

# 四角燃烧煤粉锅炉稳燃技术的分析与应用

(华中理工大学煤燃烧国家重点实验室) 丘纪华 陈刚 李佛金 孙学信

[摘要] 针对煤粉锅炉燃烧的稳定特性,从稳燃型煤粉燃烧器、煤粉浓淡燃烧、二次风对一次风着火的影响以及炉内实际切圆等四个方面提出了稳定煤粉燃烧的措施,并介绍了这些措施在670 t/h、420 t/h和220 t/h锅炉上应用的结果。

关键词: 锅炉; 燃烧; 稳定性; 煤粉

中图分类号: TK224.11

## 1 概述

电站锅炉的稳定燃烧是保证电力安全正常生产的重要因素之一。然而,目前国内电站锅炉燃用的煤种总是在一定范围内波动,燃煤的挥发分和热质的变化幅度都较大,容易导致锅炉的燃烧不稳定或结焦,也使锅炉的调峰范围变窄。

影响锅炉燃烧稳定的因素较多也较复杂。对于电站锅炉的稳定燃烧,除了尽量保证燃煤的发热量、挥发分和细度外,重要的是选用较强稳燃能力的燃烧器,以及合理的一、二次风配比。炉内气流的实际切圆大小对燃烧的稳定也有一定影响。

## 2 促进锅炉稳定燃烧的方法

促进锅炉燃烧稳定可从几个方面入手。采用先进的燃烧器是目前较为普遍的方法,它利用燃烧器的结构造成一次风煤粉气流的特殊分布,以利用煤粉的着火燃烧;其次是对一、二次风的混合进行控制,使之有利于煤粉的着火和稳燃;另外,通过调整炉内空气动力场的切圆大小可起到对炉内燃烧的稳定作用。

### 2.1 稳燃型煤粉燃烧器

稳燃型煤粉燃烧器是保证锅炉稳定

燃烧的重要措施。目前国内使用的稳燃型煤粉燃烧器种类较多,从其原理上分析,概括起来主要采用两种方式对煤粉进行了稳燃,即烟气回流加热方式和浓淡燃烧方式,或是两种方式同时采用。

一次风煤粉着火的热量主要来自炉内烟气的对流和火焰的辐射。烟气对流传给煤粉的热量约占80%以上。对于四角切圆燃烧锅炉,烟气回流最初是在钝体燃烧器上应用,后又发展了船体燃烧器、大速差燃烧器、稳燃腔燃烧器等等,目前稳燃腔煤粉燃烧器和双回流稳燃罩煤粉燃烧器的烟气回流量可达一次风量的20%~28%。它利用钝体产生回流区或射流将炉内烟气抽吸到燃烧器出口或附近(见图1),这部分具有较高温度的烟气提前与一次风煤粉混合,使得煤粉加热较快,易于着火。

