



文章栏目：大气污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.202004152

中图分类号 X513

文献标识码 A

赵靖雯, 高雅鸿, 朱天乐, 等. 电极配置和操作条件对静电油烟净化效率的影响[J]. 环境工程学报, 2021, 15(2): 609-617.

ZHAO Jingwen, GAO Zhihong, ZHU Tianle, et al. Effects of electrode matching and operation condition on the oil fume removal by electrostatic technology[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(2): 609-617.

## 电极配置和操作条件对静电油烟净化效率的影响

赵靖雯, 高雅鸿, 朱天乐\*, 邵明攀, 孙也, 付天奥, 王云霞

北京航空航天大学空间与环境学院, 北京 100191

第一作者: 赵靖雯(1994—), 女, 硕士研究生。研究方向: 大气污染控制技术。E-mail: demizjw@buaa.edu.cn

\*通信作者: 朱天乐(1963—), 男, 博士, 教授。研究方向: 大气污染控制技术。E-mail: zhutl@buaa.edu.cn

**摘要** 以有机气溶胶发生器产生的 0.02~2.02  $\mu\text{m}$  癸二酸二辛酯颗粒模拟餐饮业排出的油烟  $\text{PM}_{2.5}$  组分, 利用静电低压撞击器颗粒物检测仪测定各粒径范围的颗粒个数和质量浓度, 并系统研究了电极配置、电场风速和供电电压等因素对静电油烟净化效率的影响。结果表明: 油烟荷电量以及荷电颗粒迁移距离是影响净化效率的关键因素, 优化电极配置的增效作用明显; 提高荷电区电离电压对油烟净化的增效作用大于提高收尘区电压; 0.13~0.23  $\mu\text{m}$  粒径范围的油烟最难去除, 其分级净化效率直接影响总净化效率; 降低电场风速或增加串联模块数可增大油烟在电场的停留时间, 继而提高净化效率。工程设计中, 可根据安装空间和处理气量波动等实际情况, 合理匹配串联模块数和电场风速, 提高效益费用比。

**关键词** 静电分离; 油烟颗粒物; 电极配置; 电场风速; 净化效率

我国餐饮业持续稳步增长, 近十年平均增速超过 10%<sup>[1]</sup>。餐饮业排放的油烟也成为重要的大气污染物, 主要包含颗粒状油烟和以非甲烷总烃为主的气态污染物<sup>[2]</sup>。2015 年, 全国城镇排放油烟约  $2.45 \times 10^5$  t, 占城镇生活烟(粉)尘总量的 9.8%; 排放非甲烷总烃约  $4.78 \times 10^5$  t, 占全国 VOCs 排放总量的 1.59%<sup>[3]</sup>。其中, 颗粒状油烟中  $\text{PM}_{2.5}$  质量浓度占  $\text{PM}_{10}$  的 80% 以上<sup>[4-5]</sup>。源解析表明, 2018 年餐饮业大气污染物排放对北京  $\text{PM}_{2.5}$  的贡献率达 4%<sup>[6]</sup>。餐饮大气污染源点位多、污染物排放高度低、成分复杂而且大多分布在人群密集区域, 而长期暴露于油烟环境会伤害人体呼吸和心血管系统<sup>[7-8]</sup>。因此, 餐饮油烟污染与控制受到广泛关注。

净化颗粒状油烟的方法主要包括机械分离法、液体洗涤法、催化氧化法和静电分离法等<sup>[9-11]</sup>。机械分离法借助惯性碰撞和离心作用等机械作用力实现油烟分离, 总净化效率为 60%~70%<sup>[12-13]</sup>; 液体洗涤法是借助油烟与洗涤液接触使油烟从气相进入液相, 对于 2  $\mu\text{m}$  以上油烟具有较高净化效率<sup>[14]</sup>; 催化氧化法是将油烟温度加热至催化起燃温度以上, 再借助催化剂的促进作用使油烟中的有机组分氧化成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  等无害或低害物, 其能耗较高; 静电分离法是借助高压电场使油烟荷电并作定向迁移运动, 最终被捕集到集尘板表面。静电分离法具有风阻小、设备简单、净化效率高特点, 是餐饮油烟净化的主流技术。然而, 迄今为止, 对于静电分离法处理油烟净化效率的关键影响因素及影响规律尚缺乏清晰认识, 导致实践中只能以串联尽可能多的净化模块数, 来应对不断排放控制要求, 从而造成净化系统的投资和运行费用偏高, 占地面积偏大, 运行

收稿日期: 2020-04-29; 录用日期: 2020-10-10

基金项目: 北京市科技计划首都蓝天行动培育重大专项 (Z8110000541008)

维护工作量也增大。

本文基于自行搭建的静电净化油烟实验系统和自行试制的高压静电除油烟模块开展系统研究,探索供电电压、电极配置和电场风速等因素对净化效率的影响,以期对餐饮油烟净化器自身结构和净化工程设计优化提供参考。

