

# 湿式电除尘技术在燃煤电厂的应用研究

张丽丽

(大唐环境产业集团股份有限公司, 北京 100097)

**摘要:** 湿式电除尘器是有效去除  $PM_{2.5}$ 、 $SO_3$ 、重金属污染物的燃煤电厂末端烟气净化设备。详细介绍了湿式电除尘器的工作原理、分类、技术特点、国内外燃煤电厂的应用情况, 以及对引进技术的改进。湿式电除尘器在燃煤电厂将得到更广泛的应用。

**关键词:** 湿式电除尘器; 燃煤电厂;  $PM_{2.5}$ ;  $SO_3$ ; 脱除

中图分类号: X773; TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0027-04

## Application Research on Wet Electrostatic Precipitator in Coal Fired Power Plant

ZHANG Lili

(Datang Environment Industry Group Co., Ltd., Beijing 100097, China)

**Abstract:** Wet electrostatic precipitator is terminal flue gas purification equipment which can remove  $PM_{2.5}$ ,  $SO_3$ , and heavy metals effectively in coal fired power plant. The working principle, classification, technical features, the application in coal-fired power plants at home and abroad, and the improvement on the introduced WESP technology were introduced in detail. WESP will be more widely used in coal-fired power plants.

**Key words:** wet electrostatic precipitator; coal fired power plant;  $PM_{2.5}$ ;  $SO_3$ ; remove

随着环保标准的日益严格, 燃煤电厂的达标排放面临着严峻挑战。国家《火电厂大气污染物排放标准》<sup>[1]</sup>将烟尘排放标准提高到  $30 \text{ mg/Nm}^3$ , 重点地区提高到  $20 \text{ mg/Nm}^3$ , 并增设汞及其化合物的排放限值。并且, 在 2014 年 9 月, 国家发改委、环保部、国家能源局联合印发的《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020)年》<sup>[2]</sup>中指出: 严控大气污染物排放, 新建燃煤发电机组应同步建设先进高效除尘设施, 东部地区(北京等 11 省市)新建燃煤发电机组大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机排放限值(即在基准氧含量 6% 条件下, 烟尘、 $SO_2$ 、 $NO_x$  排放浓度分别不高于 10、35、50  $\text{mg/m}^3$ ), 中部地区新建机组原则上接近或达到燃气轮

机组排放限值, 鼓励西部地区新建机组接近或达到燃气轮机排放限值。支持同步开展大气污染物联合协同脱除, 减少  $SO_3$ 、Hg、As 等污染物排放。

国内大部分机组采用常规干式静电除尘器, 但其对粒径  $5 \mu\text{m}$  以下的颗粒去除率不高; 此外, 部分脱硫塔出口烟气中携带石膏液滴较多, 在不设 GGH 时容易出现“石膏雨”现象; 同时由于 SCR 中催化剂的氧化效应,  $SO_2$  转化成  $SO_3$  的比例增加,  $SO_3$  以气溶胶的形式存在, 在脱硫系统中难以清除, 会形成淡蓝色的烟羽。

湿法电除尘器(Wet Electrostatic Precipitator, 简写 WESP)<sup>[3-7]</sup>可高效去除燃煤电厂及工业锅炉中的微细颗粒物( $PM_{2.5}$ ,  $SO_3$  酸雾及气溶胶等)、重金属(Hg、As、Se、Pb、Cr 等), 有机复合污染物(多环芳烃、二恶英等), 尤其是能够解决“石膏雨”和  $SO_3$  酸雾问题, 使烟气排放达到  $10 \text{ mg/Nm}^3$  以下甚至更低。

因此, 具有针对性、提高适应性的湿式电除尘

收稿日期: 2015-07-28

作者简介: 张丽丽(1981), 女, 河北唐山人, 工程师, 硕士, 主要从事燃煤电厂大气污染控制方向技术的研究工作(e-mail) liliseven2005@163.com。

技术成为目前环保行业新技术中的重点和热点。

## 1 湿式除尘器介绍

### 1.1 湿式除尘器原理

湿式电除尘器粉尘荷电原理与常规静电除尘器一样。区别是在收尘极板上部适当空间设有有一定压力和流量的喷嘴进行喷水,使收尘板上形成一层均匀稳定的水膜,水流自上而下将吸附在收尘板上的粉尘颗粒带走。湿式电除尘器工作原理图见图1。

