

磁场作用下重介质旋流器悬浮液密度调控研究

柴兆赞¹, 张 洋²

(1. 中国煤炭科工集团 唐山研究院有限公司, 河北 唐山 063000;

2. 中国神华能源股份有限公司 神东煤炭集团公司工程项目管理公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017209)

摘要:针对传统三产品重介质旋流器在二段分选密度调节方面的缺陷,通过外加可调磁场作用,采用 Maxwell 有限元分析软件仿真模拟和构建试验分选系统相结合的方法,研究磁场作用下重介质旋流器分选密度的变化。模拟结果表明,旋流器内部单个磁铁矿粉受力由中心向器壁随着半径的增大,磁力逐渐增大,重介质旋流器中心区域所受磁力近似为 0,器壁处磁力达到最大值,与传统重介质旋流器分选结果吻合。介质试验中,通过改变输入电流强度控制磁场,随着电流强度的增加,底流密度由 1.454 g/cm³ 增至 1.604 g/cm³,溢流密度由 1.162 g/cm³ 降至 1.126 g/cm³,理论分选密度由 1.440 g/cm³ 增至 1.566 g/cm³,说明电流强度改变了旋流器内部的密度场,使得旋流器分离锥面向器壁方向移动,与数据模拟结果吻合。

关键词:重介质旋流器;分选密度;仿真模拟;磁场

中图分类号:TD94

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)03-0057-03

Regulation of suspension density in dense medium cyclone under magnetic field

CHAI Zhaoyun¹, ZHANG Yang²

(1. Tangshan Research Institute Co., Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Co., Ltd., Tangshan 063000, China;

2. Engineering Project Management Company of Shendong Coal Group Co., Ltd., China Shenhua Energy Co., Ltd., Erdos 017209, China)

Abstract: In order to improve density regulation ability of traditional three-product dense medium cyclone in the second phase, an adjustable magnetic field, a Maxwell finite element analysis software and a new designed separation process were added. The numerical simulation results showed that, the magnetic force in the middle of cyclone was zero, with the increase of radius, the magnetic force rose which increased to the maximum near the inner wall. The magnetic field intensity could be adjusted by current intensity. As the current rose, the underflow density and theoretical separation density increased from 1.454 g/cm³ to 1.604 g/cm³ and from 1.440 g/cm³ to 1.566 g/cm³ respectively. The overflow density decreased from 1.162 g/cm³ to 1.126 g/cm³. The results showed that the current intensity changed the density field and moved the separation cone to the direction of cyclone wall. The experimental results agreed well with the numerical simulation results.

Key words: dense medium cyclone; separation density; analogue simulation; magnetic field

0 引 言

重介质旋流器因其选精度高、对原煤适应性强、便于实现自动化控制等优点,已得到很好的推广应用^[1]。重介质旋流器工作时,原煤和悬浮液通过有压或无压的方式给入旋流器,并在旋流器中做高速旋转运动。在离心力的作用下,物料在旋流器中按

不同密度级分布,轻产物通过内螺旋作用流经溢流管排出成为精煤,而重产物则在外螺旋作用下,通过底流口排出成为尾煤。轻产物和重产物在旋流器内部存在一个分界面,这个界面就是“零速包络面”,这个面上的悬浮液密度即为旋流器的分选密度^[2]。目前重介质旋流器特别是三产品重介质旋流器使用时存在不足,如二段旋流器的密度只能通过改变插

收稿日期:2014-12-22;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.03.016

作者简介:柴兆赞(1988—),男,山西平遥人,硕士研究生,从事选煤工艺的研究工作。E-mail:czy450797410@outlook.com

引用格式:柴兆赞,张 洋. 磁场作用下重介质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 Zhaoyun, ZHANG Yang. Regulation of suspension density in dense medium cyclone under magnetic field[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3):57-59,68.

