

## 试验研究

## 新型电-袋除尘器放电特性研究

王 瑛

(煤科集团杭州环保研究院有限公司,浙江 杭州 311201)

**摘要:**在烟气粉尘控制中,电除尘器和袋式除尘器各有特点,而新型电-袋除尘器——静电激发袋式除尘器结合了上述两种除尘器的技术优势,利用电场凝并作用,不仅提高了对微细粉尘的除尘效率,还降低了除尘器的运行阻力,延长滤袋使用寿命。通过构建小型静电激发袋式除尘装置,讨论粉尘厚度、气体流量、放电间距以及电晕线曲率半径等不同放电参数对静电激发袋式除尘放电特性的影响,从而确定最佳荷电参数。

**关键词:**静电激发袋式除尘器;放电特性;电晕放电;伏安特性曲线

中图分类号:X701

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2018)02-0021-05

## EXPERIMENTAL STUDY ON ELECTRIC FIELD CHARACTERISTICS OF ELECTROSTATIC STIMULATION FABRIC FILTRATION

WANG Ying

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

**Abstract:** Electrostatic precipitation (ESP) and fabric filter are used in collecting flue gas dust, which have their own characteristics. Electrostatic stimulation fabric filtration combines the technical advantages of both ESP and fabric filter, and takes advantages of the coagulation effect of electric field, which not only raises the efficiency for fine particle, but also reduces precipitation running resistance and extends the working life of filter bag. In this paper, a small electrostatic stimulation fabric filtration was constructed to investigate the influence of different discharge parameters such as dust thickness, gas flow rate, discharge distance and corona curvature radius, so as to determine the best discharge parameters.

**Key words:** Electrostatic stimulation fabric filtration; Electric field characteristic; Corona discharge; Current-voltage characteristics curve.

随着经济的高速发展以及工业化进程的加快,大气中气态污染物不断增加,随之产生的二次污染物增多,我国大中城市各类灰霾事件频发,对人类的生产生活造成了严重的影响,尤其是烟尘中的可吸入颗粒物(PM10和PM2.5)对人体健康造成了极大伤害<sup>[1]</sup>。为此,国家不断提高工业粉尘排放标准。自2014年7月1日起,现有火电厂锅炉烟尘排放浓度小于 $30\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,重点地区小于

$20\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,燃煤电厂除尘技术面临新的挑战。

目前大型燃煤电厂多采用高压静电除尘器,静电除尘器除尘效率总体较高,但对微细粉尘(PM2.5)脱除效率不足,且易受烟温、烟气流速、飞灰特性等诸多因素的影响,难以达到更高要求的排放标准<sup>[2,3]</sup>。与静电除尘相比,袋式除尘器不受粉尘浓度、粉尘比电阻、粉尘粒径等因素的影响,使其对于捕集微细粉尘表现出更高的效率,但也存在运行阻力大、滤料磨损严重等局限<sup>[4,5]</sup>。因此,开

发高效节能的新型烟尘处理设备已迫在眉睫。

静电激发袋式除尘器是结合使用了布袋除尘器和静电除尘器的除尘机理,当粉尘经过电场区时会被荷电,荷电粉尘沉积在滤袋表面时,形成排列疏松、有序、透明性良好的粉尘层,表现出小颗粒“电凝并”成大颗粒的现象,这不仅极大地降低了运行阻力,同时也提高了微细粉尘的除尘效率<sup>[6,7]</sup>。

本研究通过构建小型静电激发袋式除尘装置,讨论粉尘厚度、气体流量、放电间距以及电晕线曲率半径等不同放电参数对静电激发袋式除尘放电特性的影响,从而确定最佳的荷电参数,为后续静电激发袋式除尘器的发展和工业应用提供理论支撑。

