

# 回流区分级着火旋流煤粉燃烧器的试验研制

(华中理工大学) 陈长栋 靳世平 艾元方 钱壬章  
(黄石发电厂) 窦洪华 杜文国 李少君 王文章

**[摘要]** 在分析回流区分级着火旋流煤粉燃烧器工作原理的基础上,进行了冷模实验研究,根据研究的结果对黄石发电厂 5号炉旋流煤粉燃烧器进行了改造.运行试验结果表明,这种新型燃烧器对低挥发份煤具有较好的稳燃性能.

**关键词** 旋流煤粉燃烧器 回流区分级着火 试验 研制

中图分类号 TK223.23

## 1 前言

黄石电厂 5号炉系哈尔滨锅炉厂生产的 1314-240/39型自然循环固态排渣煤粉炉,采用蜗壳式旋流燃烧器两侧墙对冲的悬浮燃烧方式,配有两套球磨机中贮式热风送粉制粉系统,其炉膛截面积  $a \times b = 9660 \text{ mm} \times 7500 \text{ mm}$  六只蜗壳煤粉主燃烧器分两层布置在标高 9200 mm 11 500 mm处,其中 1号和 2号为双蜗壳式,3号~ 6号为单蜗壳式,此外还有 7号和 8号炉前燃烧器(标高为 10 700 mm)和四只三次风喷嘴(标高为 13 533 mm),如图 1

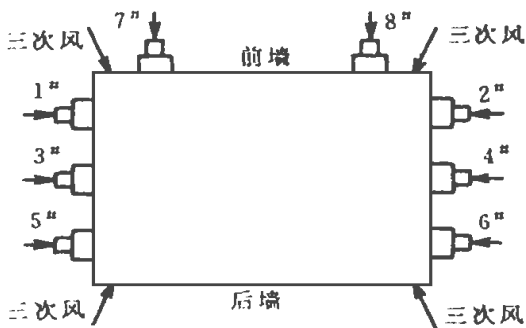


图 1 燃烧系统图

锅炉规范:

额定蒸发量	240 t/h
主蒸汽温度	450℃
主蒸汽压力	3.82 MPa
给水温度	172℃
热风温度	330℃
排烟温度	150℃

该炉实际燃用煤来源多,和设计的源华贫煤差别很大,致使在较高的负荷甚至满负荷下都需投油助燃.据不完全统计,1996年 1~ 10月间,该炉助燃用油高达 3800 t.本文介绍了由回流区分级着火稳燃机制发展而来的专利技术——回流区分级着火旋流燃烧器的工作原理、冷模实验及工业试验结果

## 2 回流区分级着火旋流燃烧器的工作原理分析

传统旋流燃烧器主要是通过旋流产生回流卷吸高温烟气加热煤粉

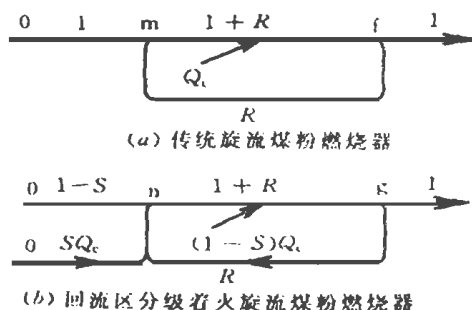


图 2 煤粉气流着火链环示意图

气流,升温至着火、燃烧;回流区分级着火旋流煤粉燃烧器则是在不破坏回流区的前提下适当地往回流区送入小股煤粉,该小股煤粉得益于回流区高温、低速、脉动大的优势提前着火,进而点燃主煤粉气流.煤粉气流着火链环如图 2,热质平衡计算是以 1 kg煤粉气流进行的,回流烟气与煤粉气流的质量流量比为  $R$ ,整个着火链环中的燃烧放热为  $Q_c$ ,送入回流区的煤粉份额为  $S$ ,并假定: (1) 系统是绝热的; (2) 煤粉气流的比热  $\approx$  燃烧产物的比热 =  $C_p$

