

低挥发分煤四角切圆锅炉低氮改造试验

李杰义¹, 刘兴², 李兵¹, 刘英进¹, 墨庆锋¹, 甄志广¹, 谭厚章²

(1. 石家庄良村热电有限公司, 河北 石家庄 052165; 2. 西安交通大学 能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要:为解决低挥发分煤着火较难、NO_x排放较高,以及传统低氮燃烧器技术在降氮的同时会进一步恶化煤粉气流着火条件的难题,耦合低氮燃烧技术与强化着火设计,对某330 MW 燃用低挥发分煤四角切圆锅炉进行低氮燃烧改造。结果表明:SCR反应器入口NO_x质量浓度由550~600 mg/Nm³ (6% O₂)降至350~400 mg/Nm³,反应器液氨耗量由150~200 kg/h降至100~150 kg/h,排烟塔NO_x排放质量浓度由70 mg/Nm³降低至35 mg/Nm³。

关键词:低挥发分煤;四角切圆锅炉;低氮燃烧器;强化着火;NO_x排放;低氮改造

中图分类号:TK16;TK223.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-6772(2018)02-0145-04

Low NO_x combustion retrofit on a low volatile coal tangentially fired boiler

LI Jieyi¹, LIU Xing², LI Bing¹, LIU Yingjin¹, MO Qingfeng¹, ZHEN Zhiguang¹, TAN Houzhang²

(1. Shijiazhuang Liangcun Thermal Power Co., Ltd., Shijiazhuang 052165, China; 2. Schol of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Shaanxi 710049, China)

Abstract: In order to solve the problems of low volatile coal that usually shows poor ignition performance and higher NO_x emission, traditional low NO_x combustion technology may lead to worse ignition condition for the pulverized coal. A low volatile coal tangentially fired 330 MW utility boiler was retrofitted by adopting ignition enhancement and low NO_x burner technology. Compared with the results before the retrofit, the NO_x emission is decreased from 550-600 mg/Nm³ (6% O₂) to 350-400 mg/Nm³. The consumption of liquid ammonia is reduced from 150-200 kg/h to 100-150 kg/h. And the NO_x emission at the stack is decreased from 70 to 35 mg/Nm³ after modification.

Key words: low volatile coal; tangentially fired boiler; low NO_x burner; ignition enhancement; NO_x emission; low NO_x retrofit

0 引言

电站锅炉运行过程中生成的NO_x是大气污染的主要来源之一。NO和NO₂会导致酸雨,并参与形成光化学烟雾,破坏臭氧层,形成PM_{2.5},对自然环境及人体健康危害极大^[1]。针对这一问题,我国提出了日益严格的排放限制标准。自2004年,低挥发分煤电站锅炉NO_x排放质量浓度限值由650~1100 mg/Nm³(基准氧含量6%)逐步降低,至2020年,要求全国31省区分阶段实现超低排放,即NO_x

排放质量浓度控制在50 mg/Nm³以下^[2-3]。使用SCR反应器脱除尾部烟气NO_x是实现电站锅炉低氮排放的主流技术方案,而排放限值降低导致SCR反应器出入口NO_x质量浓度差过高;通过增加催化剂、增加液氨耗量能够短期实现超低排放,但会造成安全、经济、环保方面的问题^[4]。炉内采用低氮燃烧器技术能够降低SCR入口NO_x质量浓度,协同使用SCR烟气脱除系统,能够在保证锅炉安全稳定运行的同时控制NO_x在较低水平。对现有电站锅炉进行低氮燃烧改造势在必行。

煤中的燃料N和空气中的N₂在燃烧时产生

收稿日期:2017-08-01;责任编辑:李柏熹 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2018.02.026

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFB0601504)

作者简介:李杰义(1963—),男,山西新绛人,高级工程师,从事电站锅炉系统节能应用研究。E-mail:guangmsg@qq.com。通讯作者:谭厚章,教授, E-mail:tanhz@mail.xjtu.edu.cn

引用格式:李杰义,刘兴,李兵,等.挥发分煤四角切圆锅炉低氮改造试验[J].洁净煤技术,2018,24(2):145-148.

LI Jieyi, LIU Xing, LI Bing, et al. Low NO_x combustion retrofit on a low volatile coal tangentially fired boiler[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(2):145-148.

