



移动扫码阅读

刘晓萌,刘沛奇,张冉,等.基于线性控制的SCR脱硝分区喷氨工程应用研究[J].能源环境保护,2020,34(5):41-46.

LIU Xiaomeng, LIU Peiqi, ZHANG Ran, et al. Industrial test of SCR denitration subarea ammonia injection based on linear control[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(5):41-46.

基于线性控制的SCR脱硝分区喷氨工业性试验

刘晓萌,刘沛奇,张冉,杨用龙

(华电电力科学研究院有限公司,浙江杭州310030)

摘要:为了分析SCR脱硝分区喷氨技术的应用效果,采用1000 MW、750 MW、500 MW三种工况的分区喷氨脱硝装置进行工业性试验。结果表明:A侧反应器和B侧反应器出口 NO_x 相对标准偏差 $\leq 19.7\%$,氨逃逸率小于 2.28 mg/m^3 (标态、干基、 $6\% \text{ O}_2$),出口 NO_x 排放浓度小时均值小于 50 mg/m^3 (标态、干基、 $6\% \text{ O}_2$);在锅炉燃烧较为稳定的情况下,基于出口 NO_x 浓度场线性反馈控制的分区喷氨技术可以实现SCR出口全截面 NO_x 浓度的均匀分布。

关键词:脱硝;分区喷氨;火电环保;超低排放

中图分类号:X512

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)05-0041-06

Industrial test of SCR denitration subarea ammonia injection based on linear control

LIU Xiaomeng, LIU Peiqi, ZHANG Ran, YANG Yonglong

(Huadian Electric Power Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310030, China)

Abstract: In order to analyze the application effect of SCR denitrification subarea ammonia injection technology, industrial test was carried out with denitrification subarea ammonia injection equipment of 1000 MW, 750 MW and 500 MW. The results showed that the relative standard deviation of NO_x concentrations at the outlet of A side reactor and B side reactor was lower than 19.7%, and the ammonia escape rate was less than 2.28 mg/m^3 (standard state, dry basis, $6\% \text{ O}_2$). The hourly average value of outlet NO_x emission concentration was less than 50 mg/m^3 (standard state, dry basis, $6\% \text{ O}_2$). When the boiler combustion was stable, the subarea ammonia injection technology controlled by the linear feedback of NO_x concentration field at the outlet could realize the uniform distribution of NO_x concentration in the whole section of SCR outlet.

Key Words: Denitration; Subarea ammonia injection; Thermal power environmental protection; Ultra-low emission

0 引言

为响应国家节能减排号召,重点地区大中型燃煤火力发电厂烟气排放基本完成超低排放改造,烟气 NO_x 排放浓度在 50 mg/m^3 (标态、干基、 $6\% \text{ O}_2$)以下^[1-2],其中采用SCR技术烟气脱硝机组占

全部机组90%以上^[3-4]。SCR法脱硝技术具有技术成熟、脱硝效率高、便于管理、运行可靠等技术优点^[5],但实际运行过程中SCR脱硝技术极易出现出口 NO_x 分布不均、氨逃逸率过高等问题^[6]。在此基础上,出现了一种新的控制SCR反应器出口 NO_x 均匀性的技术——分区喷氨动态控制^[7]。

