

窄脉冲放电荷电器极间不同位置的荷电研究

米俊锋¹, 郝成祥², 詹小平³, 王明涛¹

1. 辽宁石油化工大学石油天然气工程学院, 辽宁抚顺 113001

2. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024

3. 成都理工大学工程技术学院, 四川乐山 614007

摘要 研究了不同电压下的窄脉冲荷电, 利用密立根油滴仪测量了有无导流柱情况下的液滴荷电量。研究表明, 无导流柱的情况下, 窄脉冲放电电压低于火花放电电压时, 随着电压的增加, 气溶胶颗粒的荷电量也随之增加, 当电压达到火花放电电压时, 窄脉冲放电的荷电量最大, 但当所应用电压大于火花放电电压时, 荷电量反而下降。应用导流柱时, 可以避免流注放电中等离子区内的电中和, 所以应用的电压大于火花放电时, 应用导流柱的情况下, 气溶胶颗粒的荷电量大于无导流柱时的电压, 但当电压低于火花放电电压时, 导流柱的应用则不利于气溶胶颗粒荷电。同时也研究了导流柱直径对荷电量的影响, 指出导流的直径为 2cm 时最有利于窄脉冲荷电。研究为以后窄脉冲荷电的应用提供了依据。

关键词 窄脉冲荷电; 窄脉冲流注放电; 电晕放电

中图分类号 X513

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.20.006

Charging Characteristics of Short-pulse Discharges in Different Inter-electrode Regions

MI Junfeng¹, HAO Chengxiang², ZHAN Xiaoping³, WANG Mingtao¹

1. College of Petroleum Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, Liaoning Province, China

2. Department of Environmental Science and Engineering, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

3. Engineering and Technical College, Chengdu University of Technology, Leshan 614007, Sichuan Province, China

Abstract Experiments of charging particles by short-pulse discharges were carried out under different voltages and the charge number on drops was measured by Millikan cell with and without a diversion cylinder. The results show that without the diversion cylinder, the charge number on drops increases with the increase of the voltage, while both the short-pulse voltages are lower than the broken-down voltage. The charge number on drops reaches the maximum when the short-pulse voltage is equal to the broken-down voltage. But when the short-pulse voltage is higher than broken-down voltage, the charge number on drops is decreased. However, when the diversion cylinder is present, the neutralization phenomenon could be avoided in the plasma region. The charge number on drops is higher than that in case without the diversion cylinder. But it is not beneficial to charging to use the diversion cylinder when the applied voltages are lower than the broken-down voltage. At the same time, the influence of the cylinder diameter on the charging on drops is studied and it is indicated that it is the best for charging of the short-pulse discharge when the diameter of the diversion cylinder is 2cm.

Keywords charging by short-pulse discharges; short-pulse discharges; corona discharges

0 引言

窄脉冲荷电技术在除尘领域已有较多理论研究^[1-4]和应

用研究^[5-7]。研究表明, 窄脉冲气体放电在荷电方面并不像理论估算那么高, 而且在窄脉冲正流注放电中, 粉尘离子荷电

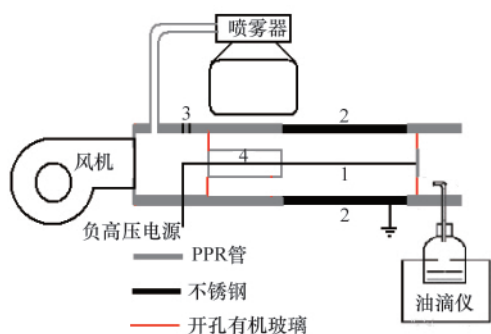
收稿日期: 2011-03-03; 修回日期: 2011-06-30

作者简介: 米俊锋, 讲师, 研究方向为大气污染控制工程和低温等离子体应用, 电子信箱: plasma1980@yahoo.com.cn

表现出双极荷电的特点^[1]。在负窄脉冲放电中,也存在电荷中和现象^[8]。为了避免窄脉冲放电中的电中和现象,很多研究将窄脉冲荷电技术和旋风除尘技术结合在一起,尽量使粉尘粒子不经过等离子区。关于窄脉冲放电旋风除尘技术的研究表明,窄脉冲放电旋风除尘器的除尘效率高于同等条件下的静电旋风除尘器^[9]。但迄今为止,关于窄脉冲流注放电的荷电机理研究尚不完善。本文通过控制含尘气流的进入方式,利用密立根油滴仪测量极间不同位置粉尘粒子的带电量,并分析窄脉冲放电的荷电机理。

