

模糊 PID 控制在晶化釜升温曲线控制中的应用

梁 欣

(天津德明福自动化技术有限公司, 天津 300112)

摘要: 晶化釜是某催化剂生产装置中的关键设备, 而其升温曲线的控制精确性直接影响产品的质量, 常规 PID 控制算法难以满足控制要求。针对升温曲线必须严格满足理论曲线的控制问题, 提出了采用模糊 PID 控制策略来控制升温曲线的方法, 在仔细分析晶化釜加热系统的构成和控制要素的基础上, 采用了以温度值和升温速度为输入, 可控硅的开度值为输出的双输入单输出的模糊算法, 并根据试验参数设计了模糊算法的推理原则, 针对温度曲线恒温段的特点, 采用 PID 算法来控制恒温温度; 最后在 PCS7 系统中, 采用参数表和标准温度 PID 控制功能块相结合的方式, 实现了该控制算法。实际的工程应用结果表明, 通过采用正确参数的模糊 PID 控制策略能使晶化釜升温曲线与设定的温度曲线的误差不超过 5%, 可以满足实际生产的需要。

关键词: 晶化釜; 升温曲线; 模糊控制; PID; PCS7

中图分类号: TE682; TH39; TP271+.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)11-1306-04

Application of fuzzy PID control system for heating curves of crystallization axe

LIANG Xin

(Tianjin DAMF Automation Technology Co., Ltd., Tianjin 300112, China)

Abstract: The control of the heating curve of crystallization axe which is the key equipment of the catalyst production device is beyond the performance of the usual PID. Aiming at keeping up the heating curve with the theoretical curve strictly which is critical to the quality of the final production, a new control strategy of fuzzy PID control method was presented to control the heating curve. Based on analysis of the characteristics and elements of the heating system, the two input and one output fuzzy module which the temperature value and rate of temperature were used as inputs and the opening value of controlled silicon was used as output, was adopted as well as to keep the temperature stability in the constant phase of the heating curve, the standard PID module was also adopted. The reasoning principles were also studied. Combined with parameter list and standard temperature control function block in PID, the control strategy based on the Siemens SIMATIC PCS7 was introduced in the following. The practical applications results indicate that the error between the heating curve and the theoretical curve could be reduced to within 0.5 percents by this strategy.

Key words: crystallization axe; heating curve; fuzzy control; proportion integral derivative(PID); PCS7

0 引 言

晶化釜是分子筛催化剂生产工艺中的关键设备, 晶化过程中温度控制的精确性直接影响产品晶化的品质。而晶化釜的加热系统比较复杂, 首先由电加热器加热导热油, 在循环泵的作用下, 导热油流经缠绕在晶化釜外壁上的导热管和晶化釜进行热交换后返回电加热器中, 该过程不断循环以实现晶化釜的加热。由此可以看

出, 该升温过程只有热源, 没有冷源, 属于无自衡过程, 而且该过程还伴随着大惯性、大滞后的特性, 以及单极性的控制量, 控制非常困难^[1-3]。而工艺要求反应釜的升温过程严格跟随设定好的升温曲线, 这对常规的 PID 和串级 PID 来说显然是无能为力的。之前, 晶化釜的温度控制是靠经验丰富的操作人员手动调节, 也能使升温过程比较好地跟随升温曲线, 只是操作人员的工作量比较大。由此, 可尝试采用模糊控制和 PID 结合的控制策

收稿日期: 2012-05-22

作者简介: 梁欣(1979-), 男, 湖北咸宁人, 主要从事工业自动化控制方面的研究. E-mail: liangxuexin@126.com

略以解决晶化釜自动升温的问题。

本研究探讨模糊 PID 控制在晶化釜升温曲线控制中的应用。

1 晶化釜加热系统

晶化釜加热系统包括晶化釜、导热油电加热器、温度测量装置、控制器以及相应的导热油管路和电气仪表回路。由于晶化釜是整个催化剂生产装置的一部分,而整个装置采用西门子的 DCS(集散控制系统)SIMATIC PCS7 来控制,故晶化釜加热系统的控制器就是 PCS7 系统。本研究在 PCS7 上采用专门的单元来控制加热系统,包括独立的人机交互画面和独立的 CFC(即连续控制功能图)模块。该系统的主要测量量包括晶化釜内物料的温度,电加热器出口导热油的温度,控制输出量为电加热器的可控硅的开度,具体的系统构成如图 1 所示。

