

# 基于模糊控制的水泥生产线配料控制系统

朱达荣<sup>1,2</sup>, 汪萍<sup>2</sup>, 王雅<sup>2</sup>

(1.合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009;

2.安徽建筑工业学院 机械与电气工程学院, 安徽 合肥 230022)

**摘要:** 在水泥生产线配料自动控制系统中, 引入模糊控制策略, 构建二维模糊控制器, 以下料量偏差  $e$  的积分和偏差变化率作为输入量, 以给定值作为输出量, 对下料量进行无偏差控制。经过 MATLAB 仿真并应用于实际工程项目中, 表明模糊配料控制系统优于 PID 控制系统, 对水泥生产的质量提供了可靠保证, 具有明显的经济效益。

**关键词:** 水泥生产线; 模糊控制; 配料系统; 仿真

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)17-0098-03

## Burdening control system in cement production line based on fuzzy control

ZHU Da Rong<sup>1,2</sup>, WANG Ping<sup>2</sup>, WANG Ya<sup>2</sup>

(1.School of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2.School of Mechanical & Electrical Engineering, Anhui University of Architecture, Hefei 230022, China)

**Abstract:** The fuzzy control method is introduced to create two-dimensional fuzzy controller in the automatic burdening control system of cement production line. Feeding capacity is non-bias controlled with the integration of its error and the change rate of error as input, and the assigned value as output. Simulation of the control system with MATLLAB and its application in engineering project shows that the fuzzy controller is superior to PID controller. This system ensures the quality of cement production with evident economic benefit.

**Key words:** cement production line; fuzzy logic control; burdening system; simulation

在水泥生产过程控制系统中大量采用电子皮带秤来计量和控制物料下料量。由于物料成分及形状多种多样、水泥生产现场环境恶劣等原因, 皮带秤计量控制系统具有非线性、惯性、滞后性和随机性等缺点, 在实际控制应用中, 很难建立其精确的数学模型, 用传统的 PID 控制方法不能很好地解决这些问题。而以语言规则模型为基础的模糊控制理论却是解决上述问题的有效途径和方法。采用工控机和牛顿 7000 系列模块对配料系统进行整体控制, 在此基础上, 引入模糊控制策略对各种配比成分进行控制, 实践证明控制效果非常理想。对水泥生产的质量提供了可靠保证, 具有明显的经济效益。

### 1 物料计量和控制方法

确保水泥质量的关键是物料严格按配比配料, 而各物料的配比量来自皮带秤的称量量, 皮带秤的计量是否

准确就成了影响水泥质量的关键因素。

常见的计量方式为流量计算, 即对称重传感器信号和皮带运行速度的乘积进行积分<sup>[1]</sup>, 这种方式计算工作量大、流量控制复杂、稳定性差, 并且皮带秤的标定很麻烦, 需要大物料的实物标定, 且误差大。

在反复试验研究基础上, 采用了一种准静态直接称重法, 工作原理如图 1 所示。设 A 点为下料点, B 点为出料点, 从 A 点到 B 点的运行时间为皮带的周期  $T$  (一般 10 s 左右, 为已知量并且预先设置), 物料流量的积分时间为  $T$ , 传感器信号直接对应每一秤物料的重量, 这种方法的优点是运算简单方便, 而且标定

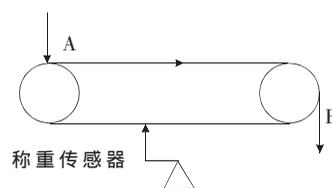


图 1 皮带秤称重示意图

时只需挂码静态标定,而非繁琐复杂的实际大物料(几吨至几十吨)动态流量标定。

本文采用调速皮带秤计量控制方式设定下料周期  $T$ , 实现了无偏差控制。

### 2 配料控制系统构成

水泥厂环境恶劣(高粉尘、噪音、高温、高电磁干扰等),为实现远距离控制,选用了牛顿 7000 系列远端数据模块和工业计算机来完成。系统构成如图 2。牛顿 7000 系列模块采用 RS485 方式通讯,系统只需用一条双绞线即可联结,其具有的高通信速率、高采样分辨率、智能化、光电隔离、强抗干扰和双看门狗设计,使系统可靠性高,数据高速 I/O 成为可能,软件开发也比较容易<sup>[2]</sup>。而且主机使用 RS232 通讯口与网络连接,基本上任何一台有 RS232 的计算机都可使用此网络,设备互换性好,维护人员的工作难度和工作量也很小<sup>[2-3]</sup>。

