

杆式声雾化器雾化特性的试验研究

华东船舶工业学院 夏允庆* 程华定

【摘要】 就杆式声雾化器的流体动力参数和几何参数对其雾化特性的影响进行了试验研究。试验在常温、常压下进行。用印痕法测量液雾尺寸分布特性, 测量误差 $< \pm 5\%$ 。试验结果表明, 声雾化器的 SMD 与空气压力成反比, 与液体流量成正比, 共振腔尺寸 L_δ 对 SMD 的影响最大。液雾分布近似符合 $R-R$ 分布, 其 $R-R$ 分布指数范围与大多数喷嘴相同。

主题词: 雾化器 雾化特性 共振腔 频率 声压

分类号: TK17 V235.14

近年来, 国内对声雾化器开始进行研究, 并取得一些成果^[1]。声雾化器由于其喷雾前液流速比机械雾化或双流体雾化喷嘴低, 液体通道尺寸相对较大, 具有节能、不易堵塞与磨损等优点^[2]。为使声雾化技术用于生产实践中, 有必要对其雾化特性以及流体动力参数和几何参数对其特性的影响进行研究, 以便设计出符合要求的声雾化器。

1 试验设备及数据整理

试验用声雾化器的原理图见图 1, 其中心杆的一端装有共振腔, 试验时, 采用轴向移动或更换共振腔的方法, 以改变其几何参数。图 2 中 h 为共振腔深度; l 为共振腔和喷嘴切口间的距离; d_v 共振腔直径; d_c 喷嘴直径; d_ϕ 中心杆直径。试验以水为介质, 水切向进入喷嘴。

采用自制的液滴捕捉仪(图 3)测量液滴尺寸分布。通过调节弹簧预紧力和缝隙宽度, 可获得合适的液滴收集效率。用印痕法测得的液滴尺寸通常比实际尺寸大, 应予以修正。

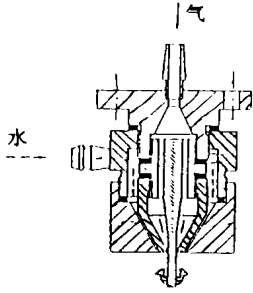


图 1 试验声雾化器

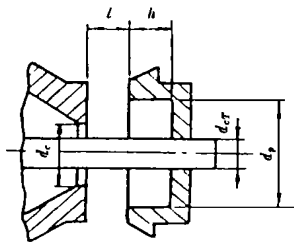


图 2 超声发生器几何参数

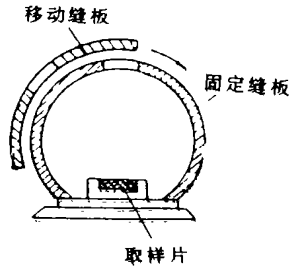


图 3 液滴捕捉仪原理图

应该指出大直径液滴数量虽然不多, 但对液雾的平均直径起很大作用。试验中未测滴径小于 $10\mu\text{m}$ 的液滴, 每次取样均在 5500 个以上, 5 次重复性试验的最大误差为 2.77%。试验前还

对声雾化器的声频率与声压级进行了测量。并对声频、声压与工作压力及共振腔尺寸(h, l, d_p)间的关系进行了试验, 所得结果与文献[3]类同。试验时保持几何尺寸一定, 使空气压力 $p = 0.34 \sim 0.49 \text{MPa}$, 水压为 0.01MPa , 流量 $G = 0.0111 \sim 0.0194 \text{kg/s}$, (对应气液比在 $0.4 \sim 1.1$ 范围), 分别对每一工况测量结果画出液滴尺寸分布图。取 $\Delta D = 10 \mu\text{m}$, 由此得到液雾的滴数频率分布曲线(图4)和累积容积分布曲线(图5)。或固定 $p = 0.49 \text{MPa}$, $G = 0.0139 \text{kg/s}$, 分别

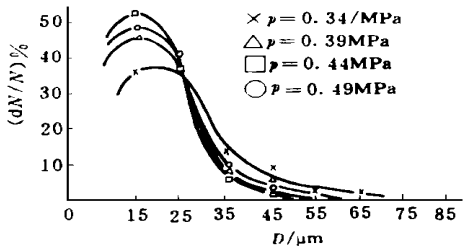


图4 声雾化器液雾滴数频率分布曲线($G = 50 \text{kg/h}$)

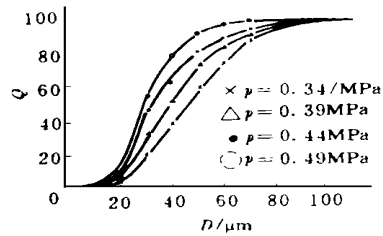


图5 声雾化器液雾累积容积分布曲线

改变 h, l, d_p 中的一个参数, 测出每一工况的液滴尺寸分布。由此得到液雾的滴数频率分布和累积容积分布, 其变化规律与图4、图5类似。根据试验结果, 可求出 $SMD = \frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i D_i^2}$ 。

