

# 燃煤电厂电除尘 $PM_{10}$ 和 $PM_{2.5}$ 的排放控制IV:采用二维PIV除尘

沈欣军<sup>1,3</sup>, 郑钦臻<sup>1</sup>, 宁致远<sup>1</sup>, 王仕龙<sup>2</sup>, 韩平<sup>2</sup>, 闫克平<sup>1</sup>

1. 浙江大学工业生态与环境研究所, 杭州 310028

2. 神华国能集团有限公司, 北京 100033

3. 沈阳工业大学理学院, 沈阳 110870

**摘要** 利用粒子成像测速法(PIV)和电子低压冲击仪(ELPI), 研究实验室规模的电除尘器(ESP)内电场强度、电晕放电功率和气流场等因素对 $PM_{10}$ (粒径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的颗粒物)分级收尘效率。电除尘器为线-板式电极结构, 其中板-板间距为 $200\ \text{mm}$ , 高电压电极为单根或双根。实验颗粒物采用艾灸烟作为示踪粒子, 气体流量 $85\ \text{m}^3/\text{h}$ , 颗粒物初始质量浓度 $33\ \text{mg}/\text{m}^3$ 左右。实验结果表明, 随着电场强度或电晕放电功率的增加, 在高压电晕极线周围气流场从有规律的单个涡旋发展为相互作用的多个涡旋, 优化电晕放电离子风分布是提高 $PM_{10}$ 收集效率和降低电耗的关键。从颗粒物个数浓度、外加电场或电晕放电功率看, 可将电除尘器性能以电场强度为 $3\ \text{kV}/\text{cm}$ 为界分为2个区域。当电场强度低于 $3\ \text{kV}/\text{cm}$ 时, 分级除尘效率随着电场强度或电除尘指数的增加而增加。然而, 当电场强度远大于 $3\ \text{kV}/\text{cm}$ 时, 收尘效率基本不变或降低。

**关键词** 电除尘; 粒子成像测速法; 细颗粒物; 颗粒物

中图分类号 X513

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.33.005

## $PM_{10}$ and $PM_{2.5}$ Emission Control by Electrostatic Precipitator (ESP) for Coal-fired Power Plants IV: Investigations on Electrostatic Precipitation by Means of 2D PIV Technique

SHEN Xinjun<sup>1,3</sup>, ZHENG Qinzheng<sup>1</sup>, NING Zhiyuan<sup>1</sup>, WANG Shilong<sup>2</sup>, HAN Ping<sup>2</sup>, YAN Keping<sup>1</sup>

1. Institute of Industrial Ecology and Environment, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China

2. Shenhua Guoneng Energy Group Corporation Limited, Beijing 100033, China

3. School of Science, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China

**Abstract** This paper discusses  $PM_{10}$  (particle matter with a diameter less than  $10\ \mu\text{m}$ ) grade collection efficiencies of a laboratory electrostatic precipitator (ESP) in terms of the electric field, corona discharge power, and gas flow patterns by means of the particle image velocimetry (PIV) and the electrical low pressure impactor (ELPI) technique. The wire-plate ESP has a plate-plate distance of  $200\ \text{mm}$ , together with a single or two high-voltage electrodes. Moxa-moxibustion smoke is used as the tracer for evaluation of the gas flow and particle grade collection efficiency. Experiments, performed in air with a total gas flow rate of  $85\ \text{m}^3/\text{h}$  and initial particle mass concentration of around  $33\ \text{mg}/\text{m}^3$ , show that with increasing the field strength or corona discharge power, the flow changes from

收稿日期:2014-10-22;修回日期:2014-10-27

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA065000);浙江省重点科技创新团队计划项目(2013TD07)

作者简介:沈欣军,博士研究生,研究方向为电除尘,电子信箱:11114027@zju.edu.cn;闫克平(通信作者),教授,研究方向为环境科学与环境工程,电子信箱:kyan@zju.edu.cn

引用格式:沈欣军,郑钦臻,宁致远,等.燃煤电厂电除尘 $PM_{10}$ 和 $PM_{2.5}$ 的排放控制IV:采用二维PIV除尘[J].科技导报,2014,32(33):43-50.

regular vortexes around the corona wire to multi-vortexes inter-reacting each other. As a result, optimizing the distribution of corona discharge ion wind is the key to increase  $PM_{10}$  collection efficiencies and reduce the power consumption. In terms of the particle number concentration and the applied electric field or corona discharge power, two ESP performance regions can be distinguished: Below 3 kV/cm, the grade collection efficiency increases with the rise of field strength or ESP index; it tends to saturate or drop when the field becomes higher than 3 kV/cm.

**Keywords** electrostatic precipitation; particle image velocimetry;  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$

《GB 13223—2011 火电厂大气污染物排放标准》规定,所有新建项目于2012年1月1日起正式实施此排放标准,现有火电厂最迟于2014年7月1日前完成贯标工作,其中烟尘排放浓度限值为  $30 \text{ mg/m}^3$ ,对于重点区域的火电厂实行  $20 \text{ mg/m}^3$  烟尘排放浓度特别限值。虽然国家目前没有对  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  的排放特别要求,但从污染控制看,严格控制燃煤锅炉  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  排放才是实现绿色发电的关键。如何开展现役电除尘改造,降低  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  的排放,是电力行业面临的重大技术和经济课题。

通常,电除尘器的除尘效率可达99%以上,但对细颗粒物的收集效率较低<sup>[1,2]</sup>。细颗粒物收集过程涉及电场、流场、粒子荷电、几何参数以及运行工况等,这些影响因素的相互作用可导致电除尘器内部产生湍流降低细颗粒物的收集<sup>[3]</sup>。

