

选煤场浓缩池溢流浓度控制方法研究

王汾青

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司; 2. 煤矿应急避险技术装备工程研究中心;
3. 北京市煤矿安全工程技术研究中心, 北京 100013)

摘要: 浓缩池溢流浓度的监测与控制方法是选煤厂实现智能化选煤的关键之一, 针对仅采用传感器的溢流浓度监测与控制方式会导致絮凝剂调节滞后的问题。搭建一套浓缩池自动加药系统, 该系统采用 BP 神经网络与模糊自抗扰控制器 (Active Disturbance Rejection Control, ADRC) 相结合的监测与控制方法, 实现浓缩池溢流浓度的稳定控制, 避免因絮凝剂添加量问题直接影响浓缩反应, 进而影响絮凝沉降效果。通过仿真对比, 该方法比采用 PID 控制的自动加药系统稳定性更高, 可有效应对絮凝剂调节的滞后问题, 为选煤厂浓缩池溢流浓度控制提出了新的方案。

关键词: 智能化选煤; 自动加药系统; 溢流浓度控制; BP 神经网络; 模糊 ADRC

中图分类号: TD94

文章编号: 1000-0682(2024)01-0083-04

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.01.018

Research on overflow concentration control method of concentrator in coal preparation plant

WANG Fenqing

(1. China Coal Research Institute Co., Ltd.; 2. Engineering Research Center of Coal Mines Emergency Technology Equipment Engineering;
3. Beijing Coal Mine Safety Engineering Technology Research Center, Beijing 100013, China)

Abstract: The monitoring and control method of overflow concentration in concentrator is one of the keys to realize intelligent coal preparation in coal preparation plant, aiming at the problem that the overflow concentration monitoring and control method only using sensor will lead to the lag of flocculant regulation. Aiming at this problem, a concentrator automatic dosing system is built, which uses the monitoring and control method combined with BP neural network and fuzzy Active Disturbance Rejection Control (ADRC) to realize the stability control of the overflow concentration of the concentrator. The concentration reaction should not be directly affected by the amount of flocculant added, thus affecting the flocculation settling effect. Through simulation comparison, the proposed method has higher stability than the automatic dosing system using PID control, and can effectively deal with the lag problem of flocculant regulation. A new scheme is proposed for the overflow concentration control of concentrator in coal preparation plant.

Keywords: intelligent coal preparation; automatic dosing system; overflow concentration control; BP neural network; fuzzy ADRC

0 引言

煤炭分选是煤炭生产过程中的关键步骤之一, 该过程一般是利用煤与矸石的物理性质不同, 通过

不同密度或特性使煤与矸石(杂志)分开^[1-2]。而洗选过程会产生大量有害的煤泥水, 若直接排放将会污染周围环境并造成水资源浪费^[3-4]。通过添加絮凝剂对煤泥水进行浓缩是实现细粒级煤泥和水固液分离的有效途径之一。絮凝剂的添加量(即加药量)是影响浓缩效果的一个关键因素, 而溢流浓度可直接影响絮凝沉降效果^[5]。

传统的絮凝剂添加量主要是凭借操作人员的

收稿日期: 2023-08-04

第一作者: 王汾青(1990—), 男, 汉, 山西浑源人, 主要从事智慧矿山工作。E-mail: 1079764612@qq.com

经验,存在精度不高、药品添加比例不合理、工作效率低、操作随意性较强等问题,无法保成沉降效果^[6]。近些年,为了落实“中国制造 2025”的强国战略,智能化建设热潮开始在选煤行业兴起^[7-8],部分选煤厂采用传感器监测溢流浓度,再根据溢流浓度调节加药量的自动化控制方法,但是煤泥水沉降浓缩是个大滞后的过程,若自动化控制系统的参数选择不当,反而会导致浓缩效果变差。文献[9]采用 PLC 进行基本逻辑控制,实现了选煤厂的自动入料、无人化药品添加、设备自动调整等功能,但依旧存在控制不及时的现象。文献[10]设计并开发了煤炭清洁洗选过程控制创新实验平台,为工业智能化方向快速发展提供了良好的实践创新环境。

针对上述问题,该文搭建一套浓缩池自动加药系统,该系统采用 BP 神经网络与 ADRC 相结合的监测与控制方法,该方法根据浓缩过程的多种参数,通过神经网络给出目标浓度,再通过模糊 ADRC 控制手段对螺杆泵进行控制,经过多次循环既可以浓缩池溢流浓度的稳定控制,避免因絮凝剂添加量问题直接影响浓缩反应。

