

# 同轴电缆中电磁波的传输 及金属中超声波的传输

院 系: 自动化系

班 级: 自 02 班

学生姓名: 彭程

学 号: 2020011075

组 号: 双四下 L

座 位 号: # 13

# 目录

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| <b>1 实验名称</b>             | <b>2</b> |
| <b>2 数据处理</b>             | <b>2</b> |
| 2.1 同轴电缆中电磁波的传输 . . . . . | 2        |
| 2.1.1 开路负载 . . . . .      | 2        |
| 2.1.2 短路负载 . . . . .      | 3        |
| 2.1.3 匹配负载 . . . . .      | 4        |
| 2.2 金属中超声波的传输 . . . . .   | 4        |
| 2.2.1 声速测量 . . . . .      | 4        |
| 2.2.2 表面波的实验 . . . . .    | 5        |
| 2.2.3 超声波探测缺陷 . . . . .   | 5        |
| <b>3 思考题</b>              | <b>7</b> |
| 3.1 同轴电缆思考题 . . . . .     | 7        |
| 3.2 超声波思考题 . . . . .      | 7        |
| <b>4 实验总结</b>             | <b>7</b> |
| <b>5 原始数据</b>             | <b>8</b> |

# 1 实验名称

同轴电缆中电磁波的传输及金属中超声波的传输

## 2 数据处理

### 2.1 同轴电缆中电磁波的传输

| 同轴电缆输出负载 | 信号幅度 $V_i(mV)$ | 脉冲峰位 $t_i(ns)$ |
|----------|----------------|----------------|
| 开路负载     | $V_0 = 264$    | $t_0 = 10$     |
|          | $V_1 = 296$    | $t_1 = 160$    |
|          | $V_2 = 204$    | $t_2 = 330$    |
|          | $V_3 = 136$    | $t_3 = 490$    |
|          | $V_4 = 100$    | $t_4 = 650$    |
|          | $V_5 = 72$     | $t_5 = 820$    |
|          | $V_6 = 52$     | $t_6 = 980$    |
|          | $V_7 = 40$     | $t_7 = 1150$   |
|          | $V_8 = 32$     | $t_8 = 1310$   |
| 短路负载     | $V_0 = 252$    | $t_0 = 10$     |
|          | $V_1 = -216$   | $t_1 = 310$    |
|          | $V_2 = 108$    | $t_2 = 620$    |
|          | $V_3 = -56$    | $t_3 = 930$    |
|          | $V_4 = 28$     | $t_4 = 1240$   |
| 匹配负载     | $V_0 = 264$    | $t_0 = 12$     |
|          | $V_0 = 196$    | $t_0 = 156$    |

下面分别利用各种负载下的数据计算电缆长度（吸收系数  $\alpha$ ），并附其波形示意图（黄色：输入端；蓝色：输出端）：

#### 2.1.1 开路负载

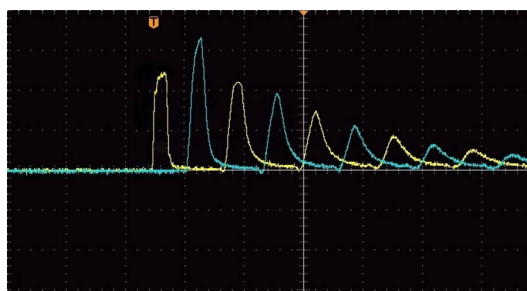


图 1: 开路负载波形示意图

由线性拟合得到:

$$\delta t = 164.17 \text{ ns}$$

故有:

$$l = v\delta t = 2 \times 10^8 \times 164.17 \times 10^{-9} = 32.83 \text{ m}$$

对于  $\alpha$ , 已知:  $V_l = Ve^{-\alpha l}$ , 两边取对数得到:  $\ln(V_l) = \ln(V) - \alpha l$ , 故可做线性拟合: 拟合得到

$$\alpha = 9.80 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

拟合曲线如下所示:

