

电极参数对电凝并式空气净化装置净化颗粒物的影响

Effect of Electrode Parameters on Particles Elimination by Using Electric Coagulation Indoor Air Cleaning System

蔡 冰/CAI Bing, 尉继英/WEI Ji-ying, 江 锋/JIANG Feng, 张振中/ZHANG Zhen-zhong

清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084

Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

[摘要] 研究了一种新型高压高频(HV-HF)电凝并式空气净化系统,进行了电极参数的变化对该电凝并装置净化颗粒物效果的实验研究。实验结果表明:电凝并装置存在最佳的交直流电压之间的匹配。最佳匹配值为直流电压 12 kV,交流电压 440 V。粒径小于 1 μm 的颗粒物,其净化效果受电极参数的影响较明显,粒径大于 1 μm 的颗粒物,在不同的电极参数下净化效果差别不大。

[关键词] 室内空气净化;电凝并;颗粒物;电极参数

[中图分类号] R122.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)07-0035-04

Abstract: A new type electric coagulation indoor air cleaning system, which had an excellent effect on particles elimination in indoor air, was introduced in this paper. The effect of electrode parameters on particles elimination by using electric coagulation indoor air cleaning system was studied in detail. The results showed that there was an optimum status between alternating current (440 V) and direct current (12 kV) in our experiments. The electrode parameters had a remarkable influence on small particles whose diameter was less than 1 μm , whereas the effect was indistinctive when the particle's diameter was in excess of 1 μm .

Key Words: indoor air purifying; electric coagulation; particle; electrode parameter

CLC Number: R122.2

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)07-0035-04

1 引言

室内空气污染物主要包括颗粒污染物和气态污染物。对于颗粒污染物而言,由于空气中 98%以上的颗粒粒径小于 1 μm ^[1],它们不仅会在人体的呼吸系统内沉降,其表面所吸附的气体污染物对人体的危害也非常严重。利用空气调节系统对室内空气进行净化,是目前人们所普遍采用的去除室内颗粒污染物的方法之一。但中央空调系统中的中效过滤器对粒径小于 1 μm 的粒子过滤效率较低;如果使用高效过滤器,虽然可提高过滤效率,但却增加了设备的初期投资,同时还会使系统的阻力明显增大,从而增加耗电量和运行成本。家用分体式空调器同样存在上述问题,甚至更加严重。

本课题组研究一种新型的高压高频(HV-HF)电凝并式空气净化系统,即将高压高频(HV-HF)电凝并装置与中效过滤器结合使用。前期的研究表明,该系统可对室内空气中的颗粒物及其表面吸附的甲醛及二氧化硫等多种污染物有较好的去除效果,且能耗低,有利于实现空调节能的设计理念。

2 基本原理

HV-HF 电凝并式空气净化系统如图 1 所示。电凝并装置由功率发生器和电极栅组两部分组成,一般安装在空气处理系统的风道内。曹阳等人的研究表明^[2],电凝并装置使功率发生器产生的

高压直流电(约 2.5 kV, 10 μA)和高频交流电(约 550 V, 330 mA)形成振幅高达约 15 万次/s 的复杂电场。进入该装置的粒子在电场内的碰撞几率增大,相互粘结为接近电中性的极化粒子团。当这些粒子团进入室内,能够像“滚雪球效应”一样粘附室内空气中及物体表面上 1 μm 以下的粒子并形成更大的粒子团。随后,粒子团被循环气流带回到空气处理系统中,很容易地被净化系统中的中效过滤器所捕集,从而使室内空气的质量得以提高。此外, HV-HF 电凝并装置在净化空气时不会产生臭氧危害^[3],它与中效过滤器结合使用,可以形成一种新型的高效、低能耗的空气净化系统,因此对其进行深入研究具有重要的实用价值。

