

燃煤火力发电厂控制烟尘排放技术的研究

Research on Controlling Soot Emission Technology of Coal-fired Thermal Power Plant

高与蒨

Yuju Gao

国能安顺发电有限公司 中国·贵州 安顺 561000

Guoneng Anshun Power Generation Co., Ltd., Anshun, Guizhou, 561000, China

摘要: 燃煤火力发电会带来大量有毒有害气体的排放。作为燃煤电厂烟尘控制的关键设备,除尘器的除尘能力直接影响到产物中有害物的浓度。论文阐述了现有的除尘技术,结合这些排放技术和新的烟尘排放标准,为燃煤电厂的烟尘排放技术的选择及发展提供了一些建议。

Abstract: Coal fired thermal power generation will bring a lot of toxic and harmful gas emissions. As the key equipment of dust control in coal-fired power plants, the dust removal capacity of the dust collector directly affects the concentration of harmful substances in the products. The paper expounds the existing dust removal technology, and provides some suggestions for the selection and development of soot emission technology for coal-fired power plants in combination with these emission technologies and the new soot emission standards.

关键字: 火力发电; 烟尘排放; 除尘器; 低碳经济

Keywords: thermal power generation; soot emission; dust collector; low carbon economy

DOI: 10.12346/peti.v4i3.6715

1 引言

中国目前的主要供能方式为煤炭燃烧火力发电。这个过程中会产生大量的有毒有害气体,对环境造成严重危害。因此,如何实现燃煤火力发电厂烟尘排放的清理与控制成为一个重要议题。论文第一部分介绍了目前火力发电的现状和对环境的危害;第二、三段重点分析了当今常用的烟尘处理技术,并对比了各自的优劣;第四段对上述技术提出了改进意见并对全文进行总结,希望对未来控制烟尘排放技术有所启发。

2 研究背景

目前中国处于快速发展的时代中,社会需求随着时间不断地进行更新和进化。随着经济的迅速发展和社会的进步,人民生活水平的提高,工业生产等社会活动对能源的消耗随之增长,社会对能源的需求也日益增加。统计数据显示,天然气作为绿色能源,在全球的利用率达到 30%,但仅占中

国能源资源的 6%。中国能源的结构具有煤炭占比大的特点。因此在未来可预见的相当长的一段时间内,中国的主要供能方式仍然以煤炭燃烧发电为主。

火力发电(或称为化石燃料发电)是指利用蒸汽机或内燃机原理,通过各种旋转将燃料燃烧产生的热能转化为机械能,并驱动发电机发电的过程。这个过程中,由于燃料,如煤炭等的燃烧,会带来极大的烟尘排放比,其所排放的烟尘、二氧化硫、氮氧化物等有毒有害性气体,会对环境造成极大污染,严重影响到生态环境和人们日常生产生活。火力发电是二氧化碳排放的主要来源。据统计,每生产一度电,褐煤燃烧所带来的二氧化碳量是天然气的三倍。因此,如何控制燃煤火力发电厂烟尘排放,实现绿色低碳生产,是当今的研究重点。降低全球温室气体的排放量,大力发展低碳经济是目前绿色生产的重要任务之一。现今也提出了更多科学有效的技术进行燃煤火力发电厂烟尘排放的处理控制。目前,对燃煤火力发电厂烟尘控制的研究可以分为硫氮氧化物处理

【作者简介】高与蒨(1976-),女,中国贵州安顺人,工程师,从事电厂化学环保研究。

及含尘气体处理。论文主要探讨常见的除尘技术，以及二氧化硫及氮氧化物控制技术。通过对当今应用较多的除尘设备和新型设备进行分析，对比各自的优点和不足，并提出改进措施，对未来火力发电厂烟尘排放处理提供了一定的参考^[1]。

