

煤炭加工与环保



移动扫码阅读

樊盼盼,董连平,刘翼洲,等.磁力煤泥重介旋流器分选密度强化作用研究[J].煤炭科学技术,2020,48(3): 227-231. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.03.028

FAN Panpan, DONG Lianping, LIU Yizhou, *et al.* Study on separation density enhancement of magnetic-slime dense medium cyclone[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(3): 227-231. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.03.028

磁力煤泥重介旋流器分选密度强化作用研究

樊盼盼¹,董连平²,刘翼洲²,骆灿金²,连经利²,陈忠钰²,樊民强²

(1.太原理工大学 煤科学与技术教育部与山西省重点实验室,山西 太原 030024;

2.太原理工大学 矿业工程学院,山西 太原 030024)

摘要:为了提高煤泥重介旋流器分选效果,丰富调控手段,以实验室磁力复合煤泥重介旋流器为研究对象,针对现阶段磁力旋流器励磁方式-空心线圈电磁场,以低碳钢为材料进行了附加磁路结构设计,实现了旋流器分选区磁场的靶向引导与强化。采用有限元模拟分析软件 ANSYS 对设计磁路进行磁场特性仿真分析,得到附加磁路结构可改变分选作用区磁场形态,提高磁场强度的结论,线圈中心最大磁场强度由无磁路时的 4 102 A/m 提高到大聚磁环作用下的 4 930 A/m,内聚磁结构因其特殊的结构设计达到 14 418 A/m。基于磁场仿真结果,对比进行了不同磁路磁场特性下纯磁铁矿粉介质分配试验和-3 mm 粗煤泥重介质分选试验,得到不同磁场强度下纯磁铁矿粉底流、溢流分配规律及粗煤泥分选规律。试验结果表明,相比于无磁路磁场,外聚磁磁路结构不改变底流、溢流介质分配规律的总体趋势;内聚磁结构对磁场积聚作用强,磁场强度高,溢流悬浮液密度较空心线圈降低,底流悬浮液密度较空心线圈升高,精煤、尾煤灰分较空心线圈均有所上升,得到内聚磁结构可强化提高煤泥重介旋流器分选密度的结论。通过对磁力旋流器磁场附加磁路,为磁力旋流器磁场设计提供了一种新方法,为分选效果磁调控方法提供了一种新思路,对优化磁力旋流器磁场特性,充分发掘磁场在煤泥重介旋流器分选工艺的应用潜力、丰富复合力场分选理论具有一定的理论与实践意义。

关键词:重介旋流器;分选密度;粗煤泥;分选效果;复合力场

中图分类号:TD94 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2020)03-0227-05

Study on separation density enhancement of magnetic-slime dense medium cyclone

FAN Panpan¹, DONG Lianping², LIU Yizhou², LUO Canjin², LIAN Jingli², CHEN Zhongyu², FAN Minqiang²

(1.Key Laboratory of Coal Science and Technology & Ministry of Education and Shanxi Province, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2.College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to improve the separation effect of a slime dense medium cyclone and enrich its control methods, taking magnetic-slime dense medium cyclone as a research object, considering the coil excitation mode of a now used magnetic cyclone, an additional magnetic structure made of low carbon steel material was designed to realize magnetic field targeted guidance and enhancement in the cyclone. The magnetic field simulation was analyzed by FEM analysis software ANSYS, and got the conclusion that the additional magnetic structure could change the magnetic field pattern in the separation area and enhance magnetic field intensity. The maximum magnetic field intensity in the center of the coil increased from 4 102 A/m without magnetic circuit to 4 930 A/m with a large magnetic concentrating ring, and the cohesive magnetic structure achieved 14 418 A/m because of its special structure design. Based on the simulation results, the magnetite powder distribution test and -3 mm coarse coal slime separation test under different magnetic field characteristics were tested and compared, and also obtained the magnetite and coarse coal slime distribution rule under different magnetic field intensity. The experimental results showed that, compared with the magnetic field without magnetic circuit, the external magnetic circuit structure would not change the

收稿日期:2019-10-21;责任编辑:代艳玲

基金项目:山西省应用基础研究资助项目(201801D221337);国家自然科学基金资助项目(51274148,51874208)

作者简介:樊盼盼(1986—),男,河北石家庄人,讲师,博士研究生。Tel:0351-6010381,E-mail:fpp0313@126.com

distribution trend of underflow and overflow magnetite, and the coherent magnetic structure had a strong accumulation effect on magnetic field and increased the magnetic field intensity. For this reason, the overflow medium density decreased and underflow medium increased, the ash content of clean and tailing coal increased compared that without magnetic circuit, it got the conclusion that the cohesive magnetic structure could enhance the separation density of a slime dense medium cyclone. By adding a magnetic circuit to a cyclone, a new method and a new idea were provided for magnetic field design and separation effect control. It has a certain theoretical and practical significance for optimizing the magnetic field characteristics of a magnetic cyclone, and also, it's of great value to fully explore the potential application of magnetic field in the separation process of slime dense medium cyclone, and enrich the separation theory of compound force field.

