

# 酒精精馏塔的模糊解耦控制

韩宇星, 何小阳, 王 红

(广西大学 电气工程学院, 广西 南宁 530004)

**摘要:** 针对酒精精馏过程中精馏塔塔顶和塔底2个温度控制回路存在较强耦合, 提出一种酒精精馏塔模糊解耦控制器的设计和实现方法, 并应用于筛板式酒精精馏塔实验装置。试验结果表明, 此控制系统实现了解耦控制的要求, 与常规的2个独立PID回路控制相比较, 在产品质量和节约能耗方面都具有较大的优势。

**关键词:** 精馏塔; 模糊解耦; DDE 通信

**中图分类号:** TP273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2008)06-0072-04

## Fuzzy Decoupling Control of Alcohol Distillation Column

Han Yuxing, He Xiaoyang, Wang Hong

(School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** A design and implementation method of a fuzzy decoupling controller of an alcohol distillation column is introduced, which applied to a sieve plate alcohol distillation column experimental device according to the temperature control loops of the column top and the column bottom have strong coupling in the alcohol distillation process. The experiment result shows that the control system can realize the demand of decoupling control. It has great advantages in product quality and energy consumption reducing by comparing with the conventional double independent PID loops,

**Key words:** istillation column; fuzzy decoupling; DDE communication

含水酒精作为一种新型能源目前已引起世界各国的高度重视, 将其转化为石油能源的潜代物已成为各国的研究热点。精馏塔是石化行业中常见的酒精分离设备。酒精精馏过程属于多变量、时变、强耦合和具有分布参数的非线性过程, 其精确的数学模型难以建立, 控制方式强烈地依赖操作人员的经验。常规的控制方式难以较好地将间接质量指标(即塔顶和塔底温度)稳定在理想的状态。模糊解耦控制器不需要对象的模型, 基于操作人员的经验以及现场试验, 能够得到理想的解耦和控制效果。

当只有塔顶、塔底生产出来的2种产品, 而无侧线产品时, 常用的精馏塔温度控制方案如图1。

图1中通过改变回流量控制塔顶温度, 改变再沸器的功率来控制塔底温度。然而, 这2个温度控制环节相互耦合。当利用回流量改变塔顶温度时, 回流量同时也会影响塔底温度, 从而引起再沸器动作。再沸

