

# W型火焰锅炉配风方式对NO<sub>x</sub>排放和经济性影响的试验研究

王建勋<sup>1</sup>, 张艳辉<sup>1</sup>, 谢鹏飞<sup>1</sup>, 王永召<sup>2</sup>

(1. 国电科学技术研究院北京电力技术研究分院, 北京 100081; 2. 国电蒙阳煤电一体化有限公司, 河南 蒙阳 450199)

**摘要:** 针对某发电厂W型火焰锅炉进行了配风方式及炉底漏风的试验研究, 分析了配风方式对锅炉NO<sub>x</sub>排放及锅炉经济性的影响, 以及炉底漏风对锅炉经济性的影响。研究表明: 在总风量一定的条件下, 减少上二次风通风量, 增大下二次风通风量, 可以有效降低NO<sub>x</sub>的排放浓度, NO<sub>x</sub>的排放浓度由742.83 mg/m<sup>3</sup>降低到638.44 mg/m<sup>3</sup>, 减少了104.39 mg/m<sup>3</sup>, 降低了14%, 而锅炉效率基本保持不变; 关闭排渣机的排渣门和冷却风门, 可使排烟温度降低约10℃, 提高了锅炉的经济性。

**关键词:** 配风方式; 炉底漏风; W型火焰锅炉; NO<sub>x</sub>排放; 锅炉经济性

中图分类号: TK224.1 文献标识码: A  
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.03.017

## 引言

燃煤锅炉是氮氧化物污染的主要来源<sup>[1~3]</sup>, 故对其污染物排放量的控制已引起普遍关注, 特别是对煤燃烧过程中的氮氧化物排放的控制。根据NO<sub>x</sub>生成机理, 控制NO<sub>x</sub>生成、降低NO<sub>x</sub>排放的方法主要技术有: 超临界和超超临界发电技术、低NO<sub>x</sub>燃烧技术、循环流化床(CFB)发电技术、大容量热电联产发电技术、燃气-蒸汽联合循环发电技术、选择性催化还原技术(SCR)和选择性非催化还原技术(SNCR), 以及再燃技术和SNCR技术相结合的先进再燃技术<sup>[4~5]</sup>。对于电厂来说, 降低NO<sub>x</sub>排放最经济和快捷的方法是调整配风方式。

## 1 设备概况

某电厂2×600 MW超临界锅炉为北京B&W公

司按美国巴威公司“W”火焰及超临界系列锅炉技术标准, 结合本工程燃用的设计、校核煤质特性和自然条件, 进行性能、结构优化设计的超临界参数“W”火焰锅炉。锅炉为超临界参数、垂直炉膛、一次中间再热、平衡通风、固态排渣、全钢构架、露天布置的Π型锅炉, 锅炉配带有循环泵的内置式启动系统, 布置在炉前侧, 炉膛由下部垂直膜式水冷壁和上部的垂直膜式水冷壁构成。炉膛上部布置屏式过热器, 炉膛折焰角上方布置二级过热器进口管组。在水平烟道处布置了二级过热器出口管组和再热器垂直管组。尾部竖井由隔墙分隔成前后两个烟道。前部布置水平再热器。后部布置一级过热器和省煤器。在分烟道底部设置了烟气挡板装置, 用来调节烟气量, 以保持控制负荷范围内的再热蒸汽出口温度。烟气通过调节挡板后又汇集在一起经过两个尾部烟道引入左右各一脱硝装置及回转式空气预热器。制粉系统为双进双出磨煤机正压直吹系统, 锅炉采用“W”火焰燃烧方式, 并配置浓缩型EI-XCL低NO<sub>x</sub>双调风旋流燃烧器。

## 2 试验方法和试验内容

### 2.1 试验方法

试验时维持其它运行参数不变, 改变单一参数即二次风挡板的开度, 观察并测量二次风挡板开度变化对NO<sub>x</sub>排放浓度及锅炉经济性的影响。需要测量的项目包括烟气温度、烟气成分、原煤取样、飞灰取样、大渣取样和大气条件等, 测量方法参见文献[6]。

