

脱 硫 技 术

中国环境科学学会 编

· 中国环境科学出版社

脱 硫 技 术

中国环境科学学会 编

中国环境科学出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 089 号

内 容 简 介

本书是中国环境科学学会 1995 年在徐州召开的第四届全国环境污染防治技术研讨会——脱硫技术专题会议论文集。内容包括我国新修订的《大气污染防治法》的组织实施;二氧化硫污染防治技术概况;二氧化硫防治新技术、新产品的开发及应用,以及国外二氧化硫防治技术发展趋势介绍。

本书供有关环境保护管理部门、科研设计院所、工矿企业,以及大专院校等有关领导、管理人员、科技工作者参考。

脱硫技术

中国环境科学学会编

中国环境科学出版社出版发行

(100062 北京崇文区北岗子街 8 号)

北京林业大学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1995 年 11 月第 一 版 开本 787×1092 1/16

1995 年 11 月第一次印刷 印张 14.25

印数 1—2000 字数 380 千字

ISBN 7—80093—889—1/X·1011

定价:40.00 元

《脱硫技术》编辑委员会名单

主任:鲍 强

副主任:陈志远 柳振民

编 委:朱琳璞 张新华 鲍荣熙 黄昌熊 姜艳萍 初建军

目 录

认真贯彻新修订的《大气污染防治法》积极治理二氧化硫和酸雨污染·····	刘 孜(1)
中国火电厂的脱硫现状及趋势预测·····	舒惠芬(3)
TGXC-I型湿式高效除尘脱硫装置·····	张治中 沈玉芳(6)
下关发电厂 LIFAC 脱硫技术·····	马果骏(9)
灰斗电加热器的设计与使用·····	马果骏 虞瑞鹤 孙树权(16)
JBR型烟气除尘脱硫器及其运行效果·····	钟 秦 王婷茹 居 明 孙雪梅(18)
SHG型脱硫除尘器的研制与推广应用·····	陈振华 曾德馨(21)
工业锅炉复合式除尘脱硫技术·····	刘幼林 杨明珍 权义华(24)
中国大气二氧化硫污染及其防治·····	张慧明 李玉文(28)
中国电力工业大气 SO ₂ 污染及其控制·····	张慧明 林小妍(35)
煤的催化燃烧与固硫添加剂的评价·····	何兆德(41)
环境中硫化物的脱除——吸附(吸着)法净化 SO ₂ ·····	郭坤敏 林秋莉 袁存乔(45)
ZG—G型双击式除尘脱硫器的研究·····	门亚东 张鹏展 鲁全仲(47)
湿式筛网除尘脱硫装置的研究·····	门亚东 张鹏展(49)
适合国情的燃煤电厂烟气脱硫技术开发·····	程新生(53)
几种国外硫回收尾气处理的最新技术·····	李菁菁(56)
新型活性炭烟气脱硫技术研究·····	刘中正 串亚权等(60)
等离子氨法烟气脱硫研究·····	朱联锡 汤争光等(62)
烟气脱硫副产物—稀硫酸的综合利用·····	王幸锐 崔莲溪(67)
PAFP烟气脱硫技术的研究与发展·····	王幸锐 崔莲溪 徐息(69)
铁、硅系添加剂对型煤燃烧固硫的影响·····	吕欣 林国珍 肖佩林 庄亚辉(73)
集烟气净化和节能于一体的可行性研究·····	王之顺 冯爱华(77)
因地制宜的脱硫工程特点·····	廖康敏 唐崇武(82)
电子束氨法烟气脱硫脱硝技术·····	范安祥(85)
SO ₂ 、SO ₃ 和 H ₂ O对烟气露点温度影响的研究·····	李彦 武彬 徐旭常(88)
PS/TS型除尘、脱硫、脱氮装置·····	卢慎敏(92)
脱硫技术新特点、新动向及控制 SO ₂ 污染的对策·····	丁毓文(94)
控制二氧化硫的基本政策·····	于益雷(97)
锅炉烟气喷雾干燥脱硫技术·····	吴安(101)
脉冲供电脱硫除尘器的试验研究·····	童永湘 将云峰(104)
制订地方燃料质量法规促进降低广东燃煤电厂硫化物排放水平·····	高克凌(107)
复合金属氧化物干法烟气脱硫·····	刘世斌 韩振海 徐林卿(110)
SHG型脱硫干燥及脱硫除尘工艺的研究·····	马承愚 杨云升(113)
大冶有色金属公司硫综合利用与诺兰达工艺流程·····	夏昌建 缪保和(115)
高效麻石脱硫除尘一体化新设备与新工艺·····	童志权 陈昭琼(119)
Ca(OH) ₂ —CaCl ₂ 脱除 SO ₂ 的研究·····	胡礼德(121)
浅论微生物煤炭脱硫技术的开发应用·····	杨礼明(125)

