

行波磁场磁选柱的研制与磁选实验

陈中航, 李鹏程, 赵通林, 王倩倩, 代淑娟

辽宁科技大学 矿业学院, 辽宁 鞍山 114051

中图分类号: TD457 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2025)01-0039-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2025.01.002

摘要 常规磁选柱利用脉动方波磁场产生顺序下移的磁场力来吸引磁性颗粒向下运动, 从而使磁性颗粒与脉石颗粒分开达到选分目的。由于脉动方波磁场的磁力作用方式是不连续的, 在上升水流动力较大的情况下就会导致磁选柱尾矿品位偏高。为了解决这一问题, 探讨了在保持精矿品位提高幅度不变的情况下, 改变磁选柱的供电方式, 使磁选柱的供电机制由以前的脉动方波磁场改为现在的连续行波磁场, 尽量降低磁选柱尾矿品位。由于连续行波磁场采用的是连续供电的方式, 不存在通断电瞬间的磁场力缺失状态, 因此可以确保磁性颗粒持续受力, 逐渐下移。在这一改进的基础上, 在实验室中应用常规磁选柱和行波磁场磁选柱分别处理弓长岭某铁矿经过两段磨矿之后的细筛筛下矿样, 并且对选别指标进行了比较。实验结果表明, 行波磁场磁选柱在保持精矿品位和精矿产率基本不变的情况下, 其尾矿品位较常规磁场磁选柱明显低 1~1.5 百分点。

关键词 磁选柱; 磁场强度; 磁场梯度; 脉动磁场; 行波磁场

引言

磁选柱是一种低弱磁场的磁重选矿设备, 在其选分过程中通过由电磁磁系提供的脉动磁场力与上升水流作用力相互配合, 实现对矿浆中的细粒级脉石及中贫连生体的冲刷淘洗作用, 从而达到提高精矿品位、降低杂质含量的目的^[1-2]。自从 1990 年原鞍山钢铁学院选矿教研室刘秉裕等人研制出第一台磁选柱实验设备, 并且于 1993 年进行了 $\Phi 200$ mm 磁选柱工业实验以来, 磁选柱在铁精矿提质降杂方面取得了优异的成绩^[1-2]。经过 30 年来的工业应用, 磁选柱以其独特的选别原理和优秀的选矿性能得到广大矿山企业的认可^[3-5]。

磁选柱在磁铁矿精选方面明显优于传统磁选设备的这一特点, 吸引许多专家学者进行了大量关于磁选柱的选分原理、结构形式、磁场作用、流场分析、自动化控制等方面的研究^[6-11]。所有这些研究工作, 对于深入了解磁选柱的选分原理, 提高选别效率和处理量以及优化选分指标都进行了有益的探索并且取得了一定的成果。但是在磁选柱的实际应用过程中, 关于磁选柱溢流品位偏高, 尤其是在处理嵌布粒度较细的细粒铁矿时, 磁选柱尾矿品位较高的问题一直没有得到很好解决^[12]。这一问题产生的主要原因是常规磁选柱的磁场是不连续的脉动方波磁场, 在磁场断开的

一瞬间没有磁场力作用, 这时上升水流动力就有可能把一些细粒级磁性矿粒带入到溢流产品中。有些现场技术人员尝试过减小上升水流动力来降低尾矿品位和尾矿循环量, 但是这种方法又导致精矿品位提升幅度下降无法满足生产要求, 还有一些专家在实验室采用矩形线圈来代替圆形线圈提高磁场梯度的办法来解决这个问题, 但是效果一般。本文尝试从改善磁选柱励磁方式这一角度入手, 探索用连续行波磁场代替脉动方波磁场来改变磁场作用方式, 在保持精矿品位提升幅度和精矿产率不变的情况下, 尽可能降低尾矿品位。