Key words: dense medium cyclone; separation density; coarse coal slime; separation effect; compound force field

0 引言

随着采煤机械化水平的逐步提高及开采地质条件的逐渐恶化,入选原煤细粒级含量越来越高^[1-2]。而高处理量大直径旋流器的广泛使用^[3],以及对高选择性浮选技术的重视^[4-5],使得重介质分选与浮选间的有效分选粒度缝隙更加明显,此粒度缝隙即行业内所指粗煤泥。在诸多针对粗煤泥分选设备中,煤泥重介旋流器可有效衔接重选与浮选间的粒度缺口^[6],但在运行过程中由于受主选重介旋流器工况影响较大,介质悬浮液密度不易控制,实际运行效果并不理想^[7]。因此,如何提高煤泥重介旋流器分选效果是各选煤厂亟需解决的重要问题。

随着磁场技术的发展,国内外专家学者逐渐将磁场技术拓展应用于煤泥重介旋流器,马亭亭等^[8]报道了在重介旋流器筒体段分别设置薄线圈和厚线圈来调节分选密度的初步研究成果;樊盼盼等^[9-11]通过对旋流器磁场的进一步研究,完善了煤泥重介旋流器分选密度双向调控方法论。以上研究均以改变电流强度调节磁场特性,调节方法较单一,而机电领域则常以附加磁路改变磁场特性^[12]。李瑞川等^[13]提出的磁路结构,提高了传感器的灵敏度与线性度;杨小龙等^[14]设计的磁路结构,对磁性液体的密封设计具有重要参考意义。生物医学领域,通过磁路导向使纳米磁性药物靶向附着,提高了药物疗效^[15]。柴兆赞等^[16]在重介旋流器外部施加附加磁路的磁场发生器,提高了其理论分选密度。由此可见,利用磁路改变磁场特性亦是研究方向之一。

针对磁力旋流器的磁路设计与应用,国内外未有详细报道。借鉴以上研究思路,笔者在现有磁力煤泥重介旋流器空心线圈基础上,通过磁路设计进行磁场靶向引导,实现旋流器分选区磁场改性与强化,为充分发掘磁场在煤泥重介旋流器分选工艺的应用潜力提供理论基础,为旋流器磁路设计提供借鉴。

1 磁路设计及试验方法

1.1 磁路设计

为提高磁路导磁性,磁路材料选择低碳钢,借鉴磁选环柱聚磁筛网作用原理^[17-18],将导磁磁路与空心线圈套装。根据磁路结构与线圈相对位置关系,分别定义为外聚磁结构和内聚磁结构。外聚磁结构,即聚磁结构位于励磁线圈外部,将励磁线圈整体或部分包络起来,按包络范围大小,分别定义为聚磁板、小聚磁环和大聚磁环,如图1a、图1b、图1c所示;内聚磁结构如图1d所示。聚磁结构插入到线圈内部,对线圈内部磁场形态产生影响。

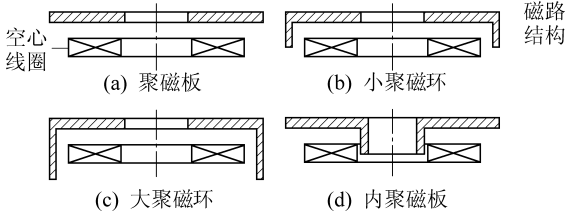


图1 不同磁路结构及与线圈相对位置
Fig.1 Different magnetic circuit structure and relative position with the coil

1.2 试验方法

通过 ANSYS 有限元分析法^[19]模拟研究不同聚磁磁路磁场分布特点。在磁力煤泥重介旋流器分选系统上,通过对空心线圈安装磁路结构,研究不同磁场强度与磁路结构下磁铁矿粉介质分配规律及粗煤泥分选规律,以分选效果综合评定磁路结构对旋流器的影响作用。

