

循环流化床锅炉 SNCR 脱硝技术优化改造

史磊^{1,2}, 张世鑫^{1,2}

(1. 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 北京 102209; 2. 煤基清洁能源国家重点实验室, 北京 102209)

摘要:为实现循环流化床锅炉 NO_x 排放达标, 阐述了我国目前 NO_x 控制方法及应用情况。以尿素、氨水为还原剂, 结合我国西北某电厂循环流化床锅炉脱硝情况, 介绍 SNCR 脱硝原理、主要工艺流程和设备组成等, 分析了 300 MW 循环流化床锅炉使用 SNCR 脱硝的优势, 结合循环流化床锅炉自身特点, 对原有 SNCR 设备进行改造, 并对改造后效果进行分析。结果表明, 通过调整测点位置, 优化控制逻辑, 还原剂调节阀动作明显较之前更为准确, NO_x 排放更加稳定; 将水平烟道的喷射方式由水平对射改造为错列对射, 并错开 0.3 m 距离, 让更多烟气接触到还原剂, 提高反应效率; 通过改变运行方式, 减少一次风量, 加大上二次风的供应量, 可减少 10% 的 NO_x 原始排放量。改造后 SNCR 脱硝装置可控制 NO_x 排放值低于 50 mg/Nm³ (以 NO₂ 计, 按 O₂ 浓度 6% 折算), 脱硝效率高于 85%, 氨氮比不高于 1.8, 氨逃逸数值由 7×10⁻⁶ 降为 3×10⁻⁶, 有效提升脱硝效率和系统稳定性。

关键词: 脱硝; 循环流化床锅炉; SNCR; 尿素; 氨氧化物

中图分类号: X773

文献标志码: A

文章编号: 1006-6772(2018)06-0107-05

Optimization of SNCR denitration technology in circulating fluidized bed boiler

SHI Lei^{1,2}, ZHANG Shixin^{1,2}

(1. Huaneng Clean Energy Research Institute, Beijing 102209, China; 2. State Key Laboratory of Coal-based Clean Energy, Beijing 102209, China)

Abstract: In order to achieve NO_x emission standard of circulating fluidized bed (CFB) boiler, the current NO_x control method and application in China were described. Taking urea and ammonia as the reducing agents, and combining with CFB boiler denitration situation in a certain power plant in northwest of China, the principle, main SNCR denitration process flow and equipment were introduced. Besides, the advantages of SNCR denitration in 300 MW CFB boiler were analyzed. Combined with the characteristics of CFB boiler, the original SNCR equipment was modified and then the modified effect was analyzed. The results show that, the action of reducing agent regulating valve is obviously more accurate and NO_x emission is more stable by adjusting the position of measuring points and optimizing control logic. The injection mode of horizontal flue is changed from horizontal twine to staggered twine, with a distance of 0.3 m staggered, so that more flue gas can contact with the reducing agent and improve reaction efficiency. By changing the operation mode, reducing the primary air volume and increasing the supply of secondary air, the original NO_x emissions can be reduced by 10%. After the modification, SNCR denitration device can control the NO_x emission value below 50 mg/Nm³ (calculated by NO₂ and converted to 6% O₂ concentration), and denitration efficiency is higher than 85%. At the same time, the ammonia nitrogen ratio is not higher than 1.8, and ammonia escape value is reduced from 7×10⁻⁶ to 3×10⁻⁶, which can effectively improve the denitration efficiency and system stability.

Key words: denitration; circulating fluidized bed boiler; SNCR; urea; NO_x

0 引言

近年来,我国 NO_x 排放总量不断上升,城市环

境恶化,雾霾严重,并有不断加重的趋势。最新研究表明,大气细颗粒物 NO_x、液相氧化 SO₂ 是我国当前雾霾期间硫酸盐的重要形成原因。我国引进循环流

收稿日期: 2018-06-04; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.18060401

基金项目: 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司院基金资助项目 (tb-15-ceri01)

作者简介: 史磊 (1984—), 男, 陕西武功人, 工程师, 从事循环流化床锅炉技术研究。E-mail: stone59886437@stu.xjtu.edu.cn

引用格式: 史磊, 张世鑫. 循环流化床锅炉 SNCR 脱硝技术优化改造[J]. 洁净煤技术, 2018, 24(6): 107-111.