## 1 实验系统和研究方法

### 1.1 实验研究系统

1) 静电净化油烟实验系统。采用风道式油烟净化系统,整个系统由油烟颗粒物模拟发生、颗粒物与空气均匀混合、静电净化、油烟在线检测、臭氧监测和排放尾气安全处理等部分构成,如图1所示。风管内径300 mm,静电净化模块断面有效尺寸为225 mm×305 mm,模块前、后的平直风管上部设有采样口,监测断面风速和臭氧浓度,以及油烟颗粒粒径分布、质量和个数浓度等参数,处理风量可通过风机调频器进行调控。

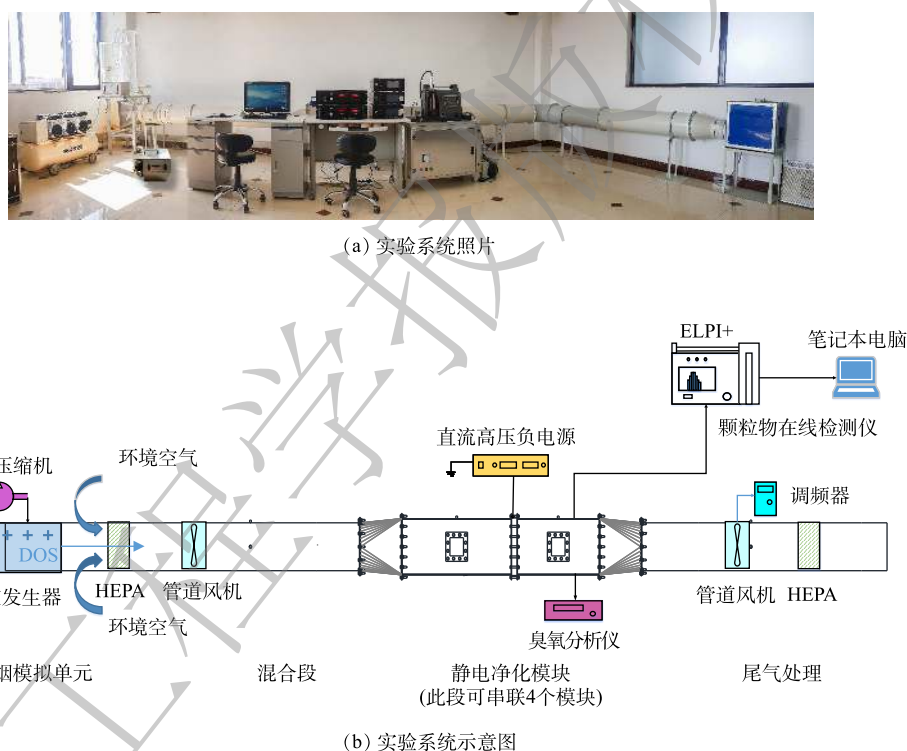


图1 实验系统照片及示意图

Fig. 1 Photo and system diagram of the experiment system

2) 静电模块。实验过程中,将静音无油空压机产生的压缩空气导入盛有癸二酸二辛酯(DOS)的有机气溶胶发生器,模拟发生油烟。经高效空气过滤器(high efficiency particulate air filter, HEPA)净化的洁净空气与模拟油烟一并进入风管后,先经过管道式混合叶轮实现油性颗粒物与洁净空气的均匀混合。混合后的气体再依次通过高压静电净化模块、油烟和臭氧监测直管段、驱动风机和安全净化等组件。实验过程中,采用宽密封胶带对净化模块入口侧和出口侧检测孔之间的所有法兰进行严格的密封处理。实测表明,漏风率低于5%。采用负极性直流电源,荷电区电源电压为0~30 kV、电流为0~50 mA;收尘区负直流电源电压为0~20 kV,电流为0~20 mA。油烟颗粒物检测采用静电低压撞击器(electrical low-pressure impactor plus, ELPI+)<sup>[15]</sup>,可实时在线实现检测6 nm~10 μm范围的颗粒物粒径分布、个数浓度和质量浓度等参数<sup>[16]</sup>。臭氧监测利用臭氧分析仪(2B Technologies Model 106-L Serial#1214L)实现,浓度监测范围为0~200 mg·m<sup>-3</sup>。管道系统总出口设有

HEPA 高效过滤模块和活性炭吸附模块。

3) 净化模块。本研究自行设计并试制了齿-板式和板-板式 2 种电极组件，其迎风断面有效尺寸皆为  $225\text{ mm}\times 305\text{ mm}$ ，当仅采用齿-板式电极组件时，可构成电离荷电和收尘在同一电场空间进行的单区式油烟净化模块；当齿-板式和板-板式电极组件组合使用时，可构成在齿-板式电极组件中实现电离荷电(荷电区)，在板-板式电极组件中实现荷电油烟迁移收集(收尘区)的双区式油烟净化模块。还可通过调整荷电区和收尘区的比例长度，构成长电离短收尘和短电离长收尘 2 种净化模块。所有放电极均采用厚度  $1\text{ mm}$ 、宽度  $22\text{ mm}$  的不锈钢板加工，其齿尖间距为  $14\text{ mm}$ ；收尘极用厚度  $1\text{ mm}$  的铝合金材料(AL6061)制作，单区模块和双区模块的电离荷电区均采用齿-板放电形式，扁状放电极与板状接地极平行布置。双区模块的收尘区采用板-板式结构，板状高压电极与板状接地极平行布置。具体配置形式和结构尺寸见表 1 和图 2。

