

轴流风送静电喷雾试验

闻建龙 张星 宋晓宁 王静

(江苏大学能源与动力工程学院, 镇江 212013)

【摘要】 运用高压静电雾化和轴流风送技术设计了轴流风送高压静电喷雾试验装置,在风机出口设置导流器以提高流场品质。对气相流场、雾滴粒径、沉积分布进行了试验研究。结果表明:轴流风送静电喷雾技术可以有效地细化雾滴粒径,改善喷雾的均匀性和沉积性能,减少环境污染。灭菌测试表明静电的作用能增强雾滴的表面活性,提高雾滴捕捉细菌粒子的能力,灭菌效率提高了20%。

关键词: 静电喷雾 气相流场 轴流 导流器 试验

中图分类号: S499

文献标识码: A

Experimental Study of Axial-flow Air-assisted Electrostatic Spraying

Wen Jianlong Zhang Xing Song Xiaoning Wang Jing

(College of Energy and Power Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

High-voltage electrostatic spray tester was designed through combination of high-voltage electrostatic spraying and axial-flow air-assisted techniques with the fluid director applied for the experiment of spray. Experimental study for air flow field, droplet size, and deposition were performed. Results indicated that technology of axial-flow air-assisted electrostatic spraying can effectively decrease the droplets diameter, makes droplets distributing more uniform and deposition better, which reduces the environmental pollution. At the same time, the electrostatic function makes the droplets more activated, and improves the ability of absorption, with the increase in sterilization efficiency by about 20%.

Key words Electrostatic spray, Air flow field, Axial-flow, Fluid director, Experiment

引言

目前,国内药液喷洒器具的药剂有效利用率只有10%~30%,远低于发达国家50%的平均水平。仅有25%~50%的药剂沉积在作物叶片上,不足1%的药剂沉积在标靶害虫上,能起杀虫灭菌作用的药剂不足0.03%^[1~3]。因此,应致力于高效、低污染的超低量喷雾机具的研究开发。

农药静电喷雾技术起源于20世纪70年代。雾滴带电后,表面张力降低,从而减少了雾化阻力,提高了雾化程度。而且由于雾滴带有相同电荷,在空间的运行过程中相互排斥,不会发生凝聚现象,所以对目标作物覆盖较均匀,另外由于目标周围电场的

作用,使目标物正面、背面和隐蔽部位均能沉积雾滴^[4]。因此,静电喷雾受天气的影响相对较小,不会因风吹雨淋而大大流失,药剂的利用率比一般微量喷雾高^[5]。

将轴流风送和静电喷雾相结合可以进一步提高喷雾效果,利用气流的推动作用,增加雾滴的穿透性能,有利于对茂盛、高大林木病虫害的防治。合理地控制风送静电喷雾时的气流,雾滴漂移损失将会明显减少,减轻环境污染。

1 试验设计

1.1 试验装置设计

轴流风送静电喷雾属于高压静电作用下的气液

两相湍流射流, 整个试验装置由轴流风机、静电发生器、离心水泵、储液罐、充电电极、压力雾化喷嘴及测量仪表组成, 如图 1 所示。药液通过离心水泵从储液罐中压送至喷嘴, 由喷嘴雾化后喷出; 喷嘴后方的轴流风机产生气相流场以实现雾滴的输送和二次雾化, 从而使雾滴细化、喷射距离变远、沉积均匀程度提高; 在喷嘴出口处安装充电电极, 对从喷嘴喷出的雾滴充电, 采用环状和针状组合电极^[6]。

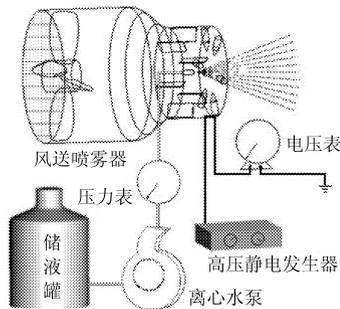


图 1 试验装置原理图

Fig. 1 Principle of test device

1.2 试验参数选择

轴流风机参数: 风量 3 202 m³/h, 风压 232 Pa, 转速 2 900 r/min, 功率 0.37 kW; 压力雾化喷嘴: 孔径 1.0 mm; 离心水泵参数: 流量 2.0 L/min, 扬程 30 m, 稳定工作时选择流量为 1.5 L/min; 负高压静电发生器: 功率 200 W, 负高压输出 100 kV; 导流器采用 6 片直导流叶片: 长 100 mm、宽 50 mm、厚 2 mm, 安装在距离出口段 64 mm 处。

