

燃煤电厂烟尘超低排放控制技术 研究现状及工程应用

张思华*, 苏伟, 童震松, 宋存义, 刘俊杰
(北京科技大学能源与环境工程学院, 北京 100083)

摘要:阐述了国内燃煤电厂污染物排放现状,介绍了烟尘控制新技术的原理、特点及国内外工程应用情况,为燃煤电厂实现烟尘超低排放提供思路和借鉴。

关键词:燃煤电厂;超低排放;除尘技术

中图分类号:TQ534.9

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2018)02-0162-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.02.038

Research status and engineering application of ultra-low emission technology of flue dust in coal-fired power plants

ZHANG Si-hua*, SU Wei, TONG Zhen-song, SONG Cun-yi, LIU Jun-jie

(School of Energy and Environmental Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: The emission situation of pollutants in China's coal-fired power plants is described in this paper. The principle, characteristics and application situation at home and abroad of new dust control technologies are introduced, which provides ideas and references for coal-fired power plants to achieve ultra-low emission of flue dust.

Key words: coal-fired power plant; ultra-low emission; dust removal technology

1 我国燃煤电厂污染物排放现状

我国电力行业是大气污染物的排放大户,烟尘、SO₂、NO_x、汞的排放量均居各行业前列^[1]。新的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)再一次大幅提高了燃煤发电厂烟尘、SO₂、NO_x等污染物的排放限值规定,并首次对重金属汞排放限值做出了规定,目前,我国燃煤电厂现行排放标准大多数指标已高于主要发达国家,具体污染物排放限值见表1^[2-3]。

表1 中国与主要发达国家煤电大气污染物排放限值比较

国家	mg/m ³			
	烟尘	SO ₂	NO _x	汞及其化合物
美国	20	184	135	0.02(烟煤)0.18(褐煤)
日本	50	200	200	
欧盟	30	200	300	0.03
澳大利亚	100	200	460	
中国	30	100	100	0.03

注:中国重点地区排放限值为,烟尘 20 mg/m³,SO₂ 50 mg/m³,NO_x 100 mg/m³。

为进一步大幅度削减燃煤电厂污染物排放总量,环保部、发改委、能源局印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》^[4]要求:到2020年,全国所有具备改造条件的燃煤电厂力争实现超低排放(即在基准氧含量6%条件下,烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于10、35、50 mg/m³)。这就意味着经济高效的超低排放技术的研究与发展尤为重要。

2 燃煤电厂烟尘“超低排放”技术发展现状

燃煤电厂普遍采用的高效除尘装置有电除尘器、布袋除尘器以及电袋复合式除尘器,目前仍以电除尘器为主,我国燃煤电厂大部分都采用电除尘器,约占到火电装机容量的80%^[5]。随着环保要求的愈加严格,对除尘效率的要求越来越高,面对超低排放要求,要达到烟尘排放小于10 mg/m³就要求电厂对现有除尘机组进行提效改造,采用高效除尘技术以达到排放要求。国内外部分实现烟尘超低排放的煤电机组控制技术见表2^[2-3,6]。

收稿日期:2017-07-05

基金项目:中央高校基本科研业务费(FRF-TP-15-051A1);北京市科技新星计划(Z171100001117084)

作者简介:张思华(1992-),女,硕士生,研究方向为环境工程大气污染控制,通讯联系人,554005526@qq.com。

表2 部分煤电机组烟尘超低排放控制技术

电厂名称及机组	控制技术	排放浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)
浙江嘉华2台,1000 MW	低低温 ESP+湿法脱硫+WESP	<5
浙江六横2台,1000 MW	旋转电极 ESP+湿法脱硫+WESP	<5
浙江舟山1台,350 MW	旋转电极 ESP+海水脱硫+WESP	<5
日本碧南2台,1000 MW	低低温旋转电极 ESP+湿法脱硫+WESP	<5
美国 ParirieStates 2台, 880 MW	袋式除尘器+湿法脱硫+WESP	<5
广东恒运2台,300 MW	电袋复合除尘器+湿法脱硫+WESP	<5
美国 Trimble County 1台, 820 MW	电袋复合除尘器+湿法脱硫	<5
江西新昌电厂2台,700 WM	低低温 ESP+湿法脱硫	<10
华能北京热电,200 MW	低低温旋转电极 ESP+湿法脱硫	<10
广东珠海2台,700 WM	电袋复合除尘器+湿法脱硫	<10
江苏常熟4台,330 MW	电袋复合除尘器+湿法脱硫	<10

