2021 年 2 月 February 2021

DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-37721

抑制剂海藻酸钠浮选分离磷灰石和 方解石的作用及机理



钟春晖1,冯博^{1,2},张文谱¹,张良柱¹,郭宇涛¹,王涛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. 北京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)

摘 要:通过浮选试验、吸附量测试、红外光谱(FTIR)分析和 X 射线光电子能谱(XPS)分析,研究抑制剂海 藻酸钠对磷灰石和方解石浮选的影响,考察海藻酸钠对两种矿物的抑制作用机理。浮选结果表明: pH=9 时 海藻酸钠可强烈抑制方解石,而对磷灰石浮选的影响较小。海藻酸钠在方解石表面的吸附量大于在磷灰石 表面的吸附量。海藻酸钠主要通过氢键吸附在磷灰石表面,而在方解石上的吸附则是氢键结合和化学键合 共同作用所致。因此,海藻酸钠在方解石上的吸附强于磷灰石,导致其对方解石的选择性抑制。 关键词:磷灰石;方解石;抑制剂;海藻酸钠;分离机理 文章编号: 1004-0609(2021)-02-0490-09 中图分类号: TD952 文献标志码: A

引文格式: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. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-37730

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. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-37730

作为不可替代的生命元素,磷广泛存在于生物 的细胞中,它是化肥和动物饲料添加剂的重要组成 部分,但对于动植物而言很难自然获得^[1]。磷矿是 磷的主要来源,其中磷灰石是磷矿中重要的一种难 溶性的盐类矿物。作为常见的脉石矿物,白云石、 石英和方解石^[2-3]等硅酸盐或碳酸盐常与磷灰石共 生。由于硅酸盐和磷酸盐表面物理化学性质的差 异,含硅磷灰石易与脉石矿物浮选分离。然而,由 于碳酸盐和磷酸盐相似的表面物理化学性质,磷灰 石与脉石矿物方解石的浮选分离却很困难^[4-5]。

磷灰石和脉石矿物方解石的分离常采用正浮 选工艺,即以脂肪酸及其衍生物或者组合捕收剂浮 选磷灰石,同时添加抑制剂减少方解石的上浮^[6]。 但由于磷灰石和方解石表面具有相同的钙离子活 性质点,脂肪酸等捕收剂很难实现对磷灰石的选择 性浮选^[7]。因此,开发出对方解石具有选择性的抑 制剂就显得更为重要。

按化学组成分类,抑制剂分为无机抑制剂和有 机抑制剂^[8-13],无机抑制剂一般用量大,会对环境 造成不利影响^[14]。多年来,研究者已经选择了多种 有机抑制剂作为碳酸盐矿物方解石的选择性抑制 剂,如羧甲基壳聚糖、木质素磺酸钙、果胶、瓜尔 胶、黄原胶和聚天冬氨酸盐等^[15-19],为方解石的选 择性抑制研究提供了一定的理论基础。但这些研究 大多是在白钨矿与方解石浮选分离体系中进行的, 对于磷灰石浮选过程中有机抑制剂抑制方解石的 研究却相对较少。

海藻酸钠(SA)是一种天然多糖,分子中含有羟

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51664020);江西省自然科学基金资助项目(20181BAB206021);北京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开放基金资助项目(BGRIMM-KJSKL-2020-12)

收稿日期: 2020-03-17; 修订日期: 2020-06-23

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

基和羧基,具有与矿物发生螯合作用并在溶液中形成亲水性胶体从而使矿物表面亲水的潜力。尽管海藻酸钠在浮选中的应用已有报道^[20-21],但其在磷灰石浮选体系中对方解石的选择性抑制却少有研究。本文作者通过浮选试验、吸附量测试试验、红外光谱(FTIR)分析和 X 射线光电子能谱(XPS)分析,研究了抑制剂海藻酸钠对磷灰石和方解石浮选的影响,考察了海藻酸钠对两种矿物的抑制作用机理,以期为促进磷灰石与方解石的浮选分离提供理论支撑。

1 实验

1.1 样品和试剂

试验所用磷灰石和方解石样品购自广州市花 都区叶氏矿石标本店。从所取的样品中挑选纯度较 高的块矿,用橡胶锤捶碎,手选除去杂质矿物,使 用瓷球球磨磨细后,使用套筛筛分样品,37~74 μm 粒级样品(BET 多点法比表面积测试得该粒度磷灰 石和方解石的比表面积分别为 0.2907 m²/g、0.2081 m²/g)用于浮选试验、吸附行为分析和 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。XRD 谱分析表明,方解石纯度较 高,无其他杂质,磷灰石为羟基磷灰石,其中夹杂 少量碳氟化合物。矿物样品的化学组成分析表明, 磷灰石含有 39.37%(质量分数)的 P₂O₅,表明羟基磷 灰石的纯度为 92.81%(质量分数);方解石含有 55.98%(质量分数)的 CaO,表明方解石的纯度为 99.96%(质量分数)。样品纯度符合试验要求。