对传统旋流煤粉燃烧器和回流区分级着火旋流着火旋流煤粉燃烧器,分别列出节点  $m$   $n$   $f$   $g$  的热平衡方程:

$$\text{节点 } m \quad T_0 C_p + R T_l C_p = (1 + R) T_m C_p \quad (1)$$

$$\text{节点 f} \quad (1+R)T_m C_p + Q_c = (1+R)T_f C_p \quad (2)$$

$$\text{节点 n} \quad T_0 C_p + R T_g C_p + S Q_c = (1+R)T_n C_p \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{节点 g} \quad & (1+R)T_n C_p + (1-S)Q_c \\ & = (1+R)T_g C_p \end{aligned} \quad (4)$$

分别联立式 (1) 和 (2)、(3) 和 (4), 消去  $T_f$ 、 $T_g$ , 则有

$$T_m = T_0 + \frac{Q_c}{C_p} \times \frac{R}{1+R} \quad (5)$$

$$T_n = T_0 + \frac{Q_c}{C_p} \times \frac{R}{1+R} \left(1 + \frac{S}{R}\right) \quad (6)$$

比较式 (5) 和 (6) 可知,  $T_n > T_m$ , 回流区分级着火旋流煤粉燃烧器正是适量将小股煤粉送入中心回流区提前着火, 合理组织了着火链环内煤粉的早期燃烧, 提高了煤粉气流的温度, 使煤粉气流着火稳定性增强。

### 3 回流区分级着火旋流煤粉燃烧器的特点

黄石电厂要求仅对 6 只主旋流煤粉燃烧器进行改造。根据两种蜗壳燃烧器的特点, 采用两种不同的结构从一次风煤粉气流中分出小股煤粉直接喷入回流区。对于双蜗壳燃烧器, 在一次风蜗壳前用挡板分出小股煤粉经中心管送入回流区, 其余没作改变。单蜗壳燃烧器则增设中心管, 小股煤粉直接用分流器分流, 经中心管送入中心回流区, 但扩流锥出口角没作改变。改造后的旋流煤粉燃烧器特性如表 1

表 1 燃烧器特性

	风率 (%)	风速 (m/s)	风温 (°C)
一次风	20	18	250
二次风	56.4	24	320
三次风	18	45	80

## 4 回流区分级着火旋流燃烧器的冷模实验研究

### 4.1 燃烧器模型

以黄石发电厂 5 号炉旋流煤粉燃烧器为对象, 在单相等

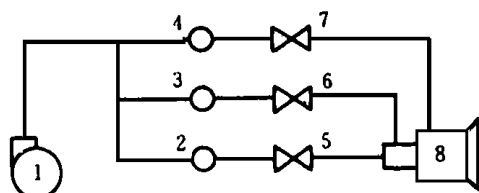


图 3 实验台架原理图

1 - 风机 2, 3, 4 - 动静态测点  
5, 6, 7 - 风门 8 - 旋流燃烧器模型

温的条件下对燃烧器出口区域空气动力场流动进行相似模化。实验台架如图 3, 实验中采用一种双 T 速管测量气流的轴向速度。

### 4.2 实验结果及分析

图 4 示出了回流区分级着火旋流燃烧器的实验结果。中心一次风 (直流风) 打开后, 燃烧器轴向动量增加, 总旋流强度下降。同时, 中心一次风正对中心回流区, 因此中心一次风对射流的结构有较大的影响。双蜗壳式、单蜗壳式旋流燃烧器都有类似的规

律, 中心回流区起始端吹离燃烧器端头一定距离, 并出现一正压区, 使起始端呈现马鞍型。

无中心风时, 虽然回流区的回流量较大, 但回流区长度较短; 适当打开中心风后, 回流区的回流量有所降低, 但回流区的长度却增加许多, 表明能从距喷口更远处造成更高温度的热烟气回流。随中心一次风量的进一步增加, 回流区将变成环状, 过大的中心一次风将穿透回流区。因此, 适量往中心回流区中送入

