

超声波雾化器雾滴飞行时间的分析

赵洪英¹, 蔡乐才²

(1. 四川理工学院电子与信息工程学院, 四川 自贡 643000 2 四川理工学院计算机学院, 四川 自贡 643000)

摘要:目前, 雾化器的应用很广泛, 就现有的雾化器来说, 雾滴飞行时间不够长, 雾滴的直径不能达到理想值, 影响雾化效果, 这一缺点让雾化器的应用受到一定的限制。文章推导出雾滴保持时间与雾滴大小的关系式, 并通过软件仿真分析, 在压强为 101 325kPa 温度为 20℃的条件下, 找到了雾滴直径和保持时间的最佳关系, 对于雾化器的设计具有参考价值。

关键词:超声波; 雾化器; 工作原理; 飞行时间

中图分类号: TQ 028.8

文献标识码: A

引言

在需要人工造雾来装饰的景区, 雾化器雾滴飞行时间是一个很重要的参数, 它直接影响到审美效果以及资源节约问题。目前的雾化器造雾, 雾滴存在的时间都不是很长, 影响雾化效果。为了让雾滴保持的时间更长, 增强雾化效果, 利用雾滴的物理特性, 对其存在时间进行分析, 推出雾滴保持时间与雾滴直径大小的关系式, 得出决定雾滴存在时间的关键因素是雾滴直径这一结论。这一结论对优化雾化器的设计具有重要的价值。

1 工作原理

超声波雾化器是利用电子高频振荡(振荡频率为 1.7MHz 或 2.4MHz 超过人的听觉范围, 该电子振荡对人体及动物绝无伤害), 通过陶瓷雾化片的高频谐振, 将液态水分子结构打散而产生自然飘逸的水雾, 不需加热或添加任何化学试剂。与加热雾化方式比较, 能源节省了十分之九。另外在雾化过程中, 将释放大量的负离子, 其与空气中飘浮的烟雾、粉尘等产生静电反应, 使其沉淀, 同时还能有效去除甲醛、CO 和细菌等有害物质, 使空气得到净化, 减少疾病的发生。

整个系统可以分为间歇工作控制、水位控制、换能器、振荡器和电源变换五个功能部分。电源由变压器降压, 经桥式整流、滤波后供振荡器工作。以三极管为核

心的电容三点式振荡电路, 它的振荡频率是压电振子的固有谐振频率 1.7 兆赫。系统中设有隔水电容, 在压电振子密封不严漏水时, 可使振荡电路的工作点不会改变。振荡器偏置电路为其建立工作点使振荡器工作。

压电振子是一高频陶瓷片, 它是电路的负载同时又是电路的自激元件。

2 雾滴飞行时间 t 的计算

Bouse 等在研究通过周期扰动喷流法来控制雾滴大小时, 给出了计算雾滴的初速度公式, 由其可推导出超声波雾化器的雾滴初速度公式:

$$V_0 = \zeta \sqrt{2g \nabla p} \quad (1)$$

其中 v_0 为液面处雾滴的速度 (m/s); ζ 为速度系数 (取 0.98); ∇p 为通过液面时的压降 (即为超声波的定向压强, pa)。

当液滴从雾化器的雾化片喷出并在液面形成雾时, 若喷雾角很小, 雾滴沿水平方向的速度分量可以忽略不计, 在此情况下, 雾滴的运动可以看成是垂直向上的运动。在运动方向上, 雾滴受重力、空气阻力和浮力的作用, 其中阻力及重力与运动方向相反。由牛顿第二运动定律, 三力的代数和应等于雾滴质量与其加速度的乘积, 即

$$-m \left(\frac{dV}{dt} \right) = mg(1 - \rho_g) + F_g \quad (2)$$

收稿日期: 2009-11-17

基金项目: 四川省科技厅支撑计划项目 基金资助 (2008FZ0109); 四川省教育厅科技项目 基金资助 (2007ZL048)