3 常用除尘技术

根据除尘原理的不同，除尘技术可分为：机械式除尘技术、过滤式除尘技术、静电除尘技术、湿式电除尘技术。随着科学技术的发展，一些新型除尘技术也逐渐得到应用，如电袋除尘器、旋转电极技术、烟气调质技术、高频电源/三相电源/脉冲电源技术、低低温电除尘技术、粉尘凝聚技术、分区供电技术、湿式电除尘器技术等。

3.1 袋式除尘器

袋式除尘器又称布袋除尘器，是一种干式滤尘装置。它适用于捕集细小、干燥、非纤维性粉尘。其主要结构由上部箱体、中部箱体、下部箱体、清灰系统和排灰机构组成。滤料通过滤袋时，由于滤袋纤维的筛滤、碰撞、滞留、拦截等效应，粉尘被聚集在滤料上，形成一层多孔初层。多孔初层将成为滤料的主要过滤层，除尘效率相比滤料更高。袋式除尘器主要依靠初层及之后堆积起来的积尘层对含尘空气进行过滤。随着粉尘在滤料表面积累增厚，滤袋的阻力变大，含尘气流经滤袋的阻力损失增大。同时，当滤料两侧的压力差增大到一定值，会将部分已附着在滤料上的细小粉尘颗粒挤压下去，造成滤袋处理能力的减弱。因此，布袋除尘器在使用一段时间后，必须清除掉积尘层。清灰时要保留初层，以免造成除尘效率下降。

布袋除尘器的除尘效率高，可达到99%以上，对亚微米粒径的粉尘具有较高分辨率；适用范围广，可有效捕集0.3 μm 以上的粉尘，可用于大多数工业烟气除尘；设备结构简单，初期投资少，维护方便。但设备的运行阻力大，易造成引风机功率大，运行费用较高；且滤袋易受酸碱腐蚀和高温含尘气体影响，发生损坏。因此布袋除尘器的滤袋使用寿命有限，需及时进行清灰和更换^[2]。

3.2 静电除尘器

静电除尘器的原理是，含有粉尘的气体通过两片接有高压电源的电极板，在阴阳极产生的高压静电场的作用下，气体电离产生自由电子和正负离子，带负电的气体离子向极板阳极运动，运动过程中接触到粉尘颗粒，使之也带上负电，形成荷电粒子。随后荷电粒子在电场力的作用下向异极电极移动，实现粉尘颗粒与气体的分离，尘粒积累到阳极极板上，净化后的气体则排出机器。目前工业锅炉常用的静电除尘器采用前后电场极板方向水平布置的结构。这种静电除尘器的适用范围广，且设备的运行阻力小、总能耗低。但烟尘在电场内的流速比较均匀，为使除尘效率提高，需加大气体流通面积以减小流速，使粉尘颗粒充分与负电离子结合。因此，静电除尘器的除尘效率受粉尘比电阻、含尘气体温湿度、设

备大小、电场强度影响大；且静电除尘器结构复杂，建造成本和维护成本高。

3.3 电袋除尘器

电袋除尘器，又称为电袋复合除尘器，是将静电除尘器和袋式除尘器相结合的装置。电袋除尘器先通过电场将大部分粉尘颗粒捕捉，剩余高比电阻且难以收集的粉尘进入袋式除尘器。目前中国常用的是由美国电力研究所（EPRI）开发的电袋组合除尘器COHPAC（Compact Hybrid Particulate Collector），即前电后袋式除尘器。

电袋式除尘器有除尘效率高、对高温粉尘耐受性好、设备占地面积小且阻力小等优点。且由于后级滤袋仅捕集20%~30%的粉尘量，滤袋负荷量很低，清灰周期得以大幅度延长，电袋除尘器的运行维护费用大大低于纯布袋除尘器或电除尘器。但电袋除尘器内部流场复杂，运行阻力较高，因此风机能耗较大，运行维护费用较高；且滤袋承受高温、高湿及酸性气体负面影响的能力弱，易破损。如何优化电袋除尘器中，前极电场与后极滤袋的结构布置，合理分配电除尘单元和袋除尘单元的负荷是当前的重要研究方向^[3]。

