

600MW 超临界锅炉旋流煤粉燃烧器的低氮改造应用

于 泳, 杭庆均

(华润电力常熟有限公司, 江苏 常熟 215536)

摘 要: 某电厂 600MW 机组通过低 NO_x 燃烧器改造, 大幅降低了锅炉 NO_x 排放浓度。由于初投资较低且基本没有运行费, 此方案经济效益和环保效益显著。本次改造使用哈锅新型旋流煤粉燃烧器。本文主要介绍了新型旋流煤粉燃烧器在某电厂 600MW 锅炉机组的应用, 性能测试结果显示, 该燃烧器具备优良的低 NO_x 排放能力。

关键词: 低 NO_x; 旋流; 煤粉燃烧器; 改造; 性能

0 引言

随着我国《火电厂大气污染物排放标准》的出台, 燃煤电厂低 NO_x 排放成为重要要求之一。某电厂锅炉采用哈锅早期引进英巴公司的 LNASB 燃烧器, 具有燃烧效率高、燃烧稳定性好、煤种适应范围广等特点; 但 NO_x 排放浓度较大, 全年平均排放浓度接近 550 mg/Nm³, 额定负荷劣质煤燃烧煤时高达 620 mg/Nm³。为使 NO_x 排放浓度满足环保要求, 提高机组的运行经济性, 2013 年进行了 #1 机组锅炉低 NO_x 燃烧技术改造。

1 原 LNASB 燃烧器基本情况

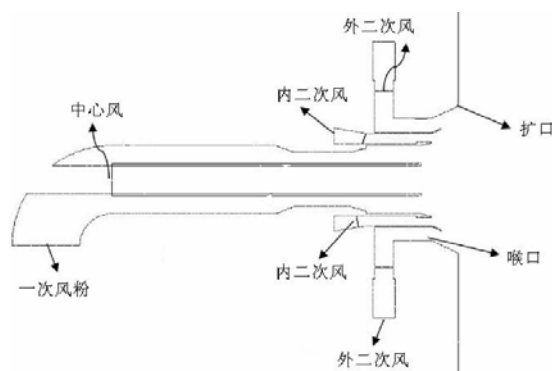


图1 新型旋流煤粉燃烧器配风原理图

锅炉燃烧方式为前后墙对冲燃烧, 燃烧器为低 NO_x 轴向旋流煤粉燃烧器 (LNASB), 分四层布置在前后墙上, 每层 4 只, 共计 32 只。每个燃烧器中心均配置一支点火油枪, 并配有火焰检测装置。其中最下层 8 只燃烧器已改造为小油枪微油点火装置。在前后墙燃烧器上部布置有燃尽风装置, 共 14 只。燃尽风层距离屏底高度 14.456m, 最上层煤粉

燃烧器距离屏底高度 17.964m。燃烧器、燃尽风布置图如图 1 所示。

燃烧器在结构上按圆周大小分四层, 由内到外分别是中心风、一次风、二次风、三次风。燃烧器结构简图如图 2 所示。燃烧器风箱为前后墙结构, 根据燃烧器前后墙布置的层数, 前后墙风箱又各分为四个小的风室, 即每层燃烧器一个风室, 每层风室从炉膛左右两侧进风。

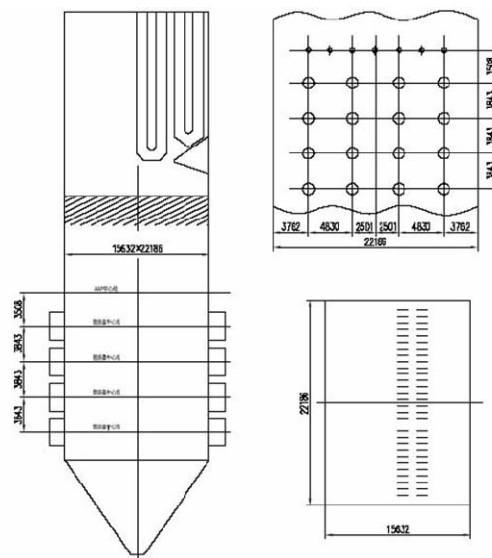


图2 燃烧器、燃尽风布置图

2 哈锅新型低 NO_x 旋流煤粉燃烧器介绍

燃烧器在结构上按圆周大小分四层, 由内到外分别是中心风、一次风、二次风、三次风。燃烧器结构简图见图 3。燃烧器风箱为前后墙结构, 根据燃烧器前后墙布置的层数, 前后墙风箱又各分为四个小的风室, 即每层燃烧器一个风室, 每层风室从

