

钛铁矿和辉石浮选分离试验研究及抑制剂作用机理

高虎林¹, 刘建¹, 罗德强², 董文超¹, 于云龙¹, 郝佳美¹, 秦晓艳¹

1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;
2. 攀钢集团矿业有限公司设计研究院, 四川 攀枝花 617063

中图分类号: TD923+.14; TD952.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)01-0061-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.01.009

摘要 以 MOH 为捕收剂, 水玻璃、草酸、LD-C (一种有机高分子抑制剂) 为抑制剂, 对钛铁矿和辉石进行单矿物浮选试验研究, 并通过浮选溶液化学分析、Zeta 电位测试和红外光谱测试, 研究了 LD-C 与钛铁矿和辉石的作用机理。试验结果表明: LD-C 对辉石的选择性抑制效果明显优于水玻璃和草酸, 在弱酸性环境 (pH = 5 ~ 6)、捕收剂 MOH 用量为 160 mg/L、抑制剂 LD-C 用量为 2 mg/L 的条件下, 钛铁矿回收率为 80%, 辉石回收率为 9%。LD-C 与钛铁矿作用后, 对捕收剂在钛铁矿表面吸附的影响较小。LD-C 与辉石作用后会阻碍捕收剂 MOH 在辉石表面的吸附, 这主要是由于辉石在矿浆中会溶解暴露出钙镁活性位点, 使得 LD-C 在辉石表面发生强烈的化学吸附, 从而阻碍了捕收剂的吸附。

关键词 钛铁矿; 辉石; 浮选分离; 抑制剂

引言

钛是一种重要的稀有金属材料, 具有密度小、比强度高、抗蚀性强等优点, 在航空航天、交通运输、石油化工等领域得到广泛应用, 享有“太空金属”“智能金属”等美誉^[1-2]。21 世纪以来, 我国钛工业高速发展, 成为世界钛工业的生产主体与消费主体。目前, 我国主要回收利用的钛资源为钛铁矿和少量的金红石^[3], 而随着金红石储量的不断减少, 钛铁矿逐渐成为提取钛与二氧化钛的主要矿物。钛铁矿的化学成分为 (FeO · TiO₂), 是一种三方晶系氧化物矿物, 由于类质同象的代替, 常会混入 Ca、Mg、Mn、V 等成分^[4]。晶体结构如图 1(a) 所示, 钛和铁是钛铁矿晶格中的阳离子, 空间群为 R3 形态^[5]。钛铁矿选别方法较多, 主要有重选、磁选、浮选、电选等。近年来, 由于钛铁矿开采力度加大, 矿石性质变得复杂化, 产生大量的微细粒级钛铁矿, 使得矿物在选矿力场所受捕提力差异减小, 基于物理性质的选别方法分选效果不佳, 需要通过浮选药剂来调控矿物表面性质的差异, 以获得良好的分选效果。浮选因此成为钛铁矿主要选别方法之一^[6]。

在钛铁矿浮选过程中辉石是主要脉石矿物, 是一种常见的链状结构的硅酸盐矿物, 以硅氧四面体形成

的分子链为主要构架, 主要分子式为 XY(Si, Al)₂O₆, 其中 X 为 Ca²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺、Na⁺ 等, Y 为 Mn²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺、Cr³⁺、Ti⁴⁺^[7-9]。常见晶体结构如图 1(b) 所示, 晶格中主要含有钙、镁、硅等阳离子。综上所述, 钛铁矿与辉石表面分布的金属元素种类接近, 浮选过程中二者表面会暴露出相似的活性位点, 使得药剂吸附的选择性降低, 浮选分离效果差。因此寻找高效、选择性强的抑制剂, 以及研究药剂抑制机理具有重要意义^[10]。邓传宏等^[11]研究认为, 弱酸性条件下以水玻璃为抑制剂、油酸钠为捕收剂可实现钛铁矿和钛辉石的分离, 这是由于水玻璃可以选择性吸附在钛辉石表面, 并且水玻璃可以减弱这两种矿粒间的异相凝聚, 以促进矿粒分散。Liu 等^[12]在钛铁矿和钛辉石浮选分离试验中使用草酸选择性抑制钛辉石。研究表明抑制机理是草酸与钛辉石表面金属离子反应形成不溶性金属配合物, 从而抑制钛辉石。

本试验主要在以 MOH 为捕收剂的浮选体系中, 研究了水玻璃、草酸、LD-C 分别为抑制剂对钛铁矿与辉石单矿物浮选分离性能, 并结合溶液化学分析、Zeta 电位测试、红外光谱测试对药剂与矿物的作用机理进行深入分析。

收稿日期: 2021-12-23

基金项目: 省部共建复杂有色金属清洁利用国家重点实验室基金项目 (CNMRCUTS2003)