同时采用可视化流场分析技术——粒子成像测速法 (particle image velocimetry, PIV) 和颗粒物定量分析技术——电子低压冲击仪 (electrical low pressure impactor, ELPI), 不仅可研究电除尘器收集过程各影响因素的作用,而且为优化电除尘器实际运行和设计提供参考依据。PIV 作为一种非接触、瞬时、动态和全场可视化测试技术被广泛应用在液体和气体流场测试中<sup>[4]</sup>。国外研究人员已经将 PIV 应用在实验室规模电除尘器中的流场测试。如采用二维 PIV 对线-板式<sup>[5-7]</sup>、多线-板式<sup>[8,9]</sup>、针-板式<sup>[10,11]</sup>和线-筒式<sup>[12]</sup>电除尘器的测试,采用三维 PIV 针对窄间距 (板-板间距为 30 mm)<sup>[13,14]</sup>和宽间距 (板-板间距为 100 mm)<sup>[15,16]</sup>线-板式电除尘器的测试,还有针对介质阻挡放电 (DBD) 类电除尘器的测试<sup>[17]</sup>。这些研究都从流场的角度分析电除尘器内湍流的存在对细颗粒物捕集的影响,但流场如何影响颗粒物的分级收集效率仍未见报到。

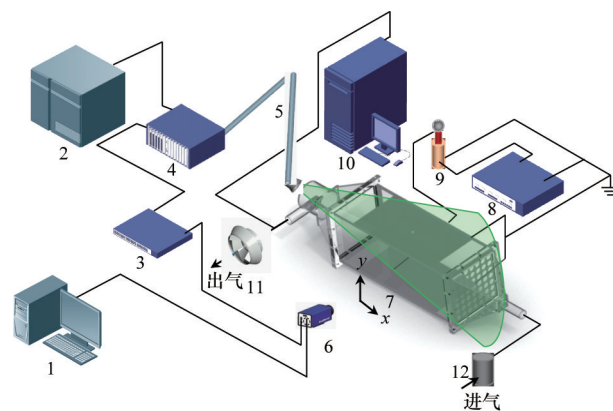
本文针对线-板式电除尘器,采用二维粒子成像测速法 PIV 和电子低压冲击仪 ELPI 相结合的技术,开展流场与分级除尘效率之间定量关系的研究。

## 1 实验系统

### 1.1 仪器与设备

实验系统主要由电除尘器、标准二维 PIV、ELPI、负直流高压电源、风机和烟气发生装置等组成 (图 1)。电除尘器箱体为有机玻璃材质,直段长为 600 mm,断面尺寸为  $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 。2 个接地不锈钢薄板平行贴附于电除尘器上下内壁面的中间位置,尺寸为  $400 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ ,板-板间距为 200

mm。单或双根不锈钢细丝 (直径为 0.15 mm, 长为 200 mm) 布置在不锈钢接地电极之间。负高压电源的电压精度  $\pm 0.1 \text{ kV}$  和电流精度  $\pm 1 \text{ } \mu\text{A}$ ,  $1 \text{ M}\Omega$  限流电阻接于负直流高压电源与高压电极之间。



1—计算机;2—激光器电源;3—同步器;4—激光发生器;  
5—导光臂;6—CCD相机;7—电除尘器;8—负直流高压电源;  
9—高压硅堆;10—ELPI;11—风机;12—烟气发生装置

图 1 实验系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

采用 Beamtech Vlite-200 型双脉冲 Nd:YAG 激光经导光臂后在电除尘器中形成 1 mm 左右厚的激光面,沿电除尘器中心轴线且垂直于 2 个不锈钢板的方向投射。垂直布置在激光面前方的 IMPERX IPX E4M15 型电感耦合 (charge coupled device, CCD) 相机用来拍摄在激光面内散射了激光的细颗粒物。725 V5 型同步控制器用来控制脉冲激光面投射和 CCD 相机拍摄的不同步。CCD 图片经 Micro Vec V3.2.1 软件进行相关性分析,最后通过 Tecplot 软件绘制出拍摄区域内瞬时流场的速度分布矢量图或流线图。

ELPI 用来测量电除尘器出口处的颗粒物个数、浓度和荷电量,可以同时测得  $PM_{10}$  中的中位粒径为 0.039、0.072、0.121、0.204、0.318、0.486、0.766、1.239、1.966、3.102、5.191、8.181  $\mu\text{m}$  的 12 个不同等级颗粒物的个数浓度、质量浓度和荷电量<sup>[22,23]</sup>。

### 1.2 示踪粒子

评估电除尘器的示踪粒子一般有香烟<sup>[5]</sup>和焚香<sup>[17]</sup>等,考虑到艾灸烟具有很好的浓度可控性和持续性,便于电除尘器连续运行时 ELPI 的数据采集,本实验中采用艾灸烟为示踪粒子。图2为采用 ELPI 测试得到的香烟(2根)、焚香(9根)和艾灸烟(1根)颗粒物的个数浓度和质量积分分布。从图2可以看出,3种颗粒物具有相近的个数分布和质量积分,个数以亚微米细颗粒物为主。

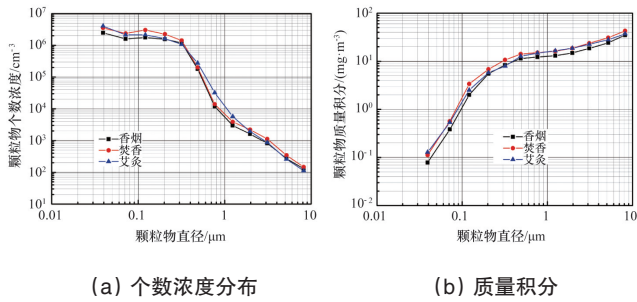


图2 实验中示踪粒子的分布

Fig. 2 Experimental tracer particle distributions

### 1.3 实验方法

含烟气体通过电除尘器前置气流分布板进入电除尘器,气体流量 85 m<sup>3</sup>/h,颗粒物初始质量浓度 33 mg/m<sup>3</sup>左右,同时开展电除尘器内流场 PIV 测试和电除尘出口处颗粒物的 ELPI 测试。实验中,考察了不同放电电极结构下(单电极、线-线间距  $d$  为 78 mm 和 155 mm 双电极),平均电场强度平方  $E_a^2$ 、电晕放电功率  $P$  和气流场等因素对 PM<sub>10</sub> 分级收尘效率的影响。其中,气流场为 48 对 CCD 图片的平均结果。实验均在常压和室温 22℃ 下进行,相对湿度约为 50%。

