

# 新型低温捕收剂反浮选齐大山选厂混磁精矿工艺研究<sup>①</sup>

董振海<sup>1</sup>, 智慧<sup>1</sup>, 满晓霏<sup>1</sup>, 刘剑军<sup>1</sup>, 杨晓峰<sup>1</sup>, 付亚峰<sup>1</sup>, 李文博<sup>2</sup>

(1. 鞍钢集团北京研究院有限公司, 北京 102200; 2. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘要:** 为解决齐大山选厂反浮选使用高温浮选药剂问题, 采用实验室制备的新型低温组合捕收剂 AG-1 对齐大山选厂混磁精矿在室温(20 ℃)下进行反浮选试验。结果表明, 矿浆 pH=11.5、抑制剂玉米淀粉用量 950 g/t、活化剂 CaO 用量 100 g/t、捕收剂 AG-1 用量 750 g/t 条件下, 一粗一精三扫反浮选闭路流程试验可以获得 TFe 品位 68.13%、回收率 88.43% 的铁精矿。浮选精矿、尾矿 XRD 图谱和光学显微镜分析结果表明, 组合捕收剂 AG-1 具有较好的选择性, 可以有效分离脉石矿物石英和有用矿物。组合捕收剂 AG-1 与单一捕收剂油酸钠、十二胺表面张力对比分析结果表明, 组合捕收剂 AG-1 表面张力较小, 降低气液界面表面张力的能力较强, 可以更好地提高矿物表面的疏水性。

**关键词:** 浮选药剂; 低温; 捕收剂; 反浮选; 表面张力; 铁矿

中图分类号: TD923

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.02.012

文章编号: 0253-6099(2023)02-0052-05

## Reverse Flotation of Mixed Magnetic Concentrate in Qidashan Concentrator with New Low-Temperature Collector

DONG Zhenhai<sup>1</sup>, ZHI Hui<sup>1</sup>, MAN Xiaofei<sup>1</sup>, LIU Jianjun<sup>1</sup>, YANG Xiaofeng<sup>1</sup>, FU Yafeng<sup>1</sup>, LI Wenbo<sup>2</sup>

(1. Ansteel Beijing Research Institute Co Ltd, Beijing 102200, China; 2. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China)

**Abstract:** Aiming at the commercial production problems in the usage of high-temperature reagents for the reverse flotation in Qidashan Concentrator, a new laboratory-prepared combined collector (AG-1) was adopted in the reverse flotation of mixed magnetic concentrate at room temperature (20 ℃). The results show that a reverse flotation flowsheet consisting of one stage of roughing, one stage of cleaning and three stages of scavenging, with pulp pH of 11.5, the dosages for depressant (corn starch), activator (CaO) and collector (AG-1) at amount of 950 g/t, 100 g/t and 750 g/t, respectively, can yield an iron concentrate grading 68.13% TFe at 88.43% recovery. XRD patterns and optical microscopy visualization of flotation concentrate and tailings show that AG-1 has good selectivity, and can effectively separate valuable minerals from gangue mineral of quartz. Compared with the single collector of sodium oleate or dodecylamine, AG-1 possesses a lower surface tension and a stronger ability in reducing the surface tension of gas-liquid interface, which can better improve mineral hydrophobicity.

**Key words:** flotation reagents; low temperature; collector; reverse flotation; surface tension; iron mine

我国铁矿石品位低、禀赋差、采选成本高, 国内铁矿石产量远不能满足钢铁生产需求<sup>[1-2]</sup>。2020 年全球铁矿石进口量 15.14 亿吨, 中国大陆进口铁矿石 11.04 亿吨, 占全球铁矿石进口量的 73%<sup>[3]</sup>。我国铁矿石供应长期面临国外铁矿石企业垄断与国内铁矿石“贫、细、杂”双重压力<sup>[4]</sup>, 因此, 提高铁矿石采选技术、实现