试验所用抑制剂海藻酸钠(SA)、捕收剂油酸钠 (NaOl)、pH 调整剂盐酸(HCl)和氢氧化钠(NaOH)等 均为上海思域化工有限公司产品,分析纯,蒸馏水 作为实验用水。

1.2 浮选试验

将2g单矿物(或1g磷灰石+1g方解石)和40 mL 蒸馏水加入 XFGII-5 挂槽浮选机中搅拌混合形 成矿浆,根据试验要求使用 NaOH 或 HCl 将矿浆 pH 调整为需要的值并加入抑制剂海藻酸钠(如果需 要)、捕收剂油酸钠并分别调浆3 min,待药剂充分 作用后开始充气浮选;手工刮泡3 min,将泡沫产



图 1 磷灰石和方解石样品的 XRD 谱分析 Fig. 1 XRD diagrams of apatite(a) and calcite(b)

表 1 磷灰石和方解石样品的化学组成分析 Table 1 Chemical composition of apatite and calcite

Sample -	w/%	
	Apatite	Calcite
P_2O_5	39.37	_
CaO	_	55.98

品和槽底产品依次过滤、烘干并称取质量。对于单 矿物试验,计算得到产率即为回收率;对于混合矿 试验,化验泡沫精矿中 P₂O₅品位,结合产率计算得 到回收率。

1.3 吸附测试

采用残余浓度法测量海藻酸钠在样品表面的 吸附量,溶液中海藻酸钠的含量用其所含有的总有 机碳值(TOC)表示,使用 varior TOC 分析仪测定不 同浓度海藻酸钠对应的 TOC 含量,得到海藻酸钠 浓度与溶液 TOC 值的关系曲线。将1g 矿物和100 mL 蒸馏水混合并搅拌3 min,将矿浆 pH 调整为9 并加入海藻酸钠搅拌1h 使药剂吸附,然后使用高 速离心机将矿浆分离,取上清液测定其中的 TOC 值。根据关系曲线计算上清液中海藻酸钠的含量, 其与海藻酸钠加入量的差值即为海藻酸钠在矿物 表面的吸附量。

1.4 傅里叶变换红外光谱(FTIR)测试

采用 ALPHA FTIR 光谱仪(德国 Bruker 生产) 进行红外光谱测试。将1g粒径<5μm矿物与40 mL 蒸馏水混合,并在必要时添加海藻酸钠溶液, 然后使用 HCl或 NaOH 将矿浆的 pH 调整为9,搅 拌 10 min 后过滤并干燥。将1mg干燥的颗粒与细 粉状溴化钾(KBr)混合,取适量该混合物压制成透明 薄膜进行 FTIR 分析。

1.5 X射线光电子能谱(XPS)分析

将1g矿物和100 mL 蒸馏水在烧杯中混合形成 矿浆,根据试验要求使用 NaOH 或 HCl 将矿浆 pH 调整为9并加入海藻酸钠搅拌30 min 使药剂吸附, 将药剂吸附后的矿浆过滤,滤饼真空干燥并压成薄 片后使用 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

研究不添加任何抑制剂情况下捕收剂油酸钠 (NaOl)用量对磷灰石和方解石浮选的影响,结果如 图 2 所示。由图 2 可知,随着油酸钠用量增加,磷 灰石和方解石的回收率均增加。当油酸钠浓度达到 1×10⁻⁴ mol/L 时,磷灰石和方解石的回收率均达到 最大值。此后,增加油酸钠的浓度对矿物浮选回收 率的影响较小。图 2 结果表明,在不添加任何抑制 剂情况下,磷灰石和方解石的浮选行为相似,无法 实现二者的浮选分离。

图 3 所示为有无海藻酸钠(SA)作用时磷灰石和 方解石的浮选回收率随 pH 的变化。由图 3 可知, 无海藻酸钠作用时,在 pH 为 6~11 范围内,磷灰 石和方解石的可浮性均较好,此时磷灰石和方解石