提高煤粉的浓度,也可增强燃烧的稳定,即浓淡燃烧方式。研究结果表明(见图2),随着一次风煤粉浓度的提高,燃烧初期释放出的挥发分相对增

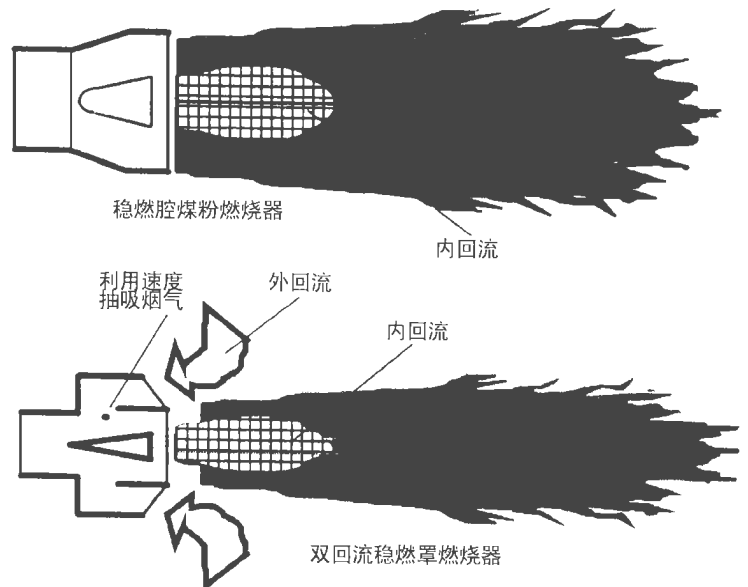


图1 烟气回流式煤粉燃烧器

加,有利于其着火和火焰传播;而一次风量的减少,又减少了煤粉气流所需的着火热,煤粉气流温度升高得更快。因此,使煤粉的着火提前,燃烧稳定。目前煤粉的浓淡燃烧有两种形式,一种形式为将浓缩的煤粉和淡化的煤粉分别用不同的管道送入炉膛,获得浓淡燃烧。另一种形式为在同一煤粉管内,利用分离装置来进行煤粉的浓淡分离,使煤粉由喷口喷出入炉膛时,在喷口的一侧煤粉浓度较高,而在另一侧煤粉浓度较低,达到煤粉的浓淡燃烧。

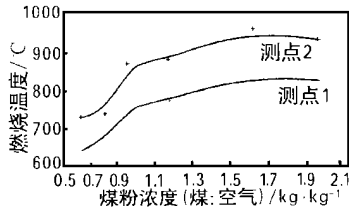


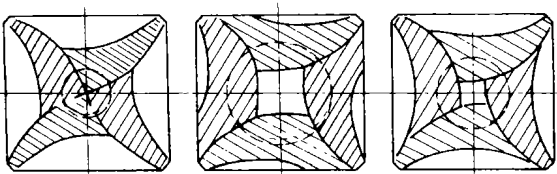
图2 着火过程中同一测点上煤粉浓度与燃烧温度的关系

近年来国内研制的新型煤粉燃烧器多是将烟气回流与煤粉浓淡燃烧相结合,例如华中理工大学研制的稳燃腔燃烧器、清华大学研制的双通道煤粉燃烧器和哈尔滨工业大学研制的水平浓淡燃烧器等,这些燃烧器在电站锅炉的实际应用中获得了较好的效果。

## 2.2 二次风加入对煤粉燃烧稳定的影响

二次风对煤粉的稳燃有非常明显的影响,特别是煤质较差或低负荷运行时。大量的二次风与一次风过早混合不利于煤粉的着火和稳燃。当煤质较差时,最下一层一次风喷口的上下二次风量不应太大,最下一层的二次风风速保持在 30 m/s 左右能托住煤粉就可以。上下二次风喷口与一次风喷口的间距约 300~500 mm 为宜,这样能保证二次风在一次风稳定着火之后混入,促进焦炭的燃烧,而大量的二次风应在煤粉稳燃之后混合到火焰中去,确保煤粉燃尽。

## 2.3 炉内实际切圆大小对煤粉着火和燃烧稳定的影响



(a) 实际切圆偏小 (b) 实际切圆偏大 (c) 实际切圆大小适中

图3 炉内实际切圆大小对煤粉气流着火和燃烧稳定的影响

四角切圆燃烧锅炉煤粉的着火特点是利用上游邻角火焰点燃下游煤粉气流,故实际切圆的大小对煤粉的点燃有较大影响。从图3可见,当切圆较小

时(图3-a),上游邻角火焰在炉膛较中心的地方与下游一次风煤粉汇合,使煤粉着火较晚,容易使燃烧不稳定。当切圆太大时(图3-b),上游邻角火焰在煤粉气流的根部(进入炉膛的初期)进行点燃,但此时容易引起水冷壁或燃烧器周围结焦。而当切圆大小适中时(图3-c),上游邻角火焰在煤粉气流的根部进行点燃,使煤粉着火和燃烧稳定,且又不会导致炉内结焦。一些锅炉由于燃烧器安装或喷口检修更换后,其假想切圆与设计值偏差较大,致使炉内实际切圆变化或燃烧中心偏移,影响了炉内燃烧的稳定性。