作者简介: 赵洪英 (1981-), 女, 河南驻马店人, 硕士生, 主要从事智能信息处理方面的研究。

其中 m 为雾滴质量 (kg); v 为雾滴运动速度 (m/s); ρ_g 为空气密度 (g/m^3); F_g 为空气阻力 (N),

$$F_g = \left[\frac{1}{2} \right] C A \rho_g \quad (3)$$

其中 C 为阻力系数; A 为雾滴颗粒在运动方向的投影面积 (m^2); 对于球形颗粒:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 m = \frac{\pi}{6} d^3$$

将 (3) 式代入 (2) 式得

$$-\left[\frac{dV}{dt} \right] = g \left(1 - \rho_g \right) + \left[\frac{3\rho_g}{4d} \right] C V^2 \quad (4)$$

因为 $\rho_g \ll 1$ 所以

$$-\left[\frac{dV}{dt} \right] \approx g + \left[\frac{3\rho_g}{4d} \right] C V^2 \quad (5)$$

阻力系数 C 为雷诺准数 R_e 的函数, 由于雾滴直径很小, 一般 $R_e < 2$ 可按层流处理, 属于斯托克斯定律范围。

$$C = \frac{24}{R_e} = \frac{24\mu}{dv\rho_g} \quad (6)$$

其中 μ 为空气粘度 ($kg \cdot s/m^2$), 即

$$C V = \frac{24}{R_e} = \frac{24\mu}{d\rho_g} \quad (7)$$

将 (7) 式代入 (5) 式得

$$-\left[\frac{dV}{dt} \right] \approx g + \left[\frac{18\mu}{d^2} \right] V \quad (8)$$

整理并积分, 取垂直方向的初速度为 V_0 , 得

$$-\int \left[\frac{dV}{g + \frac{18\mu V}{d^2}} \right] \approx \int_0^t dt \quad (9)$$

$$t \approx \frac{d^2}{18\mu} \int \frac{d \left[V + \frac{d^2 g}{18\mu} \right]}{V + \frac{d^2 g}{18\mu}} \quad (10)$$

$$t \approx \frac{d^2}{18\mu} \left[\ln \left[V_0 + \frac{d^2 g}{18\mu} \right] - \ln \left[\frac{d^2 g}{18\mu} \right] \right] \quad (11)$$

$$t \approx \frac{d^2}{18\mu} \ln \left[\frac{V_0}{\frac{d^2 g}{18\mu}} + 1 \right] \quad (12)$$

令 $n = \frac{d^2 g}{18\mu} (n > 0)$, 则 (12) 式可改为

$$t \approx \frac{n}{g} \ln \left[\frac{V_0}{n} + 1 \right] \quad (13)$$

由此知 $f(n) = \left[\frac{V_0}{n} + 1 \right]^n$ 是单调增加的。所以, 以相同初速度向上运动的雾滴颗粒, 如果直径 d 增加, 则 n 值增加, 运动时间就会延长。

3 Matlab 仿真

由资料知道, 在压强为 101.325kPa 温度为 20°C 的

条件下, 空气的动力粘度为: $\mu = 17.9 \times 10^{-6} Pa \cdot s$ 雾滴直径最大为 7 毫米, 此时, 雾滴能保持的时间为 2.5819s 下面是 Matlab 的仿真程序以及运行结果。

```
d= 0.0001: 0.0001: 0.007;
u= 1.79* 0.000001;
g= 9.8
p= 101;
v= 0.98* sqrt(2* 9.8* p);
for d= 0.0001 0.0001 0.007;
    n= (( d2)* g) / ( 18* u);
    m= log( ( v/n) + 1) /log( 2.2378);
    t= ( n/g)* m
end
```

