

W 炉旋风微油煤粉燃烧器的数值模拟研究与应用

蒲学森¹, 肖宏博², 钱 锋¹, 谢明均², 赵兴华², 金 黄¹

(1. 深圳东方锅炉控制有限公司, 广东 深圳 518057; 2. 四川华电珙县发电有限公司, 四川 珙县 644500)

摘 要: 针对采用双旋风煤粉燃烧器的 W 型火焰锅炉, 为降低锅炉启动和稳燃油耗, 提出采用微油油枪点火的旋风微油煤粉燃烧器。通过数值计算方法分析其用作锅炉正常运行的主燃烧器使用时的性能, 得到喷嘴外的流场分布, 分析与原双旋风煤粉燃烧器的差异。旋风微油煤粉燃烧器在四川华电珙县电厂 2 × 600 MW 超临界机组上的应用验证了其性能与原双旋风煤粉燃烧器基本一致。

关键词: W 型火焰锅炉; 燃烧器; 节油点火

Abstract: Aiming at W flame boiler with the double vortex pulverized coal burner, the vortex pulverized coal burner with tiny-oil ignition is proposed and adopted in order to reduce the oil consumption of start-up and steady burning of boiler. Through the numerical calculation method, the performances of main burner used during the normal operation of the boiler are analyzed, the flow field distribution outside the nozzle is obtained, and the differences between the proposed burner and the original double cyclone burner are analyzed. The application of vortex pulverized coal burner with tiny-oil ignition to 2 × 600 MW supercritical unit in Sichuan Gongxian Power Plant of China Huadian Corporation validates that its performances are in accordance with the original double cyclone pulverized coal burner.

Key words: W flame boiler; burner; oil-saving ignition

中图分类号: TK223.23 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)01-0087-05

0 前 言

近年来随着燃油供应日益紧张及油价不断上涨, 为降低火力发电厂煤粉锅炉在基建调试、启动和低负荷稳燃油耗, 微油点火技术在 150 ~ 1 000 MW 级四角切圆燃烧锅炉和前后墙对冲燃烧锅炉上已得到了广泛的应用。而对 W 型火焰锅炉, 由于其燃用较难点燃的无烟煤、空间结构紧凑、燃烧方式特殊, 采用节油燃烧技术的应用较为困难。

现有一些针对 W 型火焰锅炉提出的节油燃烧器方案, 由于对燃烧器改动较大, 因而带来对锅炉正常运行时性能影响尚不明确。针对采用双旋风煤粉燃烧器的 W 型火焰锅炉, 提出了一种旋风微油煤粉燃烧器, 利用微油点火降低锅炉启动和低负荷稳燃的油耗, 重点关注其作为正常燃烧器运行时与原双旋风煤粉燃烧器的性能对比。

1 双旋风煤粉燃烧器

针对无烟煤难着火的特点, 双旋风煤粉燃烧器

利用旋风分离将煤粉浓缩, 煤粉气流经过均分器, 切向进入燃烧器两个旋风筒。在离心力作用下, 煤粉颗粒被甩向外周, 一部分含粉较少的乏气在燃烧器中心部分被引出后, 通过乏气管, 在拱上的靠近炉膛中心的部位送入炉内高温区域。从燃烧器喷口下射的主煤粉气流由于风量的减少, 风粉比降低, 提高了燃烧器主喷口煤粉浓度^[1]。燃烧器主喷口装有消旋叶片, 可以使燃烧器煤粉气流旋流减小, 增大其刚性。燃烧器的主喷口和乏气喷口均设有环形二次风。拱上每只燃烧器还设有两个二次风开口, 其中一个插入大油枪和点火枪。下炉膛水冷壁区域有 D 挡板控制的一层二次风和 F 挡板分别控制的两层二次风。

2 旋风微油煤粉燃烧器的技术原理

旋风微油煤粉燃烧器将旋风分离技术和微油点火技术结合, 保持了原有的旋风分离, 在煤粉主喷口直段内部设分级煤粉燃烧室, 带有独立配风的微油油枪从燃烧器乏气弯头轴向插入至一级煤粉燃烧室

入口。其关键在于在燃烧器旋风筒内的消旋浓缩装置 将煤粉从旋风筒边壁区域浓缩至中心一级燃烧室。煤粉在一级燃烧室内被高温微油火焰点燃,在燃烧器喷口处即形成较为稳定的煤粉火焰。保留原有的大油枪,保持燃烧器喷口的位置和大小不变,保持原有的风量配比风速和燃烧组织不变。图1为旋风微油煤粉燃烧器结构示意图(单喷口)。

