

Application and research of precise optimization and transformation of denitrification and ammonia injection in large coal-fired power plants

Yongxiong Tian

National Energy Group Dianta Power Plant, Yulin, Shaanxi, 719300, China

Abstract

With the national environmental laws and regulations and emission standards are more and more strict, the traditional single denitration technology has been unable to meet the national requirements for thermal power plant denitration emissions, excessive ammonia will lead to the consumption of urea or liquid ammonia is too large, catalyst partial blockage, air preheater blocking ash, plant power rate increase and other problems. When the ammonia injection is insufficient, it will bring the problem of unqualified environmental indicators. Through the use of three-dimensional simulation technology to flow field simulation and optimization, partition valve adjustment, the whole process of big data analysis and other means, to improve the denitrification efficiency, reduce ammonia escape, reduce the operation cost, and reduce the impact on the environment.

Keywords

denitration partition control; precise ammonia injection; optimization and transformation

大型燃煤火电厂脱硝精准喷氨优化改造应用与研究

田永雄

国家能源集团店塔电厂, 中国·陕西 榆林 719300

摘要

随着国家环保法律法规和限制排放标准的越来越严格, 传统的单一脱硝技术已不能满足国家对于火电厂脱硝排放的要求, 过量喷氨会导致尿素或液氨的消耗过大, 催化剂部分堵塞, 空气预热器堵灰, 厂用电率升高等问题。喷氨量不足时又会带来环保指标不合格的问题。通过采用三维模拟技术对流场模拟及优化, 分区阀门调节, 全过程使用大数据分析等手段, 以提高脱硝效率, 减少氨的逃逸, 降低运行成本, 并减少对环境的影响。

关键词

脱硝分区控制; 精准喷氨; 优化改造

1 引言

火电厂作为我国主要的电力来源, 其排放的氮氧化物 (NO_x) 对环境造成了严重影响。选择性催化还原 (SCR) 技术因其高脱硝效率而被广泛应用于火电厂。然而, 传统的喷氨方式存在诸多问题, 如氨逃逸、催化剂积灰、空预器堵塞、电除尘极板结垢板结及电除尘灰斗挂壁等严重影响设备安全及环保安全的问题。特别是超低排放改造完成后, 机组的氮氧化物排放水平得到了很大程度的下降, 但是也使得出口 NO_x 浓度的调整区间显著压缩, 同时由于 SCR 系统本身是一个非线性、大迟滞、多运行参数耦合的脱硝反应体系, 在实际运行中受负荷波动, 燃烧条件、运行参数测量等多重因素的影响, 系统运行参数会发生相对剧烈的波动, 直接导

致传统喷氨自动的不稳定投运, 进而增加了 NO_x 排放瞬时超标的风险, 过量喷氨、不及时喷氨等运行特性较为普遍; 此外, 机组仍采用了传统的喷氨支管手动固定喷氨的运行方式, 忽略了系统内烟气流速、NO_x 浓度等关键运行参数变化数的时间及空间波动性, 不能保证系统内良好的氨氮混合当量比, 进而导致系统的氨利用率水平较低, 氨耗量明显增加, 空预器运行阻力上升等一系列问题。

2 脱硝技术现状分析

2.1 SCR 技术概述

SCR 技术是目前应用最广泛的烟气脱硝技术, 其脱硝效率可达 80%~90%。SCR 系统主要由反应器、催化剂和还原剂贮存及喷射系统组成, 主要原理是利用氨 (NH₃) 将 NO_x 还原为氮气 (N₂) 和水 (H₂O)。