## 3 应用介绍(670 t/h、420 t/h 和 220 t/h 锅炉上应用情况)

将上述对稳燃起关键作用的要点应用到国内一些电厂的 670 t/h、420 t/h 和 220 t/h 等锅炉中。例如在对韶关电厂 200 MW 机组 670 t/h 锅炉的燃烧器改造中,将最下两层一次风加装稳燃腔煤粉燃烧器,并施行水平浓淡燃烧,向火侧为浓相,背火侧为稀相,煤粉浓、淡相的比例为 0.6:0.4,燃烧器假想切圆由  $\Phi=800$  mm 改为  $\Phi=630$  mm 卫燃带面积减少 10%,低负荷时将最下层二次风的送风量减少,从而解决了该炉烧好煤严重结焦、掉焦灭火,烧差煤燃烧不稳定需投油助燃的问题。当燃用  $V^f=10.81\%$ ,  $Q_w=16808$  kJ/kg 的劣质无烟煤时,锅炉负荷在 55% 仍无需投油稳定燃烧(改前在 80% 负荷时就需投油助燃),锅炉效率为 90.53%,较该炉的设计值 89.31% 还高。

万方电厂 420 t/h 锅炉燃用无烟煤,在对该炉的燃烧器改造中,将原来的启转二次风的角度改为与一次风一致(原启转二次风与一次风的夹角为  $25^\circ$ ),下两层一次风改为集中布置,安装稳燃腔煤粉燃烧器,并施行向火侧为浓、背火侧为稀的水平浓淡燃烧,上层一次风改为下浓上淡燃烧,对二次风进行了重新分配,减少燃烧器下层的二次风量。改造后的运行结果表明,锅炉负荷可在 50% 时无助燃油稳定燃烧,并解决了该炉严重结焦的问题,飞灰可燃物也有明显下降。

对海口电厂 220 t/h 锅炉和东风汽车公司自备电厂 220 t/h 锅炉燃烧器改造中,由于锅炉燃用烟煤,仅在最下层一次风喷口安装稳燃腔燃烧器,便可使锅炉在低于 50% 负荷时稳定燃烧而不用助燃油,锅炉热效率也相应提高 1%~2%。对韶关电厂 220 t/h 无烟煤锅炉、连云港碱厂 130 t/h 贫煤锅炉改造中,一

(下转第 299 页)

图 5 表示各气体组分  $O_2$ 、 $C_2O$ 、 $CO$  和  $H_2O$  沿炉膛高度的变化。计算中一次风与二次风比例为 75/25 (%)。二次风位置在 1.2 m 处。由图可见各气体组分沿炉膛高度下降, 较高的  $O_2$  浓度和较低的  $CO_2$  浓度表明炉膛稀相区燃烧强度低于密相区。

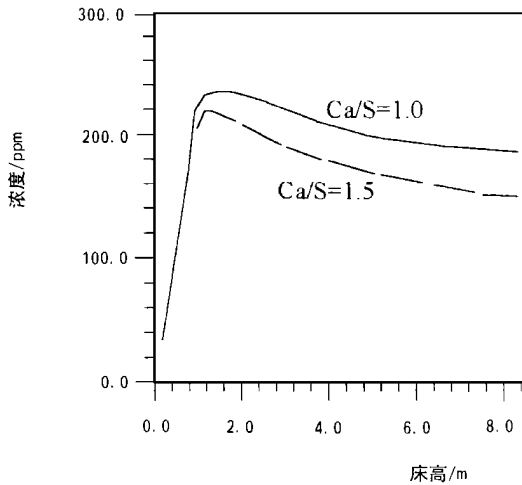


图 6 Ca/S 模尔比对  $SO_2$  分布的影响

图 6 表示 Ca/S 模尔比对  $S_2O$  浓度分布的影响。计算中石灰石平均粒径为 150 微米。正如大量实验和模拟计算所表示的  $S_2O$  排放量随着 Ca/S 模尔比增大而较低。模拟预测的趋势是合理的。

