

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2021.03.021

新型外磁式磁选技术应用于复合铁矿预选试验研究

李 尧^{1,2}, 成 磊^{1,2}, 史佩伟^{1,2}, 尚红亮^{1,2}, 王芝伟^{1,2}

(1. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160;

2. 北矿机电科技有限责任公司, 北京 100160)

摘 要:复合铁矿往往含有强磁性和弱磁性矿物,采用预选抛废工艺,通过常规筒式磁选机往往不能达到比较理想的选别指标,而且存在工艺及设备运行复杂等难题。为了提高复合铁矿石的高效预选作业效率,尽量提高矿石的入磨品位,简化磨选工艺流程,减少磨选作业处理量,降低设备的生产成本,采用一种新型的磁选技术,使用单台设备便可实现不同种类矿石的梯级分选作业,解决配置复杂以及湿式磨前预选工艺,是外磁式磁选机降本增效的一种有效途径。本文在研究外磁式磁选机的分选原理及结构特点时,分析了梅山铁矿实验室指标,对筒体转速、漂洗水量以及设备倾角进行了调整,并经过现场工业试验验证,获得了精矿 TFe 品位 53.24%、尾矿 TFe 品位小于 22%,Fe 回收率 64.78% 的最佳试验分选指标。对龙桥铁矿进行了磁场强度条件试验及漂洗水量条件试验,龙桥铁矿最终获得了精矿 TFe 品位 44.36%,Fe 回收率为 94.19% 的最佳试验指标。

关键词:外磁式磁选机;预选抛废;磁场强度

中图分类号:TD924;TD951

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2021)03-0121-05

Experimental Study on Application of New External Magnetic Separation Technology in Preconcentration of Composite Iron Ore

LI Yao^{1,2}, CHENG Lei^{1,2}, SHI Peiwei^{1,2}, SHANG Hongliang^{1,2}, WANG Zhiwei^{1,2}

(1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China;

2. BGRIMM Machinery & Automation Technology Co., Ltd., Beijing 100160, China)

Abstract: The composite iron ore often contains strong magnetic and weak magnetic minerals, and the pre-selection waste disposal process is often used. Conventional cylindrical magnetic separators often fail to achieve the ideal selection index, and there are problems such as complicated process and equipment operation. In order to improve the efficient pre-selection of composite iron ore, try to increase the grade of the ore into the mill, simplify the grinding process, reduce the processing capacity of the grinding operation, and reduce the production cost of the equipment, a new type of magnetic separation technology is used, and a single equipment can be used to realize the cascade separation operation of different types of ores. It solves the complicated configuration and wet pre-grinding pre-selection process, which is an effective way of the external magnetic type magnetic separator to reduce cost and increase efficiency. In the study of the separation principle and structure characteristics of the external magnetic separator, the laboratory indexes of Meishan Iron Mine were analyzed, the drum speed, the amount of rinsing water and the equipment inclination were adjusted, and the industrial condition tests on site were carried out to obtain iron concentrate with TFe grade of 53.24% and the tailings with TFe grade of less than 22%. The recovery of Fe reaches 64.78%. The magnetic field intensity condition test and the rinsing water quantity condition test on Longqiao Iron Mine were carried out. The Longqiao Iron Mine finally obtained iron concentrate with TFe grade of 44.36% and Fe recovery of 94.19% in which the indexes are the best.

Key words: external magnet magnetic separator; pre-selection; magnetic field intensity

