



基于矿石溶解性差异的菱镁矿酸浸脱钙

孙文瀚¹, 代淑娟², 罗 娜³, 于连涛²

- (1. 广西大学 资源环境与材料学院, 南宁 530004;
2. 辽宁科技大学 矿业工程学院, 鞍山 114051;
3. 内蒙古科技大学 矿业工程学院, 包头 014010)

摘 要: 白云石是菱镁矿矿石中主要的含钙杂质矿物, 基于菱镁矿和白云石溶解性差异, 以盐酸溶液为浸出剂, 研究机械搅拌速度、浸出时间、浸出液 pH 值和矿浆浓度对菱镁矿、白云石单矿物浸出率的影响, 并结合水体系中矿石溶解组分计算、溶解速度试验和分子动力学模拟, 对两种矿物酸浸机理进行讨论. 结果表明: 白云石的浸出率明显高于菱镁矿的, 提高机械搅拌速度和浸出时间可加速菱镁矿和白云石的浸出; 菱镁矿和白云石的浸出率均与矿浆浓度成反相关而与矿浆酸度值成正相关关系; 最优条件下, 人工混合矿的酸浸脱钙率高达 76.57%; 菱镁矿的溶解度大于白云石的, 但溶解速度却比白云石的小, 溶解速度是影响浸出率的主要因素.

关键词: 菱镁矿; 除钙; 白云石; 溶解组分计算; 分子动力学模拟

文章编号: 1004-0609(2019)-08-1733-07

中图分类号: TD95

文献标志码: A

菱镁矿是我国重要的镁矿资源, 由于具有很好的耐火性、粘结性等优良的物理化学性质, 在冶金、建筑、化工等领域有广泛的应用^[1]. 多年来随着粗放式开发利用, 导致我国菱镁矿资源低品位化严重^[2-3]. 硅、钙杂质含量高是制约低品位菱镁矿开发利用的主要因素^[4-6].

目前, 浮选仍是选别菱镁矿最常用的方法, 对含石英及硅酸盐矿物的含硅菱镁矿, 一般采用反浮选方法; 而对含方解石、白云石等含钙菱镁矿, 一般采用正浮选法脱除. 含钙菱镁矿中存在大量的白云石、方解石等脉石矿物, 与菱镁矿有相似的晶体构型和物理化学性质, 导致仅通过浮选方法很难获得合格产品^[7-10].

菱镁矿和白云石均属于含镁碳酸盐矿物, 在酸中的溶解度较大, 且两种矿石的溶解速度存在一定差异, 对菱镁矿酸浸脱钙处理在理论上是可行的. 由于菱镁矿矿石品位低, 直接对菱镁矿矿石脱钙处理会消耗大量的酸, 经济上不合理, 而且, 直接酸浸存在浸出时间长、镁流失严重等问题^[11-12]. 虽然菱镁矿脱钙已经进行了多年研究, 但现有的研究内容多集中在浮选方面^[13], 而对于菱镁矿浮选-酸浸联合工艺及参数影响机理的研究尚不够系统和深入.

本研究基于菱镁矿和白云石溶解性差异, 系统研究酸浸过程中机械搅拌速度等参数对浸出率的影响规律, 通过溶解组分和速度计算、试验, 确定了影响浸出率的原因, 为开展菱镁矿浮选-酸浸联合工艺研究工作提供了理论依据和指导.

1 实验

1.1 实验矿样

菱镁矿和白云石单矿物分别取自辽宁海城镁矿耐火材料总厂和荣城镇玉溪马钢白云石矿, 经人工破碎、拣选后经由陶瓷球磨机磨矿, 选取 45~124 μm 粒级矿物, 洗涤、烘干后备用. 对菱镁矿和白云石单矿物进行 X 射线衍射(XRD)和化学元素分析, X 射线衍射结果如图 1 所示, 化学元素分析结果显示菱镁矿和白云石单矿物的 MgO 含量分别为 47.35%和 20.98%, 纯度分别为 98.03%和 96.52%, 可见两种矿物的纯度符合单矿物试验要求.

1.2 试验药剂

试验中所用盐酸和 NaOH 均为化学分析纯.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51874168); 辽宁省自然科学基金资助项目(201602387)