收稿日期:2020-07-07

第一作者简介:刘晓萌(1990-),男,山东泰安人,工程师,主要从事燃煤电厂烟气环保设施检测与烟气污染防治技术研究。

E-mail: xiaomeng-liu@chder.com

长三角地区某百万燃煤机组在原线性控制喷氨基础上,通过在喷氨管道上加装动态控制阀,已完成分区喷氨控制改造。该技术是基于 SCR 反应器出入口分区对应的线性控制^[8],通过对 SCR 反应器平均分区,用相关分区的出口 NO_x 数值反馈调节对应分区入口喷氨流量,实现出口 NO_x 浓度截面相对标准偏差 $\leq 20\%$,即通过分区喷氨改造使出口 NO_x 浓度分布均匀,减少氨逃逸率。该机组 SCR 分区喷氨改造采用“五分区/十点测量”设计(即每侧 SCR 出口沿宽度方向布置 10 个支路测点,其上游喷氨管路均匀分成五组,每组对应一个分区),通过 NO_x/O_2 浓度分布式巡测的喷氨总量控制等技术,提升喷氨控制效果,使 SCR 性能适应 NO_x 超低排放要求,达到降低喷氨量、降低 SCR 出口截面 NO_x 不均匀系数、降低空预器堵塞几率、减轻尾部设备(如电除尘极线、除尘滤袋、低压省煤器)积灰等效果。为火电厂“厂界环保岛”^[9]设备整体安全稳定运行提供技术支撑。

1 试验内容

1.1 试验装置

研究对象为 1 000 MW 超超临界机组, π 型布置,锅炉型号为 DG3024/28.35- II 1。三层催化剂投入运行。SCR 反应器设计入口 NO_x 浓度为 $350 \text{ mg}/\text{m}^3$ (标态、干基、6% O_2),脱硝效率不低于 85.7% (即脱硝装置出口 NO_x 排放浓度不大于 $50 \text{ mg}/\text{m}^3$)。改造前 A 侧、B 侧 SCR 反应器 100% 负荷率工况下出口截面 NO_x 浓度相对标准偏差分别为 32.0%、45.1%。分区喷氨改造保证值为 SCR

出口截面 NO_x 浓度相对标准偏差 $\leq 20\%$ 。SCR 出口截面任意测点氨逃逸 $< 2.28 \text{ mg}/\text{m}^3$ (标态、干基、6% O_2)。本次 SCR 分区喷氨改造采用“五分区/十点测量”设计(即每侧 SCR 出口沿宽度方向布置 10 个支路测点,其上游喷氨管路均匀分成五组,每组对应一个分区),主要涉及 NO_x/O_2 浓度分布式巡测和混合采样测量、氨氮摩尔比分区在线调平以及多维度决策的喷氨总量控制等技术,通过“总量控制阀+分区调平阀+支管调节阀”三级阀门的串联控制和调节,提升喷氨控制的品质,使 SCR 性能适应 NO_x 超低排放要求。SCR 分区喷氨改造后,30%~100% BMCR 任意稳定工况下,SCR 出口截面的 NO_x 浓度相对标准偏差 $\leq 20\%$ 。单个反应器“五分区/十点测量”设计机构示意图详见图 1。本次试验测点在脱硝反应器的入口竖直烟道和最下层催化剂的下方,具体位置详见图 2 和图 3。

1.2 入口烟气流测试

烟气流测试采用网格法测量脱硝装置入口各点的烟气流速、压力、温度和氧量,综合计算出三种典型工况下烟气流流量。100% 负荷率、75% 负荷率和 50% 负荷率 A 侧反应器烟气流分别为 $1\,698\,363 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $1\,359\,996 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $905\,882 \text{ m}^3/\text{h}$; B 侧反应器烟气流分别为 $1\,429\,480 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $1\,196\,348 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $851\,789 \text{ m}^3/\text{h}$ 。对比三种典型工况下, A 侧与 B 侧反应器的烟气流虽然存在一定偏差,但三种典型工况下 A 侧反应器烟气流均比 B 侧反应器烟气流大,烟气条件基本稳定,满足试验条件。

