

氨法脱硫工艺参数对气溶胶排放特性的影响

张文武¹ 沙志强¹ 朱忠益¹ 杨林军²

(1. 中国石化资产管理公司扬子石化资产分公司, 江苏 南京 210048;

2. 东南大学 能源热转换及其过程测控教育部重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘 要: 结合扬子热电厂 II 期玛苏莱氨法烟气脱硫工艺运行参数, 试验考察了氨法脱硫工艺参数对气溶胶排放特性的影响。结果表明: 氨法烟气脱硫过程中会产生大量气溶胶颗粒, 使得脱硫前后颗粒物物性发生显著变化; 气溶胶排放量随空塔气速、脱硫液 pH 值及浓度、烟气及脱硫液温度、液气比、烟气中 SO₃ 浓度的增大而增加; 与喷淋空塔相比, 填料塔、筛板塔结构塔设备气溶胶排放量相对较低; 最后, 基于氨法脱硫工艺参数的影响规律, 分析了扬子热电厂 II 期氨法脱硫装置气溶胶颗粒的形成机理。

关 键 词: 氨法烟气脱硫; 气溶胶; 工艺参数; 排放特性

中图分类号: X701 文献标识码: A

引 言

近年来, 氨法烟气脱硫工艺逐步得到推广, 但该脱硫过程中容易产生大量气溶胶, 并随脱硫净烟气排入大气环境中, 产生“硫酸雨”问题, 严重影响大气环境质量, 已成为困扰氨法脱硫工艺发展的技术瓶颈^[1-4]。已有研究主要是关注操作条件对脱硫效率的影响以及脱硫副产品的回收利用^[2-3, 5], 而有关脱硫过程中气溶胶的形成和排放, 仅有文献 [6~9] 开展过的相关研究, 但试验选用的操作条件与实际工业氨法脱硫工艺存在较大差异。

扬子石化分公司热电厂 (以下简称扬子热电厂) II 期的 1 号~4 号炉烟气脱硫采用玛苏莱氨法脱硫装置, 以过饱和硫酸铵溶液作脱硫液^[10]; 运行过程中发现脱硫净烟气中 (亚) 硫酸铵盐气溶胶夹带现象非常严重, 粉尘含量超标。为从工程理论方面解释这些问题, 并为后续工艺优化提供基础数据, 结合扬子热电厂 II 期玛苏莱氨法脱硫工艺的运行参数, 对现有工况下气溶胶排放状况、脱硫工艺参数对气溶胶排放特性的影响进行了试验研究。

1 实验系统与方法

试验系统如图 1 所示, 主要由全自动燃煤锅炉、缓冲罐、旋风分离器、湿法烟气脱硫系统和分析测试系统等组成, 额定烟气流量为 150 m³/h, 最大烟气流量为 200 m³/h; 脱硫塔塔径 150 mm, 塔高 4 000 mm, 塔内可加装填料、筛板等塔内件, 塔出口安装旋流板除雾器。工艺流程为: 燃煤锅炉产生的烟气经缓冲罐进入旋风分离器去除粗颗粒 ($d_p \geq 10 \mu\text{m}$) 后, 通过增压风机增压进入脱硫系统, 在脱硫塔内与脱硫液逆流接触, 然后经引风机排放。

烟气中气溶胶颗粒浓度及粒径分布采用芬兰 Dekati 公司生产的电称低压冲击器 (Electrical Low Pressure Impactor, ELPI) 实时在线测量, ELPI 可测试的颗粒粒径范围为 0.023~9.314 μm 。用于形貌和元素组成分析的颗粒物样品借助 75R647 型采样泵, 由不锈钢滤筒采集, 采用荷兰 FEL 公司的 Sirion 200 场发射扫描电子显微镜分析。SO₂ 浓度采用德国 MRU 公司生产的 Delta 2000CD-IV 型烟气分析仪在线监测。

模拟实验中, 脱硫液采用扬子热电厂提供的过饱和硫酸铵溶液, 通过添加氨水调节溶液 pH 值。烟气中 SO₂ 浓度可在缓冲罐内通过添加 SO₂ 调节; SO₃ 由 50 $^{\circ}\text{C}$ 水浴加热 50% 的发烟硫酸产生, 并以 N₂ 作为载气加入塔进口烟气中, 通过控制氮气流量以改变 SO₃ 添加量。由于模拟试验系统塔高无法与实际脱硫塔相比, 为使模拟实验中气溶胶形成较为显著, 选用相对较高的脱硫液 pH 值 (6.0~7.2) 和烟气 SO₂ 浓度; 其余实验参数均根据表 1 所示的扬子热电厂 II 期氨法烟气脱硫装置实际运行工况参数选取。

收稿日期: 2012-09-03; 修订日期: 2012-10-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (21276049); 国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室开放基金课题资助 (GCMAC1104)