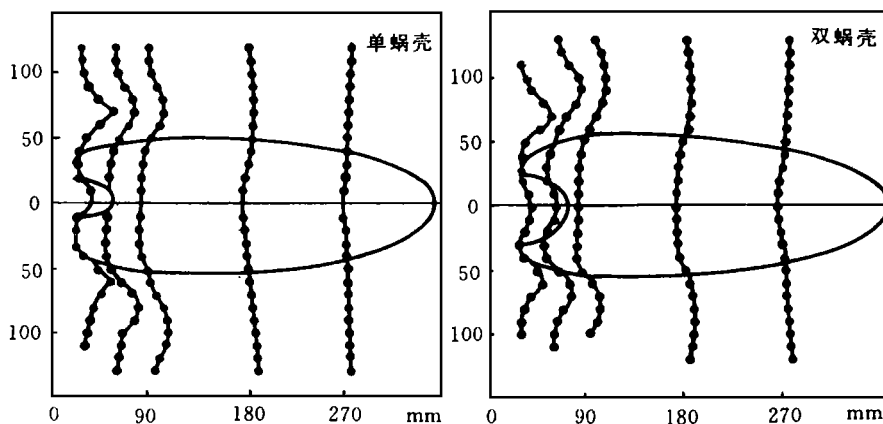


图 4 回流区分级着火旋流燃烧器的冷模实验结果

部分一次风不会破坏中心回流区。

中心一次风在刚离开喷口时还保持较高的速度,但很快衰减,一段距离后衰减到零。中心一次风在喷口出口处较高的速度可以使喷口得到冷却而避免烧坏,另一方面还可以在燃烧器出口处维持氧化性气氛有利于防止结渣。但中心一次风衰减很快,加上回流区速度低,使小股煤粉气流易于实现提前着火。

## 5 工业试验研究

为测试改造后的旋流煤粉燃烧器燃烧性能,进行了工业运行试验。降负荷试验都是在不改变运行主燃烧器数量的情况下,按该厂操作习惯进行(未改造的炉前燃烧器也参与运行,运行人员根据其经验操作调整)试验结果如表 2

表 2 各工况热态试验结果

项目名称	符号	单位	1	2	3	4
分析基挥发份	$V^f$	%	10.26	11.38	11.38	11.53
应用基水份	$W^y$	%	7.94	10.04	10.04	10.86
应用基灰份	$A^y$	%	45.96	35.11	35.11	33.73
应用基低位发热量	$Q_{hw}$	kJ/kg	14 000	17 707	17 707	17 753
锅炉负荷	$D_s$	t/h	216	223	178.6	177
主蒸汽温度	$t_{gr}$	°C	434	432	436	425
主蒸汽压力	$P_{gr}$	MPa	3.20	3.40	3.15	3.20
炉温: 甲前	$\theta_1$	°C	1 040	1 050	1 040	1 060
乙前			1 080	1 080	1 065	1 046
甲后			1 300	1 295	1 270	1 273
乙后			1 260	1 290	1 280	1 247

注: 工况 3 工况 4 分别降至 65.8% 和 66.0% 的额定负荷

从表中可看到:

5.1 燃用  $Q_{hw} = 14 000 \text{ kJ/kg}$   $V^f = 10.26\%$  左右的煤种在较高的负荷能够稳定燃烧,用光学高温计测得炉内四角墙温度均在  $1000^\circ\text{C}$  以上

5.2 燃用  $Q_{hw} = 17 707 \text{ kJ/kg}$   $V^f = 10.38\%$  的煤,锅炉能够在不改变主燃烧器运行数量的条件下降至  $158 \text{ t/h}$ (折算后),即在 65.8% 额定负荷下燃烧稳定,但由于受到电负荷的限制没有测出低负荷稳燃极限

5.3 炉前燃烧器(未改造)由于用乏气送粉,温度低,速度高,位置正好在两层主燃烧器之间,对炉内

燃烧影响较大。用光学高温计测得的炉内前墙温度比后墙温度要低近  $200^\circ\text{C}$ ,致使炉内平均温度下降,影响了稳燃效果。关小或关闭炉前燃烧器,将乏气全部作为三次风(合理地组织低挥发分贫煤的炉内燃烧过程),锅炉能够在更低的负荷下稳燃。

