

羧甲基纤维素对磷灰石与白云石浮选分离的影响及机理研究

范宛惠, 姬志杰, 杨帆, 周峰, 张汉泉

武汉工程大学 资源与安全工程学院, 湖北 武汉 430205

中图分类号: TD923⁺.14; TD971⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2024)01-0061-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.01.008

摘要 以磷灰石和白云石为研究对象, 采用纯矿物浮选实验、红外光谱分析、Zeta 电位分析等方法, 探讨油酸钠体系中羧甲基纤维素(CMC)对两种矿物浮选分离的影响及作用机理。实验结果表明: 油酸钠为捕收剂用量 100 mg/L, 在无抑制剂 CMC 时, 白云石和磷灰石的回收率均在 90% 以上; 而 CMC 质量浓度 5 mg/L 时, 白云石与磷灰石的回收率分别为 4.72%、95.52%, 实现了白云石与磷灰石的高效分离。机理分析表明: 油酸钠在磷灰石和白云石表面主要以物理吸附为主, 而 CMC 可能与白云石表面的 Mg^{2+} “桥接”, 阻碍了油酸钠在白云石表面的吸附, 且其阻碍油酸钠在磷灰石表面吸附的能力很小, 因此 CMC 对白云石具有较强的选择性抑制作用; 在油酸钠体系中, 随着 CMC 质量浓度的增大, 磷灰石表面电位发生轻微负偏移, 而白云石表面电位出现大幅负移, 说明 CMC 能阻止油酸钠在白云石表面的吸附, 却不影响油酸钠在磷灰石表面的吸附, 因此能达到选择性抑制白云石浮选的效果。

关键词 磷灰石; 白云石; 浮选; CMC; 抑制

引言

磷矿是极其重要的化工矿产资源, 主要用于磷化工生产原料以及磷肥的生产, 具有十分重要的战略地位^[1-3]。但磷矿石中常伴生方解石、白云石等脉石矿物, 在湿法磷酸生产过程中, 由于白云石在硫酸溶液中分解生成 $MgSO_4$, 而 $MgSO_4$ 在磷酸溶液中溶解度很大, 使溶液中 H^+ 下降, 若要保持适宜的 H^+ 浓度, 则需要增加硫酸用量, 这会使溶液中 SO_4^{2-} 浓度增加, 导致 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 的结晶成核速率加快, 形成针状缔合体, 从而使磷矿的反应速率大幅度降低。此外, 大量的 Mg^{2+} 进入溶液, 也会给磷酸的后续加工带来不利影响^[4]。由于白云石与磷灰石都含有 Ca^{2+} , 二者表面性质接近, 所以磷灰石与白云石的分离是磷矿选矿的重要难题。浮选法是低品位磷矿选矿的主要方法, 油酸钠是胶磷矿、白钨矿、萤石和方解石等含钙氧化矿物常用的捕收剂, 具有捕收效果好、性能稳定但选择性较差的特点。由于磷灰石与白云石可浮性接近, 浮选时必须对其中一种矿物进行选择性抑制, 工业生产中常用的反

浮选工艺抑制磷灰石浮选白云石, 在反浮选过程中会使用硫酸和磷酸作为 pH 调整剂和磷酸盐矿物抑制剂, 这会造成设备腐蚀、酸性废水处理困难的问题。羧甲基纤维素(CMC)属阴离子型醚, 水溶液呈中性或弱碱性, 是一种常见的硅酸盐或硫化矿无毒浮选抑制剂, 被广泛用于钨钙矿与白云石、白钨矿与方解石和萤石的分离, 但较少地用于磷灰石与白云石的分离。罗红莹等^[5]在研究锡石与绿泥石浮选分离时发现, 加入一定量的 CMC, 绿泥石的静电排斥减弱, CMC 在绿泥石表面的吸附量增加, 对绿泥石表现出良好的选择性抑制效果。任峰等人^[6]在研究钨钙矿与白云石的浮选分离时发现, CMC 可选择性地抑制白云石, 而不抑制钨钙矿。邬海滨^[7]研究了纤维素类抑制剂在白钨矿、方解石、萤石表面的吸附行为和机理, 发现在 pH=6~10 范围内, CMC 可较好地抑制方解石、萤石, 但不抑制白钨矿, 通过接触角测试发现 CMC 可以使得方解石、萤石表面接触角显著降低, 而白钨矿接触角不受影响。由于油酸钠电离产生的阴离子基团主要通过矿物表面的活性金属位点作用, 从而对矿物表面进行吸附,

收稿日期: 2023-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51374156); 武汉工程大学第十四届研究生教育创新基金资助项目(CX2022574)

