

600 MW 锅炉机组低氮燃烧系统优化改造

刘 创,白玉海,王红波,姚赞新

(广东国华粤电台山发电有限公司,广东 江门 529000)

摘 要: 为了进一步降低某电厂一台 600 MW 亚临界直流锅炉机组的 NO_x 排放,采用复合式空气分级低 NO_x 燃烧技术对该炉的燃烧系统进行了改造,改后的运行测试表明:在 600 MW、330 MW 负荷工况下燃用设计煤种时,脱硝反应器入口烟气中的 NO_x 含量分别为 121.0 和 224.4 mg/m^3 ,低于改造目标值;锅炉效率分别为 94.13%、93.81%,高于改前测试值;改后炉内无严重结渣,飞灰可燃物略有上升,炉渣可燃物增加较为明显。

关 键 词: 亚临界直流锅炉; 低 NO_x ; 燃烧器改造; 未燃烬碳

中图分类号: TK223 文献标识码: B

引 言

某电厂 2 号锅炉为 600 MW 亚临界控制循环汽包炉,该锅炉设计时结合了设计煤种的特点,“锅”和“炉”能较好的进行匹配,自投产至今燃烧稳定,运行情况良好。2 号机组 NO_x 排放浓度的测试结果显示 NO_x 排放浓度为 500 mg/m^3 。然而,随着国家对节能减排与燃煤电厂燃烧过程产生的污染物排放的控制日益重视,原设计的燃烧器已经无法满足国家对电厂 NO_x 排放指标的控制要求,因此需要对该电厂 2 号炉进行优化改造,使锅炉在运行中 NO_x 排放指标能达到或优于国家最新的排放要求。适宜于切圆燃煤锅炉的 NO_x 控制技术主要有低 NO_x 燃烧器、空气分级、选择性催化还原 SCR、选择性非催化还原 SNCR 等,这些技术既可单独使用也可组合使用。SCR 及 SNCR 都是在炉内燃烧生成 NO_x 以后用氨来还原 NO_x ,这既增加设备投资和运行维护费用,又可能引起预热器等锅炉尾部受热面的堵塞等^[1],本研究以此为基点,对该燃烧系统进行改造,对降低 NO_x 的排放量,改进炉内燃烧状况有重要意义。

1 设备概述

该 2 号机组为 SG - 2026/17.5 - M905 亚临界

一次再热控制循环锅炉,设计燃用神华侏罗纪长焰煤(实际燃用煤种与设计煤种基本一致),膜式水冷壁,锅炉采用摆动式燃烧器调温,四角布置切向燃烧,正压直吹式制粉系统、II 型露天布置、固态排渣、平衡通风。锅炉主要设计参数如表 1 所示。锅炉燃烧器共设置 A、B、C、D、E、F 6 层煤粉喷嘴,配备 6 台 HP - 983 型中速磨煤机,每台磨的出口由 4 根煤粉管接至炉膛四角的同一层煤粉喷嘴,燃烧器的一、二次风喷嘴呈间隔排列,顶部设有消旋二次风。燃烧器布置采用所谓的“对冲同心正反切布置(SBWL - CFS)”,一次风近乎对冲布置;大部分二次风按顺时针方向偏转(BC、CD、EF 层为 4.5°,DE 层为 15°),这部分二次风称为启旋二次风。与此相反,顶部 OFA 层与 AA 层二次风喷嘴为 25°逆时针方向偏转,AB 层为 20°逆时针方向偏转,这部分二次风称为消旋二次风。一次风煤粉喷嘴采用 WR 型宽调节比结构,所有一次风喷口周围都布置有周界风以提高一次风刚性,保护喷口。

