

文章编号: 1009-038X(1999)04-0072-04

反应釜系统中的模糊串级控制策略

冯 斌, 须文波, 刘 飞

(无锡轻工大学信息与控制工程学院, 江苏无锡 214036)

摘要: 介绍了通过模糊串级 PID 控制器实现对多功能反应釜温度控制的主要设计思想. 通过在某厂中试运行, 证明了模糊控制在聚合反应过程中应用的可行性与有效性.

关键词: 模糊串级控制; PID; 多功能反应釜; 自适应

中图分类号: TP273.4; TP272 文献标识码: A

反应釜是轻化和食品行业中进行聚合、脂化以及合成等化学过程的典型设备. 针对某厂反应釜自动控制方案的设计要考虑中试时多种反应和参数的变化的特点, 以及要求整个系统高度灵活、操作简便, 特别是要适用于经常修改参数的试验场合, 作者设计了两级计算机控制系统.

1 控制系统的组成

该系统的第一级以 PC 机为上位机, 实现对生产过程的监督和管理; 第二级以工控机为下位机, 实现对反应过程的实时控制. 上位机包括彩色显示器、PC 和打印机等.

下位机主要由 PC 总线 IPC-610 主控板、SVGA 显示器、光隔型 32 路 A/D 板、16 路 D/A 板、光隔开关量输入和输出板以及检测变送器和调节阀等组成, 见图 1. 根据系统的性能要求, 采用了较为灵活的模块化程序设计方法. 上位机

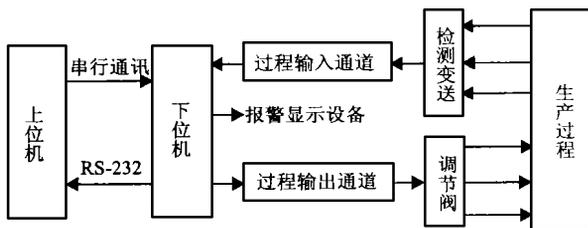


图 1 计算机控制系统的基本组成

软件用 Visual Basic 高级语言编制, 包括主控界面和辅助窗口, 以友好的人—机对话中文界面实现对中试车间的监控. 下位机软件用 C 语言编制, 系统的应用软件主要包括信号采集程序、控制算法程序和事故报警处理程序等, 主要完成对反应过程的实时检测与控制.

由于反应釜系统中存在着随机性和时变性, 求取其数学模型十分困难. 作者将模糊控制与 PID 控制结合起来^[1], 以实现多功能反应釜这样的复杂对象的有效控制.

收稿日期: 1999-05-10; 修订日期: 1999-09-20

作者简介: 冯斌(1956年11月生), 女, 江苏南通人, 工学硕士, 讲师.

2 工艺控制的特点

多功能反应釜系统的生产流程见图 2.

原料在加料罐中混合、预热后, 进入反应釜反应, 生成物至分馏塔精馏. 分馏塔的塔顶物料由汽液分离器进行两相分离后, 最终从储液器中得到液体产品. 同时, 分馏塔的塔底物和汽液分离器的部分物料回流到反应釜重新参加反应. 这样使得原料充分利用, 产品得率较高. 中试中每种产品在反应釜中反应的过程主要分为升温、保温和降温 3 个阶段.

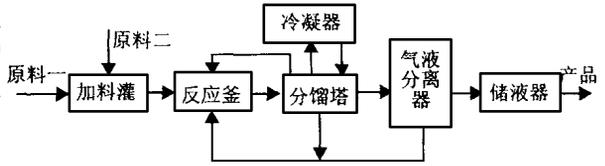


图 2 生产工艺流程图

2.1 升温阶段

投料搅拌后, 在反应釜夹套内通入蒸汽对反应釜加热. 由于是多功能反应釜, 必须适应不同型号产品的试验. 一些型号产品的工艺要求升温过程越快越好; 而另一些型号的产品则要求严格按照设定温度曲线进行升温. 这一阶段的控制难点为: 升温的大部分阶段为吸热过程, 而临近保温设定值时转为放热反应. 若釜温控制不当, 则很容易造成超调, 或者过度冷却而使产品转型. 为避免超调, 一般 PID 控制方法采用设定过渡温度点以提前控制釜内温度.

2.2 保温阶段

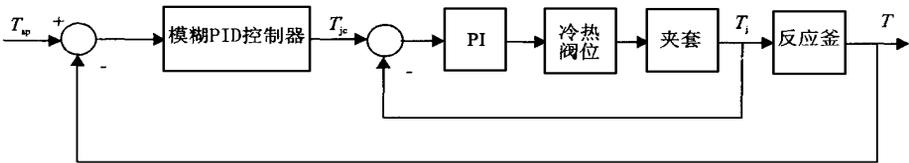
此阶段为正常反应阶段, 时间较长, 这时釜内放热反应加剧, 需通过冷却水降温. 保温阶段控制精度要求较高, 是整个反应温度控制的重点.

