

改性聚丙烯酰胺对赤铁矿强磁选的影响

李文博^{1,2}, 周立波¹, 韩跃新¹, 徐化强¹

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 100070)

摘 要: 基于聚团分选理论, 采用改性聚丙烯酰胺(HPM)选择性聚团调浆-湿式强磁选工艺, 考察了药剂用量、矿浆 pH 以及搅拌转速等因素对微细粒赤铁矿强磁分选效果的影响. 通过扫描电镜检测、EDS 能谱分析、动电位测试以及红外光谱检测等方法研究了物料聚团磁选前后的微观形貌以及药剂作用后矿物表面特性的变化, 分析了药剂与矿物表面的作用机理. 结果表明: 在药剂用量 10 g/t、矿浆 pH 10、搅拌转速 954 r/min 的条件下, 采用“选择性聚团-强磁选工艺”与常规强磁选工艺指标相比, 精矿铁回收率提高了 5.39%. 添加 HPM 调浆后原矿中矿物颗粒表观粒径显著增加, 在强磁选作业中添加 HPM 调浆能够强化对微细粒赤铁矿的回收, HPM 对赤铁矿具有选择性絮凝聚团作用, 且在赤铁矿表面存在静电吸附和氢键吸附, 在石英表面不发生吸附作用.

关 键 词: 聚丙烯酰胺; 赤铁矿; 石英; 强磁选; 絮凝

中图分类号: TD 924

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2019)07-1002-07

Effect of Modified Polyacrylamide on High Intensity Magnetic Separation of Hematite

LI Wen-bo^{1,2}, ZHOU Li-bo¹, HAN Yue-xin¹, XU Hua-qiang¹

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. State Key Laboratory of Mineral Processing, Beijing 100070, China. Corresponding author: LI Wen-bo, E-mail: liwenbo@mail.neu.edu.cn)

Abstract: Based on the theory of flocculation-separation process, effects of modified polyacrylamide(HPM) dosage, pulp pH and stirring speed on high intensity magnetic separation of fine hematite ore were investigated by modified polyacrylamide(HPM) selective agglomeration pulp preparation-wet high intensity magnetic separation process. Scanning electron microscopy, EDS spectroscopy, Zeta potential and infrared spectrum measurements were used to study the micro-morphology of aggregates before and after magnetic separation and the change of surface properties of minerals after the action of reagents. The magnetic separation experimental results showed that, compared with the conventional high intensity magnetic separation, using selective agglomeration-high intensity magnetic separation process, the concentrate recovery of the presence of HPM in magnetic separation increases by 5.39% on condition that HPM dosage is 10 g/t, pulp pH value is 10 and stirring speed is 954 r/min. The apparent particle size of mineral particles in raw ore increases significantly after adding HPM and the recovery of fine hematite can be enhanced by high intensity magnetic separation with the presence of HPM. HPM can selectively flocculate hematite, and there are electrostatic adsorption and hydrogen bond adsorption on the surface of hematite, but there is no adsorption on the surface of quartz.

Key words: polyacrylamide; hematite; quartz; high intensity magnetic separation; flocculation

由于微细粒嵌布弱磁性铁矿物具有粒度小、比磁化系数低、比表面积大的特点, 目前常规磁选

收稿日期: 2018-06-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51604064); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(150103003); 辽宁省博士启动基金资助项目(201601027); 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-2017-09).

作者简介: 李文博(1985-), 男, 内蒙古赤峰人, 东北大学讲师, 博士; 韩跃新(1961-), 男, 内蒙古赤峰人, 东北大学教授, 博士生导师.

或浮选设备的处理粒度下限通常为 20 μm 左右，采用常规选矿设备及工艺回收微细粒级铁矿物的效果不佳，使其在选别过程中大量流失到尾矿中，造成了矿产资源的浪费和环境污染等问题^[1-2]。

选择性聚团分选工艺是一种回收微细粒矿物的有效途径^[3-4]。根据微细矿粒聚团机理的差异，将聚团分选工艺主要分为高分子絮凝分选工艺、疏水絮凝分选工艺、磁聚团与磁种聚团分选工艺、复合聚团分选工艺^[5-6]。有机高分子絮凝分选是一种研究和应用比较广泛的聚团分选工艺，其中药剂分子在目的矿物表面的选择性吸附和桥联作用是实现高分子絮凝分选的关键因素^[7]。基于目前用于铁矿物聚团分选的药剂选择性较差且用量较高的缺点，制备了一种新型改性药剂 HPM，在聚丙烯酰胺分子链上引入活性基团使其在铁矿物表面发生选择性吸附，经强磁选实现微细粒矿物的选择性聚团分选。

本文针对鞍钢弓长岭选矿厂弱磁尾矿，采用 HPM 选择性聚团调浆-湿式强磁选工艺，详细考察了药剂用量、矿浆 pH 和搅拌转速等因素对微细粒赤铁矿强磁分选效果的影响；通过扫描电镜检测、EDS 能谱分析、动电位测试以及红外光谱检测等手段系统研究了物料聚团磁选前后的状态以及药剂作用后矿物表面特性的变化，分析了药剂与矿物表面的作用机理。