3.4 低低温电除尘器

低低温电除尘器考虑了烟气温度对电除尘效率的影响，通过低温省煤器技术，采用汽机冷凝水回收烟气余热，使进入除尘器的烟气温度由120 $^{\circ}\text{C}$ ~160 $^{\circ}\text{C}$ 下降到90 $^{\circ}\text{C}$ ~110 $^{\circ}\text{C}$ 。通过将电除尘器内的温度控制在酸露点以下，可明显降低粉尘的工况比电阻，有效避免反电晕，减少烟气量，提高击穿电压，从而提高除尘效率，并可去除95%以上的SO₃，同时扩大对煤种的适应性。由于排烟温度降低，进入电除尘器的烟气量减少，粉尘比电阻降低，除尘效率相应提高。低低温电除尘器实现了尾部烟气余热利用和除尘效率提高的双重目的。

低低温电除尘器的除尘效率高，还能够回收利用烟气余热，节约湿法脱硫步骤的系统耗水量。但随着粉尘比电阻下降，粉尘的附着力降低，二次扬尘加剧；且必须要对电除尘的结构和清灰方式等重新进行设计安装，设备建造及维护成本较高。

3.5 移动电极除尘器

移动电极（旋转电极）除尘器是一种新型的静电除尘技术，该除尘器的工作原理与传统的静电除尘器相同，仍然是依靠静电力来收集粉尘。移动电极电除尘器技术是常规电除尘器技术的一个技术革新，一方面移动电极电除尘器采用旋转清灰刷技术能够保证极板干净清洁，从而防止反电晕的发生，另一方面移动电极电除尘器技术将清灰系统设置在电场下部，当旋转极板运动到下部非收尘区后通过清灰刷清灰，能够彻底消除二次扬尘。该除尘器末级电场的阳极板为可旋转的形式，清灰方式为旋转刷清灰。当末级阳极板旋转到电场下端的灰斗时，清灰刷在远离气流的位置把板面的粉尘刷除，达到比传统静电除尘器更好的清灰效果。移动电极电除

尘器技术大大提高了电除尘器综合效率,降低了实现超低排放的难度,为电除尘器技术的发展开辟了新的道路。

移动电极除尘器在运行时,回转阳极板上的粉尘在达到形成反电晕的厚度之前,就被旋转清灰刷彻底刷除,因此消除了反电晕现象,在很大程度上减少了二次扬尘的产生,因此移动电极除尘器的除尘效率很高,粉尘排放浓度可达 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。但移动电极除尘器对煤种波动的适应性差,无法有效捕集微细粒子;且结构复杂,运转部件多,要求的安装精度高,运行维护的费用高、难度大。

3.6 湿式电除尘器

湿式电除尘器的收尘机理与干式电除尘器完全相同,区别在于清灰方式不同。干式电除尘器为振打清灰,湿式电除尘器则是靠液体冲刷集尘极、放电极来清灰。湿式电除尘器在运行时,由于水雾的喷入,粉尘被凝固、增湿,在电场中水雾和粉尘一起荷电并被电极收集。

湿式电除尘器依靠液体冲洗集尘极和放电极来清灰,避免了二次扬尘的产生。湿式电除尘器的除尘效率与粉尘特性无关,能有效收集黏性大及高比电阻粉尘,对高湿高温烟气也同样适用;而且电场中无转动部件,运行稳定、可靠;同时湿式电除尘器对 $\text{PM}_{2.5}$ 、重金属以及硫化物都有很高的脱除效率。但该设备初期投资费用高,运行费用高,耗水量大且污水不易处理,在高粉尘浓度的排放情景下,不宜采用湿式电除尘器。

