文章编号: 1008-1542(2005) 03-0241-04

模糊-积分控制系统的研究及其应用

韩兵欣[1], 刘利贤[1], 李永伟[2], 陈平印[3], 石文兰[4]

(1. 石家庄铁道学院电气工程分院, 河北石家庄　050043; 2. 河北科技大学科研处, 河北石家庄　050018; 3. 邯邢冶金矿山管理局西石门铁矿, 河北邯郸　056300; 4. 河北工业职业技术学院信息工程与自动化系, 河北石家庄　050091)

摘　要: 通过对模糊控制系统的分析和研究, 利用积分控制可以消除误差的特点, 对传统的模糊控制系统进行了改进, 在模糊控制系统中增加了积分控制。通过系统仿真和在脲醛树脂生产过程中的应用得到证实: 该控制对具有时间滞后的生产过程加速了动态响应过程, 提高了稳态精度。该控制算法具有较强的鲁棒性和抗干扰能力, 超调量小, 调节时间短。

关键词: 模糊控制; 积分控制; 过程控制

中图分类号: TP273.4+;　　文献标识码: A

Study on fuzzy intelligent control system and application

HAN Bing-xin[1], LIU Li-xian[1], LI Yong-wei[2], CHEN Ping-yin[3], SHI Wen-lan[4]

(1. Department of Electronic Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang Hebei 050043, China; 2. Department of Scientific Research, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China; 3. Hanxing Metallurgical Mine Administration Xishimen Iron Mine, Handan Hebei 056300, China; 4. Department of Information Engineering and Automatization, Hebei Institute of Vocation and Technology, Shijiazhuang Hebei 050091, China)

Abstract: In this paper, through analysis of fuzzy controller and using integrator to reduce error, an improved fuzzy controller model is presented. In the fuzzy controller model, the integrated controller is used. The simulation results with the model are given. And the application in the production of urea-formaldehyde resin improves effectively the performance of the control system. The result shows that the fuzzy control precision, the adjustment time and the overshoot are improved.

Key words: fuzzy control; integrated control; process control

在脲醛树脂生产过程中, 反应釜是重要的生产设备。从生产原料加入釜内至脲醛树脂产品生成整个过程都在釜内进行, 其温度、压力、pH 值等过程参数直接影响产品的质量。传统模糊控制过程是一个缩聚反应过程, 而且其反应过程表现为较强烈的非线性和多稳定状态; 反应生成的高分子化合物的黏度造成反应器的传热性能变差; 反应釜换热方式为间接换热, 存在纯时间滞后, 所以传统的控制策略难以达到满意的控制效果。本文采用模糊-积分控制有效地解决了建立精确控制数学模型难和模糊控制精度低的问题。

1　脲醛树脂生产过程

某实验厂共有 3 台反应釜生产脲醛树脂, 釜内的缩聚反应对温度较敏感, 尤其对升温速度要求严格, 所以温度控制是过程控制的关键。该工艺过程温度曲线见图 1。

收稿日期: 2005-05-08; 修回日期: 2005-05-26; 责任编辑: 李　穆
基金项目: 河北省科技攻关项目(03213541D)
作者简介: 韩兵欣(1957-) , 男, 河北晋州人, 副教授, 主要从事控制理论及其应用、模糊控制、神经网络控制方面的研究。

生产过程主要分为以下5个阶段。1) 加料阶段　使pH 值在一定范围, 把计量好的甲醛投入反应釜, 并加入尿素。2) 加成阶段　在 t_1 时间内温度加至 θ_1, 在 t_1~ t_2 时间内按曲线速度升至 θ_2, 保持到 t_3 时间。甲醛、尿素进行加成反应, 该阶段要求温升速度见图 1, 为防止喷胶和固化事故, pH 值应在一定范围内。3) 缩聚阶段　在 t_3~ t_4 时间内温度降至 θ_3, 并保持该温度到 t_5, pH 值在一定范围。该阶段生成线型高分子化合物, 黏度增加。4) 脱水阶段　在该阶段温度保持在 θ_4, 时间至 t_6, 抽空脱水压力控制在 0.06 MPa。5) 降温出料阶段　将成品冷却后出釜。