2 低氮燃烧系统优化改造方案

2.1 优化改造原则

燃烧系统的优化设计是锅炉设计的核心,燃烧系统是和锅炉其它系统的设计紧密结合的,在进行燃烧系统优化时必须同时考虑由于燃烧系统的变化导致锅炉的其它设备变化,通过对燃烧系统的优化在降低 NO_x 排放的同时使整个锅炉达到最佳运行状态^[2]。针对锅炉的实际运行情况,结合自身的技术特点和技术优势,提出了针对炉侧的优化改造方案即燃烧系统优化改造和锅侧优化改造即锅炉其它相关受热面 and 设备的校核论证。

2.2 优化改造方案

2.2.1 炉侧优化改造方案

机组炉侧燃烧系统优化改造方案将采用复合式

收稿日期:2012 - 09 - 03; 修订日期:2012 - 10 - 25

作者简介:刘 创(1985 -)男,湖南衡阳人,广东国华粤电台山发电有限公司工程师。

空气分级低 NO_x 燃烧技术,即将整个炉膛内分段燃烧和局部性空气分段燃烧时降低 NO_x 的能力结合起来,在初始的富燃料条件下促使挥发的氮化物质转化成 N₂,从而达到大幅度降低 NO_x 排放的目的。而在改造 2 号机组燃烧系统时采用更大的分级风比例,同时 SOFA 分为两级布置,即在第二代低 NO_x 燃烧技术的基础上进行了优化,目前在超超临界和超临界锅炉上广泛使用的是第二代低 NO_x 燃烧技术,SOFA 风为一级布置^[3]。

表 1 锅炉主要设计参数

Tab. 1 Main design parameters of the boiler

参数	BMCR(锅炉最大出力工况)	ECR(额定工况)
过热蒸汽流量 / t · h ⁻¹	2026	1792
末级过热蒸汽出口压力 / MPa	17.50	17.27
末级过热蒸汽出口温度 / °C	541	541
再热蒸汽流量 / t · h ⁻¹	1671	1491
再热蒸汽进口压力 / MPa	3.84	3.42
再热蒸汽出口压力 / MPa	3.64	3.42
再热蒸汽出口温度 / °C	541	541
省煤器进口水温 / °C	278.7	270.8
过量空气系数	1.20	1.20
空预器进口烟温 / °C	365	354
空预器出口烟温(修正后) / °C	135(132)	132(129)
锅炉效率(低位热值) / %	93.47	93.61
燃料消耗量 / t · h ⁻¹	230.9	208.93
锅炉容积热负荷 / kW · m ⁻³	87.63	/
炉膛断面热负荷 / kW · m ⁻³	4.68	/

同时,在燃烧器的优化改造方案中,基本保持外部的制粉系统不变。

2.2.1.1 原燃烧器整体更换

重新调整一次风间距、主燃烧器的二次风量并对各二次风喷嘴的风量重新分配。原一、二次风喷嘴及风管进行全部更换。改造后燃烧器喷口布置如图 1 所示。

2.2.1.2 增加两级 SOFA 喷嘴

增加两级 SOFA 风喷嘴,其风箱分两层布置,每个 SOFA 风喷嘴通过各自的摆动连杆进行上、下摆动,同时通过手动摇臂装置作水平摆动,以喷嘴的水平位置作为 0°,则 SOFA 风喷嘴可上下摆动 30°,而以喷嘴垂直位置为 0°,SOFA 风喷嘴可水平摆动 15°,锅炉运行时通过 SOFA 风喷嘴摆动可调节再热

