DOI: 10.3969/j.issn.1006 - 4729.2013.04.011

燃煤电厂除尘设备除尘性能的分析与比较

曹辰雨，李 贞，任建兴，李芳芹，吴 江

(上海电力学院 能源与机械工程学院，上海 200090)

摘 要: 通过对静电除尘器、布袋除尘器、电袋复合除尘器的特点、适用范围、存在问题和经济性等指标的分析比较，认为电袋复合除尘技术在微细粒子捕集效率及经济性方面具有较为明显的优势.

关键词: 燃煤电厂; 静电除尘器; 布袋除尘器; 电袋复合式除尘器

中图分类号: X701.2; X773 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006 - 4729(2013)04 - 0351 - 04

Analysis and Comparison of Dust Removal Performance of Coal-Fired Power Plant Dust Removal Equipment

CAO Chenyu, LI Zhen, REN Jianxing, LI Fangqin, WU Jiang

(*School of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai* 200090, *China*)

Abstract: Based on comparative analysis of the characteristics, scope of application, existing problems and economical efficiency indicators of electrostatic precipitator, bag filter and electric-bag composite dust-collector, it is shown that the electric-bag composite dust-collector has obvious advantages in the collection efficiency of granule and the economic aspect.

Key words: coal-fired power plant; electrostatic precipitator; bag filter; electric-bag composite dust-collector

我国烟尘排放总量每年为 1.416×10^7 t，其中工业粉尘排放量每年为 6.17×10^6 t. 全国城市中总悬浮微粒的平均浓度为 108 ~ 815 $\mu g/m^3$，北方城市的平均浓度为 4 075 $\mu g/m^3$，南方城市的平均浓度为 2 515 $\mu g/m^3$ [1]. 随着《火电厂大气污染物排放标准》GB 13223—2011 版新标准的颁布实施，火电厂燃煤锅炉机组粉尘排放浓度将提高到 30 mg/m^3 [2]. 国家环保局也首次将 PM2.5 的检测值列入大气监测数据. PM2.5 是指大气中直径小于或等于 2.5 μm 的颗粒物，也称为可入肺颗粒物. 其直径不到人的头发丝粗细的 1/20. 虽然 PM2.5 只是地球大气成分中含量很少的组分，但它对空气质量和能见度等有重要的影响. PM2.5 主要来源于煤的高温燃烧，是烟气中毒害性最大的成分，能吸附多种有毒物质并通过呼吸道直达肺部，甚至进入血液系统，导致心血管病等疾病的产生. 因此，采用效率高、排放浓度低、适应性强的新型除尘设备是燃煤电厂的必然选择.

收稿日期: 2012 - 07 - 09

通讯作者简介: 曹辰雨(1988 -)，男，在读硕士，河北邯郸人. 主要研究方向为火电厂节能与污染物控制. E-mail: chenyu19880208@126.com.

基金项目: 上海市教育委员会重点学科(J51304); 上海市教育委员会第 3 期本科教育高地建设.

1 燃煤电厂的除尘技术

燃煤电厂排放的颗粒物约占我国排放颗粒物总量的 30%，约占燃煤排放颗粒物总量的 40%[3]，其粒径一般介于 1～100 μm，主要由 SiO_2 和 $A1_2O_3$ 构成的玻璃体组成[4]。

由于微粒的直径过于细小，所以对电厂除尘设备要求较高。静电除尘器、布袋除尘器、电袋复合式除尘器是针对电厂粉尘控制要求所研制的除尘设备。

在现阶段，静电除尘器是我国燃煤电厂的主要除尘设备，然而随着国家新排放标准的颁布和人们环保意识的增强，静电除尘技术已经不能满足对微小颗粒的排放控制的要求，很多电厂开始采用布袋除尘器，将排放出的颗粒粒径控制在 PM10 以内。

1.1 静电除尘技术

静电除尘器的工作原理是：含有粉尘的烟气流经除尘器内部高压电场时，由于阴极发生电晕放电，气体被电离，此时带负电的气体离子与粉尘颗粒相撞，粉尘获得离子而荷电，荷电粒子在电场力的作用下，向集尘级移动并吸附在集尘极上，然后再通过机械振打或水洗方式，使粉尘脱离集尘极[5]。静电除尘器的结构如图 1 所示。