国内铁矿石高效绿色开发与利用, 对我国钢铁工业和国民经济至关重要<sup>[5]</sup>。

阴离子反浮选对低品位铁矿石适应性强、选择性强, 能得到更高品位的铁精矿, 目前在国内得到了广泛应用<sup>[6-7]</sup>。但随着节能环保要求不断提高, 阴离子反浮选药剂存在的药剂配制和使用温度较高等问题日渐突

① 收稿日期: 2022-09-13

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51974068)

作者简介: 董振海(1993—), 男, 河北邯郸人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为铁矿选矿工艺。

通信作者: 李文博(1985—), 男, 内蒙古赤峰人, 副教授, 主要研究方向为弱磁性矿物磁性转变与强化分选。

出,严重制约着国内铁矿山的发展<sup>[8-11]</sup>。

齐大山铁矿选矿厂目前反浮选工艺使用的是高温浮选药剂 LKY, 药剂制度复杂, 配药温度 90 °C 以上, 储药温度 60~80 °C, 浮选时矿浆温度 35 °C 左右, 为此每年因蒸汽加热需要耗电 1 亿度以上, 燃煤 3.2 万吨, 排放 CO<sub>2</sub> 7.85 万吨。本文采用实验室自制的新型低温组合捕收剂 AG-1 对齐大山选厂混磁精矿进行室温 (20 °C) 反浮选试验, 并通过测试不同捕收剂的表面张力, 证实组合捕收剂 AG-1 较单一捕收剂降低气液界面表面张力的能力更强, 可以更好地提高矿物表面疏水性。

## 1 试验材料与试验方法

### 1.1 试验材料

试验所用矿样为齐大山选矿厂磁选后的混磁精矿, 其主要化学成分分析结果见表 1, 铁化学物相分析结果见表 2, 激光粒度分析结果见图 1。

表 1 试样化学成分分析结果 (质量分数) %

TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	P	S	烧失
48.86	15.39	27.65	0.25	0.68	0.43	0.023	0.022	1.21

表 2 试样铁化学物相分析结果

铁物相	含量/%	分布率/%
磁性铁中铁	34.86	71.35
碳酸铁中铁	0.87	1.78
赤(褐)铁矿中铁	8.64	17.68
硫化铁	1.35	2.76
硅酸铁	3.14	6.43
合计	48.86	100.00

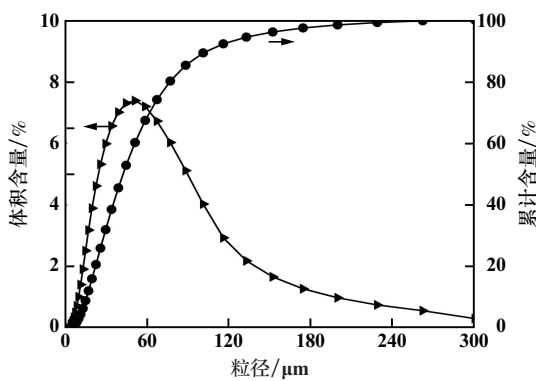


图 1 试样激光粒度分析结果

由表 1 可以看出, 试样中主要化学成分为铁和硅, 铝、镁、钙、磷、硫等有害杂质含量较低。由表 2 可知, 试样中铁主要赋存在磁铁矿和赤褐铁矿中, 硫化铁、硅酸铁、碳酸铁中铁含量较少, 对浮选影响较小。由图 1

可以看出, 试样中  $D_{50}$  值为 42.63  $\mu\text{m}$ ,  $D_{80}$  值为 77.34  $\mu\text{m}$ 。