从表2中可以看出,为达到超低排放要求,烟尘控制技术可以在湿法脱硫前采用电除尘器、袋式除尘器、电袋复合除尘器进行除尘,当单独采用电除尘器时,一般需要应用电除尘器新技术,包括低低温除尘技术、旋转电极技术等。此外,若要将烟尘排放浓度控制在 $5\text{ mg}/\text{m}^3$ 以内,还需在湿法脱硫后加装湿式电除尘器。

2.1 低低温电除尘技术

低低温电除尘技术是在电除尘器前增加烟气换热装置,一般为低温省煤器或热媒体气气换热装置,将进入电除尘器的烟气温度降低到 90°C 左右^[7],烟气量减少,粉尘性质得到改变,从而提高了除尘器性能。该技术适用于低硫煤,且烟气含尘浓度不大于 $100\text{ g}/\text{m}^3$ ^[5,8]。其具有以下几个优点。

(1)粉尘比电阻降低,适用范围扩大。烟气温度降低到 90°C ,低于酸露点^[9],使得 SO_3 冷凝,比电阻可以降低到反电晕临界比电阻以下,反电晕现象得到有效避免,扩大了电除尘器对煤种的适应性^[10]。

(2)烟气量降低,电场击穿电压提高。烟气温度降低,烟气中颗粒及气体分子热运动能力减弱,烟气体积下降,风速变缓,不仅有利于细微颗粒物的捕

集,还可以降低下游设备的规格^[11],有研究显示,烟气温度每降低 10°C ,烟气量降低约2.5%,电厂击穿电压将上升约3%,从而提高电场强度,增加粉尘荷电量,提高除尘效率^[6,12]。

(3)余热可利用,能耗降低。低低温电除尘器入口烟气温度降低,回收的热量可用于加热汽机冷凝水或锅炉补给水以提高热利用效率,节约了用煤。对于后续湿法脱硫系统,由于烟温降低,脱硫效率提高,减少了工艺降温耗水量,从而降低能耗,降低成本,减少了脱硫系统的二次污染^[13]。

(4) SO_3 可被协同去除。烟气温度低于酸露点,烟气中大部分的 SO_3 在换热装置中因温度降低而冷凝成硫酸雾,并被粉尘吸附且与碱性物质发生中和反应,被协同去除, SO_3 的去除率通常可达90%以上。此外, SO_3 的去除解决了湿法脱硫工艺中 SO_3 腐蚀的难题,有良好的经济效益^[14-15]。

图1为采用低低温电除尘技术的超低排放典型技术路线^[16]。从国际来说,低低温电除尘技术在日本应用较为广泛。1997年,三菱重工便开始将低低温电除尘技术应用于大型燃煤火电机组,电除尘器出口浓度均小于 $30\text{ mg}/\text{m}^3$,湿法脱硫出口烟尘浓度在 $1\text{ mg}/\text{m}^3$ 以下^[15];2000年,日本橘湾火电站2号1050 MW的机组采用低低温电除尘技术后,测试电除尘器出口浓度为 $3.7\text{ mg}/\text{m}^3$,烟囱出口烟尘浓度达到 $1\text{ mg}/\text{m}^3$;2007年,日本新日铁住金鹿岛电厂507 MW机组采用低低温烟气处理技术,入口温度为 $80\sim 90^\circ\text{C}$,应用数据显示,电除尘器出口粉尘浓度低于 $30\text{ mg}/\text{m}^3$,脱硫系统出口粉尘排放浓度低于 $5\text{ mg}/\text{m}^3$ 。近年来,我国已掌握低低温电除尘的核