作者简介: 高虎林 (1998-), 男, 贵州毕节人, 硕士研究生, 主要从事量子化学、界面化学研究, E-mail: 1970789098@qq.com。

通信作者: 刘建 (1984-), 男, 四川广元人, 博士, 教授, 主要从事浮选表面化学研究, E-mail: vacation2008@126.com。

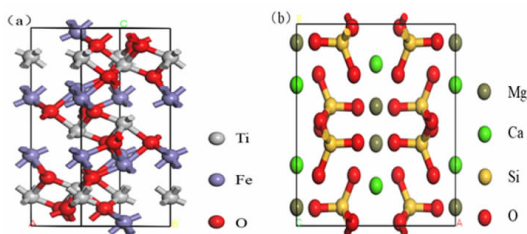


图 1 钛铁矿和辉石晶体结构示意图:(a) 钛铁矿;(b) 辉石
Fig. 1 Schematic diagram of the ilmenite and pyroxene crystal structure:(a) ilmenite ;(b) pyroxene

1 试验

1.1 试样制备与试剂

钛铁矿与辉石的单矿物分别来自伊朗某钛铁矿的磁选钛精矿与尾矿,将磁选后的钛精矿与尾矿,经过多次的摇床重选和磁选进行提纯,最终获得了 TiO_2 品位为 49.5% 的钛铁矿单矿物,钛铁矿纯度达到 94%;辉石纯度约为 92%。钛铁矿、辉石的 XRD 图谱如图 2 中 (a)、(b) 所示,图谱中出现的衍射峰分别为钛铁矿、辉石的衍射峰,因此二者均可作为试验研究样品。对提纯后的钛铁矿与辉石单矿物进行预选筛分,将筛分出 $-0.074 + 0.038 \text{ mm}$ 粒级的矿物贮存,用作浮选试验; $+0.074 \text{ mm}$ 粒级的矿物通过玛瑙材质的三头研磨机研磨后筛分,取 -0.038 mm 粒级的矿物密封保存,用于红外光谱 (FT-IR) 测试和动电位测试。

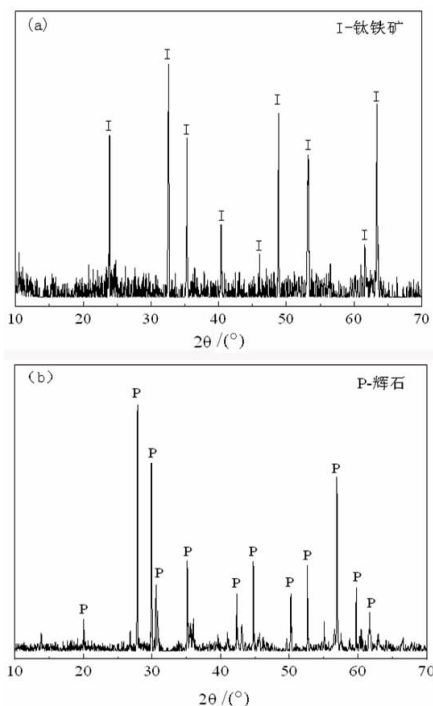


图 2 钛铁矿和辉石的 X 射线衍射图:(a) 钛铁矿;(b) 辉石
Fig. 2 X-ray diffraction patterns of ilmenite and pyroxene:(a) ilmenite; (b) pyroxene

浮选试验使用的捕收剂 MOH 与柴油为工业纯。

药剂 MOH 是一种复配的新型钛铁矿捕收剂^[13]。pH 调整剂中硫酸为工业纯,盐酸为分析纯。抑制剂为水玻璃和草酸分析纯。药剂 LD-C 是一种合成的有机高分子抑制剂(多糖类),主要基团有羧基 ($-\text{COOH}$)、羟基 ($-\text{OH}$) 和醚基 ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$)。试验用水为去离子水。

1.2 浮选试验

浮选设备采用 RK/FGC 挂槽浮选机。试验每次称取 2 g 纯矿物,加入到注加 40 mL 去离子水的浮选槽中。流程及药剂制度如下:首先搅拌调浆 1 min,随后加入 pH 调整剂搅拌 3 min,抑制剂作用 3 min,捕收剂作用 3 min,浮选时间为 3 min。纯矿物浮选结束后,将上浮产品过滤、烘干、称重,最后计算回收率。

1.3 傅里叶变换红外光谱 (FT-IR) 测定

红外光谱测定使用傅立叶变换红外光谱仪 (Nicolet iS 50),在 $800 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ 范围内记录 FT-IR 光谱,表征抑制剂与矿物质之间的相互作用。称取粒度为 $-5 \mu\text{m}$ 矿物样品 1.0 g 添加到 40 mL 含或不含 LD-C 的 pH 为 5.5 的溶液中。调节 30 min 后将样品过滤,洗涤,然后在 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 下真空干燥,称取约 1 mg 已干燥矿样与 100 mg 光谱级 KBr 混合,压制圆盘沉淀进行红外光谱测试。

