



中华人民共和国医药行业标准

YY/T 1668—2019

阵列式脉冲回波超声换能器的基本 电声特性和测量方法

Electroacoustic characteristics and measurement methods of
pulse-echo ultrasonic array transducers

2019-07-24 发布

2021-08-01 实施

国家药品监督管理局 发布

中华人民共和国医药
行业标准
阵列式脉冲回波超声换能器的基本
电声特性和测量方法
YY/T 1668—2019

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 26 千字
2019年8月第一版 2019年8月第一次印刷

*

书号: 155066·2-34355 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由国家药品监督管理局提出。

本标准由全国医用电器标准化技术委员会医用超声设备分技术委员会(SAC/TC 10/SC 2)归口。

本标准起草单位:中国科学院声学研究所、湖北省医疗器械质量监督检验研究院、汕头市超声仪器研究所有限公司、深圳市奥思科电子有限公司、深圳市理邦精密仪器股份有限公司、深圳开立生物医疗科技股份有限公司、通用电气医疗系统(中国)有限公司。

本标准主要起草人:牛凤岐、朱承纲、王志俭、蒋时霖、程洋、柯钢、张迪、李强、邹春晓、欧阳波、陈雄、刘震宇。



阵列式脉冲回波超声换能器的基本 电声特性和测量方法

1 范围

本标准规定了阵列式脉冲回波超声换能器基本电声特性的表征参数、测量条件、测量方法和步骤。

本标准适用于采用压电型换能元件,工作频率为 1.5 MHz~15 MHz,配用于超声脉冲回波诊断系统的阵列式超声换能器。

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。

注:阵列式脉冲回波超声换能器电声特性参数的定义和测量方法详见参考文献[1]、[2]。

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 2900.86 电工术语 声学 and 电声学

GB/T 2900.88 电工术语 超声学

GB/T 3102.7 声学的量和单位

3 术语和定义

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

3.1

换能元件 energy-transducing element, active element

超声换能器中起声-电和/或电-起声能量转换作用的器件。

注:医用超声换能器现今所用换能元件有压电陶瓷、压电单晶、压电高分子、压电复合材料和微硅鼓等几种。

3.2

超声换能器 ultrasonic transducer

在超声频率范围内,能够将电能转换为机械能(声能)和/或能够将机械能(声能)转换为电能的装置。

注:医用超声换能器通常由压电换能元件、声阻抗匹配层、聚焦声透镜和吸声(阻尼)背衬等部分组成。与电声相互转换有关的器件物理特性属于换能器的特性。

3.3

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。

注:采用机械扇形扫描方式者,壳内还安装有电机、传动机构,充有透声液体;高频平面线阵换能器,有的还配有充液耦合垫。

3.4

阵列式换能器 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。

3.5

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。

3.6

线阵 linear array

换能元件沿直线排布,所成超声影像位于矩形框架内的阵列式超声换能器。

3.7

凸阵 convex array

换能元件沿弧线排布,所成超声影像位于扇形框架内的阵列式超声换能器。

3.8

相控阵 phased array

换能元件沿直线排布,通过电子学方法实现声束偏转的阵列式超声换能器。

3.9

环阵 annular array

换能元件在平面上呈同心圆环方式排列,通过机械驱动实现声束扫描的阵列式超声换能器。

3.10

平面阵 plane array

诸如线阵、相控阵、环阵等换能元件沿平面排布的阵列式超声换能器。

3.11

曲面阵 curve array

诸如凸阵、柱面阵、球面阵等换能元件沿曲面排布的阵列式超声换能器。

3.12

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

由参考平面反射回来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

3.13

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

由参考平面反射回来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 6 dB 的两个频率 f_h (高于最大响应频率) 和 f_l (低于最大响应频率) 的算数平均值,即 $f_c = (f_h + f_l) / 2$ 。

