所侧重, 其主要特点在于将一种物质, 包括粘度较大的液体, 微粒状固体粉末, 甚至细长纤维, 分散入另一液体之中, 此液体也包括融化金属。超声分散作用机理显然也与超声空化效应密切相关。我们采用 T-1 型压电超声换能器进行了超声分散色素的研究, 结果表明: 分散细度小而均匀, 稳定性高, 已用于小样生产。用于分散碳纤维, 可比原分散方法快 15 倍以上(1 小时缩短至 4 分钟)。我们还进行了超声分散碳纤维强化浸铝的研究, 也证明浸铝速度快, 质量好, 并为攻关科研项目所采用。

超声破碎是将大颗粒固体破碎成许多更小的固体或粉末, 破碎过程一般在液体中进行。破碎还包括将细胞破碎成细片, 也包括将长链分子打断成短链分子。我们采用 T-1 型压电超声换能器, 进行破碎细胞的试验研究, 由于能够产生强烈的空化, 因而破碎效果较好, 已为用户采用, 反映良好。我们还曾进行二氧化锆溶液喷雾分散干燥, 也证明效果良好, 有潜在的发展前途。

4 讨论和小结

(1) T-1 型压电超声换能器有三大设计特点, 经实验证明可行和优越, 尤其在要求比较苛刻的大功率工作条件下, 经受了考验, 可有效地防止换能器过热、碎片和固定螺钉断裂等, 工作性能良好, 值得有关用户采用。

(2) T-1 型压电超声换能器在大功率高强度条件下工作, 可以产生很强的空化效应, 对于避开需要高空化强度条件的新应用(如: 断分子链等) 将是有力工具。

(3) T-1 型压电超声换能器用于连续性工业化生产上, 还有待改进附件、配装和进一步试用、考验和不断完善。

A6 悬臂式簧片哨工作特性的研究

罗曾义 邓文海

(中国科学院声学研究所 北京 · 100080)

1 引 言

悬臂式簧片哨由于结构简单、牢固、经济实用, 尤其用于乳化工艺的明显效果, 已逐步受到各工业部门的注视和试用, 然而国内外对其工作特性的研究仍然甚少, 对簧片哨发声机理的分析也存在问题和分歧, 致使它的有效应用和推广不能不遇到困难, 显然开辟这一研究是必要的。

本文主要介绍我们对悬臂式簧片哨工作特性的研究结果, 内容包括声强、振幅特性和以此特性为基础所设计的系列产品及其技术性能以及对簧片哨发声机理的探讨。声强特性中, 声强和工作压力、喷口厚度的关系与簧片尺寸有关的特点、规律是我们在对 4 支点式簧片哨工作特性研究中首次发现和提出的[1], 在对悬臂式簧片哨工作特性的研究中又发现: 不仅声强特性, 而且振幅特性也有类似的特点和规律。以上结果, 至今尚未见到国内外有过报道。

为解释上述特点和规律, 我们提出了簧片刃口端点位移或振幅反馈控制水片摆动和激发力的簧片哨位移反馈发声机理。

2 声强特性 注1)*

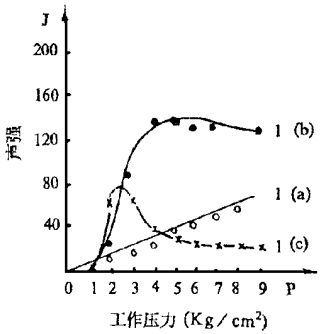
我们系统地测定了声强特性, 并研究发现其与簧片尺寸有关, 具体来说就是当 l/δ 较大(δ 簧片厚度, l 簧片长度) 或簧片弯曲刚度较小, 致使在一定的液片激发力作用下, 簧片刃口端点位移或振幅 Y_1 接近或大于喷口厚度之半($S/2$) 时 注2)**, 声强(J) 随工作压力(P)、喷口至簧片距离(h)、喷口厚度(S) 的变化所构成的声强峰较宽而平坦并相应有较大的最佳 P、h、S 值。而当 l/δ 较小, 致使 $Y_1 < S/2$ 或 $Y_1 \ll S/2$ 时, 则其声强峰较狭而尖锐并相应有较小最佳 P、h、

* 注(1) 本文中声强是用 $\phi 8\times 1$, 长 12 的声电换能器在簧片刃口前端距离簧片 20mm 处测定的, 将测出的电压乘上换能器的电压灵敏度, 即可得出声压并计算出声强, 图中仅用声强相对值表示。

** 注(2) 严格地讲也应考虑液片摆动幅度, 此处从简。

S 值。l/δ 愈大、声强峰愈宽、愈平坦,最佳 P、h、S 值也愈大,反之亦然。J 与 h 的关系中另一特点是:当 l/δ 较大,在 h 很小值处(可小于 0.05～0.5mm)开始会有一声强峰出现。而当 l/δ 较小时,此声强峰则消失。

