

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.01.018

基于气动雾化机理的喷嘴性能试验研究

李淑江, 吴明

(青岛科技大学机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:针对目前气动雾化喷嘴结构复杂、雾化液滴不均匀等问题,设计了气相通道斜度为 30° , 45° , 60° 的3种喷嘴,基于气动雾化机理,以自来水为试验工质,利用相位多普勒粒子测量仪检测了气液比、气相通道开口斜度及气相压力对雾滴粒径、喷雾宽度以及雾化沉积量的影响。结果表明:气液比相比于气相通道开口斜度、气相压力参数对雾滴粒径的影响明显;随着气液比的增大,雾滴粒径变小,雾化颗粒更加均匀;气液比对喷雾宽度的影响同样十分明显,随着气液比增加,雾化角变大,喷雾宽度增加,且喷雾宽度内的雾滴沉积量呈现正态分布。设计的气动雾化喷嘴可使雾化效果得到较大改善。

关键词:气动雾化;气液比;雾滴粒径;喷雾宽度;雾化沉积量

中图分类号:TH138.8 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)01-0084-04

Experimental Study on Nozzle Performance Based on Aerodynamic Atomization Mechanism

LI Shujiang, WU Ming

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266061, China)

Abstract: Pneumatic nebulization has many problems such as complicated structure of nozzle and droplets atomized uneven. Three kinds of gas channels with 30 degrees, 45 degrees, 60 degrees of nozzle were designed in this experiment, based on pneumatic atomization mechanism, and water was used as working fluid. The effect of gas-liquid ratio, gas channel opening angle, gas pressure on the particle size, spray width and deposition amount of nozzle's atomization droplet were measured by phase Doppler particle instrument. The results show that, the effect of gas-liquid ratio on the droplet size is obvious compared to the flow and pressure parameters of the gas-liquid interface. With the increase of gas-liquid ratio, the droplet size becomes smaller, and the atomization particles are more uniform. The effect of gas-liquid ratio on spray width is also obvious. With the increase of gas-liquid ratio, the spray angle ratio and the spray width will increase subsequently, the droplet deposition in the spray width is normal distribution. The design of pneumatic spray nozzle atomizing effect is greatly improved.

Keywords: aerodynamic atomization; gas-liquid ratio; drop diameter; spray width; atomization deposition

气动雾化喷嘴由于其结构简单、磨损小、操作压力低及雾化颗粒细等特点,不仅在加湿、除尘及防静电等方面应用广泛,在航空动力、燃油雾化以及医疗消毒等诸多领域也都有应用^[1-2]。随着其广泛应用,人们对喷嘴雾化性能要求越来越高,因此对气动雾化喷嘴的研究也越来越深入。

近年来,国内外对于雾化机理以及新型雾化喷嘴

的研究取得了显著成果。刘红等^[3]采用了VOF (volume of fluid)方法与网格局部瞬时加密技术相结合对单液滴撞击薄液膜产生二次雾化过程进行了研究,明确了液滴撞击薄液膜的演化行为主要受液滴初始动能、表面张力以及液体黏性的影响。ZUZIO D^[4-5]等对二次雾化机理进行了研究,阐释了表面波与液滴分裂模式存在的基本关系,明确了 Eo 数和 Oh 数是影

收稿日期:2017-04-11;修回日期:2017-10-25

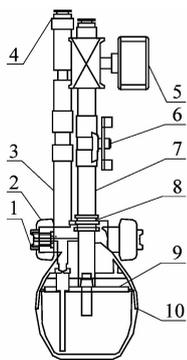
第一作者简介:李淑江(1976),男,山东临沂人,工学博士,副教授,硕士生导师,主要从事产品造型感性工学研究、人机交互及界面设计研究。E-mail:lishujiang2000@126.com

