

# 超声波在固体中的传输 实验报告

姓名：吴晨聪 学号：2022010311 实验日期：2024年4月9日 实验台号：9

## 一. 实验目的

- 掌握超声波在固体中传播时的波速测量方法；
- 观察超声波不同波型的转换及表面波；
- 了解超声波探测的原理及应用。

## 二. 实验仪器

- JDUT-2B 超声波试验仪
- 超声波探头（直探头、斜探头、可变探头）
- TBS 1102B-EDU 示波器
- 固体声速铝块试样

## 三. 数据处理

### 1. 声速测量（纵波、横波）

表1 超声波纵波波速测量

波型	衰减分贝 (dB)	示波器时间 分度值 M(μs/div)	第 1 回波峰位 t1 (μs)	第 2 回波峰位 t2 (μs)	高度/半径 (mm)
纵波	82	10	0.4	19.6	H = 60

把数据带入公式 $c_l = \frac{2l}{t_2 - t_1}$ 可以得出纵波波速：

$$c_l = \frac{2H}{t_2 - t_1} = \frac{2 \times 60mm}{(19.6 - 0.4)\mu s} = 6.25 \times 10^3 m/s$$

表2 超声波横波波速测量

波型	衰减分贝 (dB)	示波器时间 分度值 M(μs/div)	第 1 回波峰位 t1 (μs)	第 2 回波峰位 t2 (μs)	高度/半径 (mm)
横波	70	10	27.2	46.4	R <sub>1</sub> = 30 R <sub>2</sub> = 60

把数据带入公式 $c_l = \frac{2l}{t_2 - t_1}$ 可以得出横波波速：

$$c_s = \frac{2(R_2 - R_1)}{t_{R_1} - t_{R_2}} = \frac{2 \times 30mm}{46.4 - 27.2\mu s} = 3.125 \times 10^3 m/s$$

计算试样块的杨氏模量和泊松系数：

速度比值为：

$$T = \frac{c_l}{c_s} = \frac{6250}{3125} = 2$$

杨氏模量为：

$$E = \frac{\rho c_s^2 (3T^2 - 4)}{T^2 - 1} = \frac{2700 \text{kg/m}^3 \times (3.125 \times 10^3 \text{m/s})^2 \times (3 \times 2^2 - 4)}{2^2 - 1} = 7.2 \times 10^{10} \text{Pa}$$

泊松系数为：

$$\sigma = \frac{T^2 - 2}{2(T^2 - 1)} = \frac{2^2 - 2}{2 \times (2^2 - 1)} = 0.33$$

2. 波型转换观察及表面波测量：

表 3 固定法测量表面波波速

方法	衰减分贝 (dB)	示波器时间 分度值 M(μs/div)	第 1 回波峰位 t1 (μs)	第 2 回波峰位 t2 (μs)	距离 (mm)
固定法	45	10	30.8	72.4	L <sub>EG</sub> = 60

把数据带入公式 $c_l = \frac{2l}{t_2 - t_1}$ 可以得出表面波波速：

$$c_R = \frac{2L_{EG}}{t_2 - t_1} = \frac{2 \times 60 \text{mm}}{72.4 \mu\text{s} - 30.8 \mu\text{s}} = 2884 \text{m/s}$$

表 4 移动法测量表面波波速

方法	衰减分贝 (dB)	示波器时间 分度值 M(μs/div)	第 1 回波峰位 t1 (μs)	第 2 回波峰位 t2 (μs)	距离 (mm)
移动法	45	10	60.8	103.2	L <sub>EI</sub> = 62.5

把数据带入公式 $c_l = \frac{2l}{t_2 - t_1}$ 可以得出表面波波速：

$$c_R = \frac{2L_{EI}}{t_2 - t_1} = \frac{2 \times 62.5 \text{mm}}{103.2 \mu\text{s} - 60.8 \mu\text{s}} = 2948 \text{m/s}$$

两种方法对比，移动法测量更加准确。

固定法在本次实验中，由于无法准确确定声波入射到表面的位置E，因此E的位置需要人工估算，这带来了较大的误差；其次移动法所得L<sub>EI</sub>长度为差值，可以减掉舍入误差，因此在

位置读取上更加准确。

2. 超声波探测缺陷：

表5 超声波探测缺陷——直探头

$x_0(mm)$	$x_1(mm)$	$x_2(mm)$	缺陷回波幅 值 $U_{max}$ (V)	通孔 B 距测试面 距离 $H_B$ (mm)	缺陷回波 峰位 ( $t_1/\mu s$ )	底面回波 峰位 ( $t_2/\mu s$ )
50.0	46.0	54.0	1.74	50	15.6	19.6

直探头的扩散角：

$$\theta = 2 \tan^{-1} \frac{x_2 - x_1}{2H_B} = 2 \tan^{-1} \frac{(54 - 46)mm}{2 \times 50mm} = 9.15^\circ$$

直探头探测缺陷深度：

$$H_C = H_B \times (1 - \frac{t_C - t_1}{t_H - t_1}) = 60mm \times (1 - \frac{15.6\mu s}{19.6\mu s}) = 12.5mm$$