器功率的改变不仅影响塔底温度, 而且又会影响塔顶温度, 进而又使回流量改变, 这又影响塔顶温度。如此反复, 使系统不易稳定, 调节频繁, 产品质量不高。

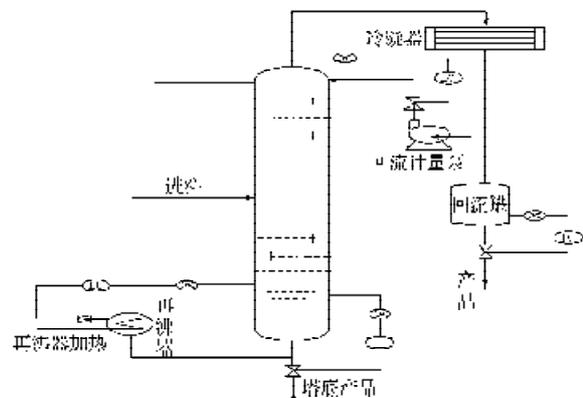


图1 精馏塔温度控制示意图

Fig. 1 Schematic diagram of temperature control of distillation column

收稿日期: 2008-07-16

作者简介: 韩宇星(1983-), 男, 山西太原人, 广西大学硕士研究生, 主要研究方向为综合自动化。

塔顶塔底 2 个独立的 PID 温度控制环节只能着眼于单纯地调节塔顶和塔底温度, 不能解决 2 个环节相互影响的耦合关系<sup>[1]</sup>。

本文提出的模糊解耦控制器能够在较大程度上消除塔顶塔底 2 个温度控制环节的耦合。试验结果表明

其控制效果优于常规的 PID 控制。

## 1 模糊解耦控制器的设计

模糊解耦控制系统原理图如图 2 所示。

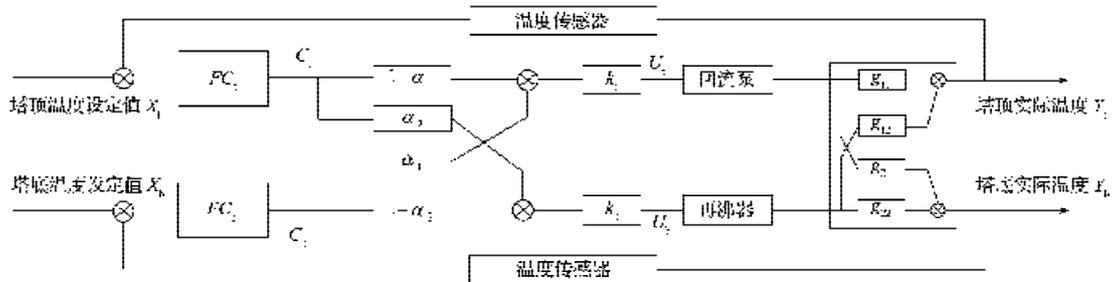


图 2 模糊解耦控制系统原理图

Fig. 2 Schematic diagram of fuzzy decoupling control system

此系统包含模糊控制环节和解耦环节。模糊控制环节由 2 个模糊控制器 (FC) 组成, 模糊控制器的输出为解耦环节的输入, 解耦环节利用相干系数的原理, 根据经验选择解耦系数来实现解耦的效果。

### 1.1 模糊控制环节的设计

模糊控制环节设计为塔顶、塔底 2 个独立的 Mamdani 型模糊控制器。对于塔顶, 选取塔顶温度的设定值和实际值的差  $E_t$ , 以及这个差的变化率  $EC_t$  作为塔顶模糊控制器的 2 个输入, 规定其论域均为  $[-6, 6]$ 。  $C_t$  为塔顶温度模糊控制器的输出, 规定其论域为  $[0, 1]$ 。将输入空间和输出空间均分割为 7 个:  $\{N_B, N_M, N_S, Z_0, P_S, P_M, P_B\}$ , 即 {负大、负中、负小、零、正小、正中、正大}。隶属度函数曲线形状较尖的模糊子集分辨率较高, 控制灵敏度也较高。隶属度函数曲线形状较缓的, 控制特性较平缓, 系统稳定性较好。因此, 针对精馏过程的特点, 选取  $E_t$  的隶属度函数为高斯型,  $EC_t$  的隶属度函数为三角形,  $C_t$  的隶属度函数为高斯型, 分别如图 3、4、5 所示<sup>[2-4]</sup>。塔顶模糊控制器的模糊规则表如表 1 所示。