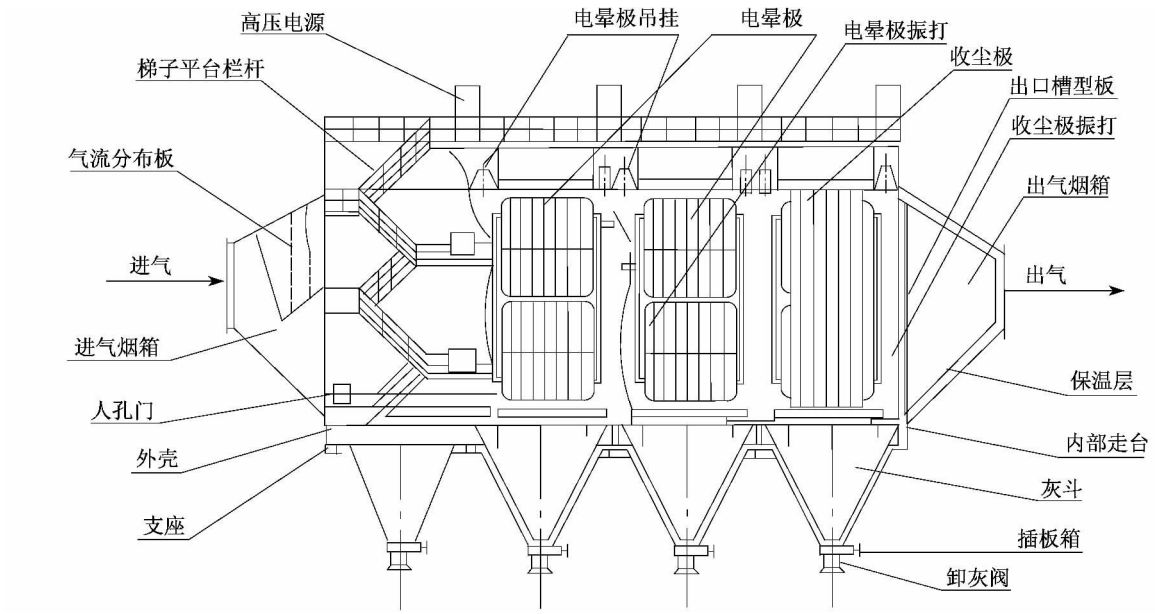


图 1 静电除尘器结构示意

与其他除尘设备相比，静电除尘器的耗能少，除尘效率高，适用于除去烟气中 0.01～50 μm 的粉尘，而且可用于烟气温度高、压力大的场合。实践表明，处理的烟气量越大，使用静电除尘器就越经济。静电除尘器设计除尘效率在 99.5% 以上，但在运行过程中自身存在着一定的局限性。

粉尘荷电是电除尘的关键步骤，电晕电场中存在两种荷电机理：一是静电力使离子做定向运动，粒子碰撞离子荷电，称为电场荷电；二是由离子的扩散引起粒子荷电，称为扩散荷电，该过程取决于离子的热能。粒径决定粒子的主要荷电过程，粒径大于 0.5 μm 的微粒，以电场荷电为主；粒径小于 0.15 μm 的微粒，以扩散荷电为主；粒径介于 0.15～0.5 μm 的粒子，则需要同时考虑这两种过程[6]；粒径在 1 μm 左右的颗粒处于电场荷电和扩散荷电混合区，荷电能力差。研究表明，静电除尘器对粒径在 0.1～3.0 μm 的粉尘脱除率较低，其中粒径为 0.1～1.0 μm 粉尘的脱除率最低[7]，通常低于 85%。收尘后的气体含尘量一般在 30～50 mg/m^3，若要进一步降低含尘量，则要增大除尘器的体积，投资成本较高。此外，静电除尘器的除尘效率受诸多因素（如电极结构和形状、烟气流速、飞灰特性等）影响，波动较大；对煤种的变化敏感，设计驱进速度命中率低；粉尘电阻比过小易造成二次扬尘，而粉尘电阻比过大则会产生反电晕现象，导致除尘效率迅速下降。

