

文章编号:1671-6833(2007)02-0057-03

一种超声波加湿器的动态性能研究

付卫东,王海峰,王保东

(郑州大学 化工学院,河南 郑州 450001)

摘要:一种能应用于小型装置或实验室调节湿度的超声波加湿器,它通过加湿振子激振产生直径几微米的均匀雾状水粒来加湿.在对该种加湿器的工作过程进行了分析后,根据质量平衡原理,推导出加湿器加湿的动态数学模型,并对一个具体的装置进行了动态性能仿真和实验分析.结果表明本文建立的动态数学模型仿真得出的阶跃响应时间常数,及在不同占空比下加湿器出口的相对湿度与实验结果比较接近,能较好地反应加湿器中的加湿过程;另外仿真和实验结果也表明该加湿装置能根据加湿器工作时间占空比的不同,在很宽的范围内控制出口的湿度.

关键词:加湿;超声波;动态特性

中图分类号: V 245.3

文献标识码: A

0 引言

随着人们对超声波的深入研究,超声波技术已应用于测量、清洗、粉碎、提取、探测等多个方面^[1,2].超声波加湿是近年来超声波技术的又一个应用.在环境控制中,湿度调节是非常重要的,以往常用的调湿装置有:离心式加湿器、高压喷雾式加湿装置以及电加热加湿装置等多种形式,其中离心式加湿机作为第一代产品在国内应用时间较长^[3].离心式加湿机是利用叶轮旋转时,把流过的水甩入空气中细化而达到加湿的.高压喷雾式加湿装置是通过把水加高压,喷入空气中破碎而加湿.这两种加湿装置加湿量大,但设备较大、噪音较大以及能耗高,使其应用领域受到限制.电热式加湿器是用发热体将水加热至沸点,产生水蒸气并释放到空气中进行加湿,是技术最简单的加湿方式,价格便宜,但耗电量大.

超声波加湿是利用超声波能量大的特点制作的.理论研究表明,在振幅相同的情况下,一个物体振动的能量跟振动频率的二次方成正比^[4].超声波在介质中传播时,介质质点振动的频率很高,因而能量很大.如果把超声波通入水中,剧烈的振动会使水破碎成许多小雾滴散入空气中,在空气中蒸发而加湿,这就是超声波加湿器的原理.超声

波使水雾化,其雾化粒度细,质量较高,通常的雾化粒度可长期悬浮在空中,加湿均匀,效果甚佳.超声波加湿与其它方式加湿相比,它具有无噪音、能耗低、设备体积小、价格低,能方便地对湿度进行更精确、迅速的控制,并且能用于带压力的环境,因此非常适用于在空调环境及实验设备中对环境湿度进行控制.以往,对于超声波加湿的研究多数集中在加湿原理及装置的定性分析方面^[5-6],对于其加湿的动态性能研究较少.本文作者主要从其运动的平衡方程入手,分析研究了超声波加湿器的动态性能.

1 超声波加湿器简介

超声波加湿器主要由电加热器、加湿罐、蓄水罐、超声波加湿模块、调功器、电磁阀及液位传感器等组成(图1).超声波加湿模块是本装置的核心模块,它由大功率压电陶瓷材料制成的高频振荡器即换能器(又称加湿振子)和激振电路组成.换能器安装在水槽底部,直接与水接触,在激振电路作用下,换能发生高频振动产生超声波,水在超声波作用下产生直径几微米的均匀雾状水粒逸出水面.这种雾状水粒表面积很大,极易在周围环境中汽化.

收稿日期:2007-01-11;修订日期:2007-03-27

基金项目:河南省重点学科建设项目

作者简介:付卫东(1963-),男,江西资溪人,郑州大学高级工程师,博士,主要从事热能与动力工程技术研究.

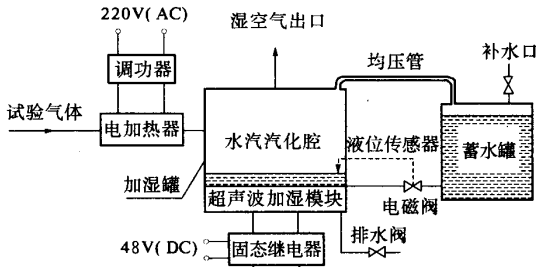


图1 超声波加湿器的组成

Fig.1 Configuration of the ultrasonic humidifier

在本装置中,试验气体经电加热器加热后,进入加湿罐的水汽汽化腔,与水中逸出的雾状水粒混合,雾状水粒瞬间汽化,完成加湿过程.湿空气由加湿罐上部排出.本装置通过液位传感器控制电磁阀的开合,使加湿罐中水的液位保持在,使水产生最多雾状水粒的最佳位置.对气体加湿量的大小,是通过控制加湿振子工作时间的占空比来确定的.