收稿日期: 2015-04-01; 修订日期: 2015-05-19

作者简介: 王建勋(1983-), 男, 河北张家口人, 国电科学技术研究院北京电力技术研究分院热机工程师, 硕士研究生。

通讯作者: 张艳辉(1987-), 男, 大唐东北电力试验研究所有限公司助理工程师。

按照分级燃烧降低 NO<sub>x</sub> 排放浓度的原理,在维持锅炉负荷、总空气量和制粉系统运行方式不变的条件下,改变上二次风箱和下二次风箱流量比例,观察并测量配风方式对 NO<sub>x</sub> 排放及锅炉经济性的影响。

干式排渣机有一定比例的冷却风用来冷却大渣,但是风量太大将会影响锅炉经济性及安全性。保持锅炉负荷一定,维持总空气量、制粉系统运行方式不变,观察并测量炉底漏风对锅炉经济性的影响。

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 配风方式对 NO<sub>x</sub> 排放及锅炉经济性的影响

通过对锅炉炉膛内配风方式的合理组织,从而实现低 NO<sub>x</sub> 生成和排放<sup>[7-8]</sup>。配风方式变化对锅炉 NO<sub>x</sub> 排放及经济性的影响试验结果如表 1 所示,3 种不同配风方式风门开度如表 2 所示。

表 1 配风方式对 NO<sub>x</sub> 排放及锅炉经济性影响的试验结果

Tab.1 Test results of the NO<sub>x</sub> emissions and the cost-effectiveness of the boiler influenced by the air distribution modes

测量项目	工况		
	T1	T2	T3
锅炉运行氧量 /%	5.31	5.31	5.31
排烟烟温 /°C	136.98	139.63	137.95
主汽温度 /°C	569.25	569.73	566.48
再热蒸汽温度 /°C	567.40	568.45	568.93
NO <sub>x</sub> 排放量 /mg·m <sup>-3</sup>	742.83	661.50	638.44
飞灰含碳量 /%	1.00	0.98	1.55
大渣含碳量 /%	3.31	2.66	0.58
二次风箱压力 A / kPa	2.1	2.1	2.1
二次风箱压力 B / kPa	2.3	2.2	2.1
锅炉排烟热损失 /%	5.97	6.07	5.96
可燃气体未燃尽热损失 /%	0.00	0.00	0.00
固体未完全燃烧热损失 /%	0.47	0.43	0.55
锅炉散热损失 /%	0.33	0.32	0.32
灰渣热物理损失 /%	0.18	0.18	0.18
锅炉效率(修正后) /%	93.06	92.99	92.99

燃煤的 NO<sub>x</sub> 来源主要为热力型 NO<sub>x</sub>、燃料型 NO<sub>x</sub> 和快速型 NO<sub>x</sub>,其中燃料型 NO<sub>x</sub> 是最主要的来源,当煤燃烧时约有 75% ~ 90% 的 NO<sub>x</sub> 是燃料型

NO<sub>x</sub>,控制燃料型 NO<sub>x</sub> 的排放浓度具有重要的意义<sup>[9]</sup>。

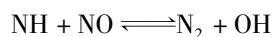
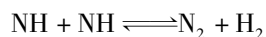
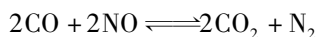
表 2 3 种配风方式下的风门开度

Tab.2 Opening degrees of the air damper in three air distribution modes

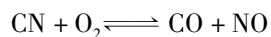
测量项目	工况		
	T1	T2	T3
A 后拱下风箱开度 /%	55.20	60.20	68.70
A 后拱下风箱压力 /kPa	0.70	0.80	0.90
B 后拱下风箱开度 /%	67.00	72.00	78.40
B 后拱下风箱压力 /kPa	0.70	0.80	0.90
A 后拱上风箱开度 /%	73.30	66.90	62.00
A 后拱上风箱压力 /kPa	1.70	1.60	1.40
B 后拱上风箱开度 /%	78.80	70.40	65.10
B 后拱上风箱压力 /kPa	1.70	1.60	1.50
A 前拱下风箱开度 /%	78.50	83.10	89.90
A 前拱下风箱压力 /kPa	0.40	0.60	0.70
B 前拱下风箱开度 /%	62.60	70.00	76.90
B 前拱下风箱压力 /kPa	0.40	0.60	0.70
A 前拱上风箱开度 /%	96.90	89.70	85.00
A 前拱上风箱压力 /kPa	1.70	1.60	1.40
B 前拱上风箱开度 /%	95.20	89.60	84.80
B 前拱上风箱压力 /kPa	1.70	1.60	1.50

