

·发电技术·

## 超低排放改造前后 SCR 脱硝装置性能评价分析

马大卫<sup>1</sup>, 何 军<sup>1</sup>, 王正风<sup>2</sup>, 张本耀<sup>1</sup>, 查智明<sup>1</sup>

( 1. 国网安徽省电力有限公司电力科学研究院, 安徽 合肥 230601;  
2. 国网安徽省电力有限公司, 安徽 合肥 230022)

**摘要:**选取2台燃煤机组进行实测,分析了超低排放改造前后选择性催化还原技术(selective catalytic reduction, SCR)脱硝装置出口 NO<sub>x</sub>浓度、氨逃逸率以及烟气在线监测系统所测 SCR 脱硝出口与烟囱入口 NO<sub>x</sub>浓度;同时,分析了超低排放改造机组的催化剂、空预器堵样。结果表明,机组排放超低改造后存在 NO<sub>x</sub>浓度分布均匀性变差和逃逸氨浓度急剧增加问题,并由此造成空预器硫酸氢铵堵塞严重,催化剂活性成分流失较为严重,硫酸盐和碱土金属元素含量上升明显。为解决上述问题,文中提出多点监测、喷氨优化、催化剂定期测试和空预器冷端更换搪瓷元件等措施。

**关键词:**燃煤机组;超低排放;SCR脱硝;NO<sub>x</sub>浓度分布;逃逸氨;脱硝催化剂

中图分类号:TM621

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2018)04-0143-06

### 0 引言

国家环境保护部、国家发改委、国家能源局发布的关于印发“全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案”通知(环发[2015]164号)要求,在2020年前全国所有具备改造条件的现役燃煤机组,全部实现烟尘、二氧化硫、氮氧化物排质量浓度分别不高于10 mg/m<sup>3</sup>、35 mg/m<sup>3</sup>、50 mg/m<sup>3</sup>的超低排放目标(6%基准氧)。当前全国范围内燃煤电厂正在进行超低排放改造且已有大量机组通过环保验收,获得相应的超低排放电价补贴。

燃煤电厂烟气在脱硝改造后又进行新一轮超低排放改造,从运行情况看,改造后脱硝装置运行控制难度增大<sup>[1-4]</sup>。主要存在以下问题:(1)增加了脱硝装置出口 NO<sub>x</sub>浓度的控制难度,造成脱硝还原剂的浪费;(2)脱硝装置下游空预器硫酸氢铵堵塞问题频发,造成引风机运行电流增大,个别电厂不得不采取降低锅炉负荷的方式来维持机组运行,大大影响机组运行的经济性和安全性<sup>[5-6]</sup>;(3)催化剂堵塞、磨损和活性成分流失较快<sup>[7-8]</sup>。为解决上述问题,亟需对 NO<sub>x</sub>超低排放改造后的脱硝装置进行性能测试、效果评价和稳定性评估。文中以2台不同类型机组为研究对象,对超低排放改造后出现的问题进行分析并给出解决措施。

### 1 研究方法 with 内容

选择2台机组为研究对象,分别简称机组1和机组2,在机组大于90%负荷下对超低排放改造前

后选择性催化还原技术(selective catalytic reduction, SCR)脱硝装置进行性能试验及评估。测试参数包括 NO<sub>x</sub>质量浓度、氨逃逸率、烟气温度、脱硝效率和催化剂性能等。所采用测试仪器包括 NOVA plus 烟气分析仪(德国名优公司)、M-NH<sub>3</sub>便携式氨逃逸浓度分析仪(加拿大优胜公司)、X射线荧光光谱仪(德国斯派克公司)、扫描电子显微镜(日本电子株式会社)、电感耦合等离子体发射光谱(美国珀金埃尔默公司)、双道原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司)等。NO<sub>x</sub>取样采用网格法,逃逸氨采用1.8 m取样枪固定位置取样 NH<sub>3</sub>。实验室分析化学试剂为优级纯。现场试验参照 GB/T 16157—1996 固定污染源排气中颗粒物和气态污染物采样方法和 DL/T 260—2012 燃煤电厂烟气脱硝装置性能验收试验规范进行<sup>[9-10]</sup>。研究所选择机组情况如表1所示。