2 加湿装置数学模型的推导

因为超声波使水产生雾状水粒逸出的机理比较复杂,如果直接用力学方法去分析加湿的动态过程,很难得出准确简便的动态数学模型.作者认为加湿器在加湿过程中,只给进入加湿罐中的气流提供了一个较大的、均匀的、水的汽化面积.因此,作者在推导加湿装置的动态数学模型时作了如下假设:①气体在加湿过程中流动是均匀的;②加湿器在加湿过程中均匀地逸出大小一致的雾化水粒;③水汽汽化腔中的平均绝对湿度等于水汽汽化腔出口的绝对湿度.根据以上假设即可进行超声波加湿过程的动态数学模型推导.

对于在一定压力下水的蒸发,蒸发量与蒸发面积有如下关系^[7]:

$$w_h(t) = \beta(p_{qb} - p_q)F_0 \frac{B}{p} \quad (\text{kg/s})$$

式中: p_{qb} 为相对于水表面温度下饱和空气的水蒸汽分压力,Pa; p_q 为空气中水蒸汽分压力,Pa; F_0 为汽化腔中水表面面积, m^2 ;B为标准大气压力,其值为0.101 MPa; p 为实际压力,Pa; β 为蒸发系数, $\text{kg}/(\text{N} \cdot \text{s})$; β 按下式确定

$$\beta = (a + 0.0036v) \times 10^{-5}$$

式中: a 为不同水温下的扩散系数, $\text{kg}/(\text{N} \cdot \text{s})$,水温小于30℃时,其值为0.0046 $\text{kg}/(\text{N} \cdot \text{s})$; v 为水面上周围空气流速, m/s .

对于超声波加湿器,相当于增加 $n \cdot F_{h0} \cdot x(t)$

平方米的蒸发面积,于是水汽汽化腔中加入气流中的水蒸汽量为

$$w_h(t) = \beta p_{qb}(1 - \varphi_0(t)) [n \times F_{h0} \times x(t) + F_0] \frac{B}{p} \quad (1)$$

式中: φ_0 为相对湿度; n 为加湿振子的个数; x 为加湿器工作时间的占空比; F_{h0} 为单个加湿振子产生雾状水粒总表面积, m^2 .

根据质量平衡原理,水汽汽化腔出入口水蒸汽的平衡方程为

$$\frac{m_{g0}}{G_g} \frac{dG_{w2}(t)}{dt} + G_{w2}(t) = G_{w1}(t) + w_h(t) \quad (2)$$

式中: m_{g0} 为加湿罐中的气体质量,kg; G_g 为干空气的质量流量,kg/s; G_{w1} 、 G_{w2} 为分别为进出口水蒸汽的质量流量,kg/s.

由湿度的关系式得水汽汽化腔出口气体的相对湿度:

$$\varphi_2(t) = \frac{\frac{G_{w2}(t)}{G_g} p}{\left[\frac{G_{w2}(t)}{G_g} + 0.622 \right] p_{qb}} \quad (3)$$

方程式(1)~(3)即为超声波加湿器加湿过程的动态数学模型. F_{h0} 的值可按超声波加湿器单个振子在标准大气压下的加湿量来确定.饱和水蒸汽压 $p_{qb} = 602.4 \times 10^{\frac{7.45(T-273)}{7-38}}$.只要给定加湿罐的几何参数、气流的入口参数及换能器的参数,即可计算出加湿罐中的加湿量、出口相对湿度或绝对湿度^[8].

3 计算实例及实验分析

实验装置的参数为:加湿罐内径270 mm、高280 mm,超声波加湿模块高50 mm,加湿罐中的液面高35 mm,入口气体温度289.6 K,入口相对湿度43%,流量15.71 L/min,加湿罐中压力196 kPa,换能器1个,功率35 W;已测得换能器在标准大气压下,温度为293 K,相对湿度为50%时,加湿量300 mL/h.根据上述数据就可确定动态数学模型方程的各系数,即可采用Matrixx仿真软件对上述方程进行仿真.

