

湿式氨法工艺在火电厂脱硫领域的潜在优势及应用前景分析

晏明生

(江苏省宿迁市环境监测中心站, 江苏宿迁 223800)

摘要:通过与目前火电厂应用最广泛的脱硫方法石灰石/石膏法比较,提出了湿式氨法脱硫工艺在成本投入低、环境污染小及社会经济效益好三方面的潜在优势,并分析了该法在我国火电厂烟气脱硫领域的应用前景。

关键词:石灰石/石膏法;湿式氨法;潜在优势;应用前景

中图分类号:X701.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8759(2010)06-0031-04

ANALYSIS OF THE POTENTIAL ADVANTAGES AND APPLIED FOREGROUND OF THE WET SULPHURIC ACID TECHNOLOGY

YAN Ming-sheng

(*Environmental Monitoring Station of Suqian City, Suqian 223800, China*)

Abstract: Compared with the Lime stone/lime-gypsum desulphuration technology, Wet sulphuric acid desulphuration technology has the Potential Advantages of low production cost, not so serious environment pollution and good social and economic benefit. The applied foreground was also analyzed.

Keywords: lime stone/lime-gypsum desulphuration technology; wet sulphuric acid technology; applied foreground

我国是世界上能源消耗大国之一,目前,在能源结构中煤炭占有极其重要的地位。然而,大部分煤炭都是被火电厂用来发电,这就产生了大量的二氧化硫,二氧化硫的超额排放每年给国家造成直接经济损失达1 100亿元以上,并且呈逐年增高趋势^[1]。如何减少火电厂二氧化硫的排放,避免对社会经济和环境造成更大的损害,最有效的方法就是对火电厂烟气进行脱硫。火电厂脱硫在西方发达国家已经走过了几十年的历程,研究开发的脱硫技术有上百种,目前投入应用的也有十几种,其中应用较为广泛的有循环流化床法、炉内喷钙法、炉内喷钙尾部烟气增湿活化法、石灰石/石

膏法、双碱法、海水脱硫法、湿式氨法等等。随着社会经济的发展,我国在环境保护方面的要求不断提高,政府和民众对二氧化硫削减也越来越重视。我国先后在“十五”、“十一五”期间国民经济和社会发展规划中对二氧化硫排放削减指标作了明确要求。随着政策强度和密度的不断增强,我国对火电厂脱硫的治理力度也在不断加大,从上世纪80年代以来先后引进了一大批脱硫工艺并投入运行,如循环流化床法、石灰石/石膏法、湿式氨法等。循环流化床法作为一种炉内脱硫工艺,由于其先天的工艺特征,脱硫效率无法满足越来越高的环保要求,可预见其市场会逐渐萎缩并最终退出市场。石灰石/石膏法引入我国时间较早,因其具有工艺成熟、石灰石原料丰富成本低廉、脱硫效率

高等优点而在我国得到广泛应用，目前仍是我国火电厂烟气脱硫的主要工艺手段。尽管在我国引进脱硫工艺之初氨法脱硫工艺尚不成熟，在目前的市场应用份额上也远远低于石灰石/石膏法。但近几年来，随着湿式氨法脱硫工艺的逐渐成熟和国际国内越来越多的成功应用实例，与石灰石/石膏法在成本投入、环境影响以及社会经济效益方面相比较可知，湿式氨法烟气脱硫将有更为广阔的应用前景。通过湿式氨法与石灰石/石膏法脱硫工艺在成本投入、环境影响以及社会经济效益方面的比较，阐明湿式氨法脱硫的潜在优势和应用前景，以为火电厂建设脱硫设施在工艺选择方面提供参考。

1 工艺流程及原理

1.1 湿式氨法原理及工艺流程

湿式氨法脱硫工艺以水溶液中的氨与烟气中的二氧化硫反应为基础，共分为吸收段、循环段、氧化段和浓缩干燥四个阶段。首先，在脱硫塔的吸收段，氨水溶液将烟气中的二氧化硫吸收，得到脱硫中间产物亚硫酸铵或亚硫酸氢铵水溶液；后经循环泵打循环段，可提高氨和二氧化硫的吸收利用率；在氧化段，风机引入的压缩空气中的氧对亚硫酸盐进行氧化，得到硫酸铵溶液；最后，对硫酸铵溶液进行浓缩干燥后得到硫酸铵产品，从硫酸铵液体中带出的少量氨，经统一收集后可经管道重新打入吸收塔，循环利用。根据美国大平原合成染料厂湿式氨法脱硫运行实例可知该工艺效率可达 95%~98%^[2]。该工艺总的反应方程式为： $SO_2 + H_2O + 2NH_3 + 1/2O_2 = (NH_4)_2SO_4$ ，工艺流程见图 1 所示。

