

## 模糊预测控制在电阻炉温度控制中的应用

秦补枝<sup>1</sup>, 王翠表<sup>2</sup>

(1 南京化工职业技术学院 自控系, 江苏 南京210048; 2 河北大学 质量技术监督学院, 河北 保定071000)

**摘要:** 利用模糊控制对对象模型要求低、响应速度快、预测控制的超前性的特点, 设计了模糊预测控制器来对电阻炉温度进行控制。仿真结果表明, 此方法增强了系统的跟踪性, 对纯滞后具有较好的补偿作用, 对被控参数具有较强的适应能力, 比传统的控制方法精度高、速度快、控制质量优良。

**关键词:** 电阻炉; 温度控制; 预测控制; 模糊控制; 纯滞后

中图分类号: TP273<sup>+</sup>.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620 (2006) 06-0059-02

**The Study of Fuzzy-Predictive Control for the Temperature of Electric-furnac**QIN Bu-Zhi<sup>1</sup>, WANG Cui-biao<sup>2</sup>

(1 The Automatic Control Department of Nanjing College of Chemical Technology, Nanjing 210048, China;

2 Supervision College of Quality and Technology, Hebei University, Baoding 071000, China)

**Abstract:** A fuzzy and predictive controller is designed with the advantage of fuzzy control's features such as the low requirement of the object and fast response, and predictive control's characteristic of predicting. Simulation results show that this method enhances the trackability of the system, has better compensation to the delay, stronger adaptability to the controlled parameter, and more advantageous than traditional methods.

**Key words:** resistance furnace; temperature control; predictive control; fuzzy control; dead time;

## 1 引言

由于电阻炉的炉温动态特性具有容积滞后大、对象的增益、滞后时间都与工作温度有关等特点, 而传统的PID控制算法只能在工作点附近的小范围内取得好的控制效果, 而对于整个过程控制效果不好。虽然采用大林算法、Smith预估补偿算法可以提高控制精度, 但是这些算法是建立在获得精确的对象模型基础上的。在实际应用时很难得到对象的精确模型, 因此控制效果不是很理想。最近发展起来的模糊控制算法由于具有对对象模型要求低、响应速度快的特点, 经常被应用于温度控制系统中<sup>[1]</sup>。近年来, 根据现在和过去的信息预测未来输出的预测控制算法被广泛应用于工业控制过程中, 用来增强系统的跟踪性<sup>[2]</sup>。因此, 为了克服传统控制算法的不足, 把模糊控制和预测控制相结合设计了一种模糊预测控制器对电阻炉的温度进行控制, 仿真结果表明该方法比传统的炉温控制方法精度高、速度快、控制质量优良。

## 2 炉温控制系统的设计

### 2.1 系统原理

选择控功型的电阻炉, 其工作原理为: 由热电偶检测炉内实际温度, 经温度变送器转换为0~5V的电压信号, 经计算机采集后与设定温度进行比较, 得到温度误差和误差的变化率, 利用模糊预测控制算法求出控制输出量。该输出量输送到可控硅调压器的输入端, 使可控硅的导通角改变。导通角越大, 输送到电阻炉两端的交流电压就会愈高, 电阻炉的输入功率也就增大, 炉温上升; 反之, 导通角减小, 电阻炉输入功率减

小；炉温偏差为零时，可控硅保持一定的导通角，电阻炉输入一定的功率。经过控制可控硅的导通角来控制电阻丝中电流，进而控制对象温度，使对象的实际温度向着给定温度变化并最终达到给定温度。电阻炉控制系统的原理见图1。



图1 电阻炉控制系统的原理

$R$  温度设定值  $T$  实际温度  $U$  可控硅电路的输出值  $E$  温度误差

## 2.2 模糊预测控制器的设计

预测控制策略包括内部模型、参考轨迹和控制算法三个典型的组成部分。在预测控制算法的三个基本特征中，预测模型是描述对象动态行为的基础模型，通常把对象的脉冲响应  $h(f)$  或阶跃响应  $a(f)$  在一系列采样时刻  $j$  的值  $\{h_j\}$  或  $\{a_j\}$  作为描述对象动态特征的信息，将有限个信息量  $\{h_j\}$  或  $\{a_j\} (j = 1, 2, \dots, n)$  存放在数字控制器的内存中，作为对象的预测模型，即内部模型。预测控制的作用就是利用预测模型的输出和实际对象的输出之间的关系，根据一定的准则，确定当前的控制量输出，使系统的预测输出与参考轨迹尽可能地接近。在实际系统中，由于过程的不确定性以及外部扰动等因素，使得预测模型输出与实际过程输出之间存在偏差，即预测误差。因此，通过反馈校正对预测模型不断地进行修正，即闭环预测；采用滚动优化策略，有效地克服了实际系统中由于时变、模型失配等带来的不确定性；利用了模糊控制，使控制响应速度快，调节时间短。模糊预测控制系统的结构如图2所示。

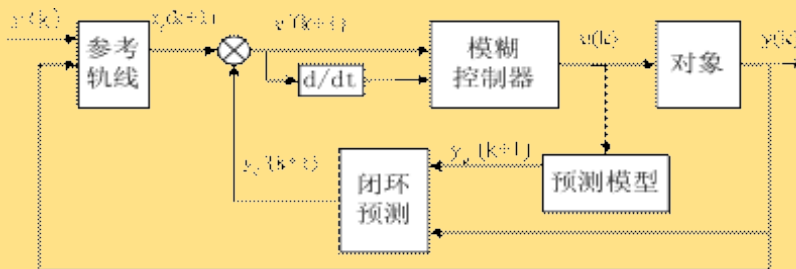


图2 模糊预测控制系统的结构

为了使电阻炉输出  $y(k)$  能很好地跟随  $r(k)$  的变化，将  $k$  时刻控制器的控制输出反馈到控制器的输入端，即在  $k$  时刻预测  $k+1$  时刻的过程输出