收稿日期: 2018-07-30; **修订日期:** 2018-10-16

通信作者: 代淑娟, 教授, 博士; 电话: 15141294799; E-mail: shujuandai@163.com

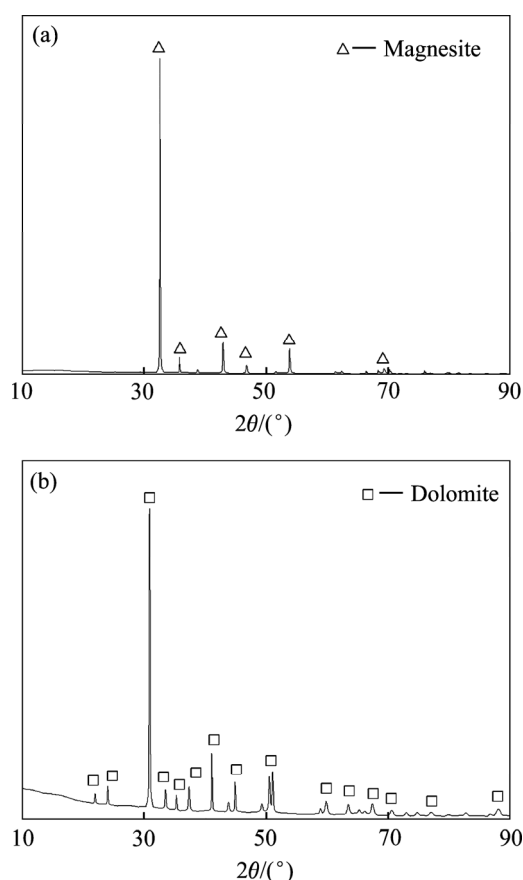


图1 菱镁矿和白云石单矿物的XRD谱

Fig. 1 XRD patterns of pure magnesite(a) and dolomite(b)

1.3 试验方法

1.3.1 单矿物酸浸试验

菱镁矿和白云石单矿物取45~124 μm粒级,矿浆pH值采用盐酸和NaOH调节。条件考查试验(浓度考查除外),每次取0.3 g矿样置于50 mL烧杯中,加30 mL水,控制转速700 r/min(转速考查试验除外),酸浸后将烧杯内矿浆过滤,固相在60℃下烘干称量、化验。

1.3.2 溶解速度试验

分别取菱镁矿和白云石单矿物2 g,置于50 mL烧杯中,向烧杯中加入40 mL去离子水,考查不同搅拌时间条件下矿浆溶液的pH和Ca、Mg离子浓度(ICP检测),分析两种矿物的溶解速度差异。

1.3.3 浸出过程分子动力学模拟

使用Material Studio 8.0软件(美国Accelrys公司)的Forcite plus模块进行盐酸在菱镁矿和白云石(001)表面的吸附计算。在原始晶胞几何优化的基础上,分别构建菱镁矿和白云石4×4×1超晶胞,在模型Z方向建立厚度为30 Å的真空层,利用Amorphous Cell模块向真空层中加入6个H⁺,为了保持表面电性为中

性,加入6个Cl⁻,最后按照密度1 g/cm³加入水分子。动力学模拟过程选择COMPASS力场,水分子采用柔性的SPC模型,NVT系综,温度控制采用Nose方法,时间步长为0.7 fs,采用共轭梯度法对体系平衡300 ps,在体系平衡后再继续200 ps的结果输出计算,每70 fs采集一次数据,用于相关性质的计算。

2 结果及分析

2.1 单矿物的酸浸试验

2.1.1 搅拌转速对单矿物浸出率的影响

足够的搅拌速率,能够使矿浆中矿物颗粒充分悬浮,增加矿粒与溶液介质的接触面积,从而促进介质对矿物的浸出。在矿浆浓度1%(质量分数,下同)、pH=1条件下,考察了机械搅拌速度对矿物浸出速率的影响。其结果如图2。从图2可以看出,机械转速对菱镁矿浸出率的影响并不明显,白云石的浸出率随搅拌速率的增加呈现缓慢上升趋势。因此,增加搅拌转速可以在一定程度上增大两种矿物的酸浸分离效果。

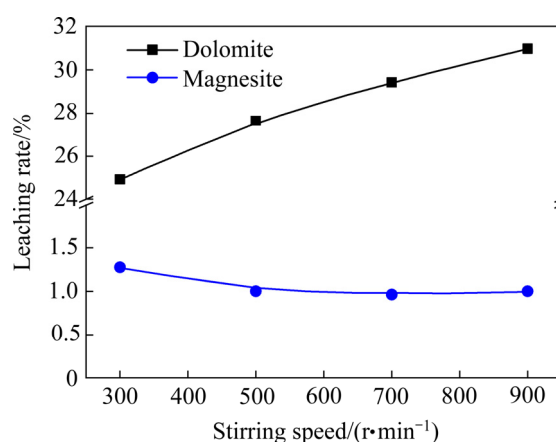


图2 机械搅拌转速对单矿物浸出率的影响

Fig. 2 Effects of agitation revolution on pure mineral leaching rates

2.1.2 酸浸时间对单矿物浸出率的影响

除机械搅拌速率对矿物浸出率有影响外,充足的酸浸时间也能够一定程度上提高矿物的浸出率。在pH=1,矿浆浓度1%,搅拌转速700 r/min的条件下,对酸浸时间对矿物浸出率的影响进行了试验研究,结果见图3。

从图3可知,随着酸浸时间的增加,两种矿物的浸出率均逐渐增加。但在整个试验时间区间,菱镁矿的浸出率随时间的增加转速,且浸出率最高仅至10%左右;白云石浸出率在0~20 min时急剧增加,当时间