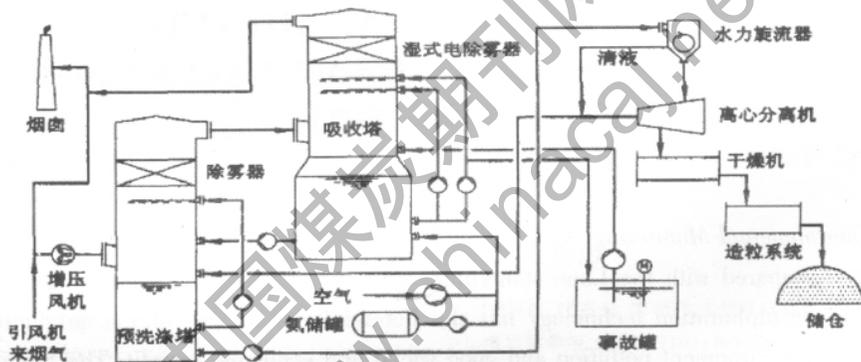


图1 湿式氨法脱硫工艺流程

湿式氨法脱硫工艺是目前较成熟的、已工业化的脱硫工艺之一，由于该法最初主体部分属于化肥工业范畴，且因其运行成本高、腐蚀较严重等问题而影响了其推广应用，但随着人们在工业应用中对该工艺的不断改进，以及在发达国家的成功应用，此法在火电厂烟气脱硫方面的运用已不再是一个技术问题。

1.2 石灰石/石膏法工艺流程及原理概述

湿式石灰石/石膏法脱硫工艺主要是由石灰石浆液与烟气中的二氧化硫进行气液接触生成亚硫酸钙或硫酸钙结合水生成石膏的过程，该工艺总的反应方程式为： $SO_2 + CaCO_3 + 1/2O_2 = CaSO_4 + CO_2$ ，工艺流程见图 2 所示。

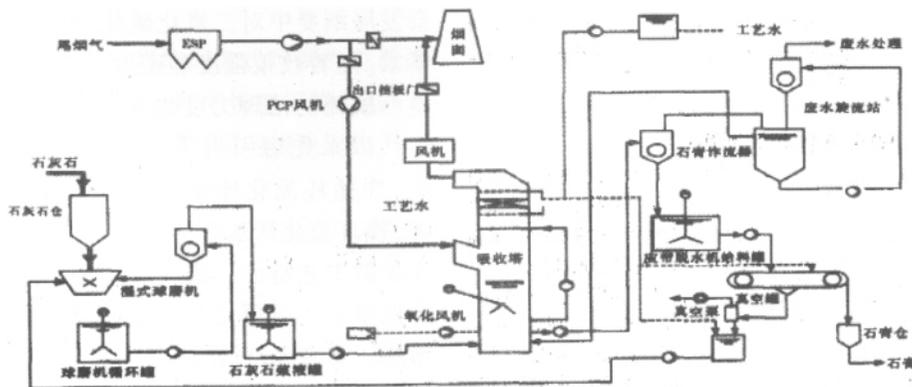


图2 石灰石/石膏法脱硫工艺流程

虽然湿式石灰石/石膏法是当前世界上开发最早、使用最多、技术成熟、运行稳定、脱硫效率较高的工艺之一,但由于此方法对环境产生二次污染且成本远高于湿式氨法,因此此法有被后者或者其他更清洁低廉脱硫工艺取代的可能。

2 成本投入分析

脱硫工艺成本投入主要包括前期工程建设投入和后期运行成本投入两个部分,不同的脱硫工艺成本投入也相差较大。石灰石/石膏法与湿式氨法脱硫工艺在前期工程建设投入方面相比较,其在石灰石原料储仓、石料运输、石料球磨、浆液搅拌机械及其附属设施、粉尘污染防治设施以及废水处理设施方面和固废堆场的投入,是后者无需考虑的,因此石灰石/石膏法在前期工程建设方面的投入要比湿式氨法脱硫工艺投入的更多。