入中心管的深度或改变底流口直径来调节^[3-4],更换底流口须在离线情况下进行,造成底流口堵塞。重介质旋流器中的重介质悬浮液主要由磁铁矿粉、煤泥和水组成,悬浮液中磁铁矿粉在磁场作用下受力磁化,磁铁矿粉重新排列,影响旋流器分选密度,使分离锥面向内或向外移动。在二段旋流器中,增大分选密度可提高分选效率,因此通过外加磁场的作用改变重介质旋流器的分选密度尤为重要。国外学者在水力旋流器上施加磁场,使矿物在磁场作用下受力磁化^[5],改变旋流器分选,这种旋流器为磁力水力旋流器^[6-7]。磁力水力旋流器有2种类型,第一种是由 Fricker 研制的溢流排出型磁力水力旋流器,利用电磁铁提供磁场,被磁场磁感应的颗粒吸引到旋流器的中心部位,然后在离心力的作用下,通过溢流排出;第二种类型是由 Watson 和 Amoako-Gyampah 共同研制的底流型磁力水力旋流器,在旋流器外部配备一组电磁铁,与 Fricker 型相反,将被磁化的矿物吸引到旋流器器壁,在离心力的作用下通过底流排出^[8-11]。刘世超^[12]在重介质旋流器的不同部位施加磁场,发现线圈位于圆柱段时,弱电流能够提高溢流介质产率,线圈位于圆锥部分时,强电流能够降低溢流介质产率。笔者在重介质旋流器外部施加新的磁场发生器,并对磁场发生器结构进行优化,通过 ANSYS Maxwell 有限元模拟软件模拟磁场发生器下旋流器内部受力情况,根据模拟数据进行旋流器带磁铁粉介质实验室研究,验证磁场发生器的功效,以期实现重介质旋流器二段分选密度的在线调控。

1 Maxwell 数据模拟

Maxwell 数据模拟是建立在 Maxwell 方程式上的一个有限元分析软件,包括 Maxwell 2D 和 Maxwell 3D 两部分。Maxwell 2D 包括交流/直流磁场、静电场以及瞬态电磁场、温度场分析,参数化极性以及优化功能;Maxwell 3D 为三维电磁设计行业内的佼佼者,诸如电机、线圈等内部的功率消耗、线圈消耗以及磁力线分布等方面较为领先。本次模拟采用 Maxwell 中 Maxwell 3D 功能,触发磁场的结构装置借鉴电动机中定子的构造方法。为获取试验理论依据,试验开始前,对重介质旋流器外加磁场触发装置进行软件模拟。软件模拟内容包括3部分,获得电磁结构下5个颗粒的受力情况、电磁结构下的场图以及不同位置的磁密度曲线。

采用直径 220 mm 的聚氨酯型重介质旋流器,设定磁场触发装置结构尺寸为:内径 280 mm,外径 410 mm,高 150 mm,线圈内部的铁芯长 40 mm,宽 70 mm,外部分别缠绕直径 1.2 mm 的铜质漆包线,匝数为 300 匝。通入电流时,线圈方向为垂直向外。磁场触发装置的 3D 结构示意图如图 1 所示。

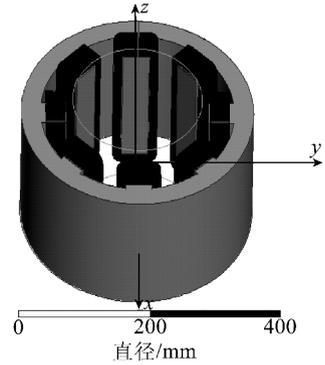


图1 磁场触发装置3D结构示意图

在电磁结构内部取5个不同直径的同心圆,直径分别为100、120、140、160、180 mm,通过 Maxwell 软件绘制5个不同位置受到的磁力,其磁力分布如图2所示。

