

用 A 型超声实验仪测量超声声速

频率大于 20000 Hz 的机械波称为超声波。超声波除具有声波的一切性质外，还具有方向性好、强度大、深层反射波（亦称回波）易探测等特性。超声波与物质相互作用时，可产生机械效应、热效应、空化效应等。1917 年，法国物理学家朗之万研制出超声发射器，当时被用来发现漂浮在海洋中的冰山，探测海中鱼群位置、海底深度等；1938 年法国首先将超声波用于医学治疗；1942 年开始用于工业，如测量工件的厚度、应力及探查金属制品内部的缺陷（缝隙、气泡等）；1946 年超声脉冲回声技术开始用于医学诊断。目前，用于诊断的仪器有 A 超、B 超、彩色多普勒超声等。超声诊断类仪器的基本原理是，通过采集和在荧光屏上显示超声波透入人体后的回波信号的位置及幅度（或转变为辉度）大小来分析病变组织的位置、形态及性质。回波信号以幅度显示的仪器称为 A 类（或 A 型）超声仪，回波信号以辉度显示的仪器称为 B 型超声仪。

本实验要求学生了解超声波的产生、发射和接收的基本原理；了解超声波的性质及生物效应；掌握用 A 型超声实验仪测量声速的原理及方法；掌握超声探伤（诊断）的物理基础。

一、实验原理

（一）超声波的产生与接收

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，但应用最普遍的是压电法。压电法采用了压电式换能器，也称为探头，它是应用某些晶体的压电效应制成的。所谓（正）压电效应是指压电晶片相对的两个表面受到压力或拉力其厚度发生变化时，晶片两表面上出现等量异号电荷的现象。在一定范围内，受力越大产生的电荷越多，当晶片受到变化的压力和拉力交替作用时，晶片两表面之间产生同样规律的电压变化；反之，当晶体两表面间加上交变的电压时，晶片的厚度将视电场的方向而变化，这种现象称为逆压电效应。如果对压电晶片施加频率大于 20000 Hz 的交变电压（由高频振荡器产生），那么在交变电场的作用下，压电晶片将发生同频率的压缩和拉伸形变，即产生超声频振动，该振动在弹性媒质中的传播即形成超声波。若利用正压电效应，可将超声能转变成电能，这样就可实现媒质中超声波的探测。

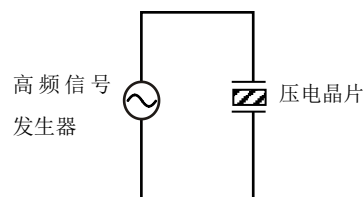


图 1 超声波的产生

将压电晶片相对的两个表面镀上薄银层，焊上导线作为电极，就构成了一个简单的探头，既可以发射超声波，又可以接收超声波。

（二）超声波的反射

超声波在传播过程中，若遇到两种声阻抗不同的媒质界面时，发生反射和折射。理论证明，在垂直入射的条件下，反射波强度与入射波强度有如下关系

$$I_r = \left(\frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \right)^2 I_i \quad (1)$$

式中 I_i 表示入射波强度， I_r 表示反射波强度， Z_1 、 Z_2 分别表示第一种媒质和第二种媒质的声阻抗。声阻抗 $Z = \rho C$ ， ρ 表示媒质密度， C 表示超声波在媒质中的传播速度。

由(1)式可知,当两种媒质声阻抗相差较大时,反射波强度较大,声阻抗接近时,反射波强度较弱。实际应用时,可根据超声探头接受到的反射波(回波)强度判断媒质的性质。

(三) 超声测厚度及声速

利用超声波测量媒质厚度或异物深度(探伤)时,通常是先通过探头将超声波经媒质界面反射的回波转变成高频电压,然后由电子学处理为相应的电脉冲信号并显示在示波器荧光屏上。根据媒质前后两个界面的回波信号出现的时间间隔 t 及媒质的声速 C ,就可以计算出媒质的厚度 x ,如图2所示。

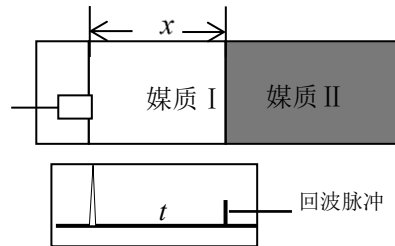


图2 媒质界面与回波脉冲信号

但需要注意的是,在前、后两个回波所对应的时间间隔内,超声波经历了入射和反射两个过程之后才被探头接收,所以

$$x = Ct/2 \quad (2)$$

若测出媒质厚度 x ,在示波器荧光屏上读出与媒质厚度对应的两回波脉冲的间隔时间 t ,就可计算出声速 C ,即

$$C = 2x/t \quad (3)$$

或者利用 x 与 t 的线性关系求出声速 C 。

超声的A型显示方式是以回波出现的位置表示界面的深度,回波幅度的大小表示界面反射的强弱。通常,以荧光屏上的横坐标(时间轴)表示深度,纵坐标表示回波脉冲的幅度。临床上使用的A型超声诊断仪,其横坐标的标度即体内界面的深度。