### 1.2 试验方法

浮选温度 20 °C, 将 200 g 矿样倒入 500 mL 浮选槽 (搅拌速度 1 995 r/min), 依次加入 pH 值调整剂 (浓度 5% 的 NaOH 溶液)、抑制剂 (浓度 2.5% 的玉米淀粉)、活化剂 (浓度 2.5% 的 CaO 溶液)、捕收剂 (浓度 3% 的新型低温捕收剂 AG-1) 进行试验, 浮选结束后对浮选精矿和尾矿分别烘干、称重、制样、化验、检测和计算。其中, 条件试验采用一粗一精反浮选流程, 粗选捕收剂用量为精选用量的 2 倍; 开路试验采用一粗一精三扫反浮选流程。捕收剂 AG-1 由多种捕收剂组合复配得到, 为自制药剂, 主要特征官能团为 COO<sup>-</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。

采用德国克吕士 K100C 表面张力仪铂吊片法测量不同温度下捕收剂的表面张力。

## 2 试验结果及讨论

### 2.1 条件试验

条件试验流程如图 2 所示。

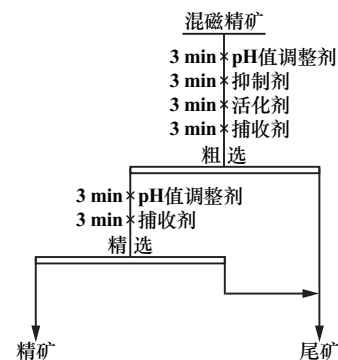


图 2 条件试验流程

#### 2.1.1 矿浆 pH 值条件试验

矿浆温度 20 °C、抑制剂玉米淀粉用量 950 g/t、活化剂 CaO 用量 100 g/t、捕收剂 AG-1 用量 750 g/t 条件下, 考察了矿浆 pH 值对混磁精矿反浮选品位和回收率的影响, 结果如图 3 所示。

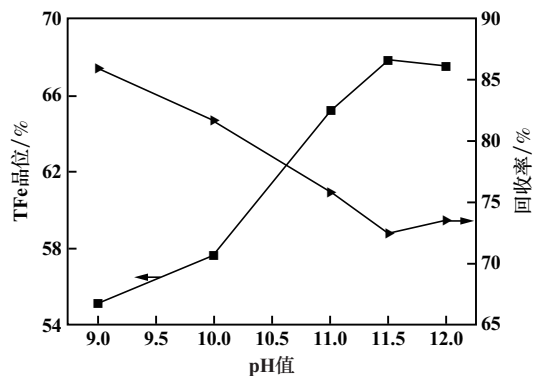


图 3 矿浆 pH 值试验结果

从图3可以看出,当pH值从9.0增至11.5,精矿品位呈上升趋势,回收率则逐渐下降;继续增加pH值,品位小幅降低,回收率略微增加。pH=11.5时,可以获得TFe品位67.83%、回收率72.63%的铁精矿。综合考虑,适宜的pH值为11.5。

2.1.2 抑制剂用量条件试验

pH=11.5,其他条件不变,考察了抑制剂玉米淀粉用量对混磁精矿反浮选品位和回收率的影响,结果如图4所示。

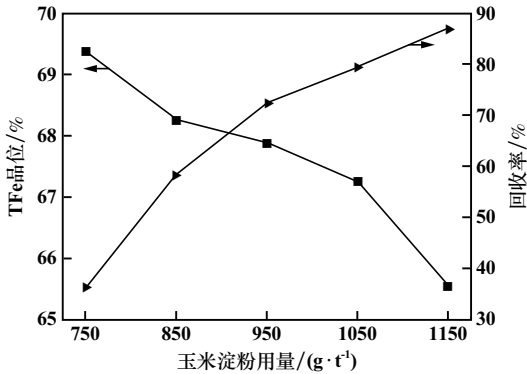


图4 抑制剂用量试验结果

从图4可以看出,随着抑制剂玉米淀粉用量增加,回收率呈快速上升趋势,品位则逐渐下降,玉米淀粉用量950 g/t时,可以获得TFe品位67.78%、回收率72.74%的铁精矿,之后继续增加玉米淀粉用量,无法稳定获得TFe品位67.50%以上的铁精矿。综合考虑,抑制剂玉米淀粉适宜用量为950 g/t。

