

超声波探伤 实验报告

纪品全 202111998273

指导教师：陈巧妮

(北京师范大学 物理学系, 北京 100875)

摘要：通过本实验，了解固体中的弹性波及其传播规律，超声波产生和探测的原理.利用相关原理，对超声波波速进行测量.再根据超声波探伤原理，分别利用固体中不同种类的弹性波，对待测块铝块进行超声波探伤

超声波指频率高于 $2 \times 10^4 \text{Hz}$ 的声波，超声波探测具有穿透性深、灵敏度高、对探测物体没有破坏性、对操作者以及周围的设备和材料没有伤害和干扰等优点，适宜用于物体的无损检测与评价。

1 实验原理

1.1 超声波的产生和检测

产生：

对压电晶片两级施加电压脉冲，由于逆电压效应，晶片将发生弹性形变而产生弹性振荡，从而产生超声波波包。

检测：

超声波在材料内部传播时，与被检对象相互作用发生散射，散射波被同一压电换能器接收，由于正压电效应，振荡的晶片在两极产生振荡的电压，电压信号被放大后可以用示波器显示，检测。

超声波探头通过通过保护膜或斜楔向外发射超声波，分为直型和斜型两种.直探头产生纵波，斜探头产生横波或表面波，如图 1 所示。

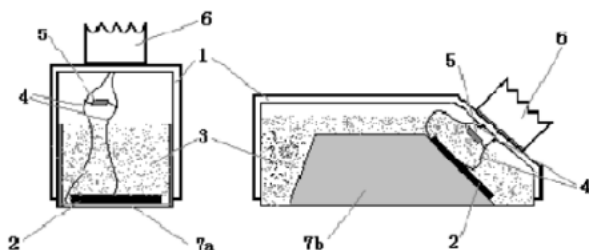


图 1 直探头（左）、斜探头（右）结构图

1. 外壳 2. 晶片 3. 吸收背衬 4. 电极接线 5. 匹配电感 6. 插头 7a. 保护膜 7b. 斜楔

1.2 超声波的振型及界面的反射和折射

超声波的折射、反射示意图如图(2)所示，

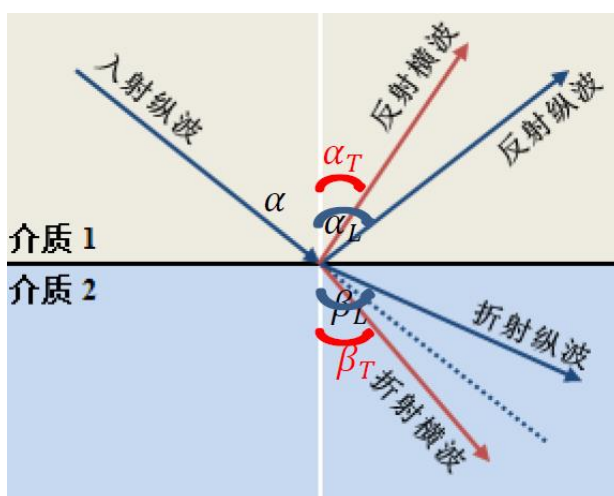


图 2 超声波在界面上的反射、折射和振型转换

根据斯涅尔定律，有：

$$\frac{\sin \alpha}{v} = \frac{\sin \alpha_1}{v_{1l}} = \frac{\sin \alpha_t}{v_{1t}} = \frac{\sin \beta_1}{v_{2l}} = \frac{\sin \beta_t}{v_{2t}} \quad (1)$$

存在入射临界角：

$$\alpha_{\max 1} = \arcsin \frac{v}{v_{2l}} \alpha_{\max 2} = \arcsin \frac{v}{v_{2t}} \quad (2)$$

当 $\alpha_{\max 1}$ 时，介质 2 中存在横波和纵波；

当 $\alpha_{\max 1} < \alpha < \alpha_{\max 2}$ ，只有横波；

当 $\alpha_{\max 2}$ 时，即无纵波，也无横波，会出现表面波。

1.3 通过光谱仪测量透过率和吸收率

进行缺陷定位时，首先找到缺陷反射回波最大的位置，然后测量缺陷反射回波对应的时间 t ，根据被测材料的声速 v 可以计算出缺陷到探头入射点的垂直深度 H 或水平距离 L 。在超声成像时，探头在试块顶部二维扫描，得到来自试块内部缺陷深

