

文章编号:2095—0411(2015)02-0088-05

电场对粉尘凝并效应的实验研究^{*}

马若白,王凯全

(常州大学 环境与安全工程学院,江苏 常州 213164)

摘要:通过电凝并来增加微细粉尘的空气动力学粒径,是提高可吸入性粉尘扑集效率的有效手段之一。研发了利用重力沉降实验装置和偶极荷电凝并装置组成的系统,对粉尘未荷电状态下与荷电凝并状态下的重力沉降现象进行了对比实验,得到了不同状态下各取样点的显微镜图像和粒度分析数据。通过图像直观观察和对各取样点粒度分布数据的处理,得到了不同状态下各个粒径沿重力沉降测试段的质量分布百分比。经过未荷电、荷电电压 18 000、20 000 V 3 个状态下质量分布百分比的对比,直观地反映了偶极凝并装置的凝并效果。

关键词:偶极荷电;电凝并;可吸入性粉尘;重力沉降;沉降板

中图分类号:X 964

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.2095—0411.2015.02.019

Experimental Study on Effect of Electric Field on the Particle Coagulation

MA Ruo-bai, WANG Kai-quan

(School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: By electric coagulation and to increase the fine dust in aerodynamic diameter is an effective means to improve respirable dust collection. Research and development of the system by using gravity settling experiment device and dipolar charging and coagulation device composed of dust, no charged state and charging coagulation state under the gravity sedimentation phenomenon was carried on the contrast experiment, and the microscope image and particle size analysis data under different conditions of each sampling point were obtained. By visual observation of image and the processing of distribution of particle size at each sampling point, the quality distribution percentage under different conditions of each particle size along the gravity settling test section was obtained. Through the comparison of quality distribution percentage of no charged, the charge voltage of 18 000 V, and the charge voltage of 20 000 V state, the coagulation effect of dipolar coagulation device can be reflected directly.

Key words: dipolar charged; electric coagulation; respirable dust; gravity settlement; settlement plate

对于粒径小于 $15\mu\text{m}$ 的可吸入性粉尘^[1],除尘设备难以对其进行高效扑集^[2],可吸入性粉尘难以高效扑集,主要原因是含大量微细颗粒物,微细颗粒物的粒径小^[3]。采用凝并技术增大扑集粒径是一项

有效的预处理方法。在粉尘进入除尘器之前,对粉尘粒子进行凝并能有效提高除尘器的除尘效率,尤其是可吸入性粉尘的扑集效率。

微细颗粒物的凝并方法有多种,如声凝并、电凝

^{*} 收稿日期:2015-01-12。

作者简介:马若白(1988—),女,辽宁沈阳人,硕士生。通讯联系人:王凯全(1951—),E-mail:kaiquan@cczu.edu.cn

并、磁凝并、热凝并、湍流边界层凝并、光凝并和化学凝并等。从凝并能耗比、凝并过程复杂性及难易程度、有无二次污染等方面综合考虑,电凝并是较为可行的凝并方法^[4]。

电凝并是通过增加微细颗粒的荷电能力,促进微细颗粒以电泳方式到达飞灰颗粒表面的数量,从而增加颗粒间的凝并效应。在外电场中,微粒内的正负电荷受到电场力的排斥、吸引而作相对位移,微粒自身也会失去一部分电子。微粒两侧表面分别聚集有等量的正负束缚电荷。微细颗粒受正负电荷之间的库仑力作用产生相对运动,从而凝并形成大粒径颗粒。同时在电极两侧极板上,已释放电荷的粒子间由于极化作用的存在而凝并在一起,聚集在极板上。只要有电场的存在,粒子就会极化,就会有凝并现象发生^[5-7]。

研究设计高效的凝并装置和对凝并效果进行测试的实验装置,是可吸入性粉尘捕集技术研究的基础手段之一。研发一种采用重力沉降方法测试粉尘凝并效果的实验装置,荷电部分为单极电源偶极芒刺极板荷电装置。利用该实验系统以工业粉煤灰为实验粉尘样品,进行了未荷电、荷电电压 18 000V 和 20 000V 3 种状态下重力沉降对比实验,得到了清晰直观的实验结果。