在电凝并装置中,高压直流电产生的直流电场与高频交流电产生的高频交流电场相互叠加,如图 2 所示。颗粒物在电场存在的条件下会被极化产生偶极效应,具有偶极结构的颗粒物在电场中沿电力线方向移动^[4]。颗粒物在直流电场的作用下获得能量,运动速度加快,可认为直流电场使颗粒物获得运动能量而加速运动;在高频交流电场的作用下,颗粒物在电凝并装置中进行往复的振荡运动,交流电压的大小决定了交流电场的振动强度,交流频率决定了交流电场的变化频率。具有偶极结构的颗粒物在往复振荡运动的过程中互相凝并形成链式结构的颗粒物集合体^[4]。这些具有偶极效应的颗粒物进入室内空间后还可以进一步粘附空间中的微小颗粒物,对其进行去除。

收稿日期: 2006-04-26

作者简介: 蔡 冰,女,清华大学核能与新能源技术研究院,硕士生,研究方向为室内空气净化技术;E-mail: caibing99@mails.tsinghua.edu.cn

江 锋(通讯作者),男,清华大学核能与新能源技术研究院,副研究员,研究方向为室内空气净化技术;

E-mail: jf601@mail.tsinghua.edu.cn

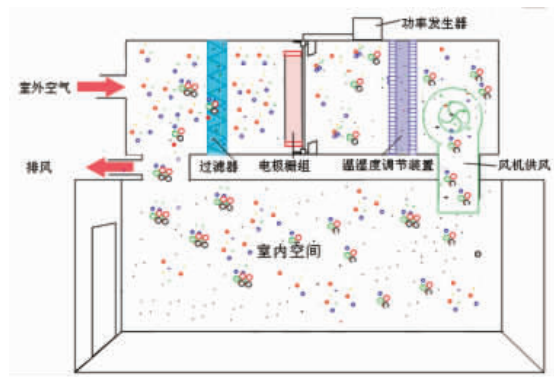


图 1 电凝并空气净化系统示意图
Fig. 1 Electric coagulation air-cleaning system

在本实验所用电凝并装置产生的混合电场的作用下,若直流电场作用太大,颗粒物将快速穿越电凝并装置的有效作用区域,使凝并过程无法充分地进行;若直流电场作用太小,则颗粒物获得的动量较小,这两种结果均不利于颗粒物的凝并。高频交流电场的作用大小对颗粒物的凝并速度也有关键性的影响。W.C. Hinds^[5]的研究表明,振荡电场只有在振荡强度和频率足够大时,才能使颗粒物快速地凝并。

从以上的分析可以预见,本实验所用的高压高频电凝并装置存在交直流电压之间的合理匹配。然而,目前关于 HV-HF 电凝并空气净化系统净化颗粒物的研究,大都局限于对颗粒物净化效果的评价,不同颗粒物初始浓度、粒度分布以及不同电极参数等条件对电凝并装置净化效果的影响还很少有深入报道。我们已经进行的研究结果表明^[2],颗粒物的浓度及初始粒度分布,对电凝并式空气净化系统净化效果影响较大,当 $0.7\text{ }\mu\text{m}$ 以上的粒子浓度越高时,HV-HF 电凝并装置的作用效果越好。本文在前期研究结果的基础上,重点针对粒径在 $0.7\text{ }\mu\text{m}$ 以上的粒子浓度较高的情况,进行了电极参数的变化对电凝并装置净化颗粒物效果的实验研究,取得了一些初步成果。

