

模糊 PID 控制在 DMF 回收控制系统中的应用*

王华强¹, 张明明¹, 杨滌光²

(1.合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009;

2.安徽安利合成革股份有限公司, 安徽 合肥 231202)

摘要: 介绍了 DMF 回收系统的工艺流程。在分析了模糊控制和 PID 控制的特点后, 将两种控制方法融合并形成模糊 PID 控制。将模糊控制与西门子 PLC 的 PID 功能模块 FM355 相结合, 采用 STEP7 编写模糊控制器软件; 模糊规则采用 Mamdani 算法, 通过离线计算得出模糊查询表, 控制系统在线查询的控制策略, 并将其应用于 DMF 回收控制系统中。生产实践证明, 模糊 PID 控制的性能良好。

关键词: DMF 回收; 模糊 PID 控制; STEP7

中图分类号: TP29

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2011)12-0089-04

Application of fuzzy-PID control in the DMF reclaim system

Wang Huaqiang¹, Zhang Mingming¹, Yang Chuguang²

(1.School of Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2.Anhui Anli Artificial Leather Co., Ltd, Hefei 231202, China)

Abstract: This paper presents the process flow of the DMF reclaim system. Fuzzy control and PID control are combined after analysing the advantages and disadvantages of the two methods. This paper combines the Fuzzy control and the PID module FM355 of Siemens PLC and obtains the software realization of fuzzy controller based on STEP7 and the fuzzy rules follow Mamdani algorithm, working out the fuzzy reference list though offline calculator and the online reference are adopted in the paper, and also are applied in the DMF reclaim system. The experiments show that the programming can achieve good control effects.

Key words: DMF recycled; fuzzy-PID control; STEP7

在工业湿法的合成革生产中, 二甲基甲酰胺(DMF)作为洗涤固化剂, 有着重要的作用。DMF 具有强污染性, 若流失到大气、水或土壤中会给环境带来严重污染, 因此现今生产线上流失的 DMF 都需要做回收处理。

DMF 的回收采用多塔精馏工艺, 属于典型的化工精馏的过程, 包含一、二级浓缩塔、精馏塔、蒸发罐等。过程有原料预热、负压浓缩、精馏、脱酸等工艺过程。在实际操作中, 精馏塔液位波动很快, 影响因素很复杂, 受塔操作压力、塔釜热量、塔顶回流量及进出料量的影响, 工艺参数关联度高, 非线性程度高, 难以建立被控对象的精确数学模型, 常规的 PID 控制难以做到实时有效的控制。针对这些特点大部分企业暂时只能够运用手动控制输出的方式来解决控制不稳定的问题。

近年来, 模糊控制技术飞速发展, 越来越多地应用

在工业控制领域。由于模糊控制技术不依赖对象精确的数学模型, 具有较强的鲁棒性, 即使控制对象没有准确的数学模型, 也可以依照经验对其进行稳定控制。在本系统实际精馏塔的液位控制中, 存在不同程度的超调和震荡现象, 而且存在调节时间长的问题。综合被控对象的非线性、高阶次、大滞后、数学模型难以确定等特点, 因此适宜采用模糊控制。然而, 模糊控制自身也具有一定的局限性, 例如稳态性能较差等。为了解决这些问题, 就需要模糊控制器具有自学习、自调整的能力。

本文设计了一种 fuzzy-PID 复合控制器, 利用 STEP7 将模糊控制与 PID 算法相结合, 提高了对非线性时滞系统的控制能力。

1 系统构成

DMF 回收智能控制系统硬件主要由 SIMENSE PLC-

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(60974022); 合肥工业大学产学研校企合作资助项目(10-469)

应用奇葩

Example of Application

300、工控机、液位传感器等部件组成,软件编写采用STEP7,上位机软件采用组态王软件。

如图1所示,系统结构分为中央处理单元(CPU)、功能模块(FM)、网络通信模块(CP)、信号模块(SM)几个部分。其中CP343为网络通信模块,负责与上位机进行通信;SM334为模拟量输入/输出模块,负责采集现场的信号或给出输出信号;SM321为数字量输入模块,负责采集现场的数字量信号;FM355C为智能控制模块,本身具有执行传统PID算法的功能,可以实现对被控对象的PID控制。