1 实验装置的设计

为直观观察电场对粉尘的凝并作用,利用粉尘在空气流场中的重力沉降效应,研发了实验装置并开展了实验研究。实验装置由发尘装置、电极、测试段、高效滤纸、真空泵等单元组成。测试段采用有机玻璃材质制成,便于观察。为了取样方便后续的实验研究,在测试段设置沉降板并放置若干载玻片作为取样点。

在荷电装置中,微细粉尘颗粒在电场中由于电晕荷电产生极化作用而凝并在一起,一部分会聚集在极板上,从而影响重力沉降测试段的取样结果,所以本装置通过缩短实验电极长度,加大风速,使粉尘荷电凝并后直接被吹出,通过重力沉降沉积在作为取样点的载玻片上。

实验装置如图 1 所示,系统由 1—发尘装置;2—高压电源;3—沉降室;4—沉降板;5—风速仪;6—高效滤纸;7—真空泵构成。发尘装置在实验开始后,在一定时间内发出一定质量的粉尘;电凝并装置用来使粉尘荷电并且产生电凝并;沉降板用来收集电凝并后的粉尘,滤纸用来捕集没有降落在沉降板

上的其他微细粉尘;风速仪用来测定测试段风速,对沉降段截面的风速进行多点测试进行标定后,测试风速仪测试点的风速即可得出沉降段的平均风速。粉尘沉降板上共设置 10 个取样点,按照数字顺序依次排列,利用放置其上的载玻片对粉尘进行取样。



图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

本实验采用了偶极荷电静电凝并装置,并参考有关文献确定电极的各项参数^[8-10],其特点是采用单极电源,结构简单,凝并效率较高。取样点布置如图 2 所示。

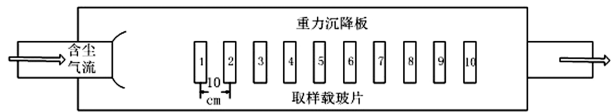


图 2 取样点布置图

Fig. 2 The sampling point layout

2 实验结果及分析

本实验分别在粉尘未荷电状态下,荷电电压为 18 000V 及 20 000V 的状态下,沿着重力沉降段对十个取样点进行粉尘采样分析。根据重力沉降原理,不同粒径的粉尘沿着风流的方向移动时,粒径大的粉尘向下沉降速度快,粒径小的粉尘向下沉降速度慢,这样,在沉降板上沿着风流方向粉尘的质量和粒度会呈现有规律的分布,凝并的大粒径颗粒应沉降在离发尘装置较近的几个取样点上^[11]。

2.1 粉尘样品的显微镜观察

根据重力沉降规律,分别取沉降板前段,中段,后段的取样载玻片进行观察。图 3、图 4 和图 5 分别是在未荷电、荷电电压 18 000V 及 20 000V 状态下,在沉降段上的 1 号取样点所得到的粉尘颗粒样品的显微镜图像,可以看出荷电后的微细颗粒物多以较大颗粒作为凝聚核心,与未荷电的粉尘颗粒对比,粒径有了明显的增大,说明凝并效应显著,且电压越高,粉尘凝并越明显。

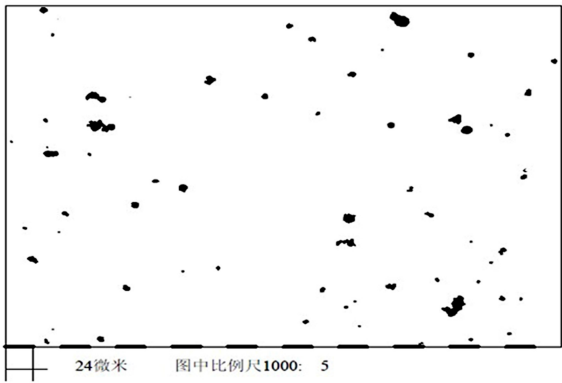


图 3 1 号取样点未荷电粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 3 Microscopic images of no charged dust particles from sampling points 1

