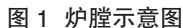


夏文静, 何长征, 韦红旗
(东南大学, 江苏 南京 210018)

文章编号:1009-0665(2011)04-0008-05

模拟利用 Gambit 软件提供的非一致化网格生



收稿日期:2011-03-05;修回日期:2011-03-28

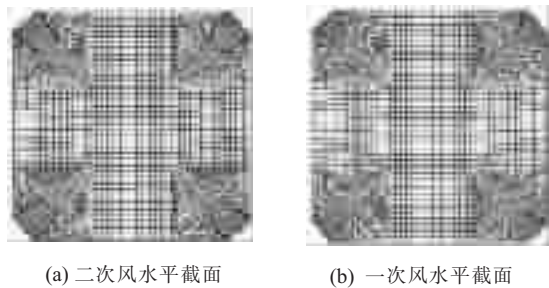


图 3 燃烧器区域

1.3 数值模型

数值模型中模拟气相湍流输送采用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型,模拟焦炭的燃烧采用动力学 / 扩散控制反应速率模型,对煤粉挥发分的释放采用两步竞争反应模型,煤粉颗粒的跟踪采用随机轨道模型,用混合分数—概率密度函数模型模拟气相湍流燃烧,采用 P-1 辐射模型计算辐射传热, NO_x 与湍流之间耦合的模拟采用较为普遍的有限反应的 PDF 模型,压力—速度的耦合采用 SIMPLE 法求解。

数值模拟计算是 Fluent 软件计算分析中较为关键的一环,将直接影响数值计算的结果。其边界条件包括流动变量和热变量。模拟之前,通过该炉以往试验数据为 Fluent 提供热态边界条件和已知参数,并对数值模型进行修正。

2 数值模拟的分析

数值模拟的不可控因素(煤质、负荷及煤粉粒径分布等)均维持在同一状态(即稳定状态)下,分别对氧量、一次风速、二次风配风及配粉方式不同水平下的炉内燃烧进行了模拟,以分析各参数对 NO_x 排放的影响规律及主次,筛选出影响 NO_x 排放的主要因素,用以合理安排及设计试验工况。

2.1 相关边界条件的设置

利用修正后的模型,对不同运行参数(氧量、一次风压、二次配风方式及配粉方式)在不同水平下的炉内燃烧进行了数值模拟。模拟中所用到的煤质数据均取自该炉以往试验的样品分析数据,其煤的元素分析如表 1 所示,煤粉粒径分布数据如表 2 及图 4 所示,其他边界条件的设置,可见文献[2]。

2.2 数值模拟分析

不同运行参数(氧量、一次风压、二次配风方式及配粉方式)在不同水平下的炉内燃烧数值模拟结果,如图 5—8 所示。

由图 5 可知,保持其他因素不变的情况下,当运行氧量在 3%~5% 内,其 NO_x 随氧量单调递增,其 NO_x 排放量由 693 mg/m^3 升高至 773 mg/m^3 ,增量为 80 mg/m^3 ,升高率为 11.5%。分析认为,由于氧量的

表 1 煤种的元素分析

煤的成份	符号	数值
碳	C_{ar}	55.97%
氢	H_{ar}	3.38%
氧	O_{ar}	8.36%
氮	N_{ar}	0.76%
硫	S_{ar}	0.88%
水分	W_{ar}	3.70%
灰分	A_{ar}	26.95%
低位发热量 $/(kJ \cdot kg^{-1})$	$Q_{ar,net,p}$	21 125

表 2 煤粉的粒径分布相关数据

类别	最小直径 / μm	最大直径 / μm	平均直径 / μm	平均分布指数
样品 1	0.363	549.5	61.33	0.916
样品 2	0.417	549.5	68.11	0.931
平均值	0.400	549.5	64.7	0.924

