

模糊自整定 PID 控制在聚合反应中的研究

乔 杰,李曼珍,王开辉
(东华大学 信息学院,上海 201620)

摘要: 针对工业生产中常用的反应釜,提出利用模糊自整定 PID 控制器实现聚合反应温度控制的方法,实现 PID 控制器参数在线自调整,提高 PID 控制器的性能和系统的精度。仿真结果表明,该模糊自整定 PID 对被控系统的适应性强、鲁棒性好、超调小、反应时间快,能很好地适应现实生产过程中的控制要求。

关键词: 聚合反应;模糊控制;自整定;仿真

中图分类号: TP273.4

文献标识码: A

The study of fuzzy self-regulation PID controller in polyreaction process

QIAO Jie, LI Man-Zhen, WANG Kai-Hui
(College of information, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Based on the commonly used response caudon in industrial production, a fuzzy self-regulation PID controller which realized the temperature control method in polyreaction is proposed and the PID controller parameter on line from the adjustment, improved its performance and increased the precision. The simulation result shows that the fuzzy self-regulation PID controller has good compatibility to the controlled system, with good robustness, small overshoot and short reponse time which can well satisfy the requirement in the actual control process.

Key words: polyreaction; fuzzy control; self-regulation; simulation

聚合反应机理复杂,是强放热反应。其过程具有大滞后、大惯性、非线性等特点,反应过程的温度、压力、浓度及催化剂的活性与牌号等都对化学平衡产生重要影响。因此,反应釜温度控制的效果将直接影响产品的质量及装置的正常运行。为此,一般工业生产过程均会将反应釜温度控制回路列为重点监控回路,严格将反应釜温度控制在要求范围内。目前常用的控制器为 PID 控制器,它具有稳定性好、可靠性高、参数易调整等优点,但其设计依赖于被控对象的精确数学模型,且难以解决系统的相对稳定性和快速性的矛盾,不能在线整定参数,且对非线性、大滞后、模型不明确和时变的系统不能很好地控制。而模糊控制器设计不需要掌握被控对象的精确数学模型,系统的鲁棒性较好,但它过多依赖于操作人员成熟的经验,控制规则较复杂^[1]。本文首先根据聚合反应釜控制对象提出了 PID 参数的模糊自整定,将 PID 控制技术和模糊控制结合起来,发挥两者的优势,

并进行了仿真,取得了更好地控制效果。

1 模糊自整定 PID 控制器的设计

1.1 聚合反应工艺特点

聚合反应釜是化工生产中常用的一类反应器,将原料投放后,先在夹套中通以高压蒸汽,当加热到预定反应温度后就停止加热,反应过程中,在夹套中通以冷却剂传热。聚合反应过程伴有强烈的放热效应,并且反应的放热速率与反应温度之间是一种正反馈自激的关系。即若某种扰动使反应温度有所增加,聚合反应的速率就会增加,放热速率也相应增加,使反应温度进一步上升,甚至会引起“聚爆”现象,使整个釜内的产品变成废品,影响安全生产。按照工艺要求,这些反应一般要经过加热、恒温、冷却等过程,当原料配比、浓度等确定后,准确控制反应的温度是保证产品质量和产量的关键。本文选择聚合釜这样一个典型的控制对象,控制目的就是控制其反应的温度。

技术与方法 Technique and Method

1.2 控制器模型

模糊自适应 PID 控制系统主要由参数可调整 PID 和模糊推理系统 2 部分组成,这个控制器的实现思想是先找出 3 个 PID 参数与偏差 E 及偏差变化率 EC 之间的模糊关系。在运行中通过不断检测 E 和 EC ,再根据模糊控制原理对 3 个参数进行在线修改,以满足在不同 E 和 EC 时对控制参数的不同要求,使被控对象具有良好的动、静态性能,计算量小、易于实现。该算法是在常规 PID 控制器的基础上,将输入量 e 和 ec 经模糊化处理,利用知识库中的控制规则,经过模糊推理和清晰化接口输出,对 PID 参数 K_p, K_i, K_d 进行在线自整定,再由 PID 控制器给出控制信号,对被控对象实行有效的控制^[2]。控制器结构如图 1 所示。

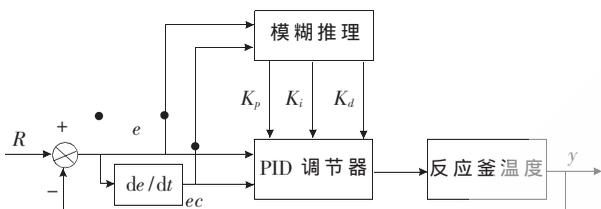


图 1 参数自整定模糊 PID 控制器结构图

1.3 模糊规则的确定及模糊推理

模糊化处理就是把输入变量映射到一个合适的相应量程,使得精确的输入数据转换成适当的语言值或模糊集合的标识符。本文的模糊控制器采用误差及其变化作为输入语言变量。输入变量 $|e|$ 和 $|ec|$ 语言值的模糊子集取为 {负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}, 并简记为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 论域为 $\{-6, 6\}$ 。以 K_p, K_i, K_d 3 个参数作为输出变量, K_p, K_i, K_d 模糊量的模糊子集取为 {负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}, 并简记为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, K_p 的论域为 $\{-3, 3\}$ 。取三角形隶属度函数,选择偏差 $|e|$ 和偏差变化率 $|ec|$ 的模糊为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 简单化处理同样也取 K_p, K_i, K_d 的模糊子集为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}^[3-4]。

