

480 t/h 锅炉低氮燃烧系统改造及效果分析

胡志杰, 盛春

(宜兴协联热电有限公司, 江苏 宜兴 214200)

摘要:针对 480 t/h 燃煤锅炉燃烧系统氮氧化物排放的现状,采用美国阿米那电力环保公司(LP Amina 公司)的技术,对 8 号炉进行了低氮燃烧改造。改造后氮氧化物排放含量为 262 mg/m³,降幅达 40%以上。同时改造后锅炉效率有所提高,起到了节能减排的效果。

关键词: 火电厂;氮氧化物;低氮燃烧;节能减排

中图分类号: TK224.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2010)05-0066-04

宜兴协联热电有限公司 8 号锅炉由哈尔滨锅炉厂设计制造。按照设计要求,NO_x 排放值需在 450 mg/m³ 以下,但在实际运行过程中,无法达到设计要求。随着国家环保政策对 NO_x 排放限制的不断趋严,有必要提前做好减排工作。此外,由于煤炭市场的原因,多种煤种掺烧成为一种趋势,而如何更好地把握掺烧比率,最大限度减少锅炉结焦,提高燃烧的安全性及经济性,是关乎公司可持续发展的大事。总之,节能减排是本次改造的动因和目的。

1 锅炉设备概况

公司 2 台 135 MW 机组担负着宜兴市的主要集中供热任务,机组于 2005 年 1 月正式运营。8 号锅炉为哈尔滨锅炉有限公司生产的 HG-480/13.7-YM16 型单汽包自然循环,超高压、一次中间再热、π 型露天布置的固态排渣煤粉炉。炉膛为膜式水冷壁结构,炉膛上部布置前屏过热器,炉膛出口处布置后屏过热器。过热器采用两级喷水减温,再热汽温主要采用烟道挡板调节。制粉系统采用中间储仓热风送粉,配 2 台 MG350/600 型低速钢球磨煤机。直流燃烧器四角切向布置,假想切圆直径 D 为 814 mm。每台炉配有 16 只燃烧器分 4 层布置(进行微油系统改造后),第 1 层为微油点火燃烧器,第 2 层为双稳燃可调式水平浓淡燃烧器,第 3 层和第 4 层为碰撞式浓淡分离燃烧器。所有一次风喷口均带周界风。燃烧器的设计参数见表 1。

2 改造要求

- (1) 任何工况下 NO_x 排放小于 300 mg/m³。
- (2) 在保证 NO_x 减排的前提下飞灰含碳量降低 15%。
- (3) 锅炉蒸发量,主、再热蒸汽温度,及原有的控制方式基本不变。

表 1 燃烧器特性参数

配风	风率 /%	风速 / (m·s ⁻¹)	风温 / °C
一次风	20	25	
二次风	燃尽风	2 × 8.8	39
	上二次风	13.2	
	中上二次风	13.2	
	周界风	4 × 3	
	中下二次风	17.6	
	下二次风	26	
三次风	19.35	45	70

- (4) 锅炉燃烧稳定并减少锅炉受热面结焦。
- (5) 最下层微油燃烧器保留不改造。
- (6) 尽可能减少对现有设备、系统运行方式的影响,保持锅炉性能基本不变(特别说明的除外)。

3 低氮燃烧原理

大型电站锅炉炉内产生的 NO_x 主要分为热力型 NO_x 和燃料型 NO_x。大量研究表明,热力型 NO_x 和燃料型 NO_x 与下列因素有关:作为热力型 NO_x,当温度高于 1 500 °C 时,NO 生成量呈指数规律迅速增长,在高温下停留时间越长,氧浓度越大,NO 生成量就越多。作为燃料型 NO_x,燃料含氮量越高,过量空气系数越大,燃料型 NO_x 的生成量就越大,转化率也越高。可见,降低热力型 NO_x,要求氧浓度低,温度低,在高温区的停留时间短。降低燃料型 NO_x,要求氧量低,尤其是挥发份的析出和燃烧阶段,氧量越低越好。

