

# 自调整比例因子 Fuzzy 控制器 控制工业锅炉燃烧过程

毛宗源 狄 琤

(华南理工大学自动化系, 广州)

## 摘 要

本文提出自调整比例因子 Fuzzy 控制器对工业锅炉燃烧过程控制。Fuzzy 控制器由 SC-841 工业控制机实现。实际运行效果良好。

**关键词:** 比例因子, Fuzzy 控制器, 燃烧过程。

## 一、前 言

1974年,英国 E. H. Mamdani 首先根据 Fuzzy 集构成 Fuzzy 控制,控制锅炉和蒸汽机<sup>[1]</sup>,这标志 Fuzzy 控制的诞生。文献[2]对自调整比例因子 Fuzzy 控制器做了推理和仿真。本文将它应用于工业锅炉燃烧过程的控制。

## 二、数学描述和结构框图

工业锅炉燃烧过程 Fuzzy 控制规则的自调整,担负着蒸汽压力、炉膛负压、烟气含氧量、燃油量、鼓风量的调节以及自动消除黑烟等控制,力求使燃料燃烧产生的热量与蒸汽负荷变化相适应,以保证锅炉的安全和经济运行。系统结构框图示于图 1<sup>[3]</sup>。图中各回路用同一的自调整比例因子 Fuzzy 控制规则,只不过比例因子不同。现分析其中一个回路(见图 2)。

设被控对象的输入输出关系为

$$y(nT) = f_1[u(nT)]. \quad (1)$$

控制器偏差输入信号的 Fuzzy 集为

$$AE(nT) = \text{int}\{A \cdot q_1[E(nT)] + 0.5\}. \quad (2)$$

控制器偏差变化率输入信号的 Fuzzy 集为

$$(1 - A) \cdot C(nT) = \text{int}\{(1 - A)q_2[E(nT) - E(nT - T)] + 0.5\}. \quad (3)$$

