

# 天然气锅炉燃烧系统节能控制方案

刘之宽<sup>①</sup>

(中国农业大学电子电力工程学院)

**摘要** 天然气锅炉燃烧控制系统的任务是节约能源、改善炉内气氛、减少环境污染。合理的空/燃比是控制燃烧质量的关键。双交叉限幅可以在负荷扰动时得到高精度的空/燃比,从而避免了动态过程中空/燃比失调。通过检测烟气中的氧含量来修正空/燃比可以收到更好的控制效果。

**关键词** 天然气锅炉; 燃烧控制; 空/燃比; 双交叉限幅

**中图分类号** TP273; TK224.11

## A Project of Energy-saving Control on Gas Boiler Combustion System

Liu Zhikuan

(College of Electronic and Electric Power Engineering, CAU)

**Abstract** The task of gas boiler combustion control system is energy-saving, atmosphere improvement in boiler chamber and reducing pollution. The ratio of air to gas which is the key of combustion quality control can be realized high-precisely during load disturbance by two cross limit range to prevent its maladjustment in the dynamic process. Modifying the ratio of air to gas by testing the content of oxygen in smoke, good control effect can be obtained.

**Key words** gas boiler; combustion control; ratio of air to gas; two cross limit range

天然气锅炉汽包压力的变化主要由蒸汽负荷的扰动引起,补水和排污也会引起汽包压力的变化。应当及时调整燃烧所需的燃料量和鼓引风量,以稳定汽包压力,确保生产正常进行。烟气氧含量是评价燃烧质量的指标。保持空气量和天然气量恰当的比值是控制烟气氧含量的关键。由于送风执行机构的惯性时间常数大于天然气执行机构的惯性时间常数,当天然气跟踪负荷扰动变化时,由于空气调节阀跟踪不及时,会造成空气量的瞬态缺乏。空气流量和天然气流量本身也会由于管道压力和阻力的变化而发生波动,在此动态过程中引起空/燃比失调。因此,不仅在稳态时应当维持一定的空/燃比,而且在动态时也应使空气流量按着高精度的空/燃比跟随天然气流量变化。此外,测量误差及漏风也会对烟气氧含量的测量精度产生影响,可以通过修正空/燃比加以补偿<sup>[1]</sup>。这样,天然气燃烧控制的任务可归结为:1)不仅在静态,而且在动态均应保持合理的空/燃比;2)根据烟气氧含量对空/燃比进行修正。

### 1 燃烧控制系统的工作原理

燃烧控制系统由以下3个部分组成:1)汽包压力-天然气流量串级调节系统<sup>[2]</sup>和空/燃比

收稿日期:1997-04-25

①刘之宽,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)63信箱,100083

调节系统,这是燃烧控制系统的主要部分;2)天然气流量和空气流量交叉限幅回路,作用是当负荷扰动时保证空/燃比的精度;3)根据烟气氧含量对空/燃比加以修正的补偿单元,可以提高控制精度。系统的工作原理如图1所示。有

$$B_4 > B_1 > 0 \quad (1)$$

### 1.1 基本调节回路

燃烧控制系统采用EC320系列双回路调节器<sup>[3]</sup>,它能提供6个外部参量的输入和2个控制变量的输出,具有功能选择型和可编程型2种控制功能,其中功能选择型能够选择多种参数类型或调节器类型,而可编程型可以对控制方案灵活编程组态。为了实现天然气锅炉的最佳燃烧方案,采用了功能选择型控制功能,即以锅炉汽包压力为主参数、以天然气流量为副参数构成的串级调节器为第1调节回路,以天然气流量和空气流量的比值调节构成的远程设定PID调节器为第2调节回路。

### 1.2 双交叉限幅控制的工作过程

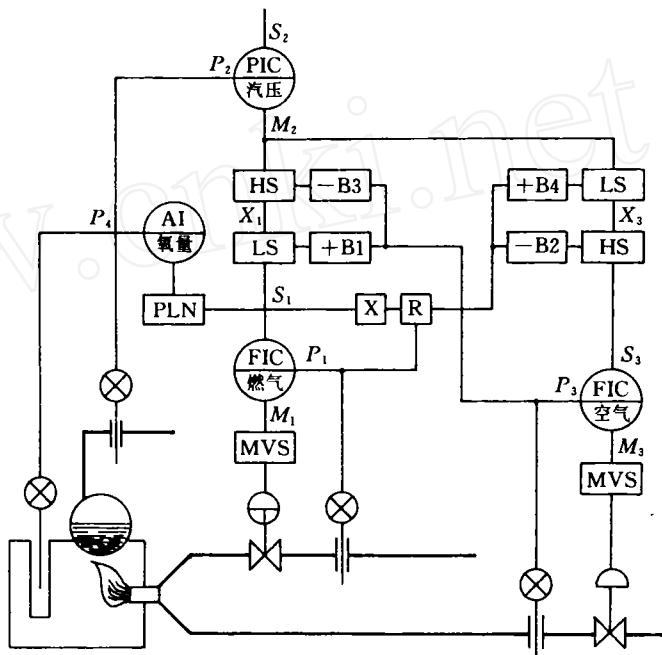
当负荷扰动时,为了保证一定精度的空/燃比,引入了双交叉限幅控制。其基本思想是:当负荷增大时,空气量的增加应当超前于天然气量的增加,或者说空气流量的增加应当大于天然气流量的增加;当负荷减小时,空气量的减少应当滞后于天然气量的减少,即空气流量的减少应当小于天然气流量的减少。上述工作状态也应当受到限制,否则空气剩余量会过多,同样不能保证正确的空/燃比;所以要根据空气流量的测量值通过高低值选择器对天然气流量上下限幅,根据天然气流量的测量值通过高低值选择器对空气流量上下限幅。