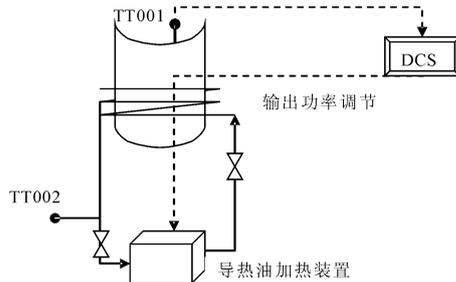


图 1 晶化釜加热系统

2 控制算法设计及实现

由于晶化过程对温度比较敏感,要求晶化釜内物料严格按照升温曲线进行升温。升温曲线是经过工艺人员理论计算和大量实验修正后得到的,由于技术保密原因,本研究将该曲线简化成如图 2 所示的温度曲线。该温度曲线包括 4 个阶段:

$t_0 \sim t_1$ 和 $t_1 \sim t_2$ 阶段属于升温阶段,其控制包括温度目标和时间目标。为了达到这个目标,本研究采用双输入单输出模糊控制器。两个输入模糊集合 E 和 T 分别为来自反应釜物料温度误差 e 的模糊化和温度变化速度 t 的模糊化,输出模糊集合 U 为控制导热油电加热器功率控制可控硅开度 u 的模糊化。其控制规则通常用模糊条件语句“IF E and T then U ”来表达。

$t_2 \sim t_3$ 为恒温段,而且该段所占用的时间比较长,约占整个曲线时间的 70%,由于导热油始终处于循环和热交换状态,其温度变化较大,而物料的温度则相对比较稳定,若能保持导热油出口温度恒定即可保持物料温度的恒定。为了保持恒温段的温度,本研究采用了 PID 温度控制器来控制电加热器处导热油的温度,使其保持恒定。

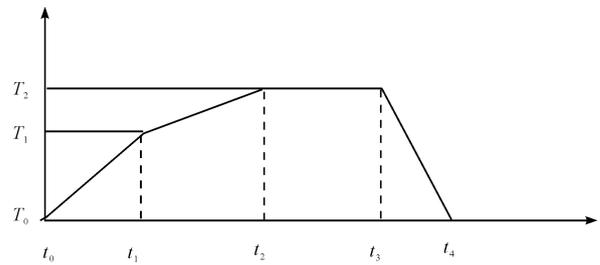


图 2 升温曲线

$t_3 \sim t_4$ 为降温阶段,根据工艺要求,温度降低到一定程度后即可出料进入下一个工序。由于加热系统是无制衡系统,采取自然冷却的方法即可,无需控制。

基于上述分析,整个温度曲线的控制需采用模糊算法和 PID 算法结合的控制策略,其算法框图如图 3 所示。

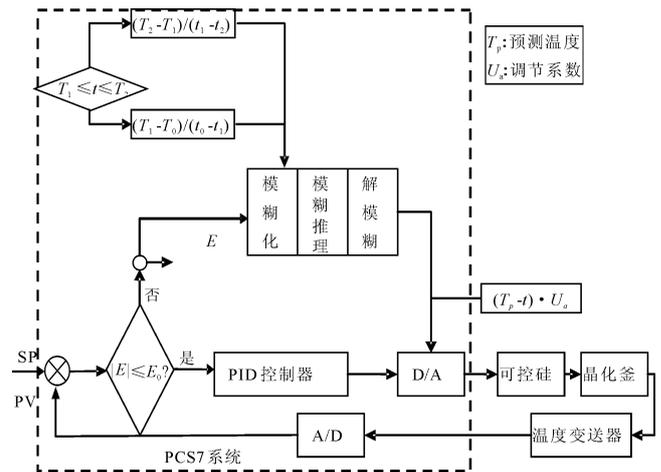


图 3 晶化釜模糊 PID 控制框图

2.1 输入输出的论域

在工程实践中,按照最大功率对晶化釜进行加热,其最大温升速度为 $30\text{ }^\circ\text{C/h}$,可控硅的开度范围为 $0 \sim 100\%$ 。为了简化计算,本研究将温度偏差值和温升速率论域量化成为 11 级,即 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$,其量化因子分别为 10,3。

2.2 模糊子集

本研究将输入输出变量转化为模糊语言值,其集合为 $\{PB, PM, PS, Z, NB, NM, NS\}$ 。同样为了简化计算,模糊子集的隶属度函数采用三角函数,如图 4 所示。根据该隶属度函数,可以取得每个子集在论域 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ 上的赋值,例如 $PB = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.5, 1\}$,依次类推,可以得到每个模糊子集的向量表示。

2.3 模糊推理及解模糊化

在项目调试中,本研究采用与生产物料热性能接近的试验物料进行升温曲线的手动控制试验,在多次

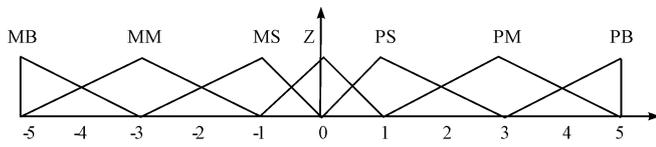


图 4 模糊子集的三角形隶属度函数

试验过程中,利用 PCS7 系统记录每次手工操作的调节量、调节时间点、温度值以及温度的变化趋势和变化值,总结出若干条推理规则,将这些推理规则进行剔除、合并后总结出的控制规则表如表 1 所示。

