

立式永磁精选机的结构分析及试验研究

李玉凤^{1,2}, 杨峰涛¹

(1. 华北理工大学, 河北 唐山 63009; 2. 河北工业大学, 天津 300401)

摘要: 随着大规模的工业开采, 高品位铁矿石日益稀缺, 为了保证铁精矿的供应需求, 目前贫矿已经成为铁矿石的主要来源, 但是传统的选别设备分选效率不高, 不能充分有效地将铁矿物与脉石矿物进行分离, 因此本文为解决上述问题, 研制了一种新型的立式永磁精选机, 探讨该立式永磁精选机在矿物进行分选过程中能充分有效地将铁矿物与脉石矿物分离出来, 用永磁磁选机取代电磁磁选机, 提高分选指标的同时, 又能达到节能降耗的目标, 并通过一系列选别试验以验证这种新型立式永磁精选机的磁选效果。论文通过介绍这种磁选机的结构、磁系特点和分选原理, 并对司家营铁矿进行选别试验研究。结果表明, 在给矿铁品位为 60.97% 时获得精矿铁品位 66.02%, 精矿回收率 99%, 尾矿品位为 7.05%, 得到了较为理想的合格产品, 达到了工业生产的要求。该立式永磁精选机装置分布合理, 选别效果良好, 在实际运用中有发展前景。

关键词: 立式永磁精选机; 结构分析; 磁场特性; 铁精矿

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.01.006

中图分类号: TD951

文献标志码: A

文章编号: 1000-6532 (2018) 01-0026-06

随着大规模的工业开采, 高品位铁矿石日益稀缺, 为了保证铁精矿的供应需求, 部分矿山开始逐渐放宽开采边界品位指标, 贫矿已经成为主要来源, 同时也致使许多围岩等脉石矿物混入其中。因此这就要求一些选矿设备不仅能将脉石矿物抛出, 而且还能充分地将铁矿物从矿石中提取出来, 但是传统的选别设备并不能很好的解决这个问题。因为其分选效率不高, 不能充分有效地将铁矿物与脉石矿物分离出来, 造成有用矿物的流失和夹杂, 部分脉石矿物混入精矿中影响精矿铁品位, 部分铁矿物混入到尾矿中导致铁损失增加^[1]。本文为解决上述问题, 研制了一种新型的立式永磁精选机, 并通过一系列选别试验验证了这种新型立式永磁精选机的磁选效果。

1 结构和分选原理

1.1 立式永磁精选机的结构

立式永磁精选机, 包括溢流槽、溢流管、进

料管、旋流进水管、滑动轴承进水管、底防堵冲料管、胶管阀、固定永磁系、顺流转动的筒体、屏蔽磁场的带状结构和电控柜构成。溢流槽与溢流管连通位于精选机上部, 进料管与槽体连通, 胶管阀位于精选机的底部用来调节底流大小, 并且在胶管阀上部设有底防堵冲料管, 在下部轴承处专门设有滑动轴承净水管, 槽体内固定的永磁磁系及磁系外可顺流转动的筒体。物料经进料管沿切线方向给入槽体, 槽体中心设有固定的永磁磁系, 围绕磁系的包角是 360°, 外面包裹有能够顺流转动的筒体, 筒体内衬上分布有均匀的带状结构, 可以起到屏蔽磁场的作用。

1.2 立式永磁精选机的分选原理

分选过程: 给矿由上部的进料管沿着槽体切线给入, 在离心力与重力联合的机械力作用下矿粒呈螺旋状向下运动。由于磁系外为可顺流转动的筒体, 筒体内衬上分布有均匀的可以起到屏蔽磁场作用的带状结构, 因此随着筒体的转动, 槽

收稿日期: 2016-09-07; 改回日期: 2016-10-12

作者简介: 李玉凤 (1972-), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事矿产资源综合利用、环境管理与可持续发展等方面的研究。

通讯作者: 杨峰涛 (1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事矿业工程方面的研究工作。E-mail: 459264017@qq.com。

体内分选空间呈现出磁场有无的交替分布状态。在分选过程中磁性颗粒因为受到这种交替磁场作用,使得磁性矿物在分选过程中不断地产生团聚、分散、再团聚的运动状态,最终磁性矿物的磁翻滚次数增加,再辅加以多道旋流进水管冲出的漂洗水,进入团聚体中的脉石矿物得以脱离团聚体,在重力作用下,磁性团聚体由底流排出,而非磁性矿物在上升水流作用下由溢流排出,从而铁矿物与非磁性矿物得以最终分离。

