

# 奶粉喷雾干燥模糊控制器的设计与仿真

荆红莉 赵鹏 胡大伟  
(榆林学院 榆林 719000)

**摘要:**通过对喷雾干燥工艺过程的分析,针对传统的奶粉干燥控制系统存在的问题,提出以排风温度为主变量对蒸汽阀门进行粗调,以进风温度为次变量对蒸汽阀门进行微调的双闭环温度控制系方案。将模糊智能算法与传统PID控制结合起来作为主控制器,代替传统滞后补偿 smith PID 控制算法,建立了系统的仿真模型,通过 MATLAB 仿真实验证明了此系统具有良好的静态性能。

**关键词:**温度双闭环控制;模糊PID;喷雾干燥

**中图分类号:**TK323 **文献标识码:**A **国家标准学科分类代码:**470.4034

## Fuzzy controller design and simulate of milk powder spray drying

Jing Hongli Zhao Peng Hu Dawei  
(Yulin University, Yulin 719000, China)

**Abstract:** In order to solve the problems existing in the traditional milk powder drying control system, this paper analyzed the spray-drying process of milk powered and determined a new control method. Exhaust temperature as the main controlled variable to regulate the steam valve opening coarsely; inlet air temperature as the deputy variable to regulate the steam valve opening subtly in this control method. Main controller controller using fuzzy PID controller, and deputy controller using conventional PID control. simulation model of the system is built through the MATLAB and simulation experiments proved that this system has good static and dynamic performance.

**Keywords:** temperture double closed loop control; fuzzy PID control; spraying-dry

### 1 引言

喷雾干燥是奶粉加工工艺中的重要环节,此环节的控制性能直接决定着产品的质量。喷雾干燥是一个典型的过程控制系统,其特点是时间、容积滞后大,干扰多,系统数学模型难以确定。目前,我国对于喷雾干燥过程控制的总体水平还不高,主要采用常规PID的变形形式:微分先行控制和中间微分控制<sup>[1]</sup>。这两种控制主要是充分发挥微分的先导作用,实现提前控制,但存在控制超调大,响应速度慢的缺点。有学者提出采用具有滞后补偿的 smith PID 控制<sup>[2]</sup>。这种控制克服了纯滞后时间对控制系统的影响,但需要提供精确的数学模型,过程控制中被控对象的增益、滞后时间、时间常数等参数会跟随工作状态和环境条件不断变化,无法建立精确的数学模型<sup>[3]</sup>。针对喷雾干燥过程控制系统的大时滞、非线性、多扰动等特点<sup>[4]</sup>,本文提出了带 smith 滞后补偿的模糊PID串级温度控制方案。

### 2 奶粉喷雾干燥工艺流程

奶粉的喷雾干燥是将调配好的牛奶通过浓缩处理后,经高压泵升压力至15~20 MP,经雾化器在干燥室内喷出并与鼓入的热空气接触,在0.01~0.04 s的时间内将奶雾中的水分蒸发完毕。干燥后的奶粒在重力作用下飘落在干燥塔椎体部分汇集流出,水蒸气则被从干燥塔排风口抽出。从干燥塔流出的奶粉流入震动流化床,在此通过净化空气进行降温除潮处理后,过筛分离后包装<sup>[5]</sup>。

### 3 奶粉喷雾干燥过程的控制方案

在整个干燥过程中干燥温度控制是关键环节,为了确保产品质量,减小超调量、加快系统的响应速度,本文采用以控制排风温度为主,进风温度为副,通过调节蒸汽阀的开度构成串级温度双闭环控制系统。其控制系统如图1所示。

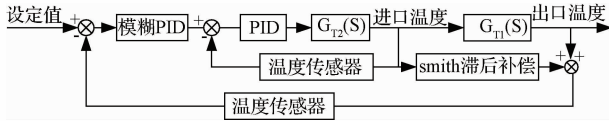


图1 奶粉喷雾干燥控制系统

针对系统的大时滞特性,本文采用有纯滞后补偿的smith控制,对于由于过程控制时变性造成的难以提供被控对象准确的数学模型的问题,本文采用不依赖被控制对象数学模型的适用于非线性系统的模糊控制智能算法,将模糊控制与PID算法结合起来作为干燥塔与出口温度组成的主闭环系统调节器,用常规PID作为加热系统与入口温度组成的闭环系统的次级调节器。整个系统的控制方案既兼顾了模糊PID控制的响应速度快、鲁棒性好、抗干扰能力强等优点,有具有常规PID的控制精确度高及smith控制算法的滞后补偿作用,以此提高系统总的控制品质<sup>[6-7]</sup>。

