

A 类超声诊断与超声特性综合实验

【引言】

超声学是声学的一个分支，它主要研究超声的产生方法和探测技术、超声在介质中的传播规律、超声与物质的相互作用，包括在微观尺度的相互作用以及超声的众多应用。超声的用途可分为两大类，一类是利用它的能量来改变材料的某些状态，为此需要产生比较大能量的超声，这类用途的超声通常称为功率超声，如超声加湿、超声清洗、超声焊接、超声手术刀、超声马达等等；另一类是利用它来采集信息，超声波测试分析包括对材料和工件进行检验和测量，由于检测的对象和目的不同，具体的技术和措施也是不同的，因而产生了名称各异的超声检测项目，如超声测厚、超声发射、超声测硬度、测应力、测金属材料的晶粒度及超声探伤等。

【实验目的】

1. 了解超声波产生和发射的机理；
2. 测量水中声速或测量水层厚度；
3. 测量固体中声速；
4. 超声定位诊断实验；
5. 测试超声实验仪器对于铝合金材料的分辨力；
6. 利用脉冲反射法进行超声无损探伤实验。

【实验原理】

超声波是指频率高于 20KHz 的声波，与电磁波不同，它是弹性机械波，不论材料的导电性、导磁性、导热性、导光性如何，只要是弹性材料，它都可以传播进去，并且它的传播与材料的弹性有关，如果弹性材料发生变化，超声波的传播就会受到干扰，根据这个扰动，就可了解材料的弹性或弹性变化的特征，这样超声就可以很好地检测到材料特别是材料内部的信息，对某些其它辐射能量不能穿透的材料，超声更显示出了这方面的实用性。与 X 射线、 γ 射线相比，超声的穿透本领并不优越，但由于它对人体的伤害较小，使得它的应用仍然很广泛。

产生超声波的方法有很多种，如热学法、力学法、静电法、电磁法、磁致伸缩法、激光法以及压电法等等，但应用得最普遍的方法是压电法。压电效应：某些介电体在机械压力的

作用下会发生形变,使得介电体内正负电荷中心相对位移以致介电体两端表面出现符号相反的束缚电荷,其电荷密度与压力成正比,这种由“压力”产生“电”的现象称为正压电效应;反之,如果将具有压电效应的介电体置于外电场中,电场会使介质内部正负电荷中心位移,从而导致介电体发生形变,这种由“电”产生“机械形变”的现象称为逆压电效应,逆压电效应只产生于介电体,形变与外电场呈线性关系,且随外电场反向而改变符号。压电体的正压电效应与逆压电效应统称为压电效应。如果对具有压电效应的材料施加交变电压,那么它在交变电场的作用下将发生交替的压缩和拉伸形变,由此而产生了振动,并且振动的频率与所施加的交变电压的频率相同,若所施加的电频率在超声波频率范围内,则所产生的振动是超声频的振动,若把这种振动耦合到弹性介质中去,那么在弹性介质中传播的波即为超声波,这利用的是逆压电效应。若利用正压电效应,可将超声能转变成电能,这样就可实现超声波的接收。

超声探头:把其它形式的能量转换为声能的器件,亦称为超声波换能器。在超声波分析测试中常用的换能器既能发射声波,又能接收声波,称之为可逆探头。在实际应用中要根据需要使用不同类型的探头,主要有:直探头,斜探头,水浸式聚焦探头,轮式探头,微型表面波探头,双晶片探头及其它型式的组合探头等。本实验仪器采用的是直探头。

超声波的分类。按振动质点与波传播方向的关系可分为纵波和横波:当介质中质点振动方向与超声波的传播方向平行时,称为纵波;当介质中质点振动方向与超声波传播方向垂直时,称为横波。按波阵面的形状可分为球面波和平面波。按发射超声的类型可分为连续波和脉冲波。本实验仪器直探头发出来的是纵波、平面波、脉冲波,脉冲频率为 2.5MHz。

超声的衰减。超声在介质中传播时,其声强将随着距离的增加而减弱。衰减的原因主要有两类,一类是声束本身的扩散,使单位面积中的能量下降。另一类是由于介质的吸收,将声能转化为热能,而使声能减少。

超声波的反射。如果介质的声阻抗相差很大,比如说声波从固体传至固气界面或从液体传至液气界面时将产生全反射,因此可以认为声波难以从固体或液体中进入气体。

超声回波信号的显示方式。主要有幅度调制显示(A型)和亮度调制显示及两者的综合显示,其中亮度调制显示按调制方式的不同又可分为B型、C型、M型、P型等。A型显示是以回波幅度幅度的大小表示界面反射的强弱,即在荧光屏上以横坐标代表被测物体的深度,纵坐标代表回波脉冲的幅度,横坐标有时间或距离的标度,可借以确定产生回波的界面所处的深度。本实验仪器采用的显示方式即A型。