作者简介: 张文武 (1963-), 男, 江苏沛县人, 中石化资产管理公司扬子石化资产公司高级工程师。

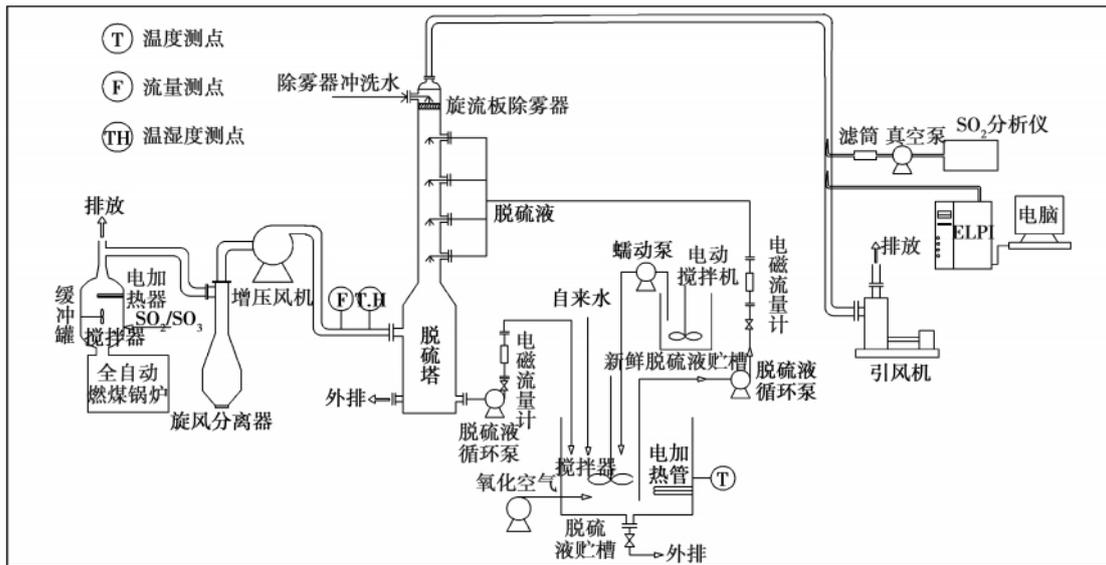
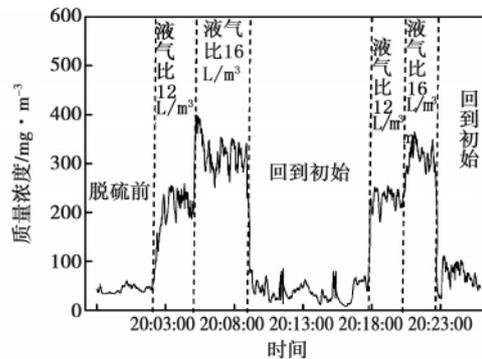


图 1 模拟实验系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the simulation test system

表 1 扬子热电厂 II 期氨法脱硫装置运行参数
 Tab. 1 Operation parameters of the ammonia method desulfurization device in Phase II of Yangzi thermal power plant

运行参数	数值
进口烟气温度 $T_c / ^\circ\text{C}$	135 ~ 142
入塔烟气 SO_2 含量 $C_{\text{SO}_2} / \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\leq 1\ 500$
含尘量 $/ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	≤ 75
脱硫塔结构	喷淋空塔 2 级喷淋
脱硫液浓度	过饱和硫酸铵溶液
脱硫塔操作参数	
空塔气速 $/ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	4.8
液气比 $(L/G) / \text{L} \cdot \text{m}^{-3}$	6.0/12.0
pH 值	5.2 ~ 6.0
脱硫液温度 $T_L / ^\circ\text{C}$	50 ~ 60



(试验条件: $Q = 150 \text{ m}^3 / \text{h}$, $T_c = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_L = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, $C_{\text{SO}_2} = 1\ 500 \text{ mg} / \text{m}^3$, $\text{pH} = 7.0$)

图 2 氨法脱硫过程中颗粒物质量浓度变化
 Fig. 2 Change of the mass concentration of the particle substances during the ammonia method desulfurization process