NO_x。煤粉燃烧生成的 NO_x 主要有燃料型 NO_x、热力型 NO_x 和快速型 NO_x^[5]。煤粉锅炉的快速型 NO_x 生成量较低 (<5%)；当炉膛温度在 1 500 ~ 1 800 °C，或炉内燃烧组织不均出现局部高温区时，热力型 NO_x 生成量较大，一般热力型 NO_x 占 20% 以下；燃料型 NO_x 是氮氧化物生成的主要途径，主燃烧区过量空气系数是影响燃料型 NO_x 生成的主要因素。

控制主燃烧区过量空气系数至还原性气氛后，烃类物质 (CH_i) 能够与 NO 发生还原反应，降低 NO_x 排放^[6-7]。烃类物质通过脱挥发分过程释放，所以低挥发分煤释放的烃类物质较少，因此对低挥发分煤锅炉采用空气分级技术后，NO_x 排放质量浓度往往高于同类烟煤锅炉。实验室一维炉研究表明，要达到相同的 NO_x 排放质量浓度，低挥发分煤需要更低的主燃区过量空气系数^[8]。

低挥发分煤着火燃尽性能差，对燃用贫煤锅炉进行低氮燃烧器改造后，炉内主燃烧区着火条件恶化，往往引起严重的着火燃尽问题，如管壁超温、飞灰可燃物含量大幅升高、锅炉效率下降^[9-10]，部分机组在改造后甚至发生严重的灭火事故^[11]。为保证炉内稳定燃烧，大量机组大幅降低空气分级程度，提高主燃区氧含量以强化着火，导致锅炉退出低氮燃烧模式，炉膛出口 NO_x 质量浓度升高，进而通过增大喷氨量控制 NO_x 排放，长期运行导致氨泄漏量过大，空预器堵塞等，威胁锅炉安全、经济运行^[12]。

目前，国内针对燃用低挥发分煤电站锅炉进行低氮燃烧器改造的成功经验较少，据报道燃烧低挥发分煤四角切圆锅炉 NO_x 平均排放质量浓度为 600 ~ 750 mg/Nm³^[13]，高于同类燃烧烟煤锅炉的 NO_x 排放水平。

本文针对低挥发分煤氮氧化物排放与着火稳燃性能的矛盾，耦合深度空气分级与燃烧器设计、着火强化技术对某 330 MW 燃用低挥发分煤四角切圆锅炉进行低氮燃烧改造。提升煤粉着火稳燃性能的同时，控制炉膛出口 NO_x 排放在较低水平，结合 SCR 烟气脱除技术，保证锅炉安全稳定运行的同时实现燃煤机组超低排放，可为同类机组应用低氮燃烧技术提供借鉴。

1 设备概况

DG1110/17.4-Ⅱ12 锅炉为亚临界、中间一次再热、自然循环、燃煤汽包锅炉，单炉膛Ⅱ型布置，四角切圆燃烧，尾部双烟道，固态排渣，平衡通风，全钢架悬吊结构，炉膛横截面为正方形，宽度为 12.8 m。煤粉气流从炉膛四角沿假想切圆切向射入炉膛，炉内切圆沿逆时针方向旋转，直径为 790 mm。制粉系统采用正压直吹式，配 3 台双进双出钢球磨，磨煤机型号为 MGS4062。锅炉设计煤种 V_{daf} 含量为 15% ~ 16%，属于低挥发分贫煤。为兼顾燃煤经济性与炉内着火稳定性，运行过程中采用贫煤与烟煤等比例掺烧方式运行，煤质分析见表 1。

表 1 锅炉煤质分析

Table 1 Properties of coal sample for boiler

煤种	M _{ad} /%	V _{daf} /%	A _{ar} /%	w(C _{ar})/%	w(H _{ar})/%	w(O _{ar})/%	w(N _{ar})/%	w(S _{ar})/%	Q _{net,ar} /(kJ·kg ⁻¹)
设计煤	1	16	30	56	3	2	1	1	20 850
校核煤	1	15	39	49	2	2	1	2	17 940
运行煤 1	2	18	27	—	3	—	—	1	20 907
运行煤 2	1	18	24	—	3	—	—	1	22 630

