

T/SZAMDI

苏州市医疗器械行业协会团体标准

T/SZAMDI XXXX-XXXX

高频阵列超声换能器基本电声特性和测量方法

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

苏州市医疗器械行业协会 发布

目 次

前 言 2

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 表征参数 4

5 测量条件 4

5.1 测量仪器设备 4

5.2 测量环境及其他条件 5

6 测量方法和步骤 5

6.1 脉冲回波中心频率等的测量 5

6.2 阵元串扰 6

6.3 插入损耗 7

6.4 脉冲回波波束宽度 7

6.5 阻抗特性 8

参考文献 9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分 标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由××××提出。

本标准由××××归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

高频阵列超声换能器基本电声特性和测量方法

1 范围

本标准规定了 15MHz-50MHz 高频阵列超声换能器基本电声特性的表征参数、测量条件、测量方法和测量步骤。

本标准适用于超声探头中换能器部分的电声特性和测量方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3102.7 声学的量和单位

GB/T 2900.86 电工术语 电学和电声学

GB/T 2900.88 电工学术语 超声学

3 术语和定义

GB/T 2900.86、GB/T 2900.88、GB/T 3102.7 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 换能器元件

由特定材料制成，能够将电能转变为机械能又能将机械能转变为电能的元件¹。

3.2 超声探头 ultrasonic probe

由超声换能器、电屏蔽及机械保护用外壳和一体化电缆等组成的整体的通称。

3.3 阵列换能器 array transducer

由多个换能元件按照一定方式组合、排布成阵列形式的超声换能器。

3.4 阵元 array element

参与组成阵列式换能器，并作为独立个体参与波束形成的单个换能元件。

3.5 脉冲回波最大响应频率 maximum response frequency of pulse echo

由参考平面反射回的第一次脉冲回波频谱中，与最大幅值对应的频率。

符号： f_p

单位：赫兹，Hz

3.6 脉冲回波中心频率 center frequency of pulse echo

由参考平面反射回的第一次脉冲回波频谱中，位于最大幅值两侧，比最大幅值低 6dB 的两个频率 f_h 和 f_l 的算数平均值。

符号： f_c

单位：赫兹，Hz

3.7 串扰 cross talk

相邻的 2 个阵元之间的信号相互耦合,是一个阵元振动引起相邻阵元受迫振动而产生的耦合信号和电缆信号线之间的互感和互容引起线上的噪声信号的总和。

4 表征参数

本标准中采用下列参数描述脱机状态下高频阵列超声换能器（以下简称“被测换能器”）的电声特性：

- a) 脉冲回波中心频率；
- b) 脉冲回波相对带宽；
- c) 脉冲回波持续时间；
- d) 脉冲回波幅值；
- e) 阵元性能一致性；
- f) 阵元串扰；
- g) 插入损耗；
- h) 脉冲回波波束宽度；
- i) 阻抗特性；

除f)、g)条外，均对阵列整个长度内所有阵元进行测量，并取其平均值和偏差范围。

5 测量条件

5.1 测量仪器设备

(1) 信号发生器

信号发生器要求如下：

不窄于 0.5MHz-80MHz，连续可调。

(2) 脉冲信号发生器 DPR500

脉冲信号发生器要求如下：

前沿上升时间：小于 10ns

脉冲持续时间：

输出幅度：大于 50V；

输出阻抗：50 欧

(3) 通用示波器

通用示波器要求如下：

采样频率：不低于 200MHz

灵敏度：小于 5mV/div

通道数：不少于 2。

(4) 高频衰减器

频率范围：不窄于 1Mhz-1GHz

输入输出阻抗：50 Ω

(5) 测量水槽和机械调整机构

水槽尺寸：水槽水平方向尺寸应足够大，必要时在其内部放置吸声内衬，
水媒质：应尽可能的采用蒸馏水或去离子水，并要时进行除气处理。
能够方便稳妥的夹持被测换能器，并可以实现被测换能器的平移和角度调节。
测量水槽内固定有标准反射体，材质一般为不锈钢，其横向尺寸应不小于被测换能器长度的 2 倍，
厚度应不小于 10mm，其反射面的平整度应不大于 0.02mm，粗糙度应小于 0.63 微米。