2 试验结果与分析

2.1 磁路模拟

由于磁场解析表达式较为复杂,为从理论上揭示磁路的施加对磁场分布的影响作用,借助 ANSYS 有限元仿真分析法为通电线圈的磁场设计提供直观的指导和分析。所建模型结构与模型参数设置下,模拟仿真结果与实测值及计算值吻合度高^[20],因此,模拟方法能够较真实反映所用线圈磁场特性。

以空心线圈,即无导磁磁路作为对比,分别进行不同磁路结构下磁场分布模拟分析,如图2所示。不同磁路结构磁场分布特点从磁场分布云图中可直观看出:磁路的施加改变了磁场分布形态,磁路对磁场产生“束缚”,原本发散的磁场由于磁路的导磁作用而聚积。磁路对空心线圈的包络作用缩小了磁场作用空间,增大了磁场作用区磁场强度和磁场梯度。磁路对线圈的包络范围越大,磁场能量越集中,相同

励磁电流下,最大磁场强度由无磁路时的 4 102 A/m增加到大聚磁环作用下的 4 930 A/m,内聚磁磁路由于其聚磁结构更多地作用于线圈内部,最大磁场强度达到 14 418 A/m。由此可见,磁路结构的施加对磁场分布及磁场强度、梯度产生了重要影响,也必将对旋流器内磁铁矿粉的运移规律及分选过程产生影响。

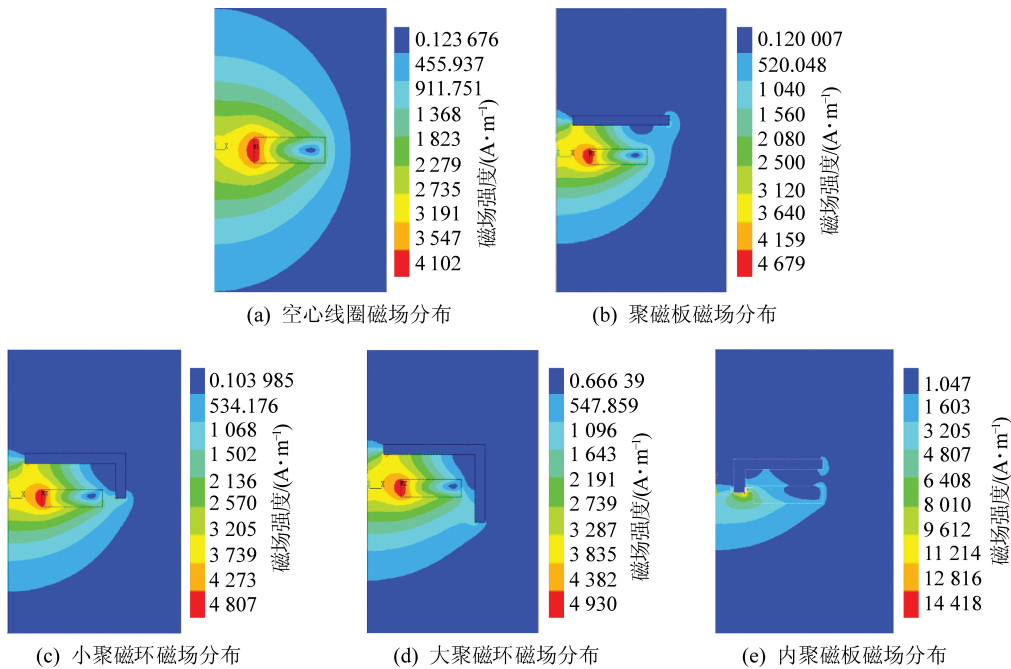


图2 不同磁路结构下磁场云图分布

Fig.2 Magnetic field distribution nephogram from the simulation with different magnetic circuit structure

2.2 磁路结构对磁铁矿粉分配规律的影响

结合前期试验结果,当磁场作用于旋流器柱段位置时,在一定磁场强度范围内,随着磁场强度的增加,旋流器精煤、尾煤灰分同时增加,即旋流器分选密度提高。选取此磁场位置作为固定试验点,在此位置下,对线圈安装不同磁路结构,通过改变励磁电流大小,研究不同磁路结构下磁铁矿粉介质分配规律。