器温度,而可水平摆动的 SOFA 风喷嘴的设计,则能有效的调整 SOFA 风和烟气的混合过程,降低飞灰含碳量和 CO 含量,提高燃烧效率。

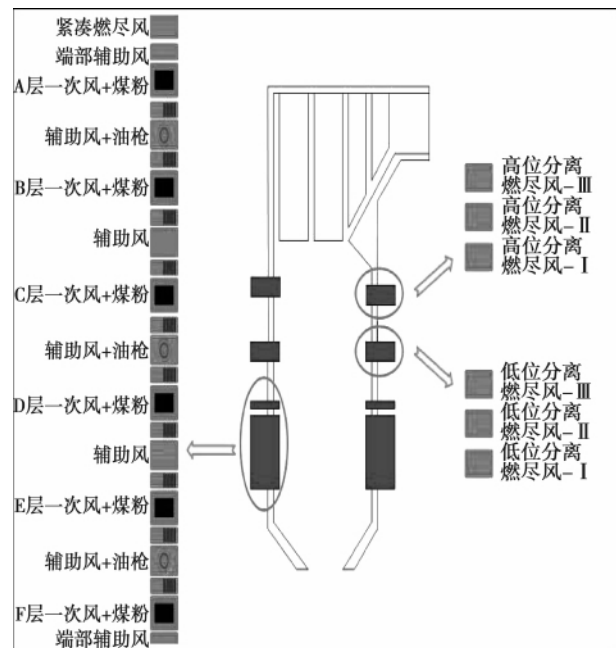


图 1 改造后燃烧器喷口布置图

Fig. 1 Arrangement layout of the spouts of the burner after reconstruction

2.2.1.3 SOFA 风系统改造

为了达到对 SOFA 燃烧器的送风要求,分别从左右侧热二次风总管上各抽取一路风,送入两侧的前后 SOFA 燃烧器,在进入每个 SOFA 燃烧器的管道上,设置了流量测量装置,通过对 SOFA 风门的控制,使进入每个燃烧器的风量得到控制。这样的布置方式,阻力小,效果明显。根据 SOFA 风系统(两级)的设计,在四角的 SOFA 风喷嘴上设置气动(或电动)二次风门执行机构,在四角的 SOFA 燃烧器进风管道装设流量风量测量装置,对运行过程中的 SOFA 风量进行监测,风量测量装置在安装位置的前后应保证一定的直段以保证测量的准确性。SOFA 风门的控制采用单层同步层操作的方法,即保持同层四角风门开度为同一数值(若不能保持四角风量平衡,应控制四角风量偏差在 ±5% 为合格)。

2.2.2 “锅”侧优化改造方案

对锅炉而言,炉侧优化方案将大大降低 NO_x 的排放,但同时燃烧系统的优化也可能打破了原有的锅和炉的平衡,如果不对锅侧进行校核,可能在获得炉侧优化的同时,丧失了部分锅侧的性能,因此对锅

侧进行优化是合理的且必要的。对锅侧校核论证的内容包括:

(1) 在完成燃烧系统优化后,对锅炉整个热力系统进行校核计算,校核锅炉各级受热面是否存在需要调整的情况。

(2) 对烟气温度的偏差进行核算,采取积极措施有效控制烟气温度的偏差,保证受热面不超温。

(3) 对锅炉各汽水系统进行分析,确认喷水阀门等在最佳的调控范围。

3 低氮燃烧系统改造试验研究及结果分析

3.1 试验目的及内容

本次试验的目的是为了验证低氮燃烧系统改造后燃烧 NO_x 的生成量及改造后锅炉运行各性能指标是否满足要求,主要试验测试内容包括燃烧 NO_x 的生成量试验、改造后锅炉效率试验、炉内结渣情况试验。试验主要测点布置图及试验工况如表 2 及图 2 所示。

表 2 试验工况表

Tab.2 Table of test conditions

工况	试验煤种	负荷/MW
T1. 100% ECR 设计煤种	神混 1	600
T2. 75% ECR 设计煤种	神混 1	450
T3. 55% ECR 设计煤种	神混 1	330
T4. 45% ECR 设计煤种	神混 1	270
T5. 100% ECR 常用煤种	神混 1 + 20% 石炭煤	600
T6. 75% ECR 常用煤种	神混 1 + 20% 石炭煤	450