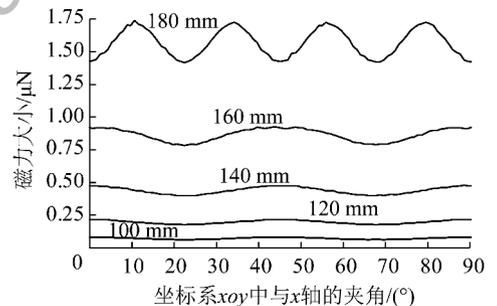


图2 5个不同位置粒子受力情况

由图2可知,磁铁矿粉在磁场中受到的磁力近似为正弦曲线。磁铁矿粉在磁场中所受磁场力的大小近似取平均值(表1)。

表1 5个不同位置磁铁矿粉所受磁力

直径/mm	100	120	140	160	180
磁力/ μN	0.100	0.300	0.450	0.875	1.575

由表1可知,随着直径的增加,磁铁矿粉所受磁力越大,即距离轴心越远,旋流器器壁越近,旋流器内部磁铁矿粉受到的磁力越大。

磁铁矿粉用作加重质时,要求其磁性物质质量分数不小于95%,密度不小于 4.5 t/m^3 ,而且用于重介质旋流器的磁铁矿粉 $<0.045 \text{ mm}$ 质量分数占

85%以上。重力和离心力的公式如下

$$G = mg = \frac{4}{3} \pi \rho g d^3 \quad (1)$$

$$F = m \frac{v_t^2}{r} = \frac{4}{3} \frac{\pi d^3 v_t^2}{r} \rho g \quad (2)$$

式中, G 为重力,N; m 为单一磁铁矿粉质量,kg; g 为重力加速度,取 10 N/kg ; ρ 为磁铁矿粉密度, 4700 kg/m^3 ; d 为磁铁矿粉的半径,取当量直径,将磁铁矿粉近似为球形,球形直径为 0.075 mm ; F 为离心力,N; v_t 为磁铁矿粉在旋流器内的切向速度,m/s; r 为回转半径,m。

计算得到磁铁矿粉重力为 $0.083 \mu\text{N}$,离心力为 $0.097 \mu\text{N}$ 。

综上所述,外加磁场会引起旋流器内部磁铁矿粉所受力场发生变化,设置试验装置的磁力方向与离心力方向一致。磁场力的加入会使旋流器内部颗粒受力增大,使得旋流器的分离锥面向器壁方向移动,进而使旋流器的分选密度增大,有利于二段旋流器的分选。

2 实验室介质试验

重介质悬浮液在一定压力作用下给入重介质旋流器,悬浮液颗粒在强大的离心力作用下,会形成新的密度场,在内外螺旋流的作用下,旋流器的分选密度与溢流密度、底流密度之间的关系如下

$$\delta_p = \frac{\rho_o^n + \rho_u^m}{2} \quad (3)$$

式中, δ_p 为实际分选密度, g/cm^3 ; ρ_o 、 ρ_u 分别为旋流器溢流和底流的介质密度, g/cm^3 ; n 、 m 为与加重质特性和旋流器参数有关的指数,当锥角为 20° 时,此处 $n=0.8$, $m=1.5$ ^[2]。

由于旋流器的分选密度与溢流及底流密度之间存在一定关系,故试验在溢流口与底流口同时取样,计算其密度,通过式(3)计算本次电流强度下旋流器的分选密度。试验仅改变输入电流大小,步骤如下:

1) 试验开始前,在混介桶内鼓入空气,之后打开泵,使入料悬浮液循环,待混介桶中悬浮液稳定后,通过入料口处的取样口多次取样,计算得到旋流器入料悬浮液的密度为 $1.30 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$ 。

2) 磁场发生器未通电时,同时在入料、溢流以及底流处取样,计算溢流密度、底流密度以及分选密度。

3) 打开磁场发生器处电源开关,调整整流器上电流,同时测定磁场的底流密度、溢流密度以及分选密度。

实验室介质试验见表2。

表2 实验室介质试验

电流值/A	0	1	2	3	4
底流密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.454	1.456	1.474	1.521	1.604
溢流密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.162	1.161	1.156	1.130	1.126
理论分选密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.440	1.442	1.456	1.489	1.566