符号: f_c

单位:赫兹,Hz

注:根据需要,有时还定义和测量比最大幅值低 20 dB 的脉冲回波中心频率。

3.14

脉冲回波相对带宽 relative bandwidth of pulse echo

由参考平面反射回来的第一次脉冲回波频谱中,位于最大幅值频率高低两侧,比最大幅值低 6 dB 的两个频率 f_h 和 f_l 之差与中心频率比值的百分数表达,即 $BW = [(f_h - f_l) / f_c] \times 100\%$ 。

符号:BW

单位:无量纲

注:根据需要,有时还定义和测量比最大幅值低 20 dB 的脉冲回波相对带宽。

3.15

脉冲回波相对灵敏度 relative sensitivity of pulse echo

在中心频率 f_c 处,由参考平面反射回来的第一次脉冲回波电压最大幅值 U_{max} 与加于被测换能器

的对应激励电压峰值 U_0 之比的常用对数乘以 20, 即 $M = 20 \lg (U_{\max}/U_0)$ 。

符号: M

单位: 分贝, dB

3.16

脉冲回波持续时间(脉冲宽度) pulse-echo duration

由参考平面反射回来的第一次脉冲回波波形中, 位于其所形成的包络线峰值前后, 比峰值低 20 dB (电压为峰值的 10%) 的两点间的持续时间。

符号: τ

单位: 微秒, μs

注: 根据需要, 有时还定义和测量比峰值低 6 dB 的脉冲回波持续时间(脉冲宽度)。

3.17

阵元互耦(串扰)度 level of interelement cross-coupling (cross-talk)

阵列式换能器处于发射方式, 当向指定阵元施加指定频率(通常为其中心频率)幅度为 A_0 的电信号时, 其两侧相邻阵元上产生的电信号幅度 A 与 A_0 比值的常用对数标度, 即 $E_c = 20 \lg (A/A_0)$ 。

符号: E_c

单位: 分贝, dB

3.18

谐振等效电阻 equivalent(effective) resistance at resonance

在自由场条件下, 与最大响应频率对应的, 换能器(阵元)电输入端所呈现的等效电阻。

符号: R_e

单位: 欧姆, Ω

4 表征参数

本标准中采用下列参数描述脱机状态下阵列式脉冲回波超声换能器(以下简称“被测换能器”)的电声特性:

- 脉冲回波中心频率;
- 脉冲回波相对带宽;
- 脉冲回波相对灵敏度;
- 脉冲回波持续时间;
- 阵元互耦度;
- 谐振等效电阻。

除 e) 条外, 均在阵列整个长度内等间隔选择不少于 8 个阵元进行测量, 并求取其平均值和偏差范围。

5 测量条件

5.1 测量用仪器设备

5.1.1 猝发音(声)信号发生器

猝发音(声)信号发生器要求如下:

- 脉冲填充频率: 不窄于 0.5 MHz~25 MHz, 连续可调;
- 正弦波周数: 12~20;

- c) 输出幅度:1 V~20 V,连续可调;
- d) 输出阻抗:50 Ω 。

5.1.2 脉冲信号发生器

脉冲信号发生器要求如下:

- a) 前沿上升时间:小于 30 ns;
- b) 脉冲持续时间:小于 100 ns;
- c) 输出幅值:大于 10 V;
- d) 输出阻抗:50 Ω 。

5.1.3 通用示波器

通用示波器要求如下:

- a) 采样频率:不低于 200 MHz;
- b) 灵敏度:优于 5 mV;
- c) 通道数:不少于 2;
- d) 时基误差:小于 $\pm 2\%$ 。

5.1.4 放大器

放大器要求如下:

- a) 通频带:0.1 MHz~25 MHz;
- b) 放大倍数:100(40 dB);
- c) 放大倍数调节范围:1~100(0 dB~40 dB)。

5.1.5 高频衰减器

高频衰减器要求如下:

- a) 频率范围:不窄于 0.1 MHz~25 MHz;
- b) 输入输出阻抗:50 Ω ;
- c) 最大衰减量:大于 60 dB。

5.1.6 阻抗分析仪

阻抗分析仪要求如下:

- a) 频率范围:100 kHz~25 MHz;
- b) 阻抗测量范围:不窄于 10 Ω ~1 k Ω ;
- c) 测量误差:小于 $\pm 5\%$ 。

5.1.7 测量水槽

测量水槽要求如下:

- a) 水槽尺寸:水槽水平方向尺寸应足够大,在安放标准反射体之后,四周仍留有不小于其横向尺寸的空间;水槽应足够深,在测量涉及的整个频率范围内,被测换能器辐射面中心与标准反射体反射面中心的距离不小于阵元的近场区长度。
- b) 水媒质:应尽可能采用蒸馏水或去离子水,并在必要时进行除气处理,详见参考文献[3]。在整个测量过程中,应将水温保持在换能器制造商指定范围内。
- c) 非预期反射:应注意水槽侧壁和底板等造成的非预期反射对测量的干扰,将其对测量的影响减

到最小;应采用足够深的水槽且标准反射体架空安放,也可在其下放置吸声内衬。

5.1.8 机械调整机构

应能方便稳妥地夹持被测换能器,并可以实现被测换能器的平移和角度调节。

5.1.9 标准反射体

标准反射体要求如下:

- a) 材质:一般为不锈钢,如采用铝合金等其他不锈钢材料,需依照其声特性阻抗将反射系数修正为全反射条件。
- b) 形状:对平面阵,面向被测换能器的反射体表面为平面。对曲面阵,面向被测换能器的反射体表面为弧面,其曲率半径 R 的选择原则是:
如被测换能器装有俯仰方向聚焦的声透镜,则 $R=r+F$, 式中 r 为曲面阵的曲率半径, F 为声透镜的焦距;
如被测换能器未装声透镜,则 $R=r+N$, $N=Af_c/\pi c$, 式中 N 为单个阵元的近场区长度, A 为单个阵元面积, f_c 为被测换能器中心频率, c 为媒质(水)中声速。
- c) 尺寸和加工精度:对于平面反射体,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 30 mm,面向被测换能器的反射面的平整度应不大于 0.02 mm,粗糙度应小于 0.63 μm ;对于弧面反射体,其横向尺寸应能确保弧面足够长,能将被测换能器边缘阵元的发射波含盖在内,最薄处的厚度应不小于 30 mm,弧面粗糙度应小于 0.63 μm 。
- d) 用前处理:面向被测换能器的反射体表面必须清洗干净,不得留有油污及其他影响反射特性的物质,且在放入水槽之后应留出足够时间使其充分浸润,表面不附有气泡。

5.1.10 集成式自动测量系统

对 5.1 中所列各种测量仪器和设备,在满足相关技术要求的情况下,可有不同组合方式,并允许采用集成式自动测量系统,包括使用自动扫频仪器。

5.2 测量环境及其他条件

5.2.1 外界的振动、噪声、电磁场等物理因素不致干扰测量仪器设备的正常工作。

5.2.2 连接被测换能器阵列的电缆应尽可能符合实际使用条件,如长度不小于 50 cm,特性阻抗为 $50\ \Omega \pm 3\ \Omega$,衰减常数不大于 0.1 dB/cm,电容量小于 120 pF/m 的高频电缆。

