

文章编号: 1001-0920(2001)04-0494-03

# 最优风煤比控制技术的研究

王 岩, 强文义

(哈尔滨工业大学 控制工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 以锅炉动态热平衡为基础, 结合智能控制理论, 提出一种风煤比模糊自寻优控制方案, 并应用于中小型电站锅炉系统。对于原系统存在的参数时变、大时滞等问题可进行有效的控制, 实现了电站锅炉系统的高效率燃烧。

**关键词:** 电站锅炉; 风煤比; 模糊自寻优控制

**中图分类号:** TP 18      **文献标识码:** A

## Study on the Optimal Control of Ratio of Air and Coal Amount

WANG Yan, QIAN Wen-yi

(Control Engineering Department, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** A fuzzy adaptive control scheme to RACA (Ratio of air and coal amount) is proposed on the basis of a boiler's dynamic heat balance and the intelligent control theory. The method is applied to the boiler system of a middle-scale power plant that is with variable parameters and large time delay. The boiler system is controlled efficiently and high combustion efficiency is obtained.

**Key words:** power station boiler; ratio of air and coal amount; fuzzy adaptive control

## 1 引 言

在国内动力行业广泛应用的燃煤锅炉中, 普遍存在热效率低、浪费严重的问题。其影响因素很多, 而空气与煤粉(对于燃煤锅炉)的比例(风煤比)是否合适, 则是影响燃烧效率的关键因素。目前, 应用最多的风煤比控制方法是在比例控制的基础上加入氧量校正, 即利用锅炉燃烧效率与烟气含氧量( $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ )的关系, 在送风调节器中加入氧量校正单元, 对送风量进行调节。但该方法在负荷变化幅度大或煤种、炉型发生变化时, 都难以实现有效控制。同时烟气含氧量的测量也会由于炉体、烟道等漏风产生较大波动的测量误差, 实际控制效果并不理想, 无法

达到在线优化调整风煤比的目的。

本文以锅炉热平衡原理为基础, 结合现代智能控制理论<sup>[1,2]</sup>, 用模糊自寻优方法实现燃烧过程的最优风煤比控制, 并应用于电站锅炉燃烧系统, 收到了良好的效果。

## 2 原理分析

### 2.1 热损失及最佳风煤比

锅炉系统的热平衡表达式为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (1)$$

式中,  $Q$  为锅炉系统输入的总热量,  $Q_1$  为有效利用的热量(用于加热水及生产蒸汽),  $Q_2$  为排烟热损失,

收稿日期: 2000-05-19; 修回日期: 2000-08-15

作者简介: 王岩(1972—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士生, 从事工业过程控制和计算机控制等研究; 强文义(1937—), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士生导师, 从事工业过程控制和智能机器人等研究。

$Q_3$  为气体不完全燃烧热损失,  $Q_4$  为固体不完全燃烧热损失,  $Q_5$  为锅炉散热损失,  $Q_6$  为灰渣物理热损失。实际应用中, 热损失主要由  $Q_2 + Q_3 + Q_4$  组成。锅炉的热效率为

$$\eta = Q_1 / Q \quad (2)$$

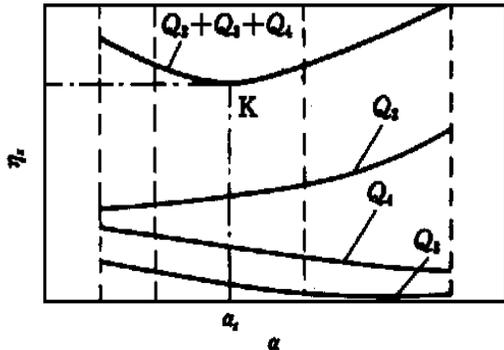


图 1 锅炉热损失与过量空气系数的关系

锅炉热损失与过量空气系数  $\alpha$  之间的关系如图 1 所示。随着  $\alpha$  的增大, 进入炉膛的空气量增大, 煤粉和可燃性气体充分燃烧, 减少了  $Q_4$  和  $Q_3$ , 只有  $Q_2$  随着送风量的增大而增大, 而  $Q_2$  占热损失的比例最大。所以, 伴随着  $\alpha$  的增大,  $Q_3$  和  $Q_4$  减小,  $Q_2$  增大,  $Q_2 + Q_3 + Q_4$  是锅炉热损失的主要部分。由图看出三者之和形成一下凹曲线, 且具有极小值点 K, 在 K 点的锅炉热损失最小, 热效率最高。K 点对应的  $\alpha$  为最佳过量空气系数, 即最佳风煤比。锅炉的热损失同时受煤质、炉体漏风等多种因素影响, 在这些因素发生变化时, 热损失曲线的极值点也将发生漂移变化, 故在实际应用中, 必须不断寻找最佳风煤比工作点。