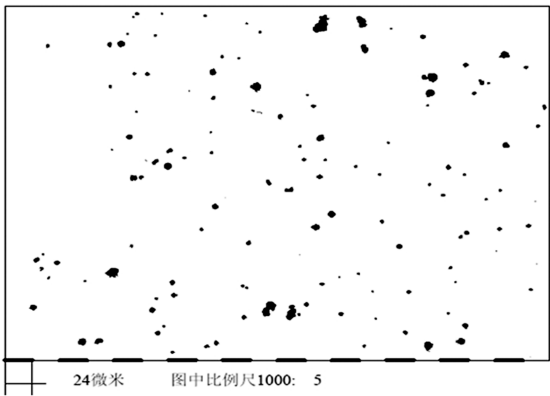


图 6 5 号取样点未荷电粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 6 Microscopic images of no charged dust particles from sampling points 5

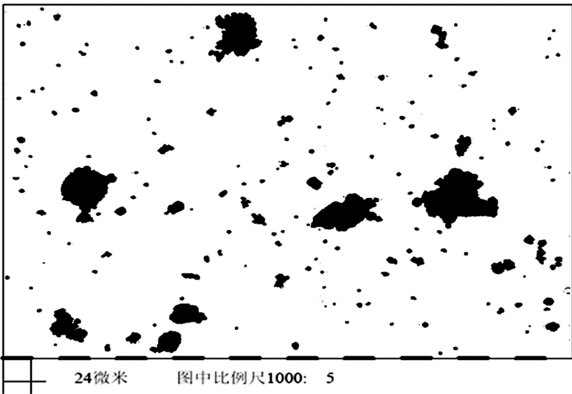


图 4 1 号取样点 18 000 V 电压粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 4 Microscopic images of 18 000V voltage charged dust particles from sampling points 1

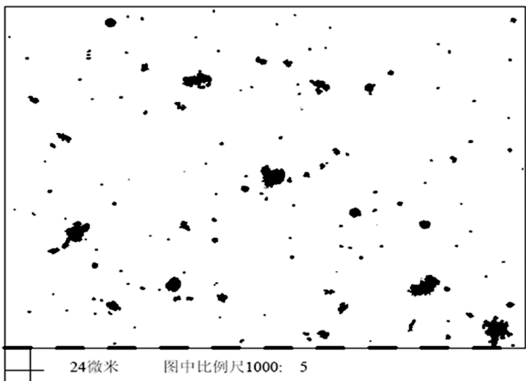


图 7 5 号取样点 18 000 V 电压粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 7 Microscopic images of 18 000V voltage charged dust particles from sampling points 5

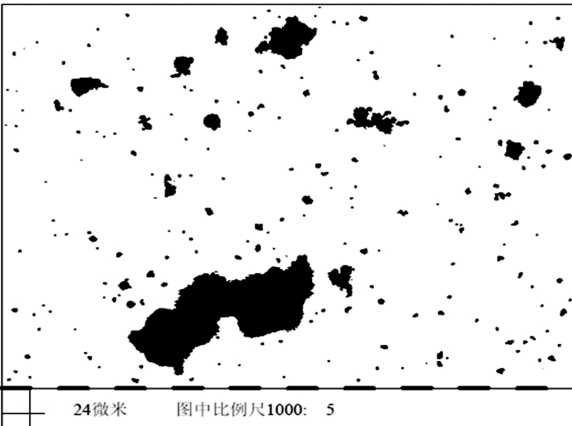


图 5 1 号 20 000 V 电压粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 5 Microscope image of 20 000V voltage charged dust particles from sampling points 1

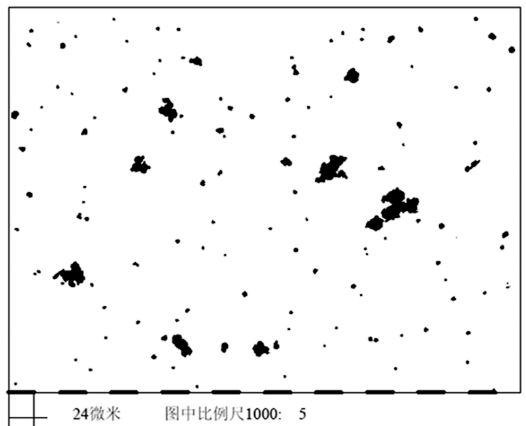


图 8 5 号取样点 20 000 V 电压粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 8 Microscope image of 20 000V voltage charged dust particles from sampling points 5

