

新型开放磁系永磁筒式强磁选机的研制与应用*

成磊^{1,2}

(1. 北京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:以 COMSOL 仿真优化了开放磁系磁场力 HgradH 模型, 设计了基于开放磁系小极面排斥磁极布置的强磁磁路结构, 使筒表分选区磁场强度可达到 800 mT 以上, 试验结果表明, 与常规开放磁系永磁筒式磁选机相比, 新型开放磁系永磁筒式强磁选机分选某细粒铬铁矿、钛铁矿, 回收率分别提高了 34.11%、16.99%, 说明该新型磁选机更有利于细粒弱磁性矿物的回收。

关键词:小磁极极面; 排斥磁极布置; 永磁强磁选机; 铬铁矿; 钛铁矿

中图分类号:TD457 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0076(2019)02-0014-04

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.02.004

Research of High Gradient Permanent Magnetic Drum Separator with Open Magnetic Circuit

CHENG Lei^{1,2}

(1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China; 2. BGRIMM Machinery & Automation Technology Co. Ltd., Beijing 100160, China)

Abstract: The model of HgradH represented magnetic force in open magnetic system is optimized with COMSOL. Based on open magnetic circuit, a high field strength magnetic circuit is created with small magnetic pole width and repelling magnetic pole arrangement. Magnetic field intensity of drum surface can reach at 800 mT. The experiment showed that this new permanent magnetic separator with high magnetic field strength can achieve a higher recovery of 34.11% and 16.99% when separating some chromite and ilmenite, than conventional open magnetic system permanent magnet drums type magnetic separator. It turns out that the original type magnetic separator is more suitable for separating fine grain chromite and ilmenite.

Key words: small magnetic pole width; repelling magnetic pole arrangement; permanent magnetic separator with high magnetic field strength; chromite; ilmenite

永磁筒式磁选机是目前金属矿山中分选磁铁矿等强磁性矿物的主要设备, 具有处理能力大、设备可靠性高等优点, 目前针对永磁筒式磁选机的研究集中在磁路参数优化、设备大型化和专用化等方向^[1-2]。而常规永磁筒式磁选机受制于传统开放式磁路结构的限制, 分选区域磁场强度较难达到 600 mT, 且分布极不均匀, 磁极中心对应磁筒表面处的磁场强度 < 500 mT, 难以实现对细粒铬铁矿、钛铁

矿、石榴子石等弱磁性矿物的捕收和分选, 限制了其在细粒微细粒弱磁性矿石分选领域的发展。

北京矿冶科技集团有限公司通过磁路优化设计, 研制了一种开放磁系周向排斥磁极永磁筒式磁选机, 筒表分选区磁场强度平均可达 800 mT 以上, 开发了干式磁选机和湿式磁选机两种模式, 试验证明可以实现对细粒弱磁性矿石的分选, 具有很好的推广价值。

* 收稿日期: 2018-11-23

基金项目: 北京矿冶科技集团公司科研基金项目(JDCX18-0302-03)

作者简介: 成磊(1988-), 男, 工程师, 硕士。

1 排斥磁路模型及理论基础

常见的永磁筒式磁选机开放磁路结构见图 1 所示,为提高磁场强度在相邻两个异极主磁极 a 和 b 之间增加辅助磁极 c,辅助磁极磁化场和 a 与 b 之间构成的磁路磁化场相叠加,构成外部开放空间的磁选力场。根据基尔霍夫磁场定律,永磁静态磁路的基本方程为^[3]:

$$\Phi = B_m A_m = K_f B_g A_g \quad (1)$$

$$F = -H_m L_m = K_r H_g L_g \quad (2)$$

其中,Φ、F—总磁通量、总磁动势;

K_f 、 K_r —漏磁系数及磁阻系数,磁阻系数 K_r 变化很小,一般取 1.1 ~ 1.3;

B_m 、 H_m 、 A_m 、 L_m —永磁体磁通密度、磁场强度、沿磁路方向横截面积和高度;

