



三种有机抑制剂在辉钼矿与滑石浮选分离中的作用

钟春晖¹, 冯 博^{1,2,3}, 严华山^{1,2}, 周 鹰⁴, 刘 刚¹, 陈渊淦¹, 宁湘菡¹, 汪惠惠¹

(1. 江西理工大学 江西省矿业工程重点实验室, 赣州 341000;

2. 矿冶科技集团有限公司 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 102628;

3. 中南大学 战略含钙矿物资源清洁高效利用湖南省重点实验室, 长沙 410083;

4. 江西下垄钨业有限公司, 大余 341500)

摘 要: 采用浮选试验、红外光谱测试和XPS分析等技术研究刺槐豆胶、海藻酸钠和壳聚糖三种有机抑制剂在辉钼矿和滑石浮选分离中的作用。结果表明: 在丁基黄药为捕收剂浮选体系中, 海藻酸钠对辉钼矿和滑石均无抑制作用, 壳聚糖同时抑制了两种矿物的浮选, 刺槐豆胶可以选择性地抑制滑石的浮选, 从而实现两种矿物的浮选分离。海藻酸钠未在两种矿物表面发生吸附, 壳聚糖强烈吸附在两种矿物表面, 刺槐豆胶和丁基黄药在辉钼矿表面发生竞争吸附; 刺槐豆胶在辉钼矿表面的预先物理吸附无法完全阻止丁基黄药在辉钼矿表面的化学吸附。

关键词: 辉钼矿; 滑石; 有机抑制剂; 浮选; 分离机理

文章编号: 1004-0609(2022)-12-3843-10

中图分类号: TD952

文献标志码: A

引文格式: 钟春晖, 冯 博, 严华山, 等. 三种有机抑制剂在辉钼矿与滑石浮选分离中的作用[J]. 中国有色金属学报, 2022, 32(12): 3843–3852. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-42322

ZHONG Chun-hui, FENG Bo, YAN Hua-shan, et al. Effects of three organic depressants on flotation separation of molybdenite and talc[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2022, 32(12): 3843–3852. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-42322

辉钼矿是钼金属最主要的来源, 全球99%的钼产量源于辉钼矿。滑石是一种常见的辉钼矿伴生矿物, 具有天然可浮性, 容易在辉钼矿浮选富集时一起进入到钼精矿中。滑石的掺入导致钼精矿质量下降, 镁含量的增加会增大炉渣粘性, 增高熔点, 增加下一道冶炼工艺的成本^[1-3]。因此, 尽量降低辉钼矿中滑石的含量不仅可以提高精矿的钼品位, 而

且可以降低生产成本, 是目前的研究热点和挑战之一。

用于辉钼矿和滑石的分离方法一般有三种: 1) 预先浮选脱除部分滑石; 2) 添加滑石抑制剂抑制滑石, 浮选辉钼矿; 3) 通过酸浸去除混合精矿中的滑石^[4-8]。使用预先浮选法脱除部分滑石时, 滑石的去除量难以把握; 采用酸浸出法去除混合精矿中的

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52174248); 江西省自然科学基金资助项目(20202ACBL214010); 矿物加工科学与技术国家重点实验室开放基金资助项目(BGRIMM-KJSKL-2020-12, BGRIMM-KJSKL-2020-21); 战略含钙矿物资源清洁高效利用湖南省重点实验室开放基金资助项目(2018TP1002); 江西省青年井冈学者奖励计划资助项目; 江西省双千计划资助项目(JXSQ2019201115)

收稿日期: 2021-09-09; **修订日期:** 2021-11-03

通信作者: 冯 博, 教授, 博士; 电话: 18270767369; E-mail: fengbo319@163.com

滑石需要大量的酸溶液, 容易腐蚀设备, 增加设备维护成本。因此, 辉钼矿正浮选是一种较高效、环保的方法, 而开发在辉钼矿的浮选过程中有效的滑石抑制剂是实现这一目标的关键^[9-10]。现有的药剂在抑制滑石浮选方面有良好的作用效果, 但是受限于药剂本身的毒性和较高的市场价格等因素^[11], 许多药剂并未在生产一线得到推广使用。因此, 迫切需要开发更高效、更环保的滑石抑制剂, 而药剂与矿物作用的相关机制探索将有助于推进这一研究进程。

刺槐豆胶、海藻酸钠和壳聚糖是三种天然有机高分子化合物, 它们在矿物浮选中的作用已有报道, 特别是在含钙矿物浮选及铜、铅、锌等硫化矿物浮选中得到了广泛研究^[12-17]。然而, 这些抑制剂在辉钼矿和滑石等天然可浮性矿物浮选分离中的应用却少有报道, 尤其是缺乏不同抑制剂与矿物表面的作用机理研究。本文通过单矿物和人工二元混合矿试验考察了以上三种有机高分子抑制剂在辉钼矿和滑石浮选分离中的作用, 通过红外光谱测试对比了三种抑制剂在矿物表面的吸附状态, 结合 XPS 分析探索了刺槐豆胶和丁基黄药在辉钼矿表面的竞争吸附机制, 揭示了丁基黄药为捕收剂的浮选体系下, 刺槐豆胶高效分离辉钼矿和滑石的原理, 为天然可浮性矿物的浮选分离提供了理论支撑。

1 实验

1.1 样品和试剂

高纯块状辉钼矿和滑石样品购自广州市花都区叶氏矿石标本店, 经破碎筛分后, 37~150 μm 粒级样品用于浮选试验和 XPS 测试, 粒径小于 37 μm 的样品再磨至粒径小于 5 μm 以用于红外光谱分析。辉钼矿和滑石 XRD 谱分析(见图 1)和化学组成分析(见表 1)表明, 两种单矿物纯度较高, 其中辉钼矿纯度为 95.46%(质量分数), 滑石纯度为 95.73%(质量分数), 符合试验要求。