5.2 测量环境及其他条件

外界的振动、噪声、电磁场等物理因素不至于干扰测量仪器设备的正常工作。
连接被测换能器阵列的电缆应尽可能的符合实际使用条件。

6 测量方法和步骤

高频阵列换能器的电声特性测量方法称为频谱分析法

6.1 脉冲回波中心频率等的测量

对被测高频阵列换能器，按照图 1 安装和连接所用仪器设备，其中信号发射和接收电缆可通过阵元切换电路（可选）连接至被测阵元。

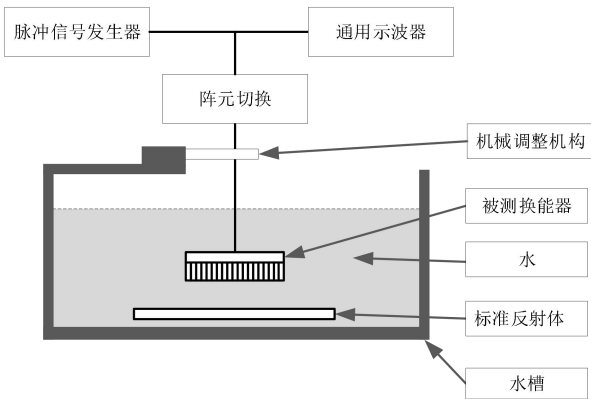


图 1 频谱分析法测试换能器特性原理图

- (1) 将被测换能器的发射面正对标准反射体，调节其发射面与反射面之间的距离，为减少水媒质对高频信号的衰减效应，该距离一般应 $\leq 5\text{mm}$ 。
- (2) 观察被测换能器和标准反射体的表面，去除可见的气泡。
- (3) 按规定操作程序开启各测量仪器。
- (4) 对被测高频阵列换能器，在阵列上三个不同位置各选择一个阵元，调节换能器角度，使其在示波器上显示的第一次脉冲回波幅度为最大，且声波往返时间相等。
- (5) 调节示波器，使其显示的信号仅有第一次回波，测量第一次**脉冲回波幅值** U_{max} 。
- (6) 在第一次脉冲回波波形上，对其波形取包络，在包络图上测量比峰值幅度低 20dB（幅度为峰值的 10%）的两点间的时间间隔，为被测阵元的**脉冲回波持续时间** t_{20} 。

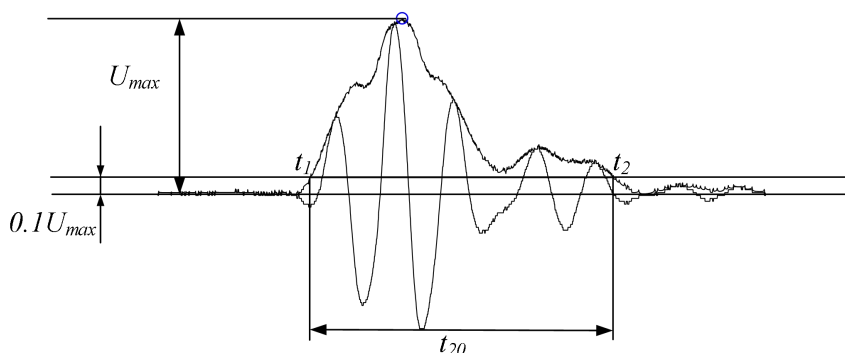


图 2 脉冲回波持续时间波形图

- (7) 通过频谱分析或计算机分析回波幅值下降 6dB 处高低两个频率点 (f_h 、 f_l)，按式 (1)、式 (2) 分别计算中心频率 f_c 和相对带宽 BW 。

$$f_c = (f_h + f_l)/2 \dots\dots\dots (1)$$

$$BW = [(f_h - f_l)/f_c] \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

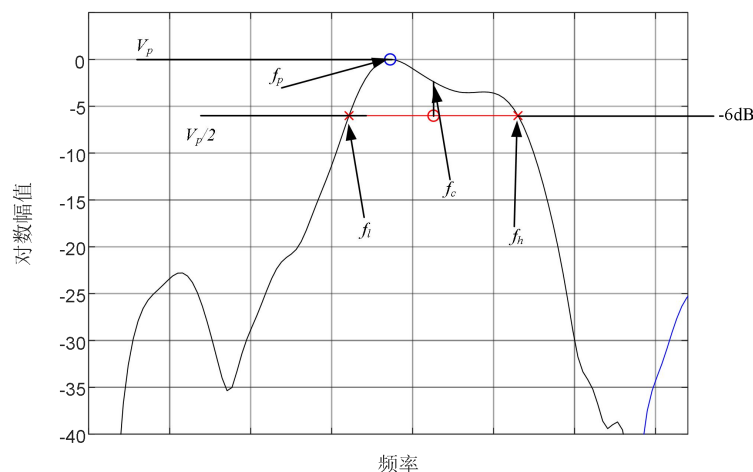


图 3 频谱分析图

- (8) 依据需要，对阵列换能器的全部阵元重复以上操作和计算。对阵列换能器的全部阵元的性能参数，至少包括：中心频率 f_c 、回波幅值 U_{max} 的一致性能进行分析计算，包括平均值 Avg 、极差 Ran 和标准差 Std ，计算公式分别如下：

$$Avg = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)/n \dots\dots\dots (3)$$

$$Ran = x_{max} - x_{min} \dots\dots\dots (4)$$

$$Std = \sqrt{\frac{(Avg - x_1)^2 + (Avg - x_2)^2 + \dots + (Avg - x_n)^2}{n}} \dots\dots\dots (5)$$

