

用于眼球测量的聚焦超声换能器 声学参量测量方法的研究*

袁易全 管泓

(东南大学 南京·210018)

脉冲时域测试系统是一种新颖的宽带测试系统,对高频(例如7.5MHz以上)测试尤其适用。通过计算机对脉冲响应的富氏变换,而自动获取换能器的宽频带参数,这种方法速度快、频带宽、功能多及操作简易。本文通过对一种用于眼球测量的8.3MHz聚焦超声换能器(进口仪器配套件),用连续波与脉冲波两种测量方法,校正若干主要声学参量。结果表明:二者的接收频响特性相当吻合。

1 前言

自动脉冲时域高频测量系统是近10年发展起来的一种新颖宽带测试系统^{[1][2]}。它利用阶跃脉冲信号激励被测换能器电声等效网络,通过计算机控制和数字取样系统,测出脉冲响应,并利用计算机进行富利叶分析,把时域 $f(t)$ 变换成频域 $F(f)$,从而得到宽频带复数网络参数以及派生出其它参数。

随着国内外生物医学超声技术及超声无损检测技术迅速发展(例如高频A超角膜测厚仪及超高频相控超声成像系统),对换能器研制和参数测量校正,提出了更高的要求。例如,7.5MHz以上高频换能器,如何进行正确有效测量,以获得它的收发灵敏度、幅相频响特性、带宽、应电压响应及空间指向特性等。还有该高频段超声波的其它派生参数,如流体、固体介质中的声学物理参数。显然,对7.5MHz以上高频超声频段,企图采用低频常规的“频域法”进行以上换能器诸参数测量,不仅费时费力,且无法获得精确

计测要求。当前,国内外同行专家推荐的一种时域自易法^[3-4],是解决这一难题的有效途径。

本文采用时域自易法,对用于测定眼球直径,频率为8.3MHz的超声聚焦换能器,进行了若干声场参数测量,并同时与常规频域连续波测量法进行了数据对比。实验表明:两种方法测量的声学参数较吻合。由此证明,时域自易法不仅具有较高的测量精度,而且方法简便迅速,易于实现计算机自动测量和校正。

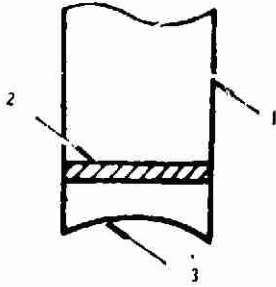
2 8.3MHz聚焦换能器的结构

中心频率为8.3MHz的超声聚焦换能器结构如图1所示。图1(b)所示的这种结构形式最早是文献[5]提出来的。其中关键组成部分——声透镜的曲率是根据被测介质的特性声阻抗(例如测眼球介质的声阻抗接近

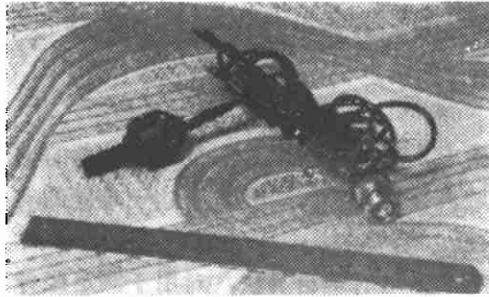
* 本文得到南京大学国家级近代声学实验室项目资助。

收稿日期:94-6-8

于水)及声透镜介质本身的声阻抗所决定,聚焦点范围与测距范围应该一致。



(a)聚焦原理示意图(1—外壳; 2—压电晶片; 3—声透镜)



(b)换能器外形照片

图1 用于眼球直径测量的8.3MHz聚焦换能器

3 脉冲超声自动时域测试系统组成

脉冲时域法测量系统的组成如图2所示。其工作过程如下:将一个阶跃脉冲信号加到聚焦超声换能器上,声脉冲信号经过介质的传播,声场聚焦打到硬障板(即钢板)上,并被障板面反射回来,重新为换能器所接收。在换能器输出端感应得接收电信号,输入微机,进行计算机数据处理,即可获得脉冲电压时间波形,再经FFT变换就可获得换能器的频谱特性,包括带宽等声学参量。测量时,机械传动系统能够自行调整和搜索,找到被测换能器声轴与钢板相垂直的空间位置,并记录下空间坐标和距离。

