

# 具有煤种和负荷自适应性的新型燃烧器的研究

(浙江大学热能工程研究所) 池作和 李凤瑞 周 昊 蒋 啸 雷 宇 岑可法

**摘 要:** 在分析了强化着火、低负荷稳燃和炉内结渣、喷口烧坏等问题之间的矛盾机理的基础上,提出了燃烧器的煤种和负荷自适应原理。对该型燃烧器进行了实验室和现场试验,取得了良好的应用结果。

**关键词:** 煤粉燃烧器; 低负荷稳燃; 结渣; 控制

中图分类号: T K223

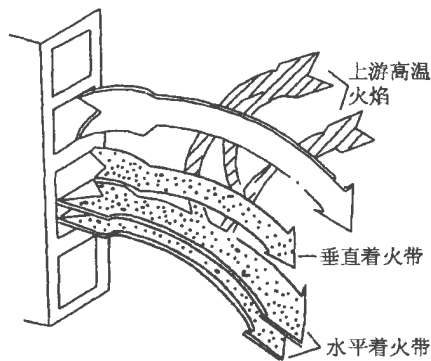
## 1 引言

为适应电站锅炉低负荷调峰的需要,近年来,国内有关高等院校及科研院所相继开发了一些新型煤粉燃烧器,它们在电站锅炉的稳燃节油、扩大煤种适用范围、减小锅炉启动次数等方面取得了程度不同的效果,为燃煤电厂的节能和安全运行创造了良好条件,产生了很大的经济效益和社会效益。但是,运行实践表明,虽然目前国内的一些新型燃烧器在低负荷时的稳燃性能很好,但当燃用易结渣煤种时,存在着高负荷易结渣和喷口烧坏问题。为此,本文在深入剖析开发新型燃烧器中存在的稳燃与结渣这一对矛盾的基础上,设计开发了既保证低负荷稳燃,又要求高负荷防结渣的新型煤粉燃烧器,并介绍了相应试验结果,这对我国电站锅炉开发、应用低负荷稳燃、高负荷防结渣技术,将是十分有益的。

## 2 新型燃烧器稳燃与结渣矛盾机理

目前国内开发的新型燃烧器,其稳燃机理大致可以分为三类:一类是常规的一次风粉比(煤粉浓度不高)的情况下,依靠产生高温烟气回流实现煤粉气流的着火和稳燃,这种方法一般称之为热回流法。第

二类是煤粉浓缩法,这类方法的基础是通过喷口前的浓缩结构,把一次风粉气流分成浓淡两股,获得高浓度的煤粉气流,利用高浓度煤粉具有着火温度低,火焰传播速度快,着火距离短等优点改善和稳定着火。第三类为将热回流和煤粉浓缩有机结合,从而达到深度低负荷(40%~50%)不投油稳燃的目的。我们研制的撞击式煤粉浓缩燃烧技术,由撞击式左右浓淡分流器和出口稳燃器组成,在容量为 65~670 t/h 的二十多台锅炉上应用,所烧煤质包括贫煤、劣质烟煤、烟煤和褐煤,均取得很好的低负荷稳燃效果。这种稳燃方式的原理为:通过水平方向煤粉浓淡分流及导向装置,在向火面的垂直方向产生煤粉浓集层,同时通过水平放置的 V 型稳燃器,产生水平方向的煤粉浓集层,由于垂直煤粉浓集层受到上游火焰的强对流加热,而水平煤粉浓集层与回流区高温烟气强湍流换热,呈立体交叉分布的多方位煤粉浓集层被很快加热而着火(见图 1)。这样,相对集中



的一个着火区,就变成互相引燃、互相支撑的多个着火面,从而达到很好的稳燃效果。

在所有这三类燃烧技术

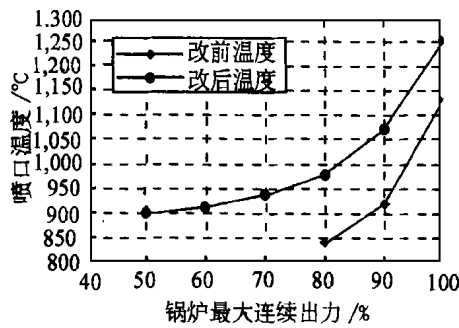
图 1 稳燃原理图

中,在低负荷状态下,由于回流、浓缩或两者的结合,喷口附近一般维持较高的温度,以确保稳燃;当锅炉高负荷运行时,随着煤粉浓度及炉温的自然提高,燃烧强度也相应增大,使喷口出口附近温度过高,有时造成锅炉“烧得过好了”的现象。图 2 是某台 220 t/h 切向燃

