

文章编号 :0253-9721(2007)03-0100-04

# 雾化喷嘴工作参数的模糊 PID 复合控制

张政,魏俊民

(浙江理工大学 机械电子工程,浙江 杭州 310018)

**摘要** 雾化喷嘴供气压力系统难以用精确的数学模型来表示,并且具有一定的非线性和时变性的特点,运用常规 PID 控制或者模糊控制方法难以对其进行有效的控制。为了提高控制系统的动态和稳态性能,结合常规 PID 控制与模糊控制的特点,采用了模糊 PID 复合控制方法,在偏离工作点较远的区域以模糊控制为主,工作点附近主要运用 PID 对雾化喷嘴压力系统进行控制。仿真与实验结果表明,该模糊控制器可以有效地将雾化喷嘴供气压力控制在稳定设定值上,并且动态响应快,稳态误差小,具有很好的稳定鲁棒性。

**关键词** 雾化喷嘴;模糊 PID 复合控制;电气比例阀;仿真

中图分类号:TS152.7 文献标识码:A

## Fuzzy-PID hybrid control of the work parameters of atomizing nozzle

ZHANG Zheng, WEI Junmin

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

**Abstract** The pressure supply system of the atomizing nozzle, being characterized by nonlinear and time-varying, is rather difficult to be described by the accurate mathematical model. Effective control of the system is hard to realize by using normal PID or fuzzy control alone. In this paper, an approach of fuzzy-PID hybrid control is presented by utilizing the advantages of both normal fuzzy and PID controller for the purpose of improving the dynamic and steady state performance of the control system. Thus, the control of the pressure supply system of the atomizing nozzle is executed in such a way that in the region further away from the working point, it mainly depends on fuzzy control, and near the working point, it mainly depends on PID control. The simulation and experiment show that the hybrid controller is able to control the supplying pressure at the preset value efficiently. It features quick response, high steady state accuracy and perfect steady robust performance.

**Key words** atomizing nozzle; fuzzy-PID hybrid control; electropneumatical propotional valve; simulation

雾化胶体粒径大小是影响功能化复贴布料的重要因素。由文献[1-4]可知:在雾化喷嘴结构和参数不变的情况下,影响雾化喷嘴涂胶粒径大小的有进入喷嘴的空气压力(进气压力)和送胶的空气压力(进胶压力);并且通过经验和实验可以知道,在一定的进气压力  $P_{ai}$  和进胶压力  $P_{li}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 下,能取得很好的喷涂效果。而雾化粒径的大小及分布情况与雾化喷嘴的控制气压和供胶压力有关,所以问题转化为通过控制进气压力和进胶压力使它们分别稳定在  $P_{ai}$  和  $P_{li}$ ,使得雾化效果达到最佳。考虑到空气

的可压缩性,气源的质量以及控制阀的特性,难以建立精确的数学模型并且存在着一定的非线性和时变性,所以传统的 PID 控制器一般难以有良好的控制效果。本文设计了一种模糊 PID 复合控制器,根据压力的误差大小,采用不同的控制方法,使进气压力和进胶压力分别稳定在设定的  $P_{ai}$  和  $P_{li}$  上。

## 1 雾化喷嘴工作参数控制系统的组成

雾化喷嘴工作参数的模糊 PID 控制系统原理如

收稿日期:2006-03-29 修回日期:2006-10-11

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(M503209)

作者简介:张政(1983-),男,硕士生。研究方向为模糊控制和系统建模与控制。魏俊民,通讯作者,E-mail:weijunming001@126.com。

图 1 所示。系统分为进胶部分压力控制以及进气部分压力控制。气源气体经过气源三大件分水过滤器、减压阀后,分 3 路进入雾化喷嘴。一路经过电气比例阀和胶桶,用空气压力把胶送入雾化喷嘴;一路经过电气比例阀,把空气送入雾化喷嘴,另外一路用于控制喷射的形状。通过安装在管路

器,测得实时的进胶压力和进气压力,经过信号处理和 A/D 转换送入微控制器进行处理。

通过模糊控制算法后得到的输出信号通过 D/A 转换和放大电路,驱动电气比例阀控制进胶和进气的压力,从而分别使它们稳定在预先设定的  $P_{ii}$  和  $P_{li}$  上。