作者简介: 范宛惠(1998-), 男, 硕士研究生, 主要从事矿石浮选的研究, E-mail: 18155897381@163.com。

通信作者: 张汉泉(1971-), 男, 湖北黄冈人, 博士, 教授, 主要从事矿产资源综合利用研究, E-mail: springt@wit.edu.cn。

白云石矿物表面除了具有与磷灰石表面同名的 Ca^{2+} 外, 还具有 Mg^{2+} , 表面可供 CMC 吸附的活性金属位点密度分布不同, 导致 CMC 用作抑制剂对磷灰石与白云石吸附作用的差异性尚不明确^[7-10]。本文针对磷灰石与白云石分离困难这一难题, 以油酸钠作捕收剂, 考察了羧甲基纤维素(CMC)作为抑制剂时对磷灰石及白云石浮选行为的影响规律。

1 实验原料与方法

1.1 实验原料

本次实验纯矿物磷灰石来源于巴西高纯度矿物标本, 白云石取自武钢乌龙泉矿。将两种高纯度矿物经过水洗脱泥后, 敲碎、剔除杂质, 继续反复清洗、自然晾干、研磨、筛分、烘干, 然后均匀制样密封保存。纯矿物荧光光谱分析结果见表 1, 白云石中 Ca、Mg 含量较高, 但是有少量的 SiO_2 存在, 矿石纯度超过 97% (按照理论 MgO 含量为 21.74% 计算)。磷灰石中主要元素为 Ca、P、C、F, 同时伴有少量 SiO_2 , 矿石纯度超过 92% (按照理论 P_2O_5 含量为 42.06% 计算), 磷主要以羟基磷灰石 $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ 形式存在, 同时伴有氟磷灰石 $[\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3]$ 。白云石和磷灰石矿物纯度均较高, 满足纯矿物浮选实验要求。

表 1 白云石和磷灰石多元素分析结果 /%

Table 1 Chemical compositions of dolomite and apatite

矿物	MgO	CaO	P_2O_5	SiO_2	CO_2	F	Al_2O_3	MnO_2	Fe_2O_3	Na_2O
白云石	21.22	30.32	—	4.77	10.39	—	0.15	0.007	0.42	0.08
磷灰石	—	40.98	38.93	1.14	10.83	2.93	0.27	0.013	0.44	0.37

采用激光粒度分析仪 (Easysizer20, 欧美克) 进行纯矿物粒度测试, 结果见表 2, 表明两种纯矿物 D_{50} 、 D_{90} 粒度累积分布相近, 因此不会因为粒度差异对浮选实验产生较大的影响。

表 2 磷灰石和白云石粒度分析测试结果 / μm

Table 2 Particle size analysis of dolomite and apatite

矿物种类	D_{10}	D_{25}	D_{50}	D_{75}	D_{90}
白云石	2.07	7.45	22.99	42.96	62.17
磷灰石	1.46	16.11	28.31	48.60	67.52

1.2 纯矿物浮选实验

浮选实验在 XFG-II 型变频挂槽浮选机中进行, 实验所用油酸钠、CMC(25 万分子量)、 H_2SO_4 、NaOH 均为分析纯, 制浆用水为超纯水。浮选机转速为 1400 r/min, 矿浆温度为 25 $^{\circ}\text{C}$, 矿浆质量浓度 10%, 调浆 3 min, 加入 H_2SO_4 /NaOH 作为调整剂, 调整 pH 值, 调浆时间 2 min, 加入 CMC 调浆时间为 2 min, 加入油酸

钠调浆 2 min(1 min 45 s 后充气), 刮泡 3 min, 获得泡沫产品与槽内产品, 分别进行烘干、称重、化验分析。

1.3 红外光谱测试

将矿物样品研磨到 -0.038 mm , 白云石与磷灰石各称取 2 g 矿, 溶液总体积 50 mL, 搅拌 10 min, 制备 6 个样品, 白云石、白云石+NaOL(油酸钠)、白云石+NaOL+CMC、磷灰石、磷灰石+NaOL、磷灰石+NaOL+CMC, NaOL 样品质量浓度为 100 mg/L, CMC 质量浓度为 10 mg/L, 采用溴化钾压片法处理药剂和矿物, 红外光谱波长扫描范围为 $400\sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ 。

1.4 Zeta 电位

Zeta 电位测试使用的是英国马尔文仪器有限公司 Nano-ZS90 电位仪, 将矿物样品研磨到 -0.038 mm , 称取矿物 0.5 g, 加入到电解质溶液中(电解质溶液为浓度 10^{-3} mol/L 的 KCl 溶液), 加入一定量的 NaOL 溶液和 CMC 溶液, 溶液总体积为 100 mL, 充分搅拌使物料悬浮, 然后取上层悬浮液测 Zeta 电位值, 取三次测量平均值作为测试结果。

