

过,清声母的浊化和高元音的清音化的问题.在此次初步合成中,这两方面都未涉及.尽管在实际读音中,浊化或清音化并不是每人每次必然出现的,但在今后完善轻声音节的规则合成的过程中,这些问题也必需解决.

参 考 文 献

- [1] 林海,北京话语音实验录,北京大学出版社,1985,1—26.
 [2] 赵元任,汉语口语语法(吕叔湘译),商务印书馆,1979,26—27.
 [3] 董少文,语音常识,文化教育出版社,1958,74—76.
 [4] 林茂灿,颜景助,方言,80(1980),166—178.
 [5] 曹剑芬,应用声学,5-4(1986),1—6.
 [6] 徐世荣,普通话语音知识,文字改革出版社,1980,120—121.
 [7] 杨顺安,中国语文,3(1986),173—181.
 [8] Yang, S. & Xu, Y., Proc. 1987 Intern. Conf. on Chinese Inf., 2(1987), 405—414.
 [9] Yang, S. & Xu, Y., Speech Communication, 7-3 (1988), 317—325.
 [10] 杨顺安,语言研究,2(1986),1—8.
 [11] Yang, S., The 3rd WESTPA Tech. Papers, 2 (1988), 743—745.

液体中空化声场的统计测量及其在 评估空化设备性能中的应用

郑进鸿 邱永德

(721厂)

1989年8月15日收到

利用液体中声空化现象制成的各类设备,有一个评估其性能优劣的问题.本文提出了基波谱级、谐波总声级、相对谐波总声级、内爆波谱级、总线谱声级和非线性转移效率几个参数的定义,并以这些参数来评估空化设备的性能.对统计测量上述参数的方法作了说明.

一、引 言

液体中声空化是一个十分复杂的物理现象.研究声空化现象,历来就有两个完全相反的目的,一是优化利用它,二是削弱避免它.超声清洗机、超声细胞粉碎机等一类的空化设备就是充分利用空化能量来达到清洗、粉碎目的的技术装置,其它在食品、化工、医学、药物以及生物等领域内,也已出现或正在发展的多种利用液体空化现象制成的专用空化设备.

声空化设备的大量出现,给超声科技工作者提供了一个如何优化设计的问题.声空化设备的优化设计,除设计方法外,空化声场测量和对设备性能的评估是两个需要解决的重要课题.这两个问题迄今尚没有完善、统一的见解

与定论.^[1-2]

本文以工程应用角度出发,根据液体中空化形成的物理过程,提出并定义了基波谱级、谐波总声级、相对谐波总声级、内爆波谱级、总线谱声级和非线性转移效率几个表征空化声场特征参数,并以这些参数来评估空化设备性能的优劣.考虑到空化声场的强烈的随机时空变异性,我们采用了实时谱分析和统计平均的方法来测量计算上述各个参数.

二、空化声场测量依据及方法

水声学和超声学中,在线性范围的声压有明确的定义,并且对声压或声强有标准的测量方法.但是在液态介质中产生空化时应用,其定义和测量方法就产生了严重的困难.

在临界空化阶段,非线性效应较弱时,为了把在线性范围内的定义和测量方法能延拓到非线性范围,规定^[3]所有定义和测量对基波而言,而不管其它谐波或分谐波成份,在测量方法上,简单地沿用滤波器过滤。但是这种办法只能在非线性现象较弱的情况近似地适用。

在声空化很强烈,非线性程度严重时,情况复杂得多,必须定义新的特征参数并寻找新的测量方法。

超声空化是声场中空泡的非线性振动以及内爆产生的二次辐射——冲击波这两者的组合过程。对能量转换系统来说,换能器吸收的电功率,转换成介质中的声功率,在声空化时呈非线性关系,如图1所示。实践中常常这样讨论问题,图1中曲线1偏离直线0的声强(或声功率)要比曲线2低,因此说曲线1的空化阈低,在同一电功率 W_0 时,曲线1的空化程度要强烈,但声强(级),曲线1却低于曲线2。对于超声清洗声场来说,自然希望获得曲线1的低空化阈条件。