6 测量方法和步骤

换能器电声特性测量方法分为猝发音法和频谱分析法,详见参考文献[4]。

6.1 脉冲回波最大响应频率、中心频率和带宽的测量——猝发音法

6.1.1 对平面阵和曲面阵,分别按图 1 和图 2 安装和连接所用仪器设备,其中信号发射-接收电缆连接至某一指定阵元。

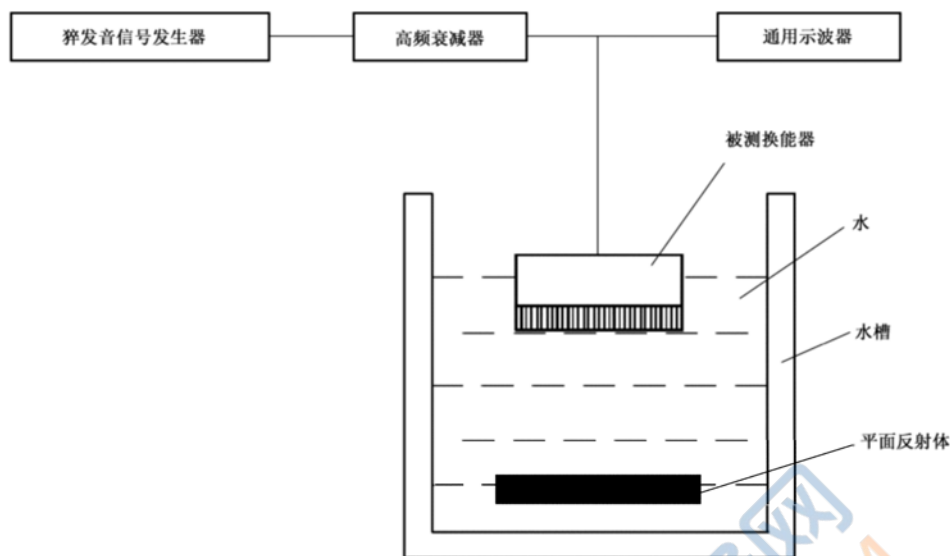


图1 猝发音法平面阵换能器脉冲回波频率响应特性测量原理图

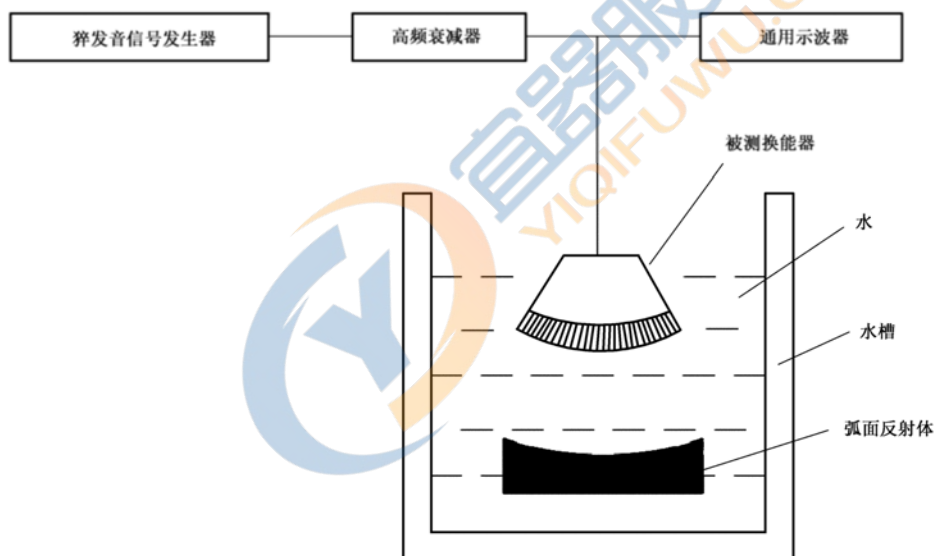


图2 猝发音法曲面阵换能器脉冲回波频率响应测量原理图

6.1.2 观察换能器表面，去除可见的气泡。

6.1.3 将被测换能器置于按照 5.1.9 选定的反射体正上方，并依据下述原则调整换能器辐射面与反射体表面之间的距离 z_0 ：

- a) 无聚焦声透镜的平面阵： $z_0 = N = Af_c / \pi c$ ，式中 N 为单个阵元近场区长度， A 为单个阵元面积， f_c 为被测阵元中心频率， c 为媒质(水)中声速；
- b) 有聚焦声透镜的平面阵： $z_0 = F$ ，式中 F 为声透镜的焦距；
- c) 无聚焦声透镜的曲面阵： $z_0 = N = Af_c / \pi c$ ，式中 N 为单个阵元近场区长度， A 为单个阵元面积， f_c 为被测阵元中心频率， c 为媒质(水)中声速；
- d) 有聚焦声透镜的曲面阵： $z_0 = F$ ，式中 F 为声透镜的焦距。