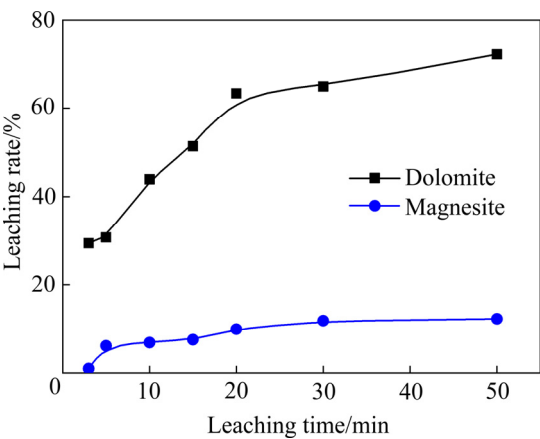


图 3 酸浸时间对单矿物浸出率的影响
Fig. 3 Effects of leaching time on pure mineral leaching rates

大于 20 min 后, 浸出率增加趋于缓慢, 浸出率最高至 75% 左右。可见, 菱镁矿的浸出率及增幅程度均明显小于白云石的。

2.1.3 酸浸 pH 值对单矿物浸出率的影响

酸浸的主要原理是溶液中的 H^+ 和矿物中的碳酸根发生反应, 矿浆中的 H^+ 浓度能严重影响矿物的浸出速率。以浓盐酸调节 pH、700 r/min 搅拌条件下, 酸浸 5 min, 考察了 pH 值对单矿物浸出率的影响, 结果如图 4 所示。

图 4 的试验结果表明, 当 pH 值在 0.5~4 之间时,

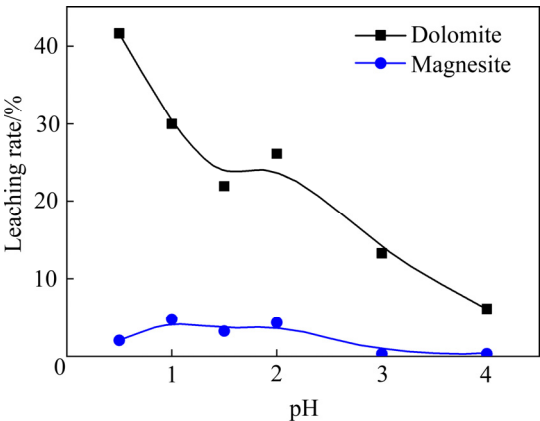


图 4 酸浸矿浆 pH 对单矿物浸出率的影响
Fig. 4 Effects of pH on pure mineral leaching rates

表 1 人工混合矿酸浸考察试验结果

Leaching time/min	pH	Yield of concentrate/%	Grade of concentrate/%				
			SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO(IL=0)
20	1-2	90.87	0.12	0.75	0.20	0.14	97.53
40	2-3	92.29	0.15	0.99	0.20	0.15	96.96
40	1-2	88.28	0.13	0.56	0.21	0.15	97.84

菱镁矿和白云石的浸出率总体上均随 pH 值的增加不断减小; 白云石的浸出率随着 pH 值的增加降低趋势明显, 由 pH=0.5 时的 42% 迅速降低至 pH=4 时的 7%, 而菱镁矿的浸出率均维持在 5% 以下; 但强酸环境耗酸量大, 也对设备造成严重腐蚀。因此, 可考虑在 pH 为 1~2 条件下, 对两种矿物进行酸浸分离。

2.1.4 矿浆浓度对单矿物浸出率的影响

矿浆浓度也是影响酸浸速率的重要因素之一。在 pH 为 1~2, 转速 300 r/min 下酸浸 5 min, 考查了矿浆浓度对浸出效果的影响, 试验结果见图 5。

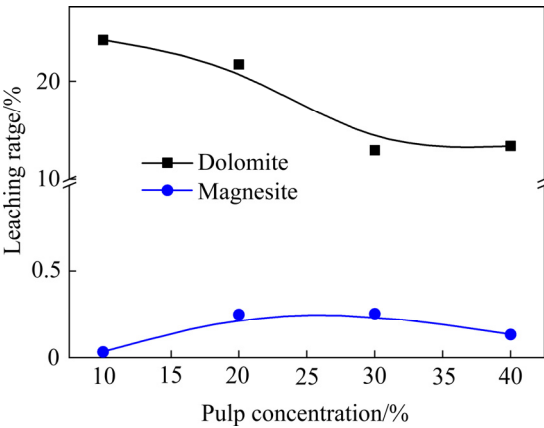


图 5 酸浸矿浆浓度对单矿物浸出率的影响
Fig. 5 Effects of pulp density on pure mineral leaching rates

从图 5 可以看出, 菱镁矿的浸出率一直很低, 而白云石的浸出却受矿浆浓度的影响很大, 在质量分数为 10%~30% 时, 白云石的浸出率随着矿浆浓度的增加逐渐减小; 当矿浆浓度大于 30% 后, 浸出率变化趋于平缓。因此, 综合考虑, 矿浆浓度取 20%~30%。

