

# 双交叉参数自调整FUZZY-PI 控制器在燃油锅炉调控中的应用

刘文东 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 介绍了一种用于锅炉热负荷系统的复合控制器。对传统的PI控制与FUZZY控制作了仿真比较,为保证锅炉安全运行采用了双交叉控制。

关键词 Fuzzy控制器 设计 应用

## 1 引言

工业燃油锅炉的热负荷系统是一个非线性大滞后的环节,由于燃烧过程的复杂性,很难得到精确的数学模型,若对其采用古典的控制方案进行控制,其效果又不理想。

随着计算机技术的发展,以及Fuzzy控制器日趋成熟地在工业控制中的应用,我们将Fuzzy-PI控制器应用于工业燃油锅炉的热负荷系统中取得了满意效果。

## 2 典型的Fuzzy控制器设计

2.1 所谓Fuzzy控制器简单地说是把人工经验的控制规则经Fuzzy推理得出控制规律,利用计算机加以实现。

例如某台燃油锅炉其鼓风量与主蒸汽压力通道的动态特性为

$$\frac{P(s)}{V(s)} = \frac{e^{-10s}}{480s + 1}$$

采用常规PI控制其数字仿真结果如图1中曲线2所示。采用典型的Fuzzy控制器组成如图2所示的控制系统。

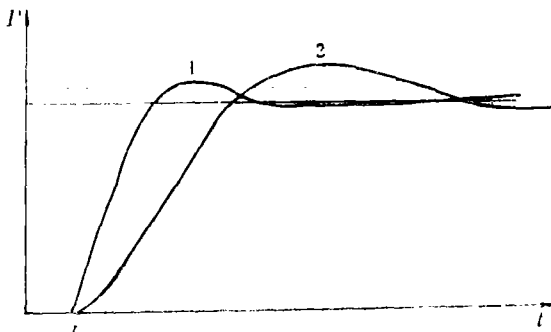


图 1

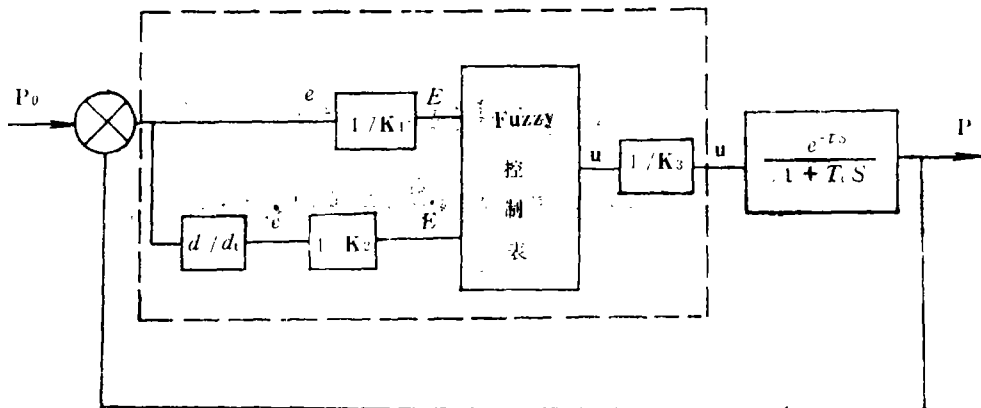


图 2

2.2 典型Fuzzy控制器设计方法如下:

2.2.1 将  $E, \dot{E}, u$  划分为若干Fuzzy子集,

$$E = \{PB, PM, PS, PO, NO, NS, NM, NB\}$$

$$\dot{E} = \{PB, PM, FS, O, NS, NM, NB\}$$

$$u = \{PB, PM, PS, O, NS, NM, NB\}$$

- 其中 NB = 负大; PB = 正大
- NM = 负中; PM = 正中
- NS = 负小; PS = 正小
- NO = 负零; PO = 正零

$E$  = 偏差;  $\dot{E}$  偏差变化率

$u$  = 控制量

2.2.2 确定论域

$E, \dot{E}, u$  的论域分别是 14、13和15个

等级, 即

$$E = \{+6, +5, +4, +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, -4, -5, -6\}$$

$$\dot{E} = \{+6, +5, +4, +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, -4, -5, -6\}$$

$$u = \{+7, +6, +5, +4, +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, -4, -5, -6, -7\}$$

2.2.3 确定  $E, \dot{E}$  和  $u$  的Fuzzy子集隶属度

按照正态分布规律拟合  $E, \dot{E}, u$  的Fuzzy子集隶属度表如图表示

表 1  $E$  的隶属度表

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	-0	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.8	1.0	0.5	0.1	0	0
PO	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0.6	0.1	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0.1	0.6	1.0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.1	0.5	1.0	0.8	0.3	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2