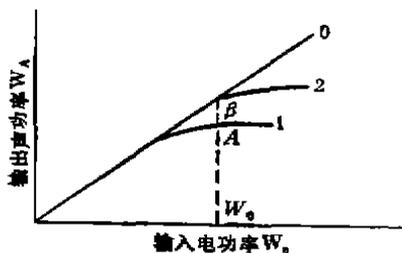


图1 经典空化饱和曲线图

图1还表示,产生声空化时,出现明显的饱和现象。

是否出现声空化的定性判别,就是利用这曲线对直线0作线性延伸的偏离某一值(例如1dB)来确定^[3]。但这是在微弱空化时适用。

上述分析并没有定量反映本质上的能量关系。事实上,声空化时声压波形的畸变,是反映了声能量转移,即按频率重新分配。由于空泡的非线性振动会产生整数的谐波线谱和奇数倍的分谐波线谱,如工作频率为 f_0 (基波频率),则空化时会有 $2f_0, 3f_0, 4f_0, \dots$ 谐波和 $\frac{f_0}{2}$,

应用声学

$\frac{3f_0}{2}, \frac{5f_0}{2}, \frac{7f_0}{2}, \dots$ 分谐波线谱(如空化严重时,还可能会产生 $\frac{f_0}{4}$ 的奇数倍线谱)。在空泡破灭时产生的冲击波会辐射连续噪声。因此,实际的空化声场中,直接测量到的是这种连续噪声谱叠加上许多线谱。这些线谱的结构,描绘出声能量按频率的精细分布,因此,频谱分析所得的谱图,就反映了精确和完整的空化特征。

但是,由于空化空泡的产生,发展到溃灭的全过程以及群空泡的运动,都具有很大的随机性,而且影响的因素非常多,它受压力、温度、频率、介质状况、作用时间、声辐射面振幅分布等等因素的影响,因此,测量的离散性很大。目前,空化阈的测量也没有标准。

近年来,由于计算机技术和FFT算法的发展,能够对声空化进行实时谱分析,并能进行统计处理。本文中我们就应用实时谱分析技术进行测量和分析。本文的目的,不在于对空化进行研究,而在于推荐一种测量方法,并根据测量参数和一些导出参数,来反映空化程度的特征。

十多年前,曾有人利用数字频谱分析技术,进行声空化噪声谱的研究。我们则直接用高分辨率的宽带实时谱分析仪进行测量。并进行统计处理。测量设备框图见图2。其中测量水听器在测量频率范围内有较平坦的响应和较大的动态范围。

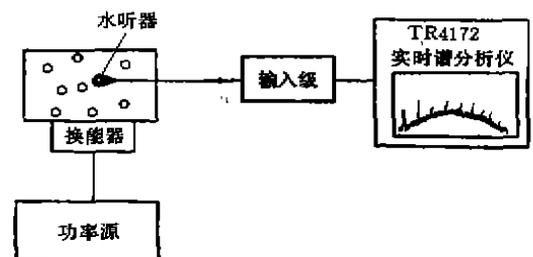


图2 测量框图

TR4172的测量条件: RBW: 300Hz, VBW: 100Hz, SWP: 30S, span: 200kHz, Center: 100kHz, ATT: 10dB,

