

1000 MW 机组塔式锅炉 NO<sub>x</sub> 排放的试验研究

卞康麟

(江苏省电力公司,江苏南京 210008)

**摘要:**以某电厂 1000 MW 超超临界机组塔式锅炉为研究对象,采用低 NO<sub>x</sub> 燃烧优化技术,进行了变氧量、变二次风配风方式、变煤层二次风、变强耦合式燃尽风(CCOFA)风量和变分离式燃尽风(SOFA)风量对锅炉 NO<sub>x</sub> 排放浓度影响的试验研究,分析了锅炉 NO<sub>x</sub> 排放浓度与锅炉运行参数的关系,试验研究结论可用于指导同类型锅炉的高效低 NO<sub>x</sub> 运行。

**关键词:**超超临界塔式锅炉;燃烧调整;NO<sub>x</sub> 排放特性;锅炉效率

**中图分类号:**TK224.1

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2014)05-0073-03

近年来,国内新建的大型燃煤电站锅炉均采用低 NO<sub>x</sub> 燃烧器结合炉内空气分级技术<sup>[1]</sup>,通过对炉膛内煤粉燃烧过程合理组织实现低 NO<sub>x</sub> 生成和排放<sup>[2,3]</sup>。锅炉燃烧优化也是首选的锅炉低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术,燃烧优化是通过锅炉燃烧器运行参数的调整实现的,采取优化控制炉膛出口氧量、燃烧器一、二次风量合理配比、平衡送入每只燃烧器的风粉量等方法,从而在燃烧过程中把 NO<sub>x</sub> 的生成量降到最低<sup>[4]</sup>。通过采用低 NO<sub>x</sub> 燃烧优化技术进行某厂 1000 MW 机组塔式锅炉 NO<sub>x</sub> 排放特性试验,降低了锅炉 NO<sub>x</sub> 的排放浓度,分析锅炉 NO<sub>x</sub> 排放浓度与电站锅炉运行参数的关系,提出该锅炉高效低 NO<sub>x</sub> 运行方式,可用于指导同类型锅炉的燃烧优化运行。

## 1 设备概况

该 1000 MW 超超临界塔式锅炉的炉膛尺寸为:21 480 mm×21 480 mm,冷灰头下沿标高为 4450 mm,炉顶管中心标高为 111 275 mm。炉膛由管子膜式壁组成,水冷壁采用下部螺旋管圈和上部垂直管圈的布置方式。锅炉采用四角切圆燃烧方式,设计和校核煤种均为烟煤,配中速磨煤机一次风正压直吹式制粉系统。燃烧器为四角布置、切向燃烧、摆动式燃烧器,共设置 12 层煤粉喷嘴。锅炉燃烧系统为典型的 LNTFS 燃烧器布置。煤粉燃烧器及 CFS 喷嘴的水平布置如图 1 所示。该 1000 MW 超超临界塔式锅炉的主要设计参数见表 1。

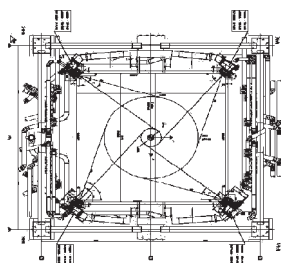


图 1 燃烧器喷口的水平面布置

表 1 锅炉额定工况主要设计参数

名称	参数	名称	参数
主汽流量/(t·h <sup>-1</sup> )	3040	再热蒸汽出口温度/℃	603
主汽温度/℃	605	给水温度/℃	295
主汽压力/MPa	27.38	排烟温度*/℃	126
再热蒸汽进口压力/MPa	5.81	锅炉效率/%	93.72

\*修正后的数据

## 2 试验标准及方法

试验依据美国机械工程师协会性能试验法规 ASME PTC4.1 (Steam Generating Units)<sup>[5]</sup>和 GB13223—2011<sup>[6]</sup>进行。试验测试项目及方法见表 2。相关运行数据在试验中于 DCS 中每 15 min 记录 1 次。试验测点布置示意图见图 2。