2.1.3 活化剂用量条件试验

玉米淀粉用量950 g/t,其他条件不变,考察了活化剂CaO用量对混磁精矿反浮选品位和回收率的影响,结果如图5所示。

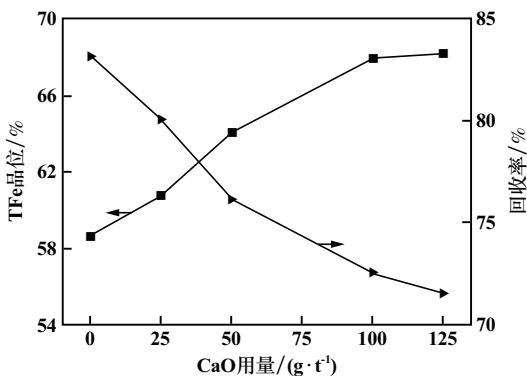


图5 活化剂用量试验结果

从图5可以看出,活化剂CaO用量从0增至100 g/t时,精矿TFe品位从58.69%增长至67.90%,回收率则从83.14%降至72.56%,继续增加CaO用量,品位和回收率均

微幅变化。综合考虑,活化剂CaO适宜用量为100 g/t。

2.1.4 捕收剂AG-1用量条件试验

活化剂CaO用量100 g/t,其他条件不变,考察了捕收剂AG-1用量对混磁精矿反浮选品位和回收率的影响,结果如图6所示。

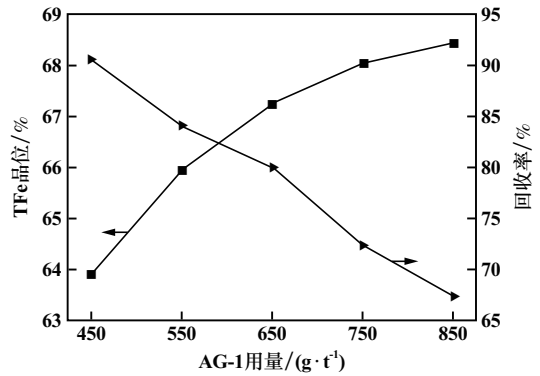
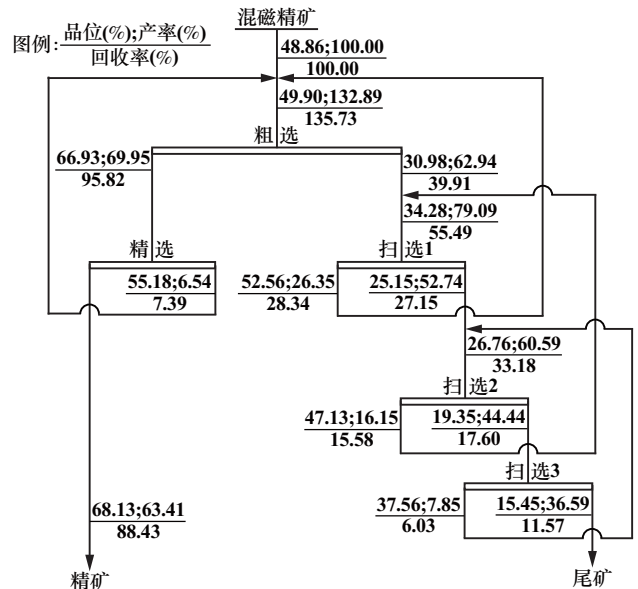


图6 捕收剂用量试验结果

从图6可以看出,捕收剂AG-1用量从450 g/t增至750 g/t时,精矿TFe品位从63.91%增至67.90%,回收率从90.62%降至72.56%,继续增加AG-1用量,精矿品位微幅增加,回收率则呈现快速下降趋势。综合考虑,捕收剂AG-1适宜用量为750 g/t。