图 2 NaOl 用量对磷灰石和方解石浮选的影响 Fig. 2 Effect of NaOl dosage on flotation of apatite and

rig. 2 Effect of NaOl dosage on flotation of apatite and calcite (pH=9)



图3 有无海藻酸钠作用时 pH 对磷灰石和方解石浮选的 影响

Fig. 3 Effect of pH on flotation of apatite and calcite in presence and absence of SA ($c(\text{NaOI})=1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$; $\rho(\text{SA})=20 \text{ mg/L}$)

之间的可浮性差异较小,无法实现二者的分离。添加 20 mg/L 海藻酸钠后,对于方解石,海藻酸钠在 pH 为 6~9 时表现出明显的抑制作用,方解石难以上浮。然而,对于磷灰石,尽管海藻酸钠在 pH 为 6~7 时具有一定的抑制作用,当 pH>8 时,海藻酸钠的抑制作用较小。pH=9 时,磷灰石的浮选回收率达到最大值,而此时方解石的回收率低于 10%,两种矿物之间的浮选回收率的差值达到了 80%。因此,海藻酸钠可在 pH=9 时作为磷灰石与方解石有效分离的抑制剂。

图4所示为pH=9油酸钠用量为1×10⁻⁴ mol/L 条件下海藻酸钠用量对磷灰石和方解石浮选回收 率的影响。由图4可知,海藻酸钠用量对磷灰石的 浮选几乎没有影响。在试验范围内,磷灰石表现出 优异的可浮性,回收率始终高于 80%。然而,对于 方解石,海藻酸钠却表现出明显的抑制效果,随着 海藻酸钠用量的增加,方解石的回收率显著下降。 图 4 结果表明, pH=9 时,添加 20 mg / L 海藻酸钠 后加入 1×10⁻⁴ mol/L NaOl 可以实现磷灰石与方解 石的浮选分离。

为进一步验证海藻酸钠在磷灰石浮选过程中 对方解石的选择性抑制作用,进行了磷灰石和方解 石二元混合矿浮选分离试验,使用海藻酸钠前后混 合矿浮选指标如图 5 所示。由图 5 可知,在不使用 抑制剂的条件下,浮选精矿中磷灰石的回收率和 P₂O₅的品位分别为 72.5%和 19.0%。添加 20 mg/L



图4 海藻酸钠用量对磷灰石和方解石浮选的影响

Fig. 4 Effect of SA dosage on flotation of apatite and calcite ($c(NaOl)=1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}; \text{ pH=9}$)



图 5 海藻酸钠对磷灰石和方解石二元混合矿浮选指标 的影响

Fig. 5 Effect of SA on flotation index of binary mixed ore of apatite and calcite ($c(NaOl)=1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$; $\rho(SA)=20 \text{ mg/L}$; pH=9)

抑制剂海藻酸钠后,浮选精矿中磷灰石的回收率和 P₂O₅的品位分别提高为 77.5%和 26.3%,表明海藻 酸钠可以在磷灰石浮选过程中有效抑制方解石。

2.2 吸附量测试

通过吸附量测试试验对海藻酸钠在磷灰石和 方解石表面的吸附行为进行了研究,其结果如图 6 所示。由图 6 可知,海藻酸钠在磷灰石和方解石表 面均发生了吸附,且海藻酸钠吸附量随其用量的增 加而增加。值得注意的是,海藻酸钠用量超过 10 mg/L 后,其在方解石表面的吸附量明显高于在磷灰 石表面的吸附量,这是海藻酸钠选择性抑制方解石 的主要原因。



图 6 海藻酸钠在磷灰石和方解石上的吸附行为 Fig. 6 Behaviors of SA adsorbing on apatite and calcite

2.3 红外光谱分析

比较了添加海藻酸钠前后磷灰石和方解石的 红外光谱测试图谱,以考察海藻酸钠在两种矿物表 面的吸附机理。如图 7(a)所示,对于海藻酸钠,1424 cm⁻¹和 1620 cm⁻¹处的峰为一COO一的不对称和对 称伸缩振动峰,1021 cm⁻¹处的峰为 C一O一C 的伸 缩振动峰^[22]。未经药剂处理的磷灰石表面在 3429 cm⁻¹处存在明显的 O一H 振动峰,源于本试验所用 磷灰石为羟基磷灰石,表面含有一定量的羟基。加 入海藻酸钠后,O一H 振动峰的强度明显减小,除 此之外,其他峰的位置或强度均无明显变化。以上 结果表明,海藻酸钠在磷灰石上的微弱吸附是由于 磷灰石表面的羟基与海藻酸钠分子中羟基氢键结 合所致。该推测与前人对二氧化硅-PEO^[23]和二氧 化硅-聚丙烯酸酯 PAA^[24]的研究结果一致,这些研 究表明表面羟基的存在是聚合物分子吸附的主要 原因。