1 实验装置

实验装置如图 1 所示,在风机的作用下,将喷雾器产生的气溶胶液滴磷苯二甲酸二辛酯(DOP)导入荷电系统。DOP 化学惰性强、蒸气压低、无毒、闪点高、不吸湿,非常适用于本实验的荷电过程。三型聚丙烯(PPR)管的外径为 85mm,管壁厚度为 8.4mm,长度为 10cm,导流柱长为 5cm,直径为 32mm。窄脉冲预荷电器为线-筒型,线电极为直径 0.4mm 的不锈钢丝,筒电极内径为 6cm,荷电区筒长 10cm。直流高压电源、旋转火花间隙和脉冲成型电容组成窄脉冲电源,产生上升前沿陡峭的脉冲电压。用密立根油滴仪测量液滴的带电量,将雾化液滴利用小型离心风机引入密立根油滴仪,只有未与取样管相碰的液滴才能进入密立根油滴仪。通过风速测孔测量系统中的风速。然后在其他条件不变的情况下,改变导流柱尺寸,使气流逐渐向筒电极中心靠拢,增加气流通过等离子区的概率,测量不同尺寸导流柱作用下,窄脉冲对气溶胶颗粒的荷电量,进而推断窄脉冲旋风除尘器的除尘机理。



1—线电极,2—筒电极,3—风速测孔,4—导流柱

图 1 实验装置

Fig. 1 Experiment setup

利用下述方法测量液滴的荷电量和粒径。

密立根油滴仪中,若颗粒上升时,平行板电场间的电压 $V_1 \neq 0$,颗粒下降时,平行板电场间的电压 $V_2 = 0$,根据文献[10],可按照下面 3 个公式计算液滴的粒径和带电量。

$$r = [9s\eta/2g(\rho - \rho')(1 + b/pr')]^{1/2} \quad (1)$$

$$q = 6\pi\eta s Dr(1/t_1 + 1/t_2)/V_1(1 + b/pr') \quad (2)$$

$$r' = (9s\eta/2g\rho t_2)^{1/2} \quad (3)$$

其中, r 为被测液滴半径,m; s 为被测量液滴上升的距离,与下降距离相等,m; η 为空气黏滞系数, $\text{Pa}\cdot\text{s}$; g 为重力加速度, m/s^2 ; ρ 为液滴密度, kg/m^3 ; ρ' 为空气密度, kg/m^3 ; t_1 为液滴向上运动 s 距离所用的时间,s; t_2 为液滴在重力作用下下降 s 距离所用时间,s; $(1 + b/pr')$ 为库宁汉修正系数,常数 $b = 8.22 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{Pa}$, r' 为未经库宁汉和浮力修正的液滴半径值,m; q 为液滴所带电量,C; D 为两极板间距,m; p 为大气压值,Pa。

为了分析窄脉冲放电不同区域的荷电机理,比较有无导流柱的情况下,液滴荷电量的大小。

2 实验结果和讨论

2.1 窄脉冲放电中荷电机理分析

利用负直流高压电源为图 1 中的荷电器提供电压,逐渐增加极间电压,多次测量后取平均值得到火花电压,约为 -23kV。去掉导流柱前后,其他条件不变,密立根油滴仪的取样管高出 PPR 管 5mm,窄脉冲荷电电压分别为 -18, -20, -23 和 -25kV,脉冲波形前沿为 130ns,半波宽为 500ns。窄脉冲波形如图 2 所示。

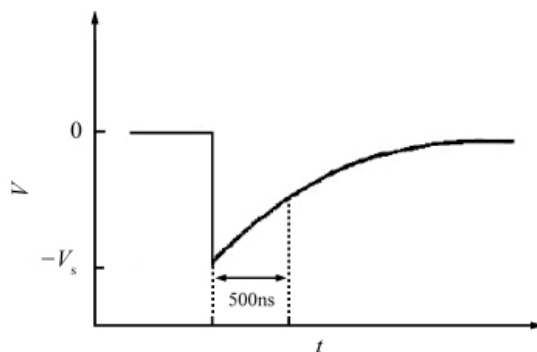


图 2 窄脉冲电压波形

Fig. 2 Voltage waveform of short-pulse discharges

当风速为 0.3m/s 时,所应用的窄脉冲电压分别低于、等于、高于火花放电电压。分别测得窄脉冲荷电电压为 -18, -20, -23 和 -25kV 时,有无导流柱前后液滴的带电量如表 1 所示。

根据表 1,不难发现在负窄脉冲荷电中,无导流柱情况下,当窄脉冲荷电电压等于火花电压时,液滴的带电量最大。原因是当荷电电压小于火花电压时,荷电器极间的离子浓度和电场强度均小于火花电压时的离子浓度和电场强度,不利于扩散荷电和电场荷电,从而液滴所带电量小于火花放电时的带电量;而当荷电电压大于火花电压时,尽管在窄脉冲荷电器中,极间电场荷电和离子浓度都有所提高,但由于形成了等离子区,带电液滴经过等离子区时存在电中和现象,导致荷电量下降。有导流柱情况下,液滴带电量随着电压的增加逐渐提高,分析原因是当荷电电压超过火花电压时,导流柱的应用导致液滴经过荷电器时,不经过等离子区,避免了电中和,而在此时,窄脉冲放电强化了电场荷电能力,同时,

