆中黄铜矿回收率

的变化趋势与 Pb^{2+} 相近, 所不同的是, 当 pH 值 >9 时, Zn^{2+} 对黄铜矿浮选的抑制作用大于 Pb^{2+} 的抑制作用。当 pH 值=12.0 时, 纯水中 Zn^{2+} 的回收率与黄铜矿相比下降了近 50 个百分点。

综上所述, 在 pH 值=9 时, Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 对黄铜矿浮力的抑制作用相似。pH 值 >9.0 后, Zn^{2+} 对黄铜矿浮力的抑制作用远强于 Pb^{2+} , 且随着 pH 值的升高, 差异显著增大。

同时在中性或弱碱性条件下, Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 对黄铜矿的抑制作用相当, 但在强碱性条件下, Zn^{2+} 对黄铜矿的抑制作用明显强于 Pb^{2+} 。结合生产中黄铜矿的浮选条件, 进一步研究了 pH 值=9 时不同浓度的 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 对黄铜矿可浮性的影响, 结果见图 3。

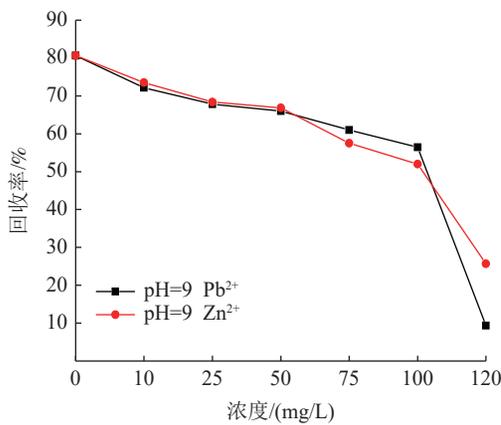


图3 Pb^{2+} , Zn^{2+} 浓度对黄铜矿浮选效果的影响
Fig.3 Effect of concentration of Pb^{2+} and Zn^{2+} on chalcopyrite flotation

从图 3 可以看出, 随着溶液中 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 浓度的增加, 黄铜矿的回收率降低。当 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 浓度从 0 mg/L 增加到 50 mg/L 时, 黄铜矿的浮选回收率没有受到太大影响。当 Pb^{2+} 浓度从 50 mg/L 增加到 100 mg/L 时, 回收率下降 10 个百分点; 当 Zn^{2+} 浓度从 50 mg/L 增加到 100 mg/L 时, 回收率下降 15 个百分点, 浓度从 50 mg/L 增加到 75 mg/L 时, 回收率迅速下降了 10 个百分点; 从抑制效果可以看出, 当离子浓度为 0~50 mg/L 时, Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的抑制效果相当;当离子浓度为 50~100 mg/L 时, Zn^{2+} 的抑制作用强于 Pb^{2+} , 且随着 Zn^{2+} 浓度的增加抑制作用变大。当离子浓度为 100~120 mg/L 时, Pb^{2+} 的抑制作用大于 Zn^{2+} 。

2.2 作用机理探讨

2.2.1 Pb^{2+} , Zn^{2+} 的溶液化学分析

通过溶液化学计算得到 Pb^{2+} , Zn^{2+} 浓度为 50 mg/L 的 lgC-pH 图, 结果见图 4、5。

从图 4 可以看出, 矿浆中 Pb^{2+} 离子浓度为 50 mg/L, 当 pH 值为 8.21 时, 会产生 $Pb(OH)_2$ 沉淀。当矿浆 pH 值 ≤ 8.21 时, 矿浆中的铅以 Pb^{2+} 和 $PbOH^+$ 的形式存在。当 pH 值 >8.21 时, 铅主要以 $Pb(OH)_2$ 沉淀形式存在。结合浮选实验结果可推断, 浮选较优矿浆 pH 为弱碱性时, 铅主要以 Pb^{2+} 和 $Pb(OH)_2$ 的形式吸附在黄铜矿表面从而对黄铜矿的浮选产生抑制效果, 所以 Pb^{2+} 对黄铜矿浮选的抑制效果较显著。