## 4 模糊PID控制器设计

### 4.1 模糊控制器的输入、输出变量的确定

喷粉干燥系统的可控变量主要有蒸汽流量、进风温度、排风温度、物料流量等。根据控制方案,本文以干燥塔排风温度误差  $e$  及误差的变化率  $ec$  作为模糊控制器的输入量,通过量化因子将输入量转换到相应的输入论域  $[-6, 6]$ ,选择等腰三角函数为隶属函数,将输入划分到模糊控制器对应的模糊子集  $[NB \ NM \ NS \ ZE \ PS \ PM \ PB]$  中<sup>[8-10]</sup>。控制器根据不同时刻输入量与输出量的模糊对应关系,经过模糊推理和反模糊处理后,以  $U$  作为模糊控制器的输出量,其输出论阈也为  $[-6, 6]$ ,此输出又作为进

口温度控制内环的给定值。

### 4.2 模糊推理规则及反模糊化

为了达到控制系统的最佳动态性能,根据喷雾干燥过程的实际要求,结合操作人员的实际工作经验,制定了49条模糊控制规则如表1所示。模糊控制器输出的信号仍为模糊量,不能直接用来作用于被控对象,因此本文采用重心法进行了解模糊化处理<sup>[11]</sup>,并将其转换到相应的输出论域。

表1 模糊控制规则

E/ec U	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	ZE	ZE
NM	PB	PB	PB	PB	PM	ZE	ZE
NS	PM	PM	PM	PM	ZE	NS	NS
ZE	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZE	NM	NM	NM	NM
PM	NE	ZE	NM	NB	NB	NB	NB
PB	ZE	ZE	NM	NB	NB	NB	PM

## 5 奶粉喷雾干燥系统仿真与实验

奶粉喷雾干燥系统是由控制排风温度为主,控制进风温度为副的温度双闭环控制系统,通过时域参数辨识法得到主回路被控对象的传递函数为<sup>[12]</sup> $G_{T1}(S) = \frac{e^{-168s}}{400S+1}$ ,副回路被控对象的传递函数为<sup>[13]</sup> $G_{T2}(S) = \frac{1}{10S+1}$ 。利用MATLAB建立系统的仿真模型如图2所示。

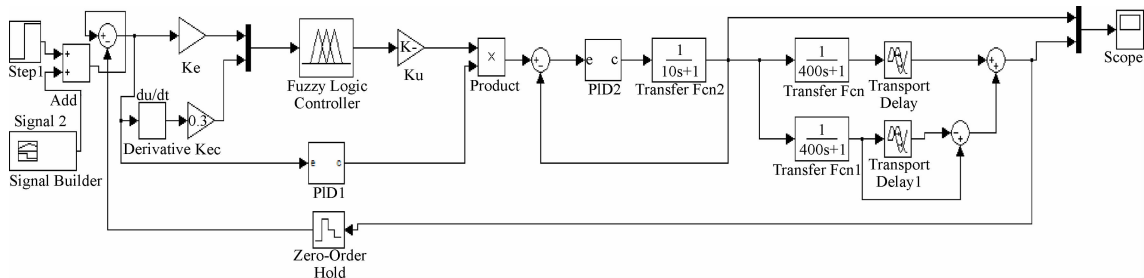


图2 奶粉喷雾干燥控制系统仿真模型

在此模型的基础上进行仿真实验,得到系统在单位阶跃信号作用下的输出曲线如图3所示。由图可知,进风温度响应曲线  $M_p = 26\%$ ;排风温度输出曲线  $M_p = 0$ 。在700~800 s之间,通过signal builder模块对输入端加入扰动信号再次实验测得:单纯的PID双闭环控制时,系统最大超调  $M_p = 40\%$ ,响应时间  $T_s$  为650 s,如图4所示;双闭环模糊控制时,整个控制系统最大超调  $M_p = 0.5\%$ ,响应时间  $T_s$  为600 s。其对应的进风温度与排风温度的响应变化曲线如图5所示。