SHI Lei, ZHANG Shixin. Optimization of SNCR denitration technology in circulating fluidized bed boiler[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(6): 107-111.



移动阅读

化床锅炉发电技术已有20年历史,现有不同容量的循环流化床锅炉近3000台,约63000MW容量投入商业运行,大于电力行业中锅炉总台数1/3^[1]。随着国家环保部门要求的日益提高,新环保标准实施后^[2],规定燃煤电厂NO_x排放浓度不高于100mg/m³(以NO₂计,按O₂浓度6%折算)。

西北某电厂循环流化床锅炉NO_x排放浓度一直高于350mg/m³,为满足当地环保部门提出的治理要求,电厂根据自身情况对2台300MW循环流化床锅炉进行了以尿素为还原剂的SNCR脱硝改造。循环流化床锅炉系东方锅炉股份有限公司设计的单汽包、自然循环的循环流化床锅炉,改造后排放标准达到环保部要求,但出现了调节系统不稳定、运行方式不合理导致原始排放量高、炉内脱硝系统对原始排放影响较大,间接影响SNCR调节系统稳定性等问题。

国内外循环流化床锅炉脱硝技术以SNCR脱硝使用最为广泛,杨梅^[3]、高明明等^[4]对循环流化床锅炉进行SNCR脱硝研究,说明SNCR脱硝具有较好的市场前景。孙献斌等^[5]对SNCR脱硝工艺系统关键设备喷枪进行研究,自主研发了一种空气冷却式空气雾化喷枪,解决了之前喷枪雾化效果差、尿素及氨水耗量大等问题,在300MW机组上取得了良好效果。本文以尿素、氨水为还原剂,结合我国西北某电厂循环流化床锅炉脱硝情况,介绍SNCR脱硝原理、主要工艺流程和设备组成等,分析了300MW循环流化床锅炉使用SNCR脱硝的优势,并结合300MW循环流化床锅炉自身特点,对原有SNCR设备进行改造,以期实现设备平稳运行,提高脱硝效率。

1 NO_x生成机理及控制手段

1.1 NO_x生成机理

燃煤锅炉生成的NO_x主要由NO、NO₂、N₂O等组成。研究发现,电厂燃煤生成NO_x的过程如图1所示。电厂燃煤生成NO_x主要包括3种产生途径:燃料型NO_x、热力型NO_x、快速型NO_x^[6]。对于循环流化床锅炉而言,燃用烟煤、褐煤、页岩等劣质燃料时,主要生成燃料性NO_x。

1.2 NO_x控制手段

目前国内对NO_x控制方法有燃烧中控制和烟气脱硝,燃烧中控制主要有低氮燃烧器、低氮改造、

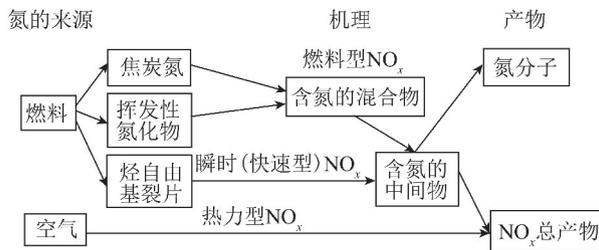


图1 煤燃烧生成NO_x过程

Fig. 1 NO_x formation process during coal combustion

燃烧调整等,烟气脱硝主要有选择性非催化还原SCR法、SNCR法^[7]。

SCR脱硝原理是:在催化剂作用下,通过还原剂(NH₃、尿素)与烟气中NO_x选择性反应生成N₂和水。SNCR法不同于SCR法,在不使用催化剂的条件下,还原剂(NH₃、尿素)在高温下(850~1150℃)^[8]直接与烟气中NO_x发生氧化还原反应。

