

改进型模糊自整定比例积分微分温度控制系统

李 平, 王 欣

(武汉工程大学邮电与信息工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要:针对传统比例积分微分(PID)控制系统在温度控制中存在超调量大、处理时间长,以及温度的非线性、时变性和滞后性等问题,提出一种改进型的模糊自整定比例积分微分控制系统控制电炉温度。首先利用传统的 PID 控制器算法,计算出当前系统的误差及误差变化,再根据模糊推理和变论域的在线参数调整原理,修正比例参数、微分参数、积分参数,最后将这些参数传输到 PID 调节器输出控制电炉温度。通过对电炉在 500 ℃ 与 1 000 ℃ 时的控制仿真实验,结果表明改进型的模糊自整定 PID 控制算法对电炉温度控制的稳定性、鲁棒性更好,减少了温度波动对温度控制系统的影响。

关键词:模糊控制;自整定;电炉温度控制

中图分类号:TP273

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2013.03.017

0 引 言

真空冶金技术在现代冶金技术中扮演了重要的角色,而温度控制又是真空冶金技术的重要的一环。通常,真空冶金工程中的温度控制采用的是比例积分微分(Proportional Integral Differential,以下简称:PID)控制系统,但是传统 PID 控制存在超调量大、调节时间长等问题^[1]。为了解决上述问题,传统 PID 控制、模糊控制、人工智能控制、模糊自整定 PID 控制等方法被应用到温度控制中^[2]。由于模糊自整定 PID 控制算法容易实现,所以该算法被广泛用在温度控制系统中^[3]。所以提出一种改进型的模糊自整定 PID 控制算法对电炉温度进行控制,该算法在传统的 PID 控制器算法上,计算系统误差及其变化,再根据模糊推理等相关知识来实现控制过程。

1 电炉温度控制系统

真空冶金的温度控制模型是一个典型的一阶延迟系统,数学模型为: $G(s)=\frac{K \cdot e^{-\tau s}}{Ts+1}$,式中 K 是对象的静态增益, τ 是惯性时间常数, T 是滞后时间常数, s 是传递函数的变量。在实际工程中,采用科恩-库恩公式 $G(s)=\frac{0.92e^{-30s}}{114s+1}$ 确定近似真空冶金的温度控制数学模型^[4]。

传统 PID 控制的传递函数模型为: $G(s)=$

$K_P(1+\frac{1}{T_i s}+T_d s)$,式中 K_P 是比例增益, τ 是惯性

时间常数, T_i 是积分滞后时间常数, T_d 是积分滞后时间常数, s 是传递函数的变量。电炉温度控制系统的模型如图 1 所示。

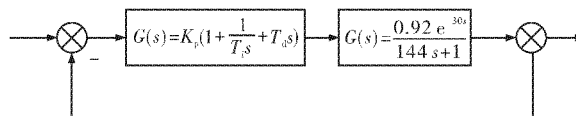


图 1 传统 PID 温度控制系统

Fig. 1 Temperature control system on the conventional PID

2 模糊自整定 PID 控制器设计

2.1 模糊自整定 PID 控制器

在传统的 PID 控制器的基础上,利用模糊推理的原理和变论域的在线 PID 参数调整知识^[5],对电炉系统进行控制。变论域是指输入域为 $E_i = [-E_i, E_i]$ 可以随系统误差 e_i 变化而变化,输出域 $U = [-U, U]$ 可以随着控制输出 u 的变化而自动变化。数学表达式如下:

$$E_i(e_i) = [-\alpha(e_i)E_i, \alpha(e_i)E_i]$$

$$U(u) = [-\beta(u)U, \beta(u)U] \quad (4)$$

$\alpha(e_i)$ 是论域 E_i 的伸缩因子, $\beta(u)$ 是论域 U 的伸缩因子。模糊控制器的调节能力可以通过变论域的 $\alpha(e_i)$ 和 $\beta(u)$ 伸缩因子实现。模糊自整定 PID 控制器的结构图如图 2 所示。

在控制系统中, e 是系统误差, ec 是系统误差的变化速率,两者作为系统输入参数; ΔK_P , ΔK_i ,

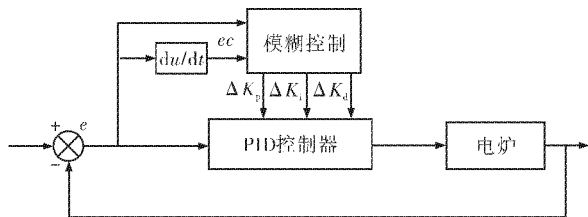


图 2 模糊自整定 PID 控制器

Fig. 2 Fuzzy self-tuning PID controller

ΔK_d 分别是控制器的比例、积分、微分参数的输出变量. 在 PID 算法的基础上, 先计算出误差 e 和误差变化 ec , 然后依据模糊子集的隶属关系、参数的控制模型和在线 PID 参数调整计算出 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d .

$$\Delta K_p = K_{p0} + \{e, ec\}p \quad (5)$$

$$\Delta K_i = K_{i0} + \{e, ec\}i \quad (6)$$

$$\Delta K_d = K_{d0} + \{e, ec\}d \quad (7)$$

K_{p0} 是控制器的比例参数的初始值; K_{i0} 是控制器的积分参数的初始值、 K_{d0} 是控制器的微分参数的初始值. 模糊 $(e, ec, \Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d) = (NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB)$, 其中 $(NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB)$ 表示 (负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大). 根据电炉温度变化特点, ΔK_p ,

$\Delta K_i, \Delta K_d$ 域分别为 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$.

