

Fuzzy 控制在烧碱浓度检测中的应用*

翟光群

(郑州工学院计算中心 450002)

摘 要: 本文在烧碱蒸发温差出料的基础上, 提出了烧碱浓度Fuzzy检测的算法。实际运行结果显示对浓度测量具有较高的精度, 从而实现了烧碱蒸发自动出料。

关键词: 烧碱蒸发; 浓度; Fuzzy 检测

中图分类号: TP273

烧碱蒸发自动控制, 其中关键问题是实现烧碱浓度的在线测量, 多年来一直是国内外同行研究的主要课题。发展可靠有效的浓度传感器是实现状态检测方法之一, 但由于在蒸发过程中常常伴有大量的盐和强腐蚀液体, 往往易造成传感器结垢, 从而导致其失效。另一种办法是利用碱液温度与饱和蒸汽温度之差和碱液浓度的对应关系来控制出料。但是, 要准确测定蒸发器汽相压力下的饱和蒸汽温度是很困难的。因目前的检测手段多采用在蒸发器汽相围团中安装凝水罐, 在罐内安装测温电阻体, 由于汽相压力的波动及电阻体测温时的滞后, 使检测值与真实值之间存在误差, 在长期使用中失去作用。再一种方法就是通过对烧碱浓度变化的动态过程进行建模, 对模型在线辨识和状态估计, 算法复杂, 加上烧碱浓度被控对象具有非线性、时变参数、滞后性等特点, 很难用较精确的数学模型来描述。而建立在 Fuzzy 数学和 Fuzzy 推理基础之上的 Fuzzy 控制理论则很适合于难以用精确数学模型来描述的被控系统。其次 Fuzzy 控制不仅可以完成常规控制, 而且可以模拟人的思维方法, 实现智能控制。

1. 实现 Fuzzy 检测控制

我们所要实现的烧碱浓度 Fuzzy 检测控制, 实质上是希望通过计算机来代替人们用自然语言描述的控制活动, 这就需要根据操作者总结出来的控制规律以及系统的性能指标, 来设计出烧碱浓度 Fuzzy 检测控制器以实现语言控制。由 Fuzzy 检测控制器组成可知, 必须解决三个方面的问题: 精确量的 Fuzzy 化; Fuzzy 控制规则的构成(Fuzzy 算法器); 输出信息的 Fuzzy 判决。分别讨论如下。

* 河南省自然科学基金资助项目。项目编号: 904060100

收稿日期: 1995-04-24

2 输入输出精确量的 Fuzzy 化过程

Fuzzy 检测控制器的输入量偏差 $E(e)$ 和偏差变化率 $C(\dot{e})$ 是连续变化的精确量, 为计算方便, 首先将它们离散化, 分成若干等级。我们将某一时刻三效碱液温度 Y 与此时所对应的真空汽相温度 X 之差称为温差 S , 再将 S 值与给定的 R 值相比较, 得出输入量的偏差 $E(e)$, 并据此求得偏差变化率 $C(\dot{e})$ (即现时偏差与上次偏差除以采样间隔)。将三效出料阀门开启的时间长短作为 $U(u)$, 这样就确定了烧碱浓度 Fuzzy 检测控制器为双输入单输出结构, 如图 1、2 所示。