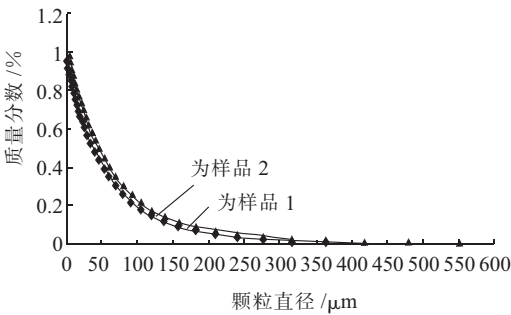


图 4 煤粉样品粒径分布

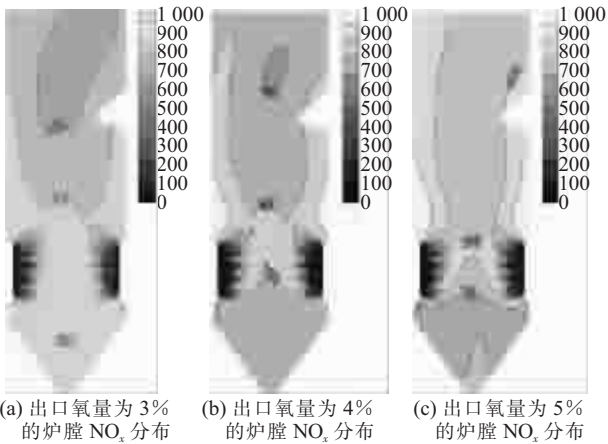


图 5 不同运行氧量下的炉膛 NO_x 分布

增加,导致燃烧器区域的温度水平有所下降,温度型 NO_x 虽会有下降,但氧量的增加会导致燃料性 NO_x 上升。当运行氧量在 3%~5% 时,由于燃料性 NO_x 占主导因素,因此,随着氧量的增长, NO_x 排放量有所递增。

由图 6 可知,保持其他因素不变的情况下,当一次风压递增时,其 NO_x 也随氧量单调递增,其 NO_x 排放量由 649 mg/m^3 升高至 711 mg/m^3 ,增量为 62 mg/m^3 ,升高率为 9.6%。分析认为,一次风压的增

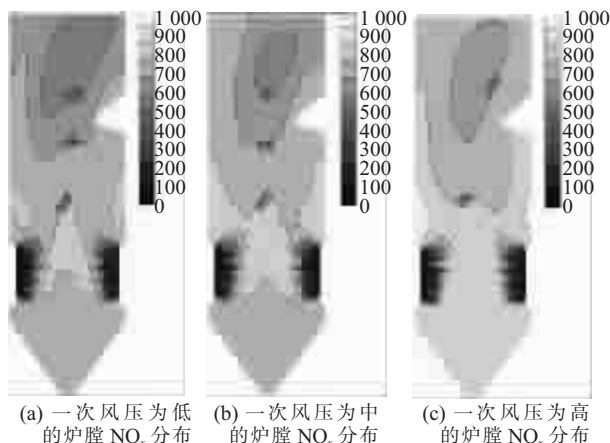


图 6 不同运行一次风压下的炉膛NO_x分布

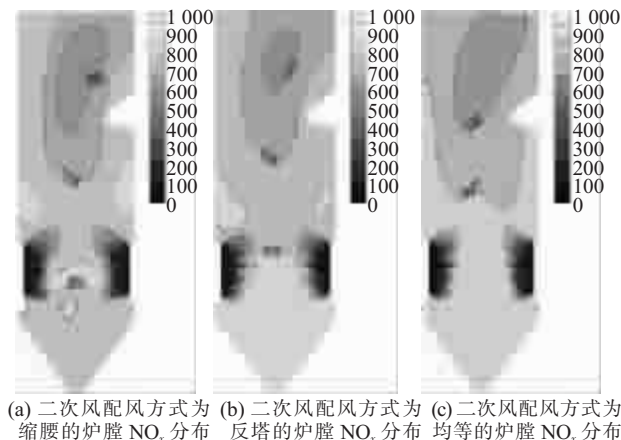
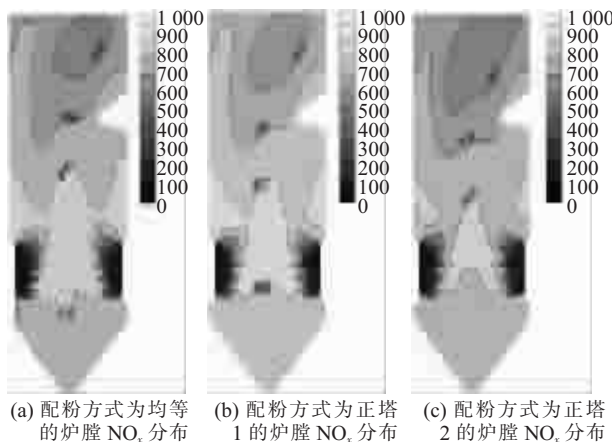