烟道气中 CO ₂ 去除前的烟气脱硫技术	李文斌	聂荣珍(127)
一种新型高效脱硫剂	马兰 袁存乔 刘进 苏发兵	郭坤敏(131)
烟气脱硫与宝钢 SO ₂ 控制		杨 颢(135)
国外烟气脱硫工业化技术评述		操家顺(139)
开发并评定干法脱硫的高活性钙基吸收剂	程紫润	管一明(143)
关于我国防治 SO ₂ 污染战略的探讨	刘中正 朱联锡	尹华强(147)
模糊决策在烟气脱硫技术的评估和优选中的应用	尹华强	刘中正(150)
锅炉烟气脱硫技术综述与评价		唐新德(154)
适用我国中小型燃煤电厂脱硫技术及装置		陆万洲(157)
对我国火电厂采用循环流化床技术的评价		毛专建(160)
湿法石灰石 FGD 系统的决策因素及可选流程方案		杜嘉陵(163)
新的烟气脱硫及硫回收利用方法及其原理	范貌宏	庄亚辉(166)
电子束烟气脱硫技术研究进展	邵德荣 金光宇 鲍卫民	徐景明(169)
液相催化氧化法净化低浓度 SO ₂ 冶炼烟气扩大试验研究	孙珮石 宁平	宋文彪(173)
褐煤粉煤灰湿式烟气脱硫试验研究	孙珮石 宁平	吴晓明(176)
利用废渣综合治理硫酸生产中含硫废气及含砷废水研究	孙珮石 宁平	吴晓明(181)
电力洁净煤生产中的微生物脱硫技术展望		向洋(185)
中小炼钢电炉治理技术的探讨		王桂先(188)
燃煤烟气脱硫除尘一体化新技术		赵济强(190)
火力发电厂烟气脱硫技术问题初探		钟杰青(192)
大气二氧化硫污染治理技术综述	朱坦 黄小赠	白志鹏(195)
用碱法造纸废水脱除烟气中二氧化硫的研究	徐东升 杨彦	佐连枝(199)
简易干法烟气脱硫技术开发	沈迪新 刘光斌 何占元	王玉荣(203)
应用清灰剂和煤炭洁净剂进行锅炉掺烧固硫试验的探讨		范卫民(207)
中小型燃煤锅炉湿法烟气脱硫经济可靠性分析	范祥子 吴顺志 孙世祥	崔丽琴(210)
添加剂脱硫消烟除尘技术	单德贵 施敬荣	安强华(212)
排烟脱硫装置及应用技术		日本帝人工程公司(215)
三相流化床烟气脱硫中间工程试验	李绍箕 罗运柏 王祖武 罗立新	王聪玲(218)

认真贯彻新修订的《大气污染防治法》 积极治理二氧化硫和酸雨污染

刘 孜

(国家环境保护局污控司大气处 北京 100035)

《中华人民共和国大气污染防治法》(以下简称《大气法》)于 1987 年 9 月 5 日第六届全国人民代表大会常务委员会第 22 次会议通过,1987 年 9 月 5 日中华人民共和国主席令第五十七号公布,1989 年 6 月 1 日起施行。《大气法》颁布实施 7 年来,对保护大气环境,改善大气环境质量,发挥了巨大作用,取得明显的成效。

随着我国社会主义市场经济体制的逐步建立,大气污染防治工作的日益深入与拓展,我国法则建设的日趋健全以及国际社会对大气环境保护的广泛重视,我国大气污染防治工作及其法制化又面临许多新机遇和挑战。在此情况下,第八届全国人民代表大会常务委员会第十五次会议通过了《中华人民共和国大气污染防治法》修正案(以下简称《新大气法》)。

1 对《大气法》进行修改是大气污染防治工作深化的需要

随着社会经济的发展,能源消费量不断增长。我国一次能源消费结构中煤炭占 75%，“七五”末期,煤炭消费量近 8 亿 t,目前已近 12 亿 t,预计到本世纪末将超过 14 亿 t。乡镇企业和个体企业高速发展,但其生产工艺大多落后,能耗物耗高,污染物排放量大。目前,我国烟尘和粉尘排放总量近 2000 万 t;二氧化硫排放总量达 1800 余万 t,酸雨污染也呈发展趋势。许多城市的大气环境质量严重恶化,我国大气污染形势十分严峻,大气污染防治工作亟需拓展和深化。因此,修改《大气法》势在必行。

2 《大气法》修订的重点内容

2.1 强化对燃煤污染的防治

此次修订将原大气法第三章的标题“防治烟尘污染”改为“防治燃煤产生的污染”。这意味着不仅要强化防治由于燃煤而造成的烟尘污染,而且也要防治由于燃煤而造成的二氧化硫和氮氧化物污染,同时遏制区域性酸雨污染的发展。

《新大气法》增加了煤炭清洁利用方面的规定:如推行煤炭洗选,新建高硫份、高灰份煤矿必须配套煤炭洗选设施;已建成的高硫份、高灰份煤矿根据规划限期配套洗选设施。并限制高硫份、高灰份煤炭的开采。对大中城市市区内的民用炉灶,限期实现燃用固硫型煤或其他清洁能源,逐步替代直接燃用原煤。我国是煤炭消费大国,在短时期内以煤炭为主要能源的情况不可能改变,因此,煤炭洗选加工、燃用固硫型煤是符合我国国情的防治大气污染的有效措施。

《新大气法》还强化了集中供热的规定,除了规定城市市区新建火电厂应当实行热电联产以外,还规定了供热管网与热电厂主体工程同步建设、同步投入使用。避免有了热源而热网跟不上的现象发生。

《新大气法》针对我国酸雨和二氧化硫污染日趋加重的情况,规定了对已经产生和可能产

生酸雨的地区或者其他二氧化硫污染严重地区划定酸雨控制区或者二氧化硫污染控制区,控制区内新建不能燃用低硫煤的火电厂和其他大中型企业必须配套建设脱硫和除尘装置,或采取相应控制排放二氧化硫措施;已建成不能燃用低硫煤的企业应当采取控制二氧化硫排放和除尘措施。此外,还规定对燃煤产生的氮氧化物逐步加以控制。这些规定是重要的大气污染防治措施,意味着我国大气污染防治已从重点控制烟尘污染,迈向控制烟尘、二氧化硫、氮氧化物等多种污染因子的新阶段。

2.2 专门制定了清洁生产的条款

强调了“工业企业应当优先采用能源利用效率高、污染物排放量少的清洁生产工艺”。规定了国家对严重污染大气环境的落后生产工艺和设备实行淘汰制度,同时对其违法行为追究法律责任。这一条规定可以说是防治工业污染的根本性措施。即近年来国际上广泛推行的“清洁生产”,力求通过节能、降耗把污染物最大限度消灭在生产过程之中,使污染物的产生量最少。这体现了工业污染防治的观念转变,把过去的待污染产生之后再从末端加以治理,转化为在生产的全过程去控制污染,不仅节约了资源,降低了产品的成本,也在相当程度上减轻了治理污染的负担,所以这是一条实现环境与经济协调发展的必由之路,这一观念不仅适用于大气污染防治,同样适用于水、固体废物和噪声污染防治。