运行结果如下:

```
t= 0.0037; t= 0.0126; t= 0.0256; t= 0.0419;
t= 0.0612; t= 0.0831; t= 0.1073;

t= 0.1336; t= 0.1617; t= 0.1916; t= 0.2230;
t= 0.2558; t= 0.2899; t= 0.3252;

t= 0.3615; t= 0.3988; t= 0.4370; t= 0.4759;
t= 0.5156; t= 0.5559; t= 0.5967;

t= 0.6381; t= 0.6799; t= 0.7221; t= 0.7647;
t= 0.8076; t= 0.8507; t= 0.8940;

t= 0.9374; t= 0.9810; t= 1.0247; t= 1.0685;
t= 1.1122; t= 1.1560; t= 1.1997;

t= 1.2434; t= 1.2870; t= 1.3305; t= 1.3738;
t= 1.4171; t= 1.4601; t= 1.5029;

t= 1.5456; t= 1.5880; t= 1.6302; t= 1.6721;
t= 1.7138; t= 1.7552; t= 1.7963;

t= 1.8372; t= 1.8777; t= 1.9179; t= 1.9578;
t= 1.9974; t= 2.0366; t= 2.0755;

t= 2.1140; t= 2.1522; t= 2.1900; t= 2.2275;
t= 2.2646; t= 2.3014; t= 2.3377;

t= 2.3738; t= 2.4094; t= 2.4446; t= 2.4795;
t= 2.5140; t= 2.5482; t= 2.5819;
```

根据运行结果的数值粗略绘出雾滴大小与其存在

时间长短的关系曲线,如图 1。从图中可以看出,雾滴直径与其存在时间成正比,在雾滴直径为 0.007 米时,其存在时间最长,为 2.5819 秒。

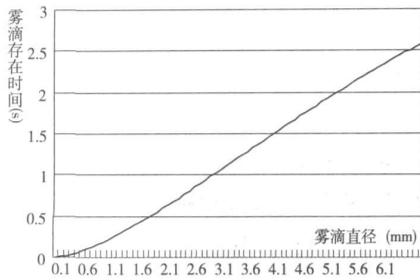


图 1 雾滴直径与其存在时间关系

4 结束语

对于超声波雾化器,雾滴存在时间主要与雾滴直径有关,雾滴直径与其保持时间成正比。为了增强雾化效果,在设计雾化器时可以考虑如何使雾滴的直径达到最佳数值,以让雾滴保持最长的时间。本文主要利用牛顿第二定律对雾滴存在时间进行推导,推导过程中运用了 Bouse 等人给出的雾滴初速度的公式,提高了计算结果的精确度。

参考文献:

- [1] 周华,范明豪,杨华勇. 旋芯喷嘴高效雾化特性测量研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(8): 110-114
- [2] 高波. S-NPK 喷浆造粒干燥机喷嘴设计要素分析[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2001, (6): 26-27
- [3] Bouse L F, Haile D G, Kunze O R. Cyclic disturbance of jets to control spray drop size[J]. Transactions of the ASAE, 1974, 17(2): 235-239
- [4] 张小艳,王小文. 超声雾化性能的试验研究与回归分析[J]. 工业安全与环保, 2002, 28(2): 8-13
- [5] 刘鸿,王家骅. 超声波雾化喷嘴的试验研究[J]. 江苏工业学院学报, 2005, 17(1): 32
- [6] Zheng Ying Zhang Q kai Simultaneous measurement of gas and solid holdups in multiphase systems using ultrasonic technique[J]. Chemical Engineering Science, 2004 (59): 3505-3514
- [7] [英]梅森 B J 云物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1978
- [8] 徐立成,孙和平. 超声雾化抑尘器及其应用[J]. 工业安全与防尘, 1995, 21(5): 13-15
- [9] 孙晓霞. 超声波雾化喷嘴的研究进[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004
- [10] 袁建新. 超声波雾化器在干燥寒冷地区冬季室内空气加湿调节的应用[J]. 制冷, 2000, 19(4): 73-74

Analysis for the Fog-drop Flight Time of Ultrasonic Nebulizer

ZHAO Hong-ying¹, CAI Le-cai²

(1. School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering Zigong 643000 China

2. School of Computer Science, Sichuan University of Science & Engineering Zigong 643000 China)

Abstract At present, the atomizer has been widely used. As for the existing atomizer, the flight time of droplet is not long enough. The droplet diameter can not achieve the desired value, which affects the impact of aerosol effects. This defect limits the application of atomizer. At pressure of 101.325kPa and temperature is 20°C, the relationship of droplet diameter and its holding time is brought out in the paper. The best relationship between the droplet diameter and time to maintain is derived by through MATLAB simulation, which has reference value for the design of atomizer.

Key words ultrasound; atomizer; working principle; flight time