

实验(29) 空气中声速的测量

一. 实验目的

1. 通过超声波在空气中传播速度的测定, 了解超声波的传播特性;
2. 进一步熟悉信号发生器、示波器等仪器的使用;
3. 练习使用逐差法处理数据.

二. 实验原理

声速在空气中传播的速度为 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{m}}$, γ 为空气比定压热容与比定容热容之比; R 为气体普适常数; m 为空气分子平均质量; T 为热力学温度. 在 0°C 时, 声速 $v = 331.45 \text{ m/s}$. 在 $t^\circ\text{C}$ 时声速则为 $v_t = v_0 \sqrt{\frac{T}{273.15}} = 331.45 \cdot \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ (m/s)}$. 在波动过程中, 声速 v 、波长 λ 和频率 f 之间存在以下关系 $v = \lambda f$. 在本实验中, 由信号发生器产生的声波信号, 通过发射端的压电陶瓷电声换能器, 转换成在空气中传播的声波.

其位移随时间变化规律为 $y_1 = A \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x)$ $y_2 = A \cos(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x + \pi)$

$$y = y_1 + y_2 = A \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x) + A \cos(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x + \pi) = 2A \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \omega t$$

在本实验中, 通过测定声波的波长 λ 及频率 f 来求得声速 v . 频率可通过频率计测量, 而常用方法有极值法和位相比较法.

1. 极值法: 固定发射的位置, 移动接收器, 接收器可测得一系列声压峰值和谷值, 相邻两次声压达到峰值(或谷值)所对应的位置差即为半波长. 保持频率 f 不变, 通过测量相邻两次接收信号达到最大值时接收器之间的距离 $\frac{\lambda}{2}$, 就可以用公式

三. 实验主要步骤或操作要点

$v = f \lambda$ 计算声速了.

2. 相位比较法

我们将输入信号和接收信号同时输入示波器的 X 轴与 Y 轴, 观察李萨如图形. 当位相差为 $0(2\pi)$ 或 π 时图形为直线, 只是斜率的正负不同. 在移动接收器过程中, 如果连续观察到这两种直线, 则距离 λ 为半波长, 不难求得声速 v 了.

实验步骤

1. 准备工作

(1) 用信号电缆连接各仪器，并给各仪器通电预热(10分钟)。

(2) 熟悉示波器的使用。

(3) 调节信号频率，移动接收器。

2. 用极值法测声速。

连续找到幅值最大点，记录相应的接收器位置 x_i 。

3. 用位相比较法测声速。

4. 误差。

5. 数据处理。

利用逐差法处理数据，分别对用两种方法测的数据，算出当前室温下的速度 v ，求出各自平均值 \bar{v} 。

并做出温度修正，求出理论值 v' ，计算相对偏差 k 。

四. 实验数据

函数信号发生器源频率 $f = 41.24 \text{ kHz}$, 室温为 25.8°C .

1. 极值法

由 10 mm 向外

实验次数	位置/mm
1	38.620
2	43.410
3	47.765
4	51.675
5	56.180
6	60.620
7	65.210
8	68.220
9	73.210
10	77.265
11	81.275
12	85.590
13	91.220
14	95.110

由 100 mm 向内

实验次数	位置/mm
1	96.330
2	91.760
3	87.210
4	82.895
5	78.520
6	74.760
7	69.635
8	66.580
9	62.060
10	57.610
11	53.495
12	49.020
13	44.760
14	40.435

2. 相位比较法

由 10 mm 向外

实验次数	位置/mm
1	69.320
2	73.710
3	77.790
4	82.100
5	86.180
6	90.400
7	94.620
8	98.990
9	103.200
10	107.300
11	112.600
12	116.200
13	120.605
14	124.505

由 100 mm 向内

实验次数	位置/mm
1	124.520
2	120.805
3	116.180
4	112.600
5	107.445
6	103.180
7	98.980
8	94.600
9	90.440
10	86.260
11	82.110
12	77.795
13	73.600
14	69.320

3. 波形移动法

五. 数据处理

1. 极值法

(1) 对于从 10 mm 向外使用逐差法.

$$x_8 - x_1 = 68.220 - 38.620 = 29.600 \text{ mm}$$

$$x_9 - x_2 = 73.210 - 43.410 = 29.800 \text{ mm}$$

$$x_{10} - x_3 = 77.265 - 47.765 = 29.500 \text{ mm}$$

$$x_{11} - x_4 = 81.275 - 51.675 = 29.600 \text{ mm}$$

$$x_{12} - x_5 = 85.590 - 56.180 = 29.410 \text{ mm}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{7} \times [(x_8 - x_1) + (x_9 - x_2) + (x_{10} - x_3) + (x_{11} - x_4) + (x_{12} - x_5) + (x_{13} - x_6) + (x_{14} - x_7)]$$

$$= \frac{1}{7} \times (29.600 + 29.800 + 29.500 + 29.600 + 29.410 + 30.600 + 29.900) = 29.773 \text{ mm}$$

$$\therefore \bar{\lambda} = 8.506 \text{ mm}$$

$$\text{此时 } v_{e1} = f \cdot \bar{\lambda} = 41.24 \text{ kHz} \times 8.506 \text{ mm} = 350.87 \text{ m/s}.$$

