

文章编号: 1006-4729(2002)01-0001-05

新型多级液幕喷雾洗涤式 烟气脱硫技术的试验研究

潘卫国¹, 雷俊智¹, 马其良², 姜未汀¹, 华张国¹, 聂雪军¹

(1. 上海电力学院 热能与环境工程研究所, 上海 200090;

2. 上海理工大学 动力学院, 上海 200092)

摘要: 针对燃煤锅炉烟气中 SO₂ 排放的特点, 从反应机理着手, 制定了相应的设计脱硫装置的原则, 研制了一种新型多级液幕喷雾洗涤式脱硫塔, 并对脱硫装置进行了多工况试验研究. 通过研究发现, 燃烧产生的含有 SO₂ 的烟气在经过脱硫塔后其排放得到了有效控制, 液气比、SO₂ 浓度、Ca(OH)₂ 浓度及反应温度的变化对脱硫效率产生了不同的影响.

关键词: 多级液幕; 脱硫塔; 烟气脱硫

中图分类号: X382.1; X506 **文献标识码:** A

引言

在我国, 中小型锅炉占全国燃煤锅炉的 70% 以上^[1], 它们是 SO₂ 主要的污染源之一, 因此, 治理中小型燃煤锅炉的 SO₂ 污染对控制全国总体 SO₂ 污染具有十分重要的意义. 现阶段, 应面向我国面大量广的中小型燃煤锅炉, 研究开发投资省、成本低、占地少、工艺简单、具有较好效果的脱硫技术, 以改善我国大气污染严重的状况. 本文正是立足于此, 在综合国外大量相关成熟脱硫技术和国内众多脱硫装置运行经验的基础上, 以目前应用最广泛、脱硫效率较高的湿法烟气脱硫技术为依据, 设计开发一种适用于中小型锅炉的烟气脱硫装置和工艺, 并采用价廉易得的 Ca(OH)₂ 作脱硫剂, 力求做到结构简单、投资少、运行成本低、脱硫效率高、技术易于推广, 以满足现阶段我国环境保护的要求.

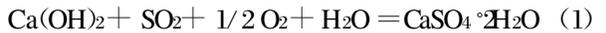
1 新型脱硫装置的试验系统

1.1 反应机理

利用脱硫剂 Ca(OH)₂ 来吸收烟气中 SO₂ 的过程也就是利用 Ca(OH)₂ 与 SO₂ 反应生成固态的 CaSO₃ 或 CaSO₄ 析出, 以达到减少烟气中 SO₂

含量而净化烟气的目的. 其反应过程可分为以下步骤完成:^[2-3]

总反应

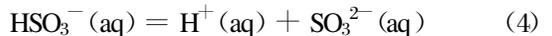
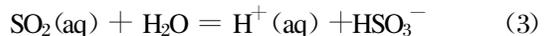


第1步 烟气中的 SO₂ 向液膜扩散

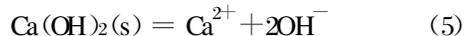
第2步 SO₂ 被液膜吸收



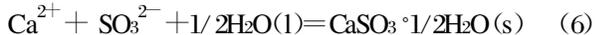
第3步 SO₂ 在液膜中离解形成 HSO₃⁻ 和 SO₃²⁻



第4步 Ca(OH)₂ 在液膜中离解



第5步 亚硫酸钙的生成与沉结



第6步: 硫酸钙的生成的沉结



这6步中起决定作用的是第1步和第4步, 即气固两相在液膜中的传质过程, 其他反应都可以认为是瞬时完成的.