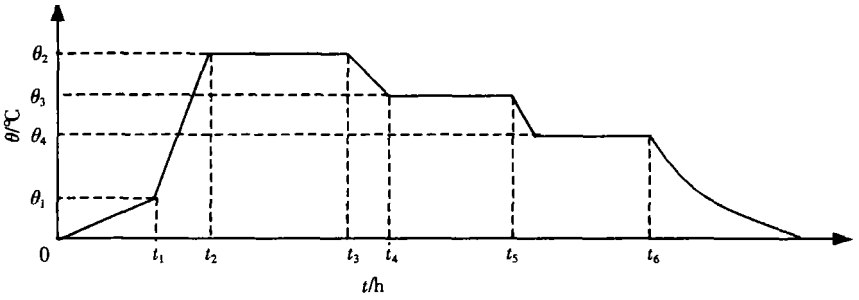

图 1　工艺过程温度曲线

Fig. 1　Technical temperature curve

2　控制方案

2.1　压力控制

压力控制仅在脱水阶段进行。抽真空时打开排空口, 属于 2 位开关控制, 因此只设程序控制即可。

2.2　pH 值控制

在各个工艺阶段要求的 pH 值不同, 根据工艺曲线的特点及要求, 每次调节所加入的调节液为一定量, 而且 pH 值只要求在一定范围, 因此, 采取在线检测釜内酸度的控制策略, 开关控制调节液地加入, 即 Bang-Bang 控制。

2.3　温度控制

温度控制过程具有严重的时滞和非线性, 很难建立准确的数学模型, 长期以来主要依赖于专家经验。针对本过程的特点, 笔者采用模糊-积分控制。其基本控制原理是根据系统的误差、误差的变化率及前期的误差等信息求出表征系统动态特性的特征量, 再根据特征量推断出动态过程的特征信息, 作为控制决策依据, 从中选取最有效的控制策略, 实现对系统的满意控制。

3　模糊控制器设计[1,2]

常规模糊控制器是根据误差 e 及误差变化率 ec 进行模糊推理的。模糊控制器的设计在很大程度上依赖于专家经验的总结, 主要包括精确量的模糊化、模糊推理机和清晰化。

3.1　模糊化设计[3]

模糊化是将精确量用模糊语言描述的过程。根据控制要求选择模糊集 e= ec= u= {nb, nm, ns, zo, ps, pm, pb}, e 和 ec 的论域为{- 6, - 5, - 4, - 3, - 2, - 1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}, 控制变量 u 的论域为{- 6, - 5, - 4, - 3, - 2, - 1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}, 相应的隶属度函数曲线见图 2。

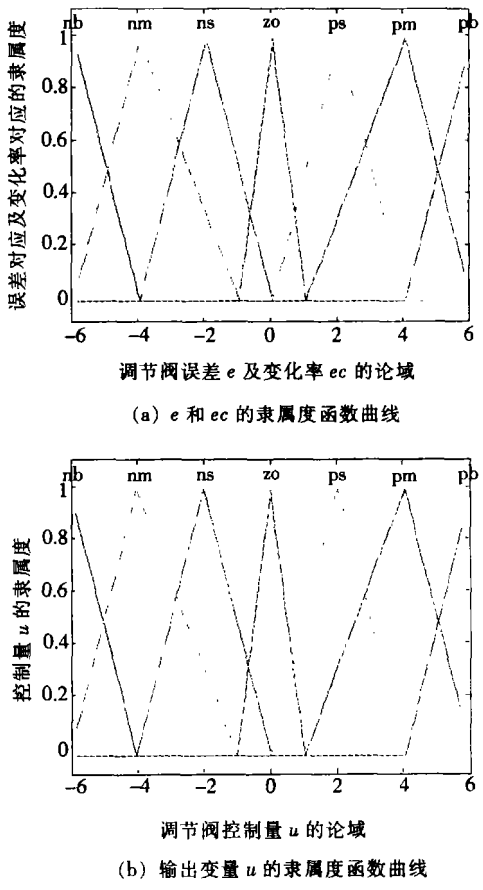

图 2　隶属度函数曲线

Fig. 2　Subject function curve

3.2　模糊控制器设计

推理机是模糊控制器的核心, 推理的依据是模糊控制规则, 根据误差 e 及误差变化率 ec 的模糊语言变量经过模糊逻辑推理得到模糊控制变量 u 的模糊语言值, 再经过清晰化处理便得到精确控制量。经过对系统进行分析、归纳, 总结出模糊控制规则表, 见表 1。

