

文章编号:1671-251X(2018)06-0101-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018010087

基于模糊控制的重介质悬浮液密度控制方法

孔繁苗¹, 徐康², 陈浙锐¹, 崔启东¹

(1. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221116;

2. 淮北矿业股份有限公司 涡北选煤厂, 安徽 亳州 233600)

摘要:针对现有重介质悬浮液密度模糊控制方法存在控制精度不高、通用性不强的问题,提出了一种基于模糊控制的重介质悬浮液密度控制方法。该方法以悬浮液密度偏差、悬浮液密度偏差变化率、合格介质桶液位作为密度模糊控制器的输入变量,以合格介质桶液位偏差、合格介质桶液位偏差变化率作为液位模糊控制器的输入变量,利用密度模糊控制器和液位模糊控制器有效控制补水阀和分流箱,从而实现重介质悬浮液密度精确、稳定控制。应用结果表明,该方法响应速度快,可使悬浮液密度波动范围稳定在 $\pm 0.007 \text{ g/cm}^3$ 。

关键词:选煤厂;重介质分选;模糊控制;悬浮液密度;合格介质桶液位

中图分类号:TD948.9 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180525.1650.001.html>

Density control method for dense-medium suspension based on fuzzy control

KONG Fanmiao¹, XU Kang², CHEN Zherui¹, CUI Qidong¹

(1. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Guobei Coal Preparation Plant, Huaibei Mining Co., Ltd., Bozhou 233600, China)

Abstract: In view of problems of poor accuracy and universality of existing density fuzzy control methods for dense-medium suspension, a density control method for dense-medium suspension based on fuzzy control was proposed. The method takes suspension density deviation, variation rate of the suspension density deviation and liquid level of qualified medium bucket as input variables of density fuzzy controller, and takes liquid level deviation of qualified medium bucket and variation rate of the liquid level deviation of qualified medium bucket as input variables of liquid level fuzzy controller. Water supply valve and flow-spitting box are effectively controlled by use of the density fuzzy controller and liquid level fuzzy controller, so as to achieve accurate and stable control of dense-medium suspension density. The application results show that suspension density fluctuation range can be controlled at $\pm 0.007 \text{ g/cm}^3$ with fast response speed.

Key words: coal preparation plant; dense-medium separation; fuzzy control; suspension density; liquid level of qualified medium bucket

0 引言

目前大多数选煤厂采用重介质分选工艺,悬浮液密度是重介质分选过程中的核心参数,直接影响

分选效果^[1-2]。在重介质悬浮液密度控制中,悬浮液密度、合格介质桶液位参数相互耦合,难以建立精确的数学模型^[3-5],传统的人工控制或PID控制不能满足控制要求。模糊控制器是一种基于规则的专家

收稿日期:2018-01-29;修回日期:2018-05-24;责任编辑:盛男。

作者简介:孔繁苗(1994—),男,江苏扬州人,硕士研究生,主要研究方向为工业自动化、图像处理,E-mail:godcanjudge@163.com。

引用格式:孔繁苗,徐康,陈浙锐,等.基于模糊控制的重介质悬浮液密度控制方法[J].工矿自动化,2018,44(6):101-104.

KONG Fanmiao, XU Kang, CHEN Zherui, et al. Density control method for dense-medium suspension based on fuzzy control[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(6): 101-104.