而要保证煤粉稳定燃烧及飞灰灰渣含碳量低,则要求燃烧时有足够高的温度、足够的氧量和煤粉浓度以及后期要强烈扰动。炉内温度越低或越分布合理,越有利于防止结渣及高温腐蚀。

从以上的分析可以看出,降低 NO_x 排放的技术措施在一定程度上和稳定燃烧、降低飞灰可燃物、防止结渣和降低高温腐蚀相矛盾。因此,在采用降低

NO_x 排放技术措施时要综合考虑。

分级燃烧是一种有效的低 NO_x 燃烧技术,运用空气分级燃烧原理对传统的煤粉炉燃烧系统进行综合改造,不仅可有效降低 NO_x 的排放量,还能保持其较好的经济性。分级燃烧的基本思想是:(1)降低主燃烧区域的氧气浓度,进行亚化学当量的贫氧燃烧,以抑制煤粉燃烧过程中 NO_x 的形成,因为无论是热力型还是燃料型 NO_x,燃烧区空气过量系数对 NO_x 生成量影响很大,当过量空气系数 $a < 1$ 时,燃烧区处于富燃料燃烧状态,这对减少 NO_x 生成有明显的效果。根据这一原理,把供给燃烧的空气分为主燃烧区和燃烬风分级送入。即把 80% 左右的理论空气量送入主燃区,使燃烧在富燃料燃烧的条件下进行,降低了主燃烧区的氧浓度,也降低了主燃区的温度水平,从而降低了生成 NO_x 的转化率。(2)在炉墙附近及炉膛上部增大氧气浓度,进行过化学当量的富氧燃烧,避免水冷壁及过热器的高温腐蚀,同时促进煤粉的完全燃烧。

在分级燃烧时,利用一级富燃区燃料在缺氧条件下燃烧,燃烧速度和燃烧温度降低,热力 NO_x 减少,同时,燃料中释放的含氮中间产物 HCN, NH₃ 等会将 NO 还原分解成 N₂ 因而抑制 NO 的生成。到了燃烬区,燃料在富氧条件下燃烬,不可避免的有一部分残留的氮会氧化成 NO_x。但由于火焰温度较低,NO_x 生成有限。所以在空气分级条件下总生成量是降低的。

4 分级燃烬风系统(SOFA)及特点

美国阿米那电力环保公司(LP Amina 公司)的改造方案,将 SOFA 设计成双切圆形式,SOFA 布置如图 1 所示,SOFA 截面速度场分布如图 2 所示。



图 1 SOFA 布置三维图



图 2 改造后燃烬风截面速度场

该方案不仅有利于水冷壁附近形成富氧环境,

防止上层水冷壁高温腐蚀,而且内外燃尽风双切圆旋转可以加强扰动,促进未燃尽碳和 CO 的充分燃烧。这种 SOFA 风的布置对降低飞灰含碳量十分有利。改造后,根据不同锅炉负荷和炉内环境,通过调节 SOFA 风,灵活控制燃尽风的旋流强度,同时相对大的切圆可以增强 SOFA 风与未燃尽碳的扰动,加强了高温烟气与未燃尽碳的对流传热,减少烟气飞灰含碳量和 CO,并可彻底解决 SOFA 风区域水冷壁周围由于缺氧导致的结焦和高温腐蚀的问题。这些都是该设计优于其他类型分级燃烧的原因。

为了解决空气分级燃烧后,主燃烧器区域低氧富燃料燃烧对附近水冷壁造成不良影响,LP Amina 公司改造方案中采用了偏置二次风。偏置二次风射流与主燃烧器射流呈 12° 夹角布置,如图 3 所示,偏置二次风的优势体现在以下几个方面。

