

酒钢粉矿强磁工艺优化试验研究^①

张涛^{1,2}, 陈铁军^{1,2}, 展仁礼³, 陈兴^{1,2}

(1. 武汉科技大学资源与环境工程学院, 湖北武汉 430081; 2. 冶金矿产资源高效利用与造块湖北省重点实验室, 湖北武汉 430081; 3. 酒泉钢铁集团公司资源综合利用研究所, 甘肃嘉峪关 735100)

摘要: 针对酒钢0~15 mm粉矿生产中存在的精矿铁品位低、金属回收率低的问题, 进行了预选抛尾、改善磨选流程以及尾矿选择性絮凝磁种磁化强化回收试验研究。结果表明, 预选抛尾能有效抛除影响选别指标的围岩、脉石从而提高磨选原矿品位; 粗选精矿塔磨处理能减少过磨现象, 在精矿品位相近的情况下, 回收率提高了5.32个百分点; 磁选尾矿选择性絮凝磁种磁化处理能进一步提高金属回收率并降低尾矿铁品位。全流程最终可获得精矿 TFe 品位 48.29%、回收率 82.90% 的指标。扫描电镜和红外光谱表征结果表明, 苛性淀粉能在目的矿物与磁种间建立架桥, 苛性淀粉与目的矿物之间的吸附主要为化学吸附和氢键, 这使得磁性絮团中脉石矿物夹杂减少, 能在保证精矿铁品位的同时大幅提高铁回收率。

关键词: 镜铁矿; 酒钢; 预选抛尾; 过磨; 选择性絮凝; 磁种; 磁选; 铁精矿

中图分类号: TD951

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.06.018

文章编号: 0253-6099(2023)06-0083-05

Optimization of High Intensity Magnetic Separation Process for Fine Ore in JISCO

ZHANG Tao^{1,2}, CHEN Tiejun^{1,2}, ZHAN Renli³, CHEN Xing^{1,2}

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China; 2. Hubei Key Laboratory for Efficient Utilization and Agglomeration of Metallurgic Mineral Resources, Wuhan 430081, Hubei, China; 3. Iron and Steel Institute of Resource Utilization, JISCO, Jiayuguan 735100, Gansu, China)

Abstract: In view of problems such as low grade of iron concentrate and low metal recovery for 0–15 mm fine ore in JISCO by adopting high-intensity magnetic separation process, experimental researches were conducted, including pre-concentration for tailings discarding, optimization of grinding-separation process and enhancing recovery of tailings by selective flocculation and magnetic seed magnetization. The results show that, the pre-concentration can effectively discard the surrounding rock and gangues that affect the separation indices, thus improving the grade of feed to grinding and separation. Tower grinding of rough concentrate can avoid overgrinding, and the recovery of magnetic concentrate can be increased by 5.32%, while concentrates have similar grade. Selective flocculation and magnetic seed magnetization can further improve metal recovery and reduce iron grade of tailings. An iron concentrate with TFe grade of 48.29% and recovery of 82.90% can be collected over the whole process. The scanning electron microscopy and infrared spectroscopy analyses show that caustic starch can establish bridges between target minerals and magnetic seeds, and it can be adsorbed onto target minerals mainly in the forms of chemisorption and hydrogen bonding, which can reduce the inclusion of gangue minerals in magnetic flocs and improve significantly the iron recovery while ensuring the iron grade of concentrate.

Key words: specularite; JISCO; pre-concentration for tailings discarding; overgrinding; selective flocculation; magnetic seed; magnetic separation; iron concentrate

① 收稿日期: 2023-06-18

基金项目: 湖北省重点研发计划(2022BCA062)

作者简介: 张涛(1998—),男,河南信阳人,硕士研究生,主要研究方向为复杂铁矿分选。

酒钢选矿厂主要处理镜铁山桦树沟和黑沟铁矿石,矿石中铁矿物主要有镜铁矿、菱铁矿和褐铁矿,极少量磁铁矿、黄铁矿,该矿石矿物组成复杂,嵌布粒度较细,且粗细不均,属难选矿石。生产中采用竖炉焙烧-磁选工艺处理 15~100 mm 块矿,采用强磁选工艺处理 0~15 mm 粉矿。选矿厂不断总结和积累经验,对生产工艺流程及设备进行多次改进和改造,生产指标取得了长足进步,但仍然存在部分有待提高的地方。目前,从选别指标看,采用强磁选工艺处理 0~15 mm 粉矿,存在铁精矿品位低(45.50%)、金属回收率低(65.70%)、尾矿品位高(24.50%)的问题^[1];采用磁化焙烧法将顺磁性赤铁矿还原为铁磁性磁铁矿,从而通过湿式低强度磁选实现回收,磁化焙烧所需温度 700~900 ℃,直接还原所需温度大于 1 000 ℃,采用磁化焙烧存在环保压力大、成本高等问题。铁精矿质量不高一直影响着高炉的冶炼系数和焦化,回收率低导致资源未能得到充分利用,成为制约酒钢发展的重要因素^[2-4]。