系统,也是一种非线性特征域控制器^[6-7]。模糊控制以人类经验为依据,不需要精确的数学模型^[8-9],适用于数学模型难以建立的系统,具有良好的鲁棒性和适应性^[10-11]。孙云霄等^[12]设计了一种基于模糊控制的介质密度控制系统,该系统以合格介质桶液位、悬浮液密度、稀介质桶液位为输入变量,采用模糊控制算法有效控制合格介质桶的出口密度,具有简单有效、适用于现场生产的优点,但没有考虑输入变量的偏差变化率,调节密度时精度不高。郭西进等^[13-14]设计了分别以合格介质桶液位偏差及液位偏差变化率、悬浮液密度偏差及密度偏差变化率为输入的2个模糊控制器,对2个模糊控制器的输出去模糊化后,结合煤泥含量计算出分流量与补水量,从而实现重介质分选过程的合格介质桶液位和悬浮液密度控制,但建模过程复杂,通用性不强。本文针对某选煤厂重介质分选过程,提出了一种基于模糊控制的重介质悬浮液密度控制方法。该方法以悬浮液密度偏差、密度偏差变化率、合格介质桶液位作为密度模糊控制器的输入变量,以合格介质桶液位偏差、液位偏差变化率作为液位模糊控制器的输入变量,利用密度模糊控制器和液位模糊控制器有效控制补水阀和分流箱,可实现重介质悬浮液密度精确、稳定控制。

1 控制要求

某选煤厂采用两段三产品重介质旋流器进行分选(两段分别为200区、400区),为保证分选出的产品质量,需要控制200区、400区悬浮液密度在某一确定值。200区悬浮液密度主要通过200ZM分流箱、200YM补水阀来调节,400区悬浮液密度主要通过400ZM分流箱、400YM补水阀来调节。若要提高悬浮液密度,则要增大分流箱的开度使分流量增加,同时减小补水阀的开度使补水量减少;若需要降低悬浮液密度,则要减小分流箱的开度使分流量减少,同时增大补水阀的开度使补水量增加。对悬浮液密度进行控制时,还需要考虑合格介质桶液位的影响,当合格介质桶液位过低时,很难提高悬浮液密度,当合格介质桶液位过高时,很难降低悬浮液密度,因此需要调节合格介质桶液位在合适范围内。合格介质桶液位主要通过402ZM分流箱来调节。

2 控制方案

2.1 控制原理

基于模糊控制的重介质悬浮液密度控制原理如

图1所示。针对200区悬浮液密度控制、400区悬浮液密度控制、200区和400区的合格介质桶液位控制,分别设计了3个模糊控制器。密度模糊控制器以悬浮液密度偏差、密度偏差变化率、合格介质桶液位为输入变量,分流量、补水量为输出变量;液位模糊控制器以200区和400区的2个合格介质桶液位偏差、液位偏差变化率为输入变量,分流量为输出变量。当采集的悬浮液实际密度与给定密度不一致时,密度模糊控制器通过自动调节分流箱和补水阀的开度来改变悬浮液密度;当合格介质桶液位过低或过高时,液位模糊控制器通过自动调节分流箱的开度来改变合格介质桶液位。

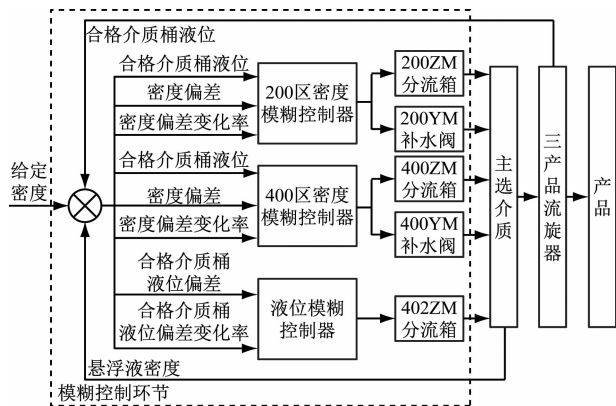


图1 基于模糊控制的重介质悬浮液密度控制原理

Fig.1 Principle of density control for dense-medium suspension based on fuzzy control