1 磁选柱及其磁场特征

1.1 磁选柱的结构

磁选柱结构简单, 主要由给矿斗、选分筒体、电磁系、供水管与电控装置等构成, 基本结构见图 1^[13]。

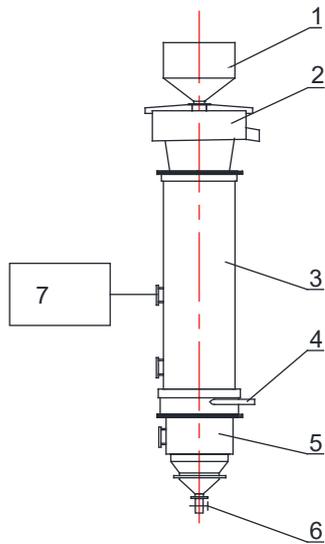
1.2 磁选柱的磁场特性

磁选柱的励磁线圈结构如图 2 所示, 其电磁磁系是由 6 个厚壁线圈组成, 其中 A 和 D, B 和 E, C 和 F 各为一组, 总共 3 组线圈, 每组两个线圈串联。在电控系统的控制下, 第一个 1/3 周期第一组线圈通电, 第

收稿日期: 2024-07-09

作者简介: 陈中航(1971—), 男, 副教授。

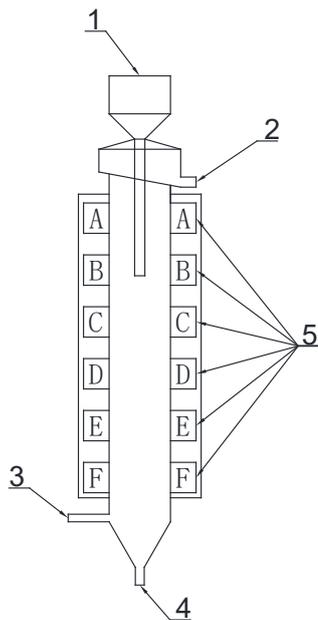
通信作者: 李鹏程(1992—), 男, 讲师, 博士。



1—给矿斗及给矿管; 2—给矿斗支架及溢流槽; 3—上分选筒、电磁系和外套; 4—主给水管(切向); 5—下分选筒、电磁系和外套; 6—精矿排矿管及阀门; 7—磁选柱电源

图 1 磁选柱结构

Fig. 1 Structure diagram of column magnetic separator



1—给矿斗及给矿管; 2—给矿斗支架及溢流槽; 3—主给水管(切向); 4—精矿排矿管; 5—三组六个励磁线圈

图 2 磁选柱电磁线圈结构

Fig. 2 Coil structure diagram of column magnetic separator

二个 1/3 周期第一组线圈断电、同时第二组线圈通电, 第三个 1/3 周期第二组线圈断电、同时第三组线圈通电从而完成一个循环周期。总体而言, 每组线圈由上至下顺序通断电, 由于磁场梯度变化从而产生向下的磁场力, 在阶段下移的磁场和磁场力的作用下, 磁性颗粒逐渐向下运动^[14-15]。

磁选柱 3 组线圈的励磁方式如图 3 所示, 其中 X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 , Z_1 , Z_2 分别外接由控制箱输入的 3 组脉动方波直流电, 在磁选柱选分空间产生脉动方波磁场。