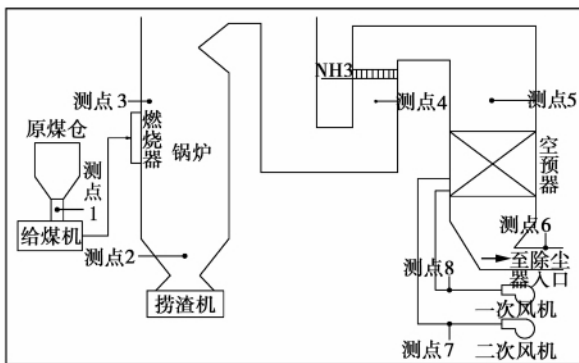


图 2 试验主要测点布置图

Fig.2 Arrangement layout of the main measuring points during the test

3.2 试验结果及分析

3.2.1 改造后 NO_x 的生成量测试

在 SCR 装置入口烟道用网络法布置取样测点,具体布置如图 3 所示(从左至右分别为测点 1、2...8)。抽取烟气分析 NO_x 与 O₂ 含量,实测的 NO_x 浓度按 GB13223 - 2003 规定,折算到 6% 氧量的干烟气状态进行计算。

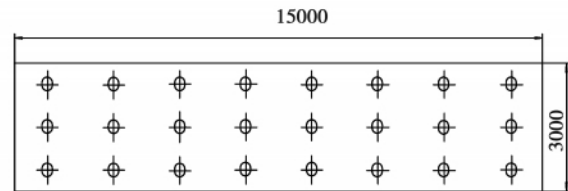


图 3 SCR 装置入口两侧(A、B)烟气取样测点网络分布图(mm)

Fig.3 Chart showing the distribution of the flue gas sampling and measuring point network at both sides(A and B) of the inlet of the SCR device(mm)

测试计算结果与燃用不同煤种 NO_x 生成量改造后测量值与目标值比较如表 3 与图 4 所示。测试计算结果表明:(1) 在 600 MW 负荷下 SCR 系入口 A 侧 NO_x 浓度分布比较均匀;B 侧个别测点比平均值相差略大,整体均匀性不如 A 侧;(2) 燃用设计煤种(神混 1) 600、450、330 及 270 MW 负荷实测 SCR 系统入口 NO_x 含量分别为 121、120.2、224.4 和 205.9 mg/m³,各负荷段 NO_x 生成量均低于改造目标值。(3) 燃用常用煤(80% 神混 1 + 20% 石炭煤), 600 与 450 MW 负荷烟气中 NO_x 含量分别为 143.8 与 136.2 mg/m³,各负荷段 NO_x 生成量均低于改造目标值。

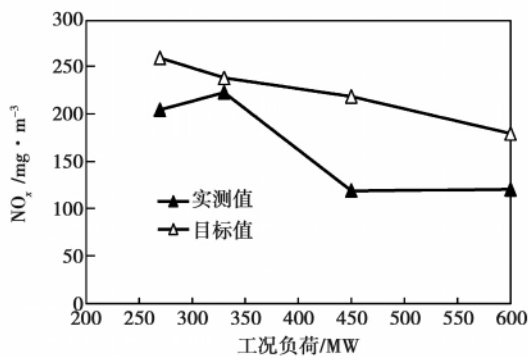
表 3 SCR 系统入口 NO_x 生成量测试结果

Tab.3 Test results of the quantity of NO_x formed at the inlet of the SCR system

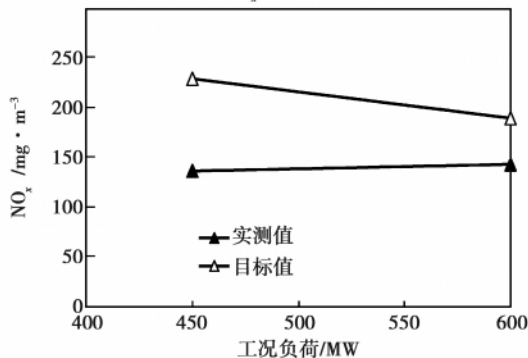
工况	A 侧		B 侧		平均值 NO _x 6% O ₂ /mg · m ⁻³
	O ₂ /%	NO _x /mg · m ⁻³	O ₂ /%	NO _x /mg · m ⁻³	
T1 600	3.01	68	4.1	68	121.0
T2 450	3.45	71	3.73	65	120.2
T3 330	5.52	105	6.03	117	224.4
T4 270	8.08	86	7.74	89	205.9
T5 600	2.56	80	3.78	87	143.8
T6 450	3.53	83	2.47	76	136.2