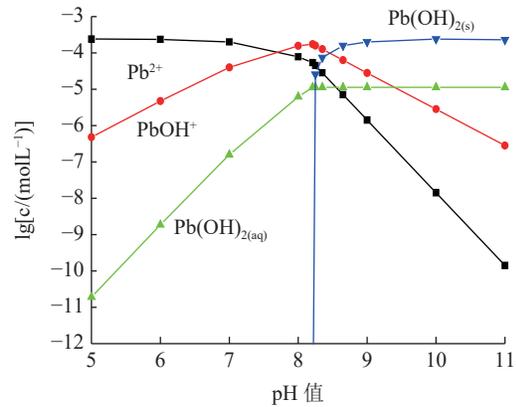


图4 Pb^{2+} 溶液各组分 lgC-pH
Fig.4 Lg C-pH diagram of the components of Pb^{2+} concentration

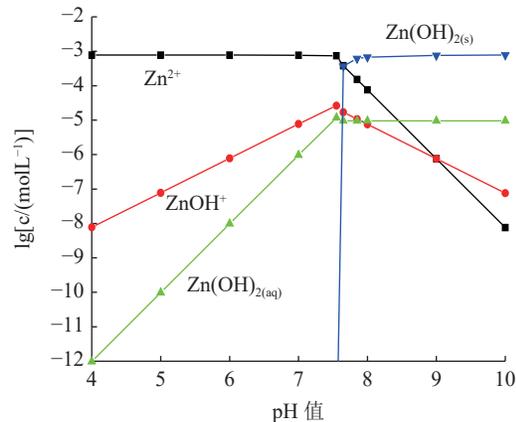


图5 Zn^{2+} 溶液各组分 lgC-pH
Fig.5 Lg C-pH diagram of the components of Zn^{2+} concentration

由图 5 可知, 矿浆中 Zn^{2+} 离子浓度为 50 mg/L, 当矿浆 pH 值为 7.55 时会生成氢氧化锌沉淀。当矿浆 pH 值 ≤ 7.55 时, 矿浆中的锌以 Zn^{2+} 和 $ZnOH^+$ 为优势组分存在, 当矿浆 pH 值 >7.55 时, 锌主要以 $Zn(OH)_2$ 沉淀的形式存在。结合浮选实验结果可推断, 浮选所处的矿浆 pH 范围内, 锌主要以 $Zn(OH)_2$ 沉淀的形式吸附在黄铜矿表面从而对黄铜矿的浮选产生抑制效果。结合浮选试验结果可推断, 浮选所处的矿浆 pH 值范围内, 锌主要以 $Zn(OH)_2$ 沉淀的形式吸附在黄铜矿表面从而对

黄铜矿的浮选产生抑制效果。

2.2.2 Pb²⁺, Zn²⁺对黄铜矿表面电性的影响

为了对比 Pb²⁺, Zn²⁺对黄铜矿表面电性的不同影响, 分别研究了 Pb²⁺, Zn²⁺浓度为 50 mg/L 的条件下, 黄铜矿表面 Zeta 电位随 pH 值的变化情况, 结果见图 6。

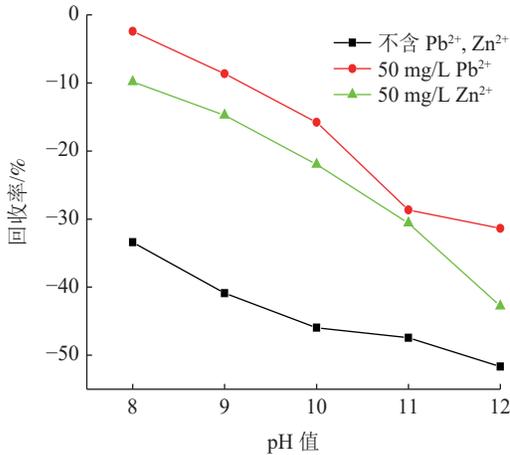


图 6 不同条件下黄铜矿表面 Zeta 电位

Fig.6 Zeta potential of chalcopyrite under different conditions

从图 6 可以看出, 黄铜矿表面 Zeta 电位始终为负值, 且随着 pH 值的升高, 黄铜矿表面 Zeta 电位降低。当 pH 值=8~12 时, Pb²⁺矿浆中黄铜矿表面的 Zeta 电位随着 pH 值的升高而降低,