1.3 SNCR脱硝技术原理

SNCR脱硝技术原理是将NH₃、尿素等还原剂喷入锅炉水平烟道,在合适的温度、气氛或催化剂条件下将NO_x还原,循环流化床锅炉采用SNCR脱硝技术控制NO_x排放的主要机理如图2所示^[9]。

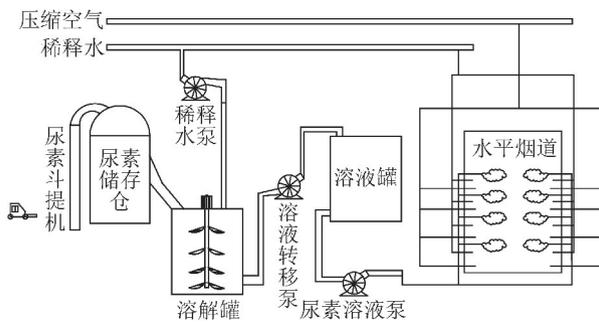


图2 SNCR脱硝技术控制NO_x排放机理

Fig. 2 Main mechanism of SNCR denitration technology to control NO_x emission

1.4 SNCR法与SCR法技术特点对比

与SCR技术相比,SNCR烟气脱硝技术投资运行成本低,占地面积少(布置在锅炉水平烟道处),建设工期短,脱硝效率可达到环保要求,适宜大型循环流化床锅炉。根据调研和计算论证,SNCR脱硝技术对锅炉效率、排烟温度、锅炉受热面以及锅炉下游设备造成腐蚀的影响均较小,不影响机组安全运行,不需进行针对性设备改造;脱硝装置投运后,NO_x排放量明显控制。在合适的喷氨量及温度窗下,SNCR脱硝技术的脱硝效率可以达到81%^[10]。此外,SNCR系统还具备投资成本低(设备简单、系

统造价降低),运行成本较低(不增加引风机电耗、运行维护简单),不增加烟气系统阻力,不使用催化剂,不产生新的 SO_3 ,氨逃逸控制在 10×10^{-6} 以内,不会造成尾部烟道的积灰和腐蚀,安装及操作较易等优点。

综上所述,SNCR 技术是成熟的脱硝技术,其低投资和低运行成本,特别适用于 CFB 机组、老机组脱硝改造,也适合垃圾焚烧炉、中小型燃煤锅炉的烟气脱硝,在国内外有较为广泛的应用。

1.5 SNCR 脱硝技术主要化学反应

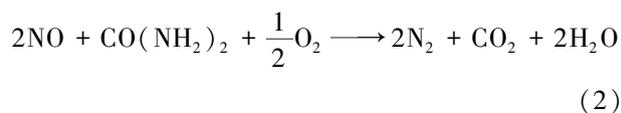
SNCR 技术是用 NH_3 、尿素等还原剂,以循环流化床锅炉旋风分离器入口水平烟道为反应器,通过适当的温度($850 \sim 1150 \text{ }^\circ\text{C}$),在不使用催化剂的情况下,将 NO_x 分解成氧气和水。

NH_3 或尿素还原 NO_x 的主要反应为

NH_3 为还原剂时:



尿素为还原剂时:



2 SNCR 脱硝技术

2.1 工艺流程

SNCR 烟气脱硝系统典型工艺流程如图 3 所示。

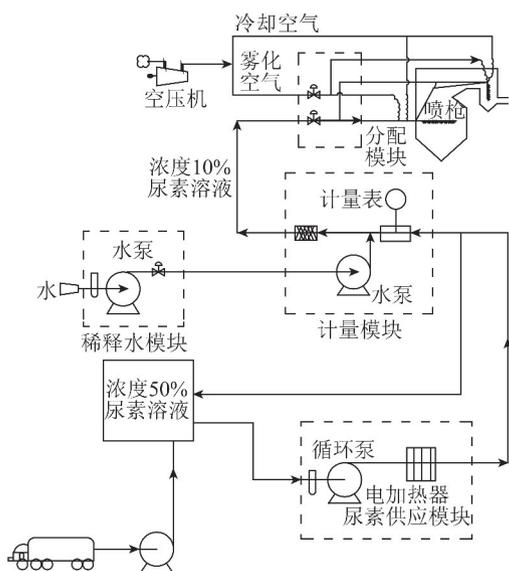


图3 SNCR 烟气脱硝系统典型工艺流程

Fig. 3 Typical process flow of SNCR flue gas denitration system

尿素经汽车运输到厂区,制成浓度 50% 的尿素溶液输送至储存罐内。储罐内尿素溶液通过高压泵与凝结泵出口引来的凝结水稀释后输送至水平烟道平台。尿素溶液浓度根据喷入点的流速、烟温、 NO_x 浓度等试验参数确定,稀释水为凝结水,经过计算机控制稀释水量大小,在保证脱硝效率的情况下,计算机系统控制稀释水用量,既能保证雾化效果,又能合理减少稀释水,避免浪费。

在水平烟道平台设置有分配装置,经分配装置,尿素被输送到每个喷枪,在雾化风压力下,将尿素溶液喷射进旋风分离器入口水平烟道,对烟气中 NO_x 进行还原,这种利用水平烟道作为反应容器的脱硝形式,大大减少了锅炉脱硝改造的工程量,使 300 MW 循环流化床锅炉脱硝改造成本降低了 2/3,成为目前循环流化床锅炉脱硝改造的主流施工方案。

2.2 设备组成

脱硝设备主要由制备系统、储存系统、分配系统、喷射系统 4 大部分构成^[11]。制备系统主要有溶解罐、搅拌器、加热器、转移泵。储存系统主要有储存罐、搅拌器、加热器、输送泵、稀释水泵、稀释水罐。分配系统主要有静态混合器、调节阀、电磁流量计。喷射系统主要有喷枪、雾化风管道、冷却风管道、转子流量计。

3 脱硝改造问题及解决方法

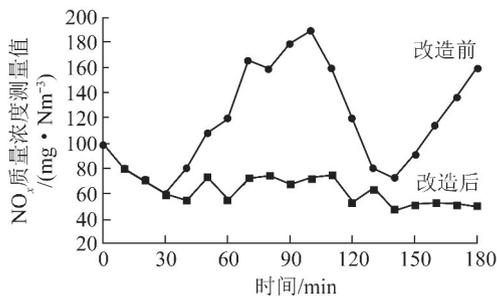
3.1 NO_x 浓度波动大

脱硝系统投入后存在 NO_x 测量值波动较大的问题,运行过程中,锅炉燃料量的波动导致 NO_x 测量值在 $24 \sim 240 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。自动控制逻辑中,还原剂喷入量控制 NO_x 测量值^[12]。由于测点位置靠后,导致还原剂喷入量对 NO_x 测量值存在 3 min 左右的滞后,且整个系统受燃料量波动影响较大。

改造措施:将 NO_x 测量仪表由原来的引风机出口改造到空预器入口,测点位置前移, NO_x 测量值滞后时间大大缩短。同时对控制逻辑进行优化,将燃料量作为主控输出前馈。优化后,燃料量波动时,还原剂调节阀动作明显较之前更为准确, NO_x 排放数值更加稳定(尿素耗量 $750 \text{ kg}/\text{h}$ 、氨氮摩尔比 1.8)。改造前后 NO_x 测量值变化如图 4 所示。

3.2 燃用高硫煤时无法保证 NO_x 排放量达标

该电厂燃用高硫煤时,脱硝系统投运后 NO_x 瞬间会升到 $230 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。原因为电厂燃用高硫煤时,

图4 改造前后 NO_x 测量值Fig. 4 NO_x measured value before and after modification

为保证烟气 SO₂ 不超标,向炉内投入大量石灰石,炉内投石灰石对 NO_x 生成有促进作用,石灰石以催化剂的形式促使炉内燃料中的 N 快速转变成 NO_x^[13],导致 NO_x 浓度迅速上升,减少石灰石投运。