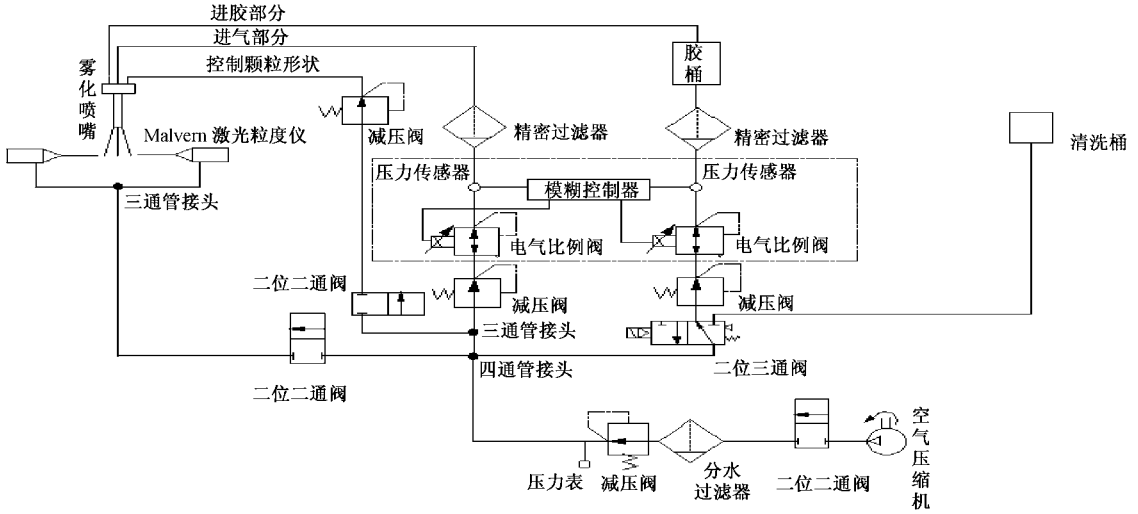


图 1 雾化喷嘴工作参数的模糊 PID 控制系统

Fig.1 Fuzzy-PID hybrid control system of the work parameters of atomizing nozzle

## 2 模糊 PID 复合控制器的设计和应用

本文介绍系统的进气压力控制,进胶压力控制也采用相同的控制算法。系统采用了进气压力偏差和偏差变化率输入与控制量单输出的控制模型。常规的模糊控制器在理论上可以看作是一个非线性的 PID 控制器,控制时稳态误差比较大,而常规 PID 控制器具有较高的稳态精度,但在跟踪与抑制扰动方面不能得到很好的控制效果<sup>[5-6]</sup>,因此本文采用了模糊 PID 复合控制技术,其基本原理如图 2 所示。根据不同的误差大小,采用不同的控制器来实现分段控制,即在误差较小的范围内采用 PID 控制器进行控制,而在误差较大的范围内采用模糊控制进行控制。