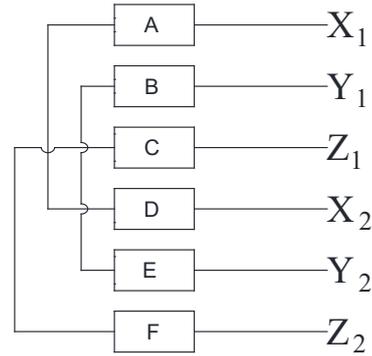


图 3 磁选柱电磁线圈励磁方式

Fig. 3 Excitation method for electromagnetic coil of column magnetic separator

2 行波磁场

2.1 行波磁场产生原理

行波磁场也称为移动磁场, 俗称直线磁场, 是由直线电机演化而来, 产生的是沿着直线运动的移动磁场。设想将旋转电机的定子顶部沿轴向剖开, 并将圆周拉直展平, 使其演变成激发行波磁场, 原来沿着圆周运动的旋转磁场变成一个朝一个方向行进的行波磁场, 见图 4。在直线电机的三相绕组中通入三相对称交流电后, 也会产生气隙磁场。不考虑由铁心两端开断所引起的纵向边端效应, 这个气隙磁场的分布情况与旋转电机的气隙磁场相似, 即可看成沿展开的直线方向呈正弦分布。当三相电流随时间变化时, 气隙磁场将按 A、B、C 相序沿直线移动。由于这个磁场不是旋转的, 而是平移的, 因此称为行波磁场。与旋转电机一样, 行波磁场激磁电源对换电源任意两相的相序, 行波磁场的行进方向也随之改变, 基于这一原理, 可以使磁性颗粒做往复直线运动或者单向直线运动^[16-18]。

2.2 圆筒形直线电机工作原理

除了上述扁平直线电机的结构形式外, 直线电机还可以做成圆筒形结构, 它也可以看作是由旋转电机演变过来的, 其演变的过程如图 5 所示。图 5a 表示一台旋转式电机以及定子绕组所构成的磁场极性分布情况; 图 5b 表示转变为扁平型直线电机之后, 初级绕组所构成的磁场极性分布情况; 将扁平电机沿着与直线运动相垂直的方向卷成圆筒形, 这样就构成了图 5c 所示的圆筒形直线电机^[19-20]。

圆筒形直线电机是一种直线运动的电机, 其原理是利用电磁力的作用, 将电能转化为机械能, 实现直线运动。圆筒形直线电机由定子和转子两部分组成。定子是由一组线圈组成的, 线圈中通以电流时, 会产生磁场。转子是由一组永磁体组成的, 永磁体的磁场

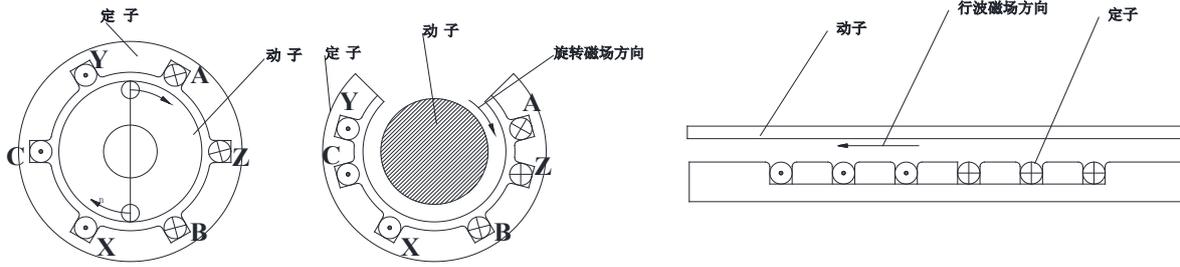


图 4 旋转磁场演变成行波磁场的原理
Fig. 4 evolution of a rotating magnetic field into a traveling wave magnetic field

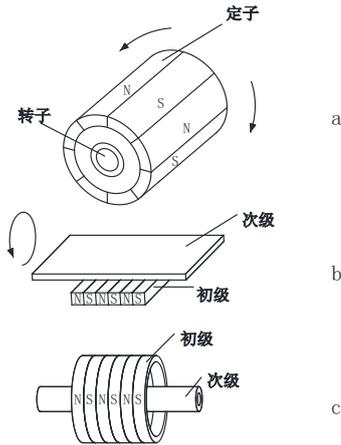


图 5 旋转电机演变成圆筒形直线电机的示意图
Fig. 5 Diagram of the evolution of a rotary motor into a cylindrical linear motor