## 2 结果与讨论

### 2.1 电晕放电的电特性

图3为不同放电电极下电压-电流和平均电场强度-功率的关系曲线,相同电晕电流或功率时,在线-线间距为 155 mm 时电除尘器的运行电压或电场强度最低。

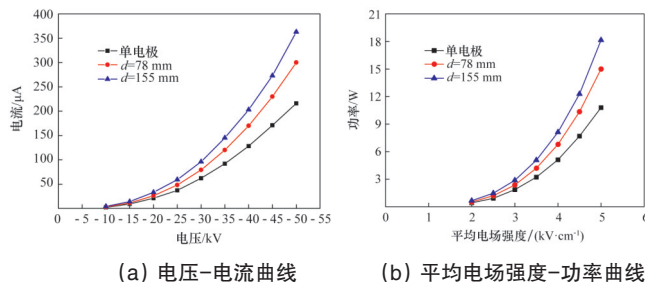


图3 电晕放电的电特性曲线

Fig. 3 Electric characteristic curves of corona discharge

### 2.2 电晕放电的流场特性

图4为未加高压前电除尘中的背景流场分布,一次气流

通过气流分布板进入电除尘器后,基本实现了均匀的层流分布。图5~图7分别为单电极、线-线间距为 78 mm 和 155 mm 双电极结构下,电场强度变化引起的气流流场图。从图5~图7可以看出,随着电场强度的增加,一次气流会改变原有运动方向,在放电电极周围产生有规律的涡旋,电场强度越大,涡旋越明显。这主要是由电晕放电产生的离子风造成的,离子风的作用改变了细颗粒物原有的运动轨迹,使层流形式的一次流变成了湍流。比较图6和图7,在线-线间距较近时,电极之间涡旋的相互作用强烈,涡旋分布不均匀,增大线-线间距,涡旋分布则更加均匀对称。此外,线-线间距越近,两放电电极间产生的电晕抑制越强,产生的离子风越弱,引起的二次流速越小。

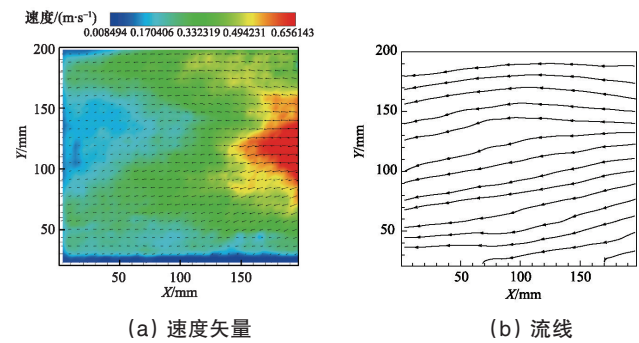


图4 一次气流的流场

Fig. 4 Background gas flow distribution diagrams

### 2.3 颗粒物的分级除尘效率

#### 2.3.1 电除尘指数

在电除尘中试实验的基础上,根据不同颗粒物的收集效率,提出分级电除尘效率与电除尘指数关系<sup>[24]</sup>:

$$\lg \frac{1-\eta(r)}{\beta(r)} = -\alpha(r)E_a E_p S \quad (1)$$

$$\eta(r) = 1 - \frac{N_i(r)}{N_0(r)} \quad (2)$$

式中,  $r$  为颗粒物的空气动力学半径,  $\mu\text{m}$ ;  $\eta(r)$  为颗粒物分级除尘效率, %;  $\alpha(r)$ 、 $\beta(r)$  为与颗粒物粒径有关的修正系数;  $E_a$  为平均电场强度,  $\text{kV/cm}$ ;  $E_p$  为峰值电场强度,  $\text{kV/cm}$ ;  $S$  为比集尘面积,  $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ ;  $N_i(r)$  为电除尘器出口颗粒物个数浓度,  $1/\text{cm}^3$ ;  $N_0(r)$  为电除尘器进口颗粒物初始个数浓度,  $1/\text{cm}^3$ ;  $E_a E_p S$  定义为电除尘指数,它反映了单位烟气在电除尘器中的电场能量密度。从式(1)可以看出,分级除尘效率与电除尘指数呈正相关。当采用纹波系数小的直流高压电源时,  $E_p$  与  $E_a$  几乎一样,将式(2)代入式(1),可得到颗粒物个数浓度与电除尘指数的关系表达式:

$$\lg \frac{N_i(r)}{N_0(r)} = -\alpha(r)E_a^2 S \quad (3)$$

实验中,比集尘面积  $S$  为常数,分别为  $3.4 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$  (单电极)、 $4.7 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$  (双电极  $d=78 \text{ mm}$ ) 和  $6.0 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$  (双电极  $d=155 \text{ mm}$ )。