B_g 、 H_g 、 A_g 、 L_g —分别为工作气隙的磁感应强度、磁场强度、横截面积和长度。

由式(1)和式(2)得,永磁磁路工作空间的磁感应强度可以表示为:

$$B_g^2 = (-H_m B_m) \frac{A_m L_m \mu_0}{A_g L_g K_f K_r} \quad (3)$$

其中 $H_m B_m$ —永磁体磁能积。

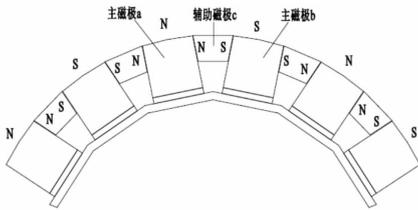


图 1 常规永磁筒式磁选机开放磁路结构
Fig. 1 Open magnetic circuit of the common permanent magnetic separator

根据式(3),在磁选机磁筒直径保持不变的前提下,同等磁性材料高度和形成同等磁系扇面下,工作气隙的横截面积越小和长度越短,磁感应强度越高。因此,当磁路中磁极极面宽度及极距越小时,磁路路径和横截面积越小,近磁系表面处产生的磁感应强度越高。但同时由于磁力线路径变短,磁场作用深度越小,近磁系表面处的强磁场沿磁筒径向衰减很快,磁场深度减小^[4]。在辅助磁极宽度及厚度、主磁极厚度均相当的情况下,利用 COMSOL 仿真了主磁极宽度/辅助磁极宽度的比值变化对近磁系表面某一分选弧面上最大磁场力的影响,如图 2 所示。

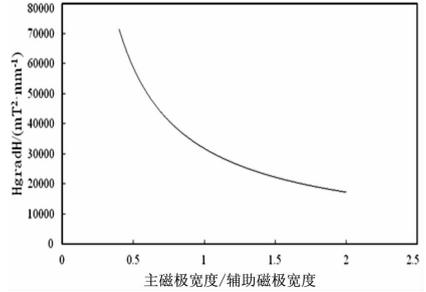


图 2 主磁极与辅助磁极宽度比例对分选面上最大磁场力的影响

Fig. 2 The influence of proportion of the main magnetic pole and auxiliary pole width made on maximum magnetic force

从图 2 可以看出,随着主磁极宽度的减小,峰值磁场力逐渐升高,即为了使磁筒表面具有较高的磁场力以实现微细粒弱磁性矿物捕收,磁极宽度不宜过大。

基于小极面排斥磁极布置的强磁磁路结构如图 3 所示,磁极极面比传统磁路减小 50% 以上,同时采用主磁极比辅助磁极宽度小的结构,保证主磁极中心对应分选区域处的磁场强度,辅助磁极与主磁极采用 N 极对 N 极、S 极对 S 极的布置形式(排斥磁极布置)。

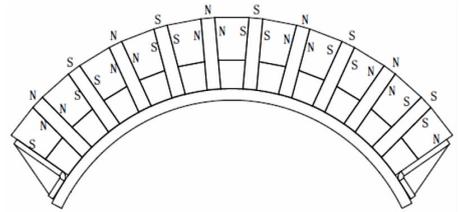


图 3 基于小极面排斥磁极设计的强磁磁路结构

Fig. 3 High field strength magnetic circuit based on the small pole width and repelling magnetic pole arrangement

2 开放磁系永磁筒式强磁选机结构特性

研发的开放磁系永磁湿式强磁选机整机包括磁筒、分选槽体、给矿箱、漂洗水箱、卸矿刮板和卸矿水管、机架及传动部件等。由于磁筒表面磁场力大,磁场深度小,该磁选机采用矿浆直接给到磁筒表面强磁区的设计,磁性颗粒随筒体旋转往上带至磁筒后部无磁区域由卸矿刮板和卸矿水管卸掉,非磁性颗粒随矿浆往下流至分选槽体内,最终由尾矿出口流出。整机结构如图 4 所示。