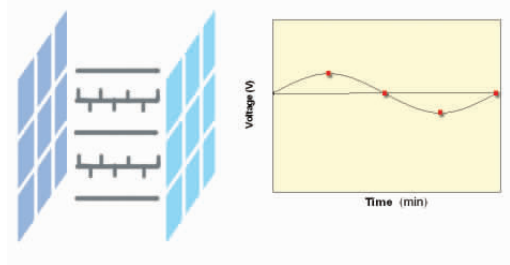


图 2 电凝并装置电场示意图
Fig. 2 Electric field of electric coagulation equipment

3 材料与方法

3.1 实验系统

HV-HF 电凝并式空气净化系统性能实验系统如图 3 所示。由体积为 10 m^3 的不锈钢实验舱、中效过滤器、HV-HF 电凝并装置、循环风机、烟雾发生装置(如图 4 所示)、旁通高效过滤器和管道组成。烟雾发生装置产生的各种待测污染物由小气泵送入实验舱,舱内空气通过管道到达中效过滤器和 HV-HF 电凝并装置,并由循环风机送回到实验舱。在实验舱中心处设置采样点,以测试系统中各种待测污染物的浓度。旁通高效过滤器用于实验前的系统净化,以保证每次实验本底的稳定性。

3.2 实验用颗粒物的发生、采样及测量

本实验采用振动法发生颗粒物。在实验舱中心处采样,每分

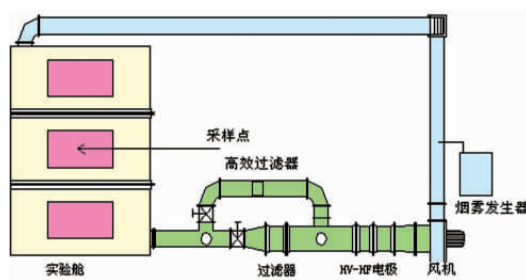


图 3 电凝并式空气净化实验系统示意图
Fig. 3 Electric coagulation device experimental system

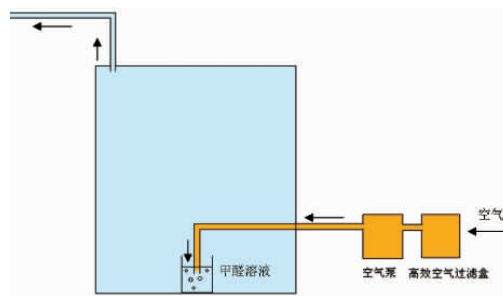


图 4 烟雾发生器示意图
Fig. 4 Particles and formaldehyde generator

钟采样测量 1 次,采样流量 2.83 L/min ,连续测量 60 min 。对于颗粒物的净化效果分不同粒径区间分别研究其计数浓度的变化,本文中选取了粒径大于等于 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.7\text{ }\mu\text{m}$ 、 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 、 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 、 $5.0\text{ }\mu\text{m}$ 的粒子。测量仪器为苏州华达仪器设备厂生产的 BCJ-1D 尘埃粒子计数器。

3.3 实验步骤

实验首先使用高效过滤器将系统净化 30 min 后,进行各项实验,实验温度控制在 $18\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度 $26\%\sim 28\%$ 。

本电凝并装置所使用的功率发生器,其直流电压可调范围为 $12\sim 24\text{ kV}$,交流频率固定为 295 kHz ,交流电压可调范围为 $0\sim 670\text{ V}$ 。本实验在此范围内进行了直流电压及交流电压对电凝并装置颗粒物净化效果影响的研究。

在粒径大于 $0.7\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物浓度较高的条件下,首先固定高频交流电极参数(电压为 670 V ,交流频率为 295 kHz),在不同直流电压(12 kV 、 18 kV 、 24 kV)下,研究电凝并空气净化系统对颗粒物的净化效果,找出最佳值。其次,固定直流电压的最佳值,改变交流电压(0 V 、 220 V 、 440 V),研究电凝并空气净化系统对颗粒物的净化效果,找出最佳值。

4 实验结果

4.1 直流电压对颗粒物净化效果的影响

颗粒物净化效果采用去除率表述,去除率按下式计算:

$$P = \left(1 - \frac{n_t}{n_i}\right) \times 100\%$$

P ——去除率, %;

n_t ——某时刻某粒径粒子数浓度, CNT/L ;