2.2 人工混合矿酸浸考察试验

把菱镁矿和白云石单矿物按照质量比为 19:1 进行人工混匀而得人工混合矿。在单矿物酸浸试验得出的最优条件, 浓度在 20%~30%, 转速 700 r/min, 对品位为 IL=0 的 MgO 含量为 94.80%, SiO₂、CaO、Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 含量分别为 0.12%、2.11%、0.20% 和 0.12% 的人工混合矿进行酸浸考察试验, 结果见表 1。

从表1知,在相同pH值环境下,浸出时间越长酸浸脱钙效果越明显,酸浸40 min时,精矿中CaO的品位仅为0.56%,钙脱除率高达76.57%。在酸浸时间相同情况下,酸浸pH值对其影响更为明显,pH值为2~3时,精矿中CaO品位较pH为1~2时的高0.4%。

2.3 菱镁矿和白云石浸出试验结果讨论

2.3.1 矿浆浓度对矿石浸出率的影响

两种矿石在水中存在溶解平衡,查阅相关数据绘制了白云石和菱镁矿在水中的溶解组分图^[14],如图6所示。从图6中可以看出,白云石在水中溶解平衡时,溶解出的离子组分主要以 Mg^{2+} 、 $\text{Mg}(\text{OH})^+$ 、 Ca^{2+} 、 $\text{Ca}(\text{OH})^+$ 、 $\text{CaCO}_3(\text{aq})$ 、 $\text{MgCO}_3(\text{aq})$ 、 H_2CO_3 和 HCO_3^- 为主,菱镁矿主要以 Mg^{2+} 、 $\text{Mg}(\text{OH})^+$ 、 H_2CO_3 、 $\text{MgCO}_3(\text{aq})$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{aq})$ 和 HCO_3^- 为主。同时可以看出,溶液组分浓度仅与矿浆pH有关,并不随矿浆浓度的增大而改变,即不能促进矿石溶解,因此,增大矿浆浓度并不能提高浸出率。图5中,白云石和菱镁矿的浸出率均随矿浆浓度升高而减小,这是由于在其

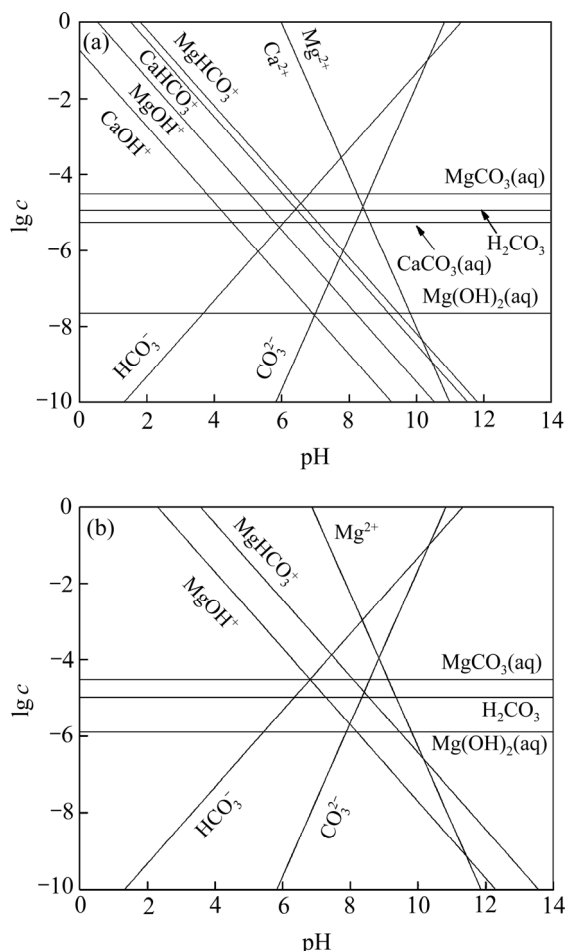


图6 白云石、菱镁矿在水中的溶解组分对数图

Fig. 6 Dissolved components of dolomite(a) and magnesite(b)

他条件不变的情况下,矿浆中 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 浓度不随矿浆浓度的升高而升高造成的。