1.4 Zeta 电位测试

使用 Zetasizer Nan-ZS90 电位分析仪测量矿物颗粒的 Zeta 电位。首先称取 0.1 g 的 $-5 \mu\text{m}$ 试验矿样加入到放有 40 mL 去离子水的烧杯中,然后在烧杯中加入 0.01 mol/L 的 NaCl 作为电解质,随后将该样品置于磁力搅拌器下调剂 2 min。矿浆调节结束后,按照单矿物浮选时最佳药剂制度进行加药,作用完成后,关闭磁力搅拌器,将样品静置 1 min。样品静置结束后吸取上清液注入到样品池中用于电位测量。每个样品进行三次测试,最后将三次结果的平均值作为 Zeta 电位的最终结果。

2 结果与讨论

2.1 捕收剂用量对矿物可浮性的影响

首先在目前钛铁矿浮选中广泛应用的 $\text{pH} = 5.0 \sim 6.0$ 条件下^[14],考察了捕收剂 MOH 用量对钛铁矿和辉石可浮性影响,试验结果如图 3 所示。

从图 3 可以看出,在 pH 为 5.0 ~ 6.0 的区间内,随着捕收剂用量增加,钛铁矿与辉石的回收率都随之增加;当捕收剂用量为 160 mg/L 时,钛铁矿的回收率达到 85%,辉石回收率为 24.5%,此时两者回收率差距最大;继续增加捕收剂用量,钛铁矿的回收率增加幅度

有限,而辉石的回收率显著增加,因此适合的捕收剂用量为 160 mg/L。

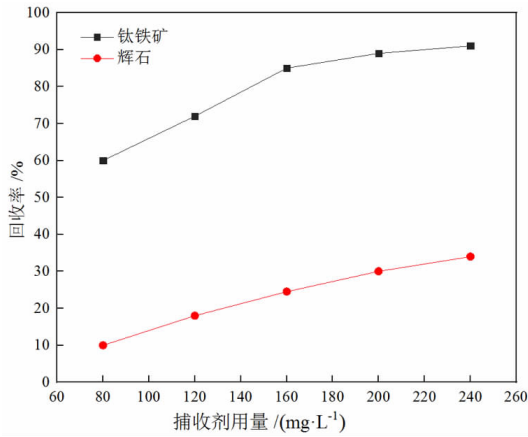


图 3 捕收剂用量对钛铁矿和辉石可浮性的影响(柴油用量:10mg/L; pH:5~6)

Fig. 3 Effect of collector dosage on floatability of ilmenite and pyroxene (diesel dosage:10 mg/L; pulp pH:5~6)

2.2 不同抑制剂对矿物可浮性的影响

在捕收剂 MOH 用量为 160 mg/L、pH = 5.0 ~ 6.0 时,对钛铁矿与辉石进行不同的抑制剂试验。抑制剂选用 LD - C 以及在钛铁矿浮选中应用广泛的水玻璃、草酸^[15]。

水玻璃、草酸、LD - C 药剂用量对钛铁矿与辉石浮选性能的影响分别如图 4 ~ 图 6 所示。由图 4 可知,随着水玻璃用量的逐渐增加,钛铁矿与辉石的回收率逐渐降低,表明水玻璃对钛铁矿和辉石皆有一定的抑制作用,若要强烈抑制辉石需要较大的药剂用量,但钛铁矿回收率也可能因此大幅度降低,因此以水玻璃作抑制剂的浮选分离效果较差。由图5可以看出,草酸

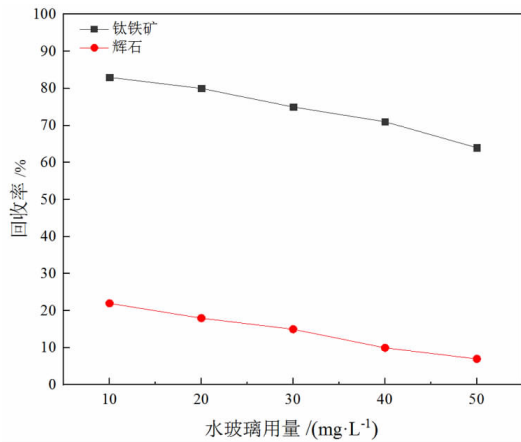


图 4 水玻璃用量与矿物可浮性的关系(捕收剂用量:160 mg/L;柴油用量:10 mg/L; pH:5~6)

Fig. 4 Relationship between water glass dosage and mineral buoyancy (collector dosage: 160 mg/L; diesel dosage:10 mg/L; pulp pH:5~6)

对钛铁矿与辉石都具有较为明显的抑制作用,草酸用量为 20 mg/L 时,钛铁矿、辉石回收率分别为 72%、10%;而当草酸用量为 40 mg/L 时,辉石的回收率降低至 4%,但此时钛铁矿的回收率仅有 38%。因此以草酸为抑制剂时,在较低的药剂用量水平下可以达到一定的分离效果,但效果并不显著。