超声的生物效应、机械效应、温热效应、空化效应、化学效应等几种效应对人体组织有

一定的伤害作用，必须重视安全剂量。一般认为超声对人体的安全阈值为 100 mW/cm^2 。

本仪器小于 10 mW/cm^2 ，可安全使用。

● 医用 A 类超声

医用 A 类超声波是按时间顺序将信号转变为显示器上位置的不同来分析人体组织的位置、形态等。这项技术可用于人体腹腔内器官位置及厚度的测量与颅脑的占位性病变的分析诊断。如图 1 所示，超声波从探头发射，先后经过腹外壁，腹内壁，脏器外壁，脏器内壁， t 为探头所探测到的回波信号在示波器时间轴上所显示的时间，即超声波到达界面后又返回探头的时间。若已知声波在腹壁中的传播速度 u_1 、腹腔内的传播速度 u_2 与在脏器壁的传播速度 u_3 ，则可求得腹壁的厚度为：

$$d_1 = u_1(t_2 - t_1)/2 \tag{1}$$

脏器距腹内壁的距离为：

$$d_2 = u_2(t_3 - t_2)/2 \tag{2}$$

脏器的厚度为：

$$d_3 = u_3(t_4 - t_3)/2 \tag{3}$$

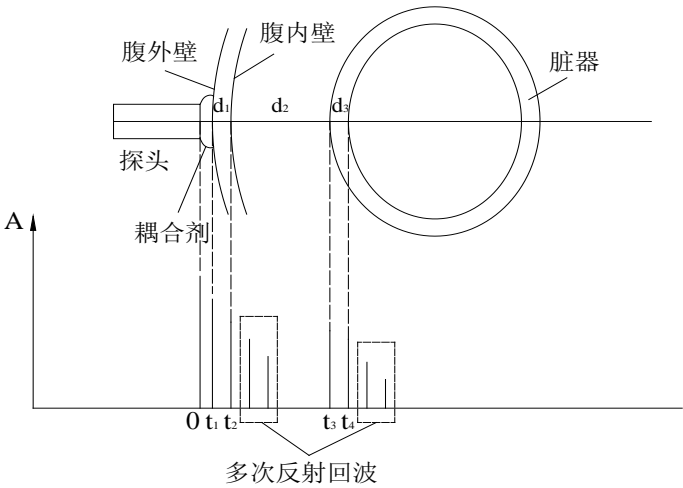


图 1 A 类超声诊断原理图

● 超声脉冲反射法探伤

对于有一定厚度的工件来说，若其中存在缺陷，则该缺陷处会反射一与工件底部声程不同的回波，一般称之为缺陷回波。如图 2 为一存在裂缝缺陷的工件。

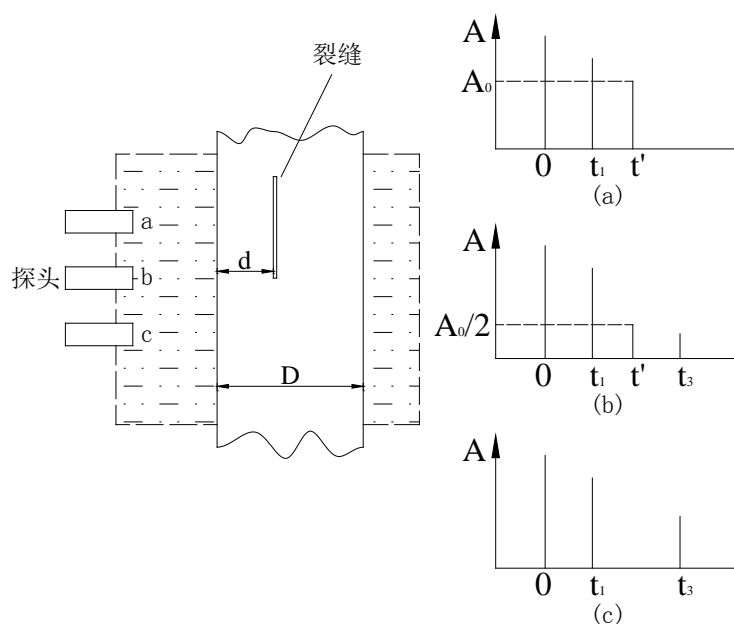


图 2 超声脉冲反射法探伤原理图

图 2 中 (a)、(b)、(c) 分别反映了同一超声探头在 a、b、c 三个不同位置时的反射情况。在位置 a 时，超声信号被缺陷完全反射，此时缺陷回波的高度为 A_0 ；在位置 c 时，该处不存在缺陷，回波完全由工件底面反射；而在位置 b 时，由于超声信号一半由缺陷反射，一半由工件底面反射，缺陷回波的高度降为 $A_0/2$ ，此处即为缺陷的边界——这种确定缺陷边界的方法称为半高波法。测量出工件的厚度 D ，分别记录工件表面、底面及缺陷处回波信号的时间 t_1 、 t_2 、 t' ，再利用半高波法，就可得到工件中缺陷的深度 d 及其位置。