2.2 闭路试验

在条件试验和开路试验基础上开展了闭路试验,闭路试验数质量流程如图7所示。



由图7可以看出,采用一粗一精三扫反浮选流程,可以获得TFe品位68.13%、回收率88.43%的铁精矿和TFe品位15.45%、回收率11.57%的铁尾矿,浮选矿

浆温度 20 ℃ 条件下, 可以获得与目前选厂相近的浮选指标。

### 2.3 产品分析

原矿、闭路浮选精矿和尾矿 XRD 分析结果见图 8。

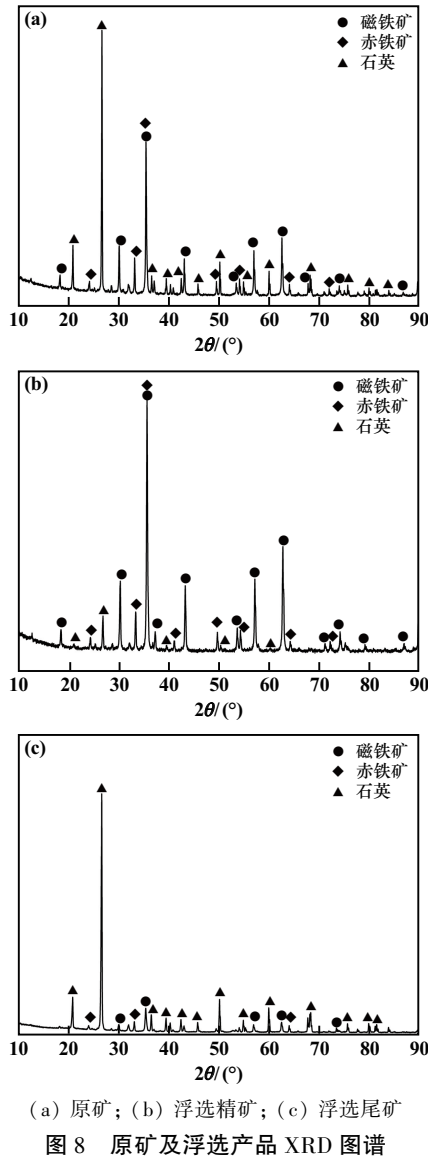


图 8 原矿及浮选产品 XRD 图谱

由图 8 可知, 原矿中主要矿物为磁铁矿、赤铁矿及石英; 浮选精矿中主要矿物为磁铁矿和赤铁矿, 另含有少量石英等脉石矿物; 浮选尾矿中主要矿物为石英, 另含有少量磁铁矿和赤铁矿。说明组合捕收剂可以有效分离脉石矿物石英和有用矿物, 浮选效果较好。

浮选精矿和尾矿光学显微镜分析结果见图 9。

由图 9 可以看出, 浮选精矿中以磁铁矿和赤铁矿单体为主, 可见少数磁铁矿-石英富连生体或磁铁矿包裹石英颗粒, 几乎不见单体石英颗粒; 浮选尾矿中以石英单体和磁铁矿-石英贫连生体为主, 可见极少量磁铁矿单体和磁铁矿-石英富连生体, 单体磁铁矿颗粒较