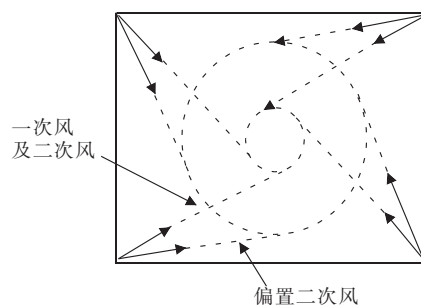


图 3 偏置二次风示意图

(1) 偏置二次风将部分二次风分离到煤粉气流的下游,推迟了一、二次风的混合,形成了水平方向的分级送风,加强了分级送风的效果,有利于减少 NO_x 的生成。

(2) 偏置二次风可以通过风门调节,控制水冷壁附近的氧量与炉膛平均氧量基本相当,因而比较合理地改变了水冷壁附近的烟气气氛,可以有效地防止水冷壁的高温腐蚀和结渣。

5 计算流体力学(CFD)模拟研究

改造方案确定之后,LP Amina 公司就改造方案进行了数值模拟计算,下面是 CFD 模拟的结果。

图 4 为改造前后炉膛温度分布的对比。改造前主燃烧区的温度比较高,而且高温区相对集中,这样的温度分布势必导致大量热力型 NO_x 的生成。改造之后,温度分布随炉膛高度均匀分布。此外,炉膛出口的烟温没有变化,可以保证锅炉参数不变。控制炉膛内的高温点,有效减少热力型 NO_x 的生成。

图 5 为改造前后 NO_x 分布。改造前,在主燃烧区产生大量的 NO_x,当烟气经过原有的 OFA 时 NO_x 的浓度基本上没有变化。改造后,虽然主燃烧区也产生了大量的 NO_x,但是由于在主燃烧区氧气浓度



图4 改造前后烟气温度分布 图5 改造前后 NO_x 分布降低, 氧化性氛围减弱, 且由于 SOFA 风的作用, NO_x 的浓度在炉膛出口处下降得非常明显。

图6为改造前后流速分布。改造后烟气沿炉膛高度的速度比改造之前小,增加了煤粉颗粒在炉膛内的停留时间。引入 SOFA 后,加速上升烟气的扰动,促进了可燃物随烟气上升过程中的充分燃烧。

图7为改造前后颗粒碳在炉膛内轨迹。改造增加了炉内的扰动,更多的煤粉颗粒随烟气的上升面向上运动。CFD 结果表明,经过改造之后,主燃烧区未燃尽碳在燃尽区充分燃烧,而不是随烟气带出,或沉积到灰斗,这样使得燃烧效率提高。

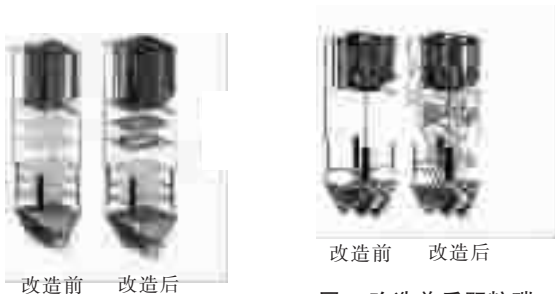


图6 改造前后流速分布

图7 改造前后颗粒碳在炉膛内轨迹

6 现场改造及试验效果分析

6.1 改造范围和内容

根据改造目的和现场实际情况,LP Amina 公司方案的具体改造如下。

(1) 主风箱改造。针对锅炉的具体情况,设计了新的一次风喷口及二次风喷口,并重新调整各燃烧器喷口的位置。在保证最下层微油燃烧器不变的情况下,对其他喷燃器进行了整体下降布置。