干式开放磁系永磁筒式强磁选机整体结构采用一般干选磁选机的干抛形式^[5],精尾矿采用分矿隔

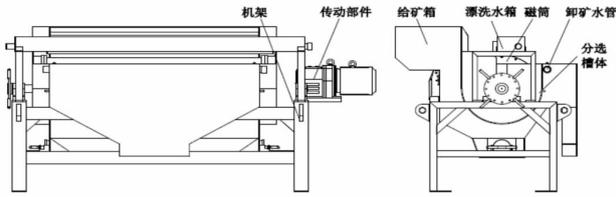


图4 开放磁系永磁湿式强磁选机

Fig.4 Wet high magnetic field strength magnetic separator with the open magnetic system

板和分选箱体分开收集,实行精-中-尾矿三产品分选模式时采用2个分矿板分别隔开精矿和中矿、中矿和尾矿。

在 COMSOL 仿真环境下,以磁筒直径 $\Phi 400$ mm 规格强磁选机磁系结构为模型,仿真了开放磁系永磁筒式强磁选机分选空间的磁场强度,其变化曲线如图 5 所示。从仿真结果看,永磁强磁选机筒体表面的磁场强度可达 800 ~ 900 mT,但磁场深度极小,距离筒表 15 mm 处的磁场强度衰减为 180 ~ 250 mT,可见这种强磁选机的强磁分选区域集中在筒表附近,因此湿式磁选机采用矿浆直接给到磁筒表面有利于弱磁性矿物捕收。

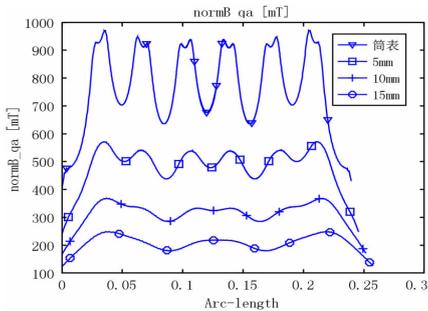


图5 开放磁系永磁筒式强磁选机磁场强度变化曲线

Fig.5 The magnetic field intensity curve of the high magnetic field strength magnetic separator with open magnetic system

3 分选试验研究

一些弱磁性矿物如铬铁矿、钛铁矿、石榴子石等矿物比磁化系数低,不足磁铁矿的 1/10,常规开放磁系结构的永磁筒式磁选机分选区磁场力低,难以实现对弱磁性矿物良好捕收。采用新研制的开放磁系永磁筒式强磁选机,进行了相关弱磁性矿物分选试验研究,并与常规开放磁系永磁筒式磁选机进行了对比试验。

3.1 铬铁矿分选试验

采用开放磁系永磁筒式强磁选机进行了国外某 -0.074 mm 细粒铬铁矿回收试验,该矿样中主要含

有铬铁矿、透辉石、角闪石、长石、云母以及极少量的磁铁矿,采用一粗一扫工艺,选定最佳设备条件后进行了试验。保持给矿量、给矿浓度等条件不变,采用 600 mT 高场强常规磁系筒式磁选机进行了对比试验,二者对比试验结果见表 1 所示。

表1 国外某铬铁矿试验数据

Table 1 The test data of the some foreign chromite

试验设备	产品 /%	产率 /%	Cr ₂ O ₃ 品位 /%	Cr ₂ O ₃ 回收率 /%
排斥磁极永磁强磁选机	精矿	28.02	44.25	44.88
	尾矿	71.98	21.16	55.12
	给矿	100.00	27.63	100.00
常规开放磁系筒式磁选机	精矿	6.72	44.30	10.77
	尾矿	93.28	26.43	89.23
	给矿	100.00	27.63	100.00

从试验数据看,采用一粗一扫工艺,利用小极面周向排斥磁极永磁强磁选机分选细粒铬铁矿,原矿 Cr₂O₃ 品位 27.63% 经选别,精矿 Cr₂O₃ 品位可达到 44.25%,精矿产率达到 28.02%,回收率 44.88%,具有很好的精选效果。而采用常规开放磁系筒式磁选机,由于磁场梯度小,筒表附近分选区磁场力低,精矿产率仅 6.72%,Cr₂O₃ 回收率仅 10.77%,尾矿 Cr₂O₃ 品位相比原矿 Cr₂O₃ 品位变化不大,说明采用常规开放磁系筒式磁选机,Cr₂O₃ 未能得到良好分选。