3.2.2 改造后锅炉效率测试

通过计算各工况下的锅炉效率,表 4 列出了额定负荷工况下改造后测试值与改造前测试值锅炉效率比较,各负荷段锅炉效率测试结果为:(1) 燃用设计煤种,600、450、330 以及 270 MW 负荷实测锅炉效率分别为 94.13%、94.39%、93.81% 以及 92.25%,修正后锅炉效率分别为 94.11%、94.35% 以及 92.25%,改造后锅炉效率均高于设计保证值与改前测试值。(2) 燃用常用煤,600 与 450 MW 负荷实测锅炉效率分别为 94.12% 与 94.23%,修正后的锅炉效率分别为 94.06% 与 94.19%,改后锅炉效率均高于设计保证值与改前测试值。



(a) 燃用设计煤NO_x生成量实测值与目标值比较图



(b) 燃用常用煤NO_x生成量实测值与目标值比较图

图 4 燃用不同煤种 NO_x 生成量实测值与目标值比较图

Tab.4 Chart showing a comparison of the actually measured value and target one of the quantity of NO_x formed when burning different ranks of coal

分析测试结果可知,低氮燃烧条件下飞灰可燃物略有上升,炉渣可燃物比改造前明显增加,尤其是高负荷工况由于受到燃烧器大幅度下摆(-15°)运行的影响,炉渣可燃物的增加尤为显著,CO 含量较高,未燃尽碳热损失以及未燃 CO 热损失均相对较

大;另一方面,改造后燃烧火焰延长,炉内火焰充满度与炉膛吸热均较好,排烟温度降低,改造后排烟热损失低于改造前。

表 4 锅炉额定负荷工况下改造前后锅炉效率测试结果比较

Tab.4 Comparison of the test result of the boiler efficiency before and after modification at the rated load

	设计值 神华煤	改前试验		改后试验	
		神混+20% 准格尔煤	神混+20% 印尼煤	神混	神混+20% 石炭煤
		负荷/MW	600	600	600
飞灰含量/%	-	0.95	0.02	1.07	1.21
炉渣含量/%	-	0.92	14.95	6.04	11.6
排烟中 CO/%	-	0	0	0.0259	0.0256
排烟氧量/%	-	3.6	4.37	4.48	4.84
排烟温度/℃	134	150.3	142.2	121.8	120.6
修正后锅炉效率/%	93.61	93.81	93.31	94.11	94.06

3.2.3 改造后锅炉结渣情况

改造后试验期间可以观察到炉内有轻微结渣现象,但并不存在影响安全运行的严重结渣现象,前墙中部分隔屏结渣情况如图 5 所示。综合结渣观测结果:

(1) 燃用神混 1(神华侏罗纪长焰煤)时,前墙中部分隔屏下部有少量渣块堆积,屏中、上部以及其余各屏壁面仅有零星挂渣,管壁清晰可见;(2) 燃用 80% 神混 1 + 20% 石炭煤时,前墙分隔屏各屏壁面仅有零星挂壁,管壁清晰可见;(3) 锅炉尾部受热面基本干净,无明显积灰与挂渣;(4) 炉内燃烧器区域水冷壁面粘附少量熔渣,未发现大型渣块;(5) 炉内落渣大多为粘结强度很低的多孔疏松渣,渣块附着在管壁的一面未熔融的粘聚状渣,稍有扰动就极易松动脱落,锅炉吹灰期间蒸汽温度波动较大。此外,试验测试 600 MW 负荷工况时锅炉过热蒸汽与再热蒸汽均能达到额定值,也从另一方面说明炉内并不存在严重结渣现象。额定负荷工况实测炉膛温度分布如图 6 所示。

