

声速测量实验

胡湔崴 核 21 2022011139

摘要

声波是介质振动在空间中的传播的波，在无限大的空气中传递的声波是纵波，在有限固体内传播的波有表面波，横波，纵波。声波波速取决于传播介质的性质，本实验通过测量声波波长和频率测量空气声波波速，利用脉冲法测量固体波速。分别测量空气中声速和固体中表面波，横波，纵波声速。

1. 实验仪器

信号发生器 Tektronix AFG1062（用于空气声速测量）
模拟示波器 Tektronix TBS1102B-EDU（用于观测声波）
气体声速仪（含发射端，接收端，数值卡尺）
BNC-banana 电缆*3
固体声速装置（耦合液，直探头，斜探头，可变探头，试样）
BNC-BNC 同轴电缆*2
干湿温度计

2. 实验过程

（1）利用声速与频率、波长的关系测量空气声速

1) 记录实验前后的室温 t 和相对湿度 r ，求平均值并计算空气声速的理论值。

| | 实验前 | 实验后 | 平均 |
|-----|------|------|-------|
| t | 26.7 | 28.2 | 27.45 |
| r | 31.4 | 31.5 | 31.45 |

表 1 实验前后室温与相对湿度记录表

含水蒸气的空气中声速的理论式如下：

$$v = 331.5 \sqrt{1 + \frac{t}{T_0} \left(1 + 0.16 \frac{rp_s}{p}\right)} \text{ m/s}$$

$$\lg p_s = 10.286 - \frac{1780}{237.3 + t}$$

在北京大气压 $p=101\text{kPa}$ ，由上述公式计算，空气声速理论值为

$$v = 348.39 \text{ m/s}$$

2) 确定频率。

为了使声波容易观察，应当使信号发生器产生的频率与压电陶瓷的本征频率相符，调节频率，使振幅处于最大位置，此时可近似认为信号频率与压电陶瓷本征频率相符，记录此时信号发生器的频率值：

$$f = 40.455\text{kHz}$$

3) 行波相位比较法测量波长。

波在空气中传播时会产生相位差，因此，发射器与接收器在不同距离处，发射信号与接收信号的相位差就不同。因此，可以通过观察接收信号与发射信号同相位处的距离间隔，确定声波波长。

| | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| X _n (mm) | 54.33 | 62.87 | 71.5 | 80.07 | 88.71 | 97.16 | 105.85 | 114.88 | 123.35 |

表 2 行波相位比较法测声速实验数据记录表

根据以上数据，通过最小二乘法处理数据，可以得出空气波长的测量值如下：

$$\lambda=8.632\text{mm}$$

计算声速得：

$$v=349.1\text{m/s}$$

与理论值比较，相对偏差 E=0.2%

4) 驻波振幅极值法测量波长。

在空气中出射波与反射波形成驻波，当接收器处于驻波波包位置时，接收器接收到的信号强度极大。因此，每隔两个信号强度极大位置的距离约等于空气声波波长，根据此原理测定波长。

| | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|--------|--------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| X _n (mm) | 50.12 | 59.67 | 67.94 | 76.2 | 85.35 | 94.06 | 102.61 | 111.15 | 119.98 |

表 3 驻波振幅法侧胜诉实验数据记录表

根据以上数据，通过最小二乘法处理数据，可以得出空气波长的测量值如下：

$$\lambda=8.685\text{mm}$$

计算声速得：

$$V=351.3\text{m/s}$$

与理论值比较，相对偏差 E=0.8%

(2) 利用脉冲法测量固体声速

1) 直探头测纵波波速。

信号发生器发射脉冲信号，声波在固体界面处反弹并由接收器接收，已知固体长度，通过测量发射信号与接收信号之间的时间差确定固体声速。在已知固体声速的情况下，也可以通过同样的方法测量固体深度。但要注意的是需要在测量前在固体表面滴水，这里水起到耦合作用，帮助信号发射器与固体表面紧密接触。（注：此时信号强度应置于 75dB 处）

已知试样铝块高度 H=R2=60.10 mm，R1=30.00 mm，它们的不确定度均为 0.02mm，密度 $\rho=2700\text{ kg/m}^3$ ，示波器不确定度近似取时间轴 M 的 1/10。测量固体声速和孔深。