炉内燃烧设备为百叶窗水平浓淡直流燃烧器，布置形式为四角切圆燃烧。每角燃烧器共布置 16 层喷口，其中有 6 层一次风喷口 (A、B、C、D、E、F，A 层因布置少油点火装置不采用浓淡分离结构)，8 层二次风喷口 (AA、AB、BC、CC、DD、DE、EF、FF)，在主燃烧区上方布置 2 层燃尽风喷口 (OFA1、OFA2)。锅炉燃烧系统布置及一次风喷口结构如图 1 所示。一次风喷口分上下 2 组布置，上组底层燃烧器 D 中

心线与下组顶层燃烧器 C 中心线距离为 2.3 m。

改造前，SCR 反应器入口烟道 NO_x 质量浓度为 550 ~ 650 mg/Nm³，流经 SCR 脱硝反应器后排烟塔氮氧化物排放质量浓度为 70 ~ 100 mg/Nm³。改造前 SCR 系统试验表明，增大喷氨量可以将脱硝出口 NO_x 含量短期降至超低排放限值 50 mg/Nm³ 以下；但是喷氨量大幅上升导致 SCR 出口氨逃逸明显增加，与烟气中的 SO₃ 反应生成硫酸氢铵 (ABS)^[14]。

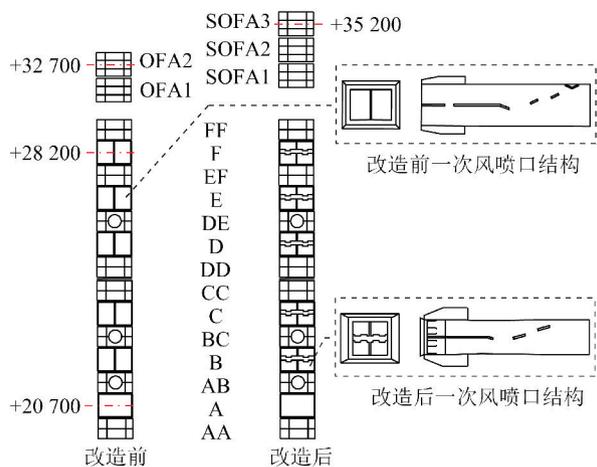


图1 燃烧系统结构示意图

Fig. 1 Schematic of the combustion system

长期运行导致 ABS 沉积在换热元件表面,造成空预器堵塞,空气预热器差压增大到 3 kPa 以上,对机组安全运转威胁极大。单独采用 SCR 系统实现超低排放技术风险大,威胁机组安全、经济运行。

2 改造方案

针对燃用低挥发分煤锅炉 NO_x 排放与着火稳燃性能的矛盾,将深度空气分级与强回流燃烧器技术结合使用,实现炉内燃烧稳定性及深度低氮燃烧的协同优化。改造前后燃烧器布置如图 1 所示。采用深度空气分级技术能够在主燃烧区形成强还原性气氛,改造后设计燃尽风率由改造前的 15% 增至 24% (BMCR 工况),取消原有燃尽风 OFA 喷口,增加 3 层分离燃尽风 SOFA 喷口。底层燃尽风 SOFA1 喷口中心高度较改造前 OFA1 中心高 1.6 m,炉内 NO_x 还原区扩大,实现炉内深度空气分级。改造后主燃区二次风率降低,为避免二次风速降低造成炉内燃烧组织紊乱,因此对主燃烧区二次风喷口重新设计。改造前后炉内整体风量分布见表 2。

