

基于一种工业废胺的阳离子捕收剂反浮选试验研究*

郑业超, 赵通林, 依爽, 马芳源

(辽宁科技大学 矿业工程学院, 辽宁 鞍山市 114000)

摘要:我国铁矿资源日益枯竭,其存在贫细杂等难选特质。传统阴离子捕收剂药剂用量大、药剂制度复杂、活性差。为解决这一问题,采用工业废胺经过加工后的表面活性剂(YTDB)作为阳离子捕收剂,对石英和赤铁矿进行了单矿物浮选试验以及矿物吸附机制的研究。结果表明,当十二胺(DDA)作为捕收剂时,在pH=7、捕收剂用量为20 mg/L的条件下,可以得到石英的回收率为78.36%,赤铁矿的回收率为12.57%,此时浮选差异性最大;当YTDB作为捕收剂时,在pH=7、捕收剂用量为15 mg/L的条件下可以得到石英的回收率为91.27%,赤铁矿的回收率为12.67%,此时浮选差异性最大,YTDB在浮选指标上明显优于DDA,并一定程度上节省了药剂用量。通过测试药剂与矿物作用前后的红外光谱、表面张力以及Zeta电位,发现YTDB在石英表面发生了吸附作用。

关键词:阳离子捕收剂;反浮选;YTDB;回收率

中图分类号:TD95 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2763(2025)10-0251-08

Experimental Study on Reverse Flotation of Cationic Collector Based on an Industrial Waste Amine

ZHENG Yechao, ZHAO Tonglin, YI Shuang, MA Fangyuan

(School of Mining Engineering, Liaoning University of Science and Technology, Anshan, Liaoning 114000, China)

Abstract:China's iron ore resources are increasingly depleted, and they have difficult to select characteristics such as poor, fine and miscellaneous. The traditional anionic collector has large dosage, complex reagent system and poor activity. In order to solve this problem, the surfactant processed by industrial waste amine (YTDB) was used as cationic collector to study the single mineral flotation test and mineral adsorption mechanism of quartz and hematite. The results show that when dodecylamine (DDA) is used as collector, under the conditions of pH=7 and collector dosage of 20 mg/L, the recovery rate of quartz is 78.36%, and the recovery rate of hematite is 12.57%. At this time, the flotation difference is the largest. When YTDB is used as collector, under the condition of pH=7 and collector dosage of 15 mg/L, the recovery rate of quartz is 91.27%, and the recovery rate of hematite is 12.67%. At this time, the flotation difference is the largest. YTDB is obviously better than DDA in flotation index, and saves the dosage of reagent to a certain extent. By testing the infrared spectrum, surface tension and Zeta potential before and after the interaction of the agent and the mineral, it is found that YTDB adsorbed on the surface of quartz.

Key words: Cationic collector, Reverse flotation, YTDB, Recovery rate

0 引言

钢铁工业最重要的原料是铁矿石。绝大部分的铁矿石具有易碎特质,嵌布粒度较低,在开采和加工过程中难免会产生大量的细粉和泥,不能直接在高炉中进行冶炼,对选矿工艺有极高的要求。天然的铁矿通常具有顺磁性质,对于这些低品位、粒度极细的铁矿石,磁选无疑是最常见的选别方式,可通过有用矿物与脉石矿物的磁性差异进行选别作业^[1],可以很大程度上去除一部分脉石矿物。然而,作为工业生产以及优质冶金原料的高纯度铁矿石,磁选往往达不到精矿的要求,而浮选作为去除细粒级杂质最有效的选矿

方法,可以最大程度减少脉石矿物的含量^[2]。

浮选,通常也被称为泡沫浮选,是国内铁矿石最重要以及最通用的选矿技术,它是通过脉石矿物与有用矿物表面性质的差异来分离脉石矿物的技术过程,涉及固、液、气三相相互作用,矿物颗粒组成固相,水和表面活性剂成分组成液相,气相则由气泡内部组成^[3]。作为浮选中最重要浮选药剂捕收剂,主要是通过物理吸附以及化学吸附吸附在矿物表面,使其具有疏水性,从而聚集在泡沫上与亲水颗粒分离^[4]。目前铁矿石中最主要的脉石矿物是石英,石英也几乎存在于所有金属氧化物的矿石中,常用反浮选选别^[5-8]。

* 收稿日期:2024-11-17

作者简介:郑业超(1998—),男,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向为浮选及资源综合利用。E-mail:3056726470@qq.com

通信作者:赵通林(1970—),男,辽宁鞍山人,硕士,教授,研究方向为浮选及矿产资源综合利用。E-mail:4795804@qq.com

反浮选中常见捕收剂可分为非离子型和离子型捕收剂,而捕获石英常用到的捕收剂为离子型。离子型捕收剂具有亲矿物的极性部分和碳氢自由链的非极性部分^[9],矿物通常吸附于离子型捕收剂的极性部分,这些极性部分通常携带阴离子和阳离子。传统阴离子捕收剂在反浮选铁矿中广泛应用,例如,王秋林等^[10]采用弱磁-强磁-阴离子反浮选流程选别东鞍山铁矿,通过使用KS捕收剂进行了“一粗一精三扫”的反浮选闭路试验,最终得到铁品位为67.55%、回收率为78.22%的铁精矿。龚豪^[11]使用新研发阴离子捕收剂H-27A,以李楼铁矿为实际矿物,进行“一粗一精三扫”的反浮选闭路试验,最终得到铁品位为66.85%、铁回收率为90.71%的铁精矿。