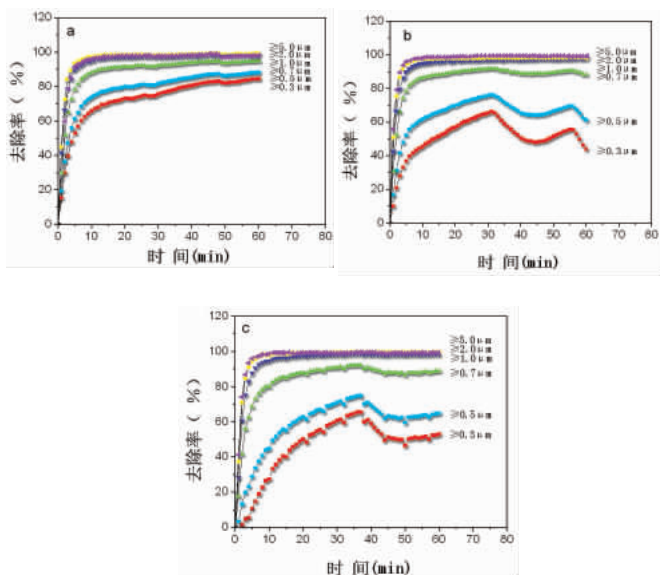
n_i ——初始时刻某粒径粒子数浓度, CNT/L ;

表 1 列出了本组实验不同粒径颗粒物的初始浓度,各组实验颗粒物初始粒径分布基本稳定,并且粒径大于 $0.7\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物浓度较高。图 5 为电凝并装置在不同直流电压时对颗粒物净化效果的比较。从图中可以看出,在本实验条件下,电凝并装置在不同的直流电压下,对粒径大于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物均有较好的处理效

果,处理 1 h 后去除率均达到 98% 以上。但对于粒径小于 1 μm 时的颗粒物,不同的直流电压对其净化效果差别较大,直流电压为 12 kV 时,颗粒物的去除率明显高于 18 kV、24 kV。净化时间 1 h 后,12 kV、18 kV 及 24 kV 条件下,粒径 $\geq 0.3 \mu\text{m}$ 的颗粒物去除率分别为 84.5%、43.7%、52.9%;粒径 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物去除率分别为 88.2%、61.2%、64.8%;粒径 $\geq 0.7 \mu\text{m}$ 的颗粒物去除率分别为 94.9%、88.3%、88.8%。该结果表明,在本实验条件下 12 kV 为净化效果最佳的直流电压值。

表 1 不同直流电压时颗粒物初始浓度
Tbl. 1 Initial concentrations of different DC voltages

浓度 (CNT/L)	直流 电压	粒径 (μm)	初始浓度					
			≥ 0.3	≥ 0.5	≥ 0.7	≥ 1.0	≥ 2.0	≥ 5.0
	12 kV		70 970	55 763	31 624	20 729	10 555	1 777
	18 kV		70 084	54 659	30 670	19 938	10 091	1 395
	24 kV		91 932	63 820	30 208	17 833	8 119	1 084