1.3 立式永磁精选机的特点

- (1) 与传统的电磁磁选机相比,立式永磁磁选机具有节能环保的优点,磁筒表面无屏蔽层处磁感应强度 60mT,有屏蔽层处磁感应强度 0.4 mT。
- (2) 磁系由 N、S 磁极交叉分布而成,且磁极全部用铁氧体材料制作。纵向磁性的交替变化,使得物料能得到充分地磁性翻滚而分离。
- (3) 磁系包角为 360°,大于普通永磁磁选机的包角,选别过程延长,有利于精矿品位提高。
- (4) 立式永磁精选机内部装配有均矿装置和冲水管,这两个装置使得物料能够在槽体内均匀分布。

2 试验研究

2.1 矿石性质

试样取自滦县司家营铁矿选矿流程中的 III 磁精矿作为给矿。原矿化学多项分析结果见表 1,铁物相分析结果见表 2。由表 2 可以看出,磁铁矿是该给矿中的主要含铁矿物,占 97.11%;其次是赤褐铁矿,分布率为 1.79%。

表 1 给矿主要化学成分分析结果 / %
Table 1 Chemical analysis results of feed

TFe	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	P ₂ O ₅
60.97	1.06	18.13	0.6	0.52	0.09	0.05

表 2 原矿铁物相分析结果
Table 2 Analysis results of iron phase

项目	磁铁矿	菱铁矿	赤褐铁矿	硅酸铁	全铁
含量 / %	59.21	0.06	1.09	0.61	60.97
分布率 / %	97.11	0.10	1.79	1.00	100.00

2.2 磨矿细度试验

为了确定原矿的较佳磨矿细度,在保证分选结果能达到指标的前提下,尽量缩短磨矿时间,

节约磨矿成本和能耗 [2]。

研究采用 1 次粗选的流程来进行磨矿细度对精矿、尾矿指标影响,结果见图 1。

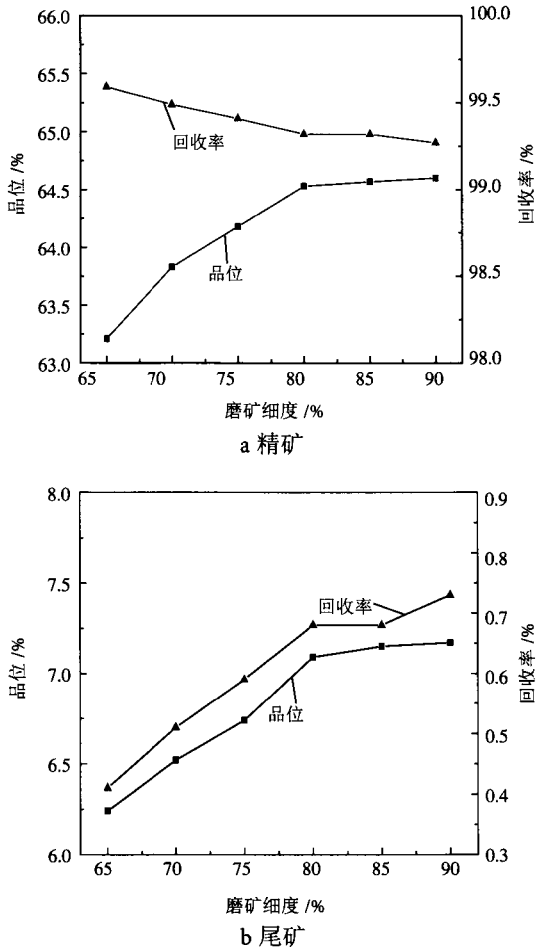


图 1 磨矿细度对指标的影响

Fig.1 Effect of grinding fineness on the index

由图 1 可知,在磨矿细度不断升高时,精矿、尾矿品位均有提升。这是由于磨矿细度增加,铁矿物解离度上升,被捕获磁性颗粒增多,致使产品中的铁含量增加;但是磨矿过细对提高精矿品位并没有太大的作用 [3]。考虑成本和试验技术指标,磨矿细度选择 -0.044 mm80% 为宜。

2.3 冲洗水量试验

冲洗水量的大小主要影响着精矿选别的质量以及矿物颗粒的分选粒度,对试验指标产生影响。对于参与选别的矿石颗粒,减小冲洗水量会使得精矿质量降低;反之,可提高精矿质量。

在磨矿细度 -0.044 mm80%,给矿量为 170 g/s,精矿流量为 200 g/s,筒体转速为 20 r/min,考查冲洗水量对选分指标的影响,试验结果见图 2(a, b)。

