

陶瓷窑温度控制系统的模糊控制策略

方千山¹, 王永初²

(1. 华侨大学电气工程与自动化系, 福建 泉州 362011; 2. 华侨大学机电工程系, 福建 泉州 362011)

摘要: 针对陶瓷窑温度控制的特点, 综合应用模糊逻辑运算理论, 给出了陶瓷窑温度控制的新方法, 并设计出以该控制策略为核心的陶瓷窑温度控制系统. 经实际应用表明, 该方法应用于陶瓷窑温度控制是可行的, 系统设计是成功的.

关键词: 陶瓷窑; 温度; 控制系统; 模糊控制

中图分类号: TB114.2

文献标识码: A

1 温度控制系统的描述

明焰窑温度控制系统在结构上大致分为: 仪表分散控制、计算机集中控制和计算机集散控制. 无论哪一种控制方式, 明焰窑的每一控制回路均采用 2—4 对烧嘴分为一组, 并由一个调节阀统一调节这一组烧嘴燃料的输入量. 因此, 传统的控制方法存在以下问题:

1) 系统存在严重耦合. 在一座近百米长的窑炉中, 一般有几十、上百个烧嘴, 由于其结构的特殊性, 燃料量的变化对其它几个回路都产生影响.

2) 系统存在随机性. 当调节阀动作时, 进入窑内的燃料量以什么样的比例分配到每一个烧嘴上, 难以确定.

3) 系统还存在着能观性、能控性问题. 由于烧嘴在窑炉内处于同一平面位置, 每一个烧嘴对温度测量点的影响是随其位置不同而变化. 若从理论上分析和解决这些问题最直接的办法是以单一烧嘴为一独立单位组成控制回路. 但由于工况复杂多变, 在实际应用中会产生许多其它的问题, 因此运用模糊控制可对其实施有效的控制^[1].

2 模糊控制策略

2.1 模糊控制的解耦特性

陶瓷窑的温度控制系统是一个多变量的模糊控制, 因此, 可利用模糊控制器本身的解耦特性, 通过模糊关系方程分解, 在控制器结构上实现解耦, 即一个多输入——多输出的模糊控制器分解成若干个多输入——单输出模糊控制器^[2], 从而简化和方便设计.

设多变量模糊控制器有 m 个输入 $v_k (k=1, 2, \dots, m)$ 和 n 个输出 $u_j (j=1, 2, \dots, n)$, 它的模糊关系可表示为: $R_M = \{R_{M1}, R_{M2}, \dots, R_{Mi}, \dots\}$ 其中, 第 i 条规则为:

$$R_{M_i}^i: \text{if } \left\{ V_{1i} \text{ is } \underline{A}_{1i} \text{ and } V_{2i} \text{ is } \underline{A}_{2i} \text{ and } \dots \text{ and } V_{ii} \text{ is } \underline{A}_{mi} \text{ then } (U_{1i} \text{ is } \underline{B}_{1i} \text{ and } \dots \text{ and } U_{ni} \text{ is } \underline{B}_{ni}) \right\}$$

$$R_M = \left\{ \bigcup_{i=1}^i R_M^i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^i [(\underline{A}_{1i} \times \underline{A}_{2i} \times \dots \times \underline{A}_{mi}) \rightarrow (U_1 + U_2 + \dots + U_n)] \right\}$$

收稿日期: 1999-11-17

作者简介: 方千山(1962-), 男, 高级工程师.

$$\begin{aligned}
 &= \left\{ \bigcup_{i=1}^l [(\underline{A}_{1i} \times \dots \times \underline{A}_{mi}) \rightarrow U_i] \dots, \bigcup_{i=1}^l [(\underline{A}_{1i} \times \dots \times \underline{A}_{mi}) \rightarrow U_n] \right\} \\
 &= \left\{ \bigcup_{j=1}^n \bigcup_{i=1}^l [(\underline{A}_{1i} \times \dots \times \underline{A}_{mi}) \rightarrow U_j] \right\} \\
 &= \left\{ RB_{MS}^1, RB_{MS}^2, \dots, RB_{MS}^n \right\}
 \end{aligned}$$

式中： l 为规则总数。

由此可见，多变量模糊控制器规则库 R 可以由一系列子规则库 RB_{MS}^i 组成，每一个子规则库 RB_{MS}^i 由 1 条模糊规则构成，其中，子规则库 RB_{MS}^i 中第 i 条规则可表示为：

$$RB_{MS}^k: \text{if} \{ V_1 \text{ is } \underline{A}_{1i} \text{ and } \dots \text{ and } V_m \text{ is } \underline{A}_{mi} \text{ then } U_k \text{ is } \underline{B}_i \}$$

