超声换能器研究中的几个问题

俞宏沛

（中船总公司七院七一五所）

本文从超声换能器设计和使用中提出的几个重要问题：如：超声换能器的最佳结构形状、压电元件的最佳位置、电声效率与声负载的关系。如何评价超声振子的优劣，以及在大功率下的测量问题等，参阅了多篇文献资料和实践中的点滴体会写出此文，以便进一步共同深入研究

一、概　述：

功率超声在国外五十年代就进行了广泛而深入的研究，近十年来发展速度很快，并且越来越广泛地用到生产实践上来。本文对超声换能器中一些令人关注和感兴趣的问题。如超声换能器中压电元件安放的位置及形状结构，在多少声负载下工作电声效率最大，超声振子的优劣究竟如何评价，以及在实用条件下超声振子的性能测量等等，虽然参阅了一些文献资料，从理论上给出了一些结论，有些也得到了实验结果，但我们自已的实验工作太少，有些结论还要进一步验证，更主要的是如何把这些理论及结果用到实践上来，这正是本文通过问题的提出求得进一步解决的目的。

二、超声换能器电声效率与声负载的关系[1-3]

由压电换能器电声转换的基本公式出发：

$$\dot{I} = \dot{y}_0\dot{v} + A\dot{u}$$
$$\dot{F} = -A\dot{v} + (r_L + \dot{z}_1)\dot{u} \qquad (1)$$

其中：

$\dot{v}$，$\dot{I}$……电端电压，电流；

$\dot{z}_1 = r_1 + jx_1$……机械内阻抗

$\dot{y}_0 = G_0 + jB_0$……阻电导纳；

r_L……声负载阻

$\dot{u}$　$\dot{F}$……机械端振速，外力；

A……谐振力因子

对于$\dot{F}=0$情况由(1)式得自由电导纳：

$$y_f = \frac{\dot{I}}{\dot{v}} = y_0 + A^2/(r_L + z_1)$$
$$G_f = G_0 + \frac{(r_L + r_1)A^2}{(r_L + r_1) + x_1^2} \qquad (2)$$

则电声效率：

$$\eta_{ea} = \frac{G_f \cdot |\dot{v}|^2}{r_L |\dot{u}|^2} = \frac{r_L A^2}{G_f(r_L + \dot{z}_1)^2}$$
$$= \frac{r_L A^2}{G_0\{(r_L + r_1)^2 + x_2^1\} + (r_L + r_1)A^2}$$

$$\because x_1 = \omega m - s/m = x_S\left(\frac{\omega}{\omega_S} - \frac{\omega_S}{\omega}\right) \qquad (3)$$

$$x_S = \sqrt{ms}\,; \quad \omega_S = \sqrt{s/m}\,;$$
$$G_0 = R_0/\left|R_0^2 + \left(\frac{1}{\omega C_0}\right)^2\right|$$

则(3)式改写成：

$$\eta_{ea} = \frac{r_L A^2\{R_0^2\omega^2 + (1/C_0)^2\}}{R_0[(\{r_L + r_1)^2\omega^2 + x_S^2[(\frac{\omega^4}{\omega^2_S}) + \omega_2^S - 2\omega^2]\} + A^2(r_L + r_1)\cdot[R_0^2\cdot\omega^2 + (1/C_0)^2]} \qquad (4)$$

求在什么频率下效率最大，即$\left.\frac{d\eta_{ea}}{d\omega}\right|_{\omega_0} = 0$

当电损耗tgδ<1且机械Q_m>10情况下

$$\omega_0 \approx \omega_S \qquad (5)$$

说明电损耗小和高机械Q_m时，电声效率最大频率ω_0近似等于机械谐振频率ω_S。

在谐振频率上(4)简化为：

$$\eta_{eao} = \frac{r_L A^2}{G^0(r_L + r_1)^2 + A^2(r_L + r_1)} \qquad (6)$$

其中：$G_0 = R_0/\{R_2{}^0 + (1/\omega_S C_0)\}^2$

令　负载系数：$P = r_L/r_1$　　(7—1)

功率传输因子：$N = A^2/G_0 r_1 = \frac{1}{a}$　　(7—2)

