

# 新型燃用无烟煤的 CUF 锅炉 冷态模化试验研究

章 旋 (苏州热工研究所)

徐通模 惠世恩 (西安交通大学)

〔摘要〕 为燃用低挥发份无烟煤而开发的新型 CUF 锅炉结合了四角切向燃烧和立式燃烧两种方式的各自优势。用冷态模化方法试验研究了 CUF 锅炉的特性。测量了炉内空气动力场及炉膛出口水平烟道速度分布。试验结果表明, CUF 锅炉在改善无烟煤着火, 稳燃和燃尽方面具有明显的优越性, 同时在避免炉膛结渣和降低炉膛出口烟气流速偏差方面也表现出良好性能。

关键词 无烟煤 冷态模化 CUF 锅炉

分类号 TK229.6

## 0 前言

目前国外用于燃烧无烟煤的技术主要是立式燃烧锅炉和流化床锅炉。所谓立式燃烧锅炉, 即 U 形火焰锅炉或 W 形火焰锅炉。在我国立式燃烧锅炉数量很少, 其结构和布置相对比较复杂, 燃烧控制要求也较高, 煤种适用范围还有一定的限制。流化床锅炉是一种较新的技术。它可以燃烧各种燃料, 但也存在着诸如运行调节的实际验证问题及其容量难于提高到立式燃烧水平的问题。

在我国, 四角切向燃烧技术已比较成熟, 已普遍地用于很多电站。近年来, 我国面临以挥发份较低的无烟煤和贫煤作为电站锅炉燃料的状况, 于是各种针对低挥发份煤的新型燃烧器应运而生<sup>[1]</sup>。这些新型燃烧器在稳定燃烧、适应煤质变化和负荷变动、节约点火及助燃油等方面取得了程度不同的效果。但是它们在燃用低挥发份煤时的实际使用效果

还未尽人意, 对煤质和负荷的适应性上, 可靠、高效地稳燃还没有完全解决。

新型环状 U 形火焰锅炉 (Circular U-shaped Flame Firing) 简称 CUF 锅炉<sup>[2]</sup>, 适当地结合了经过验证的主要常规技术, 在燃烧无烟煤时, 着火性和燃烧性都优于常规的切向燃烧锅炉, 而燃烧系统设备与其基本一样。所以它运行特性好, 易于提高锅炉容量, 可以立即设计制造产品锅炉。

## 1 新型燃无烟煤的 CUF 锅炉的基本原理

因无烟煤的着火性和燃烧性很差, 所以设计新型锅炉的关键是保证无烟煤的及时着火、稳燃和燃尽。为达此目的必需满足下列条件。

收稿时间 1994-10-18 收修改稿 1995-01-20

本文联系人 章 旋 男 1970 年生 硕士 215004 苏州热工研究所

(1)燃烧器周围辐射热流较强;(2)一次风速较低;(3)一次风具有最佳的煤粉浓度。对无烟煤最佳的煤粉浓度比较高,约为 1.0 kg煤粉/kg空气<sup>[3]</sup>;(4)同时保证高温环境;(5)延长固体颗粒驻留时间;(6)氧气及时供给未燃固体颗粒;(7)用较细的煤粉。

基于上述条件,CUF 锅炉采用如下措施<sup>[2]</sup>:

(a)基本上采用较适用于无烟煤的水平燃烧系统。

(b)采用切向燃烧方式,四股火焰互相点燃,具有较高的火焰支持能力。

(c)借鉴立式燃烧的优点,燃烧器喷嘴向下倾斜 15°布置。一方面可以提高燃烧器区域的温度水平和辐射热强度,改善煤粉着火条件;另一方面可以延长煤粉颗粒在火焰中心处的停留时间,有利于煤粉燃尽。

(d)将燃烧器布置在炉墙中心,使煤粉着火区处于最高热负荷范围内。

(e)由于燃烧器整组下倾,不易发生积粉,而且燃烧器喷口至火焰中心距离缩短,所以允许采用较低的一次风速。

## 2 试验系统简介

试验以武汉锅炉厂设计的燃用无烟煤的 670 t/h 锅炉作为原型,采用纯几何相似模化方法,以保证燃烧器出口的边界条件相似,使燃烧器区域气流分布更接近实际情况。

炉膛及燃烧器模型与原型的比例为 1:16。图 1 为试验模型及测点布置示意图。从高压风机来的空气通过输送管道进入稳压风箱,然后分配到四墙燃烧器各喷口,每个喷口的引入管内均装有测速管和控制阀门以测定和调节各个喷口的风速。沿锅炉高度的测量截面分布为冷灰斗区域 01~03 截面,燃烧器区域 04~10 截面,上部炉膛区域 11~14 截