2.2 模糊自整定 PID 控制规则设计

$\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的自整定在不同误差和误差变化情况下有不同的要求: 当误差 e 大时, 要求 ΔK_p 较大, ΔK_d 较小; 当误差 e 和误差变化 ec 中等时, 要求 $\Delta K_p, \Delta K_d$ 适中, ΔK_i 较小; 当误差 e 较小时, 要求 $\Delta K_d, \Delta K_i$ 变大, 而误差变化 ec 较小时, ΔK_d 应增大. 误差变化 ec 较大时, ΔK_d 应减小^[5]. 根据传统 PID 调节规律和电炉温度变化规律, 自整定模糊控制参数 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的规则如表 1 所示.

根据表 1 中 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的控制规则, 进行参数矫正, 公式如下:

$$\begin{cases} K_p = K_{p0} + \Delta K_p \\ K_i = K_{i0} + \Delta K_i \\ K_d = K_{d0} + \Delta K_d \end{cases} \quad (8)$$

式(8)中: K_{p0} 是控制器的比例参数的初始值; K_{i0} 是控制器的积分参数的初始值、 K_{d0} 是控制器的微分参数的初始值, 一般是现场调试得到的结果. $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 是控制器的输出值, K_p, K_i, K_d 是调整后的 PID 实际控量.

表 1 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 控制规则
Table 1 Fuzzy Rule for $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$

e	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	ZO/ZO/NM	ZO/ZO/PS
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS//NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/ZO/ZO
NS	PM/NB/ZO	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NS/PS/ZO
ZO	PM/NM/ZO	PM/NM/NS	PS/NS/NS	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/ZO
PS	PS/NM/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZOZO	NS/PS/ZO	NS/PS/ZO	NM/PM/ZO	NM/PB/ZO
PM	PS/ZO/PB	ZO/ZO/NS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PB/PS	NB/PB/PB
PB	ZO/ZO/PB	ZO/ZOPM	NM/PS/PM	NM/PM/PS	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

3 仿真结果与分析

在 Matlab 中建立自整定 PID 控制的电炉仿真结构图, 如图 3 所示.

系统仿真时, PID 传递函数中参数分别设置为 $K = 80$, $T = 150$ s, $\tau = 20$, 初始值为 $K_{p0} = 0.017$, $K_{i0} = 0.0087$, $K_{d0} = 0.001$. 根据系统中变

量响应参数的规则和反复的模拟结果表明, 当 $e = 0.0033$, $ec = 0.5$, $K_p = 0.001$, $K_i = 0.003$, $K_d = 0.001$ 时 PID 控制的效果较好.

本文电炉主要用于轻质耐火粘土的生产, 所以其参考温度分别设为 500°C 、 1000°C , 模拟时间为 2000 s, 响应的结果如图 4 所示.