2.2 隶属函数的确定

由于正态分布隶属函数能体现人的直觉推理，实时控制系统中，模糊控制器往往采用正态分布的隶属函数^[3,4]。本文采用正态分布的隶属函数进行模糊化，其正态分布隶属函数为：

$$\mu_{A_i}(x) = \begin{cases} \exp[-(x - \partial_i)^2 / \sigma_0], & (\partial_{i-1} < x < \partial_{i+1}) \\ 0 & (\text{其它}) \end{cases}$$

2.3 模糊控制规则

模糊控制结构如图 1 所示，图中 k_1, k_2 为量化系统， k_3 为比例常数， $\underline{E}, \underline{\Delta E}$ 和 \underline{U} 分别为偏差 e 、偏差变化 Δe 和控制量 u 的模糊语言变量。

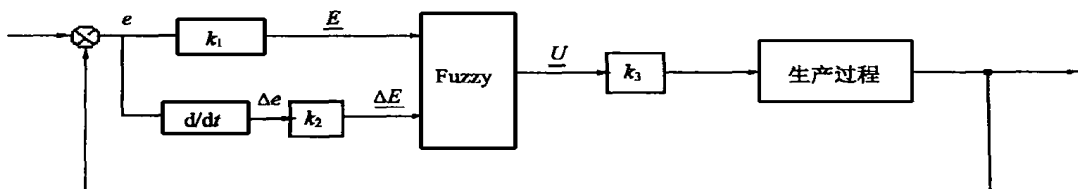


图 1 模糊控制结构示意图

$\underline{E}, \underline{\Delta E}$ 和 \underline{U} 的 FUZZY 子集根据生产工艺要求分别规定为：

$$\begin{aligned}
 \underline{E} &= \{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\} \\
 \underline{\Delta E} &= \{PB, PS, ZO, NS, NB\} \\
 \underline{U} &= \{PB, PS, ZO, NS, NB\}
 \end{aligned}$$

FUZZY 控制器控制规则可表示为：

$$\text{if } \underline{E}_i \text{ and } \underline{\Delta E}_j \text{ then } \underline{U}_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$$

其 FUZZY 关系描述为： $R = V \underline{E}_i \times \underline{\Delta E}_j \times \underline{U}_{ij}$

R 的隶属度函数为：

$$\mu_R(l, \Delta e, u) = V \mu_{E_i}(e) \wedge \mu_{\Delta E_j}(\Delta e) \wedge \mu_{U_{ij}}(u)$$

根据被控对象输出偏差和偏差变化的 FUZZY 子集 \underline{E} 和 $\underline{\Delta E}$ ，依据 max-min FUZZY 推理合成规则算出控制量为：

$$R = (\underline{E} \times \underline{\Delta E}) \circ R$$

式中： \times 表示笛卡尔积， \circ 表示合成运算。 \underline{U} 的隶属度函数为：

$$\mu_{\underline{U}}(u) = V \mu_R(l, \Delta e, u) \wedge [\mu_{\underline{E}}(e) \wedge \mu_{\Delta e}(\Delta e)]$$

R 的隶属度函数及 \underline{U} 的隶属度函数即为 max-min 合成运算的 FUZZY 控制算法。

系统中, 取温度偏差为 E , 其相应模糊子集为 $A_j (j = 1, 2, \dots, 7)$, 论域为 X , 划分 7 个等级, 即 $X = \{-3, -2, -10, +1, +2+3\}$, 模糊子集的 A_j 的 7 个语言取值为 $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$.

偏差变化语言变量为 EC , 其相应模糊子集为 $B_i (i = 1, 2, \dots, 5)$, 论域为 Y , 划分为 7 个等级, 模糊子集 B_i 的 5 个语言取值为 $\{PB, PS, ZO, NS, NB\}$, 输出控制量的语言变量为 U , 相应模糊子集为 $C_k (k = 1, 2, \dots, 7)$, 论域为 Z , 也划分成 7 个等级, 模糊子集 C_k 的 7 个语言取值也为 $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$.

根据实际生产过程中操作人员的经验, 结合专家知识总结出如表 1 所示的控制规则, 其模糊关系为: $R_l = R_{Al} \cap R_{Bl}$. 若取偏差与偏差的模糊值为 E^* , EC^* , 按 FUZZY 推理合成规则求出各相应的控制决策 U_l , 即 $U_l = E^* \circ R_{Al} \cap EC^* \circ R_{Bl} (l = 1, 2, \dots, 15)$, 那么模糊控制器总的输出控制量为: $U = \bigcup_{l=1}^{15} U_l = \bigvee_{l=1}^{15} U_l$.