2.3 为适应向市场经济体制的转化,规定了“国家采取有利于大气污染防治以及相关的综合利用活动的经济、技术政策和措施”,体现了利用经济杠杆推动大气污染防治。

2.4 《新大气法》还规定了植树造林、城市绿化,防治饮食服务业油烟污染,限制、停止生产和使用含铅汽油等防治大气污染的措施。

3 认真贯彻《新大气法》,控制二氧化硫和酸雨污染

我国经济正处于高速发展阶段,能源消耗不断增长。到本世纪末,我国煤炭消耗量将达 15 亿 t,居世界第一。由燃煤引起的污染物排放量将不断增加,我国大气污染防治工作正面临巨大压力。只有认真贯彻落实《新大气法》,才能搞好新形势下的大气污染防治工作,使经济与环境协调发展。

3.1 二氧化硫和酸雨污染日趋严重

由于一直未加严格控制,我国 1994 年二氧化硫排放量已达 1800 多万 t。由此引起的酸雨污染面积目前已达国土面积的 30%。酸雨腐蚀材料,破坏生态环境,使农作物造成减产,据“七五”研究结果表明,仅两广、川、贵四省区由酸雨造成的直接和间接经济损失,每年就达 160 亿元。1994 年统计全国 88 个城市中有 45 个城市二氧化硫超过 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$,85 个城市中有北京、广州、乌鲁木齐和鞍山四个城市氮氧化物超过 $100\text{mg}/\text{m}^3$,对城市造成了严重的大气污染,对人体健康和生态环境造成极大的损害。今后二氧化硫排放量将随着燃煤量的增长不断增加,预计 2000 年将达到 2600 万 t,居世界第一位,氮氧化物排放量也将达 1000 万 t 居世界前列。因此,二氧化硫和酸雨污染将是我国大气污染的主要问题,是可能制约我国经济协调稳定发展的重要环境因素。

3.2 将二氧化硫和酸雨污染防治工作切实纳入国民经济和社会发展规划,确保污染治理的投入。

要进一步提高各级领导的环境意识,贯彻落实《新大气法》,使环境保护这项基本国策在各级政府得到落实,以促进经济建设和环境保护协调发展。在国家经济建设宏观决策中应充分考虑控制二氧化硫和酸雨的污染,将其纳入国民经济和社会发展规划,并与能源的开发利用、物

价改革等政策一并考虑。在划定的酸雨控制区和二氧化硫污染控制区内,要把治理措施作为当地规划的重点内容,给予资金保证。

新建项目必须严格执行“三同时”制度,按照“先评价、后建设”、“技术起点要高”的要求,充分评估建设项目对大气环境的影响并满足大气环境质量的要求,确保二氧化硫污染控制的投资;老企业的二氧化硫污染问题应纳入技术改造计划,限期治理,以加快治理步伐。

3.3 加强环境管理,积极治理二氧化硫和酸雨污染

要加强对二氧化硫排放的管理,在全国范围内进行酸雨控制区和二氧化硫污染控制区的划分,并提出科学合理的控制目标。调整和补充有关的排放标准,并在酸雨控制区和二氧化硫污染控制区内实行更严格的排放标准。尽快在全国开征二氧化硫排污费,并逐步调整收费标准,使收费略高于治理的边际费用,以促进治理,制定二氧化硫及氮氧化物控制技术政策,使治理工作科学有序的进行。

积极推行动力洗煤和固硫型煤,限制燃煤的硫份和灰份,积极开发和推广清洁能源。提高燃煤设备热效率,降低产品能耗,进而减少污染物的排放。在酸雨控制区和二氧化硫污染控制区内,严格控制二氧化硫排放总量,并严格限制大燃煤量项目的建设。在区域范围内推行二氧化硫排放总量控制,试行排污许可证制度。在充分利用环境容量的基础上,对燃煤电厂等排硫大户合理布局,将其对环境的影响降到最小。

继续开展二氧化硫和酸雨控制的研究,加强酸雨和二氧化硫监测,开发完善国内的脱硫技术,消化吸收引进的脱硫技术,尽快实现国产化,并开发和推广低氮氧化物燃烧技术,进而开发出一批适合我国国情的致酸污染物控制技术。

积极开展国际交流与合作,争取国际援助,学习国外先进技术,提高我国酸沉降研究和控制技术水平。

中国火电厂的脱硫现状及趋势预测

舒惠芬

(龙源环保公司 北京 100031)

1 电力工业面临的脱硫形势

燃煤排放的二氧化硫是我国酸雨的主要成因。酸雨污染区随着社会用煤量的增加呈扩大趋势。酸雨面积从 1983 年到 1993 年 10 年增加到了 100 万 km^2 ,有的地方降水 pH 值低于 4.5,个别地方的最低值到 2.8,酸雨造成的损失严重。国家对二氧化硫污染给予了高度重视,除在二省九市开征二氧化硫排放费外,还在今年 8 月 29 日全国人民代表大会常务委员会通过了关于修改《中华人民共和国大气污染防治法》的决定,并在同日由江泽民主席发布了第五十四号令公布该法,从公布之日起施行。该法第二十七条规定“在酸雨控制区和二氧化硫污染控制区内排放二氧化硫的火电厂和其它大中型企业,属于新建项目不能用低硫煤的,必须建设配套脱硫、除尘装置或者采取其它控制二氧化硫排放、除尘的措施,属于已建企业不用低硫煤的应采取控制二氧化硫排放、除尘的措施。国家鼓励企业采用先进的脱硫、除尘技术”。

中国电力构成以煤电为主,约占全部发电容量的 80%。这种格局在相当长的时间内不可能有根本改变,随着电厂容量越来越大,用煤量增多,加上煤质较差,污染排放集中,对大气的污染,已成为电力发展面临的突出问题。