2.2 模糊论域和隶属函数

根据输入、输出变量的变化特点及现场操作经验,确定输入、输出变量的模糊论域与模糊子集。合格介质桶液位的模糊论域为 $[0, 1.6]$,模糊子集为 $\{NB, ZO, PB\}$;悬浮液密度偏差的模糊论域为 $[-0.015, 0.015]$,模糊子集为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$;密度偏差变化率的模糊论域为 $[-0.02, 0.02]$,模糊子集为 $\{NB, NS, ZO, PS, PB\}$;分流量的模糊论域为 $[0, 50]$,模糊子集为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$;补水量的模糊论域为 $[0, 12]$,模糊子集为 $\{NB, NS, ZO, PS, PB\}$ 。

针对控制过程的精度和灵敏度要求,确定隶属函数类型。对悬浮液密度进行控制时,对控制精度、灵敏度要求高,悬浮液密度偏差及密度偏差变化率采用三角形隶属函数;对合格介质桶液位进行控制时,对控制精度、灵敏度要求不高,合格介质桶液位采用梯形隶属函数。各输入、输出变量的隶属函数如图2所示。

2.3 模糊控制规则

模糊控制规则直接影响模糊控制器性能与控制

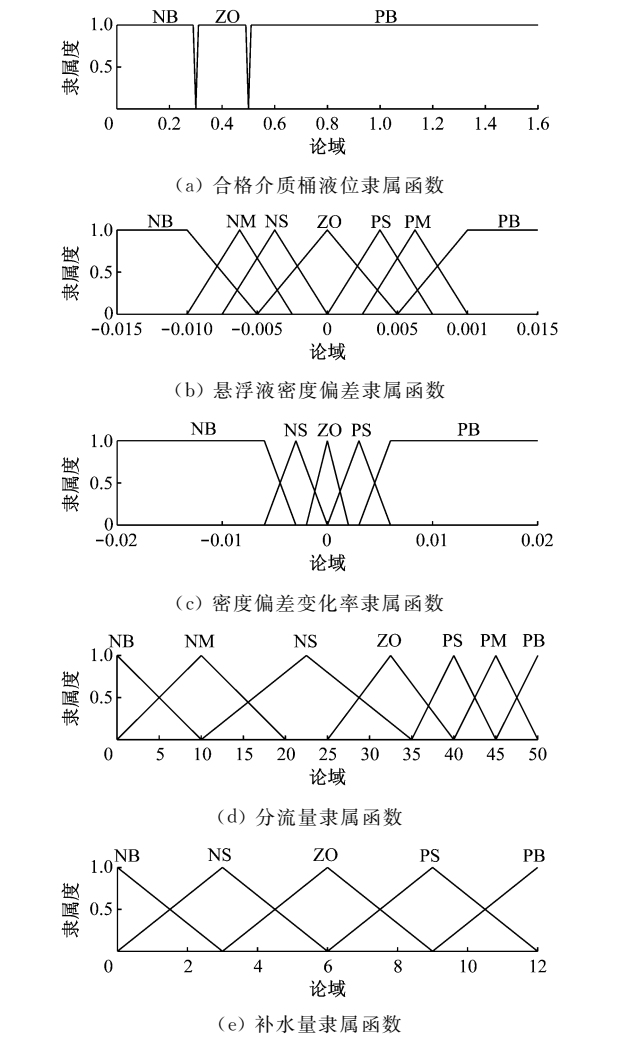


图2 输入、输出变量的隶属函数

Fig. 2 Membership functions of input and output variables 效果^[15],在确定模糊控制规则时需要以专家知识或现场经验为基础。根据控制要求,以密度模糊控制器为例,补水量、分流量的模糊控制规则分别见表1、表2。

表1 补水量模糊控制规则

Table 1 Fuzzy control rule for filling water quantity								
密度偏差	变化率	悬浮液密度偏差						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB		PB	PB	PB	PB	PS	NB	NB
NS		PB	PB	PS	PS	PS	NB	NB
ZO		PB	PS	ZO	ZO	PS	NB	NB
PS		PB	PS	NS	NS	PS	NB	NB
PB		PB	PS	NB	NB	PS	NB	NB