超声探头本身的频率特征及脉冲信号源的性质等条件决定了超声波探伤具有时间上的分辨率，该分辨率反映在介质中即为区分距离不同的相邻两缺陷的能力，称为分辨力。能区分的两缺陷的距离愈小，分辨力就愈高。

【实验装置】

该实验主要由 FD-UDE-B 型 A 类超声诊断与超声特性综合实验仪主机、数字示波器（选配）、有机玻璃水箱、配件箱（样品架两个，横向导轨一个，横向滑块一个，铝合金、冕玻璃、有机玻璃样品按高度不同各两个，分辨力测试样块一个，探伤实验用工件样块一个等）组成。如图 3 所示：



图 3 A 类超声诊断与超声特性综合实验装置

其中实验主机面板如图 4 所示：

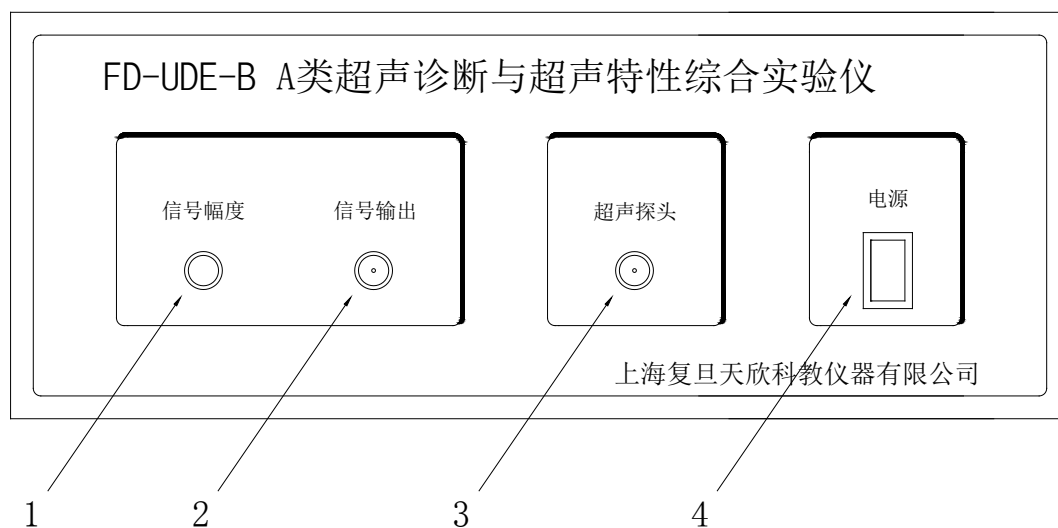


图 4 A 类超声诊断与超声特性综合实验仪主机面板示意图

1. 信号幅度：调节信号幅度的旋钮；
2. 信号输出：接示波器；
3. 超声探头：接超声探头；
4. 电源开关。

主机内部工作原理见下面框图：

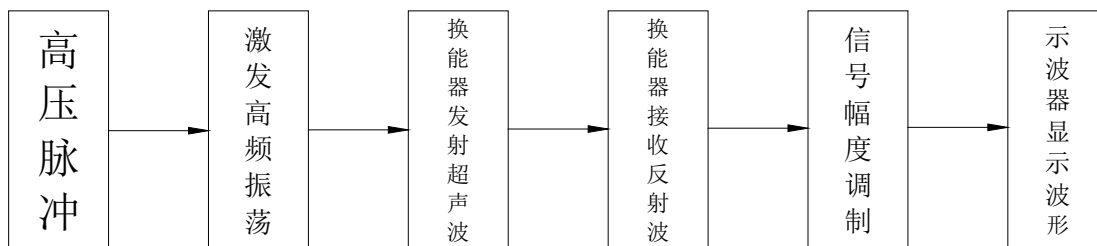


图 5 主机内部工作原理框图

仪器的工作原理：电路发出一个高速高压脉冲至换能器，这是一个幅度呈指数形式减小的脉冲。此脉冲信号有两个用途：一是作为被取样的对象，在幅度尚未变化时被取样处理后输入示波器形成始波脉冲；二是作为超声振动的振动源，即当此脉冲幅度变化到一定程度时，压电晶体将产生谐振，激发出频率等于谐振频率的超声波（本仪器采用的压电晶体的谐振频率点是 2.5MHz ）。第一次反射回来的超声波又被同一探头接收，此信号经处理后送入示波器形成第一回波，根据不同材料中超声波的衰减程度、不同界面超声波的反射率，还可能形成第二回波等多次回波。