## 1 理论基础

静电激发袋式除尘技术是一种新型的基于静电激发除尘技术与脉冲袋除尘技术耦合的一体化电袋除尘器,使用负极性高压电极电晕放电使微细粉尘荷带相同电荷,以新型抗电击滤袋代替收尘极板,一体化技术体现于在同一空间中交织叠加了双极激发电除尘和袋过滤过程,从而在PM<sub>2.5</sub>等微细粉尘的去除上具有突出优势,将成为寻求更高除尘效率的重要途径<sup>[8]</sup>。静电激发袋式除尘器结构如图1所示。

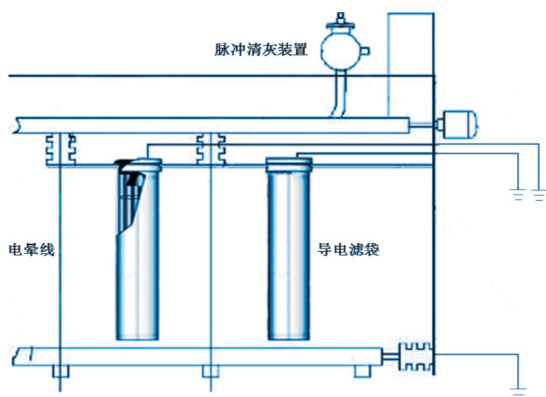


图1 静电激发袋式除尘器结构示意图

静电激发袋式除尘器是不同于典型的电袋复合的一种新型除尘器。它是使用高压电极放电使粉尘颗粒荷电,特种导电滤料作为收尘极并兼具滤袋功能<sup>[9]</sup>。除尘器滤尘区同时布置有电晕线和滤袋,其布置方式为每相邻的四个滤袋正中心布置一根电晕线,电晕线与滤袋长度方向平行,作为高

压电极<sup>[10]</sup>;滤袋具有导电性并可可靠接地,在过滤同时具有极板功能。含尘气体进入静电激发袋除尘器内部,粉尘在电晕线的高压放电作用下荷电。当荷电粉尘随气流接近滤袋表面时,被滤袋表面网捕后不断聚集,因荷电在滤袋表面形成多孔状的粉尘层,有效降低了过滤阻力<sup>[11]</sup>;在电场力的作用下,微细粉尘产生凝并,颗粒粒径增大,使微细的粉尘不易进入滤料内部或穿透滤料,而在滤料表面形成了粉饼。后续的荷电粉尘会以已经沉积在滤料表面的粉尘为载体进行再沉积,形成松散多孔状的粉尘层,气流阻力明显变小,降低除尘能耗<sup>[12]</sup>。

## 2 实验装置

放电实验系统主要由小型静电激发袋式除尘器和自制动态过滤实验装置组成,如图2所示。

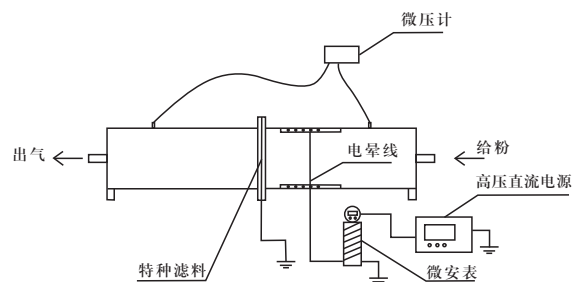


图2 实验装置

其中,自制动态过滤实验装置主体部分设计为直筒式过滤器,过滤器中间位置安装最新研发的特种滤料(碳纤维复合滤料),滤料与大地连通,过滤器的进粉段安装可移动式圆柱型电晕线,电晕线连接直流高压电源,直流高压电源与电晕线之间安装数字式微安表,用以测量高压放电过程中产生的电场电流,直流高压电源和微安表均与大地连通。

## 3 结果与讨论

### 3.1 粉尘厚度的影响

在实验温度 25 ℃、相对湿度 58 %、放电间距 30 mm、电晕线曲率半径为 1 mm 的放电情况下,分别调节小型动态过滤装置的粉尘厚度 0 mm、0.5 mm、1.5 mm,研究粉尘厚度对静电激发袋式除尘器伏安特性的影响。实验中接通高压直流电源,逐渐提高放电电压,直到发生电场击穿,记录高压放电过程中产生的电场电流。其结果如图3所示。