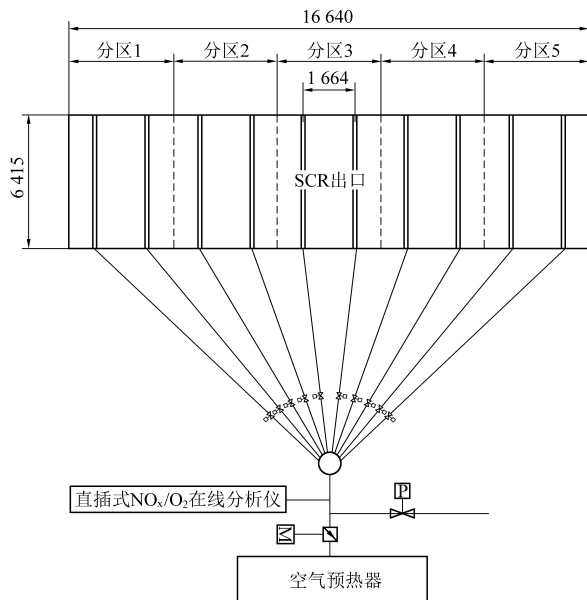


图 1 单个反应器五分区/十点测量设计机构示意图

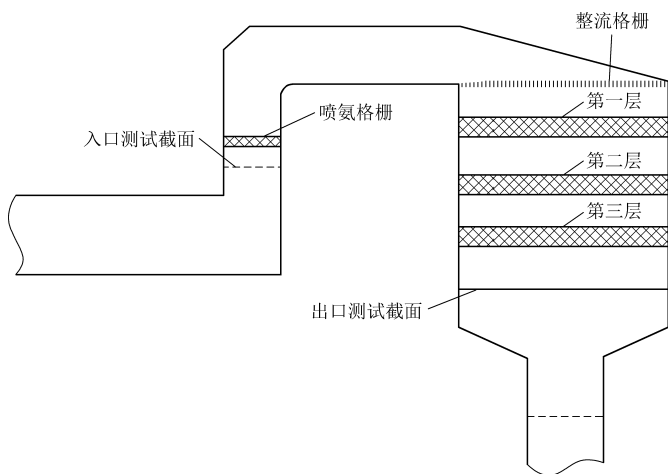


图2 试验测点侧视示意图

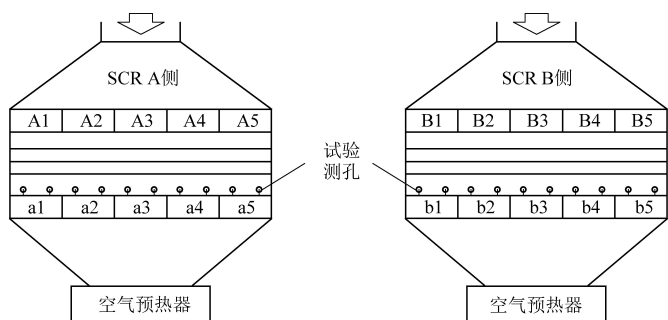


图3 试验测点正视示意图

1.3 入口烟温测试

烟气温度测试采用网格法。100%负荷率、75%负荷率和50%负荷率A侧反应器温度均值分别为360、339、330℃；100%负荷率、75%负荷率和50%负荷率B侧反应器温度均值分别为373、360、347℃。测试温度均在320~420℃的脱硝催化剂设计反应温度区间内,满足试验条件。

1.4 入口NO_x分布测试

脱硝反应器入口烟道中NO_x浓度分布采用网格法进行测试,网格布置参照GB/T 16157中的测试网格布置方法。相对标准偏差C_v值计算公式如下:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{c}} \times 100\% \quad \text{公式(1)}$$

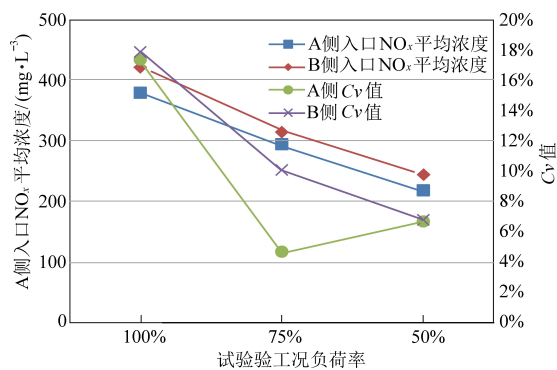
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \quad \text{公式(2)}$$

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad \text{公式(3)}$$

式中: C_v为相对标准偏差; σ为标准偏差, mg/m³; \bar{c} 为测试截面NO_x浓度(标态、干基、6% O₂)的平均值, mg/m³; c_i为测试截面上i点NO_x浓