收稿日期: 1998-07-06; 修订日期: 1998-09-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59506007)

作者简介: 池作和 (1963-), 男, 浙江金华人, 浙江大学热能工程研究所, 室主任, 副教授, 通讯处: 310027 杭州



烧锅炉, 燃用烟煤, 采用新型煤粉浓淡燃烧器  
改前 改后  
喷口 (离喷口 400 mm)  
温度随负荷变化曲线

图 2 喷口温度随负荷变化曲线

由图可见, 改前该炉负荷最多仅能降到满负荷的 80%, 且喷口前温度较低, 燃烧不稳。采用新型煤粉浓淡燃烧器后, 喷口前温度可在 50% 负荷时仍保持在 900°C 以上, 以确保稳燃。随着负荷的提高, 喷口前温度迅速增大, 在满负荷时可达 1250°C 以上。此时, 炉内大部分燃烧的煤粉颗粒将处于熔融状态, 且煤粉火炬由于强烈的热膨胀, 与背火侧炉墙夹角将变小及炉内切圆直径变大, 使熔融的煤粉颗粒贴壁刷墙的趋势增强, 严重的可导致喷口烧坏或喷口背火侧大量结渣。这种现象在燃用挥发份较高的易结渣煤种时尤为突出。

### 3 新型煤粉燃烧器的设计原理

一般来说, 影响结渣的因素比较复杂, 除煤种外, 炉型、炉膛配风、燃烧器形式与布置都对结渣有着重要的影响。但从结渣机理上分析, 结渣主要是炉内温度很高的熔融颗粒贴壁刷墙造成的, 因此防结渣应着眼于使煤粉颗粒成为熔融状态的因素和促使这些颗粒迁移到壁面的因素。为解决新型煤粉燃烧器稳燃与结渣的矛盾, 新型燃烧器应设计成具有在低负荷状态下, 在燃烧器喷口建立确保稳燃的高煤粉浓度区和回流区; 当负荷升高时, 应减弱高煤粉浓度和回流的作用, 使喷口温度维持在一个适当的水平, 以防止喷口附近温度升得过高而造成喷口烧坏或炉膛结渣, 并保持良好的空气动力场。目前, 国内有关科研单位已进行了大量的这方面的工作。图 3 是浙江大学在原有的可调节撞击式水平浓淡煤粉燃烧器的基础上, 设计开发的改进型自动可调水平浓淡煤粉燃烧器示意图。该燃烧器在靠近燃烧器喷口背火侧的煤粉管道的某一位置安装了可旋转撞击块, 一次风煤粉气流流过撞击块时, 由于惯性作用进行浓淡分离, 浓煤粉气流进入向火侧, 淡煤粉气流进入背火侧, 并通过隔板将浓淡分离气流输送到喷口。调整撞击块角度  $\alpha$  可有效地调整浓淡分离效果。在喷