试验所用捕收剂丁基黄药(PBX)为工业级, 取自南京银茂铅锌矿; 抑制剂刺槐豆胶(LBG)、海藻酸钠(SA)、壳聚糖(CS)、pH 调整剂盐酸(HCl)和氢氧化钠(NaOH)、起泡剂甲基异丁基甲醇(MIBC)等

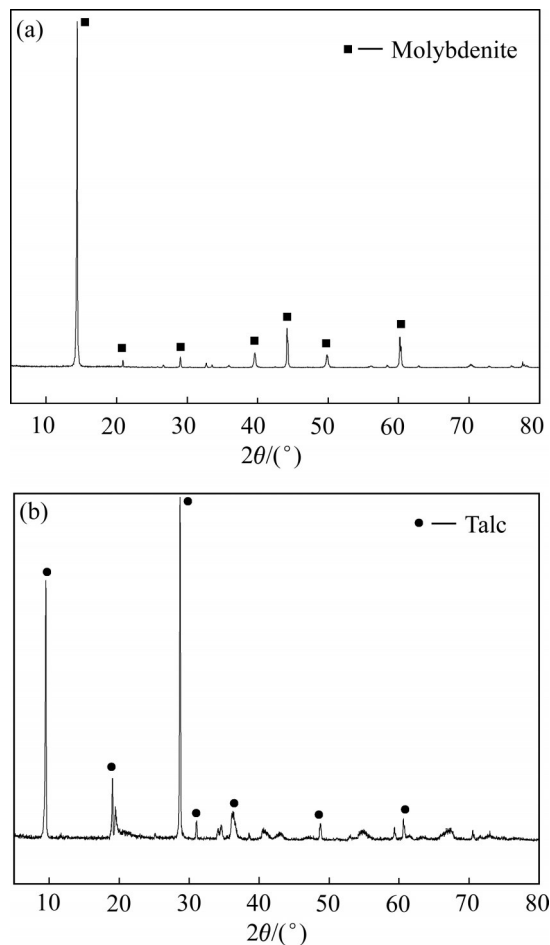


图1 辉钼矿和滑石样品的 XRD 谱

Fig. 1 XRD patterns of molybdenite(a) and talc(b)

表1 辉钼矿和滑石样品样品的化学组成分析

Table 1 Chemical composition of molybdenite and talc

Mineral	Mass fraction/%				Purity
	Mo	Fe	MgO	SiO ₂	
Molybdenite	57.22	—	—	—	95.46
Talc	—	0.56	30.39	63.05	95.73

分析纯购自上海思域化工有限公司; 试验用水为去离子水。图 2 所示为刺槐豆胶、海藻酸钠和壳聚糖的分子结构。

1.2 浮选试验

将 2 g 单矿物(混合矿试验: 1 g 辉钼矿+1 g 滑石)和 40 mL 去离子水加入 XFGII-5 挂槽浮选机中搅拌, 按照试验方案添加 NaOH 或 HCl 调整 pH 后依次加入抑制剂、捕收剂并分别调浆 3 min, 然后加入起泡剂作用 1 min; 当药剂作用完全后开始充气

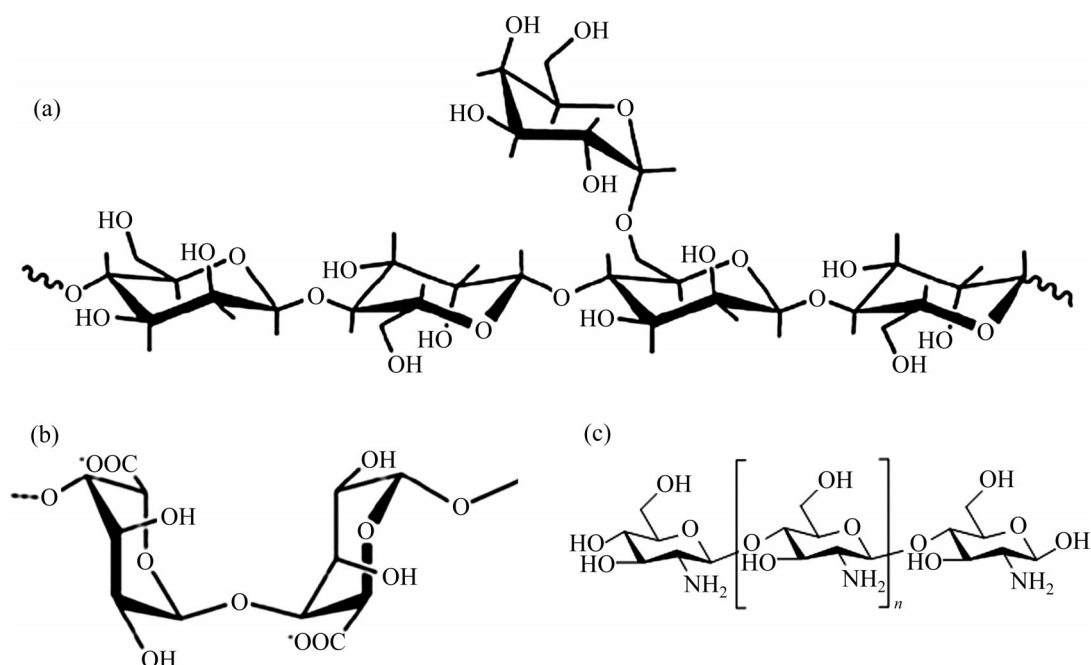


图2 刺槐豆胶、海藻酸钠和壳聚糖的分子结构

Fig. 2 Molecular structure of LBG(a), SA(b) and CS(c)