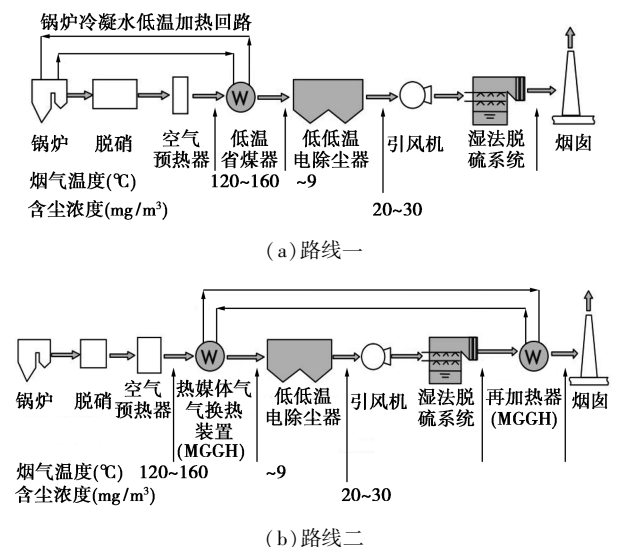


图1 低低温电除尘典型技术路线

心技术,目前已取得了多个项目的成功应用,2012年,我国首台 600 MW 低低温电除尘系统在大唐宁德电厂 4 号炉成功投运,经测试,除尘器粉尘出口浓度低于 20 mg/m^3 ,同时, SO_3 、汞等污染物也被协同有效脱除。2014 年,长兴电厂 660 MW 超临界燃煤机组低低温电除尘设备投入运行,每台锅炉配 2 台除尘器,入口烟气温度为 90°C ,入口干烟气含尘量为 24.82 g/m^3 ,出口烟气含尘量低于 15 mg/m^3 。

该技术在工程上已得到实际应用,除了有上述阐述的优点外也发现了一些问题,比如二次扬尘、灰斗堵灰、腐蚀、高硫煤不适用等,在未来的研究中应加强这些问题的研究,进一步完善改进。

2.2 旋转电极静电除尘技术

旋转电极静电除尘技术的除尘原理与常规除尘技术相同,不同之处在于清灰方式。常规电除尘技术采用振打或声波的方式来清灰,旋转电极静电除尘技术则是采用可上下移动的收尘极板和非电场区旋转的刷子来清灰。工作原理及结构如图 2、图 3 所示^[17-18]。粉尘被收集到阳极板上,阳极板在顶部驱动轮的带动下上下移动,附着的粉尘在还未达到形成反电晕的厚度时便移动到灰斗内,被旋转的清灰刷清除。该技术可清除常规清灰方式难以清除的粉尘,能有效避免反电晕现象,最大限度地减少振打方式造成的二次扬尘,且粉尘的驱进速度可达固定电极电场的 2.5 倍,能够大幅度提高除尘效率。

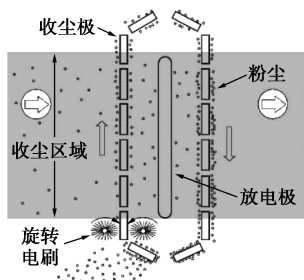


图 2 旋转电极除尘技术原理

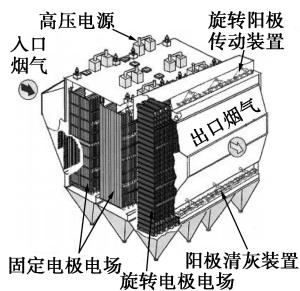


图 3 旋转电极电除尘器结构

较小、避免二次扬尘、除尘效率高、能耗少、运行费用低等优点,既能解决常规电除尘器对高比电阻粉尘、高黏性粉尘清灰难、除尘效率低的问题,又能弥补袋式除尘设备压力损失大、运行费用高、难处理高温高湿烟气的缺陷^[19]。因此,旋转电极式电除尘器对不同煤种的适应性高,应用范围比常规电除尘器更广,尤其是在高比电阻粉尘、黏性粉尘的去除方面有较好的优势。

