

东鞍山微细粒铁矿选择性絮凝-强磁选技术研究

苏兴国¹, 周立波^{2,3}, 李文博^{2,3}, 马自飞¹, 杨光¹, 张东⁴, 程绍凯^{2,3}

1. 鞍钢集团鞍矿公司 东鞍山烧结厂, 辽宁 鞍山 114041;
2. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819;
3. 难采选铁矿资源高效开发利用技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 沈阳 110819;
4. 鞍钢集团矿业公司 齐大山铁矿, 辽宁 鞍山 114043

中图分类号: TD951.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2021)02-0129-08
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2021.02.018

摘要 东鞍山铁矿石有用矿物嵌布粒度微细, 强磁选作业回收率较低。本研究基于絮凝-磁选理论, 开展强化细粒铁矿资源回收利用新技术研究。在研究赤铁矿和石英单矿物絮凝-沉降性能的基础上, 通过絮凝-磁选试验考察了药剂种类及用量、矿浆 pH 值和搅拌转速等因素对微细粒铁矿絮凝-磁选行为的影响。结果表明: 在适宜条件下, 添加药剂可强化赤铁矿的絮凝, 提高赤铁矿沉降率, 而对石英团聚效果和沉降率影响较小。以 DLZ 为添加药剂, 在搅拌转速为 900 r/min、搅拌时间为 5 min、矿浆 pH 值为 10.0、磁场强度为 0.9 T 的条件下, 可获得磁选精矿铁品位 47.15%、铁回收率 71.24% 的分选指标, 与常规磁选工艺相比, 其磁选精矿铁品位下降了 0.52 个百分点, 铁回收率增加了 3.67 个百分点, 选矿效率增加了 1.54 个百分点。

关键词 微细粒铁矿; 沉降; 磁选; 选择性絮凝; 东鞍山铁矿

随着我国铁矿资源大规模的开发利用, 富矿和易处理矿石资源日趋减少, 铁矿资源贫细杂的趋势愈加明显, 因而解决微细粒铁矿资源的回收利用问题, 具有重大的现实意义^[1-2]。微细粒铁矿分选过程动力学研究结果表明^[3-4], 导致微细粒铁矿难选的主要原因是微细粒铁矿具有体积小、质量轻、比磁化系数低和比表面积大的特点, 使得在常规高梯度强磁选工艺中, 磁性颗粒所受的磁场力较小, 磁介质对于弱磁性矿物的捕收能力不足; 而在常规浮选工艺中, 矿物颗粒微细一方面使得气泡与颗粒的碰撞及附着概率降低, 气泡和水流夹带现象严重, 同时由于颗粒表面能和比表面积的增大显著降低了药剂选择性。为此, 选矿学者们提出增大矿物颗粒表观尺寸来强化细粒矿物分选的方法, 主要有凝结 (coagulation)、疏水团聚 (agglomeration) 和絮凝 (flocculation) 三种, 如添加凝结剂 (如明矾和电解质) 通过静电引力使微细粒凝结; 添加疏水捕收剂 (如油酸和煤油) 使疏水矿物发生疏水团聚; 添加大分子絮凝剂 (如淀粉、聚丙烯酰胺) 通过高分子化学物

的桥联作用使细粒发生絮凝^[5-7]。因此根据微细矿粒团聚机理的不同, 将聚团分选工艺主要分为高分子絮凝分选工艺、磁团聚与磁种团聚分选工艺、疏水絮凝分选工艺及复合聚团分选工艺等。1975 年美国蒂尔登选矿厂采用玉米淀粉为絮凝剂, 采用选择性絮凝-脱泥-反浮选工艺回收微细粒铁矿, 标志着絮凝分选工艺进入新的发展时期^[8]。李维湘^[9]利用可溶性淀粉和丙烯酰胺为原料进行接枝共聚反应, 制备了淀粉-丙烯酰胺接枝共聚物, 所制备的絮凝剂对赤铁矿的选择性絮凝能力强于改性淀粉和磺化聚丙烯酰胺。宋少先等^[10]利用油酸钠和煤油作为选择性疏水团聚剂, 对国内某微细粒赤铁矿 ($d_{50} = 4.8 \mu\text{m}$) 采用“选择性疏水团聚脱泥-强磁选工艺”, 最终取得了精矿铁品位 65.71%、回收率 76.63% 的分选指标。王东辉等^[11]详细考察了在赤铁矿反浮选过程中添加磁铁矿对赤铁矿产生的选择性磁团聚作用及机理, 由于磁铁矿对细粒赤铁矿的磁团聚作用, 增大了微细粒赤铁矿的表观粒度, 增强了淀粉对赤铁矿的抑制作用, 提高了反浮选

收稿日期: 2021-04-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (519740068)

作者简介: 苏兴国 (1965—), 男, 教授级高级工程师, 厂长。

通信作者: 李文博 (1985—), 男, 内蒙古赤峰人, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事金属矿预处理分选及细粒弱磁性矿物回收工作。