表1 试验机组情况

项目	机组1(亚临界)	机组2(超超临界)
机组容量/MW	320	660
锅炉制造厂	哈尔滨锅炉厂	上海锅炉厂
锅炉型号	HG-1025/17.5-YM30	SG-1957/28-M6005
燃烧方式	四角切圆	四角切圆
设计煤种	淮南烟煤	淮南烟煤
脱硝改造时间	2014年7月	2013年12月
超低改造完成时间	2016年12月	2015年5月
脱硝改造后脱硝效率/%	≥80.0	≥80.0
超低改造后脱硝效率/%	≥90.0	≥87.5

2台机组均采用单炉体双SCR结构体、高温高

灰型布置,催化剂为蜂窝式,还原剂为液氨或尿素。SCR 脱硝改造时均按照“2+1”方案设计,预留层未安装催化剂; $\text{NO}_x$ 超低排放改造后增加了备用层催化剂。由表 1 可知,各机组原 2 层催化剂运行时间均在 24 000 h 内。

## 2 超低排放改造后 SCR 出口 $\text{NO}_x$ 浓度分布

超低排放改造前后 SCR 出口  $\text{NO}_x$  质量浓度对比结果如图 1 所示,图中测点 A、B 分别表示 SCR 装置 A 侧、B 侧反应器; $d$  为测试深度; $\rho_{\text{NO}_x}$  为  $\text{NO}_x$  质量浓度。

由图 1 可知,2 台机组 SCR A、B 侧反应器出口截面  $\text{NO}_x$  在超低排放改造前分布较为均匀,超低排放改造后  $\text{NO}_x$  虽都能达标排放,但分布均匀性变差。如机组 2 超低排放改造后 A、B 侧反应器出口截面  $\text{NO}_x$  质量浓度局部点位最高达  $62.72 \text{ mg/m}^3$ ,最小仅为  $1.40 \text{ mg/m}^3$ 。

根据试验所测数据,计算得出超低排放改造前后  $\text{NO}_x$  浓度分布的相对标准偏差:改造前为 14.77%~53.01%,改造后上升至 58.89%~117.70%,部分机

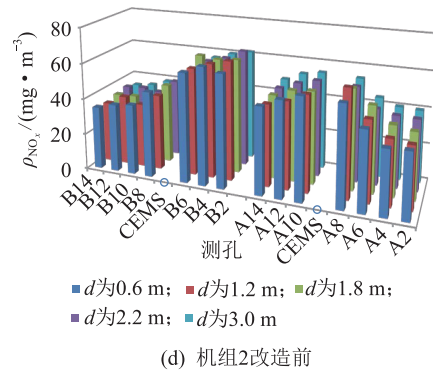
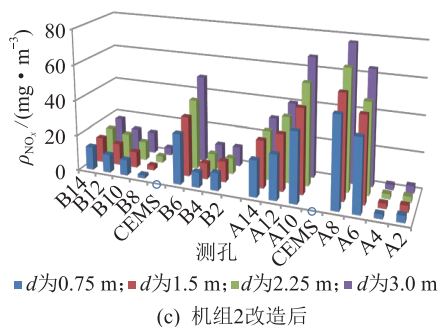
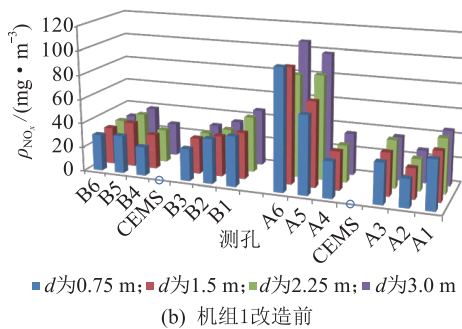
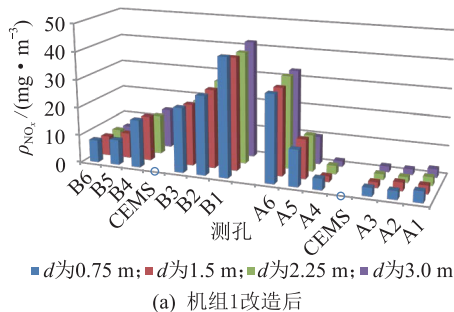


图 1 超低排放改造前后 SCR 脱硝反应器出口  $\text{NO}_x$  浓度

Fig.1 The outlet of  $\text{NO}_x$  concentration in SCR denitration reactor before and after the ultra-low modification

