

文章编号: 1005—0523(2005)01—0026—03

# 二氧化硫污染控制的湿法技术

杨柳春

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌, 330013)

**摘要:**对各种湿式烟气脱硫技术的特点及在我国的应用情况进行了介绍和比较,并探讨了湿法工艺的国产化情况.国内自行开发的简易湿法脱硫工艺形式多样,效率较高,成本较低,但实践运行中仍存在不足,有待进一步完善.

**关 键 词:**烟气脱硫;湿式;石灰石

**中图分类号:**X701.3

**文献标识码:**A

## 1 概 述

我国的一次能源消费一直以来都是以煤为主,2000 年我国一次能源消耗中煤的比例为 63%.大量的煤炭燃烧导致的  $\text{SO}_2$  排放造成了严重的大气污染. $\text{SO}_2$  危害人体健康,会引起严重的呼吸系统疾病;对植物的生理机能也会造成破坏,减缓农作物及森林生长;同时使土壤湖水酸化、抑制鱼虾生长; $\text{SO}_2$  形成的酸雨腐蚀桥梁、建筑和材料.2000 年我国  $\text{SO}_2$  排放为 1 995 万吨,居世界第一.现在中国是仅次于欧洲和北美的第三大酸雨区,酸雨面积大约占国土资源的 30%,每年因酸雨和二氧化硫污染造成的损失高达千亿元.随着我国经济建设的发展,能源消耗进一步加大,二氧化硫的排放总量将持续增长.要采取有效削减措施,减少酸雨污染,必须对燃煤设施安装烟气脱硫设备<sup>[1,2]</sup>.

烟气脱硫技术根据脱硫剂和产物的状态可分为干法、湿法、半干法.其中湿法脱硫技术最成熟,Ca/S 比低,效率高,运行可靠.据统计,湿法烟气脱硫占世界安装烟气脱硫机组总容量的 85%.

## 2 湿法烟气脱硫技术

### 2.1 湿法烟气脱硫技术简介

湿法烟气脱硫技术有:石灰石(石灰)一石膏法、简易石灰石(石灰)一石膏法、海水脱硫、氧化镁法、双碱法、氨吸收法、磷铵复合肥法(PAFP 法)等.

石灰石(石灰)一石膏法是应用最广泛的烟气脱硫技术,其典型流程是将石灰石(石灰)浆液打入具有一定构造的吸收塔,对烟气进行洗涤,烟气中的  $\text{SO}_2$  被碱性吸收剂吸收去除.净化后的烟气通过烟囱排放入大气,脱硫产物则被抛弃或进一步氧化生成石膏加以利用.重庆华能珞璜电厂于 1992 年一期引进一燃煤电厂烟气脱硫装置.该厂一期装机容量为  $2 \times 360 \text{ MW}$ ,每台机组年耗原煤 80 万吨,仅一台炉每年向大气排放  $\text{SO}_2$  就约 5 万吨左右.电厂一期从日本三菱公司引进的两套“石灰石一石膏法”烟气脱硫装置,自投入运行以来,脱硫率达 95%,脱硫装置可用率达 85%以上<sup>[3]</sup>.但是引进国外的技术设备造价过高.如,珞璜电厂一期烟气脱硫设施造价为 23 070.9 万元,占到电厂总投资的 11.15%.

简易石灰石(石灰)一石膏法工艺原理与传统湿法工艺相同,但省去气一气烟气热交换等辅助设

收稿日期:2004—05—18

作者简介:杨柳春(1978—),男,湖南凤凰人,讲师,从事污染控制技术研究工作.

备,对系统的吸收装置也进行了简化,以中等脱硫效率(70%—80%)为目标,因而可大大降低设备投资和运行费用.我国太原第一热电厂引进日本日立公司的高速平流简易石灰石(石灰)—石膏法工艺,处理 300 MW 机组的 2/3 烟气量,脱硫率为 80%.山东潍坊化工厂也采用引进的简易湿法,以消石灰浆为脱硫剂,脱硫率 70%.潍坊化工厂安装了烟囱组合型简易脱硫装置——对流式液柱吸收塔(简称液柱塔).烟气从吸收塔的下部导入,在吸收塔内上升的过程中与由设置在吸收塔下部喷管向上喷出的吸收液相接触,从而将烟气中的  $\text{SO}_2$  及烟尘除去.由于脱硫塔内构件简单,通风压损小( $<250\text{Pa}$ ),不用设升压风机.吸收塔兼有烟囱的功能,而且体积小,因而占地面积小<sup>[4,5]</sup>.