控制 NO<sub>x</sub> 的排放包括低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术、超细煤粉燃烧技术<sup>[10-12]</sup>、炉膛喷射脱硝和烟气处理降低 NO<sub>x</sub> 排放等技术,就技术可行性而言,需要对超细煤粉燃烧技术应对超细煤粉的制备(分离)、输送、防爆及燃烧等技术展开进一步研究,而炉膛喷射脱硝和烟气处理技术需要增加设备投资和运行费用,针对正在运行的锅炉比较适用的是低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术,主要包括:低过量空气系数燃烧技术、空气分级燃烧技术、燃料分级燃烧技术、烟气再循环燃烧技术、低温燃烧技术和采用低 NO<sub>x</sub> 燃烧器燃烧技术等。

空气分级燃烧技术的基本原理为:将燃烧所需的空气量分成两级送入,使得燃料先在缺氧的富燃料条件下燃烧,使得燃烧速度和温度降低,抑制了 NO<sub>x</sub> 的生成。同时,燃料生成的 CO 与 NO 进行还原反应,以及燃料 N 分解成中间产物(如 NH、CN、HCN、NH<sub>3</sub> 和 NH<sub>2</sub> 等)并相互作用或与 NO 还原分解,抑制了燃料型 NO<sub>x</sub> 的生成:



然后,将燃烧所需空气的剩余部分以二次空气形式送入,使燃料进入空气过剩区域燃尽。在此区间,虽然空气量多,一些中间产物被氧化生成NO:



由于火焰温度较低,在第二级内也不会生成大量的NO。因此,NO<sub>x</sub>生成总量降低。

本研究的配风方式对NO<sub>x</sub>的排放浓度影响符合空气分级燃烧技术的原理。减小上二次风箱风门开度,则上二次风箱风量减少,在煤粉燃烧初期,形成缺氧气氛,既能降低火焰温度,又能抑制燃料中氮形成的中间产物与氧的化合,从而降低了NO<sub>x</sub>的排放浓度。增大下二次风箱风门开度,则下二次风箱风量增大,NO<sub>x</sub>排放浓度有所升高,但升高量不大,所以NO<sub>x</sub>总排放浓度降低。

由表1可知:T3工况的NO<sub>x</sub>排放浓度比T1工况的NO<sub>x</sub>排放浓度减少了104.39 mg/m<sup>3</sup>,降低了14%,说明按照T3工况的配风方式运行有助于减少NO<sub>x</sub>的排放浓度。

由表1可知,对于锅炉效率,T1、T2及T33个工况的锅炉效率相差不多,说明改变上、下风箱风量的比例,对锅炉效率影响不大。这是因为在燃烧初期,飞灰及大渣中的含碳量由于缺氧燃烧而增大,而增大下风箱风量,有助于没有燃烧的煤粉继续燃烧,可以减少飞灰及大渣中的含碳量。总体而言,由于锅炉配风方式的改变,对锅炉效率的影响不大。

### 3.2 炉底漏风对锅炉经济性的影响

对于干式排渣机,通过冷却风来冷却大渣,但是冷却风过大,既会影响锅炉的经济性,又会影响锅炉的安全性。因此,需要确定比较合理的冷却风比例。不同比例的炉底漏风对锅炉经济性影响的试验结果如表3所示。

由表3可知,T4工况大渣温度为60℃,远低于设计值,这是由于锅炉在运行期间,尤其是在高负荷运行时,排渣量比较大,经常需要人工从排渣机的排渣口进行排渣,排渣后不能及时关闭排渣门,致使炉底漏风增大,在总风量一定的条件下,通过风机送入的风量则减少,使得空气预热器换热减少,从而使得