3 旋风微油煤粉燃烧器性能分析

3.1 燃烧器喷口消旋效果对比

采用 FLUENT 流体计算软件,对旋风微油煤粉燃烧器内部空气流场进行了分析。几何模型选取从煤粉均分器出口到燃烧器主喷口和乏气喷口的范围。根据王海刚等人^[2]的研究,标准 $k-\varepsilon$ 模型在计算旋风分离时有明显缺陷,RNG $k-\varepsilon$ 模型仍然是基于涡粘性假设同样不适用于旋风分离计算。RSM 湍流模型的计算精度较高^[2],因此采用 RSM 模型模拟旋风分离器内部的气流湍流流动。

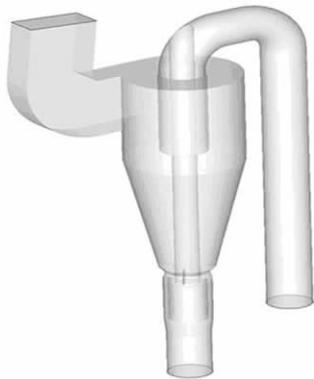


图1 旋风微油煤粉燃烧器结构示意图

图2和图3分别为原燃烧器与旋风微油煤粉燃烧器主喷口切向速度分布计算结果。原燃烧器主喷口由于消旋叶片的作用,明显分为3个区域。但由于消旋叶片位置位于燃烧器喷口附近,喷口靠近外圈部分区域切向速度较大,最高达16 m/s。而旋风微油燃烧器的消旋效果较好,切向速度分布均匀,最高切向速度仅为6~8 m/s。

上述结果表明旋风微油煤粉燃烧器的消旋效果显著。

3.2 风量分配和阻力

通过对原双旋风煤粉燃烧器和旋风微油煤粉燃烧器的风量计算结果对比,原燃烧器乏气比例约占

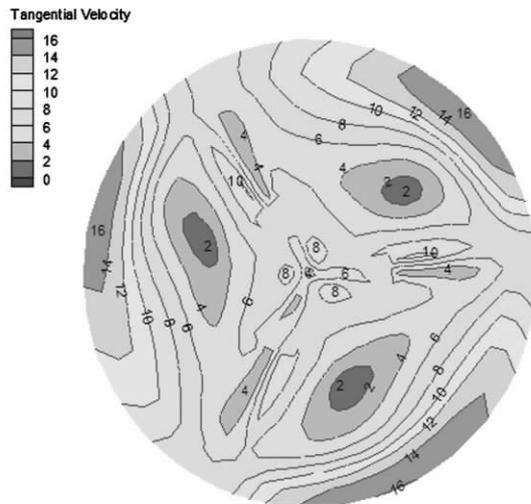


图2 原燃烧器主喷口切向速度分布

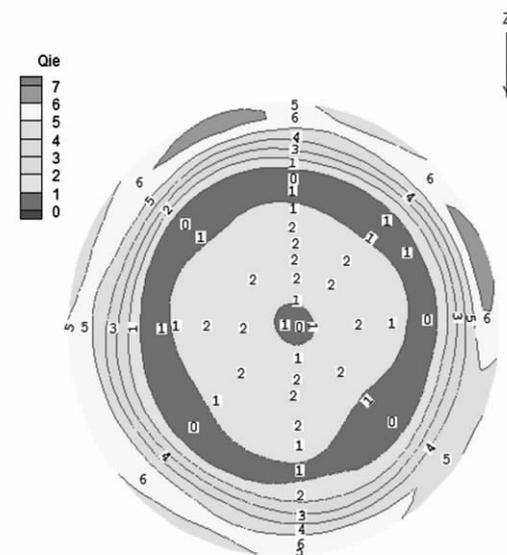


图3 旋风微油燃烧器主喷口切向速度分布

33% (假设乏气风门全开),与张杰等人^[3]的试验结果较接近。旋风微油煤粉燃烧器乏气比例约为34%~42%。根据内部消旋浓缩装置结构变化有所差异。

在相同条件下旋风微油煤粉燃烧器的阻力增大,大约100 Pa,相对原燃烧器设计阻力变化不大。

3.3 燃烧器外流场计算结果

为研究旋风微油煤粉燃烧器的应用对炉膛内流场产生的影响,对单组喷口(含乏气喷口和环形二次风喷口)的外流场进行建模分析,不考虑炉膛形状、烟气回流以及其他配风的影响。模型计算域如图4所示。计算域形状为长圆柱体,宽度为1.2 m (Z轴,沿炉膛长度方向),长度为3.2 m (X轴,沿炉膛宽度方向),为避免压力出口条件对喷口外区域