2 结果与讨论

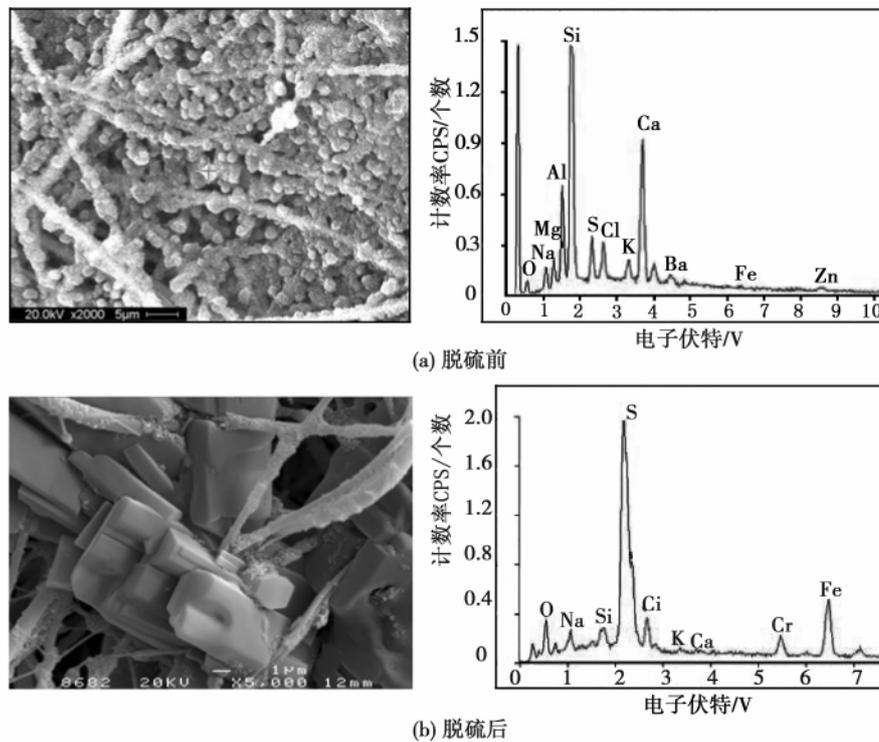
2.1 氨法脱硫前后气溶胶颗粒物性变化

扬子热电厂 II 期氨法脱硫装置气溶胶排放特性的试验结果如图 2 所示; 试验条件: 塔进口烟温 $T_c = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, 试验烟气量 $Q = 150 \text{ m}^3 / \text{h}$, SO_2 浓度 $C_{\text{SO}_2} = 1\ 500 \text{ mg} / \text{m}^3$, 脱硫液温度 $T_L = 55 \text{ }^\circ\text{C}$; $\text{pH} = 7.0$ 。可见, 在上述试验条件下氨法脱硫过程中有明显的气溶胶颗粒形成, 质量浓度由脱硫前约 $50 \text{ mg} / \text{m}^3$ 增至约 $200 \sim 400 \text{ mg} / \text{m}^3$ 。

图 3 为氨法脱硫前后烟气中颗粒物的形貌特征和元素组成分析结果; 由图 3 (a) 可见, 脱硫前的颗粒物大多呈球形结构, 颗粒大小较为均匀, 主要元素为 Ca、O、Si、Al、C 等, 次要元素为 Na、K、Fe、S 等, 从其主要元素的种类可知主要为难溶于水的硅铝质矿物颗粒(图中细长物为采样滤筒纤维丝)。与此不同的是, 氨法脱硫后的颗粒物形态发生了较大的变化, 粒径显著增加, 颗粒表面光滑, 多呈规则的晶体结构, 含长方体、棱柱体等晶习, 如图 3 (b) 所示。同

时,由能谱分析结果可知,与初始燃煤烟气中颗粒物相比,氨法脱硫后的颗粒物中 S、O 元素含量显著增加,而 Al、Si 含量均很低,从元素组分含量可以推知

该颗粒主要为含硫、氧的气溶胶颗粒,如 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4HSO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 等。



(试验条件: $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$, $T_G = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_L = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, $C_{\text{SO}_2} = 1\,500 \text{ mg}/\text{m}^3$, $\text{pH} = 7.0$, $L/G = 12 \text{ L}/\text{m}^3$)

图 3 氨法脱硫系统进出口颗粒的 SEM 图像和能谱分析

Fig. 3 SEM image and energy spectrum analysis of particles at both inlet and outlet of the ammonia method desulfurization system

2.2 氨法脱硫操作参数对气溶胶排放的影响

2.2.1 空塔气速的影响

在氨法烟气脱硫过程中,过高的空塔气速会导致严重的雾沫夹带,将大量的脱硫液液滴带出脱硫系统,引起“硫铵雨”;同时,当塔内加装填料、筛板、除沫丝网等塔内件时,过高的空塔气速易出现液泛,使塔设备不易操作稳定。为能定量获得其影响特性,进行了烟量在 $115 \sim 200 \text{ m}^3/\text{h}$ 范围下的试验,对应的空塔气速范围为 $2.50 \sim 4.30 \text{ m}/\text{s}$,试验结果如图 4 所示,其中,气溶胶总生成率(η)可定义为:

$$\eta = \frac{N_1 - N_0}{N_0} \times 100\% \quad (1)$$

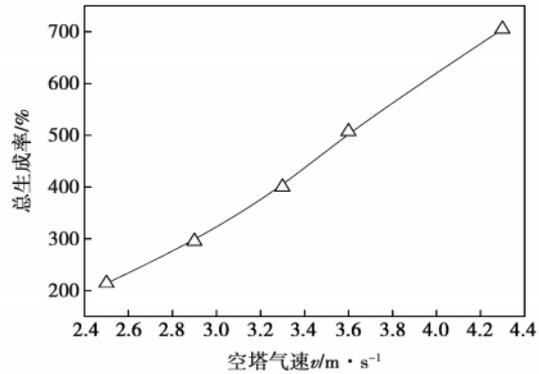
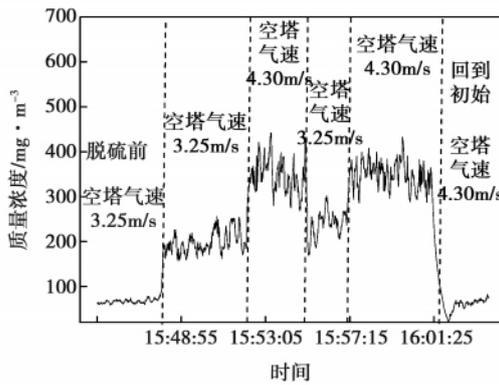
式中: N_0 、 N_1 —脱硫前、后颗粒总数量浓度,个/ m^3 。可见,脱硫净烟气中气溶胶浓度随空塔气速增大明显增多;空塔气速为 $3.25 \text{ m}/\text{s}$ 时,脱硫净烟气中气溶胶由脱硫前的约 $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ 增至 $200 \text{ mg}/\text{m}^3$;随空