由表2可知,随着电流强度的增加,悬浮液底流密度由 1.454 g/cm^3 增至 1.604 g/cm^3 ,溢流密度由 1.162 g/cm^3 降至 1.126 g/cm^3 ,悬浮液密度变化规律符合二段旋流器分选要求。理论分选密度由 1.440 g/cm^3 增至 1.566 g/cm^3 ,说明电流强度改变了旋流器内部的密度场,使得旋流器分离锥面向器壁方向移动,与数据模拟结果吻合。

3 结 论

1) 模拟试验中,通过模拟旋流器内部磁场及旋流器中不同位置粒子受力,判定磁场方向与离心力方向一致,在径向上增加了磁铁矿粉的受力。

2) 在介质试验中,随着电流的强度的增大,旋流器理论分选密度由 1.440 g/cm^3 增至 1.566 g/cm^3 ,说明磁场的存在改变了旋流器内部密度场。数据模拟试验与实验室介质试验相吻合,电流强度改变了旋流器内部密度场,使得旋流器分离锥面向器壁方向移动,实现了旋流器二段分选密度的在线调控。

参考文献:

- [1] 谢广元. 选矿学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2010.
- [2] 彭荣任,丛桂芝,白守义,等. 重介质旋流器选煤[M]. 北京:冶金工业出版社,1989.
- [3] 李吉泰,张富平. 磁流体技术在煤炭分选中应用研究[J]. 江苏煤炭,2004(3):51-52.
- [4] 刘峰. 重介质旋流器选煤技术的研究与发展[J]. 选煤技术,2006(5):1-13.
- [5] 汤玉和,尤罗夫. 新型磁力水力旋流器及其复合力场的研究[J]. 广东有色金属学报,1998,8(2):79-85.
- [6] 王守西. 磁力旋流器在铁矿选矿中的应用[J]. 江西冶金,1987,7(3):57-59.
- [7] 斯沃波达. 磁力旋流器在重介质选别中应用的试验研究[J]. 国外选矿快报,1999(1):5-8.

(下转第68页)

的质量分数为 $w(e)$, 以下试验通过改变添加剂使用量、煤粉的质量比进行小范围调整, 试验结果见表7。从表7可知, 添加剂使用量降低后, 对煤粉的分散效果反而提高了, 这个可能是大颗粒煤粉的增多, 降低了水煤浆体系中煤粉的总比表面积, 从而降低了分散剂的使用量。如果添加剂使用量过多, 反而对煤粉表面的分散性起到了反作用, 影响煤粉的分散性, 并且添加剂使用量的减少, 也降低了制浆成本。由于原料水煤浆中的细颗粒含量对气化效率有很大影响, 一般要求小于 0.074 mm 细颗粒含量要在 40% 以上, 才有利于气化, 因此考虑到稳定性及气化效率, 选择粗颗粒的质量分数为 20% ~ 40%。随着大颗粒煤粉质量分数的提高, 浆体黏度降低, 因此选用较好的质量比为 40 : 60 进行再提浓。

表7 优化成浆(68%的水煤浆浓度)试验因素

水煤浆浆体性能指标	添加剂的使用量		$w(f) : w(e)^*$		
	1%	0.8%	20 : 80	30 : 70	40 : 60
黏度/(mPa·s)	1523	1489.3	1489.3	894.3	528.3
稳定性	B	B	B	B	B