排烟温度升高,影响锅炉燃烧的稳定性及经济性。T5工况比T4工况的排烟温度降低了4.2℃,修正后排烟温度降低7.4℃,此项影响锅炉效率约为0.4%,可使供电煤耗下降1.4 g/kW·h,大渣温度由60℃升高到90℃。T6工况比T4工况的排烟温度降低了8.2℃,修正后排烟温度降低了10.4℃,此项影响锅炉效率约为0.6%,可使供电煤耗下降2.1 g/kW·h,大渣温度由60℃升到130℃。可见关闭排渣门及冷却风门,可以降低锅炉排烟温度,提高锅炉经济性。这是由于关闭排渣门及冷却风门,减少了炉底漏风量,维持运行氧量不变,适当的增大了送风量,从而增大了空气预热器的换热量,使得排烟温度下降。另外,在一次风率及运行氧量确定的情况下,锅炉炉底漏风较大,会造成燃烧可组织的二次风减少,导致各个燃烧器二次风配风组织较差,影响燃烧的稳定性。

表3 炉底漏风对锅炉经济性影响的试验结果

Tab. 3 Test results of the cost-effectiveness of the boiler influenced by the air quantity leaked from the bottom of the boiler

测量项目	工况		
	T1	T2	T3
锅炉运行氧量/%	4.7	4.6	4.6
排烟烟温/℃	153.55	149.38	145.37
大渣温度/℃	60	90	130
主汽温度/℃	569	568.6	568
再热蒸汽温度/℃	569.7	567.7	567.7
飞灰可燃物含量/%	1.2	1.21	1.37
大渣可燃物含量/%	2.12	1.48	0.96
锅炉排烟热损失/%	6.93	6.45	6.35
可燃气体未燃尽热损失/%	0.00	0.00	0.00
固体未完全燃烧热损失/%	0.49	0.40	0.50
锅炉散热损失/%	0.32	0.35	0.32
灰渣热物理损失/%	0.19	0.19	0.18
排烟温度(修正后)/℃	156.26	148.85	145.86
锅炉效率(修正后)/%	92.07	92.62	92.64

注:T4、T5及T6为锅炉负荷600 MW时炉底漏风调整试验工况,其中T4工况为常规运行工况,T5工况为关闭排渣机排渣门运行工况,T6工况为关闭排渣机排渣门及冷却风门工况。

#### 4 试验研究的特点及新意

本研究主要通过试验,研究了配风方式对 W 型火焰锅炉  $\text{NO}_x$  排放及锅炉经济性的影响,以及炉底漏风对锅炉经济性的影响。对于火力发电厂 W 型火焰锅炉不多见,而对于 W 型火焰锅炉配用干式排渣机也不多见。本研究的新意及特点在于改变干式排渣机的冷却风量,从而找出冷却风量大小对锅炉经济性的影响。在总风量一定的情况下,冷却风量过大,而通过送风机送入的空气则小,对于锅炉燃烧的稳定性不利,相应的造成排烟温度升高,锅炉热效率降低。在保证大渣温度不超标及总风量一定的情况下,适当减小冷却风量,从而增大了通过送风机送入的空气量,降低了排烟温度,有利于提高锅炉燃烧的稳定性及锅炉热效率。本文的试验研究,提供了科学真实的数据,为今后 W 火焰锅炉及干式排渣机的研究提供了依据。

#### 5 结 论

(1) 减小上二次风箱风门开度,增大下二次风箱风门开度,可以降低  $\text{NO}_x$  排放浓度,而锅炉效率基本不变,其中 T3 工况比 T1 工况  $\text{NO}_x$  排放浓度减少了  $104.39 \text{ mg/m}^3$ ,降低了 14%。

(2) 关闭排渣机的排渣门及冷却风门,可使得锅炉排烟温度下降  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  (修正后)左右,此项影响锅炉效率约为 0.6%,可使供电煤耗下降  $2.1 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ ,大渣温度由  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  升到  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ ,提高了锅炉经济性和燃烧稳定性。

