免费标准下载网(www.freebz.net)

前　言

本标准是参照国际电工委员会技术报告 IEC 1088:1991《超声压电陶瓷换能器的特性和测量》制定的，编写规则遵守 GB/T 1.1—1993 的规定。

本标准与技术报告 IEC 1088 在技术内容上基本相同，仅有以下不同：

1. IEC 1088 的名称为“超声压电陶瓷换能器的特性和测量”，凡是压电类型的都适用，因此去掉“陶瓷”的限定范围。另一方面，为避免混淆，把标准适用的频率范围放在名称内，为使用者提供方便。所以我们把本标准名称改为现在的“100 kHz 以下超声压电换能器的特性和测量”。
2. IEC 1088 第 3 章“定义”中用到第 4 章“换能器的分类”中的内容，在制定本标准时，把第 4 章的“P 类换能器”、“A 类换能器”的分类直接放在第 3 章的定义中，我们认为这样安排更合理。
3. IEC 1088 的公式(3.7) $V_{ev}=\frac{\xi_{res}\cdot\sqrt{2}}{V_{Tres}}$ 我们认为有误，应为 $V_{ev}=\frac{\xi_{res}}{\sqrt{2}\cdot V_{Tres}}$。

本标准的附录 A、附录 B 和附录 C 都是提示性的。

本标准由全国声学标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国科学院声学研究所，中国船舶工业总公司 715 所。

本标准主要起草人：朱厚卿、邢艳红、袁文俊、薛耀泉。

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载

免费标准下载网(www.freebz.net)

中华人民共和国国家标准

声学 100 kHz以下超声压电换能器的特性和测量

GB/T 17252—1998

Acoustics—Characteristics and measurements of ultrasonic piezoelectric transducers up to 100 kHz

1 范围

本标准规定了超声能量应用在工业方面的压电换能器的基本电声特性及其测量方法。

本标准适用于 100 kHz 以下的单一共振频率的压电纵向振动换能器。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。在标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 3947—1996 声学名词术语

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 输入电功率 P_e input electrical power

某一给定频率下，换能器从功率发生器中吸收的有效交流功率，单位为瓦，W。

注：输入电功率可以表示为：

$$P_e = V_T \cdot I_T \cos\psi \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：V_T——换能器输入电压的均方根值，V；

I_T——通过换能器的电流的均方根值，A；

ψ——V_T 和 I_T 之间的相位差，(°)。

3.1.1 输入电功率频率响应曲线 $P_e(f)$ frequency response curve for input electrical power

换能器输入电压为恒定时，P_e 值与频率的关系曲线。

3.1.2 谐振时的输入电功率 $P_{e,res}$ input electrical power at resonance

输入电功率频率响应曲线的最大值。

3.2 输出声功率 P_a output acoustical power

换能器辐射到介质中的声功率，单位为瓦，W。

3.3 P类换能器 transducers of category P

供用于向空气或液体中辐射声功率的换能器。

注：为改善换能器与介质之间的匹配，可增加一个与换能器辐射面连接的阻抗匹配器，也是换能器的一个重要的部分。

3.4 A类换能器 transducers of category A

供用于对各种固体处理的换能器。

注：与换能器辐射面相连的带有加工工具的机械变幅杆应看作换能器的组成部分。

国家技术监督局 1998-03-18 批准　　1998-10-01 实施

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载

免费标准下载网(www.freebz.net)

3.5 振动位移幅度 ξ vibrational displacement amplitude

A 类换能器的加工头或变幅杆中心振动位移幅度的轴向分量，单位为微米，μm。

P 类换能器振动位移幅度是辐射面给定点的纵向振动位移的幅度。

3.5.1 振动位移幅度频率响应曲线 $\xi(f)$ frequency response curve for vibrational displacement amplitude