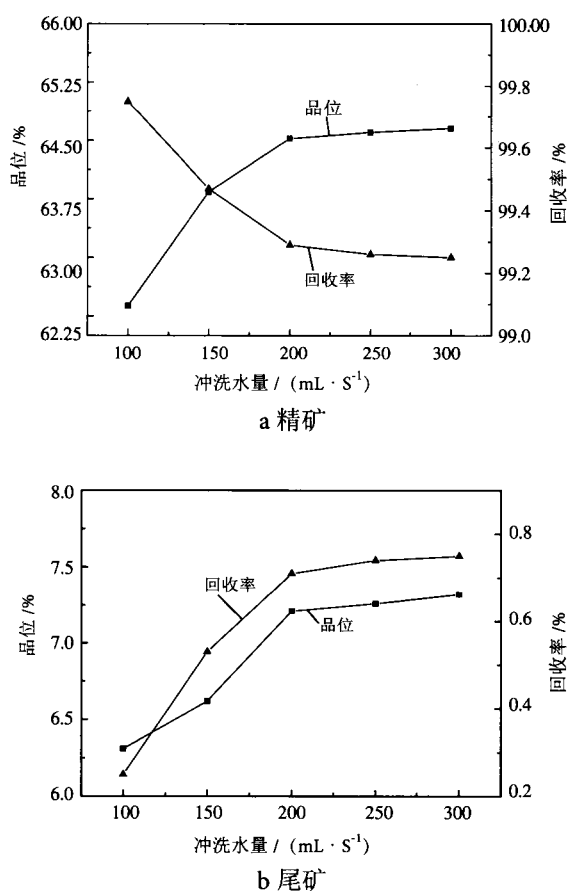


图2 冲洗水量对指标的影响

Fig.2 Effect of flushing water on the index

从图2 (a,b) 中可看出, 冲洗水量对于尾矿的回收率是一个重要的影响因素, 因为冲洗水量越大, 矿浆黏度越小, 流速越大, 有利于磁性矿物颗粒和脉石矿物颗粒的分离, 夹杂在精矿中的脉石颗粒所受的流体拖曳力大于磁场力^[4], 因此会被上升水流冲入溢流口, 从而使精矿铁品位升高, 回收率变小。因此兼顾考虑综合的因素, 冲洗水量在 200 mL/s 左右效果最好, 在之后的系列试验中, 冲洗水量选择 200 mL/s 。

2.4 精矿流量试验

精矿流量指的是立式永磁精选机每秒钟排出的精矿质量。因为立式永磁精选机的铁精矿从底流排出, 而胶管阀控制着精矿流量的大小, 因此精矿流量对于精矿的回收率是一个重要的影响因素, 精矿流量低, 较细的非磁性颗粒会粘附到磁性颗粒的表面而不能完整分离, 进而影响到精矿品位。但是精矿流量太高则会导致矿物在设备中分选时间减少, 不能充分分离。另外, 精矿流量

过大也会造成水资源和矿物的浪费^[5]。因此, 合适的精矿流量对提高分选效果有较大的作用。

在磨矿细度为 -0.044 mm 80%, 筒体转速为 20 r/min , 冲洗水量为 200 mL/s , 给矿量为 170 g/s , 探究精矿流量对分选指标的影响, 试验结果见图3 (a, b)。