表 2 炉内整体风量分布设计参数

Table 2 Parameters of the air distribution in furnace

项目	风率/%			
	一次风	周界风	主燃烧区二次风	燃尽风
改造前	19	10	53	15
改造后	19	8	46	24

主燃烧区燃烧器组整体布置形式与改造前一致,对喷口结构再设计。A 层一次风布置小油枪煤粉点火装置,采用普通直流一次风喷口,上 5 层一次

风采用新型百叶窗水平浓淡燃烧器及强回流燃烧器喷口,实现主燃烧区煤粉气流及时着火、稳定燃烧、低氮生成的性能。一次风采用百叶窗水平浓淡燃烧器,向火侧送入浓煤粉气流保证及时着火,背火侧送入淡煤粉气流,防止水冷壁高温腐蚀。百叶窗水平浓淡结构基础上,在燃烧器喷口位置布置齿型钝体,强化燃烧器出口回流区面积及强度,促进高温烟气回流加热煤粉气流,从而提高水平浓淡燃烧器燃烧低挥发分煤的着火性能。周界风布置在一次风的四周,温度远低于炉内高温烟气。改造前一次风喷口周界风射流与煤粉射流平行,周界风与一次风混合较早,在降低煤粉浓度的同时,增加了煤粉气流的着火热,不利于煤粉在喷口附近还原性气氛下及时着火;改造后周界风出口内壁与一次风呈 25° 角射出,延迟了低温周界风与主煤粉气流的混合,促进了喷口周边高温烟气对中心煤粉气流的卷吸回流加热,缩短了煤粉着火时间,提高了炉膛燃烧稳定性。

3 改造效果

测量改造前后 SCR 入口的 NO_x 质量浓度并统计反应器喷氨量,结果如图 2、3 所示。

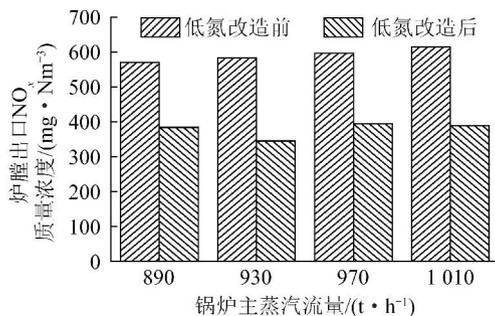
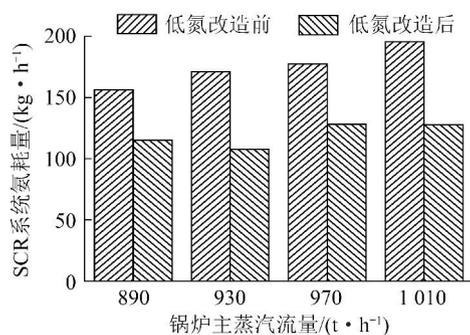
图2 SCR 入口 NO_x 质量浓度变化Fig. 2 NO_x emission at SCR inlet

图3 SCR 系统氨耗量变化

Fig. 3 Ammonia consumption for SCR system

由图 2 可知,SCR 入口质量浓度在全负荷段由

改造前 $550 \sim 600 \text{ mg/Nm}^3$ 降至 $350 \sim 400 \text{ mg/Nm}^3$, 燃烧生成阶段 NO_x 控制效果明显。改造前飞灰含碳量月统计均值为 2.41% , 改造后为 2.65% , 改造后飞灰含碳量小幅增加。SCR 出口 NO_x 质量浓度均值由改造前 70 mg/Nm^3 降至 35 mg/Nm^3 , 改造后 SCR 反应器液氨耗量由 $150 \sim 200 \text{ kg/h}$ 降至 $100 \sim 150 \text{ kg/h}$, 有利于机组经济性 & 长期稳定运行。

4 结 论

1) 对燃用低挥发分煤四角切圆锅炉进行低氮燃烧改造后, SCR 入口 NO_x 质量浓度由 $550 \sim 600 \text{ mg/Nm}^3$ 降低至 $350 \sim 400 \text{ mg/Nm}^3$; 飞灰含碳量由 2.41% 小幅增至 2.65% 。耦合空气分级及强化着火的低氮燃烧器设计方案, 基本实现低挥发分煤锅炉高效低 NO_x 排放。

2) 低氮燃烧器技术与 SCR 联用满足超低排放要求, 排烟塔 NO_x 排放质量浓度降低 35 mg/Nm^3 , 同时 SCR 反应器液氨耗量由 $150 \sim 200 \text{ kg/h}$ 降至 $100 \sim 150 \text{ kg/h}$, 实现机组安全、经济运行。

3) 低挥发分煤四角切圆锅炉在低氮燃烧设计中强化煤粉气流着火, 能够兼顾锅炉污染物控制与燃烧稳定性, 对同类型锅炉改造具有借鉴作用。

参考文献 (References):

[1] MAUZERALL D L, SULTAN B, KIM N, et al. NO_x emissions from large point sources: Variability in ozone production, resulting health damages and economic costs[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(16): 2851-2866.