是恒定的。当定子中通以电流时,会产生磁场,这个磁场会与转子中的永磁体磁场相互作用,产生电磁力。这个电磁力会使转子受到推动,从而实现直线运动。

2.3 行波磁场磁选柱

2.3.1 行波磁场磁选柱的结构

行波磁场磁选柱的结构示意图跟常规磁选柱的结构一样,只不过是线圈的供电方式发生改变而已。如图 1 所示。

2.3.2 行波磁场磁选柱的励磁方式

从图 5 由扁平形直线电机演变成圆筒形直线电机的过程我们可以看出,圆筒形直线电机的结构形式跟磁选柱有些相似,只要再把圆筒形直线电机的动子改为磁性颗粒,那么圆筒形直线电机就跟磁选柱完全一样。在磁选柱的三组励磁线圈中给入三相交流电,就可以产生一个圆筒形直线电机的行波磁场,调节各组励磁电流的相序就可以使行波磁场的方向向下,也就是产生一个向下移动的行波磁场,这样可以驱动磁性颗粒向下移动从而实现磁性颗粒与非磁性颗粒的分离。

类比于圆筒形直线电机,磁选柱的励磁线圈相当于圆筒形直线电机的初级,按照一定的接线方式,加

载三相正弦交流电,产生向下移动的行波磁场。被分选的磁性颗粒相当于圆筒形直线电机的次级,与行波磁场相互作用,在电磁力驱动下沿着行波运动方向下移至精矿排矿口。行波磁场磁选柱励磁绕组接线方式如图 6 所示,图 6 中 A、B、C、D、E、F 代表六个励磁线圈,X、Y、Z 代表给入的三相交流电。

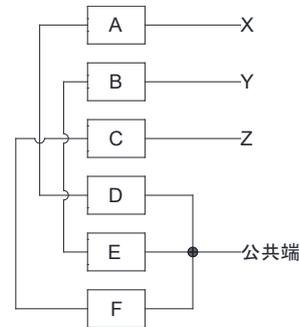


图 6 行波磁场磁选柱励磁绕组接线示意图
Fig. 6 Schematic diagram of exciting wiring for traveling wave magnetic field in column magnetic separator

2.3.3 行波磁场磁选柱的分选原理

其分选过程如下:矿浆经给矿管进入磁选柱中上部,在由励磁线圈产生的向下移动的行波磁场重力力的作用下,磁性颗粒克服上升水流动力而连续向下移动,在精矿排矿口排出。非磁性颗粒受到上升水流动力的作用克服其自身的重力向上运动,由溢流口排出成为溢流产品。

从分选过程来看,常规磁选柱的励磁线圈产生的是脉动方波磁场,给入三组励磁线圈的电流是断续的方波电流,磁场力方向顺序下移。磁性颗粒经过多次团聚—分散—团聚后下移成为精矿,在磁团聚分散的过程中,磁场力对磁团聚的破坏作用要强一些,导致精矿品位较高,而有一部分磁性颗粒在没有受到磁场力作用的一瞬间,可能进入溢流槽成为尾矿,导致尾矿品位偏高。而行波磁场磁选柱给入三组励磁线圈的电流是三相正弦交流电,产生的是连续不断的行波磁场,在分选过程中,由于磁场力持续作用到磁性颗粒上,对磁团聚的破坏作用偏小,但是对磁性颗粒的捕收作用较强,从而导致尾矿品位较低。

从某一组线圈给入的励磁电流波形来看,常规磁

选柱的磁场是脉动方波磁场,如图 7a 所示,对于单独一组线圈来说,在一个励磁周期之内,只有 1/3 周期是通电的,其余 2/3 周期处于断电状态。而行波磁场磁选柱的磁场是正弦波磁场如图 7b 所示,很明显,行波磁场磁选柱的激磁电流是连续分布的,整个励磁周期都处于通电状态。

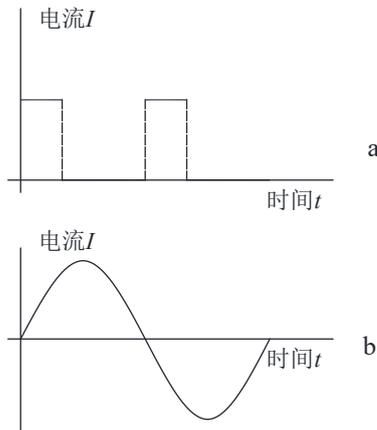


图 7 磁选柱一组线圈激磁电流波形
Fig. 7 Wave diagram of exciting current for a set of coils in a column magnetic separator