2 结果与讨论

2.1 浮选实验结果

在自然 pH 值条件下, 浮选捕收剂油酸钠质量浓度分别为 20 mg/L、40 mg/L、60 mg/L、80 mg/L 和 100 mg/L 时, 油酸钠对磷灰石和白云石浮选的影响如图 1(a) 所示。可以看出, 随着油酸钠质量浓度的升高, 磷灰石的回收率先升高后趋于平稳, 白云石回收率不断上升, 油酸钠质量浓度为 100 mg/L 时, 磷灰石回收率为 98.12%, 白云石回收率为 90.98%, 油酸钠对磷灰石和白云石的捕收效果均较好。

溶液的 pH 值对于矿物浮选具有重要的影响, 实验采用硫酸和氢氧化钠作为 pH 调整剂, 在捕收剂质量浓度为 100 mg/L 时, 浮选实验结果如图 1(b) 所示。结果表明, pH 值对白云石的回收率影响较小, 酸性和碱性条件下白云石矿物的回收率均在 80% 左右。但是 pH 值对磷灰石回收率影响较大, 随着 pH 增加磷灰石回收率先增加后降低, 当 $\text{pH}=2\sim 4$ 之间时两种矿物回收率差值最大。在油酸钠体系中, 不加 pH 调整剂时, 磷灰石矿浆 $\text{pH}=8.7$, 白云石矿浆 $\text{pH}=10$, 故不加 pH 调整剂可作为最佳实验条件。

白云石 EDS 能谱分析结果见图 2 所示, 能谱分析结果表明白云石中 Ca 和 Mg 质量比大致在 1:1, 白云石矿物的纯度较高。白云石与油酸钠作用后 C 含量有所上升, 证实了油酸钠在白云石表面吸附, Ca 含量变化不大而 Mg 含量有所下降, 推测可能由于油酸钠的加入导致 Mg 更容易溶解于溶液中。

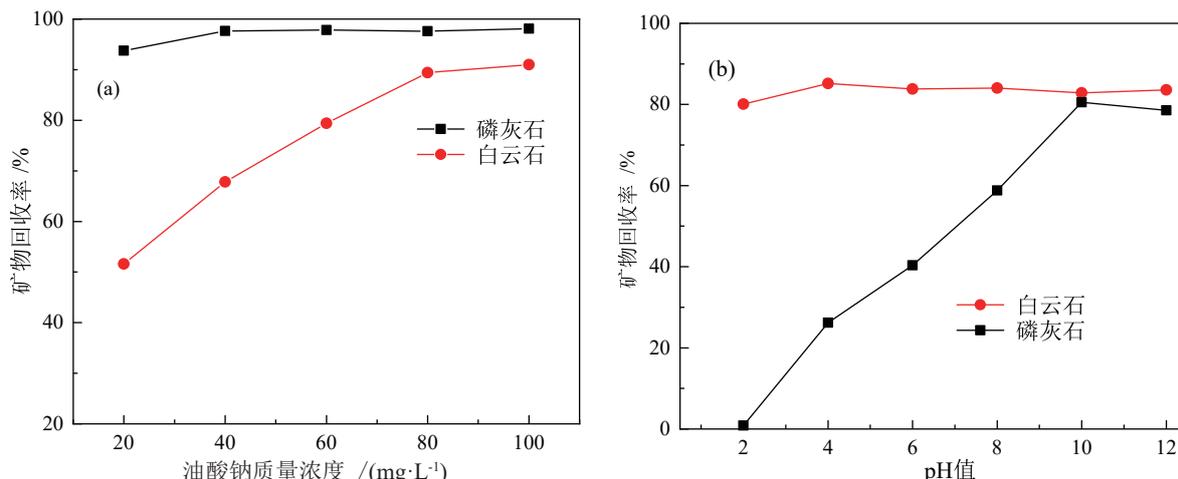


图 1 白云石和磷灰石浮选结果(a—油酸钠;b—pH 值)
Fig. 1 Flotation results of dolomite and apatite (a—sodium oleate; b—pH)