2.3.2 pH值对矿石浸出率的影响

根据文献^[14],菱镁矿和白云石在水中的溶解度分别如式(1)和(2)。

$$S_1 = [c_{\text{ZMg}^{2+}} \cdot c_{\text{ZCO}_3^{2-}}]^{\frac{1}{2}} = \left\{ \frac{[\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{\alpha_{\text{Mg}^{2+}} \cdot \alpha_{\text{CO}_3^{2-}}} \right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \frac{K_{S0}}{\alpha_{\text{Mg}^{2+}} \cdot \alpha_{\text{CO}_3^{2-}}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$S_2 = \left\{ \frac{1}{4} C_{\text{ZCa}^{2+}} \cdot c_{\text{ZMg}^{2+}} \cdot (2c_{\text{ZCO}_3^{2-}})^2 \right\}^{\frac{1}{4}} = \left\{ \frac{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]^2}{\alpha_{\text{Ca}^{2+}} \cdot \alpha_{\text{Mg}^{2+}} \cdot \alpha_{\text{CO}_3^{2-}}^2} \right\}^{\frac{1}{4}} = \left\{ \frac{K_{S1}}{\alpha_{\text{Ca}^{2+}} \cdot \alpha_{\text{Mg}^{2+}} \cdot \alpha_{\text{CO}_3^{2-}}^2} \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

式中: S_1 、 S_2 分别为菱镁矿和白云石在水中的溶解度; $\alpha_{\text{Ca}^{2+}}$ 、 $\alpha_{\text{Mg}^{2+}}$ 、 $\alpha_{\text{CO}_3^{2-}}$ 分别为 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 CO_3^{2-} 的离子分配系数; K_{S0} 、 K_{S1} 分别为菱镁矿和白云石的离子积分数; c 为该组分的浓度。可以看出,菱镁矿和白云石的溶解度均随pH值的降低而升高,因此,浸出试验中两种矿石的浸出率均随pH值的降低而升高;计算结果显示, $S_1/S_2 > 1$,说明菱镁矿的溶解度大于白云石的,计算结果与已有文献结果一致^[15]。

2.3.3 溶解速度对矿物浸出率的影响

虽然降低浸出液pH值可以提高白云石和菱镁矿的溶解度,但 $S_1/S_2 > 1$ 这一结果与矿物浸出试验结果不一致,这说明白云石和菱镁矿的溶解度大小不是影响浸出率的决定因素。矿物溶解组分溶液化学分析只是体现溶液达到平衡时的组分赋存状态,然而溶液中的矿物需要很长时间才能达到溶解平衡,且不同矿物在水中达到溶解平衡的速度有一定差异。白云石和菱镁矿溶解时,一方面 CO_3^{2-} 消耗溶液中的 H^+ 使溶液pH值升高,另一方面白云石和菱镁矿表面的金属离子进入到溶液中使离子浓度增大。因此,可以通过比较白云石和菱镁矿溶解过程pH值和离子浓度变化来研究两种矿石的溶解速度,试验结果如图7所示。图7(a)可以看出,白云石溶解时溶液pH值升高时间明显小于菱镁矿的,说明白云石的溶解速度大于菱镁矿的,这和浸出试验结果是一致的;图7(b)中,矿浆中金属离子浓度随搅拌时间延长而升高,搅拌时间为10 min时,白云石基本平衡,而菱镁矿溶解则需要30 min作用才能达到平衡,同样说明白云石的溶解速度比菱镁矿的高;另外,对比图7(a)和(b),白云石溶解时的溶

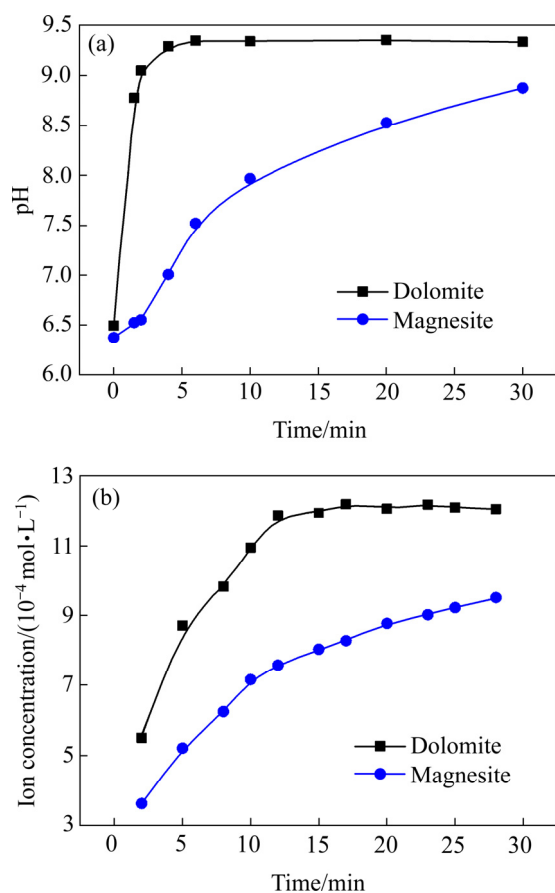


图7 搅拌时间对溶液 pH 和离子浓度的影响

Fig. 7 Effects of dissolution rate on solution pH (a) and concentrate of ions (b)