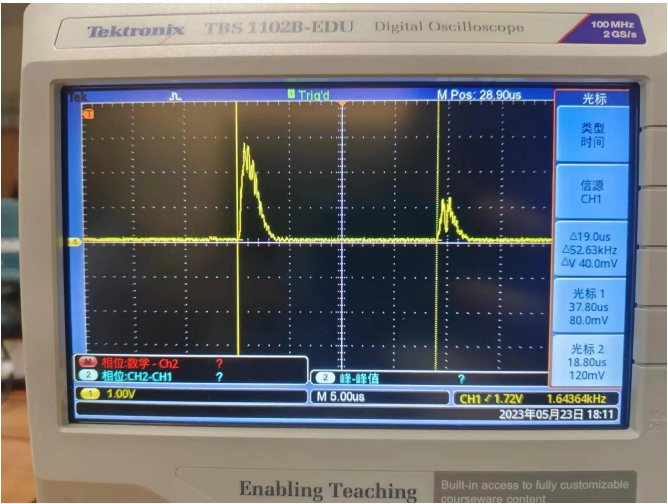


图 1 测固体声速示波器数据图

计算声速的公式为：

$$u_l = \frac{2H}{\Delta t}$$

由公式计算得，固体声速及其不确定度为：

$$u_l = 6326.31\text{m/s}$$

$$\sigma_{u_l} = 2 \times 10^2\text{m/s}$$

求得：

$$u_l = (63 \pm 2) \times 10^2\text{m/s}$$

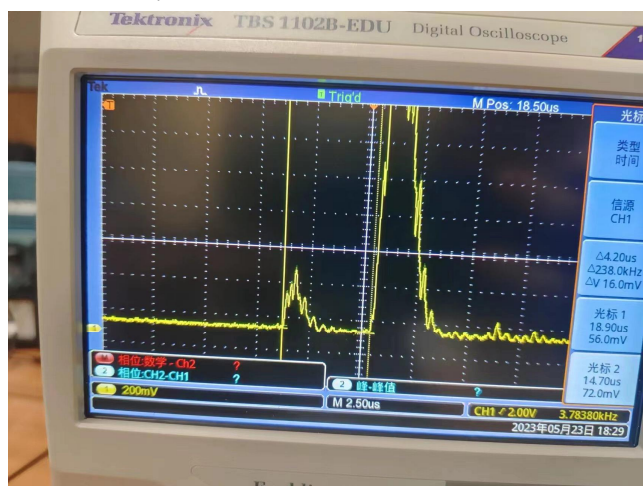


图 2 测孔深示波器数据图

计算孔深的公式为： $h = 0.5 \times u_l \times \Delta t$

由公式计算得，孔深及其不确定度为：

$$h = 13.29\text{mm}$$

$$\sigma_h = 0.9\text{mm}$$

求得：

$$h = 13.3 \pm 0.9\text{mm}$$

2) 斜探头测横波波速。

根据固体中声波传播的规律，可以利用圆柱面实现横波的反射，本实验利用 45 度斜探头，分别探测两个不同半径下反射的脉冲信号，利用两个脉冲信号的反射时间差计算横波的速度。（注：此时信号强度应置于 60dB 处）

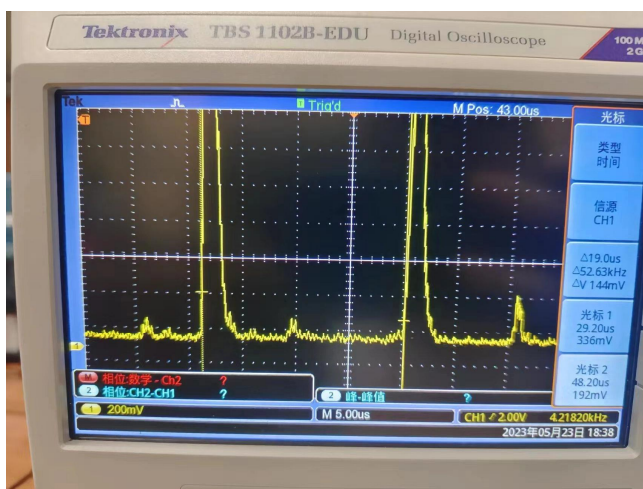


图 3 斜探头测横波波速示波器数据图

计算声速公式为：

$$u_s = \frac{2 (R_1 - R_2)}{\Delta t}$$

同理，求得最终表达式为：

$$u_s = (317 \pm 8) \times 10 \text{m/s}$$

3) 可变探头测表面波波速。

测表面波波速需要利用垂直界面的反射，并且需要调节入射波角度使表面波强度较大。在入射波角度为 65 度附近时，波的折射方向与表面波方向统一，能量集中在表面波区域，使反射波强度增大，此时可探测。（注：此时信号强度应置于 40dB 处）