浮选刮泡3 min,得到的精矿和尾矿分别烘干、称量质量。在单矿物试验中,产率即为回收率;在混合矿试验中,化验产物中钼品位,结合产率得到钼的回收率。

1.3 傅里叶变换红外光谱(FTIR)测试

采用ALPHA FTIR光谱仪(德国Bruker)对抑制剂和捕收剂作用前后的辉钼矿和滑石样品进行红外光谱测试,表征药剂在矿物表面的吸附状态。将1 g粒径小于5 μm 矿样与40 mL去离子水混合,药剂制度和作用时间与浮选试验一致,将得到的样品真空干燥,取其中1 mg样品与适量细粉状溴化钾(KBr)混合,压制成片后进行FTIR分析。

1.4 X射线光电子能谱(XPS)分析

将1 g矿物和40 mL去离子水混合形成矿浆,根据试验要求使用NaOH或HCl将矿浆pH调整为3,按照浮选试验中的加药制度和作用时间加入抑制剂刺槐豆胶和捕收剂丁基黄药,将制取的样品真空干燥使用K-Alpha型X射线光电子能谱仪(美国Thermo Fisher公司生产)进行XPS分析。

2 结果和讨论

2.1 浮选试验

滑石和辉钼矿均具有天然可浮性。由图3(a)可知,仅在 $2 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 起泡剂甲基异丁基甲醇(MIBC)作用下,滑石和辉钼矿的浮选回收率分别为89.05%和88.55%,不添加选择性抑制剂无法实现两种矿物的浮选分离。在无捕收剂条件下,考察了海藻酸钠(SA)、刺槐豆胶(LBG)和壳聚糖(CS)三种高分子抑制剂对滑石和辉钼矿浮选的影响,发现低用量的刺槐豆胶和壳聚糖就能抑制滑石和辉钼矿的浮选,海藻酸钠对两种矿物都不具备抑制作用,且这种规律在pH值为3~11范围内均得以体现(见图3(b))。

丁基黄药(PBX)是硫化矿物浮选常用捕收剂之一^[18-20],但对硅酸盐矿物没有捕收作用,因此,引入其作为浮选捕收剂,探索辉钼矿和滑石浮选分离的可能性,其结果如图3(c)和(d)所示。从图3(c)可以看出,与无捕收剂作用试验结果相似,添加丁基黄药后,海藻酸钠对两种矿物均无抑制作用,壳聚糖依然表现出对两种矿物的强烈抑制,且pH对两

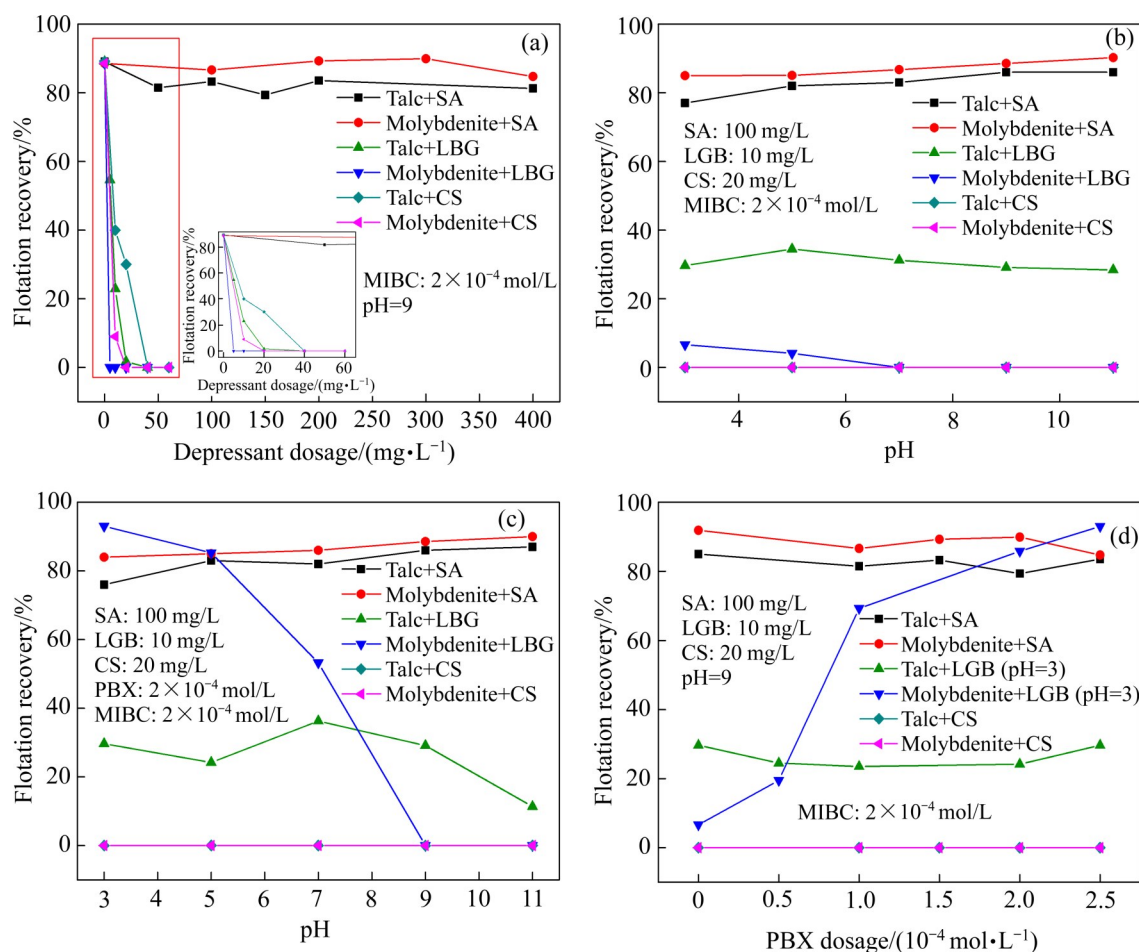


图3 不同浮选条件对辉钼矿和滑石浮选行为的影响

Fig. 3 Effects of different flotation conditions on flotation behavior of molybdenite and talc: (a) Mineral+depressant+MIBC (pH=9), depressant dosage as variable; (b) Mineral+depressant+MIBC, pH as variable; (c) Mineral+depressant+PBX+MIBC, pH as variable; (d) Mineral+depressant+PBX+MIBC, PBX dosage as variable