海水脱硫技术是利用天然海水的弱碱性和酸碱缓冲能力吸收  $\text{SO}_2$ .我国深圳西部电力公司 2 号 300 MW 机组引进挪威 ABB 公司开发的此项技术,1998 年 7 月建成投运,脱硫效率为 90%.该法是一种湿式抛弃法脱硫工艺,脱硫后的产物为溶解于海水的硫酸盐,没有固体废弃物的处理;吸收过程中无结垢、无堵塞等问题;系统工艺简单,设备少.海水脱硫装置投资运行费用适中,适用于沿海且燃用中、低硫煤的电厂.从已有的监测数据来看,脱硫系统的排水水质满足国家四类海水水质标准,但脱硫后  $\text{Hg}$  和  $\text{As}$  等物质的含量还是有一定的增加,它们对脱硫系统排水口附近海洋的累积效应还有待进行长期的跟踪检测<sup>[6]</sup>.

双碱法是由日本和美国开发,并已在大型工业装置上成功应用.该法流程特点为先用可溶性的钠碱吸收液在吸收塔内进行脱硫,然后在塔外用石灰乳或石灰石粉末对吸收液进行再生和分离,再生液继续进行循环脱硫.双碱法有如下优点:塔内钠基清液作为吸收液,大大降低了结垢机率;钠基吸收二氧化硫速率高,在较低的液气比下可得到较高的脱硫率,同时还可大大提高石灰的利用率.该工艺在实际运行中有一定的碱耗<sup>[7]</sup>.

氨吸收法是用  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$  吸收  $\text{SO}_2$  生成  $\text{NH}_4\text{HSO}_3$ ,再利用循环槽补充氨将  $\text{NH}_4\text{HSO}_3$  再生为  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$  循环脱硫;部分吸收液用硫酸(或硝酸、磷酸)分解的得到高浓度  $\text{SO}_2$  和硫酸铵(或硝酸铵、磷酸铵)化肥.我国一些较大的化工厂用该法处理硫酸尾气中的  $\text{SO}_2$ .华东理工大学开发的氨—酸法(NADS)工艺采用大孔径筛板塔为吸收装置,工业试验结果脱硫率达 95%以上,副产 98%的浓硫酸和满足质量指

标的磷铵化肥.技术经济分析表明,该法脱除 1 吨  $\text{SO}_2$  的费用为传统石灰石(石灰)—石膏法的 1/3 左右,有一定的应用前景<sup>[8]</sup>.

磷铵复合肥法(PAPF)是我国在七五期间开发的脱硫技术,利用天然磷矿石和氨为原料,在烟气脱硫过程中副产磷铵复合肥料.此法在脱硫过程中不需提供外部添加的吸收剂,在解决电厂  $\text{SO}_2$  污染的同时能生产出市场需要的工农产品,有一定的经济效益.但该技术流程长,投资大,设备繁多,操作复杂,适用于附近有矿产的电厂.因地制宜利用矿产资源的脱硫技术还有氧化锰法、氧化锌法、氧化镁法等等,这些工艺脱硫效率高,但在国内基本上都处于试验研究阶段.除湘潭大学在自主开发的基础上为某冶炼厂设计了国内最大的氧化锌法烟气脱硫装置外,这类工艺还没有较大规模的工业应用报道<sup>[9]</sup>.

## 2.2 国产简易湿法技术的应用

烟气脱硫技术的发展一直朝着降低投资和运行成本的方向进行.据估计,如果引进国外技术和设备,平均造价高达 1 000—1 200 元/kW,若实现国产化则可控制在 700 元/kW 以下.湿法是我国重点发展的烟气脱硫技术之一.近二十多年来,随着国家政策支持,我国烟气脱硫技术设备国产化取得一定成果,国内一些高校、科研及生产单位开发了各种简易湿法脱硫工艺和设备,较多地应用于中小型锅炉上,投资和运行费用远低于国外引进的工艺设备.如,浙江大学开发的旋流板塔工艺、湘潭大学开发的亚硫酸钙悬浮液脱硫工艺、清华大学和清华同方公司联合开发的两级液柱喷射烟气脱硫技术、浙江华特环保设备实业公司开发的湿式烟气脱硫除尘二段吸收和捕集法等等.