2.2 现存问题

现有的喷氨方式假设烟气流量及 NO_x 分布固定不变,

【作者简介】田永雄 (1982-), 男, 中国陕西榆林人, 本科, 工程师, 从事脱硝精准喷氨研究。

但实际上锅炉负荷或燃烧方式调整时,烟气流量和 NO_x 的分布会随之变化,导致 NH₃ 浓度场与 NO_x 浓度场不匹配,造成局部过量喷氨和氨逃逸。

3 优化改造方案

3.1 多点测量技术

采用 SCR 反应器出口 NO_x 多点测量技术,通过同步实时采样、分时分析,实现对 NO_x 含量分布周期分析,以提高 NO_x 测量的准确性和代表性。

3.2 流场分布优化

对现有烟道流畅进行检测,对入口部分导流板进行重新调整,尽量实现烟道内部流畅的相对均匀,根据流场分布将 SCR 反应器入口烟道分为多个区域,每个区域增加差压流量计和气动调节阀,以实现对各分区喷氨量的精调。

3.3 预测控制技术

设置智能 PLC 控制器,利用智能算法实现预测控制,对脱硝控制系统的各种扰动因素进行动态补偿,及时消除系统波动。

3.4 大数据计算方法

采用大数据计算方法,通过长期数据积累,实现对 PLC 中预测算法的控制系数的自优化,提高系统的适应能力。

4 结论

通过对现有脱硝 SCR 区喷氨方式的分析和优化改造,可以有效减少氨过量造成的原料浪费,解决设备的腐蚀、空预器堵塞等问题,具有广阔的市场应用前景。

5 案例应用研究与分析

5.1 案例情况

某电厂 660MW 机组,锅炉为东方锅炉股份有限公司生产的前后墙对冲直流炉,脱硝系统采用尿素热解脱硝,尿素热解后氨气由分配集箱经 66 根支管喷射进入烟道,单根喷射器前有手动调节阀,经 AIG 后进入 SCR 区。但仍为传统喷氨方式。运行过程存在如下问题:

①由于 NO_x 测量的时变性和滞后性,传统控制依靠 NO_x 目标值与设定值偏差来指导尿素需求量总会产生延迟,机组工况大幅变化时 SCR 出口 No_x 浓度波动剧烈,引起环保超标。为避免上述情况的发生,电厂运行人员只能依靠手动调节使喷尿素量尽可能跟踪炉膛燃烧产生 NO_x 量,维持氨氧化物不超标,但这种方式会拉低 NO_x 出口小时均值,带来运行经济性和环保的压力。

②出口为单测点,由于烟气流场不均,出口 NO_x 检测数据偏差较大不具有代表性,缺乏精细分区调节手段,无法保证出口 NO_x 空间上的均匀性。导致实际出口氨逃逸大于设计值 3ppm。

5.2 改造方案选择及实施

经现场检测,流畅模拟得出该厂实际运行工况,通过论证确定适用于多点检测精准控制喷氨方式进行改造。

①对脱硝 AIG 区域入口导流板进行重新调整改造,在

原烟道左右侧导流板后各新增 6 组新导流板,与原导流板实现 120 度夹角,确保 AIG 入口烟气均匀[3]。

②对原喷氨支管进行改造,将原 66 根支管单独控制的氨喷射器 A.B 侧,新增 6 个分区阀门。其中分区气动调节阀指令和反馈信号送到 DCS。脱硝反应器出口 A.B 侧各新增一套分区同步测量系统,每侧 6 个 NO_x 浓度测点,采用轮测技术,每个点测量时间 17S,据下一次该点测量间隔时间 119S。分区 NO_x 同步测量系统通过 PLC 与 DCS 实现数据通讯。原有脱硝喷氨控制系统新增分区自动控制逻辑。[1] 喷氨分区阀门经由均衡控制算法得出各分区阀门优化指令经由 DCS 判断后,送入现场各个调阀。A、B 侧 SCR 出口各区域 NO_x 浓度一致。尿素需求量控制参数由新增的总量控制算法得出尿素需求量后,经由 DCS 控制 6 个尿素溶液调节阀指令输出。实现分区精准检测,精准控制喷氨量,最大限度实现分区域 NO_x 精准性,确保各区域 NO_x 相对均匀。