(2) SOFA 风箱带改造。SOFA 管道与主二次风管道相连,抽取部分二次风送至 SOFA 喷口。风箱带布置于主风箱上方,并围绕整个炉膛。

(3) 新增 SOFA 风道及风道系统支吊架。

(4) 新增 SOFA 处水冷壁的开孔及开孔处密封部件。

(5) 新增 SOFA 风箱,安装了热线型质量流量装置,可准确检测风量的变化。

(6) 为了保证新的燃烧系统的正确运行,对燃烧系统相关的控制逻辑进行修改。

改造前后燃烧器喷口的布置如图8所示。

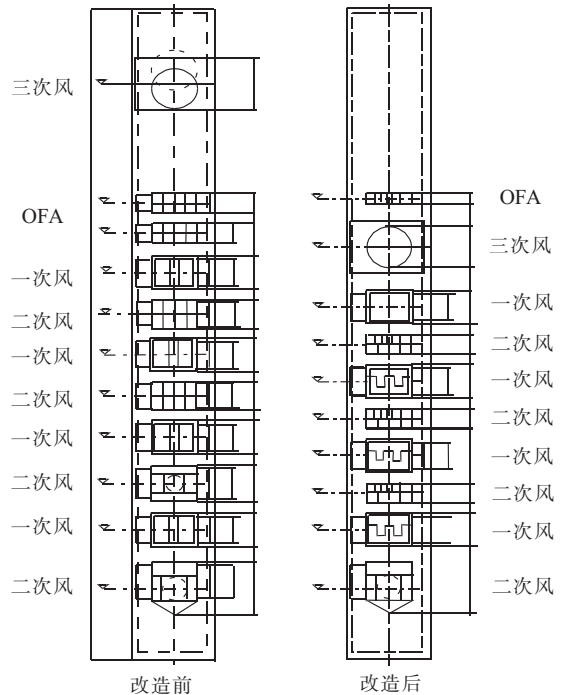


图8 改造前后燃烧喷口布置

6.2 改造效果

改造完成投运后,进行了燃烧调整试验,试验由电厂配合 LP Amina 公司调试人员进行。在不同负荷下,对 SOFA 开度及二次风门配比进行了 36 个不同组合工况的调试试验,对锅炉空预器前后的 NO_x 、 CO 、 O_2 进行了网格法测量,对飞灰进行了取样和可燃物化验。

各种燃烧调整试验优化后的测试数据如表2所示,可以看出 2 种满负荷工况 NO_x 与改造之前相比降幅达到了 40%,飞灰可燃物含量也有所降低^[1]。

表2 改造前后效果对比

项目	改造前满负荷		改造后满负荷		改造后 80%负荷	
	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2
$\text{NO}_x / (\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	519	496	262	335	294	310
$\text{CO} / 10^6$	4	5	3	5	11	3
$\text{O}_2 / \%$	4.2	4.0	2.5	3.0	2.9	3
飞灰含碳量 / %	2.1	2.1	2.1	1.73	2.1	1.5

注: NO_x 已修正到 6% 氧量。

在调整试验完成后,由江苏方天电力技术有限公司对改造锅炉进行了对比试验,结果参见表3。

6.3 调试和燃烧调整经验

(1) SOFA 风量对 NO_x 影响很大。在其他因素不变的前提下,一般情况 NO_x 会随着 SOFA 挡板的开度增加而减小,挡板开度大于 60% 时, NO_x 水平基本就维持恒定。此外,甲、乙侧 SOFA 风量调节需控

表 3 改造前后性能试验对比

项目	改造前满负荷		改造后满负荷	
	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2
NO _x /(mg·m ⁻³)	519	496	308	298
CO/10 ⁻⁶	4	5	8	7
O ₂ /%	4.2	4.0	3.2	2.9
飞灰含碳量/%	2.1	2.1	2.0	2.25
锅炉效率/%	91.78	91.65	91.50	91.79

注: NO_x 已修正到 6% 氧量。

制均匀,这有利于降低 NO_x 及飞灰含碳量。

(2) 改造后,运行空预器入口氧量与 NO_x 之间的关系参见图 10。改造后最佳氧量控制在 3% 左右,此时飞灰含碳量较低。与改前相比,相同负荷下总风量可以减小,电耗因此降低 5% 左右。