1 煤泥水浓缩工艺系统

如图 1 所示为选煤厂煤泥水浓缩工艺的基本流程。该流程主要包括,给药装置、入料流量计与入料浓度计、螺杆泵、控制器、浓缩池、溢流浓度传感器等。其中,给药装置负责配置一定浓度的絮凝剂,入料流量计与入料浓度计配合完成入料的计算,通过螺杆泵将絮凝剂与入料混合后进入浓缩池进行浓缩沉降,采用溢流浓度传感器采集浓缩池的实时数据,上传至控制柜进行分析并计算出加药量,最后通过控制螺杆泵,实现絮凝剂的自动添加。

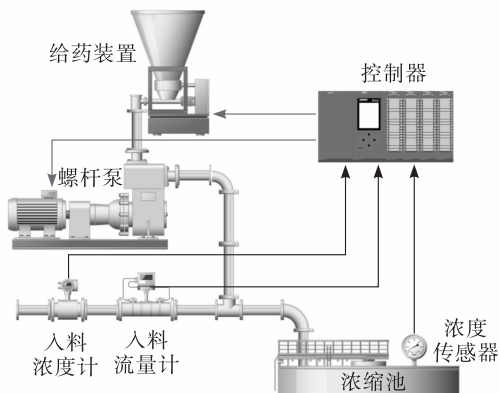


图 1 煤泥水浓缩基本工艺流程图

2 信号预处理

2.1 不良数据检测

煤泥水浓缩过程中传感器在长期运行或受其他外界因素影响时,系统稳定性会受到影响,可能会在数据采集、数模转换以及数据传输过程中出现误差,若数值偏差较大,会影响到系统的正常判断与控制,则认为是产生了不良数据,需及时处理。

对于不良数据的处理,首先取系统长时间运行数据构成运行数据集,对于某一类传感器数据,根据数据集的数据分布情况,划分出安全数据范围,超出安全范围的数据采用相同趋势补偿方法进行处理,若多次采集依旧为不良数据则进行报警与报表输出。

2.2 数据趋势提取

数据的运行趋势可以在一定层面上反映出当前数据的变化趋势,并且能有效滤除数据中的噪声干扰,可采用移动平均值算法对传感器数据进行趋势估计,平滑因子可以根据传感器类型以及待保留的趋势项平滑效果进行选取。如图 2 所示为入料浓度传感器线性趋势提取效果图。

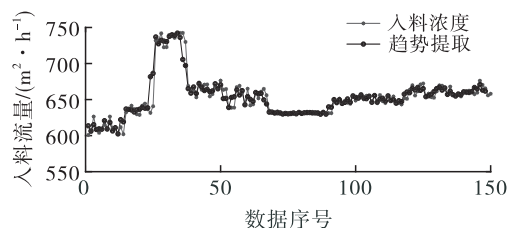


图 2 入料浓度线性趋势提取效果图

从图中可以看出,提取后的线性趋势有效的滤除了入料浓度的噪声干扰,趋势项与入料浓度趋势一致,具备其对应趋势特征,可以反映其运行变化趋势。

3 控制方法研究

3.1 控制流程

浓缩池溢流浓度控制流程如图 3 所示,其中,初始化的关键参数包括入料流量、入料浓度、加药量、底流浓度、溢流浓度等。根据相关性检测,如上 5 种参数不存在强相关性关系,可以最大程度的保证神经网络的有效性。神经网络给出目标浓度后,采用模糊 ADRC 控制方法对浓缩池浓度进行快速跟踪控制,测得实际浓度与目标浓度之间的误差后,更新系统参数并循环至神经网络输入端,开启下一阶段控制。

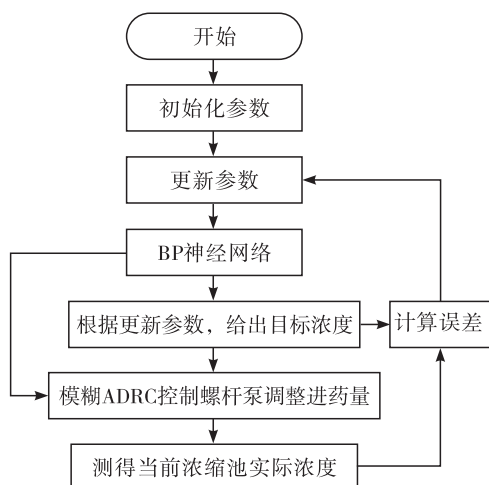


图3 控制流程图

3.2 BP 神经网络

BP 神经网络是一种信号正向传播,误差反向传播的网络结构,通过大量的数据训练过程,可以对给定的事件状态及处理方法进行学习,能够实现对未知事件的超前控制,适合用于解决溢流浓度的大滞后环节带来的问题。