5.3 改造实施后试验

5.3.1 脱硝试验

以单侧烟道,机组负荷 100% 为例。每组试验保持运行工况稳定。第一组试验把所有阀门开度开至 100%,后续把每一组试验改变一个阀门的开度 x, x 的数值分别为 30%、50%、70%、100%,共记录 4 组不同阀门开度情况下的 6 个分区 NO_x 数据,然后将阀门开度恢复至 100%,开始下一组试验。

5.3.2 脱硝总量优化效果

①脱硝总量自动投入后 330MW 低负荷投运前后效果对比:

脱硝优化系统投入前运行手动控制调节时,在负荷稳定工况下,两侧脱硝出口 NO_x 一直产生波动难以稳定,A 侧波动偏差在 25 ± 10 mg/Nm³,B 侧波荡在 15 ± 8 mg/Nm³ 左右。

总量优化自动与分区自动控制系统投入后,整定参数,在稳定负荷工况下,A 侧脱硝出口 NO_x 浓度在 29 ± 5mg/Nm³ 波动,B 侧脱硝出口 NO_x 浓度在 34 ± 5 mg/Nm³ 波动,且喷尿素量稳定。

②脱硝总量自动投入后 450MW 中负荷投运前后效果对比:

脱硝优化系统投入前运行手动控制调节时,在负荷稳定工况下,两侧脱硝出口 NO_x 一直产生波动难以稳定,A 侧波动偏差在 35 ± 15 mg/Nm³,B 侧波荡在 12 ± 6 mg/Nm³ 左右。[2]

总量优化自动与分区自动控制系统投入后,整定参数,在稳定负荷工况下,A 侧脱硝出口 NO_x 浓度在 41 ± 4mg/Nm³ 波动,B 侧脱硝出口 NO_x 浓度在 35 ± 4 mg/Nm³ 波动,且喷尿素量稳定。

③脱硝总量自动投入后 620MW 高负荷投运前后效果对比:

脱硝优化系统投入前运行手动控制调节时,在负荷稳定工况下,两侧脱硝出口 NO_x 一直产生波动难以稳定,A

侧波动偏差在 $30 \pm 15 \text{ mg/Nm}^3$ ，B 侧波荡在 $14 \pm 7 \text{ mg/Nm}^3$ 左右。

总量优化自动与分区自动控制系统投入后，整定参数，在稳定负荷工况下，A 侧脱硝出口 NOx 浓度在 $28 \pm 5 \text{ mg/Nm}^3$ 波动，B 侧脱硝出口 NOx 浓度在 $21 \pm 4 \text{ mg/Nm}^3$ 波动，且喷尿素量稳定。

尿素总量控制投入精准喷氨总量控制系统后，经过优化调试在高中低三个负荷的稳定工况下控制效果良好，尿素量反映及时，跟随设定值变化快且准确，超调量小，明显降低了波动性，提高了控制的稳定性，稳定工况脱硝出口 NOx 浓度波动 $\leq \pm 5 \text{ mg/Nm}^3$ ，满足技术协议要求。

④脱硝总量优化投入前后变负荷工况效果对比：

在变负荷工况下，入口 NOx 浓度存在一定波动性，A 侧脱硝出口 NOx 浓度波动剧烈，B 侧脱硝出口 NOx 波动较小但与 A 侧有较大偏差。

投入优化自动后，变负荷期间，两侧脱硝出口 NOx 浓度波动性明显减小，波动大小控制在 $\pm 8 \text{ mg/Nm}^3$ 以内，并且两侧脱硝出口 NOx 浓度更加接近。