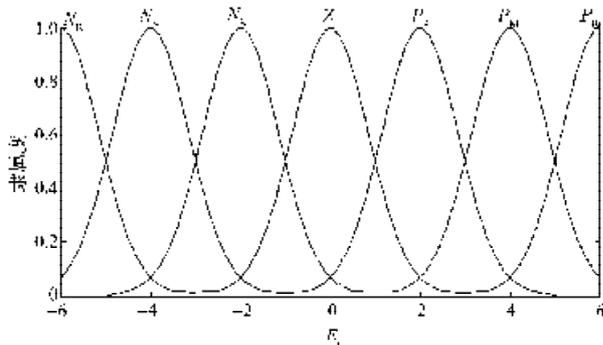


图 3  $E_t$  的隶属度函数图

Fig. 3 Diagram of membership functions of  $E_t$

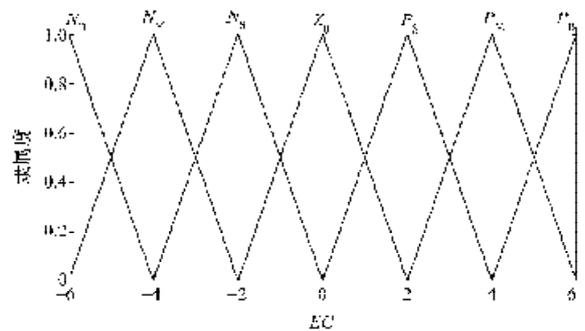


图 4  $EC_t$  的隶属度函数图

Fig. 4 Diagram of membership functions of  $EC_t$

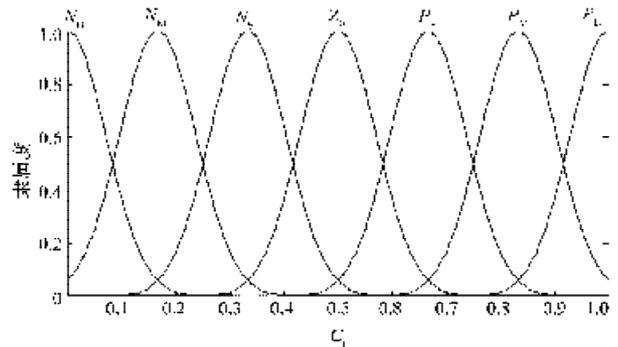


图 5  $C_t$  的隶属度函数图

Fig. 5 Diagram of membership functions of  $C_t$

塔底温度模糊控制器的输入为塔底温度的设定值和实际值的差  $E_b$  以及这个差的变化率  $EC_b$ , 其输出为  $C_b$ 。参照塔顶模糊控制器的设计方法对其进行设计。塔底输入输出的隶属度函数和论域同塔顶模糊控制器相应的部分, 模糊规则表如表 2 所示。

表 1 塔顶模糊控制器的模糊规则

Tab. 1 Fuzzy regulation table of column top fuzzy controller

$EC_t$	$E_t$						
	$N_B$	$N_M$	$N_S$	$Z_0$	$P_S$	$P_M$	$P_B$
$N_B$	$P_B$	$P_B$	$P_B$	$P_S$	$N_M$	$N_M$	$N_B$
$N_M$	$P_B$	$P_B$	$P_M$	$Z_0$	$N_M$	$N_B$	$N_B$
$N_S$	$P_B$	$P_B$	$P_S$	$N_S$	$N_M$	$N_B$	$N_B$
$Z_0$	$P_B$	$P_M$	$P_S$	$N_M$	$N_B$	$N_B$	$N_B$
$P_S$	$P_B$	$P_M$	$P_S$	$N_B$	$N_B$	$N_B$	$N_B$
$P_M$	$P_B$	$P_S$	$P_S$	$N_B$	$N_B$	$N_B$	$N_B$
$P_B$	$P_B$	$P_S$	$P_S$	$N_B$	$N_B$	$N_B$	$N_B$

表 2 塔底模糊控制器的模糊规则

Tab. 2 Fuzzy regulation table of column bottom fuzzy controller

$EC_b$	$E_b$						
	$N_B$	$N_M$	$N_S$	$Z_0$	$P_S$	$P_M$	$P_B$
$N_B$	$N_B$	$N_B$	$N_B$	$N_M$	$Z_0$	$Z_0$	$Z_0$
$N_M$	$N_B$	$N_B$	$N_B$	$N_S$	$Z_0$	$Z_0$	$P_S$
$N_S$	$N_B$	$N_B$	$N_B$	$N_S$	$Z_0$	$Z_0$	$P_S$
$Z_0$	$N_B$	$N_B$	$N_M$	$Z_0$	$P_S$	$P_S$	$P_M$
$P_S$	$N_B$	$N_M$	$N_M$	$Z_0$	$P_S$	$P_S$	$P_M$
$P_M$	$N_B$	$N_M$	$N_M$	$Z_0$	$P_S$	$P_M$	$P_M$
$P_B$	$N_B$	$N_M$	$N_M$	$Z_0$	$P_S$	$P_M$	$P_M$