度的分布，再利用计算机进行图像重建，就可以得到试块内部缺陷的立体图像。

同时，由于衍射效应，实际超声波总有一定的发散性。

实验需要超声探头发射能量的指向性良好.根据衍射定律，可以得出：

$$\theta = 2 \arctan \frac{1.22\lambda}{D} \quad (3)$$

其中， θ 为探头的扩散角.波长越小，尺寸越大， θ 越小，指向性越好，定位精度越高.

直探头和斜探头的扩散角分别可表示为：

直探头：

$$\theta = 2 \arctan \frac{|x_1 - x_2|}{2H_B} \quad (4)$$

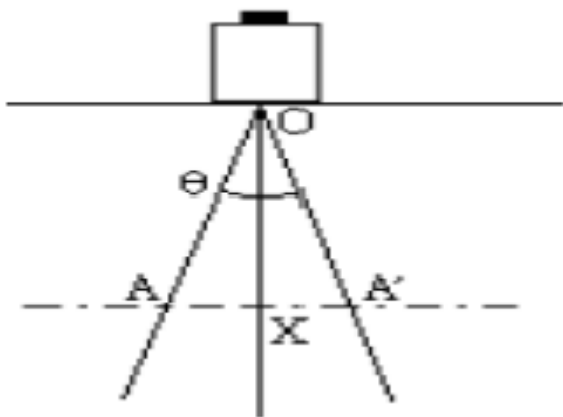


图3 直探头扩散角示意图

斜探头：

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{|x_1 - x_2|}{2H_B} \cos^2 \beta \right) \quad (5)$$

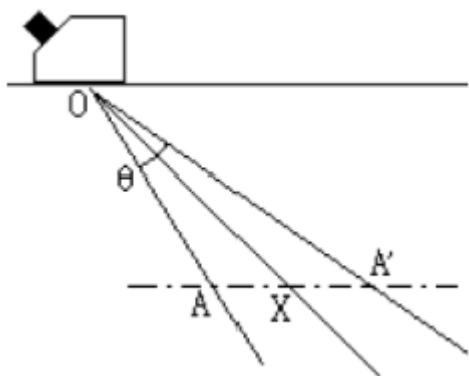


图4 斜探头扩散角示意图

对斜探头，仍需额外确定探头前沿距参考点0的位

置关系（即折射角 β ）.选用不同深度，不同水平位置的两个缺陷A,B来测量折射角.

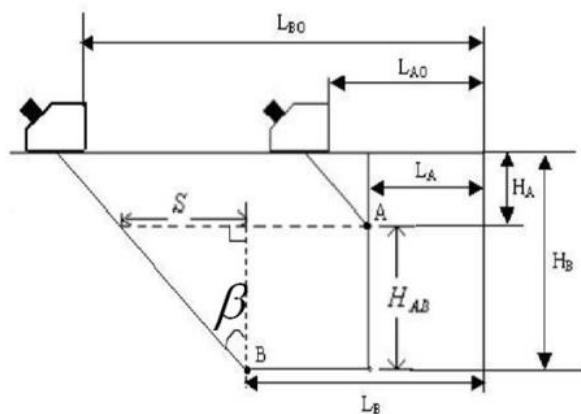


图5 斜探头折射角示意图

根据几何关系，有：

$$\beta = \arctan \frac{(L_{B0} - L_{A0}) - (L_B - L_A)}{H_B - H_A} \quad (6)$$

2 实验内容

2.1 实验仪器

JDUT-2 型超声波实验仪，示波器、测试 A1 块和耦合剂水

2.2 实验要求

1. 超声纵波主要性能的表征及试块缺陷深度的定位

- (1) 观察直探头超声脉冲波型，测量超声频率；
- (2) 测量直探头延迟时间、试块中的纵波声速；
- (3) 定位试块中不同缺陷的深度；

2. 超声横波主要性能及试块缺陷的定位

- (1) 观察斜探头（45°）的超声脉冲波型，测量超声频率；
- (2) 采用斜探头，利用工件的同心大小圆弧测量斜探头的延迟时间、横波声速；
- (3) 测量试块对超声波的折射角；

3. 计算试块材（铝）的弹性模量

3 实验结果与分析讨论

3.1 通过直探头测量超声纵波的主要性能

观察直探头超声脉冲波形，并根据波形周期测

量超声频率.