自动投入后变负荷动态工况脱硝出口 NOx 波动范围在 $\pm 8 \text{ mg/Nm}^3$ ，与指标要求对比如下：

5.3.3 脱硝分区均衡控制试验效果

分区均衡控制系统投入运行后，出口 NOx 浓度分布场趋于稳定，所有曲线呈现出收敛的状态，单侧所有分区

NOx 浓度趋于一致，分区 NOx 浓度平均在 $20\text{-}50 \text{ mg/Nm}^3$ 范围内波动，降低了局部氨逃逸并且节省了喷尿素量。

当分区自动调试后，数据更加收敛，两侧的分区 NOx 浓度不均匀度在稳工况下长期控制在 25% 以下，符合技术协议指标。

5.3.4 氨逃逸试验效果

经过总量自动和分区自动的投入调试后，连续观察的效果，降低了波动性，减少了局部氨逃逸，氨逃逸效率符合技术指标。

5.3.5 脱硝出口偏差调试效果

经过总量自动和分区自动的投入调试后，连续观察的效果，降低了波动性，减少了局部氨逃逸，两侧脱硝出口 NOx 小时均值长时间偏差 $\leq 10 \text{ mg/Nm}^3$ 符合技术指标。

5.4 改造尿素耗量与计算

数据来源 DCS 系统历史曲线，统计近期机组投运前与投运后机组对的氨耗量对比，见表 1。

5.5 总结

本次系统试验后，整定参数后稳态波动控制在 $\pm 5 \text{ mg/Nm}^3$ 以内，变负荷动态工况的波动性平均值控制在 $\pm 8 \text{ mg/Nm}^3$ 以内，分区控制调试后出口 NOx 不均匀度系数长时间不大于 25%。实验结果表明，优化改造方案能够有效提升脱硝系统的性能。

表 1

全工况投运 27 天内尿素节约量计算		累计使用尿素量	平均发电量	单位发电氨耗量	相对节尿素量占比
投运前	2023 年 7 月 3 日 0: 00-2023 年 7 月 30 日 0: 00	304.05m ³ /h	435.76MW	0.69774	
投运后	2024 年 7 月 5 日 00: 00-2024 年 8 月 1 日 00:00:00	261.62m ³ /h	441.48MW	0.59259	投运后相较投运前： 15.07%

6 经济效益分析

6.1 成本节约

本项目意在通过 SCR 脱硝系统的喷氨优化，减少出口 NOx 的波动性，改善 NOx 不均匀性带来的影响，从而采用适当的喷尿素量，起到减轻设备腐蚀的目的。本项目实施后，使得在相同 NOx 排放标准下，氨逃逸最小，提高催化剂的使用寿命，减少空预器检修成本并大大减少运行人员操作负担。通过减少氨的过量喷射，每年可节约成本约 100 万元。同时，由于催化剂损耗的减少，更换周期延长，进一步降低了运营成本。

6.2 环境效益

氨逃逸的减少降低了对环境的潜在影响，符合国家环保政策的要求，有助于企业获得环保补贴和税收优惠。

7 结语

7.1 技术挑战

虽然优化改造方案取得了一定的成效，但在实际操作中仍面临一些技术挑战，如喷氨系统的精确控制、催化剂的长期稳定性等。

7.2 未来研究方向

未来的研究可以集中在开发更加智能的控制系统，以及探索全负荷脱硝下新型宽温催化剂的使用，以进一步提高脱硝效率和降低成本。

8 结论

本研究通过对大型燃煤发电厂脱硝精准喷氨优化改造的应用与研究，证实了优化改造方案的有效性。通过实施该方案，不仅可以提高脱硝效率，降低氨逃逸，降低还原剂耗量，还能减少催化剂损耗，延长使用寿命，具有显著的经济和环境效益。

参考文献

[1] 周作发.电厂锅炉脱硝系统氨逃逸危害、影响因素及运行调整.变频器世界,2019参考文献: <http://lib.cqvip.com/Qikan/Article/Detail?id=66808183504849574854485156>

[2] 游松林 罗洪辉 王振 姚勇琪 刘秀如 孙漪清 陈锋.燃煤电厂SCR脱硝系统氨逃逸率控制技术研究.华电技术,2019

[3] 朱天宇,李德波,等燃煤锅炉SCR脱硝系统流畅优化的数值模拟,动力工程学报,2015.