然而,阴离子捕收剂存在药剂用量大、药剂制度繁琐、耐低温效果差等问题^[12],始终没有得到很好的解决。阳离子捕收剂则可以避免这一问题,其不需要消耗过多的能量来维持药剂的溶解度和活性^[13]。本文采用工业废胺经过加工后的表面活性剂(YTDB)作为捕收剂,研究了YTDB作为浮选捕收剂的浮选效率及其对石英表面的吸附机制,探究其对石英和赤铁矿单矿物浮选行为的影响。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用的单矿物石英取自某矿厂,将制备后的石英单矿物样品进行X射线衍射(XRD)分析、X射线荧光光谱(XRF)分析和激光粒度分析,XRD的分析结果如图1(a)所示,XRF的分析结果见表1,粒度分析如图1(b)所示。从图1(a)可以看出,石英单矿物SiO₂峰强度以及密度最高,说明SiO₂占主导地位。从图1(b)可以看出,样品的中值粒径D₅₀达到了133.5 μm, D₉₀则达到了264.3 μm。综合上述矿物的纯度以及粒度,石英可满足后续单矿物试验以及机理分析的要求。

表1 石英单矿物XRF试验结果

Table 1 XRF test results of quartz monomineral ore %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	ZrO ₂
96.36	2.46	0.556	0.26	0.2	0.09	0.06	0.01	0.004

赤铁矿单矿物则取自某铁矿厂,将制备后的赤铁矿样品进行X射线衍射(XRD)分析、X射线荧光光谱(XRF)分析和激光粒度分析,XRD的分析结果如图2(a)所示,XRF的分析结果见表2,粒度分析如图2(b)所示。从图2(a)和表2可以看出,Fe₂O₃峰强度最高,含量达到了96.84%,另外含有少量的氧化物SiO₂、Al₂O₃等。从图2(b)可以看出,样品的中值粒径D₅₀达

到了79.89 μm, D₉₀则达到了123.2 μm。综合上述纯度以及粒度,赤铁矿可满足后续单矿物试验的要求。

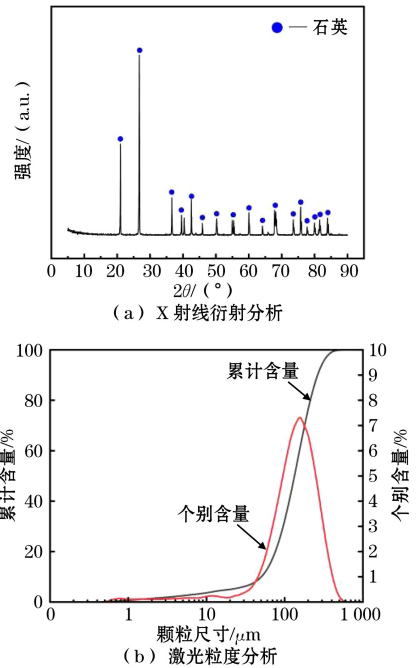


图1 石英单矿物矿石性质分析

Fig.1 Analysis of the mineral properties of quartz monomineral ore

表2 赤铁矿单矿物XRF试验结果

Table 2 XRF test results of hematite monomineral ore %

Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	CaO	TiO ₂	K ₂ O	Cr ₂ O ₃
96.84	2.17	0.34	0.23	0.18	0.12	0.057	0.036	0.027

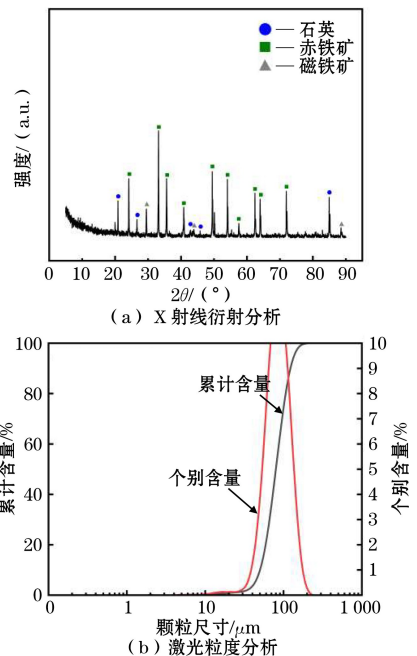


图2 赤铁矿单矿物矿石性质分析

Fig.2 Analysis of the mineral properties of hematite monomineral ore

1.2 试验方法

1.2.1 浮选试验

采用一次粗选的试验流程,探究二十胺(DDA)和 YTDB 在不同矿浆 pH、不同捕收剂用量下,对石英以及赤铁矿回收率的影响。单矿物浮选试验在 XFD III 浮选机进行,在室温条件下配制矿浆,称取 2.00 g 的单矿物放入浮选槽中,再加入 20 g 去离子水,控制浮选机的搅拌速度为 1 900 r/min,搅拌 2 min 以充分搅匀矿浆。加入事先准备好的 pH 调整剂调浆 3 min,再加入捕收剂调浆 3 min 后,开始刮泡,控制刮泡时间为 3 min。浮选结束后,将精矿进行过滤、烘干、称重,随后计算其回收率。单矿物浮选试验流程如图 3 所示。