1.3 充电电极设计

充电电极形式有环状、针状、锥状、柱状或平板状等各种形状, 不同的电极在不同的电介质中产生的充电效果大不一样。经过对各种电极及其组合的充电效果对比, 本文采用环状电极与针状电极的组合电极, 如图 2 所示, 使雾滴在两种电极产生的感应及电晕电场下充电, 试验采用负高压静电发生器给电极供电^[7]。

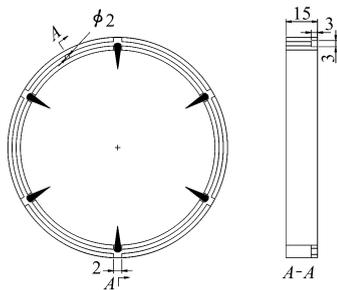


图 2 充电电极结构示意图

Fig. 2 Charging electrode

2 试验过程及数据测量

2.1 气相流场速度分布测量

为了使气相流场分布能够更加均匀, 在距离出

口 64 mm 处安装了 6 片直导流叶片, 构成导流装置, 如图 3 所示。导流叶片对气流具有平滑和整流的作用。试验采用 QDF-3 型热球式电风速计测量导流器安装前、后的气相流场流速, 并进行了对比分析。

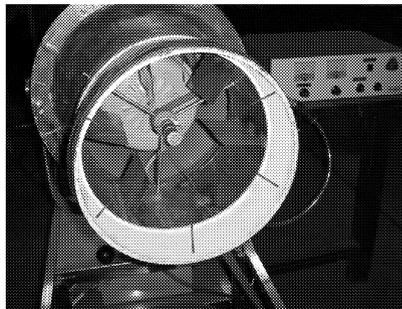


图 3 加导流叶片试验装置

Fig. 3 Test equipment with fluid director

由于圆形紊动射流具有轴对称性, 因此只需要测量射流空间任一平面的流速分布即可得到整个气相射流空间各点的流速。试验结果如图 4、图 5 所示, 图中曲线分别表示与喷嘴不同轴向距离所在平面上的速度分布。

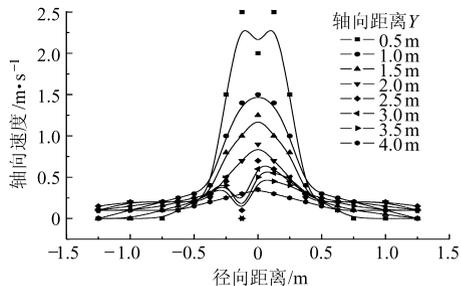


图 4 不加导流器气相流场速度分布

Fig. 4 Gas flow rate distribution without fluid director

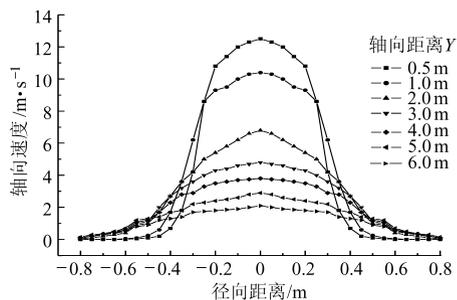


图 5 加导流器后气相流场速度分布

Fig. 5 Air flow velocity distribution with fluid director

2.2 雾滴粒径测量

由于静电力能减小雾滴的表面张力, 有利于液滴的雾化, 因此是最关键的雾化参数之一。雾滴粒径的测量方法是在玻璃皿底部加变压器油, 产生油膜后直接在喷雾场中采集, 用显微镜读取, 经过数据处理后取索太尔平均直径^[8]。

索太尔平均直径 d_s 的计算公式为

$$d_s = \frac{\sum_{i=1}^N n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^N n_i d_i^2}$$