J 与 P、h、S 的关系曲线如图 1、2、3 所示。



1(a): $\delta\times l\times b=2\times56\times20$,
$h=0.5, S=0.5$, $Y_{1\max}=1.85$
$\alpha=30°, l/\delta=28, f=0.32$kHz

1(b): $\delta\times l\times b=2\times40\times20$,
$h=10, S=1.05$, $Y_{1\max}=1.15$
$\alpha=30°, l/\delta=20, f=0.58$kHz

1(c): $\delta\times l\times b=2\times28\times20$,
$h=10, S=2.10$, $Y_{1\max}=0.30$
$\alpha=30°, l/\delta=14, f=1.20$kHz

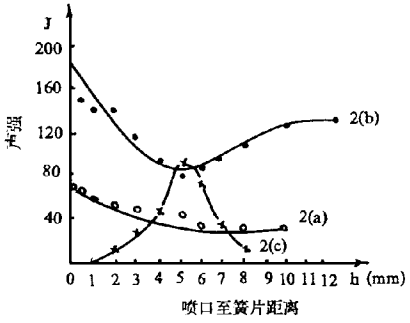


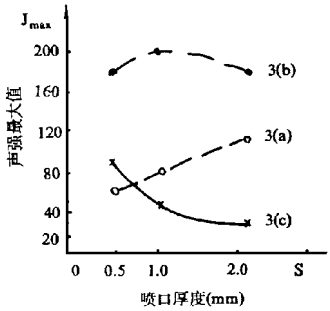
图 1　声强与工作压力的关系

2(a): $\delta\times1\times b=2\times56\times20$,
$S=0.50, p=9$kg/cm2, $Y_{1\max}=1.8$,
$\alpha=30°, l/\delta=28, f=0.32$kHz

2(b): $\delta\times l\times b=2\times40\times20$,
$S=0.5, p=9$kg/cm2, $Y_{1\max}=1.0$,
$\alpha=30°, l/\delta=20, f=0.58$kHz

2(c): $\delta\times l\times b=4\times28\times20$,
$S=0.50, p=9$kg/cm2, $Y_{1\max}=0.10$,
$\alpha=30°, l/\delta=7, f=2.0$kHz

图 2　声强与喷口至簧片距离的关系



3(a): $\delta\times l\times b=2\times56\times20$,
$S=0.5、1.05、2.10$; $Y_{1\max}=1.7、1.9、2.4$,
$l/\delta=28$, $\alpha=30°$, $f=0.32$kHz

3(b): $\delta\times l\times b=2\times40\times20$,
$S=0.50、1.05、2.10$; $Y_{1\max}=1.0、1.15、1.05$,
$l/\delta=20$, $\alpha=30°$, $f=0.58$kHz

3(c): $\delta\times l\times b=4\times28\times20$,
$S=0.50、1.05、2.10$; $Y_{1\max}=0.1、0.03、0.03$,
$l/\delta=7$, $\alpha=30°$, $f=2.0$kHz

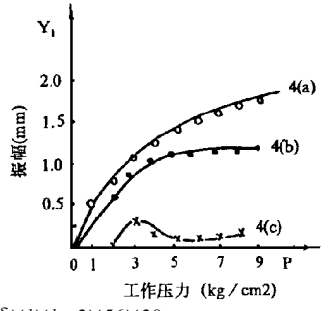
图 3　声强最大值与喷口厚度的关系

Чернжуров[2]在对 4 支点式簧片哨的研究中得出"簧片哨喷口厚度愈小,所能获得的声强愈大并从液片是能源另方面对振动又有制动效应,而推测出会有一很小(< 0.5mm)的最佳喷口厚度值"。这只对弯曲刚度较大的簧片适用,此外则不正确。

3　位移或振幅特性[注3]*

经系统测定和研究,我们发现振幅特性即 Y_1 与 p、h、S 的关系有与声强特性类似的特点和规律。

Y_1 与 p、h、S 的关系曲线如图 4、5、6 所示。



4(a): $\delta\times l\times b=2\times56\times20$,
$S=0.50$, $h=0.50$, $l/\delta=28$, $\alpha=30°$, $f=0.32$kHz

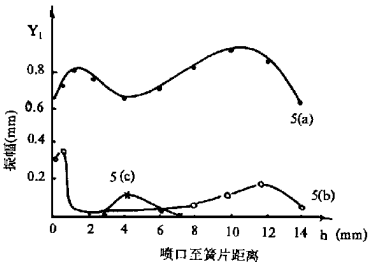
4(b): $\delta\times l\times b=2\times40\times20$,
$S=1.50$, $h=10$, $l/\delta=20$, $\alpha=30°$, $f=0.58$kHz