3.2 钛铁矿分选试验

强磁选是选别钛铁矿的主要工艺^[6-7],承德地区某选厂对 -0.6 mm 选铁尾矿进行 TiO₂ 回收,采用三段螺旋溜槽分选,TiO₂ 精矿品位约 38.74%,螺旋溜槽精矿经周向排斥磁极永磁筒式强磁选机一粗一扫工艺分选,最终精矿 TiO₂ 品位可达到 44.20%,产率 73.48%,回收率为 83.84%,精选效果显著,同时采用同等场强的常规筒式磁选机,进行对比试验,结果见表 2 所示。

表2 承德地区某钛铁矿试验数据

Table 2 The test data of the some ilmenite from Chengde

试验设备	产品 /%	产率 /%	TiO ₂ 品位 /%	TiO ₂ 回收率 /%
排斥磁极永磁强磁选机	精矿	73.48	44.20	83.84
	尾矿	26.52	23.60	16.16
	给矿	100.00	38.74	100.00
常规开放磁系筒式磁选机	精矿	59.14	43.78	66.85
	尾矿	40.86	31.42	33.15
	给矿	100.00	38.73	100.00

由表 2 可知,采用常规磁极极面的开放磁系筒式磁选机,由于磁场力低,尾矿 TiO_2 品位高达 31.42%,精矿 TiO_2 品位 43.78% 略低于周向排斥磁极设计的强磁选机分选指标,回收率指标比周向排斥磁极设计的强磁选机低 16.99%,主要是由于常规筒式磁选机不仅磁场力低,而且磁极数少,磁翻转次数少,精矿夹杂严重。

4 结论

(1) 基于小极面排斥磁极设计的永磁强磁选机,磁极极面比传统磁路减小 50% 以上,采用主磁极比辅助磁极宽度小的结构,保证主磁极中心处磁场强度,辅助磁极与主磁极采用 N 极对 N 极、S 极对 S 极的布置形式(排斥磁极布置)。

(2) COMSOL 磁场仿真表明,新研制的永磁强磁选机筒体表面磁场强度可达 800 ~ 900 mT,但磁场深度极小,强磁分选区域集中在筒表附近,因此湿式磁选机采用矿浆直接给到磁筒表面有利于弱磁性矿物捕收。

(3) 试验表明:基于小极面排斥磁极设计的永磁强磁选机,相比常规开放磁系筒式磁选机,更有利

于弱磁性矿物如铬铁矿、钛铁矿的捕收和分选。

参考文献:

- [1] 汪建新,王浩,王飞. 永磁筒式磁选机开放式磁路的仿真分析[J]. 金属矿山,2018(8):127-131.
- [2] 王芝伟,宗金彪,史佩伟,等. 粗粒分选大型磁选机的研制与工业试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2013(S1):219-221.
- [3] 王常任. 磁电选矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1986:142-153.
- [4] 成磊,尚红亮. 混合型铁矿在开放磁路高梯度磁场中的磁场力分析与验证[J]. 有色金属(选矿部分),2018(4):78-81.
- [5] 王芝伟,胡永会,尚红亮,等. 干式筒式磁选机联用技术研究及实践[J]. 有色金属(选矿部分),2018(2):82-86.
- [6] 刘建国,张军,汤玉和. 重、磁预选工艺在几种典型钛铁矿选矿工艺中的应用[J]. 矿产保护与利用,2018(1):96-100.
- [7] 孟聪,李丽匣,申帅平,等. 某钛铁矿分级磁选分级浮选试验研究[J]. 矿产保护与利用,2017(1):60-63.

引用格式:成磊. 新型开放磁系永磁筒式强磁选机的研制与应用[J]. 矿产保护与利用,2019,39(2):14-17.

CHENG Lei. Research of high gradient permanent magnetic drum separator with open magnetic circuit[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(2):14-17.