表 1 专家经验知识控制规则

U	E						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PM	PM	PM	ZO	NS	NB
PS	PB	PM	PS	ZO	ZO	NM	NB
EC	ZO	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NS	PB	PM	ZO	ZO	NS	NM	NB
NB	PB	PS	ZO	NS	NM	NM	NB

表 2 陶瓷窑温度控制系统的模糊控制规则

U	E						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PS	PM	PS	ZO	NS	NB
PM	PM	PS	PM	PS	NS	NS	NM
PS	PB	PS	PS	ZO	ZO	NM	NB
EC	ZO	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NS	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NM	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NB	PB	PM	ZO	NS	NS	NM	NB

按最大隶属度进行模糊决策, 得出各相应的控制量, 经计算、调试、修改得出表 2 所示的陶瓷窑温度控制系统模糊控制规则. 实际控制时, 根据 E 和 ΔE 可从控制规则中获得相应的控制量, 再乘以 k_3 系数, 即可以作为输出去控制生产过程.

3 系统组成

系统由明焰窑体, 温度变送器, 模糊控制器及调节阀等组成(图 2), T_d 为给定温度, T 为实测温度. 当 T 发生变化时, 温度变量器的输出信号也随之变化, 由此测量值与给定值进行比较, 得其误差值, 经 A/D 转换送入模糊控制器. 模糊控制器的输出经 D/A 转换经信号功放去带动调节阀, 达到控制烧嘴的喷油量, 从而改变窑中温度并使之保持在允许范围内.

4 应用

提出的模糊控制策略所构成的陶瓷窑温度控制系统应用于 FZ 明焰型辊道窑炉上，其主要温控点 T_3 、 T_6 的现场实测记录温度曲线如图 3 所示。由图 3 看出，系统的稳定性好、鲁棒性强、控制效果好且运行可靠。

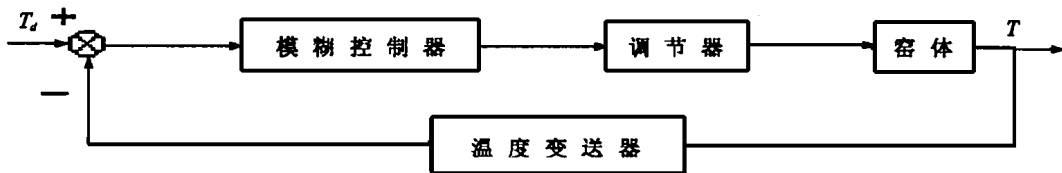


图 2 陶瓷窑温度模糊控制系统组成示意图

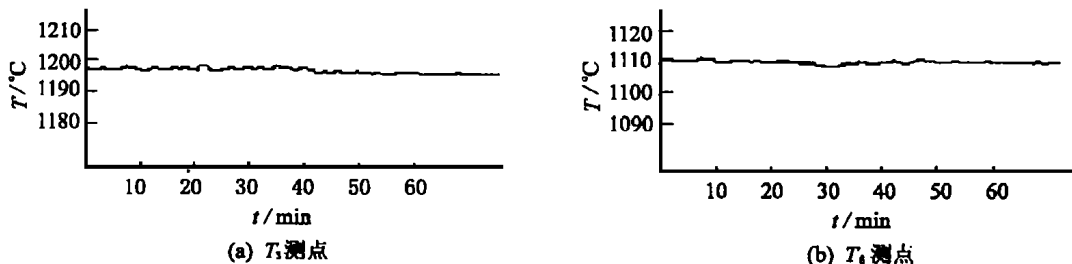


图 3 窑温现场记录曲线图

参考文献:

- [1] 陈作炳, 乔红伟, 刘 军. 陶瓷窑变结构温度控制系统的设计[J] . 自动化学报, 1998, 5(24): 686—689.
- [2] 诸 静. 模糊控制原理与应用[M] . 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [3] Keigo watanabe. A fuzzy— gaussian neural network and its application to mobile robot control[J] . IEEE Trans Control systems Technology, 1996, 4(2): 193—199.
- [4] Maner G F. A fuzzy logic controller for an ABS braking system[J] . IEEE Trans Fuzzy Systems, 1995, 3(4): 384—388.

Fuzzy logic strategy for open— flame kiln temperature control

FANG Qian—shan, WANG Yong—chu

(1. Department of Electric Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou, Fujian 362011, China;
2. Department of Eletromechanical Engineering, Huaqiao University, Quanzhou, Fujian 362011, Chiana)

Abstract: New development of temperature control system of open— flame kiln fuzzy control strategy is presented. The temperature control system is designed by means of this control strategy and the fuzzy logic controller has been tested with good results . The industrial application shows that the control theory is feasible, and the design is successful.

Keywords: open— flame kiln; temperature; control system; fuzzy control