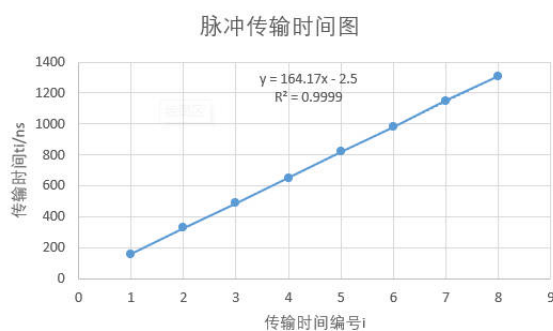


图 2: 开路负载脉冲传输时间图

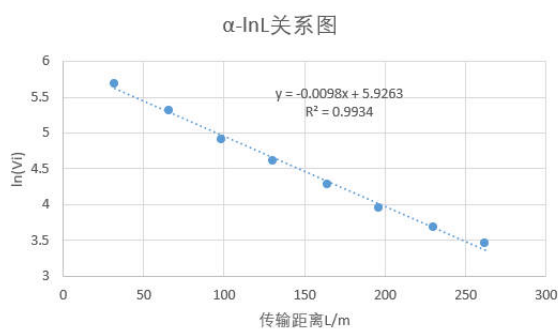


图 3: 开路负载  $\alpha - \ln L$  关系图

### 2.1.2 短路负载

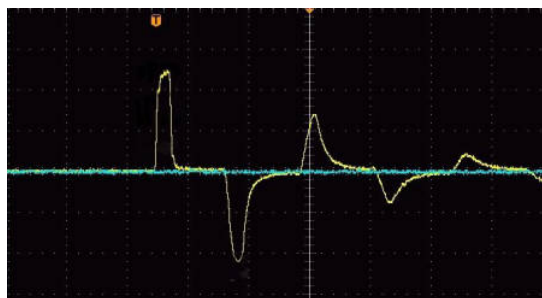


图 4: 短路负载波形示意图

同样, 由线性拟合得到:

$$\delta_t = 154ns$$

故有:

$$l = v\delta t = 2 \times 10^8 \times 128.2 \times 10^{-9} = 30.80 \text{ m}$$

拟合曲线如下所示:

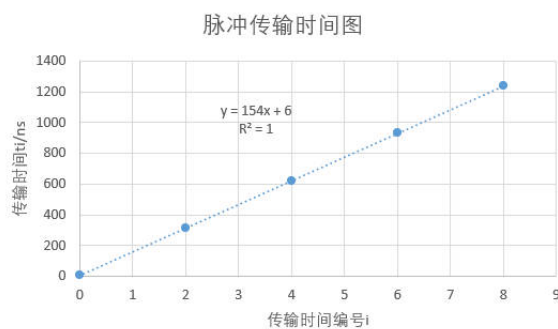


图 5: 短路负载拟合图像

### 2.1.3 匹配负载

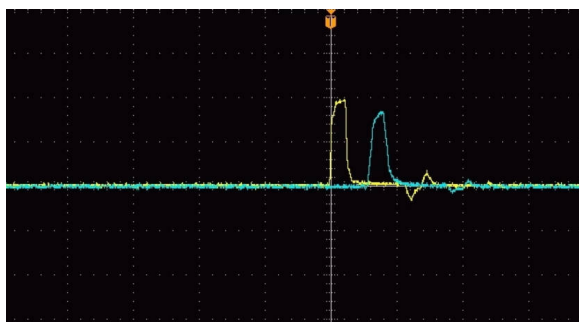


图 6: 匹配负载波形示意图

直接计算可得:

$$l = (t_1 - t_0) v = 28.8m$$

## 2.2 金属中超声波的传播

### 2.2.1 声速测量

得到的数据表格如下所示:

| 直探头-纵波                 |                        | 斜探头-横波                       |                              |
|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 底面回波峰位 ( $t_2/\mu s$ ) | 表面回波峰位 ( $t_1/\mu s$ ) | R1 弧面回波峰位 ( $t_{R1}/\mu s$ ) | R2 弧面回波峰位 ( $t_{R1}/\mu s$ ) |
| 20.00                  | 0.80                   | 25.20                        | 44.40                        |

