

一种改进的模糊控制器及其应用

戴忠达 张曾科 汤俭

(清华大学)

摘 要

本文针对常规模糊控制器的弱点,提出一种多输入模糊控制器,论述了它的分层多规则集结构的设计方法. 该控制器在南京钟山化工厂半间歇式聚合釜生产过程的计算机控制系统中得到了实际应用.

关键词——模糊控制,多输入模糊控制器,分层多规则集结构.

一、设计思想

实践证明,对于难以建立数学模型的一类生产过程,或者当过程本身具有较大的非线性和时变性的情况下,采用模糊控制比采用传统的 PID 控制更为有效.

关于常规模糊控制器的设计方法可参阅文献[1]、[2],但是常规模糊控制器有其局限性. 首先控制器的输入量仅有被调量的误差及其变化率,它实质上相当于一个变参数的单输入的 PD 控制器. 然而在复杂的生产过程中,工人进行操作时,除了上述两项,还需要考虑其它环境因素,所以控制器的设计应当采用多个输入量. 另外,在处理确定值与模糊量的变换时,模糊化的量化因子与判决时的比例因子在整个过程中是固定不变的,这在对象特性发生大幅度变化时,控制器的鲁棒性欠佳. 针对以上问题,人们虽提出一些改进方案,如在线改变量化因子的模糊控制器、自组织模糊控制器及专家模糊控制器等^[3],但多数还处于实验仿真阶段. 本文是在解决南京钟山化工厂乳化剂车间半间歇式聚合釜生产过程的温度控制的基础上总结的.

产品乳化剂是由中间体 (R) 和环氧乙烷 (EO) 在一定温度和催化剂的作用下经过化学反应而生成的. 其中, EO 按给定曲线连续流加,被调量是聚合釜温度,控制作用是夹套中的冷却水. 釜内反应过程分为两个阶段: 初始反应段和稳定反应段. 初始阶段的反应过程极不稳定,带有明显的正反馈和非线性,特性难以用数学描述. 为了防止温度大幅度波动,保证釜压安全,要求将釜温控制在一定范围之内,以便尽快进入稳定阶段,为此采用了模糊控制器. 通过对人工操作经验总结,可以看到: 操作者除了观察釜温的偏差及其变化率之外,还要注意釜内压力情况. 规律为: 釜压较高时,要求控制作用灵敏、快速;釜压较低时,要求控制作用平稳、缓慢. 因此便把釜压和釜温及其变化率一起当作输入量,构成一个多输入模糊控制器.

一般而言,当多个输入量引入模糊控制器时,常用其中一个(或几个)量作为辅助输入量,由它的变化来代表不同的过程状态(K)。在不同的过程状态下,再根据被调量的偏差(E)及其变化率(EC)定出控制规则,故多输入模糊控制器的设计思想如图1所示,为分层多规则集结构。这种模糊控制器可用下列模糊条件语句描述。