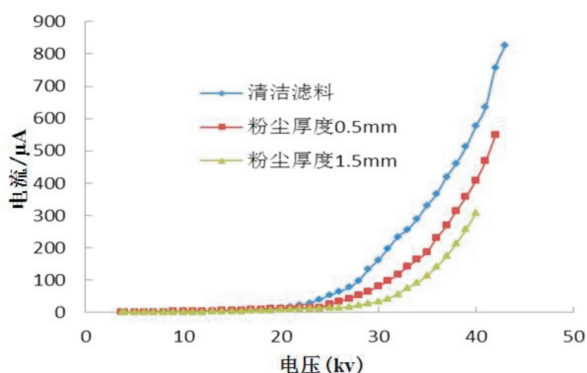


图 3 不同粉尘厚度下伏安特性曲线

由图 3 可以看出粉尘厚度的增加会导致小型动态过滤装置的伏安特性发生改变,随着粉尘厚度的增加,相同电压下的电场电流减弱,放电区间变窄,击穿电压会降低,静电激发状态会受到抑制。粉尘层的增加导致滤袋表面高比电阻介质层增厚,阻碍了电子雪崩从阴极线向阳极滤袋的运动过程,导致电场电流的降低。

不同粉尘厚度对放电功率的影响曲线如图 4 所示。

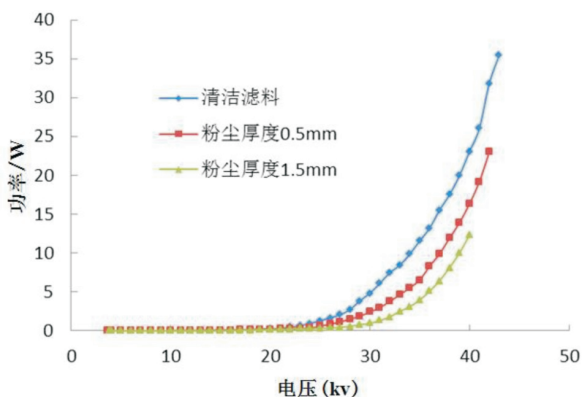


图 4 不同粉尘厚度下放电功率曲线

由图 4 可知,粉尘厚度的增加会导致放电功率的减弱,相同放电电压下的放电功率减小。

### 3.2 气体流量的影响

在实验温度 25 ℃、相对湿度 58 %、放电间距 30 mm、电晕线曲率半径为 1 mm 的放电环境下,分别调节装置过滤风速  $v$  为  $0 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $1.0 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  和  $1.5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,以控制气体流量,研究过滤速度对静电激发袋式除尘装置伏安特性的影响。静电激发袋式除尘装置伏安特性随过滤速度的变化规律如图 5 所示。

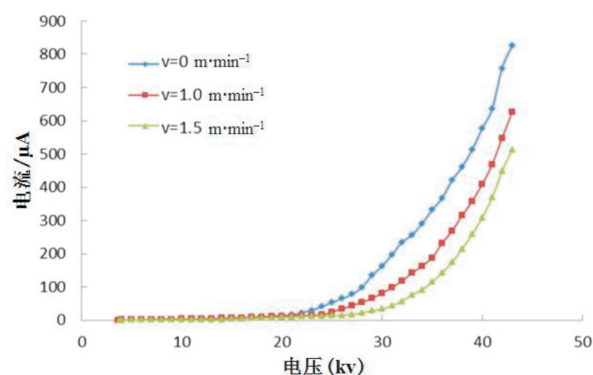


图 5 不同过滤速度下伏安特性曲线

由图 5 可知,在三种不同的过滤风速下,装置的电场特性与静态条件下相比发生较大变化,主要表现为电场电流的增长幅度随过滤速度的增大而降低,放电区间并无明显改变,击穿电压较为接近。过滤速度的增大导致静电激发过程中电子雪崩的形成受到影响,自由电子的聚集和定向迁移受到干扰,削弱了电场电流的形成过程,气体流速越大,这种影响越剧烈,导致电场电流的减弱。