作业回收率。以上研究结果表明,通过选择性团聚预处理对强磁选给矿进行物料性质优化,可促使铁矿物预先形成团聚体,有效增加了强磁场下细粒铁矿物的捕获概率,从而强化微细粒铁矿物的回收。

本研究以东鞍山含碳酸盐典型微细粒复杂难选铁矿为研究对象,基于絮凝分选理论开展强化细粒铁矿资源回收利用新技术研究。首先通过赤铁矿和石英两种单矿物的絮凝沉降试验研究了药剂用量、矿浆 pH 值以及搅拌转速等条件对矿物絮凝体沉降性能的影响,在单矿物团聚沉降试验基础上,进一步针对实际矿石体系开展了选择性絮凝-强磁选分选试验研究,考察了药剂用量、矿浆 pH 值以及搅拌转速等条件对分选指标的影响。

1 样品及试验方法

1.1 试验样品

试验所选用的样品为辽宁东鞍山烧结厂强磁选给矿。样品的化学多元素分析结果如表 1 所示。

表 1 化学多元素分析结果

Table 1 Chemical composition analysis results

| 组分 | TFe | FeO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO |
|------|-------|-------|------------------|--------------------------------|------|
| 含量/% | 28.37 | 4.15 | 55.51 | 0.86 | 0.58 |
| 组分 | CaO | S | P | 烧失 | |
| 含量/% | 0.73 | 0.054 | 0.039 | 3.05 | |

根据表 1 所示化学多元素分析结果可知,该样品 TFe 含量为 28.37%,其中 FeO 的含量为 4.15%。主要脉石元素 SiO₂ 含量较高,为 55.51%,其次 Al₂O₃、MgO 和 BaO 含量分别为 0.86%、0.58% 和 0.73%,有害元素 S 和 P 的含量较低。

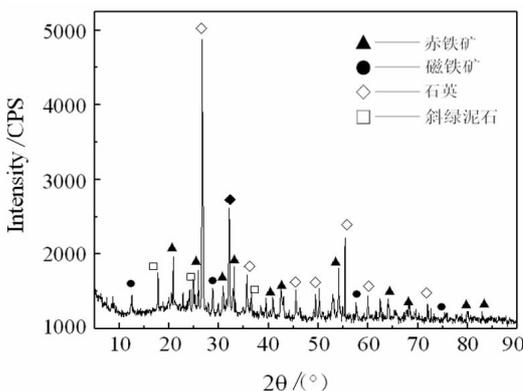


图 1 强磁选给矿的 XRD 分析谱图

Fig. 1 XRD pattern of high intensity magnetic separation feed

由图 1 可知,该样品中脉石矿物为石英和少量斜

绿泥石,有用铁矿物为赤铁矿和少量磁铁矿。

表 2 原矿物组成

Table 2 Mineral composition of raw ore

| 名称 | 赤铁矿 | 磁铁矿 | 菱铁矿 | 褐铁矿 | 石英 | 绿泥石 | 铁白云石 | 黑云母 | 其他 | 合计 |
|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|--------|
| 含量/% | 35.16 | 1.85 | 2.52 | 0.79 | 50.36 | 4.02 | 3.14 | 0.54 | 1.62 | 100.00 |

由表 2 可知,样品中主要有用铁矿物为赤铁矿,其含量为 35.16%,磁铁矿、褐铁矿和菱铁矿都较少,主要脉石矿物为石英,含量为 50.36%,其次还含有少量绿泥石和铁白云石。

表 3 原矿铁化学物相分析结果

Table 3 Results of iron chemical phase analysis in raw ore

| 铁的物相 | 赤(褐)铁矿中的铁 | 磁铁矿中的铁 | 碳酸铁中的铁 | 硫化铁中的铁 | 硅酸铁中的铁 | 总计 |
|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 铁含量/% | 24.98 | 0.80 | 1.58 | 0.11 | 0.40 | 27.87 |
| 铁分布率/% | 89.62 | 2.87 | 5.68 | 0.39 | 1.44 | 100.00 |

由表 3 可知,铁主要以赤(褐)铁矿的形式存在,分布率高达 90.28%,其次以碳酸铁的形式存在,分布率为 5.71%,磁铁矿含量较少,仅为 2.89%。

表 4 原矿粒度组成分析结果

Table 4 Particle size composition analysis results of raw ore

| 粒级/ μm | +42 | -42+38 | -38 | 合计 |
|-------------------|-------|--------|-------|--------|
| 产率/% | 13.23 | 8.24 | 78.53 | 100.00 |
| 铁品位/% | 13.05 | 22.55 | 31.45 | 28.28 |
| 铁的分布率/% | 6.10 | 6.57 | 87.33 | 100.00 |

由表 4 可知,-38 μm 粒级中铁的分布率高达 87.33%,由此可知,该样品中有用铁矿物主要分布在细粒级颗粒中,因此,样品中细粒级铁矿物的有效回收,成为提高选矿铁回收率的关键。