Table 1 Under different voltages, the charge number on drops with and without a diversion cylinder

电压/kV	有导流柱			无导流柱		
	颗粒半径/ μm	颗粒数	平均电荷 (基本电荷数)	颗粒半径/ μm	颗粒数	平均电荷 (基本电荷数)
-18	0.8—1.0	17	83	0.8—1.0	13	106
	1.1—1.2	16	185	1.1—1.2	16	215
	1.2—1.4	3	230	1.2—1.4	5	260
-20	0.8—1.0	20	113	0.8—1.0	18	135
	1.1—1.2	13	225	1.1—1.2	15	260
	1.2—1.4	5	270	1.2—1.4	6	310
-23	0.8—1.0	15	139	0.8—1.0	15	165
	1.1—1.2	7	276	1.1—1.2	7	310
	1.2—1.4	5	398	1.2—1.4	5	439
-25	0.8—1.0	15	179	0.8—1.0	15	125
	1.1—1.2	7	336	1.1—1.2	7	221
	1.2—1.4	5	460	1.2—1.4	5	371

极间存在大量的自由电子,增加了电子俘获荷电的概率,因此荷电量随电压的增加逐渐增加,而不是火花电压时荷电量最大。

以半径为 $0.8\text{--}1.2\mu\text{m}$ 之间的颗粒为例, 有无导流柱时的荷电量随电压变化的曲线如图 3 所示。

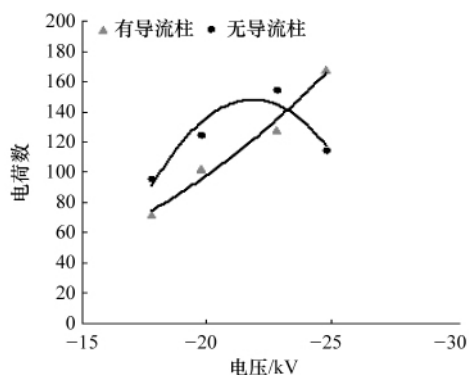


图 3 有无导流柱情况下, 荷电量的变化曲线
Fig. 3 Curves of the charge number on drops with and without a diversion cylinder

图3说明窄脉冲荷电电流的变化规律以及导流柱的作用,揭示出在窄脉冲荷电器中,当外加电压大于火花放电时,极间区域会形成较大等离子区,荷电颗粒在等离子区中存在电中和,但是在非等离子区,窄脉冲荷电器有利于颗粒荷电。上述实验很好地揭示了窄脉冲放电旋风除尘器荷电效果好于静电旋风除尘器的原因^[9]。

2.2 导流柱尺寸对放电的影响

改变图 1 中导流柱的尺寸,当其他条件不变,导流柱直径分别为 0.2、3.2cm 时,得到不同直径导流柱作用下半径为

0.8—1.2 μm 的液滴荷电量的变化曲线如图 4 所示。

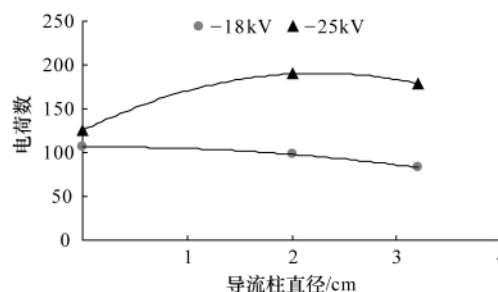


图 4 荷电量随导流柱尺寸的变化曲线

Fig. 4 Charge number on drops varies with the sizes of the diversion cylinder

图 4 揭示了不同电压下,导流柱对荷电的影响,当荷电电压低于火花电压时,荷电器中的放电属于电晕放电,电晕放电中的电中和现象可以忽略不计,而电晕放电对颗粒的荷电能力受电场强度影响以及荷电时间的影响,所以荷电量随导流柱直径的增加逐渐降低。当荷电电压大于火花电压时,荷电器中的放电为流注放电,会产生等离子区,所以导流柱直径的大小影响通过等离子区液滴的数量,同时影响液滴的荷电时间和荷电电场强度。由于上述因素会随着导流柱变化,朝相反的两个方向变化,所以窄脉冲流注放电中液滴的荷电量随导流柱直径的变化存在一个最大值。所以,如果利用窄脉冲荷电,最好是在保证气流不通过等离子区的同时,充分利用极间非等离子区域。