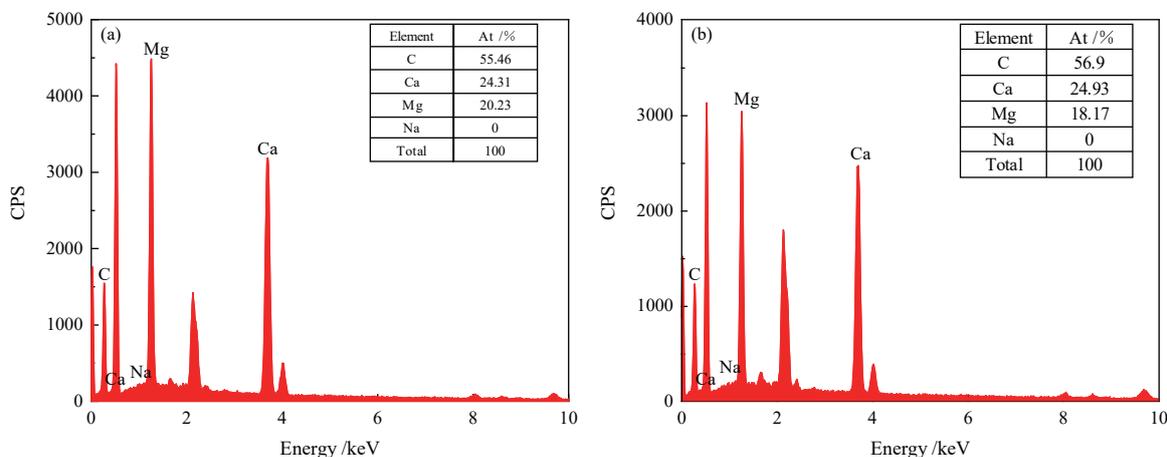


图 2 白云石表面 EDS 能谱测试结果(a—白云石; b—白云石+油酸钠)
Fig. 2 EDS test results on dolomite surface (a—Dolomite; b—Dolomite+NaOL)

实验使用 CMC 作为抑制剂, 质量浓度分别为 0、2.5 mg/L、5 mg/L、10 mg/L, 磷灰石与白云石回收率如图 3 所示。结果表明 CMC 对磷灰石浮选几乎不起抑制作用, 对白云石的抑制效果十分显著, 在 CMC 质量

浓度为 2.5 mg/L 时, 白云石回收率为 30.37%, 磷灰石回收率为 95.21%, 相差较大。CMC 质量浓度为 5 mg/L 时, 白云石回收率为 4.72%, 磷灰石回收率为 95.52%, 相差 90.8 百分点, 达到最大。

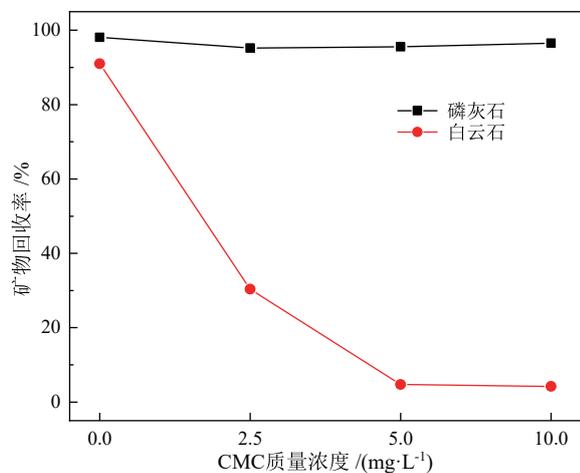


图 3 CMC 对磷灰石与白云石浮选行为的影响
Fig. 3 Effect of CMC on flotation behavior of apatite and dolomite

2.2 CMC 抑制机理分析

2.2.1 白云石-羟基磷灰石混合体系溶液化学

图 4 组分分布计算结果表明, 纯白云石体系的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与溶液中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的组分分布相似。白云石-羟基磷灰石混合体系中 H_3PO_4 电离和水解作用所产生的系列物质对磷矿的浮选有重要的影响。

由于从白云石表面溶解出金属离子比磷灰石表面容易, 在不加磷酸条件下, 溶液中金属离子主要以 Ca^{2+} 形式存在。白云石表面的 Ca^{2+} 溶出浓度要远高于 Mg^{2+} , 溶出的金属离子浓度要高于磷灰石表面溶出的金属离子浓度。据报道, CMC 可以抑制滑石, Mg^{2+} 可以吸附在滑石表面; Mg^{2+} 在滑石表面的吸附被认为能够将矿物表面与 CMC “桥接”, 并增强 CMC 在滑石