其中 x_i 、 x_{max} 、 x_{min} 分别代表第 i 个阵元的测量值、最大值和最小值， n 代表阵元数。

6.2 阵元串扰²

按照图 4 安装和连接所用仪器设备，被测换能器前端浸没于水媒质中，并采取措施尽可能减少声反射，发射信号电缆连接至被测换能器的指定阵元³。

开启仪器，信号发生器输出频率设置为换能器的中心频率，输出信号为峰峰值 $5V_{pp}$ 周期为 20 的正

弦波信号。用示波器测量此阵元带载条件下激励信号幅度，此值标为 A_0 。

再用示波器另一通道测量与之相邻的阵元所接收到的受迫信号的幅度，此值标为 A ，按式（6）计算出的指定阵元与其最近阵元之间的串扰 E_c 。

$$E_c = 20 \lg (A/A_0) \dots\dots\dots (6)$$

为满足成像的需求，串扰值应低于 -30dB 。

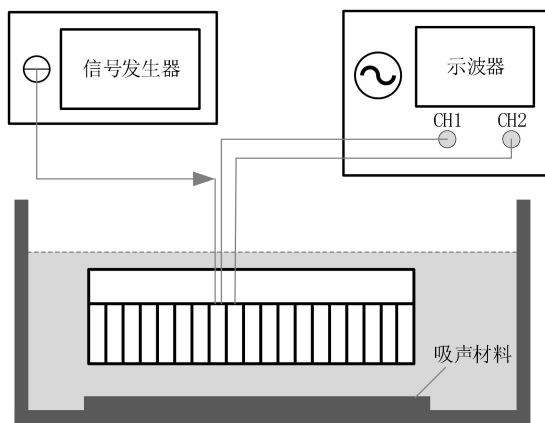


图 4 高频阵列换能器阵元串扰度测量原理图

6.3 插入损耗

收发一体的换能器在实际测试中，通常使用插入损耗 IL 来表征换能器的灵敏度，插入损耗的定义为超声换能器的接收电压与激励电压之比，具体公式为

$$IL = 20 \lg \frac{V_{in}}{V_{out}} + 0.6 + 2.2 \times 10^{-4} \times f^2 \times 2d(\text{dB}) \dots\dots\dots (7)$$

测试时，将被测换能器的特定阵元与信号发生器连接，设置激励信号为峰-峰值电压 5-V_{pp} ，周期为 20 的正弦波信号，频率设置为被测换能器的工作频率，同样将换能器放置于去离子、除气水中，反射靶为抛光的不锈钢板。

在测试过程中，回波信号(V_{out})利用示波器进行接收，将测试线阻抗设置为 $1\text{M}\Omega$ ；再改变测试线阻抗为 50Ω ，测试激励信号(V_{in})。最终的测试结果需要考虑环境的损耗， 0.6dB 为补偿钢板反射体的反射产生的损失， f 为插入损耗电源激励电压的频率， d 为换能器到反射靶的距离。

6.4 脉冲回波波束宽度

阵元的回波波束宽度通过将阵元绕其长度方向的中心线，在一定角度内旋转，接收反射球靶返回的声波信号得到。

按图 5 连接各测量单元装置，测试时利用脉冲信号发生器被测换能器的特定阵元进行激励，将反射球靶分别放置在被测阵元前方 1mm 、 2mm 处，通过旋转装置使阵元绕其宽度方向步进旋转，测试每个位置的回波信号。记下声轴第一回波声压下降 12dB 处的波束宽度。

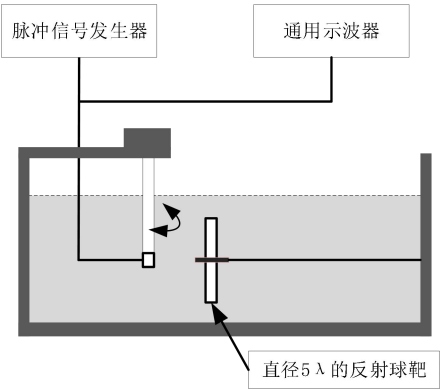


图 5 脉冲回波波束宽度测量原理图

6.5 阻抗特性

按图 6 安装和连接所用仪器设备，将信号发射电缆连接至指定阵元。被测换能器放入水中，正对吸声材料来模拟组织负载。

从阻抗分析仪上读出被测阵元最大响应频率对应的等效并联电阻 *Re* 和相位 *Im*。

重复上述操作，测试所有阵元的等效阻抗特性。

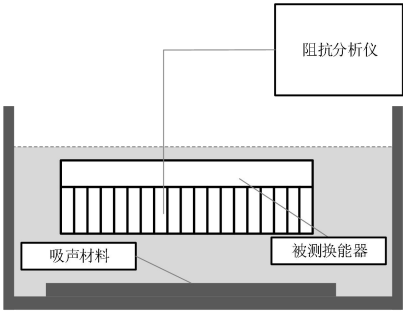


图 6 阻抗特性测量原理图

参考文献

-
- ¹ YY 0643-2008T 超声脉冲回波诊断性能测试方法
- ² CANNATA J M, WILLIAMS J A, QIFA Z, et al. Development of a 35-MHz piezo-composite ultrasound array for medical imaging [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2006, 53(1): 224-36.
- ³ LUKACS M, YIN J, PANG G, et al. Performance and Characterization of New Micromachined High-Frequency Linear Arrays [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2006, 53(10): 1719-29.
- ⁴ KIM H H. ARRAY TRANSDUCERS FOR HIGH FREQUENCY ULTRASOUND IMAGING