响二次雾化的 2 个主要特征数。张雨树等^[6] 基于 SIMPLE 方法,通过数值模拟的方式对增强液体雾化以及提高混合率进行了探究,得到了 4 种典型的液滴分裂模式。金仁喜等^[7] 采用容积法对喷嘴流量进行测量,明确了喷嘴流量、压力以及喷孔直径之间的关系。

课题组就气相通道开口斜度不同的 3 种喷嘴进行性能试验,针对气液比、气相通道斜度及气相压力 3 种参数对喷嘴雾化效果以及液滴的沉积量分布进行了具体研究,使用相位多普勒粒子分析仪(phase Doppler particle analyzer, PDPA)测试系统测试了雾化后液滴粒径大小,此次试验为新型加湿雾化装置的设计以及喷嘴的性能改进提供了数据及技术支持。

1 雾化装置结构及工作原理

雾化装置结构示意图如图 1 所示,雾化器主要由输气管道、输液管道、储水壶体及 4 个完全相同的喷嘴组成。喷嘴同壶体采用卡套连接,便于快速更换喷嘴。输液管道与输气管道采用快速接头与 PU 管相连接,从而接通水路与气路,气控球阀打开时压缩气体经过内部通气管路从喷嘴喷出。液体工质(水)先经过内部输水管路进入壶体,再经过导管进入喷嘴内液体通道,从喷口喷出,完成雾化过程。



1—喷嘴;2—卡套;3—输气管道;4—快速接头;5—压力表;6—球阀开关;7—输液管道;8—密封圈;9—分隔板;10—壶体。

图 1 雾化装置结构示意图

Figure 1 Schematic diagram of atomization device

喷嘴结构如图 2 所示,喷嘴的液相通道位于喷嘴中心位置,气相通道如图所示对称分布,斜度为 α 。液体工质经中心通道从喷嘴喷出,完成初次雾化。压缩气体经两侧气相通道从喷嘴喷出,同液体喷嘴初次雾化形成的液膜相撞击、摩擦,使得液膜变薄分裂,完成二次雾化,形成颗粒均匀的液滴,为外混合雾化方式。此喷嘴二相流体各行其道,互不干扰,没有压力分布的要求^[8]。

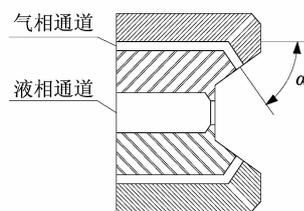


图 2 喷嘴结构图

Figure 2 Nozzle structure diagram

2 实验装置与实验方案

2.1 实验装置

雾化喷嘴测试系统主要由喷嘴雾化控制装置、相位多普勒粒子分析仪装置以及雾化测试平台 3 部分组成。喷嘴雾化控制装置主要由空气压缩机、电磁球阀、压力变送器、PU 管组成的供气装置以及由水箱、前置水过滤器、柱塞泵、电子液体流量计、电磁球阀、压力变送器及 PU 管组成的供液装置构成。总控制台通过控制电磁球阀开度来调节雾化压缩气体和液体工质压力及流量大小,从而精准控制气液比的大小。与总控制台相连接的温湿度控制器模拟常温常压工况,并对工况进行实时监测与校正。相位多普勒粒子分析仪装置(型号为 PDI-X00SC,测量液滴的粒径尺寸为 $0.5 \sim 2000.0 \mu\text{m}$,粒径测量准确度为 0.5,用来检测雾化后液滴粒径大小。雾化测试平台装置采用防止液滴飞溅的 V 型导流槽^[9]作为接收装置,长度设为 5 m,用量杯来收集沉降的液滴,以确定喷嘴喷雾宽度以及沉积量分布情况,喷嘴距离 V 型槽高度为 1.5 m。