图 7(b)所示为方解石与海藻酸钠作用前后的红 外光谱谱。结果表明,与海藻酸钠作用后,方解石 中 3423 cm⁻¹处的 O—H 振动峰强度略有减小,说 明海藻酸钠与方解石之间存在轻微的氢键作用。此 外,方解石表面 1440 cm⁻¹处 C—O 基团的不对称 伸缩振动峰偏移至 1432 cm⁻¹处,且相比海藻酸钠 作用前,该峰变宽,强度更低。另外,海藻酸钠分 子中 1424 cm⁻¹和 1620 cm⁻¹处—COO—的不对称和 对称伸缩振动峰在方解石表面消失了,这是海藻酸 钠吸附在方解石表面后这两个峰被包括在 1432 cm⁻¹ 处 C—O 基团的不对称伸缩振动峰里面所致^[25]。 以上结果表明,海藻酸钠在方解石表面的吸附除了 轻微的氢键作用,还有较强的化学键合作用。



图 7 添加 20 mg/L 海藻酸钠前后磷灰石和方解石 FTIR 光谱

Fig. 7 FTIR spectra of apatite(a) and calcite(b) before and after adding 20 mg/L SA

2.4 XPS 分析

使用 X 射线光电子能谱(XPS)技术揭示了添 加海藻酸钠前后方解石表面元素化学环境的变化, 其结果如图 8 所示。其中图 8(a)所示为海藻酸钠作 用前后方解石表面碳元素的 XPS 窄区扫描图谱。由 图 8(a)可知,方解石表面在 284.80 eV、285.68 eV 和 289.50 eV 处出现了特征峰,其中 284.80 eV 和 285.68 eV 处是有机碳 C—C、C—O—C 污染所造成 的,289.50 eV 处属于方解石表面的 CO₃⁻⁻ 的特征峰。 添加海藻酸钠后,方解石表面不再出现由 C—O—C 污染造成的特征峰,而在 286.52 eV 和 287.93 eV 处 出现了新的特征峰,分别属于海藻酸钠中 C—O 和 C—O 的特征峰。图 8(a)结果说明,海藻酸钠在方 解石表面发生了明显的吸附。

图 8(b)所示为添加海藻酸钠前后方解石表面氧 元素的 XPS 窄区扫描图谱。由图 8(b)可知,方解石 在 531.38 eV 和 532.94 eV 处存在特征峰,分别为方 解石表面的 CO₃²⁻ 和—OH 的特征峰^[17-26]。添加海藻 酸钠后,532.94 eV 处—OH 的特征峰偏移至 532.81 eV 处,说明海藻酸钠与方解石之间存在氢键作用。

图 8(c)所示为添加海藻酸钠前后方解石表面钙 元素的 XPS 窄区扫描谱。由图 8(c)可知,方解石表 面在 346.98 eV 和 350.54 eV 处存在特征峰,分别对 应于 CaCO₃中的 Ca 2p_{3/2}和 Ca 2p_{1/2}^[16]。添加海藻 酸钠后,346.98 eV 和 350.54 eV 处的峰分别偏移至 346.89 eV 和 350.45 eV 处,均减小了 0.09 eV,说 明方解石表面钙离子的化学环境发生了变化。JIAO 等^[17]报道:多糖中的羧酸基团常与矿物表面的阳离 子质点化学键合进而产生吸附。据此推测,方解石 表面钙离子结合能的减小是其与海藻酸钠中羧基 化学键合所致。因此,海藻酸钠在方解石表面的吸 附是氢键结合和化学键合共同作用的结果。

2.5 吸附机理

由于磷灰石和方解石的晶体结构不同,暴露在 磷灰石和方解石表面的主要离子也不同。对于磷灰 石,暴露在表面的主要离子是 PO₄³⁻,而对于方解石 则是 Ca^{2+[7, 17, 27]}。研究表明, pH=9 时,磷灰石和海 藻酸钠的 Zeta 电位为负值,而方解石几乎呈中 性^[28-29]。因此,对于磷灰石, PO₄³⁻可能通过较强 的静电排斥力和空间位阻效应干扰海藻酸钠在矿 物表面的吸附^[28-29]。同时,由于试验所用羟基磷灰