### 2.2 寻优指标的确定

实际燃烧的煤粉量无法在线准确测量, 因此在实际控制时, 用锅炉在单位时间内的总有效利用热量  $Q_1$  代替  $\eta$  作为经济指标。计算方法如下

$$Q_1 = D_{gq} \times (i_{gq} - i_{gs}) \times 10^3 + D_{ps} (i_{ps} - i_{gs}) \times 10^3 + D_{zp} (i_{zq} - i_{zq}) \times 10^3 + Q_{qt} \quad (3)$$

式中,  $D_{gq} (i_{gq} - i_{gs}) \times 10^3$  为生产过热蒸汽所需要的热量;  $D_{gq}$  为过热蒸汽量,  $i_{gq}$  为过热蒸汽焓,  $i_{gs}$  为给水焓;  $D_{ps} (i_{ps} - i_{gs}) \times 10^3$  为排污水带走的总热量;  $D_{ps}$  为排污水量,  $i_{ps}$  为排污水焓;  $D_{zp} (i_{zq} - i_{zq}) \times 10^3$  为再热蒸汽带走的热量;  $D_{zp}$  为再热蒸汽量,  $i_{zq}$  和  $i_{zq}$  为再热蒸汽出口及入口焓;  $Q_{qt}$  为其它利用的总热量。

过热蒸汽带走的热量在压力一定时, 可认为仅随温度变化, 即认为蒸汽焓值仅为温度的函数。排污水的物理状态是液体, 它的焓值只与温度有关, 而与

压力无关, 所以实际控制时, 这部分热量通过给水流量信号和温度差反馈即可求得。其它部分利用的热量也可做类似的简化处理。

## 3 模糊自寻优控制器的设计

### 3.1 控制器原理

该控制器采用如下策略: 当锅炉处于动态时 (升降负荷), 不投入模糊自寻优控制 (因搜索时间较长, 适用于系统稳态时), 采用定风煤比比值加氧量校正的方法控制送风系统, 保证锅炉对负荷变化的快速响应; 当系统稳态时, 燃料量一定并调节送风, 则进行模糊自寻优控制。设计中有以下要点:

1) 判断为稳态的条件是: 主汽压力的实测值  $P_t$  与额定值  $P_s$  之差在稳态偏差  $\epsilon_r$  带内, 且无大的负荷扰动量, 即

$$|P_t - P_s| \leq \epsilon_r, \quad \Delta D_q \leq \epsilon_r \quad (4)$$

式中,  $\Delta D_q$  为负荷的扰动量,  $\epsilon_r$  和  $\epsilon_r$  的取值与炉型及运行方式有关, 可根据实际情况调整。

2) 判断最佳风煤比 K 点的条件为: 寻优指标  $Q_1$  是否找到最大值。当满足条件

$$Q_i - Q_{i-1} > 0, \quad Q_{i+1} - Q_i < 0 \quad (5)$$

则表示已搜索到最佳工作点 K。

3) 停步等待: 当系统运行在最佳风煤比工作点时, 为避免过于频繁的设备控制动作, 在一段时间内不进行寻优, 按当前的寻优结果进行控制。这段时间大约为控制周期的 10 倍左右。

4) 动态控制: 当锅炉负荷出现扰动时, 为消除扰动, 送风系统应采取快速的动态控制。实际控制中, 送风量  $V = f(D_q, Y, \alpha)$ , 其中  $Y$  为煤的燃烧值,  $\alpha$  为锅炉漏风系数。在动态过程中, 可将  $Y$  和  $\alpha$  视为常数, 并在额定负荷附近线性化, 用直线来近似函数关系, 即

$$V = kD_q + V_0 \quad (6)$$

其中

$$k = \frac{f^H - f^L}{D_q^H - D_q^L}, \quad V_0 = f^L - \frac{f^H - f^L}{D_q^H - D_q^L} D_q^L$$