2 试验结果与讨论

SMD 随气体压力 p 及水流量 G 的变化特性如表1所示, 由表可见 SMD 随压力增加或流量减小而减小。运用幂回归运算, 对试验结果进行整理, 可得 $SMD \propto G p^{-0.99}$ 。其相关系数分别为 0.997 和 0.992 。这是因为随着气压增加, 频率增大, 声压级开始增加很快, 而后略有下降(图6)。从而使气体射流对液滴的振动增强, 故雾化的液滴变小。在气压一定时, 产生的声波能量一定, 供水量的减小, 使破碎每个液滴的能量增大, 故水雾变细。几何参数对雾化特性的影响见表2, 表中共振腔深度用无因次参数 $H_\delta = h/\delta_c$ 表示, $\delta_c = (d_c - d_{cr})/2$ 。由表可见, H_δ 对分布指数 q 和 SMD 的影响均不大。这是由于声波的频率和声压同时影响液体的雾化细度。试验表明, 声波频率随共振腔深度的增加而下降, 而声压级变化不大, 有一最小值(图7中 $p = 0.49 \text{MPa}$, $G = 0.0139 \text{kg/s}$, $L_\delta = 5.2$, $K_\delta = 3.25$)。

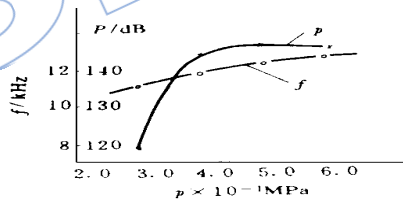


图6 超声波喷嘴频率随气体压力的变化

表1 雾化特性与流体动力参数的关系

流体动力 参 数	$p \text{ (MPa)}$ $G = 50 \text{ kg/h}$				$G \text{ (kg/s)}$ $p = 0.49 \text{ MPa}$			
	0.34	0.39	0.44	0.49	0.0111	0.0139	0.0167	0.0194
$SMD (\mu\text{m})$	39.7	34.2	30.3	20.0	21.4	28.0	33.9	37.2
q	2.9	2.5	2.3	2.6	2.0	2.6	3.2	2.9

共振腔直径的影响, 可用 SMD 与无因次参数 $K_\delta = \delta_p/\delta_c = (d_p - d_{cr})/(d_c - d_{cr})$ 的关系来表示。由表2可见, 在试验工况范围内($K_\delta = 3.25 \sim 4.2$), SMD 有一最大值。这是由于声频随 K_δ 增大而下降, 但声压却是增加的。

共振腔到喷嘴之间的距离 l 与 SMD 的关系, 用无因次参数 $L_{\delta} = l/\delta$ 表示。随 L_{δ} 增加, SMD 增大。因为 L_{δ} 增加时, 声频显著下降, 而声压在所试验工况中变化不大。

表 2 雾化特性与几何参数的关系($p = 0.49\text{MPa}$, $G = 50\text{kg/h}$)

几 何 参 数	$H_{\delta}(L_{\delta}= 5.2 \quad K_{\delta}= 3.25)$					$K_{\delta}(L_{\delta}= 5.2 \quad H_{\delta}= 5.2)$				$L_{\delta}(K_{\delta}= 3.25 \quad H_{\delta}= 5.2)$				
	5.2	6.4	8.0	9.8	14.2	3.25	3.8	4.0	4.2	2.8	3.5	5.2	6.4	7.6
$SMD(\mu\text{m})$	28	33	36	37	28	28	31	29	26	21	24	28	37	47
q	2.6	2.6	2.6	2.6	2.4	2.6	2.9	2.5	2.4	1.4	1.9	2.6	3.3	3.8

根据对试验结果, 按 Rosin - Rammler 分布 (以下简称 R- R 分布) 进行回归表明, 除极少数工况外, 其相关系数 r 均在 0.97 以上。从中选择一个工况, 并与试验值进行比较 (图 8), 可见, 当液滴直径在中等范围 (30 - 70 μm) 时, 试验值与 R- R 分布有较大偏差。如采用修正后的 R- R 分布规律^[4], 其数学表达式为 $1 - Q = \exp - (\ln D / \ln X)^{q_m}$ 。将其与各种工况下的试验值相比较, 发现两者在不同程度上均有所接近, 相关系数可以提高 1~3% 左右。考虑到 R- R 分布计算简便, 应用广泛, 故仍可用 R- R 分布来近似计算声雾化器的液滴尺寸分布。由表 1、2 可知, 声雾化器的液雾分布指数 $q = 1.5 - 3.8$, 此范围与机械雾化喷嘴或空气雾化喷嘴基本相同。诸因素中, 以相对距离 L_{δ} 对 q 的影响最大, 而相对深度 H_{δ} 对液雾均匀性基本上没有影响。

结论 (1) 气体压力增大或供水量减小, 都可使 SMD 降低, 在所试验范围内 $SMD \propto G_p^{-0.99}$; (2) 共振腔几何参数中, 以 L_{δ} 对液雾的 SMD 影响最大, L_{δ} 增加, SMD 增大; (3) 声雾化器的液雾分布可近似认为符合 R- R 分布。

参 考 文 献

1 Zhou Sudong, Wang Jiahua. Experimental Investigation on Atomization Characteristics of Ultrasonic Atomizer. SAE Technical Paper Series 900803
2 Harvey L, Berger. Ultrasonic nozzles take pressure out of atomizing processes. Research & Development-September 1984
3 陈全英, 颜世彪. 杆射哨超声雾化燃烧器的实验研究. 应用声学, 1990, 9(5): 37- 41
4 Lefebvre A. H. Atomization and Sprays. Hemisphere, New York, 1989: 87- 88

(责任编辑 杨再荣)