从图 6 可以看出,在 LD - C 用量为 2 mg/L 时,钛铁矿回收率为 80%,辉石回收率为 9%,二者获得良好的分离效果,此时 LD - C 的抑制效果表现出较强的选择性。当继续增加药剂用量时,辉石愈发被抑制,但钛铁矿也明显地被抑制,回收率急剧下降,此时的药剂用量不再适宜。这表明 LD - C 最佳药剂用量为 2 mg/L,此时钛铁矿、辉石浮选分离效果最好。

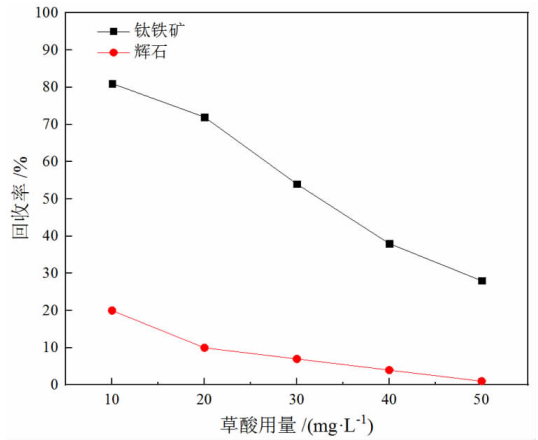


图 5 草酸用量与矿物可浮性的关系(捕收剂用量:160 mg/L;柴油 10 mg/L; pH:5~6)

Fig. 5 Relationship between oxalic acid dosage and mineral buoyancy (collector dosage:160 mg/L; diesel dosage: 10 mg/L; pulp pH:5~6)

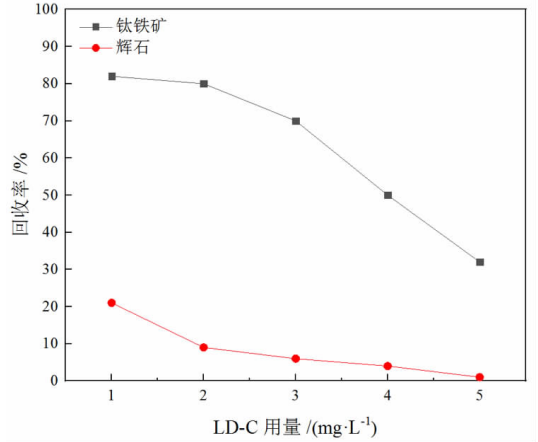


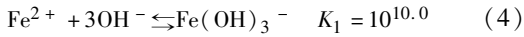
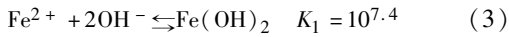
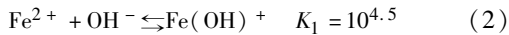
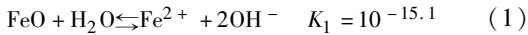
图 6 LD - C 用量与矿物可浮性的关系(捕收剂用量:160mg/L;柴油用量:10mg/L; pH:5~6)

Fig. 6 Relationship between LD - C amount and mineral buoyancy (collector dosage: 160 mg/L; diesel dosage:10 mg/L; pulp pH:5~6)

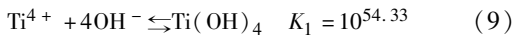
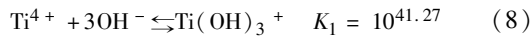
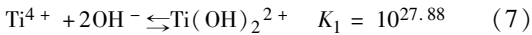
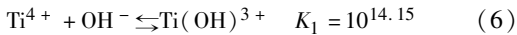
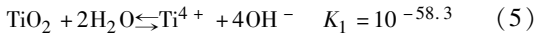
2.3 钛铁矿溶液化学分析

钛铁矿($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)的浮选溶液化学计算可以分别通过计算 FeO 和 TiO_2 的溶液化学计算表示。在水溶液中, FeO 和 TiO_2 与水溶液平衡关系表示如下^[16]:

FeO 水溶液的平衡关系:



TiO_2 水溶液的平衡关系:



根据上述平衡关系,计算出各组分浓度的 pH,并绘制钛铁矿的浮选溶液浓度对数图于图 7。

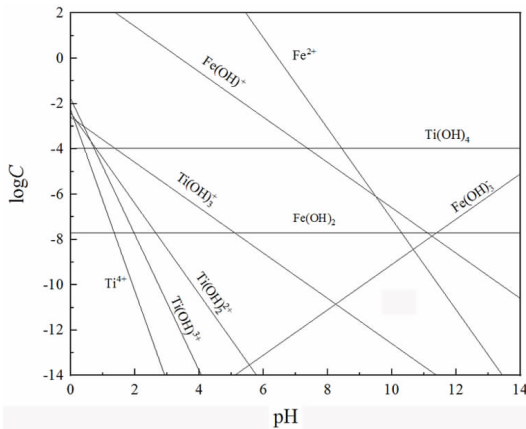


图 7 钛铁矿浮选溶液浓度对数图

Fig. 7 Logarithm diagram of ilmenite flotation solution concentration

从图 7 可以看出,在浮选试验的 $\text{pH} = 5 \sim 6$ 时,钛铁矿表面主要以 $\text{Ti}(\text{OH})_4$ 、 Fe^{2+} 、 $\text{Fe}(\text{OH})^+$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 的形式存在,其中 Fe^{2+} 和 $\text{Fe}(\text{OH})^+$ 的性质较为活泼, $\text{Ti}(\text{OH})_4$ 性质较稳定,所以在该 pH 范围内,亚铁离子及其羟基络合物为捕收剂主要作用位点,此时矿物表面显正电。