不同过滤风速对放电功率的影响曲线如图 6 所示。

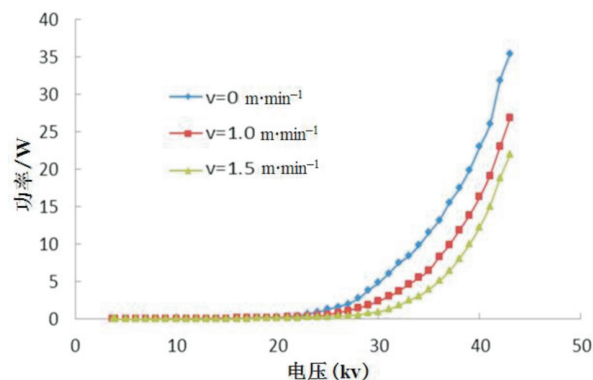


图 6 不同过滤速度下放电功率曲线

图 6 可以看出,随着过滤速度的增大,放电功率区间没有太大变化,但相同电压下的放电功率减小。主要是过滤速度的增大导致过滤装置中的电流扰动加剧,电子崩的形成过程被削弱,导致电荷不能有效的定向移动,放电功率因而下降。

### 3.3 放电间距的影响

在实验温度 25 ℃、相对湿度 58 %、电晕线曲率半径 1 mm、气体流量  $35 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  的放电条件下,分别调整小型动态过滤装置的放电间距分别为 30 mm、40 mm、50 mm、60 mm,研究放电间距对静

电激发袋式除尘装置伏安特性的影响。静电激发袋式除尘装置伏安特性随放电间距的变化规律如图 7 所示。

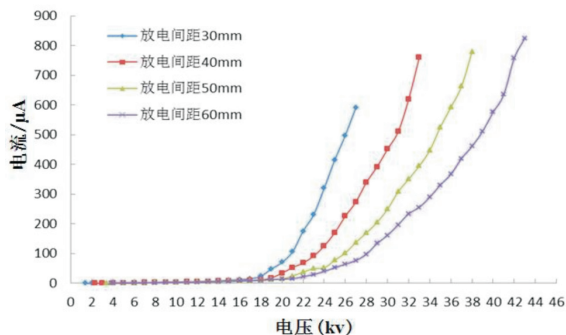


图 7 不同放电间距下伏安特性曲线

由图 7 可以看出,随着线筒间距  $L$  的增加,线筒放电区间逐渐拓宽,电场击穿电压增加。这是因为根据巴申定律,电场的击穿电压是放电间距的函数,因此放电间距  $L$  增加时,电场击穿电压也随之增加。由放电曲线可知,线筒放电电流开始是以线性增长,当放电电压达到临界值时,放电电流随之激增,呈现指数性增长。根据汤生放电理论<sup>[13]</sup>,图 7 所示放电过程直接由起晕进入自持放电过程,没有经历放电理论中所述的  $\beta$  放电过程,即直接由  $\alpha$  过程进入  $\gamma$  过程,这是因为  $\beta$  过程中正离子碰撞能获得所需能量的几率较小。

不同放电间距对放电功率影响曲线如图 8 所示。

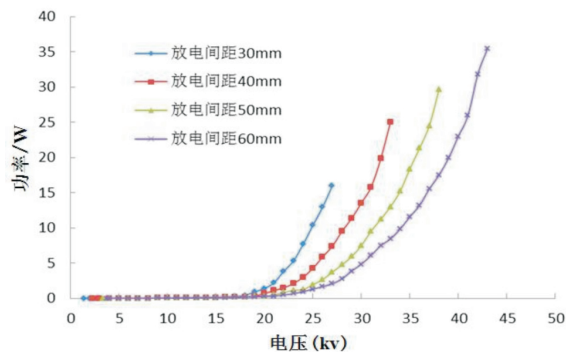


图 8 不同放电间距下放电功率曲线

由图 8 可知,随着放电间距的增加,放电功率区间拓宽,最大放电功率也随之增加。这是因为放电间距的增加,电场击穿电压升高,使得电场场强也增加,单位空间内电晕产生的电子浓度增加。但在相同电压下放电功率有所下降,这是因为线筒间距的增加,电子流注距离增加,二次电离效应被