1.2 设计原则

为避免形成烟气死角和便于加工, 脱硫装置采

用多级圆筒塔体外形. 各级内部装置采用喷嘴、上锥顶盖、下溢流堰挡板组合, 并在烟气自下而上、脱硫液自上而下的逆向洗涤下, 使整个装置形成多级液幕喷雾洗涤式结构. 图1是其中一级的内部装置结构示意图. 采用此组合结构的优点是:

1 利用喷嘴将脱硫液雾化成细小液滴, 增大了气液接触面积, 利于液相中 Ca^{2+} 与 SO_3^{2-} 的充分接触, 加快反应过程和脱硫剂的充分利用;

2 各级溢流堰挡板在脱硫液向下流动时形成一层液幕, 既可增加烟气和脱硫液接触机会, 也可以降低烟速而延长气液反应时间, 有利于生成物的沉结;

3 各级溢流堰挡板积液层形成另一层液膜, 增加了烟气与脱硫液接触面积, 并进一步使生成物沉结, 加快反应速度;

4 各级溢流堰挡板与上锥顶盖之间形成的窄通道, 使烟气转向加速, 加强了烟气的湍流度和气液传质^[4], 提高了脱硫效率.

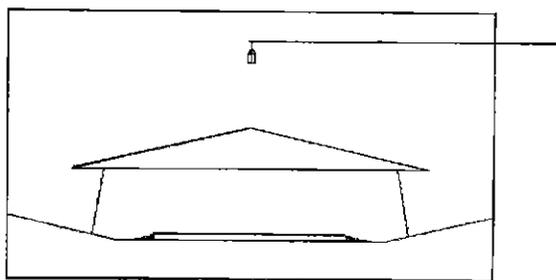


图1 新型脱硫装置内部结构示意图

1.3 试验系统

实验处理的烟气量为 $1\ 500\text{Nm}^3/\text{h}$, 烟气温度在 $150\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内, 塔内平均烟速为 0.6m/s . 系统中烟气流程为: 利用燃烧器燃烧重油后产生高温烟气, 经呛入冷风配成所要求的风量和温度, 然后向烟气中加入纯 SO_2 气体以配成不同 SO_2 浓度模拟烟气, 经文丘利管混合后进入脱硫塔, 在塔内自下而上被脱硫液洗涤脱硫后从塔顶排出, 经过除尘器除尘后排入大气. 脱硫剂流程为: 在安装有搅拌器的池内配置一定浓度的脱硫剂, 用循环泵打入输送管道, 经过流量计计量后进入脱硫塔, 并由喷嘴雾化后喷下, 在脱硫塔内与烟气混合进行脱硫反应, 最后经过塔底的回流管道返回脱硫池以供循环使用. 整个系统流程如图2所示.

影响脱硫效率的因素有多种, 如液气比、 SO_2 浓度、温度、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度、脱硫剂的喷入方式和喷入量、脱硫剂雾化程度、反应时间和混合程度等. 本文试验研究的内容主要研究不同液气比、 SO_2 浓度、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及反应温度与脱硫效率之间的内在关系. 实验分别在单因素变化而其他因素稳定的工况下进行, 并根据正交试验设计的原理^[3], 将液气比、 SO_2 流量(即混合烟气中 SO_2 浓度)和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度作为影响脱硫效率(η)的3个因素, 试验中各因素取值对称, 搭配均匀, 没有重复, 而且各因素取值为5个, 即可设计3因素、5水平的正交试验工况表. 最后对测得的数据进行综合分析处理, 得到各自变化对脱硫效率的影响规律.

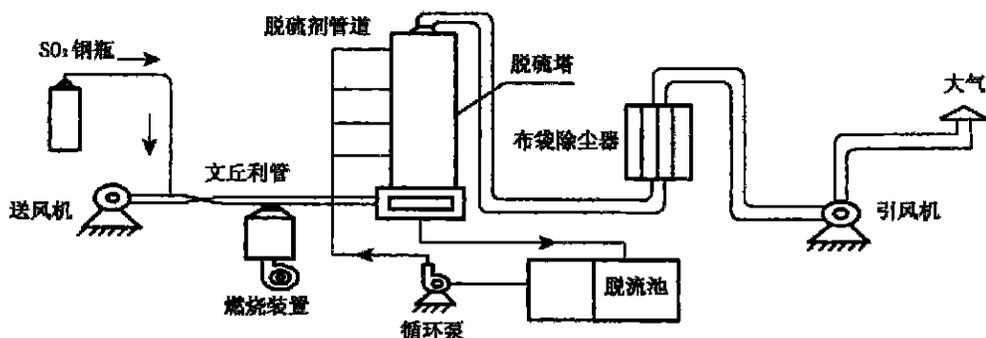


图2 脱硫系统流程图

实验过程中在对塔体进出口管段和塔内各级 SO_2 浓度的测量时采用的仪器是意大利欧隆强 (Eurotron) 公司生产的烟气分析仪和烟气加热装置 (GreenLine MK2 Combustion Gas Analyzer 和 Green-Cooler Transportable Gas Sample Preparation Unit)。