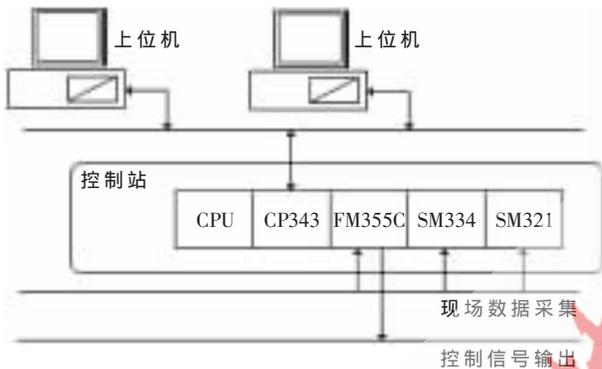


图1 DMF回收控制系统结构图

模糊PID控制流程图如图2所示。

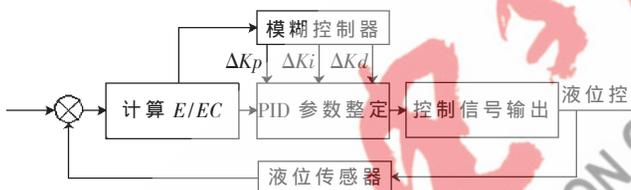


图2 模糊PID控制流程图

精馏塔的液位通过液位传感器采集后转换成4 mA~20 mA的电流信号送入PLC的模拟量模块SM334中,在PLC中计算偏差液位 E 和偏差变化率 EC 并传入数据块,通过模糊控制器计算出PID控制器各参数的迁移量,在PLC数据块中形成新的PID参数,最后通过传统PID算法计算并输出4 mA~20 mA信号来控制气动阀,从而达到调节液位的效果。

2 模糊控制器的设计

2.1 模糊化

模糊PID参数自调整模糊控制器由3个子模糊控制器共同构成,每个子模糊控制器的输入变量为液位误差 E 和误差变化 EC ,输出变量分别为 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。

基于对现场数据的分析以及液位的控制经验, E 和 EC 的论域设计为 $[-6, +6]$,输出变量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的论域分别为 $[-10, +10]$ 、 $[-10, +10]$ 、 $[-2, +2]$ 。模糊输入输出的量化等级为7级,定义模糊集为[NB, NM, NS, O, PS, PM, PB],含义依次表示负大、负中、负小、零、正小、正中、正大^[1-3]。采用三角形函数作为隶属度函数以确定模糊语言变量的隶属度,可分别得到各模糊变量的

隶属度赋值表。由此可计算出精确量 E 和 EC 并得出相应的模糊语言变量的输入。

2.2 建立模糊控制规则

根据数据分析及现场操作人员手动调节参数的经验,各环节的控制规则如下。

(1)比例环节的作用是及时成比例地反映控制系统的偏差信号,并即刻产生控制作用以减少偏差。因此,当偏差较大时,为提高响应速度, K_p 应取较大值;当偏差较小接近稳态时,为防止超调过大引起振荡, K_p 应取较小值。 ΔK_p 的模糊规则库如表1所示。

表1 ΔK_p 的模糊规则库

EC	E						
	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	O
NM	PB	PB	PM	PS	PS	O	NS
NS	PM	PM	PS	PS	O	NS	NS
O	PM	PS	PS	O	NS	NM	NM
PS	PS	PS	O	NS	NS	NM	NM
PM	PS	O	NS	NM	NM	NM	NB
PB	O	O	NM	NM	NM	NB	NB

(2)积分环节的作用是消除静态误差,通过对误差进行积分,对系统控制有一定的滞后作用。因此,当偏差较大时, K_i 应该取较小值,避免造成系统超调量过大或系统振荡。当误差较小接近稳态时, K_i 应适量加大,以消除系统的稳态误差,提高控制精度。 ΔK_i 的模糊规则库如表2所示。

表2 ΔK_i 的模糊规则库

EC	E						
	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	O	O	O	O	NS	O	O
NM	O	O	O	O	NS	O	O
NS	NB	NM	NS	NS	O	PS	PS
O	NM	NM	NS	O	PS	PM	PM
PS	NM	NS	O	PS	PS	PM	PS
PM	O	O	PS	PS	PS	O	O
PB	O	O	PS	PS	PS	O	O

(3)对有较大惯性和滞后的被控对象,微分环节可以预测误差变化的趋势。它能在偏差信号值变得太大之前加入有效的修正信号,加快系统响应速度,减少调节时间。由于微分环节对于干扰信号较为敏感,因此 K_d 的取值应综合考虑系统的响应速度和抗干扰能力,以提高系统的稳定性。本系统中,在误差较大时应取较大的 K_d 值,控制中期或接近稳态时, K_d 值应取较小值,从而减弱过程的控制作用,增加对扰动的抑制能力。 ΔK_d 的模糊规则库如表3所示。