控制器输出控制量为

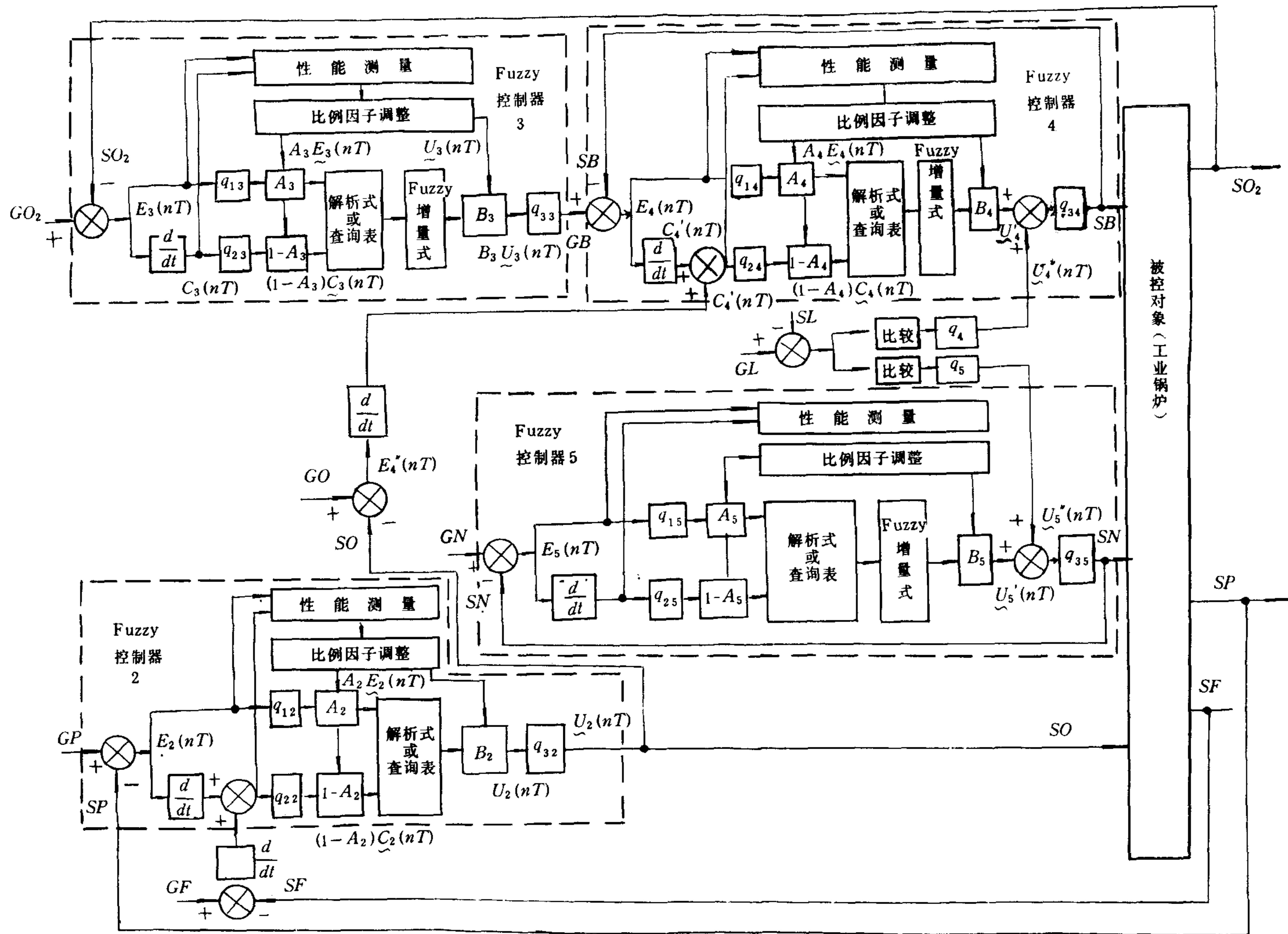


图1 工业锅炉燃烧过程 Fuzzy 控制器结构框图

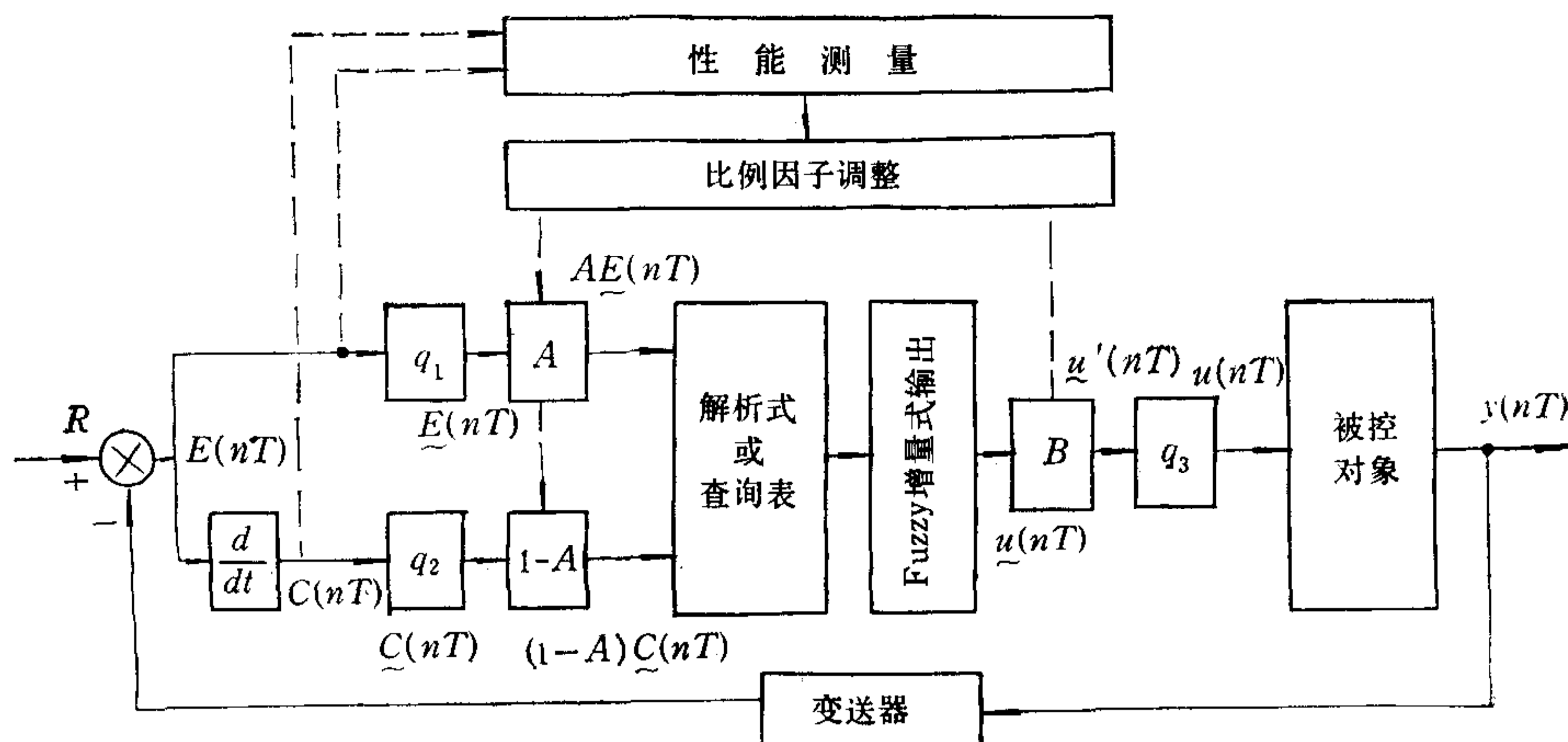


图2 自调整比例因子 Fuzzy 控制器结构框图

$$u(nT) = q_3 \{ B \cdot \text{int}[Aq_1 E(nT) + 0.5] + B \cdot \text{int}[(1-A)q_2 (E(nT) - E(nT - T)) + 0.5] \}. \quad (4)$$

将(4)式代入(1)式得

$$Y(nT) = f_1 \{ q_3 \{ B \cdot \text{int}[Aq_1 E(nT) + 0.5] + B \cdot \text{int}[(1-A)q_2 (E(nT) - E(nT - T)) + 0.5] \} \}. \quad (5)$$

偏差量为

$$E(nT) = R - Y(nT). \quad (6)$$

式中  $q_1, q_2, q_3$  为偏差信号、偏差变化率信号、输出信号的 Fuzzy 化和量化;  $A$  介于 0—1 之间的实数, 其大小意味着对偏差和偏差变化的加权程度, 反映了人进行控制活动的思维特点;  $E(nT)$  是偏差的模糊集;  $C(nT)$  是偏差变化率的 Fuzzy 集;  $B$  亦是比例因子。

当  $E(nT)$  “很大”时,  $u(nT)$  以绝对量形式给出; 当  $E(nT)$  “不很大”时,  $u(nT)$  以增量形式给出。系统中烟气含氧量、鼓风量、炉膛负压等回路以增量形式给出。其算法为

