

同轴电缆中电磁波的传输和金属中超声波的传输

2017011341, 陈旭

2019 年 4 月

1 同轴电缆中电磁波的传输

1.1 实验目的

通过脉冲波信号的测量，理解波在传输路径上遇到界面时的反射和透射特性，理解入射波和反射波的相位关系，掌握阻抗匹配概念。

1.2 实验原理

设传输线长为 l ，在终端 $z = l$ 处外加负载 Z_l ，可得 $\Gamma = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} = |\Gamma|e^{j\theta}$ 。外加不同负载时参数如下：

- 开路： $Z_l = R_l = \infty$ ， $\Gamma = 1$ ；
- 短路： $Z_l = R_l = 0$ ， $\Gamma = -1$ ；
- 负载匹配： $Z_l = R_l = R_0$ ， $\Gamma = 0$ 。

1.3 实验任务

测量同轴电缆的长度和衰减常数，分析传输线终端反射波和入射波的相位关系。测量长度时：

- 将信号发生器输出信号通过电阻盒接到传输线“输入端”，选择合适的脉冲。
- 传输线“输出端”分别选择开路、短路和匹配电阻三种测试方式。利用示波器分别测出传输线“输入端”、“输出端”之间信号波形和相对延时。
- 分别利用测量结果计算同轴电缆的长度，并估算不确定度。

1.4 数据处理

1.4.1 开路负载

	1	2	3	4	5	6
$V_i (mV)$	500	428	340	268	212	164
$\tau_i (ns)$	120	250	390	530	660	800
$\ln V_i$	6.2146	6.0591	5.8289	5.5910	5.3566	5.0999

表 1: 开路负载下实验数据记录

对 $\ln V_i$ 进行直线拟合, 得:

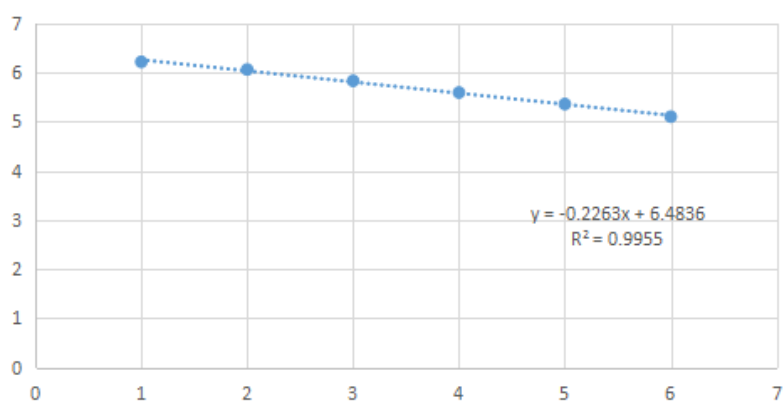


图 1: $\ln V_i$ 直线拟合结果

根据 $V_i = Ve^{-\alpha l}$, 得 $\alpha l = 0.2263$ 。

再对 τ_i 进行直线拟合, 得:

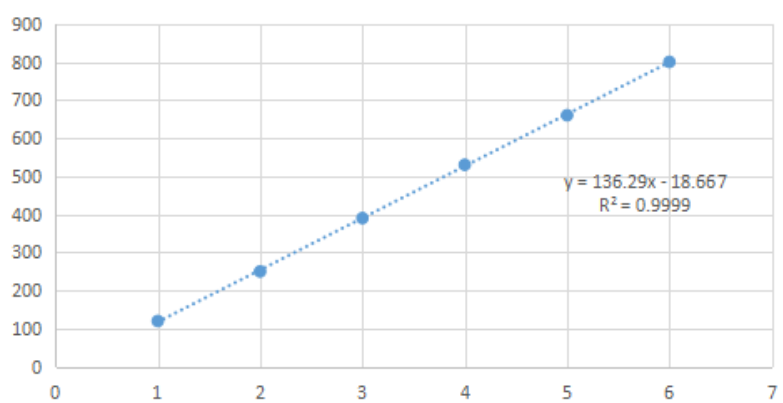


图 2: τ_i 直线拟合结果

根据 $\tau_i = i \cdot l/u$, 得 $t = \tau_1 = 136.29ns$ 。

所以，电缆长度为 $l = ut = 27.26m$ ， $\alpha = \frac{\alpha l}{l} = 8.302 \times 10^{-3}m^{-1}$ 。

因为 $\Delta_B = 25ns$ ， $\Delta_A = \tau_1 \cdot t_p(4)\sqrt{\frac{R^2-1}{6-2}} = 1.8945ns$ ，

所以 $\Delta_l = u\Delta_t = u \cdot \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 5.01m$ 。

综上所述， $\alpha = 8.302 \times 10^{-3}m^{-1}$ ， $l = (27.26 \pm 5.01)m$ 。

1.4.2 短路负载

	2	4	6
$V_i (mV)$	400	264	168
$\tau_i (ns)$	240	500	760

表 2: 短路负载下实验数据记录

由实验数据取平均值得 $t_2 = \frac{1}{3} \cdot (\tau_2 + \tau_4/2 + \tau_6/3) = 247.78ns$ ， $S_\tau = 5.666$ 。

所以，电缆长度为 $l = ut_2/2 = 24.78m$ 。

因为 $\Delta_B = 25ns$ ， $\Delta_A = t_p(2)S_\tau/\sqrt{n} = 14.065ns$ ，

所以 $\Delta_l = u\Delta_t/2 = u \cdot \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}/2 = 2.87m$ ， $l = (24.78 \pm 2.87)m$ 。

