

浙江大学

物理实验报告

实验名称：_____ 声速的测定 _____

实验桌号：_____

指导教师：_____ 华展辉 _____

班级：_____ 机械工程 _____

姓名：_____ CyanHaze _____

学号：_____

实验日期：2025 年 12 月 4 日 星期四 下午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告（10分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

1. 实验综述（5分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过500字。）

本实验通过驻波法和相位比较法测定空气中的声速。实验现象包括：在驻波法中，移动接收端时，示波器显示的信号振幅会周期性变化，相邻极大值位置之间的距离为半波长（ $\frac{\lambda}{2}$ ）；在相位比较法中，李萨如图形会随接收端移动而周期性变化，斜直线交替出现在一、三象限和二、四象限，对应相位差的变化。实验原理基于声波的波动性，声波在介质中传播时，入射波与反射波叠加形成驻波，驻波的波节和波腹位置与声速相关。通过测量波长和已知频率，可计算声速（ $v = f\lambda$ ）。实验方法包括：调节信号发生器至换能器共振频率（约40kHz），用驻波法记录振幅极大值位置，用相位比较法记录李萨如图形变化位置，最后计算声速并分析误差。

2. 实验重点（3分）

（简述本实验的学习重点，不超过100字。）

声波的波动特性：理解驻波形成条件（振幅相同、频率相等、方向相反）及声压分布规律。

实验方法：掌握驻波法和相位比较法的操作步骤，如调节共振频率、观察波形和李萨如图形。

数据处理：通过测量波长计算声速，分析误差来源（如空程差、端面平行度）。

仪器使用：熟悉信号发生器、示波器和超声换能器的配合使用。

3. 实验难点（2分）

（简述本实验的实现难点，不超过100字。）

空程差控制：微调手轮时需避免回程误差，确保位置测量准确。

端面平行度：发射端与接收端必须严格平行，否则会导致驻波振幅减小或波形失真。

信号稳定性：共振频率需精确调节，且环境噪声可能干扰信号。

高阶反射影响：反射波叠加可能引入高阶谐波，需通过多次测量减小误差。

二、原始数据（20分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

三、结果与分析（60分）

1. 数据处理与结果（30分）

（列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。）

谐振频率	f=40.19kHz		环境温度	t=13.9°C	
驻波法	接收端位置	(mm)	相位比较法	接收端位置	(mm)
1	L_1	3.446	1	0	1.260
2	L_2	7.795	2	π	5.533

3	L_3	12.287	3	2π	9.637
4	L_4	16.573	4	3π	13.791
5	L_5	20.827	5	4π	18.182
6	L_6	25.178	6	5π	22.637
7	L_7	29.212	7	6π	27.033
8	L_8	33.556	8	7π	31.221
9	L_9	37.784	9	8π	35.618
10	L_{10}	41.887	10	9π	39.696
11	L_{11}	46.398	11	10π	43.807
12	L_{12}	50.706	12	11π	47.922

声速理论值 $v_{\text{理论}} = 331.45\sqrt{1 + \frac{13.9}{273.15} \frac{m}{s}} = 339.78 \frac{m}{s}$

通过逐差法计算得到:

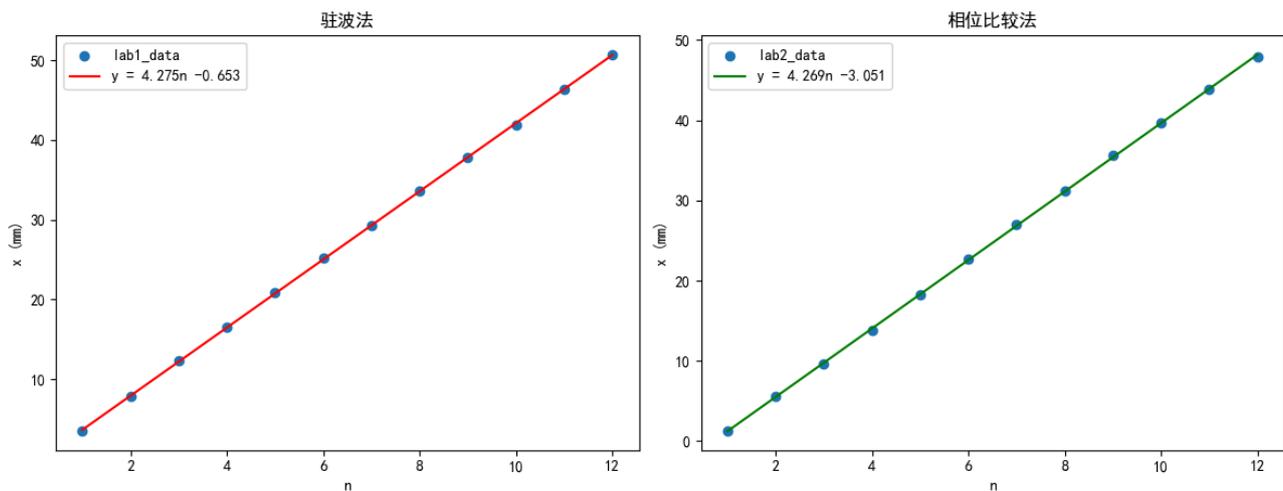
$$\text{驻波法: } \frac{\lambda}{2} = \frac{[(L_7+\dots+L_{12})-(L_1+\dots+L_6)]}{36} = 4.262mm$$

$$\text{声速 } v_1 = \lambda f = 342.6m/s$$

$$\text{相位比较法: } \frac{\lambda}{2} = \frac{[(x_7+\dots+x_{12})-(x_1+\dots+x_6)]}{36} = 4.285mm$$

$$\text{声速 } v_2 = \lambda f = 344.4m/s$$

下面是用 Python 程序进行线性拟合得到的结果，直线斜率即为所求的 $\frac{\lambda}{2}$ ：



驻波法拟合结果: $\frac{\lambda}{2} = 4.275mm$, 声速 $v_{1'} = \lambda f = 343.7m/s$

相位比较法拟合结果: $\frac{\lambda}{2} = 4.269mm$, 声速 $v_{2'} = \lambda f = 343.1m/s$

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果，写出完整的结果表达式，并分析误差原因。)

2.1 绝对误差: $\Delta v = |v_{\text{实际}} - v_{\text{理论}}|$

- 逐差法+驻波法: $\Delta v_1 = |342.6 - 339.8| \frac{m}{s} = 2.82m/s$

- 逐差法+相位比较法: $\Delta v_2 = |344.4 - 339.8| \frac{m}{s} = 4.62m/s$

- 最小二乘法+驻波法: $\Delta v_{1'} = |343.7 - 339.8| \frac{m}{s} = 3.92m/s$
- 最小二乘法+相位比较法: $\Delta v_{2'} = |343.1 - 339.8| \frac{m}{s} = 3.32m/s$

2.2 相对误差: $\delta v = \frac{\Delta v}{v_{理论}} \times 100\%$

- 逐差法+驻波法: $\delta v_1 = \frac{2.82}{339.8} \times 100\% \approx 0.83\%$
- 逐差法+相位比较法: $\delta v_2 = \frac{4.62}{339.8} \times 100\% \approx 1.36\%$
- 最小二乘法+驻波法: $\delta v_{1'} = \frac{3.92}{339.8} \times 100\% \approx 1.15\%$
- 最小二乘法+相位比较法: $\delta v_{2'} = \frac{3.32}{339.8} \times 100\% \approx 0.98\%$

2.3 不确定度: $\frac{u_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{u_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2}$

B类不确定度 $u_f = \frac{10}{\sqrt{3}} = 6Hz$, $u_{\lambda B} = \frac{2 \times 0.004}{\sqrt{3}} = 0.005mm$

- 逐差法+驻波法:

A类不确定度: 取 $\lambda_i = \frac{x(i+6) - x_i}{3}$, 则 $u_{\lambda A} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\lambda_i - \lambda)^2}{5 \times 6}} = 0.023mm$

合成不确定度: $u_\lambda = \sqrt{(u_{\lambda A})^2 + (u_{\lambda B})^2} = 0.024mm$

不确定度: $u_v = v_1 \sqrt{\left(\frac{u_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2} \approx 1m/s$

则最终结果: $v = (342.6 \pm 1.0)m/s$

- 逐差法+相位比较法:

A类不确定度: 取 $\lambda_i = \frac{x(i+6) - x_i}{3}$, 则 $u_{\lambda A} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\lambda_i - \lambda)^2}{5 \times 6}} = 0.034mm$

合成不确定度: $u_\lambda = \sqrt{(u_{\lambda A})^2 + (u_{\lambda B})^2} = 0.034mm$

不确定度: $u_v = v_2 \sqrt{\left(\frac{u_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2} \approx 1.4m/s$

则最终结果: $v = (344.4 \pm 1.4)m/s$

2.4 误差分析:

①仪器与测量误差

- 频率误差: 若实际共振频率与设定值 (39.973 kHz) 存在微小差异, 直接影响 $v=f\lambda$ 。
- 波长测量误差:
 - ▶ 空程差: 微调手轮回程间隙导致接收端位置读数不准确 (尤其在驻波法中)。
 - ▶ 端面平行度: 换能器发射端与接收端若不严格平行, 驻波波形失真, 影响波节/波腹位置判断。
- 示波器读数误差: 振幅极大值或李萨如图形斜直线的判断存在主观性, 引入随机误差。

②环境与操作因素

- 温度影响: 声速理论值基于环境温度 (25.0°C), 若实验过程中温度波动或测温误差 (如温度计精度不足), 会导致理论值偏差。
- 空气扰动与噪声: 环境气流或背景噪声可能干扰声波信号, 尤其在高频 (40 kHz) 下, 换能器接收灵敏度受影响。
- 高阶反射和谐波: 反射波叠加形成高阶驻波, 导致波节/波腹位置偏移 (需通过多次测量平均消除)。

③数据处理方法差异

- 逐差法 vs 最小二乘法:
 - ▶ 逐差法仅利用部分数据点 (如 x_7-x_1, x_8-x_2), 可能放大局部测量误差 (如相位法逐差法误差 1.3%)。
 - ▶ 最小二乘法利用全部数据点, 更有效抑制随机误差, 结果更接近真实值。
 - ▶ A类不确定度差异: 驻波法的A类不确定度高于相位法, 反映驻波法对操作要求更高。

3. 实验探讨（10分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过100字。）

本实验通过驻波法和相位比较法测定声速，验证了声波的波动特性及驻波形成条件。实验现象与理论预期一致，如振幅周期性变化和李萨如图形转换。数据表明，两种方法所得声速与理论值偏差较小，误差主要源于仪器精度（如频率、波长测量）和操作因素（空程差、端面平行度）。最小二乘法较逐差法更有效抑制随机误差。改进方向包括严格平行调节换能器、多次测量取平均及环境温度控制。

四、思考题（10分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

1. 实验前为什么要调整测试系统的谐振频率？（课本 Q2）

- ① 能量效率最大化：超声换能器在谐振频率下工作时，电-声转换效率最高，发射的声波振幅最大，接收信号更清晰，减少环境噪声干扰。
- ② 稳定驻波形成：谐振频率下，入射波与反射波叠加形成的驻波振幅最显著，便于准确测量波节/波腹位置。
- ③ 避免频率漂移：若频率偏离谐振点，换能器响应减弱，可能导致测量误差。

2. 为什么两个换能器距离增大，接收端的声压极大值会逐渐减小？

- ① 声波衰减：声波在空气中传播时，能量随距离扩散（球面波衰减）并被空气吸收（尤其高频超声波），导致声压幅值降低。
- ② 反射损耗：距离增大时，反射波路径变长，能量损耗增加，叠加形成的驻波振幅减小。
- ③ 指向性限制：换能器声场存在指向性，远距离时声束扩散，接收端捕获的能量减少。

3. 如果超声波发生器的频率 $\bar{f} = 40.00\text{kHz}$ ，不确定度 $u_f = 10\text{Hz}$ ，测声波波长时引起的不确定度为 $u_\lambda = 0.030\text{mm}$ ， $\bar{\lambda} = 8.560\text{mm}$ ，则实验中所测得的声速相对不确定度 $\frac{u_v}{v}$ 是多少？（课本 Q3）

由声速公式 $v = f\lambda$ ，相对不确定度公式为：

$$\frac{u_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{u_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2} = 3.5 \times 10^{-3} \approx 4 \times 10^{-3}$$

• 注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站”-“选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站”-“选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后3天内进行。