从 70 年代初到现在,20 多年来,电力部门在烟气净化方面花了很大力量,对燃煤电厂的粉尘进行了治理,开发了适合电厂排放粉尘特性的新技术,在火电厂设计规程中规定了在新建 20 万千瓦及以上的大型机组和在城建区的机组都采用高效的电除尘器,并用电除尘器替代了一部分老电厂的低效除尘器,使火电厂排入大气的粉尘量大大减少,以 1993 年和 1983 年相比,十年电厂装机容量增加了 1.84 倍,而排尘量没有增加。但是,火电厂的二氧化硫尚未得到控制,火电厂的脱硫工作才刚刚起步,目前仅华能珞璜电厂 2×36 万千瓦机组湿式石灰石/石膏法烟气脱硫装置已于 1992 年全部投入运行。四川白马电厂相当 12MW 机组的烟气量的旋转喷雾干法脱硫,是“七五”国家重点科研项目,并已于 1991 年交付电厂投入正式生产运行。其它尚没有实际投入的脱硫工程措施。因此,二氧化硫排放量与火电厂装机容量及燃煤量成正比增加。1989 年全国 6MW 及以上火电燃煤 3.3 亿 t,排放二氧化硫约占全国排放量的 1/3。根据新公布的大气法的规定,电力部门在控制二氧化硫方面任务艰巨。

2 现有电厂脱硫情况简介

2.1 重庆珞璜电厂 2×360 MW 机组,采用日本三菱重工湿式石灰石/石膏排烟脱硫系统,煤的含硫量 3.5%~5%,两台锅炉按全年运行 6500h,年耗煤以 200 万 t 计,全年排放二氧化硫约为 11.73~16.76 万 t。设计脱硫效率不低于 95%,每套装置按 100%烟量处理,与锅炉匹配成单元连接,石灰石用量 39.4t/h,年产副产品二水石膏约 40 万 t,占地 150m \times 82m,1989 年 4 月土建开工,1991 年 10 月正式投运,历时 30 个月。

现珞璜电厂二期扩建 2×360 MW 机组,仍要进行烟气脱硫,以满足当地环境要求。

2.2 四川白马电厂旋转喷雾干法烟气脱硫。该技术是在 70 年代初期才开始研究和逐步发展起来的一种新的脱硫工艺技术,80 年代在欧、美得到迅速发展和应用,单机容量已达到 500MW,但该工艺要求有高纯度的氧化钙(生石灰),根据中国的具体情况,一般烧制的生石灰纯度低、杂质多,因此设计了符合国情的工艺系统,研究了可用于低品位石灰的旋转喷雾轮,试验取得了成功,通过了国家鉴定,于 1991 年移交给电厂,该装置一直在运行,并在此试验基础上做出了 200MW 机组脱硫的基础设计。

2.3 日本政府绿色计划赠款的两个试验项目进展顺利。

(1) 黄岛电厂 30 万 m³(标)/h 旋转喷雾半干法试验,于 1993 年 5 月开工,现正在调整试验。

(2) 太一热电厂 60 万 m³(标)/h 简易湿法脱硫试验,于 1994 年 5 月开工,预计 1995 年底可进行调整试验。

2.4 另外,与芬兰、德国合作的脱硫项目的前期工作正在积极进行之中。

二氧化硫控制工程尚未能普遍采用的主要原因:

(1) 对于电厂适用的脱硫技术和装置,目前国内还不能设计、制造,还需从国外进口,致使脱硫费用昂贵,以一台 300MW 机组湿法脱硫为例,如全部设备进口,仅设备就需 2000 万美元左右。

(2) 二氧化硫治理资金渠道不落实。由于电力行业是公共事业,脱硫的所有费用,世界各国都是电力消费者负担,也即是分摊在每度电中,我国由于各种政策法规不健全,致使治理资

金不畅通,一定程度上也影响了电力行业治理二氧化硫的积极性。

3 2000 年火电厂二氧化硫排放控制目标及拟采取的措施

根据电力工业发展规划,2000 年火电装机容量将达两亿千瓦,年用煤量将达 5.4×10^8 万 t,届时二氧化硫将达到 1100 万 t,预计将有 1×10^7 kW 左右的机组要安装脱硫设施。位于酸雨控制区、二氧化硫污染控制区的部分电厂,将率先安装脱硫设备。

但要根本解决电厂二氧化硫的污染,必须采取综合措施,并且要有配套的技术经济政策和严格的法律、法规作保证。

3.1 要依靠科技进步,节能降耗,减少二氧化硫的排放。过去由于小机组比例多,设备技术落后,每度电的煤耗和先进国家比差距较大,今后将以 300MW、600MW 机组为主,逐步淘汰低效高耗的中低压机组,保证 2000 年煤耗比 1990 年降低 $60\text{g}(\text{kW} \cdot \text{h})$,仅此可节约标煤 6600 万 t 左右,减少二氧化硫排放量 180 万 t。

3.2 新、改、扩建项目进行严格的环境影响评价,对二氧化硫的污染要充分论证,需要减少二氧化硫排放的电厂,必须在工程中采取措施,达到与电厂主体工程三同时。

3.3 开发适合中国国情的脱硫工艺。世界上脱硫工程最多的国家是日本、美国、德国,他们在二氧化硫控制方面,除了使用部分低硫煤外,主要采取烟气脱硫的办法,而且 85% 以上是用石灰石/石膏湿法工艺,这种工艺成熟,吸收剂——石灰石很容易得到,且副产品是纯度很高的石膏,可以综合利用。但这种工艺目前还必须用国外的技术,主要设备也还在国外采购。因此,结合我国实际情况及经济上的承受能力,在利用国外成熟技术的基础上,开发和推广适合我国国情的技术及工艺是当务之急。

3.4 加快发展脱硫产业。随着脱硫市场的形成,必须加快发展脱硫设备的生产。脱硫工程不同于其它环保设备,它不仅是一台设备,而是一个系统工程,一台 30 万 kW 机组的脱硫工程,有几百个台件的设备,既有通用设备,也有专用设备。因此,只有逐步引进专业生产的技术,使专用设备可在国内生产,才能使设备造价大幅度降低。

