

基于模糊免疫 PID 的煤矿超高水充填料浆控制

王桂梅 宗岩

(河北工程大学机电学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 现有超高水充填 A/B 料浆混合控制系统只检测、控制流量, 本文提出增加浓度控制, 使 A/B 料浆配比严格为 1:1。将充填料浆流量与浓度实时的检测数据与模糊推理逻辑和生物免疫反馈响应过程的调节作用相结合, 将模糊免疫 PID 控制方法应用到超高水充填控制系统中。仿真结果表明, 优化后的控制效果优于常规的 PID 控制, 具有较强的自适应能力和鲁棒性。

关键词: 超高水充填; 浓度检测; 模糊; 免疫 PID;

中图分类号: TD853

文献标识码: A

The slurry control based on fuzzy immune PID of coal mine the ultra - high water filling system

WANG Gui - mei , ZONG Yan

(College of Mechanical and Electrical Engineering , Hebei University of Engineering , Hebei Handan 056038 , China)

Abstract: The existing ultra - high water filling A/B slurry mixture control system detections and controls flow in order to make sure A /B slurry ratio of 1:1 strictly. This paper proposes to increase the concentration control. This paper combines slurry flow and concentration data in real - time detection with fuzzy logic inference and the process of biological immune feedback response , the fuzzy immune PID control method is applied to the ultra - high water filling control system. The simulation results show , the optimized control effect is superior to the conventional PID control , it has strong adaptive ability and robustness.

Key words: ultra - high water filling; density detection; fuzzy; immune PID control

超高水充填采煤法要求充填料浆中 A 料(添加 AA 小料) 与 B 料(添加 BB 小料) 的配比为严格的 1:1。目前超高水充填站只对 A/B 料浆的流量进行检测与控制, 但对料浆的浓度没有监控。当由于称重与计量误差产生料浆浓度变化时, 会对充填效果产生不利影响。本文在充填管路上加装料浆浓度传感器并采用一种新型的模糊免疫非线性 PID 控制算法来控制料浆浓度, 使得物料配比更加精细, 充填效果更加良好。

1 超高水充填站工艺分析

如图 1 所示, 在超高水充填工艺中, 首先 A/B 料、AA/BB 料与水经各自的称量斗称重之后添加至搅拌机搅拌, 然后将搅拌后的成品料浆存储在缓冲斗中, 缓冲斗中的料浆经过充填管路自流至

井下充填工作面^[1]。由于物料在存储过程中干湿情况不同, 在称重过程中由于螺旋给料机、水泵、卸料蝶阀的响应速度不同, 都会造成物料配比的偏差。其偏差往往是随机不确定的^[2]。

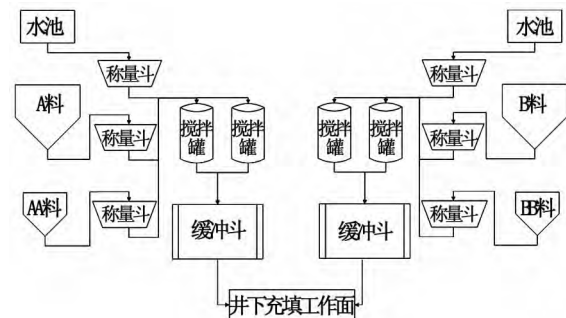


图1 超高水充填工艺流程

Fig.1 The ultra- high water process

我们在 A 料浆与 B 料浆的两条输送管路上都

安装超声波料浆浓度计,安装位置如图2所示,其可以实时在线监测0.2%至60%的污泥和悬浮物浓度的变化并实现相关工艺过程自动控制^[3]。此料浆浓度计可以实现现场校准的4~20 mA 电流输出,可以用于远程系统控制。

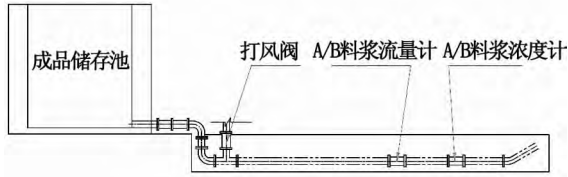


图2 A/B料浆浓度计位置示意图

Fig. 2 The sketch map of A/B slurry concentration meter

2 优化控制理论

免疫系统是一种在不确定性环境和大量干扰时具有很强自适应性和鲁棒性的系统。当机体内有抗原性异物进入,机体能快速识别“非己”和“自己”,并发生一系列的机体反应以排除抗原性的非己物质^[4-6],如图3所示。本文借鉴生物免疫反馈响应过程的调节作用并结合模糊控制和常规PID控制的优点提出了一种新型的模糊免疫PID控制算法,将其应用于超高水充填A/B料浆控制系统^[7-8]。