#### 参考文献:

- [1] 王恩禄,张海燕,罗永浩,等.低  $\text{NO}_x$  燃烧技术及其在我国燃煤电站锅炉中的应用[J].动力工程,2004,24(1):23-27.  
WANG En-lu,ZHANG Hai-yan,LUO Yong-hao,et al. Low  $\text{NO}_x$  combustion technology and its application in coal-fired utility boilers in China [J]. Journal of Power Engineering 2004 24(1): 23-27.
- [2] 阎维平.洁净煤发电技术[M].北京:中国电力出版社,2002.  
YAN Wei-ping. Clean coal power generation technology [M]. Beijing: China Electric Power Press 2002.
- [3] 岑可法,姚强.燃烧理论与污染控制[M].北京:机械工业出版社,2004.  
CEN Ke-fa,YAO Qiang. Combustion theory and pollution control [M]. Beijing: Mechanical Industry Press 2004.
- [4] 安恩科,史萌.电站锅炉高效超低  $\text{NO}_x$  排放控制技术[J].锅炉技术,2006,37(2):71-75.  
AN En-ke,SHI Meng,Effective ultra low  $\text{NO}_x$  emissions control over utility boilers [J]. Boiler Technology 2006 37(2): 71-75.
- [5] 程慧,解永刚,等.火电厂烟气脱硝技术发展趋势[J].浙江电力,2005(2):38-40.  
CHENG Hui,XIE Yong-gang,et al. Development tendency of flue gas Denitrification technology for coal-fired power plants [J]. Zhejiang Electric Power 2005(2): 38-40.
- [6] GB10184-1988,电站锅炉性能试验规程[S].  
GB10184-1988,Specification for performance test of utility boilers [S].
- [7] 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].热能动力工程,2010,25(2):221-225.  
GAO Xiao-tao,HUANG Lei,ZHANG En-xian,etal. Experimental Study of the Influence of  $\text{NO}_x$  Emissions from the Boiler of a 1000 MW Power Plant [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2010 25(2): 221-225.
- [8] 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.  
GAO Xiao-tao. Analysis of the characteristics of coal quality in a utility boiler burning a mixture of coal [J]. Jiangsu Electric Machinery Engineering 2009 28(1): 63-66.
- [9] 毛健雄,毛健全,赵树民.煤的清洁燃烧[M].北京:科学出版社,1998.  
MAO Jian-xiong,MAO Jian-quan,ZHAO Shu-min. Clean combustion of coal [M]. Beijing: Science Publishing House,1998.
- [10] Motoya Nakamura,Kiga Takashi,Mikio Kuwahara,et al. Demonstration test and practical studies on combustion technologies of micro-pulverized coal//International Conference on Power Engineering-97[C].Tokyo,1997,2:453-458.
- [11] 姜秀民,杨海平,刘辉,等.煤粉颗粒粒度对燃烧特性影响热分析[J].中国电机工程学报,2002,22(9):142-145.  
JIANG Xiu-min,YANG Hai-ping,LIU Hui,et al. Thermodynamic analysis of the effect of pulverized coal particle sizes on combustion characteristics [J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering 2002 22(9): 142-145.
- [12] Zajdlík R,Jelemenský L,Remiarová B,et al. Experimental and thermo investigations of single coal particle combustion [J]. Chemical Engineering Science 2001 56(4): 1355-1361.

(陈滨 编辑)

shale semi-coke bubbling fluidized bed

粒径及孔隙结构对石灰石脱除 CO<sub>2</sub> 能力的影响 = **Effects of Particle Size and Pore Structure on the Ability of Limestone Removing CO<sub>2</sub>** [刊, 汉] LIU Yang, FEI Hua, JIANG Da-hua ( Jiangxi University of Science and Technology, Key Laboratory of Jiangxi Province of Institute of Building and Surveying, Ganzhou, Jiangxi Province, China, Post Code: 341000), YANG Yong-ping ( Energy & power Engineering School of North China Electric Power University, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016, 31(3). -97 - 102