3.5 开拓资金渠道,给予优惠政策。解决好电厂脱硫的资金来源是实现 2000 年二氧化硫控制目标的根本保证。新、扩、改建工程应在工程中予以解决,但关键是要纳入电价。世界各国的脱硫费用,不论是国营电力公司或私营电力公司都是如此筹措。中国要学习国外的经验,在脱硫工程贷款上,应给予政策优惠,如以低息贷款为主,脱硫工程本身主要是环境效益和社会效益,对电力行业本身没用经济效益,其它如各种税收也应适当给予减免。

同时也要争取国外政府及金融组织的环保优惠贷款

3.6 加强国际交流与合作。电厂烟气脱硫在国外已有 20 多年的经验,每种技术也在不断发展进步,如湿式石灰石/石膏法由 70 年代三个不同功能的塔的工艺流程,改进到现在的一塔多功能的三合一塔,简化了工艺、减少了占地、降低了造价,塔的结构也有各种不同型式;半干法脱硫工艺在吸收剂制备上也开发了很多新技术。总之,我国脱硫起步晚,要不断学习国外的先进经验,要跟踪新的技术,使中国的脱硫事业能迎头赶上。

TGXC-Ⅱ型湿式高效除尘脱硫装置

张治中 沈玉芳

(天津环保产业集团除尘设备公司 天津 300350)

最近公布的《中华人民共和国大气污染防治法》第二十七条规定:在酸雨控制区和二氧化硫污染控制区,国家鼓励企业采用先进的脱硫、除尘技术。这就告诫人们控制二氧化硫排放对大气环境的污染,减少二氧化硫对人们身心健康的影响,依法保护人们赖以生存的生态环境,是我们现阶段要解决的迫切问题。

据有关部门预测,1995年我国二氧化硫排放量将达到1800万吨,来自燃煤的约占90%。我国现有锅炉80万台,每年还要以6%~8%的速度增长,到本世纪末要超过100万台,如果每年新增锅炉加上更新改造锅炉(按总量的10%计)要安装优质高效,运行可靠的烟气除尘脱硫设备,每年就需要十几万台。

80年代,国外烟尘脱硫技术得到迅速发展,特别是火力发电的石灰/石膏法在发达国家应用的相当普遍。美国和日本在该项技术中处于领先地位。但是,他们为此也付出了巨大的投资。我国四川珞璜电厂引进了一套日本石灰石-石膏烟气脱硫技术,投入3000多万美元,虽然其副产品得到了回收利用,但一次性投资大,是国内其它火力电厂难以承受得了的。这也是我国烟气除尘脱硫设备之所以发展缓慢的主要原因。

近几年我国有关脱硫除尘技术成果在逐渐增多,新的脱硫装置每年都有申报环保最佳实用技术的。1993年以来公布的最佳实用技术十余项,它们各有其特点及适用范围。这些最佳实用技术的推广应用为我国控制二氧化硫的排放起到了应有作用。为解决占70%以上的中小型锅炉烟气脱硫正在和将要发挥着重要作用。

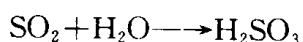
TGXC-Ⅱ型湿式高效除尘脱硫装置1988年开始研制,经过多年的反复试验,逐步改进完善,近三年运转考查,证明该系统运转可靠,是国内中小型燃煤锅炉与之配套较为理想的除尘脱硫装置。

1 装置的工作原理

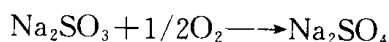
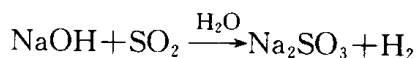
1.1 工艺流程

世界各国的湿法烟气脱硫工艺流程、形式和机理大同小异,主要使用石灰石(CaCO_3),石灰(CaO)或碳酸钠(Na_2CO_3)等浆液在反应塔中对烟气进行洗涤,从而除去烟气中的 SO_2 。

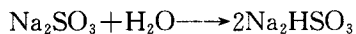
本装置采用氢氧化钠(NaOH)水溶液作吸收剂。气液比为 $0.8\text{L}/\text{m}^3$ 。烟气与碱性水溶液在洗涤罐相互混合是比较充分的,全过程分为四个阶段:喷淋、洗涤、水膜、冲击。完成这四个阶段的混合后,烟气中的粉尘化学反应方程如下:



亚硫酸极不稳定,有时被氧化成硫酸或发生可逆反应。



由于吸收液循环使用,结果生成亚硫酸氢钠



一般情况下,吸收 1 摩尔 SO_2 需要 2 摩尔的氢氧化钠。

由于 Na_2SO_4 溶于水,从洗涤罐的排污口排出,当沉淀池中 Na_2SO_4 浓度大于 5% 时,碱性水溶液吸收 SO_2 的能力下降,需排出部分原液,加入新液,保持 pH 值 7~9 为宜,脱硫率能达到 60% 以上。

试验测得, pH=5.5 时, 20% 被吸收的二氧化硫是以亚硫酸盐形式存在, 80% 以亚硫酸氢盐形式存在。较高的 pH 值过程氧化为亚硫酸氢盐和亚硫酸盐的混合物。

1.2 物理过程

本洗涤罐是在正压下运行来完成烟气净化过程的。锅炉烟气先经前置旋风除尘器将大于 $10\mu\text{m}$ 尘粒除掉。剩余烟气被吸入引风机,再压入洗涤罐。烟气中二氧化硫在洗涤罐中被碱性水溶液吸收。

洗涤罐下锥体排污口排出灰水混合物,经流水槽流入污水池,自然沉淀后,溢流入清水池,由耐酸水泵打入洗涤罐,洗涤后灰水由洗涤罐排污口排出。构成循环系统回水再用。在循环系统中充分利用炉渣废水和锅炉排污废水,因为,它们是碱性的 (pH=11~14) 见图 1。