则(6)式为：

$$\eta_{ea} = \frac{N}{N+P+1} \cdot \frac{P}{P+1} \qquad (8—1)$$

其中：$\eta_{ea} = \frac{N}{N+P+1}$　　(8—2)

$$\eta_{ma} = \frac{P}{P+1} \qquad (8—3)$$

引入一个最佳声负载r_L (opt)即在此声负载下：

$\eta_{eao} \to max$　那么：$\left.\frac{d\eta_{eao}}{dr}\right|_{r_L(opt)} = 0$

得：$r_{L(opt)} = r_1 \cdot \sqrt{1 + 1/a} = r_1 \cdot \sqrt{1+N}$　(9)

将(9)代入(8)则：

$$\eta_{eao} \quad max = 1/\{1 + 2[a + \sqrt{a(a+1)}]\}$$
$$= [(N+1)^{1/2} - 1]^2/N \qquad (10)$$

(7)—(9) 式的推导和资料[2]中用等效线路推导的结果完全一样，其中，功率传输因子N还可进一步推得[8]P254[2]。

电声效率：$\eta_{ea} = \eta_{ma} \cdot \eta_{em} = \frac{Q_m - Q_L}{Q_m} \cdot \frac{k^2 \cdot Q_e \cdot Q_L}{1 + k^2 Q_e \cdot Q_L}$

其中：电$Q_e = \omega_r \cdot C_0 \cdot R_0 = 1/tg\delta(E)$

无负载机械Q_m值：$Q_m = 1/\omega_r \cdot C_1 R_1$；

$k^2 = C_1/C_0$

有负载机械Q_m值：$Q_L = 1/\omega_r \cdot C_1(R_1 + R_L)$；

$$k_e{}^2 = \frac{C_1}{C_1 + C_0}$$

$$N = k^2 \cdot Q_e \cdot Q_m = R_0/R_1 \qquad (11)$$

看出N和电、机损耗成反比而同有效机电耦合系数成正比。

由(8)可计算在不同功率传输因子N下，电声效率η_{ea}和负载系数P的关系如图1。

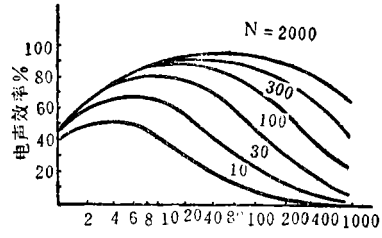


图1 负载系数P电声效率和负载系数的关系

可见N越大，电声效率η_{ea}越高，且受负载的影响亦越小。图中的虚线表明了在不同N值下的最佳负载系数P(opt)。而由(10)式可画出在最佳负载系数时P(opt)，换能器电声效率和功率传输因子N的关系，如图2。

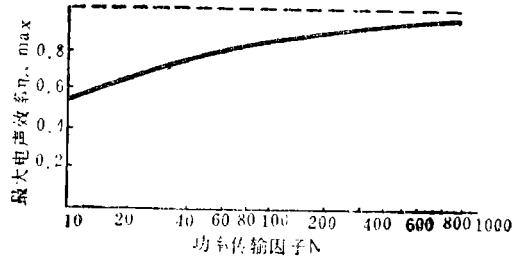


图2 最大电声效率和功率传输因子的关系

可见，在最佳负载条件下对不同N值的换能器所具有的最大潜在效率。以上的讨论表明，超声换能器希望将N值做得大一些，N是换能器本身的属性，它取决于换能器的材料、结构及工艺，但在确定的N值下(需要找到一种简便的、实际使用条件下的测量法——下面叙述)需要求得最佳负载，(如何测定？)这样，才能获取最大的电声效率，即发挥了该换能器最大的潜力，故如何在实际工作条件下测定超声换能器的N值，又如何给出最佳负载，则是我们应采进一步研讨的

方向。

三、用什么参数来评判超声振子[3]

如何来评价超声振子的优劣，或用什么参数来合理地反映超声振子的好坏，这是设计和使用者都关心的问题，在实际使用中能承受大的功率，具有高的电声转换效率并具有稳定、可靠、耐用等特点，这当然是优良超声振子的标准，但承受大功率和转换效率等是与使用中的电匹配和声负载有极大关系，除实际工作状态下测量的困难，往往由于不合理的使用而造成误判。所以对于电致伸缩材料的评价在文献[3]中由Banno·H等提出了一个综合参量品质因素A^2/r_1G_1（其中：A——力因子，r_1机械内损耗阻，G_1是阻尼电导）来衡量有源材料的好坏，并给出了测量方法，对于超声换能器是否亦可找一个综合参量，正如在前一节给出的功率传输系数N，它的表达形式与材料品质因素相同，只是N是换能器本身的属性。它不仅取决于使用的有源材料，还取决于无源材料、结构和制造工艺，都与使用条件无关，N值越高，电声效率越大，并受负载的变化影响越小，因而用它作评判超声振子重要的参数之一应该是合理的。