在燃料空气配比平衡的稳定状态下,有  $P_1(1) = S_1(1)$ ,  $P_3(1) = S_3(1)$ 和

$$P_1(1) = P_3(1) \quad (2)$$

式中:  $P_1(1)$ ,  $S_1(1)$  分别为稳定状态下天然气流量的测量值和设定值;  $P_3(1)$ ,  $S_3(1)$  分别为稳定状态下空气流量的测量值和设定值。

负荷增加时天然气流量和空气流量限幅增加。当用汽量增加时,汽包压力降低,汽包压力调节器输出  $M_2$  增大,由于低值选择器和偏置  $B_4$  限制,使得空气流量只能按偏置  $B_4$  增大。因



$S_1, S_2, S_3$ —天然气流量、主蒸汽压力和空气流量的设定值;  $P_1, P_2, P_3, P_4$ —天然气流量、主蒸汽流量、空气流量测量值和烟气氧含量的测量值;  $M_1, M_2, M_3$ —天然气流量调节器、主蒸汽压力和空气流量调节器的输出值。HS—高值选择器, LS—低值选择器, MVS—输出处理器, PLN—多项式行列列表, R—空/燃比系数器, X—乘法运算器。  $B_1(B1) \sim B_4(B4)$ —交叉限幅偏置系数(器)

图1 燃烧控制原理图

为  $X_3=L\{M_3,[P_1(1)+B_4]\}=P_1(1)+B_4, S_3(2)=H\{[P_1(1)-B_2],X_3\}, S_3(2)=P_1(1)+B_4$ , 所以在达到新的平衡时

$$P_3(2)=S_3(2)=P_1(1)+B_4 \quad (3)$$

式中  $P_3(2), S_3(2)$  分别为空气先行状态下空气流量的测量值和设定值。

同样由于低值选择器和偏置  $B_1$  的限制,使得天然气流量只能按偏置  $B_1$  增大。因为  $X_1=H\{M_3,[P_3,(P_3-B_3)]\}=M_3, S_1(2)=L\{X_1,[P_3(1)+B_1]\}, S_1(2)=P_3(1)+B_1$ , 所以在达到新的平衡时

$$P_1(2)=S_1(2)=P_3(1)+B_1 \quad (4)$$

式中  $P_1(2), S_1(2)$  分别为空气先行状态下天然气流量的测量值和设定值。

根据式(1)有  $P_3(2)>P_1(2)$ , 即空气流量大于燃料流量, 因此实现了升温时空气先行, 天然气后行, 避免了因空气不足而造成的天然气不完全燃烧。

由式(3)和式(2)有  $\Delta P_3(2)=P_3(2)-P_3(1)=B_4$ ; 由式(4)和式(2)有  $\Delta P_1(2)=P_1(2)-P_1(1)=B_1$ 。由于空气流量和天然气流量的改变, 使得空气流量调节器和天然气流量调节器产生新的设定值, 即

$$\begin{aligned} S_3(3) &= P_1(2) + B_4 \\ P_3(3) &= S_3(3) = P_1(2) + B_4 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} S_1(3) &= P_3(2) + B_1 \\ P_1(3) &= S_1(3) = P_3(2) + B_1 \end{aligned} \quad (6)$$

由式(5), (3), (4)和式(2)有  $\Delta P_3(3)=P_3(3)-P_3(2)=[P_1(2)+B_4]-[P_1(1)+B_4]=\{[P_3(1)+B_1]+B_4\}-[P_1(1)+B_4]=B_1$ ; 由式(6), (4), (3)和(2)有  $\Delta P_1(3)=P_1(3)-P_1(2)=[P_3(2)+B_1]-[P_3(1)+B_1]=\{[P_1(1)+B_4]+B_1\}-[P_3(1)+B_1]+B_4$ 。

根据式(1)有  $\Delta P_1(3)>\Delta P_3(3)$ , 即在空气先行之后, 燃料流量增加较大的变化量  $B_4$ , 而空气流量只增加了较小的变化量  $B_1$ , 以保证空气剩余量不过大。

综上所述, 燃料流量和空气流量交替以  $B_4$  和  $B_1$  增加, 直到燃料流量调节器和空气流量调节器的设定值都等于汽包压力调节器的输出值, 达到新的稳定状态。在负荷增加时, 燃料流量和空气流量交叉限幅增大, 使空气剩余量不致于过小或过大, 从而保证了一定的空/燃比。