$$\left. \begin{aligned} \text{if } u(nT) > u(nT - T) \text{ then } u(nT) &= u(nT - T) + K \\ \text{if } u(nT) < u(nT - T) \text{ then } u(nT) &= u(nT - T) - K \\ \text{if } u(nT) = u(nT - T) \text{ then } u(nT) &= u(nT - T) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式中  $K$  是可选常参量, 本系统取  $K = 1$ 。

本控制器有下列特点:

1) 当被控对象改变时, 调整  $A, B$  使控制规则相应调整, 系统始终处在最优或接近最优状态;

2) 当被控对象不变时, 以性能指标为目标函数, 以  $A, B$  为寻优参数, 根据目标函数不断推算出新的  $A, B$  值, 使目标函数逐步减小, 从而达到调整控制规则, 改善系统品质;

3) 当被控对象改变时, 建立一个自适应控制系统, 确保系统性能指标。本系统为自适应 Fuzzy 控制的参数调节提供灵活方便的手段;

4) 论域  $E(nT), C(nT), u(nT)$  的 Fuzzy 分档。如果控制规则不能用解析式表示, 则 Fuzzy 分档受计算机内存容量限制; 如果控制规则能够用解析式表示, 则 Fuzzy

分档受计算机字长影响。

### 三、运行分析

图 3 示出 10T/h 工业燃油锅炉 Fuzzy 控制运行曲线。图中每小格代表蒸汽流量 0.1 T/h, 水位 4.4mm 水柱, 燃油量 12kg/h, 鼓风量 132 标米/h, 烟气含氧量 0.1% 氧含量, 蒸汽压力 0.016MPa。纸带运行速度 120mm/h。