图 7 不同二次风配风下的炉膛NO_x分布



“均等”配粉方式中三层(上层、中层、下层)一次风的带粉量保持一致,“正塔 1”配粉方式则依次增大,“正塔 2”增大的幅度则大于“正塔 1”

图 8 不同配粉方式下的炉膛NO_x分布

加,对于炉膛流场及燃烧器区域温度水平的改变较小,但由于一次风量的增加,提高了一次风粉气流中的氧浓度,使得燃烧器区域 NO_x 的生成量有所增加,最终导致炉膛出口 NO_x 排放量增加。

由图 7 可知,保持其他因素不变的情况下,当采用不同的二次风配风方式时,其 NO_x 排放量由缩腰配风的 671 mg/m³ 升高至均等配风的 698 mg/m³,增量为 27 mg/m³,升高率为 4.0%,因此,二次风配风

方式对 NO_x 生成的影响相对较小,分析认为,这主要是燃烧器固有结构所致。

由图 8 可知,保持在其他因素不变的情况下,当改变三层一次风燃烧器的配粉方式时,其对 NO_x 排放量的影响及炉膛内的 NO_x 分布影响均不明显,分析认为,可能是由于三层喷口较近的缘故导致煤粉的分级效果不明显,因此,对 NO_x 排放量的影响较小。

通过数值模拟分析得知,运行氧量、一次风压对 NO_x 排放影响较大,而二次风配风方式及燃烧器的配粉方式对其影响较小。综合考虑数值模拟结果及燃烧调整的需要,计划安排 2 个主要影响因素(氧量、一次风压)对 NO_x 生成影响规律的试验研究。

3 降低锅炉NO_x 排放的试验研究

根据试验前的预测分析结果可知,该炉二次风配风及给粉机配粉方式对 NO_x 的影响相对较小。因此,从简化试验的角度出发,只对运行氧量及一次风压进行 NO_x 生成及燃烧效率的试验研究。本次试验原计划进行 12 个工况(4 个运行参数、每个运行参数进行 3 个水平的测试),经简化后降为 6 个试验工况。其后,再对习惯运行方式及推荐运行方式下的运行工况进行对比试验。

3.1 氧量变化对效率及NO_x 排放量的影响

试验中进行了 3 种不同氧量水平(2.10%,2.90%,3.57%,氧量为炉膛出口运行氧量的修正值)对效率、NO_x 排放量影响规律的试验研究,试验结果如图 9 和图 10 所示。

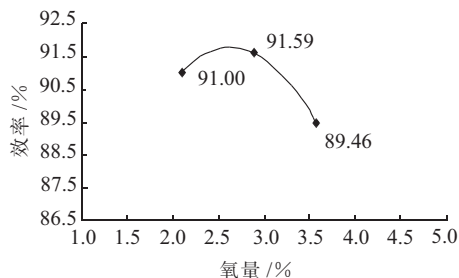


图 9 氧量变化对锅炉效率的影响

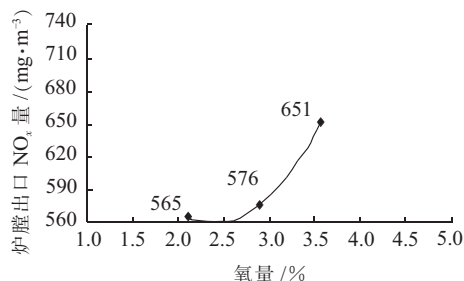


图 10 氧量变化对炉膛出口 NO_x 的影响

从图 9 和图 10 可看出,效率在氧量为 2.5%~3.0% 达到最高点;NO_x 排放量随氧量的增大而增大,升高率为 15.2%,可见其变化趋势及大小与模拟

结果(升高率为 11.5%)较为吻合。因此,低过量空气燃烧可以作为一种最简单地降低 NO_x 排放的方法^[3,4]。高负荷运行中,建议运行氧量维持在 2.5%~3.0%,煤质较差时可取其上限。

3.2 一次风压变化对效率及NO_x 排放量的影响

试验中进行了 3 种不同的一次风压水平(1 786 Pa, 1 942 Pa, 2 196 Pa, 一次风压为排粉机出口风压)对效率、NO_x 排放量影响规律的试验研究,试验结果如图 11 和图 12 所示。