炉膛左右两侧进风。

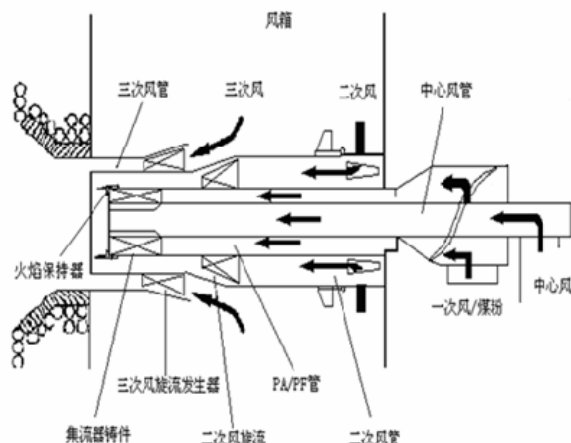


图 3 低 NO_x 轴向旋流燃烧器结构简图

本次改造使用哈锅新型旋流煤粉燃烧器。哈锅新型低 NO_x 旋流煤粉燃烧器，在保留原有燃烧器优点的基础上，能够大幅降低锅炉 NO_x 排放浓度。新型燃烧器助燃空气被分为中心风、一次风、内二次风和外二次风，见图 1。

中心风：在锅炉启动点火及低负荷稳燃阶段提供油枪着火根部配风，在正常运行阶段冷却油枪稳燃罩及油枪枪头。

一次风粉：一次风携带磨制合格的煤粉通过燃烧器的一次风入口弯头、一次风管进入炉膛，后与内、外二次风逐级混合，达到降低 NO_x 的目的。

内、外二次风：均采用单独可调的旋流器，在燃烧器出口形成一个合理的、适应煤质的流场；特别要强调的是，旋流内二次风提供初期煤粉着火空气，外二次风为后期煤粉燃烧提供空气，有效降低旋口区域水冷壁的结焦问题。

通过数值模拟、冷态试验等方法，依据燃用煤质等条件，哈锅自主研发的新型旋流煤粉燃烧器，得出各风最佳风速，和内、外二次风风量配比。低氮燃烧器一次风经过浓缩装置后，形成燃烧器喷口径向浓淡分级，中心浓，四周淡的煤粉气流，通过二次风旋流和扩口段，在燃烧器的出口形成中心回流区，有效抑制了 NO_x 生成。热态应用结果表明，煤粉集中在燃烧器的中心区域，有效地防止煤粉被甩到水冷壁上，增强了水冷壁附近的氧化性气氛的覆盖范围，同时有效地防止了两侧墙水冷壁因实现炉内水平空气分级后导致主燃区过量空气系数降低而产生的高温腐蚀问题。

新型旋流煤粉燃烧器在某电厂的应用结果表

明，该燃烧器低 NO_x 排放、最大负荷、额定负荷、最低稳燃负荷、燃烧效率等综合性能指标优良。

3 600MW 超临界锅炉燃烧器改造方案

某电厂 600MW 超临界机组型号为 HG-1950/25.4-YM1 型，由哈尔滨锅炉厂有限责任公司设计、制造，单炉膛、平衡通风、固态排渣、全钢架悬吊结构、π 型布置。采用双进双出钢球磨煤机直吹式制粉系统，每台炉配 4 台 BBD4360 型磨煤机，煤粉细度按 200 目筛通过量为 75%。锅炉采用前后墙布置、对冲燃烧，原设计 32 只低 NO_x 轴向旋流煤粉燃烧器。

依据常用煤质及锅炉实际运行情况，某电厂锅炉机组低氮燃烧器改造方案如下：

(1) 磨煤机及制粉系统不变，除微油点火以外的上三层煤粉燃烧器（共 24 只）改造为哈锅新型旋流煤粉燃烧器。8 只微油点火燃烧器的一次风部分保持不变，二次风部分改造为哈锅新型旋流煤粉燃烧器结构。

(2) 原 OFA 燃烧器喷口扩大，燃尽风率增大 1 倍，提高至 25%，燃尽风中心位置上移约 1m，并改造其附属结构。包括 OFA 燃烧器喷口管屏、二次热风道、挡板、膨胀节、风量测量装置等。