1.2 试验方法

(1) 单矿物絮凝沉降试验:分别称取粒度为 -0.023 mm 的赤铁矿或石英单矿物 10 g,加入到 50 mL 烧杯中,然后加入 30 mL 去离子水,采用型号为 JB90-D 型数显小型搅拌器进行搅拌调浆,根据试验需要调节药剂种类及用量、矿浆 pH 值、搅拌转速,搅拌 5 min 后将矿浆倒入 200 mL 的量筒中,向量筒中加入 100 mL 去离子水,将量筒封口反复轻微颠倒 10 次,然后静置 5 min,抽取上清液,将沉积物过滤、烘干、称重计算矿物絮凝体沉降率。

(3) 絮凝-强磁分选试验:使用多功能浸出搅拌机(XJT-II)对试样进行调浆,矿浆质量浓度为 30%,

高速搅拌 5 min,使矿物颗粒充分分散,然后调节搅拌转速及矿浆 pH 值搅拌 5 min 后加入一定量的药剂,继续搅拌 5 min 使细粒矿物絮凝。调节高梯度强磁选机冲次、排水量及背景磁场强度等操作条件后,将矿浆均匀给入磁选机进行选别,所得磁选精矿和尾矿烘干制样后进行化验。絮凝-强磁分选试验原则流程图如图 2 所示。

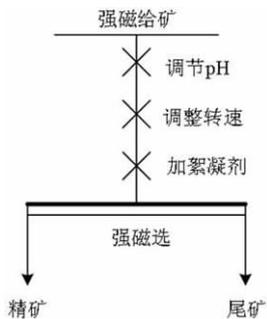


图 2 絮凝-强磁分选试验原则流程图
Fig. 2 The principle flowsheet of flocculation - high intensity magnetic separation tests

1.3 选矿试验指标评价方法

为了合理评价选矿试验效果,引入选矿效率作为选矿试验指标的评价依据。其公式如下^[12]:

$$E = \frac{\varepsilon - \gamma}{1 - \alpha/\beta_m} (\%) \quad (1)$$

式中: E —选矿效率; ε —回收率; γ —精矿产率; α —原矿品位; β_m —单矿物理论铁品位。

2 试验结果与讨论

2.1 赤铁矿及石英单矿物团聚-沉降性能研究

2.1.1 药剂种类及用量对赤铁矿及石英单矿物絮凝-沉降性能的影响

淀粉由于具有来源广和绿色环保的特点,同时其分子结构中含有大量亲水性羟基官能团,因此通常作为铁矿反浮选抑制剂使用,聚丙烯酰胺由于具有良好的絮凝效果,通常作为絮凝剂用于矿浆浓密和污水处理中。但是由于未经改性处理的天然淀粉和聚丙烯酰胺其选择性较差,在矿物的絮凝分选工艺中导致大量脉石矿物的夹杂,反而恶化分选效果。本研究首先通过醚化反应和水解反应分别在淀粉和聚丙烯酰胺两种药剂分子结构中引入羧基和羧甲基活性官能团,羧基和羧甲基可以通过氢键吸附和形成羟基铁配体的形式选择性吸附于铁矿物表面上,从而改善药剂选择性和絮凝性能。进一步通过矿物沉降性能来表征矿物的絮凝

效果,在赤铁矿和石英两种单矿物的絮凝-沉降试验中研究了玉米淀粉、改性聚丙烯酰胺(HPM)以及改性木薯淀粉(DLZ)等不同种类药剂及其用量、矿浆 pH 值以及搅拌转速等因素对矿物絮凝体沉降特征的影响。

首先分别考察了几种药剂体系下不同药剂用量对赤铁矿和石英两种单矿物絮凝-沉降性能的影响,其试验结果分别如图 3~图 5 所示。

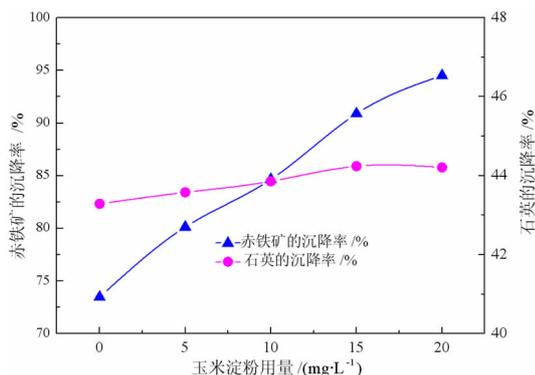


图 3 玉米淀粉用量对赤铁矿和石英絮凝-沉降性能的影响
Fig. 3 The Effect of corn starch dosage on flocculation - settling properties of hematite and quartz