【实验内容】

1. 准备工作：在有机玻璃水箱侧面装上超声波探头后注入清水，至超过探头位置 1cm 左右即可（所有。由于水是良好的耦合剂，下列实验均在水中进行。探头另一端与仪器“超声探头”相接。“信号输出”通过 Q9 线与示波器的 CH1 或 CH2 相连。示波器调至交流信号档，使用上升沿触发方式，并找到一适当的触发电平使波形稳定。
2. 将任一圆柱样品固定在样品架上，把样品架搁在导轨上并微调样品架使反射信号最大。移动样品架至水箱中的不同位置，测出每个位置下超声探头与样品第一反射面间超声波的传播时间，可每隔 2cm 测一个点，将结果作 $X - t/2$ 的线性拟合，根据拟合系数求出水中的声速，与理论值比较。注意实验时有时能看到水箱壁反射引起的回波，应该分辨出来并且舍弃之。
3. 测量样品中超声波传播的速度：将某种材料的圆柱样品固定在样品架上，把样品架搁在导轨上并微调样品架使反射信号最大。测出样品第一反射面的回波与第二反射面的回波

的时间差的一半 $\frac{t_2 - t_1}{2}$ ，量出样品长度 d ，算出速度。每种材料都有两个不同长度的样品，可分别对不同长度的样品进行多次测量并取平均值。

4. 模拟人体脏器进行超声定位诊断：使样品 1 与探头相隔一小段距离，作为腹壁，样品 2 与样品 1 相隔一定距离，作为内脏，这样便形成了与图 1 相似的探测环境，从而模拟超声定位诊断测量环境。测量中要注意鉴别超声波在样品间或样品内部多次反射形成的回波。（由于有机玻璃对超声波衰减较大，样品宜采用冕玻璃或铝合金）

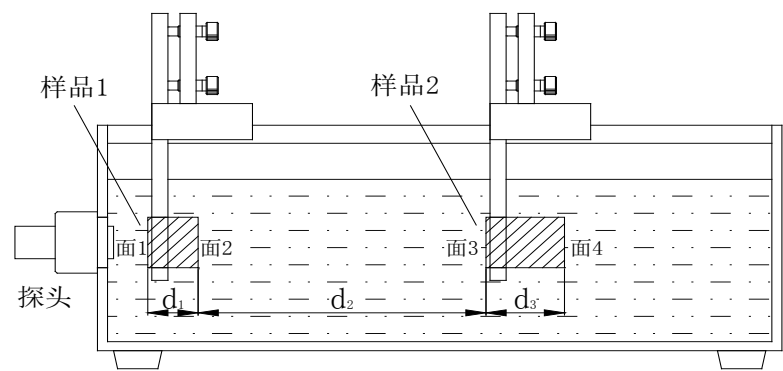


图 6 超声定位诊断模拟实验的装置图

5. 分辨力测量实验：实验中，将分辨力样块通过两个手拧螺丝固定在横向滑块的底部，搁置在横向导轨的中间位置，使超声探头能够透过样块前表面探测到后表面中间台阶左右不同声程的信号。