该技术已成功应用于多个火电厂的电除尘器改造。某火电厂 330 MW 机组配套烟气除尘设备为 2F300-4 型双室四电场电除尘器,改造前出口粉尘浓度 $\geq 200 \text{ mg/m}^3$,对原除尘器的前 3 个电场进行检修、优化调试,并对第四电场进行旋转电极式改造,改造后电除尘器出口粉尘浓度降至 30 mg/m^3 以下^[20]。某 1 000 MW 的机组配套烟气除尘设备为 2F734-5 型电除尘器,原电除尘器设计出口粉尘浓度 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$,为满足新要求,需降低电除尘器出口粉尘浓度在 15 mg/m^3 以下,而电除尘器周围又无可利用场地对电除尘器进行扩容,因此将电除尘器改造成旋转电极式除尘器,设计出口粉尘浓度 $\leq 15 \text{ mg/m}^3$ ^[21]。

2.3 湿式电除尘技术

由于我国燃煤电厂用煤煤质较差,灰分较高,仅采用传统的干式静电除尘器想要达到烟尘浓度小于 5 mg/m^3 的超低排放有一定的难度,因此,常在脱硫塔后加装湿式电除尘器(WESP),以脱除饱和烟气中的细颗粒物,达到稳定超低排放的目的。

WESP 通过气体电离、粉尘荷电、集尘、冲刷清灰四步除尘^[22],其工作原理是:气体在直流高电压作用下电离,产生大量的阳离子、阴离子和电子,这些带电粒子吸附在粉尘上,使粉尘荷电,荷电后的粉尘在电场力的作用下移动到集尘极上,再将冲洗液喷至集尘极上形成连续的水膜,使得捕获的粉尘随着水膜掉到灰斗中而被去除。湿式静电除尘器与干式静电除尘器的不同之处在于清灰方式,湿式电除尘器是通过液体冲洗集尘极高效清灰,因此不受粉尘比电阻影响,避免了反电晕和二次扬尘的问题;此外,湿式电除尘器不仅可以有效去除烟气中的细颗粒物,还可协同脱除 SO_2 、 SO_3 酸雾、重金属(Hg、As、Pb 等)、有机污染物(多环芳烃、二噁英)以及除雾器后的脱硫石膏液滴等污染物,是一种高效的静电除尘器。

目前在工程上应用较多的 WESP 有 3 种设计形式,分别是:①垂直烟气流独立设计;②水平烟气流

旋转电极式电除尘器具有结构紧凑、占地面积

独立设计;③垂直烟气流与 WFGD 整体式设计。其中第③中设计方式因占地面积小、成本和运行费用较低而应用最为广泛,设备结构如图 4 所示^[23]。

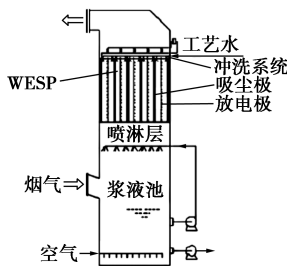


图 4 垂直烟气流与 WFGD 整体式 WESP

目前 WESP 在国内外许多工程上都得到了应用。日本中部电力碧南电厂 2 台 1 000 MW 机组在湿法脱硫后应用日立湿式电除尘器,烟尘排放浓度长期维持在 2~5 mg/m³。国华舟电厂 4 号机组加装三菱湿式静电除尘器后,出口烟尘浓度从 10.30 mg/m³ 降至 2.46 mg/m³。湖南益阳电厂于 2012 年对燃煤烟气的处理进行技术改造,在湿法脱硫塔后加装柔性电极 WESP,测试结果表明,该 WESP 对脱硫后的烟气中烟尘、石膏等固体的去除率为 86.4%,对酸雾的去除率为 91.3%,对气态汞的去除率为 57.4%。2013 年 1 月,上海长兴岛第二发电厂 1 号炉 12 MW 机组采用湿式静电除尘设备,达到出口烟尘浓度低于 10 mg/m³。河北国华定洲发电厂 3[#] 机组(660 MW)为适应新的环保标准,在现有湿法脱硫吸收塔出口增设了湿式电除尘装置,出口烟尘浓度小于 5 mg/m³^[24]。

