

文章编号: 1005—8893 (2005) 01—0031—03

超声波雾化喷嘴的试验研究^{*}

刘 鸿¹, 王家骅²

(1. 江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016; 2 南京航空航天大学)

摘要: 研究了超声波喷嘴的结构和加工工艺对喷嘴雾化性能的影响, 得到喷嘴的最佳结构参数和加工工艺并测定该喷嘴的雾化特性。试验表明, 该喷嘴能满足雾化要求, 雾化剂占水量的 15% 以下, 水珠平均直径在 60~70 μ m 范围。

关键词: 超声波; 喷嘴; 雾化

中图分类号: TF 054

文献标识码: B

一般雾化液体(油或水)都采用压力雾化喷嘴(离心喷嘴)。当液体流量太大时(或液体粘性过大时), 由于离心喷嘴喷口尺寸增加, 喷嘴出口液膜增加, 造成液体雾化质量恶化, 液珠的索太尔平均直径($d_{s,m}$)急剧增加。为了在液体流量较大时, 得到理想雾化质量, 可以采用压缩空气(或蒸气)作为雾化剂, 来改善雾化质量。雾化剂压力一般在 0.3~0.5 MPa, 例如 Y 型喷嘴, 内混式喷嘴和外混式喷嘴等。由于 Y 型、内混式和外混式喷嘴, 仅利用雾化剂的气动能来雾化液体, 因而所需雾化剂量较大, 为了得到理想的液珠平均直径, 一般雾化剂占被雾化液体质量的 30%~60%。

超声波雾化喷嘴, 不仅利用雾化剂的气动能, 更主要依赖于超声波能来雾化液体^[1], 因此, 不但可以降低雾化剂的用量, 而且可以进一步改善雾化质量。

1 超声波雾化喷嘴雾化机理

1.1 超声波激发机理

气体在喷口达到音速时, 在喷口出口形成激波, 这个激波是稳定的。当激波下游存在钝体时, 激波变为不稳定, 出现压力脉动, 压力脉动存在一定频率, 但脉动幅值不大。当激波下游安装一个固

定频率和该脉动频率相同的共振腔时, 由于共振使压力脉动幅值大大增加。超声波是由激波和共振器共同作用而产生的。

超声波频率和超声波能量与喷口结构尺寸和气流的压力有关, 喷口尺寸增加, 频率下降, 超声波能量增加。声压是直接影响雾化效果的一个重要声学量, 可用改变共振腔的几何尺寸和增加气出口前的压力两种途径来获得较大的声压值。中科院声学研究所从多种声雾化燃烧器的实测中, 总结归纳出计算频率的经验公式:

$$f = c/4 [h + 0.3(d_r - d_c)]$$

式中 h —共振腔深度, mm; d_r —共振腔直径, mm; d_c —中心杆直径, mm; c —常温下空气中声速, m/s。

经过实验证实: 用上述经验公式计算得出的频率与实测频率值存在误差, 误差范围小于 10%^[2]。

1.2 超声波喷嘴雾化机理

超声波雾化机理完全不同于其它雾化形式。超声波雾化有两种因素在起作用, 一个是高频、高振幅的超声波本身将高的声波压力作用在液体上以及超声波在液体内的空化作用使液体雾化, 另一个是高频振动的气流所具有的剧烈的湍流脉动将液膜拉成液丝, 碎裂成液滴而在气动力作用下进一步雾化

* 收稿日期: 2004—12—10

基金资助: 江苏工业学院科技基金资助

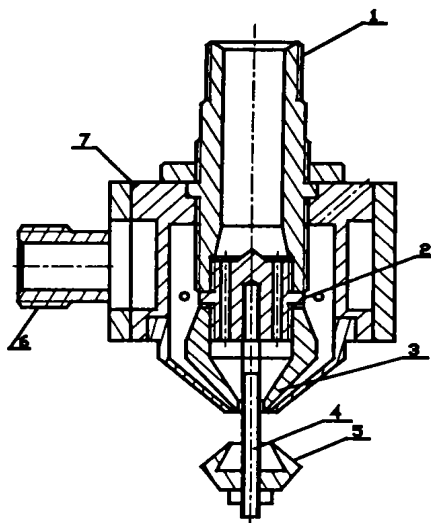
作者简介: 刘鸿(1974—), 男, 江苏江阴人, 讲师。

成液雾^[3~6]。

本设计喷嘴为离心—超声喷嘴的组合，当无雾化剂时，具备离心喷嘴雾化的特性，水从喷口喷出后，形成锥形水膜，水膜在离出口一定距离处，失稳、破碎成大小不同的水珠，由于喷口尺寸大，雾化质量差。有雾化剂时，由于高速气流和超声波的作用，锥形水膜离出口后立即被雾化成大小不同的水珠，水珠随气流向下游运动。