面,炉膛出口后区域 15~21 截面,当燃烧器布置于四角时在炉膛横断面内沿炉深均匀测量 16 个点。沿炉宽均匀测量 18 个点;当燃烧器布置于四墙时在炉膛横断面内沿对角线、均匀测量 22 个点。

炉内气流速度和速度脉动用美国 TSI 公司生产的 1050A 型恒温热线风速仪测量。所测信号经 IMP 数据采集板直接送入计算机存储、处理和打印。

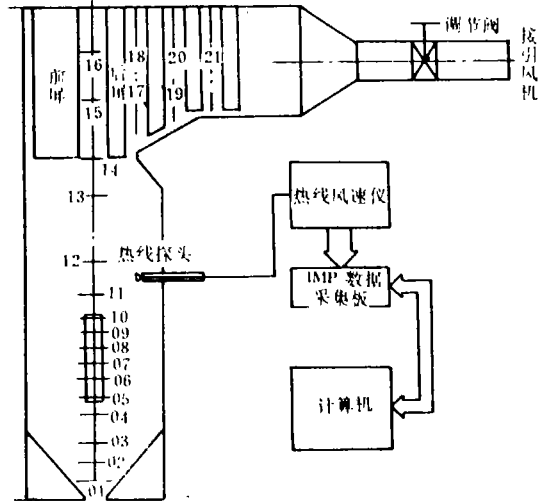


图 1 试验模型及测点布置示意图

## 3 试验结果及分析

### 3.1 炉内速度分布

燃烧器射流离开喷口后往往离开假想轨迹而发生偏转,其原因主要在于相邻两射流向互相作用和射流两侧补气条件的差异。当燃烧器布置于四墙中心时,其射流两侧补气条件分析如下<sup>[4]</sup>(如图 2):

为简化问题,假设射流两侧的补气气流为平行于炉墙方向流入射流,同时认为两侧卷吸入射流(指垂直射流外边界)的卷吸速度相等,即  $\omega_1 = \omega_2$ 。试验发现此卷吸速度与射流轴心线上的最大速度  $\omega_{zs}$  成比例,有  $\omega_1 = \omega_2 = \omega = k\omega_{zs}$ (对扁平喷口  $k = 0.053$ )。单

位高度射流补气量为

$$Q_{bq} = \omega \left( \frac{\Delta x}{\cos \frac{\beta}{2}} \right)$$

平行于炉墙的补气速度  $u_1$  和  $u_2$  为

$$u_1 = \frac{Q_{bq}}{\Delta S_1} = \frac{0.053\omega z_s}{\sin(\alpha_1 - \frac{\beta}{2})}$$

$$u_2 = \frac{Q_{bq}}{\Delta S_2} = \frac{0.053\omega z_s}{\sin(\alpha_2 - \frac{\beta}{2})}$$

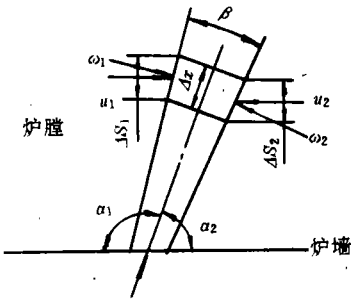


图 2 射流两侧补气条件分析

因为  $\alpha_1 > \alpha_2$ , 则  $u_2 > u_1$ , 由此造成两侧静压不相等, 其压力差  $\Delta P$  为

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_1 - P_2 = \frac{\rho u_2^2}{2} - \frac{\rho u_1^2}{2} \\ &= 1.4 \times 10^{-3} \rho \omega z_s^2 \left[ \frac{1}{\sin^2(\alpha_2 - \frac{\beta}{2})} - \frac{1}{\sin^2(\alpha_1 - \frac{\beta}{2})} \right] \end{aligned}$$

燃烧器四墙中心布置时  $\alpha_2$  和  $\alpha_1$  约是燃烧器四角布置时的两倍, 通过计算可知前者的射流两侧静压差比后者的小一个数量级。因此可以说采用燃烧器四墙中心布置方式时, 射流两侧补气条件基本相同。同时考虑到射流在离开喷口后经历较短的距离即到达旋转火焰中心, 其速度衰减较小, 受到上游射流横向冲击的作用半径较小。所以 CUF 锅炉与四角切向燃烧锅炉相比较, 其射流刚性增强,