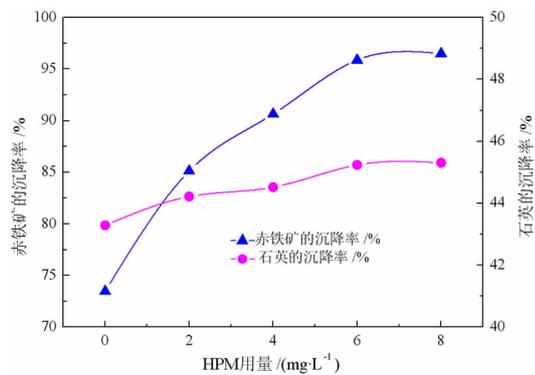


图 4 HPM 用量对赤铁矿和石英团聚沉降性能的影响
Fig. 4 The Effect of HPM dosage on flocculation - settling properties of hematite and quartz

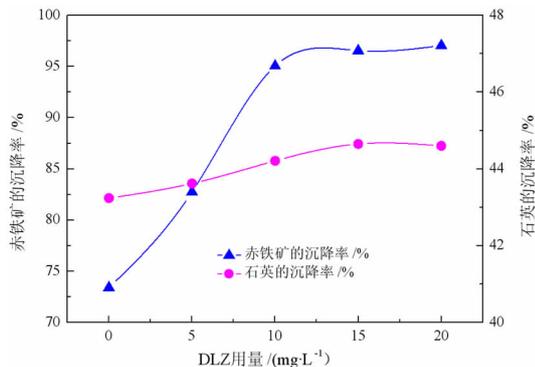


图 5 DLZ 用量对赤铁矿和石英絮凝沉降性能的影响
Fig. 5 The Effect of DLZ dosage on flocculation - settling properties of hematite and quartz

由图3~图5试验结果可知,随着药剂用量的增加,赤铁矿的沉降率逐渐增大,但增大趋势逐渐减缓,最后趋于稳定;石英的沉降率略有增加但变化幅度较小,基本维持在44.00%左右。由于玉米淀粉中直链淀粉含量较多,其分子量较小,而木薯淀粉主要以支链淀粉为主,其药剂分子量较大,对微细粒赤铁矿具有较好的絮凝效果,因此当药剂用量相近时,赤铁矿的沉降率在玉米淀粉体系中低于改性木薯淀粉;由于聚丙烯酰胺药剂基体本身具有较强的絮凝性能,因此改性聚丙烯酰胺 HPM 在药剂用量较少时即可使赤铁矿团聚从而具有较高的沉降率,但是由于聚丙烯酰胺的选择性较差,导致石英的沉降率有所增加,此外,在后续实际矿石体系分选过程中该药剂会导致大量微细粒石英夹杂,显著降低了磁选精矿品位,分选指标较差。因此,选取改性木薯淀粉作为添加药剂。

2.1.2 矿浆 pH 值对赤铁矿及石英单矿物絮凝 - 沉降性能的影响

矿浆 pH 值会显著影响矿物颗粒表面的荷电性能,进而影响药剂在矿物表面的吸附以及矿物颗粒的分散及絮凝行为,以改性木薯淀粉 DLZ 为絮凝剂,进一步考察了矿浆 pH 值对赤铁矿及石英单矿物絮凝 - 沉降性能的影响,其结果如图6所示。

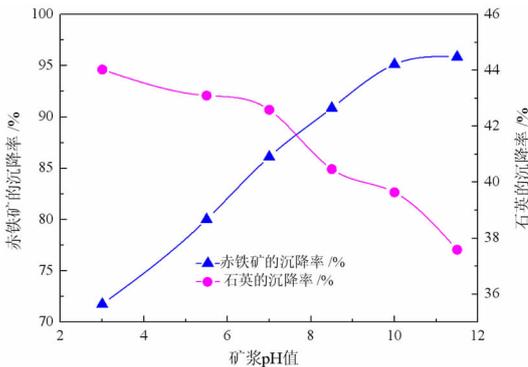


图6 矿浆 pH 值对赤铁矿和石英絮凝 - 沉降性能的影响
Fig. 6 The Effect of pulp pH on flocculation - settling properties of hematite and quartz

由图6可知,在酸性条件下,赤铁矿沉降率较低,改性木薯淀粉 DLZ 对赤铁矿的絮凝效果被恶化,而随着矿浆 pH 值的增大,赤铁矿的沉降率逐渐增大,药剂对赤铁矿的絮凝效果加强,在矿浆 pH 值为 10.0 时,絮凝效果最好,此时赤铁矿的沉降率达到 95.07%。对于石英单矿物,随着矿浆 pH 值的增大,其沉降率逐渐减小,这是因为随着矿浆 pH 值的增大,石英表面的电负性逐渐增大,颗粒之间的斥力逐渐增大,从而导致石英的分散行为增强,同时由于淀粉对石英矿物的絮凝性