导致酒钢粉矿选别指标不理想的主要原因有:镜铁矿中存在嵌布粒度细微的铁矿物,要实现这部分铁矿物与脉石矿物解离就必须细磨,酒钢现有强磁选工艺为一段球磨-磁选,易出现磨矿不足或过磨现象,即粒度分布“两端多,中间少”,这就导致磁选精矿粒度较粗,铁矿物与脉石矿物未能有效解离,精矿铁品位较低;而过磨部分铁矿物入选粒度低于强磁选机回收粒度下限^[5],大量微细粒级(-45 μm)铁矿物进入尾矿,该部分尾矿没有较好的回收方式,导致大量金属流失。本文针对酒钢粉矿现有流程存在的问题,通过预选抛尾、优化磨选流程以及尾矿选择性絮凝磁种磁化磁选对酒钢镜铁矿进行强化回收磁选试验,并分析了尾矿选择性絮凝磁种磁化的机理,可为实现酒钢粉矿无焙烧、高质量选别提供参考。

1 原矿性质

酒钢镜铁矿属于铁含量较低、硅含量较高的低品位贫矿,主要铁矿物为赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿及少量磁铁矿,主要脉石矿物为石英、白云石、重晶石等,且铁主要以赤褐铁矿形式存在,其次为碳酸铁,属于典型的弱磁性氧化铁矿。酒钢镜铁矿化学成分分析结果见表 1,原矿铁物相分析结果见表 2。

表 1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	S	P	烧失
31.43	20.91	2.13	2.62	2.93	0.88	1.33	1.23	0.020	11.55

表 2 原矿铁物相分析结果

铁物相	含量/%	分布率/%
赤褐铁矿	24.75	74.12
碳酸铁	7.05	21.11
硅酸铁	0.88	2.64
磁性铁	0.50	1.50
硫化铁	0.21	0.63
合计	32.90	100.00

2 试验方法及试验试剂

0~15 mm 粉矿经高压辊磨后矿样整体粗细均匀。高压辊磨样经筛分,0~3 mm 粉矿用于预选抛尾试验,预选粗精矿球磨至-74 μm 粒级占 81%后进行一粗一扫中强磁预提精试验,预提精精矿用不同磨矿设备磨至-45 μm 粒级占 90%后进行一粗两扫磁选,试验流程如图 1~2 所示。

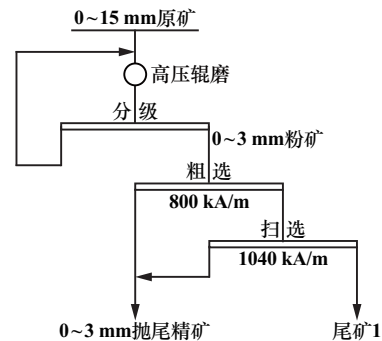


图 1 0~15 mm 粉矿预选抛尾流程

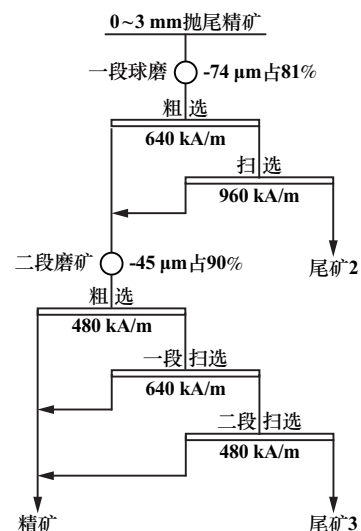


图 2 0~3 mm 抛尾精矿再磨再选流程

试验所用六偏磷酸钠(国药集团化学试剂有限公司生产,质量分数不低于 95.0%)、油酸钠(天津市光复精细化工研究所)、Fe₃O₄ 磁种(天津市大茂化学试

剂厂,TFe含量62%~70%)均为分析纯试剂;苛性淀粉为实验室自制:在500 mL去离子水中加入2.5 g玉米淀粉和0.25 g NaOH,控制搅拌转速250 r/min,用水浴锅加热至95 ℃,边加热边搅拌1 h,从水浴锅中取出继续搅拌冷却至室温,备用。