6.1.4 按操作程序开启所用仪器。

6.1.5 调节高频衰减器,使进入示波器的信号幅度在适宜范围内。

6.1.6 对平面阵,在阵列上3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;对曲面阵,在正中和两侧各选择一个阵元,调节换能器位置和角度,使回波幅度最大,且声波往返时间(飞行时间)相等。

6.1.7 对于所连接的阵元,通过手动或自动方式调节猝发音信号的频率,使示波器上显示的第一次脉冲回波幅度为最大,即为被测阵元的最大响应频率 f_p 。

6.1.8 在保证猝发音信号恒定的情况下,继续调节发射信号频率,在 f_p 高低两侧分别找到比最大回波幅度低 6 dB 的频率 f_h 和 f_l ,按式(1)、式(2)分别计算中心频率 f_c 和相对带宽 BW:

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

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

6.1.9 依据需要,对选定的不少于均匀分布的8个阵元或全部阵元重复6.1.6~6.1.8中的操作和计算。

注:根据需要,还可测量比 f_p 高低两侧比最大回波幅度低 20 dB 的频率 f_h 和 f_l 。

6.2 脉冲回波最大响应频率、中心频率和带宽的测量——频谱分析法

6.2.1 对平面阵和曲面阵,分别按图3和图4安装和连接所用仪器设备,其中信号发射-接收电缆通过阵元切换电路(可选)连接至某一指定阵元。

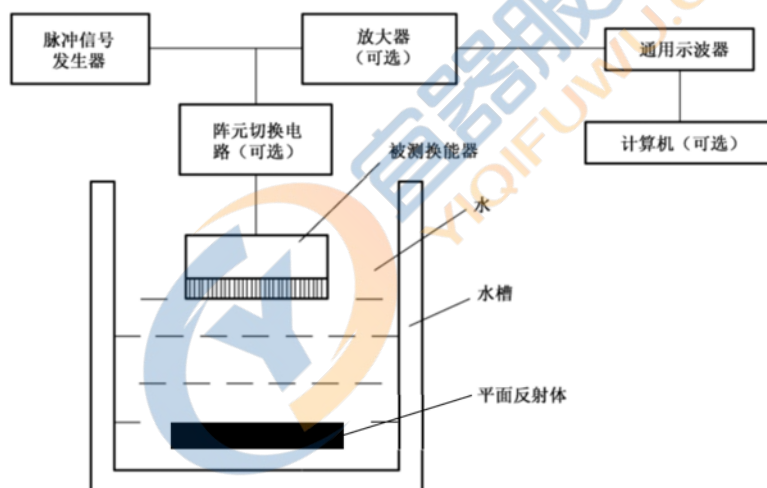