$\dot{E}$ 隶属度表

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1.0	0.7	0.2	0	0
O	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.2	0.7	1.0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3

U的隶属度表

	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.4	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.0	0.4	0	0	0	0	0	0	0
NM	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4

控制规则状态表

$\dot{E}$ \ U	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	O	O
NM	PB	PB	PB	PB	PM	O	O
NS	PM	PM	PM	PS	O	NS	NS
NO	PM	PM	PS	O	NS	NM	NM
PO	PM	PM	PS	O	NS	NM	NM
PS	PS	PS	O	NS	NM	NM	NM
PM	O	O	NM	NB	NB	NB	NB
PB	O	O	NM	NB	NB	NB	NB

表 5 控制表

$\begin{matrix} \dot{E} \\ U \\ E \end{matrix}$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	7	7	7	7	7	7	7	4	4	2	0	0	0
-5	7	7	7	7	7	7	6	4	4	2	0	0	0
-4	7	7	7	7	7	6	4	4	3	1	0	0	0
-3	7	7	7	7	6	4	4	3	1	0	-1	-2	-2
-2	6	6	6	6	4	4	3	1	0	-1	-1	-2	-2
-1	4	4	4	4	3	3	1	0	-1	-2	-2	-3	-3
-0	4	4	3	3	3	2	0	-1	-2	-3	-3	-3	-3
0	3	3	3	3	2	1	0	-2	-3	-3	-3	-4	-4
1	3	3	2	2	1	0	-1	-3	-3	-4	-4	-4	-4
2	2	2	1	1	0	-1	-2	-4	-4	-6	-6	-6	-6
3	2	2	1	0	-1	-3	-4	-4	-6	-7	-7	-7	-7
4	0	0	0	-1	-3	-4	-4	-6	-7	-7	-7	-7	-7
5	0	0	0	-2	-4	-4	-6	-7	-7	-7	-7	-7	-7
6	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7

对该系统进行数字仿真结果如图 1 中曲线所示。

2.3 从仿真结果看出：对于大滞后控制对象采用系统的PI控制，其动态响应时间及超调都很大，动态性能指标差。

采用Fuzzy控制器其动态特性比常规PI控制有了明显的改善，响应时间加快，超调减小。

对Fuzzy控制器系统加一定干扰，其稳定性性能较差，并有一定的静差，仿真结果如图 3 中曲线 1 所示。

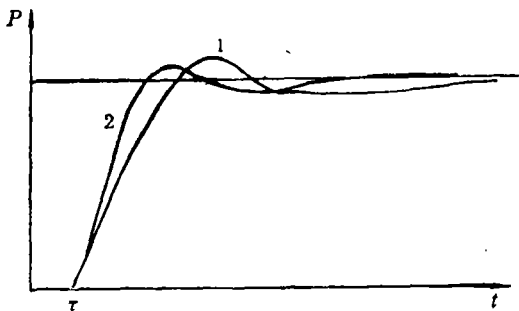


图 3

这是由于 Fuzzy 控制器只具有比例和微分作用，它只考虑了偏差和偏差变化量，而没有考虑偏差的累加，所以 Fuzzy 控制器消除不了余差。

当模糊量的  $E, \dot{E}$  为 0 时，实际量  $e, \dot{e}$  并不为零，误差进入死区，Fuzzy 控制器不起作用，输出为零。

2.4 由于常规PI控制器具有较好的静态特性指标，将Fuzzy控制器与PI控制器相结合，组成 Fuzzy-PI 复合控制器，将会使系统特性明显地改善，为了进一步提高动态特性，使系统具有一定的自适应能力，我们采用了参数自调整Fuzzy-PI控制器，这样，系统有较大偏差时 Fuzzy 控制器起作用，系统接近稳态后PI控制器起作用。

参数的改变可以按如下方案进行：

当  $e, \dot{e}$  较小时，提高  $e, \dot{e}$  的分辨率采用微小的控制量改变， $K_1 K_2$  放大， $K_3$  缩小，反之， $e, \dot{e}$  较大时，降低  $e, \dot{e}$  的分辨率，采用较大的控制量改变， $K_1 K_2$  缩小， $K_3$  放大。