3 试验结果与分析

3.1 0~15 mm 粉矿预选抛尾试验

按图1所示流程,将制备好的0~3 mm粉矿在磁场强度800 kA/m和1 040 kA/m条件下进行一粗一扫磁选抛尾,可获得TFe品位39.79%、回收率90.56%的综合精矿,抛尾TFe品位10.42%。预选抛尾在提高入磨品位的同时,抛除了部分低品位尾矿,减少了后续磨矿的入磨量,磨矿能耗降低。

3.2 0~3 mm 抛尾精矿中强磁选预提精试验

按图2所示流程,将图1所得抛尾精矿细磨至-74 μm粒级占81%后,在640 kA/m和960 kA/m条件下进行一粗一扫中强磁选预提精,获得了TFe品位45.62%、回收率85.61%的粗精矿。粗精矿仍存在品位过低的问题,这是因为酒钢镜铁矿矿石中脉石矿物碧玉及千枚岩中有“云雾状”嵌布的少量铁矿物,该部分脉石比磁化系数较高,磁选过程中进入精矿,降低了精矿铁品位。后续对该粗精矿进行再磨再磁选处理。

3.3 粗精矿再磨再磁选试验

原矿中褐铁矿含量较高,易发生过磨现象,按图2所示流程,使用HLXMQ-240×90锥形球磨机和JM-260型塔磨机进行二段磨矿,将粗精矿分别磨至-45 μm粒级占90%后,在480 kA/m和640 kA/m条件下进行一粗一扫磁选试验,结果见表3。结果表明,塔磨-磁选和球磨-磁选最终精矿铁品位分别为50.59%和50.48%,精矿回收率分别为66.76%和61.44%,说明塔磨效果更好。

表3 粗精矿再磨再磁选试验结果

磨矿方式	产品名称	作业产率/%	TFe品位/%	作业回收率/%
球磨	粗选精矿	47.43	51.82	53.91
	粗选尾矿	52.57	39.97	46.09
	扫选精矿	32.56	46.75	38.08
	扫选尾矿	67.44	36.70	61.92
	综合精矿	48.43	50.48	61.44
塔磨	粗选精矿	54.12	50.77	60.24
	粗选尾矿	45.88	39.53	39.76
	扫选精矿	35.32	46.15	44.62
	扫选尾矿	64.68	34.93	55.38
	综合精矿	52.51	50.59	66.76

对球磨和塔磨产品进行了粒度分析,结果见表4。结果表明,塔磨处理后-38 μm微细粒级占比较球磨降低了8.16个百分点,可以减轻过磨、提升后续磁选回收率。

表4 磨矿产品粒度分布情况

磨矿方式	粒级/μm	产率/%	正累计产率/%
塔磨	-75+45	10.67	10.67
	-45+38	7.17	17.84
	-38	82.17	100.00
球磨	-75+45	7.17	7.17
	-45+38	2.50	9.67
	-38	90.33	100.00

粗精矿经二段磨矿、一粗一扫磁选后尾矿TFe品位仍高达34.93%,后续增加一段扫选,使用HDM-1030型高效脱杂(滚筒式)磁选机对该尾矿进行二段扫选,在磁场强度480 kA/m条件下,可获得TFe品位47.76%、回收率47.96%的精矿,尾矿品位降至26.68%。

对二段磨选作业所得尾矿进行了粒度分析及金属分布情况统计,结果见表5。由表5可知,一段磨选尾矿(图2中尾矿2)-45 μm粒级含量82.66%,金属分布率高达91.77%,二段磨选尾矿(图2中尾矿3)-38 μm粒级含量80.50%,金属分布率高达93.97%,粒度越细,铁品位越高,铁主要损失在细粒级中。有必要对该部分尾矿进行进一步回收。

表5 磨选流程尾矿中金属分布情况

产品名称	粒级/μm	产率/%	TFe品位/%	金属分布率/%
一段磨选尾矿	+75	7.14	10.24	3.09
	-75+45	10.20	11.92	5.14
	-45	82.66	25.09	91.77
	合计	100.00	22.60	100.00
二段磨选尾矿	+45	17.50	8.26	4.90
	-45+38	2.00	16.61	1.13
	-38	80.50	31.14	93.97
	合计	100.00	26.68	100.00

3.4 尾矿选择性絮凝磁种磁化磁选

一段磨选尾矿(尾矿2)和二段磨选尾矿(尾矿3)TFe品位分别为22.60%和26.68%,对该部分微细粒级尾矿分别进行选择性絮凝磁种磁化磁选条件试验,结果见表6。