收稿日期:2020-05-25

作者简介:李 尧(1994-),男,河北廊坊人,硕士,助理工程师,主要从事磁选工艺及装备研究。

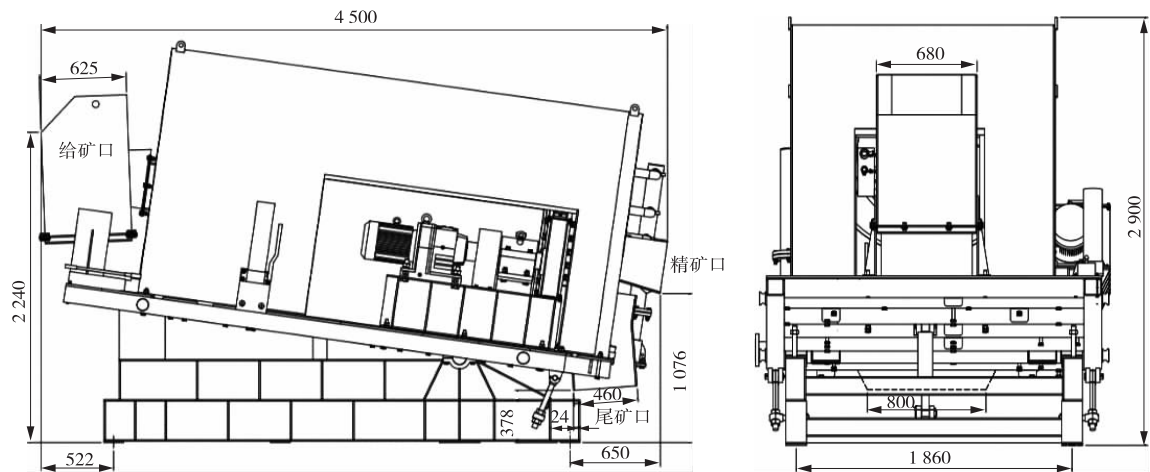


图 2 NLCT1230 外磁式磁选机结构图

Fig. 2 Structure drawing of NLCT1230 external magnetic separator

1. 2. 3 磁系

磁系结构特性:与常规筒式磁选机相比,外磁式磁选机磁系处于分选圆筒的外部,由磁轭底座支撑,外置磁系与内置磁系特征基本相似,但由于外置磁系磁极组向内挤压,磁路的闭合程度一般要比常规磁选机的磁系效果更好。磁场特性由相邻磁极的磁位差、极距、磁极端面形状以及磁极端面到其排列中心的距离等决定。关于磁系配置结构,根据分选要求,磁铁可在轴向 n/s 或者周向 n/s 交替排列,以实现在一台设备上就可以达成粗扫选作业。矿浆沿整个分选筒体进行轴向流动,整个轴向为扫选区,脱离分选液面后的周向为分选区,因此周向同极轴向异极交替利于保证精矿回收率,轴向异极交替可以得到更好的提精效果^[5]。外磁式磁选机筒体场强一般可达到 600~700 mT,对于磁铁矿、钕铁磁铁矿等强磁性的分选效果优良,如果增加一定的磁感应介质以增加磁场梯度,则对于弱磁性矿物如赤铁矿、假象赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿等将会由更好的选别效果^[6]。

2 实验室试验

实验室常用外磁式磁选机如图 3 所示,技术参数如表 1 所示。

试验矿样为采用南京某选矿厂重选分厂 0.5~2 mm 试验矿样,对其进行实验室 NLCT0607 外磁式磁选机条件试验,通过调整分选筒表磁场强度至 450 mT,筒体倾斜角度 6°,漂洗水半开状态,浓度调配至 50%左右,进行不同筒体转速条件对比试验,试验结果见表 2。

试验结果表明,随着筒体转速从 8 r/min 提高到 12 r/min,TFe 精矿品位呈现逐渐上升的趋势,抛废

率呈现逐渐上升的趋势,尾矿品位也逐渐上升;矿样通过外磁式磁选机预选最终可实现 TFe 提高幅度 26.89 个百分点,精矿 Fe 品位达到 60.01%,Fe 回收率为 60.74%,尾矿磁性铁品位降至 0.35%,抛废率达到 66.48%。



图 3 NLCT0607 型实验室用外磁筒式磁选机

Fig. 3 NLCT0607 external drum magnetic separator for laboratory

表 1 实验室用外磁磁选机技术参数

Table 1 Technical parameters of external magnetic separator for laboratory

参数	技术指标
设备型号	NLCT0607
筒体规格/mm	Φ600×700
给矿粒度/mm	18~0
给矿浓度/%	20~50
处理量/(t·h ⁻¹)	1~2
筒体转速(r·min ⁻¹)	0~26
筒表磁感应强度/mT	300~700

表2 梅山铁矿外磁预选筒体
转速条件试验结果

Table 2 Results of cylinder rotation speed
conditions tests on external magnetic
preconcentration in Meishan Iron Mine /%