从(11)式可见，功率传输因子N等于静态电阻与机械损耗阻之比。它亦可由定义(7—2)式直接推导。

∵阻抗电导：$G_0=R_0/\{R_0^2+(\frac{1}{\omega C_0})^2\}$；

机械损耗阻$r_1=m\omega_r/Q_m$；

力因子　$A^2=y_{mo}\cdot r_1=2\pi fr\cdot my_{mo}/Q_m$；$y_{mo}$动态导纳代入7—2式：

$$N=A^2/G_0\cdot r_1=y_{mo}/G_0 \qquad (12)$$

(12)式和(11)式是一样的(注意：在谐振时$y_{mo}=1/R_1$)。由(12)式，只要测得空载时导纳圆图，由动态导纳圆直径$|y_{mo}|=\frac{1}{R_1}$及静态阻抗电导G_0之比即可求得N值，应该注意的是在小讯号下超声振子的电损耗很小($tg\delta=\frac{1}{\omega_r C_0R_0}$)则$R_0$非常大，因而计算N值是很大的，可是在高功率强场下$tg\delta$电损耗迅速增大，故要在实际使用的激励电压下(恒压源)测出超声振子的导纳圆图，再计算N值，才有实际的意义。

四、超声振子有源材料的位置和结构形状

由文献[10]得知，对于$\frac{\lambda}{2}$振动的振子，以水负载试验表明，有源激励元件放在中间位置(即节点处)可以获得较高的电声效率，离节点位置越远则电声效率逐渐递减，但根据shoh[11]的研究表明对于大功率使用要获

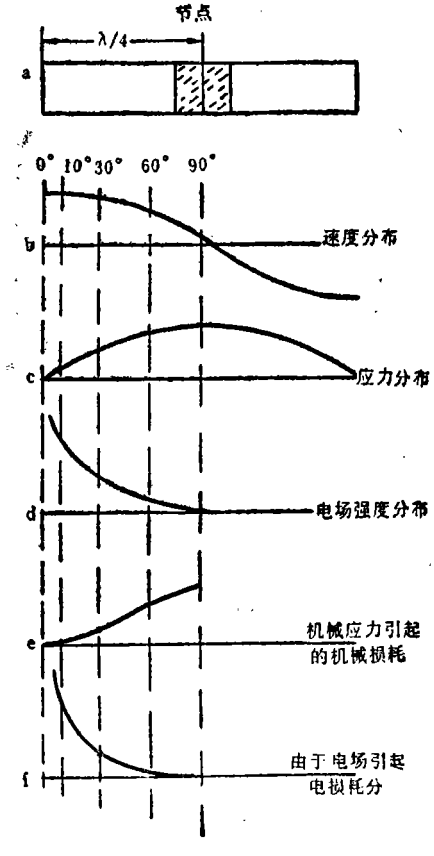


图3　$\frac{\lambda}{2}$振子速度、应力、电场强度分布及引起的机械、电损耗的分布

得振幅的超声振子，压电有源材料并非放在中间最好。由图3来看“a”为一个压电元件置于中间节点位置的$\frac{\lambda}{2}$振子（位置用0°～90°来划分），“b”为振速分布，在节点90°处振速为零。“c”为应力分布，振速和应力分布大体上不取决于压电元件的位置。“d”表明压电元件在不同位置上为保证同样的振幅所施加的电场强度（电应力），“e”是压电元件在不同位置上，由于机械应力而造成的机械功率损耗，显然是与应力分布相对应，“f”是压电元件在不同位置上，由于电场强度（电应力 Electrical stress）而造成功率损耗，它是与电应力的分布相对应的。Shoh 的观点是压电元件置于30°处为最好，此处由电应力引起的损耗与由机械应力引起的损耗相等，shoh还给出了换能器的内部损耗（机、电损耗之和）作为机械输出振幅的函数而画出的曲线，见图4.由曲线Ⅰ（压电元件是于90°节点位置上）看出在输出振幅为1单位时，内损耗最小，但随着振幅提高内损耗急剧增加，而曲线Ⅱ（压电元件置于30°位置时，输出振幅为2单位时内损耗最小，而随输出振幅的提高，内损耗增加相对于Ⅰ要缓慢，显然看出压电元件在30°位置处更适于在高振幅下工作，曲线Ⅲ表示了如图5所示结构形状（典型超声振子）的振子内损耗与振幅的关系，这种振子在小讯号即小振幅下，内损耗是非常大的，可是工作在高功率、高振幅下其性能十分优越，由此使我们明白了两点：第一就是为什么有的超声振子在高功率下工作往往比在小功率下的转换效率要高。第二使我们搞清楚日本NTK公司超声振子为什么中小功率使用的振子压电元件放在中间，而高功率使用的振子压电元件置于一边的道理。所以，要根据具体使用要求来决定超声振子的结构、形状和压电元件置放位置。