流场的影响,计算域高度为11 m(Y轴,炉膛高度方向)。

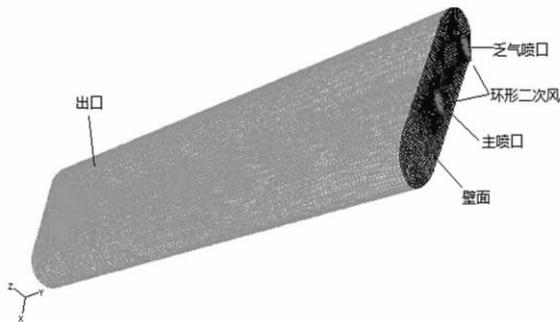


图4 燃烧器外流场计算域示意图

计算网格划分为结构体网格,对靠近主、乏气喷口的区域局部加密。壁面及各喷口的形状考虑了炉拱的实际角度。分别对原燃烧器及旋风微油煤粉燃烧器的内流场进行计算,将主喷口与乏气喷口的结果作为输入条件,考察燃烧器外流场的分布。

对原燃烧器喷口外流场的计算结果显示,主喷口和乏气喷口受到环形二次风的射流影响,速度逐渐增大,在发展到一定程度后再衰减。主喷口、乏气喷口及其相应的环形二次风的两股射流相对独立。图5为Z=0截面上的轴向速度分布。在距主喷口5.5 m处,两股射流已基本融合。

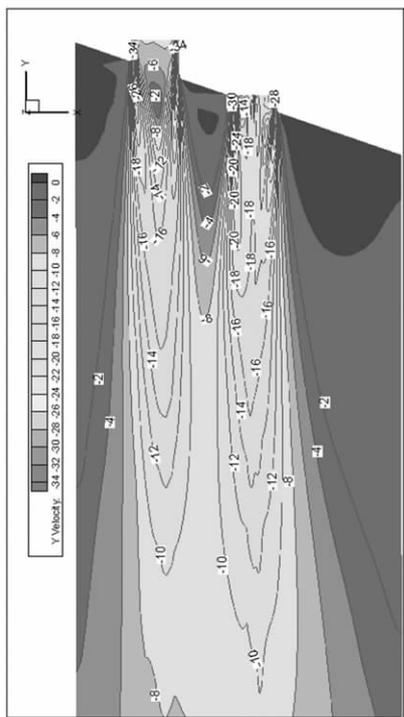


图5 原燃烧器外Z=0平面轴向速度

旋风微油煤粉燃烧器做主燃烧器的喷口外流场的计算结果表明,对于主喷口和乏气喷口出口速度

分布起主要作用的同样为环形二次风的射流。在二次风出口处,气流速度较高,进入计算域一定深度后发生衰减。图6为旋风微油煤粉燃烧器Z=0截面上的轴向速度分布,与原燃烧器流场近似。

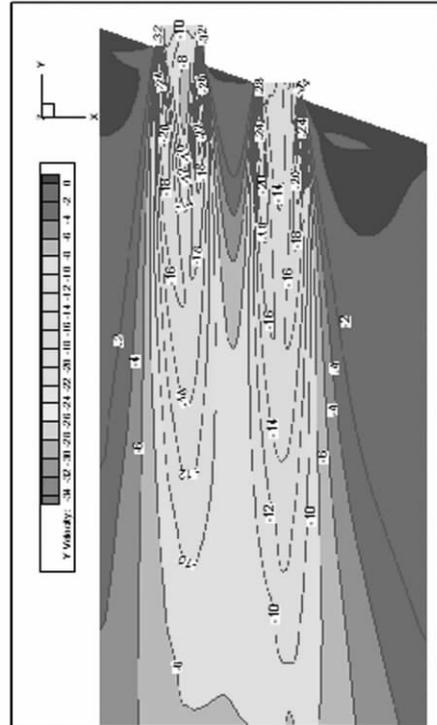


图6 旋风微油煤粉燃烧器Z=0截面轴向速度分布

3.4 燃烧器外流场分析

图7为原燃烧器和微油煤粉燃烧器外流场不同高度截面上Z=0中心线的轴向速度分布。尽管乏气比例有所差异,乏气喷口外的速度场基本保持一致。这是由于环形二次风的动量较大,是影响流场的主要因素。同样,主喷口外的流场也主要受环形二次风的影响。在喷口2.5 m外,轴向速度分布几乎一致。