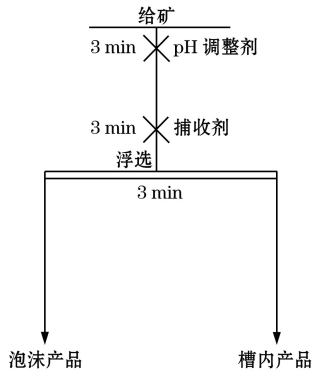


图 3 单矿物浮选试验流程

Fig.3 Flotation test procedure of monomineral ore

1.2.2 红外光谱分析

本试验采用傅里叶变换红外光谱仪对药剂及药剂作用后的石英进行红外光谱测试分析,分析药剂在石英上的吸附作用机制。首先,取 1 mg 制备好的样品与 100 mg 溴化钾放在玛瑙研钵中混合均匀并进行研磨,研磨至粉末状后,取出少量样品进行压片制样。然后,放入傅里叶变换红外光谱仪中对样品进行红外光谱检测,光谱的测试范围为 $400 \sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$ 。检测完成后对光谱进行峰位置的识别,对比已知的光谱查找分子内不同位置的基团,对比药剂与石英作用前后光谱的变化。

1.2.3 Zeta 电位测试分析

本试验采用 Zeta 电位仪对药剂及药剂作用后的石英进行 Zeta 电位分析,从而分析药剂在石英上的吸附作用机制。控制温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,首先,称取 50 mg 的样品加入 40 mL 的去离子水进行搅拌,再加入配置好的 3% 的 NaOH 溶液和 HCL 溶液调节矿浆的 pH,与药剂作用的石英样品组需要加入一定

量的药剂,再放入磁力搅拌器中以 $1\,500\text{ r/min}$ 的搅拌转速搅拌 5 min,然后再静置 5 min,取上层清液放入样品池中,调节仪器参数开始测试。每个样品测试 3 次后取平均值。

1.2.4 表面张力测试分析

本试验采用全自动表面张力仪对药剂作用后的石英矿浆进行表面张力分析,探究 YTDB 和 DDA 分别与石英作用后对溶液表面张力的影响。首先放置一定量的去离子水在试样台上,调节参数将悬挂的铂金环浸入去离子水中,对表面张力仪进行纯水校准。完成后,按相同的步骤在试样台上放置配置好的石英+药剂悬浮溶液,进行表面张力测试,每个样品测试 3 次后取平均值。

2 试验结果与分析

2.1 不同 pH 下捕收剂对矿物回收率的影响

2.1.1 DDA 对矿物回收率的影响

图 4 显示了 DDA 浮选体系下,不同 pH 对赤铁矿和石英回收率的影响。此时矿浆温度为室温,DDA 的用量为 20 mg/L ,控制矿浆的 pH 为 $2 \sim 11$ 。当 pH 从 2 增加到 4 时,石英的回收率很低,捕收效果较差。当 pH 增大至 7 时,可以看出此时石英的回收率最高,达到了 78.36% 。pH 继续增大至 9 时,此时回收率略微有所下降,但仍维持在 76.57% 以上,说明 pH 在 $7 \sim 9$ 范围内为最佳可浮区间。当 $\text{pH} > 9$ 时,此时石英的回收率急剧下降。当 pH 从 2 增加到 7 时,赤铁矿的回收率很低,捕收效果差;当 pH 从 7 增加到 9 时,DDA 对赤铁矿浮选回收率急剧上升,在 $\text{pH} = 9$ 时回收率达到了 40.36% 。当 pH 从 9 增加至 11 时赤铁矿的回收率有所降低。

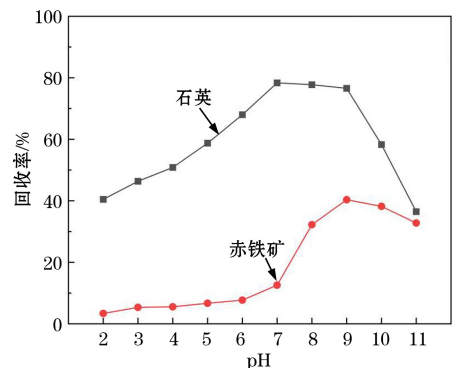


图 4 pH 对 DDA 浮选体系中石英和赤铁矿回收率的影响

Fig.4 Effect of pH on the recovery rates of quartz and hematite in DDA flotation system

综上所述,当 pH=7 时,石英回收率为 78.36%,赤铁矿的回收率为 12.57%,两者回收率差值最大,此时可浮性差异最大,故在 DDA 浮选体系下, pH=7 为矿浆最佳 pH。

2.1.2 YTDB 对矿物回收率的影响

图 5 为 YTDB 浮选体系中矿浆 pH 对石英和赤铁矿回收率的影响。此时矿浆温度为室温, YTDB 的用量为 20 mg/L,控制矿浆的 pH 为 2~11。由图 5 可知,矿浆 pH 对浮选指标影响较为明显。当 pH 从 2 增加至 7 时,石英回收率稳步上升;当 pH=7 时,石英的回收率最高,达到了 91.42%,远远超出了 DDA 最佳浮选回收率,说明 YTDB 对石英的选择性优于传统捕收剂 DDA;当 pH 继续增大至 9 时,回收率略微有所下降。当 pH>9 时,回收率急速降低,这一趋势与 DDA 类似,可能与 DDA 含有相同的成分或官能团有关。当 pH 从 2 增大至 10 时,赤铁矿回收率缓慢上升,当 pH=10 时,赤铁矿回收率最高,为 22.38%。pH 继续增大,回收率有所降低。