效率需要由 80% 提高到 90%, 这为进口氨氮摩尔比、喷氨均匀性、出口氨逃逸率控制和空预器堵塞问题控制增加了难度<sup>[11-13]</sup>。

$\text{NO}_x$  浓度分布不均一般为喷氨格栅喷氨不均、反应器内流场不均、催化剂磨损和中毒活性降低所致<sup>[14-17]</sup>。SCR 出口烟气在线监测系统 (continuous emission monitoring system, CEMS) 多采用单点式取样。从图 1 可以看出,超低排放改造后反应器出口截面  $\text{NO}_x$  浓度分布更不均匀,单点式取样很难表征实际的  $\text{NO}_x$  排放浓度,给运行人员带来困扰。SCR 出口烟道长度较短,且存在多处拐角和变径,烟气整体混合较差,烟气经过烟气脱硫 (flue gas desulfurization, FGD) 后在脱硫塔内充分喷淋洗脱混合,烟气中  $\text{NO}_x$  混合得较为均匀,因此烟囱入口处 CEMS 给出的  $\text{NO}_x$  值与 SCR 出口处  $\text{NO}_x$  值相比呈现升高或降低现象,其中升高比例较大。

2016 年 7 月 29 日 17:00~18:00,安徽省脱硝联网机组 73 台,选取脱硝出口  $\text{NO}_x$  数据和烟囱入口  $\text{NO}_x$  CEMS 数据进行统计。考虑脱硝系统出口与烟囱进口之间存在 5 min 测量延迟,因此在 1 h 内 1 min 取 1 组数据,分别进行标准氧折算后取均值,结果如表 2 所示。表中  $\rho_{\text{NO}_x, \text{yin}}$  为烟囱进口  $\text{NO}_x$  质量浓度均值; $\rho_{\text{NO}_x, \text{SCRout}}$  为 SCR 装置出口  $\text{NO}_x$  质量浓度均值; $\Delta\rho_{\text{NO}_x}$  为  $\rho_{\text{NO}_x, \text{yin}}$  与  $\rho_{\text{NO}_x, \text{SCRout}}$  的差值。从表 2 看出,安徽省将近一半脱硝机组烟囱进口与 SCR 出口  $\text{NO}_x$  数值差距较大,差值为  $15 \text{ mg/m}^3$  的机组为 34 台,占比 47%。差值中绝大部分都为正数,主要原因是当前 SCR 脱硝装置出口 CEMS 取样点位于反应器中间,从超低排放 CEMS 验收结果来看一般反应器中间  $\text{NO}_x$  质量浓度较低而两端较高。据此,超低排放改造机组 SCR 出口 CEMS 的  $\text{NO}_x$  浓度测量应进行多点烟气取样改造<sup>[18-19]</sup>,以消除单点取样误

差;应根据烟囱入口  $\text{NO}_x$  浓度,调整控制 SCR 入口喷氨量。同时根据 SCR 脱硝出口和烟囱入口  $\text{NO}_x$  浓度差值大小,决定喷氨优化试验的频率。

表 2 安徽省脱硝机组  $\text{NO}_x$  浓度 CEMS 数据分析

Tab.2 The representative data analysis of $\text{NO}_x$ CEMS in units of Anhui province			
项目	CEMS 数据情况	机组台数	占比/%
统计 1	$ \Delta\rho_{\text{NO}_x}  > 15 \text{ mg/m}^3$	34	47
	$ \Delta\rho_{\text{NO}_x}  > 20 \text{ mg/m}^3$	24	33
统计 2	$\rho_{\text{NO}_x, \text{yin}} > \rho_{\text{NO}_x, \text{SCRout}}$	48	66
	$\Delta\rho_{\text{NO}_x} > 10 \text{ mg/m}^3$	29	40
	$\Delta\rho_{\text{NO}_x} > 20 \text{ mg/m}^3$	17	23

### 3 超低排放改造后 SCR 出口氨逃逸分布

SCR 反应器出口逃逸氨浓度是反应 SCR 脱硝系统性能水平重要参数,逃逸氨体积分数主要取决于脱硝装置进口喷氨流量分配、反应器内温度场、速度场和催化剂性能等因素<sup>[20]</sup>。试验机组超低排放改造后 SCR 出口逃逸氨体积分数如图 2 和表 3 所示。