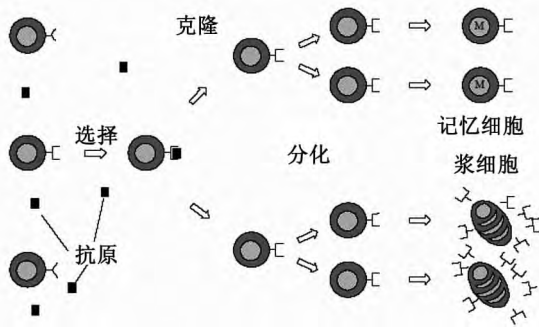


图3 免疫优化拓扑图

Fig. 3 Immune topology optimization

定义在第k代的抗原数目为 $\varepsilon(k)$,由抗原刺激的 T_H 细胞的输出为 $T_H(k)$, T_S 细胞对B细胞的影响为 $T_S(k)$,则B细胞接收的总刺激为

$$S(k) = T_H(k) - T_S(k) \quad (1)$$

式中 $T_H(k) = k_1 \varepsilon(k)$; $T_S(k) = k_2 f[\Delta S(k)] \varepsilon$; $f[\cdot]$ 是一个选定的非线性函数。对于控制系统若将抗体的数量 $\varepsilon(k)$ 作为偏差,B细胞接收的总刺激 $S(k)$ 作为控制器输出 $\mu(k)$,则有以下反馈控制规律

$$\mu(k) = \{k_1 - k_2 f[\Delta \mu(k)]\} \varepsilon(k) \quad (2)$$

显然,构成了一个参数可调的比例调节器。

3 优化方法与实现

在初次搅拌放浆时,设A/B料浆浓度的抗体群数目为一个在解空间 Ω 中的随机参数^[9]。A料浆浓度的抗体的基因为 $Ab = (K_{Ap}, K_{Ai}, K_{Ad})$,B料浆浓度的抗体基因为 $Bb = (K_{Bp}, K_{Bi}, K_{Bd})$; A/B料浆浓度的抗体满足

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |IAO_i - DAO_i| \right]_{(K_p, K_i, K_d) \in \Omega} \leq \varepsilon$$

$$(IAO_i - DAO_i)_{(K_p, K_i, K_d) \in \Omega} \stackrel{t=0}{=} -1$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |IBO_i - DBO_i| \right]_{(K_p, K_i, K_d) \in \Omega} \leq \varepsilon$$

$$(IBO_i - DBO_i)_{(K_p, K_i, K_d) \in \Omega} \stackrel{t=0}{=} -1 \quad (3)$$

式中 DAO_i - A料浆浓度设定输出; IAO_i - A料浆浓度实际输出; DBO_i - B料浆浓度设定输出; IBO_i - B料浆浓度实际输出。

3.1 抗原

A/B料浆浓度的抗原分别为

$$devAi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |IAO_i - DAO_i|_{(K_p, K_i, K_d) \in \Omega}$$

$$devBi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |IBO_i - DBO_i|_{(K_p, K_i, K_d) \in \Omega} \quad (4)$$

3.2 亲和力和相似度

设定A料浆浓度的抗原与抗体亲和力为 (QA_f) ,B料浆浓度的抗原与抗体亲和力 (QB_f)

$$QA_f = 1/(1 + k \times devAi) \quad QB_f = 1/(1 + k \times devBi) \quad (5)$$

式中 k - 敏感度因子。

3.3 引入模糊控制器

A/B料浆浓度的设定输出值 DAO_i , DBO_i 与A料,B料的称重值之间相关。为了保持控制稳定,对A/B料的称重值进行正“P”和负“N”模糊集化^[10-11],如图4所示。

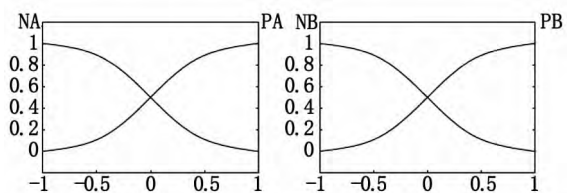


图4 模糊隶属度图

Fig. 4 Fuzzy membership degree

3.4 实际测量与研究

观测运用 PID 控制算法超高水充填料浆控制系统中 A/B 料浆管路中料浆的浓度变化对比, 数据结果见表 1。

表 1 PID 控制料浆浓度检测

Tab. 1 PID control slurry concentration detection

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A 料浆 / %	79	70	72	75	73	74	75.5	75	75
B 料浆 / %	68	77	75	74	76	75	74	75	75