换能器的输入电压为恒定时，振动位移幅度值与频率之间的关系曲线。

3.5.2 共振时振动位移幅度 ξ_{res} vibration displacement amplitude at resonance

换能器的输入电压恒定，频率变化时振动位移幅度的最大值。

3.6 共振频率 f_{res} frequency of resonance

对应于输入电功率频率响应曲线(P 类换能器)或振动位移幅度频率响应曲线(A 类换能器)最大值的频率，单位为千赫，kHz。

3.7 带宽 Δf bandwidth

换能器频率响应曲线上 f_{res} 两侧对应等于 $0.5P_{e.res}$ 值的频率(P 类换能器)或是对应等于 ξ 最大值的 0.707 时的频率(A 类换能器)间的宽度，单位为千赫，kHz。

3.7.1 换能器的机械品质因数 Q mechanical quality factor of the transducer

共振频率与带宽的比值。

$$Q = \frac{f_{res}}{\Delta f} \qquad \cdots\cdots(2)$$

3.8 换能器的电阻抗 Z electrical impedance of the transducer

在某一给定频率下，换能器激励为简谐波(正弦型周期振动)的条件下，在此频率时换能器的电阻抗是换能器的输入电压与通过换能器的电流的复数比值，单位为欧姆，Ω。

$$Z = R + jX$$

式中 R 和 X 分别是阻抗的实部和虚部。

注

1 电阻抗也可以表示为：

$$Z = |Z|(\cos\psi + j\sin\psi) \qquad \cdots\cdots(3)$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}, \tan\psi = \frac{X}{R} \qquad \cdots\cdots(4)$$

式中：$|Z| = V_T/I_T$——阻抗的绝对值，数值上等于换能器输入电压的均方根与电流的均方根的比值；

ψ——电流和电压之间的相位差。

2 对于大功率工作的情况，输入阻抗与激励电压有关时，应注明激励电压值。

3.8.1 共振时的电阻抗 Z_{res} electrical impedance at resonance

在共振频率处的电阻抗值。

注：电阻抗各相应分量表示为：R_{res}，X_{res}，$|Z_{res}|$ 和 ψ_{res}。

3.9 换能器的电导纳 Y electrical admittance of the transducer

电阻抗的倒数，用下面的复数形式表示：

$$Y = G + jB$$

式中 G 和 B 分别是导纳的实部和虚部，单位为西门子，S。

导纳的实部和虚部与电阻抗各分量之间的关系为：

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2}; B = \frac{-X}{R^2 + X^2} \qquad \cdots\cdots(5)$$

3.9.1 钳定换能器的电导纳 Y_{cl} electrical admittance of the clamped transducer

在换能器没有机械振动情况下的电导纳，单位为西门子，S。

注：电导纳的实部和虚部分别用 G_{cl}，B_{cl} 表示。

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载

免费标准下载网(www.freebz.net)

$$C_{c1} = B_{c1}/2\pi f \qquad \cdots\cdots(6)$$

3.10 换能器的灵敏度 sensitivity of the transducer

3.10.1 "位移-电压"灵敏度 $M_{\xi V}$ "displacement-voltage" sensitivity

在共振频率处振动位移幅度与换能器输入电压幅度的比值，单位为微米每伏，μm/V。可表示为：

$$M_{\xi V} = \frac{\xi_{res}}{\sqrt{2} \cdot V_{Tres}} \qquad \cdots\cdots(7)$$

式中：ξ_{res}——振动位移的幅值；

V_{Tres}——共振频率处电压的均方根值。

3.10.2 "位移平方-功率"灵敏度 $M_{\xi P}$ "squared displacement-power" sensitivity

在共振频率处振动位移幅值的平方与输入电功率之比，单位为微米平方每瓦，$(\mu m)^2/W$。

$$M_{\xi P} = \frac{\xi^2_{res}}{P_{e\,res}} \qquad \cdots\cdots(8)$$

注："位移平方-功率"灵敏度是A类换能器效率的量度。

3.11 电声效率 η_{ea} electroacoustical efficiency

P类换能器辐射到介质的声功率与输入电功率的比值。

$$\eta_{ea} = \frac{P_a}{P_e} \qquad \cdots\cdots(9)$$

4 测量条件

4.1 概述

换能器特性的测量应尽可能在换能器的实际工作条件下进行，对环境温度，冷却，换能器的支持和声负载类型等重要因素予以适当考虑。

4.1.1 声负载

如果声负载的类型没有特殊要求，则A类换能器测量应在空气中进行；P类换能器应在工作介质中进行。在声负载为液体的情况下，应考虑到测量槽中液面的高度和由于介质中空化的变化与声功率大小有关等因素(见附录B)。