2.3 降温阶段

降温时冷却水阀全开, 釜压开始下降. 正确判断反应是否结束是确保产品质量的关键.

3 模糊串级 PID 控制系统的设计

模糊串级控制系统的结构与 PID 串级控制系统的结构类似^[4], 内环为冷、热调节阀控制夹套温度, 外环为夹套温度控制反应釜釜内温度. 其控制框图见图 3.



T_{sp} - 反应设定温度; T_{jc} - 外环计算的夹套温度设定值; T_j - 夹套温度实际值; T - 釜内实际温度

图 3 模糊串级控制系统结构框图

3.1 串级双回路中主调节器的设计

主调节器采用了将模糊控制与 PID 控制相结合的参数自适应模糊 PID 控制器, 见图 4. 设控制器为双输入单输出控制器, 控制器的输入为 e 和 ec , 输出为 u , 其控制规则可以写成如下的条件语句形式:

If e is A_i and ec is B_j then u is u_{ij} .

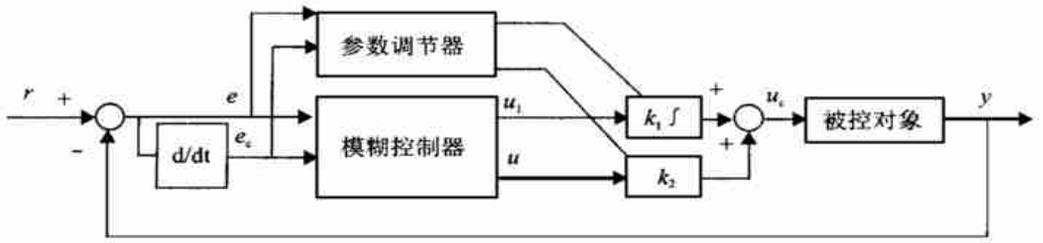


图4 参数自适应模糊控制器

式中 A_i, B_j, u_{ij} 是定义在误差、误差变化率和控制量的论域上的模糊子集, 并且 $u_{ij} \in U$ 为确定值, 即确定性模糊控制^[2]. 设 A_i, B_j 采用如图5所示的三角形隶属函数 $A_i(e)$ 和 $B_j(e_c)$, 应用模糊推理方法, 构成模糊PID控制器^[3].

$$u_c = k_2 A + (k_2 P + k_1 D) e + k_1 P \int e dt + k_2 D e_c$$

其中: $A = u_{ij} - P e_i - D e_{c j}$, $P = (u_{(i-1)j} - u_{ij}) / (e_{(i-1)} - e_i)$, $D = (u_{i(j-1)} - u_{ij}) / (e_{j-1} - e_j)$, 比例系数 $k_p = k_2 P + k_1 D$, 积分系数 $k_i = k_1 P$. 从PID控制的特点可知, 积分作用越强, 系统的超调越大, 响应越快; 而微分作用越强, 阻尼越大, 超调越小, 响应越慢. 因此选择PID控制器中的参数 k_1 和 k_2 进行自动调整, 以进一步改善模糊控制系统的性能. 自调整规则为

$$\begin{aligned} k_1 &= k_{10} + k_1 \\ k_2 &= k_{20} + k_2 \end{aligned}$$

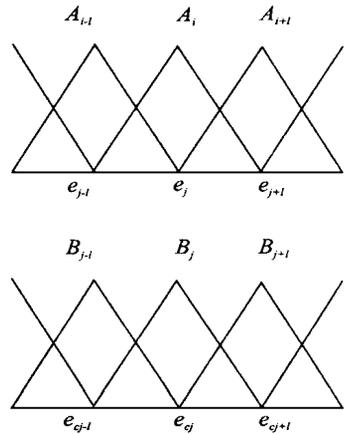


图5 A_i 和 B_j 的隶属关系

其中 k_{10} 和 k_{20} 分别为积分系数和微分系数的确定部分, k_1 和 k_2 分别为积分系数和微分系数的调整部分. 将误差 e 和误差的导数 e_c 进行归一化处理, 在 $[0, 1]$ 区间分成若干非均匀等级, e 分为5级, 而 e_c 则分为3级, 模糊量化方式为

$$\begin{aligned} e_i &= \{e_{-2}, e_{-1}, e_0, e_1, e_2\} = \{-1, -0.5, 0, 0.5, 1\}; \\ e_{c j} &= \{e_{c j-1}, e_{c j}, e_{c j+1}\} = \{-0.3, 0, 0.3\}. \end{aligned}$$

对于规则自调整机构, 可以得到离线计算的模糊决策表, 实际控制中采用查表的方法得到相应的修正量. 反应釜在加料、采样和测温时, 自动切换到工艺要求的设定值, 此时整个控制系统实际只有副控制器在起作用.