2.4 钛铁矿与辉石的 Zeta 电位测试

对钛铁矿与辉石在不同药剂作用条件下的 Zeta 电位进行了测试,所得结果如图 8、图 9 所示。由图 8 可知,钛铁矿的等电点约出现在 $\text{pH} = 6$,这与 Yang 等^[17]的研究相符合。在添加抑制剂 LD-C 后,钛铁矿的动电位发生较小程度的负移,表明 LD-C 作用于钛铁矿表面,且 LD-C 在溶液中显负电性。在加入 LD

-C 后继续添加捕收剂 MOH,此时钛铁矿表面的动电位进一步负移,且负移程度较大,说明钛铁矿在吸附一定的 LD-C 后仍能与 MOH 发生较强作用,从而使得在浮选中添加 LD-C 的情况下,钛铁矿依然能够表现出良好的可浮性。在 $\text{pH} = 5 \sim 6$ 时,结合溶液化学分析可知,钛铁矿此时显正电,与 LD-C 的作用形式可能以静电吸附为主,使得捕收剂 MOH 仍可与钛铁矿表面主要存在的亚铁离子及其羟基络合物作用,因此此时药剂作用前后的动电位变化最大,捕收剂作用效果最佳。

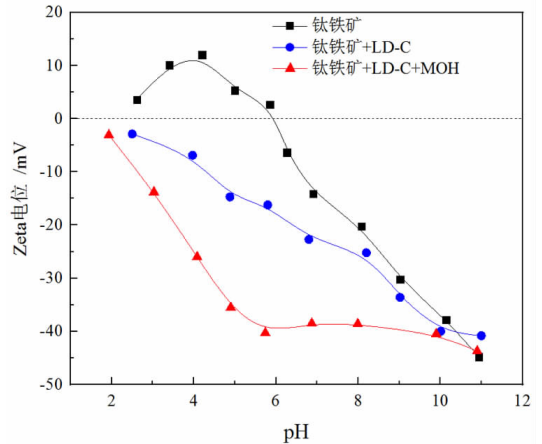


图 8 钛铁矿、钛铁矿 + LD-C、钛铁矿 + LD-C + MOH 在不同 pH 下的 Zeta 电位(MOH 用量:160 mg/L;LD-C 用量:20 mg/L)

Fig. 8 The Zeta potential of ilmenite, ilmenite + LD-C and ilmenite + LD-C + MOH at different pH (MOH dosage:160 mg/L; LD-C dosage:20 mg/L)

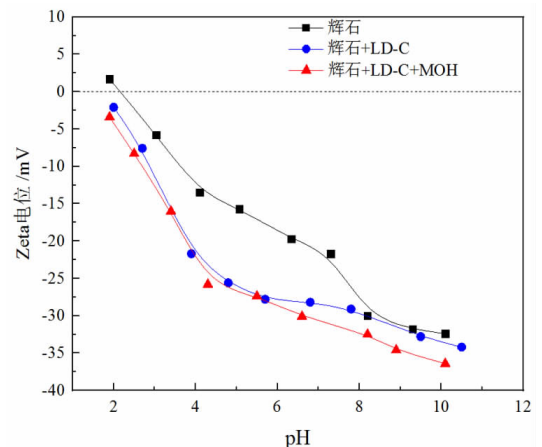


图 9 辉石、辉石 + LD-C、辉石 + LD-C + MOH 在不同 pH 下的 Zeta 电位(MOH 用量:160 mg/L;LD-C 用量:20 mg/L)

Fig. 9 The Zeta potential of pyroxene, pyroxene + LD-C and pyroxene + LD-C + MOH at different pH (MOH dosage:160 mg/L; LD-C dosage:20 mg/L)

由图 9 可知,随着 pH 的升高,辉石表面的动电位呈现下降趋势,辉石表面动电位的零电点出现在 pH 为 2.2 左右,这与魏志聪等^[18]的研究相符。在添加 LD-C 后,辉石表面动电位发生负移,在 pH 为 5~6 时

最为明显,此时荷负电的辉石表面可以与同样显负电的 LD-C 作用,表明在此 pH 范围内,LD-C 在辉石表面发生了显著吸附,且可能以化学吸附为主。但在该 pH 范围内,进一步加入捕收剂 MOH 后,辉石表面动电位变化很小,说明此时 MOH 与吸附 LD-C 后的辉石表面几乎未作用,这可能是由于 LD-C 吸附后阻碍了 MOH 与辉石的作用,这一结果与辉石的单矿物浮选试验相一致。