表 1 净化模块的电极配置及结构尺寸  
Table 1 Electrode matching and structure size of purification modules

模块形式	电极配置	荷电区				收尘区		
		通道数量/个	放电线数量/根	异极间距/mm	长度/mm	通道数量/个	异极间距/mm	长度/mm
单区	齿-板	4	12	23.5	300	4	23.5	与荷电区共用
双区长电离短收尘	齿-板荷电+板-板收尘	4	8	23.5	165	8	9.5	135
双区短电离长收尘	齿-板荷电+板-板收尘	4	4	23.5	82.5	8	9.5	217.5

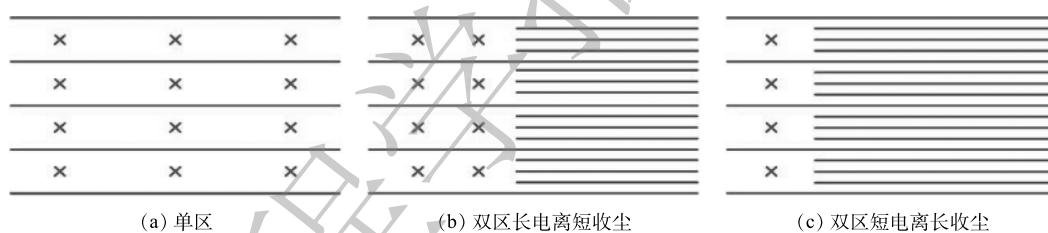


图 2 模块示意图

Fig. 2 Schematic diagram of purification modules

实验中将 4 个相同或不同的模块串联安装于管道系统，通过对单个或多个模块供电，可考察电极配置方式、串联模块数和供电电压等对油烟净化效率的影响；通过调整风机频率，可考察电场风速对油烟净化效率的影响。

## 1.2 实验方法

1) 油烟的模拟。研究以净化油烟中难去除的  $\text{PM}_{2.5}$  组分为目标开展实验。为了模拟油烟的  $\text{PM}_{2.5}$  组分，将空压机产生的压缩空气导入装有 DOS 的有机气溶胶发生器，以鼓泡原理产生油滴引入实验管道，通过管道混合器使油滴与洁净空气混合，形成均匀分布于空气之中的油性颗粒。通过调节有机气溶胶发生器压缩气体进口压力，获得模拟油烟颗粒粒径分布(见图 3)。由图 3 可知，其粒径范围为  $0.02\sim 2.02\ \mu\text{m}$ ，初始浓度为  $(20.10\pm 1.52)\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。分析表明，其质量分布符合对数正态分布，质量中位径为  $0.64\ \mu\text{m}$ ，标准差为 0.34；个数浓度分布符合正态分布，个数分布中位径为  $0.15\ \mu\text{m}$ ，标准差为 0.01。模拟产生的油烟颗粒物的粒径分布特征与实际烟气的  $\text{PM}_{2.5}$  部分<sup>[17-18]</sup> 相类似。

2) 净化组件伏安特性和臭氧产生量的监测。 $\text{O}_3$  为静电器放电过程产生的标志性产物，而  $\text{O}_3$  是强氧化性物质，近年来大气  $\text{O}_3$  污染已引起全社会的广泛关注。因此，在考察净化组件伏安特性的同时，也考察了  $\text{O}_3$  的产生量。在模拟条件下，得到了  $\text{O}_3$  产生量与供电电压、电场风速和静电净化模块数之间的关系。测试条件为单个模块，电场风速为  $3.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。如图 4 所示，电晕电流随供电

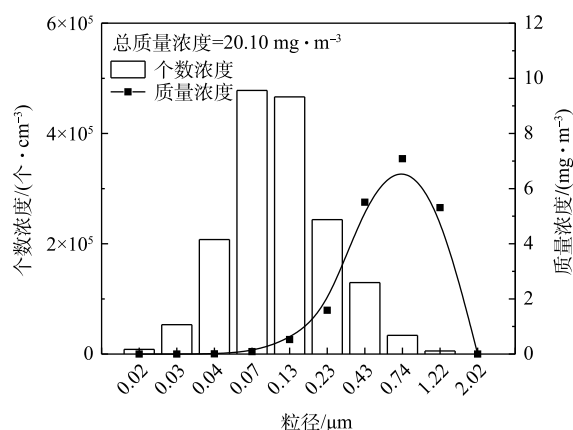


图3 模拟油烟颗粒的个数和质量浓度分布

Fig. 3 Distributions of the number and mass size of simulated fume particles

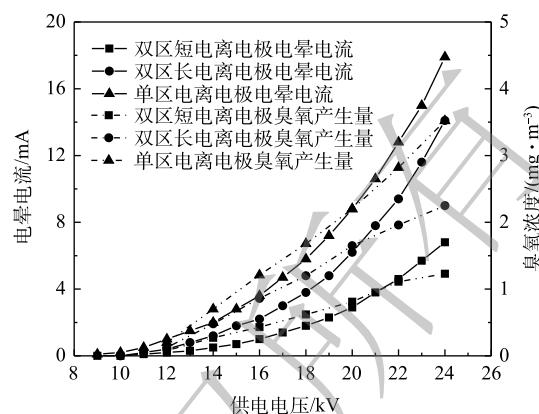


图4 单个模块的V-I特性曲线和臭氧浓度

Fig. 4 V-I curve and ozone concentration of typical electrode matchings

电压升高而呈指数增长，而臭氧浓度与供电电压呈线性关系增加。这是由于供电电压越高，电离强度越大所致。另外，电离电极长度越大，电晕电流和臭氧产生量越高，这是由于在其他条件相同的条件下，电离区长度越大，放电齿尖数越多，电离强度增大。另外，测试表明，电晕电流及臭氧产生量与串联组件数基本呈倍数关系。