表 1 模糊控制的控制规则表

	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PM	PS	PS	Z
PM	PB	PB	PM	PS	PS	Z	NS
PS	PB	PM	PS	PS	Z	NS	NS
Z	PM	PS	PS	Z	NS	NS	NM
NS	PS	PS	Z	NS	NS	NM	NM
NM	PS	Z	NS	NS	NM	NM	NB
NB	Z	NS	NS	NM	NM	NB	NB

表 2 模糊控制器的控制表

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	9.8	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
1	9.8	29.8	29.8	29.8	29.8	30	29.8	29.8	29.8	30	29.8
2	9.8	37.6	37.6	37.6	37.6	38	37.6	37.6	37.6	38	37.6
3	9.8	45.4	45.4	45.4	45.4	45	45.4	45.4	45.4	45	45.4
4	9.8	53.2	53.2	53.2	53.2	53	53.2	53.2	53.2	53	53.2
5	9.8	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
6	9.8	68.8	68.8	68.8	68.8	69	68.8	68.8	68.8	69	68.8
7	9.8	76.6	76.6	76.6	76.6	77	76.6	76.6	76.6	77	76.6
8	9.8	84.4	84.4	84.4	84.4	84	84.4	84.4	84.4	84	84.4
9	9.8	92.2	92.2	92.2	92.2	92	92.2	92.2	92.2	92	92.2
10	9.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

2.4 模糊控制器的编程

本研究首先建立 DB 块用于存储如表 2 所示的控制参数,为此在 DB1 中设置二维数组 ctrl[11,11],用以存储控制表里的数据,保存并下载到 CPU 的 EPROM 中。

为了查表方便,本研究将输入 E 和 T 的论域由 $\{-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5\}$ 变换成 $\{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$ 。

通过间接寻址的方式查询当前输入所对应的控制输出 CTRL[I,J],I 为当前输入 e 对应论域里的整数,J 为当前输入 t 对应论域里的整数。而 CTRL[I,J] 在 DB1 中,其引用方式为 DB1.DD[M], $M=2 \times (11 \times I + J)$,即可得到目前可控硅开度控制值。

在实际的调试过程中,为了提高曲线的拟合度,程序实时计算了每个采样周期上理论的温度值 T_p ,通过

表 1 中:每格代表一个模糊逻辑关系,利用 Mamdani 逻辑关系合成方法,每个模糊逻辑关系可以计算出一个模糊关系 $R_i(i=1,2,3 \dots)$,将所有模糊逻辑关系 R_i 并起来就形成逻辑关系矩阵 R 。根据矩阵 R 进行模糊条件推理,如 $U_1 = (PBe \times PBec)^{T2} \cdot R$,得出模糊控制器的模糊输出子集^[4-5]。然后根据最大隶属度的解模糊方法即可计算出 PCS7 控制系统输出的精确值用以控制电加热器可控硅的开度值,从而控制电加热的输出功率。由于每个控制量都涉及到大量的矩阵计算,计算过程比较繁复,如果在 CPU 内实时在线计算将耗费巨大的内存,故本研究在 Matlab 中离线计算出模糊控制器的控制表^[6-8],如表 2 所示。本研究将这个表以 DB 块的方式存储在 CPU 中,程序执行时通过查表程序从控制表中得到输出值,经过修正得到最终的可控硅控制值,用于调整导热油电加热功率^[9]。

T_p 和检测温度 t 之间的差值,采用可修改的调节参数 U_a ,通过下列计算公式来修正最终输出给可控硅的输出值:

$$U_{修} = U \cdot (1 - (t - T_p) \cdot U_a / 100)$$

在工程实践中,本研究采用了 Siemens 的 PCS7 系统中的高级语言 SCL 编制功能块^[10],该功能块处理模糊控制器的输入、输出和 PID 模块的连锁信号。

2.5 PID 控制器

PID 控制器是比较成熟的控制器,在商业化的 DCS 里能提供成熟的功能块供用户使用,SIEMENS SIMATIC PCS7 系统功能 SFB61 即是成熟的 PID 调节功能块,用户在编程时可以直接调用。同时 PCS7 中提供 PID 整定工具,用户可以很方便地进行 PID 参数设置和整定^[11]。