在主喷口附近,原燃烧器轴向速度呈V型分布,即主喷口中间速度高外围速度低,而旋风微油煤粉燃烧器呈A型分布,与之相反。这种差异在主喷口外2 m内都有所体现。从图7中可以明显看出燃烧器主喷口外1.5 m的范围内,旋风微油煤粉燃烧器的速度更低,表明煤粉在此区间的停留时间较长。

由于环形二次风的风速远高于一次风,因此喷口外中心线的速度先是在环形二次风的带动下逐渐升高,在二者风速达到一致后,随着射流的衰减逐渐减小。因此可以认为中心线上风速出现下降时环二次风与一次风完成混合。

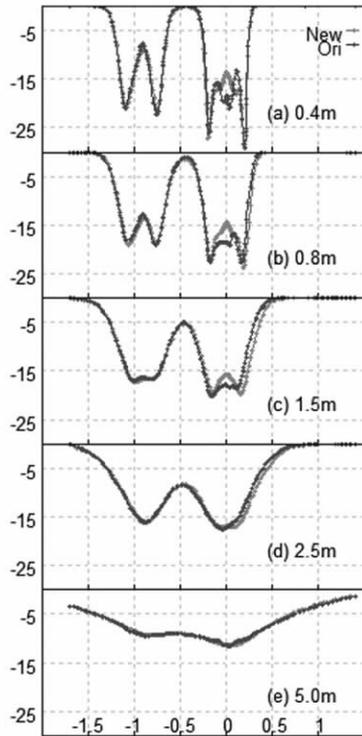


图7 距燃烧器喷口不同高度截面上
 $Z=0$ 中心线轴向速度

从图8可以看出混合距离的具体变化。在距原燃烧器主喷口0.5 m处轴向速度达到最大,这是由一次风本身在消旋叶片的影响下产生的变化,而在距主喷口1.5 m处,环形二次风与一次风即完成混合。在旋风微油煤粉燃烧结构中,该距离推迟到距喷口2.5 m外。在环形二次风保证喷口整体下冲动量不受影响的情况下,局部较低的速度有利于延长煤粉的停留时间,和环形二次风混合时间延迟有助于减小煤粉着火所需的着火热,从而更易于着火和燃烧。

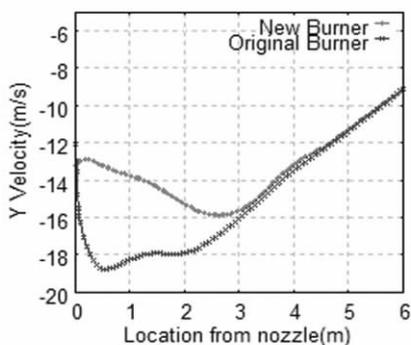


图8 主喷口外 $Z=0$ 中心线上轴向速度

图9为原燃烧器与微油煤粉燃烧器主喷口外中心线上的切向速度。旋风微油煤粉燃烧器采用固定式的消旋叶片能够在燃烧器外中心线上大幅消除旋

流。随着下冲深度的增加,在环形二次风射流的作用下,两种燃烧器的旋流均逐渐被消除。

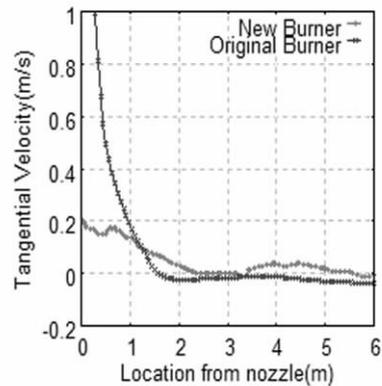


图9 主喷口外 $Z=0$ 中心线切向速度

4 旋风微油煤粉燃烧器的应用情况

四川华电珙县电厂 2×600 MW 新建机组的锅炉采用东方锅炉股份有限公司生产的配 600 MW 机组的超临界 W 型火焰燃烧、垂直管圈水冷壁变压直流锅炉。单炉膛露天岛式布置,燃用无烟煤。锅炉配备 6 台双进双出钢球磨煤机并采用了动态分离器,每台磨煤机对应 4 只燃烧器,总共 24 只煤粉燃烧器。为减少机组在基建调试期间油耗,将其中 B、E 两台磨煤机对应的煤粉燃烧器改为旋风微油煤粉燃烧器,在机组调试期间节油效果显著,节油率达到 36%。

1 号炉在通过 168 h 试运行后进行了燃烧优化,锅炉运行情况良好。占燃烧器总数量三分之一的旋风微油煤粉燃烧器作为正常燃烧器使用时与原双旋风煤粉燃烧器性能基本一致。根据燃烧优化其中的 24 个试验工况的统计,平均排烟温度与设计值相当;飞灰可燃物含量在 2.5% ~ 5.0% 之间;锅炉效率能达到设计保证值; NO_x 排放量小于 700 mg/Nm^3 ,明显低于国内已投运的同类型锅炉排放量^[4]。