(3) 关于哈锅新型低氮燃烧器中心风管直径的选取。如中心风筒直径设计不当，将导致一次风煤粉颗粒过快地混入二次风中，而没有形成明显的分级燃烧过程。所以应对燃烧器进行了数值模拟分析，针对实际燃用煤质，研究该燃烧器的流场、颗粒弥散以及热态燃烧组分分布规律。可提出几个方案，并对这些方案进行了一一的数值模拟分析，最后选出最优工况。最佳的中心风管直径，应使一次风速恰当，煤粉颗粒向回流区中喷射，延缓煤粉与二次风颗粒的混合，在被卷入二次风之前，及时着火，并在回流区中形成一个还原区，在某电厂燃烧器改造过程中，将中心风筒直径缩小，并在一次风喷口前端增加保持环后，燃烧器低氮功能大大增强，并且其他各项性能指标均达到设计值。

4 性能试验

2013 年 11 月，某电厂进行了 1 号锅炉燃烧器改造后性能试验，锅炉完全达到最大负荷、额定负荷、最低稳燃负荷、燃烧效率等指标。试验燃用煤

与设计煤煤质资料见表 1。

表 1 试验燃用煤与设计煤煤质资料

项 目	单位	设计煤种	实际燃用煤种*
收到基低位发热值 $Q_{\text{net,ar}}$	kJ/kg	23826	19860
收到基全水份 M_t	%	12.1	16.6
收到基灰份 A_{ar}	%	8.79	16.02
可燃基挥发份 V_{daf}	%	38	38.20
空气干燥基水份 M_{ad}	%	~8	10.64
收到基碳 C_{ar}	%	64.4	54.1
收到基氢 H_{ar}	%	3.64	3.46
收到基氧 O_{ar}	%	10.05	9.67
收到基氮 N_{ar}	%	0.79	0.92
收到基全硫 S_{tar}	%	0.43	0.32

注：*实际运行煤质比表中所列的差。

试验结果表明：

(1) 在负荷 600MW 工况下，实测锅炉热效率为 94.19%，修正到设计条件下的锅炉热效率为 94.06%（原锅炉效率设计值 93.45%）。省煤器出口实测 CO 为 39 $\mu\text{L/L}$ ，折算到 6% 氧量下为 32 $\mu\text{L/L}$ 。经过改造后，在飞灰含碳量基本不变的情况下，NO_x 排放浓度从 550mg/Nm³ 降低到 244.5mg/Nm³，降低了 55%。见表 2。

表 2 污染物排放测试结果

序号	项目	单位	A 侧	B 侧
1	负荷	MW	600	
2	实测省煤器出口烟气中 O ₂ 含量	%	2.96	3.27
3	实测 NO _x	mg/Nm ³	193	200
4	NO _x (mg/m ³ , 6%O ₂)	mg/Nm ³	243	246
5	NO _x 平均值	mg/Nm ³	244.5	

(2) 从锅炉主要运行参数可以看到，机组负荷为 600MPa，主汽温度为 544.1/543.3℃，主汽压力为 24.8/24.9MPa，再热器出口温度为 564.5/568.2℃，再热器出口压力为 4.50/4.50MPa，均能达到设计要求，见表 3。

表 2 锅炉主要运行参数

项目	单位	设计工况 BMCR	设计工况 BRL	性能试验值
机组负荷	MW	660	600	600
主汽温度 A/B	℃	543	543	544.10/543.30
主汽压力 A/B	MPa	25.4	25.28	24.80/24.90
再热器出口温度	℃	569	569	564.50/568.20
再热器出口压力 A/B	MPa	4.67	4.43	4.50/4.50
再热器入口温度 A/B	℃	304	298.6	304.50/303.90
再热器入口压力 A/B	MPa	4.86	4.61	4.70/4.70
总煤量	t/h	222.624	213.66	240.5
给水温度	℃	290	286.3	287.52

(3) 通过对比改造前后典型的高温再热器壁温

发现，改前壁温最高值是 605.9℃，最低值是 597.3℃，平均值为 600.7℃；改后壁温最高值是 590℃，最低值是 573℃，平均值为 580.8℃。改造后的再热器壁温变化比较平缓，再热器壁温分布更好，再热器减温水没有增加，见图 4。