液 pH 值升高幅度和溶液中金属离子浓度均高于菱镁矿的,也说明白云石溶解速度大于菱镁矿的,此结果与浸出试验也是一致的。

2.3.4 浸出过程分子动力学模拟研究

图8所示为菱镁矿和白云石在酸浸前后矿浆中和矿物表面离子分布情况。从图8(a)和(c)可以看出,菱镁矿和白云石在浸出前表面原子排列整齐,图8(b)和(d)显示酸浸后表面原子均呈现不同程度的重排,且有向溶液中迁移的趋势。溶液中的 H^+ 在浸出过程中有一部分逐渐移动至矿物表面,与矿石表面的 CO_3^{2-} 结合。浸出过程中具体离子分布情况如图9所示,图9(a)中数据说明菱镁矿酸浸后表面 CO_3^{2-} 和 Mg^{2+} 迁移至 $3.8 \text{ \AA}$ 附近,同时,在 $6 \text{ \AA}$ 附近有 H^+ 出现,另外在 $18 \text{ \AA}$ 、 $25 \text{ \AA}$ 和 $28 \text{ \AA}$ 分布有 H^+ ,此部分 H^+ 由于与菱镁矿表面相距过远而没有参加反应。白云石表面离子浓度分布情况与菱镁矿有所不同,图9(b)中显示白云石表面的 CO_3^{2-} 和 Ca^{2+} 也在一定程度上向溶液中迁移,不同的是 CO_3^{2-} 和 Ca^{2+} 在迁移中是不同步的,一部分 Ca^{2+} 随 CO_3^{2-} 迁移至 $4 \text{ \AA}$ 附近,而一部分 Ca^{2+} 停留在 $2 \text{ \AA}$ 附近。此外,在 $5 \text{ \AA}$ 附近有 H^+ 出现,此部分 H^+ 与白云石表面的 CO_3^{2-} 反应。总之,菱镁矿表面的 CO_3^{2-} 和 Mg^{2+} 同步迁移,而白云石表面的 CO_3^{2-} 和 Ca^{2+} 迁移不同步,这说明菱镁矿表面 CO_3^{2-} 与 Mg^{2+} 的结合强度大于白云石表面 CO_3^{2-} 与 Ca^{2+} 的,说明在浸出过程中,白云石的浸出速度大于菱镁矿的,这与浸出试验结果是一致的。

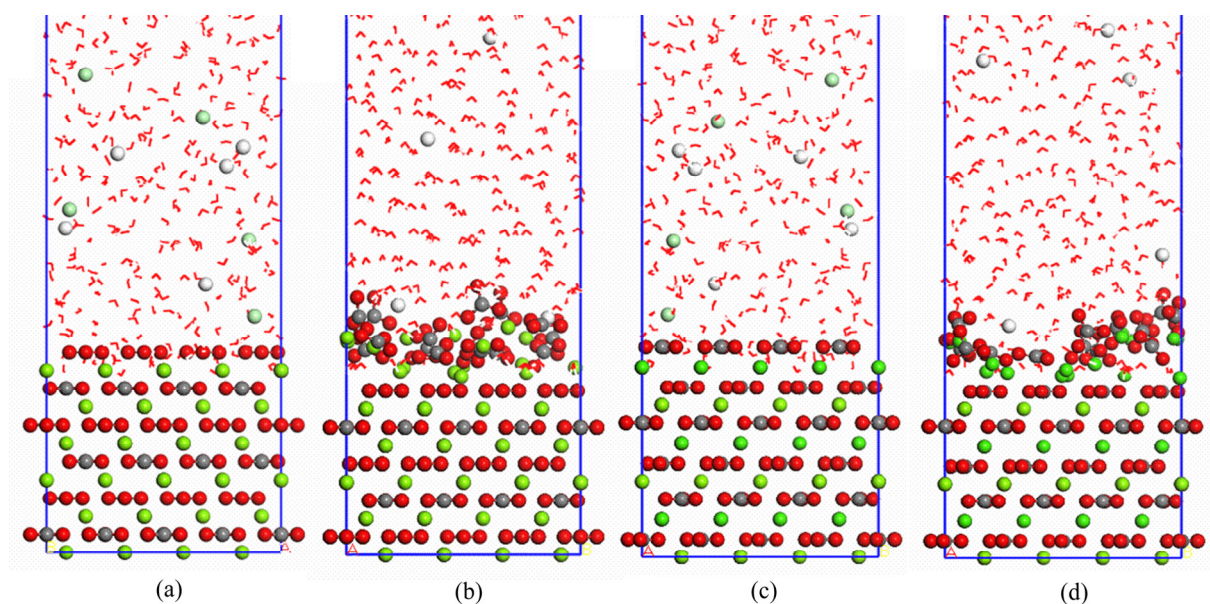


图8 菱镁矿和白云石盐酸浸出前后的模型

Fig. 8 Leaching models of magnesite((a), (b)) and dolomite((c), (d)) by hydrochloric acid before((a), (c)) and after((b), (d)) leaching