图3 频谱分析法平面阵换能器脉冲回波频率响应特性测量原理图

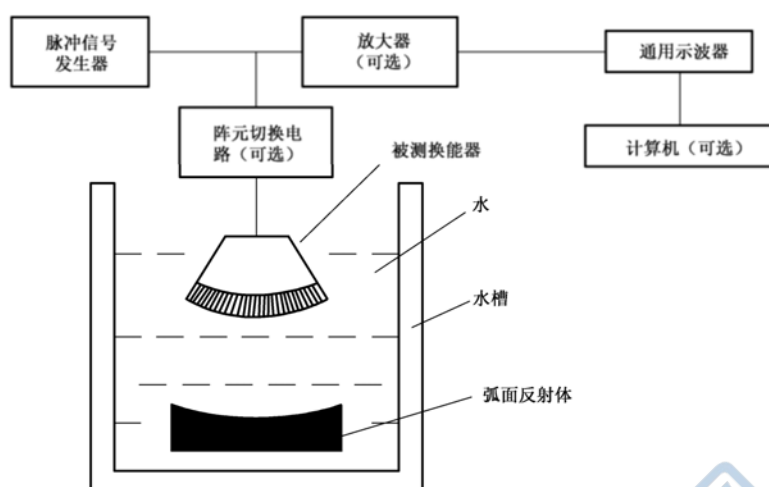


图4 频谱分析法曲面阵换能器脉冲回波频率响应测量原理图

6.2.2 将被测换能器置于按照 5.1.9 选定的反射体正上方,依据是否装有声透镜,调节其辐射面与反射体反射面之间的距离。

6.2.3 观察换能器表面,去除可见的气泡。

6.2.4 按操作程序开启所用仪器。

6.2.5 对平面阵,在阵列上 3 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;对曲面阵,在正中和两侧各选择一个阵元,调节换能器位置和角度,使回波幅度最大,且声波往返时间(飞行时间)相等。

6.2.6 调节放大器,使进入示波器的信号幅度在其允许范围内。

6.2.7 调节示波器,使其显示的信号仅有第一次回波。

6.2.8 通过频谱分析读取 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。若通用示波器无频谱分析功能,可将通用示波器连接计算机,通过计算机进行频谱分析读取 f_h 、 f_l 后进行计算。

6.2.9 依据需要,对选定的部分阵元或其余全部阵元重复 6.2.8 中的操作和计算。

注:根据需要,频谱分析法测量平面阵或曲面阵换能器脉冲回波还可以采用频谱分析仪实现。

6.3 脉冲回波相对灵敏度

6.3.1 将发射信号频率调至被测阵元的中心频率 f_c ,并控制在某一适当幅度 U_0 ,测出第一次脉冲回波幅度 U_{max} ,用式(3)计算出所测阵元的相对脉冲回波灵敏度 M :

