

2007-08-28

Experimental Research on Electrostatic Atomization for Different Liquid Dielectrics

Zhao-hui WANG

Zhen-fang LIAO

Quan-jie GAO

Ying-feng HU

Recommended Citation

Zhao-hui WANG, Zhen-fang LIAO, Quan-jie GAO, Ying-feng HU. Experimental Research on Electrostatic Atomization for Different Liquid Dielectrics[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2007 , 13(3): 320-324.

DOI: 10.61558/2993-074X.1830

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol13/iss3/18>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

文章编号:1006-3471(2007)03-0320-05

不同液体介质的高压静电雾化试验研究

汪朝晖^{1*}, 廖振方¹, 高全杰², 胡迎锋²

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400044; 2. 武汉科技大学机械自动化学院, 湖北 武汉 430081)

摘要: 自行设计、组装高压静电雾化试验装置, 研究同一环境下煤油、乳化剂和酒精3种不同液体介质在高压静电场中的雾化过程。结果表明: 液体介质的表面张力和粘性力越小、电导率越大, 静电雾化效果越好。煤油、乳化剂和酒精分别在40 V, 10 kV和25 kV时达到最佳的雾化效果。

关键词: 液体介质; 静电雾化; 喷嘴

中图分类号: TG174

文献标识码: A

应用液体静电雾化技术在高压静电场作用下即可有效地实现液体的雾化(微粒化)过程。它可以降低雾滴尺寸, 提高雾滴谱的均匀性、沉积效率, 在节省原料、提高液体利用效率、减少污染等方面的作用日益突出, 被广泛用在工业、农业和航天等领域。影响静电雾化效果的因素很多, 诸如电压, 电极间距, 液体流量等。本文从液体介质本身的物理性质出发, 观察在同一环境下, 不同液体介质在相同电极间距、不同电压条件下的雾化现象, 探讨液体介质在高压静电场中的雾化规律, 为达到最佳的液体雾化效果提供理论和试验的参考依据。

1 液体静电雾化试验

1.1 试验原理及装置

液体静电雾化是凭借静电力使液体微粒化的过程, 图1示出本试验装置主要部件。当液体从喷嘴中流出时即被拉成丝状液流, 液流承受静电高压, 其表面出现静电张力, 当液流粒子间的力超过液流表面张力时, 液流被分解形成微粒而雾化。其雾化过程与液体表面的动力稳定性有关, 它反映了作用在液体的外部力与其内部力不平衡而导致分裂这一基本事实。液体的表面张力和粘滞阻力是雾化过程中存在的两种主要阻力。研究发现, 液体荷电导致其表面张力降低和内外压力差增加, 它有利于液体雾化, 当雾滴荷电量达到瑞利极限时, 由于

表面电荷间的排斥而使雾滴继续分裂。这种静电参与的雾化过程与其它雾化技术相比有其自身独特的优势, 因此静电雾化技术正是利用静电对液体作用来提高雾化效果、生产效率和降低生产成本的。

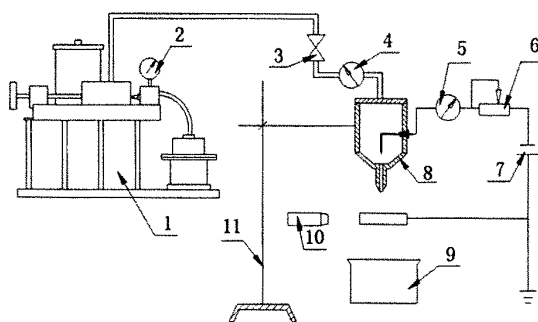


图1 高压静电雾化试验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment for high voltage electrostatic atomization

1) sprayer, 2) manometer, 3) controlling valve, 4) flow meter, 5) voltage meter, 6) voltage controller, high-voltage power, 8) spraying nozzle, 9) plastic basin, 10) digital camera, 11) supporter

本试验分别研究了煤油、乳化剂和酒精3种液体介质的喷雾现象, 由于试验条件有限制, 并且利用高级数码照相机以瞬时照相法对各液体介质喷雾过程出现的现象进行观察和分析, 进而得到高压

静电场中液体介质雾化的一般规律.