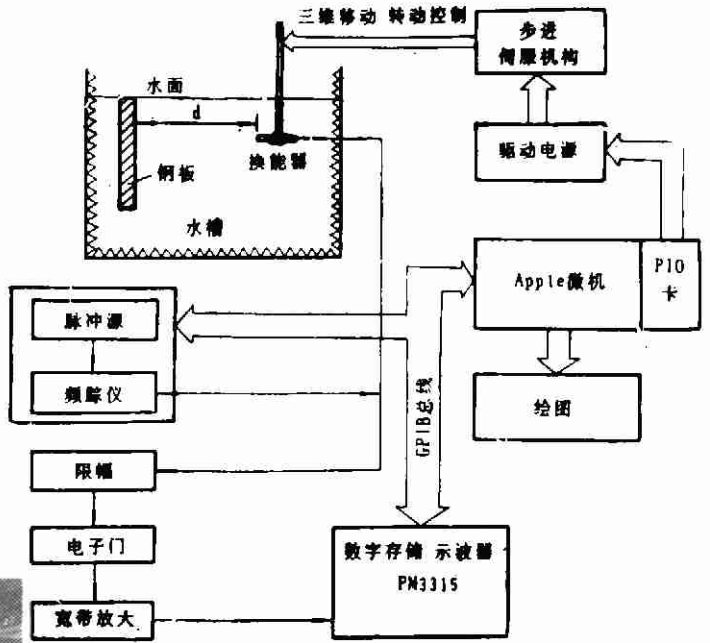


图2 脉冲时域法测量系统框图

4 换能器“频域法”连续波测量结果

在进行脉冲“时域法”校正前,本文作者进行了“频域法”测量,以便获得对比数据。

在连续波测量时,框图基本上与图2相同;仅在钢板位置用一只PVDF标准水听器代替^[5]。在标准水听器输出端连接接收宽带放大器和矢量电压表,并把输出再馈送给微机处理。在测试时,首先由函数发生器选择7MHz(10V)档,作为输出激励信号,并通过转接盒,加到8.3MHz的聚焦换能器上。由换能器发射超声波,经过水中传播后被PVDF标准水听器接收。为了获得最大接收响应,可控制步进驱动电源开关,移动超声换能器位置直到输出的接收响应最大为止。本实验共设置了两个距离,即2cm及4cm,获得了两组完整的实验数据。在测量位置大致固定后,应细调换能器的空间坐标和方位,使矢量电压表指示值最大,改变矢量电压表的衰减档数,并确保锁定状态。由微机通过微调函数发生器发射连续波电压,激励被测

换能器，并相应获取接收响应电压值。微机控制函数发生器，是从3MHz变化到12MHz，依次进行扫频激励。矢量电压表值和函数发生器的数值同时送到微机中处理和绘图显示。见图3及图4。

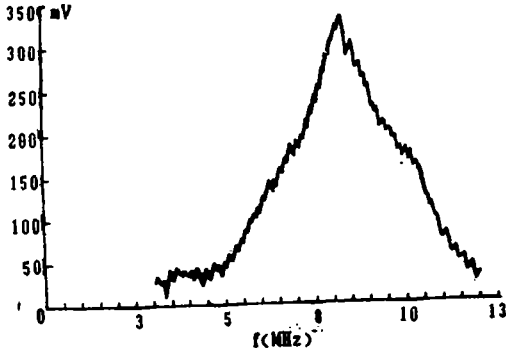


图3 d = 2cm时，换能器归一化接收幅频特性

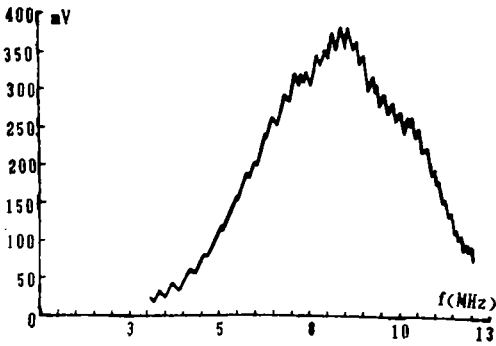


图4 d = 4cm时，换能器归一化接收幅频特性

因为测量时发射电压的幅频响应有起伏，如图5所示，故测得的响应特性必须经过修正。图6即为在经过修正的激励电压下，(即折算成恒定电压条件下)换能器与水听器距离为d = 4cm时，换能器真实幅频接收特性。其中心频率为8.3MHz，频带内-3dB的带宽为2.6MHz。