4.2 测量准备

4.2.1 换能器的准备

浸水前，应将换能器的所有表面及其附件上的沾染物和油渍仔细地清除掉。如果测量中对换能器的位置没有特殊要求，则换能器的放置应避免气泡在表面积聚。

4.2.2 水的准备

水应加热到70℃以上以除去气体，然后用可产生空化的有足够超声强度的超声处理2 h，不需要额外加热，然后冷却到操作温度，或选用25℃±5℃的除气水。制备除气水的最简单方法是将水煮沸，并保持15 min，然后冷却到54℃，灌满瓶子，用带玻璃管的橡皮塞子塞紧，玻璃管外带软管，充满水后夹紧，冷却贮存，保持局部真空。

在使用时放开夹子，注入水槽，防止空气带入。

4.3 测量条件

测量时，要用交流激励电压额定值，不允许用低功率条件下测量的参数值来推断高功率条件下相应的值。

激励电压值，输入电功率和对测量结果有影响的参数都应与测量结果一并记录。

应注意输入电功率和振动幅度不要超过制造商规定的额定值。

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载

免费标准下载网(www.freebz.net)

激励功率发生器的频率和动态范围与测量设备均应满足被测换能器的要求。

5 电参数的测量

5.1 换能器输入电压的测量

换能器的输入电压直接用连接在换能器输入端的电压表来测量；电压表的输入电阻抗至少比换能器的电阻抗大 100 倍。测量误差应不超过±1%。

5.2 换能器输入电流的测量

换能器输入端的电流的测量，可以直接用高频电流表与换能器串联或用电流变换器来测量。测量误差应不超过±1.5%。

注：换能器输入电流可以由 V_r/r_s 来得到，其中 V_r 是与换能器串联的无电抗性的小电阻 r_s 两端的电压。在测量期间电阻值应不低于±0.5%或更高的准确度；测量电压的误差应不超过±1%。

5.3 换能器输入端电流-电压相位差的测量

相位差可直接用电子相位计测量。测量误差应不超过±2°。

5.4 输入电功率的测量

输入电功率直接用连接在输入端的电子瓦特计来测量。测量误差应不超过±5%。

注：输入电功率可以用式(1)来计算。V_T、I_T 和 ψ 可以根据 5.1 到 5.3 条实测得到。

5.5 换能器电阻抗(导纳)的测量

换能器电阻抗或导纳可以直接用阻抗电桥或导纳电桥测量。测量误差应不超过±5%。

注：电阻抗值可以用式(3)来计算得到，电导纳可以用下面关系式求得：

$$Y = \frac{I_T}{V_T}(\cos\psi - j\sin\psi) \qquad \cdots\cdots(10)$$

式中 V_T、I_T 和 ψ 是根据 5.1 到 5.3 条的实测值。

6 振动位移幅度的测量

振动位移幅度用读数显微镜测量，显微镜可以调整聚焦在换能器或变幅杆的特殊光照面上一点。当换能器在某一超声频率振动时，如果振动沿中间坐标纯轴向振动，则亮点变成一条直线。如果振动有横向分量，则直线有一定的角度。如果轴向和横向振动之间有相移，亮点就形成一椭圆。直线段或椭圆在其中心坐标轴上的投影大小是振动位移幅度的两倍。显微镜的放大倍数应在 100 到 500 的范围内。用这种方法可以测量出不小于 2 μm 的幅度。

注：振动位移幅度也可以用加速度计或各种不同类型的振动计直接测量。测量误差应不超过±2.5%。

7 换能器的特性和测量方法

7.1 换能器的共振频率和共振时输入电功率

换能器的共振频率和共振时的输入电功率由对输入电功率的频率响应曲线来决定。在某一给定激励频率下的电功率可参照 5.4 条测量。频率则用电子频率计测量。测量频率响应曲线时，换能器输入电压应保证在额定值。声负载类型也要记录。共振时换能器的输入电功率 $P_{e\,res}$ 等于 $P_e(f)$ 的最大值。出现最大值时的激励频率等于换能器的共振频率 f_{res}。