1 试验材料与方法

1.1 矿样与试剂

赤铁矿实际矿石样品取自鞍钢弓长岭选矿厂弱磁选尾矿，铁质量分数为 21.27%。试验中所用改性聚丙烯酰胺 (HPM) 由聚丙烯酰胺在碱性溶液中发生部分水解所得。动电位及红外光谱检测试验用水为一次去离子水，实际矿石试验采用自来水 (pH=7.1)。

由 XRD 分析可知，该矿石样品中的主要矿物为赤铁矿和石英，伴有少量的斜绿泥石。由表 1 可知，TFe 质量分数为 21.27%，其中 FeO 的质量分数仅为 2.29%。由表 2 可知，粒度小于 38 μm

的颗粒中铁的分布率高达 89.30%，由此可知原矿中有用铁矿物主要分布在细粒级物料中。

表 2 矿样的粒度组成分析

Table 2 Particle size composition of samples

粒级/μm	+74	−74+43	−43+38.5	−38.5
质量分数/%	7.11	14.84	12.16	65.89
铁的分布率/%	2.18	3.06	5.46	89.30

1.2 试验方法

1.2.1 选择性聚团分选试验

采用 XFG 充气式挂槽浮选机作为选择性聚团的搅拌装置。称取 100 g 赤铁矿实际矿石样品置于 500 mL 浮选槽中，矿浆质量浓度为 0.2 g/mL，在初始搅拌速度为 1 992 r/min 的条件下搅拌 8 min，根据试验调节矿浆 pH 和搅拌转速，加入絮凝剂，絮凝 4 min，将絮凝后的矿浆在 XCSQ-50×70 湿式强磁选机上进行分选，分选所得精矿和尾矿烘干后制样化验。

1.2.2 矿物颗粒粒度特征分析

采用 Mastersizer-2000 激光粒度分析仪分别对添加 HPM 处理前后的矿浆中矿物颗粒粒度特征进行了激光粒度测定。取代表性矿浆样加入一定量去离子水，制成矿浆悬浮液。将激光粒度仪预热 30 min 后，使激光器输出功率达到稳定，待背景测量完成后，将矿浆悬浮液加入样品池中进行激光粒度测定分析，并获得矿样的粒度组成及粒度分布数据。

1.2.3 矿物形貌与成分特征分析

矿物形貌与成分特征分析采用德国蔡司 ULTRA PLUS 型场发射扫描电子显微镜进行检测，并结合 EDS 能谱分析完成。首先分别将添加 HPM 絮凝调浆和未添加 HPM 调浆的原矿样品及强磁分选后的精矿产品取出代表性样品，滴加在扫描电镜样品座上，待其自然干燥后进行喷金处理，然后采用扫描电镜进行检测，结合 EDS 能谱分析其成分。

1.2.4 动电位测试

动电位的测量采用 Nano-ZS90 型 zeta 电位分析仪。将单矿物颗粒细磨至-2 μm，用高精度天平称取 20 mg 矿样粉末置于 100 mL 烧杯中，加入 50 mL 去离子水，调节矿浆 pH。根据需要加入一定浓度的药剂，采用磁力搅拌器搅拌 6 min，静置 5 min，用注射器抽取上清液，注入电极中，每个点均测 3 次后取平均值。

1.2.5 主要物相的基团特性分析

主要物相的基团特性采用 Nicolet FTIR-740

表 1 矿样的化学组成分析 (质量分数)

Table 1 Chemical composition of samples (mass fraction)

				%
TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
21.27	2.29	66.55	1.59	0.45
MgO	P	Mn	S	K
0.91	0.02	0.04	0.02	0.18

型红外光谱仪进行分析. 将赤铁矿和石英单矿物分别磨至粒度为 2 μm 以下,加入去离子水超声分散 2 min,将矿物放入搅拌槽内,调节溶液的 pH,加入一定量的 HPM 溶液,搅拌 30 min,静置 20 min. 吸出上清液,用相同 pH 的去离子水冲洗 3 次,固液分离后,在 40 ℃下真空干燥,然后进行测定. 测定时,将矿样或药剂与光谱纯的 KBr 按照质量比 1:100 混合均匀,用玛瑙研钵研磨,然后将研磨好的样品放入压片器上进行压片,制片后放入红外光谱仪中进行检测,获得矿物或药剂的红外光谱图.