1.4.3 匹配负载

	1	1	1
$\tau_i (ns)$	120	120	120

表 3: 匹配负载下实验数据记录

由实验数据取平均值得 $t_1 = 120ns$ 。

所以，电缆长度为 $l = ut = 24.00m$ 。

2 金属中超声波的传播

2.1 实验目的

掌握超声波波速测量方法，观察声波转换及表面波，了解超声波来探测原理。

2.2 实验任务

先将超声试验仪上“发射/接收”连接端与超声探头相连接，“检波”连接示波器作为输出。调整衰减器，使输出波形最适用。

- 测量声速：采用脉冲波反射法，计算公式： $c = \frac{2l}{t_2 - t_1}$ 。分别使用直探头和斜探头测量纵波声速和横波声速，计算样品的杨氏模量和泊松系数。

- 表面波实验：根据表面波在传播中遇到尖锐界面后反射回波的特性，测定起始表面波脉冲与回波脉冲的时间间隔以及传播距离，即可测出表面波的波速。
- 超声波探测缺陷：使用斜探头测量，利用超声波在材料中传播的距离来计算缺陷位置。

2.3 数据处理

2.3.1 横、纵波声速

	1	2	3
$t_H - t_1 (\mu s)$	19.4	19.0	19.2

表 4: 纵波测量实验数据记录

由实验数据取平均值得 $t = t_H - t_1 = 19.2\mu s$, $S_t = 0.1633$ 。

所以，纵波声速为 $c_l = 2l/t = 6260.417m/s$ 。

因为 $\Delta_B = 0.5\mu s$, $\Delta_A = t_p(2)S_\tau/\sqrt{n} = 0.4054\mu s$,

所以 $\Delta_t = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 0.6437\mu s$, $\Delta_{c_l} = c_l \times \sqrt{(\frac{\Delta_t}{t})^2 + (\frac{\Delta_t}{t})^2} = 209.899m/s$ 。

所以 $c_l = (6.260 \pm 0.209) \times 10^3 m/s$ 。

	1	2	3
$t_{R_2} - t_{R_1} (\mu s)$	19.2	19.2	19.6

表 5: 横波测量实验数据记录

由实验数据取平均值得 $t = t_{R_2} - t_{R_1} = 19.333\mu s$, $S_t = 0.1886$ 。

所以，横波声速为 $c_s = 2(R_2 - R_1)/t = 3113.793m/s$ 。

因为 $\Delta_B = 1\mu s$, $\Delta_A = t_p(2)S_\tau/\sqrt{n} = 0.4681\mu s$,

所以 $\Delta_t = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = 1.1041\mu s$, $\Delta_{c_s} = c_s \times \sqrt{(\frac{\Delta_t}{t})^2 + (\frac{\Delta_t}{t})^2} = 177.844m/s$ 。

所以 $c_s = (3.113 \pm 0.178) \times 10^3 m/s$ 。

综上所述, $E = \frac{\rho c_s^2 (3T^2 - 4)}{T^2 - 1} = 71.17GPa$, $\sigma = \frac{T^2 - 2}{2(T^2 - 1)} = 0.336$ 。

2.3.2 表面波声速

探头移动 $L (mm)$	30	20	20	30
表面波移动 $t_b (\mu s)$	21	14	14	20

表 6: 表面波测量实验数据记录

由实验数据取平均值得 $c_R = 2 \times (\frac{30mm}{21\mu s} + \frac{20mm}{14\mu s} + \frac{20mm}{14\mu s} + \frac{30mm}{20\mu s})/4 = 2892.857m/s$ 。

因为钢尺不确定度为 $0.05mm$,

所以 $\Delta_{c_R} = c_R \times \sqrt{(\frac{\Delta_L}{L})^2 + (\frac{\Delta_t}{t})^2} = 210.080m/s$ 。

所以 $c_R = (2.893 \pm 0.210) \times 10^3 m/s$ 。

2.3.3 超声波探伤

底面波 $t_H - t_1$ (μs)	19.4	19.2	19.0
缺陷波 $t_q - t_1$ (μs)	14.6	14.4	14.4

表 7: 直探头测量缺陷 C 实验数据记录

缺陷 C 深度为 $H_C = L \times \frac{1}{3}(\frac{14.6}{19.4} + \frac{14.4}{19.2} + \frac{14.4}{19.0}) = 4.52 \times 10^{-2}m$ 。

	X_A/t_A	X_B/t_B	X_D/t_D
1	30.0/23.2	83.0/48.0	108.0/31.2
2	30.0/23.6	83.0/48.4	108.0/31.6
3	30.0/24.0	84.0/48.4	107.0/31.2
平均	30.0/23.6	83.3/48.3	107.7/31.3

表 8: 斜探头测量缺陷 D 实验数据记录

设声速为 u , 探头延迟为 δ , 入射角为 β , 入射点与探头边缘距离为 L_0 , 则:

$$\begin{cases} \frac{X_A + L_0 - L_A}{H_A} = \tan \beta \\ \frac{X_B + L_0 - L_B}{H - H_B} = \tan \beta \\ 2H_A = u(t_A - \delta) \sin \beta \\ 2(H - H_B) = u(t_B - \delta) \sin \beta \end{cases}$$

可解得:

$$\begin{cases} L_0 = 5.556mm \\ \tan \beta = 0.778 \\ \delta = 7.133\mu s \end{cases}$$

所以, $H_D = H_A \cdot \frac{t_D - \delta}{t_A - \delta} = 29.393mm$, $L_D = X_D - L_0 + H_D \tan \beta = 90.361mm$ 。

3 实验总结

本实验难度不大, 在助教的讲解下很容易理解, 只是在测超声波时调整探头比较繁琐, 需要认真谨慎。