实验中采用的液气比范围在 $0.6 \sim 2.0 \text{ L/m}^3$ 之间, 配置的模拟烟气中 SO_2 浓度为 $1\ 000 \sim 2\ 500 \text{ mg/m}^3$, 配置 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 乳液的浓度为 $1.4\% \sim 2.4\%$ 。

2 试验结果分析

2.1 液气比对脱硫效率试验结果影响及分析

实验测得的数据表明脱硫效率随液气比的增大而上升, 在液气比为 $1.2 \sim 1.8$ 时, 冷态 (室温为 30°C) 下的脱硫效率可达到 $86\% \sim 93\%$, 热态下的脱硫效率可达到 $70\% \sim 88\%$; 其中冷态下的最高脱硫效率可达到 98% , 见图 3。产生此效果的原因是:

1 液气比增大, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的总量增加, 使 SO_2 与之接触反应的机会增多, SO_2 的脱除率随之增大;

2 由于喷嘴的存在, 随着液气比的增大, 脱硫液的流量增大, 雾化角和雾化程度增大, 液滴更细, 加强了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 SO_2 的混合, 提高反应速度;

3 液气比增加, 喷淋量增大, 塔内温度下降, SO_2 溶解度增大, 液相传质阻力减小, 因此, 脱硫效率上升^[6];

4 随着液气比的加大, 喷淋液的增加, 对烟气流动产生阻力, 降低塔内烟气的流速, 增加烟气在塔内的停留和参与反应的时间, 因而脱硫效率上升;

5 随着液气比的增大, 烟气温度越来越接近露点温度, 烟温与露点温度之差越小, 脱硫效率越高。

然而并非液气比越大越好, 因为液气比过大, 容易产生烟气带水现象, 引起除尘器腐蚀增加, 风机振动使系统运行不稳定; 同时会引起循环泵等动力能耗增加, 影响了脱硫塔运行的经济性, 而且随着脱硫液流量的加大, 设备腐蚀和磨损程度增大, 不利于设备的长期运行; 另外液气比过大, 烟温急剧下降, 一旦低于露点以下, 设备腐蚀加剧。所以在实际运行中, 应选用适当的液气比, 使之既满足脱

硫效率的要求, 同时还要兼顾运行的经济性和稳定性。针对本脱硫塔的基本性能和实验结果的分析处理, 合理的液气比范围在 $1.2 \sim 1.8 \text{ L/m}^3$ 内, 脱硫效率最高可达到 85% 以上。

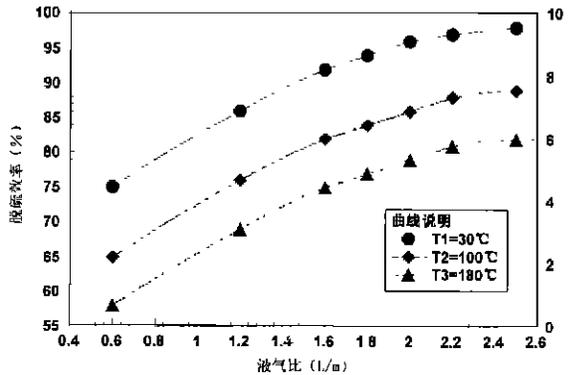


图 3 在 SO_2 浓度为 $2\ 400 \text{ mg/m}^3$ 情况下液气比与脱硫效率的关系

2.2 SO_2 浓度对脱硫效率试验结果影响及分析

实验结果表明: SO_2 浓度对脱硫效率的影响存在一个峰值。当 SO_2 浓度低于这个峰值时, 随 SO_2 浓度的上升脱硫效率增加; 当 SO_2 浓度超过这一峰值后, 随 SO_2 浓度的增加而脱硫效率下降, 见图 4。