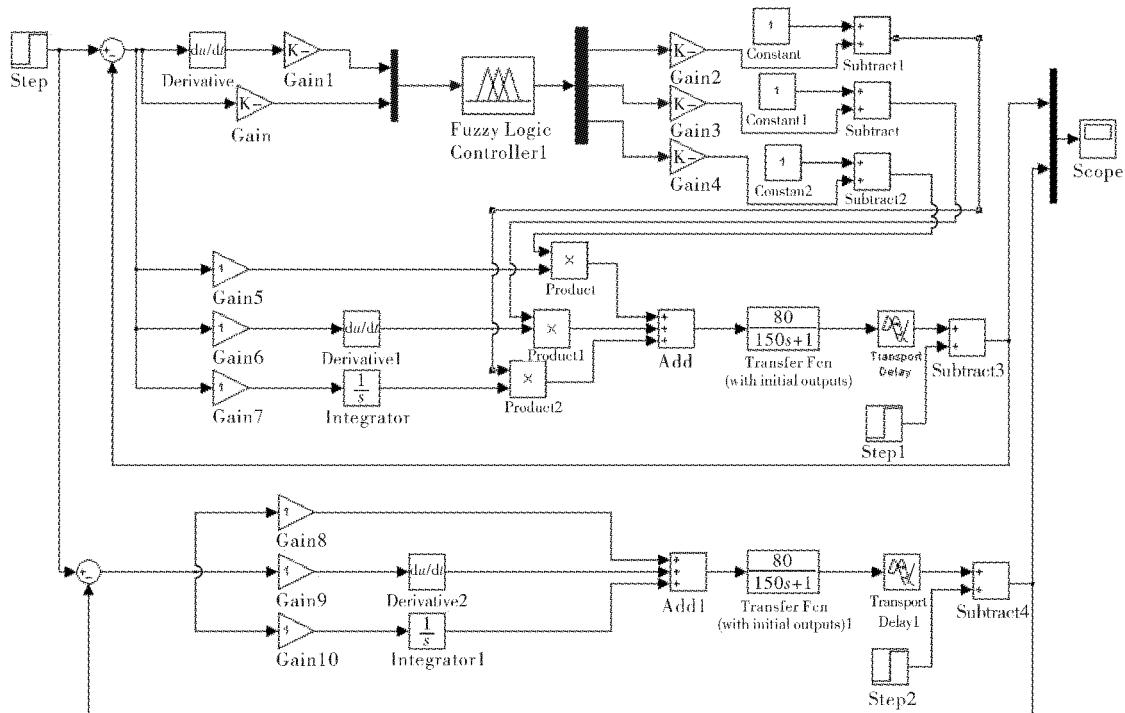


图3 模糊自整定PID控制仿真模型

Fig. 3 Fuzzy self-tuning PID of simulation model

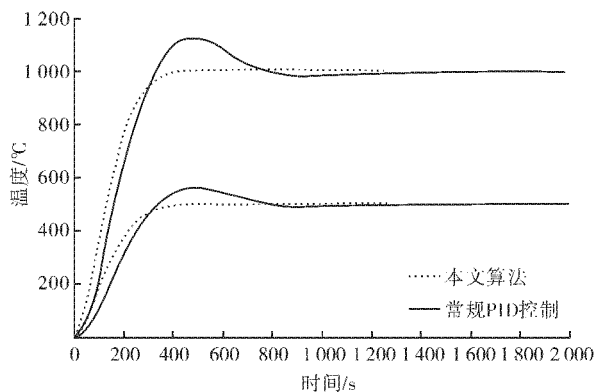


图4 参考温度为500℃,1000℃时两种控制器响应曲线

Fig. 4 Response curve of the two controllers when reference temperature is 500℃,1000℃

从图4中可以发现,模糊自整定PID控制比传统PID控制的动态响应曲线要好.当控制的温度为500℃时,常规PID控制算法的超调量大约为8%,其调节时间大约在1000s;本文算法的超调量大约为1%,其调节时间大约在600s.当控制的温度为1000℃时,常规PID控制算法的超调量大约为9%,其调节时间大约在1400s;本文算法的超调量为1.1%,其调节时间大约在1100s.本文算法明显超调量减小,响应的速度快,性能有较好的改善.

4 结 语

本文采用改进型的模糊自整定PID控制算法发挥了传统PID控制和模糊控制的优点,能够根据误差 e 和误差变化率 ec 对PID的参数进行在线控制修正.在仿真实验中对500℃的炉温控制较为理想,而在1000℃的炉温控制时有一些波动,经分析,是由于在仿真实验时,电炉体积设计较小,加入的干扰温度过高所致,所以在现实生产过程中对电炉温度控制时,本文的算法是有一定的参考价值的.

致谢

陈杰教授对本研究工作的目标和方向进行了指引,在此致以衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 李卓,萧德云,何世忠.基于Fuzzy推理的自调整PID控制器[J].控制理论与应用,1997,14(2):238-242.
- [2] 刘闯.自整定模糊控制器的设计与优化[D].辽宁:大连理工大学,2008.
- [3] 岳建锋.FUZZY-PI控制器在水温控制系统中的应用[J].天津工业大学学报,2006,25(2):65-67.
- [4] 汪新星,张明.利用改进微粒群算法优化PID参数[J].自动化仪表,2004,25(2):19-22.

- [5] 相征,郎郎. 基于 Fuzzy-PID 控制器的网络化智能温度控制系统[J]. 工业控制计算机, 2008, 21(3): 54-57.

System of temperature control based on fuzzy self-tuning proportional integral differential

LI Ping, WANG Xin

(The college of Post and Telecommunication, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Aimed at problems of the traditional proportional integral differential (PID) control system in temperature control, such as big overshoot, long-term adjustment, the characteristics of temperature nonlinearity, time variability, hysteresis and so on, a modified fuzzy self-tuning PID control system was presented to control furnace temperature. Firstly, the error of current system and the error change were calculated by using the traditional PID controller algorithm. Secondly, the proportional parameter, the differential parameter and the integral parameter were modified by the fuzzy reasoning and the principle of online parameter adjustment on variable universe. Finally, these parameters were transmitted to the PID regulator output to control furnace temperature. The control simulation experiments were carried out at temperatures in electric furnace of 500 °C and 1 000 °C. The experiments prove that the fuzzy self-tuning PID control algorithm has better stability and robustness, and reduces the influence of temperature fluctuation on the temperature control system.

Key words: fuzzy control; self-tuning; electric furnace temperature control

本文编辑: 苗 变