BP 神经网络在使用时需确定基本结构。一般由输入层、至少一个隐含层、输出层组成,一般来说,三层神经网络在设置参数合理的情况下,可以满足对模拟任意复杂的非线性映射能力^[11],因此,该文的神经网络结构如图4所示,即标准的输入层、隐含层、输出层结构。

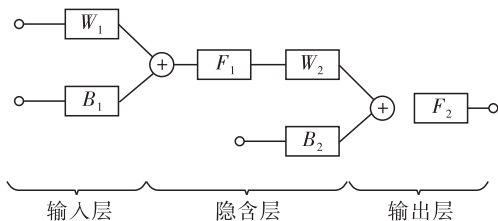


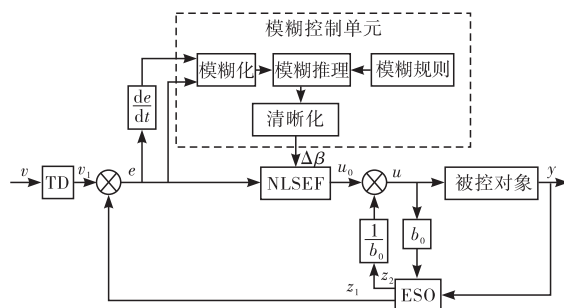
图4 BP神经网络模型示意图

输入层神经元作为神经网络的与工程应用的连接,主要功能为将传感器感知的人料流量、人料浓度、加药量、底流浓度、溢流浓度等数据传递至神经网络之中。同时还会输入如各种曲线的变化趋势等辅助输入量。输出神经元为两类,分别为浓缩池的目标浓度与控制等级。其中,浓缩池的目标浓度是当前入料情况、入料趋势与浓缩池状态等因素综合决定的,该过程需要通过大量训练数据进行训练,最后得到对应的非线性映射关系。所谓控制等级,就是根据当前浓缩池的浓度与目标浓度之间的差异情况,确定调节力度,将完整的控制过程分级、分段进行,当浓度偏差较大且变化趋势明显的情况下,采用

快速、细分段的控制方式,反之,则采用缓慢、多段的控制方式,如上分类方法既保证了针对该滞后环节的超前控制,又有效避免因为超前控制导致的絮凝剂添加量过多影响浓缩反应。

3.3 模糊 ADRC

根据神经网络的输出结果,将浓缩池实时浓度与目标浓度的误差转换至螺杆泵的转速误差,并对螺杆泵进行实时转速控制,达到按需供药的控制目标,因此,采用模糊 ADRC 控制器对其进行转速控制,该控制结构如图5所示。



4 实验验证

4.1 数据说明

为了验证控制方法的有效性,采用山西某选煤厂煤泥水浓缩池的大量工作运行数据对神经网络进行训练,并选择另外一组运行数据进行实验验证。

4.2 螺杆泵转速控制效果

在选煤过程中,螺杆泵的控制效果好坏会直接影响加药量的多少,间接影响浓缩池絮凝沉降的效果。螺杆泵的控制效果可以从响应速度、速度超调量和控制准确性三个方面进行评估。如图 6 为螺杆泵的给定速度曲线与实时跟踪曲线对比图。可以看出,在给定转速一定的前提下,PID 控制与模糊 ADRC 控制方法在给定转速发生变化时均出现了一定的滞后,但是模糊 ADRC 的滞后现象较弱,更快速地跟踪到给定转速。在速度持续增加后的稳定阶段,PID 控制出现了明显的超调现象,持续时间约为 0.15 s,相比之下,模糊 ADRC 具备很好的跟踪性能。