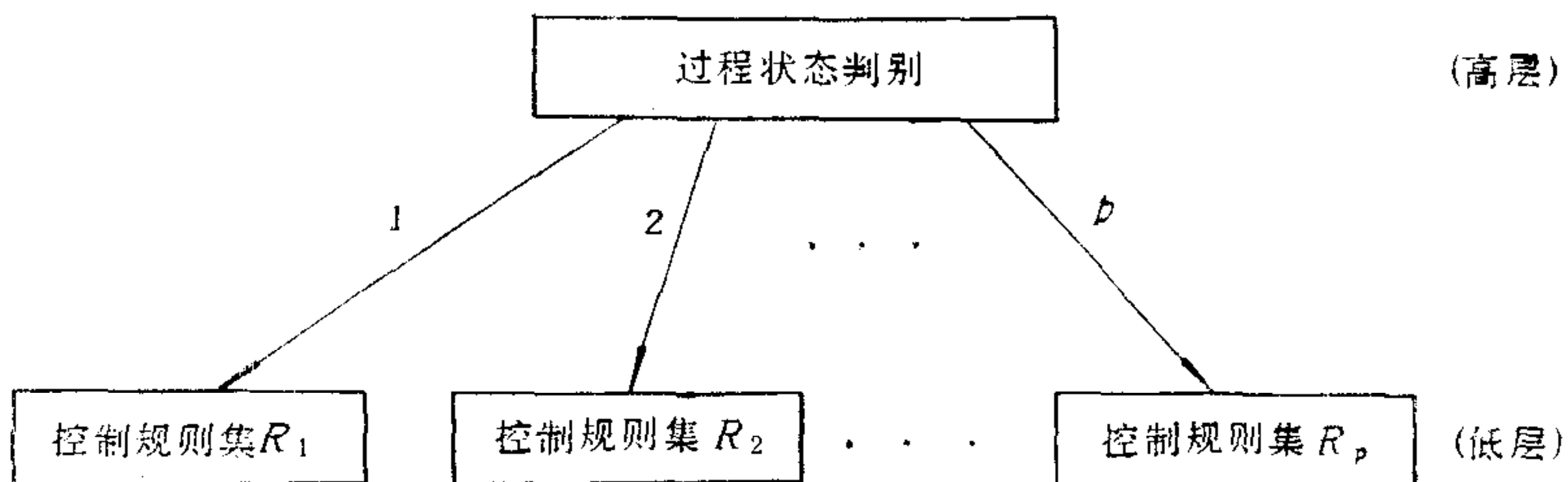


图1 分层多规则集结构

在高层:

If 过程状态 K , Then 控制规则 R_K , ($K = 1, 2 \dots P$).

在低层:

If $E = E_{K_i}$ and $EC = EC_{K_j}$, Then $U = U_{Kij}$, ($i = 1, 2 \dots m, j = 1, 2 \dots n$)

它比常规模糊控制器能更好地适应生产过程状态的变化,能更全面地反应人工操作的经验,因而有更佳的控制效果。

二、设计方法

人工操作经验是模糊控制器设计的重要依据。聚合釜初始反应阶段的多输入模糊控制器的设计步骤如下:

1. 确定各输入量与输出量的变化范围、论域离散点数、量化因子与比例因子

控制器的输入量为压力 P 、温度误差 E 和温度变化率 EC , 输出量为冷却水控制阀开度 U , 它们的变化范围可根据实际情况确定。论域离散点数的选取要适当, 依次取 6、8、8、11。当各量的实际变化范围与论域离散点数确定后, 量化因子与比例因子也随之而定。

2. 模糊变量的选取与模糊赋值

分别在控制器的输入量与输出量的论域上定义模糊变量, 并确定模糊赋值。仅举例如下。

表1 输入量压力 P 的模糊赋值表

隶属度 模糊集	离散点					
	0	1	2	3	4	5
HP (高压)	0	0	0	0.2	0.7	1.0
MP (中压)	0	0.5	0.9	0.9	0.5	0
LP (低压)	1.0	0.7	0.2	0	0	0

表 2 输出量控制阀 U 的模糊赋值表

隶属度 模糊集	离散点	离散点										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_1 (全开)		0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.0
C_2 (大开)		0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0
C_3 (适中)		0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0
C_4 (小开)		0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0
C_5 (全关)		1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0

3. 决定控制规则

根据分层多规则集结构,由压力的高、中、低分别决定控制规则集 R_1 、 R_2 、 R_3 , 规则集均由操作经验而得,如对应于高压 (HP) 的规则集 R_1 为表 3 所示。

表 3 规则集 R_1

U \ EC	PB	PS	ZE	NS	NB
E					
PB (正大)	C_1	C_1	C_4	C_4	C_5
PS (正小)	C_1	C_1	C_4	C_5	C_5
ZE (零)	C_1	C_2	C_5	C_5	C_5
NS (负小)	C_1	C_3	C_5	C_5	C_5
NB (负大)	C_2	C_3	C_5	C_5	C_5

4. 模糊运算

控制规则可写成条件语句形式,例如:

$$\text{If } P = HP \text{ and } E = PB \text{ and } EC = PB \text{ Then } U = C_1.$$

它是一个四维模糊关系: $HP \times PB_E \times PB_{EC} \times C_1$, 记为 γ_1 . 模糊条件语句共有 75 条, 分别为 $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{75}$. 总的模糊关系为 $\gamma = \bigcup_{i=1}^{75} \gamma_i$.