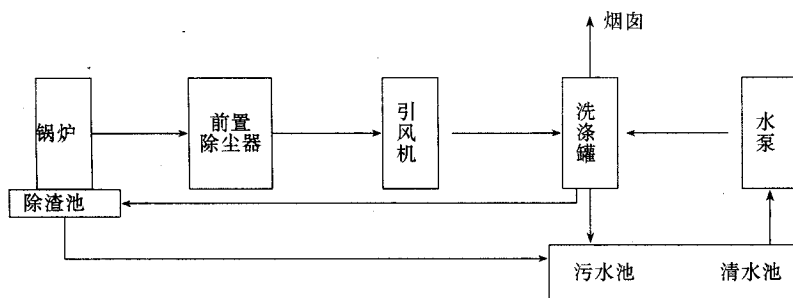


图 1 烟气和水循环流程

实验测得, pH 值在 6~7 之间, 脱硫效率最高, 可达 80% 以上。上水 pH 值为 8~9, 下水 pH 值为 5~7 见图 2。

试验还测得, 洗涤罐烟气出口温度与脱硫效率的关系, 出口温度低, 脱硫效率高见图 3。

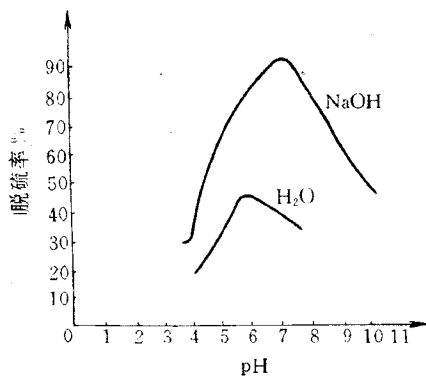


图 2 pH 值与脱硫率关系

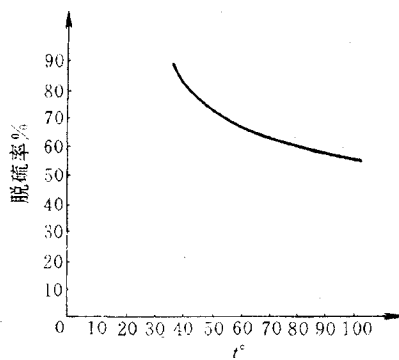


图 3 烟气出口温度与脱硫率关系

2 装置的结构特点和技术指标

本除尘脱硫系统由主体设备洗涤罐,沉淀池,耐酸水泵与锅炉除渣池构成一个循环系统。洗涤罐的主要结构有:烟气入口、烟气出口、储气烟箱、花板、筒体、排污口、支腿、碱性溶液入口等部分组成见图 4。

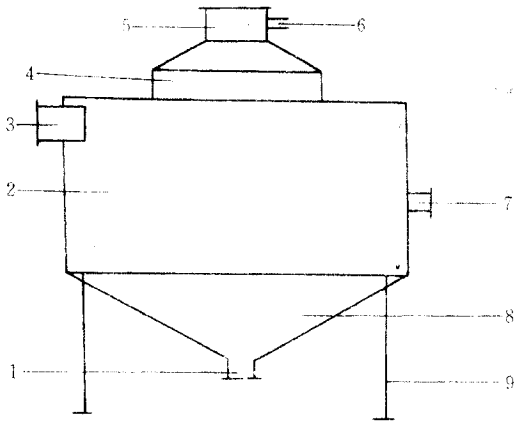


图 4 TGXC-I 型结构

- 1 排污口 2 筒体
- 3 出烟口 4 储气烟箱
- 5 进烟口 6 进液口
- 7 溢流口 8 下锥体
- 9 支腿

其特点:(1)洗涤罐安装在引风机之后,避免了引风机带水和易受腐蚀;(2)洗涤罐内部结构,作用为将一个大烟气流分成若干个小烟气流,与碱性水充分的混合;(3)洗涤罐内不同部分,作不同材料的防腐处理,使整个系统具有良好的耐温、耐磨和耐腐蚀性能;(4)本装置除尘脱硫为一体,除尘效率高,脱硫效果好。

经过多台实测表明:(1)排尘浓度均在 $100\text{mg}/\text{m}^3$ (标)以下;(2)脱硫效率为 $60\% \sim 80\%$;(3)阻力为 $70 \sim 100\text{mmH}_2\text{O}$;(4)林格曼黑度小于 1 级,本设备在大中城市,特别是对环境指标要求严格的地区优先被选用。

3 使用效果

天津市科技馆是我市重点建设项目,位于市区人口稠密繁华地带,环保指标要求比较高,几次调研比较,决定采本装置,1993 年安装至今,运行良好,冬季供暖,夏季制冷。经国家监测部门和市监测中心测试,排放浓度 $66\text{mg}/\text{m}^3$ (标),脱硫率 69% 。

天津市道景供热站,两台 6t 锅炉,几年来尘排放浓度高达 $1400\text{mg}/\text{m}^3$ (标),是限期治理单位,安装 TGXC-I 型湿式高效除尘脱硫装置后,排尘浓度为 $65\text{mg}/\text{m}^3$ (标),是原排放浓度的 $1/21.5$,脱硫效率达 61% ,每年节省超标罚款费近万元。

天津市合成材料厂一台 6.5t 抛煤机锅炉,原配用水膜除尘器。排尘浓度达 $900\text{mg}/\text{m}^3$ (标),林格曼黑度大于三级,是该区重点治理单位,1994 年由厂部会议决定采用本装置,运行后环保部门测试结果,排放浓度为 $201.7\text{mg}/\text{m}^3$ (标),林格曼黑度小于一级,解决了本厂几年来超标罚款的老大难问题。

4 经济效益分析

据专家们预测,1995 年全国向大气中排放二氧化硫将达 1800 多万 t。以后每年有增加的趋势。由于大量二氧化硫的排放,产生酸雨的面积也在扩大,由南方逐渐扩大到北方,甚至影响到邻国。可见燃煤脱硫形势的严峻。据有关资料介绍,利用引进技术和设备脱硫,每脱一吨二氧化硫需花 400 美元,而使用国产设备脱一吨二氧化硫只需 $300 \sim 400$ 元。有关政策还规定超