2.1 湿式氨法脱硫工艺成本投入分析

在后期运行成本投入方面,湿式氨法脱硫工艺所用原料主要为液氨或者合成氨工业产生的废氨气,吸收氨水浓度一般为8%~12%,以氨水浓度为10%核算,吸收1 t 二氧化硫需消耗5.58 t 氨水,折合液氨为558 kg。其他成本投入主要为蒸汽、水和电,其成本占总运行成本的15%,其中蒸汽消耗成本占总运行费用的5%,电耗费用占总运行成本的8%^[3],一般火电厂在发电过程中均产生大量可被利用的蒸汽,因此可节省下该部分成本。其次主要就是液氨的运输成本,由于目前基本上每个城市都有自己的合成氨工业,使用汽车运输方式每次可运输几十吨液氨,且运输距离近,频次少,所以成本不会很高。再次是运行中的人力成本投入,以美国大平原合成染料厂为例,由于湿式氨法脱硫工艺自动化程度很高,整个系统(包括肥料阶段)运行人员每班只需要4人^[2]。

2.2 湿式石灰石/石膏法脱硫工艺成本投入分析

在后期运行成本投入方面,湿式石灰石/石膏法脱硫工艺所用原料主要为石灰石,虽然我国的石灰石资源十分丰富,但是在不同的地域石灰石质量不尽相同,在东部平原地区如上海、江苏等地高品质的石灰石需要较高的开采和运输成本,因此,原料成本加重了运行负担。另外,该工艺在石灰石原料磨碎、浆液配制、废水处理站运行、石膏和废渣运输等方面需要花费更多的电力、水、污水处理药剂等资源成本,且产品石灰石或石膏的运

输储存、原料和固废堆场、脱硫废水处理装置、大型设备的运行维护,每班也将要投入20名运行人员^[4],这与湿式氨法脱硫工艺相比,人力成本的投入要大得多;该工艺在水、电等运行成本方面自然也会高出很多。

3 环境影响分析

无论是湿式氨法还是石灰石/石膏法脱硫工艺在运行过程中都将对周围环境造成影响,但是两种工艺对环境造成的影响程度有所不同,从总体上看前者对环境造成的影响要远远小于后者。

3.1 湿式氨法脱硫工艺环境影响分析

湿式氨法脱硫工艺主要是运行中产生的噪声、从脱硫塔出口溢出的氨以及无组织氨挥发对环境空气造成的影响。由于湿式氨法脱硫工艺运行中的多为风机和浆液泵,无球磨机,其噪声一般均在85 dB以下,较之石灰石/石膏法脱硫工艺中球磨机产生的90~105 dB对环境的影响要小^[5]。对于从脱硫塔口溢出的氨对环境造成的影响,根据江苏扬子石化热电厂两套氨气脱硫系统满负荷运行出塔气量699 510 m³/h、503 509 m³/h以及塔出口NH₃含量2.82 ppm和1.02 ppm计算可得,其两套脱硫塔口溢出的速率分别为1.50 kg/h至0.390 kg/h之间^[6],远低于《恶臭污染物排放标准》(GB14544-1993)中有组织NH₃最大允许排放速率75 kg/h(排气筒高度大于60 m,实际该工程排气筒高度90 m)的标准。根据苏中热电厂氨法脱硫处理无组织排放NH₃的实际监测结果显示氨法脱硫工艺的NH₃无组织排放浓度在0.07~0.93 kg/m³,符合GB14544-1993中的二级标准最高允许排放浓度1.5 mg/m³的规定^[7]。该法中水全部循环使用,无废水排放,副产物硫酸铵可满足农用化肥标准,无其他废弃物产生。

3.2 石灰石/石膏法脱硫工艺环境影响分析

石灰石/石膏法脱硫工艺对环境产生的影响主要有粉尘、脱硫废水、噪声、硫化石膏、污水处理站污泥等。粉尘主要包括石灰石在运输、卸料中以及破碎过程中产生的石灰石泄漏和飞扬问题。由于在运输和卸料过程无法加装除尘设施,因此该阶段产生的粉尘将很难避免对环境造成影响。虽然在石灰石粉磨制过程中可以加装粉尘处理设施,但产生少量的石灰石粉尘也是无法避免的。目前,根据相关环保法规,脱硫废水必须经过处理达