模糊控制的结构见图 3。

表 1　控制规则表

Tab. 1　Control rule table

e	ec						
	nb	nm	ns	zo	ps	pm	pb
nb	nb	nb	nm	nm	ns	nm	nm
nm	nb	nm	nm	ns	ns	ns	nm
ns	nm	nm	ns	ns	ns	ns	ns
zo	nm	ns	ns	zo	ps	ps	pm
ps	ps	ps	ps	ps	ps	pm	pm
pm	pm	ps	ps	ps	pm	pm	pb
pb	pm	pm	ps	pm	pm	pb	pb

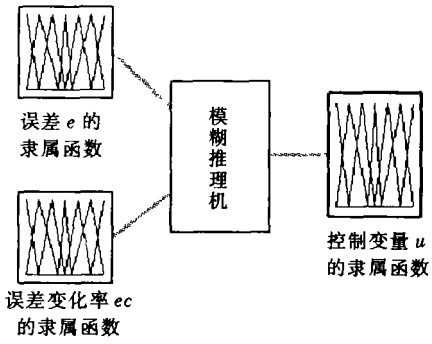

图 3　模糊控制结构

Fig. 3　Fuzzy controller's structure

3.3　模糊控制系统设计

受精确控制和 PID 控制器的启示, 积分器可以累积误差, 加快调节过程, 有效地消除静态误差, 因此笔者在模糊控制器的基础上结合实际控制系统的特点, 增加了 1 个积分器, 目的是更精确地消除系统的稳态误差, 提高系统的稳态控制精度。带积分器的模糊控制系统结构见图 4。

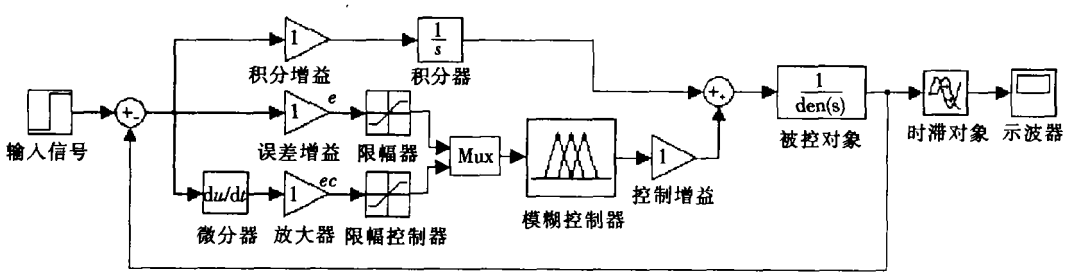

图 4　模糊积分控制系统框图

Fig. 4　Fuzzy integral controller structure graph

仿真结果见图 5, 为了便于比较, 图 5 中同时给出了 PID 控制结果, 经仿真实验和现场调试达到了预期效果。

4　应用举例

化工生产过程一般具有时滞, 且时滞较大, 模糊控制适宜此类生产过程, 但模糊控制论域的划分具有有限性, 使得控制比较粗糙, 输出容易产生波动, 而模糊控制与精确控制相结合可以充分发挥各自的优势, 产生良好的控制效果。将本文提出的控制策略应用到脲醛树脂生产过程的温度控制中, 不但提高了控制精度而且提高了控制速度。实践证明, 该控制策略完全能满足生产要求。

控制系统框图见图 6[4,5]。测温用 Pt100 型铂热电阻; 酸度测量用 PHS-9000C 型酸度变送器; PV, SV 分别为压力、pH 值调节电磁阀; TV1, TV2 分别为蒸气、冷水电动调节阀。