注: * 改变煤粉的质量比(添加剂使用量为 0.8%)。

4) 70% 浓度的水煤浆浆体特性。使用 125 ~ 200、12 和 6.5 μm 的煤粉, 125 ~ 200 与 12 和 6.5 μm 煤粉的质量比为 40 : 60, 其中 12 与 6.5 μm 的质量比为 60 : 40, 添加剂使用复配添加剂, 使用量为 0.8%, 制备浓度为 70% 的水煤浆, 其浆体黏度见表8。从表8的试验结果可看出, 制备的浆体黏度低于 1200 mPa·s, 稳定性为 B 级, 并且浆体流变特性呈假塑性流体, 随着剪切速率的增大, 黏度降低。该浆体无论从黏度还是稳定性上, 都满足工业使用要求。

表8 浓度为 70% 的神府煤水煤浆黏度

转子转速/(r·min ⁻¹)	黏度/(mPa·s)	稳定性
20	1630	B
30	1480	B
40	1340	B
50	1220	B
60	1150	B

3 结 语

1) TJJ-1 与 TJJ-2 质量比为 4 : 1 时对神府煤水煤浆具有较好的分散性。

2) 双峰级配试验中, 2 种粒径的煤粉在不同的质量分数比例时, 对水煤浆的黏度与稳定性具有明显影响, 水煤浆浓度一定时, 当 2 种粒径的煤粉达到较好的堆积效率时, 可降低浆体黏度, 改善浆体的稳定性。

3) 使用 125 ~ 200、12 和 6.5 μm 的煤粉, 125 ~ 200 与 12 和 6.5 μm 煤粉的质量比为 40 : 60, 其中 12 与 6.5 μm 的质量比为 60 : 40, 添加剂使用复配添加剂, 使用量为 0.8%, 制备浓度接近 70% 的水煤浆。

参考文献:

- [1] 袁善录, 戴爱军. 制备高浓度水煤浆的影响因素探讨[J]. 应用化工, 2007, 36(12): 1242-1244.
- [2] 朱全书. 煤的性质对其成浆性影响的研究综述[J]. 煤炭加工与综合利用, 1996(2): 5-8.
- [3] 吉文欣, 王丽琼. 改善粒度级配提高宁东水煤浆的研究[J]. 化学工程师, 2010(11): 57-58.
- [4] 黄柏宗. 紧密堆积模型的微观机理及模型设计[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(1): 5-12.
- [5] 周建新. 水煤浆颗粒级配的研究[J]. 煤炭学报, 2001, 26(5): 557-560.
- [6] 叶向荣, 刘定平, 陈其中, 等. 粒度级配对水煤浆浓度与黏度的影响[J]. 煤炭转化, 2008, 31(2): 28-30.
- [7] 陈松, 李寒旭, 王群英. 粒度级配对淮南煤成浆性能影响的研究[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学报, 2003, 13(3): 58-60.
- [8] 张荣曾. 水煤浆制备技术[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 张省现, 夏德宏, 吴祥宇. 水煤浆粒度分布的分形学研究[J]. 热科学与技术, 2004, 3(4): 348-349.
- [10] Son S Y, Kihm K D. Effect of coal particle size on coal-water slurry(CWS) atomization, atomization and sprays[J]. Journal of the International Institutions for Liquid Atomization and Spray Systems, 1998, 8(5): 515-516.
- [11] 田青运, 胡发亨, 樊学彬. 水煤浆的药剂、粒度级配的试验与研究[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(1): 44-47.

(上接第 59 页)

- [8] 褚良银, 罗茜. 磁力水力旋流器[J]. 中国矿业, 1993, 2(4): 72-74.
- [9] 褚良银. 磁力水力旋流器[J]. 中国矿业, 1993, 2(4): 72-74.
- [10] Fricher A G. 磁力水力旋流器[J]. 国外金属矿选矿, 1987, 25(3): 32-38.
- [11] 申 G, 芬奇 J A, 吴文达. 多极磁力水力旋流器的理论分析[J]. 国外金属矿山, 1991(3): 53-57.
- [12] 刘世超. 三产品重介旋流器二段密度在线调控机理研究与初步设计[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.