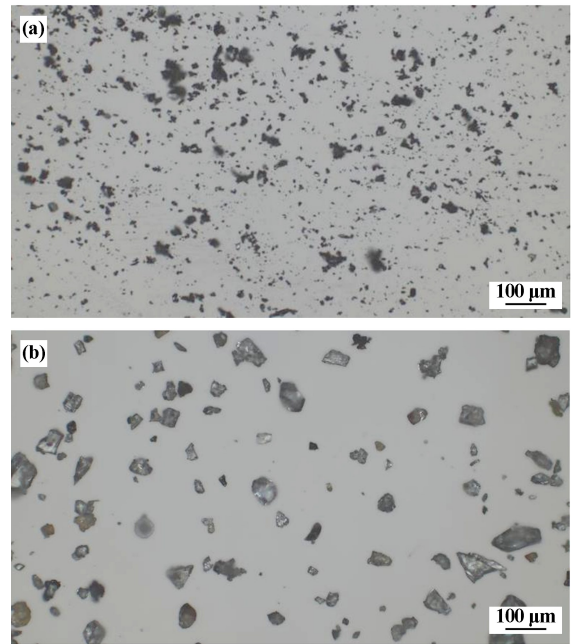


图 9 浮选产品光学显微镜图

小, 可能是通过夹带进入尾矿中。说明组合捕收剂处理经淀粉抑制铁矿物、CaO 活化石英矿物的矿浆具有很好的选择性, 可以在保证铁矿物回收率的同时选择性地脉石矿物石英分离出来。

### 2.4 药剂表面张力分析

为考察组合捕收剂 AG-1 与单一捕收剂油酸钠、十二胺表面张力之间的关系, 在 298.15 K 下分别对 3 种捕收剂进行了表面张力测定, 结果见图 10。

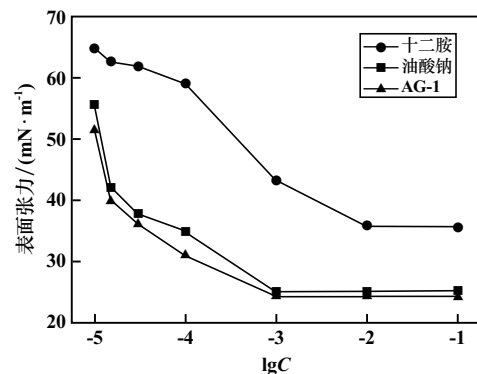


图 10 不同捕收剂溶液的表面张力

由图 10 可知, 在相同浓度下, 组合捕收剂 AG-1 溶液的表面张力低于单一捕收剂。AG-1 溶液浓度低于 1 mmol/L 时, 其溶液表面张力随 AG-1 浓度增加而迅速降低, AG-1 浓度趋于 1 mmol/L 时, 溶液表面张力趋于一个稳定值 24.34 mN/m。油酸钠溶液表面张力的变化规律与 AG-1 相似, 其表面张力略高于 AG-1。

十二胺溶液表面张力在其浓度 10 mmol/L 时趋于稳定,其表面张力远高于 AG-1。

AG-1 溶液表面张力更低,说明 AG-1 降低气液界面表面张力的能力更强,可以更好地提高矿物表面疏水性。

### 3 结 论

1) 齐大山混磁精矿粒度  $D_{50}$  值 42.63  $\mu\text{m}$ ,  $D_{80}$  值 77.34  $\mu\text{m}$ , 粒度适中, 主要成分为铁和硅, 铁主要赋存在磁铁矿和赤褐铁矿中, 脉石矿物以石英为主。

2) 矿浆温度 20  $^{\circ}\text{C}$ 、矿浆 pH=11.5、抑制剂玉米淀粉用量 950 g/t、活化剂 CaO 用量 100 g/t、捕收剂 AG-1 用量 750 g/t 条件下, 对齐大山选厂混磁精矿进行一粗一精三扫反浮选流程试验, 可以获得 TFe 品位 68.13%、回收率 88.43% 的铁精矿, 常温下的浮选指标与现场高温浮选指标相近。

3) 浮选精矿、尾矿 XRD 图谱和光学显微镜分析结果表明, 组合捕收剂 AG-1 具有较好的选择性, 可以有效分离脉石矿物石英和有用矿物。组合捕收剂 AG-1 与单一捕收剂油酸钠、十二胺溶液表面张力对比分析结果表明, 组合捕收剂 AG-1 溶液的表面张力较小, 降低气液界面表面张力的能力较强, 可以更好地提高矿物表面的疏水性。