3) 油烟颗粒物粒径分布检测方法。本研究采用ELPI+检测模拟油烟的粒径分布、个数浓度和质量浓度，颗粒物被荷电针充上一定水平电荷后，在低压串联撞击器内依照空气动力学进行分级收集。通过转换对应每一粒径范围的灵敏电流计实测电流，可得到颗粒数量，进而转换为质量浓度<sup>[16]</sup>。基于净化模块供电电源开启和关闭2种状态下，在净化模块后直管段同一位置监测油烟粒径分布和质量浓度，可计算得到油烟颗粒物总净化效率和分级净化效率(式(1))。

$$\eta = \frac{C_{\text{关}} - C_{\text{开}}}{C_{\text{关}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $\eta$ 为油烟颗粒物总净化效率； $C_{\text{关}}$ 和 $C_{\text{开}}$ 分别是供电电压关闭和开启时模拟油烟的质量浓度， $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。同理，可根据第*i*级粒径范围在2种状态下的质量浓度，计算对应粒径范围的分级净化效率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 电极配置对净化效率的影响

#### 2.1.1 电极配置对总净化效率的影响

图5为电场风速为 $3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时，电极配置和串联模块数量对净化效率的影响。其中，双区配置的收尘区电压为8 kV，组合配置是指第1级为单区式，第2级为双区短电离长收尘模块，第3、4级为双区长电离短收尘模块。图5表明，不同电极配置的净化效率随着电离电压升高而增大，而且升高速度先大后小。这是由于电离电压较低时，只有粒径较大的颗粒获得了足够的荷电量，在电场作用下，以较大的迁移速度向收尘极板移动，最终被去除。由于这些颗粒质量占比大，故随着电离电压升高，净化效率增大明显。随着电离电压进一步增大，粒径较大的颗粒被捕集，小粒径颗粒物占比也越来越大，因此，由质量浓度计算所得的净化效率的增幅不断减小。由图5还可发现，随串联模块数量的增加，净化效率增大，但增幅也逐渐变小。这是由于增加串联模块数可使未去除的颗粒物在净化区域的停留时间成倍增加，这些颗粒物随气流向前运动的同时，荷电量不断增加，被捕集的概率提高；增幅逐步变小是由于组件少时，先去除大颗粒，质量占比大，接下来再去除质量小的小颗粒，而净化效率是基于质量浓度计算得到，故随模块数量增加的增效率