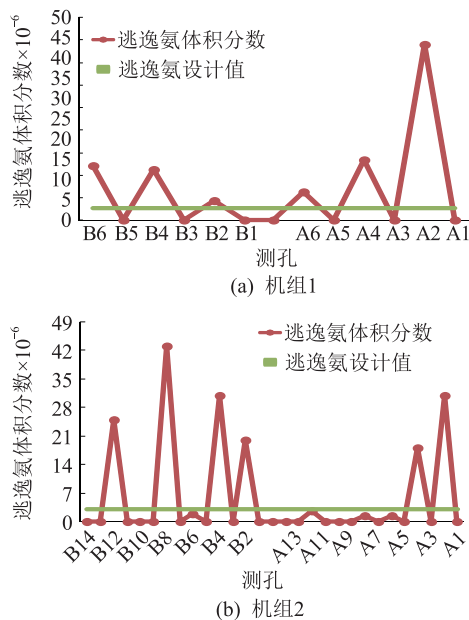


图 2 超低排放改造后 SCR 脱硝反应器出口逃逸氨体积分数

Fig.2 The outlet of ammonia concentration in SCR denitration reactor after the ultra-low modification

由图 2 及表 3 看出,2 台机组超低排放改造后逃逸氨体积分数急剧增加,最大增长倍数为 31.9 倍,最大值为  $43.26 \times 10^{-6}$  (机组 1 反应器  $\text{A}_2$  测点)。超低排放改造后 2 台机组 SCR 反应器 A、B 侧 4 个断面逃逸氨均值均超标,最大均值为  $24.18 \times 10^{-6}$  (机组 1 反应器 B 侧)。氨逃逸超标严重,使得超低改造后机组投产很短时间内即造成空预器差压增大

表 3 超低排放改造前后 SCR 脱硝反应器出口逃逸氨体积分数

Tab.3 The data of exportdenitration SCR reactor before and after the ultra-low modification

项目	SCR A 出口 实测均值 $\times 10^{-6}$	SCR B 出口 实测均值 $\times 10^{-6}$	SCR A 出口增 长倍数	SCR B 出口增 长倍数	
机组 1	改造前	0.66	0.95	31.9	9.77
	改造后	21.74	10.23		
机组 2	改造前	0.76	1.32	13.3	17.3
	改造后	10.88	24.18		

和引风机电流增加。电厂为了控制  $\text{NO}_x$  浓度达标排放,不断加大进口喷氨量,形成恶性循环,从而不得不降低锅炉负荷。试验机组超低排放改造后,对 SCR 脱硝反应器入口  $\text{NO}_x$  浓度进行测试,多次测量结果的相对标准偏差不大,最高为 4.19%,最低为 1.66%,基本控制在 5% 以内,表明 SCR 反应器入口  $\text{NO}_x$  浓度分布较均匀,但出口  $\text{NO}_x$  浓度控制存在着一定的不确定性,这可能是反应器内喷氨不均导致局部浓度过高或过低。图 2 中各测孔出口逃逸氨浓度与  $\text{NO}_x$  浓度均值呈反比关系。

从图 2 还可以看出,2 台机组 SCR 反应器 A、B 侧出口各测孔的氨逃逸体积分数分布也极不平均。与  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  等烟气污染物相比,测量逃逸氨体积分数较为困难<sup>[21]</sup>。当前燃煤电厂逃逸氨监测主要采用单点式,多为位于反应器角落的对穿式或位于反应器中间的一体式、抽取式等,测量结果不具代表性,在超低排放改造后更难测得准确数据。如机组 2,为德国 Sick-GM700 一体式氨逃逸表分别安装在 A、B 侧反应器出口中间位置。测试期间 A、B 侧氨逃逸表显示数值仅为  $0.28 \times 10^{-6}$  和  $0.67 \times 10^{-6}$ ,无法代表整个断面的实际情况。这一结果给运作人员提供了错误信息,导致过量喷氨运行,并使空预器压差较超低排放改造投运初期上升了 1.5 倍,严重影响了该锅炉负荷能力。对该机组空预器的换热元件表面沉积结垢的扫描电镜 (scanning electron microscope, SEM) 分析,显示主要为不规则的球状、半球状烟尘颗粒,大颗粒烟尘彼此粘结,小颗粒物填充其中,烟尘颗粒的直径为  $2 \sim 10 \mu\text{m}$ 。将空预器垢样和 SCR 出口烟尘进行 X 射线荧光光谱仪 (X-Ray fluorescence spectrometer, XRF) 分析,空预器垢样成分较为复杂,垢样中硫酸氢铵 (ammonium hydrogen sulfate, ABS) 的含量高达 6.28%,远高于其在 SCR 出口烟尘中的含量。