在 5 号取样点上,可以直观看出荷电前,粉尘采样点上粉尘的最大粒径约为 $10\mu\text{m}$,荷电后,最大粒径约为 $20\mu\text{m}$ 。粉尘荷电后的粒径明显大于荷电前,但未出现 1 号采样点上出现的较大颗粒,见图 6 至图 10。

在 9 号取样点上,直观上观察取样点上荷电和未荷电后的粉尘已无明显区别,见图 9 至图 11。

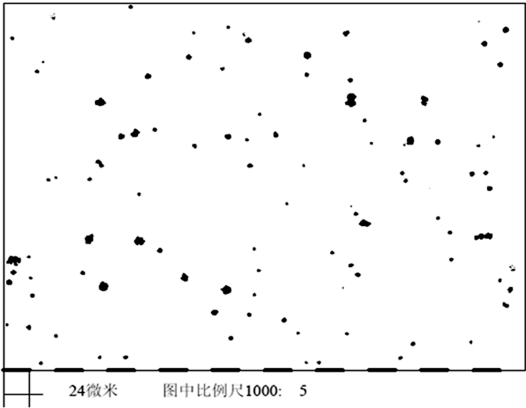


图 9 9号取样点未荷电粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 9 Microscopic images of no charged dust particles from sampling points 9

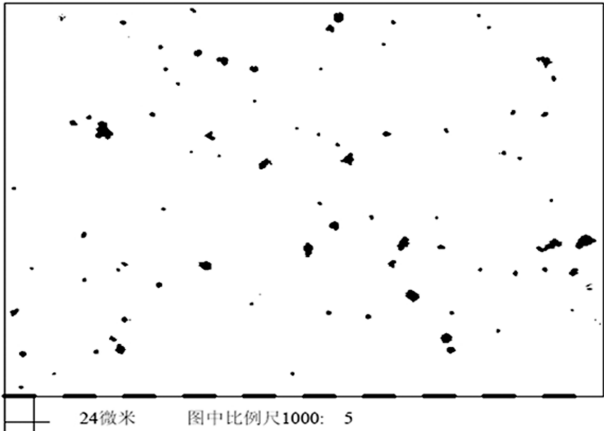


图 10 9号取样点 18 000 V 电压粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 10 Microscopic images of 18000V voltage charged dust particles from sampling points 9

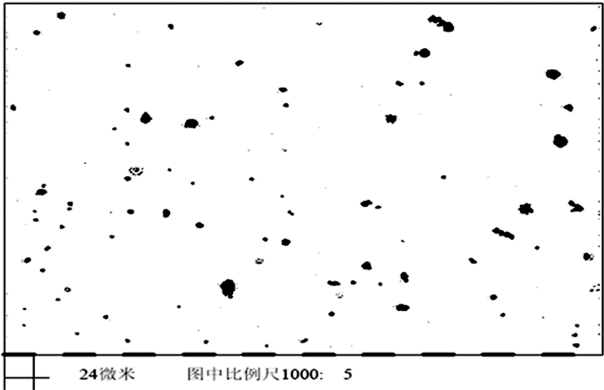


图 11 9号取样点 20 000 V 电压粉尘颗粒的显微镜图像

Fig. 11 Microscope image of 20 000V voltage charged dust particles from sampling points 9