转速/ (r·min ⁻¹)	产品名称	产率	品位			TFe 回收率
			TFe	mFe		
8	精矿	58.04	46.89			82.18
	尾矿	41.96	14.07	0.26		17.82
	给矿	100.0	33.12			100.0
10	精矿	41.43	54.68			68.40
	尾矿	58.57	17.87	0.29		31.60
	给矿	100.0	33.12			100.0
12	精矿	33.52	60.01			60.74
	尾矿	66.48	19.56	0.35		39.26
	给矿	100.0	33.12			100.0

3 安徽龙桥预选实验室试验指标

3.1 筒体转速条件试验

调整分选筒体磁场强度至 450 mT,筒体倾斜角度 6°,漂洗水半开状态,浓度调配至 50%左右,进行不同转速条件对比试验,试验结果见表 3。

表3 龙桥铁矿外磁预选筒体
转速条件试验结果

Table 3 Results of cylinder rotation speed
conditions tests on external magnetic
preconcentration in Longqiao Iron Mine /%

转速/ (r·min ⁻¹)	产品名称	产率	品位			TFe 回收率
			TFe	mFe	Cu	
15	精矿	81.37	42.61			95.18
	尾矿	18.63	9.43	0.43	0.104	4.82
	给矿	100.00	36.43			100.00
20	精矿	82.19	42.32			95.61
	尾矿	17.81	8.97	0.38	0.098	4.39
	给矿	100.00	36.38			100.00
25	精矿	83.17	42.11			96.06
	尾矿	16.83	8.54	0.30	0.094	3.94
	给矿	100.0	36.46			100.0

试验结果表明:1)随筒体转速提高抛废率降低,尾品降低;2)在磁场强度 450 mT 条件下,通过调整筒体转速该矿样通过外磁预选可实现抛废率 18%,提精幅度 6 个百分点,尾矿品位 TFe 为 9%、mFe<0.5%、Cu 品位 0.1%,Fe 回收率≥95%;3)外磁预选尾矿中, +0.5 mm 粒级含量约占尾矿总量的 67%,占总给矿量的 12%。

3.2 磁场强度条件试验

试验矿样来自安徽庐江地区,由安徽龙桥矿业公司委托进行磨前预选抛废试验,矿石中的主要金属元素为铜、全铁等元素。试验采用 NLCT0607 外

磁式磁选机,通过调整磁场强度的大小以及漂洗水量的大小来调节试验设备指标。固定分选筒体转速为 15 r/min,筒体倾斜角度 6°,漂洗水半开状态,浓度调配至~50%,调整不同磁场强度进行对比试验,试验结果见表 4。

表4 龙桥铁矿外磁预选场强条件试验结果

Table 4 Test results of field strength
condition of external magnetic preselection
in Longqiao Iron Mine /%

磁场强度/ mT	产品名称	产率	品位			TFe 回收率
			TFe	mFe	Cu	
450	精矿	81.37	42.61			95.18
	尾矿	18.63	9.43	0.43	0.104	4.82
	给矿	100.0	36.43			100.0
360	精矿	77.29	44.36			94.19
	尾矿	22.71	9.57	0.54	0.105	5.97
	给矿	100.0	36.40			100.0

试验结果表明:1)随分选筒体表面磁场强度降低,抛废率提高、尾矿品位增高;2)在磁场强度 360 mT、漂洗水半开条件下,该矿样通过外磁预选可获得精矿 TFe 品位 44.36%,抛废率 22.7%,精矿品位提高 8 个百分点,尾矿品位 TFe 为 9.6%、mFe 为 0.54%,Fe 回收率为 94%的试验指标。

3.3 漂洗水量条件试验

固定磁场强度为 360 mT,分选筒体转速 15 r/min,筒体倾斜角度 6°,浓度调配至 50%,调整漂洗水量进行对比试验,试验结果见表 5。

表5 龙桥铁矿外磁预选漂洗水量条件试验结果

Table 5 Results of rinsing water quantity
condition tests on external magnetic
pre-separation in Longqiao Iron Mine /%

漂洗水量	产品名称	产率	品位			TFe 回收率
			TFe	mFe	Cu	
半开	精矿	77.29	44.36			94.19
	尾矿	22.71	9.57	0.65	0.105	5.97
	给矿	100.00	36.40			100.0
全开	精矿	74.41	45.61			93.14
	尾矿	25.59	9.85	0.65	0.11	6.92
	给矿	100.0	36.44			100.0