2.5 钛铁矿、辉石和浮选药剂的红外光谱 (FT-IR) 测试

2.5.1 LD-C 与钛铁矿作用的红外光谱分析

根据浮选试验的研究结果,本试验选择 LD-C 作为钛铁矿与辉石分离的抑制剂,在波数为 $800 \sim 4\,000 \text{ cm}^{-1}$ 记录样品的红外光谱,以研究 LD-C 在钛铁矿与辉石表面的吸附作用机理。药剂 LD-C 与钛铁矿作用的红外光谱分析如图 10 所示,抑制剂 LD-C 在 $1\,029 \text{ cm}^{-1}$ 处为 C-O-C 的伸缩振动吸收峰, $1\,418 \text{ cm}^{-1}$ 处为 -COO- 的对称伸缩振动吸收峰, $1\,617 \text{ cm}^{-1}$ 处为 -COO- 的反对称伸缩振动吸收峰, $2\,925 \text{ cm}^{-1}$, $3\,432 \text{ cm}^{-1}$ 处为 -OH 的伸缩振动吸收峰^[19-20]。在钛铁矿的红外光谱中,并无明显的特征峰出现^[21]。经 LD-C 作用后,钛铁矿的红外光谱在 $1\,627 \text{ cm}^{-1}$ 处出现 -COO- 特征峰,说明 LD-C 分子被吸附于钛铁矿表面。但由于 LD-C 吸附在钛铁矿表面后出现的新峰强度很弱,且未明显观测到其他新特征峰,说明 LD-C 在钛铁矿表面的化学吸附作用十分微弱。

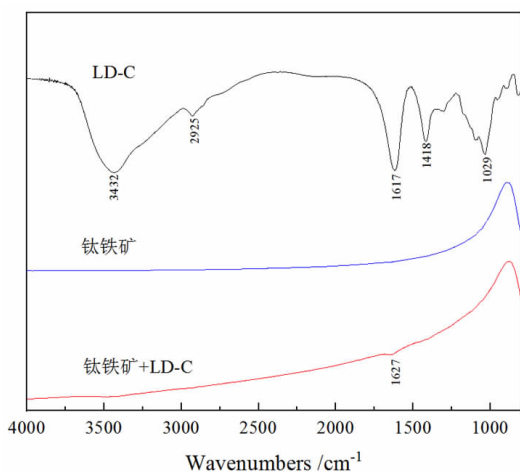


图 10 LD-C 与钛铁矿作用的红外光谱

Fig. 10 Infrared spectrum of the interaction between LD-C and ilmenite

2.5.2 LD-C 与辉石作用的红外光谱分析

LD-C 与辉石作用的红外光谱如图 11 所示,辉石

的红外光谱中,波数为 884 cm^{-1} 处是 Mg-O 的弯曲振动吸收峰,波数为 $1\,065 \text{ cm}^{-1}$ 处是 Si-O 的伸缩振动吸收峰^[22],波数为 $3\,447 \text{ cm}^{-1}$ 处是 -OH 的伸缩振动吸收峰。在辉石与 LD-C 作用后的红外光谱图中可以观察到在波数为 $2\,930 \text{ cm}^{-1}$ 、 $2\,856 \text{ cm}^{-1}$ 、 $1\,624 \text{ cm}^{-1}$ 、 $1\,403 \text{ cm}^{-1}$ 处出现了新的吸收峰,在 $2\,930 \text{ cm}^{-1}$ 和 $2\,856 \text{ cm}^{-1}$ 处归因于羧酸中的 -OH 的伸缩振动。在波数为 $1\,624 \text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,403 \text{ cm}^{-1}$ 处出现的新吸收峰分别对应于 LD-C 中 -COO- 的反对称伸缩振动与对称伸缩振动峰;以上结果说明 LD-C 与辉石发生了强烈的化学吸附,这与动电位分析结果一致。由辉石晶体结构得出,辉石中由硅氧四面体形成的单链间连接有大量的钙镁阳离子,连接形式为离子键。因此,辉石易在矿浆中溶解暴露出大量钙镁活性位点^[13],使得 LD-C 基团中的 -OH、-COO- 与辉石表面发生作用,导致辉石被选择性抑制。