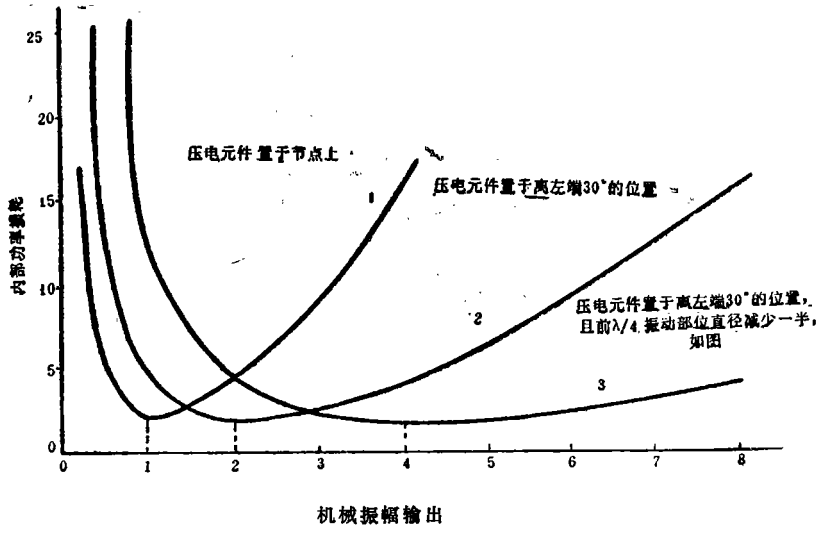


图4 有负载下换能器的内部功率损耗与机械振动振幅的关系

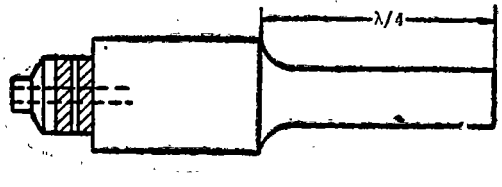


图5 压电元件是于离左端30°位置且前$\frac{\lambda}{4}$振动部件直径减小一半的$\frac{\lambda}{2}$振动典型超声振子

以上理论是否正确，我们应该进行试验验证，如果是正确的，应该进一步定量的弄清楚对一个具体振子而言，究竟工作在多大的振幅下使得内耗最小，当然还要同声负载

联系起来，负载的轻重会改变振幅的大小，显然这是一个比较复杂的问题。shoh根据图5结构作了一个具体实例，20KHz谐振振子，在电功率700W，振幅达0.0025inch时(0.0635mm)，其效率达95%。

五、关于功率限制和容量的问题

对于换能器功率容量的估算没见过统一的规范，它涉及到的因素很多，很难作出较准确的计算。因为这不仅与换能器的材料选用、结构形式、制作工艺有关，就是对功率容量本身含义的理解亦还有差异，所以，才出现不少的术语“极限功率”、“允许功率”、“过载功率”等等。国外资料常出现的是“Power Handling Copacity”即额定功率容量，而理论上的考虑往往指“极限”的概念。由R·S·Wollett[14]曾研究过换能器的几种功率极限，由集总参数容易推得“电极限”，其单位体积辐射声功率为：

$$P_a/v_{体} = \eta_{am} \cdot \omega_r \cdot Q_m \cdot \frac{K_e^2}{1-K_e^2} \cdot U_e^m \tag{13}$$