式中 n_i ——直径为 d_i 的雾滴个数

N ——本次试验取 400

本次试验对不同静电电压下雾滴的直径进行测量,采样后每次随机读取 400 个雾滴粒径,并求其索太尔平均直径,结果如图 6 所示。

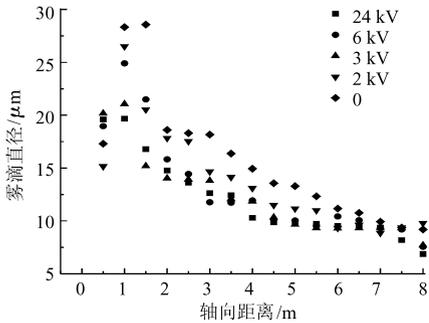


图 6 不同荷电工况下雾滴直径分布

Fig.6 Droplet diameter distribution under different charged voltage

2.3 雾滴沉积性能测量

雾滴质量的分布范围和分布均匀程度是衡量喷雾机具优劣的重要指标之一。在不同的充电电压和不同的风送流场下,雾滴的质量分布不同,在考虑静电场和导流器的影响下进行了对比试验。

试验条件:试验过程中喷雾装置处于稳定工作状态;流量恒定为 1.5 L/min,试验介质为纯水;喷嘴离地高度 1 m。试验坐标如图 7 所示。

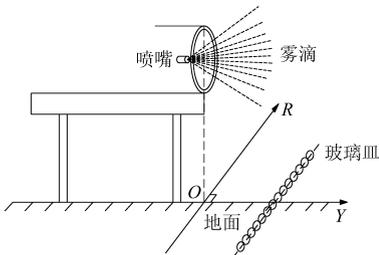


图 7 沉积性能测量坐标系

Fig.7 Coordinate of deposition measurement

试验方法:以喷嘴在地面投影为原点,在 Y 轴方向每隔 0.5 m 取点,一直取到 8 m 处,然后在每个点上沿径向 R 以 Y 轴为对称轴对称放置 14 个直径 $\phi = 89$ mm 的玻璃皿;试验开始前用挡板挡住射流出口,当射流到稳定状态时移开挡板开始测量,用秒表计时 5 min;用高精度 (± 0.01 g) 电子天平称出每个玻璃皿的总质量,减去相应玻璃皿的质量即得到液滴的质量,再用液滴质量除以玻璃皿的面积即可得到射流区域沉积量的质量分布密度。

不同试验工况下,雾滴沉积量的密度分布结果如图 8~10 所示。

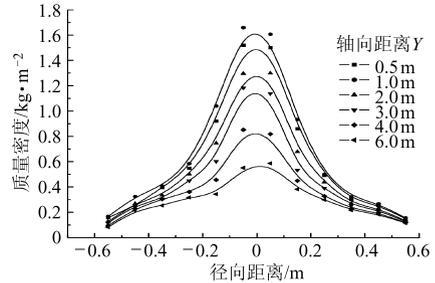


图 8 非静电无导流器雾滴质量密度分布(0 kV)

Fig.8 Droplet mass-density distribution without fluid director (0 kV)

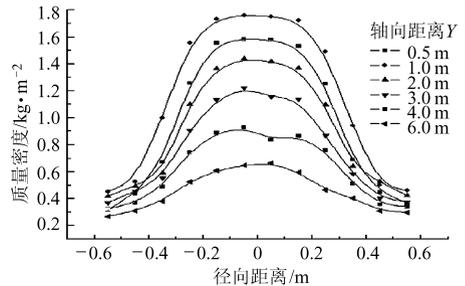


图 9 静电无导流器雾滴质量密度分布(-5 kV)

Fig.9 Droplet mass-density distribution without fluid director (-5 kV)

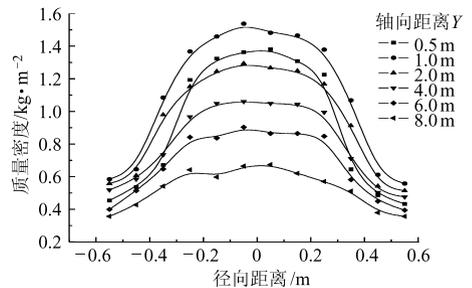


图 10 静电加导流器雾滴质量密度分布(-5 kV)

Fig.10 Droplet mass-density distribution with fluid director (-5 kV)

3 试验结果及分析

气相流速测量结果表明,图 5 没有出现如图 4 中的“M”形分布,说明由于导流器对气相流场的改善起到了非常明显的作用,气流经过导流叶片的整流作用变得更加平滑,流场分布更加均匀,流速分布范围更宽,射流距离更远,出口处风速提高了近一倍。