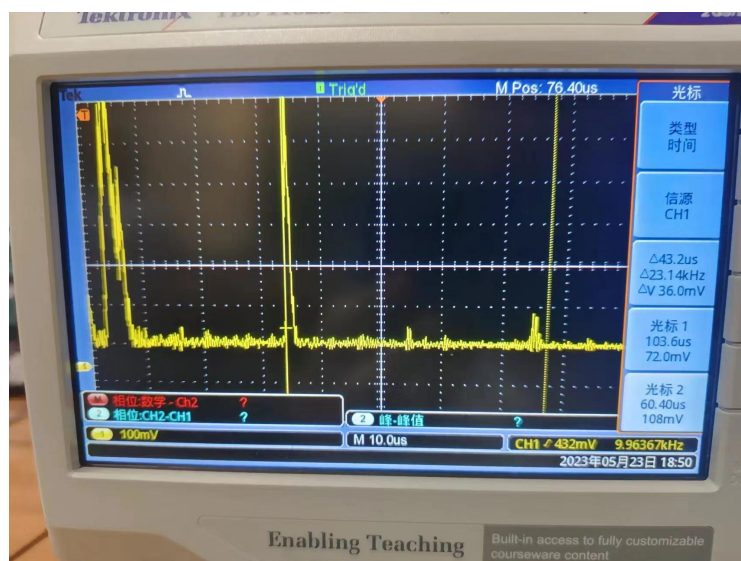


图 4 可变探头测表面波示波器数据图

计算公式为：

$$u_R = \frac{2 (x_1 - x_2)}{\Delta t}$$

同理，求得最终表达式为：

$$u_R = (291 \pm 7) \times 10 \text{m/s}$$

5) 弹性模量与泊松比的计算。

根据公式如下：

$$T = \frac{u_l}{u_s}$$

$$E = \frac{\rho u_s^2 (3T^2 - 4)}{T^2 - 1}$$

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

根据公式，计算得弹性模量与泊松比如下：

$$\sigma = 0.3326$$

$$E = 7.224 \times 10^{10} \text{kg/ (m * s}^2\text{)}$$

3. 分析讨论

在测量不同的波时，调节了不同的入射波振幅。经过实验观察后，我发现如果调节的振

幅与实验书中不符，那么反射波图像就能观察到许多细节，而丧失了波形的容易观察性质。猜测可能是因为不同状态的波能量损失的快慢不同，进而导致固体细节与原脉冲细节都只能在特定的振幅下才不明显。

原始数据

实验前 实验后 $f \pm \Delta f$

$T = 26.7\%$ 28.2% 27.45%

$r = 31.4\%$ 31.5% 31.45%

A2. $f = 40.455 \text{ kHz}$

| A3 | n | $x_n (\text{mm})$ | A4 | N | $x_N (\text{mm})$ (两次读数之差) |
|----|---|-------------------|----|---|----------------------------|
| 1 | 1 | 54.33 | 1 | 1 | 50.12 |
| 2 | 2 | 62.87 | 2 | 2 | 59.67 |
| 3 | 3 | 71.50 | 3 | 3 | 67.94 |
| 4 | 4 | 80.07 | 4 | 4 | 76.20 |
| 5 | 5 | 88.71 | 5 | 5 | 85.35 |
| 6 | 6 | 97.16 | 6 | 6 | 94.06 |
| 7 | 7 | 105.85 | 7 | 7 | 102.61 |
| 8 | 8 | 114.88 | 8 | 8 | 111.15 |
| 9 | 9 | 125.35 | 9 | 9 | 119.98 |

实验结果 $\lambda_{AS} = 8.632 \text{ mm}$ $\lambda_{m} = 8.683 \text{ mm}$

$V = 348.39 \text{ m/s}$

B1. $t_1 = 18.8 \mu\text{s}$ $t_2 = 37.8 \mu\text{s}$

误差 $t_3 = 14.7 \mu\text{s}$ $t_4 = 18.9 \mu\text{s}$

$\therefore u_1 = \frac{2h}{t_2 - t_1} = 6326.31 \text{ m/s}$

$h = \frac{R(u_1(t_1 - t_2))}{2} = 13.29 \text{ mm}$

B2. $t_5 = 29.2 \mu\text{s}$ $t_6 = 48.2 \mu\text{s}$

$u_2 = \frac{2(R_2 - R_1)}{t_6 - t_5} = 316842 \text{ m/s}$

B3. $x_1 = 107.6 \text{ mm}$ $x_2 = 44.7 \text{ mm}$

$t_1 = 103.6 \mu\text{s}$ $t_2 = 60.4 \mu\text{s}$

$u_k = \frac{2(x_1 - x_2)}{(t_1 - t_2)} = 2912.04 \text{ m/s}$

B4. $T = 1.9967$

$\sigma = \frac{T^2 - 2}{2(T^2 - 1)} = 0.3376$

$E = \frac{F \cdot u_k \cdot (3T^2 + 1)}{T^2 - 1} = 7.224 \times 10^{10} \text{ kg/(m} \cdot \text{s}^2)$