能较差,所以石英的沉降率会随着矿浆 pH 值的增大而逐渐减小。

2.1.3 搅拌转速对赤铁矿及石英单矿物絮凝 - 沉降性能的影响

一定强度的搅拌动能输入将有助于提高矿物颗粒的碰撞几率及药剂在矿物表面上的吸附,因此以改性木薯淀粉 DLZ 为絮凝剂,进一步考察了搅拌转速对赤铁矿及石英单矿物絮凝 - 沉降性能的影响,其结果如图7所示。

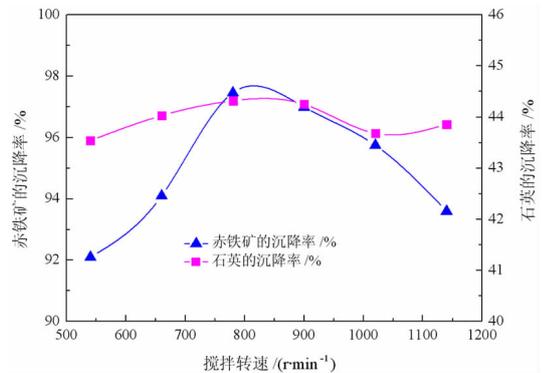


图7 搅拌转速对赤铁矿和石英絮凝 - 沉降性能的影响
Fig. 7 The Effect of agitator speed on flocculation - settling properties of hematite and quartz

由图7可知,DLZ 对赤铁矿的絮凝性能受搅拌转速的影响较大,随着搅拌转速由 540 r/min 增大到 780 r/min 时,赤铁矿的沉降率逐渐增大,在搅拌转速为 780 r/min 时,沉降率增大到最大值 97.74%,再增大搅拌转速,赤铁矿的絮凝沉降率开始减小;与赤铁矿相比,石英的沉降率随搅拌转速变化不明显。由此说明,在一定的搅拌强度范围内,搅拌强度的增加,有利于提高赤铁矿颗粒间的碰撞,从而促进絮团的形成和增大;由于絮团结构强度较低,当搅拌强度超过此范围时,继续增大搅拌强度,形成的絮团就会被强烈的机械搅拌所破坏,不利于絮团的形成。由于药剂对石英颗粒的絮凝性能较差,因此改变搅拌强度对石英颗粒沉降率影响不大。

2.2 微细粒弱磁性铁矿絮凝 - 磁选试验研究

以东鞍山烧结厂强磁选给矿为试验原料,在单矿物絮凝 - 沉降试验研究基础上,通过絮凝调浆 - 高梯度强磁选试验,进一步考察了药剂种类及用量、搅拌转速、搅拌时间及矿浆 pH 值等因素对微细粒弱磁性铁矿絮凝 - 分选指标的影响,以确定适宜的絮凝操作条件,为微细粒弱磁性铁矿资源的开发利用提供试验依据。

2.2.1 药剂种类及用量对微细粒弱磁性铁矿物絮凝-磁选指标的影响

首先分别考察了玉米淀粉、改性聚丙烯酰胺 (HPM) 和改性木薯淀粉 (DLZ) 三种药剂的用量对细粒弱磁性铁矿物絮凝-强磁分选指标的影响。在搅拌矿浆质量浓度为 30%, 调节矿浆 pH 值为 10.0, 在高搅拌强度下搅拌 5 min 后, 降低搅拌转速至 900 r/min, 然后分别加入三种药剂, 搅拌 5 min 后进行强磁选, 磁选时调节磁选机冲程为 11.4 mm, 冲次为 180 次/min, 磁选机排水量 140 mL/s, 磁选背景场强为 0.9 T, 磁介质采用 2mm 直径、填充率为 13% 的圆棒介质条件下, 根据试验需要调节药剂用量, 其结果分别如图 8~图 10 所示。

了 2.12 个百分点。继续增加玉米淀粉用量, 铁回收率和选矿效率逐渐下降。因此适宜的玉米淀粉用量为 300 g/t。

由图 9 可知, 随着 HPM 用量由 0 g/t 逐渐增加至 20 g/t, 铁回收率逐渐增大, 继续增加 HPM 用量, 选矿指标逐渐下降; 由于 HPM 药剂选择性较差同时具有较强的絮凝性能, 使得絮团中脉石矿物增加, 导致磁选精矿铁品位随着药剂用量的增加磁选精矿铁品位逐渐降低, 分选指标较差。

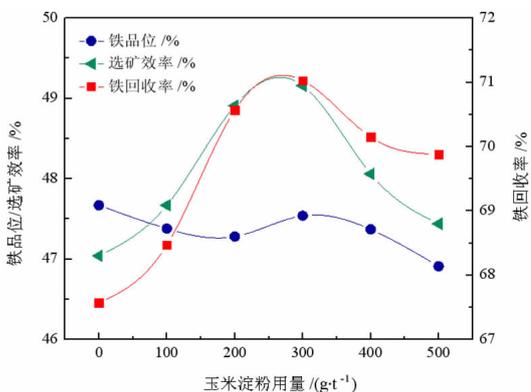


图 8 玉米淀粉用量对分选指标的影响
Fig. 8 The Effect of corn starch dosage on separation index

由图 8 可知, 随着玉米淀粉用量由 0 g/t 逐渐增加至 300 g/t, 磁选精矿铁回收率和选矿效率逐渐增加, 磁选精矿铁品位略有下降, 当药剂用量为 300 g/t 时, 磁选精矿铁品位为 47.54%, 铁回收率为 71.03%, 选矿效率为 49.16%, 与不添加药剂相比, 其磁选精矿铁品位变化不大, 提高了 3.46 个百分点, 选矿效率提高