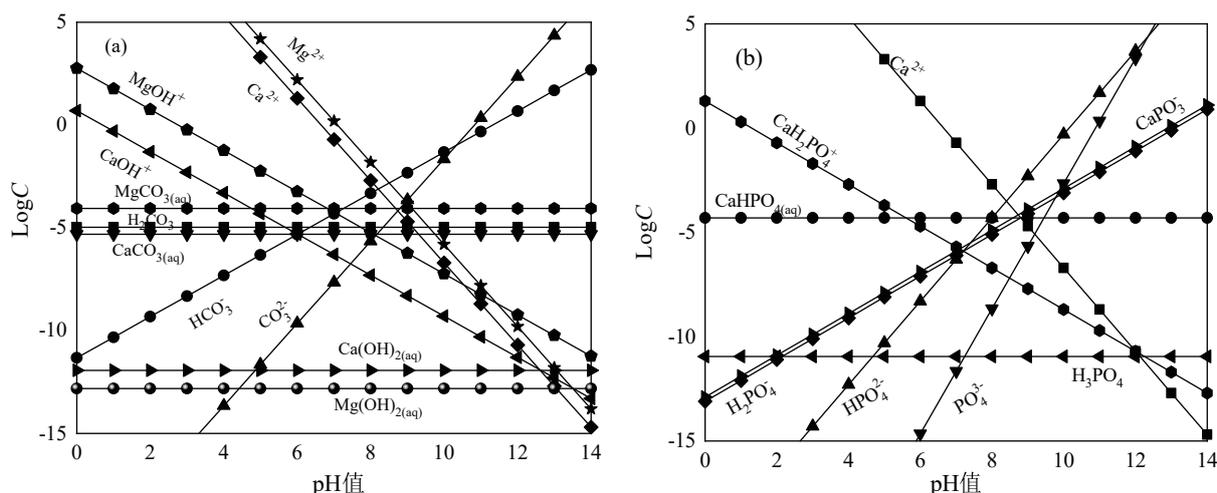


图 4 矿物溶解组分分布图(a—白云石水溶液; b—白云石-磷灰石体系)

Fig. 4 Distribution of dissolved mineral components in aqueous solution (a—Dolomite solution; b—Dolomite-Apatite)

表面上的吸附^[12]。考虑到白云石可能已暴露于矿物颗粒表面且未溶出的 Mg^{2+} 活性位点, CMC 也有可能和白云石表面的 Mg^{2+} 桥接, 在白云石-磷灰石分离中充当选择性抑制剂, 提高白云石与磷灰石的分选效率。

2.2.2 红外光谱分析

由红外各基团特征峰对照表可知, 图 5(a) 油酸钠红外光谱测试中在 2924 cm^{-1} 和 2852 cm^{-1} 处分别是甲基和亚甲基中 $-C-H$ 键的对称伸缩振动吸收峰; 1562 cm^{-1} 和 1454 cm^{-1} 处均为羧基 $-COO-$ 的特征吸收峰, 其中 1562 cm^{-1} 是 $-COO-$ 不对称伸缩振动吸收峰, 1454 cm^{-1} 处是 $-COO-$ 对称伸缩振动吸收峰; 723 cm^{-1} 处是 $-(CH_2)_n$ 的弯曲振动吸收峰。由图 5(b) 磷灰石图谱可以发现, 在 1098 cm^{-1} 和 1044 cm^{-1} 出现了明显特征峰, 匹配于 PO_4^{3-} 非对称伸缩振动吸收峰, 604 cm^{-1} 和 573 cm^{-1} 处归属为 PO_4^{3-} 面内弯曲振动吸收峰, 1456 cm^{-1} 和 1431 cm^{-1} 处为 $C-O$ 的非对称伸缩振动吸收峰。添加油酸钠作用后磷灰石红外光谱特征峰发生了钝化与偏移, 推测油酸钠在磷灰石表面发生吸附^[13-15]。添加 CMC 后, 峰的偏移略微减弱, 但幅度较小, 未出现 CMC 基团的特征峰, 说明 CMC 对油酸钠在磷灰石表面的吸附影响较小, 主要是较弱的物理吸附, 而对油酸钠的吸附影响不大。由图 5(c) 白云石红外光谱可以发现, 在 3451 cm^{-1} 处为 $-OH$ 伸缩振动峰, 2896 cm^{-1} 处为 CH_3 吸收峰, 2527 cm^{-1} 处为 $C=O$ 伸缩振动吸收峰, 1442 cm^{-1} 处是 CO_3^{2-} 离子反对称伸缩振动吸收峰, 880 cm^{-1} 处是 CO_3^{2-} 离子面外弯曲振动吸收峰, 723 cm^{-1} 处是 CO_3^{2-} 离子面内弯曲振动吸收峰, 均为白云石的特征吸收峰。与药剂作用后矿物表面并未产生新的特征吸收峰, 推测没有发生化学吸附。与油酸钠作用之后, 3451 cm^{-1} 处为 $-OH$ 伸缩振动峰发生了偏移到 3478 cm^{-1} 处, 同时 723 cm^{-1} 处 CO_3^{2-} 离子

面内弯曲振动吸收峰发生偏移到了 727 cm^{-1} 处, 推测油酸钠在白云石表面发生了物理吸附^[16-19]。添加 CMC 后, $-OH$ 伸缩振动峰又从 3478 cm^{-1} 处偏移到了 3458 cm^{-1} 处, 表明 CMC 阻碍了油酸钠在白云石表面的吸附。