#### 主要符号

A= 面积;	p= 压力;
C= 浓度, 比热;	R= 总反应率;
d= 颗粒粒径;	T= 温度;
H= 发热值;	U= 速度;
h= 传热系数;	V= 体积;
m= 颗粒质量;	Z= 高度

(上接 277 页)

次风除了加装稳燃腔燃烧熔外, 还实施了煤粉水平浓淡燃烧技术和假想切圆调整, 解决了这些锅炉燃烧稳定、满负荷出力和消除严重结焦等问题。

## 4 结论

在对锅炉燃烧器的改造过程中, 我们主要采取了以下措施: a) 将一次风喷口改为稳燃腔煤粉燃烧器, 利用高温烟气回流区增强燃烧器对煤粉稳燃的能力; b) 在稳燃腔煤粉燃烧器入口前装置煤粉浓淡分离器, 对煤粉进行浓淡分离, 向火面为浓相, 有利于煤粉的着火和燃烧, 背火面为稀相, 可减轻对水冷壁的磨损和高温腐蚀; c) 调整二次风

希腊

$\epsilon$ = 空隙率;  
 $\rho$ = 密度;  
 $\alpha$ = 放热系数

下脚标

f= 煤颗粒;  
g= 气体;  
mf= 最小流化;  
s= 惰性颗粒;  
w= 壁面

## 参考文献

- [1] Hyppanen T, Lee Y Y & Rainio A. A three dimensional model for circulating fluidized bed combustion. *Circulating Fluidized Bed Technology III* 1990, 563 ~ 568.
- [2] Johnson F & Leckner B. Vertical distribution of solids in a CFB furnace. 13th Int. Conf. On FBC, Orlando, USA 1993.
- [3] Kumi D & Levenspiel O. Entrainment of solids from fluidized beds. *Powder Technol.* 1990, 61: 193 ~ 206.
- [4] Leckner B, Golriz M R, Zhang W, Andersson B A & Johnson F. Boundary layers—first measurements in the 12 MW CFB research plant at Chalmers University. *Proc. 11th Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion*, ASME, 1991: 771 ~ 776.
- [5] Lu Huilin, Zhao Guobuo, Bie Ruoshan, Yang Lidian. Numerical computation of a circulating fluidized bed combustor. *Intern. J. of Energy Research*, accepted, 1998.
- [6] Montat D & Dimaggio T. 1D two phase description of the thermal hydraulic behaviour of the furnace of E. Huchet 125 MW CFB boiler. *5th Int. Conf. CFB*, Beijing, China 1995.
- [7] Saraiva P C, Azevedo J L T & Garvalho M G. Mathematical simulation of a circulating fluidized bed combustor. *Combust. Sci. and Tech.* 1993, 93: 223 ~ 243.
- [8] Weib V, Fett F N, Helmrich H & Janssen K. Mathematical modeling of circulating fluidized bed reactors by reference to a solids decomposition reaction and coal combustion. *Chem. Eng. Process*, 1987, 22: 79 ~ 90.
- [9] Werther J & Wein J. Expansion behavior of gas fluidized beds in the turbulent regime. *AIChE Symp.*, 1994, 90: 31 ~ 49.