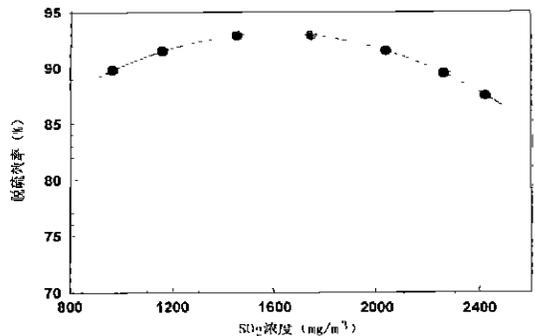


图 4 在液气比为 1.2 情况下 SO_2 浓度与脱硫效率的关系

存在这个峰值的原因是因为 SO_2 浓度与气液混合物中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的浓度直接相关。在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 乳液浓度不变且 SO_2 浓度未达到相应的峰值时, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 中 Ca^{2+} 的浓度绝对大于 SO_2 浓度, SO_2 的脱除率大于 SO_2 的增加率, 因此, 脱硫效率是随 SO_2 浓度的增加而上升的; 当 SO_2 浓度大于这一峰值时, SO_2 的增长率大于 SO_2 的脱除率, 因此, 脱硫效率在整体上表现为随 SO_2 浓度的增加而下降。

2.3 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度对脱硫效率试验结果影响及分析

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作为脱硫反应中的主要物质之一, 其对脱硫效率的影响是较为直观的. 理论上, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的浓度越大, 越有利于脱硫效率的提高. 而实际运行中, 却力求在满足脱硫效率的情况下采用较少的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 是因为:

1 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的浓度过高, 引起 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 物质的用量过大, 造成运行费用偏高, 不利于脱硫装置的经济运行;

2 浓度过高的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 乳液, 势必引起管道、阀门等处的磨损和堵塞, 也会引起塔内壁的结垢, 不利于脱硫过程的稳定进行和设备的长期有效运行;

3 浓度过高的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 乳液中的水分, 会在高温烟气的作用下蒸发而使部分 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 成固体形式参与脱硫反应, 而固相中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的电离度大大减小, 使得 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的活性大大降低, 从而降低脱硫剂的利用率;

4 对于采用喷嘴雾化设计的本脱硫塔, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度不仅对喷嘴的正常运行带来不利, 还会直接影响雾化的效果, 从而影响脱硫效率.

因此, 在满足脱硫效率的情况下采用较低的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 乳液浓度对脱硫过程的顺利、经济运行是很关键的. 通过数据分析, 可以得出适合本脱硫塔的最佳 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 乳液浓度为 2%, 在此浓度下, 脱硫效率可达到 85%~95%.

2.4 温度对脱硫效率试验结果影响及分析

在整个冷热态脱硫的试验过程中发现, 温度对脱硫效率会产生影响, 见图 5.

通过对冷态和热态下的实验数据分析可以看出, 整个冷态下的脱硫效率较热态高, 这是因为:

1 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 SO_2 的反应主要在液相中进行, 高温下的乳液中的水分蒸发使液相反应区减少, 从而降低了脱硫效率;

2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶解度随温度的升高而降低, 因此, 高温下 Ca^{2+} 的浓度低于低温下的 Ca^{2+} 浓度, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的活性降低而减低脱硫效率;

3 烟气中 SO_2 气体的溶解度随温度的增加而

降低, 使液相传质阻力增大, 因而减低了脱硫效率.