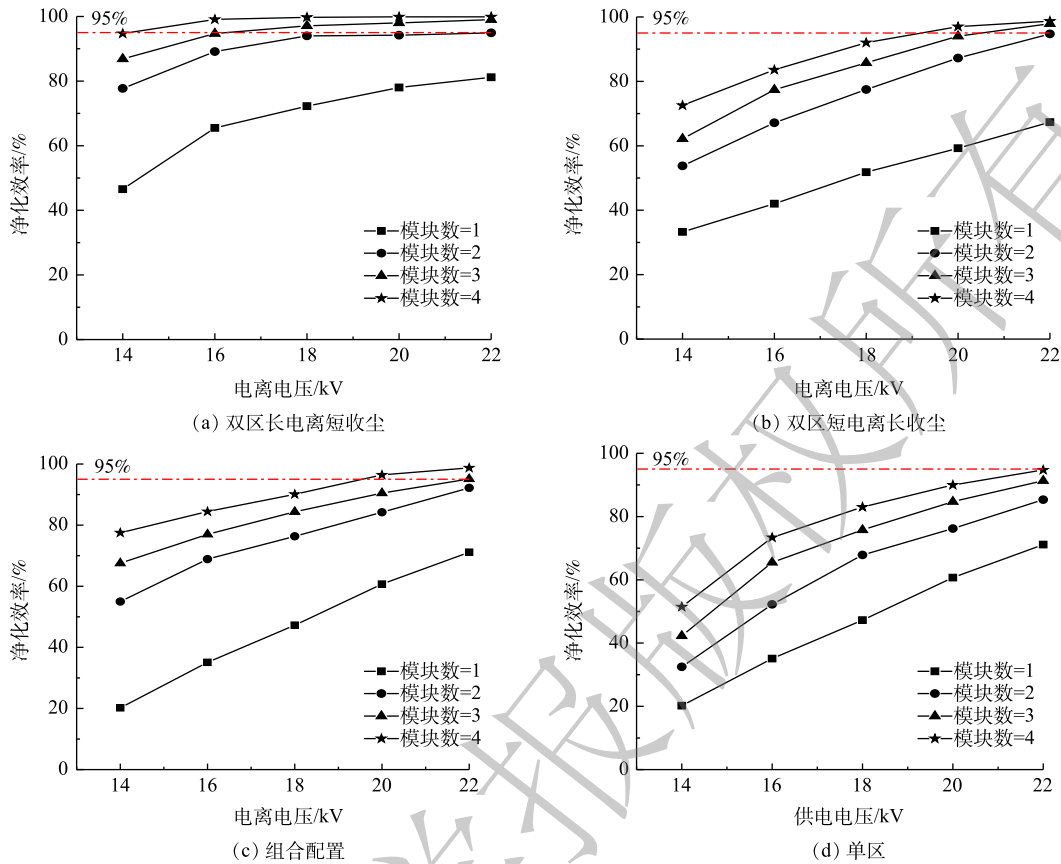


图5 电极配置和串联模块数对净化效率的影响

Fig. 5 Effects of electrode matching and module number on purification efficiency

应变弱。另外，相同电离电压条件下，电极配置形式的变化对净化效率的影响显著，不同电极配置的净化效率关系为：双区长电离短收尘配置>双区短电离长收尘配置>组合配置>单区配置。这表明电离强度增大和荷电颗粒迁移距离减小有利于油烟净化，即油烟荷电量和迁移距离是影响净化效率的关键因素。因此，综合考虑净化效率、设备投资和运行费用、占地等因素，优化电极配置的效益大于增加串联模块数。

### 2.1.2 电极配置对分级净化效率的影响

相同的条件下，研究电极配置和串联模块数对分级净化效率的影响，结果如图6所示。图6表明，电极配置、串联模块数和电离电压的变化，不会影响最低分级净化效率，对应的粒径均为 $0.13\sim 0.23\ \mu\text{m}$ 。这是由于颗粒小于 $0.13\ \mu\text{m}$ 时，粒径越小扩散作用带来的颗粒与电极碰撞接触概率增大，被捕集概率提高。颗粒大于 $0.23\ \mu\text{m}$ 时，颗粒借助电场荷电<sup>[17]</sup>；荷电量与粒径的平方成正比，随粒径增大，颗粒电场荷电量快速增大，相应增大了颗粒的迁移速度，净化效率也随之增大。电场对粒径为 $0.13\sim 0.23\ \mu\text{m}$ 的颗粒物作用较弱，电场荷电量相应较少，即使考虑扩散荷电，其总体荷电量也不高，故净化效率低<sup>[18-20]</sup>。而效率最低值出现的粒径范围小于纤维过滤( $0.3\ \mu\text{m}$ 左右)，可能是由于在纤维过滤中，颗粒迁移的平均距离小于静电分离，而基于扩散作用的捕集分离效率与迁移距离成反比。

由图6还可发现，相同电离电压下，不同电极配置对应 $0.13\sim 0.23\ \mu\text{m}$ 颗粒的分级净化效率关系与总净化效率趋势相同：双区长电离短收尘配置>双区短电离长收尘配置>组合配置>单区配置。因此，对应 $0.13\sim 0.23\ \mu\text{m}$ 左右颗粒的分级净化效率是影响总净化效率的关键因素。