说明此时铅处于离子状态, 黄铜矿表面的吸附量随着 pH 值的升高而增大增加。对于 Zn²⁺矿浆而言, 当 pH 值=8~12 时, 黄铜矿表面的 Zeta 电位随着 pH 值的升高而降低, 表明此时锌元素不再处于离子状态, 而是以 Zn(OH)₂ 沉淀存在黄铜矿表面, 与其化学分析结果相同。

2.2.3 Pb²⁺和 Zn²⁺在黄铜矿表面吸附对比试验

为了对比黄铜矿表面 Pb²⁺和 Zn²⁺的吸附特性, 对 Pb²⁺和 Zn²⁺吸附前后的黄铜矿表面进行了 XPS 检测, 结果见图 7, 其相对元素含量及原子结合能结果见表 1。

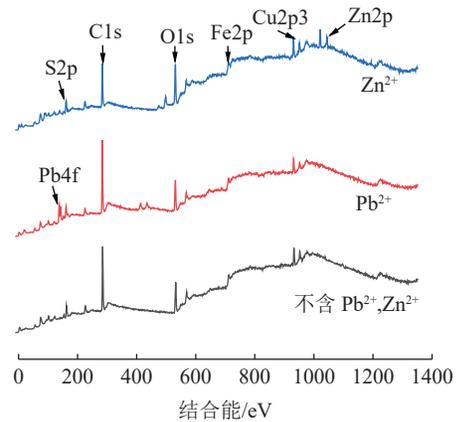


图 7 黄铜矿的 XPS

Fig.7 XPS spectrum of chalcopyrite

表 1 黄铜矿表面原子相对百分含量及元素电子结合能

Table 1 Relative content and electron binding energy of atoms on chalcopyrite surface

| 序号 | 浓度/(mg/L) | | 相对含量/% | | | | 电子结合能/eV | | | | | |
|----|------------------|------------------|--------|-------|------|-------|----------|------|--------|--------|--------|---------|
| | Pb ²⁺ | Zn ²⁺ | Cu | O | S | C | Pb | Zn | Cu | S | Pb | Zn |
| 1 | 0 | 0 | 2.03 | 16.95 | 7.74 | 71.52 | - | - | 932.49 | 162.35 | - | - |
| 2 | 50 | 0 | 1.65 | 23.34 | 7.79 | 66.42 | 0.80 | - | 932.62 | 162.01 | 138.77 | - |
| 3 | 0 | 50 | 0.72 | 30.66 | 0.48 | 65.37 | - | 1.67 | 932.53 | 163.18 | - | 1022.09 |

从图 7 可以看出, 样品中含有 Cu、O、C、S 等元素。C 元素是制备过程中引入的杂质, O 元素是黄铜矿氧化形成的。与纯矿物黄铜矿相比, 经 Pb²⁺和 Zn²⁺溶液作用后黄铜矿表面的 Cu、O、C、S 等特征峰发生了一定程度的变化。同时出现对应的 Pb 和 Zn 的特征峰为了得到黄铜矿表面各元素的相对含量和原子结合能, 因此对 XPS 图进行分析。

由表 1 可知, 与黄铜矿纯矿物相比, 黄铜矿与 Pb²⁺溶液作用后, 表面 Cu 结合能增加了 0.13 eV, S 结合能减少了 0.34 eV, 且出现了明显的 Pb 元素峰, 可见 Pb²⁺与黄铜矿发生了化学吸附; 黄铜矿与 Zn²⁺溶液作用后, 表面 Cu 结合能增加了 0.04 eV, S 结合能减少了 0.17 eV, 且出现了明显