1.2 雾化喷头的设计

试验表明:对于像煤油和汽油这样电导率极低的绝缘液体,只有采用针状电极才能使其带上电荷.又因绝缘液体的荷电与电场强度息息相关,要使其充分荷电,电场强度需要达到 $5 \times 10^9 \text{ V/m}$ 以上,这样只有使用尖端电极才能较易实现.据此经过多次试验,本试验的雾化喷嘴设计为尖端电极形式,如图2所示,喷嘴孔径为 0.8 mm (d).

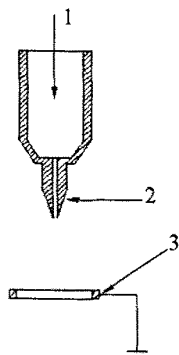


图2 高压静电雾化喷头结构

Fig.2 Nozzle structure of high voltage electrostatic atomization

1) liquid dielectrics, 2) point electrode, 3) opposite electrode

据图2,液体介质从喷嘴头流出,经历了接触感应荷电和电晕荷电两种荷电方式.当接通高压,液体在喷头接触处带上电荷,由于喷嘴曲率半径很小,可看作是一个尖端电极,产生电晕放电,使流出喷嘴的液体进一步带上电荷.当液体脱离喷嘴,由于尖端电极和接地电极间存在强电场,所以当液体通过电场时继续感应荷电.

1.3 电极间距 L 的选择

电极间距 L 指的是雾化喷嘴和接地电极之间的距离.电极间距过小,液体来不及充分雾化就飞离雾化区;间距过大,电极间场强减弱,液体达不到充分荷电而不能雾化.本试验分别以 $L = 150 \text{ mm}$ 、 200 mm 、 250 mm 和 300 mm 的电极间距作雾化试验,结果发现:对于上述3种液体介质,以间距 $L = 200 \text{ mm}$ 时雾化最为理想,因此确定它是本试验的最佳电极间距.

1.4 试验方法

本试验所用的煤油、乳化剂和酒精的表面张力、粘度及电导率如表1所示.其中,实验室内温度为 19.6°C ,相对湿度为 78% .

1) 将数码相机用三脚架固定在距雾化喷头一定距离(大于 400 mm)的位置,调好摄像头与雾化喷头间的距离和位置、焦距,使拍摄出来的图像尽量清晰.

2) 打开电源开关,检查各设备是否正常、管接头是否良好.启动雾化装置,将不同液体介质的流量调整到一定值,等待一段时间直至装置状态稳定,打开数码相机准备拍摄.

3) 将电压调整到最小值(本试验电压变化范围从 $0 \sim 70 \text{ kV}$),开始拍摄液体从喷嘴流出的图像,之后逐渐增加电压,每隔一段电压将液体介质的雾化状态拍摄下来.

4) 试验完毕,将数码相机里的底片导入计算机,使用图像处理软件对拍摄的照片进行处理.

2 结果与讨论

2.1 煤油雾化过程分析

图3(a~e)是煤油雾化过程拍摄的照片.

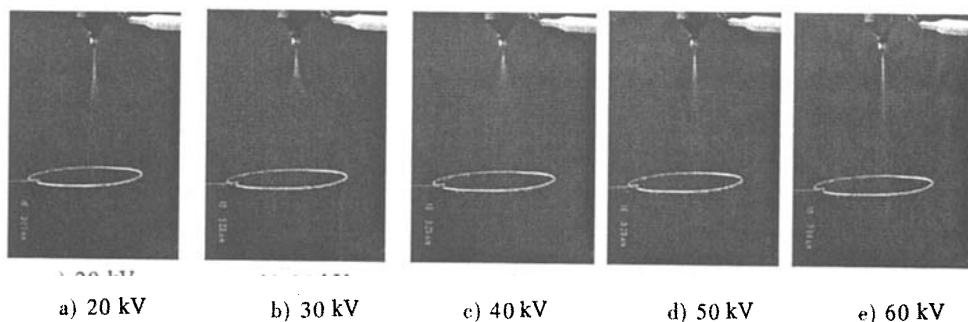


图3 不同电压下煤油雾化过程的照片

Fig.3 The images of atomization process for kerosene in different voltage

表 1 各液体介质的性能对比

Tab. 1 Contrast of properties for various liquid dielectrics

Liquid dielectric	Surface tension/ $10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$	Viscosity/ $\text{MPa} \cdot \text{S}$	Conductivity/ $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$
Kerosene	10.42	72.93	1.27×10^{-12}
Emulsifier	56.84	1.27×10^3	4.26×10^{-5}
Alcohol	22.55	47.26	3.84×10^{-8}