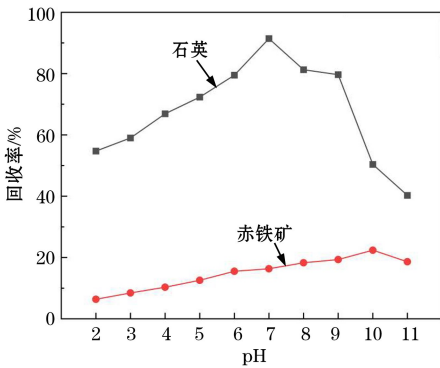


图 5 pH 对 YTDB 浮选体系中石英和赤铁矿回收率的影响
Fig.5 Effect of pH on the recovery rates of quartz and hematite in YTDB flotation system

图 6 对比了不同单矿物体系下, pH 对 YTDB 与 DDA 浮选回收率的影响,从石英来看, YTDB 和 DDA 的最佳 pH 均在 7~9 之间。当 pH<9 时, YTDB 对石英的回收率要明显优于 DDA, 这表明 YTDB 对石英的捕收性能要强于 DDA。从赤铁矿来看,当 pH<7 时,尽管 YTDB 对赤铁矿的捕收效果更强,这可能对浮选不利,但从石英与赤铁矿回收率的差值来看, YTDB 均高于 DDA, 尤其当 pH 为 7~9 时, YTDB 明显更优。综上所述,当 pH=7 时, 石英回收率为 91.42%, 赤铁矿的回收率为 16.32%, 两者回收率差值最大, 此时可浮性差异最大, 故在

YTDB 浮选体系下, pH=7 为矿浆最佳 pH。

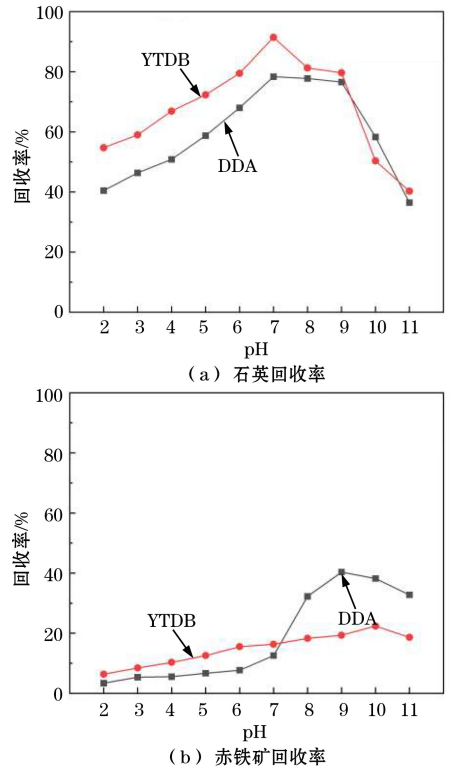


图 6 捕收剂对矿物回收率的影响

Fig.6 Effect of collector on mineral recovery rate

2.2 不同捕收剂用量下捕收剂对矿物回收率的影响

2.2.1 DDA 用量对矿物回收率的影响

图 7 为 DDA 用量对石英和赤铁矿回收率的影响。此时矿浆温度为室温,矿浆的 pH 为 7,控制矿浆的捕收剂的用量为 3~60 mg/L。当捕收剂用量从 3 mg/L 增加到 30 mg/L 时,石英的回收率增加迅速,捕收效果明显提升,石英的回收率从 46.63% 增长至 89.36%。当捕收剂用量为 60 mg/L,石英的回收率为 91.63%, 仅仅增加 2.27 个百分点。当捕收剂用量从 3 mg/L 增加到 20 mg/L 时,赤铁矿的回收率增加较为平稳,回收率从 2.93% 增加到 12.57%。继续增大捕收剂用量,可以看出此时赤铁矿的回收率急速上升,当捕收剂用量为 60 mg/L,此时回收率为 60.36%。

综上所述,当捕收剂用量为 20 mg/L 时,石英回收率为 78.36%,赤铁矿的回收率为 12.57%,两者回收率差值最大,此时可浮性差异最大,故在 DDA 浮选体系下,捕收剂用量为 20 mg/L 为最佳药剂用量。

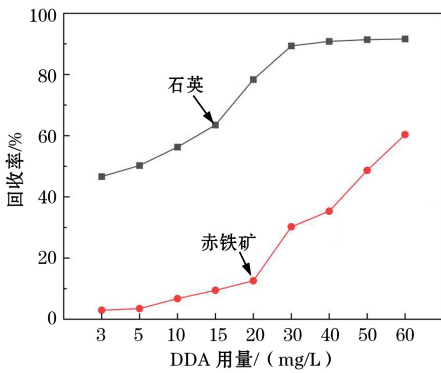


图7 捕收剂用量对 DDA 浮选体系中石英和赤铁矿回收率的影响

Fig.7 Effect of collector dosage on the recovery rates of quartz and hematite in DDA flotation system

2.2.2 YTDB 用量对矿物回收率的影响

图8为YTDB用量对石英和赤铁矿回收率的影响。此时矿浆温度为室温,矿浆的pH为7,控制矿浆的捕收剂的用量为3~60 mg/L。由图8可知,随着捕收剂用量的增大,石英和赤铁矿回收率影响显著,都呈上升趋势,石英和赤铁矿均在捕收剂用量为60 mg/L时回收率最高,分别为96.83%和42.28%。当捕收剂用量从3 mg/L增加到15 mg/L时,石英的回收率增加迅速,捕收效果明显提升,回收率从55.72%增长至91.27%。继续增大捕收剂用量,可以发现石英的回收率已趋于平稳且缓慢提升的状态,当捕收剂用量为60 mg/L,回收率为96.83%。当捕收剂用量从3 mg/L增加到60 mg/L时,赤铁矿的回收率增加始终较为平稳,回收率从6.65%增加到42.28%。