5 结 论

介绍了一种新型旋风微油煤粉燃烧器,可有效降低 W 型火焰锅炉的点火启动与低负荷稳燃油耗。

1) 通过燃烧器内部流场的计算分析得知,旋风微油煤粉燃烧器与原双旋风燃烧器相比,消旋效果更为显著,乏气比例相差不大,阻力略有增加;

2) 燃烧器的喷口外流场主要受到环形二次风

的控制,对主喷口的流场变化不敏感;

3) 旋风微油煤粉燃烧器与原燃烧器在喷口处的速度略有不同,更有利于延长煤粉的停留时间,有利于着火。

4) 旋风微油煤粉燃烧器在华电珙县电厂 2 × 600 MW 超临界机组 W 炉上得到应用,作为节油点火燃烧器使用时节油效果显著,作为正常燃烧器使用时性能与原双旋风煤粉燃烧器一致。

参考文献

[1] 黄志强,王军. 双旋风筒煤粉浓缩型燃烧器特性试验

(上接第86页)

采用相电压为 220 V 频率为 50 Hz 的三相对称系统。为了使有源电力滤波器在工作时有一个较好的补偿效果和较快的反应速度,变流器直流侧的电压要超过其线电压的 2 倍以上^[9],这里控制直流侧的电压选择为 750 V。

选定的电容值为 2 000 μF 输出电感值为 2 mH。

5 仿真结果与分析

仿真结果如图 7(a)、(b)、(c)、(d) 所示。

由仿真波形可以看出,原来由于非线性负荷所造成的电流波形发生严重的畸变,在接入 APF 进行谐波电流补偿以后,该系统电流的波形基本上为一个正弦波形,从而达到了滤波效果。通过进行 FFT 频谱分析之后,得到谐波含量和总谐波畸变率:总谐波畸变率在补偿前达到了近 18.5%,补偿之后不到 2.1%;各次谐波的补偿率均达到了 90% 以上。由此可见该仿真滤波器系统基本上实现了谐波补偿的功能。

6 结论

根据有源滤波器系统结构的组成,搭建了基于 Matlab-Simulink 仿真环境下的系统模型,并对各个模块分别给予仿真结果以及结论分析。通过仿真结

果可以发现,各仿真模块能够完成模块的功能,整个系统能够完成滤波任务。

参考文献

[2] 王海刚,刘石. 不同湍流模型在旋风分离器三维数值模拟中的应用和比较[J]. 热能动力工程,2003,18(4):337-342.
[3] 张杰,李争起,靖剑平,等. W 型火焰炉旋风分离器分离特性的实验研究[J]. 热能动力工程,2007,22(1):65-68.
[4] 柳宏刚,白少林. 现役各类 W 火焰锅炉 NO_x 排放对比分析研究[J]. 热力发电,2007,36(3):1-4.

(收稿日期:2012-08-22)

果可以发现,各仿真模块能够完成模块的功能,整个系统能够完成滤波任务。

[1] 张永刚,陈海啸. 谐波危害及治理探讨[J]. 技术与市场,2012,19(3):73.
[2] 曹璐,王富生. 浅谈谐波对电能表计量的影响[J]. 科技向导,2012(3):338.
[3] 年珩,全宇. 谐波电网电压下 PWM 整流器增强运行控制技术[J]. 中国电机工程学报,2012,32(9):41-49.
[4] 苏奎峰,吕强,耿庆锋,等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
[5] 王亮,赵玲. 电力有源滤波器的 Matlab 仿真[J]. 上海电力学院学报,2005,21(1):21-26.
[6] 王忠礼,段慧达,高玉峰. MATLAB 应用技术:在电气工程与自动化专业中的应用[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
[7] 刘海峰,陈梅. 基于 MATLAB 的电力有源滤波器(APF)的仿真[J]. 电气开关,2006,44(4):35-37.
[8] 吴春芳,程汉湘,朱约章,等. 并联型有源电力滤波器的 MATLAB 仿真研究[J]. 节能技术,2005,23(2):118-121.
[9] 陈庆国,赵春明. 三相四线制并联型电力有源滤波器的算法和参数仿真[J]. 电机与控制学报,2009,13(1):20-24.

作者简介:

高勇(1978)男,主要从事电力调度自动化及电力信息化研究。
(收稿日期:2012-08-11)