在测量实例中,当工作频率 $f_0 = 20$ kHz时,典型的声空化的谱图见图3。

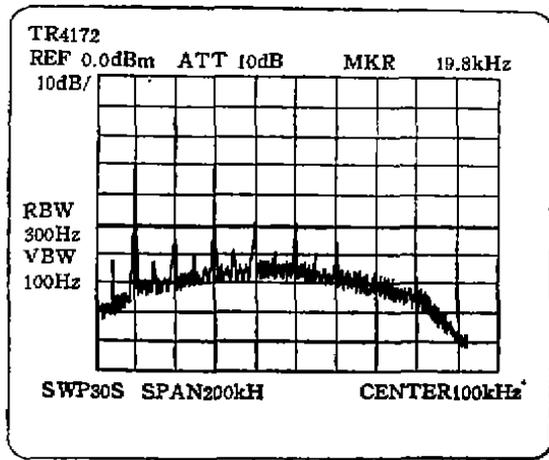


图3 典型声空化谱图

用绘图仪或照相录取的这张谱图，就是一张精细、完整的空化场声能分布图，已按时间平均（ $t = 30s$ ）。频谱精细结构表示了基波、谐波、分谐波和内爆产生的连续噪声谱的分布。许多研究者建议直接从几个线谱级来反映空化开始（如 $\frac{5}{2} f_0$ 、 $\frac{9}{2} f_0$ 分谐波线谱）。

下面我们试图以频率统计的能量关系来反映空化程度和某些特征。我们除了以时间统计取得谱图外，再以频谱统计把基波能量和非线性能量区别开来，导出一些新的特征参数。

三、空化声场的特征参数

1. 基波谱级 L_1 (dB): 它表示基频能量，它是扣除了转化为非线性能量后的余留部分，因此，在空化时，表现出有明显的饱和现象。在超声清洗中，并不起直接作用，而是用它来表示空化饱和值较宜。

2. 谐波总声级 L_2 (dB); 分谐波总声级 L_4 (dB); 非线性总声级 L_N (dB). 它们的计算公式为:

$$L_2 = 10 \lg \left(\sum_i 10^{(L_{(i)}/10)} \right)$$

$L_{(i)}$ ——谐波谱级 $i = 2, 3, 4, \dots$

$$L_4 = 10 \lg \left(\sum_i 10^{(L_{(i)}/10)} \right)$$

$L_{(i)}$ ——分谐波谱级

$$i = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2} \dots$$

$$L_N = 10 \lg (10^{L_2/10} + 10^{L_4/10})$$

它们是表示空化泡的非线性振动的能量（分谐波 L_4 在空化较强烈时出现），这部份能量可以反映出空化的强弱。

3. 相对谐波总声级 ΔL_2 (dB); [相对分谐波总声级 ΔL_4 (dB); 相对非线性总声级 ΔL_N (dB):

如果2中的各声级，均以基波谱级为基准值，就得到下列关系:

$$\Delta L_2 = L_2 - L_1$$

$$\Delta L_4 = L_4 - L_1$$

$$\Delta L_N = L_N - L_1$$

为了说明这些相对声级的概念，我们先看图1，我们已知曲线1的空化阈低于曲线2，两种情况对于同一电功率的点A和点B，A点的声强(声级)低于B点，但是A点偏离直线0的差值却远大于B点，因此，A点的空化程度要高于B点，尽管A点声级绝对值较低。这就说明绝对声级不能明确说明空化程度高低，而偏离直线的差值却能说明空化的强弱。这里是利用原直线作为基准参考线。

本文新定义的“相对”谐波级等，是以基波声级为基准值。它们的相对级差表示着空化的程度。类似上述偏离线性差值一样，这些差值越大，空化越烈。

对于超声空化清洗来说，这些“相对”级越大，说明非线性能量的比例成份越大，即清洗的有用成份越高。

4. 内爆谱级 $L(f)$, 它是频率的函数，典型分布图见图4。

这连续谱是由空泡在生长和崩溃中产生的辐射噪声。因此，它的声级高低反映空化的强弱。尤其是崩溃时产生冲击波的能量对清洗是有重要贡献的。噪声级高低自然也表示清洗能量的强弱。

空泡的生长和崩溃的过程中，接近固体边界的气泡是非对称崩溃。气泡畸变成长球形空

泡,离边界更远的表面先崩溃,形成一股射流,穿过离边界较近的表面冲击固体边界。现在确认,这种机理可以用来解释稀空化清洗和剥蚀。因此,空化气泡的辐射声能量是与清洗效果相关性最强的特征量。