2.2 荷电前后粉尘沿沉降段的质量分布

在对各采样点的粉尘样品进行粒度分析后,经过数据处理得到各个粒径沿测试段的质量分布百分

比,通过对 3 种状态下结果的对比,直观地反映各状态下的凝并效果。需要说明的是,以下折线图所表示的结果和所做的说明不是绝对量的比较,是 3 种状态下质量分布百分比的比较。图 12 为未荷电状态下各个粒径沿测试段的质量分布百分比。尽管因重力沉降作用,会有较大颗粒首先沉降在前几个采样点上,但粉煤灰的颗粒较细,绝大部分在 $25\mu\text{m}$ 以下,由于气流的输运作用使得各粒径的质量百分数沿着测试段风流方向的分布比较均匀。由于是质量分布百分比,与粒径是 3 次方关系,较大粒径所占的百分数更大,反映在质量分布折线图上的主要是 $10\mu\text{m}$ 、 $15\mu\text{m}$ 和 $25\mu\text{m}$ 占据了很大的比例;相比之下 $3\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$ 显得微不足道了。

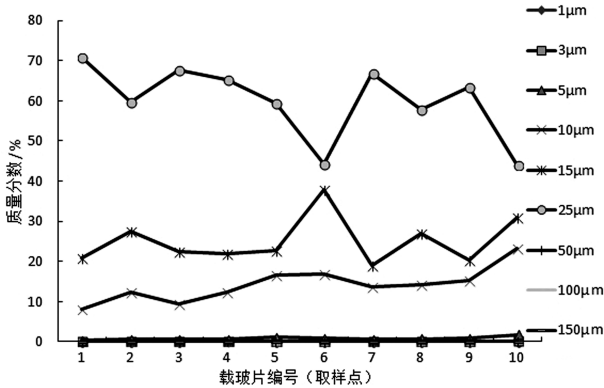


图 12 未荷电状态下各粒径沿重力沉降测试段质量分布百分比

Fig. 12 Quality distribution percentage of no charged state of each particle size along the gravity sedimentation test section

图 13 为荷电电压 18 000V 状态下各个粒径沿测试段的质量分布百分比。由于气流中的微细粉尘粒子在通过凝并装置的电场过程中发生凝并,空气动力学粒径增大,在重力沉降作用下,使得各粒径的质量百分数沿着测试段风流方向的分布与未荷电状态下比较,发生了很大变化。由图可以看出,在测试段的前几个采样点,出现了较多 $50\mu\text{m}$ 和 $100\mu\text{m}$ 的凝并颗粒,在质量上占有很大比例,凝并效果非常明显。

图 14 为荷电电压 20 000V 状态下各个粒径沿测试段的质量分布百分比。由于气流中的微细粉尘粒子在通过凝并装置的电场过程中发生凝并,空气动力学粒径增大,在重力沉降作用下,使得各粒径的质量百分数沿着测试段风流方向的分布与未荷电状态下比较,沉降现象更加明显;与荷电电压 18 000V 状态下比较,沉降现象也较为明显。由图可以看出,在测试段的前几个采样点,出现了较多 $50\mu\text{m}$ 和 $100\mu\text{m}$ 的凝并颗粒,更出现了 $150\mu\text{m}$ 的大颗粒,在

质量上也占有更大的比例,凝并效果更加明显。

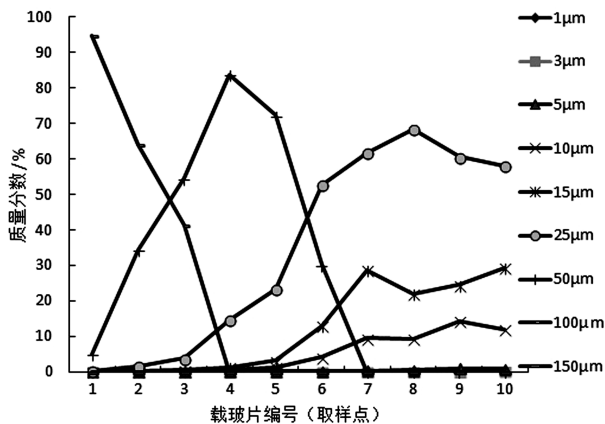


图 13 18 000V 荷电电压状态下各粒径沿重力沉降测试段的质量分布百分比

Fig. 13 Quality distribution percentage of 18 000V charging voltage state of each particle size along the gravity sedimentation test section