1.2 布袋除尘技术

布袋除尘技术的工作原理是: 尘粒在绕过滤布纤维时因惯性力作用与纤维碰撞、摩擦而被拦截,细微的尘粒(粒径为 1 μm 或更小)则受气体分子冲击(布朗运动)不断改变运动方向,由于纤维间的空隙小于气体分子布朗运动的自由路径,尘粒便与纤维碰撞接触而被分离出来. 其工作过程与布袋材料、编织方法、纤维的密度及粉尘的扩散、惯性、质量和静电特性等因素及清灰方式有关[8]. 布袋除尘器的结构如图 2 所示.

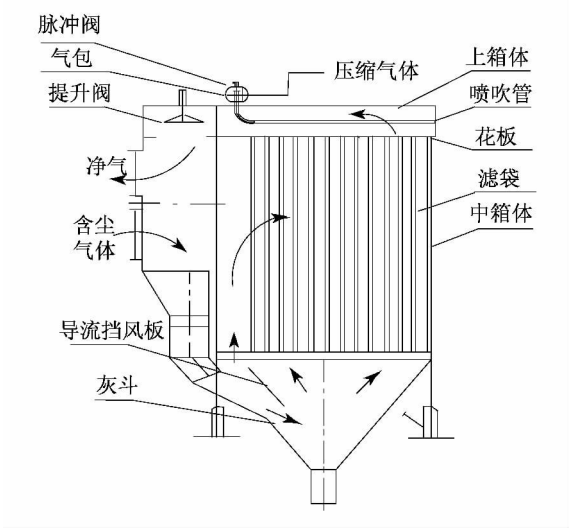


图 2 布袋除尘器结构示意

袋式除尘器能更有效地捕集微细粒尘,尤其对 0.1 ~ 1 μm 的烟尘捕集效果好,除尘效率可达 99.99% 以上.

若同时采取辅助措施,如采用覆膜滤料等,能有效提高 PM2.5 的脱除率,并协同脱除 As,Se,Hg 等重金属、硫氧化物和氮氧化物. 目前布袋除尘技术越来越受到国内外燃煤电厂的青睐.

在实际运行中,布袋除尘技术自身也存在一定的缺陷: 布袋除尘器对气体的湿度有一定的要求,在收集湿度高的含尘气体时,需要采取保湿措施,以免因结露而造成“糊袋”; 对于不同类型的气体,需选用相应类型的布袋,且需要经常更换布袋,布袋消耗量较大; 对于高温气体,必须采取降温措施; 阻力较大,一般压力损失为 1 000 ~ 1 500 Pa,接收粒径大的含尘气体时,布袋较易磨损.

1.3 电袋复合除尘技术

电袋复合除尘技术的工作原理是: 含尘烟气经进口喇叭内气流分布板的作用,均匀地进入收尘电场,大部分粉尘在电场中荷电,并在电场力作用下向收尘极沉积. 当有规律地振打收尘极时,被收集的粉尘从极板上脱落并落入下部灰斗. 含有少量粉尘的烟气少部分通过多孔板进入袋收尘区,而大部分烟气折向下部,然后由下而上地进入袋收尘区. 当含尘烟气通过滤袋(外滤式)时,粉尘被阻留在滤袋表面,纯净烟气从滤袋内腔进入上部的净气室,再经提升阀进入烟道排出[9]. 电袋复合除尘器结构如图 3 所示.

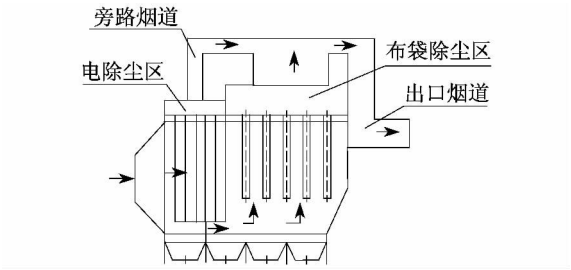


图 3 电袋复合除尘器结构示意

电袋复合除尘器的主要特点有以下 4 个方面.

