

# 基于模糊 PID 的 电阻炉温度控制器的设计与仿真研究

李先峰, 杨国华, 李建春

(宁夏大学 物理电气信息学院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:** 针对电阻炉在实际应用过程中对温度控制的要求及其所具有的时滞性、非线性、模型结构不确定等特点, 结合模糊控制技术和常规 PID 控制方法, 设计了模糊自整定 PID 控制器。运用 Matlab 软件的 Simulink 建立电阻炉温度控制系统的仿真模型。仿真结果表明, 模糊 PID 控制相对于常规 PID 控制方法, 系统的适应能力更强、控制精度更高、动态性能更好。

**关键词:** 电阻炉; PID 控制; 模糊自整定 PID; 仿真

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)10-0081-03

## The simulation and design of temperature control of resistance stove based on Fuzzy-PID

LI Xian Feng, YANG Guo Hua, LI Jian Chun

(School of Physical and Electrical Information Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** In connection with the characteristics of time-delay, nonlinear and uncertain model structure of the temperature control system about resistance stove in the practical application, a fuzzy self-tuning PID control is presented with combining on method of fuzzy and traditional PID control in this paper. The simulation model of resistance stove is established by using Simulink in Matlab, and the result of simulation indicates that the method of fuzzy-PID control can make the system possessed the characteristics of outstanding adaptability, satisfactory control accuracy and good dynamic performance than that of traditional PID control.

**Key words:** resistance stove; PID control; fuzzy self-tuning PID; simulation

电阻炉是工业生产中常用的电加热设备, 广泛应用于冶金、机械、建材等行业。随着控制技术的日新月异, 对电阻炉温度控制的要求也越来越高<sup>[1]</sup>。电阻炉温度控制系统常用的控制技术有 PID 控制、模糊控制技术等。但由于电阻炉是一个时变的、带滞后的被控对象, 且升温具有单向性, 很难建立精确的数学模型。采用传统的 PID 控制, 由于其参数固定, 不能及时跟踪对象特性的变化, 控制效果往往不佳<sup>[2-3]</sup>。模糊控制不需要被控对象的精确描述, 比较适合电阻炉温度控制, 但常规模糊控制算法稳态误差较大。针对上述问题, 本文提出了一种自整定模糊 PID 的控制方案, 以常规 PID 调节为基础, 结合模糊控制的思想, 根据电阻炉特性的变化, 建立以偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$  为输入、PID 控制参数  $K_p$  和  $K_i$  为输出的模糊控制规则, 通过模糊推理与决策, 进行模糊输出, 自动修改 PID 参数, 以取得最佳控制效果。

## 1 模糊自整定 PID 控制器的设计

### 1.1 模糊自整定 PID 控制器的结构

模糊自整定 PID 控制器是在 PID 控制器的基础上, 根据系统偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$ , 利用模糊规则进行模糊推理, 查询模糊矩阵表对 PID 参数进行在线调整, 以满足在不同  $e$  和  $ec$  时对控制参数的不同要求, 使控制对象具有良好的动、静态性能, 从而达到对被控对象控制的目的。其原理结构框图如图 1 所示。

### 1.2 参数自整定原则

PID 参数的模糊整定须考虑系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等各方面特性, 为此在整定过程中要注意以下几条原则:

(1) 比例控制环节的作用是成比例地反映系统的偏差信号  $e$ , 偏差信号一旦产生, 控制器立即产生控制作用, 因此比例增益  $K_p$  增大, 可以加快响应速度, 减小系

# 技术与方法 Technique and Method

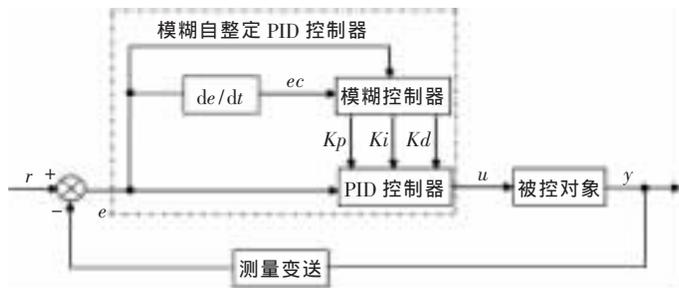


图1 模糊自整定PID控制系统结构图

统稳态误差,提高控制精度。但是过大会使系统产生超调,甚至导致不稳定;