根据试验测得的逃逸氨体积分数分布情况,机组 2 所在电厂联合氨逃逸仪器厂家安装了 RM410-

PIMS-NH<sub>3</sub>四通道多点氨逃逸监测系统,8个原位监测(pseudo in-situ measurement system, PIMS)光学端等距离排列在一条水平线上。通过多点逃逸氨监测,全面获得SCR出口截面氨逃逸的实际分布情况,给运行人员精确喷氨提供了实时数据,也为SCR喷氨优化(实时调节AIG喷氨格栅手动蝶阀开度)提供了便利。实现了超低排放改造机组NO<sub>x</sub>达标排放和氨逃逸率合格的双重最优目标;降低了SCR脱硝超低排放改造的负面影响;同时将该机组空预器冷端考登钢替换为搪瓷蓄热元件,缓解SCR脱硝改造后空预器的堵灰和腐蚀问题<sup>[22]</sup>。

#### 4 超低排放改造后催化剂形貌及成分分析

燃煤电厂SCR脱硝催化剂的活性是影响SCR脱硝系统经济和稳定运行关键因素<sup>[23]</sup>。有学者研究表明,随着催化剂运行时间的延长,催化剂活性会显著降低。原因是:催化剂主要活性成分流失,催化剂中毒,积灰和积炭,ABS沉积,催化剂烧结,催化剂表面形成水合物及机械磨损和破坏<sup>[7,16]</sup>。试验机组超低排放改造前后不同运行时间催化剂主要成分、微量元素含量和微观形貌如表4,表5和图3所示。

表4 不同运行时间催化剂主要化学成分分析

Tab.4 The contents of the main components in the different running time catalyst samples

机组	运行时间	主要化学成分/%						
		$\omega_{TiO_2}$	$\omega_{V_2O_5}$	$\omega_{WO_3}$	$\omega_{SO_3}$	$\omega_{CaO}$	$\omega_{SiO_2}$	$\omega_{Al_2O_3}$
	新催化剂(0 h)	84.77	2.23	5.06	0.89	2.10	0.55	1.22
机组1	改造前(21 000 h)	78.22	2.14	4.84	3.43	1.96	0.91	1.10
	改造后(27 000 h)	73.59	1.51	2.96	4.26	2.51	1.19	1.07
机组2	改造前(12 000 h)	80.13	2.31	3.43	4.87	2.72	1.18	1.33
	改造后(17 000 h)	77.95	2.03	3.01	6.67	2.51	2.32	1.95

表5 不同运行时间催化剂微量元素分析

Tab.5 The trace elements in the different running time catalyst samples

机组	运行时间	微量元素 $\times 10^{-6}$			
		$\omega_{Na}$	$\omega_K$	$\omega_{Fe}$	$\omega_{As}$
	新催化剂(0 h)	114	119	109	0
机组1	改造前(21 000 h)	680	341	214	43
	改造后(27 000 h)	581	758	175	56
机组2	改造前(12 000 h)	595	224	122	15
	改造后(17 000 h)	792	645	594	47