2.2 试验方案

2.2.1 雾滴粒径检测

使用相位多普勒粒子分析仪 PDPA^[10] 测试 3 种型号的喷嘴在不同雾化参数下形成的雾滴粒径(sauter mean diameter, SMD)又称索特平均直径^[11],并且对喷雾中心及沿径向位置的粒径大小进行测量和分析。试验中将液相压力作为预设值,其他影响因素的试验参数见表 1,此次试验室温设为 $26 \text{ }^\circ\text{C}$,液体工质为自来水,每组试验重复 3 次。试验所涉及雾滴计算表达式为:

$$\Phi_i = \alpha\beta_i;$$

$$\alpha = \pi \frac{n_1 D}{\lambda};$$

$$N = \frac{1}{T} \sum_i \frac{t_{ij}(d_i)}{\Omega_i(d_i)}.$$

式中: Φ_i 为探测器所探测到的多普勒脉冲相位; β_i 为试验模型及光路参数决定的几何因子; n_1 是散射介质

折射率; λ 为激光在真空中的波长; D 为粒径大小; N 为雾滴密度; T 为测量雾滴总时间; $\Omega_i(d_i)$ 为粒径为 d_i 的穿过测量体的体积; $t_{ij}(d_i)$ 为粒径 d_i 雾滴测量时间。

表 1 雾化试验工作参数

Table 1 Atomization test working parameters

气液比	气象通道斜度/(°)	气相压力/MPa
0.80	30°	0.1
0.95	45°	0.2
1.10	60°	0.3
1.25		0.4

2.2.2 喷雾宽度以及雾化沉积量的检测

试验中设定液相压力为 0.3 MPa,选择气相通道

表 2 不同工作参数下的雾滴粒径

Table 2 Droplet size under different parameters

气液比	不同气相压力下雾滴粒径/ μm											
	压力 0.1 MPa			压力 0.2 MPa			压力 0.3 MPa			压力 0.4 MPa		
	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 60^\circ$
0.80	80.34	77.22	75.68	67.93	63.56	59.34	58.72	54.87	50.48	48.09	45.73	40.13
0.95	72.15	68.71	64.39	57.87	53.98	50.73	46.37	42.45	39.68	35.90	32.78	29.93
1.10	61.94	58.36	53.15	45.75	42.63	40.96	33.84	30.05	29.87	27.67	24.39	20.78
1.25	50.68	47.73	45.39	37.54	35.37	31.58	27.48	24.31	23.97	19.83	19.00	17.82

此外,气液比、气相通道斜度、气相压力对雾滴粒径的大小都有不同程度的影响。当喷雾气相压力一定时,液滴颗粒的大小与气相通道斜度有关。例如,当液体工质气相压力为 0.1 MPa、气液比为 0.80,气相通道斜度小(30°)的工况下,雾滴的粒径为 80.34 μm ;而在同样的雾化压力下,气液比为 1.25,气孔斜度大(60°)时,雾滴的粒径为 45.39 μm 。由此说明气液比同气相通孔斜度相比,气液比对于液滴粒径大小的影响更为明显。这是因为随着气液比的值增加,气体与出口液膜冲击面积增大,导致液膜变薄,液膜发生丝状破裂形成细小液滴。由表 2 同样可以看出当压缩气体压力增大时,雾滴颗粒有明显减小趋势,当雾化压力为 0.4 MPa,气液比为 1.25,气相通道斜度为 60°时,所得到的液滴粒径最小,为 17.82 μm 。可以从中选出最佳的气液比以及雾化压力,使得雾化器的雾化效果更为理想,满足设计要求。

3.2 喷雾场不同位置液滴粒径的变化情况

图 3 所示为气相通道斜度 α 为 30°,45°,60° 共 3 种喷嘴在气液比 W_a/W_1 为 0.80,1.25,在喷嘴雾化中心及沿喷嘴径向位置左右各 45,90 mm 处雾滴粒径的变化情况。当 W_a/W_1 为 0.80(较低)时,在中心位置处 3 种喷嘴雾滴粒径相差不大,而在边区位置 α 为 30°与