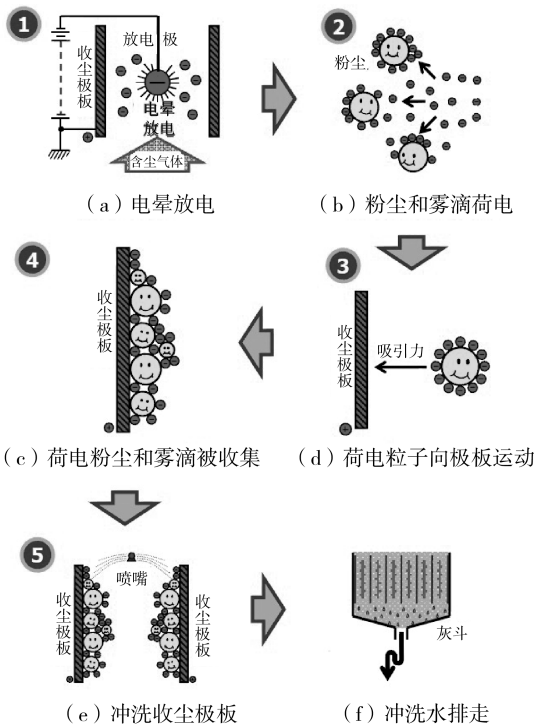


图1 湿式电除尘器工作原理图

Fig. 1 Principle diagram of wet ESP

### 1.2 湿式电除尘器分类

湿式电除尘器可分为板式和管式两大类。板式为气流在电场内部水平通过,管式为气流垂直通过。

板式湿式电除尘器结构形式又可分为立式和卧式,处理烟气量大,放电能力强,抗电耐腐蚀性强,阳极板通常采用耐腐蚀不锈钢(316 L),阻力低,工作中需要工业水作为冲洗水,需设置专门的水处理系统。

管式湿式电除尘器采用立式结构,结构简单、占用空间小。大多采用蜂窝式导电玻璃钢,重量轻、耐腐蚀与导电性好。该结构运行维护费用低,仅需少量的工艺水作为冲洗水,无需设置单独的水处理

系统,清灰方式为在线短时冲洗,保证长期超低排放。积水斗收集到的水直接排入脱硫系统的地沟或地坑中,由于排水量小,对脱硫系统运行影响很小,但对被电腐蚀掉的导电玻璃钢存在二次污染可能。

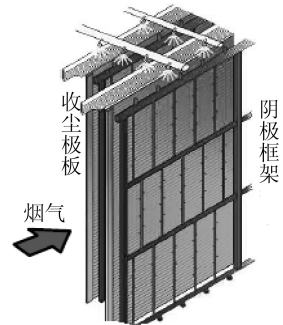


图2 卧式板式湿式电除尘器结构

Fig. 2 Structure of horizontal WESP



图3 管式湿式电除尘器结构

Fig. 3 Structure of cellular WESP

### 1.3 湿式电除尘器技术特点

湿法除尘器的工艺路线一般如图4所示。湿式除尘器位于脱硫设备后面,烟气治理的末端。

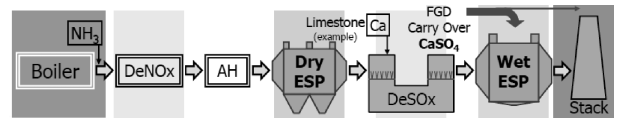


图4 湿式除尘器的工艺路线

Fig. 4 Process route for wet ESP

基于湿式电除尘器的除尘机理和布置位置,其技术特点为:

- 1) 收尘极板采用水膜清灰的方式,因此极板上无积灰,且无二次扬尘,无移动部件,易损件少。
- 2) 由于水滴的存在,水的电阻较小,水滴与粉尘结合后,高比电阻的粉尘比电阻下降,因此收尘效果不受粉尘比电阻的影响。
- 3) 由于电场中存在大量带电雾滴,大大增加了

微米粒子碰撞带电的机率,同时,在雾滴重力的作用下,荷电粒子受到向下的运动力,即提高了亚微米粒子向极板运动的速度。与常规电除尘器相比,可以在烟气流速较高的情况下捕集更多的粒子。并且运行温度低,烟气体积小,因此,湿式电除尘器体积比常规电除尘器体积缩小 3 倍左右,便于安装、节省投资。

4) 由于增大了亚微米粒子的带电几率,而  $PM_{2.5}$ 、 $SO_3$  酸雾、气溶胶就在此粒径范围,因此可有效去除  $PM_{2.5}$ 、 $SO_3$  酸雾、气溶胶,解决“石膏雨”和  $SO_3$  酸雾问题,烟气排放可达到  $10 \text{ mg}/\text{Nm}^3$  以下甚至更低。

5) 可有效去除重金属(如 Hg、As、Se、Pb、Cr 等)和有机复合污染物(多环芳烃、二恶英)等。

## 2 湿式电除尘器在燃煤电厂中的应用

### 2.1 在国外燃煤电厂的应用

自 1907 年以来,湿法电除尘器在制酸和冶金等工业领域已经成功应用了 100 多年,但在电力行业中的使用并不普遍,仅有 30 多年的历史,约有 50 余套不同类型的湿法电除尘器应用于美国、欧洲及日本的电厂,该技术用于去除湿法脱硫无法收集的酸雾、控制  $PM_{2.5}$  微细颗粒物及解决烟气排放浊度问题。