模糊控制设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验,建立合适的模糊规则表,得到针对 K_p, K_i, K_d 3 个参数分别整定的模糊控制表,如表 1 所示。

根据模糊合成推理设计 PID 参数的模糊矩阵表,根

表 1 模糊控制规则

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/PS/ZO
NS	PM/NM/ZO	PM/NM/NS	PM/NM/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/NS/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZO/ZO	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/ZO/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NB/PB/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

据模糊规则表,初始值采用精确量离散化的模糊化方法和重心法的去模糊化方法,对 K_p, K_i, K_d 进行动态整定,设 K_p, K_i, K_d 为采用常规整定的预整定值,计算公式:

$$\begin{cases} K_p = K_p' + \{E, EC\}K_p = K_p' + \Delta K_p \\ K_i = K_i' + \{E, EC\}K_i = K_i' + \Delta K_i \\ K_d = K_d' + \{E, EC\}K_d = K_d' + \Delta K_d \end{cases}$$

在线运行过程中,控制系统通过对模糊逻辑规则的结果处理、查表、计算,完成对 PID 参数的在线自整定。

1.4 基于 PLC 的模糊 PID 控制器软件设计

反应釜内的温度经过传感器和 A/D 转换之后进入 PLC,PLC 则根据输入的各种命令,并通过模糊控制算法计算控制量,然后将输出信号通过 D/A 转换送给夹套阀门,调节给水量控制反应釜内的温度。其中软件的主要流程是:利用 PLC 调节 A/D 转换得到釜内的反馈信号,然后根据偏差和偏差变化率计算输入量,再由模糊 PID 自整定控制算法得出输出控制量。启动、停止可通过键盘并利用外部中断产生,有按键输入则调用中断服务程序。整个程序流程图如图 2 所示。

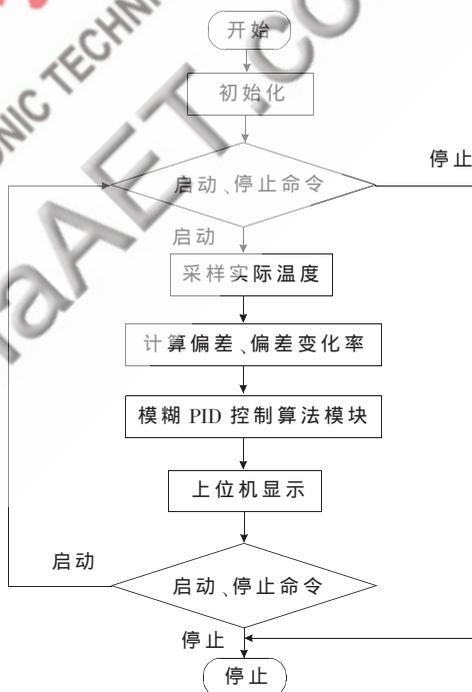


图 2 模糊 PID 控制程序的流程图

以西门子公司 S7-300 为例,所编制的 PLC 实现模糊 PID 的功能块有:(1)OB1 主程序;(2)FC1 误差和误差变化率的量化;(3)FC2 控制表的查询;(4)FC3 去模糊;(5)FC4 格雷码到二进制的转化;(6)FB2 为 PID 子程序;(7)DB2 为 FB2 的背景数据块。