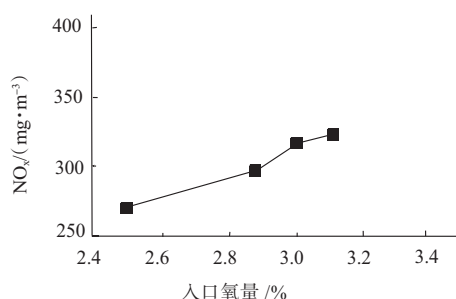


图 10 改造后空预器入口氧量与 NO_x 的关系

(3) 燃烧器改造后,燃烧器壁面金属温度分布趋势有很大改观,通过 SOFA 调整能有效降低燃烧器金属温度,可做到任何工况下控制燃烧器管壁温

度不超限。在燃用褐煤时炉内结焦情况明显减少。分析原因是 SOFA 的刚度大,距离上部燃烧器较近,不但对火焰、烟气流速场产生很大影响,且对火焰温度场及氧质量分数分布有直接影响,故调节 SOFA 的风量分配能灵活改变燃烧器管壁温度的分布趋势。改造后燃烧器区域的火焰温度明显降低。这也是该设计能有效降低热力型 NO_x 的原因。

7 结束语

改造后氮氧化物排放浓度显著降低,降幅在 40% 以上,平均达到 300 mg/m³ 左右;改造后锅炉效率基本维持不变,日常运行中送、引风机的电耗相对减少;改造前,运行中再热器温度明显偏低,改造后再热器温度升高,提高了整个机组的效率。

总体来说,8 号炉经过低氮燃烧技术的改造,大幅度降低了 NO_x 排放水平,达到了预期的目的,取得了明显的环境效益。同时,改造后机组运行的整体经济性略有提高,获得了节能减排的综合效果。此外,Amina 公司的技术方案简单易行;改造工作量小,易于实施,值得同类型锅炉改造借鉴。

参考文献:

- [1] DL-BG-2009-767.宜兴协联热电有限公司 8 号锅炉燃烧器改造后锅炉热效率试验报告[R].

作者简介:

胡志杰(1969-),男,江苏宜兴人,从事电厂生产管理;
盛春(1972-),男,江苏宜兴人,锅炉专工。

Effect Analysis and Reconstruction of the Low NO_x Combustion System of A 480 t/h Coal-fired Boiler

HU Zhi-jie, SHENG Chun

(Yixing Union Cogeneration Co., Ltd., Yixing 214200, China)

Abstract: In order to reduce the emission of NO_x in the combustion system of a 480 t/h coal-fired boiler, the 8th furnace has been reformed using the technology of LP Amina. The emission concentration of the NO_x is about 262 mg/m³ with an obvious decline of almost 40% than before while the efficiency of the boiler has been improved. The objective of energy conservation and emission reduction has also achieved.

Key words: thermal power plant; NO_x; low NO_x combustion; energy conservation and emission reduction

(上接第 65 页)

Application and Technical Reform of Desulfurization Demister in 600 MW Power Plant

LUO Jian-zhong¹, GU Xing-jun²

(1. Guohua Taicang Power Generation Co., Ltd., Taicang 215443, China;

2. Jiangsu Fangtian Power Technology Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: In order to eliminate the so-called plaster rain phenomenon and to solve the unbalanced phenomena associated with the distribution of flow gas velocity and gas flow in the desulfurization demister, the technical reform program for the desulfurization demister was carried out in Guohua Taicang Power Generation Co., Ltd. during the period of maintenance. The reasons for the degradation of the demisting ability as well as the analysis of the demisting flow field and the technical reform program are introduced in detail in the paper.

Key words: 600 MW power plant; wet desulfurization; demister; flue gas velocity; baffle