图 8 添加 20 mg/L 海藻酸钠前后方解石表面元素的窄区扫描图谱

Fig. 8 Resolved narrow scan spectra of elements on calcite surface before and after adding 20 mg/L SA: (a1), (a2) C; (b1), (b2) O; (c1), (c2) Ca

石表面存在一定数量的一OH,易优先与海藻酸钠 发生氢键结合,进一步导致了海藻酸钠难以与矿物 表面的 Ca²⁺发生化学键合。因此,海藻酸钠在磷灰 石表面的吸附是微弱的。然而,在方解石表面, CO₃²⁻和—OH 对海藻酸钠的静电排斥力和空间位 阻效应相对较小,因此,矿物表面的 Ca²⁺与海藻酸 钠中—COO—能够发生化学键合。这是海藻酸钠能 选择性地强烈吸附于方解石表面的关键原因。但 是,随 pH 增加到 10~11,方解石表面被一OH 覆盖, Zeta 电位变负,海藻酸钠难以与矿物表面 Ca²⁺发生 化学键合,这与图 3 中 pH 为 10~11 时海藻酸钠难 以抑制方解石的浮选结果是吻合的。

3 结论

 添加抑制剂海藻酸钠后,海藻酸钠在方解石 和磷灰石表面均发生了吸附,但其在方解石表面的 吸附量明显大于在磷灰石表面的吸附量,因此,存 在对方解石的选择性抑制作用。

2) 红外光谱分析和 XPS 分析表明,海藻酸钠 在磷灰石表面的吸附主要是氢键作用所致,而在方 解石表面的吸附则是氢键结合和化学键合共同作 用的结果。

3) 在合适的 pH 条件下,使用 20 mg/L 海藻酸 钠作抑制剂可以实现磷灰石和方解石的浮选分离。

REFERENCES

- [1] CHOWDHURY R B, MOORE G A, WEATHERLEY A J, et al. A review of recent substance flow analyses of phosphorus to identify priority management areas at different geographical scales[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2014, 83: 213–228.
- [2] DOS SANTOS M A, SANTANA R C, CAPPONI F, et al. Effect of ionic species on the performance of apatite flotation[J]. Separation and Purification Technology, 2010, 76(1): 15–20.
- [3] HOANG D H, KUPKA N, PEUKER U A, et al. Flotation study of fine grained carbonaceous sedimentary apatite ore-challenges in process mineralogy and impact of hydrodynamics[J]. Minerals Engineering, 2018, 121: 196–204.
- [4] EL-SHALL H, ZHANG P, KHALEK N A, et al. Beneficiation technology of phosphates: Challenges and solutions[J]. Minerals & Metallurgical Processing, 2004, 21(1): 17–26.
- [5] EL-SHALL H, ZHANG P, SNOW R. Comparative analysis of dolomite/francolite flotation techniques[J]. Mining, Metallurgy & Exploration, 1996, 13(3): 135–140.
- [6] 张裕书,陈 达,龚文琪.磷矿浮选工艺和药剂的研究现

状[J]. 中国矿业, 2009, 18: 58-61.

ZHANG Yu-shu, CHEN Da, GONG Wen-qi. Research status of phosphate flotation technology and reagents[J]. China Mining, 2009, 18: 58–61.

- [7] LIU C, ZHANG W, LI H. Selective flotation of apatite from calcite using 2-phosphonobutane-1, 2, 4-tricarboxylic acid as depressant[J]. Minerals Engineering, 2019, 136: 62–65.
- [8] FENG B, LUO X, WANG J, et al. The flotation separation of scheelite from calcite using acidified sodium silicate as depressant[J]. Minerals Engineering, 2015, 80: 45–49.
- [9] FENG B, GUO W, XU H, et al. The combined effect of lead ion and sodium silicate in the flotation separation of scheelite from calcite[J]. Separation Science and Technology, 2017, 52(3): 567–573.
- [10] FENG B, ZHONG C, ZHANG L, et al. Effect of surface oxidation on the depression of sphalerite by locust bean gum[J]. Minerals Engineering, 2020, 146: 106142.
- [11] GUO W, FENG B, PENG J, et al. Depressant behavior of tragacanth gum and its role in the flotation separation of chalcopyrite from talc[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2019, 8(1): 697–702.
- [12] FENG B, ZHANG W, GUO Y, et al. Synergistic effect of acidified water glass and locust bean gum in the flotation of a refractory copper sulfide ore[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 202: 1077–1084.
- [13] FENG B, PENG J, GUO W, et al. The effect of changes in pH on the depression of talc by chitosan and the associated mechanisms[J]. Powder Technology, 2018, 325: 58–63.
- [14] LASKOWAKI J S, LIU Q, O'CONNOR C T. Current understanding of the mechanism of polysaccharide adsorption at the mineral/aqueous solution interface[J]. International Journal of Mineral Processing, 2007, 84(1/4): 59–68.
- [15] FENG B, PENG J, GUO W, et al. The depression behavior and mechanism of carboxymethyl chitosan on calcite flotation[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2019, 8(1): 1036–1040.
- [16] FENG B, GUO W, PENG J, et al. Separation of scheelite and calcite using calcium lignosulphonate as depressant[J].
 Separation and Purification Technology, 2018, 199: 346–350.
- [17] JIAO F, DONG L, QIN W, et al. Flotation separation of scheelite from calcite using pectin as depressant[J]. Minerals Engineering, 2019, 136: 120–128.