表 2 测试项目及方法

项目名称	取样地点或测试仪器	分析内容
原煤取样	给煤机处,人工取样	工业、元素分析
炉渣取样	碎渣机处取样	可燃物含量
飞灰取样	电除尘灰斗,省煤器出口处	可燃物含量
排烟温度	在空预器烟气出口,用 K 型热电偶网格布置和 IMP 数据采集系统测试	温度
烟气取样	空预器烟气进、出口,TESTO 350 烟气分析仪, M&C 烟气分析仪	O <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、CO 等
环境温度、空气湿度	数字干湿球温度计 TESTO 625	温度、湿度
大气压力	数字大气压计 TESTO 6111	大气压
炉膛温度测量	看火孔、高温红外辐射仪	温度

注:除排烟温度、烟气取样分析连续进行外,其他测试项目每 30 min 进行 1 次。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 试验煤质化验分析结果

该 1000 MW 机组塔式锅炉 NO<sub>x</sub> 排放特性试验煤质化验的工业分析和元素分析结果见表 3。

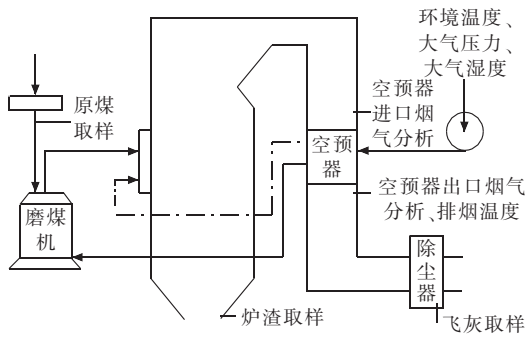


图2 试验测点布置示意图

表3 试验煤质分析结果 %

项目	数值	项目	数值
Mt	17.55	Har	3.42
Mad	7.57	Nar	0.68
Aar	14.32	Oar	10.10
Var	27.13	Sar	0.55
Car	53.36	$Q_{dw,net,ar} / (kJ \cdot kg^{-1})$	20 210

### 3.2 变氧量试验

在机组负荷为 1000 MW 下,运行磨组为 ABCDE 组合,维持负荷、蒸汽参数、二次风配风方式及磨煤机运行工况稳定,进行了 4 个工况的变炉膛出口氧量试验。变氧量试验工况 1~工况 4 分别控制表盘氧量平均值分别为 2.62%、2.48%、2.77% 和 3.12%,实测氧量两侧平均值分别为 3.41%、2.89%、3.59% 和 3.68%。试验结果表明,锅炉  $NO_x$  排放浓度随氧量的上升而呈上升趋势,工况 1~工况 4 试验实测的锅炉  $NO_x$  排放浓度分别为 230  $mg/m^3$ 、213  $mg/m^3$ 、240  $mg/m^3$  和 248  $mg/m^3$  ( $NO_x$  排放浓度均折算到 6%  $O_2$  下,下同)。

### 3.3 变二次风配风方式试验

在机组负荷为 1000 MW 下,运行磨组为 ABCDE 组合,维持负荷、蒸汽参数及磨煤机运行工况稳定,进行了 4 个工况的变二次风配风试验。变二次风配风试验工况 1~工况 4 分别为正塔配风方式、均等配风方式、束腰配风方式和倒塔配风方式。试验结果表明,该 1000 MW 塔式锅炉  $NO_x$  排放浓度正塔配风方式时最高,倒塔配风方式时最低,其他 2 种配风方式居中,工况 1~工况 4 试验实测的锅炉  $NO_x$  排放浓度分别为 247  $mg/m^3$ 、223  $mg/m^3$ 、222  $mg/m^3$  和 214  $mg/m^3$ 。

### 3.4 变煤层二次风试验

在机组负荷为 1000 MW 下,运行磨组为 ABCDE 组合,维持负荷、蒸汽参数及磨煤机运行工况稳定,进行了 2 个工况的变煤层二次风试验。变煤层二次风试验工况 1 和工况 2 的煤层二次风开度分别保持在 20% 和 40%,其锅炉  $NO_x$  排放浓度分别为 230  $mg/m^3$  和 213  $mg/m^3$ 。试验结果表明:随着煤层二次风的开大,锅炉  $NO_x$  排放浓度略有减小。