(a)12 kV; (b)18 kV; (c)24 kV
图 5 不同直流电压时颗粒物净化效果
(a)12 kV; (b)18 kV; (c)24 kV

Fig. 5 Purification efficiencies of different DC voltages

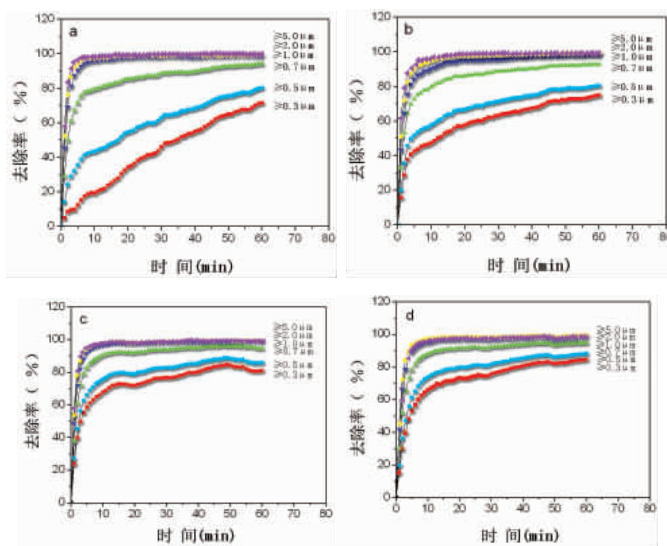
4.2 不同交流电压对净化效果的影响

参照 4.1 的结果,固定直流电压为 12 kV,实验研究不同的交流电压对电凝并装置颗粒物净化效果的影响。表 2 列出了本组实验不同粒径颗粒物的初始浓度,图 6 是电凝并装置在不同交流电压时对颗粒物的净化效果比较。从图 6 中可以看出,在本实验条件下,颗粒物的去除率均随着时间的增加而增大。粒径大于 1 μm 的颗粒物在不同的交流电压时去除率变化趋势差别不大;但粒径小于 1 μm 的颗粒物,在净化过程的初始阶段,交流电压越大,图中曲线斜率越大,说明颗粒物的去除速度越快,而交流电压增大到 440 V 后,去除速度不再有明显的提高。

5 讨论

实验结果表明,在我们的实验条件下,选用直流电压为 12 kV、交流电压为 440 V,可以达到最佳的处理效果,系统中的颗粒物在此混合电场的作用下,能够以较快的速度凝并成为较大

粒径的颗粒物,从而被系统中的过滤器过滤去除。当直流电压增大到 18 kV 和 24 kV 时,颗粒物在电场中的停留时间缩短,粒子碰撞不充分,导致小粒子凝并长大的速度降低,在一定的时间段内其粒径还没有增大到能被中效过滤器过滤的范围,因此去除率反而较 12 kV 时要低。当交流电压增大到 440 V 的过程中,随着交流电场作用增强,振动强度增大,颗粒物的去除速度随着电压的增加而增大。



(a)0 V; (b)220 V; (c)440 V; (d)670 V
图 6 不同交流电压时颗粒物净化效果
(a)0 V; (b)220 V; (c)440 V; (d)670 V

Fig. 6 Purification efficiencies of different AC voltages

实验结果也表明,粒径小于 1 μm 的颗粒物,其净化效果受电场的影响较明显;而对于粒径大于 1 μm 的颗粒物,由于空气净化系统中的中效过滤器对其有较好的过滤效果,因此该粒径范围的颗粒物在不同的电极参数下的净化效果差别不大。

表 2 不同交流电压时颗粒物初始浓度
Tbl. 2 Initial concentrations of different AC voltages

浓度 (CNT/L)	交流 电压	粒径 (μm)	初始浓度					
			≥ 0.3	≥ 0.5	≥ 0.7	≥ 1.0	≥ 2.0	≥ 5.0
	0 V		73 343	55 729	28 665	16 593	8 269	2 336
	220 V		40 902	30 480	13 986	6 806	3 141	811
	440 V		47 614	35 116	15 216	6 501	2 829	745
	670 V		70 970	55 763	31 624	20 729	10 555	1 777

6 结论

重点进行了高压高频电凝并式空气净化装置在不同的直流电压和交流电压下对颗粒物净化效果的实验研究,实验结果如下。

1) 高压高频电凝并式空气净化装置存在最佳的交直流电压匹配点,在本文实验条件下,选用直流电压为 12 kV,交流电压为 440 V,可以达到最佳的处理效果。

2) 粒径小于 1 μm 的颗粒物,其净化效果受高压高频电凝并装置电场的影响较明显;粒径大于 1 μm 的颗粒物,在不同的电极参数下净化效果差别不大。

参考文献(References)

[1] FREY A H. Enhancing contaminant control to mitigate aeroaller-

椭圆齿旋流口平带传热管内自动清洗及其传热强化

Automatic Fouling Removal and Heat Transfer Enhancement in Tubes Using Straight Strip-inserts with Elliptical Teeth and Broken Edge