度(标态、干基、6% O₂), mg/m³。

三种工况入口NO_x平均浓度和C_v值对比见图4。

图4 三种工况入口NO_x平均浓度和C_v值对比

由图4可知,100%负荷率工况,A侧SCR入口NO_x平均浓度为380 mg/m³(标态、干基、6% O₂), C_v值为17.4%; B侧SCR入口NO_x平均浓度为422 mg/m³(标态、干基、6% O₂), C_v值为17.9%。75%负荷率工况,A侧SCR入口NO_x平均浓度为295 mg/m³(标态、干基、6% O₂), C_v值为4.7%; B侧SCR入口NO_x平均浓度为315 mg/m³

(标态、干基、6%O₂), C_v 值为 10.1%。50% 负荷率工况, A 侧 SCR 入口 NO_x 平均浓度为 219 mg/m³ (标态、干基、6%O₂), C_v 值为 6.5%; B 侧 SCR 入口 NO_x 平均浓度为 244 mg/m³ (标态、干基、6%O₂), C_v 值为 6.8%。

2 试验结果分析

2.1 三种典型工况出口 NO_x 均匀性测试

2.1.1 100% 负荷率工况

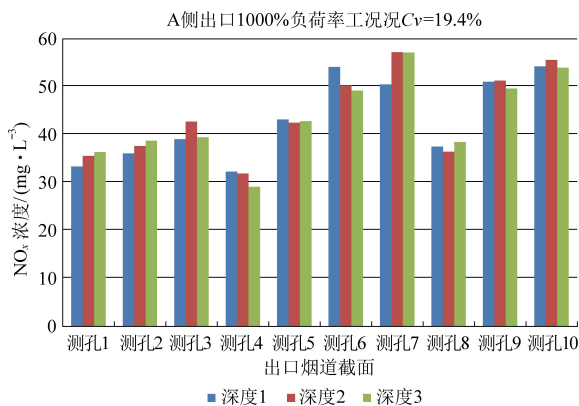


图 5 100% 负荷率工况 A 侧出口截面 NO_x 均匀性分布情况

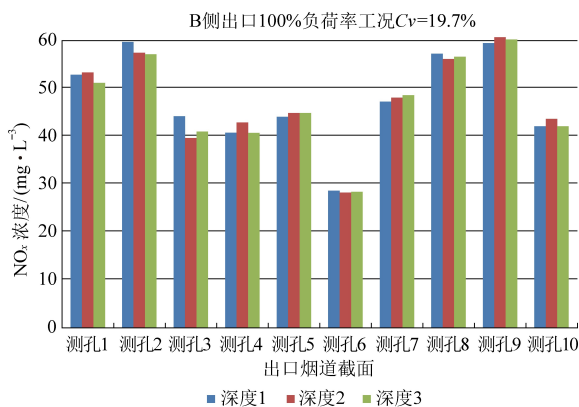


图 6 100% 负荷率工况 B 侧出口截面 NO_x 均匀性分布情况

100% 负荷率工况下, 烟气量基本达到设计条件, 实测 A、B 侧反应器 NO_x 均匀性分布如图 5 和图 6 所示。此时 A 侧与 B 侧反应器的出口截面 NO_x 相对标准偏差分别为 19.4% 和 19.7%, 达到分区喷氨改造设计 SCR 出口截面 NO_x 浓度相对标准偏差 ≤ 20% 保证值要求。对比改造前 100% 负荷率工况 A 侧与 B 侧反应器的出口截面 NO_x 相对标准偏差分别为 32.0%、45.1%, 分区喷氨改造后出口烟气 NO_x 分布具有较明显改善。在烟气量较大、入口烟气 NO_x 浓度较高以及入口烟气 NO_x 相对标准偏差较大条件下, 分区喷氨调节能起到改善出口 NO_x 浓度分布的作用。