1.2 解耦环节的设计

由于塔顶塔底 2 个温度控制环节存在耦合性，模糊控制器计算出的控制量还要进行去耦。解耦环节引入了解耦系数，则实际加到执行器的输出量  $U_t$ 、 $U_b$  分别为：

$$U_t = K [C_t \times (1 - \alpha_1) + C_b \times \alpha_1], \alpha_1 \in [0, 1], \quad (1)$$

$$U_b = K_b [C_b \times (1 - \alpha_2) + C_t \times \alpha_2], \alpha_2 \in [0, 1]. \quad (2)$$

当  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  均为 0 时，控制器无去耦作用；当  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  均为 1 时，对应极限耦合情况。 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  的实际值在 0~1 之间，需通过对精馏塔设备进行试验测得。具体方法是：先设置  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  均为 0，运行精馏塔进行试验，这时塔顶和塔底温度控制动作都会对另一方的温度产生较大影响，造成较大波动，逐渐增加  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  的值，使这种波动逐渐减小。

2 模糊解耦控制器的实现

本系统用“组态王”软件做人机界面，MATLAB 程序作后台算法。通过西门子 S7-300PLC 采集传感器数据和传递控制量到执行器。MATLAB 与组态王之间通过 DDE 进行通讯。

2.1 MATLAB 与组态王的通讯

MATLAB 作为客户程序，组态王作为服务器，MATLAB 通过 7 个 DDE 客户函数读写组态王中的数据。它们分别是：1) ddeinit，建立与服务器的对话，建立成功则该函数返回 1 个通道号，以后的操作均对这个

通道号进行；2) ddereq，向服务器索要数据，返回值是存有数据的矩阵；3) ddepoke，向服务器发送数据；4) ddeadv，建立热链接请求；5) ddeunadv，删除热链接请求；6) ddeexec，发出命令给服务器应用程序；7) ddeterm，终止与服务器间的 DDE 会话<sup>[5]</sup>。DDE 通信框图如图 6。

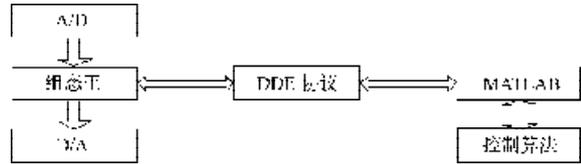


图 6 DDE 通信框图

Fig. 6 Block diagram of DDE communication

2.2 MATLAB 编程实现控制器

本文的模糊解耦控制器是通过编写 MATLAB 程序实现。编写 MATLAB 的 m 文件实现包括：组态王和 MATLAB 的 DDE 通信（采集现场数据和传递控制量）、模糊控制器的建立和模糊推理的执行、解耦环节、数据的记录和保存。

2.3 MATLAB 程序的编译和发布

MATLAB 编译器能够把 MATLAB 的 m 文件程序转换成独立的可执行程序，脱离 MATLAB 的运行环境，有利于工业现场的应用。

通过 mbuild-setup 命令，安装 MATLAB 编译器；利用 mcc-mv filename.m 命令，生成可独立运行的可执行代码；利用命令 zipfile=buildmcr(''), 创建 MCR 安装文件。将此文件安装在目标计算机上，则可以在没有安装 MATLAB 的情况下，在目标计算机上运行通过编译的 MATLAB 可执行代码（即模糊解耦控制器）<sup>[6]</sup>。

3 仿真结果

在筛板式酒精精馏塔实验装置上分别投运常规 PID 控制器和模糊解耦控制器，对精馏塔的塔顶和塔底温度进行控制。指定塔顶温度设定值为 70℃，塔底温度设定值为 90℃，PID 控制的效果图和模糊解耦控制的效果图分别为：图 7、8 和图 9、10。