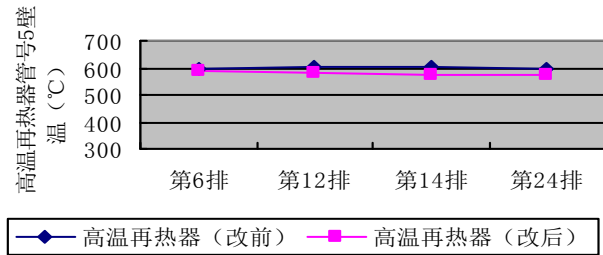
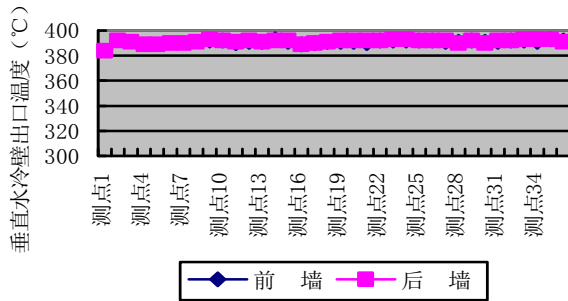
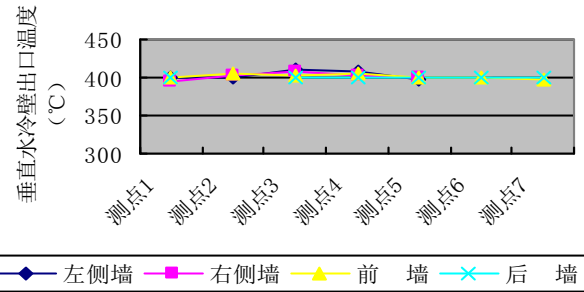


图 4 典型高温再热器管号 5 壁温

(4) 在水冷壁出口温度监测过程中可以发现，左侧墙垂直水冷壁出口温度平均 403.3℃，最低 397℃，最高 410℃；右侧墙垂直水冷壁出口温度平均 401.4℃，最低 395℃，最高 407℃；前墙垂直水冷壁出口温度平均 401.3℃，最低 397℃，最高 405℃；后墙垂直水冷壁出口温度平均 400℃，最低 399℃，最高 401℃；均较改前有所改善，温度曲线曲线见图 5。



(a) 螺旋水冷壁出口温度



(b) 垂直水冷壁出口温度

图 5 水冷壁出口温度

5 结论

新型旋流煤粉燃烧器是哈尔滨锅炉厂有限责任公司研发、设计、制造的最新产品,继成功应用于 600MW 超临界褐煤锅炉机组后,实现了在烟煤锅炉上的应用,顺利通过考核测试并投入运行。

(1) 通过燃烧器改造后性能试验结果可知,新型旋流煤粉燃烧器NO_x排放较低,省煤器出口烟气中NO_x浓度从 550mg/Nm³降低到 244.5mg/Nm³,降低了 55%,取得了良好的经济效益和环保效益。

(2) 通过对比改造前后的高温再热器壁温可以发现,改造后锅炉运行过程中,再热器壁温变化比较平缓,再热器壁温分布更好,再热器减温水没有增加。

(3) 水冷壁出口温度曲线显示,燃烧器改造后改善了水冷壁出口壁温,螺旋水冷壁出口温度和垂直水冷壁出口温度基本与设计值相符。

(4) 燃烧器改造后哈锅新型燃烧器着火性能

好,燃烧稳定,燃尽程度高,无严重结渣现象。同时锅炉最大负荷、额定负荷、不投油最低稳燃负荷、锅炉效率、主/再蒸汽压力、主/再蒸汽温度、省煤器出口烟温各项运行参数均能达到设计值。

参考文献:

- [1] ZHOU Hao, CEN Ke fa. Experimental investigations on performance of collision block type fuel rich/lean burner: influence of solid concentration [J]. Energy & Fuels.
- [2] 路野,张井成,栾世健.大型对冲燃烧褐煤锅炉燃烧器设计[J].黑龙江电力,2009,31(4):274-276.
- [3] 岑可法.锅炉燃烧试验研究方法及测量技术[M].北京:水利电力出版社,1987.
- [4] 江苏方天电力技术有限公司.华润电力(常熟)有限公司 #1 锅炉燃烧器改造后性能试验报告[R].