2 仿真及分析

在系统运行期间,有可能因

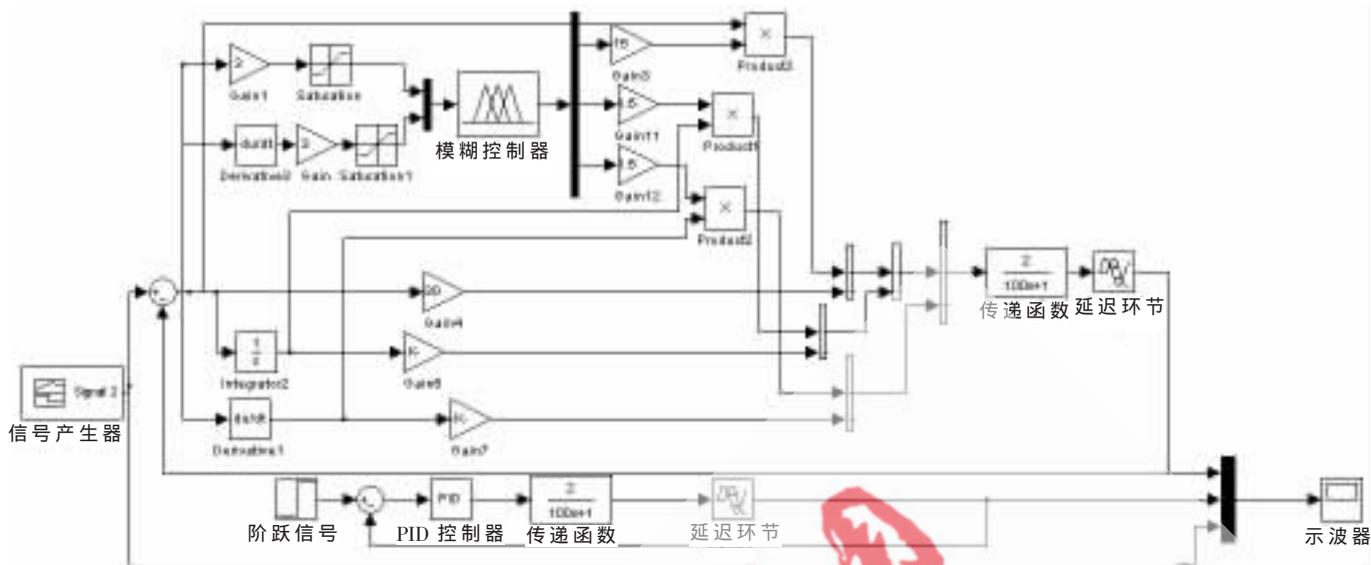


图3 系统的仿真模型图

为受到外来因素的影响或自身的某种变化使得被控对象在某个时刻后变成另外一个对象。由于对参数的变化是无法预测的,不能根据整定方法来提前实现PID的整定。这时如果系统不能及时适应就有可能使系统发生振荡,对生产过程造成影响。在一定的范围内可以用自整定控制器,通过自动跟踪变化实现合理的控制。基于以上提出的模糊理论和设计的控制器,在Matlab环境下进行了仿真。根据机理建模法和测试建模法,确定系统的动态数学模型为: $G(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts+1}$, 其中 $K=2.1$, $T=100$, $\tau=$

40 s, 系统的simulink模型图如图3所示。在阶跃信号的作用下,取采样时间为0.1 s,常规PID控制器的参数分别为 $K_p=30$, $K_i=0.02$, $K_d=0.001$,同时该参数也是模糊PID控制的初始参数。系统的输出波形如图4所示。其中假定曲线1为模拟工艺生产要求所需要的温度曲线,曲线2为常规控制器的系统输出,曲线3为模糊PID自整定控制器的输出。由系统的输出比较可知,常规PID控制器有较快的响应速度,在100 s时便可达到峰值,但对中间温度变化阶段反应不明显,不能跟踪生产要求的温度曲线,说明不具有自整定特性,抗外来扰动能力差。模糊控制器虽然前期响应速度较慢,但总体对工艺生产曲线1跟踪效果明显,并且能在达到峰值后快速趋于稳定。对比之下,可以明显看出模糊自整定在外来干

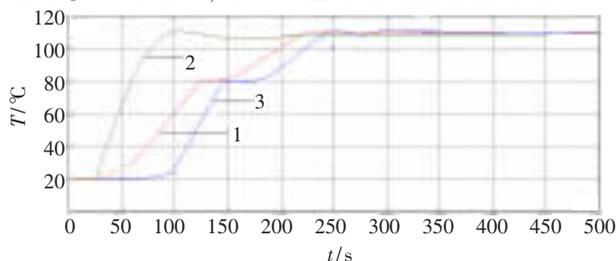


图4 仿真输出波形

扰下的控制优势,能较好地满足聚合反应过程中二次加料温度曲线变化要求^[5-7]。

本文提出了一种把参数自整定模糊控制方法应用于聚合反应釜温度控制系统的控制方法,设计了参数自整定模糊PID控制器,并给出了控制算法。仿真结果表明,与传统的PID相比,该控制器可使系统具有更快的响应速度和更小的超调量,对PID的3个参数 K_p 、 K_i 、 K_d 的自整定效果优于其他算法,且不需提前建立控制系统的数学模型。该控制器具备较强的参数变化适应能力和更好的抗干扰能力,适用于具有时变非线性、纯滞后、大惯性特点的控制系统中。

参考文献

- [1] 朴春俊,陈彩莲.模糊控制在聚合反应釜中的应用及仿真研究[J].系统仿真学报,2001,13(5):558-559.
- [2] 郭建波,周剑利,崔涛.模糊PID混合控制系统在加热炉中的应用[J].微计算机信息,2005,21(7):92-94.
- [3] 刘金琨.先进PID控制及MATLAB仿真[M].北京:电子工业出版社,2006.
- [4] 王树青.先进控制技术及应用[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [5] YING H. Fuzzy control and modeling: Analytical Foundations&applications[M]. New York: IEEE Press, 2000.
- [6] 刘晓莉,张曙光,周少武,等.模糊自校正控制在加热炉温度控制中的应用[J].湘潭矿业学院学报,2001,16(3):82-85.
- [7] 李秀娟.基于MATLAB模糊控制器设计和仿真[J].电子测量技术,2004,3:22-23.

(收稿日期:2009-09-02)

作者简介:

乔杰,男,1982年生,硕士,主要研究方向:自动控制理论。