2.1.2 75% 负荷率工况

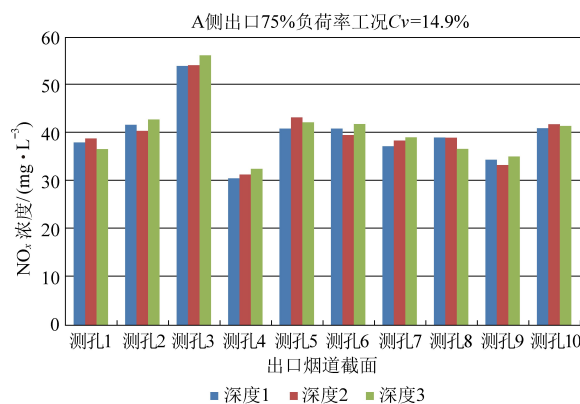


图 7 75% 负荷率工况 A 侧出口截面 NO_x 均匀性分布情况

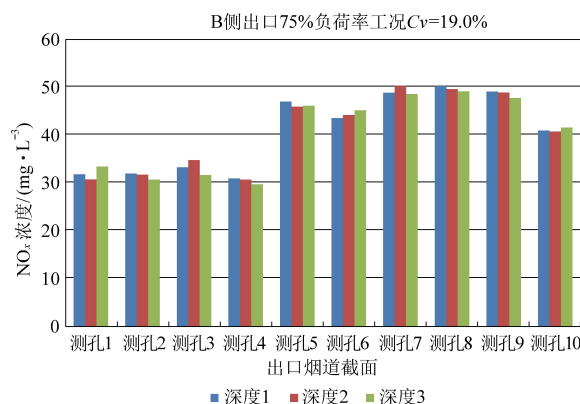


图 8 75% 负荷率工况 B 侧出口截面 NO_x 均匀性分布情况

75% 负荷率工况下, 实测 A、B 侧反应器 NO_x 均匀性分布如图 7 和图 8 所示。A 侧与 B 侧反应器的出口截面 NO_x 相对标准偏差分别为 14.9% 和 19.0%, 对比 100% 负荷率工况, 因锅炉负荷率减小, 入口烟气条件改善, 出口 NO_x 分布均匀性效果明显提高。

2.1.3 50% 负荷率工况

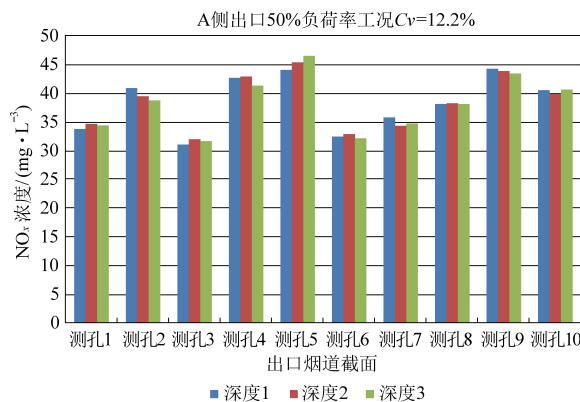
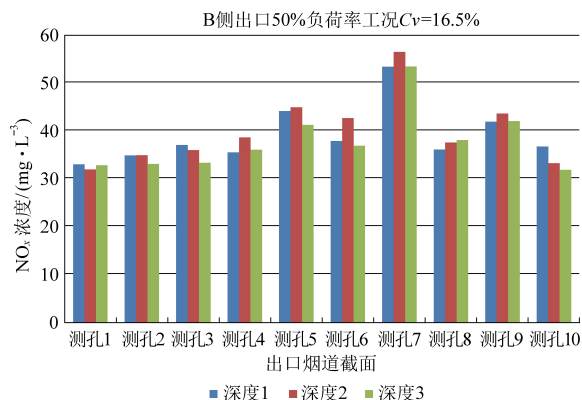