湿法电除尘技术在日本已有 30 多年的使用业绩。三菱重工最早开发该技术,为卧式板式结构,目前共有 33 套湿法电除尘器处理电厂湿法脱硫后的烟气,其中典型案例为碧南(Chubu Hekinan)电厂,其中 1~3 号机组为超临界 700 MW 机组,4~5 号机组为超临界 1 000 MW 机组,5 台机组均在湿式脱硫系统后设置湿法电除尘器,排放烟气中粉尘浓度长期保持在  $2\sim 5 \text{ mg}/\text{Nm}^3$  水平, $SO_3$  去除率  $\geq 76\%$ , $PM_{2.5}$  去除率  $\geq 79\%$ ,Hg 去除率 62%,在煤质较好情况最低达到  $1 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。

在美国,第一台湿式除尘器是 1975 年美国 Joy 公司在宾西法尼亚电力照明公司 Sudbury 电站上安装的一套中试装置,用于捕获烟气中的硫酸,一直良好运行 20 多年。1986 年,AES Deepwater 电厂安装湿法电除尘器,旨在满足当地可滤性颗粒物及硫酸酸雾综合排放的控制要求,运行一直很成功,经测试对硫酸雾的脱除效率高于 90%,在达到颗粒物排放要求的同时,烟囱浊度低于 10%。2000 年,NB 电力公司 315 MW 机组的 Dalhousie 电厂对湿法

脱硫系统进行了湿法电除尘器改造,将 WESP 安装在湿式脱硫吸收塔上部的有限空间,用来捕获硫酸雾,自投运以来运行可靠。在北方国家电力公司 Sherco 电站在  $2 \times 750 \text{ MW}$  机组,在每台湿法脱硫系统后都安装 11 个管式 WESP 以降低浊度,自投运以后,浊度低于 10%。

在欧盟,湿法电除尘器主要用来控制微细颗粒物及酸雾烟羽。1997 年,第一套安装于湿法脱硫后的湿法电除尘器由三菱公司制造,安装于 Werndorf 电厂 #2 锅炉,到目前为止,一直成功地运行<sup>[8]</sup>。

### 2.2 在国内燃煤电厂的应用

国内湿式电除尘器技术主要有两个流派,一是引进技术,二是自主研发。浙江菲达(引进三菱重工技术)、浙江南源公司(引进日立技术)。自主研发制造厂商有福建龙净、西安热工院、中电投远达环保、宜兴化工、国电山大能源等,其中福建龙净在自主研发的基础上又引进了日立技术。

借助于三菱重工强大的技术支持,菲达环保湿法电除尘器市场占有率居全国首位,工程业绩主要有:台州第二发电厂  $2 \times 1 000 \text{ MW}$  机组、神华国华舟山电厂二期工程  $1 \times 350 \text{ MW}$  机组、广州恒运电厂  $2 \times 330 \text{ MW}$  机组、华润南沙热电  $2 \times 300 \text{ MW}$  机组等配套使用,烟尘排放指标低于  $5 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ,实现超洁净排放。

福建龙净环保股份有限公司在借鉴日本、德国等国外先进技术的基础上,自主研发出 LK 湿法电除尘技术,但工程中出现一些问题,因此引进日本日立技术。目前该公司工程主要为:上海电力长兴岛电厂 15 MW 发电机组配套、华电淄博热电有限公司 330 MW 火电机组等。

浙江南源环境工程技术有限公司引进日立湿法电除尘技术。在国家氨法脱硫脱硝除尘 863 项目中,该公司负责湿法除尘器的设计和生产。目前该公司国内工程业绩为:浙江浙能六横电厂  $2 \times 1 000 \text{ MW}$  示范工程配套,珠海金湾发电公司  $2 \times 600 \text{ MW}$  机组等。

西安热工研究院自主研发了“XR10 型湿式电除尘器”,采用耐腐蚀极板材料,不需对极板进行连续喷水清洗,耗水量小。目前在秦岭电厂投运。但该技术烟气排放指标对比国外厂商存在差距,且在湿式电除尘器流场控制、参数选择、防腐、结构设计等方面仍存在不少问题。

总之,虽然国内部分厂家也具备了湿法电除尘技术的自主研发能力,但大多仍是借鉴国外厂家的技术,存在问题较多,竞争力相对较弱。湿法电除尘的核心技术仍掌握在国外几个大厂商手中,不管是在技术水平、工程业绩,还是在运营经验方面,国外厂家都具有明显的优势。