$$M = 20 \lg(U_{max}/U_0) \quad \dots\dots\dots (3)$$

6.3.2 对选定的部分阵元或其余全部阵元重复 6.3.1 中所有操作和计算。

6.4 回波脉冲持续时间

6.4.1 对平面阵和曲面阵,分别按图 5 和图 6 安装和连接所用仪器设备,其中信号发射-接收电缆连接至某一指定阵元。

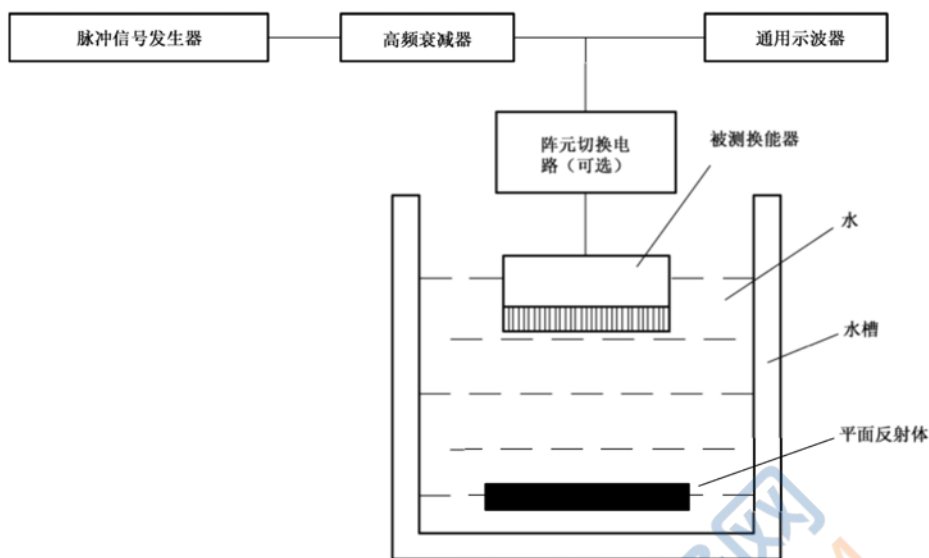


图 5 平面阵回波脉冲持续时间测量原理图

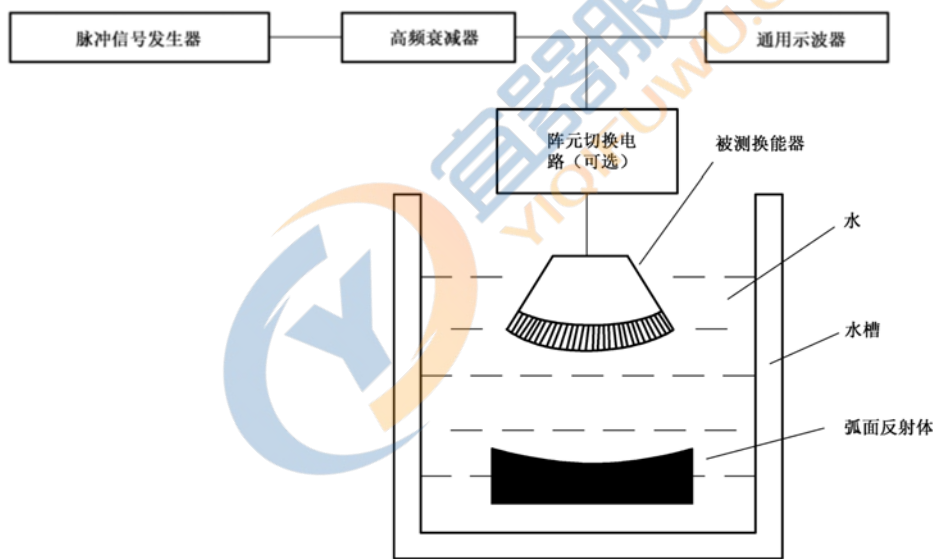


图 6 曲面阵回波脉冲持续时间测量原理图

6.4.2 观察换能器表面,去除可见的气泡。

6.4.3 重复 6.1.3~6.1.6 各条操作,使发射声信号垂直入射于反射体。

6.4.4 对所连接的阵元,在调至最大值的第一次脉冲回波波形上,测量比峰值幅度低 20 dB(幅度为峰值的 10%)的两点间的时间间隔,即为被测阵元的回波脉冲持续时间。