2 结果与讨论

2.1 HPM 对实际矿石聚团强磁选的影响

2.1.1 HPM 用量对细粒赤铁矿聚团强磁选的影响

当矿浆质量浓度为 0.2 g/mL,矿浆 pH 为 7.8,以 HPM 进行调浆,聚团调浆时搅拌转速为 804 r/min,搅拌时间 4 min,磁场强度 318.31 kA/m时,HPM 用量对细粒赤铁矿聚团强磁选的影响如图 1 所示,从图中可以看出,HPM 用量由 0 增加到 10 g/t 时,精矿中铁质量分数逐渐下降(由 42.69% 降低到 40.10%),回收率迅速增高(由 59.71% 增大到 63.52%);继续增大 HPM 的用量,精矿中铁质量分数迅速降低,回收率也开始减小. 当 HPM 用量由 0 增加到 10 g/t 时,细粒赤铁矿在 HPM 的作用下形成絮团,矿物颗粒絮团的表观尺寸逐渐增大,矿物颗粒受到的磁场力增加,因此磁选精矿铁回收率提高;当继续增加 HPM 的用量时,此时矿物颗粒絮团的表观尺寸较大,矿物颗粒受到的流体黏性力也急剧

增加,无法被磁介质捕捉,导致细粒赤铁矿随矿浆流入尾矿中,磁选精矿铁回收率下降^[6]. 综合考虑,HPM 用量为 10 g/t 时分选指标较好,此时精矿中铁质量分数为 40.10%,铁回收率为 63.52%.

2.1.2 矿浆 pH 对细粒赤铁矿聚团强磁选的影响

固定 HPM 用量为 10 g/t,矿浆质量浓度为 0.2 g/mL,聚团调浆时搅拌转速为 804 r/min,搅拌时间为 4 min,磁场强度 318.31 kA/m. 矿浆 pH 对细粒赤铁矿聚团强磁选的影响如图 2 所示. 从图中可以看出,随着矿浆 pH 的升高,精矿中铁质量分数逐渐降低(由 42.57% 降低到 39.75%),铁回收率逐渐升高(由 60.53% 增大到 64.98%). 继续增大矿浆 pH,精矿铁回收率基本不变,精矿铁质量分数逐渐降低. 在碱性条件下,赤铁矿表面的铁离子与溶液中的 OH⁻ 形成 Fe(OH)²⁺、Fe(OH)₂⁺ 以及 FeOOH 等铁的羟基络合物,且这些羟基络合物能够与 HPM 中的羧基形成氢键^[7],结合后续红外光谱检测结果可知,随着矿浆 pH 的升高,赤铁矿表面的活性位点增加,HPM 在赤铁矿表面产生较多的氢键吸附,HPM 在赤铁矿表面的吸附量逐渐增加,矿物颗粒絮团的表观尺寸也逐渐增大,铁回收率逐渐升高. 综合考虑,当矿浆 pH 为 10.0 时,此时精矿中铁质量分数为 39.75%,铁的回 收率为 64.98%.

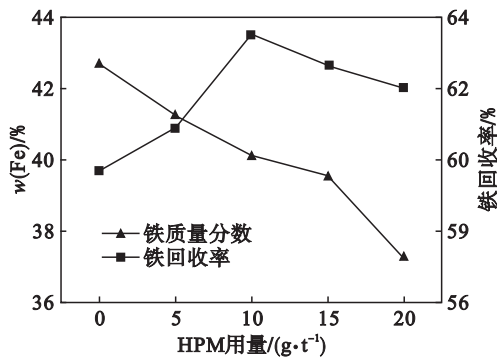


图 1 HPM 用量对细粒赤铁矿聚团强磁选精矿中铁质量分数和铁回收率的影响
Fig. 1 Effect of HPM dosage on iron mass fraction and recovery of agglomeration-magnetic separation concentrate of the fine-grained hematite ore

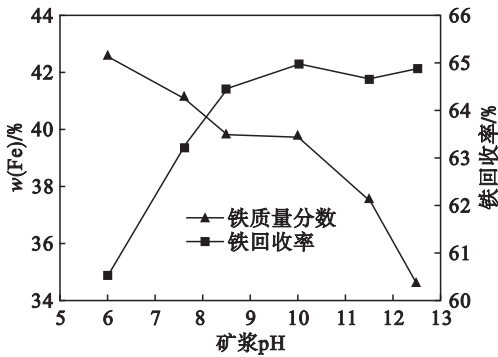


图 2 矿浆 pH 对细粒赤铁矿聚团强磁选精矿中铁质量分数和铁回收率的影响
Fig. 2 Effect of pulp pH on iron mass fraction and recovery of agglomeration-magnetic separation concentrate of the fine-grained hematite ore

2.1.3 搅拌转速对细粒赤铁矿聚团强磁选的影响

固定 HPM 用量为 10 g/t,矿浆 pH 为 10.0,矿浆质量浓度为 0.2 g/mL,磁场强度 318.31 kA/m. 聚团调浆作业过程中搅拌转速对细粒赤铁矿聚团强磁选的影响如图 3 所示,从图