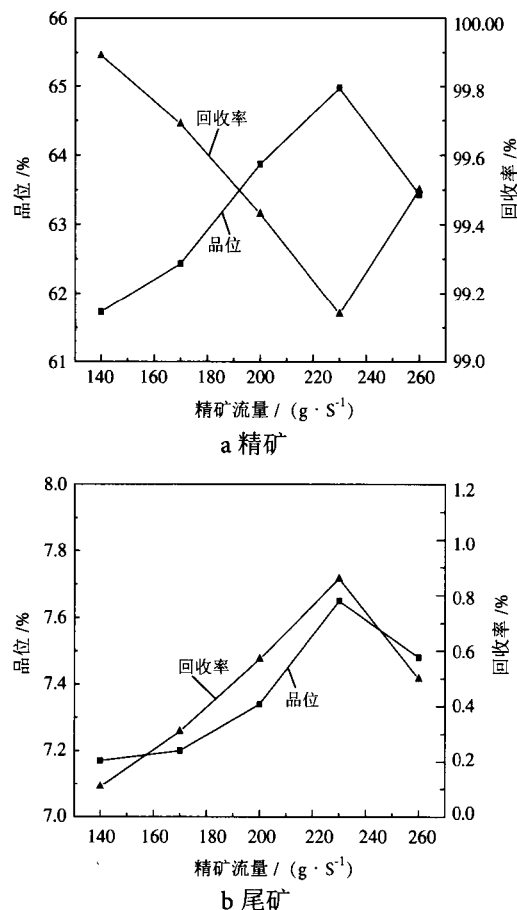


图3 精矿流量对指标的影响

Fig.3 Effect of concentrate flow on the index

由上图可以看出, 在试验中不断增加精矿流量, 精矿品位先持续上升后开始下降。这是因为当精矿流量较低时, 矿浆中的磁性颗粒有着充足的分选时间, 能够与给矿中的脉石颗粒较好的进行分离。同时大量夹杂在精矿中的脉石颗粒被上升水流冲入溢流口, 因此精矿回收率较低。当调节的精矿流量大于 230 g/s 后, 矿浆中有些磁性颗粒因为分选时间短, 使得表面粘附有非磁性颗粒没有回收, 进而导致精矿铁品位下降以及回收率升高。因此兼顾考虑综合的因素, 确定精矿流量在 200 mL/s 左右效果最好。

2.5 给矿量试验

给矿量的大小对于矿物的选别是一个重要的影响因素, 当给矿量少时, 其精矿铁品位较低, 精矿回收率高; 给矿量大, 会使得精矿铁品位升高和精矿回收率下降, 能耗增加^[6]。因此, 合适的给矿量对提高分选效果有较大的作用。

在磨矿细度为 -0.044 mm 为 80%, 筒体转速为 20 r/min , 冲洗水量为 200 ml/s , 精矿流量为 230 g/s 。进行给矿量试验, 试验结果见图 4 (a, b)。

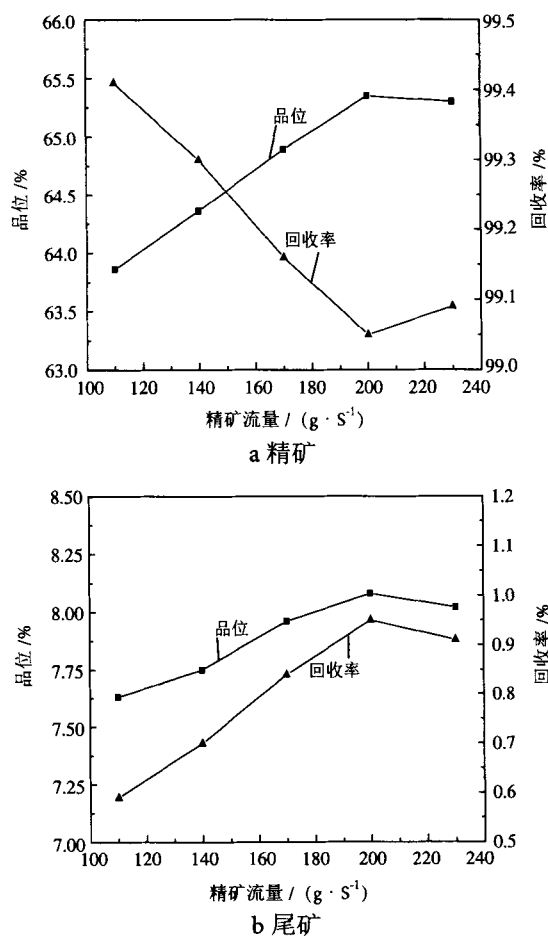


图 4 给矿量对指标的影响

Fig. 4 Effect of ore feeding amount on the index

从图中可看出, 给矿量对于精矿的回收率是一个重要的影响因素, 因为精矿流量和冲洗水量一定, 给矿量越大, 矿浆粘度越大, 会间接地使增加磁选的时间, 有利于磁铁矿和脉石矿物的分离, 使得夹杂在精矿中的脉石颗粒能够比较顺利地随上升水流冲入溢流口, 从而使精矿品位越高, 相应的回收率也会变小。如果给矿量太大, 也会使得磁选设备对矿物颗粒的处理不充分, 从而使