### 3 中能装备湿式电除尘器技术

中能装备于2014年7月正式引进三菱重工燃煤电站卧式湿式除尘技术。技术特点及优势如下:

1)在行业内知名度高、在发电企业中的认知度高,在国内游较多的应用业绩,与国内其他公司的合作良好。

2)该公司的湿式电除尘技术在极配形式、喷淋系统、烟气导流系统、工艺控制原理等方面技术先进性、成熟,实际使用中系统稳定可靠。

3)性价比高、占地面积小,容易克服国内电厂布置场地狭小的困难。

4)技术服务及技术支持反应迅速及时。

为满足国内燃煤电厂运行要求,做出如下改进:

1)在可视化及人性化方面,对工艺设计软件进行改进。

2)根据国内的应用经验,对阳极板的结构形式进行改进。

3)根据国内燃煤电厂的运行特点,对电气控制系统进行改进。

4)根据国内烟气流速的特点,对湿式除尘器的进出口烟箱的设计参数进行修改。

为增加产品的多样性,满足市场需求,于2015年开始自主研发管式湿式除尘器的研发工作,建立管式湿式静电除尘技术理论计算体系。

### 4 结论

1)湿式除尘器在烟气治理设备的末端,能够有效去除脱硫设备产生的石膏液滴等二次污染物,同时去除前端设备无法脱出的 $PM_{2.5}$ 、 $SO_3$ 、重金属污染物,满足超低排放的要求,是一种先进的烟气末端治理技术。

2)湿式除尘器体积小,形式多样,在改造项目中,便于改造安装。与改造难度大、费用高的湿法脱硫设备相比,增设湿式电除尘器是一种工期短、

经济性较好的烟气治理工艺方案。

3)鉴于湿式电除尘器的技术特点,一些重点地区(京津塘地区、长江三角洲、珠江三角洲、河北地区、山东省等区域)已率先试用该产品。湿式电除尘器技术必将在燃煤电厂中得到更多的应用。

#### 参考文献:

- [1] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局. 火电厂大气污染物排放标准:GB 13223—2011 [S]. 北京:中国环境科学出版社,2011.
- [2] 国家发展改革委,环境保护部,国家能源局. 煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年) [EB/OL]. [2014-09-12]. <http://bgt.ndrc.gov.cn/zcfb/201409/W020140919603717020156.doc>
- [3] 赵磊,周洪光. 超低排放燃煤火电机组湿式电除尘器细颗粒物脱除分析 [J]. 中国电机工程学报,2016,36(2):468-473.  
ZHAO L, ZHOU H Q. Particle removal efficiency analysis of wesp in an ultra low emission coal-fired power plant [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(2): 468-473.
- [4] 赵磊,周洪光. 近零排放机组不同湿式电除尘器除尘效果 [J]. 动力工程学报,2016,36(1):53-58.  
ZHAO L, ZHOU H Q. Removal efficiency of different WESPs in Coal-fired power plants with near-zero emissions [J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2016, 36(1): 53-58.
- [5] 莫华,朱法华,王圣,等. 湿式电除尘器在燃煤电厂的应用及其对 $PM_{2.5}$ 的减排作用 [J]. 中国电力,2013,46(11):62-65.  
MO H, ZHU F H, WANG S, et al. Application of WESP in coal-fired power plants and its effect on emission reduction of  $PM_{2.5}$  [J]. Electric Power, 2013, 46(11): 62-65.
- [6] 刘鹤忠,陶秋根. 湿式电除尘器在工程中的应用 [J]. 电力勘测设计,2012(3):43-47.  
LIU H Z, TAO Q G. Exploration application of wet electric dust catcher to engineering [J]. Electric Power Survey & Design, 2012(3): 43-47.
- [7] 张华东,周宇翔,龙辉. 湿式电除尘器在燃煤电厂的应用条件分析 [J]. 中国电力,2015,48(8):13-16,32.  
ZHANG H D, ZHOU Y X, LONG H. Study on application conditions of wet electrostatic precipitators in coal-fired power plants [J]. Electric Power, 2015, 48(8): 13-16, 32.
- [8] 刘云,郗建国,何毓忠,等. 湿式电除尘技术及其在燃煤电厂中的应用 [C]//中国电力企业联合会. 2009年全国燃煤电厂除尘技术论坛论文集,厦门:[s.n.],2009:145-150.  
LIU Y, LI J G, HE Y Z, et al. Application of wet electrostatic precipitator in coal fired power plant [C]// China Electricity Council. 2009 National Coal Fired Power Plan Wet Electrostatic Precipitator Conference Proceedings, Xiamen: [s. n.], 2009: 145-150.