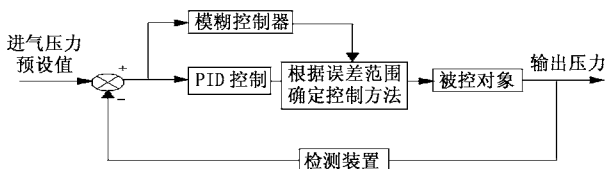


图 2 模糊 PID 复合控制基本原理图

Fig.2 Basic theory graph of fuzzy-PID hybrid control

### 2.1 模糊化

进气压力偏差  $e$  的基本论域为  $[-1, 1]$ ,比例因子  $a_e$  取为 3。取  $E$  的论域:  $X = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ,偏差的语言变量在论域  $X$  中有 7 个语言值:符号分别为 PB、PM、PS、ZO、NS、NM、NB,偏差  $e$  的语言变量隶属度函数如图 3(a) 所示。进气压力偏差变化率  $ec$  的基本论域为  $[-3, 3]$ ,比例因子  $a_{ec}$  取 1。取  $EC$  的论域:  $Y = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ,偏差变化率的语言变量在论域  $Y$  中有 7 个语言值:符号分别为 PB、PM、PS、ZO、NS、NM、NB,偏差的变化率  $ec$  的隶属度函数如图 3(b) 所示。控制量的基本论域为  $[-2, 2]$ ,取  $U$  的论域为:  $Z = \{-2, -1.5, -1, -0.5, 0, 0.5, 1, 1.5, 2\}$ ,控制量的语言变量在论域  $Z$  有 7 个语言值,分别为 PB、PM、PS、ZO、NS、NM、NB,控制量  $u$  的隶属度函数如图 3(c) 所示。

### 2.2 模糊推理

进气压力控制系统中,采用了 Mandani 推理方法,模糊控制规则的制定如表 1 所示。

### 2.3 去模糊化

在雾化喷嘴模糊控制系统中,反模糊化采用了较常用的重心法,控制量  $u$  由式(1)决定。

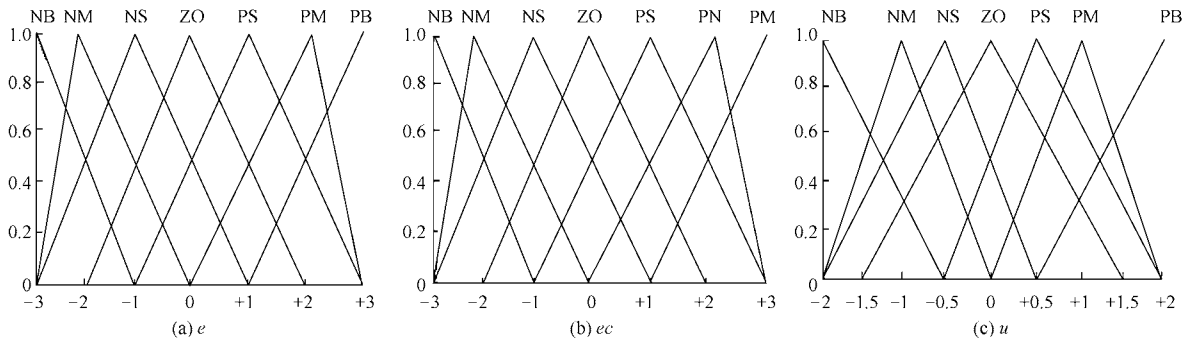


图 3  $e, ec, u$  的隶属度函数

Fig. 3 Membership function of  $e, ec, u$

表 1 模糊控制规则表

Tab.1 Rule of fuzzy control

$ec$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu(i)}{\sum_{i=1}^n \mu(i)} \quad (1)$$

式中： $u_i$  表示论域上的值； $\mu(i)$  表示论域上该值所对应的隶属度函数值。但是电气比例阀的实际控制电压为 0~5 V，模糊控制器的输出电压为[-2, 2]，因此需要经过一定的尺度变换，使得输出的电压在 0~5 V 之内，其尺度变换为式(2)。

$$u_{\text{实}} = 1.25 u + 2.5 \quad (2)$$

式中： $u$  表示模糊控制器的输出电压； $u_{\text{实}}$  表示变化

后的实际输出电压。

### 2.4 根据误差采用不同控制方法

根据各控制的不同特性，采用不同的控制方法来对进气压力进行控制。当进气压力偏差  $|e| \leq 0.17$  MPa 时采用 PID 控制，当  $|e| > 0.17$  MPa 时采用模糊控制。

## 3 仿真和实验分析

通过对电气比例阀输入斜坡信号响应的观察和研究，可以近似地把电气比例阀看作是 1 个二阶系统；再由电气比例阀对阶跃输入响应测试，可以得到其超调量和峰值时间。经计算可以得到响应电气比例阀数学模型，即传递函数为  $2320.35 / (S^2 + 73.14 S + 2320.35)$ 。图 4 是用 MatLab 软件对进气压力控制系统进行的仿真。