塔气速进一步增至 $4.30 \text{ m}/\text{s}$,脱硫净烟气中气溶胶可增至约 $350 \text{ mg}/\text{m}^3$,是脱硫前的 7 倍。这主要是由于空塔气速越高,脱硫系统雾沫夹带现象越严重,使更多吸收 SO_2 后的脱硫液滴随烟气排出,进入大气环境后可逐步蒸发析出固态气溶胶颗粒。

2.2.2 脱硫液 pH 值的影响

图 5 为脱硫液 pH 值对氨法脱硫过程气溶胶生成量的影响试验结果。由此可见,脱硫净烟气中气溶胶浓度随脱硫液 pH 值升高而增大,特别是当 pH 值高于 6.5 时尤为显著,如脱硫液 pH 值由 6.5 提高至 7.2 时,脱硫净烟气中气溶胶颗粒质量浓度可由 $70 \text{ mg}/\text{m}^3$ 左右增至 $225 \text{ mg}/\text{m}^3$ 左右。这主要是由于脱硫液 pH 值较高时,脱硫液中挥发逸出的氨气量增加,相应地,气态 NH_3 与烟气中 SO_2 反应生成的亚硫酸铵、亚硫酸氢铵、硫酸铵等气溶胶微粒数量增多。因此,实际氨法脱硫中,在不影响脱硫效率的前

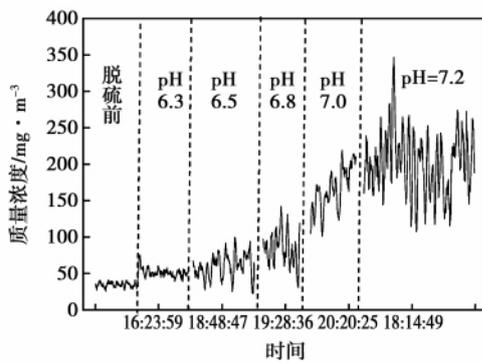
提下, 应尽可能控制较低的脱硫液 pH 值以抑制气溶胶生成和排放。



(试验条件: $T_C = 135\text{ }^\circ\text{C}$, $T_L = 55\text{ }^\circ\text{C}$, $C_{\text{SO}_2} = 1\ 500\ \text{mg}/\text{m}^3$, $\text{pH} = 7.0$, $L/G = 12\ \text{L}/\text{m}^3$)

图 4 空塔气速对氨法脱硫气溶胶排放的影响

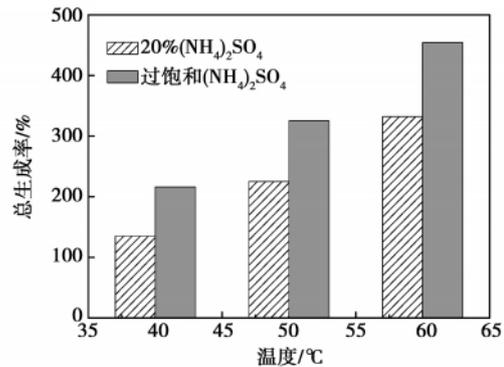
Fig. 4 Influence of the air speed in the empty tower on the aerosol emissions during ammonia method desulfurization process



(试验条件: $Q = 150\ \text{m}^3/\text{h}$, $T_C = 135\text{ }^\circ\text{C}$, $T_L = 55\text{ }^\circ\text{C}$, $C_{\text{SO}_2} = 1\ 500\ \text{mg}/\text{m}^3$, $L/G = 12\ \text{L}/\text{m}^3$)

图 5 脱硫液 pH 值对氨法脱硫气溶胶排放的影响
Fig. 5 Influence of the PH value of the desulfurization solution on the aerosol emissions during ammonia method desulfurization process

脱硫液滴易蒸发析出气溶胶微粒; 同时, 脱硫剂浓度较高时, 有利于气态 NH_3 从脱硫液中挥发逸出, 使气相中 NH_3 浓度增大, 与烟气中的 SO_2 反应生成的气溶胶量增多。



(试验条件: $Q = 150\ \text{m}^3/\text{h}$, $T_C = 137\text{ }^\circ\text{C}$, $C_{\text{SO}_2} = 1\ 500\ \text{mg}/\text{m}^3$, $\text{pH} = 7.0$, $L/G = 12\ \text{L}/\text{m}^3$)

图 6 脱硫液浓度对氨法脱硫气溶胶排放的影响

Fig. 6 Influence of the concentration of the desulfurization solution on the aerosol emissions during ammonia method desulfurization process