改造措施:将原来水平烟道的喷射方式由水平对射改造为错列对射,并错开 0.3 m 距离,让更多烟气接触到还原剂,提高反应效率。通过改造脱硝效果提升,氨逃逸数值由 7×10^{-6} 降为 3×10^{-6} 。

3.3 运行方式不合理导致原始排放量高

脱硝效率不仅要去除已经生成的 NO_x,还要通过运行手段降低 NO_x 生成量,通过实际运行发现,采用分级供风能够有效地在源头减少 NO_x 的生成量^[14]。

改造措施:通过改变运行方式,减少一次风量(一、二次风配比 4:6),使燃烧处在贫氧状态,密相区内由于氧含量不足,燃烧速度和温度水平下降;燃料中氮分解生成大量中间活产物 CN、HCN,不仅将部分 NO 还原,又抑制了燃料型 NO_x 的生成。加大二次风的供应量,由于该区域燃烧温度较低,不会生成过多的 NO_x。通过调整燃烧方式,可以减少 10% 的原始排放量,脱硝效率高达 85% 以上。

4 改造效果及经验

4.1 效果分析

该电厂 2 台机组锅炉 SNCR 脱硝改造后,经过环保局的验收,NO_x 最终排放浓度低于 100 mg/Nm³,满足 GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》要求。通过锅炉燃烧优化,锅炉原始 NO_x 排放浓度约为 250 mg/Nm³,SNCR 脱硝装置投运后,可控制 NO_x 排放浓度低于 50 mg/Nm³ 时,脱硝效率高于 85%。2 台 300 MW 循环流化床锅炉可减排 NO_x 总量 >1 780 t/a,空气质量大幅度提升。

脱硝改造工程实施后,电厂 NO_x 排污费减少约

112 万元。2013 年 9 月,国家发改委将燃煤发电企业脱硝电价补偿标准由 0.008 元/kWh 提高至 0.01 元/kWh,每年仅脱硝电价补贴就高达 4 000 万元。此外,火电厂排放的 NO_x 除形成酸雨外,还会与碳氢化合物反应生成致癌物质,危害人体健康。因此,通过脱硝工程可大幅减少 NO_x 排放,有助于改善当地大气环境。

4.2 运行经验

1) 炉内脱硫尽量不投入或少投入

循环流化床锅炉为了降低 SO_x 排放,通常采用炉内加入石灰石,石灰石对 NO_x 排放有明显影响,造成 NO 上升,原因为:① 石灰石分解生成的富余 CaO 是燃料和注氨 N 转化为 NO 和 N₂ 的强氧化剂,也是 CO、H₂ 还原 NO 的强催化剂,CaO 对燃料 N 转化为 NO 的催化能力强于其分解能力;② 富余 CaO 是氧化气氛下 N₂O 分解的强催化剂。因此石灰石的加入增加了 NO_x 的排放,实际运行中,如果炉外脱硫能够满足的情况下,应停止炉内脱硫。

2) 根据煤质及时调整一、二次风配比

在实际运行中,应根据煤种情况,适当降低一次风,增大二次风。由于循环流化床锅炉存在核心贫氧区,通过调整一、二次风配比可大幅减少热力性 NO_x 的生成量(减少 10% 原始排放)。

3) 根据 NO_x 原始排放量及时调整尿素喷入量

实际运行过程中,NO_x 原始排放与负荷有较大关系,可根据负荷情况及时调整尿素调整阀开度,提高脱硝运行的经济性^[15]。根据循环流化床锅炉特点,采用 SNCR 脱硝技术对循环流化床锅炉进行改造后,环保要求达标,经济社会效益明显。

5 结 语

循环流化床锅炉脱硝是一种系统性脱硝手段。根据煤质变化及时调整一、二次风风量比例实现合理的运行方式;根据负荷变化及时调整尿素耗量,确保脱硝系统经济运行;燃用高硫煤时,适当降低入炉石灰石量,通过尾部湿法脱硫来控制 SO₂ 排放;根据逻辑控制的优先顺序,尽量缩短反馈时间,防止尿素调节阀动作存在滞后性。随着国家环保政策的实施,循环流化床锅炉是资源综合利用炉型的首选,SNCR 脱硝技术将会得到进一步发展。