炉膛温度实测结果显示,600 MW 高负荷工况分隔屏区域烟气温度的接近 1100℃ 左右,燃用 1100~1200℃ 低灰熔点神混煤时,屏区仍存在一定的结渣危害,若屏区渣块有快速增大的趋势,应加强监视,此外,由于高负荷工况下燃烧器下摆运行,炉膛

冷灰斗上沿温度较高,存在灰渣堆积的可能。

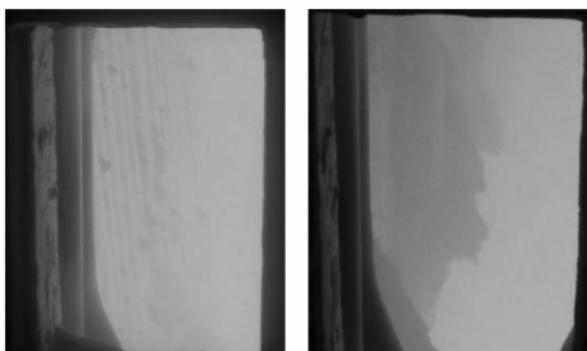


图 5 炉前墙中部分隔屏结渣图片

Fig. 5 Photo showing the slagging on a part of the division platen on the front wall of the furnace

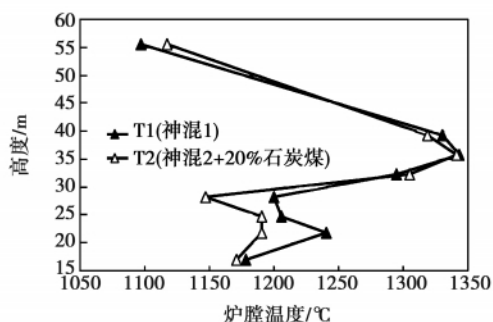


图 6 额定负荷工况实测炉膛温度分布图

Fig. 6 Chart showing the distribution of the actually measured temperature in the furnace at the rated load

4 结论及建议

(1) 通过低氮燃烧系统优化改造大大降低了氮化物的排放, 燃用设计煤种与常用煤种各负荷段 NO_x 的生成量均低于改造目标值, 锅炉效率均高于设计保证值与改前测试值, 且改造后机组运行正常。

(2) 低氮燃烧条件下灰分可燃物略有上升, 炉渣可燃物明显增加, 尤其在高负荷下受燃烧器大幅下摆 (-15°) 运行的影响, 炉渣可燃物的增加十分明显。

(3) 改后机组运行炉内不存在严重的结渣情况, 燃用设计煤种时, 需加强对屏区与冷灰斗上沿的结渣监测。

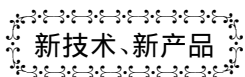
参考文献:

[1] 成庆刚, 李争起, 滕玉强, 等. 低 NO_x 排放燃烧技术及燃烧优化的试验研究[J]. 锅炉技术, 2005, 36(5): 32-46.
CHENG Qing-gang, LI Zheng-qi, TENG Yu-qiang, et al. Experimental research of low NO_x emission combustion technology and combustion optimization[J]. Boiler Technolog, 2005, 36(5): 32-46.

[2] 高小涛, 黄磊, 张恩先, 等. 1 000 MW 机组锅炉氮氧化物排放影响的试验研究[J]. 热能动力工程, 2010, 25(2): 221-225.
GAO Xiao-tao, HUANG Lei, ZHANG En-xian, et al. Experimental study of the influence of NO_x emissions from the boiler of a 1000 MW power plant [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2010, 25(2): 221-225.