中可以看出,搅拌转速由 654 r/min 增大到 954 r/min 时,磁选精矿中铁质量分数逐渐增加(由 35.28% 升高到 39.78%),铁回收率逐渐增加(由 62.22% 增大到 65.10%);继续增大搅拌转速时,磁选精矿中铁质量分数和铁回收率均开始降低.通过机械搅拌产生一定的动能输入,一方面能够促进 HPM 在赤铁矿表面的吸附,另一方面能够提高赤铁矿颗粒的碰撞概率,促使赤铁矿颗粒表面水化膜的破裂,降低矿物颗粒间的斥力,使得赤铁矿颗粒在 HPM 高分子桥联作用下形成絮团,但是随着搅拌转速的增加,机械搅拌强度过大,又会使得矿物絮团破裂^[4].综合考虑,确定最佳的搅拌转速为 954 r/min.由于搅拌装置的不同,适宜的搅拌转速略有差异.采用 XFG 充气式挂槽浮选机作为选择性聚团的搅拌装置时,适宜的搅拌转速在 900 ~ 1 000 r/min 范围内时效果较好.

从以上试验结果可以看出,当 HPM 用量为 10 g/t,矿浆 pH 为 10.0,搅拌转速为 954 r/min,磁场强度为 318.31 kA/m 时磁选精矿的指标较好,此时铁质量分数为 39.78%,铁回收率为 65.10%.

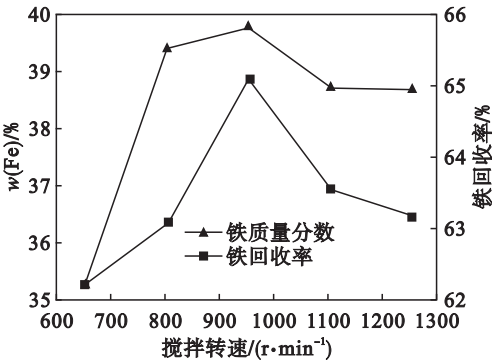


图3 搅拌转速对细粒赤铁矿聚团强磁选精矿中铁质量分数和铁回收率的影响

Fig. 3 Effect of agitation speed on iron mass fraction and recovery of agglomeration-magnetic separation concentrate of the fine-grained hematite ore

由以上试验数据可知,添加絮凝剂前后磁选精矿的铁回收率由 59.71% 提高到 65.10%,提高了 5.39 个百分点,絮凝剂在微细粒赤铁矿颗粒表面的选择性吸附和桥联作用,显著增大了赤铁矿颗粒的尺寸,满足了后续磁选作业的粒度要求,提高了磁选机磁介质对微细粒铁矿物的捕获概率,从而提高了细粒赤铁矿的回收率.

2.2 原矿中矿物颗粒粒度特征

为了查明添加 HPM 调浆是否对矿浆中矿物颗粒产生了聚团作用,采用激光粒度分析仪分别

对添加 HPM 调浆前后的矿浆中矿物颗粒粒度特征进行了激光粒度测定.测定结果分别如图 4 和表 3 所示.

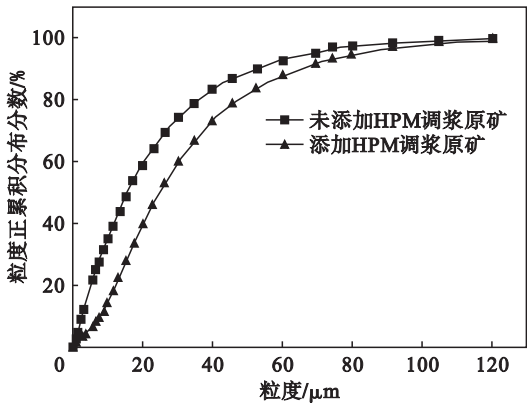


图4 HPM 调浆前后原矿中矿物颗粒激光粒度正累积分布曲线

Fig. 4 Cumulative grain size distribution curves of mineral particles with and without adding HPM

由图 4 可知,与未添加 HPM 调浆原矿相比,添加 HPM 调浆后矿物颗粒的激光粒度正累积分布曲线沿横轴向右移动,即矿物颗粒粒径增大.同时,由表 3 可知,除添加 HPM 调浆后矿物颗粒比表面积减小外,其他粒度特征参数均增大.以上结果表明,添加 HPM 调浆后矿物颗粒粒径增大,说明 HPM 在矿物颗粒表面吸附并通过桥联作用促使微细粒矿物聚团,显著增大了赤铁矿颗粒的表观尺寸,满足了后续磁选作业的粒度要求,提高了磁选机磁介质对微细粒铁矿物的捕获概率,从而提高了细粒赤铁矿的回收率.

表 3 HPM 调浆前后原矿中矿物颗粒激光粒度特征参数
Table 3 Laser particle size characteristic parameters of mineral particles with and without adding HPM

原矿类型	$\frac{D(3,2)}{\mu\text{m}}$	$\frac{D(4,3)}{\mu\text{m}}$	$\frac{D_{10}}{\mu\text{m}}$	$\frac{D_{50}}{\mu\text{m}}$	$\frac{D_{90}}{\mu\text{m}}$	比表面积 $\frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}}$
未添加 HPM 调浆原矿	5.94	24.18	2.59	15.54	51.63	1 010
添加 HPM 调浆原矿	10.93	31.59	7.62	24.68	65.15	549

注: $D(3,2)$ 为表面积平均粒径; $D(4,3)$ 为体积平均粒径; D_{10} 、 D_{50} 、 D_{90} 为颗粒正累积粒度分布分数分别达到 10%、50% 和 90% 时所对应的粒径.