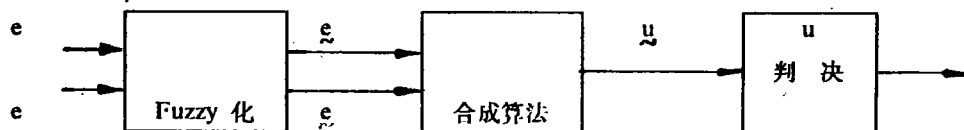


图1 离线 Fuzzy 算法

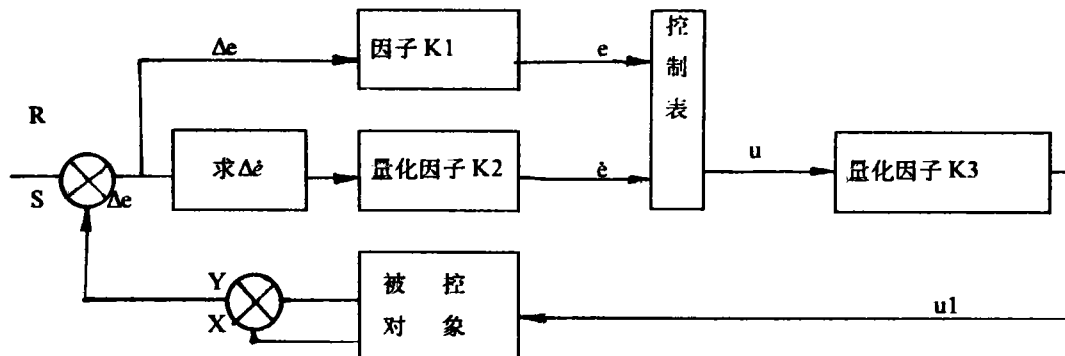


图2 在线 Fuzzy 检测控制

注: 图中 k_1 、 k_2 、 k_3 系定量化因子, 用它们可以把 Δe 、 $\Delta \dot{e}$ 以及 u 量化为 e 、 \dot{e} 和 u_1 。

根据人的思维特点, 对事物的判断往往沿用正态分布, 因此我们将所讨论的 E 、 C 、 U 上的三个 Fuzzy 变量看成是正态形的 Fuzzy 变量。采用一个正态函数

$$F(x) = \exp[-((x-a)/b)^2] \quad (1)$$

来加以拟合。其中, a 叫做数学期望, $b>0$ 叫做方差。并以此作为隶属函数求取 E 、 C 、 U 论域中各档 Fuzzy 集合的隶属度, 然后根据实验方法和操作经验加以修正。

由蒸发生产现场实验确定偏差 E 的论域为 $[-7, +7]$, 即 E 的变化范围为 $[-7, +7]$, C 的论域为 $[-4, +4]$, 即偏差变化率 C 的变化范围为 $[-4, +4]$, U 的论域为 $[0, 60]$, 即输出控制的变化范围为 $[0, +60]$ 。将 Fuzzy 集的论域进行离散化取 $\{-n, -n+1, \dots, n-1, n\}$, 即可以给出精确量的 Fuzzy 化的量化因子 K

$$K = n/x$$

实际应用时, 把 E 、 C 、 U 的范围设定为 $[-6+6]$ 之间连续变化的量, 然后将这一连续的精确量离散化, 即将其分为几档, 每一档对应一个 Fuzzy 集, 而后进行 Fuzzy 化处

理。如果在实际工作中, 精确量 x 的变化范围不是在 $[-6, +6]$ 之间, 而是在 $[a, b]$ 之间, 则可用下式

$$y = 12 / (b - a) [x - (a + b) / 2] \quad (2)$$

将在 $[a, b]$ 间变化的变量 x 转化为 $[-6, +6]$ 之间的变量 y 。

由式(2)确定的 E 的量化因子 $K_1 = 6 / 7$; C 的量化因子 $k_2 = 3 / 2$; U 的量化因子 $k_3 = 1 / 5$ 。

在论域确定后, 人们习惯上把 $[-6, +6]$ 之间变化的连续量分成八档。记作:

PL(正大)、PM(正中)、PS(正小)、PO(正零)、NO(负零)、NS(负小)、NM(负中)、NL(负大)。

这八档对应着八个 Fuzzy 子集。 E 、 C 、 U 对应各自 Fuzzy 子集, 每个 Fuzzy 子集对应于 $[-6, +6]$ 之间 13 个元素的隶属度。该隶属度的求取是按正态函数(1)式和现场实验及操作经验修正取得的, 实际算法另文介绍。

3 Fuzzy 检测控制算法

对于有二维输入一维输出的 Fuzzy 算法器最常用的控制规则是: “若 \tilde{E} 且 \tilde{C} 则 \tilde{U} ”, 或写成 “if \tilde{E} and \tilde{C} then \tilde{U} ”。如: “若温差偏高, 且温差上升速率快, 则多放掉一些成品碱”。 \tilde{E} 表示偏差 Fuzzy 子集, \tilde{C} 用来表示偏差变化率的 Fuzzy 子集。 \tilde{U} 表示当碱液浓度合格打开出料阀门的时间长短的 Fuzzy 子集。于是这种 Fuzzy 检测控制器的控制规则可写成下列形式: if $E = \tilde{E}_i$ and $C = \tilde{C}_j$ then $U = \tilde{U}_{ij}$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