弱化,产生的放电电流变小。

### 3.3 电晕线曲率半径的影响

在实验温度  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度  $58\%$ ,放电间距  $30\text{ mm}$ ,气体流量为  $35\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  的放电条件下,分别选取电晕线曲率半径  $r$  分别为  $1\text{ mm}$ 、 $0.5\text{ mm}$ 、 $0.25\text{ mm}$ ,研究电晕线曲率半径对静电激发袋式除尘装置伏安特性的影响。静电激发袋式除尘装置伏安特性随电晕线曲率半径的变化规律如图 9 所示。

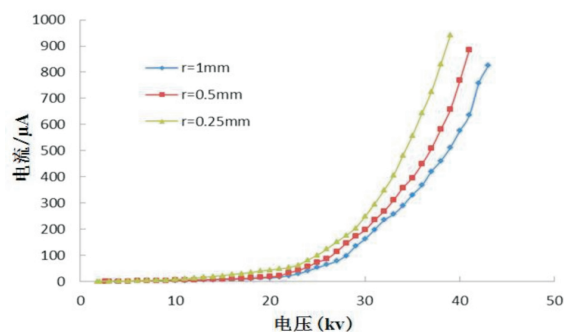


图 9 不同曲率半径下伏安特性曲线

由图 9 可知,随着电晕线曲率半径的增加,击穿电压增大,放电区间变大,但相同放电电压下的放电电流变小,击穿电压增幅较小。这是因为根据相似定律,击穿电压受曲率半径和放电间距的比值影响,由于实验中曲率半径变化幅度较小所得比值也较小,因此击穿电压有所增加但增幅较小。此外,曲率半径增加意味着曲率变小,相同放电电压下电晕线表面的荷电密度变小,导致放电电流变小。

不同电晕线曲率半径对电功率的影响曲线如图 10 所示。

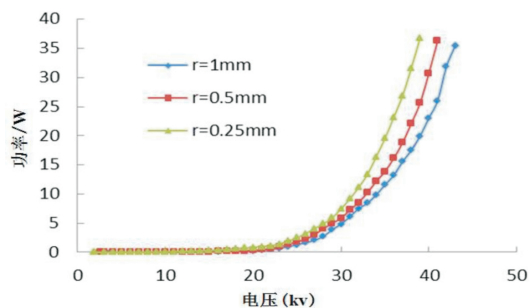


图 10 不同曲率半径下放电功率曲线

由图 10 可以看出,随着电晕线曲率半径的增加,放电区间拓宽,相同放电电压下的放电功率变小,但变化幅度不大。这是因为曲率半径增加意味着曲率变小,荷电密度降低,电子雪崩过程弱化,

放电功率变小。

#### 4 结论

本实验通过建立小型静电激发袋式除尘器,在现有静电激发袋式除尘理论基础,重点研究了静电激发袋式除尘器的放电特性,所得结论如下:

(1) 气体流量和滤袋表面粉尘层厚度对静电激发袋式除尘器的电场特性具有较大的影响。气体流量的增大、粉尘层厚度的增加均会导致静电激发袋式除尘器电场电流的减小,使其能量损失增加,增大了除尘器的能耗。

(2) 随着放电间距的增大,静电激发袋式除尘器的电场击穿电压增加,最大放电功率同样随之增大;但在相同电压下,随着放电间距的增大,电子流注距离增大,二次电离效应被弱化,产生的放电电流变小,放电功率有所下降。

(3) 曲率半径对静电激发袋式除尘器的电场特性影响相对较小,随着曲率半径的增大,电场电流和电功率均出现小幅下降。

#### 参考文献

[1] 郝吉明,马广大,王书肖.大气污染控制工程[M].北京:高等教育出版社,2010.