2 试验设备、测试仪器、试验件

试验设备由水路系统、气路系统和参数测量仪表组成。超声波雾化喷嘴结构如图 1 所示，它由水路通道、气路通道和共振器 3 部分组成。从压气机来的压缩空气，经过调节阀和涡轮流量计，进入试验件的进气管（1）。水从储水箱流出，经浮子流量计进入试验件的进水接头（6），水压由气瓶提供。水压和气压分别由各自压力表指示并分别用阀门进行控制。



1. air pipe; 2. guide vane; 3. nozzle; 4. central rod; 5. resonator; 6. water connector; 7. casing

图 1 超声波雾化喷嘴示意图

Fig. 1 Sketch map of ultrasonic atomizer

声学特性测试系统由声压传感器、信号放大器、频谱分析仪和打印机组成。声压传感器感受的声压脉动信号，经信号放大器后，输入频谱分析仪从打印机输出。

压缩空气由进气管进入，经过导流器（2）从喷管（3）和中心杆（4）形成的环形通道排出，气流在喷管出口处达到音速。水从进水接头进入，通过壳体（7）上切向孔进入，从壳体和喷管外表面形成的环形喷口流出。共振器由中心杆、共振腔

（5）组成，通过结构参数选择，使其固有频率和激波振动频率耦合，产生一定频率和压力脉动幅值的超声波。

3 试验结果和分析

3.1 超声波喷嘴典型频谱图

超声波喷嘴频谱图如图 2 所示，从图中可知，在频率 7.65 和 15.3 kHz 处出现峰值，其幅值分别为 132.5 和 116.8 dB（测量位置距喷嘴 30 cm）。

3.2 l 变化对频率和声压的影响

喷口和共振腔距离 l 对频率和声压的影响见表 1。

表 1 频率和声压的变化

Table 1 The variation of frequency and acoustic pressure

l/mm	6	7	8	9	10	11	12	13
f/kHz	8.05	7.45	7.25	7.00	none	none	7.00	7.00
p/dB	125.9	129.1	127.5	129.6	none	none	117.6	123.0

说明：共振腔深度为 3 mm，压力为 0.2 MPa（表压）。

从该表可知：① l 变化使频率和声压都发生变化，当 $l=9\text{ mm}$ 时声压最大为 129.6 dB， $l=6\text{ mm}$ 时频率最大为 8.05 kHz。② 在一定的范围内，随着共振腔和喷嘴之间的距离增大，声压出现无规律变化，有些测试位置上声压突然变大，这是由于在这些位置上脉动频率和共振腔的固有频率相同产生共振，声压出现极大值。③ 从频谱图可以看出，在其他条件给定的情况下， l 在一定范围内变化时声压才会出现峰值，而超出这一范围就没有明显的峰值。这是由于共振区内的超声波是由入射波和经过共振腔的反射波叠加而成的，如果入射波和反射波正好相反，那么就不能形成共振峰值。如果 l 的距离太短，频率增加，喷口和共振腔顶端狭缝对外射流，共振腔失去作用；如果 l 的距离太长，由于喷口和共振腔距离太远而使到达共振腔的声能太少，形成共振频率的振幅很小，给其它喷注噪声所覆盖，看不到明显的峰值。只有当间距满足入射波和反射波叠加的条件并且喷口和共振腔距离处于最佳值，才使共振峰值达到最大，即声压达到最大。④ 显然声压越大雾化效果就越好，对振动频率的选择，一般在 10 kHz 左右较好，若频率太低，不易起振，若频率太高，声能输出受限制，因此既不能只强调频率而忽视声压，也不能只强调声压而忽视频率，要两者兼顾。