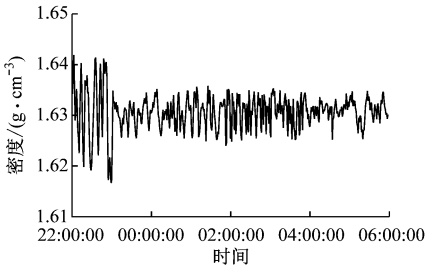
3 应用效果

基于模糊控制的重介质悬浮液密度控制方法已应用于某选煤厂重介质分选实际生产中,与原有的

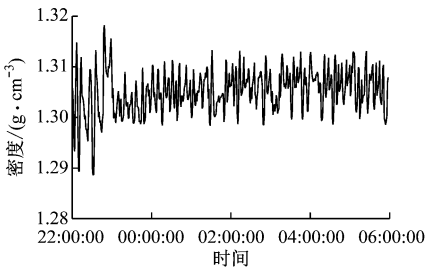
Table 2 Fuzzy control rule for dividing water quantity								
密度偏差	变化率	悬浮液密度偏差						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB		NB	NB	PS	PS	NS	PM	PB
NS		NB	NB	PS	PS	ZO	PM	PB
ZO		NB	NB	PS	ZO	PS	PM	PB
PS		NB	NB	PS	ZO	PM	PB	PB
PB		NB	NB	PS	ZO	PB	PB	PB

悬浮液密度人工控制配合使用。该选煤厂要求 200 区悬浮液密度稳定在 1.630 g/cm³ 左右,400 区悬浮液密度稳定在 1.305 g/cm³ 左右,200 区合格介质桶液位保持在 0.5~1.1 m。

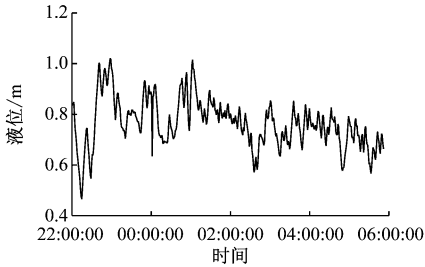
在 23:00 左右由人工控制切换到模糊控制,结果如图 3 所示。可看出在悬浮液密度模糊控制过程中,悬浮液实际密度迅速跟随给定密度,200 区悬浮液密度为 1.622~1.636 g/cm³,400 区悬浮液密度为 1.299~1.313 g/cm³,悬浮液密度波动明显减



(a) 200 区悬浮液密度



(b) 400 区悬浮液密度



(c) 200 区合格介质桶液位

图3 悬浮液密度、合格介质桶液位控制结果

Fig. 3 Control result of suspension density and liquid level of qualified medium bucket

小,波动范围控制在 $\pm 0.007 \text{ g/cm}^3$,同时200区合格介质桶液位为 $0.6\sim 1.1 \text{ m}$,满足现场控制要求。

4 结语

基于模糊控制的重介质悬浮液密度控制方法通过采用密度模糊控制器与液位模糊控制器相结合的方式,对悬浮液密度、合格介质桶液位进行控制,从而保证悬浮液密度控制精度和稳定性。应用结果表明,该方法响应速度快,可使悬浮液密度波动范围控制在 $\pm 0.007 \text{ g/cm}^3$ 。

参考文献(References):