偏转减小, 表现为炉膛内实际切圆明显减小。图 3 和图 4 分别为四角切向燃烧锅炉和 CUF 锅炉在最上层一次风截面(08 截面)处的切向速度分布。其假想切圆直径均为炉膛当量直径的 10%。图 5 为两种锅炉各自的相对假想切圆直径 ( $D_{xd-jx}$ ) 与相对实际切圆直径 ( $D_{xd}$ ) 关系的试验结果。可见 CUF 锅炉的实际切圆直径明显小于四角切向燃烧锅炉。CUF 锅炉易于避免目前大型电站锅炉时有出现的气流偏转贴墙引起炉膛结渣现象的发生。

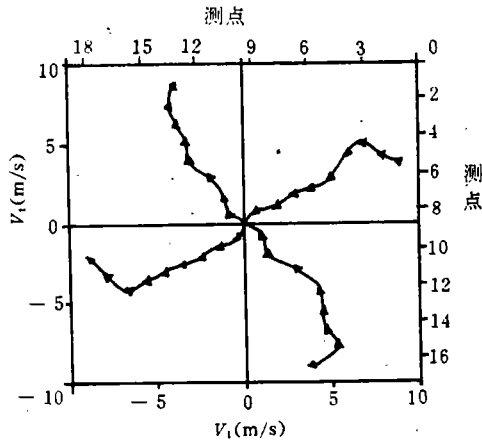


图 3 四角切向燃烧锅炉(08 截面)切向速度分布

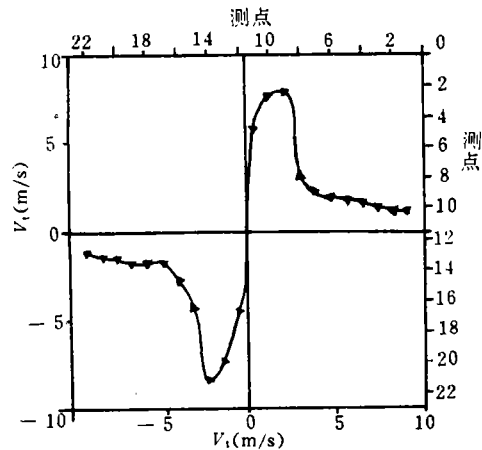


图 4 CUF 锅炉(08 截面)切向速度分布

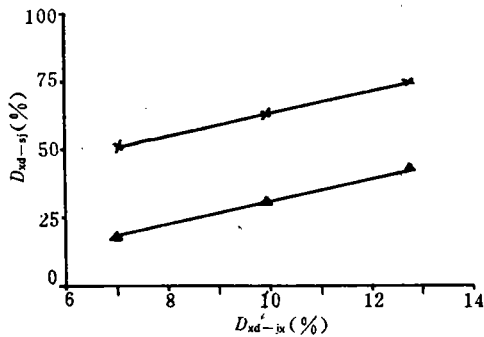


图5 相对切圆直径变化规律  
1 四角切向燃烧锅炉 2 CUF 锅炉

### 3.2 冷灰斗区域速度分布

CUF 锅炉将整组燃烧器下倾 15°，以提高燃烧器区域的温度水平，促进燃料着火和燃尽。传统的四角切向燃烧锅炉采用摆动式燃烧器时也可以使整组燃烧器下倾一定角度，但这时往往存在冷灰斗处结渣的威胁。因此对 CUF 锅炉冷灰斗区域的流场进行了测

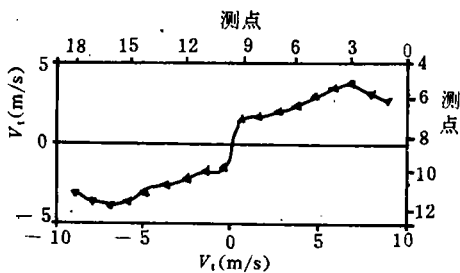


图6 四角切向燃烧锅炉(03截面)切向速度分布

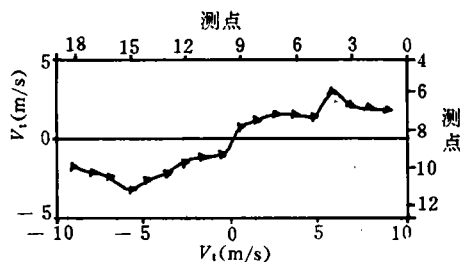


图7 CUF 锅炉(03截面)切向速度分布

量。图6和图7分别为四角切向燃烧锅炉和 CUF 锅炉冷灰斗区域(03截面)的切向速度分布。由图可见, CUF 锅炉在冷灰斗区域的切圆比四角切向燃烧锅炉小, 气流冲刷冷灰斗壁面而引起结渣的威胁减轻。