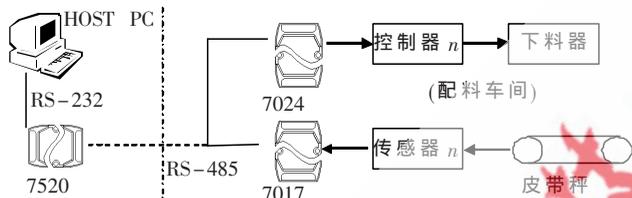


图 2 系统构成图

### 3 配料模糊控制系统

配料系统在无误差控制过程中,如果偏差没有纠正(补偿),将导致配比失衡,出现大量的废料,造成损失。为保证配料系统的无误差及良好的动态指标,系统中将误差的积分量和微分量作为模糊控制器的输入。模糊控制器的输出为控制值的修正量  $\Delta u$ , 由给定计算出的直接控制量为  $u$ ,  $u+\Delta u$  经 D/A 转换输出控制下料器。配料模糊控制器原理图如图 3 所示。

由于每种物料成分及其配比各不相同,其偏差、偏差积分量、偏差微分量的基本论域  $[a, b]$  也不相同。首先将  $x \in [a, b]$  变换成  $y \in [-Xe, Xe]$  的连续区间:

$$y = \frac{2Xe}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right) \quad (1)$$

选取不同的量化因子将偏差积分量、偏差微分量离

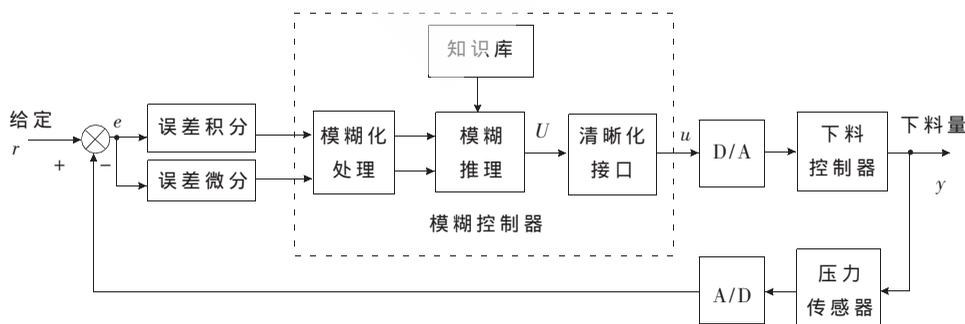


图 3 下料模糊控制原理图

散化,模糊集的论域为  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。其模糊子集  $e = \{NB, BM, BS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。采用式(2)来分别拟合模糊集合的隶属度。

$$\mu_A(x) = \exp \left[ - \left( \frac{x-c}{d} \right)^2 \right] \quad (2)$$

式中,  $c = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。由于本系统偏差比较大,应采用低分辨率的隶属函数,故  $d = 1.2 \sim 3$ 。同理,确定输出量的论域和模糊子集:  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 、 $u = \{NB, BM, BS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。

配料模糊控制器的输入变量为偏差积分  $e_i$  和偏差微分  $e_d$ , 输出变量为  $u$ , 其相应的语言变量为  $E_i, E_d, U$ , 在专家知识和手动操作经验基础上建立模糊控制规则(如表 1)存放于知识库中,在模糊推理时为推理机提供控制规则。

表 1 模糊控制控制规则表(U)

$E_i \backslash E_d$	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	NB	NB	NB	NB	NM	ZO	ZO
PM	NB	NB	NB	NB	NM	ZO	ZO
PS	NM	NM	NM	NM	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
NS	NS	NS	ZO	PM	PM	PM	PM
NM	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB	PB
NB	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB	PB

由于被控对象只能接收一个精确的数字控制量,无法接收模糊控制量,必须经过清晰化(信号的滤波调理)接口,将模糊量  $u$  转换成精确量  $u^*$ , 精确量  $u^*$  乘以比例因子  $k_u$ , 再经过 D/A 转换输出下料控制器。本系统中模糊判决方式采用加权平均法<sup>[4]</sup>:

$$u^* = \frac{\sum_i \mu_{U_i}(u_i) \cdot u_i}{\sum_i \mu_{U_i}(u_i)} \quad (3)$$

### 4 配料模糊控制系统仿真

利用 Matlab 中的 fuzzy 工具箱和 Simulink 工具箱对该配料模糊控制系统进行仿真研究,配料模糊控制仿真模型如图 4。图中信号发生器模拟产生下料偏差,本例中模拟产生正弦波动的误差。