其中 \tilde{E}_i , \tilde{U}_{ij} 是分别定义在 X 、 Y 、 Z 上的 Fuzzy 集。这些 Fuzzy 条件语句可归纳为一个 Fuzzy 关系 \tilde{R} 。即

$$\tilde{R} = U(\tilde{E}_i \times \tilde{C}_j) \times \tilde{U}_{ij} \quad (3)$$

根据 Fuzzy 数学理论, 此处 “ \times ” 运算的含义山下式定义

$$\mu_{\tilde{R}}(x, y, z) = \bigvee_{i=1}^m [\mu_{\tilde{E}_i}(x) \wedge \mu_{\tilde{C}_j}(y)] \wedge \mu_{\tilde{U}_{ij}}(z)$$

$$\forall x \in X, \forall y \in Y, \forall z \in Z.$$

当偏差、偏差变化率分别取 \tilde{E} 和 \tilde{C} , 根据 Fuzzy 推理合成规则, 输出的控制量应当

是 Fuzzy 集 \tilde{U}

$$\tilde{U} = (\tilde{E} \times \tilde{C}). \quad \tilde{R} \tag{4}$$

即
$$\mu_{\tilde{U}}(z) = \bigvee_{\substack{x \in E \\ y \in C}} [\mu_{\tilde{R}}(x,y,z) \wedge \mu_{\tilde{E}}(y)]$$

这样，若已知输入 \tilde{E} 、 \tilde{C} 和输出控制量 \tilde{U} ，我们就可以根据上述规则把相应的 Fuzzy 关系 \tilde{R} 求出来；反之，若系统的 Fuzzy 关系 \tilde{R} 为已知时，我们就可以根据输入 \tilde{E} 和 \tilde{C} 而求出输出控制量 \tilde{U} 。

在烧碱浓度检测时，总结操作人员的经验给出下列控制规则：

- if $e = (NL)_e$ and $\dot{e} = (PL)_e$ then $u = (PS)_u$
- if $e = (NL)_e$ and $\dot{e} = (PL)_e$ then $u = (PS)_u$
- ...
- ...
- if $e = (PL)_e$ and $\dot{e} = (NM)_e$ then $u = (PM)_u$
- if $e = (PL)_e$ and $\dot{e} = (NL)_e$ then $u = (PS)_u$

共有 42 条这样的控制规则，归纳后可用表格方式列出。见表 1 所示。

表 1 控制规则状态表

E	e							
	NL	NM	NS	NO	PO	PS	PM	PL
PL	PS	PS	×	PL	PL	×	×	×
PM	0	PS	PM	PM	PM	PM	×	×
PS	0	0	PS	PS	PS	PM	PM	×
0	0	0	PS	PS	PS	PM	PM	PL
NS	×	0	0	0	0	PS	PS	PM
NM	×	×	0	0	0	PS	PS	PM
NL	×	×	×	0	0	×	PS	PS

注：表中“×”表示本系统不可能出现的情况，称为死区。

根据总结出来的这些控制规则，即可求出总的 Fuzzy 关系 \tilde{R} 。

$$\tilde{R} = \tilde{R}_1 \cup \tilde{R}_2 \cdots \cdots \cup \tilde{R}_{42}$$

其中

$$\tilde{R}_1 = \tilde{D}^T \times (RS)_u \quad \tilde{D}_1 = (NL)_e \times (PL)_e$$

$$\tilde{R}_2 = \tilde{D}_2^T \times (RS)_u \quad \tilde{D}_2 = (NM)_e \times (PL)_e$$

... ..

$$\tilde{R}_{42} = \tilde{D}_{42}^T \times (RS)_u \quad \tilde{D}_{42} = (PL)_e \times (NL)_e$$

即表中每项对应一个 Fuzzy 条件语句“若 \tilde{E} 且 \tilde{C} 则 \tilde{U} ”，也对应一个 Fuzzy 关

系 \tilde{R}_i 。求取 \tilde{R} 的运算并不困难，首先求出 $\tilde{R} = \tilde{R}_{42}$ ，然后取“并”运算即得，并以式(4)求出输出控制量 \tilde{U} 来。

4 输出信息的Fuzzy判决

Fuzzy 控制算法器输出的控制量 \tilde{U} 是一个 Fuzzy 子集。它是反映控制语言的不同取值的一种组合。但被控对象只能接受一个控制量，这就需要从输出的 Fuzzy 子集中判决出一个控制量。也就是说，要推导出一个由 Fuzzy 集合到普通集合的映射，这个映射称之为判决，由此求得精确的控制量作用到被控对象上去。如何将 Fuzzy 量转化为精确量的问题。通常采用最大隶属度法、中位数判决法、加权平均判决法等。具体选择哪一种判决方法，要根据实际情况而定，在烧碱浓度检测控制中采用的是最大隶属度判决法：