俞天兰/YU Tian-lan¹, 蒋少青/JIANG Shao-qing², 俞秀民/YU Xiu-min¹, 金俊杰/JIN Jun-jie³

1. 湖南工业大学机械清洗研究所, 湖南株洲 412008

2. 长沙理工大学, 长沙 410076

3. 长沙华海节能设备公司, 长沙 410000

1. Mechanical Cleaning Institute, Hunan Polytechnic University, Zhuzhou 412008, Hunan Province, China

2. Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China

3. Changsha Huahai Energy-saving Equipment Co. Ltd., Changsha 410000, China

[摘要] 介绍了一种特殊结构的旋流口椭圆齿平带的研制。平带上的每个椭圆齿都是使平带自转的流体动力结构元素, 平带两侧的旋流口结构能够使管内的部分液体形成螺旋线流, 因而具有近似斜齿扭带那样能够在较低流速下自转实现管内污垢在线自动清洗的宝贵性能。由于椭圆齿后的大量涡流、管内部分液体流线转变为螺旋线流股以及螺旋线流股与轴向流股分合交错这样 3 方面的作用, 管内的对流传热强化的幅度由此远远高于光滑扭带。试验结果表明, 这种平带不仅容易制造, 并且综合性能好, 在管内流速 0.5 m/s 左右就可运行; 管内侧的传热系数提高 170%, 流体阻力在一般工程许可的范围内, 因此具有较高的工程应用价值。

[关键词] 塑料带; 自动清洗; 流体动力; 流体阻力

[中图分类号] TH17

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)07-0038-03

Abstract: This paper researches and develops the straight strip-insert of special structure, which has elliptical teeth and broken edge on both sides. The teeth are the elements to drive the insert self-rotate under the action of fluidic power. With the broken edge, part of the fluid in tubes is led to flow spirally. So, this straight strip with elliptical teeth can remove the fouling on tubes wall automatically at low flowing velocity just like that twisted strip with oblique teeth. The convection heat transfer enhancement is much more than that of the plain twisted strip because of three factors: much eddy flow behind the elliptical teeth, fluid flow being changed into spiral flow, and the combination and separation of the spiral flow and axial flow. The experiments show that this new insert can be manufactured easily and has great comprehensive performance. It can work reliably at a low velocity of 0.5 m/s and make the heat transfer coefficient inside tubes be increased by 170%. The flowing resistance is in the range of industrial permission. Therefore, it has great significance of industrial application

Key Words: plastic strip; automatic fouling removal; hydrodynamic; flow resistance

CLC Number: TH17

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)07-0038-03

1 引言

大多数传热设备的管内流速较低, 容易生长污垢, 传热效率低下。斜齿螺旋扭带能够同时解决较低流速下传热管内的自动清

洗和传热强化, 对传热设备的节能、节水、降耗、增产、增效非常有益^[1]。但是, 因螺旋扭带加斜齿的结构复杂, 目前尚未突破工业化生产的制造难关。文献[2]提出的椭圆齿平带技术, 虽然制造容易,

收稿日期: 2006-02-05

基金项目: 科技部火炬计划项目(99D231D7700584), 教育部重点项目(00208), 湖南省基金项目(02JJY2070)

作者简介: 俞天兰, 女, 湖南工业大学过程装备与控制专业教研室, 副教授, 主要研究方向为传热强化与节能;

E-mail: zzyutianlan@163.com

gies [J]. Annals of Allergy, Asthma, & Immunology, 1996, 77: 460-466.

[2] 曹阳, 郎四维. 介绍一种新型空气自净系统 [J]. 建筑科学, 1998, 14(1): 58-61.

[3] FREY A H. Modification of animal room odor by passing the room supply air through a complex electrical field [J]. Bull Environ

Contam Toxicol, 1983, 31(6): 699-704.

[4] 唐敏康. 电除尘器中亚微粒子凝并机理的研究 [J]. 工业安全与防尘, 1995(6): 1-5.

[5] HINDS W C. Aerosol Technology [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1999.

(责任编辑 王 芷)