不同磁场强度下底流、溢流悬浮液密度变化规律如图3所示。由图3可知:①磁场强度对煤泥重介旋流器内磁铁矿粉介质分配行为有很大影响。对于外聚磁磁路结构形式,不同磁路结构下,底流、溢流悬浮液密度总体变化趋势相同,溢流密度先呈降低趋势,之后随着电流强度的逐渐提高而增长,底流密度则持续降低。综上,外聚磁结构对磁铁矿粉介质分配规律有作用,但不改变底流、溢流悬浮液密度变化的总体规律。②内聚磁磁路结构下,由前述内聚磁结构磁场特性模拟分析可知,内聚磁结构对分

选作用区的磁化作用更强,能够大幅度提高径向磁场力,分选区内磁铁矿粉颗粒向旋流器边壁移动趋势增强,导致底流悬浮液密度较其他结构形式高,溢流悬浮液密度较其他结构形式低。

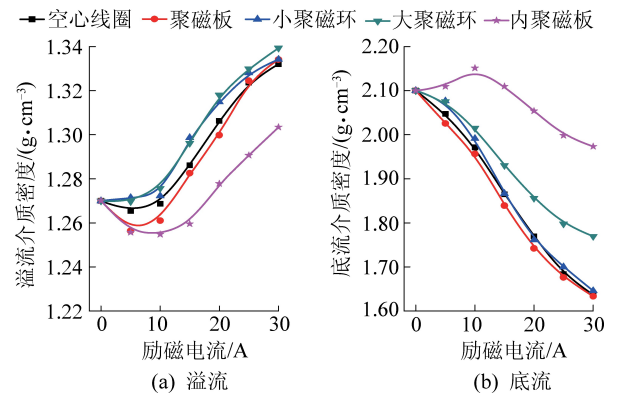


图3 不同导磁结构对悬浮液密度的影响

Fig.3 Influence of different magnetic circuit structure on suspensions density

2.3 粗煤泥分选试验

结合以上磁路模拟分析及磁铁矿粉介质分配规律,煤泥重介旋流器分选试验采用内聚磁磁路形式,磁路结构与旋流器相对位置如图4所示。通过改变励磁电流大小调节磁场强度,不同磁场强度下3~0.125 mm粗煤泥分选结果如图5所示。

由分选结果可知,空心线圈附加内聚磁磁路后,相比于无聚磁结构磁场,旋流器精煤、尾煤各粒级灰分都有所增加。结合前期模拟分析,说明内聚磁磁路的施加增大了磁场的径向分力,径向磁场分力与离心力场叠加,强化了离心作用,使旋流器内零速包络面向外移动,分选密度升高。因此,内聚磁磁路的施加对煤泥重介旋流器分选密度的提升具有强化作用。

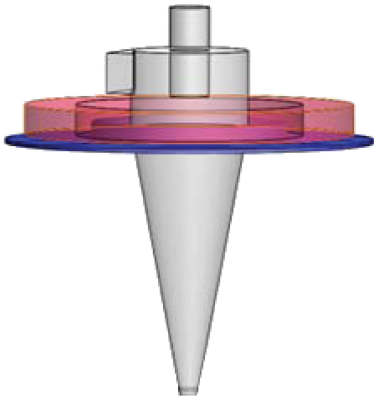


图4 内聚磁磁路结构与旋流器相对位置
Fig. 4 Relative position of internal magnetic structure and cyclone