仿真结果如图3中曲线2所示。

### 3 双交叉控制风油给定

**3.1** 在燃烧过程中碳与空气中的氧起反应而放热，如果空气量不足以保证完全燃烧，则碳就不能全部变成二氧化碳，其中一部分碳变成一氧化碳被排掉，这既造成了能源浪费，又污染了环境。

如果空气量过多，就会有未燃烧的过剩空气，它通过炉膛时就会吸收大量的热量，并将这些热量从烟囱中排出，从而造成了严重的热量损失。

对于燃油锅炉来说，如果燃料量增大时，空气跟不上，就会因不完全燃烧而产生黑烟，另外有可能因燃料积累而引起事故。

**3.2** 为了保证安全燃烧采用双交叉控制如图4所示。

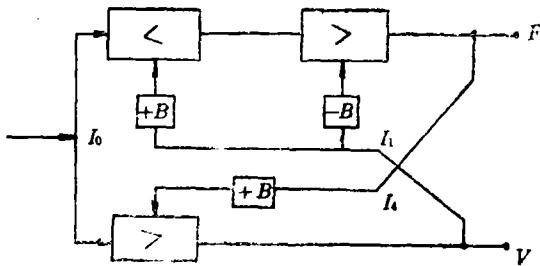


图 4

当主蒸汽压力下降时，加法器的输出增加， $I_0$  加大，它输出给低、高值选通器作为燃料量和空气调节器的设定。低值选通器的输入量为  $I_0$ 、 $I_1$ ， $I_1$  为调节前空气量换算过来的燃料量；高值选通器的输入量为  $I_0$ 、 $I_4$ 。负荷量加小时，空气量较燃料量先增加，防止产生黑烟。

当负荷量下降时，燃料量较空气量先减少，仍可以保证不冒黑烟。

如果风机失灵导致空气量为零，则  $I_1 = 0$  通过低值选通器作为燃料控制的设定为零，即可关闭燃料阀，这样就可以实现风机失效时的本质安全。

### 3.3 高低值选通系数确定

设排烟中含氧量为 1%，2%，3%

则

$$\mu_L = \frac{21}{21-1} = 1.05$$

$$\mu = \frac{21}{21-2} = 1.11$$

$$\mu_H = \frac{21}{21-3} = 1.17$$

$$+B = \frac{\mu}{\mu_L} = 1.06$$

$$-B = \frac{\mu}{\mu_H} = 0.95$$

根据以上分析构成热负荷系统整体方案如图5示。

## 4 结 论

本系统应用于大连造船厂一台 20t/h 油炉中。主蒸汽压力，排烟温度，含氧量等指标的调控都比较满意，并取得了明显的节能效果。油汽比由 80kg/t 降为 77kg/t，仅此一项每年节约人民币约 28 000 元。

## 参 考 文 献

- 1 胡家耀等.参数自调整Fuzzy-PI调节.信息与控制, 1987(6)
- 2 王学慧等.微机模糊控制理论及应用.电子工业出版社, 1987.11
- 3 张玉锋等.热工自动控制系统.水利电力出版社, 1987
- 4 熊光镔等.控制系统数字仿真.清华大学出版社, 1982.2

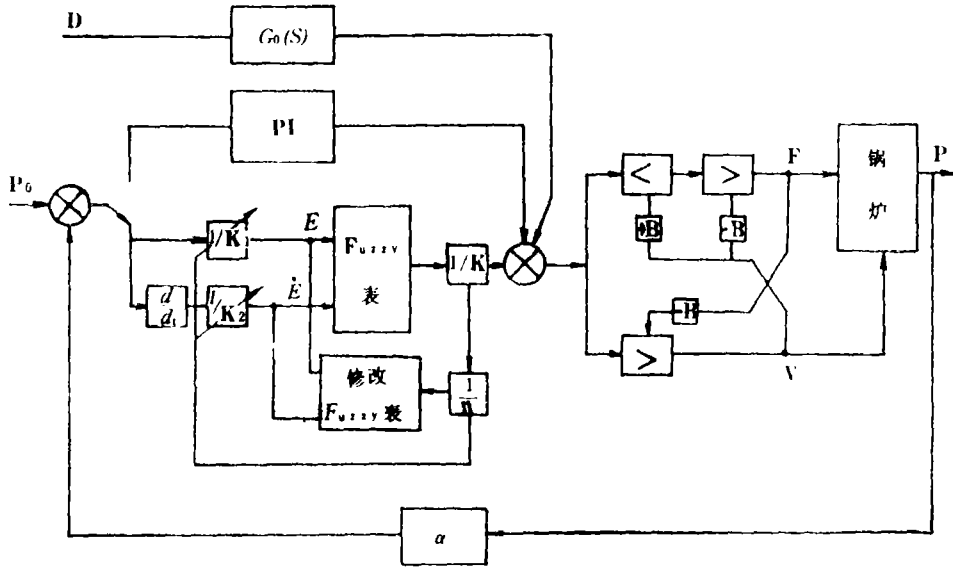


图 5

# The Application of Double-crossing Parameter Self-Regulation Fuzzy-PI Controller in Oil-Fired Boilers

Liu Wendong

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

### Abstract

This paper describes a multiple controller for a boiler thermal load system. A simulation comparison has been conducted of the traditional PI control and fuzzy control. To ensure boiler safety operation, the author has recommended the use of double-crossing control.

**Key words:** fuzzy controller, design, application

(李乡复 编辑)