得精矿中铁品位降低。因此兼顾考虑综合的因素, 给矿量为 200 g/s 左右效果最为理想, 在之后的系列试验中, 给矿量定为 200 g/s 。

2.6 筒体转速试验

永磁磁系主要是对磁性颗粒起着吸引力的作用, 筒体转速会对精矿产生重要影响, 筒体转速不仅影响着矿浆中磁性颗粒与磁块接触的次数, 同时还会对矿浆在设备中的运动状态产生作用, 间接地影响到矿物颗粒的受力情况。转速太低时, 磁性颗粒受到的磁力次数少从而不容易受力脱出^[7]; 转速太高, 筒体转速越快, 精矿在分选时所受到的磁力次数越多, 矿物颗粒的翻滚概率越大, 非磁性颗粒越容易脱离精矿被抛出, 但是会导致设备负荷和磨损增多。因此, 合适的转速对分选效果的提高有较大的影响。

在磨矿细度 -0.044 mm 80%, 给矿量为 200 g/s , 冲洗水量为 200 ml/s , 精矿流量为 230 g/s , 进行筒体转速的试验, 试验结果见图 5 (a, b)。

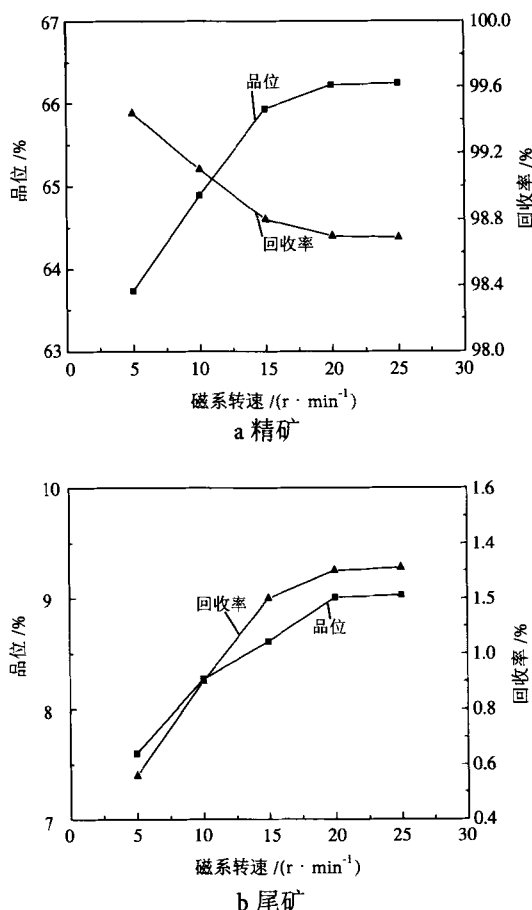


图 5 筒体转速对指标的影响

Fig. 12 Effect of rotary speed of rotary drum on the index

筒体转速对分选效果影响,主要体现在精矿的回收率与品位上面^[8]。在试验中不断提高筒体转速,精矿品位一直持续上升直至平缓。当筒体转速不高时,磁性颗粒在分选时收到的磁力次数少以及矿物颗粒的翻滚概率小,同时矿浆受到的搅拌力不大,这样就大大减少了矿物颗粒与磁块的接触机会,磁性颗粒不能从原矿中充分脱离出来,品位和精矿产率较低。当筒体转速持续升高,矿物的选别效果有所改善。但是当筒体转速过快的時候,矿浆受到的搅拌力增加,这就导致矿物中的磁性颗粒与磁块的接触时间减少,其余磁性颗粒或因所受的磁力小于矿浆的冲力而使得不能被吸附到磁块上^[9],而是被甩入尾矿当中。因此精矿品位提升幅度不大,精矿产率和精矿回收率下降。兼顾考虑综合的因素,筒体转速定为 20 r/min。

2.7 最佳条件试验结果

在磨矿细度 -0.044 mm 80%, 给矿量为 200 g/s, 冲洗水量为 200 ml/s, 精矿流量为 230 g/s, 筒体转速为 20 r/min 的最优条件下, 进行选别试验, 结果见表 3。

表 3 最优条件试验结果

Table 3 Optimal condition test results

产品名称	品位/%	产率/%	回收率/%
精矿	66.02	91.44	99.00
尾矿	7.05	8.56	1.00
原矿	60.97	100.00	100.00

由表 3 可知, 在最优条件下, 精矿铁品位上升到 66.02%, 精矿铁回收率 99%, 尾矿品位为 7.05%, 得到了较为理想的合格产品。

4 结 论

(1) 该立式永磁精选机装置分布合理, 磁系材料采用铁氧体, 运用聚磁技术进行磁路设计,

磁系包角 360°, 磁场分布均匀。由于采用的是永磁材料, 与传统的电磁磁选机相比, 具有节能的优势。

(2) 通过条件试验, 确定磨矿细度 -0.044mm 80%, 给矿量为 200 g/s, 冲洗水量为 200 mL/s, 精矿流量为 230 g/s, 筒体转速为 20 r/min 的较优条件。