### 参考文献:

- [1] 程绍凯, 李文博, 韩跃新. 东鞍山浮选尾矿预富集-磁化焙烧-磁选试验研究[J]. 金属矿山, 2021(5):91-95.
- [2] 胡 芳, 陈泽宗. 某微细粒难选铁矿尾矿选矿工艺研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(6):81-83.
- [3] 智 慧. 难选菱铁矿流态化磁化焙烧过程含铁物相转变行为研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院过程工程研究所), 2021.
- [4] 秦洁璇, 吕振华. 中国铁矿资源保障能力分析与评价[J]. 冶金经济与管理, 2019(6):4-7.
- [5] 韩跃新, 高 鹏, 李艳军, 等. 我国铁矿资源“劣质能用、优质优用”发展战略研究[J]. 金属矿山, 2016(12):2-8.
- [6] 韩跃新, 孙永升, 李艳军, 等. 我国铁矿选矿技术最新进展[J]. 金属矿山, 2015(2):1-11.
- [7] 索明名, 姜永良, 辛思奇, 等. 鞍钢某选厂混磁精矿矿物特征及其低温反浮选捕收剂的研究[J]. 矿冶工程, 2020, 40(1):58-61.
- [8] 罗良飞, 陈雯, 李文凤. 铁矿可浮性和浮选捕收剂及其进展[C]//中国金属学会. 第八届(2011)中国钢铁年会论文集, 2011:4202-4207.
- [9] Silva K, Filippov L O, Pierra A, et al. New perspectives in iron ore flotation: Use of collector reagents without depressants in reverse cationic flotation of quartz[J]. Minerals Engineering, 2021, 170:107004.
- [10] 袁铭泽, 周兴龙, 王兰华, 等. 四川某硫化铜矿浮选新药剂试验研究[J]. 矿冶工程, 2017, 37(1):46-48.
- [11] 林祥辉, 罗仁美, 刘 靖, 等. 鄂西难选铁矿的选矿与药剂研究新进展[J]. 矿冶工程, 2007(3):28-29.

引用本文: 董振海, 智 慧, 满晓霏, 等. 新型低温捕收剂反浮选齐大山选厂混磁精矿工艺研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2):52-56.

## 《矿冶工程》征订启事

《矿冶工程》(双月刊)由中国金属学会、长沙矿冶研究院有限责任公司主办, 面向国内外公开发行人。本刊是中国期刊方阵“双效期刊”、全国中文核心期刊、《中国科学引文数据库》(CSCD)及《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊、中国核心学术期刊(RCCSE), 是集学术性和技术性于一体的综合性刊物, 已被中国知网(CNKI)、万方数据库、重庆维普资讯等全文收录, 是国外多家知名检索机构的检索对象。

《矿冶工程》读者对象是采矿、选矿、冶金、材料、地质、化工等系统的有关生产人员、院校师生和管理人员。主要栏目为采矿、选矿、冶金、材料、矿冶行业企业管理等, 内容新颖, 是开拓、激发创造力的良师益友。

《矿冶工程》编辑部承接彩色、黑白及文字广告业务, 欢迎各企事业单位来电来函联络。

《矿冶工程》真诚欢迎新、老订户向全国各地邮局订阅本刊, 也可直接向编辑部订阅。邮发代号:42—58, 大16开, 定价20元/册, 全年6册共120元。

地 址: 湖南省长沙市麓山南路966号  
邮 编: 410012  
电 话: (0731)88657070/88657176/88657173  
传 真: (0731)88657186  
E-mail: kuangyegongchengzz@163.com

联 系 人: 黄小芳  
开户名称: 矿冶工程杂志(长沙)有限公司  
开户银行: 工商银行长沙左家垅支行  
帐 号: 1901013009201095502  
网 址: <http://www.kygczz.com>