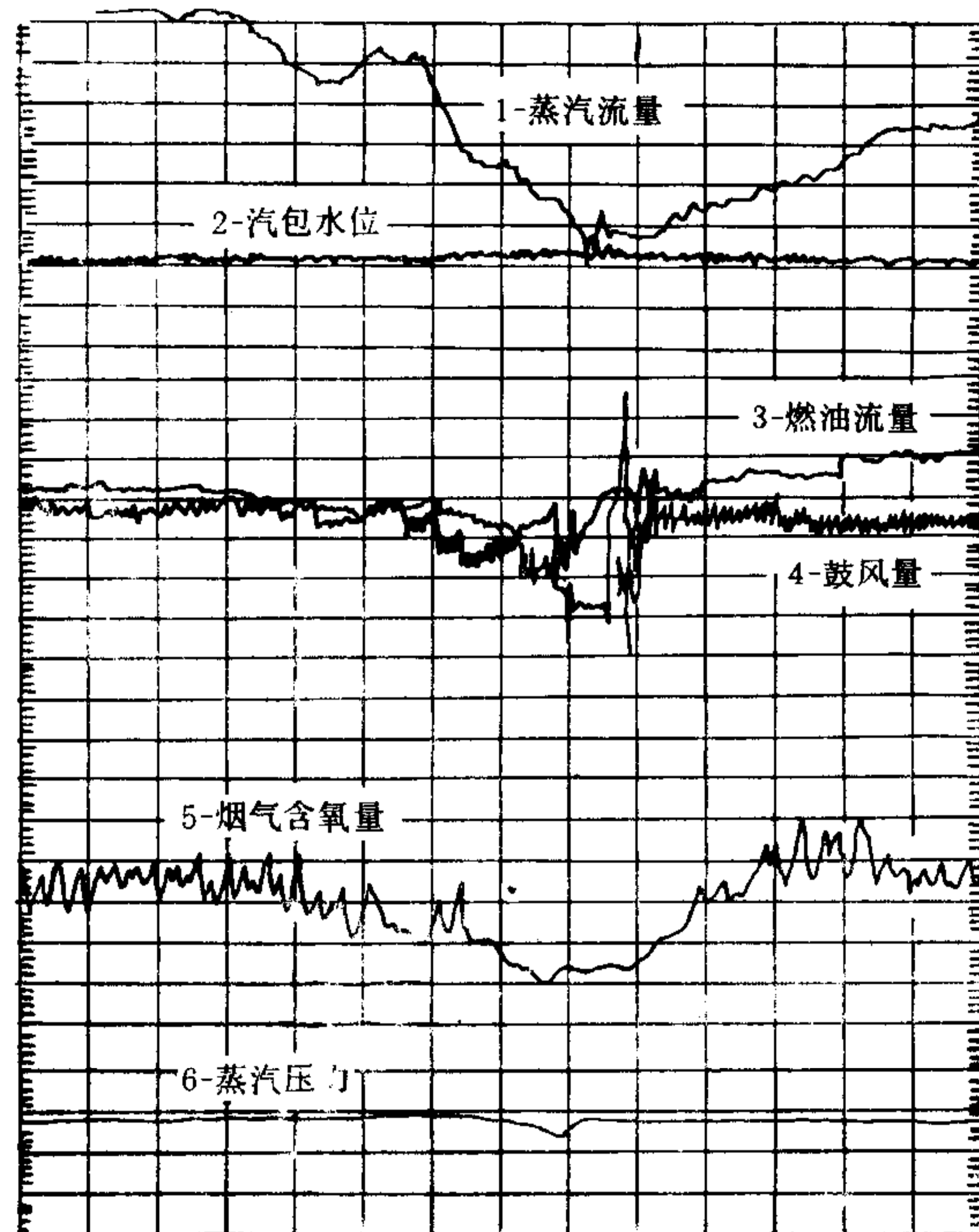


图 3 运行曲线

一年多运行结果表明, 当蒸汽负荷波动 10% 时, Fuzzy 控制系统可达: 1) 汽包水位偏差  $\leq 10\text{mm}$  水柱; 2) 蒸汽压力偏差  $\leq \pm 5 \times 10^{-2}\text{MPa}$ ; 3) 炉膛压力偏差  $\leq \pm 10\text{Pa}$ ; 4) 林格曼烟色浓度为 0—1 级, 黑烟消除时间  $\leq 10\text{s}$ ; 5) 采用燃烧过程自调整比例因子 Fuzzy 控制, 使锅炉由原来采用常规仪表控制每吨蒸汽平均耗油 78.46kg 下降到 75.24kg, 油单耗下降了 3.22kg, 年节油 225.4 吨, 年直接经济效益 9 万元; 6) 不冒黑烟, 社会效益显著。

### 参 考 文 献

- [1] Mamdani, E. H., Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, Proc. IEEE, **121**(1974), 12, 1585—1588.
- [2] 龙升照、汪培庄, Fuzzy 控制规则的自调整问题, 模糊数学, **3**(1982), 105—111.
- [3] 毛宗源、狄 珍, 工业锅炉 Fuzzy 控制的研究, 华南理工大学学报, **4**(1990), 66—73.

# AN INDUSTRIAL BOILER COMBUSTION CONTROL BY USING A FUZZY CONTROLLER WITH AUTO-TUNED SCALING FACTORS

MAO ZONGYUAN DI ZHENG

*(South China University of Technology, Guangzhou)*

## ABSTRACT

In this paper, a fuzzy controller with auto-tuned scaling factors is presented for industrial boiler combustion process control. The controller is made of SC-841 microcomputer. Practical operations have shown the effectiveness and economic benefits.

**Key words:** Scaling factor; fuzzy controller; combustion process.