测量周期数 $n = 4$	总时间 $T_n = 1.13\mu\text{s}$
超声频率 $\gamma = \frac{1}{T_n} = 3.54\text{kHz}$	

表 1 超声纵波频率实验参数及计算

通过在铝块中单次反射及两次反射的时间, 测量延迟时间和波速.

利用直尺测量铝块厚度 $H = 5.96\text{cm}$.

起始波时间 $t_0 = 0.06\mu\text{s}$	第一次回波时间 $t_1 = 18.72\mu\text{s}$	第二次回波时间 $t_2 = 37.28\mu\text{s}$
直探头延迟时间 $t_d = 2t_1 - t_2 - t_0 = 0.10\mu\text{s}$		
纵波声速 $C = \frac{2H}{t_2 - t_1} = 6.307 \cdot 10^3\text{m/s}$		

表 2 超声纵波声速、延迟时间实验参数及计算

3.2 通过直探头进行超声探伤

初始时间 $t_0 = 0.12\mu\text{s}$

小孔编号	回波时间 $t(\mu\text{s})$	测量值 $x(\text{cm})$	计算值 $x'(\text{cm})$
1	9.40	3.00	2.92
2	6.40	1.94	1.98
3	16.08	4.98	5.03
4	9.68	未知	3.05

表 3 超声探伤结果记录

可知, 各小孔理论值及实验值差距均较小.

3.3 通过斜探头测量超声横波的主要性能

不改变实验方法, 仅换用斜探头, 测量超声横波的频率.

测量周期数 $n = 4$	总时间 $T_n = 1.07\mu\text{s}$
超声频率 $\gamma = \frac{1}{T_n} = 3.73\text{kHz}$	

表 4 超声横波频率实验参数及计算

利用铝块的同心大小圆弧, 测量斜探头的延迟

时间、横波声速.

	大圆弧	小圆弧
起始波时间	$t_0 = 0.72\mu\text{s}$	
回波时间	$t_1 = 42.04\mu\text{s}$	$t_2 = 23.48\mu\text{s}$
半径	$R_1 = 6.030\text{cm}$	$R_2 = 3.050\text{cm}$
延迟时间 $t_d = \frac{R_1 t_2 - R_2 t_1}{R_1 - R_2} = 4.48\mu\text{s}$		
横波声速 $C = \frac{2(R_1 - R_2)}{t_1 - t_2} = 3.022 \cdot 10^3\text{m/s}$		
入射位置 $L = 1.50\text{cm}$		

表 5 超声横波声速、延迟时间实验参数及计算

3.4 测量斜探头折射角

根据(6)式, 测量各参数得:

$L_A(\text{cm})$	1.98	$L_{Ao}(\text{cm})$	3.09
$L_B(\text{cm})$	5.00	$L_{Bo}(\text{cm})$	8.00
$\beta = \arctan \frac{(L_{Bo} - L_{Ao}) - (L_B - L_A)}{H_B - H_A} = 43.55^\circ$			

表 6 超声横波折射角实验参数及计算

3.5 计算金属杨氏模量

根据波动方程, 杨氏模量的表达式为:

$$E = \frac{\rho v_t^2 (3\gamma^2 - 4)}{\gamma^2 - 1} \quad (7)$$

其中 $\gamma = \frac{v_l}{v_t}$

可得, $E = 7.32 \cdot 10^{10}\text{N} \cdot \text{m}$

4 复习思考题

1. 超声探伤优点: 穿透性深、灵敏度高、对探测物体没有破坏性、对操作者以及周围的设备和材料没有伤害和干扰等
2. 超声波频率过低时, 会导致扩散角过大, 指向性较差, 降低测量精度

参考文献:

[1] 北京师范大学近代物理实验讲义