表6 超声波探测缺陷——斜探头

$x_A(mm)$	$x_{A1}(mm)$	$x_{A2}(mm)$	$x_A(mm)$	$t_A(\mu s)$	$x_B(mm)$	$t_B(\mu s)$	$x_D(mm)$	$t_D(\mu s)$
30	88	58	31	25.6	84.0	50.4	111.2	34.0

斜探头折射角：

$$\beta = \tan^{-1} \frac{(x_B - x_A) - (L_B - L_A)}{H_B - H_A} = \tan^{-1} \frac{(88 - 30.0) - (50 - 20)}{50 - 20} = 43.1^\circ$$

斜探头扩散角：

$$\theta = 2 \tan^{-1} (\frac{x_2 - x_1}{2L} \cos^2 \beta) = 6.71^\circ$$

缺陷 D 的位置：

$$H_D = \frac{t_D(H_B - H_A) - (H_B t_A - H_A t_B)}{t_B - t_A} = 30.16mm$$
$$x_0 = \frac{H_A(x_B - L_B) - H_B(x_A - L_A)}{H_B - H_A} = 1.14mm$$
$$L_D = (x_D + x_0) - H_D \tan \beta = 96.94mm$$

所以， $H_D = 30.16mm$ ， $L_D = 96.94mm$ 。

## 四. 实验总结

1. 测量前要调好衰减分贝，否则容易将干扰信号作为测量对象。
2. 测量时要移动探头，找到信号最大幅度位置，提高测量准确性。
3. 测量斜探头扩散角度时，要注意避免将试样边缘产生的回波信号当做缺陷的回波信号。

## 五. 原始数据记录

2024 春物理实验 B(2)课程资料

附录 2 实验测量数据记录参考表格

实验题目: 超声波在固体中的传播

姓名: 吴晨晓, 学号 2022010311, 实验组号: 第三组 K, 实验台号: 9, 实验日期: 2024年4月10日

1. 声速测量 (纵波、横波)

波型	衰减分贝 (dB)	示波器时间分度值 $M(\mu\text{s}/\text{div})$	第 1 回波峰位 $t_1(\mu\text{s})$	第 2 回波峰位 $t_2(\mu\text{s})$	高度/半径 (mm)	声速 (m/s)
纵波	82	10	0.4	19.6	$H=60$	$c_p=6250$
横波	70	10	27.2	46.40	$R_1=30$ $R_2=60$	$c_s=3125$

试样 (铝) 密度:  $\rho=2700\text{kg}/\text{m}^3$       速度比值:  $T=\frac{c_s}{c_p}=2$

弹性模量:  $E=\frac{\rho c_p^2(3T^2-4)}{T^2-1}=7.2\times 10^{10}\text{Pa}$       泊松系数:  $\sigma=\frac{T^2-2}{2(T^2-1)}=0.33$

2. 波型转换观察及表面波测量

回波信号幅度、峰位随入射角的变化现象:

$\theta=0$  时, 所有波都会显示.

$\theta$  增至  $25^\circ$  左右时, 纵波回波峰位右移, 大于  $25^\circ$  时峰位跳变.

$\theta$  增至  $65^\circ$  左右时, 表面波回波信号出现.

表面波波速:

方法	衰减分贝 (dB)	示波器时间分度值 $M(\mu\text{s}/\text{div})$	起始波第 1 回波峰位 $t_1(\mu\text{s})$	第 2 回波峰位 $t_2(\mu\text{s})$	距离 (mm)	声速 $c_R$ (m/s)
固定法	45	10	30.8	72.4	$L_{RG}=60$	2884
移动法	45	10	60.8	103.2	$L_{EF}=62.5$	2948

3. 超声波探测缺陷

直探头——

衰减: 82 dB, 示波器: 时间分度值  $M=10\mu\text{s}/\text{div}$ , 幅度分度值  $500\text{mV}/\text{div}$

探头相对位置			缺陷回波幅值 $U_{\text{max}}(\text{V})$	通孔 B 距测试面距离 $H_0(\text{mm})$	扩散角 $\theta(^{\circ})$	缺陷回波峰位 $t_1(\mu\text{s})$	底面回波峰位 $t_2(\mu\text{s})$	竖孔 C 深度 (mm)
$x_0$	$x_1$	$x_2$						
50	46	54	1.74	50	9.15	15.6	19.6	12.5

45° 斜探头——

衰减  $60\text{dB}$ , 时间分度值  $M=10\mu\text{s}/\text{div}$ , 幅度分度值  $500\text{mV}/\text{div}$

扩散角测量及缺陷 D 的定位测量数据表格自拟.

$x_A(\text{mm})$	$x_B(\text{mm})$	$S(\text{mm})$	$\beta(^{\circ})$	$H_0(\text{mm})$	$x_A(\text{mm})$	$x_B(\text{mm})$	$\theta(^{\circ})$	$x_D(\text{mm})$	$t_0(\mu\text{s})$	$t_1(\mu\text{s})$	$H_0(\text{mm})$	$L_0(\text{mm})$
30	88	58	43.1	50	81	72.6	71.1	32.4	52.4	50.6	96.94	

张宸浩  
2024.04.10