的 Zn 元素峰可见 Zn²⁺与黄铜矿发生了化学吸附。

同时, 当黄铜矿与 Pb²⁺溶液作用后, 相较于未与 Pb²⁺作用, 黄铜矿表面 O 和 S 元素的相对含量增加, Cu 含量降低, Cu 元素降低了 0.38 个百分点, S 元素增加了 0.05 个百分点, 说明 Pb²⁺与黄铜矿发生了化学反应; 而与 Zn²⁺作用后, 相较于未与 Zn²⁺作用, 辉钼矿表面 O 元素含量增加, Cu、S 元素含量降低, Cu 元素降低了 1.31 个百分点, S 元素降低了 7.26 个百分点, 说明 Zn²⁺与黄铜矿发生了化学反应; 这与前述浮选以及溶液化学分析结果一致。为进一步探究 Pb²⁺, Zn²⁺在黄铜矿表面存在形式, 对样品的光电子能谱进行了分峰处理, 结果见图 8, 表 2 为 Cu 2p_{3/2} 的价键形态及分峰拟合分布比例。

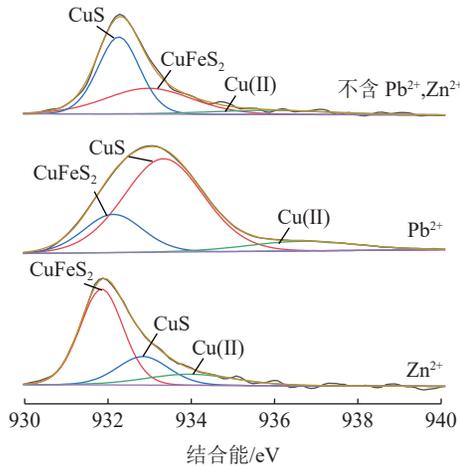


图8 $CuFeS_2$ 的高分辨扫描 XPS 及分峰拟合
Fig.8 High resolution XPS of $CuFeS_2$ and sub-peak fitting chart

由图8为黄铜矿与 Pb^{2+} , Zn^{2+} 作用前后的XPS精细谱,黄铜矿中 $Cu\ 2p_{3/2}$ XPS 光谱出现在 931.9 eV 和 932.4 eV 处,分别归属于 $CuFeS_2$ 和 CuS , 934.2 eV 处的峰归属于 $Cu(II)$ 的氧化物和氢氧化物^[11-12]。结合图8和表2的数据显示, $CuFeS_2$ 、 CuS 和 $Cu(II)$ 的结合能均发生了变化, $Cu(II)$ 表示的是铜氧化物和氢氧化物^[11-12]。从表2可知,与黄铜矿纯矿物相比,黄铜矿与 Pb^{2+} 溶液作用后, $Cu(II)$ 的相对含量增大,不利于黄铜矿的浮选;黄铜矿与 Zn^{2+} 溶液作用后, $Cu(II)$ 的相对含量增加了 5.11 个百分点,说明锌、铅离子对黄铜矿均产生抑制作用。因此,也可以进一步证实 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 在黄铜矿表面上发生了化学吸附反应,降低了矿物的可浮性。

表2 Cu 的价键形态及分峰拟合分布比例
Table 2 Distribution ratio of each sub-peak fitting form of Cu

| 序号 | 浓度/(mg/L) | | 结合能/eV | | | 相对含量/% | | |
|----|-----------|-----------|-----------|--------|----------|-----------|-------|----------|
| | Pb^{2+} | Zn^{2+} | $CuFeS_2$ | CuS | $Cu(II)$ | $CuFeS_2$ | CuS | $Cu(II)$ |
| 1 | 0 | 0 | 932.98 | 932.26 | 935.89 | 37.55 | 54.16 | 8.29 |
| 2 | 50 | 0 | 932.13 | 933.33 | 936.67 | 20.83 | 69.34 | 9.83 |
| 3 | 0 | 50 | 931.85 | 932.84 | 933.96 | 62.68 | 22.38 | 14.94 |