种药剂的效果无明显影响。与无捕收剂试验结果不同的是，刺槐豆胶为抑制剂时，pH对辉钼矿浮选影响较大；在酸性条件下，添加丁基黄药作用后，辉钼矿恢复了可浮性；随着pH的升高，辉钼矿浮选回收率下降，与滑石浮选的差异性缩小，这可能是辉钼矿表面在碱性环境下发生氧化强化了刺槐豆胶的吸附所致。图3(d)所示为丁基黄药用量实验，可见以海藻酸钠或壳聚糖为抑制剂时，捕收剂用量对两种矿物的浮选行为影响不大。在pH=3条件下，刺槐豆胶作为抑制剂时，辉钼矿浮选回收率随丁基黄药用量增加而逐步增大，在用量 2.5×10^{-4} mol/L时达到了93%；而滑石处于被抑制状态，浮选回收率始终低于30%。综上所述，在以丁基黄药为辉钼矿捕收剂条件下，海藻酸钠和壳聚糖两种抑制剂无法分离辉钼矿和滑石，而刺槐豆胶可在酸性条件下

选择性地抑制滑石浮选，实现两种矿物的浮选分离。

为进一步验证刺槐豆胶在辉钼矿和滑石浮选过程中的选择性抑制作用，进行了人工二元混合矿浮选试验，浮选指标如表2所示。由表2中的浮选精矿产率可知，使用海藻酸钠或者壳聚糖作为抑制剂时，混合矿浮选结果与辉钼矿和滑石单矿物浮选结果一致，即海藻酸钠对两种矿物均不抑制，而壳聚糖同时抑制两种矿物。以刺槐豆胶为抑制剂时，浮选精矿产率为56.55%，尾矿产率为43.45%，精矿和尾矿中Mo品位分别为48.84%和2.65%，辉钼矿在精矿和尾矿中的回收率分别为95.99%和4.01%，说明混合矿在刺槐豆胶和丁基黄药的共同作用下得到有效分离。

表2 辉钼矿和滑石人工二元混合矿浮选指标

Table 2 Flotation index of molybdenite and talc binary mixture (mass ratio of 1:1) in presence of various depressants using 2.0×10^{-4} mol/L PBX as collector

Depressant	Product	Yield/%	Mo grade/%	Molybdenite recovery/%
10 mg/L LBG(pH=3)	Concentrate	56.55	48.84	95.99
	Tailings	43.45	2.65	4.01
	Feed	100.00	28.77	100.00
100 mg/L SA(pH=9)	Concentrate	92.90	—	—
	Tailings	7.10	—	—
	Feed	100.00	—	100.00
20 mg/L CS(pH=9)	Concentrate	0.00	—	—
	Tailings	100.00	—	—
	Feed	100.00	—	100.00

2.2 红外光谱分析

对三种抑制剂和丁基黄药作用前后滑石和辉钼矿进行了红外光谱(FTIR)测试,以考察药剂在两种矿物表面的吸附状态。图4(a)所示为三种抑制剂和丁基黄药的FTIR谱,对于丁基黄药,在 3401 cm^{-1} 处的吸收峰是由于—OH的振动^[21-22],这来自于丁基黄药吸收的水分。 2931 cm^{-1} 的吸收峰与—CH₂的拉伸振动有关,而 1639 、 1417 cm^{-1} 处的吸收峰与—CH₃、—CH₂的变形振动有关^[23]。在 $1021 \sim 1248 \text{ cm}^{-1}$ 范围内的吸收峰源于C—O、C—S和C=S的拉伸振动^[24]。对于海藻酸钠, 1421 cm^{-1} 和 1624 cm^{-1} 处的峰为—COO—的不对称和对称伸缩振动峰, 1030 cm^{-1} 处为C—O—C的伸缩振动峰^[25]。在壳聚糖的红外光谱测试图谱中,—OH引起的非对称振动带从 3700 cm^{-1} 扩展到 2500 cm^{-1} ; —NH伸缩振动带出现在 3370 和 3300 cm^{-1} , —NH₂弯曲振动峰位于 1599 cm^{-1} 处, 2924 和 2857 cm^{-1} 处—CH₂和—CH叠加到—OH宽带。刺槐豆胶红外光谱测试图谱中 3425.41 cm^{-1} 处的宽频带为单键—OH基团的伸缩振动, 2927 cm^{-1} 和 2853 cm^{-1} 处出现的吸附带分别对应于—CH₂和—CH基团的C—H伸缩振动, 1023 cm^{-1} 处的吸收带源于C—O—H的伸缩振动^[26-27]。

图4(b1)和(b2)所示分别为海藻酸钠作用前后滑石和辉钼矿的FTIR谱。观察发现,添加海藻酸钠前后,滑石和辉钼矿的FTIR谱均未出现明显变化,说明海藻酸钠并未在滑石和辉钼矿表面吸附,或者发生了吸附但是强度微弱,因此,如浮选结果所示,海藻酸钠对两种矿物的可浮性并未造成影响。