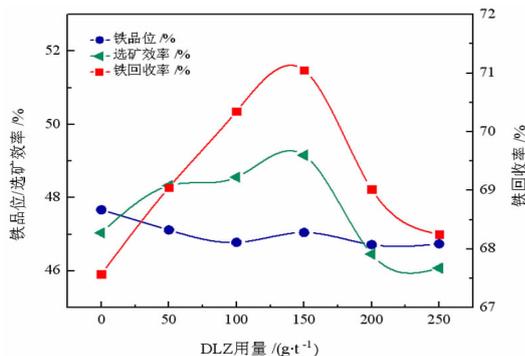


图 10 DLZ 用量对分选指标的影响
Fig. 10 The Effect of DLZ dosage on separation index

由图 10 可知, 随着 DLZ 用量由 0 g/t 逐渐增加至 150 g/t, 选矿效率和铁回收率逐渐增加, 铁品位略有下降。当 DLZ 用量为 150 g/t 时, 此时磁选精矿铁品位为 47.05%, 铁回收率为 71.05%, 选矿效率为 48.86%, 与不添加药剂相比, 其磁选精矿铁品位降低了 0.52 个百分点, 铁回收率提高了 3.48 个百分点, 选矿效率提高了 2.12 个百分点, 继续增加用量, 铁回收率和选矿效率逐渐下降。即适宜的 DLZ 用量为 150 g/t。

2.2.2 搅拌条件对微细粒弱磁性铁矿物絮凝-磁选指标的影响

进一步以 DLZ 为添加药剂, 分别考察了搅拌转

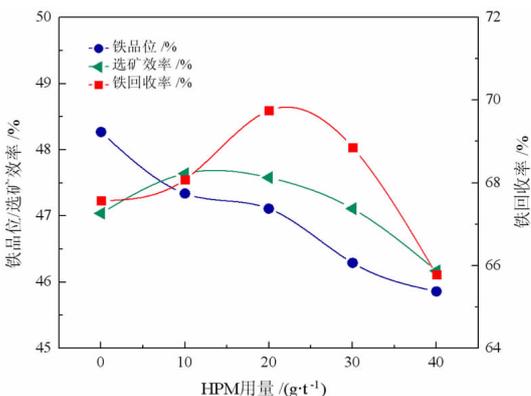


图 9 HPM 用量对分选指标的影响
Fig. 9 The Effect of HPM dosage on separation index

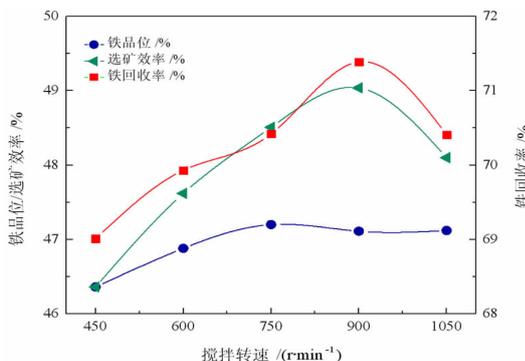


图 11 搅拌转速对分选指标的影响
Fig. 11 The Effect of agitator speed on separation index

速、搅拌时间和矿浆 pH 值等搅拌条件变化对分选指标的影响,其结果分别如图 11、图 12 和图 13 所示。

由图 11 可知,随着絮凝搅拌转速由 450 r/min 增加至 900 r/min 时,分选指标逐渐增加。当搅拌转速为 900 r/min 时,此时磁选精矿铁品位为 47.41%,铁回收率为 71.39%,选矿效率为 49.04%,继续提高搅拌强度,铁回收率和选矿效率逐渐下降。即适宜的搅拌转速为 900 r/min。

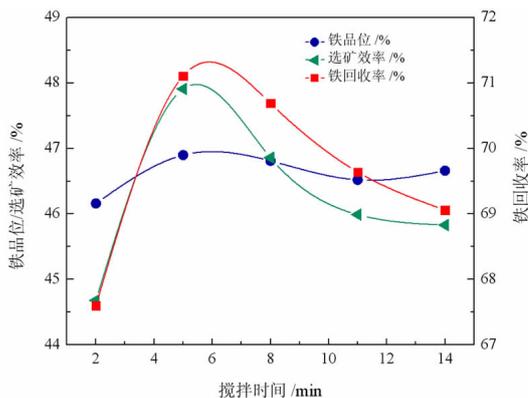


图 12 搅拌时间对分选指标的影响
Fig. 12 The Effect of mixing time on separation index

由图 12 可知,随着絮凝搅拌时间由 2 min 延长至 5min 时,分选指标逐渐增加,当搅拌时间为 5 min 时,此时磁选精矿铁品位为 46.90%,铁回收率为 71.11%,