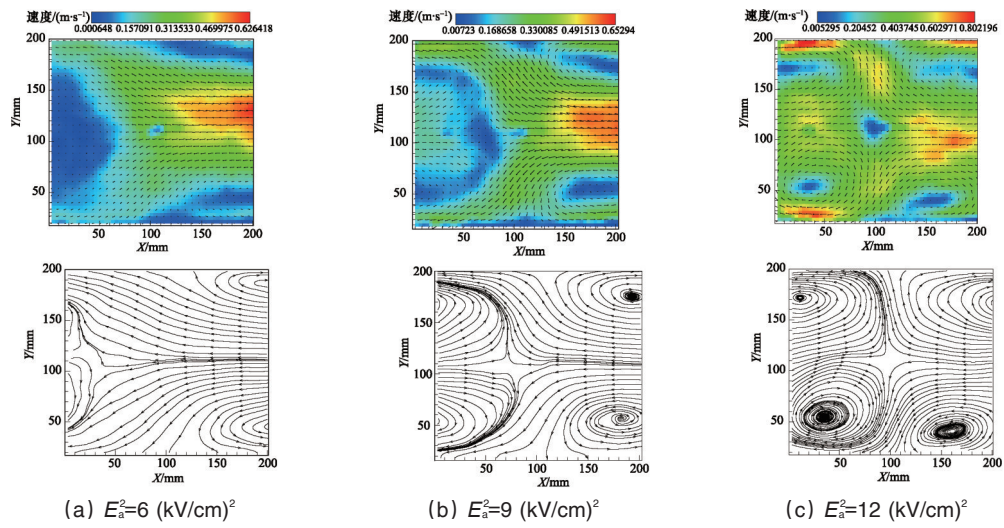


图5 单电极结构下的流场

Fig. 5 Gas flow diagrams with a single corona wire

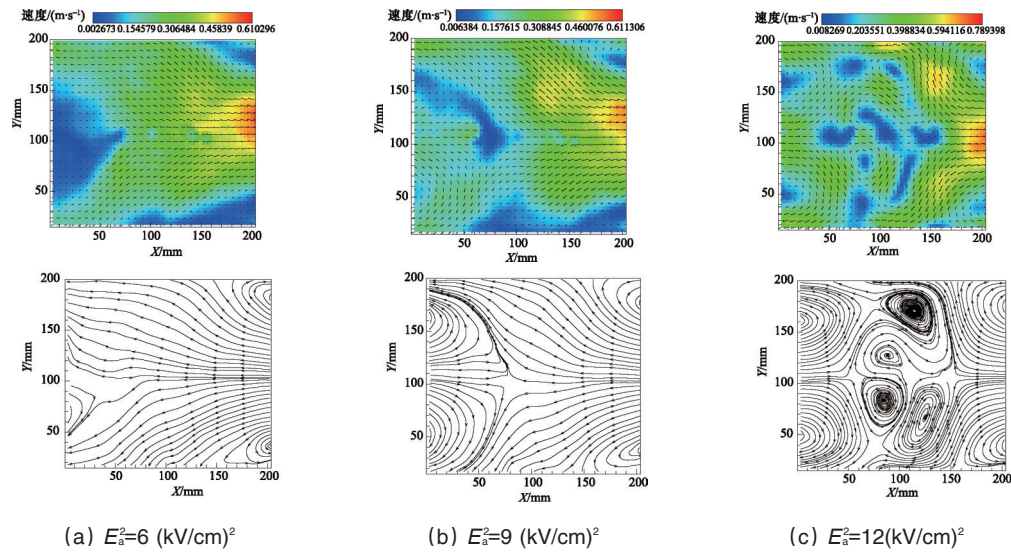


图6 78 mm线-线间距双电极结构下的流场

Fig. 6 Gas flow diagrams with two corona wires of 78 mm distance

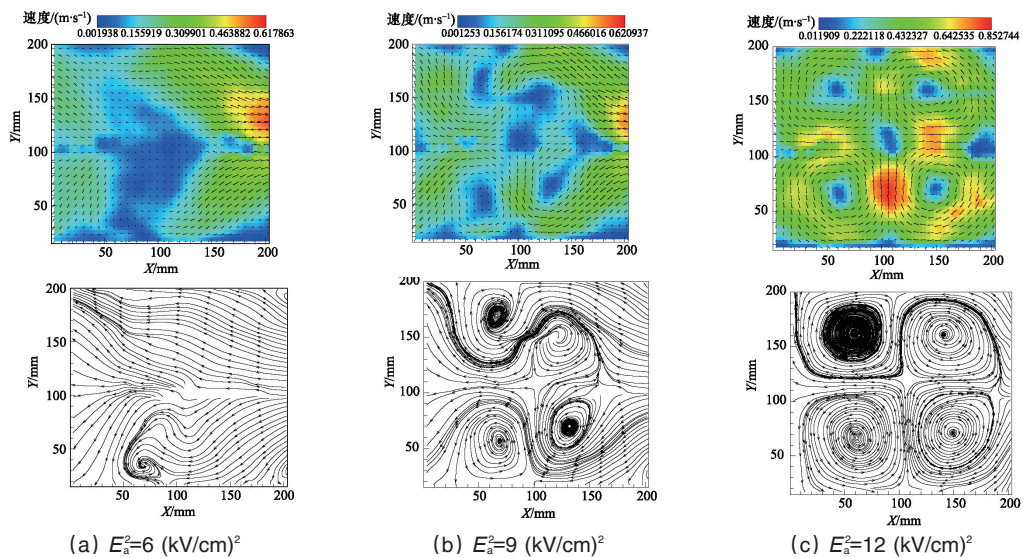


图7 155 mm线-线间距双电极结构下的流场

Fig. 7 Gas flow diagrams with two corona wires of 155 mm distance

### 2.3.2 电场强度对分级除尘效率的影响

图8(a)~(l)为中位粒径在0.039~8.181 μm范围时的颗粒物个数浓度随电场强度平方 $E_a^2$ 的变化关系。从图8中可以看出,颗粒物的个数浓度变化或分级除尘效率可以分成两个区域,约以 $E_a^2=9$  (kV/cm)<sup>2</sup>为界,当 $E_a^2$ 小于9 (kV/cm)<sup>2</sup>时,分级除尘效率与 $E_a^2$ 或电除尘指数呈正相关性,如方程(1)所示,即随着 $E_a^2$ 的增加分级除尘效率迅速增加;当 $E_a^2$ 大于9 (kV/cm)<sup>2</sup>时,这种相关性变小或呈负相关性,即分级除尘效率逐渐变缓或逐渐下降。对于图8(m)~(p)所示PM<sub>0.3</sub>、PM<sub>1</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>的分级除尘效率,同样具有这种相关性。但由于中位粒径为0.039和0.072 μm的细颗粒物个数占较大比重(图2),因此PM<sub>0.3</sub>、PM<sub>1</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>的分级除尘效率都表现为以