旋流板塔是浙江大学谭天恩教授发明的一种高效、节能的专利传质设备,自 70 年代问世以来在环保、石油、化工、轻工、冶金等行业得到普遍应用,80 年代开始在烟气脱硫除尘和工业废气治理领域应用.烟气由塔底切向进入,在塔板叶片的导向作用下旋转上升.液相脱硫剂在塔板上被烟气喷成雾滴状,气液间产生较大的接触面积.液滴在气流的带动下旋转,被甩至塔壁并沿壁下流,溢流到下一层塔板上,再次被气流雾化而进行气液接触.由于塔内提供了良好的气液接触条件,气体中的  $\text{SO}_2$  等酸性气体被碱性液体吸收的效果好;旋流板塔同时具有很好的除尘性能,气体中的尘粒在旋流塔板上被水雾粘附,并受离心力作用甩到塔壁而除去,从

而具有较高的除尘除雾效率。旋流板塔与石灰石(石灰)一石膏工艺、双碱法等组合成的脱硫除尘一体化工艺,从应用的情况来看,脱硫率为 70%以上,除尘效率 97%。浙江嘉兴锦江热电厂 2×25 MW 机组采用此工艺投资为 68.6 元/kW,单位脱硫成本 491.8 元/t<sup>[10]</sup>。

针对石灰乳直接脱硫易结垢的问题,湘潭大学童志权教授开发了亚硫酸钙悬浮液脱硫法。工业应用的装置是一个两级净化系统:烟气首先经过麻石水膜段除尘,再穿过 XP 型脱硫部件,与被高度分散的来自脱硫循环池的亚硫酸钙悬浮液充分逆流接触,脱除烟气中的 SO<sub>2</sub>,并进一步脱除细尘。完成脱硫后的悬浮液绝大部分返回脱硫循环池,少部分有控制地进入沉渣池沉淀分离或进一步氧化成石膏。脱硫后烟气经除雾后排放。脱硫所需的亚硫酸钙悬浮液通过加入新鲜的石灰乳再生。该工艺的实质是亚硫酸钙悬浮液在脱硫塔内与 SO<sub>2</sub> 反应生成溶解度很大的亚硫酸氢钙,因而脱硫塔不结垢。近年来,该脱硫技术已在国内 20 多家企业的 30 多台 65—130t/h 锅炉上应用,除尘效率 98%,脱硫效率达 80%—96%<sup>[11]</sup>。

目前,国内已经具备了一定的中小锅炉脱硫除尘设备生产和工艺设计及施工的能力,但大型燃煤电厂脱硫装备技术基本上还是由外国公司所掌握,国产化任务还很艰巨。另外,由于缺乏实际运行经验、环保意识薄弱和经济、技术上的种种原因,国内自产的许多技术设备在投入运行后脱硫效率波动较大,还往往伴随有腐蚀、结垢、堵塞、风机带水等问题,这些都有待在以后的实践过程中不断完善。

### 3 结 论

我国的二氧化硫排放总量有持续增长趋势,防

治二氧化硫和酸雨污染形势严峻,唯有大力推进燃煤锅炉安装烟气脱硫设备,才能有效削减二氧化硫排放。

湿法烟气脱硫技术成熟可靠,吸收快,效率高,形式灵活多样,适合我国的烟气脱硫的现实情况,应当在吸收国外先进技术的基础上,加大自行开发和推广应用的力度,努力提高国产技术的水平和降低投资运行成本。

### 参考文献:

- [1]钟秦.燃煤烟气脱硫脱硝技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [2]姜安玺,等.空气污染控制[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [3]龙辉,石金兴,王泓.引进的湿法烟气脱硫技术介绍及性能比较[J].水利电力机械,2002,24(5):1~6.
- [4]陈善能,等.太原第一热电厂简易湿法脱硫技术及经济分析[J].电力环境保护,1999,15(3):1~3.
- [5]董勇.潍坊化工厂简易排烟脱硫设备[J].环境工程,1997,15(3):27~29.
- [6]吴来贵.深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统监测分析[J].热能动力工程,2003,18(2):200~202.
- [7]李玉平,谭天恩.双碱法烟气脱硫的基础研究[J].重庆环境科学,1999,21(5):49~52.
- [8]肖文德,李伟,方云进,等.火电厂烟气脱硫新方法—NADS 氨一肥法[J].中国电力,2001,34(7):54~58.
- [9]童志权.工业废气净化与利用[M].北京:化学工业出版社,2001.
- [10]施耀,吴忠标,李松,等.2×25 MW 机组旋流板塔双碱法烟气脱硫除尘[J].环境污染与防治,2000,22(4):28~30.
- [11]童志权,陈昭琼,彭朝辉.钙一钙双碱法脱硫技术及其在工业中的应用[J].环境科学学报,2003,23(1):28~32.

## Wet-type Technologies for SO<sub>2</sub> Pollution Treatment

YANG Liu-chun

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Features of various wet desulfurization technologies and their application in China are introduced and compared. Localization of manufacture issue is analyzed. Domestically developed simplified wet desulfurization processes own various forms, relatively high SO<sub>2</sub> removal rates and low costs, but there are some unsolved problems.

**Key words:** flue gas desulfurization; wet-type; limestone