由表4和表5可以看出,作为催化剂载体和活

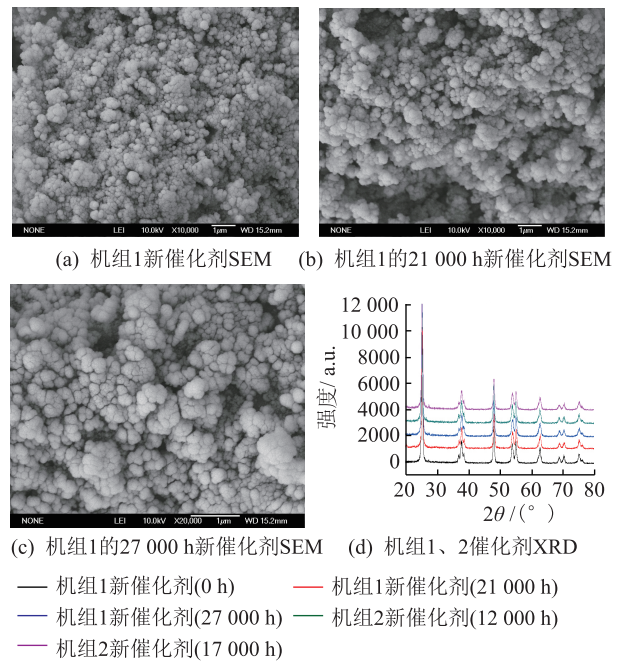


图3 不同运行时间催化剂形貌和晶型分析

Fig.3 SEM and XRD analysis of catalysts with different operation time

性成分TiO<sub>2</sub>、WO<sub>3</sub>和V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量在运行一段时间后明显降低,而CaO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和SO<sub>3</sub>及微量元素Na、K、Fe和As有较大幅度的增加。在超低排放改造后上述成分含量改变的速度加快,尤其SO<sub>3</sub>、K和As等的增加最为明显,表明烟气中S元素溶液沉积在催化剂表面,亚微米颗粒物的主要矿物元素K、As容易富集在催化剂微孔道中。这一结果与前面分析的喷氨不均和氨逃逸超低严重相呼应。不同运行时间催化剂表面微观形貌如图3所示,从SEM可以看出,新催化剂样品表面分布均匀,随着催化剂的运行时间增加,表面出现一些团聚,在超低改造后这种表面粒子团聚现象明显增大。不同运行时间催化剂晶体形态的X射线衍射(X-ray diffraction, XRD)分析,各催化剂的晶体形态为锐钛矿型二氧化钛,说明在长时间运行后,其载体并没有产生型变。在图3中还可以看出没有出现WO<sub>3</sub>和V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的衍射峰,说明催化剂在长时间运行中,尤其是超低改造后运行中活性组分与助催化剂没有发生明显的改变。

燃煤电厂SCR脱硝装置通常布置于省煤器和空预器之间,在高温高尘环境下,尤其是脱硝超低排放改造后对NO<sub>x</sub>排放浓度要求较为苛刻的条件下,催化剂的运行环境将会进一步恶化,造成催化剂载体和活性成分流失较为严重,同时有害物质增速也较为明显。因此需要对超低排放改造机组的脱硝装置进行反应器内流场优化和喷氨优化,同时

增加吹灰器清灰频次,加强催化剂活性,定期测试化学成分等,尽量消减超低排放改造给脱硝催化剂带来的负面影响。

## 5 结语

对比研究表明,2台超低排放改造机组 SCR 脱硝装置整体性能良好,但存在以下问题:脱硝装置出口  $\text{NO}_x$  浓度分布均匀性变差,逃逸氨体积分数急剧增加;脱硝装置出口  $\text{NO}_x$  浓度和逃逸氨体积分数单测点 CEMS 数据代表性不强;催化剂晶体未发生变化,活性成分流失较为严重,硫酸盐和碱土金属元素含量上升明显;SCR 脱硝装置下游空预器 ABS 结垢堵塞较为严重。为减少 SCR 脱硝超低排放改造带来的负面影响,应采取以下措施:对  $\text{NO}_x$  浓度和逃逸氨体积分数采取多点监测;定期进行喷氨优化试验;催化剂活性及化学成分定期测试;增加催化剂吹灰频率;空预器冷端更换为搪瓷元件。

本文得到国网安徽省电力有限公司科技项目(52120017001W)以及安徽新力电业基金(2016HB05)资助,谨此致谢!