图4(c1)和(c2)所示分别为壳聚糖作用前后滑石和辉钼矿的FTIR谱。由图4(c1)和(c2)可知,壳聚糖作用后,滑石样品检测到位于 $2850 \sim 2930 \text{ cm}^{-1}$ 区域的一CH₂和一CH基团的吸收峰,辉钼矿样品检测到处于 1599 cm^{-1} 的一NH₂弯曲振动峰,说明壳聚糖在两种矿物表面均发生了明显的吸附。此后,用丁基黄药处理与壳聚糖作用后的辉钼矿,结果并未观察到明显变化,说明丁基黄药没有在壳聚糖作用后的辉钼矿表面发现显著吸附,这与浮选试验中两种矿物都被壳聚糖完全抑制现象一致。如图4(d1)和(d2)所示,用刺槐豆胶处理滑石和辉钼矿后,两种矿物样品位于 $2850 \sim 2930 \text{ cm}^{-1}$ 区域的一CH₂和一CH基团的吸收峰的强度均增强了,滑石在 1023 cm^{-1} 附近的C—O—H的伸缩振动带明显宽化,说明刺槐豆胶在滑石和辉钼矿表面均发生了吸附。值得关注的是,在用丁基黄药处理与刺槐豆胶作用过的辉钼矿后,辉钼矿样品在 1248 cm^{-1} 处检测到源于丁基黄药分子中的C—S和C=S的拉伸振动峰。这一现象说明刺槐豆胶在辉钼矿表面的预先吸附并没有完全阻碍丁基黄药在辉钼矿表面的吸附,因此,在刺槐豆胶和丁基黄药共存的浮选体系中,辉钼矿是可浮的。

2.3 XPS分析

使用X射线光电子能谱(XPS)研究了刺槐豆胶和丁基黄药作用前后辉钼矿表面Mo和S原子结合能的变化,其结果如图5所示。由图5(a1)可知,在未经药剂处理的辉钼矿的Mo 3d光谱中, 229.50 eV 处的峰为MoS₂ 3d 5/2, 232.64 eV 处的峰

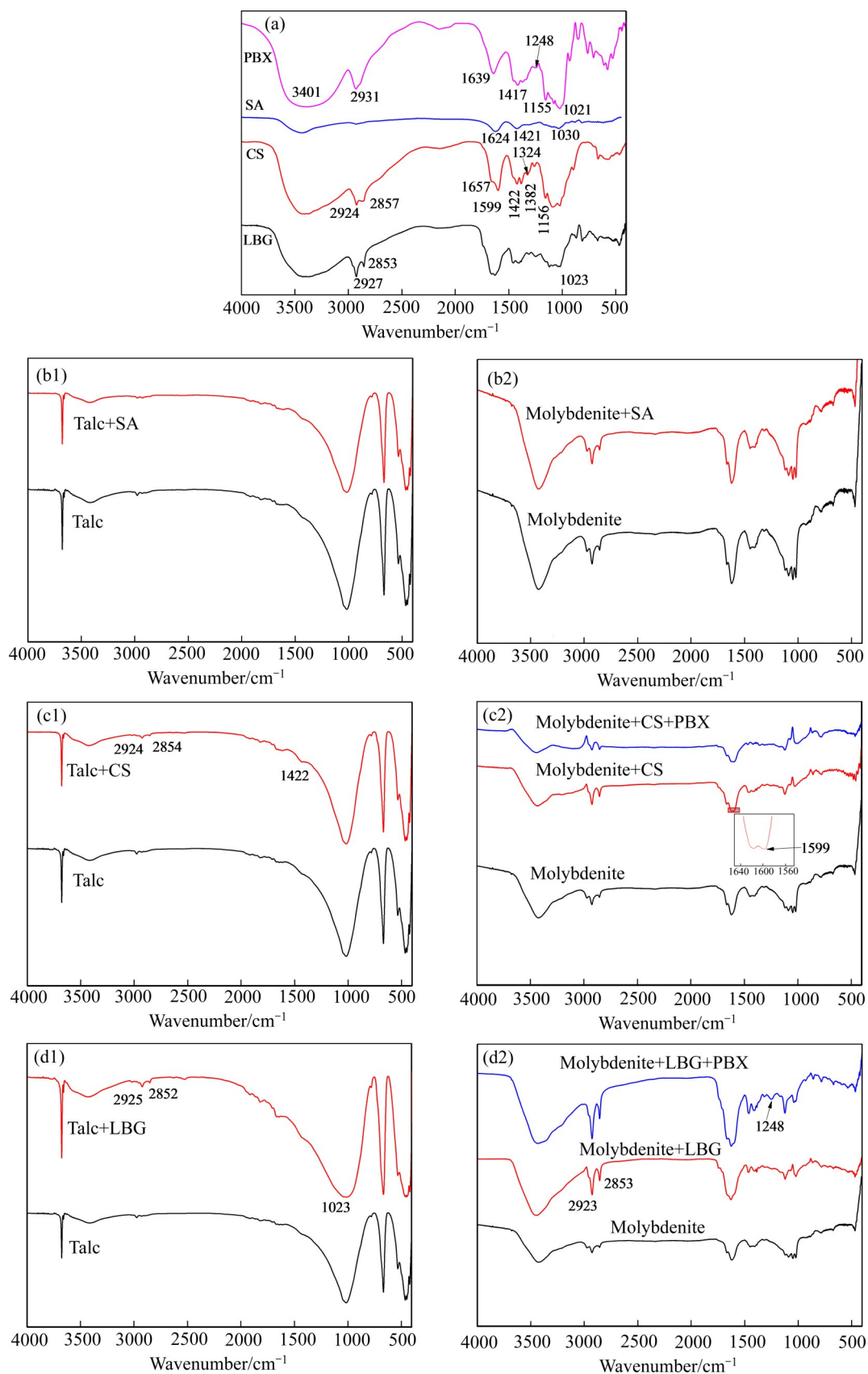


图4 各种药剂作用前后滑石和辉钼矿 FTIR 谱

Fig. 4 FTIR spectra of talc and molybdenite before and after adding various reagents: (a) Reagents; (b1), (b2) Mineral+SA; (c1), (c2) Mineral+CS(PBX); (d1), (d2) Mineral+LBG(PBX)

为 MoS_2 3d 3/2, 226.67 eV 处的峰与 S 2s 相关, 其区域与 Mo 3d 区域强烈重叠。辉钼矿经刺槐豆胶处理后(见图 5(a2)), 其表面 Mo 原子结合能只减小了 0.02~0.03 eV, 变化幅度属于仪器误差范围内 (<0.20 eV), 说明刺槐豆胶在辉钼矿表面的吸附不是化学吸附。值得注意的是, 经刺槐豆胶处理过的辉钼矿再添加丁基黄药作用时, 辉钼矿表面