2.3 矿物的形貌与成分特征

为进一步查明 HPM 对细粒赤铁矿聚团强磁选影响的本质原因,分别对添加 HPM 及未添加 HPM 调浆的原矿样品以及强磁选所得精矿产品和尾矿产品进行了扫描电镜检测和 EDS 能谱

分析.

图 5 和图 6 分别为添加 HPM 调浆后和未添加 HPM 调浆的原矿扫描电镜及 EDS 能谱图. 从图中可见, 添加 HPM 调浆后的样品中形成了微细铁矿物颗粒的聚团. 由此可见, HPM 对赤铁矿具有选择性聚团的作用.

图 7 和图 8 分别为添加 HPM 调浆后和未添

加 HPM 调浆的强磁选精矿扫描电镜及 EDS 能谱图. 由图可见, 添加 HPM 调浆后与未添加 HPM 所获得的磁选精矿产品中赤铁矿颗粒粒度普遍减小, 且磁选精矿产品中石英颗粒数量明显减少. 由此可知, HPM 对细粒赤铁矿的选择性团聚作用较为显著, 添加进矿浆后能够强化微细粒赤铁矿的回收, 提高了强磁选作业的回收率.

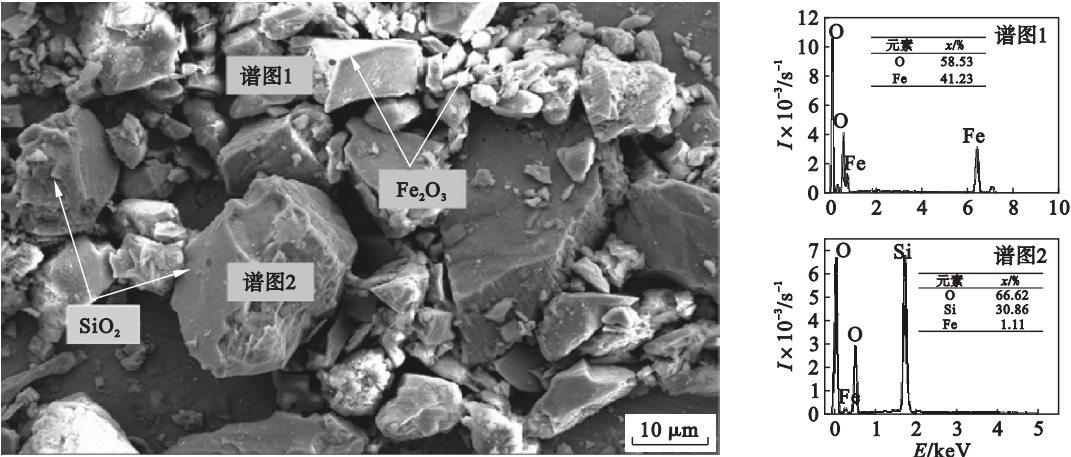


图 5 添加 HPM 调浆后原矿样品扫描电镜及 EDS 能谱
Fig. 5 Scanning electron microscopy and EDS spectroscopy of raw ore samples with adding HPM

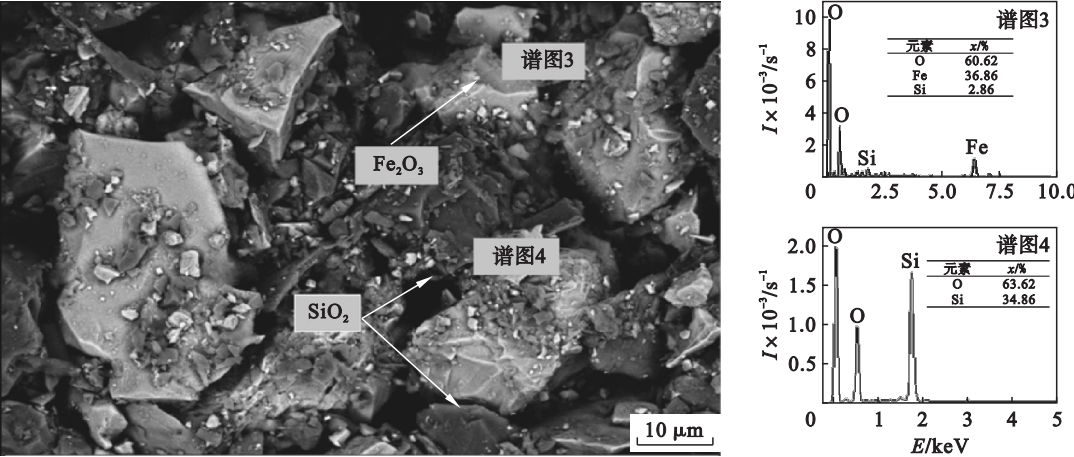


图 6 未添加 HPM 调浆的原矿样品扫描电镜及 EDS 能谱
Fig. 6 Scanning electron microscopy and EDS spectroscopy of raw ore samples without adding HPM