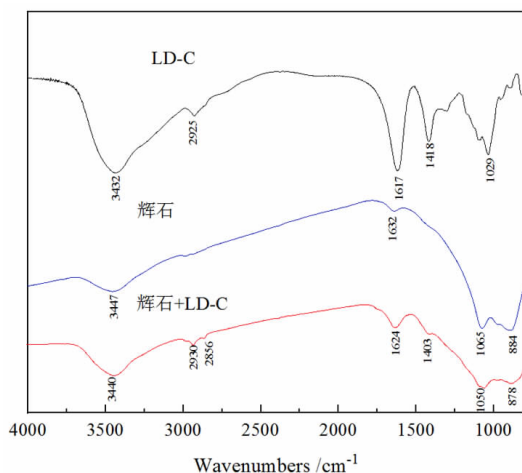


图 11 LD-C 与辉石作用的红外光谱

Fig. 11 Infrared spectrum of the interaction between LD-C and pyroxene

3 结论

(1) 单矿物浮选试验结果表明,LD-C 作为抑制剂对钛铁矿与辉石的分离效果最佳。在捕收剂 MOH 用量为 160 mg/L 、LD-C 用量为 2 mg/L 的条件下,钛铁矿回收率为 80% ,辉石回收率为 9% ,表明 LD-C 是实现钛铁矿与辉石浮选分离的高效抑制剂。

(2) 由钛铁矿浮选溶液化学结合 Zeta 电位测试结果分析可知,在 pH 为 $5 \sim 6$ 时,钛铁矿和辉石与药剂作用效果最佳,此时钛铁矿表面主要药剂作用位点为亚铁离子及其羟基络合物,LD-C 与钛铁矿表面的吸附形式可能以静电吸附为主,且捕收剂 MOH 可以与 LD-C 在钛铁矿表面发生共吸附。LD-C 在辉石表面吸附形式可能主要为化学吸附,辉石在吸附 LD-C 后会阻碍捕收剂 MOH 的吸附。

(3) 红外光谱分析研究发现,LD-C 在钛铁矿表

面发生微弱的化学吸附。LD - C 中 - OH、- COO - 可与辉石表面暴露的钙镁位点发生作用,从而使得 LD - C 在辉石表面发生化学吸附,因此 LD - C 对辉石有明显的选择性抑制作用。

参考文献:

- [1] 李政,陈从喜. 全球钛资源行业发展现状[J]. 地球学报, 2021(2): 245 - 250.
LI Z, CHEN C X. Development status of global titanium resources industry [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2021(2): 245 - 250.
- [2] 许国栋,王桂生. 钛金属和钛产业的发展[J]. 稀有金属, 2009(6): 903 - 912.
XU G D, WANG G S. Development of titanium and its industry [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2009(6): 903 - 912.
- [3] 陈攀,翟计划,王洪彬,等. 微细粒钛铁矿浮选捕收剂改性试验研究[J]. 稀有金属, 2018(2): 205 - 212.
CHEN P, ZHAI J H, WANG H B, et al. Experimental study on modification of collector for fine grained ilmenite [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2018(2): 205 - 212.
- [4] 刘伟军. 红格矿区钛铁矿与含硅脉石矿物浮选分离机理与工艺研究[D]. 绵阳:西南科技大学, 2016.
LIU W J. Flotation separation mechanism and technology of ilmenite and silicon gangue minerals of hongge [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2016.
- [5] 刘向春,高峰,邓军平,等. ABO₃ 型钛铁矿结构化合物的容差因子[J]. 无机材料学报, 2008(5): 881 - 885.
LIU X C, GAO F, DENG J P, et al. Tolerance factor of ABO₃ - type ilmenite compound [J]. Journal of Inorganic Materials, 2008(5): 881 - 885.
- [6] 赵文迪,章晓林,景满,等. 钛铁矿选别工艺进展[J]. 有色金属(选矿部分), 2020(2): 50 - 56.
ZHAO W D, ZHANG X L, JING M, et al. Progress of ilmenite separation process [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2020(2): 50 - 56.
- [7] YUAN Z T, DU Y S, MENG Q Y, et al. Adsorption differences of carboxymethyl cellulose depressant on ilmenite and titanite[J]. Minerals Engineering, 2021(166): 106887.
- [8] GUILLOT L M, MARTINEZ A F, AGUDO E R, et al. Carbonation of calcium - magnesium pyroxenes: physical - chemical controls and effects of reaction - driven fracturing[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2021(304): 258 - 280.
- [9] 陈列猛,宋谢炎,聂晓勇,等. 甘肃金川 II 号岩体辉石化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2008(1): 88 - 96.
CHEN L M, SONG X Y, NIE X Y, et al. Mineral chemistry and geological significance of pyroxene in section II of Jinchuan pluton, Gansu Province [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2008(1): 88 - 96.
- [10] 马龙秋,杜雨生,孟庆有,等. 钛铁矿浮选药剂及其作用机理研究进展[J]. 金属矿山, 2018(3): 7 - 12.
MA L C, DU Y S, MENG Q Y, et al. Research progress on flotation reagents of ilmenite and their interaction mechanisms [J]. Metal Mine, 2018(3): 7 - 12.
- [11] 邓传宏,马军二,张国范,等. 水玻璃在钛铁矿浮选中的作用[J]. 中国有色金属学报, 2010(3): 551 - 556.
DENG C H, MA J E, ZHANG G F, et al. Effect of water glass on flotation of ilmenite [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2010(3): 551 - 556.
- [12] LIU X, HUANG G Y, LI C X, et al. Depressive effect of oxalic acid on titanite during ilmenite flotation [J]. Minerals Engineering, 2015(79): 62 - 67.
- [13] 朱建光,陈树民,姚晓海,等. 用新型捕收剂 MOH 浮选微细粒钛铁矿[J]. 有色金属(选矿部分), 2007(6): 42 - 45.
ZHU J G, CHEN S M, YAO X H, et al. Flotation of micro - fine ilmenite using new type collector - MOH [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2007(6): 42 - 45.
- [14] 朱阳戈. 微细粒钛铁矿浮选理论与技术研究[D]. 长沙:中南大学, 2012.
ZHU Y G. Research on theory and technology of micro - fine ilmenite flotation [D]. Changsha: Central South University, 2012.
- [15] 徐翔,章晓林,许炳梁,等. 钛铁矿浮选中的抑制剂研究[J]. 矿冶, 2010(4): 21 - 23.
XU X, ZHANG X L, XU B L, et al. Research on depressants in ilmenite flotation. [J]. Mining and Metallurgy, 2010(4): 21 - 23.
- [16] 申帅平. 微细粒级钛铁矿分选特性研究[D]. 沈阳:东北大学, 2014.
SHEN S P. Research on separation characteristics of micro - fine ilmenite [D]. Shenyang: Northeastern University, 2014.
- [17] YANG Y H, XU L H, TIAN J, et al. Selective flotation of ilmenite from olivine using the acidified water glass as depressant [J]. International Journal of Mineral Processing, 2016(157): 73 - 79.
- [18] 魏志聪,徐翔,方建军,等. 钛铁矿和钛辉石对羧甲基纤维素的吸附机理研究[J]. 矿冶, 2011(1): 8 - 10.
WEI Z C, XU X, FANG J J, et al. Study on the adsorption mechanism of carboxymethyl cellulose on ilmenite and titanite [J]. Mining and Metallurgy, 2011(1): 8 - 10.
- [19] 张其东. 辉钼矿与滑石可浮性差异调控基础研究[D]. 沈阳:东北大学, 2016.
ZHANG Q D. Fundamental study on regulation and control floatability difference of molybdenite and talc [D]. Shenyang: Northeastern University, 2016.
- [20] 潘高产,卢毅屏. CMC 和古尔胶对滑石浮选的抑制作用研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2013(2): 74 - 78.
PAN G C, LU Y P. Study on the inhibition effect of CMC and guar gum in the talc flotation [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2013(2): 74 - 78.
- [21] DU Y S, MENG Q Y, YUAN Z T, et al. Study on the flotation behavior and mechanism of ilmenite and titanite with sodium oleate [J]. Minerals Engineering, 2020, 152: 106366.
- [22] ZHU Y G, ZHANG G F, FENG Q M, et al. Effect of surface dissolution on flotation separation of fine ilmenite from titanite [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(5): 1149 - 1154.