3.2 副调节器设计

副控制对象是冷热水阀(冷却水阀为气关阀, 蒸汽阀为气开阀), 所以采用PI控制策略. 由于设置串级控制系统的主要目的就是利用副回路迅速克服主要干扰, 因而取副回路时间常数约为主回路的 $1/7$. 应用 Ziegler-Nichols 频率特性方法, 可得内环控制器参数整定公式

$$\begin{aligned} K_p &= 0.4 K_c \\ T_I &= 0.8 T_c \end{aligned}$$

式中 K_p 和 T_I 分别为比例增益和积分系数, K_c 和 T_c 分别为振荡周期和临界增益. 副回路中还采用了将 $4 \sim 20$ mA DC 的输出信号分程的方法. 在 $4 \sim 12$ mA DC 时, 控制冷却水量, 打开冷水阀, 关闭热水阀. 在 $12 \sim 20$ mA DC 时, 打开热水阀, 关闭冷水阀.

4 中试结果分析

该方案在某中试车间 1 000 L 的不锈钢反应釜及其附属设备组成的反应设施上投入运行,控制的是分别采用甲、乙两种配方的工业洗涤剂的调和过程.采用模糊串级控制和传统 PID 串级控制的实际运行结果如图 6, 7 所示.其中曲线 1 为系统的单位阶跃响应曲线,曲线 2 为 PID 控制的响应曲线,而曲线 3 是采用参数自适应模糊 PID 控制器时的响应曲线.可以看出,传统的 PID 控制中出现了较大的超调,而用模糊串级控制的方法则完全消除了超调现象,升温速度快,温度控制精确,具有较强的鲁棒性.

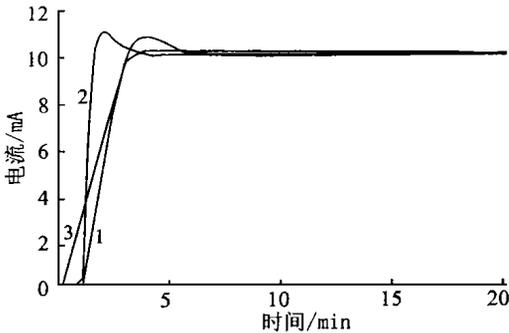


图 6 甲配方时系统的单位阶跃响应

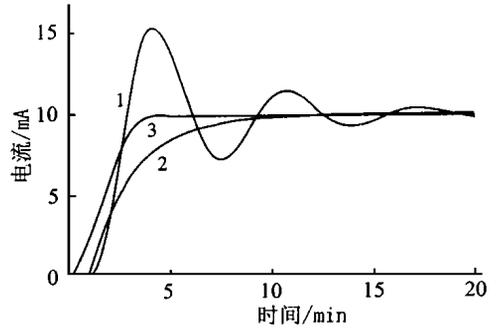


图 7 乙配方时系统的单位阶跃响应

5 结 论

将参数自适应模糊 PID 控制器应用于多功能反应釜的串级温度控制的方法,对系统的动态性能有较明显的改善,特别是在跟踪快速、控制精确和无超调等方面,优于传统的 PID 控制方法.本研究还吸取了引进的 DCS 系统的优点,并立足于国内汉字操作系统的基础上进行开发,因此比国外引进的系统更适合于国内的应用环境,其社会和经济效益显而易见.

参考文献:

- [1] 李士勇. 模糊控制,神经网络和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.
- [2] 李树江. 模糊串级控制及其在精炼炉吹氩系统中的应用[J]. 信息与控制, 1998, 27(1): 60~65
- [3] 谢书明. 一种参数自适应模糊 PID 控制器[J]. 信息与控制, 1998, 27(4): 255~259

Fuzzy Cascade Control and Its Application in the Process of Multifunction Reactor

FENG Bin, XU Wen-bo, LIU Fei

(School of Information and Control Engineering, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

Abstract: A new method of using fuzzy PID controller with parameter adaptation is presented in this paper, which is applied to the cascade control system on the reaction process of multifunction reactor. The result of simulation indicated that the controller improved the dynamic property of control systems evidently.

Key words: fuzzy cascade control system; PID; multifunction reactor; adaptation