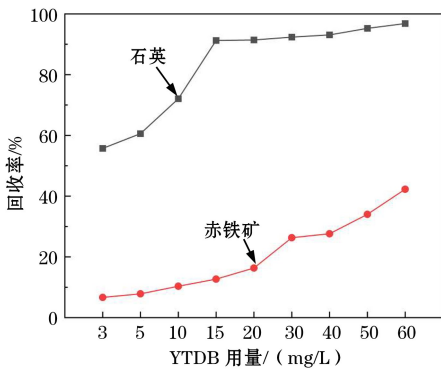
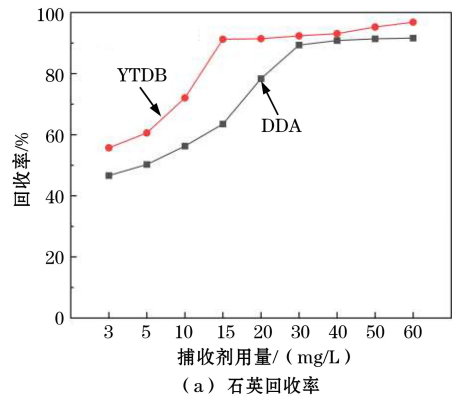


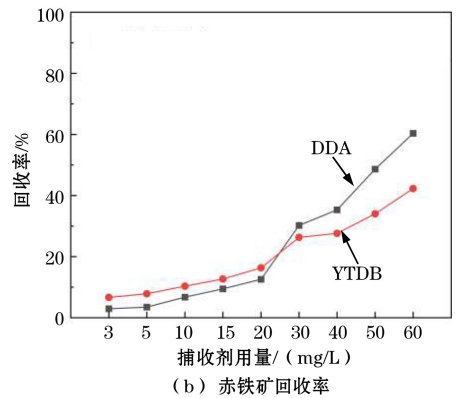
图8 捕收剂用量对 YTDB 浮选体系中石英和赤铁矿回收率的影响

Fig.8 Effect of collector dosage on the recovery rates of quartz and hematite in YTDB flotation system

YTDB与DDA浮选回收率的影响,从石英来看,不论在何种药剂用量下,YTDB的回收率都是要大于DDA的,说明YTDB对石英的捕收性能更强。当捕收剂用量为15 mg/L时,YTDB浮选体系中石英的回收率趋于平稳;当捕收剂用量为30 mg/L时,DDA浮选体系中石英的回收率趋于平稳,说明YTDB不仅对石英的捕收性能优于DDA,且在一定程度上节省了药剂用量。从赤铁矿来看,当捕收剂用量小于20 mg/L时,YTDB对赤铁矿的捕收效果更强;当捕收剂用量大于20 mg/L时,DDA对赤铁矿的捕收效果更强。尽管在捕收剂用量较小情况下,YTDB对赤铁矿捕收能力更强,这可能对浮选不利,但从石英与赤铁矿回收率的差值来看,YTDB均明显优于DDA。



(a) 石英回收率



(b) 赤铁矿回收率

图9 不同捕收剂用量下捕收剂对矿物回收率的影响

Fig.9 Effect of collector on mineral recovery rates under different collector dosages

综上所述,当捕收剂用量为15 mg/L时,石英回收率为91.27%,赤铁矿的回收率为12.67%,两者回收率差值最大,此时可浮性差异最大,故在YTDB浮选体系下,捕收剂用量为15 mg/L时为最佳药剂用量。

2.3 吸附机制分析

2.3.1 红外光谱分析

图10显示了YTDB的红外光谱测试结果。由图10可知,3 513.86 cm⁻¹处出现了一处弱宽峰,是

图9对比了不同单矿物体系下,捕收剂用量对

N—H 伸缩振动峰;2 923.34 cm^{-1} 出现的弱峰以及 2 855.98 cm^{-1} 处出现的弱峰分别是—CH₂—对称伸缩振动峰以及非对称伸缩振动峰;1 631.33 cm^{-1} 处和 1 459.56 cm^{-1} 处出现的两个峰,均为—NH₂ 弯曲振动吸收峰;1 102.64 cm^{-1} 处出现了一个弱宽峰,是 C—N 伸缩振动吸收峰^[14]。