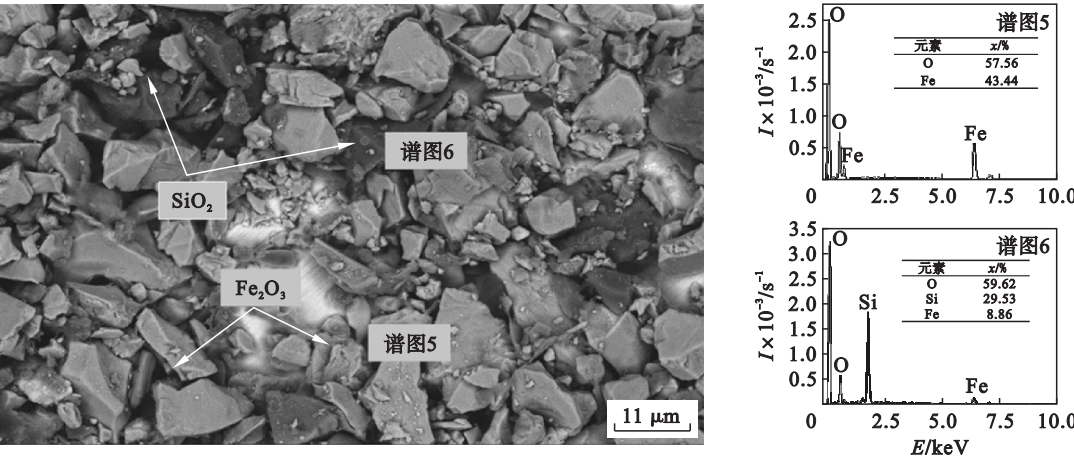


图 7 添加 HPM 调浆后强磁选精矿扫描电镜及 EDS 能谱
Fig. 7 Scanning electron microscopy and EDS spectroscopy of high intensity magnetic concentrate with adding HPM

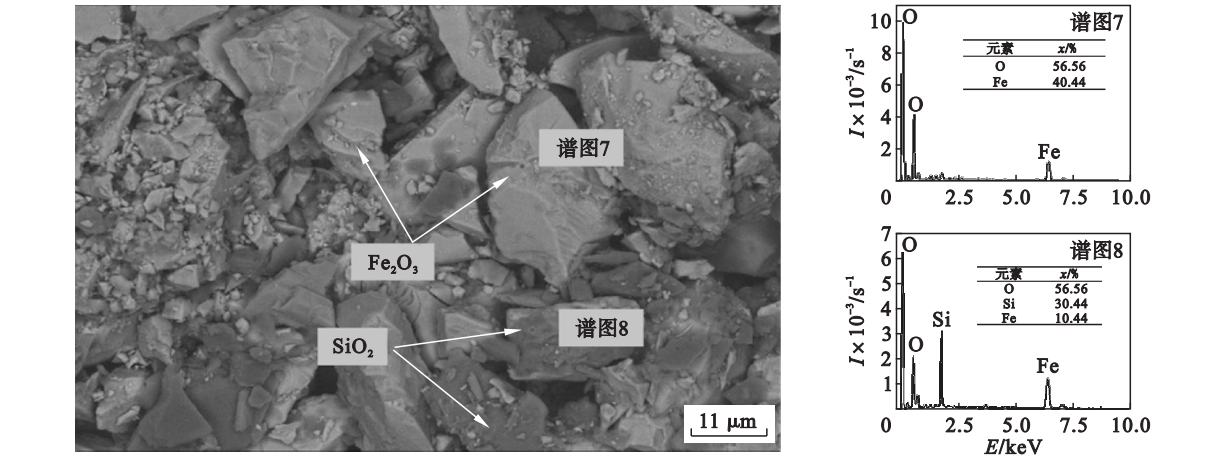


图 8 未添加 HPM 调浆的强磁选精矿扫描电镜及 EDS 能谱

Fig. 8 Scanning electron microscopy and EDS spectroscopy of high intensity magnetic concentrate without adding HPM