[2] 中国环境科学研究院. 火电厂大气污染物排放标准: GB 13223—2003[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.

[3] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 国家能源局. 全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案[J]. 节能与环保, 2016(1): 32.

Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Full implementation of the coal-fired power plant ultra low emission and energy conservation work program [J]. Energy Conservation & Environmental Protection, 2016(1): 32.

[4] 卞韶帅, 余海燕, 杨士华, 等. 锅炉低氮燃烧与 SCR 脱硝联合运行优化系统[J]. 热力发电, 2016, 45(8): 81-86.

BIAN Shaoshuai, YU Haiyan, YANG Shihua, et al. Optimization on combined operation of low- NO_x combustion and SCR denitration system in utility boilers[J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(8): 81-86.

[5] 董琨, 黄启龙. 燃煤电站锅炉控制 NO_x 技术的探讨[J]. 洁净煤技术, 2008, 14(4): 66-69.

DONG Kun, HUANG Qilong. Study on control technology of NO_x emission for coal-fired boiler[J]. Clean Coal Technology, 2008, 14(4): 66-69.

[6] TANIGUCHI M, KAMIKAWA Y, YAMAMOTO K. Comparison of staged combustion properties between bituminous coals and a low-rank coal, fiber-shaped crystallized carbon formation, NO_x emission and coal burnout properties at very high temperature [J]. Combustion and Flame, 2013, 160(10): 2221-2230.

[7] 魏刚, 樊孝华, 王毅斌, 等. 生物质混燃与空气分级对 NO_x 排放的影响[J]. 热力发电, 2015, 44(5): 7-11.

WEI Gang, FAN Xiaohua, WANG Yibin, et al. Effect of biomass co-firing and air staging on NO_x emissions [J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(5): 7-11.

[8] 刘克军, 徐杰, 孔令军, 等. 低挥发分煤低 NO_x 燃烧技术研究与开发[J]. 节能技术, 2012, 30(1): 15-19.

LIU Kejun, XU Jie, KONG Lingjun, et al. Research and development of low NO_x combustion technology for low-volatile coal [J]. Energy Conservation Technology, 2012, 30(1): 15-19.

[9] 黄镇宇, 陈乐, 孙振龙, 等. 低挥发分煤低氮燃烧技术研究[J]. 电站系统工程, 2012(6): 17-19.

HUANG Zhenyu, CHEN Le, SUN Zhenlong, et al. Research on low nitrogen combustion using low volatile coal [J]. Power System Engineering, 2012(6): 17-19.

[10] 王东平, 贾宏禄, 刘小平. 利港电厂 $2 \times 350 \text{ MW}$ 机组锅炉低氮燃烧改造及其对锅炉运行的影响[J]. 热力发电, 2008, 37(12): 38-44.

WANG Dongping, JIA Honglu, LIU Xiaoping. Ligang power station $2 \times 350 \text{ MW}$ boiler low NO_x combustion transformation and the effect on boiler operation [J]. Thermal Power Generation, 2008, 37(12): 38-44.

[11] 朱磊. 锅炉低氮改造后灭火原因分析与对策[J]. 浙江电力, 2015(8): 41-44.

ZHU Lei. Analysis on causes of boiler fire distinguishing after low NO_x retrofit and the countermeasures [J]. Zhejiang Electric Power, 2015(8): 41-44.

[12] 邢希东. 空预器堵灰原因及在线高压水冲洗效果分析[J]. 电力安全技术, 2015, 17(2): 21-24.

XING Xidong. Causes of the ash plugging of air preheater and the effect of the high pressure water flushing [J]. Electric Safety Technology, 2015, 17(2): 21-24.

[13] 茹启明, 陆骑, 苏胜, 等. 300 MW 贫煤锅炉低氮燃烧系统改造及性能优化[J]. 煤炭转化, 2016, 39(2): 59-64.

RU Qiming, LU Qi, SU Sheng, et al. Application and performance optimization of low-nitrogen combustion system retrofit for 300 MW lean coal-fired boiler [J]. Coal Conversion, 2016, 39(2): 59-64.

[14] MENASHA J, DUNN-RANKIN D, MUZIO L, et al. Ammonium bisulfate formation temperature in a bench-scale single-channel air preheater [J]. Fuel, 2011, 90(7): 2445-2453.