调整模糊论域中每个元素的隶属函数(式 2)的  $d$  值,考虑到下料量波动的随机性,为得到良好的稳态和动态指标,元素 0 处的

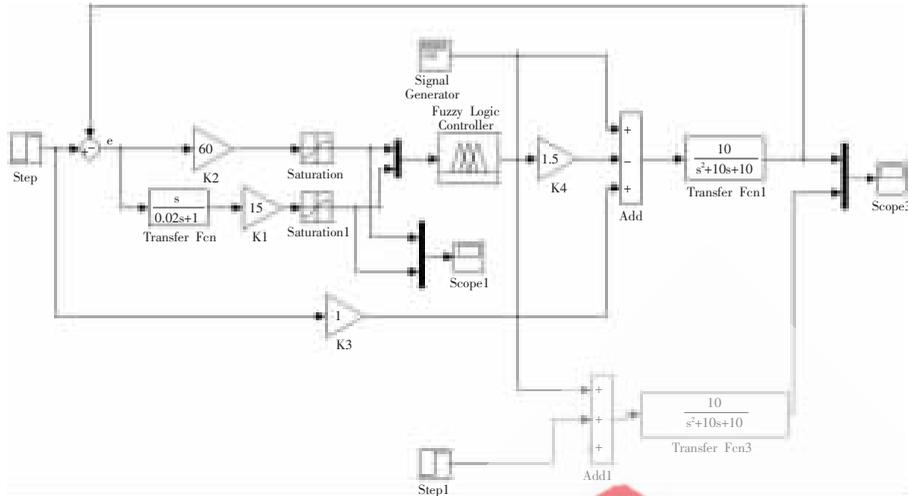


图 4 配料模糊控制仿真模型

分辨率取低,元素 6 处分辨率取高。按照表 1 所列控制规则,利用 Matlab/Toolbox/Fuzzylogic/FIS 计算出控制量查询表,控制量查询三维图如图 5 所示,系统模糊集变量图如图 6 所示。经过反复调整量化因子和比例因子,可以得到下料模糊控制仿真曲线,如图 7。从仿真结果可以看出:采用模糊控制方式,系统能快速补偿上一控制周期所产生的偏差。经过实际应用,也验证系统超调量小、鲁棒性强的特点<sup>[5]</sup>。

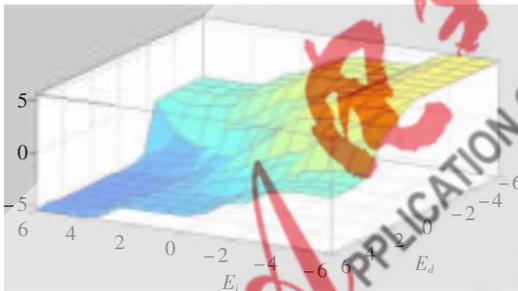


图 5 控制量查询三维图



图 7 下料模糊控制仿真曲线

究的水泥生产线自动配料控制系统在数家中、小水泥厂生料、熟料生产线上投运以来,大大提高了水泥生产质量,增加了产量,降低能耗,同时还减轻了工人劳动强度,提高了水泥生产的自动化水平和生产管理水。系统具有明显的经济效益和社会效益,以及较高的推广应用价值。

参考文献

- [1] 岳庆寅.水泥厂计量手册[M].北京:中国建材工业出版社,1993.
- [2] 阳宪惠.现场总线技术及其应用[M].北京:清华大学出版社,1999.
- [3] 陈佩江.串行通讯在远程监控系统中的应用[J].哈尔滨理工大学学报,2002,7(2).
- [4] 曹承志.微型计算机控制新技术[M].北京:机械工业出版社,2001:193-230.
- [5] 石辛民.模糊控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:清华大学出版社,2008.

(收稿日期:2010-04-01)

作者简介:

朱达荣,男,1968年生,副研究员,主要研究方向:工业电气自动化、智能控制技术。

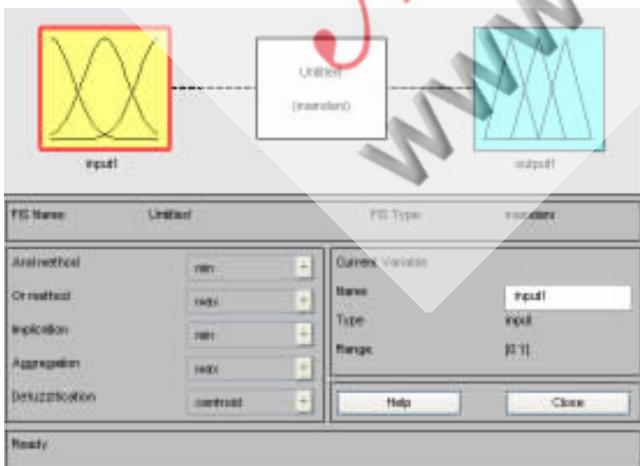


图 6 系统模糊集变量图

针对水泥生产线中配料系统,提出一种准静态计量方式,采用模糊控制策略,取得良好的控制效果。本文研