Under the conditions of the various calcination and carbonation temperature, the calcination and carbonation conversion rates of the limestone with different particle sizes were investigated by the thermogravimetric analyzer in this paper. By ways of the nitrogen adsorption test, under the various carbonation conditions, the change rules of the various pore structures were compared in this paper. The test results indicate that the particle size and pore structure have a joint influence on the carbonation conversion rate. The high specific surface area of the calcined limestone samples with micro-structured particle size can make its conversion rate high. With increase of the particle size of the limestone sample the CaO specific surface area decreases and the carbonation conversion rate goes down. The mean particle size of the limestone sample increases as the specific surface area decreases. The CaO with increased particle size can reduce the possibilities of pore block on one hand and can contain more CaCO<sub>3</sub> on the other hand. Thus, with the increase of particle size of the limestone sample, the carbonation conversion rate becomes larger on the contrary, which can further increase the particle size of the limestone. When larger particle size of the calcined limestone is unable to compensate for the effects of decreased specific surface area, the carbonation conversion rate will decrease. **Key words:** carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), chemical reaction, absorption, gas-solid reaction, pore structure

W 型火焰锅炉配风方式对 NO<sub>x</sub> 排放和经济性影响的试验研究 = **Experimental Research of Influence of Air Distribution Mode for a W-flame Boiler on NO<sub>x</sub> Emission and Boiler Economy** [刊, 汉] WANG Jian-xun, ZHANG Yan-hui, XIE Peng-fei ( Guodian Science & Technology Research Institute Beijing Electric Research Sub-institute, Beijing, China, Post Code: 100081), WANG Yong-zhao ( Guodian Xingyang Coal Electricity Integration Co., Ltd, Xingyang, Henan Province, China, Post Code: 450199) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016, 31(3). -103 - 106

The Paper carried out the experimental research on the air distribution mode and air leakage of furnace bottom for a W-flame boiler in a certain power plant and analyzed the influence of air distribution mode on  $\text{NO}_x$  emission and boiler economy as well as the influence of air leakage of furnace bottom on boiler economy. The study results indicate that under the condition of the total air volume remaining constant ,decreasing the volume of secondary air in upper layer and increasing the volume of secondary air in lower layer can make the concentration of  $\text{NO}_x$  emission reduced effectively from  $742.83 \text{ mg/m}^3$  to  $638.44 \text{ mg/m}^3$ . The concentration of  $\text{NO}_x$  emission can be decreased of  $104.39 \text{ mg/m}^3$  and reduced by 14% ,but the boiler efficiency remains unchanged. Closing the slag gate and cooling air damper of the slag extractor can reduce the exhaust gas temperature of about  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( after corrected) and improve the boiler economy. **Key words:** air distribution mode ,air leakage of furnace bottom ,W-flame boiler , $\text{NO}_x$  emission ,boiler economy

SCR 系统钢梁对催化剂入口烟气流动等参数影响的研究 = **Research on the Influences of Support Beams of SCR System on the Parameters Such as Catalyst Inlet Flue Gas Flow** [刊 ,汉] ZHAO Xiao-jun ,YU Cong ,SI Feng-qi ( Key Laboratory of Education Ministry on Energy Thermal Conversion and process measure & control , School of Energy and Environment ,Southeast University ,Nanjing ,Jiangsu Province ,China ,Post Code: 210096) ,JIANG Xiao-ming ( Datang Nanjing Environmental Protection Science & Technology Co. Ltd. ,Nanjing ,Jiangsu Province ,China ,Post Code: 211100) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(3) . -107 -113

By using the cold-state test and numerical simulation method ,for a 660 MW coal-fired boiler ,the paper took the support beams on the top spare catalyst layer of SCR flue gas denitration system as the study object and studied the influences of the support beams on the flue gas flow velocity ,ammonia concentration and catalyst abrasion. The study results show that the diverting impacts of the support beams on flue gas can cause the flue gas velocity and catalyst incident angle presenting the peak value in the same specific area and result in the abrasion of the catalyst. In addition ,the results prove that the greater I-steel specifications ,the larger ratio of height to width ,the greater number of the beam ,the closer the beams to the top catalyst layer ,the relative catalyst inlet flue gas velocity deviation coefficient will become larger. And the results also indicate that the steel beam turbulence has almost no impact on the ammonia concentration distribution. **Key words:** selective catalytic reduction ( SCR) ,cold-state test ,numerical simulation ,catalyst abrasion