用 MATLAB 进行数据拟合, 结果如图 5 所示。

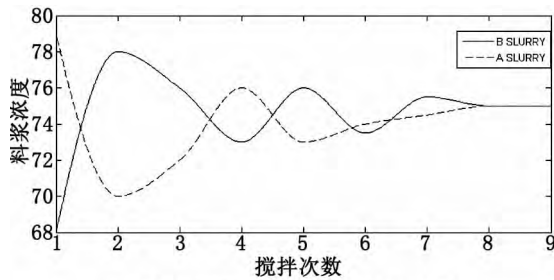


图 5 PID 控制料浆浓度拟合图

Fig. 5 The fitting figure of PID control

表 1 显示, 放浆初期 A/B 料浆浓度差为 11%, 在搅拌 8 次后 A/B 料浆浓度差为 0%, 由图 5 PID 控制料浆浓度拟合图得出调节过程中 A/B 料浆曲线多次交叉、振荡幅度较大、调节速度较慢、稳定性差。

观测运用模糊免疫 PID 控制算法超高水充填料浆控制系统中 A/B 料浆管路中料浆的浓度变化对比, 数据结果见表 2。

表 2 模糊免疫 PID 控制算法料浆浓度检测

Tab. 2 The slurry concentration detection of fuzzy immune PID control algorithm

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A 料浆 / %	79	72	74	74.6	75	75	75	75	75
B 料浆 / %	68	77	76	75.5	75	75	75	75	75

用 MATLAB 进行数据拟合, 结果如图 6 所示。

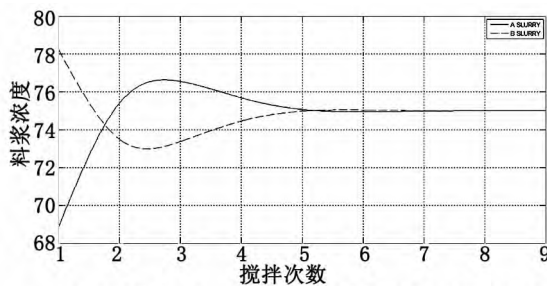


图 6 模糊免疫 PID 控制算法料浆浓度拟合图

Fig. 6 The fitting figure of slurry concentration by using fuzzy immune PID control algorithm slurry concentration

表 2 显示, 放浆初期 A/B 料浆浓度差为 11%, 在搅拌 4 次后 A/B 料浆浓度差为 0%, 由图 6 模糊免疫 PID 控制算法料浆浓度拟合图得出调节过程中 A/B 料浆曲线交叉次数较少、振荡幅度小、调节速度快、稳定性高。

4 结语

本文给出的浓度控制方法并结合超声波料浆浓度计保障了超高水充填中 A/B 料浆可以严格为 1:1, 从而大大提高了充填效果与稳定性。在控制方法上选用模糊免疫 PID 控制算法显著优于传统 PID 控制, 模糊免疫 PID 控制算法响应更快、振荡幅度更小、调节速度更快、稳定性更高。

参考文献:

- [1]冯光明, 孙春东, 王成真, 等. 超高水材料采空区充填方法研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(12): 1963-1968.
- [2]崔刚, 陈文楷. 充填料浆浓度控制方法的选择[J]. 有色金属: 矿山部分, 2004, 56(2): 7-9.
- [3]刘杰辉, 卫峥峥. Optimization design of uncertainty fluid topology in the parallel connection of double pump[J]. World Journal of Engineering, 2014, 11(3): 90-98.
- [4]刘国联, 谭冠政, 何燕. 基于改进人工免疫算法的 PID 参数优化研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(19): 84-86.
- [5]陈少白, 谭光兴, 毛宗源. 基于一种人工免疫算法的 PID 参数优化[J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2006, 29(3): 313-315.
- [6]潘海鹏, 王皖慧, 高金凤. 基于改进人工免疫算法的变参数 PID 控制研究[A]. Proceeding of the 30th Chinese Control Conference[C]. China Academic Journal Electronic Publishing House, 2011: 3752-3755.
- [7]柳贺. 模糊免疫自适应 PID 控制在恒张力控制中的应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [8]赵君, 冯玉昌, 赵柏林. 模糊免疫 PID 在电站主汽温控制系统中的应用[J]. 东北电力大学学报, 2012, 32(3): 42-54.
- [9]李小勇. 人工免疫系统原理分析及其应用研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2010.
- [10]洪炎, 苏静明, 唐超礼. 基于模糊-免疫 PID 的冻结菌井流量智能控制研究[J]. 煤矿机械, 2012, 33(6): 227-229.
- [11]徐立军, 何颖. 模糊 PID 控制结构分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29(2): 71-74.

(责任编辑 刘存英)