### 1.3 空/燃比修正系数多项式行列表

测量误差及漏风也会对烟气中氧的体积分数  $\varphi(O_2)$  产生影响, 但可以修正空/燃比加以补偿, 以维持  $\varphi(O_2)$  值的稳定。修正的原则是: 当  $\varphi(O_2)$  为正常值时, 不修正空/燃比; 当  $\varphi(O_2)$  高于正常值时, 减小空/燃比; 当  $\varphi(O_2)$  低于正常值时, 增大空/燃比。  $\varphi(O_2)$  与空/燃比修正系数的关系如表 1 所示。

表 1  $\varphi(O_2)$  与空/燃比修正系数的关系

$\varphi(O_2)/\%$	0	2.0	4.0	4.5	5.0	7.0	10.0
空/燃比修正系数	1.20	1.15	1.10	1.00	0.95	0.90	0.85

## 2 控制参数计算

### 2.1 交叉限幅值

按照工艺要求, 烟气氧含量正常值  $\varphi(O_2)_N=4.5\%$ , 烟气氧含量下限允许值  $\varphi(O_2)_L=$

3.5%, 烟气氧含量上限允许值  $\varphi(\text{O}_2)_\text{H} = 6\%$ 。上述各工况耗氧量为:  $A_\text{N} = 20.6\% - 4.5\% = 16.1\%$ ,  $A_\text{L} = 20.6\% - 3.5\% = 17.1\%$ ,  $A_\text{H} = 20.6\% - 6\% = 14.6\%$ 。以正常值为参比量, 上下限空气过剩系数相对值分别为:  $B_\text{L} = A_\text{L}/A_\text{N} = 17.1/16.1 = 1.06$ ,  $B_\text{H} = A_\text{H}/A_\text{N} = 14.6/16.1 = 0.91$ 。因为  $B_\text{L} = (100 + \Delta B_\text{L})/100$ ,  $B_\text{H} = (100 + \Delta B_\text{H})/100$ ; 所以空气过剩系数超调量为  $\Delta B_\text{L} = +6$ ,  $\Delta B_\text{H} = -9$ ,  $B_1 = |\Delta B_\text{L}| = 6$ ,  $B_2 = |\Delta B_\text{H}| = 9$ 。同理,  $B_3 = 6$ ,  $B_4 = 9$ 。

## 2.2 空/燃比

天然气的主要成分是  $\text{CH}_4$ , 其他可燃气体是  $\text{C}_2\text{H}_6$  等, 不可燃气体主要是  $\text{N}_2$ 。其体积分数分别为:  $\varphi(\text{CH}_4) = 84.5\%$ ,  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6 \text{ 等}) = 6.9\%$ ,  $\varphi(\text{N}_2) = 8.6\%$ 。天然气密度为  $0.837 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。根据天然气燃烧化学方程式算得空/燃比为 12。

空/燃比值和交叉限幅偏值系数及参数以表格形式设置, 供系统调用。

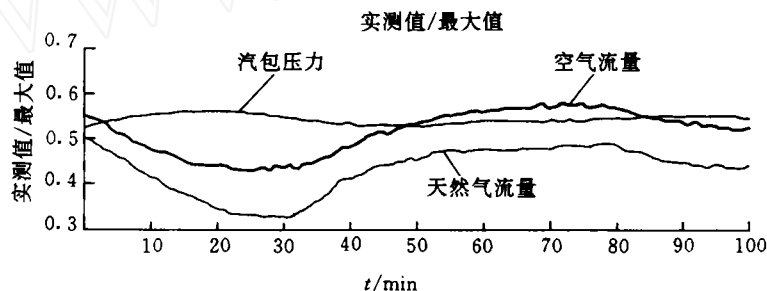


图2 负荷扰动时锅炉的工作曲线

## 3 控制效果

本燃烧控制方案自 1994 年 5 月用于化工部泸州火炬化工厂  $35 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  天然气锅炉以来, 使该锅炉工作稳定, 节能效果显著(参见图 2)。经四川省泸州市能源检测中心测试, 每 t 蒸汽的天然气耗量由原来的  $93 \text{ m}^3$  下降到  $89 \text{ m}^3$ 。以常用负荷  $30 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  计算, 每年可节约天然气  $100 \text{ 万 m}^3$  以上。

## 4 结束语

对于天然气锅炉, 在汽包压力-天然气流量串级调节系统和空/燃比值调节系统的基础上引入天然气流量和空气流量交叉限幅, 并且根据烟气氧含量对空/燃比加以修正, 是降低能耗、减少环境污染的有效方法。随着氧化锆测氧设备性能的完善和可靠性的提高, 把烟气氧含量作为被调量构成闭环, 必将获得更好的控制效果。

## 参 考 文 献

- 1 孙秀权, 唐 健, 于秀银. 锅炉和工业炉窑实用计算机控制技术. 北京: 国防工业出版社, 1993. 312~319
- 2 刘之宽. 仿人智能调节器控制过热蒸汽研究. 中国仪器仪表, 1994(5): 8~10
- 3 刘之宽. EC320 调节器实现锅炉汽包水位调节. 中国仪器仪表, 1994(4): 8~9