其中：单位体积静态抗最大电能贮存：

$$U_e^m = \frac{1}{2}V^2C_0 = \frac{1}{2}\varepsilon^S \cdot E_{max}^2$$

$\frac{K_e^2}{1-K_e^2} \cdot U_e^m$ 为动态抗最大贮存能。都取决于最大激励电场强度E_{max}，对一般P—4材料，$E_{max} \approx 2.5 \sim 4KV/cm$，则$(U_e)_{max} \approx 800 \sim 1000$焦耳/米^3。采用每单位体积每千周辐射声功率来度量，当$\varepsilon^S = 635$，$K_e \approx 0.45$；$\eta_{am} \approx 0.7$；$Q_m = 3$计算得$P_a/f_r \cdot V_{体} \approx 3$瓦/千周·厘米^3。这与文献[13]clevite公司报导的很接近。

而机械极限为：

$$P_a = \eta_{am} \cdot \omega_r \cdot (U_m)_{max}/Q_m \tag{14}$$

其中：$(U_m)_{max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{T^2_{max} \cdot V_{体}}{\rho C^2}$换能器能承受的最大机械能。P—4材料，允许最大应力约$T_{max} \approx 2.1 \times 10^7$牛顿/米≈250公斤/厘米^2。当$Q_m = 3$，$P_a/V_{体} \cdot f \approx 5W/KHz \cdot cm^3$

从(13)式看出，电极限的辐射功率和Q_m成正比，而机械极限(14)式却成反比，显然存在一个最佳Q_m值，使得电极限和机械极限给出的辐射功率相等。即：

$$Q_{m(opt)} = \sqrt{\frac{(U_m)_{max}}{\frac{K^2}{1-K^2} \cdot (U_e)_{max}}} \tag{15}$$

对一般材料而言$Q_m(opt)$在2—5的范围，这只有在水声换能器的设计中才得以实现。

在计算电极值中，首先是要确定最大允许场强，它取决于退极化，介电损耗、绝缘破坏及非线性畸变等因素，一般保守值取250V/mm，而机械极限首先要确定最大允许动态张应力，一般取为2.5kg/mm^2，正确使用予应力，此值约可提高一倍，但它受材料耐压强度、老化特性、压电元件的刚性及高应力下的退极化等所限制，同时过大的予应力会降低机电耦合系数，如果螺杆的顺性是陶瓷元件的a倍，则耦合系数的下降为：

$$\frac{K'^2}{1-K'^2} = \frac{a}{1+a}\left[\frac{K^2}{1-K^2}\right]$$ [8]

除以上两种极限外，还有热极限和声极限，上面所有的讨论都是从水声换能器的观点出发，但部份同样可用到超声振子上来。

森荣司教授[12]对超声振子给出了功率容量的估算，如图6所示的振子。

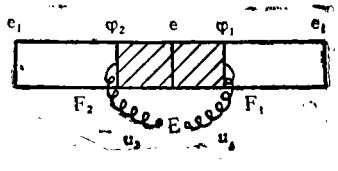


图6

振子机械振动的功率

$$W = F_e \cdot U_e \tag{16}$$

$$F_e = \frac{E_e}{1} \cdot e \cdot s \cdot \psi \cdot \dot{z} \qquad (17)$$

其中：s——陶瓷元件的截面积；

e——压电应力常数；

E_e——陶瓷元件上的端电压(有效值)；

1——陶瓷元件的长度

F_e、U_e——为机械端振动力和速度的有效值；

ψ——为力转换比 $\psi = \frac{U^1}{U_e} - \frac{U_2}{U_e}$

$= \cos\varphi_1 - \cos\varphi_2$；$\varphi_1\varphi_2$为相位角。

$$U_e = j\omega\xi_e = j2\pi f \cdot \xi_e \qquad (18)$$

两端自由时，则

$$W = j \cdot 2\pi f \cdot \xi_e \cdot \frac{E_e}{1} \cdot e \cdot s \cdot \psi \cdot 2$$

$$= k \cdot f\xi_e \cdot \frac{v}{f} \cdot \frac{f}{1} \cdot \frac{E}{1} \cdot 2 \qquad (19)$$