$E_a^2=9$  (kV/cm)<sup>2</sup>为界,与 $E_a^2$ 或电除尘指数呈先正相关,后负相关的规律。在考虑分级除尘效率和能耗的情况下,电场强度存在着一个最佳值(本实验最佳值在 $E_a=3$  kV/cm左右)。原因可以从前述的流场图5~图7加以分析。当 $E_a^2$ 小于9 (kV/cm)<sup>2</sup>时,电晕放电产生的离子风较小,电场强度的增加有利于颗粒物的捕集;当 $E_a^2$ 大于9 (kV/cm)<sup>2</sup>时,离子风加强并产生了强烈的、相互作用的多个涡旋,在颗粒物到达收集电极前又被吹回电除尘器中,从而降低了颗粒物的收集效率。

图9和图10分别比较了未加电和 $E_a^2=9$  (kV/cm)<sup>2</sup>时,颗粒物个数浓度和质量积分浓度前后的变化。在电场强度 $E_a=3$  kV/cm时,颗粒物个数分布和质量积分曲线与初始曲线近似平行,各颗粒物的收集效率基本相同。

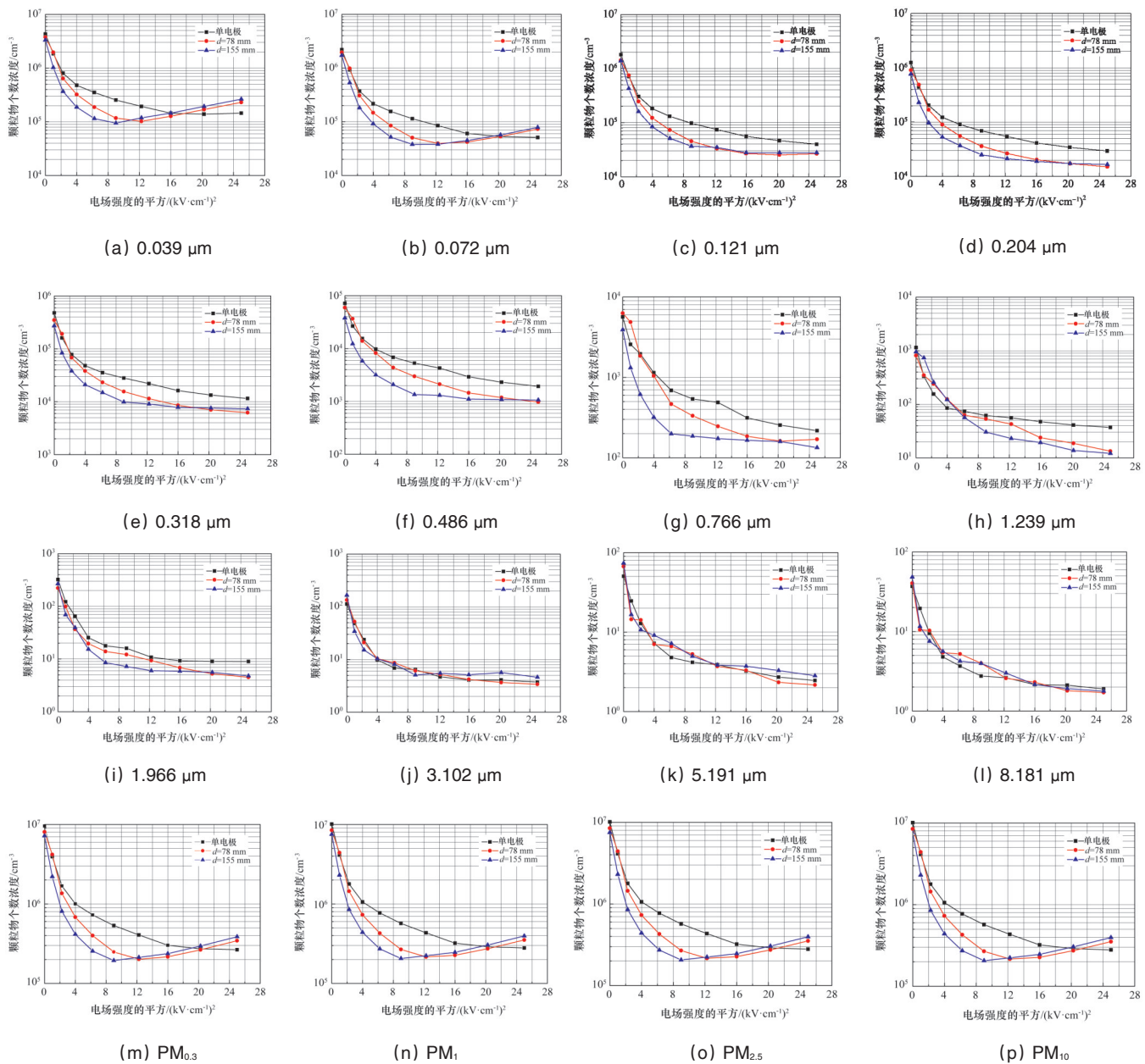


图8 电场强度与颗粒物个数浓度的关系

Fig. 8 Particle number concentrations in terms of the applied electric fields

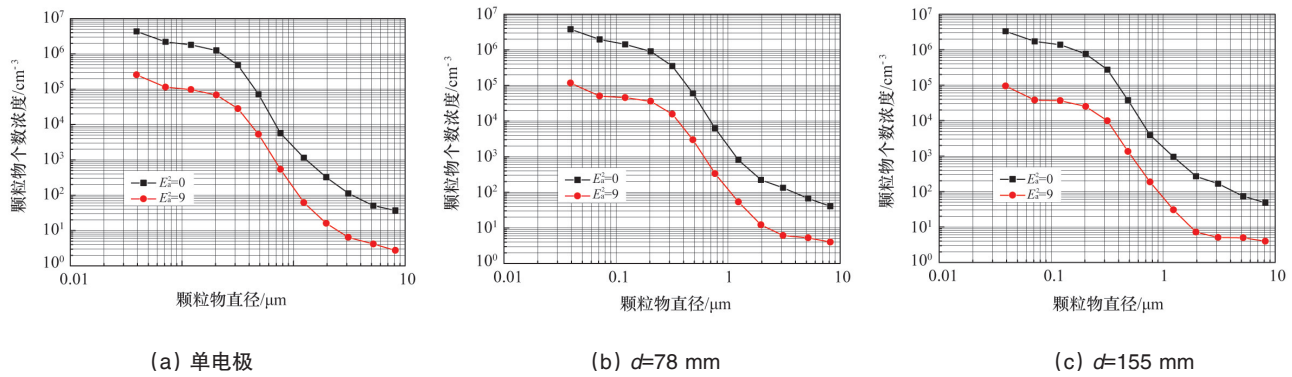


图9 在  $9 \text{ (kV/cm)}^2$  时颗粒物去除前后的个数浓度变化

Fig. 9 Reduction of particle number concentration at  $9 \text{ (kV/cm)}^2$

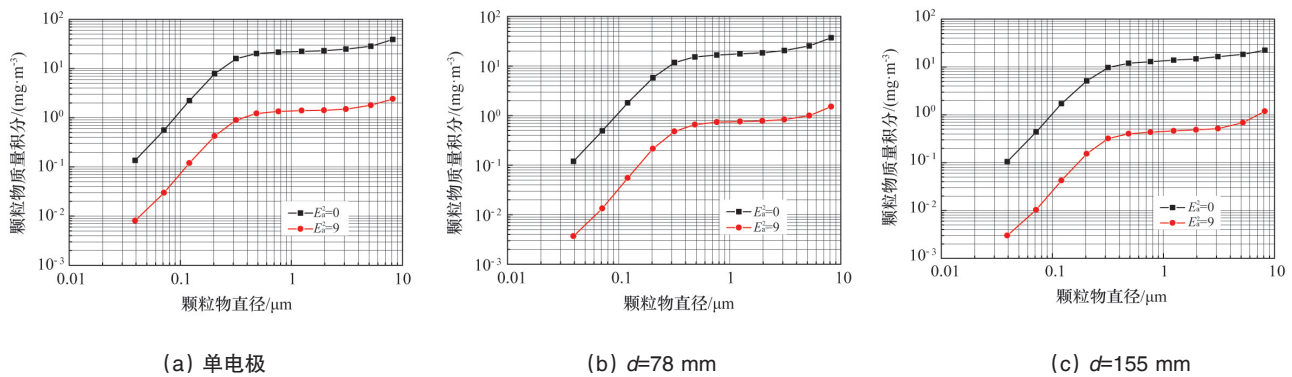