试验结果表明:1)通过调节外磁式磁选机的漂洗水量的大小,当漂洗水量增大时,抛废率提高,精矿品位提高,尾矿品位上升;2)在磁场强度 360 mT、漂洗水全开条件下,该矿样通过外磁预选可获得精矿 TFe 品位 45.61%,抛废率 25.60%,精矿品位提高 9 个百分点,尾矿 TFe 品位 9.85%、mFe 0.65%、Cu 品位 0.11%,精矿 Fe 回收率达到 93%的试验指标。

4 工业试验应用

原选矿厂采用一粗一扫流程,原有设备为常规筒式磁选机,在设备运转过程中出现 TFe 品位高、设备作业率低等情况,但采用 NLCT1230 外磁式磁选机代替两台筒式磁选机进行分选时,可以简化磁选试验流程如图 4 所示。现场设备图见图 5。

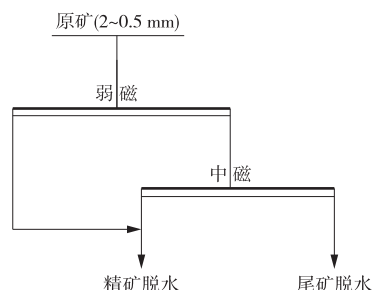


图 4 现场工艺流程

Fig. 4 Flowsheet of production on-site

在中国南京某矿业公司,为处理现场重选分厂 0.5~2 mm 粒级预选抛废的粗颗粒矿物,矿物组成主要以磁铁矿以及赤铁矿和假象赤铁矿为主,其次是菱铁矿、黄铁矿等,原矿 TFe 品位为 38.57%,分别进行筒体转速、磁场强度、漂洗水量等条件试验,可以实现精矿 TFe 品位 $\geq 53.0\%$,尾矿 TFe 品位 $\leq 22\%$ 分选指标,试验指标见表 6。

表 6 NLCT1230 外磁式磁选机
工业指标考察结果

Table 6 Investigation on industrial indexes
of NLCT1230 external magnetic separator /%

转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	产品名称	产率	TFe 品位	TFe 回收率
10	精矿	54.03	51.17	71.68
	尾矿	45.97	23.76	28.32
	给矿	100.0	38.57	100.0
12	精矿	55.63	50.42	72.73
	尾矿	44.37	23.71	27.27
	给矿	100.0	38.57	100.0
14	精矿	54.41	50.1	70.67
	尾矿	45.59	24.81	29.33
	给矿	100.0	38.57	100.0
16	精矿	55.03	53.24	64.78
	尾矿	44.97	20.67	35.22
	给矿	100.0	38.57	100.0

在采用 NLCT1230 外磁式磁选机,磁场强度为 700 mT 时,漂洗水全开,给矿浓度 30%~40%,设备倾角 8°的条件下,根据试验结果可以看出,随着筒体转速的增加,精矿品位呈现先下降后上升的趋势,在筒体转速为 16 r/min 的情况下,可以获得精矿 TFe 品位为 53.24%,尾矿 TFe 品位小于 22%的试

验指标。



图 5 NLCT1230 型外磁式磁选机现场设备图

Fig. 5 Field equipment diagram of

NLCT1230 external magnetic separator

5 结论

1)NLCT 型外磁式磁选机是一种新型的磁选机,通过筒体吸住式分选,分选时间大幅度延长,金属回收率可以得到有效保证。该磁选机对于复合铁矿具有良好的预选抛废效果,可以实现对中、弱磁性矿物的良好回收,设备结构简单,可靠性较高。

2)采用 NLCT 系列外磁式磁选机,对梅山铁矿、龙桥铁矿矿样进行实验室和现场工业试验,均取得了良好的分选指标。对于尾矿“跑粗”现象,外磁式磁选机能够完全适应,投资和运行成本较低,应用前景广泛。

参考文献

- [1] 刘正适,付文章.复合铁矿石的综合利用[J].矿产综合利用,1986(4):39-45.
LIU Zhengshi, FU Wenzhang. Comprehensive utilization of complex iron ore [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 1986(4):39-45.
- [2] 尚红亮,史佩伟,成磊,等.新型外磁式磁选设备的研制及应用[J].有色金属(选矿部分),2017(4):75-79.
SHANG Hongliang, SHI Peiwei, CHENG Lei, et al. Development and application of new type external magnet separation equipment [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2017(4):75-79.
- [3] 彭欣苓,胡永会,尚红亮,等.新型 NLCT 磁选机在某钒钛磁铁矿磨前预选中的应用[J].有色金属(选矿部分),2017(2):76-80.
PENG Xinling, HU Yonghui, SHANG Hongliang, et al. Application of new NLCT magnetic separator in pre-concentration of vanadium titano-magnetite [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2017(2):76-80.