对于输入的模糊变量 $\tilde{P}_0, \tilde{e}_0, \tilde{e}_{c0}$, 它们的隶属度除了对应的测量值和计算值等级是 1 外,其余全为 0. 假定它们分别对应第 k, i, j 等级, 则根据 γ_1 可得到 U 上的模糊变量 u_1 , 其隶属度为:

$$\mu_{u_1}(x) = \min\{\mu_{HP}(k), \mu_{PB_E}(i), \mu_{PB_{EC}}(j), \mu_{C_1}(x)\}, \forall x \in U.$$

同理可得 u_2, u_3, \dots, u_{75} , 合成结果是:

$$\tilde{u}_0 = u_1 + u_2 + \dots + u_{75} = \bigcup_{i=1}^{75} u_i.$$

\tilde{u}_0 是个模糊变量,按最大隶属度判决法找出对应最大隶属度的离散点,取平均值,再乘以比例因子,即可得到输出控制量。

根据上述规律,对于所有输入组合 (k, i, j) 完成模糊运算后可得到六张模糊控制表(表略)。在线应用时,由输入量确定对应等级,经查表即可得到输出量。最后,给出以釜压为辅助输入量的模糊控制器的系统框图,如图 2 所示。

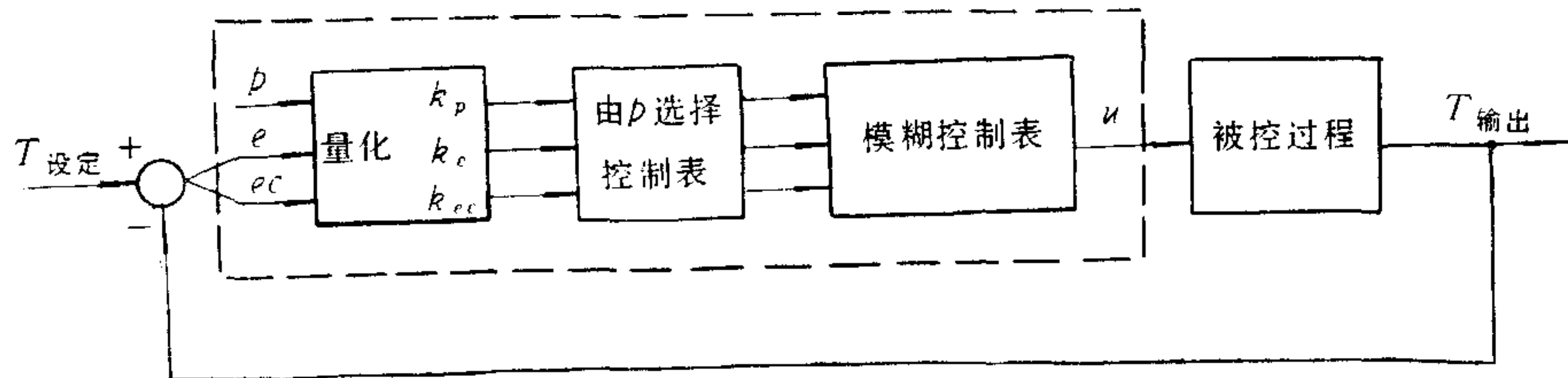


图2 采用釜压为辅助输入量的模糊控制系统框图

三、结 束 语

所设计的温控方案是由多输入模糊控制器与 PID 串级调节器混合组成,现场运行证明效果良好。由模糊控制器控制的初始反应段的温度波动被限制在设定值 (160°C) $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 之内(这是熟练工人紧张操作时的最高水平),因此保证了安全条件,减轻了劳动强度,缩短了反应过程的时间。另外,多输入模糊控制器的适应能力较强,调整比较方便。反应过程进入稳定段后,PID 串级调节器能使釜温的精度达到 1%。系统投入运行以后,根据 86~87 年度统计,由于产量的增加、成本的降低和质量的提高,每釜的年可计经济效益为 108 万元。

参 考 文 献

- [1] 李宝绶等,用模糊集合理论设计一类控制器,自动化学报,1980年,第1期。
- [2] 楼世博等,模糊控制器的算法和设计,国外自动化,1982年,第1期。
- [3] Tong, R. M., 模糊控制系统的展望,国外自动化,1986年,第5期。

AN IMPROVED FUZZY CONTROLLER AND ITS APPLICATION

DAI ZHONGDA ZHANG ZENGKE TANG JIAN

(Tsinghua University)

ABSTRACT

For the purpose of overcoming the disadvantages of conventional fuzzy controller, a multi-input fuzzy controller is proposed in this paper. At the same time, its design method (large-built, multi-rules structure) is also discussed. This controller has been used in a computer control system for the semi-batch processing polymerization reactor at Zhong-Shan Chemical Factory of Nanjing.

Key words — Fuzzy control; multi-input fuzzy controller; hierarchical multi-rules structure.