MoS_2 3d 5/2 和 MoS_2 3d 3/2 原子结合能分别为 229.24 eV 和 232.38 eV, 与刺槐豆胶单独处理时相比, 减小了 0.23~0.24 eV, 类似的原子结合能变化规律也体现在辉钼矿表面 S 元素上。丁基黄药处理后辉钼矿表面元素发生了显著的化学位移, 表明丁基黄药在辉钼矿表面发生了化学吸附, 同时证实了刺槐豆胶在辉钼矿表面的预先物理吸附无法阻止更

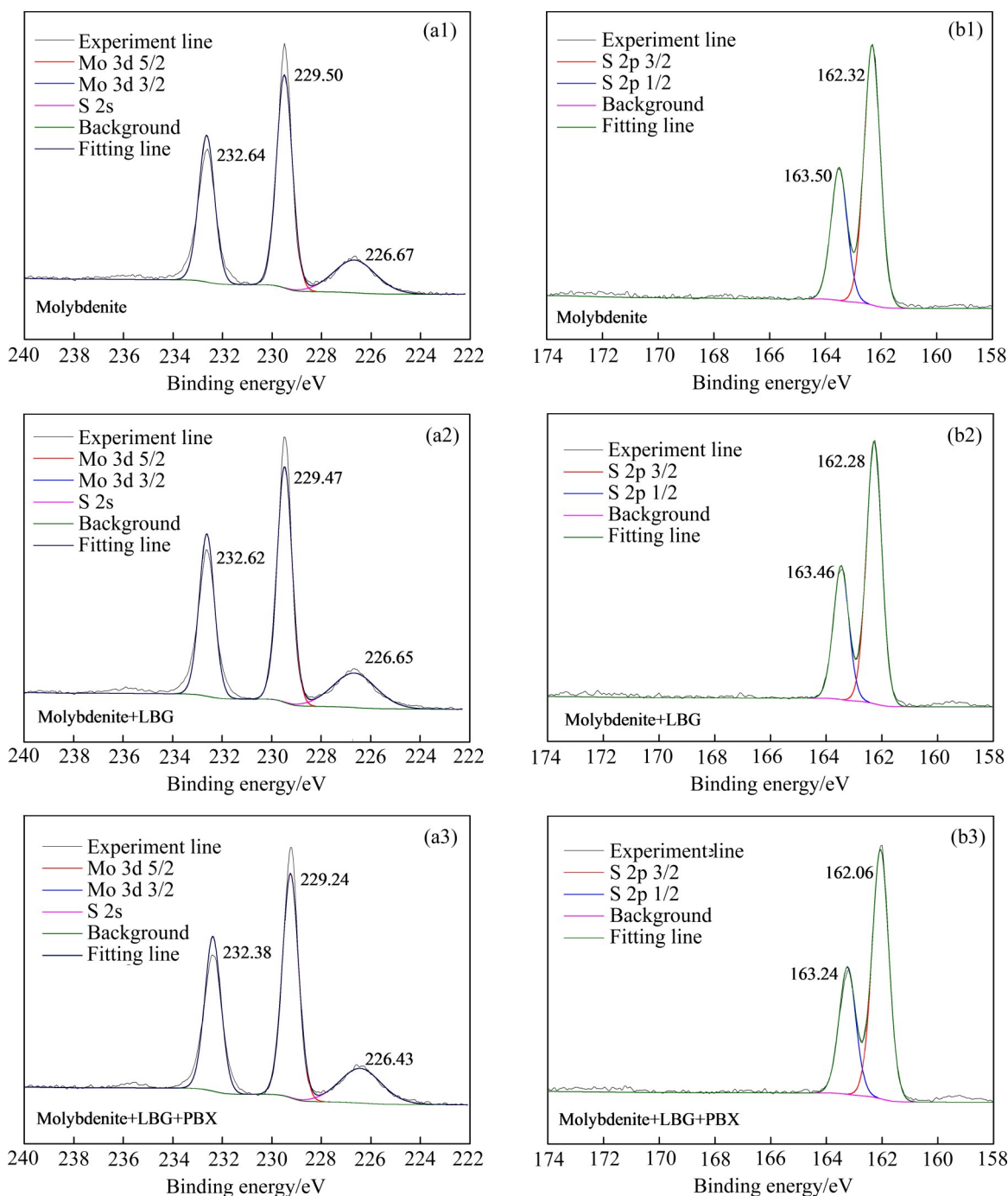


图5 刺槐豆胶和丁基黄药处理前后辉钼矿表面元素的窄区扫描图谱

Fig. 5 Resolved narrow scan spectra of elements on molybdenite surface before and after adding LBG and PBX: (a1), (a2), (a3) Mo; (b1), (b2), (b3) S

加强烈的丁基黄药在辉钼矿表面的化学吸附。

2.4 刺槐豆胶和丁基黄药在辉钼矿表面的竞争吸附机理

滑石和辉钼矿都是天然可浮性矿物，在适当用量起泡剂的作用下就有较高的浮选回收率。刺槐豆胶在烃类骨架上有大量的极性基团羟基，当刺槐豆胶加入到浮选矿浆时，刺槐豆胶通过氢键作用、疏水作用或静电作用吸附在辉钼矿和滑石表面，增强了矿物表面的亲水性，从而抑制矿物浮选。