图10 在  $9 \text{ (kV/cm)}^2$  时颗粒物去除前后的质量积分变化

Fig. 10 Reduction of particle mass accumulation concentration at  $9 \text{ (kV/cm)}^2$

### 2.3.3 电晕放电功率与分级除尘效率的关系

图11为单电极,线-线间距 $d$ 为78和155 mm双电极3种不同电极结构下,  $\text{PM}_{0.3}$ 、 $\text{PM}_1$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{10}$ 随放电功率增加而变化的曲线图。同样从放电功率看除尘也可分为2个区域,

当功率 $P$ 小于4 W时,随着放电功率的增加,颗粒物的分级除尘效率快速增长;当 $P$ 大于4 W时,分级除尘效率逐渐变缓或逐渐下降。可见,在考虑分级效率和能耗的情况下,放电功率也存在着一个最佳值。

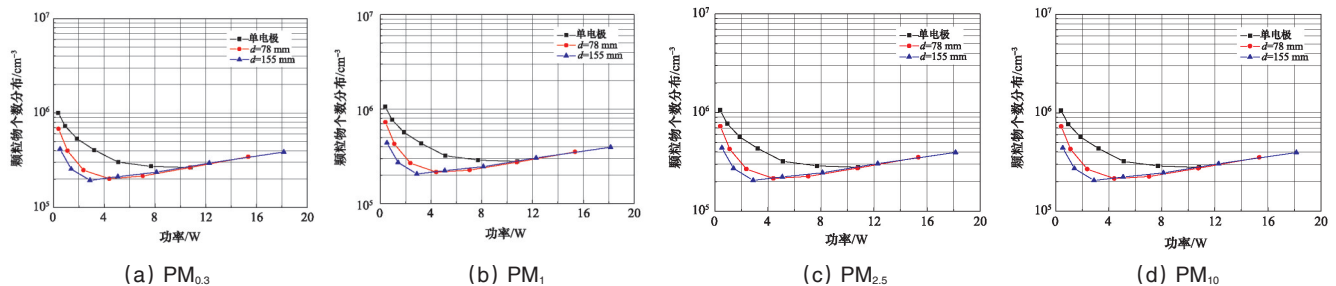


图11 放电功率与颗粒物个数分布的关系

Fig. 11 Reduction of particle number concentration in terms of the corona discharge power

### 2.3.4 颗粒物的荷电量

图12为单电极,线-线间距 $d$ 为78和155 mm双电极3种不同电极结构下,在电除尘器出口处颗粒物的荷电量,可以

看出,当 $E_0$ 大于  $9 \text{ (kV/cm)}^2$  时,随着电场强度的增加,对细颗粒物的荷电量影响不大,特别是 $\text{PM}_1$ 颗粒物在电场中的荷电量基本达到饱和。