2.4 HPM 对矿物颗粒表面动电位的影响

图 9 为添加 HPM 对石英和赤铁矿单矿物表面动电位的影响. 由图 9 中添加 HPM 前后的石英表面动电位随 pH 变化曲线对比可见: 在去离子水体系中, 在溶液 pH 小于 5.0 的范围内, 添加 HPM 后的石英颗粒表面动电位与未添加药剂的相应值基本相同; 当溶液的 pH 大于 5.0 时, 石英颗粒表面动电位向负方向仅有微弱的移动, 表明 HPM 在石英表面无明显的吸附作用. 由图 9 中添加 HPM 前后的赤铁矿表面动电位随 pH 变化曲线对比可见: 当 $\text{pH} < 4.4$ 时, 赤铁矿表面带正电, 添加了阴离子型的 HPM 后改变了赤铁矿表面电性, 说明在此范围内赤铁矿与 HPM 发生了静电吸附; 当 $\text{pH} > 4.4$ 时, 赤铁矿表面动电位整体向负方向移动, 且矿浆 pH 在 8 ~ 10 范围内移动距离较大, 由于在碱性条件下, 赤铁矿表面的铁离子与溶液中的 OH^- 形成 $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 以及 FeOOH 等铁的羟基络合物, 且这些羟基络合物能够与 HPM 中的羧基

形成氢键, 说明在此范围内赤铁矿与 HPM 之间可能发生了氢键吸附.

2.5 主要物相的基团性质

图 10 为 HPM、赤铁矿以及两者作用后的红外光谱图. 由图 10 可知: 在 HPM 光谱图中, $3\,449.92\ \text{cm}^{-1}$ 处是 $-\text{OH}$ 的伸缩振动吸收峰, $2\,971.98\ \text{cm}^{-1}$ 处和 $2\,935.27\ \text{cm}^{-1}$ 处分别为甲基和亚甲基的不对称伸缩振动峰, $1\,706.78\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰为羧基中 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动峰, $1\,636.52\ \text{cm}^{-1}$ 处为 $-\text{CO}-\text{NH}-$ 基团的 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动峰, $1\,400.71\ \text{cm}^{-1}$ 处为甲基的对称弯曲伸缩振动峰, $886.79\ \text{cm}^{-1}$ 处为 $-\text{CH}_2$ 面外弯曲振动峰^[8]. 在赤铁矿的光谱图中, $3\,431.57\ \text{cm}^{-1}$ 处为赤铁矿吸收水蒸气后产生的 $-\text{OH}$ 伸缩振动峰, $1\,646.96\ \text{cm}^{-1}$ 处为吸附水 $-\text{OH}$ 弯曲振动峰, $1\,107.73\ \text{cm}^{-1}$ 处为 $\text{Fe}-\text{O}$ 键的弯曲振动吸收峰, $551.49\ \text{cm}^{-1}$ 处为 $\text{Fe}-\text{O}$ 键的伸缩振动吸收峰^[9]. 在赤铁矿与 HPM 作用后的红外光谱图中, 在 $2\,956.28\ \text{cm}^{-1}$ 和 $2\,925.85\ \text{cm}^{-1}$ 处出现了 2 个新峰, 分别是 HPM 中甲基和亚甲基的不对称伸缩振动峰, 表明 HPM 在赤铁矿表面发生了吸附; $3\,439.96\ \text{cm}^{-1}$ 处为氢键 $\text{O}-\text{H}$ 的伸缩振动吸收峰, 比赤铁矿相同位置的吸收峰更宽更强, 表明 HPM 与赤铁矿表面存在更多的氢键作用; 同时, $1\,107.73\ \text{cm}^{-1}$ 和 $551.49\ \text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰分别红移至 $1\,091.33\ \text{cm}^{-1}$ 和 $541.82\ \text{cm}^{-1}$, 振动减弱, 表明 HPM 与赤铁矿表面存在的氢键吸附减弱了 $\text{Fe}-\text{O}$ 键的振动^[10].

图 11 为 HPM、石英以及两者作用后的红外光谱图. 由图 11 可见: 添加 HPM 后, 石英的红外光谱既没有新峰出现也没有出现峰的明显偏移, 此结果表明 HPM 在石英表面没有发生明显的氢

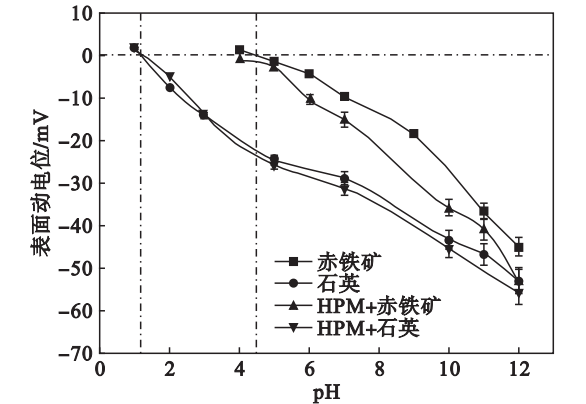


图 9 不同的 pH 条件下 HPM 对石英和赤铁矿颗粒表面动电位的影响

Fig. 9 Effect of HPM on zeta potential of quartz and hematite particles under different pH conditions

键或化学吸附作用.