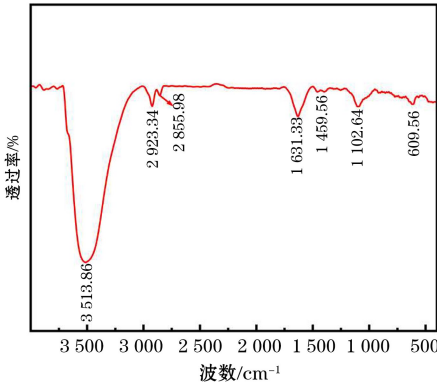


图 10 YTDB 红外光谱测试结果

Fig.10 Test results of YTDB infrared spectrum

图 11 显示了石英与 YTDB 作用前后的红外光谱图谱。对比石英的红外图谱可以看出,出现了图 10 中 YTDB 中含有的 N—H 伸缩振动峰、—CH₂—伸缩振动峰以及—NH₂ 弯曲振动吸收峰,说明 YTDB 已在石英表面发生了吸附作用。1 084.54 cm^{-1} 处 Si—O—Si 反对称伸缩振动吸收峰蓝移至 1 086.08 cm^{-1} ;786.39 cm^{-1} 处 Si—O 键对称伸缩振动吸收峰蓝红移至 789.26 cm^{-1} 处。然而,发生作用的图谱中并未有新的峰产生,这表明 YTDB 与石英之间产生的吸附作用为物理吸附^[15]。1 618.68 cm^{-1} 处—OH 的反对称伸缩振动吸收峰红移至 1 614.02 cm^{-1} ,这可能是由于药剂所含有的一OH 或—NH 与石英表面产生氢键作用。综上所述,石英与 YTDB 之间发生了物理吸附与氢键吸附作用。

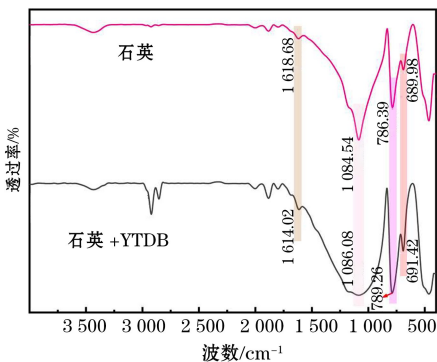


图 11 石英与 YTDB 吸附前后红外光谱测试结果

Fig.11 Infrared spectra test results of quartz before and after YTDB adsorption

2.3.2 表面张力分析

图 12 显示了 DDA 与 YTDB 在石英矿浆中的表面张力。由图 12 可知,随着捕收剂浓度增大,液体的表面张力均逐渐降低。在 DDA 捕收体系中,当浓度增加到 100 mg/L 时,液体的表面张力开始趋于稳定,再增加 DDA 浓度,表面张力变化不大。故 DDA 体系下,液体的最低表面张力约为 33.79 mN/L,临界胶束浓度为 100 mg/L;在 YTDB 捕收体系中,当浓度增加到 60 mg/L 时,液体的表面张力开始趋于稳定,再增加 YTDB 浓度,表面张力变化不大。故 YTDB 体系下,液体的最低表面张力约为 29.67 mN/L,临界胶束浓度为 60 mg/L。综上所述,从表面张力来看,YTDB 形成胶束和降低表面张力能力更强,疏水性更好,捕收能力更强。

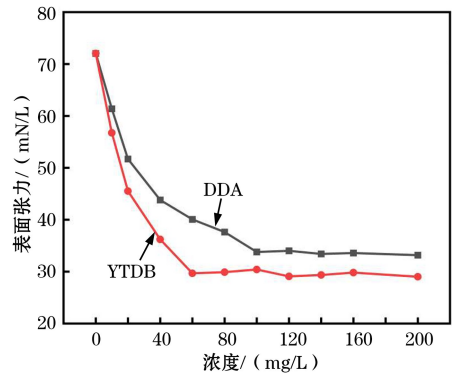


图 12 石英与不同浓度捕收剂作用后表面张力测试结果

Fig.12 Test results of surface tension of quartz treated with different concentrations of collector

2.3.3 Zeta 电位分析

图 13 显示了不同 pH 条件下,石英、石英与 YTDB 作用后以及石英与 YTDB 和淀粉作用后的 Zeta 电位测试结果。当 $\text{pH} < 2.2$ 时,石英带正电,加入 YTDB 后,电位明显升高,此时 YTDB 主要于石英表面发生氢键吸附^[16];当 pH 为 2.2~7.2 时,石英表面带负电,加入 YTDB 后,YTDB 与石英表面发生离子吸附并伴随氢键吸附,此时 YTDB+石英与石英之间电位差开始增大;当 $\text{pH} > 7.2$ 时,此时石英表面带负电,加入 YTDB 后,由于 pH 的不断增大,YTDB 阳离子不断减少,此时 YTDB 与石英表面发生氢键吸附作用,YTDB+石英与石英之间电位差不断减小。石英与 YTDB 和淀粉共同作用时,对比石英与 YTDB 单独作用可以发现,两者变化接近,这表明淀粉对 YTDB 在石英表面吸附行为影响较小。

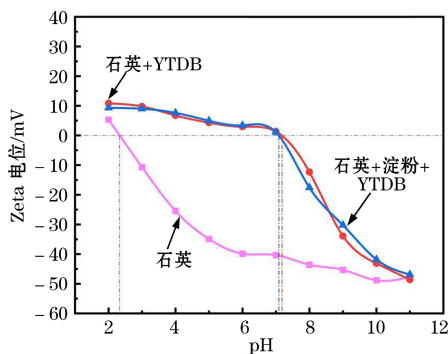


图 13 石英与 YTDB 以及淀粉作用前后 Zeta 电位的变化情况

Fig.13 The variations of Zeta potential of quartz before and after its interaction with YTDB and starch

图 14 显示了不同 pH 条件下,赤铁矿、赤铁矿与 YTDB 作用后以及赤铁矿与 YTDB 和淀粉作用后的 Zeta 电位测试结果。从图 14 可以看出,当 $\text{pH} < 6.2$ 时,加入 YTDB 后赤铁矿电位有所升高,这可能因为 YTDB 与矿物表面发生氢键作用;当 $\text{pH} > 6.2$ 时,赤铁矿负电位持续增加,这表明 YTDB 与赤铁矿表面发生离子吸附,且同时伴随着一定的氢键吸附^[17]。