[3] 李义宝, 赵振宁. 低 NO_x 燃烧技术在电厂中的应用[J]. 华北电力技术, 2006, 11(3): 21-23.
LI Yi-bao, ZHAO Zhen-ning. Application of low NO_x combustion technology in power plants [J]. North China Electric Power Technology, 2006, 11(3): 21-23.

(丛敏 编辑)



RB211-Gzero 工业燃气轮机升级和改进

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2012 年 11 月刊报道, Rolls-Royce 公司推出了最近升级和改进的 RB211 航改型工业燃气轮机。称为 RB211-Gz, 经过升级和改进, 其输出功率增加 10%, 达到 32 MW, 可用于机械驱动和发电。

RB211-Gzero 借助于增加 0 级的空气流量、中压压气机部分叶片重新造型并为适应更大流量、升级和改进了动力涡轮的进口导叶。升级和改进涉及五个模块中的两个模块: 空气进口部分和中压压气机。其它三个模块保持不变。

RB211-Gzero 被设计成模块化箱装体结构, 便于工厂试验和有助于低风险的安装和试运行。其设计将辅助系统均并入箱装体, 简化了安装。

(吉桂明 摘译)

600 MW 锅炉机组低氮燃烧系统优化改造 = **Modification of the Low Nitrogen Combustion System of a 600 MW Boiler Unit** [刊 汉] LIU Chuang ,BAI Yu-mei ,WANG Hong-bo ,YAO Zan-xin (Guangdong Guohua Yuedian Taishan Power Generation Co. Ltd. ,Jiangmen ,China ,Post Code: 529000) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(3) . -276 ~280

To further reduce the NO_x emissions of a 600 MW subcritical once-through boiler unit in a power plant adopted was a complex type air staged low NO_x combustion technology to conduct a modification of the combustion system of the boiler under discussion. The operation and measurement results after the modification show that at 600 MW and 330 MW when the coal rank designed was burned ,the NO_x content of the flue gases at the inlet of the denitration reactor was 121.0 and 224.4 mg/m^3 respectively ,lower than the target value set for the modification and the efficiency of the boiler was 94.13% and 93.81% respectively ,higher than the value tested before the modification. After the modification ,there existed no serious slagging in the furnace and the combustible of the flying ash increased slightly with a conspicuous increase of the combustible in the slag. **Key words:** subcritical once-through boiler ,low NO_x ,burner modification ,unburned carbon

氨法脱硫工艺参数对气溶胶排放特性的影响 = **Influence of the Process Parameters of the Ammonia Desulfurization Method on the Emission Characteristics of Aerosol** [刊 汉] ZHANG Wen-wu ,SHA Zhi-qiang ,ZHU Zhong-yi (Yangzi Petrochemical Assets Subcompany ,China Petrochemical Assets Management Corporation ,Nanjing ,China ,Post Code: 210048) ,YANG Lin-jun (Education Ministry Key Laboratory on Energy Source Heat Conversion and Its Process Monitoring ,Southeast University ,Nanjing ,China ,Post Code: 210096) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(3) . -281 ~287

In combination with the operating parameters in the Marsulex ammonia method-based desulfurization process during Phase II of Yangzi thermal power plant ,tested and investigated was the influence of the ammonia method-based desulfurization process parameters on the emission characteristics of aerosol. The research results show that in the process of ammonia method-based desulfurization ,a large quantity of aerosol particles may be produced to cause a remarkable change of the physical properties of particles before and after the desulfurization. The emissions of aerosol will increase with an increase of the air speed in the air tower ,pH value and concentration of the desulfurization solution ,flue gases and desulfurization solution temperature ,liquid-gas ratio and SO_3 concentration of the flue gases. Compared with a sprinkling air tower ,a packing tower and a sieve-tray tower will have relatively low emissions of aerosol. Finally ,based on the law influencing the ammonia method-based desulfurization process parameters ,the mechanism governing the formation of aerosol particles in the ammonia method-based desulfurization device of Yangzi thermal power plant during its Phase II construction period was analyzed. **Key words:** ammonia method flue gas