3 结论

(1) 在 pH 值为中性或弱碱性时, Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 对黄铜矿的浮选效果均有抑制作用,但两种离子对黄铜矿的抑制程度相差不大。当 pH 值 > 9 时, Zn^{2+} 对黄铜矿浮力的抑制作用远强于 Pb^{2+} , 且随着 pH 值的升高, 差异显著增大。

(2) Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 浓度为 50 mg/L 时的溶液化学计算分析表明, 当 pH 值 = 7.55~8.21 时, 铅元素通

过 Pb^{2+} 和 $Pb(OH)^+$ 的形式附着在黄铜矿表面, 而锌元素则以 $Zn(OH)_2$ 沉淀的形式存在, 增加了黄铜矿表面的吸附量, 导致其抑制效果显著提高。

(3) Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 都会增加黄铜矿表面的 Zeta 电位。在 pH 值 = 10~11 时, 随着 pH 值的增加, Pb^{2+} Zeta 电位呈增加的趋势, 这说明铅元素仍处于离子状态; 然而, 随着 pH 值的不断降低, Zn^{2+} zeta 电位不断降低, 表明锌元素不再处于离子状态, 而是以 $Zn(OH)_2$ 的沉淀形式吸附在黄铜矿表面。同时 XPS 分析结果表明, Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 能够在黄铜矿表面形成沉积物, 并以化学吸附的形式存在于黄铜矿表面, 从而抑制黄铜矿的可浮能力。

参考文献:

- [1] 王威, 李以科, 封宁. 全球铜矿资源格局分析[J]. 资源与产业, 2013, 15(5):27-32.
- [2] 张汉彪, 薛伟. 刚果(金)某复杂难选氧化铜矿选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(3):117-120.
- [3] 黄真瑞, 钟宏, 王帅, 等. 黄铜矿浮选工艺及捕收剂研究进展[J]. 应用化工, 2013, 42(11): 2048-2051+2055.
- [4] 肖炜, 田小松. 云南迪庆铜铅锌硫化矿浮选分离研究[J]. 矿产综合利用, 2020(1):65-70.
- [5] 王亮, 李育彪, 李万青. 不同价态杂质离子对黄铜矿浮选的影响机理研究[J]. 金属矿山, 2018(12):84-88.
- [6] 雷大士, 王宇斌, 郭月琴, 等. 陕西某含铋白钨矿选矿试验研究[J]. 中国钨业, 2017, 32(3):31-35.
- [7] 温凯, 陈建华. 某含银复杂铜铅锌多金属硫化矿浮选试验[J]. 矿产综合利用, 2019(6):28-32.
- [8] WEN K, CHEN J H. Experimental study on flotation of copper, lead and zinc polymetallic sulfide ore containing silver[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(6):28-32.
- [9] WANG W, LI Y K, FENG N. Global cooper resource pattern[J]. Resources and Industry, 2013, 15(5):27-32.
- [10] ZHANG H B, XUE W. Experimental study on beneficiation of a complex refractory copper oxide ore in Congo (DRC)[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(3):117-120.
- [11] XIAO W, TIAN X S. Study on flotation separation of copper-lead-zinc sulfide ore in Diqing Yunnan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(1):65-70.
- [12] WANG L, LI Y B, LI W Q. Influencing mechanism of ions with different valences on chalcopyrite flotation[J]. Metal Mines, 2018(12):84-88.
- [13] LEI D S, WANG Y B, GUO Y Q, et al. Beneficiation of a bismuth-containing scheelite in Shaanxi[J]. China Tungsten Industry, 2017, 32(3):31-35.

(下转第 166 页)

process of backwater circulation, which has an adverse effect on the flotation indexes. Taking fluorapatite, dolomite and quartz as the research objects, the effect of different recycle times of backwater on the flotation recovery of three single minerals was studied. The results showed that when pH value was 5, the recovery difference between dolomite and fluorapatite decreased from 72.21% to 64.19%, and the recovery of quartz maintained at about 10%; When the number of cycles reached 5, the recovery difference between dolomite and fluorapatite slightly increased to 69.74%, and the recovery of quartz slightly decreased to 11.22%. In this study, the mechanism of dissolved ions in backwater for three kinds of single minerals was revealed by measuring the number of dissolved ions, zeta potential of mineral surface and ions adsorption capacity of mineral surface under backwater circulation system.