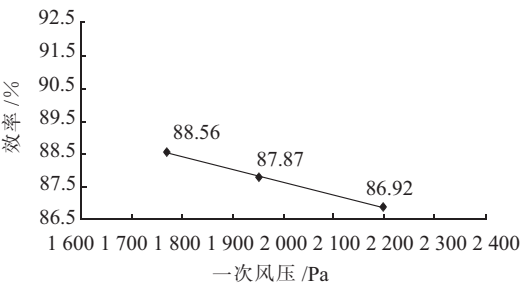


图 11 一次风压变化对锅炉效率的影响

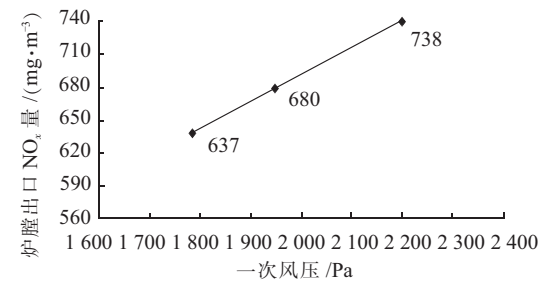


图 12 一次风压变化对炉膛出口 NO_x 的影响

从图 11 和图 12 可看出,在正常一次风压下,随着一次风压的逐渐增大,锅炉效率呈现降低趋势;NO_x 排放量则随一次风压的增大,有较为明显地增大趋势,升高率为 15.8%,可见其变化趋势及大小与模拟结果(升高率为 9.6%)较为吻合。因此,对于该炉来说,通过在一次风燃烧区域建立富燃料区以降低 NO_x 排放的方法^[3]具有较为明显的效果。高负荷运行中,为保持较高的燃烧效率及较低的 NO_x 排放,建议煤质较差时,一次风压维持在 1 800 Pa 左右,而煤质较好时,可适当提高上述风压,以防止煤粉气流烧坏喷嘴。

3.3 运行方式的对比

根据现场得出氧量、一次风压对 NO_x 排放及锅炉效率的影响规律,结合模拟预测得出相关结论,将低氧、低一次风压、缩腰二次风配风、正塔式配粉方式定为低 NO_x 优化运行方式。同时,综合锅炉运行状况、生产的安全性及经济角度出发,推荐低 NO_x 排放优化运行方式,如表 3 所示。

(1) 习惯运行方式下,炉膛出口氧量约为 3%,该值较为合理。因为从数值模拟及试验数据可知,当氧量维持在 2.5%~3.0%时,即可以保持较高的锅

表 3 对比工况相关运行数据及结果

试验相关数据	习惯运行方式	推荐优化运行方式
炉膛出口氧量/%	3.03	2.90
炉膛出口烟温 /℃	1 171	1 172
炉膛负压 /Pa	-85	-33
排粉机出口压力 /Pa	2 041	1 927
二次风配风方式	均等	均等
给粉机配粉方式	均等	正塔
排烟损失 /%	5.23	5.04
飞灰含碳量 /%	3.25	3.93
灰渣未完全燃烧损失 /%	2.26	2.65
锅炉效率/%	91.71	91.59
炉膛出口 NO _x 含量 /(mg·m ⁻³)	668	576

炉效率,又可以保持较低的 NO_x 排放量。

(2) 习惯运行方式下,排粉机出口压力为 2 000 Pa 左右,该值略有偏大,但考虑到燃用优质煤时,一次风压较低会导致喷口高温变形,因此可适当降低至 1 900 Pa 左右。

(3) 习惯运行方式下,由于该炉满负荷运行时风量不足,二次风配风调节受限,因此采用“均等”配风方式。推荐运行方式则维持原有配风方式,但是建议在低负荷运行时,采用“缩腰”配风方式。

从上述分析可知,习惯运行方式与低 NO_x 优化运行方式较为接近,习惯运行方式已较为合理。但是,通过推荐优化运行方式,可以在保持锅炉原有较高热效率的情况下,使 NO_x 排放量进一步降低 13.8%左右,这对降低 NO_x 排放仍有一定效果。

4 结束语

通过试验研究可知,该炉原有习惯运行方式已较为合理,如果通过进一步优化运行,可以保持锅炉在原有高热效率的情况下,使得 NO_x 排放量仍有所降低。

借以数值模拟辅助试验的设计及安排,可较为有效地简化试验工况,较大地降低试验工作量。同时,利用修正后的 FLUENT 燃烧模型,还可以对不可控因素(如不同煤质、不同煤粉粒径、不同负荷)及燃烧设备改造进行炉内燃烧及 NO_x 生成的数值模拟分析。

参考文献:

[1] 陈强飞. 410 t/h 锅炉高效低 NO_x 排放的试验研究及数值模拟[D]. 南京:东南大学,2009.