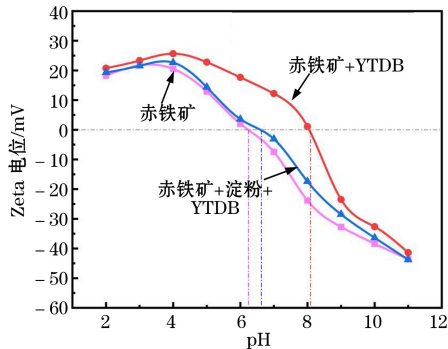


图 14 赤铁矿与 YTDB 以及淀粉作用前后 zeta 电位的变化
Fig.14 The variations of zeta potential of hematite before and after its interaction with YTDB and starch

当赤铁矿与 YTDB 和淀粉作用后,对比赤铁矿与 YTDB 单独作用可以发现,零电点从 $\text{pH} = 8.1$ 向左偏移至 $\text{pH} = 6.7$,这表明淀粉对赤铁矿产生了吸附作用。当 $\text{pH} < 6.2$ 时,赤铁矿带正电,在赤铁矿与 YTDB 体系下,加入淀粉后赤铁矿电位明显减小,由于淀粉具有负电性,此时赤铁矿与淀粉发生较为明显的静电吸附,并伴随一定的氢键吸附;当 $6.2 < \text{pH} < 8.1$ 时,赤铁矿带负电,在赤铁矿与 YTDB 体系下,此时赤铁矿与 YTDB 产生一定的静电吸附和氢键吸附后表面带正电,加入淀粉后,负电性的淀粉可能以静电吸附、氢键作用以及键合吸附共同作用

于赤铁矿表面;当 $\text{pH} > 8.1$ 时,赤铁矿带负电,随着 pH 增大,体系中 YTDB 以阳离子形式存在逐渐减少,赤铁矿与 YTDB 产生的静电吸附和氢键吸附作用减弱,此时负电性的淀粉主要是以氢键作用以及键合吸附作用于赤铁矿表面^[18]。

图 15 显示了不同 pH 条件下 YTDB 和矿物作用后与矿物之间的电位差值(以下称电位变化率),反映 YTDB 与矿物作用后电位的变化程度。从图 15 中可以看出,YTDB 的加入对石英和赤铁矿电位变化率都有显著的影响,但对比赤铁矿,石英电位变化更为明显,尤其当 $2 < \text{pH} < 8$ 时,YTDB 对石英的电位影响程度要远高于 YTDB 对赤铁矿的电位影响,说明此时 YTDB 中所含有组分对石英的吸附性能要强于赤铁矿,在此条件下,石英与赤铁矿的回收率具有差异性,从而更好地选择性捕收石英。

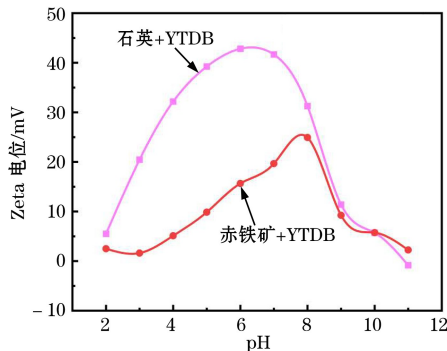


图 15 不同 pH 条件下 YTDB 和矿物作用后的电位变化率

Fig.15 The potential change rate of YTDB and minerals under different pH conditions

3 结论

(1) 传统 DDA 单矿物浮选试验结果表明,当 $\text{pH} = 7$ 、捕收剂用量为 20 mg/L 时,可以得到石英的回收率为 78.36% ,赤铁矿的回收率为 12.57% ,此时两者的浮选差异性最大。

(2) YTDB 单矿物浮选试验结果表明,当 $\text{pH} = 7$ 、捕收剂用量为 15 mg/L 时,可以得到石英的回收率为 91.27% ,赤铁矿的回收率为 12.67% ,此时两者的浮选差异性最大。对比两者,YTDB 对石英的捕收性能要更优于传统捕收剂 DDA。

(3) 红外光谱的结果表明,石英与 YTDB 之间发生了物理吸附与氢键吸附作用;表面张力测试结果表明,相比于传统捕收剂 DDA, YTDB 形成胶束和降低表面张力能力更强,疏水性更好,这有助于输送更多脉石矿物进入泡沫区;Zeta 电位的结果表

明, YTDB 与淀粉的共同作用下, YTDB 对石英的吸附能力远强于赤铁矿, 而淀粉对赤铁矿的吸附能力远强于石英, 正是因为两者吸附差异性, 才能更好地选择性捕收石英。

参考文献(References):