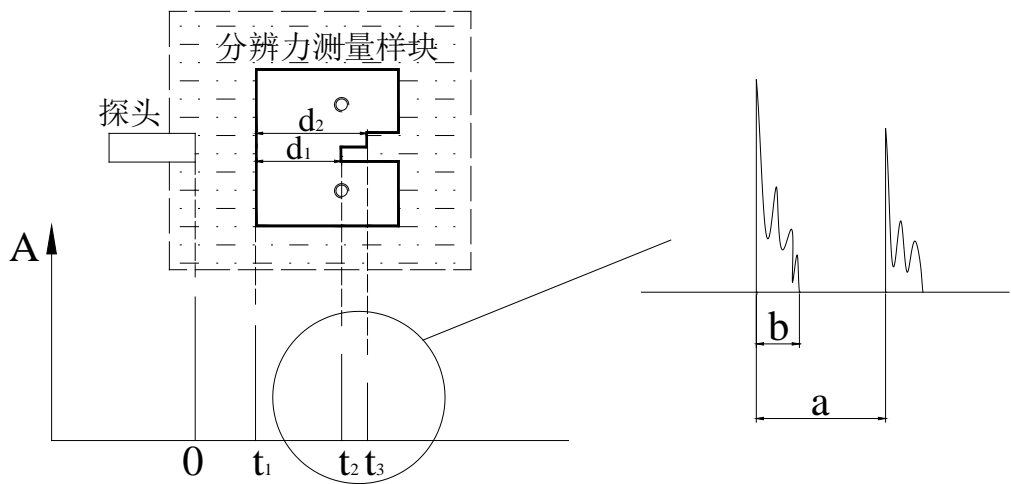


图 7 测量超声实验仪器对于铝合金材料的分辨力

如图 7，测量出 d_1 、 d_2 的距离，从示波器上读出 a 和 b 的宽度，代入公式：

$$F = (d_2 - d_1) \frac{b}{a} \tag{4}$$

即可计算出仪器对于该种介质的分辨力 F 。

6. 超声脉冲反射法探伤：

配件箱中提供了一块铝合金工件样块，样块中有不同深度的两条细缝，配合横向滑块与导轨，可用于进行超声探伤测量。（计算公式请同学自行推导）

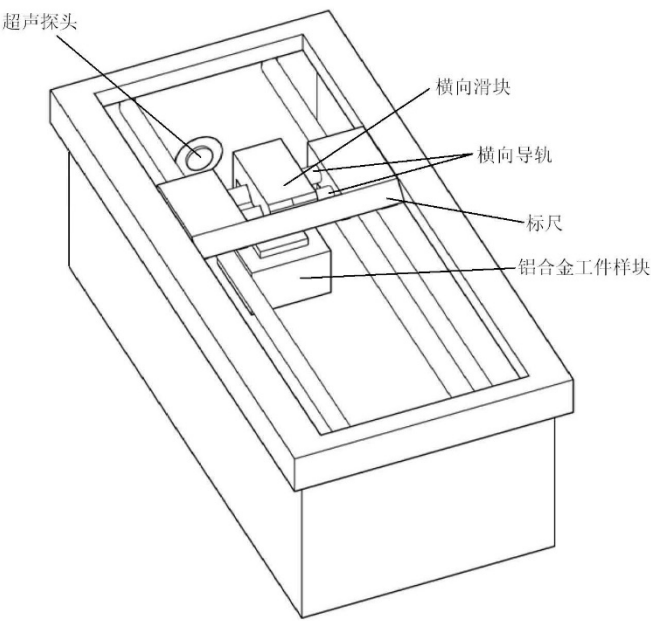


图 8 超声脉冲反射法探伤实验装置图

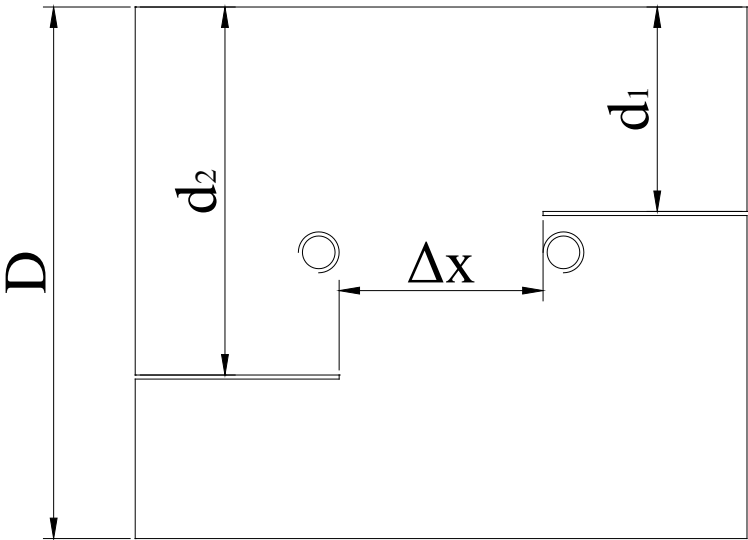


图 9 铝合金工件样块

【参考文献】

- 1、 范毅明, 范世忠, 李祥杰. 医用 B 超仪与超声多普勒系统. 上海: 第二军医大学出版社, 1999. 9
- 2、 应崇福主编. 超声学. 北京: 科学出版社, 1990
- 3、 郑中兴, 腾永平编. 超声检测技术. 北京: 北方交通大学, 1998
- 4、 陈泽民主编. 近代物理与高新技术物理基础. 北京: 清华大学出版社, 2001