3 行波磁场磁选柱的选别实验

弓长岭某选矿厂所处理的矿石为磁铁矿,该矿石的组成矿物种类较简单,铁矿物主要是磁铁矿,其次为赤铁矿和菱铁矿;脉石矿物以石英居多,其次是长石、云母、白云石、方解石、闪石、辉石和滑石等;金属硫化物为少量黄铁矿,偶见磁黄铁矿。

本次实验所用矿样取自弓长岭地区,化学多元素分析结果见表 1,铁物相分析结果见表 2。

表 1 原矿化学多元素分析结果 /%
Table 1 Results of chemical multielement analysis of raw ore

元素	TFe	FeO	SiO ₂	CaO	MgO
含量	31.45	16.16	45.55	2.18	2.22
元素	Al ₂ O ₃	MnO	烧失	S	P
含量	2.35	0.15	0.69	0.13	0.056

表 2 原矿铁物相分析结果 /%
Table 2 Results of iron phase analysis of raw ore

铁物相	铁含量	铁分布率
全铁	29.46	100.00
磁铁矿	22.06	74.88
碳酸铁	2.45	8.32
硅酸铁	4.95	16.8
假象、半假象赤铁矿	/	/
赤、褐铁矿	/	/

由表 1 可知,样品中 TFe 含量为 31.45%,脉石矿物主要为含铝、硅、钙、锰等元素的氧化物,有害杂

质 S、P 含量不高。

由表 2 可知,铁矿物以磁铁矿为主,占全铁比例为 74.88%,而硅酸铁和碳酸铁分布率较高,占全铁比例达到 25.12%。

应用行波磁场磁选柱选别的矿样为经过两段磨矿之后的细筛筛下产品(筛孔尺寸 0.09 mm),矿样中 -0.074 mm 含量为 75% 左右,主要是单体磁铁矿颗粒、中、贫连生体及单体脉石颗粒,磁铁矿解离度达到 90% 左右,矿样中的磁铁矿大部分单体解离。

实验设备为小型实验室 $\Phi 50$ mm 磁选柱,每次实验选别时间为 3 min 左右,每次实验处理量为 200 g/min,给矿质量浓度 50%,操作参数主要是激磁电流和上升水流速度。由于常规磁选柱的磁场变换周期和行波磁场磁选柱的磁场激磁频率不具有可比性,因此这一因素暂时没有作为操作参数来进行对比试验。另外,行波速度应该是一个较重要的操作参数,由于实验条件限制,无法进一步来研究行波速度的影响,因此本次实验只进行了 50 Hz 工频频率下的选别实验。

首先进行了上升水流变化的单因素实验,分别选取三个操作条件进行实验:(1)激磁电流强度 $I=2.0$ A,上升水流速度 $W=20$ mL/s;(2)激磁电流强度 $I=2.0$ A,上升水流速度 $W=22$ mL/s;(3)激磁电流强度 $I=2.0$ A,上升水流速度 $W=24$ mL/s。选别结果见表 3。

表 3 上升水流速度变化单因素选别试验结果 /%
Table 3 Single factor separating test results of rising water velocity variation

操作条件	产品	产率	TFe品位	回收率
$I=2.0$ A $W=20$ mL/s	精矿	74.55	65.86	79.22
	尾矿	25.45	50.61	20.78
	给矿	100.00	61.98	100.00
$I=2.0$ A $W=22$ mL/s	精矿	68.47	66.63	73.61
	尾矿	31.52	51.87	26.39
	给矿	100.00	61.98	100.00
$I=2.0$ A $W=24$ mL/s	精矿	62.47	67.54	68.07
	尾矿	37.53	52.73	21.93
	给矿	100.00	61.98	100.00