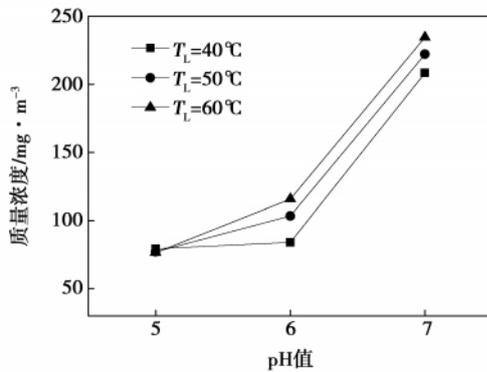
2.2.3 脱硫液浓度的影响

采用过饱和硫酸铵溶液作脱硫液, 虽可降低后续制取硫酸铵肥料的能耗, 但随烟气带出的脱硫液滴极易转化为硫酸铵气溶胶; 同时, 也易逸出气态氨; 导致气溶胶排放增加。为此, 试验考察了脱硫液浓度的影响。试验中, 分别直接采用扬子热电厂提供的过饱和硫酸铵溶液及在该溶液中掺入适量水配制成 20% 硫酸铵作为脱硫液, 结果如图 6 所示。可见, 在各种脱硫液温度条件下, 气溶胶生成率均随脱硫液浓度增大而增加; 这主要是由于脱硫剂浓度较高的

2.2.4 脱硫液温度的影响

脱硫液温度对气溶胶生成的影响结果如图 6 和图 7 所示。由图可见, 脱硫净烟气中气溶胶浓度随脱硫液温度升高而增加。这主要是因为脱硫液温度升高有利于挥发逸出气态 NH_3 , 增加了气相中 NH_3 浓度, 与烟气中的 SO_2 反应形成的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、

(NH_4)₂SO₃等气溶胶颗粒也随之增多;此外,较高的脱硫液温度也有利于吸收了SO₂后的脱硫液滴在高温烟气中蒸发析出固态晶粒,使通过这种途径生成的气溶胶颗粒数量也大大增加。因此,在实际工业应用中,在不影响脱硫效率及增加运行成本的前提下,应尽量避免过高的脱硫液温度。



(试验条件: $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$, $T_{\text{Cl}} = 135^\circ\text{C}$, $C_{\text{SO}_2} = 1500 \text{ mg}/\text{m}^3$,
pH = 7.0, $L/G = 12 \text{ L}/\text{m}^3$)

图7 脱硫液温度对氨法脱硫气溶胶排放的影响

Fig. 7 Influence of the temperature of the desulfurization solution on the aerosol emissions during ammonia method desulfurization process

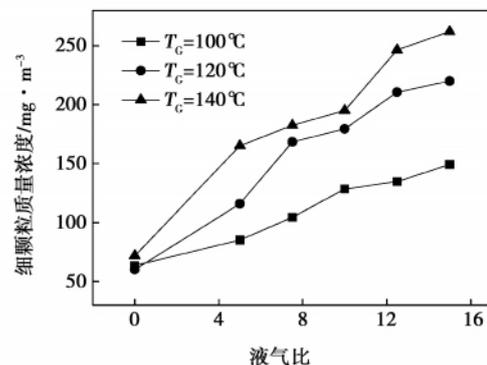
2.2.5 塔入口烟温的影响

塔入口烟温影响的试验结果如图8所示。由图可见,脱硫净烟气中气溶胶浓度随塔入口烟温升高而增加。这主要是因为烟温升高有利于脱硫液挥发逸出气态NH₃,增加了气相中NH₃浓度,与烟气中的SO₂反应形成的(NH_4)₂SO₄等气溶胶颗粒也随之增多。此外,较高的塔入口烟温同时也有利于吸收了SO₂后的脱硫液滴在高温烟气中蒸发析出固态晶粒,使通过这种途径生成的气溶胶颗粒数量也大大增加。据此可以推测,通过塔入口烟道气喷雾化水降温措施可望降低氨法脱硫气溶胶生成。

2.2.6 液气比的影响

图2和图8均反映了液气比对气溶胶排放的影响。可以看出,在其它操作条件相同情况下,气溶胶排放量随液气比升高而明显增加;如图2所示,当液气比由12 L/m³增至16 L/m³时,脱硫净烟气中气溶胶颗粒质量浓度可由200~250 mg/m³提高至300~400 mg/m³。这主要是因为液气比的增加一方面使脱硫液中挥发进入气相的气态NH₃量增多,NH₃与SO₂发生反应生成的气溶胶颗粒也会随之增加;另一方面,脱硫塔内及随烟气携带出的雾滴量均随

之增加,从而在高温烟气及大气环境中蒸发析出固态晶粒明显增多,造成气溶胶生成量大大提高。图8还表明,液气比对气溶胶排放的影响程度与塔入口烟温 T_c 存在一定关系,随 T_c 增大,气溶胶排放量随液气比升高增加愈显著;此外,脱硫液浓度及pH值对液气比与气溶胶排放的关系也有类似影响规律,在脱硫液浓度、pH值较高时,气溶胶排放量随液气比升高增加相对显著^[9]。为了抑制脱硫过程中气溶胶的生成,脱硫液气比应尽量控制较低,然而过低的液气比也会造成脱硫效率较低;实际过程中,对于喷淋空塔,脱硫液气比控制在10~15范围较合适,既能保证脱硫效率达到80%~90%以上,又能减少气溶胶生成。



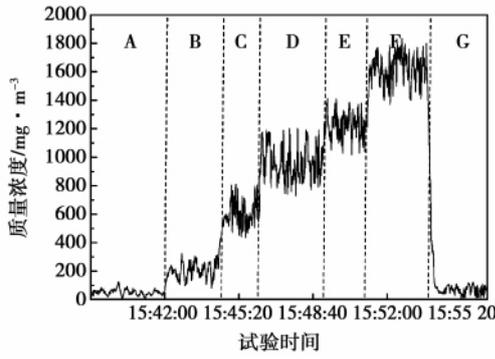
(试验条件: $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$, $C_{\text{SO}_2} = 1500 \text{ mg}/\text{m}^3$,
 $T_L = 55^\circ\text{C}$, pH = 7.0)