其中：$k = j2\pi\ \psi e$；$v = 1 \cdot s$

$f \cdot \varepsilon_e \propto U$ ——为振速最大允许值，取决于疲劳破坏和发热退化限制；

$f \propto \frac{1}{1}$ 故$f \cdot 1 = constant$

2E/1——电场强度，受绝缘破坏、发热、老化、介电损耗等等限制。

令：$f \cdot \xi \frac{1}{f \cdot 1} \cdot \frac{2E}{1} = K'$

那么(19)式：$W = K'K \cdot V \cdot f = 1K \cdot V \cdot f$

$$1K = \frac{W}{V \cdot f} \qquad (20)$$

1K反映了压电陶瓷元件固有的功率容量，单位为$W/cm^3 \cdot KHz$ 举例说明：对P—4压电元件，考虑了安全因素取：

允许最大应力：$\sigma \approx 2kg/mm^2 = 2 \times 10^8$ $dyne/cm^2$

允许最大电场强度：$\frac{E_e}{1} \approx 190V/mm$；

假定：$\rho = 7.5g/cm^3$；$C = 3.4 \times 10^5$ cm/sec

$$U = \frac{\sigma}{\rho C} \approx 80cm/sec$$

有效值：$U_e \approx 50cm/sec$

对于图7所示的振子

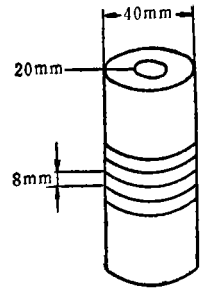


图7 一般的超声振子

$f = 20KHz$ 陶瓷元件$\phi 40 \times \phi 20 \times 8$ 4片

$e = 1.7 \times 10^4\ dyne/cm^2 \cdot V/cm$ ϕ取0.4

$s = 9.4cm^2$；$U_e = 50cm/sec$；

$\frac{E_e}{e} = 1.9KV/cm$ 可计算：$W = 1.2kw$，

那么 $1K \approx 2W/cm^3 \cdot KHz$

这里的估算，同Wollett给出的极限功率估算值相比是合理的。因为考虑了安全因素。

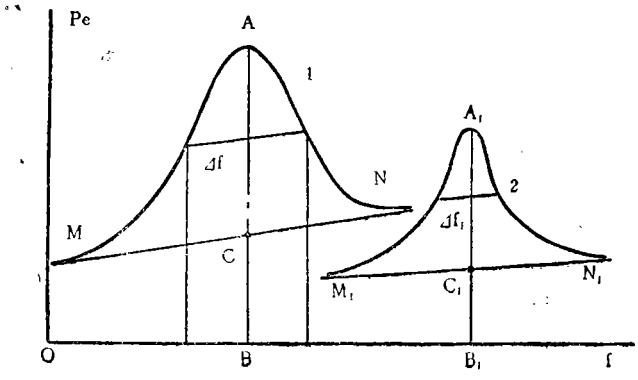
上述二种极限功率和功率容量的估算方法。是否实用，计算取值的范围是否合理，有待作进一步的工作。

六、关于超声振子测量[4-7]

超声振子的测量在小讯号下通过测有载和无载下的动态导纳圆图，由圆图轨迹和等效线路首先求出等效质量，进而求得共振频率、等效机械阻、力系数和电声转换效率等等[6-7]，可是就在通常超声功率使用的振速下，振子也是机械非线性的，动态圆图不再是一个圆，因而就不能分析导纳轨迹来计算各种参数，所以只有在高功率非线性工作状态下，测量超声振子的特性才具有实际的意义，文献[7]是IEC29D制定的国际标准，文献[6]是日本国限于纵向超声振子制定的标准测量方法，两文中最关键的是涉及高功

率下输出声功率的测量，这里仅简介一下各自的特点。

文献〔7〕中关于声功率的测量，是测定有载和无载的输入电功率频率响应曲线，如图8所示，测量是在恒压下进行，无载测量



1：有负载的情况2：无负载的情况

图8 换能器输入电功率频响特性

要减小输入电功率即减小激励电压，使其振动位移幅值等于有载时的振幅。

AB——有载谐振时输入电功率(包括输出声功率、电损耗BC、机械损耗功率)

A_1B_1——无载谐振时(与有载情况同振幅)输入电功率(电损耗B_1C_1，机械损耗)

这里假定机械损耗仅是振幅的单值函数，即有载和无载情况下，只要振动位移幅值相等，机械损耗亦相等，那么可得下式：

$$P_a = P_{eres}^{(AB)} - P'_{eres}^{(A_1B_1)} - P_{el}^{(BC)} + P'_{el}^{(B_1C_1)} \quad (21)$$