Experimental Study on Flotation Separation of Ilmenite and Pyroxene and Action Mechanism of Depressants

GAO Hulin¹, LIU Jian¹, LUO Deqiang², DONG Wenchao¹, YU Yunlong¹, HAO Jiamei¹, QIN Xiaoyan¹

1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Pangang Group Mining Company Design Research Institute, Panzhihua 617063, China

Abstract: Using MOH as collector, sodium silicate, oxalic acid and LD - C (carboxymethyl cellulose) as depressants, single mineral flotation of ilmenite and pyroxene was carried out. In addition, the interaction mechanism of LD - C with ilmenite and pyroxene was studied by solution chemistry of flotation, zeta potential test and infrared spectroscopic test. The test results show that the selective depression effect of LD - C on pyroxene was significantly better than that of sodium silicate and oxalic acid. Under weak acidic conditions, and the dosage of collector MOH was 160 mg/L, depressant LD - C was 2 mg/L, the recovery of ilmenite can reach 80% and that of pyroxene was 9%. The interaction of LD - C on pyroxene can hinder the subsequent adsorption of MOH while that on ilmenite has little effect on the adsorption of MOH. This due to the fact that the active sites of Ca and Mg exposed on the pyroxene surface during flotation can make LD - C adsorb on pyroxene strongly, which hindering the adsorption of collector.

Keywords: ilmenite; pyroxene; flotation separation; depressants

引用格式:高虎林,刘建,罗德强,董文超,于云龙,郝佳美,秦晓艳. 钛铁矿和辉石浮选分离试验研究及抑制剂作用机理[J]. 矿产保护与利用,2022,42(1):61-67.

GAO Hulin, LIU Jian, LUO Deqiang, DONG Wenchao, YU Yunlong, HAO Jiamei, QIN Xiaoyan. Experimental study on flotation separation of Ilmenite and pyroxene and action mechanism of depressants[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2022, 42(1): 61-67.

投稿网址:<http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail:kcbh@chinajournal.net.cn