从表 3 实验结果可知,随着上升水流速度的增加,精矿品位、尾矿品位均增加,而精矿回收率降低,尾矿回收率增加。显然,上升水流速度增加,导致一些细粒级的单体磁铁矿颗粒以及贫连生体进入尾矿,因此尾矿品位、尾矿回收率都增加。综合考虑品位和回收率这两个因素,确定第二个条件是比较合适的操作参数,因此选定 $W=22$ mL/s 为最佳上升水流速度。

固定上升水流速度为 $W=22$ mL/s,进行了激磁电流强度变化的单因素试验,分别选取三个操作条件进行试验,(1)激磁电流强度 $I=1.5$ A,上升水流速度 $W=22$ mL/s;(2)激磁电流强度 $I=2.0$ A,上升水流速度 $W=22$ mL/s;(3)激磁电流强度 $I=2.5$ A,上升水流速度 $W=22$ mL/s。选别结果见表 4。

表 4 激磁电流强度变化单因素选别实验结果 /%

Table 4 Single factor separating test results of excitation current intensity variation

操作条件	产品	产率	TFe品位	回收率
$I=1.5\text{ A}$ $W=22\text{ mL/s}$	精矿	66.40	66.77	71.53
	尾矿	33.60	52.51	28.47
	给矿	100.00	61.98	100.00
$I=2.0\text{ A}$ $W=22\text{ mL/s}$	精矿	68.47	66.63	73.61
	尾矿	31.52	51.87	26.39
	给矿	100.00	61.98	100.00
$I=2.5\text{ A}$ $W=22\text{ mL/s}$	精矿	69.06	66.58	74.18
	尾矿	30.94	51.71	25.82
	给矿	100.00	61.98	100.00

从表 4 实验结果来看,随着激磁电流的增加,精矿品位、尾矿品位都降低,精矿回收率增加,而尾矿回收率降低。把激磁电流和上升水流速度这两个影响因素相比,上升水流速度的影响是比较大的,其次是激磁电流强度,这一结论无论是对脉动磁场磁选柱还是对行波磁场磁选柱都适用,这是由磁选柱的选分原理和结构特点决定的。由表 3、表 4 的实验结果可见,行波磁场磁选柱在保持上升水流速度 $W=22\text{ mL/s}$ 的情况下,在 1.5~2.5 A 范围内改变激磁电流强度对选分结果影响不大,精矿 TFe 品位基本在 66.65% 左右,尾矿 TFe 品位基本在 51%~52% 之间。

在实验室应用相同规格的常规磁选柱处理同一矿样,在保持精矿品位提高 5~6 百分点、精矿产率 70% 左右不变的情况下,其尾矿品位一般为 52%~53% 左右。对比数据如表 5 所示。从两种磁选柱的选别实验结果可以看出,在实验室应用行波磁场磁选柱处理该矿样,在保持精矿产率和精矿品位提高幅度不变的情况下,尾矿品位显著降低 1~1.5 百分点,尾矿品位变化比较明显。

表 5 两种磁选柱选别指标对比 /%

Table 5 Comparison of separating indexes for two types of column magnetic separator

磁选柱	精矿产率	精矿品位	尾矿产率	尾矿品位
常规磁选柱	68.48	66.15	31.52	52.91
行波磁场磁选柱	68.47	66.63	31.53	51.87

4 结论

(1)跟常规磁选柱的脉冲方波励磁方式相比,行波磁场励磁方式更具有优异的磁场特性,主要表现为能够产生连续不断的移动磁场,从而保证磁性颗粒连续受到磁场力作用,有利于提高磁性颗粒的捕收效率。

(2)行波磁场磁选柱的供电机制比较简单,可以直接接入三相交流电,通过交流调压器改变电压大小从而控制磁场强度,而不必像常规磁选柱那样接入交流电源后通过整流桥把交流电变换为直流电。因此简化了磁场控制步骤,控制过程比较简单。

(3)应用行波磁场磁选柱进行的选分实验表明,行波磁场磁选柱的溢流品位明显较常规磁场磁选柱要低 1~2 百分点,尾矿品位变化比较明显。

(4)应用行波磁场磁选柱进行的选分实验表明,行波磁场磁选柱选分效果较常规磁选柱的选分效果要稍好一些,但是一些具体实验调节参数还需要继续完善,比如行波周期以及行波频率对选分效果的影响还没有进行深入研究,这是我们今后研究的重点内容。