7.2 带宽和品质因数

换能器的带宽等于输入电功率的频率响应曲线(见 7.1 条)上 f_{res} 两侧 P_e 为 $0.5P_{e\,res}$ 时的两个频率之差(见 3.7 条)。

换能器的品质因数由式(2)决定。

测量条件应符合参数的额定值，声负载类型也应记录。

7.3 共振时的振动位移幅度

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载

免费标准下载网(www.freebz.net)

应记录在案、激励频率与共振频率之差不应超过 $0.16f_{res}/Q$(Hz)。

7.4 换能器的"位移-电压"灵敏度

换能器的"位移-电压"灵敏度可以用式(7)来计算。换能器的振动位移幅度和输入的有效电压在共振频率处确定。

7.5 换能器的输出声功率

换能器辐射到介质的声功率由输入电功率的频率响应曲线决定。输入电功率由换能器有指定负载和无负载情况下实测得到(见图 1)。测量有负载的换能器的频率响应曲线时,输入电压应保持为额定值(见 7.1 条)。无声负载时,输入电压应降低,使振动位移幅度等于通常有负载条件下的额定值。

换能器的输出声功率由式(11)计算:

$$P_a = P_{e\,res} - P'_{e\,res} - P_{el} + P'_{el} \qquad \cdots\cdots(11)$$

式中:$P_{e\,res}$——在共振频率 f_{res} 时,有负载换能器的输入电功率(图 1 中线段 AB);

P_{el}——在共振频率 f_{res} 时,换能器的损耗电功率(图 1 中线段 BC);

$P'_{e\,res}$——在共振频率 f'_{res} 处无负载换能器的输入电功率(图 1 中 A_1B_1);

P'_{el}——共振频率 f'_{res} 处无负载换能器的损耗电功率(图 1 中线段 B_1C_1)。

在共振频率下,有负载的和无负载的换能器输入电功率值可分别依据 7.1 求出。对应共振频率 f_{res} 和 f'_{res},P_{el} 和 P'_{el} 的值,可由式(12)、式(13)计算:

$$P_{el} = af_{res} \qquad \cdots\cdots(12)$$

$$P'_{el} = a'f'_{res} \qquad \cdots\cdots(13)$$

系数 a 可由在 f_1 小于 $f_{res}(1-2/Q)$,大于 $f_{res}(1+2/Q)$ 的范围内 5 个比值 $P_e(f_1)/f_1$ 的平均值求出。其中 Q 是有负载换能器的品质因数。

系数 a' 可由在 f_1 小于 $f'_{res}(1-2/Q')$,大于 $f'_{res}(1+2/Q')$ 的范围内 5 个比值 $P'_e(f_1)/f_1$ 的平均值求出。Q' 是无负载换能器的品质因数。

7.6 换能器的电声效率

P 类换能器的电声效率由式(9)计算。

共振时的输出声功率 P_a 依照 7.5 条求得;共振时的输入电功率 P_e 依 7.1 条求得。声负载的类型和工作条件也应记录(见 4.3 条)。

7.7 换能器的"位移平方-功率"灵敏度

A 类有负载换能器的"位移平方-功率"灵敏度用式(8)计算。共振时输入电功率 $P_{e\,res}$ 依 7.1 条求得;共振时振动位移幅度依 7.3 条求得;声负载类型和测量条件也应记录。

7.8 共振时电阻抗

电阻抗用 5.5 条中描述的方法来测量。换能器的输入电压应保持额定值,测量电阻抗时,激励频率与共振频率之差应不超过 $0.01f_{res}/Q$。

7.9 钳定换能器的电导纳

钳定换能器的电容和介电损耗正切(见 3.9.1 条)可由换能器电阻抗(导纳)的频率响应曲线求得。电阻抗(导纳)的分量,在激励电压为额定值时,f_1 小于 $f_{res}(1-2/Q)$,大于 $f_{res}(1+2/Q)$ 之间非共振区域内 5 个频率点求出(根据 5.5 条)。