1. 利用直探头测量试样中纵波声速  $c_l$

$$c_l = \frac{2H}{t_2 - t_1} = \frac{2R_2}{t_2 - t_1} = 6250 \text{ m/s}$$

2. 利用  $45^\circ$  斜探头测量试样中横波声速  $c_s$

$$c_s = \frac{2H}{t_2 - t_1} = \frac{2(R_2 - R_1)}{t_2 - t_1} = 3125 \text{ m/s}$$

3. 利用声速计算样块的杨氏模量和泊松系数

已知测试样密度:  $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$  (铝)

可知:

$$T = \frac{c_l}{c_s} = 2.00$$

则杨氏模量为

$$E = \frac{\rho c_s^2 (3T^2 - 4)}{T^2 - 1} = 7.03 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

Poisson 系数为

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

## 2.2.2 表面波的实验

得到的数据表格如下所示:

| 可变探头-表面波                          |                                   |                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 探头角度 ( $^\circ$ )                 | 探头位置 ( $l_{EG}/\text{mm}$ )       | 表面波回波延时 ( $\Delta t/\mu\text{s}$ ) |
| 60                                | 95.0                              | 65.20                              |
| 探头移动距<br>离 ( $l_{EI}/\text{mm}$ ) | 表面波回波<br>峰位 ( $t_2/\mu\text{s}$ ) | 表面波回波<br>峰位 ( $t_1/\mu\text{s}$ )  |
| 10.0                              | 71.60                             | 65.20                              |

1. 固定法测量表面波波速

$$c_R = \frac{2l_{EG}}{\Delta t} = \frac{2 \times 30 \text{ mm}}{22\mu\text{s}} = 2.91 \times 10^3 \text{ m/s}$$

2. 移动法测量表面波波速

$$c_R = \frac{2l_{EI}}{t_2 - t_1} = \frac{2 \times 35 \text{ mm}}{77\mu\text{s} - 52\mu\text{s}} = 3.13 \times 10^3 \text{ m/s}$$

## 2.2.3 超声波探测缺陷

得到的数据表格如下所示:

扩散角测量数据记录:

| 直探头-扩散角 (以 B 为测量点) |         |         | 斜探头-扩散角 (以 B 为测量点) |         |         |
|--------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------|
| $x_0$              | $x_1$   | $x_2$   | $x_B$              | $x_1$   | $x_2$   |
| 52.0 mm            | 59.0 mm | 47.0 mm | 84.0 mm            | 89.0 mm | 79.0 mm |

缺陷测量数据记录:

| 直探头测缺陷 C            |                     | 斜探头测量缺陷 D 的位置         |                       |                        |
|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 底面波 ( $t_H - t_1$ ) | 缺陷波 ( $t_C - t_1$ ) | $x_A/t_A$             | $x_B/t_B$             | $x_D/t_D$              |
| 20.80 $\mu$ s       | 16.00 $\mu$ s       | 25.0 mm/22.40 $\mu$ s | 84.0 mm/50.00 $\mu$ s | 117.0 mm/31.60 $\mu$ s |

1. 直探头声束扩散角的测量可知:

$$\theta = 2 \tan^{-1} \frac{x_1 - x_2}{2H_B} = 2 \times 6.84^\circ = 13.68^\circ$$

2. 斜探头声束扩散角的测量

可知折射角:

$$\beta = \arctan \left( \frac{(x_B - x_A) - (L_B - L_A)}{H_B - H_A} \right) = 44.0^\circ$$

以 B 为测量点,  $L = H_B / \cos \beta$ , 故有

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left( \frac{x_1 - x_2}{2L} (\cos \beta)^2 \right) = 4.26^\circ$$