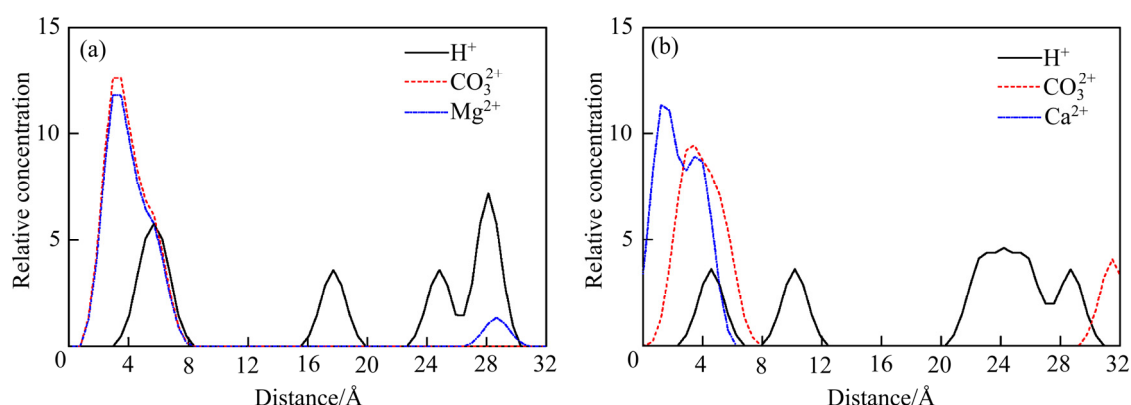


图9 浸出液中菱镁矿和白云石表面离子和基团的相对浓度

Fig. 9 Relative concentrations of ions and groups on magnesite (a) and dolomite (b) surface in leaching solution

3 结论

1) 单矿物和人工混合矿酸浸试验结果显示, 机械搅拌速度和浸出时间有利于白云石的浸出, 菱镁矿和白云石在相同酸性环境下的浸出速率具有明显差距。在 pH 为 1~2、矿浆浓度 20% 条件下, 白云石的浸出率比菱镁矿的浸出率高约 20%; 人工混合矿浸出试验中, 钙脱除率高达 77%。

2) 白云石和菱镁矿在水中的溶解度随着溶液 pH 降低而升高, 降低 pH 值有利于矿石溶解; 矿浆中的平衡金属离子浓度仅与矿浆 pH 有关, 增大矿浆浓度对矿石溶解不利; 白云石在水中的溶解速度高于菱镁矿, 可以通过对菱镁矿反浮选精矿酸浸出实现脱钙的目的。

3) 浸出过程中菱镁矿表面的 CO_3^{2-} 和 Mg^{2+} 向溶液中同步迁移, 而白云石表面的 CO_3^{2-} 和 Ca^{2+} 迁移不同步, 白云石的浸出速度大于菱镁矿的。

REFERENCES

- [1] 高玉娟, 闫平科. 低品位菱镁矿资源开发利用研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2011(3): 17-18.
GAO Yu-juan, YAN Ping-ke. Study on the utilization of low-grade magnesite resources[J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2011(3): 17-18.
- [2] 张永奎. 我国菱镁矿的开发利用现状及前景分析[J]. 科技信息, 2013(5): 424-425.
ZHANG Yong-kui. The development status and utilization prospects of Chinese magnesite[J]. Science & Technology Information, 2013(5): 424-425.
- [3] SANTANA A N, PERES A E C. Reverse magnesite

flotation[J]. Minerals Engineering, 2001, 14(1): 107-111.

- [4] 吴桂叶, 朱阳戈, 闫志刚, 郑桂兵, 谭欣, 刘国晨, 张杰. 菱镁矿与石英浮选分离的第一性原理研究[J]. 矿冶, 2015, 24(2): 11-14.
WU Gui-ye, ZHU Yang-ge, YAN Zhi-gang, ZHENG Gui-bing, TAN Xin, LIU Guo-chen, ZHANG Jie. First principles study on flotation separation of magnesite and quartz[J]. Mining & Metallurgy, 2015, 24(2): 11-14.
- [5] 罗娜, 魏德洲, 李明阳, 张彩娥. 白云石对菱镁矿浮选行为的影响[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2017, 38(7): 1007-1011.
LUO Na, WEI De-zhou, LI Ming-yang, ZHANG Cai-e. Influence of dolomite on flotation behavior of magnesite[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2017, 38(7): 1007-1011.
- [6] 于连涛, 李晓安, 刘文刚, 代淑娟, 王志有. 捕收剂 LKD 对某低品位菱镁矿的浮选效果影响[J]. 矿业研究与开发, 2015(9): 32-35.
YU Lian-tao, LI Xiao-an, LIU Wen-gang, DAI Shu-juan, WANG Zhi-you. Flotation effect of collector LKD on low-grade magnesite[J]. Mining Research and Development, 2015(9): 32-35.
- [7] 杨征. 基于晶体化学的菱镁矿可浮性影响因素研究[J]. 当代化工, 2017, 46(8): 1645-1647.
YANG Zheng. Study on influencing factors of floatability of magnesite based on crystal chemistry[J]. Contemporary Chemical Industry, 2017, 46(8): 1645-1647.
- [8] ZHANG Hao, LIU Wen-gang, HAN Cong, HAO Hai-qing. Effects of monohydric alcohols on the flotation of magnesite and dolomite by sodium oleate[J]. Journal of Molecular Liquids, 2018, 249: 1060-1067.
- [9] 马忠臣, 马延全, 杨长颖. 高硅低品位菱镁矿反浮选脱硅试验研究[J]. 有色矿冶, 2018, 34(1): 26-29.
MA Zhong-chen, MA Yan-quan, YANG Chang-ying.