第31卷第2期

- [18] 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, 49(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, 49(5): 1459-1464.
- [19] ZHU H, QIN W, CHEN C, et al. Flotation separation of fluorite from calcite using polyaspartate as depressant[J]. Minerals Engineering, 2018, 120: 80–86.
- [20] 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]. Chinese

Journal of Nonferrous Metals, 2019, 29(1): 203–210.

- [21] CHEN W, CHEN T, BU X, et al. The selective flotation of chalcopyrite against galena using alginate as a depressant[J]. Minerals Engineering, 2019, 141: 105848.
- [22] SADTLER W W. The sadtler handbook of infrared spectra[M]. London: Heyden and Son, Ltd., 1978.
- [23] RUBIO J, KITCHENER J A. The mechanism of adsorption of poly (ethylene oxide) flocculant on silica[J]. Journal of

Colloid and Interface Science, 1976, 57(1): 132-142.

- [24] TADROS T F. Adsorption of polyvinyl alcohol on silica at various pH values and its effect on the flocculation of the dispersion[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1978, 64(1): 36–47.
- [25] LIU X, RUAN Y, LI C, et al. Effect and mechanism of phosphoric acid in the apatite/dolomite flotation system[J]. International Journal of Mineral Processing, 2017, 167: 95–102.
- [26] TIAN M, LIU R, GAO Z, et al. Activation mechanism of Fe(III) ions in cassiterite flotation with benzohydroxamic acid collector[J]. Minerals Engineering, 2018, 119: 31–37.
- [27] ZHU W, DONG L, JIA F, et al. Use of sodium Hexametaphosphate and Citric Acid Mixture as Depressant in the Flotation Separation of Scheelite from Calcite[J]. Minerals, 2019, 9(9): 560–576.
- [28] PAN Z, WANG Y, WEI Q, et al. Effect of sodium pyrophosphate on the flotation separation of calcite from apatite[J]. Separation and Purification Technology, 2019, 242: 116408.
- [29] CHEN W, FENG Q, ZHANG G, et al. The effect of sodium alginate on the flotation separation of scheelite from calcite and fluorite[J]. Minerals Engineering, 2017, 113: 1–7.

Effect and mechanism of depressant sodium alginate on flotation separation of apatite and calcite

ZHONG Chun-hui¹, FENG Bo^{1, 2}, ZHANG Wen-pu¹, ZHANG Liang-zhu¹, GUO Yu-tao¹, WANG Tao¹, 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 Science and Technology,

Beijing Mining and Metallurgy Technology Group Co., Ltd., Beijing 102628, China)

Abstract: The effect and mechanism of flotation separation of apatite and calcite using depressant sodium alginate (SA) were investigated through flotation test, adsorption test, FTIR and XPS analysis. The results show that SA can strongly inhibit calcite while has little effect on apatite flotation at pH=9. The adsorption amount of SA on the calcite surface is greater than that on the apatite surface. SA adsorbs on apatite mainly through hydrogen bonding, while adsorption of SA on calcite is caused by hydrogen bonding and chemical bonding. Therefore, the adsorption of SA on calcite is stronger than on apatite, leading to a selective depression of calcite. Key words: apatite; calcite; depressant; sodium alginate; separation mechanism

Foundation item: Project(51664020) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (20181BAB206021) supported by the Natural Science Foundation of Jiangxi Province, China; Project(BGRIMM-KJSKL-2020-12) supported by the Open Foundation for the State Key Laboratory of Mineral Processing Science and Technology, China

Received date: 2020-03-17; Accepted date: 2020-06-23

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

李艳红) (编辑