3 结论

通过对有无导流柱情况下的窄脉冲荷电比较,得到如下结论。

(1) 窄脉冲的荷电器中,当荷电电压大于火花电压时,极间形成的等离子区中存在颗粒电中和现象,导流柱的应用很好地避免了电中和现象,这也充分揭示了窄脉冲旋风除尘器除尘效率高于静电旋风除尘器的原因。

(2) 窄脉冲荷电中,有导流柱的情况下,荷电量随着荷电电压的提高逐渐提高。

(3) 窄脉冲荷电中,无导流柱的情况下,荷电量随着荷电电压的变化存在一个最大值,最大值对应的电压为火花电压。当荷电电压低于火花电压时,随着荷电电压的增加,荷电量不断增加,说明在电晕放电阶段,不存在颗粒电中和现象,而当电压大于火花电压时,荷电量则有所下降,说明此时出现了等离子区,经过该区域的颗粒上的电荷会吸引异种电荷,导致荷电量下降。

(4) 在窄脉冲流注放电中,恰当的导流柱直径会增加窄脉冲的荷电量,直径太小,会有部分气流通过等离子区,导致电中和的发生,使荷电量下降;直径太大,会影响荷电电场强度,同时影响荷电颗粒在荷电器中的荷电时间,也会导致荷电量降低。

参考文献 (References)

- [1] Xu D, Sheng L, Zhai J, *et al.* Positive short pulse corona discharge charging of aerosol particles[J]. *Jpn Appl Phys*, 2003, 42(4): 1766-1769.
- [2] 许德玄, 马祝阳, 李祥生. 高压窄脉冲气体放电对颗粒的荷电的研究[J]. 静电, 1995, 10(2): 47-50.
Xu Dexuan, Ma Zhuyang, Li Xiangsheng. *Electrostatics*, 1995, 10(2): 47-50.
- [3] 蔡灏兢, 路森, 依成武. 脉冲放电除尘中颗粒的荷电研究[J]. 能源环境保护, 2006, 20(2): 19-22.
Cai Haojing, Lu Miao, Yi Chengwu. *Energy Environmental Protection*, 2006, 20(2): 19-22.
- [4] 赵金先, 姜雨泽. 脉冲电除尘粒子荷电机理[J]. 金属矿山, 2003(5): 52-53.
Zhao Jinxian, Jiang Yuze. *Metal Mine*, 2003(5): 52-53.
- [5] 聂勇, 李伟, 施耀, 等. 脉冲放电等离子体治理炼油厂恶臭气体研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(4): 672-677.
Nie Yong, Li Wei, Shi Yao, *et al.* *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(4): 672-677.
- [6] 王嘉麟, 陈春茂, 郭绍辉. 采用高压脉冲放电技术降解采油污水[J]. 石油化工高等学校学报, 2008, 21(3): 24-28.
Wang Jialin, Chen Chunmao, Guo Shaohui. *Journal of Petrochemical Universities*, 2008, 21(3): 24-28.
- [7] 王嘉麟, 陈春茂, 左岩, 等. 高压脉冲放电/臭氧协同作用提高油田污水可生化性实验[J]. 化工进展, 2008, 27(2): 250-254.
Wang Jialin, Chen Chunmao, Zuo Yan, *et al.* *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2008, 27(2): 250-254.
- [8] 翟景升, 许德玄, 田立君. 窄脉冲电晕等离子体烟气脱硫产物收集研究[J]. 环境科学学报, 2000, 20(5): 642-644.
Zhai Jingsheng, Xu Dexuan, Tian Lijun. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, 20(5): 642-644.
- [9] 陈玲玲, 赵怡阳, 夏旖旎, 等. 脉冲供电对电旋风除尘性能的影响研究[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(3): 43-44.
Chen Lingling, Zhao Yiyang, Xia Yini, *et al.* *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2010, 36(3): 43-44.
- [10] 许德玄, 李祥生, 马祝阳. 用密立根油滴仪同时测量粉尘的粒径和荷电量[J]. 大学物理, 1995, 14(9): 32-34.
Xu Dexuan, Li Xiangsheng, Ma Zhuyang. *College Physics*, 1995, 14(9): 32-34.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·

“2011 全国系统与进化植物学研讨会暨 第十届青年学术研讨会”征文



由中国植物学会主办的“2011 全国系统与进化植物学研讨会暨第十届青年学术研讨会”将于 2011 年 10 月 26—28 日在昆明召开。

大会主题为“后植物志时代的系统与进化植物学”,主要围绕以下几个方面进行研讨:植物分类、标本馆和数据库;植物生命之树重建;生物地理学和气候环境变迁;物种形成和适应性进化;分子和基因组进化及进化发育生物学;植物 DNA 条形码;生物多样性。

征文截止日期:2011 年 9 月 25 日。

联系电话:0871-5223388;传真:0871-5223388。

电子信箱:chunnayao@mail.kib.ac.cn。