4(c): $\delta\times l\times b=2\times28\times20$,
$S=2.10$, $h=14$, $l/\delta=17$, $\alpha=30°$, $f=1.20$kHz

图 4　簧片刃口端点振幅与工作压力的关系

---

* 注 3:本文中的振幅是用带长探针的百分表在簧片刃口端点测定的,最小刻度为 0.01mm



5(*a*): $\delta\times l\times b=2\times40\times20$,

$S=0.50$, $p=7\text{kg/cm}^2$, $\alpha=30°$, $l/\delta=20$, $f=0.58\text{kHz}$

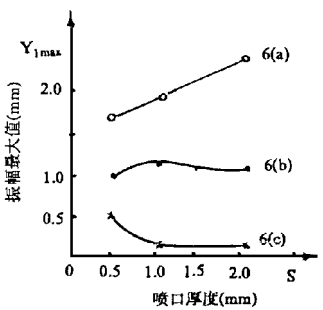
5(*b*): $\delta\times l\times b=6\times70\times20$,

$S=0.50$, $p=7\text{kg/cm}^2$, $\alpha=30°$, $l/\delta=11.7$, $f=0.56\text{kHz}$

5(*c*): $\delta\times l\times b=4\times28\times20$,

$S=0.50$, $p=7\text{kg/cm}^2$, $\alpha=30°$, $l/\delta=7$, $f=2.0\text{kHz}$

图 5　簧片刃口端点振幅与喷口至簧片距离的关系



6(*a*): $\delta\times l\times b=2\times56\times20$,

$l/\delta=28$ $\alpha=30°$, $f=0.32\text{kHz}$

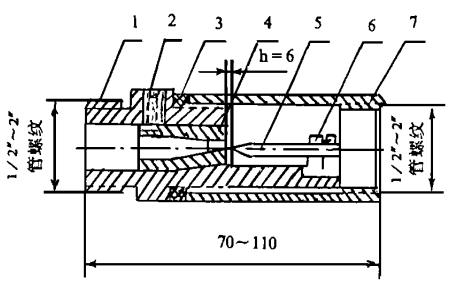
6(*a*): $\delta\times l\times b=2\times40\times20$,

$l/\delta=20$ $\alpha=30°$, $f=0.58\text{kHz}$

6(*a*): $\delta\times l\times b=4\times28\times20$,

$l/\delta=7$ $\alpha=30°$, $f=2.0\text{kHz}$

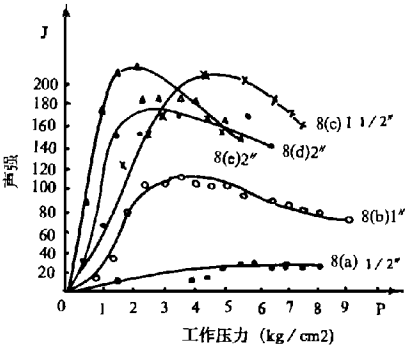
图 6　簧片刃口端点振幅最大值与喷口厚度的关系



1 主支体　2 定位螺钉　3 密封垫圈

4 喷嘴　5 簧片　6 固定螺钉　7 外罩管

图 7　X 型型悬臂式簧片哨结构图



8(*a*): $x=1/2''$, $\delta\times l\times b=4\times14\times18$,

$l/\delta=14$, $h=8$, $S=1.0$

8(*b*): $x=1''$ $\delta\times l\times b=2\times34\times20$,

$l/\delta=17$, $h=6$, $S=1.0$,

8(*c*): $x=3/2''$, $\delta\times l\times b=2\times34\times32$,

$l/\delta=17$, $h=6$, $S=1.0$

8(*d*): $x=2''$, $\delta\times l\times b=2\times34\times44$,

$l/\delta=17$, $h=6$, $S=1.0$

8(*e*): $x=2''$, $\delta\times l\times b=2\times34\times44$,

$l/\delta=17$, $h=6$, $S=2.0$

图 8　*X* 型悬臂式簧片哨声强特性

4　*X* 型悬臂式簧片哨系列产品的设计及其技术性能

本设计的主要特点是采用适当低弯曲刚度的簧片(l/δ 较大)来满足高声强、空化作用强和工业上所提各种要求(如宽喷口、宽工作压力等)。本产品1975年推广用于燃油掺水乳至今,乳化质量良好。