图 9 50% 负荷率工况 A 侧出口截面 NO_x 均匀性分布情况

实测 A、B 侧反应器 NO_x 均匀性分布如图 9 和图 10 所示, A 侧与 B 侧反应器的出口截面 NO_x 相

图10 50%负荷率工况B侧出口截面NO_x均匀性分布情况

对标准偏差分别为12.2%和16.5%，对比75%负荷率工况，锅炉负荷率进一步减小，入口烟气条件改善，出口NO_x分布均匀性效果有明显提高。

三种工况下A、B侧反应器出口截面NO_x相对标准偏差对比值详见图11。

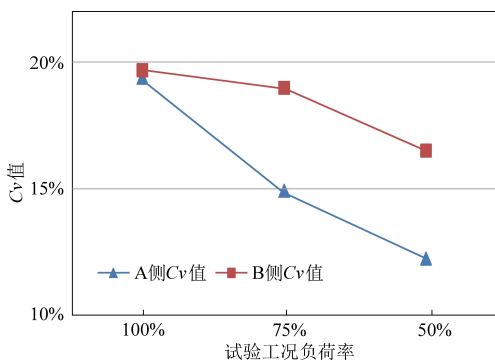


图11 三种工况出口截面Cv值对比

对比三种工况，根据图11可知，出口截面NO_x均匀性分布与负荷、入口烟气条件密切相关，经过喷氨分区改造后，在负荷率较高、烟气条件较恶劣的前提下，出口截面NO_x相对标准偏差能满足改造保证值要求。

2.2 三种典型工况氨逃逸测试

分别测试三种工况下氨逃逸率数值，每个工况A、B侧分别取3个样品。采用次氯酸钠-水杨酸分光光度法测试样品氨含量，三种工况下出口实测氨逃逸对比值见图12所示。

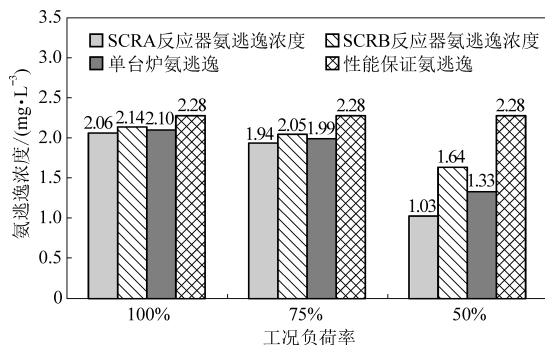


图12 各负荷率工况SCR出口实测氨逃逸对比

由图12可知，100%负荷率工况试验测得SCR出口烟气氨逃逸浓度均值为2.10 mg/m³（标态、干基、6%O₂）。75%负荷率工况试验测得SCR出口烟气氨逃逸浓度均值为1.99 mg/m³（标态、干基、6%O₂）。50%负荷率工况试验测得SCR出口烟气氨逃逸浓度均值为1.33 mg/m³（标态、干基、6%O₂）。三次测试结果氨逃逸数值均满足小于2.28 mg/m³（标态、干基、6%O₂）的保证值要求，氨逃逸呈现随负荷减小而下降的趋势，与出口NO_x分布均匀性具有相关性。分区喷氨系统具有调节出口截面NO_x均布性以及减小氨逃逸数值的作用。

2.3 烟囱处NO_x浓度测试

试验期间，在烟囱入口处使用NOVAplus便携式烟气分析仪测试烟气NO_x浓度，试验测得100%、75%、50%工况下NO_x浓度小时均值分别为44 mg/m³（标态、干基、6%O₂）、42 mg/m³（标态、干基、6%O₂）、45 mg/m³（标态、干基、6%O₂）。此处烟气经过空预器、除尘器及脱硫设施之后NO_x浓度已基本混合均匀，试验测点可以反映烟道截面平均NO_x浓度情况。测试期间NO_x浓度稳态波幅均小于5 mg/m³（标态、干基、6%O₂），NO_x浓度整体保持稳定，说明在试验时间内，SCR出口NO_x平均浓度保持较稳定状态。