(下转第 142 页)

- 2017(6):22-27.
- XU Longhua, WU Houqin, TIAN Jia, et al. Theoretical calculation and analysis of crystallochemical characteristic of pegmatite aluminosilicate minerals[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2017(6): 22-27.
- [11] 彭祥玉, 王宇斌, 张小波, 等. 油酸钠体系下 Mg^{2+} 对白云母的活化机理研究[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(1): 401-407.
- PENG Xiangyu, WANG Yubin, ZHANG Xiaobo, et al. Activation mechanism of Mg^{2+} on muscovite in sodium oleate system [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2017, 36(1): 401-407.
- [12] 王宇斌, 张小波, 余乐, 等. 油酸钠体系下 Pb^{2+} 对白云母的活化机理研究[J]. 非金属矿, 2016, 39(6): 15-19.
- WANG Yubin, ZHANG Xiaobo, YU Le, et al. The activation mechanism study of Pb^{2+} about muscovite in sodium oleate system [J]. Non-Metallic Mines, 2016, 39(6): 15-19.
- [13] LIU W J, ZHANG J, WANG W Q, et al. Flotation behaviors of ilmenite, titanite, and forsterite using sodium oleate as the collector [J]. Minerals Engineering, 2015, 72: 1-9.
- [14] NÁJERA J J. Phase transition behavior of sodium oleate aerosol particles [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(5): 1041-1052.
- [15] MENG Q Y, FENG Q M, OU L M. Effect of temperature on floatability and adsorption behavior of fine wolframite with sodium oleate [J]. Journal of Central South University, 2018, 25(7): 1582-1589.

(上接第 74 页)

- [7] 万宏民, 曹欢, 李小菲. 某难选高硫含铜白钨矿选矿试验研究[J]. 中国钨业, 2020, 35(1): 29-35.
- WAN Hongmin, CAO Huan, LI Xiaofei. Experimental study on beneficiation of a refractory scheelite with high sulfur and copper [J]. China Tungsten Industry, 2020, 35(1): 29-35.
- [8] 李付杰. 柿竹园钨钼铋多金属矿钨尾矿综合利用技术研究[D]. 福州: 福州大学, 2018.
- LI Fujie. Study on comprehensive utilization of tungsten tailings from Shizhuyuan tungsten molybdenum bismuth polymetallic ore [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2018.
- [9] RAN J C, QIU X Y, HU Z, et al. Effects of particle size on flotation performance in the separation of copper, gold and lead [J]. Powder Technology, 2019, 344: 654-664.
- [10] 邱丽娜, 戴惠新. 白钨矿浮选工艺及药剂现状[J]. 云南冶金, 2008(5): 12-14, 28.
- QIU Lina, DAI Huixin. Current situation of flotation technology and reagents for scheelite [J]. Yunnan Metallurgy, 2008(5): 12-14, 28.

(上接第 125 页)

- [4] 成磊, 尚红亮. 新型外磁磁选机用于某钒钛磁铁矿的预选试验 [C]//中国矿业科技文汇—2015, 成都, 2015: 155-157, 164.
- CHENG Lei, SHANG Hongliang. Preliminary test of a new external magnetic separator for a vanadium titanium magnetite [C]//China Mining Science and Technology Conference—2015, Chengdu, 2015: 155-157, 164.
- [5] 尚红亮, 史佩伟, 李国平, 等. 新型外磁式磁选机及应用[J]. 现代矿业, 2017(7): 75-77.
- SHANG Hongliang, SHI Peiwei, LI Guoping, et al. New type of external magnetic separator and its application [J]. Modern Mining, 2017(7): 75-77.
- [6] 陈俊, 张雷, 王娜. 新型外磁式磁选机对复合矿石的粗粒预选[J]. 世界有色金属, 2018(4): 299-300.
- CHEN Jun, ZHANG Lei, WANG Na. Preconcentration of complex iron ore by coarse magnetic particle separator with new external magnetic separator [J]. World Nonferrous Metals, 2018(4): 299-300.