### 3.5 变油层二次风试验

在机组负荷为 1000 MW 下,运行磨组为 ABCDE 组合,维持负荷、蒸汽参数及磨煤机运行工况稳定,进行了 2 个工况的变油层二次风试验。变油层二次风试验工况 1 和工况 2 的油层二次风风门开度分别为 20% 和 40%,其锅炉  $NO_x$  排放浓度分别为 229  $mg/m^3$ 、247  $mg/m^3$ 。试验结果表明:通过开大油层二次风风门挡板,锅炉  $NO_x$  排放浓度明显增大,其主要原因是开大油层二次风正好增加了在煤质初期挥发分析出燃烧所需要的氧气,减弱了燃烧器区域的还原性氛围,故  $NO_x$  排放浓度上升明显。

### 3.6 变 CCOFA 风门试验

在机组负荷为 1000 MW 下,运行磨组为 ABCDE 组合,维持负荷、蒸汽参数及磨煤机运行工况稳定,进行了 2 个工况的变 CCOFA 风门开度试验。试验工况 1 和工况 2 的两层 CCOFA 风门开度分别为 100% 和 60%。试验结果表明,将 CCOFA 风门开度从 100% 关小到 60%,锅炉  $NO_x$  排放浓度平均值从 229  $mg/m^3$  上升到 243  $mg/m^3$ 。其主要原因是由于 CCOFA 风位于主燃烧器区的上部,在主燃烧器区域附近形成了分级燃烧,因此 CCOFA 风门开大, $NO_x$  排放浓度下降。此外,CCOFA 风风门开大也有利于减少节流损失,降低二次风压和风机电耗。建议在机组满负荷运行时,控制 CCOFA 风风门保持全开状态。

### 3.7 变 SOFAP 风量试验

在机组负荷为 1000 MW 下,运行磨组为 ABCDE 组合,维持负荷、蒸汽参数及磨煤机运行工况稳定,进行 3 个工况的变 SOFAP 风门开度试验。其中,工况 1 的 SOFA 风风门保持全开;工况 2 保持最上层 SOFA-VI 风门全关,其他 SOFA 风风门全开;工况 3 保持最上层 SOFA-VI 风门全关,SOFA-V 风门开 50%,其他 SOFA 风风门全开。试验工况 1~工况 3 得到的锅炉  $NO_x$  排放浓度分别为 229  $mg/m^3$ 、249  $mg/m^3$  和 266  $mg/m^3$ 。试验结果表明:随着关小 SOFA 风风门开度,锅炉  $NO_x$  排放浓度则呈降低趋势。究其原因,主要是逐步关小上层 SOFA 风风门开度,使得送风风压提高,在其他风门开度不变的前提下,主燃烧器区域的风量份额相对提高,增加了燃烧初期以及下层燃尽风区域的氧量供应,煤粉颗粒的燃尽效果得到提升,也恰恰是由于这个原因,主燃烧区域和下层燃尽风区域氧量的增加也直接导致了燃料型  $NO_x$  大量生成,故  $NO_x$  排放浓度随 SOFA 风风门的逐步关小而大幅上升。

## 4 结束语

采用低  $NO_x$  燃烧优化技术进行该电厂 1000 MW 机组塔式锅炉  $NO_x$  排放特性试验研究,结果表明:(1)

锅炉 NO<sub>x</sub> 排放浓度随氧量的上升而呈上升趋势。为保证锅炉高效低 NO<sub>x</sub> 运行,建议该锅炉在机组负荷为 1000 MW 负荷下燃用试验煤种相近煤种时,控制 DCS 中炉膛出口氧量为 2.5% 左右。(2) 在机组负荷为 1000 MW 负荷下,为进一步降低该塔式锅炉的 NO<sub>x</sub> 排放浓度,建议二次风方式采用均等配风方式或倒塔配风方式运行;锅炉煤层二次风开度控制为 40%;油层二次风风门开度控制为 20% 左右;CCOFA 风风门保持全开状态;并保持 6 层 SOFA 风风门全开。

#### 参考文献:

- [1] 江哲生,董卫国,毛国光. 国产 1000 MW 超超临界机组技术综述[J]. 电力建设,2007,28(8):6-13.  
[2] 高小涛,黄磊,张恩先,等. 1000 MW 机组锅炉氮氧化物排放

影响的试验研究[J]. 热动力工程,2010,25(2):221-225.