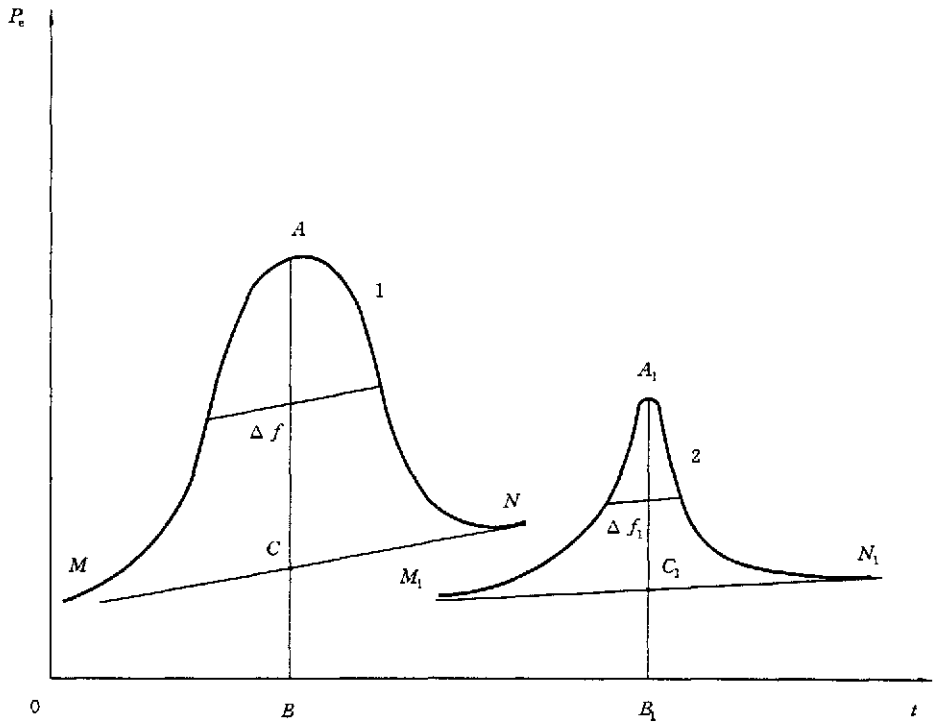
钳定换能器的电容应该用下式的平均值求出:

$$-\frac{1}{2\pi f_i}\left(\frac{X_i}{R_i^2+X_i^2}\right)$$

或用 $B_i/2\pi f_i$ 的平均值求得,其中 R_i 和 X_i 是在某一给定频率 f_i 下电阻抗的实部和虚部(B_i 是导纳的虚部)。介电损耗正切值由比值 G_i/B_i 求出(G_i 是在相同频率时导纳的实部)。

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载

免费标准下载网(www.freebz.net)



MCN 和 $M_1C_1N_1$ 分别是有负载(1)和无负载(2)条件下电损耗功率的频率特性

图 1　换能器输入电功率的频率特性

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载

免费标准下载网(www.freebz.net)

附 录 A
（提示的附录）
换能器的非线性特性

测量时使用的激励信号的功率和电压由工作时的条件决定。介电损耗正切取决于激励电压，机电损耗因子由振动位移幅度决定；机电耦合系数也与激励电压有关。因此，带宽、品质因数、效率和换能器的灵敏度也与激励电压有关。

附 录 B
（提示的附录）
负载阻抗与振动位移幅度的关系曲线

换能器的灵敏度和效率与机械负载的阻抗大小有关。在低振动位移幅度时（非空化区），负载阻抗（辐射入无反射的水负载情况下）只由介质特性和辐射区域决定。如果出现空化，负载阻抗会降低。如图 B1 所示，在未完全除气的水中，28 kHz 频率时，负载阻抗是振动速度（与振动位移幅度成正比）的非线性函数，并存在一个滞后效应。