$\hat{y}_c(k+1)$ ，计算预测误差  $\hat{e}(k+1)$ 。这样，根据  $\hat{e}(k+1)$  和  $\hat{e}(k+1)$  变化率的大小和方向，来决定控制器输出的大小，使过程的输出值接近输入设定值。因此模糊预测控制器设计成二维模糊控制器，其输入是  $\hat{e}(k+1)$  和  $\hat{e}(k+1)$  的变化率  $\Delta\hat{e}(k+1)$ ，输出  $u(k)$ 。在模糊预测控制器的设计时，分别定义  $\hat{e}(k+1)$ 、 $\Delta\hat{e}(k+1)$  和  $u(k)$  的模糊词集为：

$$\hat{e}(k+1) = \{NB, NM, NS, ZZ, PS, PM, PB\}$$

$$\Delta\hat{e}(k+1) = \{NB, NM, NS, ZZ, PS, PM, PB\}$$

$$u(k) = \{NB, NM, NS, ZZ, PS, PM, PB\}$$

其中  $NB, NM, NS, ZZ, PS, PM, PB$  分别表示负大、负中、负小、零、正小、正中、正大；它们的隶属度函数如图3所示。

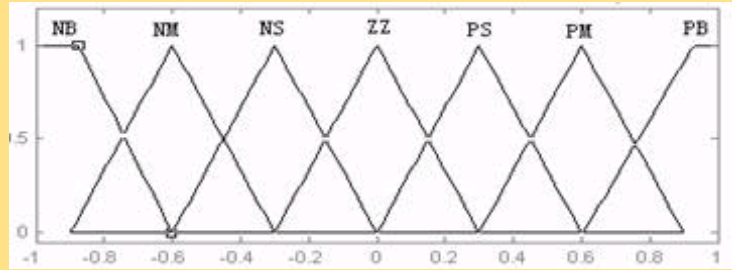


图3 隶属度函数

如果预测 ( $k+1$ ) 时刻过程输出比期望输出小, 并且过程输出有比期望输出值更小的趋势。那么, 可以推断  $k$  时刻过程的输出太小, 应增大 ( $k+1$ ) 时刻控制器的输出。相反, 应减小 ( $k+1$ ) 时刻控制器的输出, 控制规则如表1所示<sup>[4]</sup>。

表1 模糊规则

$U$		$E$						
		$NB$	$NM$	$NS$	$ZZ$	$PS$	$PM$	$PB$
EC	$NB$	$NB$	$NB$	$NM$	$NM$	$ZZ$	$PS$	$PS$
	$NM$	$NB$	$NB$	$NM$	$NM$	$PS$	$PM$	$PM$
	$NS$	$NB$	$NB$	$NS$	$NS$	$PS$	$PM$	$PB$
	$ZZ$	$NB$	$NB$	$NS$	$ZZ$	$PS$	$PB$	$PB$
	$PS$	$NM$	$NS$	$NS$	$PS$	$PS$	$PM$	$PB$
	$PM$	$ZZ$	$ZZ$	$ZZ$	$PM$	$PM$	$PB$	$PB$
	$PB$	$ZZ$	$ZZ$	$ZZ$	$PM$	$PM$	$PB$	$PB$

### 3 仿真结果

电阻炉采用通断率控制交流调压, 控制器输出量的物理意义为一个控制周期内应该导通的交流电的周波个数, 其典型参数为: 比例增益为0.5, 实际温度为600°C和延迟时间 $\tau$ 为15。按前述方法构造的控制器和传统的PID控制分别对电阻炉炉温进行控制, 并在MATLAB7.0下对系统仿真, 系统要求的温度为600°C, 得到的仿真结果如图4所示。

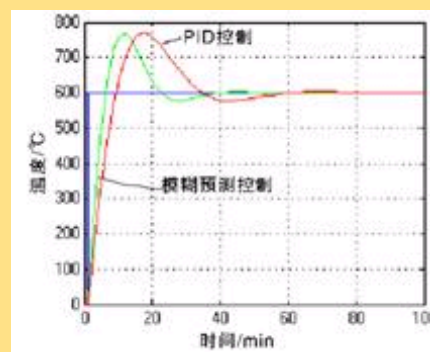


图4 PID控制与模糊预测控制的仿真曲线

从仿真结果可以看出, 模糊预测控制在上升时间、过渡时间等性质上均优于传统的PID控制, 控制效果较好。

### 4 结论

电阻炉炉温模糊预测控制不需要建立系统的精确数学模型，而是直接通过模糊推理和预测控制理论实现控温目标。不但具有模糊控制的灵活、响应快和适应性能强等优点，而且又具有预测控制超前控制的特点，能有效抑止滞后的影响，而且鲁棒性强，可适用于非线性、时变、滞后的电阻炉温度控制。仿真结果表明，模糊预测控制具有很好的控制效果，能满足电阻炉温度控制的要求。

参考文献：

- [1] 付少波, 陈曦, 张涛, 等. 模糊控制器在中央空调系统温度控制中的应用[J]. 微计算机信息, 2005 (4) : 36-37.
- [2] 黄湘云, 朱学峰. 预测控制的研究现状与展望[J]. 石油化工自动化, 2005 (2) : 27-28.
- [3] 徐福仓, 申群太. 预测控制在大滞后电阻炉系统中的应用研究[J]. 计算技术与自动化, 2000 (3) : 114-116.
- [4] 徐建林, 陈超. 模糊控制在热处理电阻炉中的应用研究[J]. 热加工工艺, 2002 (5) : 58-59.

---

[返回上页](#)