- [1] 董志勇,王然风,樊民强,等.重介分选过程分流自动控制系统设计[J].工矿自动化,2017,43(7):23-27.
DONG Zhiyong, WANG Ranfeng, FAN Minqiang, et al. Design of automatic shunt control system in dense-medium separation process [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(7): 23-27.
- [2] 马艳,孙长江,卜丽.重介质选煤自动控制系统[J].制造业自动化,2011,33(8):148-149.
MA Yan, SUN Changjiang, BU Li. Heavy medium coal automatic control system [J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(8): 148-149.
- [3] 董素玲.基于模糊控制的煤矿主井通风机不停风倒机自动控制系统设计[J].工矿自动化,2015,41(9):39-43.
DONG Suling. Design of automatic switchover control system without blowing-out of mine main ventilator based on fuzzy control [J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(9): 39-43.
- [4] 郭楠,陈震,罗旭辉.重介质选煤自动控制技术研究[J].工矿自动化,2014,40(6):34-36.
GUO Nan, CHEN Zhen, LUO Xuhui. Research of automatic control technology of dense medium coal preparation [J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(6): 34-36.
- [5] 吴东方,王兰豪.重介质旋流器悬浮液自动控制系统的设计探讨[J].煤炭加工与综合利用,2015(1):5-6.
- [6] 蔚东晓,贾霞彦.模糊控制的现状与发展[J].自动化与仪器仪表,2006(6):4-7.
YU Dongxiao, JIA Xiayan. Present situation and development of fuzzy control [J]. Automation & Instrumentation, 2006(6): 4-7.
- [7] 宋绍楼,姚净千.基于模糊控制的矿井排水控制系统优化研究[J].控制工程,2017,24(10):2022-2026.
SONG Shaolou, YAO Jingqian. Study on energy-saving control of mine drainage system [J]. Control Engineering of China, 2017, 24(10): 2022-2026.
- [8] 胡娟,王振狮,王福忠.基于模糊控制理论的重介质选

煤过程控制[J].煤炭科学技术,2011,39(3):116-119.

HU Juan, WANG Zhenchong, WANG Fuzhong. Control of heavy medium coal preparation process based on fuzzy control theory [J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(3): 116-119.

- [9] 杨丽.基于模糊PID自适应算法的重介质洗选煤控制系统研究[J].中国矿业,2016,25(12):117-120.
YANG Li. Research on the dense medium coal cleaning control system based on the fuzzy PID adaptive algorithm [J]. China Mining Magazine, 2016, 25(12): 117-120.
- [10] 王永富,柴天佑.自适应模糊控制理论的研究综述[J].控制工程,2006,13(3):193-198.
WANG Yongfu, CHAI Tianyou. Present status and future developments of adaptive fuzzy control [J]. Control Engineering of China, 2006, 13(3): 193-198.
- [11] 孙旭霞,孙伟,樊昱琨,等.基于双模糊PI控制的交流位置伺服系统研究[J].电气传动,2017,47(11):45-49.
SUN Xuxia, SUN Wei, FAN Yukun, et al. Research on AC position servo system based on double fuzzy PI control [J]. Electric Drive, 2017, 47(11): 45-49.
- [12] 孙云霄,马小平,王伟波.基于模糊控制的重介选煤介质密度控制系统设计[J].工矿自动化,2012,38(6):21-24.
SUN Yunxiao, MA Xiaoping, WANG Weibo. Design of medium density control system in dense-medium separation based on fuzzy control [J]. Industry and Mine Automation, 2012, 38(6): 21-24.
- [13] 郭西进,徐进霞,张志强,等.重介质选煤中密度与液位模糊PID解耦控制的研究[J].矿山机械,2015,43(7):91-94.
GUO Xijin, XU Jinxia, ZHANG Zhiqiang, et al. Research on fuzzy-PID decoupling control of density and level in dense-medium coal separation [J]. Mining and Processing Equipment, 2015, 43(7): 91-94.
- [14] 郭西进,高警卫,岳广礼,等.重介选煤工艺多参数模糊控制方法研究[J].工矿自动化,2012,38(9):1-4.
GUO Xijin, GAO Jingwei, YUE Guangli, et al. Research of fuzzy control method for multi-parameter in dense-medium separation process [J]. Industry and Mine Automation, 2012, 38(9): 1-4.
- [15] 黄卫华,方康玲,章政.典型模糊控制器的隶属函数设计及分析[J].模糊系统与数学,2010,24(5):83-90.
HUANG Weihua, FANG Kangling, ZHANG Zheng. Analysis and design of membership function for a typical fuzzy controller [J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2010, 24(5): 83-90.