标排放一吨二氧化硫需交纳 200 元排污费。因此无论从社会效益,环境效益和经济效益考虑,都要求出台一种乃至多种适合我国国情的又能被广大用户接受的优质高效,运行可靠的除尘脱硫装置。我们多年研制的 TGXC- I 型湿式高效除尘脱硫装置,它具有技术可行,成本低,占地面积小,耐腐蚀,引风机不带水等突出优点,设备的一次性投资是引进脱硫装置的五分之一,是国内湿式除尘脱硫装置的 60%~70%,因此具有良好的推广前景。

下关发电厂 LIFAC 脱硫技术

周全

马果骏

(南京下关发电厂 南京 210011)

(南京电力环境保护科学研究所 南京 210015)

下关电厂是一个老厂,原装有 7 机 8 炉,总容量 105MW,设备陈旧、能耗大,环境污染较严重。该厂现已被批准列为国家“以大代小”首批电力技术改造项目,将原有机组全部拆除,原地改建 2×125MW 国产燃煤超高压机组。目前改造工程已开始进行。

该厂位于南京市的西北端,周围是港口、居民区和商业区,人口密集。且南京市是国家直接考核环境指标的 32 个城市之一,因此,在进行下关电厂技术改造的同时,必须对工程的环境保护措施有严格的要求。国家环保委提出“八五”期间要在燃煤电厂中建 2~3 个烟气脱硫示范工程,引进国外脱硫技术,以便探索在我国电力工业中控制火电厂 SO₂ 排放的适用技术,为今后的脱硫工程积累经验。据此,原能源部确定结合下关电厂技术改造工程,建设一个以干法为主的烟气脱硫示范工程。

当前的实用脱硫工艺主要有三大类:湿式石灰石/石膏法(湿法),喷雾干燥脱硫法(半干法),炉内喷钙/增湿活化法(干法)。各工艺特点见表 1。

表 1 三种脱硫方法比较

	石灰石/石膏法	喷雾干燥法	炉内喷钙/增湿活化法
适用煤种的含 S 量(%)	>1.5	1~3	<2
Ca/S	1.1~1.2	1.5~2	<2.5
脱硫率(%)	>90	80~90	60~85
投资费用占电厂总投资的百分数(%)	15~20	10~15	4~7
钙利用率(%)	>90	40~45	35~40
运行费用	高	较高	较低
设备占地面积	大	较大	小
灰渣状态	湿	干	干

针对下关电厂的地理环境、现场范围及新建电厂的规模,江苏省电力局组织了多次专家论证和国外考察,最终确定选用占地较小,建设周期短、投资省,适用于中低硫煤的炉内喷钙加炉后烟气增湿的干法工艺。目前这类工艺已有部分制造厂投入商业化生产,其中最为成熟的是芬兰的 LIFAC 工艺。到 1993 年已有 5 台装置先后投入运行(见表 2)。为此,江苏省电力公司与芬兰 IVO 公司签订了引进脱硫关键设备在下关电厂建设 2 套 LIFAC 烟气脱硫系统的合同。目前已通过了基本设计审查,现正进行详细设计。

1 下关电厂 LIFAC 工艺系统

LIFAC (Limestone Injection into the Furnace and Activation of Calcium) 工艺可以分成两个主要工艺阶段:炉内喷射和炉后活化。在第一阶段,磨细到 325 目左右的石灰石粉用气力喷射到炉膛的上部温度为 900~1250℃ 的区域。 CaCO_3 受热分解成 CaO 和 CO_2 。锅炉烟气中一部分 SO_2 和几乎全部 SO_3 与 CaO 反应生成 CaSO_4 和未反应的 CaO 与飞灰随烟气(包括未被吸收的 SO_2)一起排到炉膛的下游。经验证明,只要保证锅炉的正常吹灰运行方式,锅炉的受热面不会受到玷污。

表 2 LIFAC 工艺运行情况

电厂或锅炉名称	烟 气 量	煤中含硫量	脱硫率	投运日期
芬兰 IVO 公司 INKOO 电厂 4 号炉	250MW125×2Nm ³ /S	1%	70%	1989 年
俄罗斯贝加尔纸浆厂锅炉	45MW58Nm ³ /S	0.4%	70%	1990 年 10
加拿大 POPLARRIVER 电厂 1 号炉	300MW164Nm ³ /S (一半烟气活化)	0.6%	70%	1990 年 9 月
加拿大 SHAND 电厂	300MW166Nm ³ /S (一半烟气活化)	0.5%	60%~70%	1992 年 6 月
美国 Richmond 电厂 2 号炉	60MW85Nm ³ /S	2.3%~2.9%	75%	1992 年

第二阶段,烟气在一个专门设计的活化器中喷水增湿。烟气中未反应的 CaO 与水反应生成在低温下有很高活性的 Ca(OH)_2 ,这些 Ca(OH)_2 与烟气中剩余的 SO_2 反应首先成 CaSO_3 ,部分 CaSO_3 被氧化成 CaSO_4 ,最后形成稳定的脱硫产物。

在活化器内,用以压缩空气为介质的二相流喷嘴将水雾化成细小水滴。二相流喷嘴的优点是寿命较长且易于维修。

为保证 LIFAC 工艺的脱硫灰是干的,且系统有最佳的脱硫效率,要对喷水量及水滴直径有严格的控制,主要是控制增湿后烟气的温度与其水露点温度的差值 Δt 。 Δt 应尽可能小,但又要不造成活化器湿壁和脱硫产物变湿。在所有的锅炉运行工况下,活化器的运行参数均应有严格的控制。

在活化器中还要保证烟气与固体颗粒的均匀混合以及有足够的滞留时间,以保证化学反应的进行和液滴的干燥。

经过活化器后的烟气温度降低,体积减少和湿度增加。这在一定程度上改善了下游电除尘器(ESP)的运行工况。但因喷入了一定量的吸收剂,在 SO_2 吸收反应中生成新的固体颗粒,加上飞灰再循环,使 ESP 的入口粉尘浓度大大增加。因此要保证 ESP 出口的含尘量达标,往往需要采取一些措施,如增加 1~2 个电场等。