参考文献:

- [1] 梁治安,夏青,伍红强.我国几种磁选设备的发展和应[J].金属矿山,2017(2):128-134.
LIANG Z A, XIA Q, WU H Q. Development and application of several magnetic separation equipment in China[J]. Metal Mine, 2017(2): 128-134.
- [2] 陈婉晴,李明宇,万家国,等.高频筛与磁选柱组合在某选矿厂铁精矿提质增产中的作用研究[J].现代矿业,2021(2):94-98.
CHEN W Q, LI M Y, WAN J G, et al. The Effect of high frequency sieve and magnetic separation column combination on improving quality and increasing production of iron concentrate in a concentrator[J]. Modern Mining, 2021(2): 94-98.
- [3] 李博琦,谢贤,纪翠翠,等.鞍山地区贫磁铁矿选矿工艺试验[J].矿产综合利用,2020(4):93-99.
LI B Q, XIE X, JI C C, et al. Experimental study on mineral processing technology of lean magnetite in Anshan area[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(4): 93-99.
- [4] 徐冬林,王长艳,侯鹏程,等.鞍山千磁铁矿石选矿短流程优化试验[J].金属矿山,2020(11):79-83.
XU D L, WANG C Y, HOU P C, et al. Mineral processing optimization test of magnetite ores in Anqian with short process[J]. Metal Mine, 2020(11): 79-83.
- [5] 刘缘,孟令轩,赵博等.弓长岭某贫磁铁矿磁选短流程工艺试验[J].现代矿业,2023(11):133-136.
LIU Y, MENG L X, ZHAO B, et al. Test on short process of magnetic separation of a lean magnetite ore in Gongchangling[J]. Modern Mining, 2023(11): 133-136.
- [6] 刘秉裕,朱巨建.磁选柱的磁场和分选原理[J].矿冶工程,1997,17(6):31-34.
LIU B Y, ZHU J J. Field characteristic and separation mechanism of a column magnetic separator[J]. Mining and Metallurgy Engineering, 1997, 17(6): 31-34.
- [7] 袁志涛,郑龙熙.脉冲振动磁场磁选柱的研制与试验[J].金属矿山,2001(3):36-38.
YUAN Z T, ZHENG L X. Development and experiment of magnetic separation column with pulsed vibrating magnetic field[J]. Metal Mine, 2001(3): 36-38.
- [8] 张洛睿,郭小飞,任伟杰,等.磁选柱中螺线管型磁系的模拟优化研究[J].金属矿山,2021(10):162-167.
ZHANG M R, GUO X F, REN W J. Simulation and optimization of solenoidal magnetic system in magnetic separation column[J]. Metal Mine, 2021(10): 162-167.
- [9] 朱殿兵,朱巨建,赵通林.磁选柱结构改进及优化研究[J].中国矿业,2016,25(5):121-123+128.
ZHU D B, ZHU J J, ZHAO T L. Study on the structure improvement and optimization of magnetic separation column[J]. China Mining Magazine, 2016, 25(5): 121-123+128.
- [10] 钱程.淘洗机内部矿浆流场形态分析与结构改进设计[D].沈阳:沈阳工业大学,2019.
QIAN C. Shape analysis and structure improvement design of pulp