4 排放物控制技术

湿法脱硫是火力发电厂常用的排出气体脱硫技术。法脱硫大致可以分为抛弃法和石膏法两种。

抛弃法是指以石灰石或石灰的浆液作脱硫剂,在吸收塔内对二氧化硫烟气喷淋洗涤,使烟气中的二氧化硫反应生成 CaSO_3 和 CaSO_4 。石灰石/石灰抛弃法的主要装置由脱硫剂的制备装置、吸收塔和脱硫后废弃物处理装置组成。洗涤塔主要有固定填充式、转盘式、湍流塔、文丘里洗涤塔和道尔型洗涤塔等,它们各有优缺点,脱硫效率高的往往操作的可靠性最差。该方法在过程中会遇到结垢与堵塞等问题,脱硫后固体废弃物的处理也是石灰石/石灰抛弃法的一个很大的问题,主要有回填法和不可渗透的存储法,都需要占用很大的土地面积。由于以上的缺点,石灰石/石灰抛弃法已被石灰石/石膏法所取代^[4]。

石灰石/石膏法与抛弃法的区别在于向吸收塔的浆液中鼓入空气,强制使 CaSO_3 都氧化为 CaSO_4 (石膏),脱硫的副产品为石膏。同时鼓入空气产生了更为均匀的浆液,以达到更高的脱硫率,并且易于控制结垢与堵塞。由于石灰石价格便宜,并易于运输与保存,在当今国内外选择火电厂烟气脱硫设备时,石灰石/石膏强制氧化系统成为优先选择的

湿法烟气脱硫工艺。石灰石/石膏法适用的煤种范围广、脱硫效率高、吸收剂利用率高、设备运转率高、脱硫剂—石灰石来源丰富且廉价。但石灰石/石膏法的初期投资费用太高、运行费用高、占地面积大、系统管理操作复杂、磨损腐蚀现象较为严重、副产物石膏堆积、废水较难处理。

氮氧化物控制也是实现烟尘排放控制的一大要求。目前有复合式空气分级低氮氧化物燃烧技术,用以实现锅炉低氮燃烧。该方法可有效控制炉内燃烧过程中 NO_x 的生成;同时优化主燃烧器区域的风门结构,确保低负荷和满负荷时主燃烧器区域的过量空气系数在同一水平,从而有效控制低负荷的 NO_x 的排放。

5 改进和总结

由于现有火力发电厂的除尘器设备在设计时污染物的排放标准较低,单一的除尘器已无法满足新的排放标准要求。因此,实现火力发电厂烟尘排放控制,必须优化现有除尘器设备。对于普通发电厂,可将原静电除尘器或布袋除尘器改为电袋复合除尘器。电袋复合除尘器相对而言除尘效率更高、经济效益更大,且静电除尘器或布袋除尘器改造为电袋除尘器的工程量较小,改造费用较低。对燃煤质量较好的电厂,可将原电除尘器改为低低温+移动电极式除尘器;对燃煤质量较好且灰水处理设备完善的电厂,可将原有除尘器改为低低温+湿式电除尘器。这两种技术复用可以弥补彼此不足,且改造工程量小,投资少。

对于烟道末端烟气处理,可对原吸收塔改造,增加喷淋层容积、增大高度;或采用双吸收塔联合处理方案,增加辅塔与原设备串联,实现二级处理。对于氮氧化物处理,可采取低氮燃烧+SCR脱硫技术路线结合,实现锅炉稳定工况下高效率脱硝。

6 结语

通过加大力度对燃煤火力发电厂烟尘排放进行控制,多种装置辅助运行,避免高能耗、高污染的发展模式,对于改善大气环境质量,提升人民生活环境具有重大意义。

参考文献

- [1] 田鑫,胡清,孙少鹏,等.燃煤火力发电厂控制烟尘排放技术的研究[J].环境工程,2015,33(7):81-84.
- [2] 董绍聪.燃煤火力发电厂控制烟尘排放技术的研究[J].智慧城市,2017,3(11):150.
- [3] 刘生璐.燃煤火力发电厂除灰脱硫设备优化措施研究[J].设备管理与维修,2022(6):24-25.
- [4] 乔加飞,周洪光.“近零排放”技术路线探索[J].环境影响评价,2015,37(4):1-4.