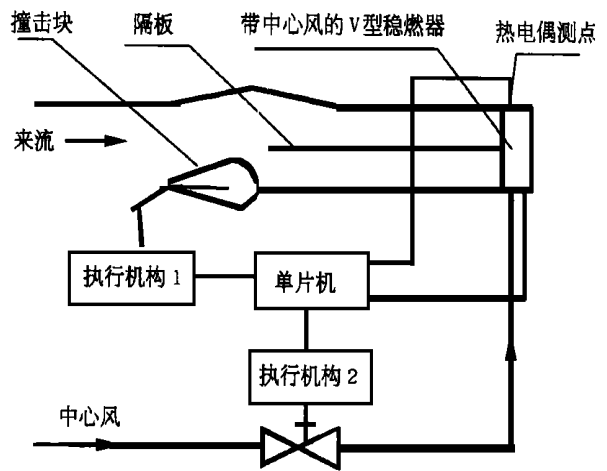


图 3 具有煤种和负荷自适应性的煤粉燃烧器原理图

口出口稳燃器中送入一股二次风或冷风, 用以破坏回流区。在燃烧器喷口的水平两侧加装有热电偶, 以便有效地监视喷口温度, 并将温度信息输入单片机, 单片机对输入信号进行判断, 根据判断结果控制执行机构动作, 调节中心风风门开度和撞击块角度  $\alpha$ 。若测量温度高于设定值, 首先打开中心风的阀门, 破坏回流区, 以降低喷口温度, 如果打开中心风后, 喷

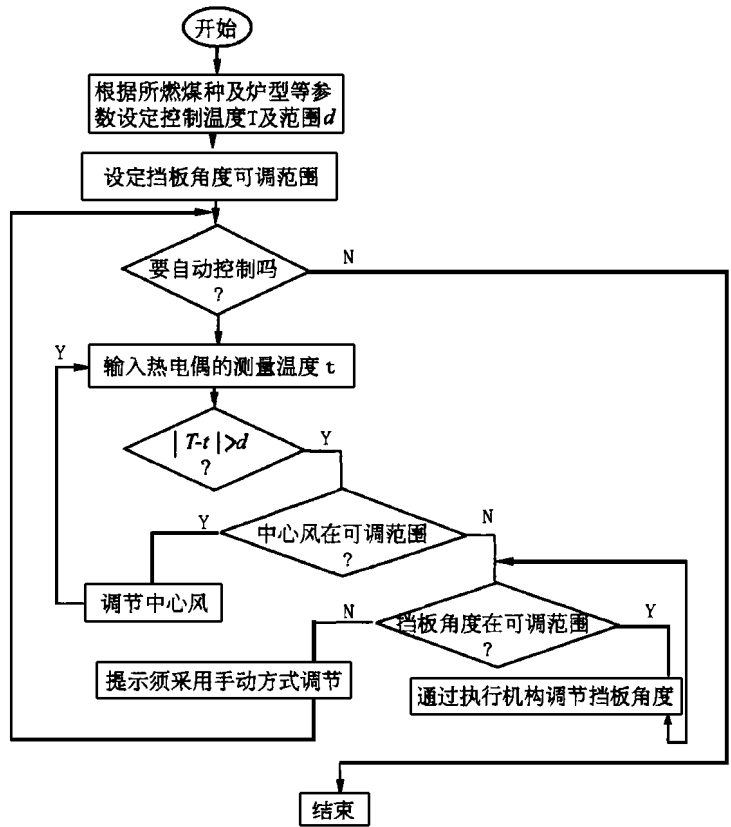


图 4 控制流程图

出口温度仍高,再减小撞击块角度 $\alpha$ ,减弱浓淡分离效果。若测量温度低于设定值,则执行反向操作。其控制流程如图4所示。

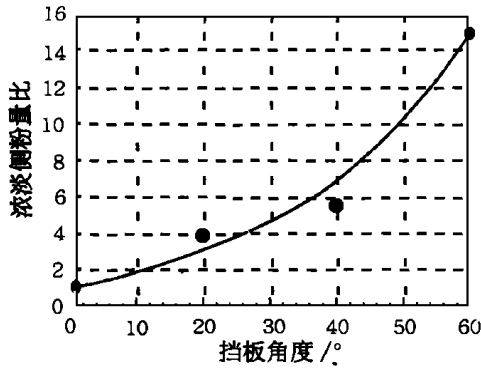


图5 浓淡分离效果随撞击块角度的变化关系

#### 4 试验结果分析

为考察撞击块分离器的分离效果,利用新型煤粉燃烧器开发试验

台,我们进行了如下试验: A. 浓淡分离效果随来流风速和浓度的变化规律; B. 浓淡分离效果随挡板角度的变化规律。 C. 中心风对回流区的破坏作用。

##### 4.1 浓淡分离效果随来流风速和浓度的变化规律

表1是浓淡分离效果随来流风速、煤粉浓度的变化规律。试验结果表明: A. 撞击块分离器具有很高的分离效率; B. 分离装置的分离效果随速度的增大而变好,速度增大,颗粒的惯性力增大,有利于颗粒的分离。 C. 分离装置的分离效果随浓度的增大而略有下降,颗粒的初始浓度对分离效果有一定的影响。表中下标 L代表来流, N代表浓侧, D代表淡侧