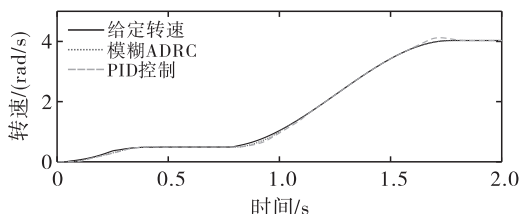


图 6 加速过程速度对比图

在给定转速稳定时,模糊 ADRC 的控制方法比 PID 控制准确率提高了 2%。

定义跟踪效果 Q 如下:

$$Q = \frac{\sum_{i=0}^n (v_r - v_{set})^2}{n} \times 100\% \quad (1)$$

其中: v_r 为当前速度; v_{set} 为给定转速; n 为总采样点数,按照如上的判定方法,模糊 ADRC 控制方法的总体跟踪效果比 PID 控制高 6.1%。

同时,螺杆泵减速过程的控制效果对比图如图 7 所示。

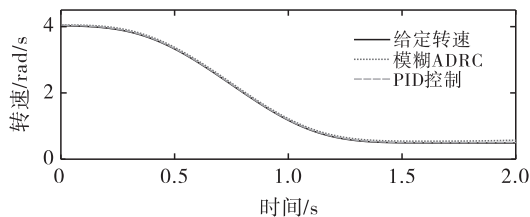


图 7 减速过程速度对比图

从图 7 可以看出,相比于加速过程,减速过程中

两种控制方法均具有较好的跟踪效果,无明显的过度控制现象,减速过程中,根据公式(1)计算,模糊 ADRC 控制方法的总体跟踪效果比 PID 控制高 3.2%。

4.3 浓度跟踪效果

为了验证整体算法的浓度跟踪效果,采用实测数据进行仿真验证,得到对应结果如图 8 所示,其中,最佳浓度为当前浓缩池的理论最佳浓度,人工估计为根据工人经验给出的浓缩池的经验浓度,该方法为通过该文的 BP 神经网络与模糊 ADRC 相结合的算法预测得到的浓度目标值。

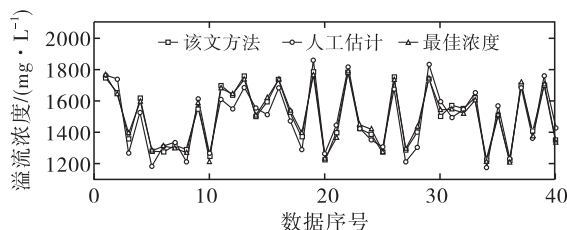


图 8 溢流浓度对比效果图

两种方法对应的误差如图 9 所示。

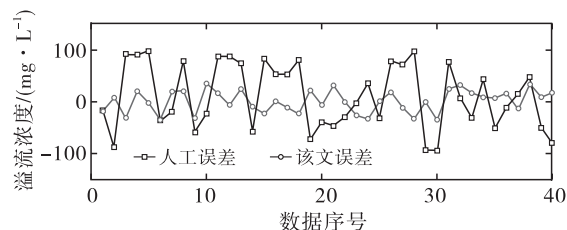


图 9 误差对比图

其中,人工误差为人工估计结果与最佳浓度之间的差值,同理,该文误差为该文使用方法给出的目标浓度与最佳浓度之差。结合图 8 与图 9 可以看出,人工经验估计出的浓度具有较大的偏差,最大的浓度偏差达到了 $96.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,且估计结果不稳定,可能会影响絮凝沉降的整体效果。相比之下,该文给出的目标浓度与最佳浓度之间吻合度较高,最大浓度误差为 $34.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,总体误差较小且具备较高的稳定性。

5 结语

该文搭建一套浓缩池自动加药系统,根据浓缩过程的入料的多种参数以及浓缩池的总体参数化情况,采用 BP 神经网络与模糊 ADRC 相结合的监测与控制方法。通过 BP 神经网络给出浓缩池的目标浓度,再通过模糊 ADRC 控制方法对其实际的浓度进行控制,经过多次循环既可以浓缩池溢流浓度的稳定控制,避免因絮凝剂添加量问题直接影响浓缩反应。

(下转第 91 页)

参考文献:

- [1] 仇炜,刘真,钟森龙,等. 220 kV 金属型高压电缆接头保护装置的泄能孔和壁厚设计[J]. 高压电器,2022,58(1):190-198.
- [2] 汪锐,牟志远,任长永. 基于谐振特性的高压电缆介损测试方法研究[J]. 绝缘材料,2022,55(10):107-112.
- [3] 王延年,李鹏程,廉继红,等. 纱线卷绕系统恒张力先进控制策略[J]. 纺织高校基础科学学报,2023,36(1):49-56.
- [4] 邱靖超. 基于 FPGA 的步进电机多轴运动控制系统设计[D]. 太原:中北大学,2021:15-36.
- [5] 仇月仙. 小型金属窄带恒张力卷绕控制系统设计[J]. 机械科学与技术,2023,42(3):396-401.
- [6] 肖云吉. 聚四氟乙烯绕包绝缘导线研究与应用[J]. 机电元件,2020,40(3):6-8+12.
- [7] 宋欢,丁娉,杨军,等. 导线绕包用聚芳酰胺纤维纸热老化及应用性能研究[J]. 绝缘材料,2022,55(8):37-44.
- [8] 毛玉祥,康运江,潘登辉,等. 钢卷穿心缠绕机张力控制策略研究[J]. 制造业自动化,2021,43(12):89-92.
- [9] 郭杰,张亚锋. 适宜于非晶窄薄带材的智能张力控制系统的设计与实现[J]. 机床与液压,2021,49(24):105-109.
- [10] 张立冬,寇子明,吴娟,等. 输送带收卷装置设计及其恒张力控制研究[J]. 机电工程,2021,38(3):388-392.
- [11] 曹小华,宋景祥. 基于 BP 神经网络的电缆输送装置恒张力控制研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2021,45(6):1190-1194.
- [12] 陈宏博,杜向党,汪旭海. 基于恒张力控制的小型波浪补偿装置的设计与实现[J]. 机械与电子,2020,38(03):35-38.
- [13] 孙志龙,贾立民,刘勇,等. 自动绕线机控制系统的研究[J]. 机床与液压,2022,50(24):54-58.
- [14] 殷晓康,邓承杰,曹松,等. 基于微控制器的便携式共面电容无损检测系统[J]. 实验技术与管理,2020,37(11):103-109.
- [15] 李想,李阳. 32 位微控制器在远程网络化测控系统研究[J]. 微型电脑应用,2020,36(7):85-87.
- [16] 唐钊,刘昱,曾林. 面向步进电机控制的 RISC-V 微控制器的设计与实现[J]. 重庆大学学报,2021,44(11):31-39.

(上接第 86 页)

参考文献:

- [1] 严明林. 地面筛分选煤破碎装备智能化改造与研究[J]. 煤矿机械,2022,43(05):116-119.
- [2] 孟莹. 井下智能煤矸分选系统方案研究[J]. 煤矿机械,2021,42(09):29-31.
- [3] 冯甜欣,张晓光,刘景勇,等. 基于云平台的选煤厂环境监测系统[J]. 工矿自动化,2021,47(10):121-126.
- [4] 程子墨. 新形势下我国煤炭洗选加工现状及展望[J]. 煤炭加工与综合利用,2022(1):20-26.
- [5] 张洋洋,樊玉萍,马晓敏,等. 基于 ISSA-LSTM 的浓缩池溢流浓度预测[J]. 工矿自动化,2022,48(11):63-72.
- [6] 董永胜,陈为高,侯佃平,等. 智能化选煤厂研究与建议[J]. 工矿自动化,2021,47(增刊1):26-31.
- [7] 李庆明,褚平安,王学军. 煤炭洗选相关国家标准分析[J]. 煤炭加工与综合利用,2022(5):83-89.
- [8] 李朋,张明远,王保强. 分级破碎机智能化技术现状与发展方向[J]. 煤炭工程,2022,54(1):133-136.
- [9] 任继平. 自动控制系统在选煤厂浮选过程中的应用研究[J]. 煤炭与化工,2020,43(11):103-105.
- [10] 代伟,夏振兴,常俊林,等. 基于 CPS 架构的煤炭清洗选过程控制创新实验平台[J]. 实验技术与管理,2022,39(09):119-126.
- [11] 凌标灿,杨佳滨. 电机滚动轴承故障诊断中 BP 与 RBF 神经网络的比较[J]. 华北科技学院学报,2018,15(6):53-57.
- [12] 贺耀庭,谢源,李少朋,等. 基于蚁群算法的风电 AD-RC 变桨控制器优化设计[J]. 计算机应用与软件,2022,39(10):64-70.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎刊登广告!

国内邮发代号:52-49 国际发行代号:BM529 定价:18.00 元/期 108.00 元/年
地址:西安市高新区沣惠南路 8 号 邮编:710075 电话:029-81871277
网址: <http://yb-zdh.shaangu-group.com> 电子邮箱: gyybbjb@126.com