斜度 30°,45°,60°的 3 种喷嘴作为试验测试对象,测量雾化参数气液比对喷雾宽度以及雾化沉积量的影响。试验前先将量杯从 V 型槽底下移开,当喷嘴正常雾化时再将量杯置于试验台下方并开始计时,每次雾化时间为 30 min。改变气液比的参数,重复以上操作。

3 结果与分析

3.1 不同工况对雾滴粒径的影响

通过试验得到如表 2 所示的实验数据。由表 2 可知该雾化喷嘴正常工作时所产生粒径大小在 17.82 ~ 80.34 μm 之间,试验中雾化形成的液滴迅速弥散,无滴水现象发生,满足雾化要求。

60°液滴粒径相差达 15 μm ,这是因为在喷嘴出口后方形成的较大液滴有较大动量及贯穿力,未与压缩气体进行二次雾化的液滴直接射入空气中。当 W_a/W_1 为 1.25(较高)时, α 为 60°喷嘴在中心位置与边区位置的粒径仅相差 8 μm , α 为 30°和 45°的喷嘴在中心和边区位置,液滴粒径差距很小,主要是随着气液比的增大,压缩气体对液膜的切向力增大,加速摩擦、撞击液膜形成微小液滴,液滴间的凝结几率减小使得雾化颗粒更加均匀。通过对比可知随着气液比的增大,沿喷嘴径向位置雾滴粒径大小变化幅度趋缓。

3.3 气相通道斜度对喷雾宽度及沉积量分布特性的影响

在气液比 W_a/W_1 为 1.10,气相压力为 0.3 MPa 的工况下,对气相通道斜度 α 为 30°,45°,60°的喷嘴进行雾化试验,得到如图 4 所示喷雾宽度以及雾滴沉积量分布特性。由图 4 可知,在相同雾化时间内,总体所耗工质流量无显著变化。且 3 种喷嘴雾滴沉积量分布符合正态分布规律^[12],这是由于随着气相通道斜度的增大,对初次雾化后的液膜冲击面积增加,导致雾化角变大,喷雾宽度变大,雾滴更加均匀。此次试验所得液滴沉积量分布符合气动雾化喷嘴液滴分布特性。

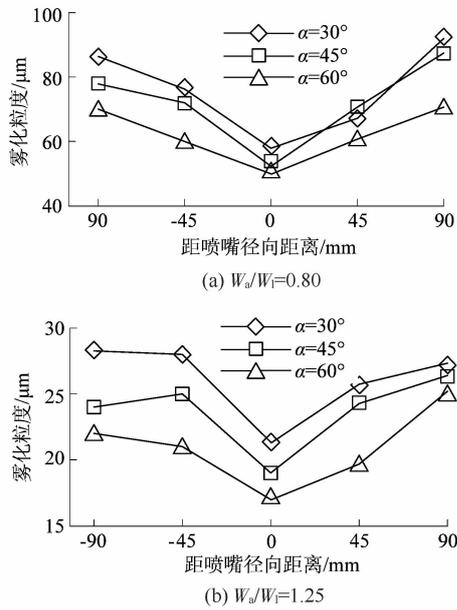


图3 雾化粒径分布图

Figure 3 Atomized particle size distribution

4 结语

课题组针对气动雾化发生器的雾化喷嘴进行了性能测试,气液比、气相通道斜度以及压缩气体的气相压力是决定该喷嘴雾化性能的重要因素。气液比相比于其他雾化参数对液滴粒径的大小影响更为明显。当气液比的比值增大时,喷嘴雾化后的液滴粒径随之减小,雾化角增加,液滴雾化效果更优。

此次试验为气动雾化喷嘴及新型雾化器的设计提供了参考,该喷嘴在实际应用中还要受到具体工况的温湿度、风速等因素综合效果的影响。进一步研究应设计多种气相通道斜度不同的喷嘴进行试验,从而优选出该系列最佳气动雾化喷嘴。