尾矿2选择性絮凝磁种磁化磁选的适宜条件为:矿浆浓度15%、六偏磷酸钠用量100 mg/L、油酸钠用

面的作用机理,对原矿和磁种磁化磁选精矿进行了红外光谱检测,结果见图5。

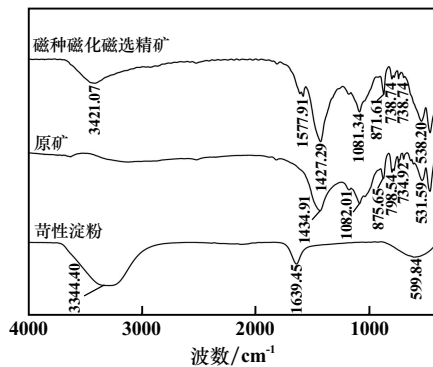


图5 原矿及磁种磁化磁选精矿红外光谱图

从图5可观察到,苛性淀粉在 3344.40 cm^{-1} 处为氢键拉伸振动吸收峰, 1639.45 cm^{-1} 处对应羰基 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动吸收峰;原矿 1082.01 cm^{-1} 处为 $\text{Fe}-\text{O}$ 键弯曲振动吸收峰, 531.59 cm^{-1} 处为 $\text{Fe}-\text{O}$ 键拉伸振动吸收峰^[8];磁选精矿在 3421.07 cm^{-1} 处新增了苛性淀粉 $\text{O}-\text{H}$ 伸缩振动吸收峰,且峰发生偏移,可能是由于氢键作用, 1082.01 cm^{-1} 和 531.59 cm^{-1} 处吸收峰分别移到 1081.34 cm^{-1} 与 538.20 cm^{-1} 处,表明矿物表面苛性淀粉的氢键减弱了 $\text{Fe}-\text{O}$ 键的振动^[9], $\text{Fe}-\text{O}$ 键参与吸附作用,且以化学吸附为主^[10]。

5 结 论

1) 酒钢镜铁矿主要铁矿物为赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿及少量磁铁矿,铁主要分布于赤褐铁矿中;预选抛尾能抛除铁品位 10.42% 的尾矿,减少后续磨选流程的处理量,磨选原矿铁品位由 31.43% 提高至 39.79% ;二段磨矿引入塔磨能有效降低过磨现象,磁选精矿回收率提高了 5.32 个百分点。

2) $0\sim 15\text{ mm}$ 原矿经预选抛尾、两段磨选、尾矿选

择性絮凝磁种磁化磁选后,最终获得了 TFe 品位 48.29% 、回收率 82.90% (作业回收率 91.54%)的铁精矿,尾矿 TFe 品位 13.70% 。

3) 扫描电镜和傅里叶红外光谱检测结果表明,苛性淀粉能选择性吸附在赤褐铁矿表面,在磁种与弱磁性矿物间形成架桥,絮团体积增大的同时磁性也逐渐增强,使微细粒矿物在较弱的磁场中也能被回收。

参考文献:

- [1] 王彩虹,李文博,涂威. 酒钢选矿厂高梯度磁选机聚磁介质优化研究与应用[J]. 矿冶工程, 2020,40(3):65-67.
- [2] 唐晓玲,陈毅琳,韩跃新,等. 酒钢粉矿悬浮磁化焙烧扩大试验研究[J]. 金属矿山, 2019(2):29-33.
- [3] 崔进兵. 镜铁矿竖炉焙烧矿粉矿干式预选及其工艺优化研究[D]. 武汉:武汉科技大学, 2018.
- [4] 张红军,雷鹏飞,王建平,等. 镜铁矿粉状铁矿低温氢还原磁化焙烧试验研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(2):92-94.
- [5] 唐晓玲. 酒钢粉矿选别工艺优化研究[J]. 金属矿山, 2010(6):63-68.
- [6] TANG M, WEN S M, TONG, X. Caustic-digested starch and its adsorption on hematite[J]. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2017,53(1):69-81.
- [7] 陈铁军,陈兴,刘伟,等. 酒钢粉矿复合团聚磁种磁化磁选试验研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(6):52-55.
- [8] Vidyadhar A, Kumari N, Bhagat R P. Adsorption mechanism of mixed cationic/anionic collectors in quartz-hematite flotation system[J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2014,35(2):117-125.
- [9] Kar B, Sahoo H, Rath S S, et al. Investigations on different starches as depressants for iron ore flotation[J]. Minerals Engineering, 2013, 49:1-6.
- [10] 温全宝,滕青,杨志超,等. 苛性淀粉对磁铁矿和金云母浮选分离的影响及机理研究[J]. 矿产保护与利用, 2020,40(2):62-69.

引用本文:张涛,陈铁军,展仁礼,等. 酒钢粉矿强磁工艺优化试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(6):83-87.