3. 直探头测量缺陷深度

易知, 由于波的传播速度相同, 应有:

$$\frac{l_c}{l} = \frac{t_C - t_1}{t_H - t_1} = 0.769$$

$$l_c = l \times 0.769 = R_2 \times 0.769 = 46.14 \text{ mm}$$

所以 C 的高度  $H_C$  为:

$$H_C = l - l_c = R_2 - l_c = 13.86 \text{ mm}$$

4. 斜探头测量缺陷位置

由上述计算可知: 折射角  $\beta = 44.0^\circ$ ;

若斜探头传输延迟时间为  $\delta_t$ , 则:

$$H_A / \cos \beta = (t_A - \delta_t) c_S / 2$$

$$H_B / \cos \beta = (t_B - \delta_t) c_S / 2$$

由此可知:

$$\delta t = \frac{H_B t_A - H_A t_B}{H_B - H_A} = 4.00 \mu s$$

$$H_D = \cos \beta (t_D - \delta t) c_S / 2 = 31.02 \text{ mm}$$

$$L_D = \tan \beta \times (H_A - H_D) + X_A - X_D + L_A =$$

又易知:

$$\tan \beta = \frac{\Delta + x_A - L_A}{H_A}$$

$$\Delta = 10.31 \text{ mm}$$

故由于刻度选择和探头真实出射所带来的偏移为 10.31 mm; 由此得到:

$$L_D = x_D + \Delta - H_D \tan \beta = 117 \text{ mm} + 10.31 \text{ mm} - 31.02 \text{ mm} \times 0.966 = 97.34 \text{ mm}$$

故 D 的深度  $H_D$  为 31.02 mm, D 的边距  $L_D$  为 97.34 mm

### 3 思考题

#### 3.1 同轴电缆思考题

**1. 在测量过程中，如何定位光标更加准确？**

在测量时间时，时间光标对准波峰位置的最高点测量；在测量幅度时，幅度光标和波峰的最高点对齐，并在抖动存在时统一选择抖动的最高点或是最低点为对齐位置。

**2. 如何减小或消除延长线的影响**

找到一根长度已知的同轴电缆，使用同样的延长线进行测量，可计算标准值和测量值的差得到  $\delta_l$ ，从而作为测量的修正，将本次实验测量的结果加上  $\delta_l$  即可一定程度上消除延长线影响。

**3. 如何提高测量  $\tau$  的精度**

在测量时，增大示波器的 scale，选取既能清晰观察波形又能更为精确的分度值。

**4. 三种测量同轴电缆长度的方法，哪一种更加可靠？为什么？**

开路负载更可靠。因为开路负载反射系数最大为 1，得到的反射波峰最多也最清晰，测量误差更小，且由于反射波数量更大，数据量的增加同样减小了随机误差。两种方法不确定度都较开路更大。

#### 3.2 超声波思考题

**1. 在表面波测量过程中，固定法和移动法哪一种测得的结果更加准确？为什么？**

用移动法测得的表面波声速更准确可靠，由于固定法中标定位置时对探头位置的估计是很不准确的，移动法可以消除信号发生器到探头之间的距离估计误差。

### 4 实验总结

这次实验的实验原理比较复杂，在预习过程中我遇到了很大的困难，也有很多没有看懂的地方。在老师的讲解之下，我的大部分问题得到了解答，也增加了我的物理知识，很有收获。

这次实验中，我对波的性质有了更深入的了解，对波的反射和折射性质有了更好的理解，并且在老师的讲解中知道了很多波的应用。尤其在第二个实验中，我第一次了解到表面波，还掌握了一种由已知物体缺陷进行定标测量新的缺陷的位置的方法。