丁基黄药是一种由疏水性丁基和亲水性黄原酸基组成的异极性分子，它对硫化物矿物具有选择性捕收作用。辉钼矿的层状结构中包括基面和端面两个断裂面，其中基面是由层间 S—S 分子键的断裂形成的，而端面是由较强的 Mo—S 共价键的断裂产生的。有研究者通过密度泛函理论探讨了水、煤油和黄药对辉钼矿表面的影响^[28]，他们发现丁基黄药在辉钼矿基面上的吸附能为正值，而在辉钼矿端面上的吸附能为负值，说明丁基黄药可以吸附在辉钼矿端面上，但不能吸附在辉钼矿基面上。丁基黄药通过分子中 C—S 单键中的 S 与辉钼矿端面上的 Mo 结合吸附在辉钼矿表面，而疏水丁基向外排列形成疏水层，导致辉钼矿表面疏水，这与前人的研究结果一致^[29]。

红外光谱测试和 XPS 测试分析结果表明，在刺槐豆胶和丁基黄药共存的浮选体系中，刺槐豆胶和丁基黄药在辉钼矿表面发生竞争吸附，刺槐豆胶在辉钼矿表面的预先吸附无法完全阻止丁基黄药在辉钼矿表面的吸附。因此，在浮选试验中，辉钼矿保持了较高的浮选回收率，而滑石被刺槐豆胶严重抑制，从而实现了两种矿物的浮选分离。

3 结论

1) 在无捕收剂条件下，海藻酸钠对辉钼矿和滑石均无抑制效果，刺槐豆胶和壳聚糖会同时抑制这两种矿物的浮选。

2) 在由刺槐豆胶和丁基黄药组成的浮选体系中，辉钼矿具有良好的可浮性，滑石被严重抑制，人工二元混合矿物浮选试验验证了两种矿物的浮选分离可行性。

3) 红外光谱测试和 XPS 分析表明，刺槐豆胶

在辉钼矿表面的预先物理吸附不能完全阻止丁基黄药在辉钼矿表面的化学吸附。

REFERENCES

- [1] YUAN D, XIE L, SHI X, et al. Selective flotation separation of molybdenite and talc by humic substances[J]. *Minerals Engineering*, 2018, 117: 34–41.
- [2] FENG B, PENG J, ZHANG W, et al. Use of locust bean gum in flotation separation of chalcopyrite and talc[J]. *Minerals Engineering*, 2018, 122: 79–83.
- [3] BEATTIE D A, HUYNH L, KAGGWA G B N, et al. The effect of polysaccharides and polyacrylamides on the depression of talc and the flotation of sulphide minerals[J]. *Minerals Engineering*, 2006, 19(6/7/8): 598–608.
- [4] BRAGA P F A, CHAVES A P, LUZ A B, et al. The use of dextrin in purification by flotation of molybdenite concentrates[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2014, 127: 23–27.
- [5] KELEBEK S, YORUK S, SMITH G W. Wetting behavior of molybdenite and talc in lignosulphonate/MIBC solutions and their separation by flotation[J]. *Separation Science and Technology*, 2001, 36(2): 145–157.
- [6] 张文钲. 钼矿选矿工艺研究进展[J]. *中国钼业*, 2009, 33(5): 1–6.
ZHANG Wen-zheng. Progress of research on dressing technology of molybdenum ores[J]. *China Molybdenum Industry*, 2009, 33(5): 1–6.
- [7] 张其东, 袁致涛, 刘炯天, 等. 葡聚糖对辉钼矿与滑石浮选分离的影响[J]. *中国有色金属学报*, 2016, 26(4): 884–890.
ZHANG Qi-dong, YUAN Zhi-tao, LIU Jiong-tian, LI Xiao-li, LU Ji-wei, LU Shuai-shuai. Effect of glucan on flotation separation of molybdenite and talc[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2016, 26(4): 884–890.
- [8] 严海军, 罗仙平, 朱贤文, 等. 硫化矿浮选中滑石抑制剂的研究进展[J]. *矿产保护与利用*, 2020, 40(1): 138–144.
YAN Hai-jun, LUO Xian-ping, ZHU Xian-wen, et al. Research progress on talc inhibitors in sulfide ore flotation[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2020, 40(1): 138–144.
- [9] LI M, WEI D, SHEN Y, et al. Selective depression effect in flotation separation of copper-molybdenum sulfides using 2,3-disulfanylbutanedioic acid[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2015, 25(9): 3126–3132.
- [10] FAN X, DENG Q, GAN M, et al. Roasting oxidation behaviors of ReS₂ and MoS₂ in powdery rhenium-bearing, low-grade molybdenum concentrate[J]. *Transactions of*