### 3.3 炉内速度脉动分布

实际锅炉炉内气流处于湍流状态, 湍流状态下的传热传质及火焰传播速度皆与气流的速度脉动有着密切关系。图8和图9分别为四角切向燃烧锅炉和 CUF 锅炉在最上层一次风截面(08截面)处的切向速度脉动均方根值的分布。由图可见 CUF 锅炉的速度脉动比四角切向燃烧锅炉大, 数据计算表明, 在燃烧器区域前者的平均湍流强度比后者的

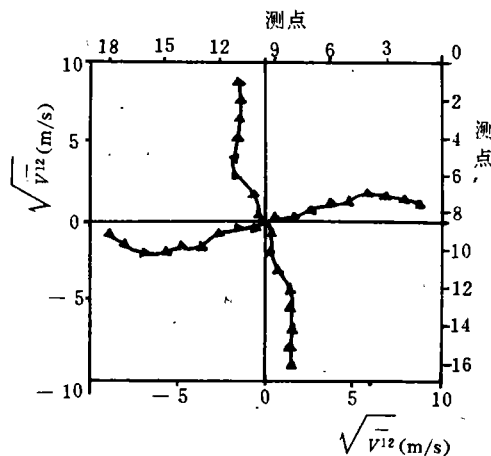


图8 四角切向燃烧锅炉切向速度脉动分布

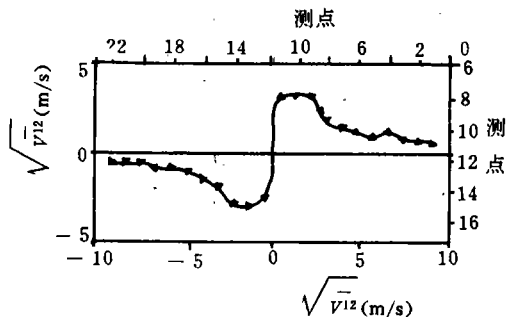


图9 CUF 锅炉切向速度脉动分布

高约 22%，而所谓湍流强度是指速度脉动均方根值与相应的时均速度的比值。由于湍流

强度增大,使未燃尽碳粒与空气、热烟气之间的混合和传热更强烈和充分,促进了碳的燃尽,并保持炉膛内有较高的温度水平,有利于煤粉着火。显然 CUF 锅炉提供了良好的炉内空气动力工况。

### 3.4 炉膛出口水平烟道速度分布

炉膛出口水平烟道两侧烟气流速偏差是目前国内外大型电站锅炉较普遍存在的一个问题。一般认为引起烟气流速偏差的主要原因是炉膛出口处仍然存在较大的残余旋转。这也是传统的四角切向燃烧锅炉的一个固有弊端<sup>[5]</sup>。

CUF 锅炉将燃烧器布置于四墙中心并向下倾斜,使炉膛内尤其是燃烧器区域的湍流强度增大,传热传质加强,燃烧旺盛,同时四组射流互相作用强烈,炉内气流旋转剧烈,但由于实际切圆较小,所以旋转动量虽大,但旋转动量矩较小,加上剧烈旋转的气流所受阻碍作用也必然增大,气流旋转上升过程中,旋转速度衰减加快。最终气流到达炉膛出口时残余旋转已很弱,而且试验发现,炉膛出口处气流速度分布变得比较均匀。因此炉膛出口水平烟道内两侧烟气流速偏差小,表 1 反映了两种锅炉在相同工况下水平烟道内的两侧烟气流速的偏差情况。

表 1 速度偏差情况表

测点截面序号		15	16	17	18	19	20	21
四角切向燃烧锅炉	E	1.21	1.17	1.45	1.28	1.65	1.46	1.27
	M	1.96	1.94	2.56	2.56	2.42	2.67	1.68
CUF 锅炉	E	1.12	1.07	1.17	1.04	1.24	1.06	1.04
	M	1.26	1.33	1.30	1.41	1.71	1.39	1.32