此法的巧妙为有载和无载的电损耗不需实测，通过画曲线求得。但要测恒压输入功率响应。而文献〔6〕给出的测量，其原理是一样的。

无载输入电功率：

$W_{eN} = W_{dN}$(无载电损耗)

$+ W_{MN}$(无载机损耗)

有载输入电功率：

$W_{eL} = W_{dL}$(有载电损耗)

$+ W_{ML}$(无载机损耗)$+ W_a$(有载声输出)

在辐射面振速相同时：$W_{MN} = W_{ML}$即机械损耗相等

所以，$W_a = W_{eL} - W_{eN} - W_{dL} + W_{dN}$ (22)

比较(21)(22)式是完全一样的，但电损耗是由下式来测量计算：

$$W_d = \omega C_d \cdot V^2 \cdot tg\delta \quad (23)$$

其中：ω角频率；$C_d \propto \frac{\varepsilon s}{t}$静态电容；

ε介电常数；

s·t压电元件面积与厚度；V压电元件端的端电压(有效值)

δ压电陶瓷介电损耗角。

计算(23)时，有载电压V_L和无载电压V_N要保证辐射面振速在相同的前提下。

文献〔5〕又给出原理一样，但实施步骤不同的方法。

$$W_e(u, v, r_a) = W_d(v) + W_m(u) + W_a(u, r_a) \quad (24)$$

$W_e(u, v, r_a)$输入电功率是振速u，电压v，及有功率阻r_a的函数。基于介电损耗$W_d(v)$正比于激励电压v的平方，和机械损耗$W_m(u)$正比于振速的平方。

给出三种状态下的测量，直接计算输出声功率，见图9。夹紧测量是利用两个性能

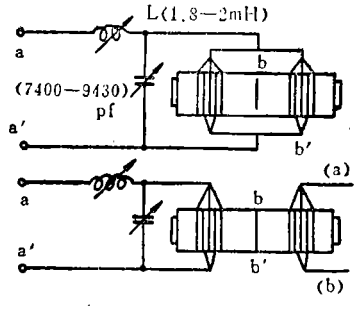


图9 夹紧和无载状态下的测量

几乎一样的振子，对接、同相激励，则两个振子输入电功率的平均值就是在激励电压为

v时的介电损耗功率$W_d(v)$，最好作出$W_d(v)\sim v$的响应曲线。

无载测量：在不同振动速度下(也是激励电压v的函数)测电输入功率$W_e(u, v, o)$，并记下相应的电压v和振速u。由上面两种状态测量即可求得在电压v和振速u下的机械损耗$W_m(u)$

$$W_m(u) = W_e(u, v, o) - W_d(v) \quad (25)$$

有载测量：有负载时并在上述振速u、电压v下测输入电功率$W_e(u, v, r_a)$，那么输出声功率：

$$W_a(ur_a) = W_e(uvr_a) - W_e(v) - W_m(u) \quad (26)$$

并由下式求得负载阻和电声效率：

$$\left.\begin{aligned} r_a &= W_a/u_e^2 \\ \eta_{ea} &= W_a/W_e \end{aligned}\right\} \quad (27)$$

如前所述，我们关心的是电声效率随负载的变化关系，文献〔4〕给出由森荣司教授提出的改变负载下输出功率的测量，见图10，

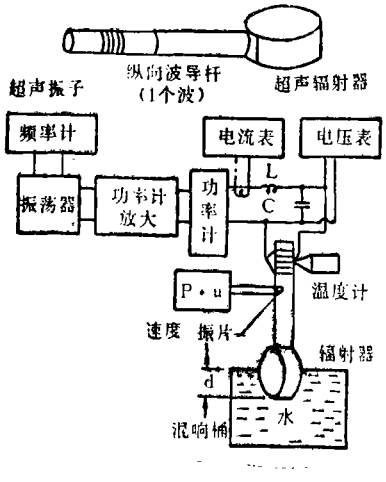


图10 改变声负载的输出功率测量

利用超声纵向振子激励纵向波导杆再激励辐射器，通过改变辐射面浸入水中的深度来得到可变的声负载阻r_a。通过这种测量和计算可求得共振频率f_0，共振导纳yf_0，力系数A_a，等效机械阻r，输出声功率W_a，振动位移幅值ξ、声负载r_a、电声转换效率η_{ea}等一系列超声振子的重要参数，文献〔4〕中给出了很多重要的测试结果，如电声效率随机械负载阻的变化，工作时间与温升的关系等。