本产品结构如图 7,结构和工作参数如表 1,部分声强特性如图 8 所示。

5　簧片哨位移或振幅反馈发声机理

声强、振幅特性与簧片尺寸有关的特点和规律,例如:当簧片 l/δ 较大时,p 在很宽的范围内变化(尤其当 h 很小时),簧片仍能稳定地产生较强的振动。而簧片 l/δ 较小时则没有这种现象,这是已有簧片哨发声机理,包括旋涡理论[3],动力理论[4],表面波理论[5]所难以解释的。因为当 h 很小时,按上述理论计算出的液片振动频率已远离簧片固有频率(其中也有考虑到旋涡反馈或声反馈作用的),如果没有其他原因是不能激起簧片较强烈振动的。Fridman[7]也曾提到已有理论对高强度簧片哨发声机理不符这一点。为此,我们提出有位移反馈发声机理新看法,其主要观点是:

表 1　X 型悬臂式簧片哨结构和工作参数

参数 / 型号	喷口尺寸 $S\times b$ (mm)	簧片尺寸 $\delta\times l\times b$ (mm)	频率 (kHz)	喷口至簧片距离 h (mm)	工作压力 (kg/cm²)	最大流量 m³/h	连接管螺纹出口入口	总体尺寸 直径×长度 (mm)	重量 (kg)
X-1/2″	0.5×6 1.0×6	※1×14×18 (1×17.5×18)	~2.4 (~1.6)	4.0 0.5	4~8	~0.4	$\frac{1}{2}$″ $\frac{1}{2}$″	$\phi\frac{1}{2}$″×70	~0.25
X-1″	1.0×12 2.0×12	※2×34×20 (2×39.5×20)	~0.8 (~0.6)	6.0 0.5	4~8	~1.0	1″ 1″	ϕ1″×102	~0.5
X-1$\frac{1}{2}$″	1.0×26 2.0×26	※2×34×32 (2×39.5×32)	~0.8 (~0.6)	6.0 0.5	4~8	~0.4	1$\frac{1}{2}$″ 1$\frac{1}{2}$″	$\phi\frac{1}{2}$″×102	~0.75
X-2″	1.0×36 2.0×36	※2×34×4 (2×39.5×44)	~0.8 (~0.6)	6.0 0.5	4~8	~8.0	2″ 2″	ϕ2″×102	~1.0

※　为喷口不易堵塞情况下采用

(1) 簧片哨实际是一自激振动系统,即由液片摆动激起的簧片振动会反过来影响或控制液片的摆动和激发力(称为反馈或反馈控制作用)。

(2) 此反馈控制作用是由 Y_1 产生的。因为振动簧片 Y_1 的产生或增大,都相当于增大液片摆动幅度和激发力,并不同程度地控制液片按簧片振动频率摆动。(对 l/δ 较大簧片哨,在 S 不太大时,最后直至 $Y_1/S/2$,此时液片则全部交替地流过簧片上下表面,以上 h 很小时的情况,我们观察过所拍摄的簧片哨振动电影照片已证实这一点,对 l/δ 较小的簧片哨,尚有待实验观察证实,不过从所测的 Y_1 情况也可基本判断 S 是全部还是部分交替地流过簧片上下表面。)

(3) 振动簧片 Y_1 愈大,此反馈控制作用愈强。当 $Y_1>S/2$ 且簧片刚度足够大,即使各工作参数有较大变化,仍有可能控制液片按簧片振动频率摆动并产生较高声强。另外,从获得能量(激发力增长)和消耗能量(阻尼增加)来看,当 $Y_1>S/2$ 时,随着工作参数的变化(例如工作压力增加),激发力和阻尼都相应增长,开始可能激发力增长更快,所以声强增大,随后较长一段区间激发力和阻尼增长相当,因此出现声强变化不大的类似饱和效应现象的较宽而平坦的工作区,如图 4(a),4(b),4(c)曲线〕。

(4) 当簧片 l/δ 较大或弯曲刚度较小,在某一液片的基频、谐频或亚谐频成份作用下,初始和在不断增长的反馈作用的最后阶段,簧片所能产生的 Y_1 较大。(由于系统存在有阻尼损耗,Y_1 不会无限增长)。此时簧片的反馈控制作用和激发力也较大,因而工作参数有较大变化,仍能产生和维持较强烈的振动。而当 l/δ 较小时则相反,由于所能产生的 Y_1 较小,此时,只有 S 较小,摆动幅度较大的液片摆动基频,才有可能激起簧片较强烈的振动。因而,若工作参数稍有变化,簧片振动将明显减弱。

参考文献

1　罗曾义　何启光　史国宝"簧片哨基本特性的测定"《1964 年全国超声应用学术会议论文摘要》(1964) 11 P69～72

2　черноокуровск"流体动力式超声发声器工作情况的研究"《超声译丛》(1960) 1 P188－199

3　Curle. N. Proc Roy Soc(London) A216 412(1953)

4　Nyborg. W. L. J. Acoust Soc Am 26(1954)P174 史国宝 АН СССР Акустиа Москва(1962)I N58 1.