本系统中控制规则采用Mamdani算法,即基于IF-THEN的产生式规则,其结构简单,易于修改。用一个由

表3 ΔKd 的模糊规则库

EC	E						
	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	PS	NM	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	PS
NS	O	NS	NM	NS	NS	NS	O
O	O	NS	NS	NS	NS	NS	O
PS	O	O	O	O	O	O	O
PM	PM	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

X 到 Y 的模糊关系 R 来表示模糊条件语句, 如: If A and B then C。这种模糊条件语句说明了模糊控制器的结构为双输入单输出结构^[4-6]。

在本系统中, if $E=NB$ and $EC=NB$ then $\Delta Kp=PB$ 可表示为控制规则 $R1: R1=NB_E \times NB_{EC} \times PB_{\Delta Kp}$ 。根据模糊规则库可得, 每个子模糊控制器有 $7 \times 7=49$ 条控制规则。

例如: Kp 子模糊控制器的总的模糊关系可以表示为: $R_{Kp}=R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_{49}$ 。

采用合成推理法 $U_{Kp}=(E \times EC) \cdot R_{Kp}$, 这里采用最大-最小合成法, 通过计算机完成模糊推理的计算^[7], 即可得出 Kp 子模糊控制器的模糊控制查询表, 由输入输出论域可知, 查询表共有 $13 \times 13=169$ 项。

2.3 清晰化

清晰化过程即把模糊语言变量转化为可执行的精确量, 采用最大隶属度法, 即 $\mu(u^*) \geq \mu(u), u \in U, \mu$ 是 u 的隶属度函数, u^* 是与最大隶属度对应的模糊控制量的值。

3 STEP7 实现的软件设计

SIMENSE S7-300 PLC 的编程软件 STEP7 提供了丰富的扩展功能模块, 为实现各种功能的算法提供了便利的条件^[8]。STEP7 工程中, 主程序模块 OB1 实现对子程序模块的调用和数据传递, 是不断刷新的, OB35 是中断服务程序模块, 用来响应系统中断, OB100 模块为系统初始化模块, 系统上电时自动运行, 初始化各参数。在 STEP7 工程中编写函数 FB1 模块为主模糊控制器, 编写子函数 FC1~FC4 完成整个模糊控制功能, 手动输入各子模糊控制器的模糊控制查询表至 DB5-DB7 中。其中 FC1 负责计算液位偏差 E 和偏差变化率 EC , FC2 负责将 E 和 EC 模糊化, 把精确数值转化为模糊语言变量, FC3 负责在线查询, 通过在 DB 块中查表, 根据模糊语言变量的输入得出相应的模糊语言变量的输出, FC4 负责将模糊语言变量的输出清晰化, 转换为精确值 ΔKp 、 ΔKi 、 ΔKd 。系统在自动控制状态下, FB1 分别调用 FC1、FC2、FC3、FC4, 完成模糊控制功能的计算, 清晰化以后根据如下方法进行 3 个参数的自适应校正:

$$Kp=Kp+\Delta Kp, Ki=Ki+\Delta Ki, Kd=Kd+\Delta Kd。$$

通过模糊和推理修正后的 PID 参数 Kp 、 Ki 、 Kd 存入

PLC 数据块, 通过 FM355 模块应用在普通的 PID 算法上, 形成具有自适应功能的模糊 PID 算法。

模糊 PID 算法软件设计的流程框图如图 3 所示。

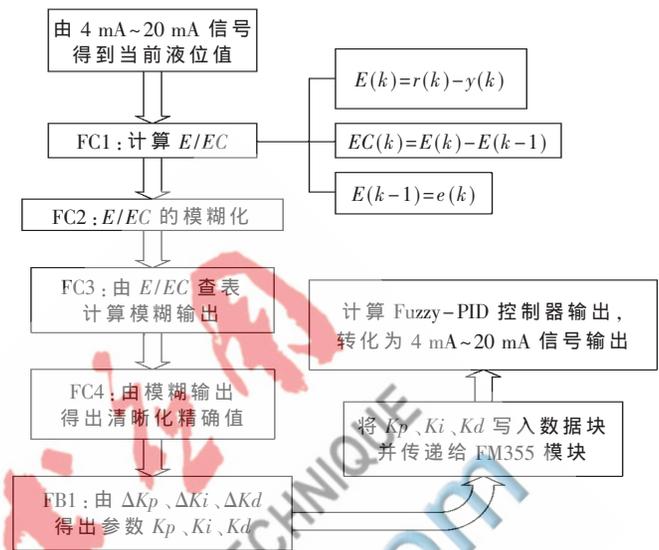
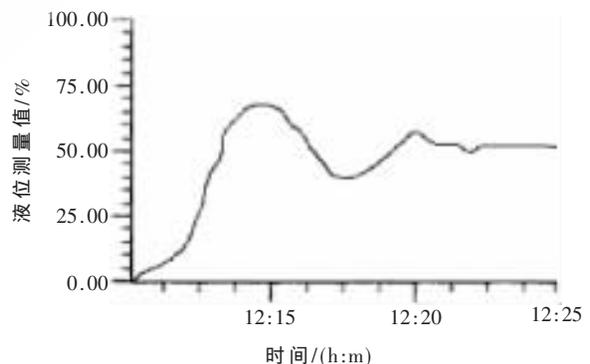