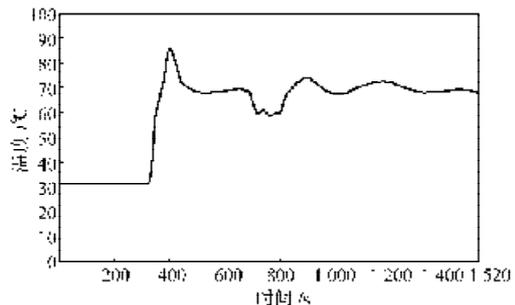


图 7 采用 PID 控制器的塔顶温度曲线

Fig. 7 Column top temperature of PID controller

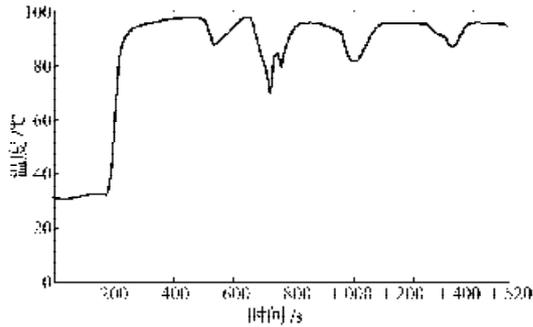


图8 采用PID控制器的塔底温度曲线

Fig. 8 Column bottom temperature of PID controller

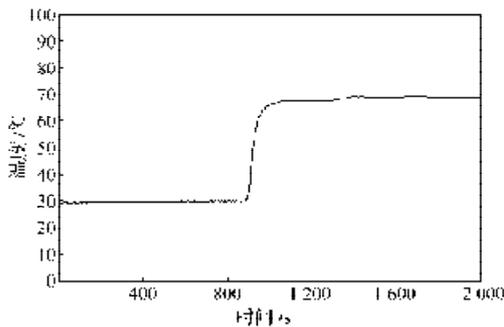


图9 用模糊解耦控制器的塔顶温度曲线

Fig. 9 Column top temperature of fuzzy decoupling controller

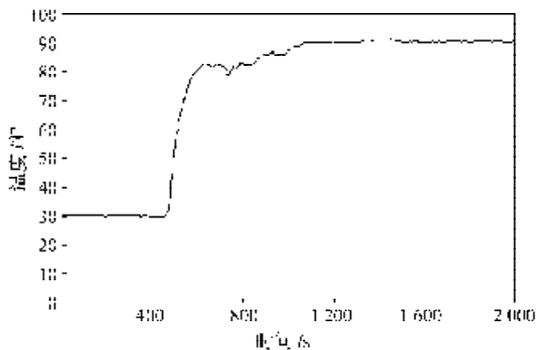


图10 采用模糊解耦控制器的塔底温度曲线

Fig. 10 Column bottom temperature of fuzzy decoupling controller

从实验获得的温度曲线可以看出, 2个独立的PID控制器不能够消除塔顶和塔底2个温度控制环节的耦合, 二者相互影响严重, 因而温度曲线持续振荡。模糊解耦控制器控制效果良好, 塔顶温度稳态误差不超过 $1.5^{\circ}\text{C}$ , 塔底温度稳态误差不超过 $1^{\circ}\text{C}$ 。产出酒精纯度在93%以上。另外, 与PID控制相比, 模糊解耦控制器平稳地把温度控制在设定值附近, 避免了振荡, 因而也节约了能源。

## 4 结论

采用本模糊解耦控制系统不需要被控对象精确的数学模型, 模糊控制环节和解耦环节的设计均简明易行, 在精馏塔上的应用试验也证明了该方案在控制效果和节约能耗方面的优越性。

### 参考文献:

- [1] 崔建伟, 陈四庚, 姚银福. 解耦控制在精馏塔温度控制中的应用[J]. 内蒙古石油化工, 1999(3): 150-153.
- [2] 曾广奇, 胡均安, 王 东, 等. 模糊控制理论与工程[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006.
- [3] 诸 静. 模糊控制理论与系统原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [4] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [5] 冯江涛. 组态王与MATLAB的DDE通信设计[J]. 电力学报, 2006, 21(3): 291-293.
- [6] 董维国. 深入浅出MATLAB7.X混合编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

(责任编辑: 张亦静)