分析图 6 可以看出,充电后雾滴的平均直径比不加电时小了 1~5 μm ,而且随着充电电压的升高雾滴粒径变得更小,分布更为均匀。

由图 8 可以看出,当非静电无导流器时,雾滴的质量分布非常不均匀,大部分雾滴沉积于距离喷嘴很近范围内;当如图 9 所示雾滴荷电为 -5 kV 时,在电场力的作用下,雾滴进一步细化,风场对雾滴的输送也更远,距离喷嘴较远的地面雾滴质量分布明显增加;安装导流器后,雾滴质量分布更加均匀,气

相流场对雾滴的输送也更远,雾滴的沉积量也随之增加。

4 应用

将本试验装置应用于灭菌测试,并对比了非静电无导流器、静电无导流器和静电加导流器三者的灭菌效率。试验选取了 0~6 号 7 个面积相同的试验室作为灭菌场所,房间长 9.95 m、宽 6.26 m、高 3.74 m,总体积约 233 m³。其中,0 号为空白对照组,1~2 号为非静电无导流器喷雾组,3~4 号为静电无导流器喷雾组,5~6 号为静电加导流器喷雾

组。喷洒的时间分别为 60、40、20 s。

采样方式为每个房间分 9 个采样点,每个采样点分为高、低两层(高度分别为 1.0 m、2.0 m),平板暴露时间为 15 min,消毒后 30 min 和 60 min 分别采样。采样完毕后,将平板放置于 36℃ 温箱内培养 48 h,计算每个平板的 CFU 值(细菌数),进而通过与空白组对比得到灭菌效率。

静电喷雾灭菌试验,现场实测温度 28.5℃,湿度 80%。消毒剂为 3% 双氧水水溶液,细菌培养基为含双氧水中和剂(0.1% 硫代硫酸钠)的营养琼脂,培养基平板直径 7.5 cm。试验结果如表 1 所示。

表 1 不同时间段灭菌率

Tab.1 Efficiency of sterilization at different time

消毒时间/min	药剂喷洒时间/s	不同喷洒方式的灭菌率/%		
		非静电无导流器喷雾	静电无导流器喷雾(-5 kV)	静电加导流器喷雾(-5 kV)
30	20	34.2	57.0	61.2
	40	75.3	84.9	89.3
	60	91.2	92.3	95.1
60	20	32.1	52.9	58.5
	40	68.5	80.8	84.7
	60	83.5	88.1	92.4

表 1 结果表明,空气中细菌的消亡率随着喷洒时间(即药剂施用量)的减少而递减,但从总体上看,静电喷雾的灭菌率比非静电喷雾的灭菌率提高了 20% 左右,这是由于静电提高了药液的喷雾效率,增大了药液与细菌之间的接触几率,改善了雾滴的吸收活性,细菌感应出与药液雾滴极性相反的电荷,使雾滴更容易捕捉到细菌,提高了灭菌效率。所以静电喷雾的灭菌率明显地高于非静电喷雾时的灭菌率。在此基础上通过加导流器可以明显地改善气相流场,使喷雾更加均匀,提高药液的利用效率,灭菌率又提高了 2%~5%。而且加导流器后气流速度提高明显,有利于气流对雾滴的二次雾化,细小的雾滴可较长时间弥散在空间中,提高了捕捉细菌的几

率,节省了药剂,同时避免了对环境的二次污染。

5 结论

(1) 高压静电能够改善液体的雾化状况,细化雾滴的粒径,提高雾化均匀性及沉积性能;导流器的安装能明显改善气相流场分布,提高了气相对雾滴相的运输能力,进一步细化雾滴,提高喷雾的均匀性。

(2) 生产应用中的灭菌测试表明,试验装置的消毒灭菌效果与药剂喷洒量有关,当其按 1.5 L/min 的流量持续消毒 60 s 时,可使待测空间的细菌消亡率达 90% 以上。静电喷雾与导流器的组合使用能进一步提高喷雾的均匀性,增大喷雾面积,提高了药液的使用效率,从而提高灭菌率。

参 考 文 献

- 薛广波. 消毒灭菌方法研究进展[J]. 中国感染控制杂志, 2006, 5(4): 289~292.
Xue Guangbo. Research progress on the disinfection and sterilization methods[J]. China Infect Control, 2006, 5(4): 289~292. (in Chinese)
- 王贞涛, 闻建龙, 王晓英, 等. 高压静电液体雾化技术[J]. 高电压技术, 2008, 34(5): 1 067~1 072.
Wang Zhentao, Wen Jianlong, Wang Xiaoying, et al. High voltage electrostatic spray[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(5): 1 067~1 072. (in Chinese)
- 王晓英, 罗惕乾, 王贞涛, 等. 高压静电喷雾灭蝗车性能试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 60~62.
Wang Xiaoying, Luo Tiqian, Wang Zhentao, et al. Experimental study on the characteristics of high voltage electrostatic spraying locust-killing vehicle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 60~62. (in Chinese)