$D_q^H$  和  $D_q^L$  为锅炉负荷上、下限,  $f^H$  和  $f^L$  为送风量上、下限。

### 3.2 控制器设计实现

模糊自寻优控制器的输入语言变量为热量信号控制量和风机挡板上步开度改变量, 输出语言变量为送风机挡板开度, 采用正态分布函数确定各语言变量模糊子集的隶属函数<sup>[3]</sup>, 产生控制规则。

控制器的实现包括以下要点:

1) 改变风机挡板位置, 给出一个增大或减小的送风摄动, 做出试探性控制。

2) 通过从现场采集的流量和温度信号, 计算各部分热量值, 根据效率指标计算式, 求取当前控制步的 $Q_i$ 值和 $\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ 的值, 然后进入模糊量化过程, 并对应于模糊语言词集。

3) 判断 $\Delta Q_i$ 符号, 如果 $\Delta Q_i > 0$ , 则说明此时锅炉效率并未达到最优, 系统处于效率上升阶段, 因此下步进行控制时, 不改变原来控制方向, 只需改变控制量的大小; 若 $\Delta Q_i < 0$ , 则有两种可能性: 一种是锅炉效率在下降; 另一种是风机挡板改变过大, 由于风量过大而带走热量增多, 并不是锅炉效率实际在下降。此时需判断属于哪种情况, 保持原方向不变, 减小风机挡板开度。若 $\Delta Q_i > 0$ , 则属于第二种情况, 即风机挡板开度改变过大, 所以下一步仍按此方向进行控制; 若 $\Delta Q_i < 0$ , 可视为锅炉效率确实在下降, 下一步则按反向进行控制。在接近锅炉效率最佳点处, 搜索步长要逐步减小, 以保证模糊自寻优控制器能找到稳定的最佳工作点, 减小稳态误差。

4) 将风机挡板开度量清晰化, 得到精确控制量, 输出到调节机构, 控制风门开度变化。

## 4 实用效果

将以该方案设计的送风调节器应用于某电厂300MW 机组。该机组锅炉为蒸发量931t/h 的汽包炉, 过热器出口汽压18.5MPa, 过热器和再热器出口汽温550。原机组自投用以来一直无法投入自动运行, 长期依靠手动操作, 各项主要指标难以达到设计要求。新设计的控制系统选用HIC-1000型集散控制系统, 对原机组的主汽压力调节系统、给粉调节系统、送风调节系统、引风调节系统等进行了全面的改造。改造后的新系统于1998年底投入自动运行至今, 控制效果良好, 运行平稳可靠。采用模糊自寻

优控制方案设计的送风调节器能够很好的跟踪最佳风煤比点, 有效地提高锅炉燃烧效率。

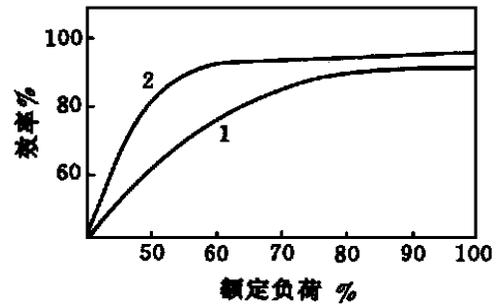


图2 锅炉系统负荷/效率状态对比

如图2所示, 曲线1和曲线2分别为原系统和投入模糊自寻优控制器的系统在各负荷条件下的效率状态。可见系统运行效率获得了较大的提高, 特别在低负荷条件下运行时更能有效地提高机组效率, 起到优化燃烧、节能降耗的目的。根据系统运行数据测算, 改造后机组年节煤率达到1.4%以上。

## 5 结 语

本文针对电站燃煤锅炉中普遍存在的热效率低、浪费严重的问题, 采用模糊自寻优原理设计送风调节器, 能够有效地寻找最佳风煤比, 提高锅炉燃烧效率。在实际应用中收到了良好的效果, 为电站燃煤机组节能降耗提供了一条新途径。

## 参考文献:

- [1] J Maier, Y S Sherif Application of fuzzy sets theory [J] IEEE Trans on System, Man and Cybernetics, 1995, 142(5)SMC-1: 58-68
- [2] M Braae, D A Rutherford Theoretical and linguistic aspects of fuzzy logic controller[J] Automation, 1994, 40(6): 1557-1566
- [3] 李士勇 模糊控制·神经控制和智能控制论[M] 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996