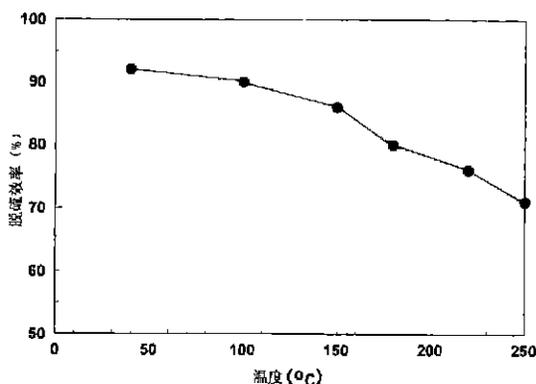


图5 温度对脱硫效率的影响

3 结束语

在综合各类脱硫技术和方法的基础上, 针对我国中小型燃煤锅炉烟气中 SO_2 排放的特点, 设计、建造了一种新型多级液幕喷雾洗涤式脱硫塔及实验系统, 并进行了安装、调试和试验. 设计这种脱硫塔的优点在于:

1 结构简单、紧凑, 加工安装方便, 系统造价低;

2 脱硫塔内采用上下板环组成内挡式结构, 既可以防止烟气短路, 又可增强气液混合;

3 在下层溢流堰挡环上设计一溢流堰形成上部积液层和下部液幕, 增大了气液混合面积和增强气液混合;

4 塔体采用分级组合设计, 有利于脱硫塔的安装和维修, 并在运行中可以灵活选用, 同时也利于系统的改造、更新和升级;

5 采用喷嘴进行脱硫液雾化喷淋, 进一步扩大的气液接触面积, 加强了气液传质, 提高脱硫效率.

在试验系统中, 采用常用且价廉易得的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作为脱硫剂进行脱硫试验, 研究在不同液气比、 SO_2 浓度、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度和烟气温度对脱硫效率影响的规律, 得到以下结论:

1 脱硫效率随液气比的增大而上升, 综合考虑经济性等因素, 适合本脱硫塔最佳的液气比范围在 1.2~1.8L/m³ 内, 脱硫效率可达到 85% 以上;

2 SO_2 浓度对脱硫效率的影响存在一个峰值, 在未达到峰值前, 脱硫效率随 SO_2 浓度的增加而增加, 在峰值后, 随 SO_2 浓度的增加而降低;

3 在满足脱硫效率的情况下, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度越低越有利于脱硫过程的顺利进行和降低运行成本. 由于利用了喷嘴及内部组合结构, 大大提高了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的利用率, 使得在较低的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 乳液浓度(2%)下, 达到了较高的脱硫效率;

4 温度对脱硫效率的影响表现为: 总体上高温下的脱硫效率低于低温下的脱硫效率.

参考文献:

[1] 李彩亭, 曾光明. 中国中小型燃煤锅炉脱硫技术现状[J]. 环境

工程, 1998 16(2):

- [2] 毛健全 毛健雄 赵树民. 煤的清洁燃烧[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 罗颖都 李忠民. 煤的化学和物理脱硫[M]. 煤炭工业出版社, 1984.
- [4] 吴忠标 谭天恩. 石灰湿法脱硫传质-反应过程机理[J]. 环境科学, 1996 17(2):42.
- [5] 胡上序 陈德钊. 观测数据的分析与处理[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 1996.
- [6] Takeshita M soud H. FGD performance and experience on coal-fired plants[M]. London: IEA Coal Research, 1993. 35 ~ 38.
- [7] Patel J G, Viiala J. LIFAC flue gas desulfurization process. an alternative SO_2 control technology[J]. Tampella Power Corp. Paper, 1994.

Experimental Study on Flue Gas Desulfurization Technology by New Multi-stage Liquid Curtain Spray-abstersion Method

PAN Wei-guo¹, LEI Jun-zhi¹, MA Qi-liang², JIANG Wei-ting¹, HUA Zhang-guo¹, NIE Xue-jun¹

(1. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

2. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200092, China)

Abstract: In view of the characteristics of SO_2 emission from the coal-fueled boilers' flue gas, the rule of designing desulfurization device is instituted on the basis of chemical reaction mechanism, thus a new multi-stage liquid curtain spray-abstersion tower is designed for studying the rules among sorbent concentration, ratio of liquid to gas and SO_2 concentration by simulating a certain sulphur content flue gas.

Key words: multi-stage liquid curtains; desulfurization tower; flue gas desulfurization (FGD)