(2)积分控制环节的作用主要是消除系统静态误差,加强积分作用,有利于减小系统静差。但是 $K_i$ 过大,会加大超调,甚至引起振荡;

(3)微分控制的作用一直是一项值得讨论的问题<sup>[4]</sup>。微分控制可以改善系统的动态性能,提高系统的相位裕度,增加系统的稳定性,但同时会放大噪声,使控制器对系统噪声敏感,增加整定的难度。并且由于在对PID参数的模糊自整定中,模糊推理系统已经把偏差的微分作为它的一个输入,如果再对参数 $K_d$ 进行模糊整定,则系统对微分作用会太敏感,因此一般可只对 $K_p$ 、 $K_i$ 进行整定。

### 1.3 模糊自整定PID控制算法的设计

#### (1)精确量的模糊化

选择偏差 $e$ 、偏差变化 $ec$ 经模糊化后的 $E$ 、 $EC$ 作为模糊控制器的输入变量,比例系数 $K_p$ 、积分系数 $K_i$ 为输出变量,定义它们相应的模糊集分别如下:

$E$ 、 $EC$ 的模糊集为: {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB};  
 $K_p$ 和 $K_i$ 的模糊集均为: {ZO, PS, PM, PB};并将 $E$ 和 $EC$ 的大小量化为7个等级,它们的论域为: {-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3}; $K_p$ 、 $K_i$ 的大小量化为4个等级,它们的论域为: {0, 1, 2, 3}。

各模糊语言变量的模糊集和论域确定后,须对模糊语言变量确定隶属函数,即对模糊变量赋值,为便于计算机存储及计算,本文采用的隶属度函数为等腰三角形。输入输出变量的隶属函数曲线分别如图2和图3所示。

#### (2)模糊控制规则的确立

模糊控制器的核心是模糊控制规则的确立,控制规则的选取直接关系到系统控制性能的优劣,是设计的关键,考虑到不同时刻 $K_p$ 、 $K_i$ 两个参数作用以及相互之间的关系,针对电阻炉温度控制的特性,建立参数 $K_p$ 、 $K_i$ 的模糊控制规则表,如表1所示<sup>[5]</sup>。

根据表1可得:If( $E$  is NB) and ( $EC$  is NB)then( $K_p$  is PM)( $K_i$  is ZO),……这样的控制规则共有49条。