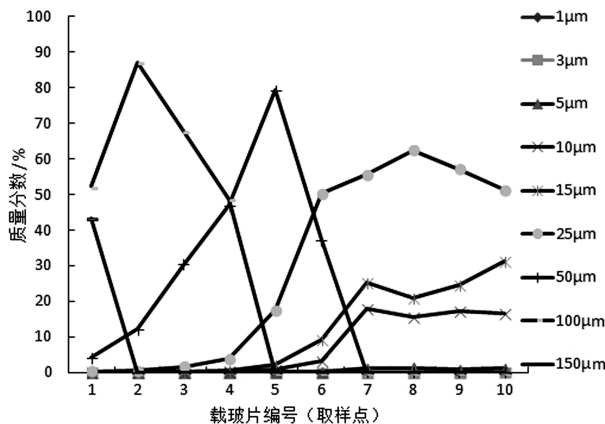


图 14 20 000V 荷电电压状态下各粒径沿重力沉降测试段的质量分布百分比

Fig. 14 Quality distribution percentage of 20 000V charging voltage state of each particle size along the gravity sedimentation test section

4 结 论

1)采用重力沉降方法研究粉尘的凝并现象,理论上成熟,实验方法简捷、直观,是非常有效的手段。显微镜下可明显看出粉尘粒径增大。更加直观有效地反应粉尘凝并效应。

2)采用偶极荷电的凝并装置,凝并效果较好,荷电后,大粒粉尘明显增加,且电压越高,电场强度越强,凝并效果越好。通过数据对比可以看出,荷电

后,大粒径粉尘百分比提高,明显高于荷电前,且粉尘平均粒径亦有所增大。电压越高,大粒径粉尘的百分比越高,说明凝并效果越明显。电压影响粉尘电凝并,高电压电场强度高,更有利于粉尘电凝并。

3)实验数据的分析对比采用质量分布可以使凝并效果的展示更加直观清晰。质量分布直观反映不同粒径粉尘在各个取样点的分布情况。

4)偶极荷电凝并装置在实验中两极极板的积尘现象较为严重,如何减少值得进一步研究。本实验采用克服电极积灰的方法是缩小电极的横截面积以适当加大风速,减少粉尘荷电被极板扑集的几率,适当延长凝并装置出口之后的凝并区,此方法收到了一定的效果,电极上的积灰有了较为明显的减少,从而减少了对实验结果的影响。

参考文献:

- [1] 国家标准局. GB 5817—86 生产性粉尘作业危害程度分级[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- [2] Mohr M. Submicron fly ash penetration through electrostatic precipitators at two coal power plants [J]. J Aerosol Sci, 1996, 24: 191-204.
- [3] 王伟, 汤大钢, 刘红杰, 等. 中国 PM_{2.5} 污染状况和污染特征的研究[J]. 环境科学研究, 2000, 13(1): 1-6.
- [4] 向晓东. 电凝并理论及在除尘应用中的新进展[J]. 通风除尘, 1994, 13(4): 1-7.
- [5] 尚伟, 黄超, 王菲. 超细颗粒物 PM_{2.5} 控制技术综述[J]. 环境科技, 2008(增刊): 75-78.
- [6] 魏凤, 张军营, 土春梅, 等. 煤燃烧超细颗粒物团聚促进技术的研究进展[J]. 煤炭转化, 2003, 26(3): 27-31.
- [7] Ruobai Ma, Kaiquan Wang, Haipu Bi. Research progress on the electric coagulation of fine dust [J]. AMR, 2014, 3(4): 2594-2599.
- [8] 陈旺生, 向晓东, 陆继东. 偶极荷电静电凝并除尘器收尘机理及性能研究[J]. 环境工程学报, 2008(7): 973-976.
- [9] 王晓臣, 朱益民. 多针对板式负电晕放电电极间距确定[J]. 高电压技术, 2003, 29(7): 40-42.
- [10] 杨加元, 陈海丰, 朱益民. 多针电极双极电晕放电电极间距优化[J]. 高电压技术, 2008, 34(1): 95-98.
- [11] 张国权. 气溶胶力学——除尘净化理论基础[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.

(责任编辑:殷丽莉)