- [3] 高小涛. 电站锅炉燃用混煤的煤质特性分析[J]. 江苏电机工程,2009,28(1):63-66.  
[4] 高小涛,章名耀. SG-1036/17.5-M871 锅炉 NO<sub>x</sub> 排放特性的试验研究[J]. 锅炉技术,2007,38(2):77-80.  
[5] ASME PTC4.1 (Steam Generating Units) 蒸汽锅炉性能试验规程[S]. 美国机械工程师协会,1964.  
[6] 环境保护局,国家质量监督检验检疫总局. GB13223—2011 火电厂大气污染物排放标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2011.

#### 作者简介:

卞康麟(1967),男,江苏扬州人,高级工程师,从事电力工程技术管理和技术培训等工作。

## Testing Research on NO<sub>x</sub> Emission Characteristics of a 1000 MW Ultra-supercritical Tower Boiler

BIAN Kanglin

(Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** In large-scale coal-fired power plants, through reasonably organizing the in-furnace combustion processes, all the boilers are designed to achieve low NO<sub>x</sub> emission. The combustion debugging and tests on NO<sub>x</sub> emission characteristic of one 1000 MW ultra-supercritical tower boiler were carried out by optimizing the combustion technology. Based on the test results, the effects of various boiler operating parameters on the NO<sub>x</sub> emission were analyzed. The obtained conclusions can guide the similar boilers to achieve low NO<sub>x</sub> emission.

**Key words:** ultra-supercritical tower boiler; combustion debugging; NO<sub>x</sub> emission characteristic; boiler efficiency

(上接第 72 页)

大的危害,目前主要采用低氮燃烧器改造和燃烧调整来降低 SCR 入口 NO<sub>x</sub> 含量,减少喷氨量,控制氨逃逸。当空预器发生冷端堵塞时,将冷端蒸汽吹灰压力提高至 2.0 MPa,连续吹灰,可使空预器压差降低。SCR 脱硝机组的空预器吹灰器一般采用蒸汽和高压水双介质吹灰器,当空预器堵塞严重时,可以在线实施高压水冲洗,亦可以降低空预器压差。

虽然通过水冷壁的防腐喷涂,可以减缓高温腐蚀的发生;加强空预器吹灰,控制氨气逃逸率,可以减缓空预器的堵塞,但都不能从根源上消除隐患。只有控制入炉煤的含硫量,方可消除高硫煤带来的不利因素,确保机组安全、经济、稳定、可靠运行。

#### 参考文献:

- [1] 刘青,吕复复,张建胜,等. 还原态下流化床煤热解硫的释放[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(4):367-370.  
[2] 岑可法. 锅炉和热交换器的积灰、结渣、磨损和腐蚀的防止原理与计算[M]. 北京:科学出版社,1995:25.  
[3] 赵虹,魏勇. 燃煤锅炉水冷壁烟侧高温腐蚀的机理及影响因素[J]. 动力工程,2002,22(2):1700-1704.  
[4] 杨波,田松柏. 不同形态硫化物腐蚀行为的研究[J]. 腐蚀科学与防护技术,2004,16(6):385-388.

#### 作者简介:

宋金琳(1963),男,河南平顶山人,工程师,从事电厂锅炉检修管理工作 and 科企合作管理工作;

张光(1980),男,江苏南京人,工程师,从事锅炉技术管理工作。

## Influence of High Sulfur Coal on Coal-fired Power Units

SONG Jinlin<sup>1</sup>, ZHANG Guang<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Society of Electrical Engineering, Nanjing 210024, China;

2. Jiangsu Nanre Power Generation Co. Ltd., Nanjing 210035, China)

**Abstract:** The high temperature corrosion of water wall, the low-temperature corrosion and the deposition of air preheater, and the operating condition of the gas desulfurization system in Nanre 2×600MW Power Units are analyzed in the paper. It also elaborates the principles of both the high-temperature and low-temperature corrosion. Besides, the harm associated with burning high sulfur coal and the solution measures are presented.

**Key words:** high sulfur coal; high temperature corrosion; air preheater; occlusion; desulfuration