2.2.3 Zeta 电位测试

由图 6 可知, 油酸钠体系 (100 mg/L) 中, 磷灰石电位为 -23.65 mV , 白云石 Zeta 电位为 -9.35 mV , 添加 CMC 后, CMC 在水溶液中部分解离为带正电荷的 Na^+ 和带负电荷的亲水基团 ($-COO-$ 和 $-O-$)^[20], 油酸钠解离为羧酸阴离子 ($RCOO-$), 因此, CMC 和捕收剂带负电。由图 6 可看出, 未添加 CMC 时, 用油酸钠处理的白云石和磷灰石的 Zeta 电位分别为 -28.35 mV 和 -29.64 mV , 说明油酸钠在磷灰石和白云石表面均发生了吸附; 添加 CMC 之后, 随着 CMC 质量浓度的增加, 磷灰石 Zeta 电位略有变化, 仅有很小幅度的偏移, 而白云石 Zeta 电位有较大幅度的负移, 表明 CMC 的存在不影响油酸钠在磷灰石表面的吸附, 却会大量吸附在白云石表面, 使油酸钠在白云石表面的吸附受到阻滞, 从而影响油酸钠与白云石表面的相互作用, 使磷灰石与白云石得到有效分离, 这与浮选实验结果相一致。

3 结论

(1) 油酸钠对磷灰石与白云石具有良好的捕收效果, 当油酸钠质量浓度为 100 mg/L 时, 两种矿物回收率均在 90% 以上。添加 CMC 后, 对白云石抑制效果很好, 对磷灰石几乎没有抑制作用。在油酸钠质量浓度 100 mg/L 、CMC 质量浓度 5 mg/L 时, 白云石回收率为 4.72% , 磷灰石回收率为 95.52% 。

(2) 由红外光谱分析结果可知, 加入油酸钠后, 磷

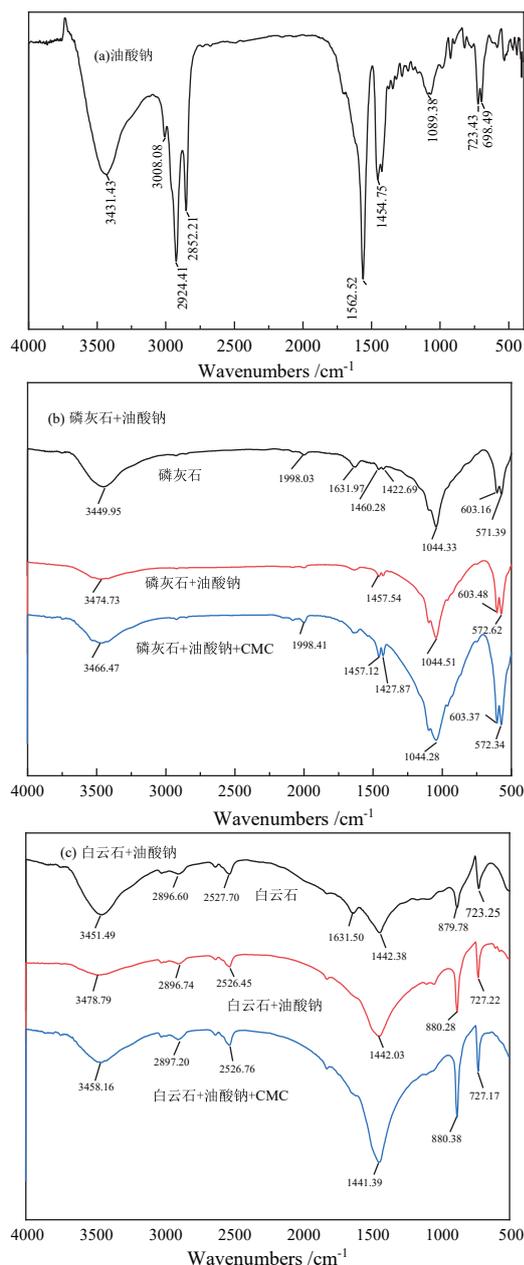


图 5 磷灰石及白云石表面红外光谱分析(a—油酸钠; b—磷灰石+油酸钠; c—白云石+油酸钠)

Fig. 5 Infrared spectrum analysis of apatite and dolomite surface (a—sodium oleate; b—apatite + sodium oleate; c—dolomite + sodium oleate)

灰石与白云石表面的特征峰发生偏移, 添加 CMC 后, 磷灰石特征峰的偏移出现较小幅度减弱, 白云石特征峰偏移出现较大幅度的减弱, 表明 CMC 阻碍油酸钠在白云石表面吸附效果明显, 而对阻碍油酸钠在磷灰石表面吸附作用很小。