- flow field inside the washing machine[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2019.
- [11] 倪娟. 磁选柱自动控制系统研究与应用[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- NI J. Research and application on the automation control system for magnetic column[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019.
- [12] 陈中航, 陈广振, 赵通林, 等. 板石选矿厂磁选柱尾矿离心机再选试验[J]. 金属矿山, 2012, 436(10): 79-81.
- CHEN Z H, CHEN G Z, ZHAO T L, et al. Experimental research of the re-concentration on the tailings of column magnetic separator by centrifugal separator in Banshi dressing Plant[J]. Metal Mine, 2012, 436(10): 79-81.
- [13] 赵通林, 陈中航, 陈广振. 磁选柱的分选特性分析与实践应用[J]. 矿产综合利用, 2013(6): 15-17.
- ZHAO T L, CHEN Z H, CHEN G Z. Characteristic analysis and application of the separation of magnetic separation column[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2013(6): 15-17.
- [14] 安春燕, 费冬妹, 刘文会, 等. 浅谈有关磁选柱的相关研究[J]. 山东工业技术, 2015(16): 1. DOI:CNKI:SUN:SDGJ.0.2015-16-196..
- AN C Y, FEI D M, LIU W H, et al. Research on magnetic separation column[J]. Shandong Industrial Technology, 2015(16): 1. DOI:CNKI:SUN:SDGJ.0.2015-16-196.
- [15] 王泰安. 淘洗机磁场强度及其对分选效果影响关系研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2019.
- WANG T A. Study on the relationship between magnetic field intensity of elutriation machine and its influence on separation effect[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2019.
- [16] 叶云岳. 直线电机原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 4-13.
- YE Y Y. Principle and application of linear motor[M]. Beijing: China Machine Press, 2000: 4-13.
- [17] 王莹, 肖峰. 电炮原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995: 93-98.
- WANG Y, XIAO F. Principle of electric gun[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1995: 93-98.
- [18] 叶云岳. 新型直线驱动装置与系统[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 4-20.
- YE Y Y. New linear drive device and system[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2000: 4-20.
- [19] 吴军, 王文生, 高福祥, 等. 圆筒形交变行波磁场除铁装置的研究[J]. 金属矿山, 1995(4): 46-49.
- WU J, WANG W S, GAO F X, et al. Study on the drum tramp-iron separator with alternating travelling magnetic field[J]. Metal Mine, 1995(4): 46-49.
- [20] 吴军, 王文生, 郑龙熙, 等. 圆筒型三相交流磁选机去除耐火材料中铁杂质的研究[J]. 硅酸盐学报, 1998, 26(6): 407-410.
- WU J, WANG W S, ZHENG L X, et al. Experimental study on removal of iron in refractory by three-phase A C magnetic separator[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1998, 26(6): 407-410.

Development and Experiment of Column Magnetic Separator with Travelling Wave Magnetic Field

CHEN Zhonghang, LI Pengcheng, ZHAO Tonglin, WANG Qianqian, DAI Shujuan

School of Mining, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051, China

Abstract: Conventional column magnetic separator used pulsating square magnetic field to generate sequential downward magnetic force to attract magnetic particles, so as to separate magnetic particles from gangue particles to achieve the purpose of beneficiation. Due to the discontinuous magnetic action of pulsating square wave magnetic force, higher tailings concentration and larger tailings circulation would produced when the upward water flow force were increased. In order to solve this problem, the power supply mode of column magnetic separator is changed from pulsating square wave magnetic field to continuous traveling wave magnetic field, so as to reduce the grade of tailings as much as possible. On the basis of this improvement, the conventional column magnetic separator and the column magnetic separator with traveling-wave magnetic field were applied to process the fine sieve samples of a magnetite after two grinding in the laboratory, and the separation indexes were compared. The test results showed that the tailing grade of the column magnetic separator with traveling-wave magnetic field was obviously 1 ~ 1.5 percentage points lower than that of the column magnetic separator with pulsating square wave magnetic field, while the concentrate grade and fine mineral yield were basically unchanged.

Keywords: column magnetic separator; magnetic field strength; magnetic field gradient; pulsating magnetic field; traveling wave magnetic field

引用格式: 陈中航, 李鹏程, 赵通林, 王倩倩, 代淑娟. 行波磁场磁选柱的研制与磁选实验[J]. 矿产保护与利用, 2025, 45(1): 39-44.
CHEN Zhonghang, LI Pengcheng, ZHAO Tonglin, WANG Qianqian, DAI Shujuan. Development and experiment of column magnetic separator with travelling wave magnetic field[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2025, 45(1): 39-44.