## 6 结论

(1) 在回流区分级着火稳燃机理基础上发展的回流区分级着火旋流煤粉燃烧器能够比传统旋流煤粉燃烧器更加提高煤粉气流的温度,使煤粉着火更加稳定

(2) 小股煤粉气流送入中心回流区不会破坏回流区的结构,中心风可使喷口受到冷却,不易烧坏,而且具有防结渣功能。

(3) 回流区分级着火旋流燃烧器具有良好的稳燃性能。在不改变主燃烧器的运行方式的条件下,燃用  $Q_{hw} = 17 707 \text{ kJ/kg}$   $V^f = 10.68\%$  的煤能在 65.8% ~ 100% 额定负荷下稳燃。燃用  $Q_{hw} = 14 000 \text{ kJ/kg}$   $V^f = 10.26\%$  的煤在较高的负荷也能燃烧稳定。

(4) 回流区分级着火旋流燃烧器结构简单,易于维护,用于改造传统旋流煤粉燃烧器工程量小,对于国内旋流燃烧器改造具有普遍意义。

## 参考文献

- 1 钱壬章等. 粉煤燃烧新概念——粉气分离. 工程热物理学报, 1991(3).
- 2 何佩整等. 煤粉燃烧器的设计与运行. 北京: 机械工业出版社, 1987.

作者简介 陈长栋,男,硕士。1991年 7月毕业于华北电力学院电厂热能动力工程专业,获学士学位。1991年 7月 ~ 1995年 8月主要从事电厂锅炉检修以及热力试验方面的技术管理工作。1998年在华中理工大学获得工学硕士学位。现在在华北电力设计院工作。近年来已在《热能动力工程》《中国电力》等刊物上发表论文 8篇。联系地址:北京市华北电力设计院(100011)

circular combustor. A basically same pulsation mechanism is involved in both cases. An acoustic analysis and test has shown that one-dimensional plane waves are propagated. Key words pulsating combustion, square-shaped model Rijke ZT pulsating combustor, square-shaped model Rijke ZT pulsating combustor, test

内循环流化床锅炉稀相区中试性实验研究 = The Pilot-plant Test Study of an Internal Circulation Fluidized Bed Boiler Rarefied-phase Region [刊, 中] /Wang Huaibin, Quan Wentao, Du Jun (Harbin Institute of Technology) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 336~339

A pilot-plant test study is conducted of a 1.4 MW internal circulating fluidized bed. Presented are the effect of a secondary air feeding rate on particle concentration and also a heat transfer experimental correlation. **Key words** fluidized bed, internal circulation, secondary air feeding rate, particle concentration, heat transfer factor

回流区分级着火旋流煤粉燃烧器的试验研究 = An Experimental Study of Recirculation Zone Staged-ignition Swirl-flow Pulverized Coal Burners [刊, 中] /Chen Changdong, Jin Shiping, Ai Yuanfang, et al //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 340~342

A cold-state model experimental study is conducted on the basis of an analysis of the working principle of recirculation zone staged-ignition swirl-flow pulverized coal burners. A modification of swirl-flow pulverized coal burners of No. 5 boiler installed at Huangshi Power Plant was undertaken based on the study results. The operational test results show that these novel burners exhibit relatively good stabilized combustion characteristics when burning low-volatile coals. **Key words** swirl-flow pulverized coal burner, recirculation zone staged-ignition, test, development

下降液膜受热流动与换热的实验研究 = An Experimental Study of Falling Liquid Film Heated Flow and Heat Exchange [刊, 中] /Shi Jinsheng, Shi Mingheng (Southeastern University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 343~344

An experimental study is conducted of flow and heat exchange characteristics of the film of a liquid falling from a vertical wall when the liquid film is being heated. The phenomenon of the film break-up was brought under observation. A fitting correlation for film break-up and heat exchange was obtained from the experimental results. **Key words** falling liquid film, break-up, heat exchange

一种新的热力循环性能的估算方法和 HAT 循环的性能估算方式 = A Method for the Evaluation of a New Thermodynamic Cycle Performance and a Formula for HAT Cycle Performance Evaluation [刊, 中] /Wang Yongqing, Yan Jialu (Harbin Institute of Technology), Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 345~347

Based on the fundamental principles of thermodynamics, the authors have come up with a new method for evaluating complicated thermodynamic cycle performance, i. e. a factor correction method. Furthermore, on this basis recommended is a formula for evaluating the performance of a humid air gas turbine cycle. **Key words** thermodynamic cycle, factor correction method, humid air gas turbine, HAT cycle, performance evaluation formula