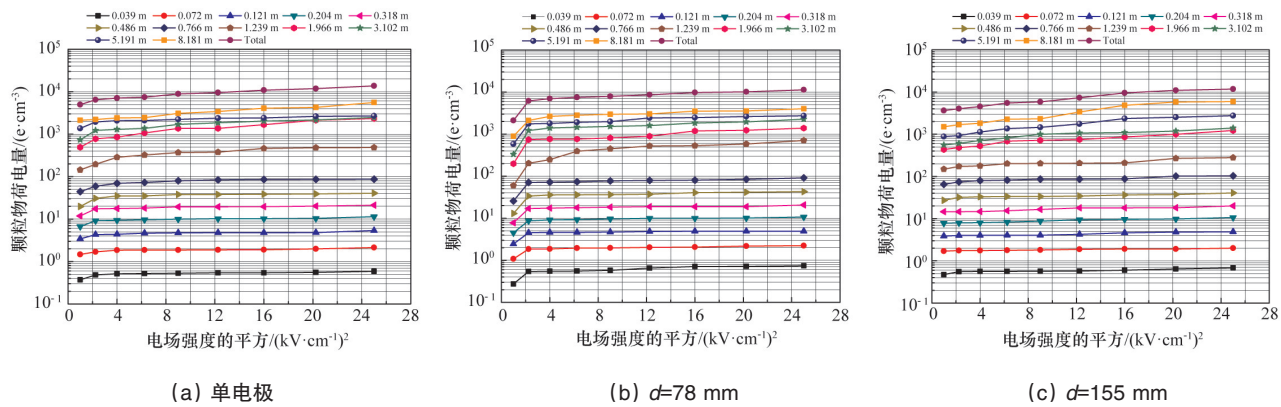


图 12 电除尘器出口处颗粒物的荷电量

Fig. 12 Particle charge distributions in terms of the applied field strengths

### 3 结论

通过 PIV 流场可视化方法和 ELPI 定量测试相结合的方法,研究了实验室规模电除尘器内 PM<sub>10</sub> 的分级除尘效率。

1) 电除尘出口未收集到的 PM<sub>10</sub> 烟尘基本都带饱和电量,改变电场强度对带电量影响不大。

2) 在电场强度低于 3 kV/cm 时 PM<sub>10</sub> 的分级除尘效率与电除尘指数具有很好的相关性,电除尘分级效率可利用电除尘指数开展分析和预测,进一步增加电场强度将导致强的放电离子风,影响 PM<sub>10</sub> 的收集效率,电除尘指数模型需要进一步修正。

3) 通过调整高压电极间距离可实现对离子风引起的流场变化开展有效调控,从而优化除尘效率。比较单电极和不同间距的双电极电除尘可以看出,在相同电耗的情况下,双电极电除尘比单电极电除尘有较好的除尘效率。

#### 参考文献 (References)

- [1] Ohyama R, Urashima K, Chang J S. Numerical modeling of wire-plate electrostatic precipitator for control of submicron and ultra-fine particles [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2000, 31: 162-163.
- [2] Mizuno A. Electrostatic precipitation[J]. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2000, 7(5): 615-624.
- [3] Blanchard D, Dumitran L M, Atten P. Effect of electro-aero-dynamically induced secondary flow on transport of fine particles in an electrostatic precipitator[J]. *Journal of Electrostatics*, 2001, 59(51/52): 212-217.
- [4] Mizeraczyk J, Kocik M, Podlinski J. Flow diagnostics using particle image velocimetry method[J]. *Laser Technology VIII: Applications of Lasers*, 2007, 6598: 1-9.
- [5] Mizeraczyk J, Kocik M, Dekowski J. Measurements of the velocity field of the flue gas flow in an electrostatic precipitator model using PIV method[J]. *Journal of Electrostatics*, 2001, 59(51/52): 272-277.
- [6] Podlinski J, Dekowski J, Mizeraczyk J. Electrohydrodynamic gas flow in a positive polarity wire-plate electrostatic precipitator and the related dust particle collection efficiency[J]. *Journal of Electrostatics*, 2006, 64(3/4): 259-262.
- [7] Podlinski J, Niewulis A, Mizeraczyk J. ESP performance for various dust densities[J]. *Journal of Electrostatics*, 2008, 66(5/6): 246-253.
- [8] Mizeraczyk J, Dekowski J, Podlinski J. Laser flow visualization and velocity fields by particle image velocimetry in an electrostatic precipitator model[J]. *Journal of Visualization*, 2003, 6(2): 125-133.
- [9] Podlinski J, Dekowski J, Kocik M, et al. Measurement of the flow velocity field in multi-field wire-plate electrostatic precipitator[J]. *Czechoslovak Journal of Physics*, 2004, 54(3): 922-930.
- [10] Podlinski J, Dekowski J, Mizeraczyk J. EHD flow in a wide electrode spacing spike-plate electrostatic precipitator under positive polarity[J]. *Journal of Electrostatics*, 2006, 64(7/9): 498-505.
- [11] Podlinski J, Niewulis A, Mizeraczyk J. Electrohydrodynamic flow and particle collection efficiency of a spike-plate type electrostatic precipitator [J]. *Journal of Electrostatics*, 2009, 67(2/3): 99-104.
- [12] Niewulis A, Berendt A, Podlinski J. Electrohydrodynamic flow patterns and collection efficiency in narrow wire-cylinder type electrostatic precipitator[J]. *Journal of Electrostatics*, 2013, 71(4): 808-814.
- [13] Niewulis A, Podlinski J, Kocik M. EHD flow measured by 3D PIV in a narrow electrostatic precipitator with longitudinal-to-flow wire electrode and smooth or flocking grounded plane electrode[J]. *Journal of Electrostatics*, 2007, 65(12): 728-734.
- [14] Niewulis A, Podlinski J, Mizeraczyk J. Electrohydrodynamic flow patterns in a narrow electrostatic precipitator with longitudinal or transverse wire electrode[J]. *Journal of Electrostatics*, 2009, 67(2/3): 123-127.
- [15] Podlinski J, Niewulis A, Mizeraczyk J. Electrohydrodynamic turbulent flow in a wide wire-plate electrostatic precipitator measured by 3D PIV method[C]//*Proceeding of the 11th International Conference on Electrostatic Precipitation*. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2008: 134-139.
- [16] Podlinski J, Niewulis A, Mizeraczyk J. Electrohydrodynamic flow in a wire-plate non-thermal plasma reactor measured by 3D PIV method [J]. *The European Physical Journal D*, 2009, 54(2): 153-158.
- [17] Zouzou N, Dramane B, Moreau E. EHD flow and collection efficiency of a DBD ESP in wire-to-plane and plane-to-plane configurations[J]. *IEEE Transaction on Industry Applications*, 2011, 47(1): 336-343.
- [18] Sattar S A. Influences of geometrical parameters upon electrostatic precipitator efficiency[J]. *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 1991, 10(1): 27-43.