2.6 系统流程图

模糊 PID 控制器的实现通过编写专门的功能 CFC 来实现,然后在时间中断组织块中 OB34 中调用该功

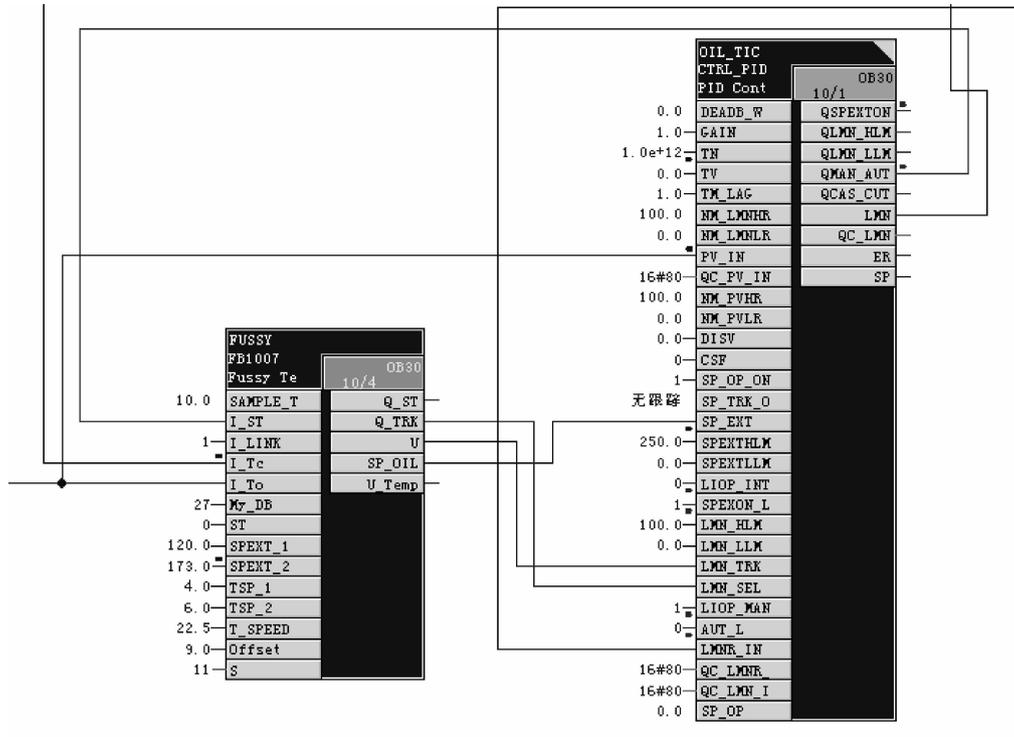


图 5 PCS7 中的模糊 PID 的 CFC 功能图

能。研究者通过使用时间中断组织块可以保证采样时间固定,一般可以设定为 10 s。CFC 功能图如图 5 所示。

3 结束语

在工程实践中,由于晶化釜反应温度系统比较复杂,如采用一般的 PID 控制策略,效果不太理想,而采用人工控制反而能够达到较好的效果。基于这一个事实,本研究在 PID 控制的基础上引入了模糊控制策略,并在中石化某催化剂装置上进行了实际应用,应用结果表明:实测的温度曲线更趋于要求的升温曲线,能耗也有一定程度地降低。

由于模糊规则计算出来的控制参数表是针对使用条件变化不大的晶化釜系统,当晶化釜的使用条件变化较大时,需要调整规则并重新离线计算参数表,这使得控制算法的自适应能力不足。因此,本研究下一步的改进工作就是引入神经网络算法,使得参数表能根据实际的使用环境(例如导热油的传热效率变化,环境温度的变化)自动调整模糊参数表内的参数,以满足不同使用条件下升温曲线控制的要求。

参考文献 (References):

- [1] 吴舒辞,曾红兵. 基于模糊控制的粘胶剂生产过程温度控制系统[J]. 计算机工程,2005,31(23):189-190.
- [2] 雷 霞. 基于 Fuzzy—PID 算法加热炉温度控制的仿真研究[J]. 有色金属加工,2008,24(2):74-77.
- [3] 彭 斐. 恒温培养箱的温度模糊控制[J]. 机电工程,2009,26(4):84-86.
- [4] 王树青. 先进控制技术及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
- [5] 韩峻峰,李玉惠. 模糊控制技术[M]. 重庆:重庆大学出版社,2003.
- [6] 熊均泉,戴果华,余致延,等. 基于 Matlab 的退火炉温度模糊 PID 控制的仿真研究[J]. 中国仪器仪表,2008(5):80-82.
- [7] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [8] 王忠礼,段惠达,高玉峰. Matlab 应用技术—在电气工程与自动化专业中的应用[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [9] 胡小平,朱 朋,纪华伟. 模糊技术在 PLC 控制中的应用[J]. 机电工程,2011,28(4):440-443.
- [10] MULLER J. 西门子自动化系统实战—S7 和 PCS7 应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [11] 宋 辉. Siemens PLC 在闭环控制系统中 PID 算法的实现[J]. 可编程控制器与工厂自动化,2007(3):20-23.

[编辑:张 翔]