超声波作用于人体时,由于生物效应可能对人体组织造成伤害。一般认为超声对人体的安全强度阈值为 $100 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$,实验仪器超声强度小于 $10 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$,可安全使用。

二、实验装置及材料

本实验所用的主要装置有A类超声综合实验仪主机和示波器。此外,还配有有机玻璃水箱(其前面装超声探头1个)、样品架三个(可放置多个样品)、游标卡尺以及电缆两根。样品包括:有机玻璃、带缺陷的铝合金金属块等。

(一) 主机面板上按键、接线柱名称及连接

实验主机面板如图3所示,图中1所指为按键,是电源开关;图中2为超声信号幅度调节旋钮,用来调节超声信号的输出电压大小;图中3为超声信号输出插接柱,通过电缆线与水箱上的超声探头连接;图中4为超声回波信号输出插接柱,通过电缆线与示波器连接。

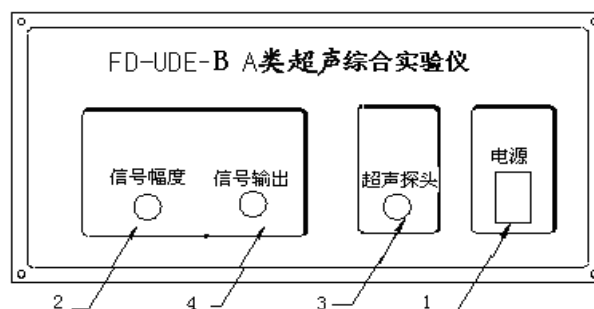


图3 A类超声实验仪主机面板示意图

(二) 主机工作原理

主机工作原理框图见图 4。以下介绍该仪器的工作原理。

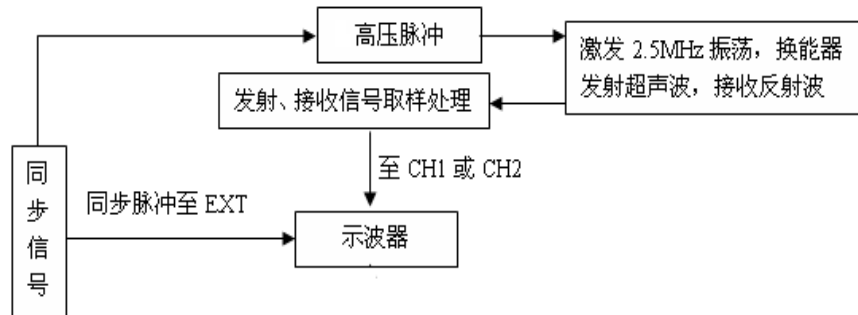


图 4 主机工作原理框图

主机内由单片机来控制同步脉冲信号与高频振荡信号的同步。在同步脉冲信号的上升沿，电路发出一个高频高压脉冲至压电换能器，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，然后输入示波器形成始波脉冲；二是作为超声波波源的控制信号，即当此脉冲幅度变化到一定程度时，压电换能器产生谐振，并在媒质中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是 2.5 MHz）。超声波遇到两种不同媒质的界面时将发生反射，第一次反射回来的超声波又被同一探头接收，此信号经放大、检波、整形处理后以脉冲形式输入示波器，在荧光屏上形成第一组回波，由于超声波在不同媒质中的衰减程度以及遇到不同媒质界面时的反射率不同，还有可能形成第二组回波或更多组回波。如图 5 所示。

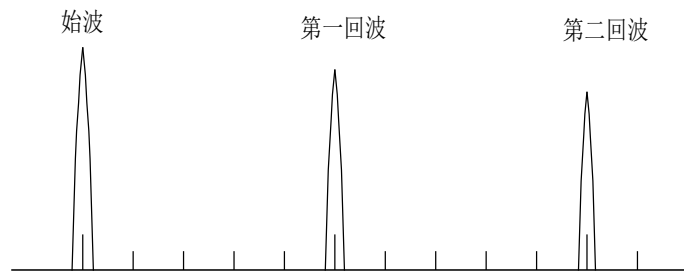


图 5 示波器上观察到的回波波形

由仪器工作原理可知，始波脉冲产生的时刻并非超声波发出的时刻，超声波发出的时刻约延迟 $0.5 \mu\text{s}$ ，所以实验时应根据实验内容选择回波进行时间测量，以减小实验误差。