标回用,但由于火电厂用水量极大,因此脱硫废水产生量也相当大,要做到百分之百的处理和回用,需要很高的成本投入,由于经营主体的多元化,部分经营主体社会责任和环保意识不够高,存在着废水未经处理或处理不达标而偷排漏排的可能,对环境造成较坏的影响。本方法噪声主要来源于石灰石球磨机、各类风机、浆液泵、以及空压机等,其噪声要明显大于湿式氨法产生噪声对环境的影响。另外,脱硫产生的固体废弃物包括工艺副产品脱硫石膏和脱硫污水处理产生的污泥,在我国脱硫副产品石膏大部分未被利用,而是与脱硫废水产生的污泥一同放置于贮灰场,当达到一定储量后对其进行填埋,长远看来,这必将对环境造成不利的影响。

4 社会经济效益分析

湿式氨法与石灰石/石膏法脱硫工艺在脱硫过程中均有副产品产生,前者副产品主要为硫酸铵,可用作农业肥料;后者副产品主要为石膏,可用作建筑材料。以太仓市新海协鑫热电有限公司15MW机组运行为例,其三个月运行成本投入(主要含耗电、液氨原料)约10万元,得到的副产品硫酸铵出售后得到7万多元,环保排污费节省2.5万元,不考虑先期投入及设备折旧,基本上保持了收支平衡^[8]。而石灰石/石膏脱硫工艺的副产品为脱硫石膏,我国是天然石膏生产大国,天然石膏资源十分丰富,脱硫产物石膏由于含有多种重金属、氯化物、氟化物、砷等杂质和有害物质,很少被建筑行业利用,加之我国在这方面的制度不完善,更无政策法规支持脱硫产物石膏的利用,因此,副产品石膏在我国根本没有市场,大部分都被填埋或者抛弃掉,这就造成了土地和其他资源的极大浪费,大量的脱硫石膏随意抛弃、堆放散落还容易对地表水、地下水造成严重污染,其社会效益为零甚至为负。从两种工艺所产生的社会效益分析可知,湿式氨法脱硫工艺在客观上达到了节能减排的目的,体现了循环经济理论,在将来的火电厂脱硫工艺选择中,更值得推荐和鼓励应用。

5 应用前景分析

湿式氨法脱硫工艺与石灰石/石膏法脱硫工艺在应用方面相比主要有以下优势:(1)液氨原料较之石灰石原料更容易运输和存储;(2)技术路线

先进,氨法脱硫由于使用的是液氨,在整个脱硫循环中都不会结垢,相反,石灰石/石膏法由于液相中含有固相的石灰石颗粒,一旦当循环浆液达到足够高浓度时,就易在管道或者脱硫塔内形成结垢,堵塞管道,妨碍脱硫工作正常运行;(3)氨法更适合含硫量高的煤,火电厂燃烧的煤中含硫量越高,采用氨法时副产物的产量就越大,由于其价值较高,因此也就更经济;而采用石灰石/石膏法,石灰石用量越大,产生的脱硫石膏也就越多,费用也就越高;(4)因为氨法不仅副产品可作为肥料,且无废水排放,所以减少了对环境的二次污染,更能体现节能减排和循环经济理论,是对环境友好的生产方式;而石灰石/石膏法产生的副产品不仅在我国利用率不高,且工艺中产生废水、粉尘、污水处理污泥等污染物,极易对环境造成二次污染,破坏生态环境。

由于湿式氨法脱硫工艺技术成熟的时间相对较迟,我国引进时间迟,推广较为缓慢,且目前石灰石/石膏法在我国已有火电厂脱硫中广泛应用,因此,可以预见,在未来一段较长的时间内石灰石/石膏法在我国已有火电厂脱硫工艺中,仍将占有着主导地位。然而,纵观两种脱硫工艺的发展前景可知,随着湿式氨法脱硫技术的发展和逐渐完善,氨法脱硫装置投资已明显低于石灰石/石膏法,技术难点也已突破,且成功应用案例层出不穷,该工艺在火电厂脱硫领域将有着更为广阔的应用前景。

6 结语

近年来,随着国家对火电厂排放二氧化硫治理力度的不断加大,以及环保等部门在火电厂削减二氧化硫上的鼓励政策和措施的出台,全国各地在火电厂脱硫方面的投入也不断加大。由于我国目前采用的烟气脱硫工艺主要为石灰石/石膏法,该工艺虽然在削减烟气中二氧化硫排放起到了一定的作用,但同时又对环境产生了二次污染,抛弃或填埋大量脱硫石膏及废渣,对生态环境都存在着潜在破坏,并最终危害到人类健康。相比之下,湿式氨法脱硫工艺则更为环保和经济,因此,在未来国家政策导向方面建议应侧重对该法的引导和推荐,在选用脱硫工艺时,应鼓励优先采用此法。

及经济上的优越性,使得纯氧曝气在中小城市污水处理厂老厂的改造和新厂的建设中具有很好的前景。同时随着纯氧曝气技术的成熟及制氧成本的下降,纯氧曝气将会在我国城市污水处理中有越来越广泛的应用。

参考文献

[1] 世界银行. 中国空气、土地和水[M].北京:中国环境科学出版社, 2001.