- [19] Chang C L, Bai H. Effects of some geometric parameters on the electrostatic precipitator efficiency at different operation indexes[J]. Aerosol Science and Technology, 2000, 33(3): 228-238.
- [20] Yang X, Kang Y, Zhong K. Effects of geometric parameters and electric indexes on the performance of laboratory-scale electrostatic precipitators[J]. Journal of hazardous materials, 2009, 169(1): 941-947.
- [21] Kim S H, Lee K W. Experimental study of electrostatic precipitator performance and comparison with existing theoretical prediction models[J]. Journal of Electrostatics, 1999, 48(1): 3-25.
- [22] Glover W, Chan H K. Electrostatic charge characterization of pharmaceutical aerosols using electrical low-pressure impaction (ELPI) [J]. Journal of Aerosol Science, 2004, 35(6): 755-764.
- [23] Hsieh Y K, Chen L K, Hsieh H F, et al. Elemental analysis of airborne particulate matter using an electrical low-pressure impactor and laser ablation/inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2011, 26(7): 1502-1508.
- [24] Zhu J B, Zhao Q X, Yao Y P, et al. Effects of high-voltage power sources on fine particle collection efficiency with an industrial electrostatic precipitator[J]. Journal of Electrostatics, 2012, 70(3): 285-291.

(编辑 田恬)

·学术动态·



## 中国科协发布

### 《科技工作者践行社会主义核心价值观倡议书》

2014年9月4日,中国科协在北京发布《科技工作者践行社会主义核心价值观倡议书》,向全国广大科技工作者郑重倡议:

坚持把爱国、敬业、诚信、友善作为立身行事必须坚守的行为准则,努力做爱国的公民、敬业的学者、诚信的同行、友善的专家。高举爱国主义旗帜,弘扬老一辈科技工作者科技报国的高尚情操和无私奉献的爱国情怀,不断增强道路自信、理论自信、制度自信和创新自信。立足科技岗位,树立雄心壮志,敢于提出新理论、开辟新领域、探寻新路径,不断在攻坚克难中追求卓越,在加快建设创新型国家新征程中更加奋发有为。秉承求真务实、理性质疑、开拓创新、诚实守信的高尚品质,遵守科研道德,反对科学研究中的浮躁风气和弄虚作假、欺诈剽窃、不实署名等学术不端行为,努力成为良好学术风气的维护者、严谨治学的力行者、优良学术道德的传承者。破除论资排辈的陈旧观念,甘当人梯、亲贤爱才,在创新实践中发现人才、培养人才、使用人才,着力营造敢于创新、勇于竞争、诚信合作、宽容失败的科学文化氛围。

坚持把自由、平等、公正、法治作为履行社会责任必须坚守的价值追求,努力用科学技术帮助人们到达自由王国,促进社会平等,实现公平正义,建设法治社会。准确把握当代中国科学家的历史命运、历史责任和历史担当,自觉把学术自由与社会需求有机结合起来,用所掌握的科技知识服务社会、造福人民。始终对人民群众抱有深深的敬畏之心,尊重同行,尊重他人,民主讨论、平等待人,牢固树立对纳税人负责的意识,自觉履行传播科学知识、倡导科学方法、崇尚科学思想、弘扬科学精神的社会责任。把促进社会公平正义作为科技发展的重要方向,及时回应与科技相关的重大社会关切,客观介绍最新科技进展,主动为公众释疑解惑,努力消除城乡、区域、人群之间客观存在的知识鸿沟。自觉把科技活动纳入法治框架,依法依规使用科研经费、从事科研活动、应用科技成果,强化知识产权意识,切实避免和防止科技成果的不当使用,使科技真正造福人民。

坚持把富强、民主、文明、和谐作为在服务祖国中实现个人价值必须坚守的精神引领,努力做好国家富强、民族复兴、人民幸福的开路小工,切实肩负起为实现中国梦提供科技支撑的历史使命。自觉把个人价值追求同国家富强、民族振兴、人民幸福紧密联系起来,把个人事业发展融入现代化建设的需要和亿万人民的幸福安康之中,坚定不移地走中国特色自主创新道路,用科技梦助推中国梦。充分发挥科学文化水平较高、逻辑思维严谨、专业知识深厚的优势,及时发现科技发展和应用中出现的苗头性和倾向性问题,提出有针对性、可操作的对策建议,促进党和国家决策科学化、民主化,推动科学与民主携手前行。潜下心来做学问、搞科研,经得起挫折、耐得住寂寞,努力创造更加丰富灿烂的物质文明和精神文明,为丰富人类知识宝库贡献中国人的智慧和力量。自觉把求真与求用有机结合起来,着力打通从科技强到产业强、经济强、国家强的通道,让一切创新源泉充分涌流,让科技创新的经济社会价值得到充分发挥,彰显科学技术作为第一生产力的强大力量,促进社会和谐发展。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/15883747.html>。