- [1] KUKKALA Prabhu Chand, KUMAR Shravan, NIRALA Akhileshwai, et al. Beneficiation of low-grade hematite iron ore fines by magnetizing roasting and magnetic separation [J]. ACS Omega, 2024, 9(7): 7634-7642.
- [2] ZHANG Xiaolong, GU Xiaotian, HAN Yuexin, et al. Flotation of iron ores: a review [J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2021, 42(3): 184-212.
- [3] 丁世豪, 史文庆, 陈宏基, 等. 浮选颗粒-气泡湍流脱附机理与试验技术方法研究进展 [J/OL]. 煤炭学报: 1-18 [2024-11-17]. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2024.0718>.
DING Shihao, SHI Wenqing, CHEN Hongji, et al. Advances in theoretical and experimental methods of bubble-particle turbulent detachment in flotation [J/OL]. Journal of China Coal Society: 1-18 [2024-11-17]. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2024.0718>.
- [4] 李颖, 毕云霄, 丁湛, 等. 铁矿石脱硅技术和浮选药剂研究进展 [J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(5): 149-159.
LI Jie, BI Yunxiao, DING Zhan, et al. Research progress on desilication technology and flotation reagent regime of iron ore [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(5): 149-159.
- [5] 朱一民, 丛璐, 陈培宇, 等. 新型捕收剂 DPY-4 反浮选酒泉铁矿焙烧后的磁选精矿 [J]. 金属矿山, 2024(11): 81-87.
ZHU Yimin, CONG Lu, CHEN Peiyu, et al. Reverse flotation of magnetic concentrate of jiuquan iron ore after roasting using a new collector DPY-4 [J]. Metal Mine, 2024(11): 81-87.
- [6] 依爽, 郑业超, 赵通林, 等. 基于新型耐低温捕收剂的铁矿反浮选脱硅试验研究 [J]. 矿业研究与开发, 2024, 44(8): 242-247.
YI Shuang, ZHENG Yechao, ZHAO Tonglin, et al. Experimental study on reverse flotation desilicization of iron ore based on new low-temperature resistant collector [J]. Mining Research and Development, 2024, 44(8): 242-247.
- [7] 杨备. 铁矿常温浮选技术试验研究及工业应用 [J]. 现代矿业, 2017, 33(12): 111-114.
YANG Bei. Experimental study and industrial application of iron ore flotation technology at ambient temperature [J]. Modern Mining, 2017, 33(12): 111-114.
- [8] 方敬坤, 周瑜林, 李文风, 等. 低温高效铁矿反浮选捕收剂 Fly-101 的研究 [J]. 矿冶工程, 2012, 32(6): 37-39.
FANG Jingkun, ZHOU Yulin, LI Wenfeng, et al. Performance of efficient collector Fly-101 for iron ore reverse flotation at low temperature [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2012, 32(6): 37-39.
- [9] 王本英, 徐新阳, 陈熙, 等. 十二烷基胺类捕收剂的取代基基因特性对其浮选性能的影响研究 [J]. 金属矿山, 2020(6): 31-35.
WANG Benying, XU Xinyang, CHEN Xi, et al. Influence of substituents genetic characteristics on flotation performance of dodecyl amine cationic collectors [J]. Metal Mine, 2020(6): 31-35.
- [10] 王秋林, 廖振涛, 李家林, 等. 东鞍山铁矿阴离子反浮选工艺技术研究 [J]. 矿产综合利用, 2015(3): 24-27.
WANG Qiulin, LIAO Zhenhong, LI Jialin, et al. Study on anionic reverse flotation flotation of Donganshan Iron Ore [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2015(3): 24-27.
- [11] 龚豪. 新型捕收剂 H-27A 在李楼铁矿反浮选中的试验研究 [J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(4): 114-117.
GONG Hao. Experimental research on a new collector H-27A in the reverse flotation of Lilou Iron Ore [J]. Mining Research and Development, 2020, 40(4): 114-117.
- [12] 任爱军, 孙传尧. 油酸钠作捕收剂时变性淀粉对赤铁矿及石英可浮性的影响 [J]. 矿冶, 2018, 27(3): 1-6+12.
REN Aijun, SUN Chuanyao. Effect of modified starches on flotability of hematite and quartz using sodium oleate as collector [J]. Mining and Metallurgy, 2018, 27(3): 1-6+12.
- [13] 闫雅雯, 罗惠华, 赵军, 等. 胺类捕收剂的应用现状及发展前景 [J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(2): 59-66.
YAN Yawen, LUO Huihua, ZHAO Jun, et al. Application status and development prospect of amine collectors [J]. Conservation and Utilization of Mineral, 2022, 42(2): 59-66.
- [14] 许鹏云, 李晶, 陈洲, 等. 红外光谱分析技术在浮选过程中的应用研究进展 [J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(8): 2389-2396.
XU Pengyun, LI Jing, CHEN Zhou, et al. Progress in applications of infrared spectral analysis technology to flotation process [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(8): 2389-2396.
- [15] ZHOU Yongsheng, HE Changrong, YANG Xiaosong. Water contents and deformation mechanism in ductile shear zone of middle crust along the Red River fault in southwestern China [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51(10): 1411-1425.
- [16] 谢慧娟, 聂登攀. 石英对浮选泡沫稳定性的影响及其机理 [J]. 有色金属(选矿部分), 2024(6): 40-47.
XIE Huijuan, NIE Dengpan. Effect of quartz on the stability of flotation foam and its mechanism [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(6): 40-47.
- [17] 张晋霞, 刘飞, 牛福生, 等. 基于异步絮凝调控下微细粒赤铁矿/石英浮选分离试验研究 [J]. 有色金属工程, 2024, 14(9): 116-122.
ZHANG Jinxia, LIU Fei, NIU Fusheng, et al. Research on flotation separation of fine-grained hematite/quartz based on asynchronous agglomeration regulation [J]. Nonferrous Metals Engineering, 2024, 14(9): 116-122.
- [18] LIU Wenba, PENG Xiangyu, LIU Wengang, et al. Novel polyhydroxy cationic collector N-(2, 3-propanediol)-N-dodecylamine: synthesis and flotation performance to hematite and quartz [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2023, 33(1): 115-122.