#### (3)清晰化

根据以上的规则和2个参数的自整定要求,可根据

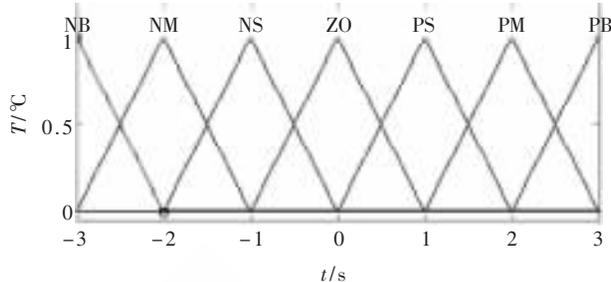


图2  $E$ 和 $EC$ 的隶属函数

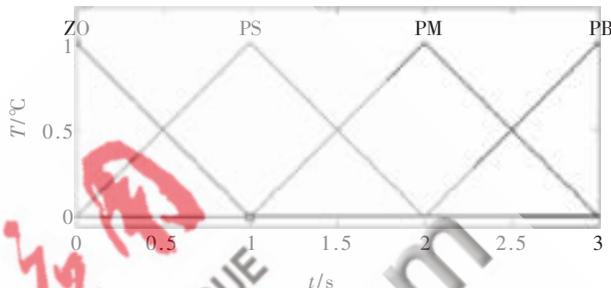


图3  $K_p$ 和 $K_i$ 的隶属函数

表1  $K_p$ 、 $K_i$ 模糊规则表

$E$	$EC$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PM/ZO	PS/PS	PM/PM	PM/PB	PM/PM	PS/PS	PM/ZO
NM	PB/ZO	PM/PS	PB/PB	PB/PB	PB/PB	PM/PS	PS/ZO
NS	PB/ZO	PM/ZO	PB/PB	PB/PB	PB/PB	PM/ZO	PS/ZO
ZO	PB/ZO	PM/ZO	PB/PB	ZO/PB	PB/PB	PM/ZO	PS/ZO
PS	PB/ZO	PM/ZO	PB/PB	PB/PB	PB/PB	PM/ZO	PS/ZO
PM	PB/ZO	PM/PS	PB/PB	PB/PB	PB/PB	PM/PS	PS/ZO
PB	PM/ZO	PS/PS	PM/PM	PM/PB	PM/PM	PS/PS	PM/ZO

某一采样时刻测量的偏差和偏差变化率的值采用中心平均法来计算此时的参数 $K_p$ 、 $K_i$ ,计算公式为:

$$K_p = \frac{\sum_{l=1}^n \overline{K_p}^l w_l}{\sum_{l=1}^n w_l} \quad (1)$$

$$K_i = \frac{\sum_{l=1}^n \overline{K_i}^l w_l}{\sum_{l=1}^n w_l} \quad (2)$$

在公式(1)和(2)中, $\overline{K_p}^l$ 、 $\overline{K_i}^l$ 分别为其模糊推理得到的第 $l$ 个模糊集的中心, $w_l$ 为其高度, $l=1, 2, \dots, n$ 为规则条件语句的条数。

## 2 系统仿真

在实际中,电阻炉通常被等效为一阶惯性环节加纯滞后,即: $G(s) = \frac{K \times e^{-\tau s}}{T \times s + 1}$ ,这里 $K=2$ , $T=144$ , $\tau=15$ ,即以 $G(s) = \frac{2e^{-15s}}{144s + 1}$ 为电阻炉的理想模型,并对其进行仿真研究。

## 技术与方法 Technique and Method

### 2.1 仿真模型

在 Matlab 中 Simulink 环境下建立模型, 为了比较控制效果, 把常规 PID 和模糊 PID 放在一起进行仿真, 其仿真模型如图 4 所示。

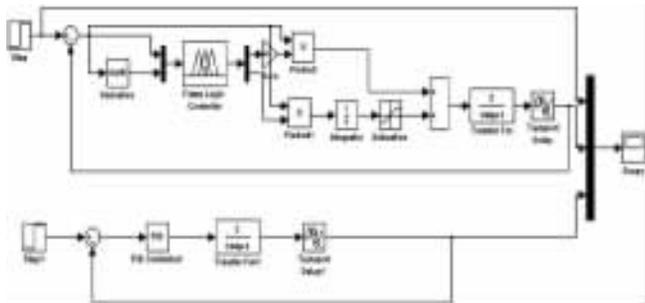


图 4 控制系统仿真模型

其中, 阶跃信号幅度取 150, PID 控制器的 3 个参数按 ISTE 最优整定法得到:  $K_p=6.029$ ,  $K_i=0.04$ ,  $K_d=43.077$ 。

### 2.2 仿真结果及分析

仿真得到图 5 所示的阶跃响应曲线。

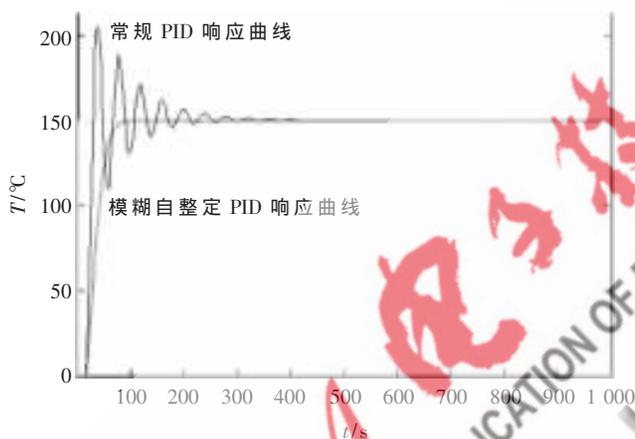


图 5 控制系统阶跃响应曲线

通过以上 Matlab 仿真比较, 得出常规 PID 和模糊 PID 控制性能指标如表 2 所示。

表 2 性能指标比较

控制器名称	超调量 $\sigma/\%$	调节时间 $t_s/s$	稳态误差 $e_{ss}$
PID 控制器	36.62	286	0.009
模糊 PID 控制器	0.36	78	0