表 5 常规强磁选工艺和絮凝-强磁选工艺分选指标对比

Table 5 Comparison of separation indexes between conventional high intensity magnetic separation and flocculation - high intensity magnetic separation

| 分选指标 | 精矿产率/% | 精矿铁品位/% | 精矿铁回收率/% | 尾矿产率/% | 尾矿铁品位/% | 尾矿铁回收率/% | 原矿铁品位/% | 选矿效率/% |
|----------|--------|---------|----------|--------|---------|----------|---------|--------|
| 常规强磁选工艺 | 38.31 | 47.67 | 67.57 | 61.69 | 14.21 | 32.43 | 27.03 | 47.66 |
| 絮凝-强磁选工艺 | 41.20 | 47.15 | 71.24 | 58.80 | 13.33 | 28.76 | 27.27 | 49.20 |

基于以上试验结果,以 DLZ 为絮凝剂在适宜的搅拌条件下,可获得磁选精矿铁品位 47.15%,铁回收率 71.24%的分选指标,与不添加药剂相比,其磁选精矿铁品位下降了 0.52 个百分点,铁回收率增加了 3.67 个百分点,选矿效率增加了 1.54 个百分点。

3 结论

(1)该样品中 TFe 含量为 28.37%,其中 FeO 的含量为 4.15%,SiO₂ 含量较高为 55.51%,其他元素含量较少;该样品中金属矿物主要为赤铁矿,含量为 35.16%,其次为少量磁铁矿和褐铁矿,含量分别为 1.85%和 0.79%。另外根据铁物相分析结果,铁主要赋存在赤(褐)铁矿、碳酸铁、磁铁矿和硫化铁中。样品

选矿效率为 47.91%,继续增加搅拌时间,铁回收率逐渐下降。即添加完药剂后适宜的搅拌时间为 5 min。

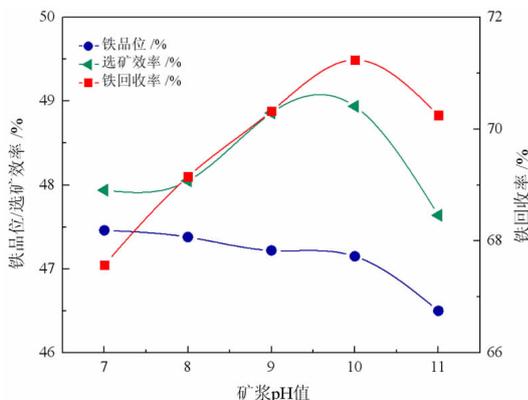


图 13 矿浆 pH 值对分选指标的影响
Fig. 13 The Effect of pulp pH on separation index

由图 13 可知,随着矿浆 pH 值由 7.0 增加至 10.0 时,磁选精矿铁品位略有下降,铁回收率和选矿效率逐渐增加。当矿浆 pH 值为 10.0 时,磁选精矿铁品位为 47.15%,铁回收率为 71.24%,选矿效率为 49.20%,继续增加矿浆 pH 值,分选指标逐渐下降。适宜的矿浆 pH 值为 10.0。

根据以上试验结果,固定强磁选作业操作参数相同的条件下,对比了常规强磁选工艺和絮凝-强磁选工艺分选指标的差异,其分选结果如表 5 所示。

粒度微细, -38 μm 粒级中铁的分布率高达 87.33%。

(2)单矿物絮凝-沉降试验结果表明,改性木薯淀粉(DLZ)对于赤铁矿具有较好的选择性絮凝效果。随着药剂用量的增加,三种药剂对赤铁矿的絮凝效果增强,沉降率逐渐增大,而对石英的絮凝效果较差,沉降率变化不明显;随着矿浆 pH 值的增大,由于静电吸附和氢键吸附赤铁矿沉降率逐渐增加,而由于静电排斥作用,药剂在石英表面的吸附量下降,同时石英颗粒间的排斥作用增强,石英的沉降率逐渐减小;随着搅拌转速的增加,赤铁矿的沉降率呈现出先增加后降低的趋势,适宜搅拌强度有利于提高赤铁矿颗粒间的碰撞,从而促进絮团的形成和长大,沉降率增加;当搅拌转速过高时,形成的絮团就会被强烈的机械搅拌所破坏,沉

降率反而下降。

(3)强磁选给矿样品絮凝-磁选试验结果表明,随着几种药剂用量的增加,磁选精矿铁回收率和选矿效率均先增大后减小。与其它两种药剂相比,改性木薯淀粉(DLZ)由于含有支链淀粉结构和较多活性基团,因此分选指标较好。通过考察絮凝作业搅拌转速、搅拌时间及矿浆pH值等因素对分选指标的影响,确定适宜的搅拌转速为900 r/min,搅拌时间为5 min,矿浆pH值为10.0,与常规强磁选工艺相比,在适宜条件下,其磁选精矿铁品位下降了0.52个百分点,而铁回收率增加了3.67个百分点,选矿效率增加了1.54个百分点。

参考文献:

[1] 韩跃新. 我国铁矿选矿技术最新进展[J]. 金属矿山, 2015, 44(2): 1-11.