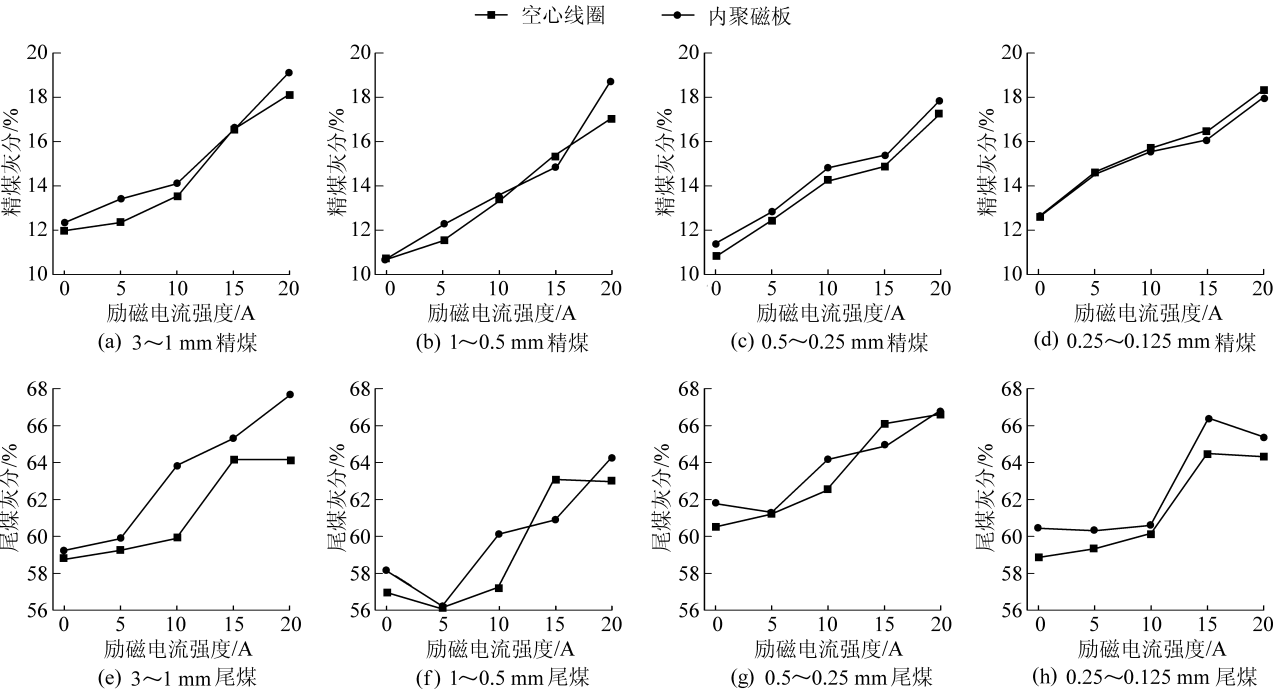


图5 不同磁场强度下精煤、尾煤灰分

Fig.5 Ash content of clean and tailing coal at different magnetic field strength

3 结 论

- 1) 磁力煤泥重介旋流器施加磁路结构可改变磁场形态,提高磁场强度。
- 2) 外聚磁磁路不改变磁铁矿粉介质分配的总规律,内聚磁磁路径向磁场力辅助离心力场,溢流悬浮液密度降低,底流悬浮液密度升高,同时,强化了旋流器分选密度。
- 3) 磁路设计是实现磁力煤泥重介旋流器分选效果磁调控方法的可行手段之一。合理的磁路结构设计可实现对旋流器分选作用区磁场的人工控制和靶向引导,对优化磁力旋流器磁场特性,丰富复合力

场分选理论具有一定的理论与实践意义。

参考文献 (References) :

[1] 石 焕,程宏志,刘万超.我国选煤技术现状及发展趋势[J].煤炭科学技术,2016,44(6):169-174.
SHI Huan, CHENG Hongzhi, LIU Wanchao. Present status and development trend of China's coal preparation technology [J]. Coal Science and Technology, 2016,44(6):169-174.

[2] 孟凡彩,同秀林,张 爽.我国粗煤泥分选设备应用现状[J].选煤技术,2018(4):7-11,24.
MENG Fancui, TONG Xiulin, ZHANG Shuang. State-of-the-art of the application of coarse slime separation equipment in China [J]. Coal Preparation Technology, 2018(4):7-11,24.