表中:  $E$ —速度偏差比,  $E = \bar{v}_R / \bar{v}_L$   $\bar{v}_R$ —水平烟道右半侧平均速度, m/s  $\bar{v}_L$ —水平烟道左半侧平均速度, m/s  $M$ —速度不均匀系数,  $M = (\bar{v} + 3\sigma_v) / \bar{v}$   $\bar{v}$ —水平烟道截面平均速度, m/s  $\sigma_v$ —水平烟道截面速度标准差, m/s

## 4 结论

(1) CUF 锅炉较四角切向燃烧锅炉的实际切圆直径明显减小,有利于避免发生炉内气流偏斜贴墙引起的结渣。

(2) CUF 锅炉较四角切向燃烧锅炉在燃烧器区域的旋转火焰中心具有更大的湍流强度,有利于燃料的及时着火,稳定燃烧和充分燃尽。

(3) CUF 锅炉冷灰斗区域流场合理,不易发生气流刷墙而导致的冷灰斗结渣。

(4) CUF 锅炉在炉膛出口处残余旋转弱,水平烟道内两侧烟气流速分布均匀,偏差

小。

## 参 考 文 献

- 1 胡荫平、贾鸿祥,新型煤粉燃烧器. 西安交通大学出版社,1993
- 2 德田君代,门元章泰,中岛文也等. 新型三菱无烟炭. 三菱重工技报,1989,26(1),25~30
- 3 阎维平. 高煤粉浓度燃烧的试验研究和数值计算. 博士学位论文,西安交通大学,1992
- 4 徐通模 金定安 温龙. 锅炉燃烧设备. 西安交通大学出版社,1990,296~300
- 5 陈 铁. 大容量电站锅炉炉内和烟道流场试验研究及数值模拟. 硕士学位论文,西安交通大学,1994

(渠源 编辑)

simulation results the capacity for coping with load fluctuations has been identified. **Key words**; high-efficiency hydraulic coupling, dynamic performance, hydraulic transmission system

燃用混煤电站锅炉结渣原因分析及结渣趋势的模糊预测 = An Analysis of the causes of Boiler Slagging at a Mixed Coal-Fired Power Station and a Fuzzy Prediction of the Slagging Tendency [刊, 中]/Guo Jia, Zeng Hancai (Huazhong University of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). 209~212

In connection with a new problem of firing a coal mixture comprising two kinds or more than two kinds of coals of different properties analysed in this paper are the causes of slag formation for such coal mixture with its slagging tendency being predicted by the use of a fuzzy cluster analytical method. On this basis pertinent procedures and measures are proposed to cope with the above-cited problem. **Key words**; coal, combustion mixture, slagging cause analysis, fuzzy prediction, preventive measures

双回流燃烧器实验研究与应用 = Experimental Study of a Dual Return-flow Burner and Its Application [刊, 中]/Qiu Jihua, Chen Gang, et al (Huazhong University of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -213~216

In view of the existing problems related to the firing of low-grade coals in home-made utility boilers, such as ignition difficulty, instable combustion and low combustion efficiency, etc the authors have proposed a new type of direct flow burner capable of producing both an inner and an outer return flow zone. Its laboratory cold and hot-state test results are analysed and discussed followed by a brief description of the industrial use of such burners. **Key words**; burner, combustion, boiler

新型燃用无烟煤的 CUF 锅炉冷态模化试验研究 = An Experimental Study on the Cold-state Simulation of an Anthracite-fired New Type CUF Boiler [刊, 中]/ Zhang Xuan (Suzhou Thermotechnical Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -217~221  
A new type CUF boiler developed for the firing of low-volatile anthracite combines the merits of four-corner tangential firing and vertical firing. An experimental study was conducted of the CUF boiler performance through the use of a cold-state simulation method. The in-boiler aerodynamic field and horizontal flue duct gas speed distribution at the furnace outlet was measured. The test results show that the CUF boiler has marked superiority in terms of anthracite ignition improvement, combustion stability and burn-down as well as a satisfactory performance characterized by the absence of furnace slagging and a uniform flue gas speed at the furnace outlet. **Key words**; anthracite, cold-state simulation, CUF boiler

以流化床换热回收柴油机废气余热的试验研究 = An Experimental Study on the Recovery of Diesel Exhaust Heat by the use of a Fluidized Bed Heat Exchanger [刊, 中]/Li Jianhong, Zhu Shiwei