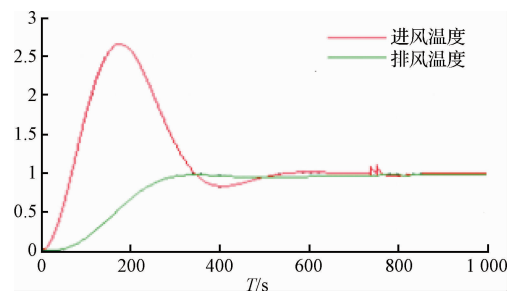


图3 模糊PID温度双闭环控制模型仿真曲线

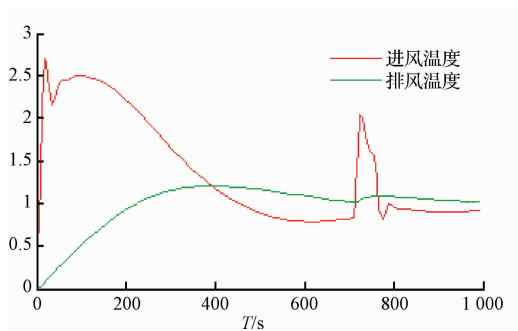


图4 扰动作用下PID温度双闭环控制仿真曲线

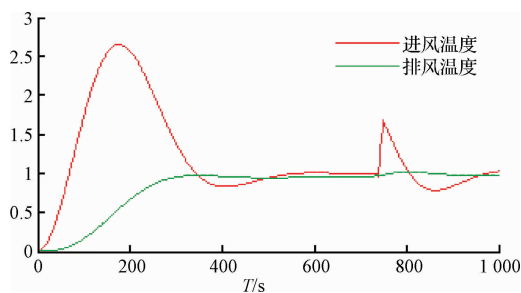


图5 扰动作用下模糊PID温度双闭环控制仿真曲线

通过仿真实验可以看出,在整个系统工作过程中,排风温度的超调小,调节时间<sup>[14]</sup>。在扰动信号作用的时间处进风温度响应曲线出现了一定的波动,但经过较短时间调整后,很快进入稳定状态,排风温度响应曲线波动相对较小,系统的控制品质好<sup>[15]</sup>。

## 6 结论

本文对奶粉的干燥喷雾过程的特点和工艺流程进行了分析,指出了传统 smith 滞后补偿 PID 控制算法所存在的不足,提出了将模糊智能算法应用于此系统,并采用模糊 PID 为主,PID 为副的出口、进口温度双闭

环控制方案。在 MATLAB 环境下建立了整个系统的仿真模型,通过仿真实验证明了此控制系统稳定性好,抗干扰能力强,控制品质优良。

### 参考文献

[1] 高彬彬,姜波. 番茄酱套管杀菌 Fuzzy-PID 温度温度控制器的设计与仿真[J]. 甘肃农业大学学报,2015,50(5):177-180.

[2] 张勇. 喷雾干燥过程复合模糊控制方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2011.

[3] 李辉. 蛋粉喷雾干燥智能控制器设计及系统仿真[D]. 天津:天津大学,2004.

[4] 朱明清,刘彤军. 喷雾干燥过程分析及 PID 控制仿真[J]. 自动化技术与应用,2013,32(12):35-38.

[5] 荆红莉,赵鹏,胡大伟. 参数自整定 Fuzzy-PID 在液奶杀菌系统的应用研究[J]. 电子测量技术,2016,32(10):35-38.

[6] 冯颜. 麦芽糊精喷雾干燥塔控制系统的研究与设计[D]. 天津:天津职业技术师范大学,2014.

[7] 姚绪梁,佟为明,尹国慧. 无位置传感器直流无刷电动机自整定模糊控制系统研究[J]. 仪器仪表学报,2009,30(1):187-192.

[8] 荆红莉,赵鹏. 基于模糊控制的光伏发电系统 MPPT 设计[J]. 国外电子测量技术,2016,35(1):80-83.

[9] 杜新杰,祝连庆,娄小平. 基于模糊 PID 的酶免分析仪加样臂运动控制[J]. 电子测量与仪器学报,2015,28(3):327-332.

[10] 张照良,郭庆. 双闭环测控技术在口腔种植机中的应用[J]. 国外电子测量技术,2015,34(5):79-82.

[11] 贾森,王新华,王硕. 基于模糊 PID 的直升机增稳控制系统设计与实现[J]. 电子测量术,2015,38(11):70-73.

[12] 程大方,张烈平. 遗传算法优化模糊 PID 的喷雾干燥温度控制应用[J]. 工业控制计算机,2015,38(11):70-73.

[13] 邓丁奇,张继华,高飞. 模糊 PID 控制原理在高低温环境模拟系统的应用[J]. 计算机测量与控制,2015(1):277-279,283.

[14] 蒋鼎国. 基于改进型 BP 神经网络 PID 控制器的温室温度控制技术[J]. 实验室研究与探索,2015(1):9-13.

[15] 宗素兰,章家岩,尹成贺. 模糊 PID 控制在温度控制系统的应用[J]. 工业控制计算机,2010,23(8):75-78.

### 作者简介

荆红莉,1976 年出生,硕士,讲师,主要研究方向为电力电子及拖动和智能控制理论。  
E-mail:373002792@qq.com