[3] 张 琳,方建军,赵敏捷,等.无压三产品重介旋流器的应用与

- 研究进展[J].矿产综合利用,2016(5):10-13.
- ZHANG Lin, FANG Jianjun, ZHAO Minjie, *et al.* The application and state of art three-product heavy dense medium cyclone[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2016(5): 10-13.
- [4] 程宏志,路迈西.高选择性浮选机设计原理及分选效果[J].煤炭学报,2005,30(4):516-520.
- CHENG Hongzhi, LU Maixi. The principle and performance of the highly-selective flotation cell with oscillating separator[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(4): 516-520.
- [5] 程宏志.振荡分离高选择性浮选的研究[J].煤炭科学技术, 2005, 33(1): 53-55.
- CHENG Hongzhi. Research on vibration separating high selective flotation[J]. Coal Science and Technology, 2005, 33(1): 53-55.
- [6] 赵树彦,闫锐敏,庾朝富,等.煤泥重介旋流器主要参数的试验研究[J].煤炭加工与综合利用,2018(S1):12-16.
- ZHAO Shuyan, YAN Ruimin, YU Chaofu, *et al.* Experimental study on main parameters of slime heavy medium cyclone[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2018(S1): 12-16.
- [7] 黄玉祥,张学坤.小直径煤泥重介旋流器分选粗煤泥工艺探讨[J].煤炭加工与综合利用,2010(2):12-14.
- HUANG Yuxiang, ZHANG Xuekun. Inquiry into the separation technology for coarse coal slime by small diameter HM cyclone[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2010(2): 12-14.
- [8] 马亭亭,刘世超,樊民强.电磁场对重介旋流器分选密度的影响[J].选煤技术,2013(1):5-8.
- MA Tingting, LIU Shichao, FAN Minqiang. Effect of electromagnetic field on the separation density of dense medium cyclone[J]. Coal Preparation Technology, 2013(1): 5-8.
- [9] FAN Panpan, FAN Minqiang, LIU An. Using an axial electromagnetic field to improve the separation density of a dense medium cyclone[J]. Minerals Engineering, 2015, 72: 87-93.
- [10] FAN Panpan, PENG Haitao, FAN Minqiang. Using a permanent magnetic field to manipulate the separation effect of a dense medium cyclone[J]. Separation Science and Technology, 2016, 51: 1913-1923.
- [11] 樊盼盼,冯 聪,张成安,等.组合线圈对重介旋流器分选效果的影响[J].矿山机械,2016, 44(1): 71-76.
- FAN Panpan, FENG Cong, ZHANG Chengan, *et al.* Influence of composite coil on separation effects of dense medium cyclone[J]. Mining and Processing Equipment, 2016, 44(1): 71-76.
- [12] 张莉洁,门清毅,张旦闻.磁流变减振器磁路设计与磁场特性分析[J].煤矿机械,2018, 39(7): 78-81.
- ZHANG Lijie, MEN Qingyi, ZHANG Danwen. Magnetic circuit design and analysis of magnetic field characteristics for magneto-rheological shock absorber[J]. Coal Machinery, 2018, 39(7): 78-81.
- [13] 李瑞川,郭 坤,杨俊茹,等.大功率拖拉机电液提升专用力传感器磁路设计与仿真[J].农业机械学报,2017, 48(8): 358-367.
- LI Ruichuan, GUO Kun, YANG Junru, *et al.* Magnetic circuit design and simulation of draft sensor in electro-hydraulic lifting mechanism of high-power tractor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural, 2017, 48(8): 358-367.
- [14] 杨小龙,谌炎辉,孙浩祥.发散型阶梯式磁性液体密封的磁路设计及试验验证[J].北京交通大学学报,2016, 40(3): 50-54.
- YANG Xiaolong, CHEN Yanhui, SUN Haoxiang. Magnetic circuit design and experiment verification diverging stepped magnetic fluid seal[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2016, 40(3): 50-54.
- [15] 张 宁,张 华.靶向给药系统研究进展[J].辽宁中医药大学学报,2017, 19(2): 218-221.
- ZHANG Ning, ZHANG Hua. Advances of targeted drug delivery system[J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2017, 19(2): 218-221.
- [16] 柴兆赞,张 洋.磁场作用下重介旋流器悬浮液密度调控研究[J].洁净煤技术,2015, 21(3): 57-59, 68.
- CHAI Zhaozan, ZHANG Yang. Regulation of suspension density in dense medium cyclone under magnetic field[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3): 57-59, 68.
- [17] 赵通林,陈中航,马宏胜.一种内部磁系磁选环柱的研制[J].矿业研究与开发,2014, 34(4): 99-101.
- ZHAO Tonglin, CHEN Zhonghang, MA Hongsheng. Development of an annular magnetic separator with internal magnetic system [J]. Mining Research & Development, 2014, 34(4): 99-101.
- [18] 陈广振,赵通林,陈中航.新型磁选设备:磁选环柱的研制[J].金属矿山,2006(11): 65-68.
- CHEN Guangzhen, ZHAO Tonglin, CHEN Zhonghang. Development of new type magnetic separation equipment: annular magnetic separator[J]. Metal Mine, 2006(11): 65-68.
- [19] 谢龙汉,李杰鸿.ANSYS 电磁场分析[M]. 2版.北京:电子工业出版社,2015: 235-248.
- [20] 樊盼盼,孔令帅,彭海涛,等.置于锥部的轴向电磁场对重介旋流器分选效果的影响[J].煤炭学报, 2015, 40(7): 1615-1621.
- FAN Panpan, KONG Lingshuai, PENG Haitao, *et al.* Influence of an axial electromagnetic located in the conical part on dense medium cyclone separation effects[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(7): 1615-1621.