在上述的测量中与水声测量不同的地方是要测振动位移幅度。看来用谐振器、光学或磁学检测都不如用显微镜来的简便，这也是IEC推荐的方法。显微镜的放大量在100—500倍，可测量振幅在2μm以上。

能对超声振子在大功率和各种负载条件下测量它们的主要特性参数，是研究超声振子的必要手段，否则上面提到的问题无法解决，故建立专门超声实验室，配置完好的专门仪表，将设计和测量融为一体。

参考文献

〔1〕H·Banno"Acoustic load dependency of electroacoustic efficiency in the piezoelectric ultrasonic transucer and acoustical matching" Ultrasonics March 1987

〔2〕林仲茂"决定超声换能器最大效率的参数N_{eff}" 声学学报 1982·V.7 N.4

〔3〕Hisao Banno 等"对超声换能器电致伸缩材料评价方法的一点建议"俞宏沛译自1980 V.19 N1《日本应用物理杂志》"国外舰船技术"(水声类) 1981 V.5

〔4〕Eiji MoRi等"Load Test of Boltclamped Langevin Type Vibrator" 1985 森荣司(Eiji MoRi)来华讲学提供

〔5〕Eiji MoRi等"Large Amplitude Characteristics of Bolt-clamped Langevin Type Vibrator"1985 森荣司 来华讲学提供

水中含沙量的一种超声测量方法

李 珑

（中国科学院武汉物理所）

用超声脉冲回波法的B超图象在很多方面广为应用，它有实时成像等优点，本文利用计算机对悬浮于水中的沙粒的B型图象求得称做“计算浓度”的参量，并把它和悬浮于水中的沙粒的实际浓度的关系进行探索研究。分析和实验证明是指数关系，这是由于沙粒的回波之间的干涉现象所引起的，我们由此可以从计算浓度和指数曲线的关系得到水中含沙的浓度量，本研究用粒径为0.25—0.45mm的微小玻璃球代替沙粒，它们具有相同的特性，我们把玻璃球尽量均匀地分散于琼脂中，当琼脂冷却至一定温度，玻璃球被固定，琼脂的特性和水相近，利用本文所述实验装置和试块所得到的实验结果基本上与经验公式相符。

一、前　　言

水中含沙量的测量对研究泥沙的流失，河流的疏通，堤坝的建立，海岸的前进和后退等有着重大的意义，水中悬沙之类的散射体的浓度测量很久以来是以悬沙采样器为主要手段，这种方法费时费力，不论对低含沙量还是对高含沙量的测量都存在着困难。

这里介绍的一种测量方法是用B型超声装置得到B型图象信号，然后对此信号进行定量的解析、推导，采用了测量超声散射体在B型图象中的表现量——计算浓度d的方法，根据d和实际浓度的关系，从而求出水中含沙量的浓度。

因为微小玻璃球本身的密度及体积弹性率与沙相同、分别是水的2.7倍和17倍，并且都可以看做是近似不动的刚球，所以用它代替沙粒。考虑到使玻璃球以一定浓度长时间

〔6〕“螺杆连接的朗之万型超声振子测量方法”EIAJ1984.7日本电子机械工业标准1985年去日超声技术考察带回资料顾海仁译，刊于“国外舰船技术”1985·№6

〔7〕“Characteristics and Mesurements of Ultrasonic Piezoeleotric ceramic Trunsducers” Technical Committee №29:“Electroacoustics SUB-Committee 29D: Ultrasonic 1985

〔8〕Mason“Physical Acoustics”(Principles and Methode)VI-Part A P854

〔9〕C·E·Mattiat“Ultrasonic Transducer Materials”1971 P86-89

〔10〕丁大成等“压电陶瓷复合振子的电声效率与振子压电片位置关系的实验研究”声学学报 1983.11 V.8 N.6

〔11〕 3.524085 U·S·Paten 1970

〔12〕森荣司 来华讲学 手稿

〔13〕“The Design of High-power Ceramic Transducer Assemblies” IEEE Transactions on Sonics and UltrasonicsV SU-16 1969 July

〔14〕R·S·woollett“Power Limitatons of Sonic Transducers”IEEE Trans Sonics Ultrasonic SV-15 218-229 (1968)