随着湿式静电技术的进一步研究和改进,湿式电除尘器将在污染物协同控制和深度净化上被寄予更多期望。

3 总结

电除尘新技术与湿式静电除尘技术配套使用,可有效降低烟尘出口浓度,缓解“石膏雨”现象,同时可实现对 SO₂、SO₃ 酸雾、重金属、有机污染物等的协同净化,实现超低排放,为防治雾霾、酸雨、光化学烟雾等环境问题做出积极贡献,具有良好的社会和环境效益。燃煤电厂可根据不同的煤质、排放要求、锅炉型号、经费预算等合理选择烟尘控制技术。

参考文献

[1] 张伟波,潘宇超,崔志强,等.我国新能源发电发展思路探析[J].中国能源,2012,(4):26-28.

[2] 朱法华,王临清.煤电超低排放的技术经济与环境效益分析[J].环境保护,2014,(21):28-33.

[3] 赵金龙,胡达清,单新宇,等.燃煤电厂超低排放技术综述[J].电力与能源,2015,(5):701-708.

[4] 《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》[J].节能与环保,2016,(1):32.

[5] 吴玉生.燃煤电厂烟尘超低排放技术路线比选研究[J].能源与节能,2016,(4):5-7.

[6] 中国环保产业协会电除尘委员会.节能减排,低低温电除尘技术“技高一筹”[N].中国环境报,2013-09-11(6).

[7] 修海明.超净电袋复合除尘技术实现超低排放[J].电力科技与环保,2015,(2):32-35.

[8] 龙辉,王盾,钱秋裕.低低温烟气处理系统在 1 000 MW 超超临界机组中的应用探讨[J].电力建设,2010,31(2):70-73.

[9] 名嶋慎司.石炭火力用低低温電気集塵装置[J].住友重機械技報,2001,146:35-38.

[10] Nakayama Y, Nakamura S, Takeuchi Y. MHI high efficiency system-proven technology for multi pollutant removal [R]. Hiroshima Research & Development Center, 2012.

[11] 赵海宝,郗建国,何毓忠,等.低低温电除尘关键技术研究与应用[J].中国电力,2014,(10):117-121.

[12] 张伟波,潘宇超,崔志强,等.我国新能源发电发展思路探析[J].中国能源,2012,(4):26-28.

[13] 叶子仪,刘胜强,曾毅夫,等.低低温电除尘技术在燃煤电厂的应用[J].中国环保产业,2015,(5):22-25.

[14] 郗建国,郗祝海,何毓忠,等.低低温电除尘技术的研究及应用[J].中国环保产业,2014,(3):28-34.

[15] 崔占忠,龙辉,龙正伟,等.低低温高效烟气处理技术特点及其在中国的应用前景[J].动力工程学报,2012,(2):152-158.

[16] 郗建国,郗祝海,何毓忠,等.低低温电除尘技术的研究及应用[J].中国环保产业,2014,(3):28-34.

[17] 沈亚林,赵文.超低排放烟尘控制集成技术[J].煤炭科学技术,2016,(2):191-196.

[18] 赵海宝,王贤明,姚宇平,等.旋转电极式电除尘布置方式研究及应用[J].浙江电力,2015,(12):51-54.

[19] 姚淑勇,郭峰,徐小峰,等.旋转电极式电除尘器性能及可靠性研究[J].电站系统工程,2012,(2):73-74.

[20] 何红儿,郗建国,孙真真.旋转电极式电除尘器在大型火电机组上的应用[J].电力科技与环保,2012,(3):29-31.

[21] 赵金达,张嵩,张岩.旋转电极式电除尘器在大型火电 1 000 MW 机组上的应用[J].电站系统工程,2014,(3):71-73.

[22] 苏辉平.湿式电除尘技术在火电厂的应用与发展[J].资源节约与环保,2015,(12):23.

[23] 时超林,潘卫国,郭瑞堂,等.火电厂湿式静电除尘器的发展现状综述[J].能源与电力,2013,34(5):493-499.

[24] 单永华.660 MW 燃煤机组加装湿式电除尘改造研究[D].北京:华北电力大学,2016. ■