- 187~190. (in Chinese)
- 3 刘相东, 于才渊, 周德仁. 常用工业干燥设备及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 255~259.
 - 4 Fatouh M, Metwally M N, Helali A B, et al. Herbs drying using a heat pump dryer[J]. Energy Conversion and Management, 2006, 47(15~16): 2 629~2 643.
 - 5 Hawlader M N A, Perera C O, Tian Min. Properties of modified atmosphere heat pump dried foods[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 74(3): 392~401.
 - 6 Xanthopoulos G, Oikonomou N, Lambrinos G. Applicability of a single-layer drying model to predict the drying rate of whole figs[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(3): 553~559.
 - 7 Teeboonma U, Tiansuwan J, Soponronnarit S. Optimization of heat pump fruit dryers[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 59(4): 369~377.
 - 8 Ceylan Ilhan, Aktas Mustafa, Dogan Hikmet. Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump[J]. Applied Thermal Engineering, 2007, 27(1): 216~222.
 - 9 淮秀兰, 王立, 倪学梓, 等. 采用出口空气再循环的流化床谷物干燥系统模拟[J]. 河北理工学院学报, 1997, 19(3): 37~45.
Huai Xiulan, Wang Li, Ni Xuezi, et al. Simulation of a fluidized bed drying system using recirculation of exhaust air[J]. Journal of Hebei Institute of Technology, 1997, 19(3): 37~45. (in Chinese)
 - 10 Huai X L, Wang L, Qu Z Y. Mathematical model for the drying process of granular materials in a fluidized bed[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2000, 7(4): 296~300.
 - 11 Yang J, Wang L, Xiang F, et al. Experiment research on grain drying process in the heat pump assisted fluidized beds[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2004, 11(4): 373~377.
 - 12 马晓梅, 杨晶, 王立, 等. 谷物干燥热泵性能的实验研究及理论分析[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(5): 617~622.
Ma Xiaomei, Yang Jing, Wang Li, et al. Experimental study and theoretic analysis of a heat pump for grain drying[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(5): 617~622. (in Chinese)
 - 13 库德 T, 牟久大 A S. 先进干燥技术[M]. 李占勇, 译. 北京: 化学工业出版社, 2005: 153.

~~~~~

(上接第 61 页)

- 4 Law S E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research development during the 20th century [J]. Journal of Electrostatics, 2001, 51~52: 25~42.
- 5 Laryea G N, No S Y. Spray angle and breakup length of charge-injected electrostatic pressure-swirl nozzle[J]. Journal of Electrostatics, 2004, 60(1): 37~47.
- 6 康灿, 杨敏官, 罗惕乾, 等. 高压静电喷洒机的试验[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2007, 28(3): 197~200.  
Kang Can, Yang Minguan, Luo Tiqian, et al. Experiment of high-voltage electrostatic spray machine[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2007, 28(3): 197~200. (in Chinese)
- 7 Wang Z T, Wen J L, Wang X Y, et al. Axial wind-borne electrostatic spray research[C] // Proceedings of the Fifth International Conference on Fluid Mechanics, Shanghai, China. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 600~604.
- 8 张军, 闻建龙, 王军锋, 等. 不同雾化模式下静电雾化的雾化特性[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2006, 27(2): 105~108.  
Zhang Jun, Wen Jianlong, Wang Junfeng, et al. Droplets characteristics of electrostatic spraying at different modes of spraying[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2006, 27(2): 105~108. (in Chinese)
- 9 刘春景, 郑加强, 王科元. 静电喷头雾化特性预测模型[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 63~68.  
Liu Chunjing, Zheng Jiaqiang, Wang Keyuan. Prediction model for atomization performance of electrostatic spraying nozzle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 63~68. (in Chinese)
- 10 贾卫东, 邱白晶, 施爱平, 等. 农用高压静电喷雾场的实验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 66~69, 88.  
Jia Weidong, Qiu Baijing, Shi Aiping, et al. Measurement of agricultural high-voltage electrostatic spraying field by using PDPA[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12): 66~69, 88. (in Chinese)