参考文献:

[1] 茹煜, 金兰, 周宏平, 等. 航空施药旋转液力雾化喷头性能试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 50-55.
 [2] 黄垂浪, 张振东, 陈忠. 喷嘴雾化流场数值仿真及结构改进研究[J]. 机电工程, 2017, 34(1): 33-38.
 [3] 刘红, 王淑春, 解茂昭, 等. 单液滴撞击薄液膜产生二次雾化过程的数值模拟[J]. 燃烧科学技术, 2012, 18(1): 38-43.
 [4] ZUZIO D, ESTIVALEZES J L, VILLEDIEU P, et al. Numerical simulation of primary and secondary atomization[J]. Comptes rendus mecanique, 2013, 341(1/2): 15-25.
 [5] LIU Jing, XU Xu. Direct numerical simulation of secondary breakup of liquid drops[J]. Chinese journal of aeronautics, 2010, 23(2): 153-161.

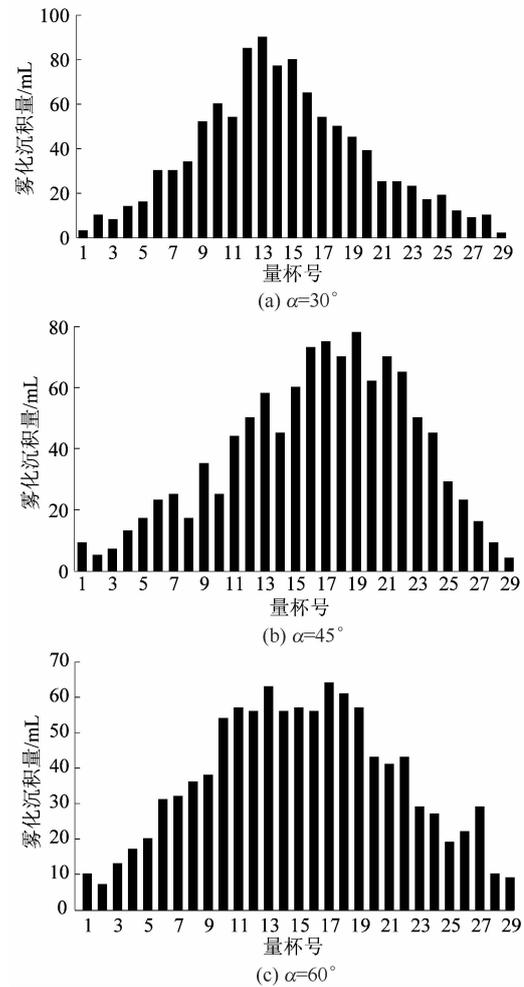


图4 喷嘴液滴沉积量的分布

Figure 4 Nozzle distribution of droplet deposition quantity

[6] 张雨树, 薛雷平. 液滴二次雾化破碎模式数值模拟[J]. 力学季刊, 2015, 36(4): 574-585.
 [7] 金仁喜, 袁江涛, 杨立, 等. 压力喷嘴常温下雾化特性实验研究[J]. 海军工程大学学报, 2012, 24(3): 52-56.
 [8] 王喜忠, 于才渊, 周才君, 等. 喷雾干燥[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
 [9] 宋坚利, 何雄奎, 杨雪玲. 喷杆式喷雾机雾流方向角对药液沉积影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 96-99.
 [10] 张立虎, 关平, 张龙, 等. PDPA和激光全息术对喷嘴雾化特性的对比测量[J]. 江汉大学学报, 2009, 37(4): 26-28.
 [11] 刘振华, 叶世超, 祝杰, 等. 双通道气流式喷嘴雾化特性实验研究[J]. 化工装备技术, 2015, 32(2): 6-9.
 [12] 贾卫东, 李萍萍, 邱白晶, 等. 农用荷电喷雾雾滴粒径与速度分布的试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 17-21.