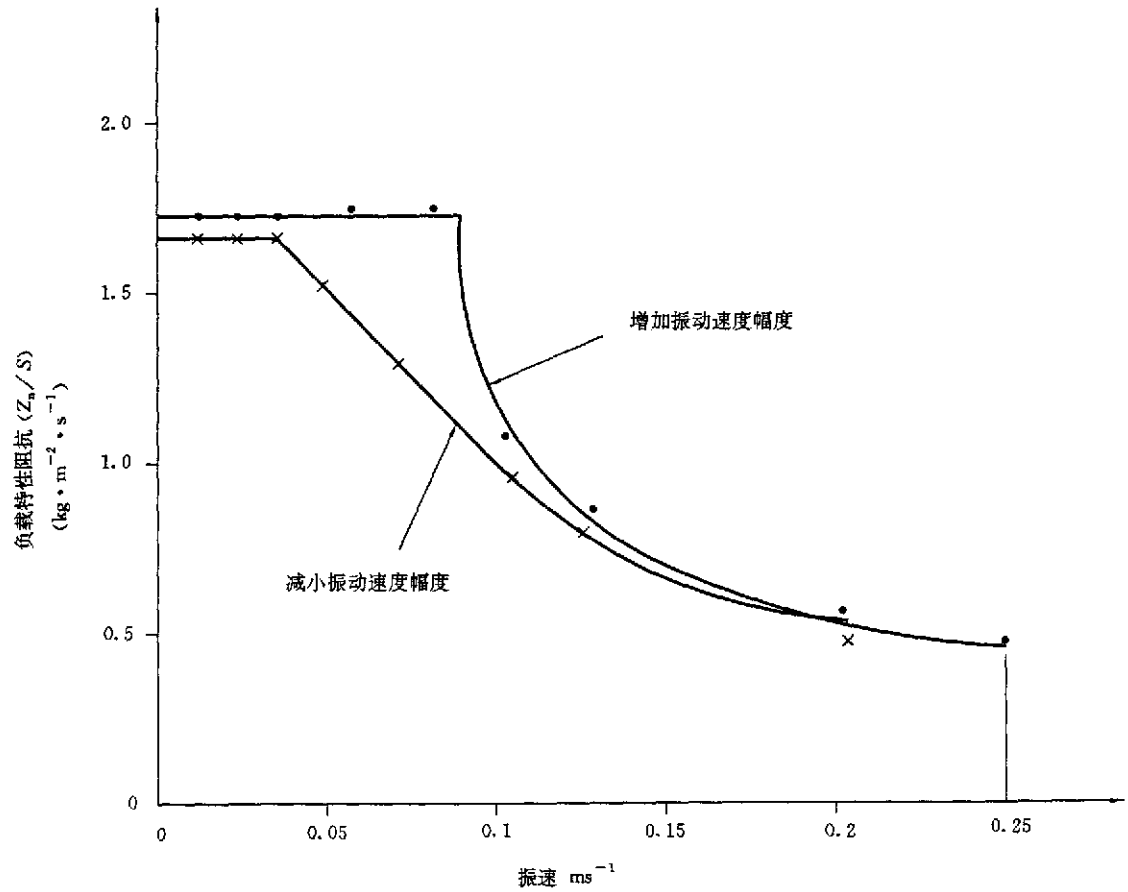


图 B1 负载特性阻抗 Z_o/S 曲线为振动速度大小的函数

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载

免费标准下载网(www.freebz.net)

附 录 C
（提示的附录）
参 考 文 献

[1] Kolesnikov A. E. ,*Acoustical measurements*,Leningrad,Sidostroenie. 1983(in Russian).

[2] *Physical Acoustics*. ed. by W. P. Mason,Vol. 1,"Methods and Devices",Part A,1964,Academic Press,New York and London.

[3] *Ultrasonic Transducers*,ed. by Y. Kikuchi,Corona Publishing Company,Ltd. ,Tokyo,1969.

[4] J. Warren Horton,*Fundamentals of Sonar*,U. S. Naval Institute Annapolis,Maryland,1965.

免费标准下载网(www.freebz.net) 无需注册 即可下载