根据瑞利经典理论和 Noltingk-Neppiras 方程证明,气泡生长阶段辐射声能仅占气泡最大势能的 1%,而空化气泡的大部份声能都在崩溃阶段辐射,特别是低气体含量的崩溃气泡辐射的压力脉冲,其振幅常常足以在介质中产生非线性效应,并形成冲击波。由此我们感到幸运,对清洗效果直接贡献的射流和冲击波,正是辐射声能最大的崩溃过程。因此,我们用测量气泡崩溃时的噪声强度来反映清洗效果是最直接了当的。

空化气泡崩溃的脉冲性质和出现次序是随机的,因此,它的频谱特性也是统计的,频带很宽。中间有一个峰值 f_m 。

$$f_m \approx \frac{1}{2a_0} \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

式中: a_0 ——最大气泡半径 (cm)。

P ——介质静压力; (dyne/cm²)。

ρ ——介质密度; (g/cm³)。

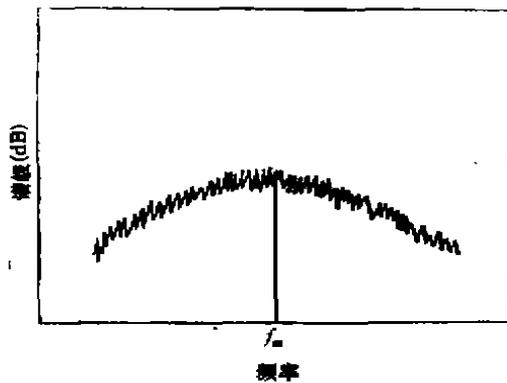


图 4 内爆谱级图

5. 总线谱声级 L_s (dB)