最后，感谢老师对我们的悉心指导！



## 5 原始数据

彭程

20220526-13

2022 春物理实验 B(2)课程资料

## 四、附录 1: 原始数据记录参考表格

(一) 传输线中脉冲信号传输和反射的观测 (注意波形相位关系, 各量含义参看图 3)

| 同轴电缆输出负载 | 信号幅度 $V_i$ (mV) | 脉冲峰位 $t_i$ (ns) | 波形示意图 |
|----------|-----------------|-----------------|-------|
| 开路       | $V_0 = 264$     | $t_0 = 10$      | 输入端   |
|          | $V_1 = 296$     | $t_1 = 160$     |       |
|          | $V_2 = 204$     | $t_2 = 330$     |       |
|          | $V_3 = 136$     | $t_3 = 490$     |       |
|          | $V_4 = 100$     | $t_4 = 650$     |       |
|          | $V_5 = 72$      | $t_5 = 820$     |       |
|          | $V_6 = 52$      | $t_6 = 980$     |       |
|          | $V_7 = 40$      | $t_7 = 1150$    |       |
|          | $V_8 = 32$      | $t_8 = 1310$    |       |
| 短路负载     | $V_0 = 252$     | $t_0 = 10$      | 输入端   |
|          | $V_2 = -216$    | $t_2 = 310$     |       |
|          | $V_4 = 108$     | $t_4 = 620$     |       |
|          | $V_6 = -56$     | $t_6 = 930$     |       |
|          | $V_8 = 28$      | $t_8 = 1240$    |       |
| 匹配负载     | $V_0 = 264$     | $t_0 = 12$      | 输入端   |
|          | $V_1 = 196$     | $t_1 = 156$     | 输出端   |

(二) 超声波波速及式样杨氏模量、泊松系数测量 (适当调整示波器分度值以适合于测量)

测试样密度:  $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$  (铝), 其它参数参见附录 2

| 直探头--纵波                     |                             | 斜探头--横波                              |                                      | 可变探头--表面波                    |                              |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 底面回波峰位( $t_2/\mu\text{s}$ ) | 表面回波峰位( $t_1/\mu\text{s}$ ) | $R_1$ 弧面回波峰位( $t_{R1}/\mu\text{s}$ ) | $R_2$ 弧面回波峰位( $t_{R2}/\mu\text{s}$ ) | 探头角度( $^\circ$ )             | 探头位置( $l_{EG}/\text{mm}$ )   | 表面波回波延时( $\Delta t/\mu\text{s}$ ) |
| 20.00                       | 0.80                        | 25.20                                | 44.40                                | 60                           | 95.0                         | 65.20                             |
|                             |                             |                                      |                                      | 探头移动距离( $l_{EI}/\text{mm}$ ) | 表面波回波峰位( $t_2/\mu\text{s}$ ) | 表面波回波峰位( $t_1/\mu\text{s}$ )      |
|                             |                             |                                      |                                      | 10.0                         | 71.60                        | 65.20                             |

刘宇 20200526-13

2022 春物理实验 B(2)课程资料

## (三) 超声波探伤 (适当调整示波器分度值)

| 直探头-扩散角      |              |              | 直探头测缺陷 C                         |                                  | 斜探头测量缺陷 D 的位置               |                             |                             |
|--------------|--------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $x_0$<br>/mm | $x_1$<br>/mm | $x_2$<br>/mm | 底面波<br>( $t_H - t_1$ ) / $\mu s$ | 缺陷波<br>( $t_C - t_1$ ) / $\mu s$ | $x_A / t_A$<br>mm / $\mu s$ | $x_B / t_B$<br>mm / $\mu s$ | $x_D / t_D$<br>mm / $\mu s$ |
| 52.0         | 59.0         | 47.0         | 20.80                            | 16.00                            | 25.0<br>/ 22.40             | 84.0<br>/ 50.00             | 117.0<br>/ 31.60            |
| 斜探头 (B)      |              |              |                                  |                                  |                             |                             |                             |
| $x_B$        | $x_1$        | $x_2$        |                                  |                                  |                             |                             |                             |
| 84.0         | 89.0         | 79.0         |                                  |                                  |                             |                             |                             |