设定压力达到 0.8 MPa 时，通过仿真得到图 5 的控制曲线，可以看出该控制系统动态响应快，稳态误

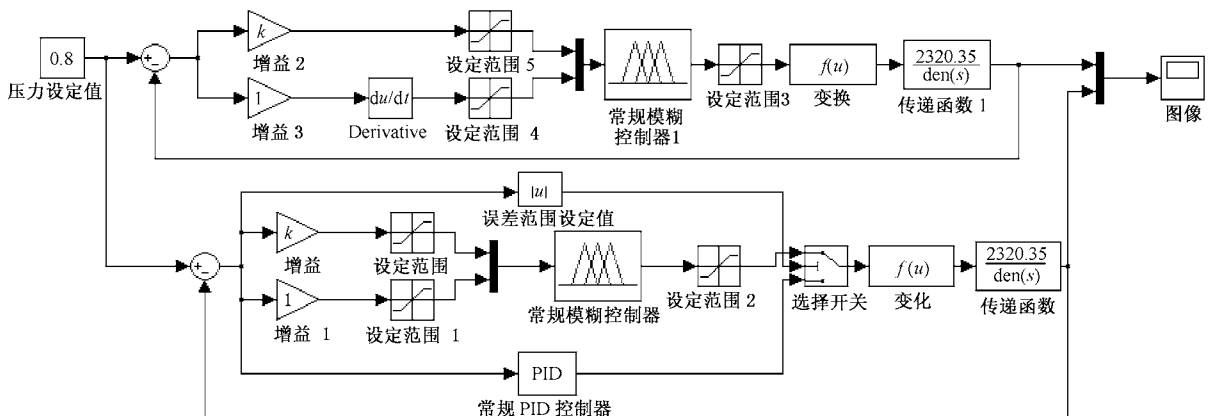


图 4 进气压力控制仿真系统

Fig. 4 Simulate system of the supplying pressure control

差小,能够较好地达到控制要求。在实验中,通过基于 AT89S52 单片机设计的模糊 PID 复合控制系统,能够快速响应输入信号,对压力进行有效的实时控制,取得了很好的效果。

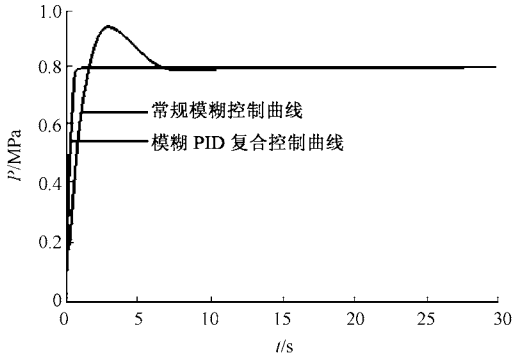


图 5 雾化喷嘴进气压力不同控制的比较

Fig.5 Comparison of different control methods of the pressure supply system of atomizing nozzle

## 4 结 论

本文讨论了具有一定非线性和时变性的雾化喷

嘴压力系统的控制问题。结合常规 PID 控制器和常规模糊控制器的特点,在误差较大范围内采用模糊控制方法,在误差较小范围内采用 PID 控制。通过仿真和实际得到的结果,表明该模糊 PID 复合控制器具有较好的效果,控制器设计也容易实现。FZXB

### 参考文献:

- [ 1 ] 刘联胜,吴晋湘,韩振兴,等.气泡雾化喷嘴喷雾平均直径在下游流场中的分布[J].工程热物理学报,2001,5(22):11-14.
- [ 2 ] 刘联胜.气泡雾化喷嘴雾化机理、特性及喷雾两相流场的实验与理论研究[D].天津:天津大学,2001.
- [ 3 ] 刘联胜,吴晋湘,韩振兴,等.气泡雾化喷嘴流量特性的实验研究[J].燃烧科学与技术,2001,5(3):297-303.
- [ 4 ] 岳连捷,俞刚.气泡雾化喷嘴液雾特性[J].推进技术,2003,5(24):13-15.
- [ 5 ] 刘金琨.先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2004:102-118.
- [ 6 ] 薛定宇,陈阳泉.系统仿真技术与应用[M].北京:清华大学出版社,2003.