LIFAC 工艺的脱硫灰是干的粉末,主要成分为飞灰(60%~70%)、未反应的剩余吸收剂和反应产物。由于脱硫灰中含有一部分未反应的 CaO 和 Ca(OH)_2 ,因此可以再循环输入活化器,提高吸收剂的利用率。

从活化器出来的增湿烟气温度在 55~66℃ 之间。为了防止在 ESP 和烟囱中因烟温进一步降低到露点以下而产生腐蚀问题,在活化器出口与 ESP 的入口之间增加了一个烟气再热装

置。

LIFAC 工艺的自动化系统是全计算机化的。由于控制系统较简单且与主设备之间相对独立,因此可以采用一个整体化的控制设备,如可编程控制器(PLC),以节省投资和运行费用。

根据国家大气质量标准、火电厂烟气排放标准和江苏省环保局要求,改造后下关电厂全厂烟尘最高允许排放量为 924kg/h,SO₂ 最高允许排放量为 630kg/h。结合技术经济方面的因素,下关电厂 LIFAC 工艺系统的主要工艺条件和技术指标如下:石灰石粉 CaCO₃ 含量>93%;石灰石粉细度 80%40μm;系统总的脱硫率≥75%(Ca/S 为 2.5 时)。工艺流程及物质平衡数据见图 1。工艺系统大致可分为:吸收剂(石灰石粉)制备系统;炉内喷钙系统;炉后烟气活化增湿系统;电气与自动化控制系统。

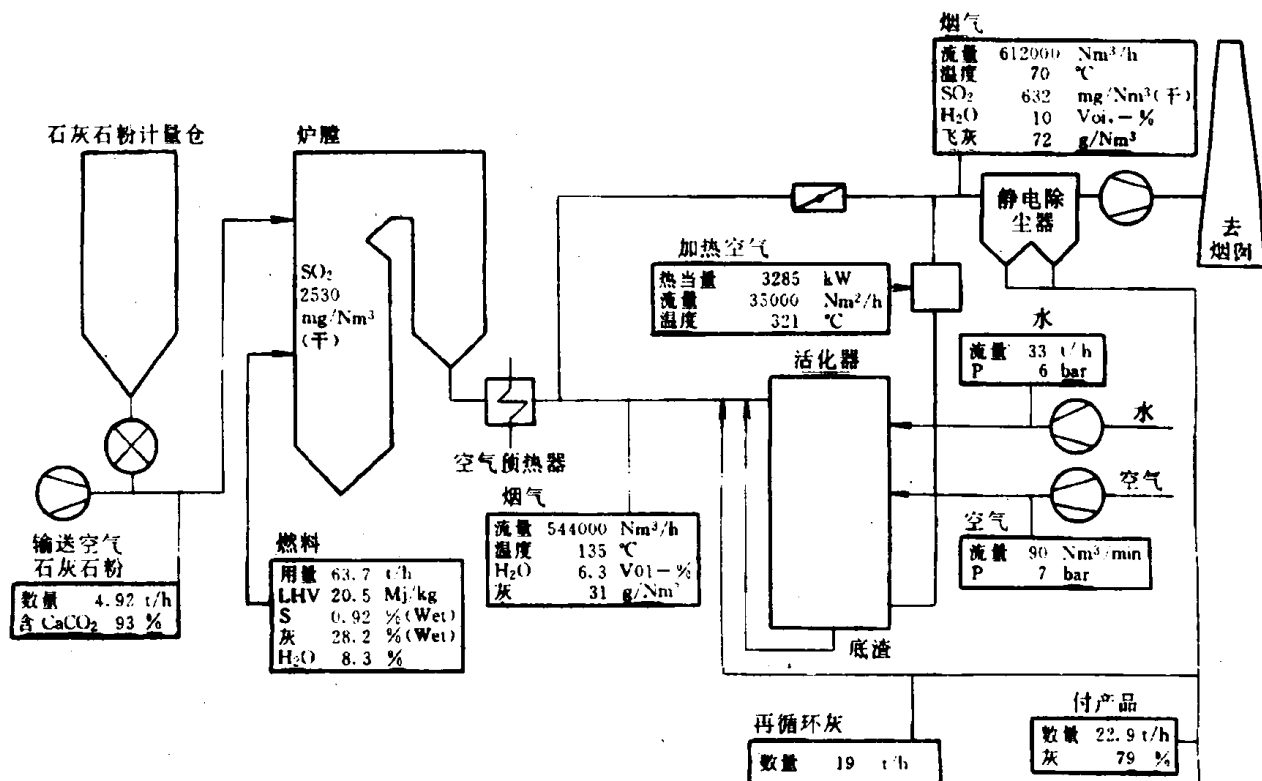


图 1 LIFAC 物质平衡(100%最大连续负荷,SO₂ 值按干烟气和 6%O₂)

2 吸收剂制备

由于石灰石粉在炉内经过合适温度区的时间很短,因此要求石灰石粉有较高的孔隙率(比表面积),以便在极短的时间内完成煅烧及吸收 SO₂ 的反应。石灰石粉的孔隙率与其生成的条件和年代有很大关系,需要对各种不同矿源的石灰石进行筛选。

电力部南京电力环保所针对下关电厂烟气脱硫工程的要求,在实验装置上对南京地区的商品石灰石进行筛选。结合地理位置,运输条件等因素,最后确定选用江宁县孟墓村矿的石灰石作为工程的吸收剂原料。

考虑到下关电厂场地紧张,又地处市区,如在厂内建设石灰石磨粉车间可能造成噪声和粉尘污染。经过多次考察和研究决定在离石灰石矿 3km 处建设一个年产 6.4 万 t,细度为 325 目的小型石灰石制粉厂,距电厂约 54km。