图8 塔入口烟温对氨法脱硫气溶胶排放的影响

Fig. 8 Influence of the flue gas temperature at the inlet of the tower on the aerosol emissions during ammonia method desulfurization process

2.2.7 塔入口烟气中SO₃浓度的影响

实际燃煤烟气中不仅含SO₂,还有少量SO₃,主要以硫酸雾形式存在,易与脱硫液中挥发逸出的NH₃反应生成(NH_4)₂SO₄、NH₄HSO₄等气溶胶颗粒,使烟气中细颗粒物浓度明显增加。本试验通过添加SO₃以考察其对气溶胶排放的影响,不同SO₃添加量下脱硫净烟气中颗粒物质量浓度变化情况如图9所示;A段表示原始烟气,B段表示脱硫洗涤后,C、D、E、F段分别表示烟气中SO₃浓度为35、70、105、140 mg/m³,G段表示停止脱硫操作,回到初始状态。可见,少量SO₃即可导致大量气溶胶颗粒生成,其影响程度远高于SO₂;这表明控制烟气中SO₃浓度对于抑制氨法脱硫过程中气溶胶的生成和排放具有重要意义。



(试验条件: $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$ $T_C = 135 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_L = 55 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $C_{\text{SO}_2} = 1\ 500 \text{ mg}/\text{m}^3$ $\text{pH} = 7.0$ $L/G = 12 \text{ L}/\text{m}^3$)

图 9 脱硫塔进口烟气中 SO_3 浓度对气溶胶排放的影响

Fig. 9 Influence of the SO_3 concentration at the inlet of the desulfurization tower on the aerosol emissions

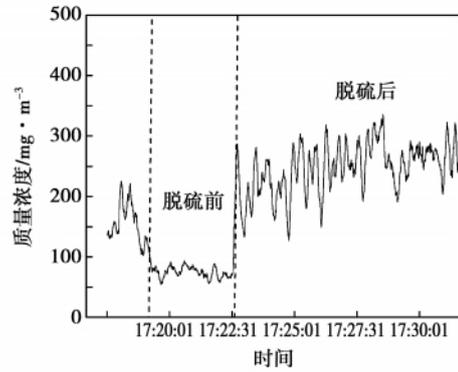
2.3 脱硫塔结构对气溶胶排放的影响

除上述脱硫操作参数外, 脱硫塔结构对氨法脱硫气溶胶排放也存在一定影响。为此, 开展了喷淋空塔及塔内加装规整填料或筛板的试验。加装填料试验中, 塔内安装 3 块金属孔板波纹填料, 其中, 两块比表面积为 $125 \text{ m}^2/\text{m}^3$, 一块比表面积为 $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$, 填料层总高 450 mm; 加装筛板试验中, 塔内安装 2 块无溢流型筛板, 筛孔孔径 4 mm, 开孔率 10%, 筛板间距 450 mm; 脱硫液均采用 2 级喷入。图 10 为脱硫操作参数相近条件下, 上述 3 种塔设备的气溶胶排放情况; 可见, 对于喷淋空塔, 液气比为 $12 \text{ L}/\text{m}^3$ 时, 气溶胶浓度由脱硫前的约 $75 \text{ mg}/\text{m}^3$ 增至约 $250 \text{ mg}/\text{m}^3$, 提高 $175 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。塔内加装填料后, 液气比为 $3 \text{ L}/\text{m}^3$ 时, 气溶胶浓度约由 $90 \text{ mg}/\text{m}^3$ 增至 $105 \text{ mg}/\text{m}^3$; 液气比为 $12 \text{ L}/\text{m}^3$ 时, 气溶胶浓度增至 $150 \sim 200 \text{ mg}/\text{m}^3$, 约提高 $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。塔内加装筛板时, 液气比为 $6 \text{ L}/\text{m}^3$ 时, 塔出口气溶胶浓度由 $75 \text{ mg}/\text{m}^3$ 增至 $150 \text{ mg}/\text{m}^3$, 约提高 $75 \text{ mg}/\text{m}^3$; 液气比为 $12 \text{ L}/\text{m}^3$ 时, 气溶胶浓度增至 $200 \text{ mg}/\text{m}^3$, 约增加 $125 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

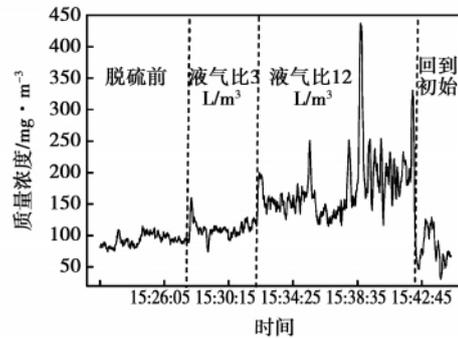
综上所述, 运行工况参数相近时, 塔内加装填料、筛板气溶胶排放浓度均低于喷淋空塔。这与以下两方面因素有关:

(1) 塔内加装填料或筛板后, 与相应的喷淋空塔相比, 脱硫塔内雾滴量有所减少, 烟气夹带的雾滴量(雾沫夹带量) 也随之降低, 相应地, 脱硫雾滴在脱硫系统内及排入大气环境后蒸发析出的固体气溶胶量减少。具体效果与填料或筛板规格、填料或筛

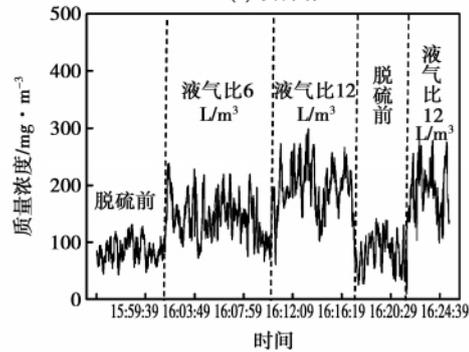
板层高度、空塔气速、脱硫喷嘴喷出的脱硫液滴粒度及脱硫液浓度均有一定关系; 对于空塔气速较高, 且以过饱和硫酸铵溶液作脱硫液的扬子热电厂脱硫装置, 可能效果较为显著; 不过, 因空塔气速较高, 塔内加装规整填料或筛板易导致液泛, 导致脱硫系统运行不正常。



(a) 喷淋空塔



(b) 填料塔



(c) 筛板塔

图 10 脱硫塔结构对氨法脱硫气溶胶排放的影响
 Fig. 10 Influence of the structure of the desulfurization tower on the aerosol emissions during ammonia method desulfurization process

(2) 由于塔内加装填料或筛板后气液接触性能改善, 在达到同样脱硫效率下可采用较低的液气比; 而在脱硫液物性相同时, 气溶胶排放量随液气比降

低而减少,进而实现气溶胶减排效果;通过测试脱硫效率发现,液气比为 3 L/m^3 的填料塔和液气比为 6 L/m^3 的筛板塔,其脱硫性能与相应的液气比为 12 L/m^3 的喷淋空塔相当,均在 85% 以上;结合图 10 可知,在保证同样的脱硫性能下,通过塔内加装填料或筛板,气溶胶排放可显著降低。

2.4 扬子热电厂氨法脱硫气溶胶颗粒形成机理分析

氨法脱硫过程中有大量气溶胶颗粒产生,从而使脱硫塔进出口烟气中颗粒物浓度、形态及元素组成均发生较大变化,这些气溶胶颗粒可通过 2 种途径生成:一方面由于气态 NH_3 易从脱硫液中挥发,挥发逸出的气态 NH_3 与烟气中的 SO_2 发生反应生成 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 、 NH_4HSO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等无机盐气溶胶颗粒;另一方面,脱硫液吸收烟气中的 SO_2 生成含 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 、 NH_4HSO_3 等产物的脱硫液液滴,在脱硫系统及排入大气环境后析出固体颗粒。由上述操作参数影响试验结果可知,气溶胶排放量随空塔气速、脱硫液 pH 值及其浓度、液气比、烟气及脱硫液温度的增大而增加;对于扬子热电厂 II 期氨法脱硫装置,由于以过饱和硫酸铵溶液作脱硫液,同时采用喷淋空塔和较高的空塔气速,使得雾沫夹带严重,同时随烟气带出的脱硫液雾滴浓度高。因此,由烟气带出的雾滴排入大气环境后随着水分的蒸发析出固体微粒可能是气溶胶的重要来源。

3 结 论

(1) 氨法烟气脱硫过程中会产生大量气溶胶颗粒,使得脱硫前后颗粒物物性发生显著变化。

(2) 氨法脱硫气溶胶排放量随空塔气速、脱硫液 pH 值及其浓度、液气比、烟气及脱硫液温度、烟气中 SO_3 浓度的增大而增加;在不影响脱硫效率及系统正常运行的前提下,可通过优化操作条件减少气溶胶排放。

(3) 在相同脱硫性能下,填料塔、筛板塔结构塔设备气溶胶排放量低于喷淋空塔。

(4) 采用喷淋空塔和较高的空塔气速以及过饱和硫酸铵溶液作脱硫液是导致扬子热电厂 II 期氨法脱硫装置气溶胶排放量高的主要原因,气溶胶颗粒主要源于由烟气带出的脱硫雾滴在大气环境中的蒸发析出。

参考文献:

[1] 徐长香,傅国光. 氨-硫酸法在锅炉烟气脱硫中的应用[J]. 化

肥设计 2004 42(6):40-41,51.

XU Chang-xiang, FU Guo-guang. Applications of the ammonia-thiamine method in desulfurization from flue gases of a boiler [J]. Fertilizer Design 2004 42(6):40-41,51.

[2] 张占晓,刘大勇,赵俊武等. 氨-硫酸铵法烟气脱硫工艺研究进展[J]. 北京:中国建筑学会建筑热动力分会第 16 届学术交流论文集,2009:403-407.

ZHANG Zhan-xiao, LIU Da-yong, ZHAO Jun-wu, et al. Recent advances in the research of ammonia-thiamine method flue gas desulfurization process [C]. Beijing: Proceedings of 16th Academic Exchange Meeting Held by the Architectural Thermal Energy and Power Branch of China Architectural Society 2009:403-407.