图2为加湿器工作的占空比为0.4时,出口相对湿度阶跃响应的仿真结果.作者对于这个加湿装置进行实验,实验时测量在加湿器工作在不同占空比下,加湿罐出口相对湿度值,并测得出口湿度的阶跃响应时间为45 s左右,这与仿真结果比较接近.

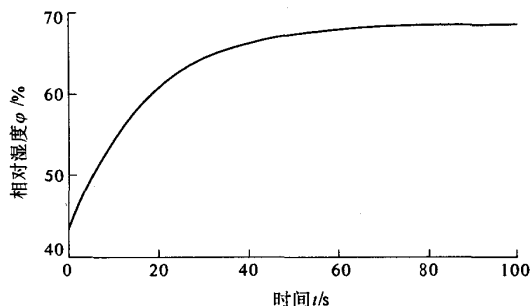


图2 出口相对湿度的阶跃响应

Fig.2 The step response of RH at outlet

图3为加湿器在不同工作占空比下,加湿罐出口相对湿度的实验数据与仿真结果对比,可以看出仿真结果与实验测量比较接近.同时也可看出该加湿装置能在很宽的范围内控制出口的湿度.

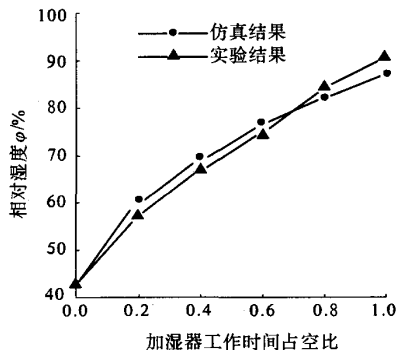


图3 出口相对湿度仿真与实验对比

Fig.3 The comparison of RH of experiment to emulation at outlet

4 结论

作者介绍了一种超声波加湿装置,建立了该加湿装置的数学模型,并对加湿过程进行仿真和实验.结果表明:该加湿装置能根据加湿器工作时间占空比的不同,在很宽的范围内控制出口的湿度;建立的加湿器的动态数学模型能比较好反应加湿器中的加湿过程.

参考文献:

- [1] 卜英勇,何永强,赵海鸣,等.一种高精度超声波测距仪测量精度的研究[J].郑州大学学报(工学版),2006,27(1):86-90.
- [2] 张秋荣,单丽红,杜斌,等.超声波提取玉米黄色素的工艺研究[J].郑州大学学报(工学版),2005,26(2):110-112.
- [3] 刘长一.加湿机在我国的应用与发展[J].包装与食品机械,1999,17(2):25-26.
- [4] 应崇福.超声学[M].北京:科学出版社,1990:520-521.
- [5] 王悦义.数控增湿装置[J].测试技术学报,1994,8(2):119-123.
- [6] 梅志光,林贵平,袁修干.某载人试验舱环境控制系统加湿器的研制[J].北京航空航天大学学报,1997,23(5):661-664.
- [7] 清华大学四院校合编.空气调节[M].北京:中国建筑出版社,1986:52-60.
- [8] 寿荣中,何慧嫻.飞行器空气调节[M].北京:北京航空航天大学出版社,1990:10-17.

The Study of The Dynamic Performance of an Ultrasonic Humidifier

FU Wei - dong, WANG Hai - feng, WANG Bao - dong

(School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The ultrasonic humidifier can be used in small scaled equip or the laboratory to adjust the degree of humidity, its wetting part flap to produce several microns of diameter of fog from water surface to add humidity. After the work process of this kind of humidifier is analyzed, it's mathematics model is deduced, according to the equilibrium principle of quantity, and the ultrasonic humidifier's dynamic performance is theoretically emulated in the article and practically tested. It is shown that the characteristic time of step response of RH which is calculated by the mathematic dynamic model and the RH at the humidifier outlet under the duty ratio is different, all being close to the results of tests, and the model indicates the process of humidifying in this device correctly. The test results also show the outlet humidity can be controlled in long range in it by this sort of humidifier under its different duty ratio.

Key words: humidifier; ultrasonic wave; dynamic characteristics