(1) 技术安全可靠,机理科学,除尘效率高. 常规静电除尘器除去烟气中 80% ~ 90% 的粉尘通常只需要一级电场即可实现,其他电场仅用来除去剩余 10% ~ 20% 的粉尘. 电袋复合式除尘器充分利用了静电除尘器的这一特点,只利用第一电场,剩下的细微粉尘的清除由布袋除尘单元完成,这样就发挥了布袋除尘器对超细粉尘去除率高的特点. 同时,电袋复合式除尘器利用静电除尘、布袋除尘两种成熟的除尘技术,除尘效率可达 99.9% 以上,使烟尘排放质量浓度降至 50 mg/m^3,甚至 30 mg/m^3 以下[10]. 如单独使用布袋除尘器,PM2.5 的分级效率为88.92%,而使用电袋复合除尘器,PM2.5 的分级效率为 98.46%,增加了 10% 左右,这说明电袋复合除尘器在 PM2.5 的脱除方面有着较为明显的优势[11].

(2) 不受粉尘特性的影响,适应性强. 常规静电除尘器的除尘效率受煤种、锅炉负荷和工况、粉尘电阻比等诸多因素的影响,造成运行稳定性差甚至不能正常工作. 而这种联合式除尘技术发挥

了布袋除尘器煤种适应范围广、受锅炉负荷变化及烟气波动量影响小、不受粉尘电阻比影响的优点,使整体除尘效率更加稳定可靠[12].

(3) 阻力低,压降小,滤袋寿命长[13]. 利用电除尘系统,电袋复合式除尘器可以除去 80% ~ 90% 的大颗粒粉尘,减轻了主要成分为 SiO_2 和 $A1_2O_3$ 的粉尘对布袋的冲刷和磨损; 去除 80% ~ 90% 的大颗粒粉尘后,大大减轻了后级布袋除尘系统的"负担",延长了布袋除尘系统的清灰周期,降低了布袋除尘系统的运行阻力,减少了因清灰对布袋的"损害",延长了滤袋的使用寿命.

(4) 占地空间小,投资和运行费用低. 如果单独使用静电除尘器除尘,要使烟气排放质量浓度达到新的国家排放标准,就需要增加占地,占地空间的增大势必会增加初投资,而电袋复合除尘器可以在相对较小的空间里达到人们所期望的除尘效果.

综上所述,静电除尘器对 0.1 ~ 1.0 μm 粉尘的脱除率最低,而布袋除尘器对此范围内的粉尘颗粒脱除率较高,弥补了静电除尘器对不同直径粉尘颗粒脱除效果不同的缺陷. 而电袋复合除尘器具备了静电除尘器与布袋除尘器对不同直径范围粉尘颗粒脱除效果的优势,其脱除效率可达 99.9% 以上,很好地满足了燃煤电厂粉尘排放的要求. 在实际运行中,静电除尘器对粉尘性质较为敏感,而燃煤电厂所使用的煤,其成分含量不可能一成不变,这就可能对静电除尘器的脱除效率产生较为明显的影响. 而布袋除尘器与电袋复合除尘器对粉尘的适应能力要明显强于静电除尘器.

2 除尘设备的技术经济指标比较

3 种除尘方式的技术经济指标比较如表 1 所示[9].

表 1 不同除尘方式的技术经济指标比较

设备名称	设备质量 (估算) /t	设备投资 (估算) /万元	电耗 /kW
电除尘器	453	476	378
袋除尘器	278	490	315
电袋复合除尘器	293	436	240

设备名称	维护费用 /万元·年$^{-1}$	占地面积 / m^2	操作水平
电除尘器	少	23.21 × 12.2	较难
袋除尘器	56.2	17.5 × 10.5	容易
电袋复合除尘器	28.5	17.18 × 10.5	容易

由表 1 可知,对于同一台机组,要达到烟尘排放要求,使用布袋除尘器与电袋复合除尘器占地面积要小于静电除尘器; 在初投资方面,电袋复合除尘器最少,静电除尘器介于两者之间. 然而在实际运行中,静电除尘器耗能最大,电袋复合除尘器的耗能要远小于其他两类除尘设备. 因为要定期检修换袋,布袋除尘器的后期维护费用较其他两类除尘设备要高,因此采用高效、耐用、经济的布袋材料是降低布袋除尘器运行维护成本的关键.