[3] 肖文德,吴志泉. 二氧化硫脱除与回收[M]. 北京:化学工业出版社,2001.

XIAO Wen-de, WU Zhi-quan. Sulfur dioxide removal and recovery [M]. Beijing: Chemical Industry Press 2001.

[4] 陈梅倩,何伯述. 氨法脱硫反应特性的化学动力学分析[J]. 环境科学学报 2005 25(7):886-890.

CHEN Mei-qian, HE Bo-shu. Chemical dynamic analysis of the ammonia method desulfurization reaction characteristics [J]. Journal of Environmental Science 2005 25(7):886-890.

[5] 何伯述,郑显玉,常东武等. 温度对氨法脱硫率影响的实验研究[J]. 环境科学学报 2002 22(3):412-416.

HE Bo-shu, ZHENG Xian-yu, CHANG Dong-wu, et al. Experimental study of the influence of temperature on the ammonia method desulfurization efficiency [J]. Journal of Environmental Science, 2002 22(3):412-416.

[6] YAN Jin-pei, FAN Feng-xian, YANG Lin-jun. Formation and removal characteristics of fine particles in wet ammonia flue gas desulfurization [J]. Journal of Aerosol Science 2011 42(9):604-614.

[7] 鲍静静,印华斌,杨林军. 湿式氨法烟气脱硫中气溶胶的形成特性研究[J]. 高校化学工程学报 2010 24(2):325-330.

BAO Jing-jing, YIN Hua-bin, YANG Lin-jun. Study of the formation characteristics of aerosol during wet ammonia method flue gas desulfurization process [J]. Journal of Higher Learning Chemical Engineering 2010 24(2):325-330.

[8] 颜金培,杨林军,鲍静静. 氨法脱硫过程烟气中细颗粒物的变化特性[J]. 中国电机工程学报 2009 29(5):21-26.

YAN Pei-jin, YANG Lin-jun, BAO Jing-jing. Variation characteristics of fine particles in flue gases during ammonia method desulfurization process [J]. Journal of China Electric Machinery Engineering 2009 29(5):21-26.

[9] 鲍静静. 应用蒸汽相变促进 WFGD 系统脱除细颗粒物的研究[D]. 南京:东南大学,2012.

BAO Jing-jing. Study of the use of steam phase change to promote WFGD system to remove fine particles [D]. Nanjing: Southeast University 2012.

[10] 沙志强. 氨法烟气脱硫在扬子热电厂的应用[J]. 能源研究与利用 2010(5):34-36.

SHA Zhi-qiang. Application of ammonia method flue gas desulfurization in Yangzi thermal power plant [J]. Energy Source Research and Utilization 2010(5):34-36.

(辉 编辑)

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 combustibility of the flying ash increased slightly with a conspicuous increase of the combustibility 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

desulfurization aerosol process parameter influence

干式排渣机锅炉烟风系统设计优化方法 = **Optimization Methods for Designing the Flue Gas and Air System of a Boiler** [刊 汉] LU Ming ,LI Shuang-jiang (Hebei Electric Power Prospecting and Designing Research Institute ,Shijiazhuang ,China ,Post Code: 050031) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(3) . -288 ~291

At present for a unit using a dry slag discharging system ,the excessive air leakage of the dry slag discharging system is not counted in the traditional design and calculation of the flue gas and air system ,causing the efficiency of the boiler being lowered during its actual operation and the capacity of the forced draft fan chosen being excessively large. To this end ,a method for designing and optimizing flue gas and air systems to overcome this problem was presented. On the basis of the traditional calculation of flue gas and air systems ,the influence of the unorganized air leakage of the dry slag discharging system on the boiler efficiency was quantitatively analyzed. Through an optimization of the design method ,the unorganized air leakage of the dry slag discharging system can be counted in the calculation of the flue gas and air system of the boiler ,offering guidance in selecting the capacity of the air preheater in advance to reduce the flue gas losses of the boiler and guarantee the boiler efficiency. In the meantime ,the air quantity of the forced draft fan of the boiler can be determined more rationally and the parameters of the forced draft fan can be lowered ,thus reducing the manufacturing cost and enhancing the operation cost-effectiveness. Through applications in the actual engineering projects 8 800 tons of coal can be saved in each year for a single unit with expenses of RMB 44 million yuan being avoided and for each unit ,electric power of 797 500 kWh and expenses of RMB 398750 yuan can be saved annually. **Key words:** dry slag discharging ,boiler air leakage ,energy saving and emissions reduction ,air preheater ,forced draft fan

非预混式旋流燃烧特性研究 = **Study of the Non-premixed Type Swirling Combustion Characteristics** [刊 ,汉] WANG Kai ,JIANG Jian-guo ,GUAN Hai-bin ,SUN Rong-feng (Energy Source Research Institute ,Shandong Provincial Academy of Sciences ,Jinan ,China ,Post Code: 250014) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(3) . -292 ~295

Established was a mathematical model for calculating the combustion characteristics of a non-premixed type swirling burner and then ,numerically simulated were two burners with different structures with relevant combustion tests being conducted on a hot-state model test rig and the thermal parameters being measured and compared with the calculation results. The research results show that the high temperature zones in the combustion chamber of both burners all assume a dual peak type distribution and there exist return flow zones in the center of the furnaces where the