[2] 张锦瑞, 胡力可, 梁银英. 我国难选铁矿石的研究现状及利用途径[J]. 金属矿山, 2007(11): 6-9.

[3] 印万忠, 王东辉, 马英强, 等. 微细粒矿物选择性聚团分选技术研究进展[C]// 中国矿业科技文汇—2015. 中国冶金矿山企业协会技术委

员会, 2015.

- [4] WEI GE, ARMANDO ENCINAS, ELSIE ARAUJO, et al. Magnetic matrices used in high gradient magnetic separation (HGMS): A review[J]. Results in Physics, 2017(7): 4278-4286.
- [5] 李文博, 周立波, 韩跃新, 等. 改性聚丙烯酰胺对赤铁矿强磁选的影响[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2019(7): 1002-1008.
- [6] PANDA L, BANERJEE PK, BISWAL SK, et al. Modelling and optimization of process parameters for beneficiation of ultrafine chromite particles by selective flocculation, Separation and Purification Technology, 2014, (132): 666-673.
- [7] 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.
- [8] 张去非, 穆晓东. 微细粒弱磁性铁矿石资源的特征及分选工艺[J]. 矿冶工程, 2003(4): 23-26.
- [9] 李维湘. 微细粒赤铁矿絮凝药剂选择性研究[D]. 唐山: 河北理工大学, 2010.
- [10] 宋少先. 疏水絮凝理论及分选工艺[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [11] 王东辉, 印万忠, 马英强, 等. 磁铁矿对赤铁矿反浮选过程的选择性磁团聚研究[J]. 2016(12): 57-61.
- [12] 李芝. 建议用汉考克公式计算光电选矿效率[J]. 有色金属(选矿部分). 1981(4): 61.

Study on Selective Flocculation – High Gradient High Intensity Magnetic Separation Technology in Donganshan Iron Ore

SU Xingguo¹, ZHOU Libo^{2,3}, LI Wenbo^{2,3}, MA Zifei¹, YANG Guang¹, ZHANG Dong⁴, CHENG Shaokai^{2,3}

1. Donganshan Sintering Plant, Anshan Mining Co, Ansteel Group, Anshan 114041, Liaoning, China;

2. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

3. National – Local Joint Engineering Research Center of Refractory Iron Ore Resources Efficient Utilization Technology, Shenyang 110819, China;

4. Qidashan Concentrator, Mining Company of An Steel Group, Anshan 114043, China

Abstract: Donganshan iron ore has a fine disseminated grain size of useful minerals in it, so recovery of strong magnetic separation operations is low. This research is based on the theory of flocculation and separation to carry out research on new technologies for strengthening the recycling of fine – grained iron ore resources. On the basis of studying the sedimentation performance of hematite and quartz single minerals, the effects of the types and dosage of reagents, the pH value of the slurry, the stirring speed and other factors on the separation behavior of fine – grained iron ore were studied through flocculation – magnetic separation experiments. The results show that under suitable conditions, the addition of chemicals can help strengthen the flocculation of hematite and increase the sedimentation rate of hematite, but has little effect on the flocculation effect and sedimentation rate of quartz. With DLZ as the additive agent, under the conditions of stirring speed of 900 r/min, stirring time of 5 min, slurry pH of 10.0, and magnetic field strength of 0.9 T, 47.15% of the iron grade of magnetic separation concentrate and 71.24% of iron recovery can be obtained. Compared with the conventional magnetic separation process, the iron grade of the magnetic separation concentrate has decreased by 0.52%, the iron recovery has increased by 3.67%, and the beneficiation efficiency has increased by 1.54%.

Key words: fine grained iron ore; sedimentation; high gradient magnetic separation; selective flocculation; Donganshan iron mine

引用格式: 苏兴国, 周立波, 李文博, 马自飞, 杨光, 张东, 程绍凯. 东鞍山微细粒铁矿选择性絮凝 – 强磁选技术研究[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(2): 129 – 136.

Su XG, Zhou LB, Li WB, Ma ZF, Yang G, Zhang D, and Cheng SK. Study on selective flocculation – high gradient high intensity magnetic separation technology in Donganshan iron ore[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2021, 41(2): 129 – 136.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E – mail: kcbh@chinajournal.net.cn