3 结 论

(1) 电袋复合除尘器结合了两种除尘器的优点,能有效提高对微细粒子的捕集效率,除尘效率可达 99.9% 以上. 对 PM2.5 的脱除效果最佳.

(2) 电除尘操作要求高,如果操作不当会导致除尘效率明显下降. 布袋除尘器和电袋复合除尘器操作相对容易,然而在后期维护中布袋除尘器的维护较困难,电袋复合除尘器可在相对较长的工作周期中稳定运行.

(3) 电袋复合除尘器初期投资少,占地规模小,电耗少,每年的维护费用较低,可成为今后燃煤电厂除尘技术的发展趋势.

参考文献:

[1] 郝吉明. 大气污染控制工程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1989: 296-332.

[2] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局. GB13223—2011 火电厂大气污染物排放标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社,2011.

[3] 易江,高小晋,胡伟,等. 燃煤电厂锅炉排放颗粒物浓度的连续测定 [J]. 中国环境检测,1997,13(1): 27-30.

[4] 李方文,吴小爱,马淞江,等. 燃煤火电厂粉尘的危害及防治 [J]. 能源环境保护,2005,18(1): 19-21.

[5] 傅兴元. 燃煤电厂除尘技术探讨 [J]. 北方环境,2012,24(3): 15.

[6] 王凤鸣. 静电除尘器荷电粒子在电场中运动方式研究 [D]. 河北: 河北大学,2006.

[7] ALTMANR, OFFENG, BUCKLEYW, *et al*. Wetelectro-staticprecipitation: demonstration promise for fine particulate control-parati [J]. Journal of Power Engineering,2001(1): 37-39.

[8] 闫现芳. 浅谈布袋除尘器的应用 [J]. 能源与节能,2011,16(5): 71-72.

[9] 林宏. 电袋复合除尘器的开发与应用 [J]. 水泥,2005,32(2): 37-40.

(下转第 373 页)

可以选取厌氧反应时间为 7.9 h 和好氧反应时间为 24 h 作为最佳运行工况.

3 结 论

(1) 采用厌氧水解-好氧接触氧化工艺处理印染废水,COD 和色度去除率分别为 94% 和 96%,达到《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—1992) 一级排放标准的要求;

(2) 通过不同统计分析方法得知,进水 COD 浓度对 COD 的去除率有显著影响,好氧池水力停留时间是影响色度去除的主要因素;

(3) 通过比较分析可以得到厌氧水解-生物接触氧化处理模拟印染废水的最佳运行工况为: 厌氧反应时间为 7.9 h; 好氧反应时间为 24 h.

参考文献:

[1] 叶瑞,张发宇,杜海明,等. 正交实验法优化粉煤灰处理生活污水的实验条件初探[J]. 安徽农业科学,2009,37(7): 3 188-3 189.

[2] 湛禹,吴俊奇,马龙友,等. 水处理实验数据处理方法的综合应用研究[J]. 北京建筑工程学院学报,2011,27(3): 23-26.

[3] 印德中. Excel 在方差分析中的应用[J]. 中国现代教育装备,2011(17): 23-25.

[4] 卢江涛,周笑绿. 厌氧水解-好氧-吸附工艺处理印染废水[J]. 工业水处理,2009,29(11): 25-27.

(编辑 吴寿林)

(上接第 354 页)

[10] 邵华. 电袋复合除尘器去除 PM 的基础实验研究[D]. 北京: 北京工业大学,2009.

[11] 张玉翠,张魁峰,王丽丽,等. 电袋复合除尘器的应用研究[J]. 工业安全与环保,2009,35(6): 19-20.

[12] 周忠鲲. 电袋复合除尘器在火力发电厂的应用及推广[J]. 科技信息,2010,27(19): 387.

[13] 王勇,董雪峰,江得厚,等. 电袋除尘器在大型火电机组的应用[J]. 华电技术,2009,31(7): 73-75.

(编辑 胡小萍)