### 参考文献:

- [1] 马大卫,黄齐顺,查智明,等.安徽省燃煤火电机组脱硝 CEMS 调查及设施优化改进[J].电力科技与环保,2016,32(4):56-59.  
MA Dawei, HUANG Qishun, ZHA Zhiming, et al. Optimization and improvement of denitrification facilities and investigation of their continuous emission monitoring system in Anhui coal-fired units[J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2016, 32(4):56-59.
- [2] 武纪原.燃煤发电机组脱硝系统稳定运行影响因素分析[J].江苏电机工程,2016,35(4):95-100.  
WU Jiyuan. Influencing factors on the stable operation of denitration system on coal-fired power plant[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(4):95-100.
- [3] 陈辉.燃煤电厂烟气超低排放改造土建设计经验浅谈[J].浙江电力,2016,35(7):73-76.  
CHEN Hui. Discussion on civil engineering design experience in ultra-low emission reformation of coal-fired power plant[J]. Zhejiang Electric Power, 2016, 35(7):73-76.
- [4] 马大卫,查智明,黄齐顺,等.安徽省燃煤机组 SCR 脱硝装置运行情况与分析[J].电力科技与环保,2016,32(2):22-25.  
MA Dawei, ZHA Zhiming, HUANG Qishun, et al. Operation and analysis of SCR denitrification system in Anhui coal-fired units[J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2016, 32(2):22-25.
- [5] 马大卫,张其良,黄齐顺,等.超低排放改造后 SCR 出口  $\text{NO}_x$  分布及氨逃逸浓度评估研究[J].中国电力,2017,50(5):168-171.  
MA Dawei, ZHANG Qiliang, HUANG Qishun, et al. Assessment of  $\text{NO}_x$  distribution and ammonia escape concentration at SCR outlet after ultra-low emission retrofit[J]. Electric Power, 2017, 50(5):168-171.
- [6] 沈岚.135 MW 燃煤机组 SCR 脱硝系统的设计[J].浙江电力,2016,35(1):61-65.  
SHEN Lan. Design of SCR denitration system for 135 MW coal-fired generating units[J]. Zhejiang Electric Power, 2016, 35(1):61-65.
- [7] 商雪松,陈进生,胡恭任.不同运行时间烟气脱硝催化剂性能对比分析[J].中国电力,2012,45(1):45-49.  
SHANG Xuesong, CHEN Jinsheng, HU Gongren. Comparative analysis of de- $\text{NO}_x$  catalysts with different operation-time[J]. Electric Power, 2012, 45(1):45-49.
- [8] 周建新,喻聪,江晓明,等.燃煤机组 SCR 脱硝催化剂性能评价与寿命管理系统[J].中国电力,2015,48(4):11-15.  
ZHOU Jianxin, YU Cong, JIANG Xiaoming, et al. System for performance evaluation and lifetime management of SCR de- $\text{NO}_x$  catalysts in coal-fired power plants[J]. Electric Power, 2015, 48(4):11-15.
- [9] 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法:GB/T 16157—1996[S].1996.  
Determination of particles in fixed pollution source exhaust and sampling method of gaseous pollutants: GB/T 16157—1996 [S].1996.
- [10] 燃煤电厂烟气脱硝装置性能验收试验规范:DL/T 260—2012[S].2012.  
Specification for acceptance test of flue gas denitration equipment in coal-fired power plants: DL/T 260—2012[S].2012.
- [11] 潘栋,李淑宏,景云辉,等.超低排放电站锅炉 SCR 脱硝装置的故障诊断及运行优化研究[J].中国电力,2017,50(3):41-45.  
PAN Dong, LI Shuhong, JING Yunhui, et al. Study on fault diagnosis and operation optimization for power plant SCR with ultra-low emission[J]. Electric Power, 2017, 50(3):41-45.
- [12] 冯前伟,张杨,王丰吉,等.300 MW 级燃煤机组 SCR 烟气脱硝超低排放性能评估[J].中国电力,2016,49(11):153-158.  
FENG Qianwei, ZHANG Yang, WANG Fengji, et al. Evaluation on ultra-low emission performance of SCR flue gas denitration device for 300 MW class coal-fired units[J]. Electric Power, 2016, 49(11):153-158.
- [13] 金其森,殷志龙.630 MW 机组脱硝改造后空预器差压大问题[J].江苏电机工程,2015,34(1):78-80.  
JIN Qisen, YIN Zhilong. Large pressure difference of air preheater observed after denitration transforming in 630 MW power unit[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(1):78-80.
- [14] 梁川,沈越.1000 MW 机组 SCR 烟气脱硝系统优化运行[J].中国电力,2012,45(1):41-44.  
LIANG Chuan, SHEN Yue. Optimal operation of selective catalytic reduction (SCR) flue gas denitration system in 1000