(3) 对司家营铁矿在最优条件下进行选别试验, 在给料铁品位 60.97% 时, 精矿铁品位为 66.02%, 回收率 99%, 尾矿品位为 7.05%, 得到了较为理想的合格产品, 达到了工业生产的要求。该立式永磁精选机选别效果良好, 在实际应用中有发展前景。

参考文献:

- [1] 张卫星. 难选鲕状铁矿石选矿工艺及机理研究 [D]. 江西理工大学, 2012.
- [2] 杨久流. 内蒙某地石榴石选矿工艺研究 [J]. 有色金属, 2002 (04) :95-98.
- [3] 魏延涛. 云南某选锡尾矿综合回收有价矿物的试验研究 [D]. 江西理工大学, 2009.
- [4] 高太. 永磁强磁预选及永磁高梯度磁选技术研究 [D]. 沈阳东北大学, 2012.
- [5] 张雨田, 宋翔宇, 李荣改, 等. 西北某复杂铜铅锌银多金属矿选矿工艺研究 [J]. 矿冶工程, 2011 (03) :66-69.
- [6] 霍涛. 鞍山式磁铁矿磁浮选柱分选试验研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [7] 郝广华. 热压烧结型磁性磨粒的性能研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2013.
- [8] 史佩伟, 王小明, 梁殿印. 旋流磁力分选机的研究及应用 [J]. 矿冶, 2012 (03) :70-73+78.
- [9] 程琳琳. 莱芜铁矿尾矿铁资源综合利用试验研究 [D]. 青岛: 青岛理工大学, 2006.

Structural Analysis and Experimental Study of Vertical Permanent Magnetic Separator

Li Yufeng^{1,2}, Yang Fengtao¹

(1. North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China;

2. Hebei University of Technology, Tianjin, China)

Abstract: With the large-scale industrial exploitation, high-grade iron ore is being increasingly scarce. In order to ensure the balance of the supply and need of iron ore the current poor ore has become the main source of iron ore. But the traditional sorting equipment sorting efficiency is not high, and cannot effectively separate iron ore and gangue minerals. Therefore, in order to solve the above problems, this paper develops a new type of vertical permanent magnet selection machine, which explores the separation of iron minerals from gangue minerals in the process of mineral sorting come out. With the permanent magnet magnetic separator replacing the electromagnetic magnetic separator improves the sorting index at the same time, achieves energy saving goals, and through a series of selected tests to verify the new vertical magnetic selection machine magnetic effect. In this paper, the structure, magnetic system and sorting principle of this magnetic separator are introduced, and the experiment is carried out. The results show that the grade of concentrate is 66.02%, the recovery rate of concentrate is 99% and the tailings grade is 7.05% when the grade of ore is 60.97%. The qualified product is obtained and the requirements of industrial production are achieved. The selection device of vertical permanent magnet machine is proper, the sorting effect is good, and it is promising in the practical application.

Keywords: Vertical permanent magnetic separator; Structural analysis; Magnetic field characteristics; Iron ore

////////////////////////////////////
(上接 73 页)

Research on Flotation Separation Technology of Pyrophyllite-type Low-grade Pyrite Ore

Zhao Kaile^{1,2}, Yan Wu¹, Chen Bingyan¹, Liao Xiangwen¹, Gu Guohua², Liu Nengyun¹

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resource, CAGS, Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Key Laboratory of Multipurpose Utilization of Vanadium-titanium Magnetite of Ministry of Land and Resources, Chengdu, Sichuan, China;

2. School of Resource Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha, Hunan, China)

Abstract: A Pyrite ore in Guangxi province is a refractory pyrophyllite-type low-grade one, and the primary grain size of pyrite in the ore is small, which is mixed with clay minerals. Based on the characteristics of ores, a new technique of "enhanced decentralized selective inhibition-full-grain flotation" was developed, the easy floating pyrophyllite clay can be effectively selectively suppressed, and the collection effect of fine grained pyrite is strengthened, so that the breakthrough of obtaining high grade sulfur concentrate products in this kind of pyrite is realized, and the industrial application prospect is broad.

Keywords: Pyrite; Pyrophyllite; Fine pyrite; Flotation separation