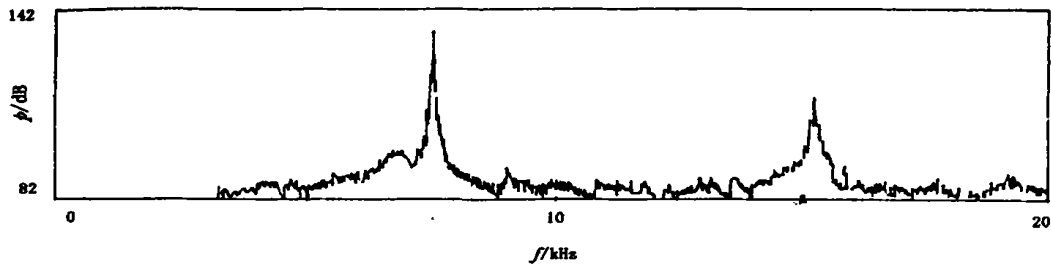


图 2 超声波雾化喷嘴频谱图

Fig. 2 The frequency spectrum of ultrasonic atomizer

3.3 超声波喷嘴水雾场特性试验结果

试验结果见表 2。

表 2 水雾场试验结果

Table 2 The experimental results of water atomization field

G_{water} / (kg/h)	ΔP_{water} / MPa	G_{air} / (kg/h)	$(G_{\text{air}}/G_{\text{water}})$ / %	$> 200 \mu\text{m}$	$d_{s,m}$ / μm
100	0.025	45.5	45.5	none	below 20
150	0.056	45.5	30.0	none	about 30
200	0.100	45.5	22.8	none	30~40
250	0.156	45.5	18.2	none	45~50
300	0.225	45.5	15.2	below 1%	55~60
350	0.306	45.5	13.0	2%~3%	60~70
400	0.400	45.5	11.4	below 5%	70~80

说明：气压（表压）= 0.3~0.32 MPa。

从该表可知：①在雾化剂压力和流量不变的条件 下，随着雾化水量的增加，雾化水珠的 $d_{s,m}$ 增加。②当水量较小时，水到共振腔前已全部雾化成 20 μm 以下的水珠。由于小水珠运动惯性小，随气流 绕过共振腔向下游运动。③当水量较大时，水到 共振腔前不能全部雾化成小水珠，部分大水珠随气 流撞落在共振腔锥形外表面形成水膜。水膜在气动 力作用下，沿共振腔锥形外表面运动，至共振腔锥 形外表面的后缘，在气动力作用下雾化成水珠。当 水膜较薄时，可以雾化成平均直径为 40~50 μm 的水珠；当水膜厚时，则水雾的平均直径增加，可

达 60~70 μm 。④试验中发现如果环形喷口同心度 得不到保证，那么局部区域仍出现具有一定雾化角 的大水珠，因此与同心度有关的喷口各零件需要组 合加工，另外所有零件表面镀锌，以防止喷口表面 生锈而影响雾化质量。

4 结 论

①该超声波喷嘴在 $G_{\text{水}}=350 \text{ kg/h}$ 时，雾化剂 占水量 13%，平均直径小于 60~70 μm ，200 μm 以上水珠量小于 3%，达到给定要求。②喷嘴雾化 性能对环形喷口同心度和光洁度很敏感，为了达到 给定雾化性能，必须保证同心度和光洁度。

参考文献:

[1] 孙晓霞. 超声波雾化喷嘴的研究进展 [J]. 工业炉, 2004, 26 (1): 19-32.
[2] 陈全英, 颜世彪. 杆射哨超声雾化燃烧器的实验研究 [J]. 应用声学, 1990, 9 (5): 37-41.
[3] 应崇福. 超声学 [M]. 北京: 科学出版社, 1974.
[4] 马大猷. 声学手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
[5] 侯凌云, 侯晓春. 喷嘴技术手册 [M]. 北京: 中国石化出版 社, 2002.
[6] 董志鹏, 崔群, 姚虎卿. 石油焦燃烧过程脱硫及其对燃烧性能 的影响 [J]. 江苏石油化工学院学报, 2002, 14 (3): 15-18.

An Experimental Study of Ultrasonic Atomizer

LIU Hong¹, WANG Jia-hua²

(1. Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China; 2. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics)

Abstract: A study of the structure of ultrasonic atomizer and the influence of the performance of nozzle atomiza- tion due to process technics is carried out. The best structure parameters and process technics are gained and the performance of atomization is determined. The experiment shows that the nozzle can meet the requests that at- omization medium is less than 15 percent of the water and the SMD of the water is within 60-70 μm .

Key words: ultrasonic; nozzle; atomization