因要判决的 Fuzzy 子集为 \tilde{U} ，则取该 Fuzzy 子集中隶属度最大的那个元素作为控制

量。

即满足

$$\mu_{\tilde{U}}(u_{max}) \geq \mu_{\tilde{U}}(u), u \in U$$

若这样的最大点 u_{max} 有若干个，它们是

$$u_{max1} \leq u_{max2} \leq \dots \leq u_{maxn}$$

则取它们的平均值 \bar{u}_{max} 或 $(u_{max1} + u_{maxn})$ 的中点 $(u_{max1} + u_{max2})/2$ 作执行量。

5.浓度检测控制表

上面叙述了组成浓度 Fuzzy 检测控制器的三部分，即对输入输出量进行 Fuzzy 化，再进行 Fuzzy 运算，最后进行 Fuzzy 判决，才能得到确切的控制量，以控制三效出料阀开启的时间长短。将上述过程的结果构成总控制表，如表 2 所示。

表 2 Fuzzy 控制表

E	e												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3
-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
-3	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	3	3	3
-2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	4	4	4
-1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	4	5	5
-0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	4	6	6
+0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	4	5	6
1	0	2	2	2	2	2	3	3	3	3	5	6	6
2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	5
3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4
4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
5	3	3	4	4	4	4	5	4	0	0	0	0	0
6	4	4	4	4	4	4	6	6	0	0	0	0	0

将表 2 存储在计算机中，在实际检测控制时，只要测得偏差量，然后计算出偏差变化率，就可以查计算机内存的 Fuzzy 检测控制表，找到相应的控制量。因此 Fuzzy 检测控制设计的结果，就是要得到总控制表。需要说明的是，控制表要经过严格的实践检验和反复的修改，才能达到实用的目的。

6.结束语

烧碱浓度 Fuzzy 检测是作者在研制郑州农药厂年产一万吨烧碱蒸发微机控制系统时提出的，因在采用温差法出料时，随机检测 30%的碱浓度误差较大，为± 10%左右，后改用浓度 Fuzzy 检测出料时，其误差减少到± 2%左右。满足了生产的要求。烧碱浓度 Fuzzy 检测的方法目前还未曾见过报道。该方法实际使用后，对烧碱蒸发微机控制系统的研制成功起到了关键性作用，使产品的产量和质量都有了较大的提高，节约了能源，减轻了劳动强度，从根本上改变了过去大进大出现象。经济社会效益显著，受到用户欢迎。

参 考 文 献

1 王学慧、田成芳，微机模糊控制理论及应用，电子工业出版社，1987年。

- 2 李世勇, 模糊控制和智能控制理论与应用, 哈尔滨工业大学出版社, 1988年。
- 3 王行愚, 控制论基础, 华东化工学院出版社, 1989年2月。
- 4 W.J.Kickert and H.R.Van Nauta Lemke, The application of fuzzy set theory to control a warm Water plant, Automatica, 12(1976), 301-308.
- 5 Wu zhi qiao, The application of fuzzy control theory to an oil-fueled annealing furnace, Fuzzy sets and Systems, 36(1990), 145-156.
- 6 翟光群, 西安电子科技大学硕士论文, 烧碱蒸发微机控制系统的研制, 1994.11.

The Application of the Fuzzy Controller in Concentration

Measurement for Caustic Soda

Zhai Guangqun

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: This paper proposes a kind of Fuzzy measurement algorithm for Caustic Soda concentration, based on temperature differential output. Experimental results show that the measurement possesses high accuracy, and is finally realized automatic output caustic soda evaporation.

Keywords: Caustic Soda Evaporation, Concentration Fuzzy Measurement

(上接第 51 页)

Analysis of the Stress Concentration Problem

in Anisotropic Plate with Boundary Element

Wang Bo Dong Yaoxing Wang Zongmin

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: Using the fundational solution of anisotropic plate as weight function, this paper established the direct boundary element format of general anisotropic problem of plane. So plane problem of orthogonal or general anisotropic material can be solved. The illustration demonstrated that the anisotropic boundary element has higher calculating precision in solving stress concentration problems.

Keywords: anisotropy, plate, boundary element, stress concentration.