- Nonferrous Metals Society of China, 2019, 29(4): 840–848.
- [11] 张磊, 祝思频, 张青青, 等. 微波活化对过硫酸盐降解典型选矿药剂苯胺黑药的影响[J]. 有色金属科学与工程, 2022, 1(6): 1–12.
- ZHANG Lei, ZHU Si-pin, ZHANG Qing-qing, et al. Effect of microwave activation on degradation of aniline aerofloat by persulfate[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2022, 1(6): 1–12.
- [12] 高志勇, 宋韶博, 孙伟, 等. 瓜尔胶和黄原胶对方解石浮选的抑制行为差异及机理[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2016, 47(5): 1459–1464.
- GUO Zhi-yong, SONG Shao-bo, SUN Wei, et al. Depressant behavior and mechanism of guar and xanthan gums on calcite flotation[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2016, 47(5): 1459–1464.
- [13] 冯博, 张文谱, 郭蔚, 等. 组合捕收剂及海藻酸钠在白钨矿和方解石浮选分离中的作用及机理[J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(1): 203–210.
- FENG Bo, ZHANG Wen-pu, GUO Wei, et al. Role and mechanism of combined collector and sodium alginate in flotation separation of scheelite and calcite[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2019, 29(1): 203–210.
- [14] 钟春晖, 冯博, 张文谱, 等. 抑制剂海藻酸钠浮选分离磷灰石和方解石的作用及机理[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(2): 490–498.
- ZHONG Chun-hui, FENG Bo, ZHANG Wen-pu, et al. Effect and mechanism of depressant sodium alginate on flotation separation of apatite and calcite[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(2): 490–498.
- [15] LI M, WEI D, LIU Q, et al. Flotation separation of copper-molybdenum sulfides using chitosan as a selective depressant[J]. Minerals Engineering, 2015, 83: 217–222.
- [16] HUANG P, CAO M, LIU Q. Selective depression of pyrite with chitosan in Pb-Fe sulfide flotation[J]. Minerals Engineering, 2013, 46/47: 45–51.
- [17] SHEN Z, WEN S, HAN G, et al. Selective depression mechanism of locust bean gum in the flotation separation of chalcopyrite from pyrite in a low-alkalinity media[J]. Minerals Engineering, 2021, 170: 107044.
- [18] 王梦雨, 邱仙辉, 袁勤智, 等. 硫铁矿在废水处理中的研究现状[J]. 有色金属科学与工程, 2020, 11(1): 78–84.
- WANG Meng-yu, QIU Xian-hui, YUAN Qin-zhi, et al. Research status of iron sulfide minerals in wastewater treatment[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2020, 11(1): 78–84.
- [19] 邱廷省, 董浩, 严华山, 等. 某含金银铜硫矿石的低碱铜硫分离与伴生金银综合回收[J]. 有色金属科学与工程, 2021, 12(5): 81–88.
- QIU Ting-sheng, DONG Hao, YAN Hua-shan, et al. Separation of low alkali copper and sulfur and comprehensive recovery of associated gold and silver from a gold, silver, copper and sulfur ore[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2021, 12(5): 81–88.
- [20] 谢文东, 陈雯, 沈强华, 等. 选矿技术贫化铜渣的研究进展[J]. 有色金属科学与工程, 2020, 11(4): 91–97.
- XIE Wen-dong, CHEN Wen, SHEN Qiang-hua, et al. Research progress in depleted copper slag in beneficiation process[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2020, 11(4): 91–97.
- [21] CHENG G, ZHANG C, ZHANG X, et al. Desulfurization of flue gas by means of lignite-derived potassium humate[J]. Fuel, 2019, 252: 646–652.
- [22] CHENG G, LI Z, MA Z, et al. Optimization of collector and its action mechanism in lignite flotation[J]. Powder Technology, 2019, 345: 182–189.
- [23] CHENG G, ZHANG M, CAO Y, et al. Preparation and evaluation of lignite flotation collector derived from waste hot-pot oil[J]. Fuel, 2020, 267: 117138.
- [24] KHOSO S A, HU Y H, LÜ F, et al. Xanthate interaction and flotation separation of H₂O₂-treated chalcopyrite and pyrite[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2019, 29(12): 2604–2614.
- [25] SIMONS W W. The sadtler handbook of infrared spectra[M]. Philadelphia: Sadtler Research Laboratories, 1978.
- [26] KAITY S, ISAAC J, GHOSH A. Interpenetrating polymer network of locust bean gum-poly (vinyl alcohol) for controlled release drug delivery[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 94(1): 456–467.
- [27] JANA S, SEN K K. Chitosan-Locust bean gum interpenetrating polymeric network nanocomposites for delivery of aceclofenac[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 102: 878–884.
- [28] 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 Zhen-lun, LI Yu-biao. Anisotropy of molybdenite surface and its effects on flotation mechanism[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(3): 31–36.
- [29] LIN Q, GU G, WANG H, et al. Recovery of molybdenum and copper from porphyry ore via iso-flotability flotation[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2017, 27(10): 2260–2271.

Effects of three organic depressants on flotation separation of molybdenite and talc

ZHONG Chun-hui¹, FENG Bo^{1,2,3}, YAN Hua-shan^{1,2}, ZHOU Ying⁴, LIU Gang¹,
CHEN Yuan-gan¹, NING Xiang-han¹, WANG Hui-hui¹

(1. Jiangxi Key Laboratory of Mining Engineering, Jiangxi University of Science and Technology,
Ganzhou 341000, China;

2. State Key Laboratory of Mineral Processing, BGRIMM Technology Group, Beijing 102628, China;

3. Key Laboratory of Hunan Province for Clean and Efficient Utilization of
Strategic Calcium-containing Mineral Resources, Central South University, Changsha 410083, China;

4. Jiangxi Xialong Tungsten Industry Co., Ltd., Dayu 341500, China)

Abstract: The roles of three organic depressants, locust bean gum(LBG), sodium alginate(SA) and chitosan(CS), were investigated in the flotation separation of molybdenite and talc through flotation experiments, Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy test and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis. The results show that, in the flotation system of potassium butylxanthate(PBX) as a collector, SA has no depressive effect on molybdenite and talc, CS simultaneously depresses the flotation of the two minerals, LBG can selectively depress the flotation of talc, thus realizing the flotation separation of the two minerals. SA is not adsorbed on the surfaces of the two minerals, while CS is strongly adsorbed on the surfaces of the two minerals. LBG and PBX undergo competitive adsorption on the surface of molybdenite, and the prior physical adsorption of LBG on the molybdenite surface cannot completely prevent the chemical adsorption of PBX on the molybdenite surface.

Key words: molybdenite; talc; organic depressant; flotation; separation mechanism

Foundation item: Project(52174248) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (20202ACBL214010) supported by the Natural Science Foundation of Jiangxi Province, China; Projects(BGRIMM-KJSKL-2020-12, BGRIMM-KJSKL-2020-21) supported by the Open Foundation for the State Key Laboratory of Mineral Processing Science and Technology, China; Project(2018TP1002) supported by the Open Foundation of Key Laboratory of Hunan Province for Clean and Efficient Utilization of Strategic Calcium-containing Mineral Resources, China; Project supported by the Youth Jinggang Scholars Program in Jiangxi Province, China; Project(JXSQ2019201115) supported by the "Thousand Talents" of Jiangxi Province, China

Received date: 2021-09-09; **Accepted date:** 2021-11-03

Corresponding author: FENG Bo; Tel: +86-18270767369; E-mail: fengbo319@163.com

(编辑 何学锋)