[2] 宋亚强,刘 霞. 400 t/h 煤粉炉分级燃烧的数值研究[J]. 锅炉技术,2004,35(3):31-34.

[3] 毛健雄. 煤的清洁燃烧[M]. 北京:北京科学出版社,1998.

[4] 李芳芹,任建兴,赵贤兵. 燃煤电站锅炉 NO_x 排放的试验研究[J]. 动力工程,2005,25(10):46-50.

作者简介:
夏文静(1978-),女,江西南昌人,工程师,从事发电厂热力系统
研究及电站锅炉优化运行调整工作;

何长征(1978-),男,江西新余人,工程师,从事炉内燃烧数值模
拟及电力热力设备性能测试及优化运行工作;
韦红旗(1966-),男,安徽霍山人,副教授,从事电力热力设备性
能测试及优化运行工作。

Numerical Simulation Aiming for Adjustment Experiments of Low NO_x Combustion

XIA Wen-jing, HE Chang-zheng, WEI Hong-qi
(Southeast University, Nanjing 210018, China)

Abstract: Due to the complexity of practical factors having effects on the formation of NO_x in coal-fired boilers as well as coal characteristics, operation conditions and so on, it's much difficult to analyze associated issues just using traditional experiments. In order to estimate different parameters influencing the emission of NO_x and specify the key factor, numerical model using software FLUENT has been developed in the paper just for the simulation of combustions under several operation parameters. The mechanism can then be analyzed qualitatively, and the experiments can also be simplified.

Key words: boiler; NO_x; numerical simulation; qualitative analysis

(上接第 7 页)

Study and Realization of Coordinated Automatic Voltage Control (AVC) for Provincial Regional AVC System

ZHAO Mei-lian¹, LAI Ye-ning², DONG Ai-qin³

(1.Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China; 2.State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China; 3.Anyang You Chuang Electric Power Design Institute Co.,Ltd., Anyang 455000, China)

Abstract: Based on the voltage hierarchical control and reactive source regional distribution characteristics and the scheduling needs of modern power grid energy management system (EMS), the principles of coordinated AVC for provincial power network are clarified and a joint optimization scheme for coordinated AVC for provincial power network is proposed. Besides, the control strategies of AVC in the provincial and the municipal control side are discussed and the realization of communication scheme between them is also given. The practical applications of actual power system shows that the proposed technical scheme and control strategy are feasible and effective, which can solve the current coordination problems of AVC for provincial power network better.

Key words: AVC; coordination control; joint optimization

ABB 持续投入 Symphony 控制系统的研发

Symphony 系列控制系统作为全球工业领域应用最为广泛的分散控制系统 (Distributed Control System – DCS), 在全球已提供超过 6 000 套,其主要用户群是发电和水处理等公用事业部门。

ABB 集团电力系统发电业务负责人 Franz-Josef Mengede 介绍说:“这个决定符合 ABB 集团‘渐进而不淘汰’的产品策略,可以有效帮助用户在未来技术进步与现有投资收益最大化之间取得平衡。”

作为 Symphony 分散控制系统长期发展策略的要点,ABB 将调整 Symphony 系统的研发计划,决定将原计划到 2015 年的阶段性研发周期改为长期投资于 Symphony 系列产品的研发,使用户可以有效地管理其运营资产的生命周期并降低总资产成本。

Symphony 系列产品的开发将遵从 ABB 集团‘渐进而不淘汰’的产品生命周期政策,并基于如下准则:所有的 Symphony 系列产品在直到开发出与其兼容,等同或性能更优越的产品之前将不会停止正常销售。

ABB 对 Symphony 分散控制系统的的技术研发投资将针对包括控制、输入输出、通信、工程设计、操作、故障安全和运行安全等方面提供更大容量、更高性能和更新功能的产品,这些产品将同时致力于解决发电和污水处理过程管理的特殊挑战。

关键的应用开发领域将包括电气系统集成、操作运行的有效性、资产寿命的延展及优化、可再生能源并网及满足智能电网运营等。