$$L_s = 10 \lg (10^{L_1/10} + 10^{L_N/10})$$

它是大致反映总的声能量,与基波声级合起来表征空化阈值是合适的。

应用声学

6. 非线性转移系数 G

$$G = \frac{\sum_{i \neq 1} P_i^2}{\sum_i P_i^2}$$

式中: $\sum_i P_i^2$ ——基波、谐波、分谐波总声强

$\sum_{i \neq 1} P_i^2$ ——谐波、分谐波总声强

它表示总能量中,转化成非线性振动部份能量的百分数。可以用来表示空化效率。

四、实测及说明

利用上述测量方法,对两台超声清洗机在水槽中,进行了空化声场测量,并对其空化性能作了评估。上述参数的处理结果分别见图 5—11,横坐标是输入电功率 (W_e)。

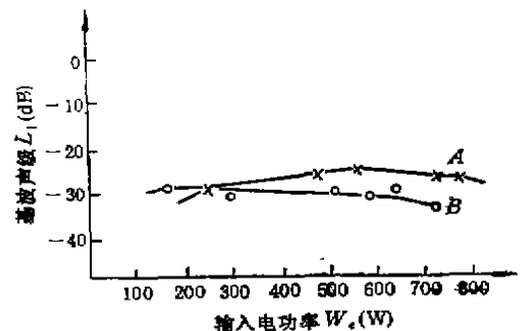


图 5 基波谱级图

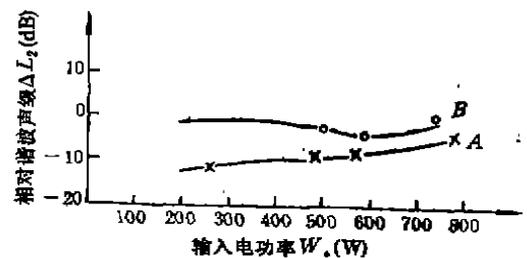


图 6 相对谐波声级图

测量条件已在图 2 中说明。选择合适的测量条件很重要,它决定了测量频率范围,统计平均时间,谱线宽和声级分辨率等等。

各图中 A 和 B 两条曲线是二种频率相同,而换能器不同的超声清洗槽的测量结果。图中

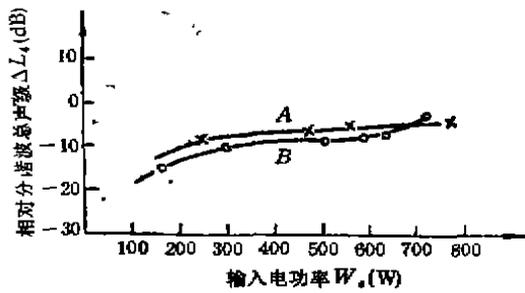


图 7 相对分谐波总声级图

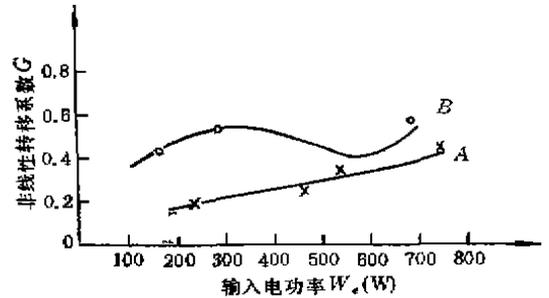


图 11 非线性转移系数 G

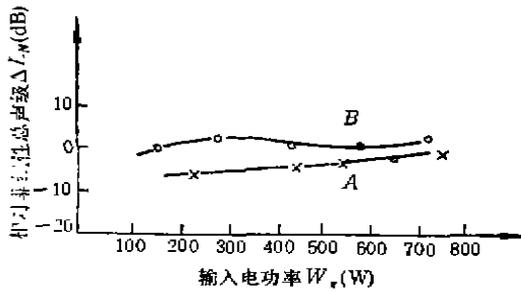


图 8 相对非线性总声级 ΔL_N 图

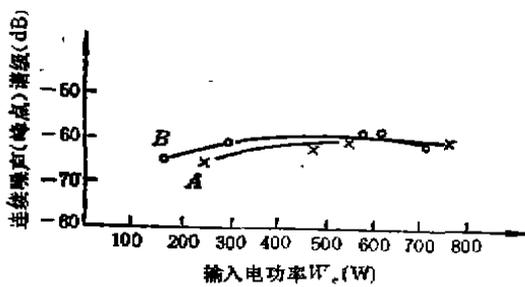


图 9 连续噪声(峰点)谱级图

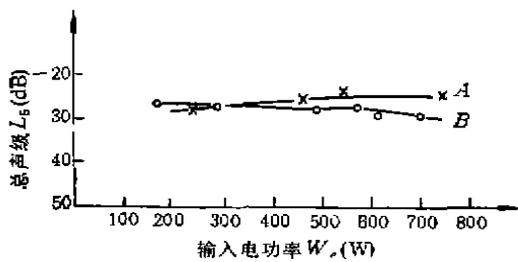


图 10 总声级

用分贝 (dB) 表示的级, 是以同一基准值表示的, 因此可以比较。

图 5、图 9、图 10 中的声级 (dB)

$$0\text{dB} = 26.5 \times 10^4 \text{Pa}$$

从测量得到的曲线分析如下:

1. 在大于 300W 电功率时, 基波谱级 L_1 , $A > B$, B 较先趋于饱和, 见图 5。同样总线谱声级 L_5 , $A \geq B$, B 较先趋于饱和, 见图 10。这两图说明两曲线空化阈相近, B 空化阈稍低些。

2. 相对谐波声级 ΔL_2 , $B > A$, 见图 6。相对分谐波声级 ΔL_4 , $B \approx A$, 见图 7。相对非线性总声级 ΔL_N , $B > A$, 见图 8。这二组曲线说明 B 的空化较强。

3、非线性转移系数 G, 见图 11, $B > A$, 说明 B 的非线性能量占总能量比高, 效率较高。

4. 内爆声谱级峰值(最高点的谱级), 见图 9, $B \geq A$ 。说明空泡崩溃时, 冲击波能量 B 略高些, 连续谱的峰值点 f_m 约在 85—90kHz 附近。这说明空化气泡半径分布在 0.06 mm 附近。