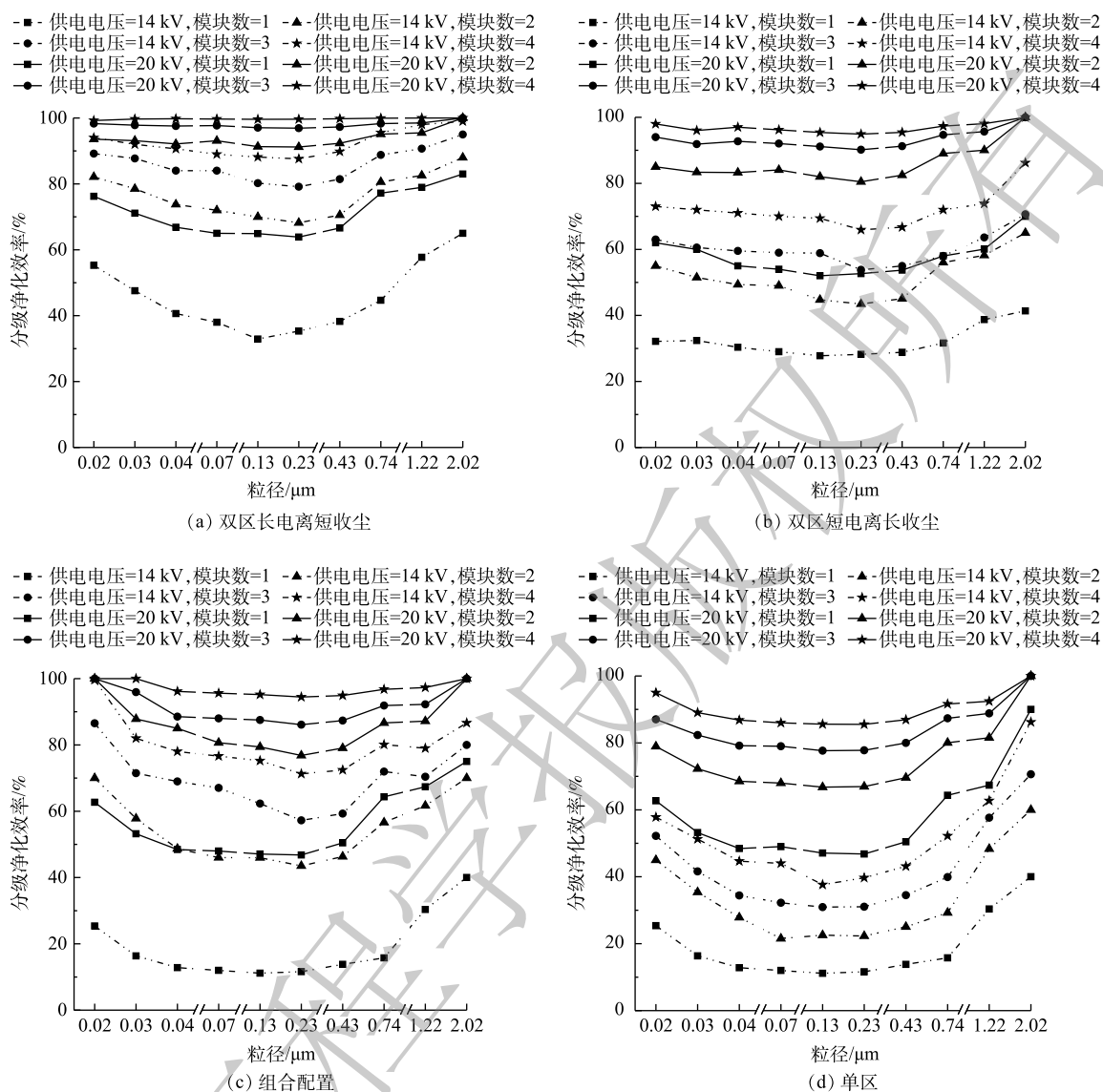


图6 电极配置和模块数对分级净化效率的影响

Fig. 6 Effects of electrode matching and module number on grade purification efficiency

## 2.2 电场停留时间对净化效率的影响

采用双区长电离短收尘组件,其电离电极的起晕电压和击穿电压分别为 10.5 kV 和 23.5 kV。考虑到油烟净化设备的投入-产出效益随电离电压降低而减小,而太高的电离电压运行不稳定、会导致电极打火,着火风险较大。因此,选择收尘电压为 8 kV,在 18 kV 和 20 kV 2 个具有工程应用价值的电离电压下,通过增减串联模块数和调整电场风速来改变油烟在电场中的停留时间,以研究电场停留时间对净化效率的影响,结果如图 7 所示。图 7 表明了 2 种情况: 1) 固定串联模块数,可通过调整电场风速来改变电场停留时间,从而影响净化效率; 2) 固定电场风速,亦可通过调整串联模块数来改变电场停留时间,从而影响净化效率。

基于以上 2 种情况,可针对不同模块数和电场风速条件,研究电场停留时间与净化效率的对应关系。将满足 90% 和 95% 的 2 个典型油烟净化效率时,对应的电离电压、停留时间、模块数和电场风速等条件参数汇总入表 2。由表 2 可知,不论电离电压是 18 kV 还是 20 kV,对应油烟净化效率为 95% 以上的电场停留时间均大于 0.22 s。因此,可以通过调整串联模块数和电场风速的匹配

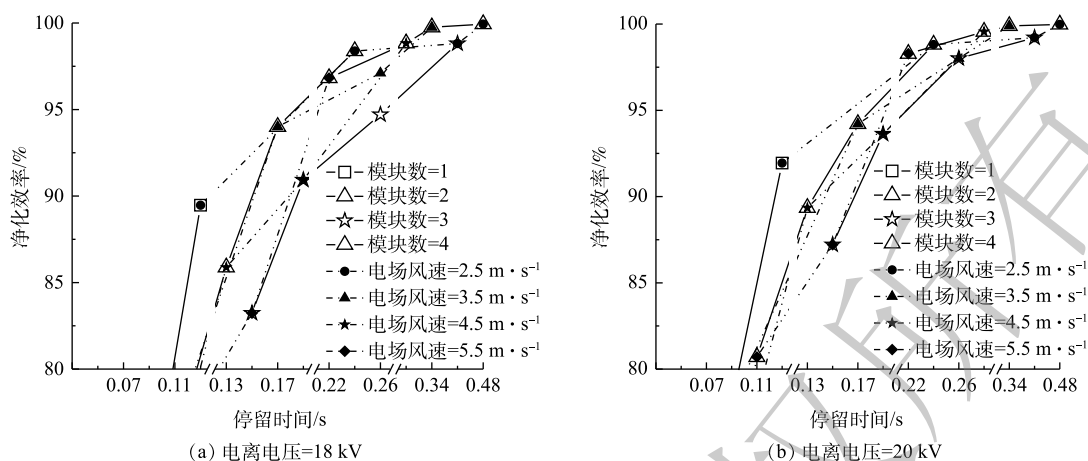


图 7 电场停留时间对净化效率的影响

Fig. 7 Effects of electric field residence time on purification efficiency

表 2 不同模块数和电场风速条件下电场停留时间与净化效率的关系

Table 2 Effects of electric field residence time on purification efficiency under different module numbers and wind velocities