(3) Zeta 电位测试结果表明, 油酸钠能使磷灰石与白云石表面电位发生负偏移, 添加 CMC 之后, 磷灰石 Zeta 电位略有变化, 有极小偏移, 而白云石 Zeta 电位则大幅负移, 表明 CMC 能阻止油酸钠在白云石表面的吸附, 而对油酸钠在磷灰石表面的吸附影响较小。

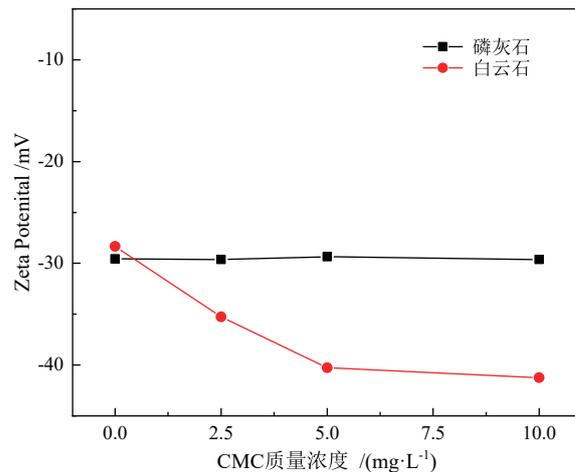


图 6 CMC 浓度对磷灰石与白云石表面 Zeta 电位的影响
Fig. 6 Effect of CMC concentration on Zeta potential of apatite and dolomite surface

参考文献:

- [1] 崔荣国, 张艳飞, 郭娟, 等. 资源全球配置下的中国磷矿发展策略[J]. 中国工程科学, 2019, 21(1): 128-132.
CUI R G, ZHANG Y F, GUO J, et al. Development strategy of phosphate rock in China under global allocation of resources[J]. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 2019, 21(1): 128-132.
- [2] CAO Q, CHENG J, WEN S, et al. A mixed collector system for phosphate flotation[J]. *Minerals Engineering*, 2015, 78: 114-121.
- [3] 杨晓健, 胡国涛, 王诗瀚. 中低品位磷矿脱镁技术研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(2): 67-73.
YANG X J, HU G T, WANG S H. Research progress of magnesium removal technology from medium and low grade phosphate rocks[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(2): 67-73.
- [4] 罗红莹. 油酸钠体系中锡石与绿泥石浮选选择性抑制作用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.
LUO H Y. Selective inhibition of cassiterite and chlorite flotation in sodium oleate system[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2021.
- [5] 任峰, 纪维维. 钨钙矿及其主要脉石矿物浮选抑制与分离[J]. 有色金属, 2003(1): 96-98.
REN H, JI F F. Development strategy of phosphate rock in china under global allocation of resources[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2003(1): 96-98.
- [6] 邹海滨. 纤维素类抑制剂在白钨矿浮选体系中的吸附行为与机理研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2018.
WU H B. Adsorption behavior and mechanism of cellulose inhibitors in the system of scheelite flotation[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2018.
- [7] 张文谱. 高分子抑制剂对磷灰石与含钙碳酸盐矿物浮选行为的影响及机理研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2020.
ZHANG W P. Effects of macromolecular organic depressants on flotation behavior of apatite and calcium carbonate minerals and the mechanism [D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2020.
- [8] 张书超. 磷灰石浮选体系中矿物的交互影响研究[D]. 福州: 福州大学, 2018.
ZHANG S C. Study on interaction of minerals in apatite flotation system [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2018.
- [9] 唐云, 杨典奇, 王雪, 等. 羟肪酸协同脂肪酸分离磷灰石和白云石