- Investigation on reverse flotation for removing silicate from a low-grade magnesite with high silica[J]. *Non-ferrous Mining and Metallurgy*, 2018, 34(1): 26–29.
- [10] 李 强, 孙明俊, 印万忠, 丁亚卓. 菱镁矿浮选特性研究[J]. *金属矿山*, 2010, 39(11): 91–94.
- LI Qiang, SUN Ming-jun, YIN Wan-zhong, DING Ya-zhuo. Study on the flotation characteristic of magnesite[J]. *Metal Mine*, 2010, 39(11): 91–94.
- [11] 任瑞晨, 王志恒, 李彩霞, 白 阳, 王飞飞. 低品位菱镁矿铵盐浸出试验研究[J]. *非金属矿*, 2017, 40(6): 20–22.
- REN Rui-chen, WANG Zhi-heng, LI Cai-xiao, BAI Yang, WANG Fei-fei. Leaching experimental study on low grade magnesite with ammonium[J]. *Non-Metallic Mines*, 2017, 40(6): 20–22.
- [12] 闫平科, 卢智强, 赵永帅, 张 旭, 宋金虎. 低品位菱镁矿加压碳酸化法提纯试验研究[J]. *硅酸盐通报*, 2015, 34(11): 3372–3376.
- YAN Ping-ke, LU Zhi-qiang, ZHAO Yong-shuai, ZHANG Xu, SONG Jin-hu. Purification of pressural carbonation for a low-grade magnesite[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2015, 34(11): 3372–3376.
- [13] 杨志超, 冯雅丽, 李浩然, 刘欣伟, 蔡震雷. 菱镁矿煅烧-浮选除钙及其机理[J]. *中国有色金属学报*, 2012, 22(10): 2944–2950.
- YANG Zhi-chao, FENG Ya-li, LI Hao-ran, LIU Xin-wei, CAI Zhen-lei. Separability of calcium from calcining magnesite by flotation and its mechanism[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2012, 22(10): 2944–2950.
- [14] 袁世泉, 张洪恩. 菱镁矿、白云石表面电性研究[J]. *矿冶工程*, 1990, 10(4): 19–23.
- YUAN Shi-quan, ZHANG Hong-en. Surface electrical study of magnesite and dolomite[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 1990, 10(4): 19–23.
- [15] 李 强, 印万忠, 马英强, 刘明宝. 含镁碳酸盐矿物溶解度模拟计算及对浮选过程的影响[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(9): 1348–1351.
- LI Qiang, YIN Wan-zhong, MA Ying-qiang, LIU Ming-bao. Simulation and effects on flotation of solubility of magnesium carbonate minerals[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2011, 32(9): 1348–1351.

Decalcification leaching test of magnesite based on solubleness difference of minerals

SUN Wen-han¹, DAI Shu-juan², LUO Na³, YU Lian-tao²

(1. School Resources and Environment, Materials, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. School of Mining Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051, China;

3. School of Mining Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Dolomite is the key calcium-containing impure mineral in magnesite. The effects of mechanical stirring speed, leaching time, pH and pulp concentration on the leaching recovery of magnesite and dolomite were studied, based on their difference of solubleness, when hydrochloric acid solution was used as the lixiviant. Decalcification leaching tests of artificial mixed minerals were conducted using the leaching conditions of the pure mineral leaching tests, and the leaching mechanism was discussed by means of the dissolved components calculation, the dissolution rate tests and molecular dynamics simulation. The results show that the leaching rate of dolomite is higher than that of magnesite, and the leaching rates of dolomite and magnesite rise with the increase of mechanical stirring speed and leaching time. The leaching rates of dolomite and magnesite are both proportional to the pulp density and inversely proportional to acidity. The decalcification rate of artificial mixed minerals is as high as 76.57% under the optimal conditions. The solubility of magnesite is higher than that of dolomite while the dissolution rate is lower and the dissolution rate is the main factor effecting the leaching rate.

Key words: magnesite decalcification; dolomite; dissolved components calculation; molecular dynamics simulation

Foundation item: Project(51874168) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project(201602387) supported by Liaoning Province Natural Science Foundation, China

Received date: 2018-07-30; **Accepted date:** 2018-10-16

Corresponding author: DAI Shu-juan; Tel: +86-15141294799; E-mail: shujuandai@163.com

(编辑 李艳红)