五、结语与讨论

声空化, 概括起来, 是空泡的生长和崩溃的两个物理过程所组成。扩张过程中, 空穴的大幅度振荡固然产生(如清洗、剥蚀等)效果。而空泡在崩溃时的内爆作用, 则是起着主要作用。在上述谱级分析中可以看出, 各个参量的相关性是不相同的。也许大致地可以这么说, 内爆谱级越高, 相对非线性部份谱级各参量也有限着增大的趋势。要优化增大空化效果, 设法使内爆谱级提高, 是合乎逻辑的。这就是说用连

续的噪声谱的高低来表征清洗效果的强弱是最可信的。与此相关的非线性转移系数 G 和相对非线性总声级 ΔL_N 也同样可以作为表征的参量,但由于测量困难而不便采用。而谐波,分谐波的声级,一方面是计算复杂,另一方面,由于可能电声非线性的干扰,而降低敏感性。

本文所提到的测量实例是在清洗槽中进行的,目的仅在于相对比较两台清洗机的空化清洗性能。如要对设备的空化声场作定量测量,则需统一规定测量环境条件以及对接收换能器的性能、位置等的测试设备性能加以规范化。

最后,须要说明一个有意义的现象,从连续噪声级图(图9)看出,在电功率 W_e 大于一定值(如 500W)以后,出现噪声级下降的趋势。这

是一种超空化低噪声现象。由于空泡密度提高,相互影响增大,空泡的吸收,散射屏蔽作用加强,此时的噪声低于一般空化状态的噪声,这一现象出现时,不仅影响到换能器的能量辐射和传播,也会使溃灭强度减弱。因而对清洗效果也不利。对此也可以说噪声级高低作为清洗效果的评估是协调的。

参 考 文 献

- [1] R. E. Apfel, *J. Acoust. Soc. Am.*, **69-6** (1981), 1624—1533.
- [2] E. A. Neppires, *Ultrasonics*, **22-1**(1984), 25—27.
- [3] GB7967-87,“(声学)水声发射器大功率特性和测量”国家标准.
- [4] 何祚镛,赵玉芳编,“声学理论基础”,国防工业出版社,1981,436—452.

生物组织表面声阻抗的超声测量

张若昕 马玉英 尚志远

(陕西师范大学应用声学研究所)

1989年12月29日收到

本文提出一种可对生物组织表面声阻抗进行活体、离体测量的自动测量系统,其主要组成是:声脉冲发射、接收及移位控制单元,峰值检测器,换能器,A/D变换器,Z80单板计算机,恒温循环水装置。文中阐述了系统构成原理,给出了应用该系统进行测量的结果。

一、引 言

生物组织表面超声特性的研究对于判断整体组织状况具有重要的意义。在超声诊断中,被测器官的表面特性,可通过超声回波信号或透射信号来确定。

描述介质反射特性的声参量主要是声阻抗率 Z ,即密度与声速的乘积,常简称之为声阻抗。声阻抗表征传声介质的结构和状态,其值的不同将影响声波的传播。 Z 不变时,声波将无反射地向前传播;若 Z 分布不均匀,声波就会发生反射。就生物组织而言,由于其内部胶原

蛋白、脂肪等各有不同的 Z 值,从而构成了许多微小的声学界面,声波就发生散射,散射信号代表组织的细微结构信息。

由此可见,生物组织声阻抗 Z 的不同反映着组织特性的不同,所以对声阻抗的定量研究,可以判断生物组织的特性。

本文通过对声阻抗测量原理的分析,提出了一种用于测定生物组织表面声阻抗的自动测量系统。应用该系统可对一些化学药品及家兔肝脏的活体、离体测量,表明该系统具有操作方便、自动化程度高、测量准确、工作可靠等优点^[1]。