(a)当施加在电极上的电压为 0 ~ 18 kV 时,喷嘴流出的液体缓慢滴落;继续增大电压,喷嘴流出液滴开始形成液柱,但液柱不稳定,成弧形晃动。

(b)随着电极电压升高,从喷嘴流出的液体由滴落状完全转化为射流状且逐渐变细,液体流速加大,继续升高电极电压,在离喷嘴一定距离处射流转化为多枝散射状并出现雾化。

(c)当电压达到 40 kV 时,煤油雾化效果最为理想,它在液滴扩散区呈锥形雾化,且扩散范围较大,雾滴分布均匀。在 50 kV 以后,随电压增大,雾滴分布变得不稳定,有时产生分叉现象;有时雾化不明显,液滴比较集中;有时液体雾化向一边偏移。

(d~e)在整个电压增加过程中,液体从喷嘴流出形成的射流长度随电压增大而减小,液体流出速率逐渐增大,在雾滴扩散区液体雾化的水平覆盖范围先增大(0 ~ 40 kV)后减小。

2.2 乳化剂雾化过程分析

乳化剂雾化过程拍摄的照片如图 4(a~e)中所示:

在 10 kV 电极电压下乳化剂就能达到很好的雾化效果,继续增大电压,液体雾化变化不大。至 40 kV 以后,雾化现象变得很混乱,液滴粒子四处飞散,部分形成雾状在空中飘动,并且射流长度始终随着整个过程电压的增大而减小,液体从喷嘴流出的速率逐渐增大。

2.3 酒精雾化过程分析

酒精雾化过程拍摄的照片如图 5(a~e)所示。

试验过程观察到:未向电极施加电压时,酒精以柱状形式落下。开启电源,液体在离喷嘴的一定距离雾化,随着电压增加,射流长度逐渐减小,在雾滴扩散区,液体雾化水平扩散范围逐渐增大。当电极电压为 25 kV 时,液体雾化效果最为理想,液体雾化水平扩散面大且液滴分布均匀。继续增大电压,液体雾化范围减小,且液滴粒子变得不稳定,时大时小,有时出现分叉现象。在逐步增加电压的同

时,射流长度逐渐减小,液体从雾化喷嘴喷出的速率逐渐增大。

由此可见,不同的液体介质从喷嘴喷出时,由于喷嘴曲率半径很小,在高电压下通过电晕放电形成电离区,当液体穿过此区域,便捕集了大量的电子,成为带负电荷的液滴,从而提高了液体表面吸附能力和活度。液滴表面积累的负电荷因同性排斥,而产生静电力,静电力使液滴表面趋于增大,当静电力超过它的表面张力时,液滴变得不稳定,从而分裂为小雾滴;另一方面,在高压静电场的作用下,液滴处于一个特殊的带电环境中,形成的正、负离子群及显正、负电性的高分子极性基团,受到强电场作用产生移动和聚集,正离子和显正电性的高分子基团向负电极方向移动和聚集,负离子和显负电性的高分子基团向正电极方向移动和聚集,这两部分所受到的电场力方向相反,从而把液滴拉开,分裂为更小的雾滴,分裂的雾滴又通过同性电荷间的静电斥力使其相互排斥而扩散,从而达到雾化。由此可以推断:在液体静电雾化过程中,静电力和静电斥力同时存在,在液滴分裂区域,静电力起主导作用,在液滴扩散区域,静电斥力起主导作用。

3 结论

1)在同一条件下,液滴开始分裂需要的外加起始电压与液体的表面张力成正比,液体表面张力越大,外加起始电压就越高;相反,表面张力越小,则起始电压就越低。

2)使用尖端电极,液体达到最佳雾化效果的电压与其电导率成反比。煤油在 40 kV 时雾化效果最好,酒精在 25 kV 时获得最佳雾化效果,而乳化剂在 10 kV 就得到充分雾化。

3)随着外加电压增大,不同液体喷射雾化射流都是由粗变细且射流长度逐渐减小,从雾化喷嘴喷出的速率逐渐增大。在相同电压下,粘度大的液体,从喷嘴喷出时形成的射流直径较大,射流长度也较长。