6.4.5 对选定的部分阵元或其余全部阵元重复 6.4.4 的操作。

注:根据需要,还可测量比峰值幅度低 6 dB 的两点间的时间间隔。

6.5 阵元互耦度

6.5.1 按图 7 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,宜采取措施尽可能减少声

反射(如正前方放置吸声内衬),发射信号电缆连接至被测换能器的指定阵元(通常首选中央阵元)。

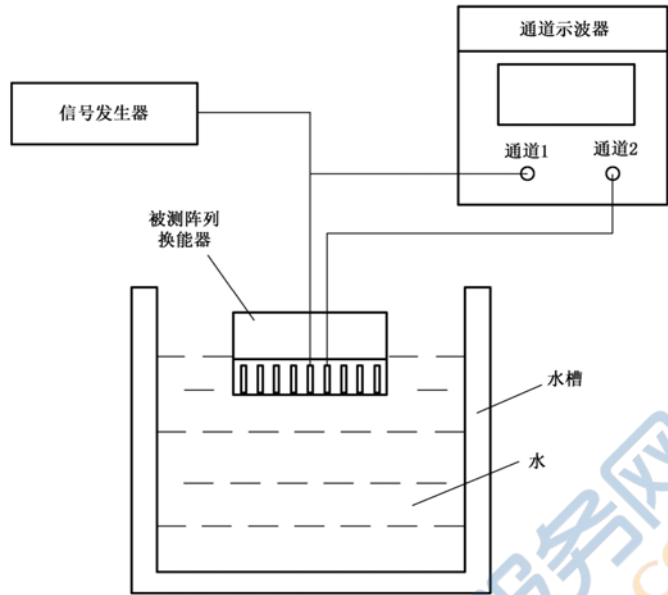


图 7 阵列换能器阵元互耦度测量原理图

6.5.2 按规定程序开启所用仪器,将指定频率(通常为指定阵元的中心频率)的信号施加于指定阵元,并从示波器上读出其幅度 A_0 。

6.5.3 将指定阵元两侧最近的两个阵元分别与双通道示波器的另一路连接,读出其上产生的电信号幅度 A ,取二者中较大者,按式(4)计算出指定阵元与其最近阵元之间的互耦度。

$$E_c = 20\lg(A/A_0) \quad \dots\dots\dots (4)$$

注:根据需要,还可重复 6.5.3 条的操作和计算,陆续测得指定阵元与次最近、次次最近等其他阵元的互耦情况,详见参考文献[5]、[6]。

6.6 谐振等效电阻

6.6.1 按图 8 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。

6.6.2 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 R_e 。

6.6.3 根据需要,重复上述操作,测出其他阵元的谐振等效电阻。

注:根据需要,换能器的谐振等效电阻还可通过阻抗电桥法进行测量。

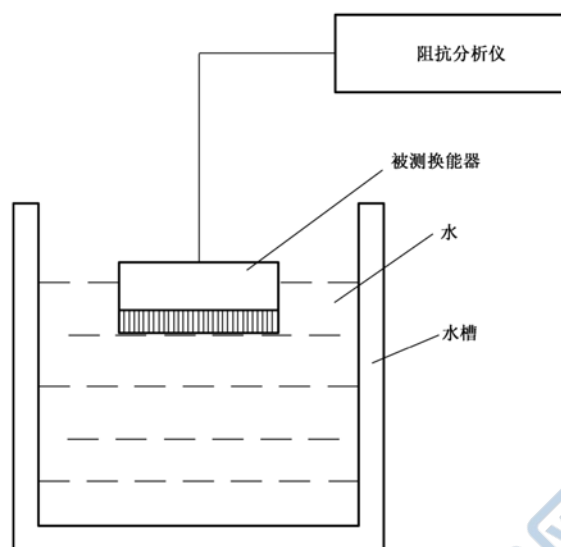
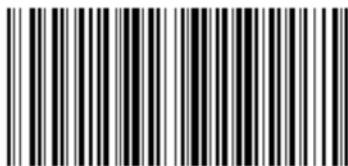


图 8 平面阵(或曲面阵)等效电阻测量原理图



参 考 文 献

- [1] Turnbull, D. H. Fabrication and characterization of transducer elements in two-dimensional arrays for medical ultrasound imaging[J]. IEEE Trans. Ultras. Ferro. and Freq. Control, 1992, 39: 464-475.
- [2] 牛凤岐, 朱承纲, 程洋. 超声诊断用脉冲回波式阵列探头性能测量技术现状[J]. 中国医疗器械信息, 2001, 7(3): 20-22.
- [3] YY/T 0865.1—2011/IEC 62127-1:2007 超声 水听器 第1部分: 40 MHz 以下医用超声场的测量和特征描绘.
- [4] Erikson, K. R. Tone-burst testing of pulse-echo transducers[J]. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, 1979, SU-36: 7-14.
- [5] Cannata, J. M., et al. Development of a 35 MHz piezo-composite ultrasound array for medical imaging[J]. IEEE Trans. Ultras. Ferro. and Freq. Control, 2006, 53: 224-236.
- [6] Yang, H., et al. Crosstalk reduction for high-frequency linear-array ultrasound transducers using 1-3 piezocomposites with pseudo-random pillars[J]. IEEE Trans. Ultras. Ferro. and Freq. Control, 2012, 59: 2312-2321.



YY/T 1668—2019

版权专有 侵权必究

*

书号: 155066 · 2-34355

定价: 24.00 元