表1 撞击块分离器浓淡分离试验结果

	$V_L(m/s)$	$C_L(kg/kg)$	$V_N(m/s)$	$C_N(kg/kg)$	$V_D(m/s)$	$C_D(kg/kg)$	$C_N/C_D$
1	15.5	0.2515	15.9	0.428	15.3	0.075	5.7:1
2	20	0.216	21.2	0.374	19.1	0.058	6.5:1
3	24	0.2675	25.1	0.471	23.3	0.064	7.4:1
4	20	0.308	21.2	0.505	19.1	0.111	5.0:1

##### 4.2 浓淡分离效果随撞击块角度 $\alpha$ 变化的规律

浓淡分离效果随撞击块角度 $\alpha$ 变化的规律如图5所示,图中纵坐标为 $V_N C_N / V_D C_D$ 。由图可见,随着撞击块角度的增加,浓淡分离效果显著增加,即通过调节撞击块角度可有效调节浓淡分离效果;但是,另一方面,随着撞击块角度的增加,浓淡两侧的流场不均匀性增大,流动阻力损失增加,因此,其撞击块角度的调节应控制在一定范围内。

##### 4.3 中心风对燃烧器出口温度影响

为考察中心风对燃烧器出口温度的影响,对某台改造后的220 t/h的锅炉进行了实际测量。在保持负压、运行总风压、下排给粉机转速基本不变的情况下,有意识地开大11号和12号角的冷风门开度,

每隔半小时记录一次喷口壁面温度,试验结果见图6。从图中可以看到,压力冷风对壁面具有非常强的冷却效果,开不大的压力冷风可使喷口温度显著下降,压力冷风具有很强的保护喷口不被烧坏的作用。计算表明,喷口温度控制在 $700^{\circ}C$ 以下时,中心风量相当于燃料所需总风量的0.34%。

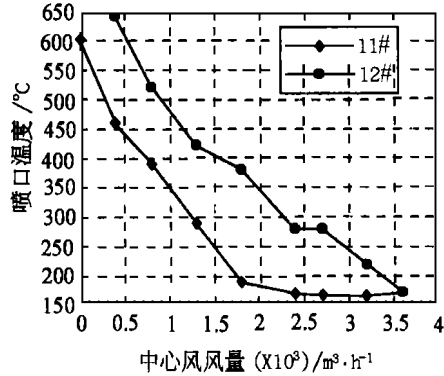


图6 11号12号喷口壁温测量结果

另外,实验室冷态模拟试验也证明,中心风对于稳燃器外的流场具有极大的影响,利用中心风来控制回流区大小,是一种既简单又方便的方法

#### 5 实际应用

本燃烧技术将热回流和煤粉浓淡有机结合,具有很好的低负荷稳燃效果。同时由于采用在稳燃器中加中心风破坏回流区,浓淡分流撞击块分流效果是可以调节的等技术措施,可以避免在高负荷时炉内结渣和喷口烧坏问题,较好地解决稳燃与结渣之间的矛盾。目前,本燃烧器已在8台200 MW锅炉上使用,均取得很好的使用效果。

#### 参考文献

- [1] 徐秀清等. 直流煤粉燃烧器的煤粉火焰稳定问题. 中国电力, 1997(10): 3-5.
- [2] 吴来生等. 吴泾热电厂1025t/h锅炉宽调节比四角同心反切燃烧器的运行实绩. 锅炉技术, 1992(10): 14-21.
- [3] 胡荫平等. 新型煤粉燃烧器. 西安交通大学出版社, 1994.
- [4] 夏建军. 大型电站同心切圆燃煤锅炉炉内燃烧过程的数值模拟和试验研究. 浙江大学硕士论文, 1996. 编号 X E139302.
- [5] 赵宗让等. 炉内流动过程数值模拟在煤粉射流逆向稳燃技术中的应用. 热力发电, 1997(6): 14-19.
- [6] 池作和. 燃用劣质煤锅炉低负荷稳燃防结渣及减轻炉膛出口烟温偏差的研究. 浙江大学博士论文, 1996. 编号 XB13-92/6.
- [7] 潘伟国. 管内气固多相流动、传热及检测的试验研究及数值模拟. 浙江大学博士学位论文, 1997. 编号 XB13-94/5.