电离电压/kV	净化效率/%	停留时间/s	模块数量/个	电场风速/(m·s <sup>-1</sup> )	电离电压/kV	净化效率/%	停留时间/s	模块数量/个	电场风速/(m·s <sup>-1</sup> )
18	90	0.17	2	3.5	20	90	0.16	3	4.5
18	90	0.2	3	4.5	20	90	0.17	2	3.5
18	90	0.22	4	5.5	20	90	0.2	3	4.5
18	90	0.24	2	2.5	20	90	0.22	4	5.5
18	90	0.26	3	3.5	20	90	0.24	2	2.5
18	90	0.27	4	4.5	20	90	0.26	3	3.5
18	90	0.34	4	3.5	20	90	0.27	4	4.5
18	90	0.36	3	2.5	20	90	0.34	4	3.5
18	90	0.48	4	2.5	20	90	0.36	3	2.5
18	95	0.22	4	5.5	20	90	0.48	4	2.5
18	95	0.24	2	2.5	20	95	0.22	4	5.5
18	95	0.26	3	3.5	20	95	0.24	2	2.5
18	95	0.27	4	4.5	20	95	0.26	3	3.5
18	95	0.34	4	3.5	20	95	0.27	4	4.5
18	95	0.36	3	2.5	20	95	0.34	4	3.5
18	95	0.48	4	2.5	20	95	0.36	3	2.5
20	90	0.12	1	2.5	20	95	0.48	4	2.5
20	90	0.13	2	3.5					

关系来满足净化要求，应用到实际工程中，则可综合考虑安装空间和处理气量波动等实际条件，合理匹配模块数和电场风速。另外，当净化效率要求不高时，通过提高电离电压，可在更短电场停留时间内满足净化要求。表 2 中数据表明，当净化效率要求为 90% 时，对应 18 kV 和 20 kV 电离电压的场停留时间分别为 0.17 s 和 0.12 s。同样地，在该停留时间下，串联模块数和电场风速可以有多种组合，亦根据实际应用场景进行匹配。

### 2.3 收尘区供电电压对净化效率的影响

采用双区长电离短收尘模块，在电场风速为 3.5 m·s<sup>-1</sup> 的条件下，进一步研究收尘区电压对净

化效率的影响。其中,荷电区电离电压分别为16、18、20 kV,串联模块数分别为2、3、4,结果如表3所示。由表3数据可知,在荷电区电离电压为16 kV时,净化效率随收尘区电压(7~9 kV)升高而有所增加;而当荷电区电离电压升高至18 kV和20 kV时,收尘区供电电压(7~9 kV)对净化效率的影响很小。这表明荷电区电离强度决定的荷电量是影响净化效率的关键因素,且在达到一定电离强度后,收尘区电场强度的影响不明显。因此,通过增大电离电压,可提高油烟颗粒物荷电能力,并有效提升净化效果。

表3 收尘区供电电压对净化效率的影响

Table 3 Effects of collecting voltage on purification efficiency

电离电压/kV	模块数量/个	收尘电压/kV	净化效率/%	电离电压/kV	模块数量/个	收尘电压/kV	净化效率/%
16	2	7	86.63	18	3	9	96.17
16	2	8	88.45	18	4	7	99.64
16	2	9	89.73	18	4	8	99.77
16	3	7	90.98	18	4	9	99.85
16	3	8	92.11	20	2	7	94.20
16	3	9	93.39	20	2	8	94.71
16	4	7	98.63	20	2	9	94.63
16	4	8	98.98	20	3	7	97.50
16	4	9	99.22	20	3	8	97.56
18	2	7	91.94	20	3	9	97.71
18	2	8	92.29	20	4	7	99.91
18	2	9	92.30	20	4	8	99.94
18	3	7	95.70	20	4	9	99.96
18	3	8	96.01				

### 3 结论

1) 优化电极配置对提升净化效率作用明显。净化效率由高到低对应的电极配置为:双区长电离短收尘配置>双区短电离长收尘配置>组合配置>单区配置。油烟荷电量和荷电油烟迁移距离是影响净化效率的关键因素,增大电离强度和减小荷电油烟迁移距离有利于油烟的净化。

2) 无论电离电压、串联模块数和电场风速等条件如何变化,粒径为0.13~0.23  $\mu\text{m}$ 的油烟分级净化效率均为最低,而该粒径范围的分级净化效率是影响总净化效率的关键因素。当油烟粒径小于0.13  $\mu\text{m}$ 和大于0.23  $\mu\text{m}$ 时,要提高净化效率,应增强油烟颗粒的扩散效应或增大荷电量。

3) 电场停留时间是影响油烟净化效率的关键因素。可根据安装空间和处理气量波动情况等实际条件,灵活匹配电场风速和串联模块数,确定所需的停留时间,以提高效益费用比。

4) 荷电区电离电压对油烟净化效率影响大于收尘区电压。在适当电离电压的条件下,收尘区供电电压(电场强度)变化对油烟净化效率的影响不大。

### 参考文献

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国2019年国民经济和社会发展统计公报[R]. 北京: 国家统计局, 2020.
- [2] 高雅琴, 王红丽, 许睿哲, 等. 餐饮源挥发性有机物组成及排放特征[J]. 环境科学, 2019, 40(4): 109-115.
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 2015年环境统计年报[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2018.
- [4] 温梦婷, 胡敏. 北京餐饮源排放细粒子理化特征及其对有机颗粒物的贡献[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 214-219.
- [5] HE L Y, HU M, HUANG X F, et al. Measurement of emissions of fine particulate organic matter from Chinese cooking[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(38): 6557-6564.
- [6] 北京市生态环境局. 最新科研成果新一轮北京市PM<sub>2.5</sub>来源解析正式发布[EB/OL]. [2020-04-10]. <http://sthjj.beijing.gov>.



[cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxgk43/fdzdgnr2/xwfb/832588/index.html](http://cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxgk43/fdzdgnr2/xwfb/832588/index.html).

- [7] 张丽娥. 烹调油烟暴露致机体遗传损伤及其与睡眠质量的关联研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2018.
- [8] 李旭, 李晓丹. 餐饮油烟对人体健康的危害[J]. *节能与环保*, 2019(2): 28-29.
- [9] 黄滨辉, 司传海, 王玉红, 等. 我国餐饮业的油烟污染与净化技术[J]. *中国环保产业*, 2018, 40(12): 39-41.
- [10] 张秀东, 刘有智, 樊光友, 等. 餐饮业油烟净化技术发展及研究现状[J]. *工业安全与环保*, 2010, 36(4): 32-36.
- [11] 冯轶成, 易红宏, 唐晓龙, 等. 餐饮油烟污染及其净化技术研究进展[J]. *现代化工*, 2017, 37(3): 26-29.
- [12] 马洪玺, 何双荣, 杨座国. 油烟气催化氧化净化过程研究[J]. *高校化学工程学报*, 2019, 33(1): 234-242.
- [13] 夏扬开, 何万清, 白画画. 餐饮业大气污染物的净化技术进展研究[C]//中国环境科学学会. 2018中国环境科学学会科学技术年会论文集(第2卷), 2018: 458-463.
- [14] 苏仕军, 蒋文举, 杨志山. 餐饮业外排烹调油烟气的危害及净化方法研究进展[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2000, 1(3): 77-81.
- [15] KESKINEN J, PIETARINEN K, LEHTIMAKI M. Electrical low pressure impactor[J]. *Journal of Aerosol Science*, 1992, 23(4): 353-360.
- [16] MARJAMAKI M, KESKINEN J, CHEN D, et al. Performance evaluation of the electrical low-pressure impactor (ELPI)[J]. *Journal of Aerosol Science*, 2000, 31(2): 249-261.
- [17] 骆仲渊, 江建平, 赵磊, 等. 不同电场中细颗粒物的荷电特性研究[J]. *中国电机工程学报*, 2014, 34(23): 3959-3969.
- [18] ADAMIAK K. Numerical models in simulating wire-plate electrostatic precipitators: A review[J]. *Journal of Electrostatics*, 2013, 71(4): 673-680.
- [19] YOO K, LEE J, OH M. Charging and collection of submicron particles in two-stage parallel-plate electrostatic precipitators[J]. *Aerosol Science & Technology*, 1997, 27(3): 308-323.
- [20] ZHU J, ZHANG X, CHEN W, et al. Electrostatic precipitation of fine particles with a bipolar pre-charger[J]. *Journal of Electrostatics*, 2010, 68(2): 174-178.

(本文编辑: 靳炜, 郑晓梅)

## Effects of electrode matching and operation condition on the oil fume removal by electrostatic technology

ZHAO Jingwen, GAO Zhihong, ZHU Tianle\*, SHAO Mingpan, SUN Ye, FU Tian'ao, WANG Yunxia

School of Space and Environment, Beihang University, 100191, China

\*Corresponding author, E-mail: zhutl@buaa.edu.cn

**Abstract** The performance of oil fume removal by electrostatic precipitation and the effects of electrode matching, electric field wind velocity, ionization and collection voltages on the removal efficiency are systematically investigated in this study. Dioctyl sebacate (DOS) aerosol in the range of 0.02~2.02  $\mu\text{m}$  produced by an aerosol generator is used to simulate the oil fume. The number and mass concentration of particles are measured by an Electrical Low-Pressure Impactor plus (ELPI+) particle detector. Results show that the charging amount and migration distance of oil fume are the key factors affecting purification efficiency. Optimizing electrode matching significantly increases the purification efficiency. The purification efficiency is better enhanced by increasing ionization voltage in the charging zone than increasing collecting voltage in the collection zone. It is difficult to remove particles of 0.13~0.23  $\mu\text{m}$  in diameter in the oil fume and its graded purification efficiency greatly affects the overall purification efficiency. The decrease in wind velocity of the electric field or increase in the number of modules in series can increase the residence time of oil fume in the electric field and thus improve the purification efficiency. The benefit-cost ratio of applying the oil fume purification system can be enhanced by scientifically matching the electric field wind velocity and the number of modules according to the allowed construction space and the flue gas fluctuation.

**Keywords** electrostatic separation; cooking oil fume; electrode matching; electric field wind velocity; purification efficiency