从性能指标对比表中可以看出, 模糊 PID 控制方法与常规的 PID 控制方法相比<sup>[5]</sup>, 系统调节时间要小得多, 超调量几乎为零, 稳态误差为零, 因此, 具有更好的动态特性和稳定性能。

### 2.3 系统鲁棒性分析

对于本研究用到的模糊自整定 PID 控制方案, 当改变被控对象参数为  $G(s)=\frac{2e^{-20s}}{144S+1}$  时, 仿真结果如图 6 所示, 性能指标如表 3 所示。

当系统的参数发生变化时, PID 控制曲线的超调变化较大, 并振荡剧烈, 而模糊 PID 控制器虽然也有

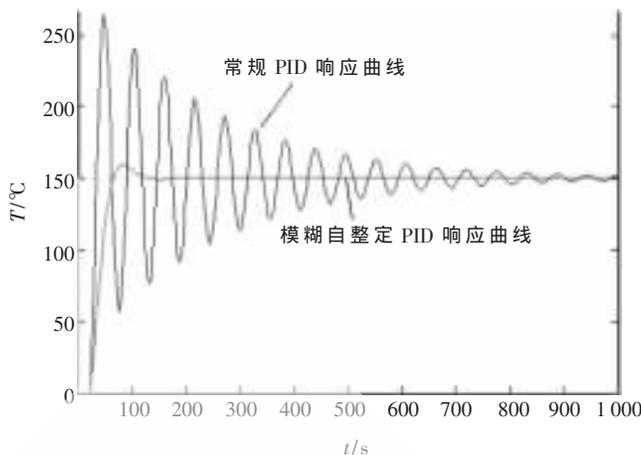


图 6 参数变化后的阶跃响应曲线

表 3 性能指标比较

控制器名称	超调量 $\sigma/\%$	调节时间 $t_s/s$	稳态误差 $e_{ss}$
PID 控制器	75.79	982	0.001
模糊 PID 控制器	6.25	114	0

6.25% 的超调, 但系统会很快进入稳定工作状态, 并且稳态误差为零。由此可以看出, 传统的 PID 控制器调节特性比系统变化前差很多, 而模糊 PID 控制系统在系统参数变化前后控制性能差别不大。

本文针对带滞后、时变、非线性的电阻炉系统, 提出了一种参数自整定的模糊 PID 控制算法。运用 Matlab7.4 中的 Simulink 对控制系统进行了仿真研究。仿真结果表明, 该智能控制算法能够根据系统偏差及偏差变化率的实际情况进行自动调节参数, 避免了经典控制的过程建模及常规 PID 不能在线调节参数等不足; 具有良好的动、静态性能和良好的鲁棒性, 能显著改善系统的控制效果, 具有一定的应用价值。

### 参考文献

- [1] 刑伟, 潘海鹏. 电阻炉智能温度控制系统的设计与仿真研究[J]. 浙江理工大学学报, 2008, 25(5): 606.
- [2] 庞晓青, 彭自强. 烤箱温度控制系统的模糊 PID 控制[J]. 工业控制计算机, 2007, 20(3): 51-52.
- [3] 李磊, 白瑞祥. 模糊 PID 在热水锅炉温度控制系统中的应用[J]. 工业控制计算机, 2007, 20(2): 41-42.
- [4] 刘增良. 模糊技术与应用选编(2)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.
- [5] 伍铁斌, 刘祖润. 一种新型电阻炉温度控制系统的设计[J]. 自动化与仪表, 2006, 21(6): 42-45.
- [6] 李娇. 基于 Matlab 的输送带配料模糊 PID 控制的仿真研究[J]. 煤矿机械, 2008, 29(11): 49-51.

(收稿日期: 2009-12-21)

### 作者简介:

李先峰, 男, 1981 年生, 硕士, 主要研究方向: 现代电力电子工程。

杨国华, 男, 1972 年生, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 电气工程及其自动化。