(何静芳 编辑)

煤粉直接点火燃烧器技术及其进展 = **Directly Ignited Pulverized-Coal Burner Technology and Its Development** [刊,中] / Li Wenjiao, Yao Qiang, Zhou Junhu, et al (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 327~ 329

In improving the pulverized-coal burners of utility boilers the main focus of attention should be accorded to directly ignited pulverized-coal burners. Based on an integration of direct ignition techniques with combustion stabilization technology the authors have designed a directly ignited pulverized-coal burner. Such burners can be rationally classified into two types: directly ignited pulverized-coal burners without using any fuel oil and directly ignited pulverized-coal ones using only a small quantity of fuel oil. Presented in this paper are the current status of development of these two kinds of burners and their respective drawbacks. It is recommended that main efforts should now be directed to the improvement of directly ignited pulverized-coal burners using no fuel oil. The paper can offer some guidelines during the study of directly ignited pulverized-coal burners for utility boilers. **Key words** pulverized coal, boiler, directly ignited pulverized-coal burner

核态池沸腾中气泡生长和脱离的动力学特征——气泡的脱离直径与脱离频率 = **Dynamic Characteristics of Bubble Growth and Departure in Nucleate Boiling— Bubble Departure Diameter and Frequency** [刊,中] / Yang Chunxin, Wu Yuting, Yuan Xiugan (Beijing University of Astronautics and Aeronautics), Ma Chongfang (Beijing University of Industrial Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 330~ 333

On the basis of currently available study results this paper introduces a characteristic length scale and time scale to describe the dynamic growth and departure process of bubbles in nucleate boiling. A general correlation between bubble departure diameter and bubble growth time is thereby obtained. Through the use of heat transfer analogous method a general formula has been worked out to calculate the bubble departure diameter. The study results of the present paper are in full agreement with experimental ones provided by other researchers. **Key words** nucleate boiling, bubble, departure diameter, departure frequency

具有煤种和负荷自适应性的新型燃烧器的研究 = **The Study of a New Type of Burner with Self-Adaptation to Coal Sort and Load Changes** [刊,中] / Chi Zuohe, et al (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 334~ 336

Analyzed are the contradictory mechanisms existing among such factors as intensified ignition, stable combustion during low-load operation, boiler furnace slagging and nozzle burnout, etc. On this basis a self-adaptation principle of burners with respect to coal sort and boiler loads is proposed and some satisfactory application results have been obtained through lab and on-site tests of such boilers. **Key words** pulverized-coal burner, stable combustion at low loads, boiler furnace slagging, control

用饱和核态池沸腾换热机理模型预测加热壁面活化核心密度 = **Prediction of the Active Nucleation Density of Heated Wall Surfaces through the Use of a Model Incorporating the Mechanism of Saturated Nucleate Pool Boiling Heat Transfer** [刊,中] / Wu Yuting, Yang Chunxin, Yuan Xiugan, et al (Beijing University of Astronautics and Aeronautics) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1999, 14(5). - 337~ 339

Active nucleation density represents a major parameter in the nucleate boiling process. However, there lacks a unified method for its description. To avoid the difficulty involved in the direct measurement of the active nucleation density, the authors have proposed a prediction method with the help of a model featuring the mechanism of nucleate boiling heat transfer. The measured active nucleate size distribution curves of six types of surfaces are in good agreement with experimental results given by predecessors active in this area of research. This fully demonstrates the reliability of the above-cited model. **Key words** nucleate boiling, active nucleus, size distribution density, heat transfer model

单相螺旋管圈动态特性研究 = **A Study of the Dynamic Characteristics of Single-Phase Spiral Tube Coils**