- [J]. 金属矿山, 2016(4): 86–90.
TANG Y, YANG D Q, WANG X, et al. Synergistic effect of fatty acid and hydroxamic acid in flotation separation of apatite and dolomite[J]. Metal Mine, 2016(4): 86–90.
- [10] 张国范, 冯寅, 朱阳戈, 等. 钙、镁离子对磷灰石与白云石浮选行为的影响[J]. 化工矿物与加工, 2011, 40(7): 1–4+10.
ZHANG G F, FENG Y, ZHU Y G, et al. Influence of Ca^{2+} 、 Mg^{2+} on apatite and dolomite flotation[J]. Industrial Minerals & Processing, 2011, 40(7): 1–4+10.
- [11] 马强, 李育彪, 李万青, 等. CMC浮选分离萤石与方解石作用机理研究[J]. 金属矿山, 2022(7): 187–192.
MA Q, LI Y B, LI W Q, et al. Study on the reaction mechanism of fluorite and calcite flotation separation by carboxymethyl cellulose[J]. Metal Mine, 2022(7): 187–192.
- [12] LÓ PEZ-VALDIVIESO A, LOZANO-LEDESMA L A, ROBLEDO-CABRERA A, et al. Carboxymethylcellulose (CMC) as PbS depressant in the processing of Pb–Cu bulk concentrates: Adsorption and floatability studies[J]. Minerals Engineering, 2017, 112: 77–83.
- [13] 张汉泉, 许鑫, 肖林波, 等. 油酸钠在细粒白云石表面吸附特性研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(2): 33–38.
ZHANG H Q, XU X, XIAO L B, et al. Adsorption characteristics of sodium oleate on fine dolomite[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2021, 41(2): 33–38.
- [14] 李彩霞, 刘高全, 白阳, 等. 油酸钠体系中菱镁矿–白云石浮选实验研究[J]. 非金属矿, 2018, 41(4): 77–79.
LI C X, LIU G Q, BAI Y, et al. Study on flotation process of magnesite and dolomite in sodium oleate system[J]. Non-Metallic Mines, 2018, 41(4): 77–79.
- [15] 印万忠, 唐远, 姚金, 等. 矿物浮选过程中的交互影响[J]. 矿产保护与利用, 2018(3): 55–60.
YIN W Z, TANG Y, YAO J, et al. Interactive effects in mineral flotation process[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(3): 55–60.
- [16] LIU X, LUO H H, CHENG R J, et al. Effect of citric acid and flotation performance of combined depressant on colophonite ore[J]. Minerals Engineering, 2017, 109: 162–168.
- [17] GUO F, LI J. Separation strategies for Jordanian phosphate rock with siliceous and calcareous gangues[J]. Mineral Processing, 2010, 97(1/4): 74–78.
- [18] 阮耀阳, 罗惠华, 张泽强, 等. 难选硅钙质胶磷矿正反浮选研究[J]. 矿冶工程, 2017, 37(6): 38–41.
RUAN Y Y, LUO H H, ZHANG Z Q, et al. Direct–reverse flotation of refractory siliceous–calcareous colophonite ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2017, 37(6): 38–41.
- [19] 刘朋, 葛英勇, 刘鸣, 等. 四川某磷矿双反浮选实验研究[J]. 矿冶工程, 2018, 38(3): 63–65+70.
LIU P, GE Y Y, LIU M, et al. Experimental research on double reverse flotation of phosphate ore from sichuan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2018, 38(3): 63–65+70.
- [20] DU W F, LI X B. Insight into the inhibition mechanism of carboxymethyl cellulose for flotation of dolomite and fluorapatite: experimental and DFT studies[J]. Colloids and Surfaces A: Physico-chemical and Engineering Aspects, 2023, 604(5): 131957.

Effect and Mechanism of Carboxymethyl Cellulose on Flotation Separation of Apatite Against Dolomite

FAN Wanhui, JI Zhijie, YANG Fan, ZHOU Feng, ZHANG Hanquan

School of Resources & Safety Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China

Abstract: Effect of carboxymethyl cellulose (CMC) in sodium oleate system on the flotation separation of apatite against dolomite in single mineral experiments was investigated in this study, and its mechanism was further studied through infrared spectrum analysis and Zeta potential analysis. The recovery of apatite and dolomite both attained 90% with 100 mg/L sodium oleate, and changed to 95.52% and 4.72%, respectively with addition of 5 mg/L CMC. As a result, the efficient separation of apatite against dolomite was achieved. The adsorption of sodium oleate on the surface of apatite and dolomite was a physical process. CMC was connected with Mg^{2+} on the surface of dolomite like a "bridge", and hindered the adsorption of sodium oleate on the surface of dolomite. The ability of CMC to hinder the adsorption of sodium oleate on the surface of apatite was extremely limited, so CMC would not influence the flotation of apatite. The Zeta potential results indicated that the surface potential of apatite had a slight negative shift with the increase of CMC concentration, while that of dolomite had a significantly negative shift, indicating that CMC can prevent the adsorption of sodium oleate on the surface of dolomite, but cannot prevent the adsorption of sodium oleate on the surface of apatite.

Keywords: apatite; dolomite; flotation separation; carboxymethyl cellulose; depression

引用格式: 范宛惠, 姬志杰, 杨帆, 周峰, 张汉泉. 羧甲基纤维素对磷灰石与白云石浮选分离的影响及机理研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(1): 61–66.

FAN Wanhui, JI Zhijie, YANG Fan, ZHOU Feng, ZHANG Hanquan. Effect and mechanism of carboxymethyl cellulose on flotation separation of apatite against dolomite[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(1): 61–66.