Keywords: Mining engineering; Fluorapatite; Reverse flotation; Backwater; Inevitable ion

(上接第 159 页)

[8] 鱼博, 王宇斌, 王妍, 等. 某铜铅锌多金属硫化矿工艺矿物学研究[J]. 中国铝业, 2021, 45(1):34-38.

YU B, WANG Y B, WANG Y, et al. Research on process mineralogy of a copper-lead-zinc polymetallic sulphide ore[J]. China Molybdenum Industry, 2021, 45(1):34-38.

[9] 魏明安, 孙传尧. 矿浆中的难免离子对黄铜矿和黄铜矿浮选的影响[J]. 有色金属, 2008(2):92-95.

WEI M A, SUN C Y. Influence of metal cations in pulp to chalcopyrite and galena floatability[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2008(2):92-95.

[10] 施帅, 何廷树, 李慧. Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 对辉钼矿可浮性的影响对比[J]. 过程工程学报, 2021, 21(2):153-159.

SHI S, HE T S, LI H. Comparison of the effects of Ca^{2+} and Mg^{2+} on the floatability of molybdenite[J]. Journal of Process

Engineering, 2021, 21(2):153-159.

[11] 刘微, 刘广义, 肖静晶, 等. N-异丁氧羰基硫脲浮选黄铜矿的机理[J]. 中国有色金属学报, 2017, 27(1):128-137.

LIU W, LIU G Y, XIAO J J, et al. Mechanism of N-isobutoxycarbonyl thiourea (iBCTU) for chalcopyrite flotation[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2017, 27(1):128-137.

[12] 马鑫, 王帅, 钟宏. 苄基三硫代碳酸钠的合成及其对黄铜矿的浮选性能[J]. 中国有色金属学报, 2018, 28(5):1067-1075.

MA X, WANG S, ZHONG H. Sodium benzyl trithiocarbonate synthesis and flotation performance to chalcopyrite[J]. *Chinese Journal of Nonferrous metals*, 2018, 28(5):1067-1075.

Effect of Pb^{2+} , Zn^{2+} on Floatability of Chalcopyrite in Z-200 System and Its Mechanism

YU Bo^{1,2}, HE Tingshu¹, WANG Xin¹, HE Hanbing¹, WANG Yubin¹

(1.School of Resources Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China; 2.Tongchuan Runxin New Material Co., Ltd., Tongchuan 727018, Shaanxi, China)

Abstract: This is an article in the field of mineral processing engineering. Chalcopyrite, galena and sphalerite are usually associated with each other. In order to find out the influence of Pb^{2+} and Zn^{2+} on the flotation behavior and surface characteristics of chalcopyrite, the difference of the influence of Pb^{2+} and Zn^{2+} on the floatability of chalcopyrite was studied by single mineral flotation test, solution chemical calculation, Zeta potential and XPS detection. The results show that Pb^{2+} and Zn^{2+} are adsorbed on the surface of chalcopyrite, which changes the Zeta potential of chalcopyrite surface and inhibits the floatability of chalcopyrite, and the inhibition increases with the increase of pH value. According to the flotation test results, zinc is mainly adsorbed on the surface of chalcopyrite in the form of $\text{Zn}(\text{OH})_2$ precipitation in the range of pulp pH, which has an inhibitory effect on the flotation of chalcopyrite. Therefore, the inhibitory effect of Zn^{2+} on the flotation of chalcopyrite is more significant than that of Pb^{2+} and XPS results show that Pb^{2+} and Zn^{2+} can precipitate on the surface of chalcopyrite and exist on the surface of chalcopyrite in the form of chemical adsorption, thus inhibiting the floatability of chalcopyrite.

Keywords: Mineral processing engineering; Chalcopyrite; Lead zinc ion; Floatability; Inhibition