[2] 张中和. 氧气曝气国内外发展概况[J].上海市政工程, 1999(1) : 44-51, 55.

[3] 焦泽伟. 浅谈纯氧曝气水处理[J].工业水处理, 1992,12(6):3~5.

[4] 凌晖等. 纯氧曝气在污水处理和河道复氧中的应用[J]. 中国给水排水. 1993,15(8):49~51.

[5] 姜汉元等. 富氧曝气污泥性能及生化机理的研究[J]. 北京建筑工程学院学报. 1990(2):36~44.

[6] 姚郡, 何苗. 焦化废水中有机污染物经厌氧酸化对好氧生物降解性能的影响[J]. 中国环境科学. 1998 18(3).

[7] 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1998:77~78.

[8] 陈致泰, 李世刚, 韩光瑶等. 采用微气泡纯氧曝气技术处理工业废水[J]. 工业水处理, 2008, 28(10): 13~16.

[9] 王莉敏. 焦化废水处理系统纯氧曝气技术研究与应用[D]. 四川: 重庆大学化学化工学院, 2007.

[10] 卓明. 污水处理中的经济分析[J]. 给水排水, 2005, 31(12): 34~36.

(上接第 34 页)

参考文献

[1] 陶雷行, 吕敬友, 陈洪涛. 烟气脱硫的工艺选择及因素分析[J]. 上海电力. 2006,5: 452~458.

[2] 葛能强, 邵永春. 湿式氨法脱硫工艺及应用 [J]. 硫酸工业. 2006,6:10~15.

[3] 田文平, 齐国江, 周彦. 氨法脱硫工艺应用小结 [J]. 中氮肥. 2010,1:29~30.

[4] 石在玉. 火电厂脱硫存在的问题及工艺选择方法探讨[J]. 上海电力. 2008,3:238~241.

[5] 石灰石/石膏法脱硫方法对环境的主要影响分析[J]. 大学时代·论坛. 2006.3

[6] 刘德友, 褚才全, 徐长春. 烟气氨法脱硫技术在石化热电厂的应用[J]. 中国环保产业. 2008,11:28~31.

[7] 王文宝, 顾晓霞, 张存军. 苏中热电厂环保氨法脱硫实力分析[J]. 污染防治技术. 2007,20(2):97~99.

[8] 梁高. 氨法脱硫在热电厂中的应用[J]. 能源环境保护. 2004,18(4):34~37.

欢迎订阅 2011 年《能源环境保护》杂志

《能源环境保护》杂志是由煤炭科学研究总院杭州环保研究院主管与主办的国内外公开发行的环保综合性科技期刊(2003 年前名为《煤矿环境保护》)。1987 年创刊,系中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊,中国期刊全文数据库及中文科技期刊数据库全文收录期刊,万方数据数字化期刊群及中国期刊网全文入网期刊,曾获全国环境期刊二等奖。杂志主要报道煤炭、电力、石油等能源行业水污染防治与资源化,大气污染防治,固体废物的处置和利用,噪声控制,土地复垦,节能技术及环境监测与评价,环境管理经验等。面向从事能源环保工作的科研、设计、教学、生产、管理等单位的专业技术与管理人

员。
《能源环境保护》杂志兼营广告业务,宣传报道环保及能源工业方面的新技术、新工艺、新产

品、新设备,竭诚为广大客户服务。

《能源环境保护》杂志统一刊号: CN 33—1264/X, I S SN 1006—8759, 双月刊, 大 16K, 64 页, 每册定价 9.50 元, 全年订价 57 元(含邮费)。本刊自办发行, 请订户直接向编辑部办理订阅手续。

订阅方法:

银行汇款: 工商银行萧山支行

帐号: 1202090109008921574

户名: 煤炭科学研究总院杭州环保研究院

邮局汇款: 浙江省杭州市萧山区拱秀路 288 号
《能源环境保护》编辑部(邮编: 311201)(汇款时请注明杂志订款、份数及收刊人详细通信地址)

编辑部联系电话: 0571—82724077 82731270

传真: 0571—82723716 E-mail: nyhjbh@163.com