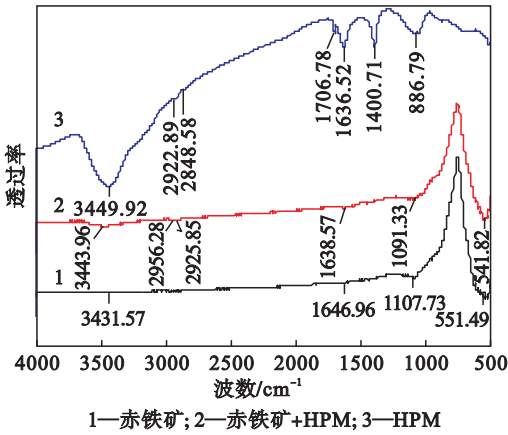


图 10 赤铁矿和 HPM 作用前后的红外光谱图
Fig. 10 FTIR spectra of hematite untreated and treated by HPM

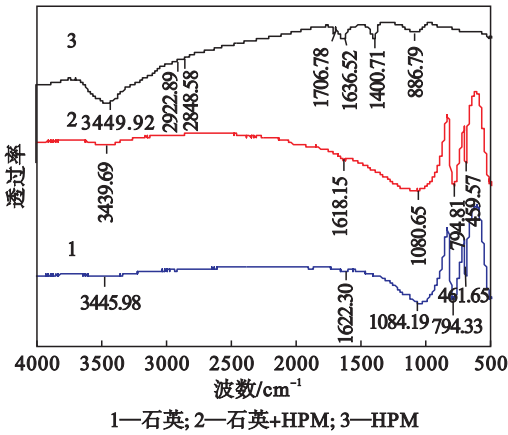


图 11 石英和 HPM 作用前后的红外光谱图
Fig. 11 FTIR spectra of quartz untreated and treated by HPM

3 结 论

1) 在适宜的 HPM 用量、矿浆 pH 和搅拌转速下,赤铁矿在石英为脉石矿物的矿浆体系下可实现较好的选择性聚团效果,从而可改善赤铁矿与石英矿物的强磁选分离效果.采用此工艺与直接强磁选相比,弓长岭弱磁选尾矿中铁回收率由 59.71% 提高到 65.10%.

2) 添加 HPM 调浆后原矿矿物颗粒表观粒径显著增加,提高了磁介质对微细粒铁矿物的捕获概率.添加 HPM 调浆后磁选精矿产品中赤铁矿

颗粒粒度普遍减小且呈团聚状出现,HPM 对赤铁矿的选择性聚团作用较为显著,强化了磁选过程中微细粒赤铁矿的回收,降低了微细粒赤铁矿在尾矿中的流失状况.

3) HPM 与石英表面不发生氢键吸附或化学吸附,而与赤铁矿表面存在静电吸附和氢键吸附,且在碱性条件下 HPM 更易与赤铁矿形成氢键吸附,由此解释了在碱性矿浆中 HPM 的加入可显著改善赤铁矿和石英强磁分离效果的本质原因.

参考文献:

[1] 牛福生,张晋霞,白丽梅,等.微细粒铁矿物絮凝分选技术研究现状和发展方向[J].金属矿山,2014(12):85-89. (Niu Fu-sheng, Zhang Jin-xia, Bai Li-mei, et al. Research status and progress on flocculation separation technology of ultrafine iron mineral[J]. Metal Mine, 2014(12):85-89.)

[2] Ahmad H, Behzad V H, Sabri K. Effect of bubble size and velocity on collision efficiency in chalcopyrite flotation[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2016, 498(5):258-267.

[3] 张晋霞,牛福生,陈森.微细粒鲕状赤铁矿、石英的分散行为与机理研究[J].中国矿业,2015,23(5):120-125. (Zhang Jin-xia, Niu Fu-sheng, Chen Miao. Study on size characteristics and behaviors and mechanism of dispersion of fine oolitic hematite and quartz particle[J]. China Mining Magazine, 2015, 23(5):120-125.)

[4] Li W B, Zhou L B, Han Y X, et al. Effect of carboxymethyl starch on fine-grained hematite recovery by high-intensity magnetic separation: experimental investigation and theoretical analysis[J]. Powder Technology, 2019, 343(2):270-278.

[5] Schubert H. On the optimization of hydrodynamics in fine particle flotation [J]. Mineral Engineering, 2008, 21(12/14):930-936.

[6] Yin W Z, Yang X, Zhou D, et al. Shear hydrophobic flocculation and flotation of ultrafine Anshan hematite using sodium oleate[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(3):652-664.

[7] Weir S, Moody G M. The importance of flocculant choice with consideration to mixing energy to achieve efficient solid/liquid separation [J]. Mineral Engineering, 2003, 16(2):109-113.

[8] Grabsch A F, Fawell P D. The impact of achieving a higher aggregate density on polymer-bridging flocculation [J]. International Journal of Mineral Processing, 2013, 124(12):83-94.

[9] Bhagyalaxmi K, Hrushikesh S, Swagat S. Investigations on different starches as depressants for iron ore flotation[J]. Mineral Engineering, 2013, 49(8):1-6.

[10] Yan H J, Zhang B S. In vitro cytotoxicity of monodispersed hematite nanoparticles on Hek 293 cells [J]. Materials Letters, 2011, 65(5):815-817.