- [2] 李芳波.超净电袋除尘技术的研究与应用[J].中国设备工程,2017,10:105-106.
- [3] 何永裕.火力发电厂电袋除尘技术的环保效益[J].资源节约与环保,2017,(3):9-11.
- [4] 唐亮,赵梦雪,郑苏忠.新型电袋复合除尘器改造关键技术及其应用[J].能源技术与管理,2017,6:21-24.
- [5] 赵毅,王佳男.电袋除尘器的发展与机理研究[J].中国环保产业,2017,6:58-62.
- [6] 王晓娟.袋式除尘器除尘特性的实验与数值研究[D].山东大学,2017.
- [7] 刘英.电袋复合除尘理论与实践研究[D].沈阳:东北大学,2015.
- [8] 戴日俊,李伟.电-袋复合除尘器捕集微细粒子的理论浅析[J].电力科技与环保,2014,27(2):22-24.
- [9] Sim K M, Park H, Bae G, et al. Antimicrobial nanoparticle-coated electrostatic air filter with high filtration efficiency and low pressure drop[J]. Science of The Total Environment, 2015, 533: 266-274.
- [10] Myers D, Dean A. Mechano-electret Filtration Media: Synergy of Structure and Electrostatic Charge [J]. Filtration & Separation, 2013, 40(5): 24-27.
- [11] Yan C, Liu G, Chen H. Effect of induced airflow on the surface static pressure of pleated fabric filter cartridges during pulse jet cleaning[J]. Powder Technology, 2013, 249: 424-430.
- [12] Ploeanu M C, Dascalescu L, Yahiaoui B, et al. Repartition of Electric Potential at the Surface of Nonwoven Fabrics for Air Filtration[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2012, 48 (3): 851-856.
- [13] 李加丰.等离子体发生及其空气净化技术[D].浙江大学,2017.

(上接第 31 页)

使用,想要利用湿电用水来解决灰水系统的碱性符合和钙镁离子结垢问题,需要进行充分的流量核算和 pH 控制,并且根据运行情况持续跟踪灰水系统中的氯离子富集情况。

#### 5 结语

在脱硫系统、湿式电除尘器一体化水平衡控制中,通过系统优化,将湿式电除尘器阳极板冲洗水 #6 管水源由工艺水改为循环水,吸收塔除雾器四层除雾器冲洗水水源改为湿式电除尘水系统处理后的澄清水,有效降低了电除尘极板和除雾器冲洗对清洁水的消耗量,实现了脱硫湿电一体化运行的水量控制和湿式电除尘器的废水零排放,改造后设备运行正常、系统控制高效,实现了系统设备的安全稳定运行。

#### 参考文献

- [1] GB13223-2011, 火电厂大气污染物排放标准[S].
- [2] 发改能源 [2014]2093 号, 煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020 年)[Z].
- [3] 环发[2015]164 号, 全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案[Z].
- [4] 郭永雄,张桂平,王东亚.WESP 安装关键质量控制点控制措施探讨[J].能源环境保护,2017,31(2):45-48.
- [5] 赵鹏,陈勇,蹇浪.湿式静电除尘器在火电厂中的应用探讨[J].能源与环境,2013(06):95-96.
- [6] 杨群发,张桂平,侯剑雄等.600MW 机组超净排放技术工程实践及系统优化[J].广东电力,2016,29(8):1-6.
- [7] 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].电力与能源,2013,34(5):493-496,499.
- [8] 赵琴霞,陈招妹,周超炯等.湿式电除尘技术及其在电厂的应用前景探讨[J].电力科技与环保,2012,8(4):14-26.
- [9] 刘鹤忠,陶秋根.湿式电除尘器在工程中的应用[J].发电设计,2012,3:43-47.