三、实验前应回答的问题

1. 什么是压电效应及逆压电效应？超声波的发射与接收分别利用了哪种效应？
2. 若声强为 I_0 的超声波垂直入射到某个界面上，反射的超声波声强有多大？请用公式表示，并说明公式中符号的含义。
3. 简述 A 型超声测量声速的基本原理。
4. 超声波的传播速度与哪些因素有关？

四、实验内容

(一) 必做内容：水声速测定及金属材料探伤

1. 水声速测定

(1) 准备工作：首先把“信号幅度”调节选钮左旋至最小位置。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 1 cm 左右即可。用一根电缆线把探头与“超声探头”接线柱相接。用另一根电缆线把回波“信号输出”接线柱与示波器的 CH1 或 CH2

相连。

(2) 打开主机电源，指示灯亮，预热 3 分钟后把“信号幅度”调节旋钮右旋至适当位置，主机进入工作状态。打开示波器电源开关，并检查示波器的选钮、按钮是否置于正确位置。示波器预热 5 分钟。

(3) 取某样品放入样品架的圆孔中，并旋紧固定螺丝。将样品架放在水箱上面的轨道上，并观察样品的底面是否与水平面垂直，明显不垂直时少许调节样品架上方的螺钉，同时观察示波器光屏上的反射回波信号的大小，直到脉冲幅度最大为止，若幅度仍不够大，需再次调节主机面板上的“信号幅度”选钮。

(4) 移动样品架，使其在水箱中的不同位置，并测出探头表面与样品之间的垂直距离 x ，利用示波器测出每个位置下超声波的传播时间 t 。可每隔 2-5 cm 取一个点。

(5) 将实验数据作 $t-x$ 的线性拟合，根据拟合直线的斜率求水的声速，并与理论值比较。注意实验中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。

(6) 求水声速 C 的不确定度。

2. 金属材料探伤

(1) 实验仪主机与示波器的连接和设置同必做内容 1 中的 (1)、(2)、(3)；

(2) 把另一样品架放在水箱轨道上，把内部有缺陷的金属块通过挂钩挂在样品架上，此时金属块处于水中；

(3) 使金属中的缺陷位置与探头对应，测出金属块前表面回波与缺陷位置回波的时间间隔 t_1 ；

(4) 通过移动挂钩移动金属块，使探头对准无缺陷位置，测出金属块前表面回波与后表面回波的时间间隔 t_2 ；

(5) 用游标卡尺测出样品的总长度 D ，根据公式 $x = \frac{t_1}{t_2} D$ 算出缺陷位置。

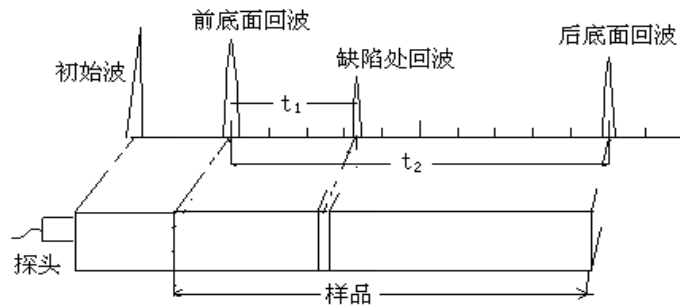


图 6 超声探伤示意图

(6) 根据上述测量，粗略计算超声在该金属中传播的声速。

注意：①由于市售样品常为合金材料（如合金铝），所测值可能与纯材料（如纯铝）的标称值有较大偏差。

注意事项：

1. 注意不要将超声波探头及示波器探头插错（超声探头连接的 Q9 插座输出为 300 V 以上的高压），否则会损坏示波器的外触发电路。
2. 超声探头处有 380 V 高压，严禁拔出探头。

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[M]. 上海: 第二军医大学出版社, 1999
2. 应崇福主编. 超声学[M]. 北京: 科学出版社, 1990
3. 郑中兴, 腾永平编. 超声检测技术[M]. 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[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001
5. 复旦天欣科教仪器有限公司, FD-UDE-B 型 A 类超声实验仪使用说明书, 2009

附录 1

一些材料在室温下的声速 (频率为 1 MHz 时)

材料	纵波波速 $C_L (10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$	横波波速 $C_S (10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$
铁	5.85	3.23
铝	6.26	3.08
铜	4.70	2.26
冕玻璃	5.66	3.42
有机玻璃	2.7	1.1

注: 具体材料成分不同, 声速也有所不同, 以上数据仅供参考。