- MW unit[J]. Electric Power, 2012, 45(1): 41-44.
- [15] 张 杨, 杨用龙, 冯前伟, 等. 燃煤电厂 SCR 烟气脱硝改造工程关键技术[J]. 中国电力, 2015, 48(4): 32-35.  
ZHANG Yang, YANG Yonglong, FENG Qianwei, et al. Key technical issues of SCR denitrification from coal-fired boiler flue gas[J]. Electric Power, 2015, 48(4): 32-35.
- [16] 陈进生, 商雪松, 赵金平, 等. 烟气脱硝催化剂的活性检测与评价[J]. 中国电力, 2010, 43(11): 64-69.  
CHEN Jinsheng, SHANG Xuesong, ZHAO Jinping, et al. Performance determination and evaluation of denitration catalyst in flue gas[J]. Electric Power, 2010, 43(11): 64-69.
- [17] 廖永进, 冯晓鸣, 蒋 婷, 等. SCR 脱硝系统催化剂性能预测方法及实践[J]. 广东电力, 2016, 29(3): 8-10, 32.  
LIAO Yongjin, FENG Xiaoming, JIANG Ting, et al. Prediction method for catalyst performance of SCR denitrification system and its practice[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(3): 8-10, 32.
- [18] 陈朝荣, 梁 峰, 金冯梁. 1000 MW 超超临界塔式炉脱硝出口烟气取样改进[J]. 电站系统工程, 2015, 31(5): 35-36.  
CHEN Chaorong, LIANG Feng, JIN Feng. 1000 MW ultra-supercritical tower furnace SCR outlet flue gas sampling improvement[J]. Power System Engineering, 2015, 31(5): 35-36.
- [19] 毛奕升, 吴智鹏, 张孝天. 火电厂 SCR 脱硝系统喷氨优化调整及烟气取样方法改进[J]. 中国电力, 2017, 50(4): 167-171.  
MAO Yisheng, WU Zhipeng, ZHANG Xiaotian. Optimization and adjustment of ammonia injection system and improvement of flue gas sampling method for SCR denitrification system of thermal power plants [J]. Electric Power, 2017, 50(4): 167-171.
- [20] 胡劲逸. 基于氨逃逸浓度场的 SCR 喷氨协调优化控制[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.  
HU Jinyi. Ammonia coordination optimization control based on ammonia escape concentration field[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [21] 滕 农, 段玖祥, 郭 阳. 燃煤电厂烟气脱硝装置氨逃逸浓度的测定方法[J]. 电力科技与环保, 2013, 29(1): 37-39.  
TENG Nong, DUAN Jiuxiang, GUO Yang. Determination method for the ammonia slip of flue gas denitrification equipment in coal-fired power plants[J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2013, 29(1): 37-39.
- [22] 顾兴鹏. 回转式空预器搪瓷蓄热元件传热与流动数值模拟及实验研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.  
GU Xingpeng. Numerical simulation and experimental research on heat transfer and flow of rotary air preheater enamel heat storage element[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [23] 杜 振, 杨立强, 晏 敏, 等. SCR 脱硝催化剂全过程管理模式的构建与实施[J]. 中国电力, 2016, 49(4): 12-16.  
DU Zhen, YANG Liqiang, YAN Min, et al. Construction and implementation of the whole process management for SCR denitration catalyst[J]. Electric Power, 2016, 49(4): 12-16.

作者简介:



马大卫

马大卫(1982—),男,博士,高级工程师,从事燃煤电厂环保设施优化改进研究工作(E-mail: dwma@mail.ustc.edu.cn);

何 军(1963—),男,硕士,高级工程师,从事燃煤电厂金属材料失效分析工作(E-mail: jshqb@163.com);

王正风(1976—),男,博士,教授级高级工程师,从事电网调度运行及调度计划工作。

## Comparative Research the Performance of SCR Denitrification Device Before and After the Ultra-low Emission Retrofit in Coal-fired Units

MA Dawei<sup>1</sup>, HE Jun<sup>1</sup>, WANG Zhengfeng<sup>2</sup>, ZHANG Benyao<sup>1</sup>, ZHA Zhimin<sup>1</sup>

(1. State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Hefei 230601, China;

2. State grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei 230022, China)

**Abstract:** Two different types of coal-fired units are selected to compare the NO<sub>x</sub> concentration, the ammonia escape rate and the NO<sub>x</sub> concentration of the SCR denitrification device outlet and the chimney inlet measured by CEMS before and after the ultra-low transformation. At the same time, on the ultra-low emissions after the transformation of the air preheater dust and catalyst samples are analyzed. The results show that after the ultra-low emission of the unit, there are some problems that the bad uniformity of the NO<sub>x</sub> concentration distribution and the increase of the escaping ammonia concentration, resulting in serious ammonium hydrogen sulfate blockage in air preheat heat. Catalyst active component of velocity is relatively serious, sulfate and alkaline earth metal elements content increased significantly. In order to solve the above problems, it is proposed to adopt multipoint monitoring, spray ammonia optimization, catalyst regularly tested, air-conditioner cold-end replacement of enamel-enriched elements and other measures.

**Key words:** coal-fired units; ultra low emission modification; SCR denitration; NO<sub>x</sub> concentration distribution; ammonia escape; denitration catalyst

(编辑 方 晶)