温度工艺曲线、控制算法、程序控制以及工艺参数的打印输出、报警、显示等均由 80c196 单片机系统完成(见图 6)。

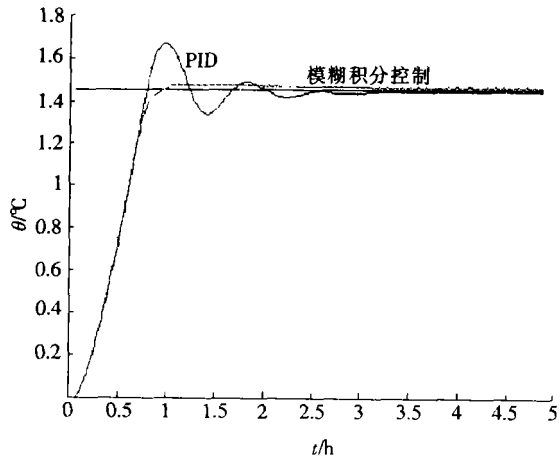

图 5　具有时间滞后模糊控制与 PID 控制结果比较

Fig. 5　Compare fuzzy integral control result with PID controller

5 结束语

脲醛树脂温度控制是具有时间滞后环节的生产过程, 经典史密斯(Smith)预估补偿控制器和大林(Dahlin)控制算法均有一定的局限性, 它们均需要精确的数学模型提供准确信息, 采用模糊加积分的控制策略能得到良好的控制效果。这充分显示了模糊控制和精确控制结合的优势。图 7(a)为无时间滞后的单位阶跃控制作用下模糊控制响应与 PID 控制结果的比较, 图 7(b)为与图 5 相同参数、无时间滞后的单位阶跃控制作用下模糊控制响应与 PID 控制结果的比较结果。从仿真结果可以看出, 模糊积分控制器具有较短的调节时间、较小的超调量和较强的鲁棒性[6], 在实践中也取得了同样好的控制效果。该控制方法计算量较小, 而且不需要精确的数学模型, 工程上容易实现, 具有一定的推广价值。

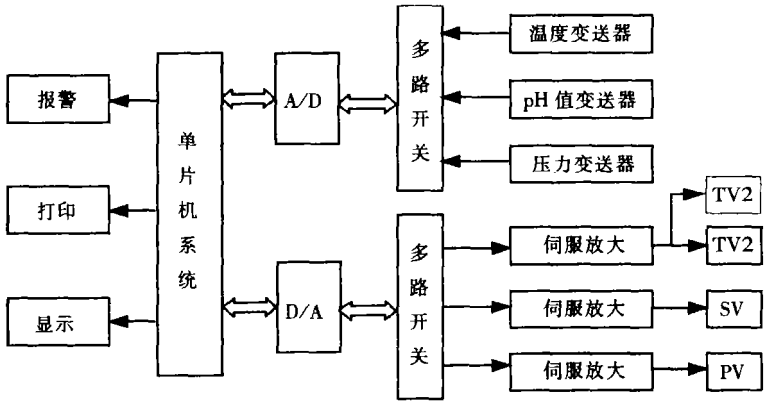

图 6 控制系统框图

Fig. 6 Graph of control system

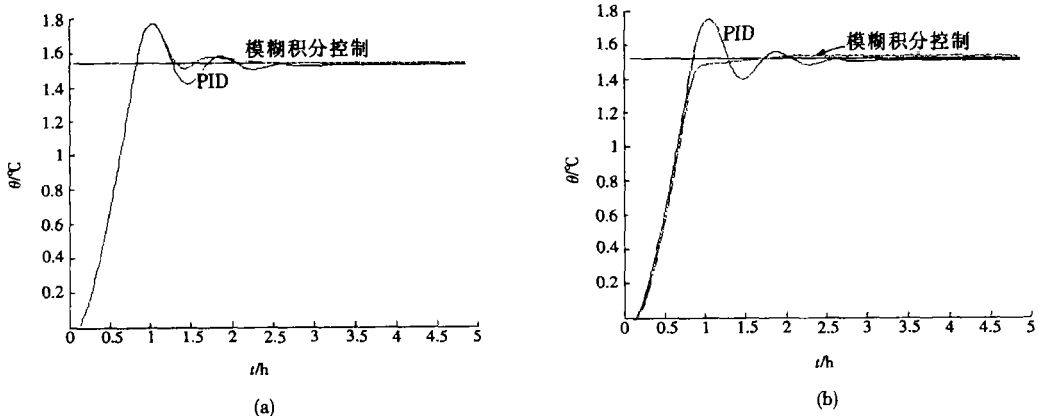

图 7 模糊控制与 PID 控制结果比较

Fig. 7 Compare fuzzy integral control result with PID controller

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, 1996.

[2] 吴晓莉, 林哲辉. MATLAB 辅助模糊系统设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.

[3] 王划一, 刘 玫. 模糊控制用于铁路供水中的研究[J]. 电气自动化, 2002, 24(3): 26-28.

[4] 余永权, 曾 碧. 单片机模糊逻辑控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.

[5] 陈汝全, 林水生. 实用微机与单片机控制技术[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1993.

[6] 冯冬青, 谢宋和. 模糊智能控制[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.