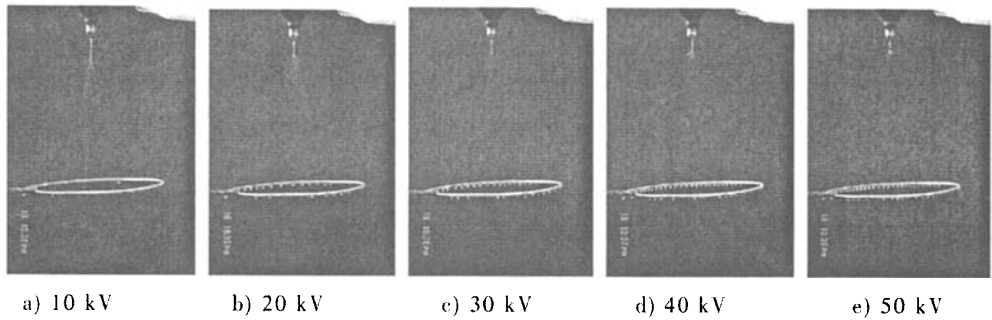


图4 不同电压下乳化剂雾化过程的照片

Fig.4 The images of atomization process for emulsifier in different high voltage

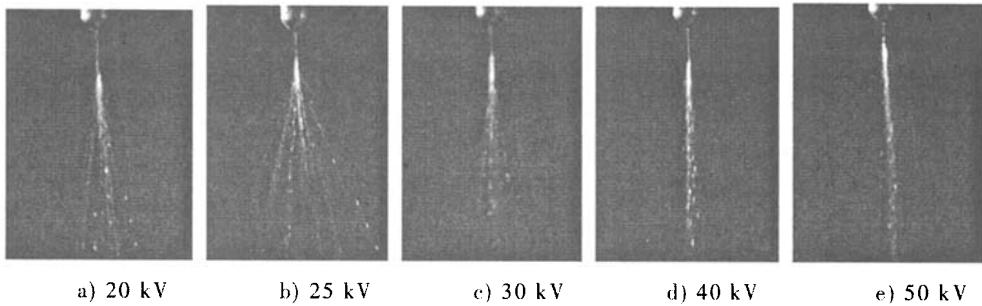


图5 不同电压下酒精雾化过程的照片

Fig.5 The images of atomization process for alcohol in different high voltage

因此,根据煤油、乳化剂和酒精3种液体介质的静电雾化试验可以得出:如果液体介质的表面张力和粘性力越小,越有助于液滴的变形和破裂,其雾化的微粒越细小,分布越均匀,在相同的电压下,雾化效果越好.同样,如果液体介质的电导率越大,其荷质也就比越大,在相同的电压下,雾化效果也越好.

参考文献 (References) :

[1] Gao Quan-jie(高全杰). Research on charged atomization in electrostatic oiler[J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(7): 552-554.
[2] Wang Jun-feng(王军锋), Wen Jian-long(闻建龙), Wang Ze(王泽), et al. Experimental research on electrostatic spray properties and spray field of kerosene

[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 7: 37-40.
[3] Li Shi-wu(李世武). Principle and experimental research on electrization of fuel aiming at assisting atomization[D]. Jilin: Jinlin University, 2000.
[4] Ge Zi-liang(葛自良), Mao Jun-jian(毛骏健), Lu Ru-jie(陆汝杰). Liquid atomizing phenomenon subjected to the DC high voltage and its application[J]. Nature Magazine, 2002, 1: 37-40.
[5] Edward Law S. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century[J]. Journal of Electrostatics, 2001, 51: 25-42.
[6] Jayasinghe S N, Edirisinghe M J. Effect of viscosity on the size of relics produced by electrostatic atomization[J]. Aerosol Science, 2002, 33: 1379-1388.

Experimental Research on Electrostatic Atomization for Different Liquid Dielectrics

WANG Zhao-hui^{1*}, LIAO Zhen-fang¹, GAO Quan-jie², HU Ying-feng²

(1. *College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;*

2. *College of Mechanical Automation, Wuhan University of Science and technology,
Wuhan 430081, Hubei, China*)

Abstract: The equipment is self-designed and assembled for a high voltage electrostatic atomization experiment. Under the same environment, atomization process for the three different liquid dielectrics of kerosene, emulsifier and alcohol are studied in high voltage electrostatic field. It is shown that the effect of electrostatic atomization will be better as the surface tension and viscous force of liquid dielectrics is lower, whereas the conductivity is larger. Kerosene, emulsifier and alcohol can get the optimal atomization result at 40kV, 10kV and 25kV respectively.

Key words: liquid dielectrics; electrostatic atomization; nozzle