5 脉冲时域法测试结果

脉冲时域法的测试系统图3已作了详细介绍。在校正测量时，换能器与反射钢板间距离分别为3cm、4cm、5cm及6cm。每种距离测量时，其余条件相同。即测量时脉冲

激励电压波形如图7所示。发射脉冲电压幅度最大为50V，重复频率f = 10kHz，脉宽为50ns，衰减-20dB时测量换能器接收波形。

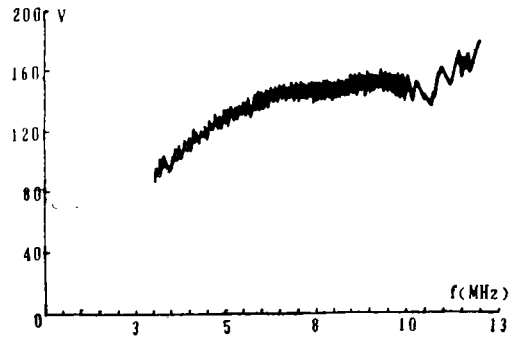


图5 激励电压频响变化特性

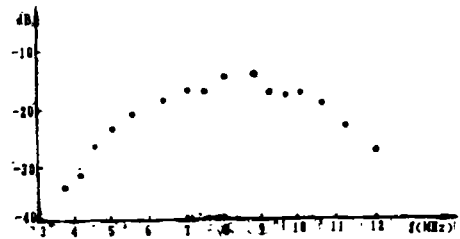


图6 换能器的幅频接收特性

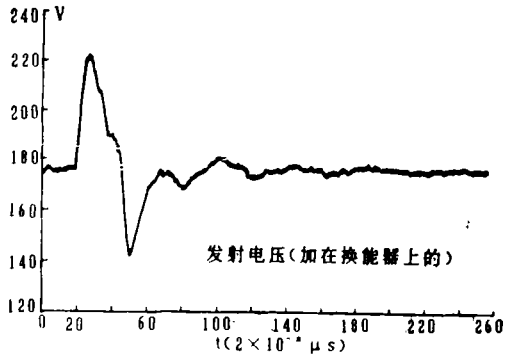


图7 激励脉冲电压波形

本文实验表明：聚焦换能器在以上4种位置状态条件下，所测到的时域应电压波形特征完全相同，即约3个周期，如图8所示。但在同一驱动脉冲电压下，4种接收回波幅度有明显差别，如表1所示，粗略考虑到8.3MHz频率下超声波衰减所带来的修正，聚焦换能器的-3dB焦深区间约在3cm至5cm空间距离范围内。选择最佳焦深距离

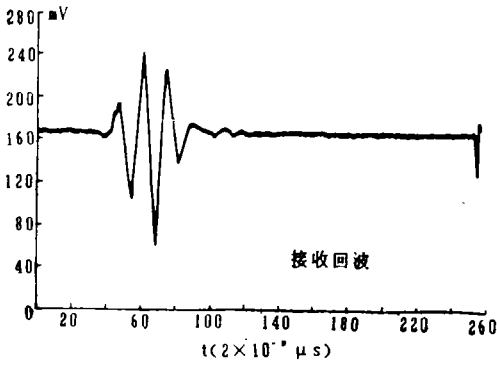


图8 脉冲激励下换能器接收波形图
 $d = 4\text{cm}$ 作比较, 即将 $d = 4\text{cm}$ 测得的如图8时间波形, 经FFT变换, 可获得如图9的对称双频谱特性图。再将图9的横坐标展宽, 可得到如图10所示的接收灵敏度频响相对辐射图。

表1 在同一激励电压值时, 4个状态的回波幅值表

选择距离(cm)	3	4	5	6
接收电压幅值(V)	0.095	0.0725	0.055	0.0425

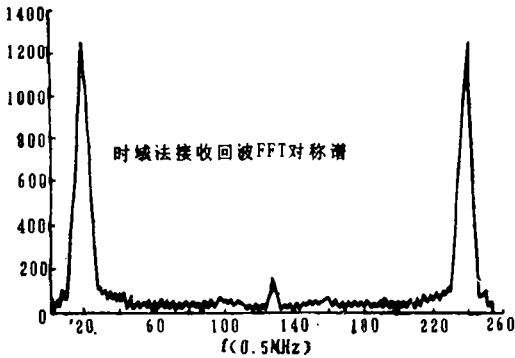


图9 聚焦换能器对称接收频谱图

比较图4与图10不难发现: 用连续波测得的频响图(图4)与用脉冲时域法测得的频响图非常接近。可见, 脉冲时域法作为一种

新颖的测试方法, 确实是非常简便而有效的方法。

本文得到南京大学声学所林靖波高工及王敏岐研究生在测量实验工作方面的支持及东南大学韦余红、王向阳研究生在数据整理等方面的工作协助, 在此一并表示衷心感谢。

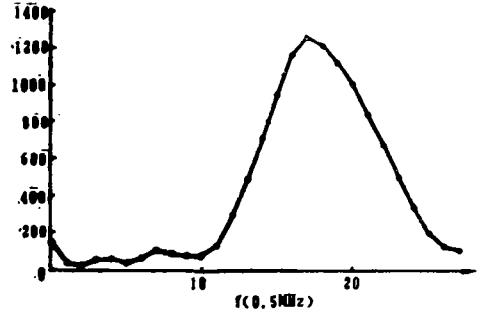


图10 $d = 4\text{cm}$, 8.3MHz 聚焦换能器真实接收幅频特性图(中心频率 8.3MHz , -3dB 带宽为 2.5MHz)

参考文献

- 1 R.A.Smith, D.R.Bacan. A multiple-frequency hydrophone calibration technique. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1990, 87(5):2231~2243.
- 2 林靖波, 水永安, 邓明晰. 脉冲超声自动时域测试系统. 全国声学学术会议, 上海, 1988
- 3 G.R.Harris, Review of Transient field theory for a baffled planar piston *J. A. S. A.*, 1981, 70(1):10~20
- 4 Ven. J. Keppeluan. Calibration of underwater sound transducers in the frequency range 75kHz to 2MHz. *Acoustica*, 1971, 25.
- 5 袁易全. 超声换能器, 南京大学出版社, 1992年9月。