图3 模糊PID算法流程框图

4 系统运行效果分析

应用了模糊PID控制的算法后, DMF 回收控制系统对精馏塔液位的控制效果比以前有明显改善。

从控制曲线可以看出, 运用模糊PID自调整控制方式, 超调量小, 达到稳态所需要的时间短。模糊PID自调整控制方式是将模糊控制和PID控制两者相结合, 进行参数的在线调整, 在初期偏差比较大时, 自动增大比例常数 Kp , 提高了系统的响应时间; 在偏差较小时, 适当增加积分常数 Ki , 消除了静态误差, 减小超调, 缩短了稳态时间, 从而使系统的控制精度提高, 动态性能得到改善。如图 4、图 5 所示。

图4 $Kp=2.5, Ki=100, Kd=1.0$, 给定值为 50% 时 PID 算法控制效果

模糊推理用于模仿人脑的逻辑思维, 用于处理模型未知或不精确的控制问题。而采用西门子系列 PLC 实现模糊控制时, 需要专用的编程设备, 价格昂贵, 使用复杂。本文使用软件方法实现的模糊控制器大大节约了企业成本, 实现了生产完全自动化, 以往因控制不稳定而

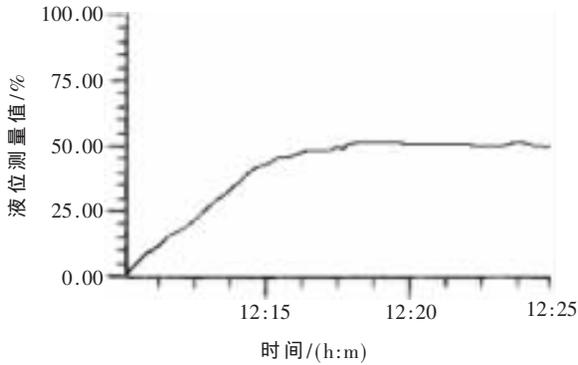


图5 给定值为50%时模糊PID算法控制效果

导致的必须人工手动操作输出的制度得以解除。另外利用模糊规则库离线计算生成查询表,在系统中直接在线查询,优化了系统的运行速度,具有较高的工程应用价值。本控制方法现在已应用于某化工企业DMF回收控制系统当中,控制较以前有了明显改善,大大减小了系统调节时间和超调,控制稳定且准确,给企业带来了较大收益。

参考文献

[1] 王耀南,孙炜.智能控制理论及应用[M].北京:机械工业

出版社,2008:31-46.

[2] 韩峻峰,李玉惠.模糊控制技术[M].重庆:重庆大学出版社,2003:8-56.

[3] 单冬.模糊控制原理与应用[M].北京:中国铁道出版社,1995:54-128.

[4] 张庆,程维明,沈耀宗,等.模糊控制在橡胶硫化温度控制中的应用[J].光学精密工程,2001,9(4):385-387.

[5] 王树青,戴连奎,祝和云,等.工业过程控制[M].北京:化学工业出版社,2005.

[6] 张湘,肖建.非线性网络控制系统T-S模糊控制研究[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2010,33(7):1010-1014.

[7] 李庆春,沈德耀.一种PID模糊控制器(fuzzy PI+fuzzy ID型)[J].控制与决策,2009,24(7):1038-1042.

[8] 田媛,刘振娟.模糊控制在SIMENSE PLC系统中的实现[J].中国仪器仪表,2005(5):72-75.

(收稿日期:2011-01-24)

作者简介:

王华强,男,1963年生,副教授,硕士生导师,主要研究方向:计算机控制系统。