参考文献 (References):

[1] 杨永恒. 循环流化床锅炉技术的现状及发展前景[J]. 机械管

- 理开发,2017(7):151-152.
- YANG Yongheng. Present situation and development prospect of circulating fluidized bed boiler technology [J]. Mechanical Management and Development,2017(7):151-152.
- [2] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局. 火电厂大气污染物排放标准;GB 13223—2011[S]. 北京:中国环境科学出版社,2011.
- [3] 杨梅. 循环流化床烟气 SNCR 脱硝机理和实验研究[D]. 上海:上海交通大学,2014.
- [4] 高明明,洪烽,牟犇,等. 循环流化床机组大气污染物排放运行优化研究[J]. 中国电机工程学报,2018,38(10):3033-3041.
- GAO Mingming, HONG Feng, MOU Ben, et al. Study on air pollutant discharge optimization of circulating fluidized bed unit [J]. Proceedings of the CSEE,2018,38,2018,38(10):3033-3041.
- [5] 孙献斌,时正海,金森旺. 循环流化床锅炉超低排放技术研究[J]. 中国电力,2014,47(1):142-145.
- SUN Xianbin, SHI Zhenghai, JIN Senwang. Research on ultra-low emission technology for CFB boilers [J]. Electric Power,2014,47(1):142-145.
- [6] 章荣顶. 燃煤锅炉降低 NO_x 燃烧和排放控制技术研究[J]. 企业技术开发,2012(20):167-168.
- [7] 于奔. 电厂 NO_x 控制技术综述[J]. 企业导报,2012(12):289.
- [8] 董陈,赵树春,徐宏杰,等. 燃煤锅炉 SNCR 脱硝工艺关键技术[J]. 热力发电,2016,45(12):73-77.
- DONG Chen, ZHAO Shuchun, XU Hongjie, et al. Key points of SNCR denitrification technology for coal fired boilers [J]. Thermal Power Generation,2016,45(12):73-77.
- [9] 高亮,王智化,凌忠钱,等. 炉内高温喷射尿素溶液脱硝机理及其影响因素[J]. 锅炉技术,2005,36(2):72-75.
- GAO Liang, WANG Zhihua, LING Zhongqian, et al. Mechanism and parameters study on NO_x abatement use urea as agent in boiler [J]. Boiler Technology,2005,36(2):72-75.
- [10] 朱健. 浅谈 SCR 和 SNCR 在燃煤锅炉烟气脱硝中的应用[J]. 科技资讯,2015(14):108-109.
- [11] 吴迪,张光学,池作和,等. 循环流化床锅炉 SNCR 还原剂喷射系统布置方式研究[J]. 电站系统工程,2012(5):14-17.
- WU Di, ZHANG Guangxue, CHI Zuohe, et al. Study on injection arrangement of SNCR reducing agent in CFB boiler [J]. Power System Engineering,2012(5):14-17.
- [12] 闫志海,柴彬,陈磊,等. SNCR 脱硝技术及设备综述[J]. 天津科技,2016,43(9):28-30.
- YAN Zhihai, CHAI Bin, CHEN Lei, et al. Description of SNCR denitration technology and equipment [J]. Tianjin Science & Technology,2016,43(9):28-30.
- [13] 殷立宝,张月,李加护. 循环流化床锅炉氮氧化物生成与控制分析[J]. 电力情报,2001(3):1-4.
- YIN Libao, ZHANG Yue, LI Jiahu. Factors influencing NO_x and N₂O formation in circulating fluidized bed boilers and control measures [J]. Information on Electric Power,2001(3):1-4.
- [14] 郭鲁阳. 采用分级送风降低锅炉 NO_x 排放及优化水冷壁近壁气氛试验研究[D]. 青岛:山东大学,2006.
- [15] 李季,刘泽斌,赵德明. CFB 锅炉脱硝系统运行优化调整[J]. 科技风,2017(8):189-191.