2.4 分区喷氨改造前后喷氨量、脱硝效率、氨逃逸率对比结果分析

对比分析分区喷氨改造前后喷氨量、脱硝效率、氨逃逸率，结果详见表1。

表1 分区喷氨改造前后喷氨量、脱硝效率和氨逃逸率对比

项 目	工况负荷率		
	100%	75%	50%
分区喷氨改造前氨耗量/(kg·h ⁻¹)	369	210	139
分区喷氨改造后氨耗量/(kg·h ⁻¹)	416	132	127
分区喷氨改造前脱硝效率/%	91.53	84.15	82.03

续表

项 目	工况负荷率		
	100%	75%	50%
分区喷氨改造后脱硝效率/%	88.69	86.77	83.33
分区喷氨改造前氨逃逸率/(mg·m ⁻³)	3.04	2.83	2.34
分区喷氨改造后氨逃逸率/(mg·m ⁻³)	2.10	1.99	1.33

根据表 1 可知,经过分区喷氨改造后,在满足出口 NO_x 达标排放前提下,脱硝效率和改造前相近,但脱硝系统氨逃逸率明显下降,三个工况下的测试结果均比改造前小。同时氨耗量比改造前也具有明显下降。100% 负荷工况下的氨耗量略有升高是由于当时工况下脱硝入口 NO_x 浓度较高导致。该结果说明分区喷氨改造后具有明显改善喷氨均匀性、减小氨逃逸及氨耗量的作用。

3 结论

试验结果表明在入口 NO_x 分布较均匀、波动范围小,烟气流量稳定的前提下,分区精确喷氨系统 SCR 出口 NO_x 浓度相对标准偏差可控制在 12.2%~19.7%,满足 20% 以下的要求,氨逃逸率明显降低,NO_x 浓度分布均匀性较好。

在烟气负荷率越高,入口 NO_x 浓度变化越大等前提条件下,分区精确喷氨系统 SCR 出口全截面 NO_x 浓度分布均匀效果较差,试验结果表明相对标准偏差最高为 19.7%,已接近 20% 保证值,五分区分区喷氨系统仍具有一定局限性。

应用分区精确喷氨系统的脱硝系统应综合考虑温度场、速度场、浓度场以及锅炉燃烧综合情况,在多数脱硝系统温度场较均匀和锅炉燃烧情况较稳定的情况下,应主要根据速度场和 NO_x 浓

度场情况,加强数模和物模及现场实测相结合的分析手段运用,根据实际速度偏差及浓度偏差大小,合理设置分区数量,若偏差较大亦可通过设置八分区或十分区方式进行分区改造,以实现出口 NO_x 浓度分布均匀。

参考文献

- [1] GB 13223—2011. 火电厂大气污染物排放标准 [S].
- [2] 杨延龙. 火电厂氮氧化物减排及 SCR 烟气脱硝技术浅析 [J]. 能源环境保护, 2017, 31 (2): 31-35+39.
- [3] 李春雨. 我国火电厂 SCR 烟气脱硝技术研究及应用综述 [J]. 能源环境保护, 2015, 29 (5): 8-12.
- [4] 陈志丽, 来世鹏. 选择性还原烟气脱硝 (SCR) 技术的研究现状 [J]. 科技展望, 2016, 26 (15): 155.
- [5] 西安热工研究院. 火电厂 SCR 烟气脱硝技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [6] 朱愉洁, 韩元, 李波. 超低排放改造后火电厂 SCR 脱硝存在的问题及解决建议 [J]. 能源与节能, 2018 (12): 70-71+73.
- [7] 罗志, 牛国平, 王晓, 等. 分区混合动态喷氨技术工程应用 [J]. 热力发电, 2018, 47 (8): 125-131.
- [8] 韦红旗, 石伟伟, 何长征, 等. 一种 SCR 脱硝装置、其喷氨调节装置及其喷氨调整方法: 中国, CN201610899397. 1 [P]. 2017-01-25.
- [9] 朱跃. 火电厂“厂界环保岛”改造与运维关键技术 [J]. 发电技术, 2018, 39 (1): 1-12.