(静 编)

喷口与一次风喷口的间距和二次风风量, 减轻二次风对一次风着火的不利影响; d) 调整燃烧器角度或切圆, 使得炉内气流流动良好, 炉内火焰充满度好。应用结果表明, 采取了这些措施后, 炉内的燃烧明显得到了稳定和强化, 锅炉负荷在 50% 左右时仍能稳定燃烧, 不需投油助燃, 炉内的燃烧充满度好, 燃烧充分完全, 无严重结焦, 锅炉的燃烧效率也有所提高, 从而减少锅炉的灭火事故和低负荷助燃油, 较大地提高锅炉的安全性及经济性。

## 参考文献

- [1] 丘纪华, 陈刚, 李佛金等. 双回流燃烧器实验研究与应用. *热能动力工程*, 1996, 11 (4): 213 ~ 216.
- [2] 曾汉才. 劣质煤燃烧与利用. 武汉: 华中理工大学出版社, 1988: 78 ~ 81.

(复 编)

Electric Power Testing Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

Through the experimental research of main operating parameters of a dual air-register burner boiler, which have an effect on combustion, the authors have identified the variation relationship between boiler economic performance and such factors as oxygen content, primary air flow rate, various damper openness of the burners, and coal pulverizer feed rate, etc. The optimized selection of the above-cited parameters results in a significant enhancement of the boiler operating efficiency. The test results can serve as practical reference data for analogous boilers. **Key words:** dual air-register burner, combustion parameters, optimization, economic performance

四角燃烧煤粉锅炉稳燃技术的分析与应用 = **Analysis and Application of Stable Combustion Technology of a Tangentially Fired Pulverized-Coal Boiler** [刊, 中] / Qiu Jihua, Chen Gang, et al (National Key Laboratory of Coal Combustion under the Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

With respect to the combustion stability features of pulverized coal-fired boilers a variety of measures are proposed to achieve the stable combustion of pulverized coal. Categorized into four aspects, such measures are based on a pulverized coal burner of stable combustion type, dense-sparse pulverized coal combustion, proper consideration of the effect of secondary air on the primary air ignition, and a tangential circle formed in the boiler. The results of application of these measures on 670 t/h, 420 t/h and 220 t/h boilers are also presented in the paper. **Key words:** boiler, combustion, stability, pulverized coal

旋转机械故障诊断专家系统的设计和实现 = **The Design and Implementation of a Rotating Machine Failure Diagnosis Expert System** [刊, 中] / Yuan Yue (Yinhuada Co. under the North China Electric Power Scientific Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

On the basis of the research results of a failure diagnosis inverse problem a rotating machine failure diagnosis expert system has been designed by utilizing Visual C++ 5.0 programming environment. Expounded are the system design philosophy as well as the theory and technology for its implementation. Also presented are the system functions, specific features and some results of application. **Key words:** failure diagnosis, expert system, rotating machine

锅炉过热汽温的预测智能控制 = **The Prediction and Intelligent Control of a Boiler Superheated Steam Temperature** [刊, 中] / Liu He, Xu Yuxin, et al (North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

In the light of a great hysteresis and inertia specific to boilers presented in this paper is a new type of control method. Under this method a future process output is first predicted. Then, on the basis of existing deviations and predicted output change trends a corresponding control intensity can be selected by simulating the human control thought. When used on a superheated steam temperature control system the simulation results show that the control quality achieved is superior to that of a conventional control method. Furthermore, it also features a relatively high robustness. **Key words:** superheated steam temperature, forecast, intelligent control

循环流化床烟气脱硫的实验研究及其数学模型 = **Experimental Study of Circulating Fluidized Bed Flue Gas Desulfurization and its Mathematical Model** [刊, 中] / Wu Yinghai, Huang Zhen, Li Daji (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

The authors have set up a flue gas desulfurization test rig for a circulating fluidized bed. On the basis of increased moisture reaction mechanism established is a mathematical model for the circulating fluidized bed flue gas desulfurization. The calculated results of the model were compared with test ones. It is shown that the model can relatively well reflect the variation relationship between the desulfurization efficiency, water spray quantity and Ca/S ratio. **Key words:** circulating fluidized bed, flue gas desulfurization, mathematical model