初始位置/mm	终止位置/mm	$10\lambda/\text{mm}$
55.420	141.050	85.630
47.920	132.420	84.500
39.370	124.250	84.880

$$x_{13} - x_6 = 91.220 - 60.620 = 30.600 \text{ mm}$$

$$x_{14} - x_7 = 95.110 - 65.210 = 29.900 \text{ mm}$$

(2) 由 100mm 向内

$$\lambda_1 - \lambda_8 = 96.330 - 66.580 = 29.750 \text{ mm} \quad \lambda_5 - \lambda_{12} = 78.520 - 49.020 = 29.500 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 - \lambda_9 = 91.760 - 62.060 = 29.700 \text{ mm} \quad \lambda_6 - \lambda_{13} = 74.760 - 44.760 = 30.000 \text{ mm}$$

$$\lambda_3 - \lambda_{10} = 87.210 - 57.610 = 29.600 \text{ mm} \quad \lambda_7 - \lambda_{14} = 69.635 - 40.435 = 29.200 \text{ mm}$$

$$\lambda_4 - \lambda_{11} = 82.895 - 53.495 = 29.400 \text{ mm}$$

$$7 \times \bar{\lambda} = \frac{1}{7} \times [(\lambda_1 - \lambda_8) + (\lambda_2 - \lambda_9) + (\lambda_3 - \lambda_{10}) + (\lambda_4 - \lambda_{11}) + (\lambda_5 - \lambda_{12}) + (\lambda_6 - \lambda_{13}) + (\lambda_7 - \lambda_{14})]$$

$$= \frac{1}{7} \times (29.750 + 29.700 + 29.600 + 29.400 + 29.500 + 30.000 + 29.200)$$

$$= 29.593 \text{ mm}$$

$$\therefore \bar{\lambda} = 8.455 \text{ mm}$$

$$V_{t2} = f \cdot \bar{\lambda} = 348.68 \text{ m/s}$$

极值法平均值
$$\bar{V}_t = \frac{1}{2}(V_{t1} + V_{t2}) = 347.86$$

2. 相位比较法 (1) 由 10mm 向外

$$\lambda_8 - \lambda_1 = 98.990 - 69.320 = 29.670 \text{ mm}$$

$$\lambda_{12} - \lambda_5 = 116.200 - 86.180 = 30.020 \text{ mm}$$

$$\lambda_9 - \lambda_2 = 103.200 - 73.710 = 29.490 \text{ mm}$$

$$\lambda_{13} - \lambda_6 = 120.600 - 90.400 = 30.200 \text{ mm}$$

$$\lambda_{10} - \lambda_3 = 107.300 - 77.790 = 29.510 \text{ mm}$$

$$\lambda_{14} - \lambda_7 = 124.500 - 94.620 = 29.880 \text{ mm}$$

$$\lambda_{11} - \lambda_4 = 112.600 - 82.100 = 30.500 \text{ mm}$$

$$7 \times \bar{\lambda} = \frac{1}{7} [(\lambda_8 - \lambda_1) + (\lambda_9 - \lambda_2) + (\lambda_{10} - \lambda_3) + (\lambda_{11} - \lambda_4) + (\lambda_{12} - \lambda_5) + (\lambda_{13} - \lambda_6) + (\lambda_{14} - \lambda_7)] = 29.896 \text{ mm}$$

$$\therefore \bar{\lambda} = 8.440 \text{ mm}$$

$$V_{t1} = f \cdot \bar{\lambda} = 348.07 \text{ m/s}$$

(2) 由 100mm 向内

$$\lambda_1 - \lambda_8 = 124.520 - 94.600 = 29.920 \text{ mm}$$

$$\lambda_5 - \lambda_{12} = 107.445 - 77.795 = 29.650 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 - \lambda_9 = 120.805 - 90.440 = 30.365 \text{ mm}$$

$$\lambda_6 - \lambda_{13} = 103.180 - 73.600 = 29.580 \text{ mm}$$

$$\lambda_3 - \lambda_{10} = 116.180 - 86.260 = 29.620 \text{ mm}$$

$$\lambda_7 - \lambda_{14} = 98.980 - 69.320 = 29.660 \text{ mm}$$

$$\lambda_4 - \lambda_{11} = 112.600 - 82.110 = 30.190 \text{ mm}$$

$$7 \times \bar{\lambda} = \frac{1}{7} [(\lambda_1 - \lambda_8) + (\lambda_2 - \lambda_9) + (\lambda_3 - \lambda_{10}) + (\lambda_4 - \lambda_{11}) + (\lambda_5 - \lambda_{12}) + (\lambda_6 - \lambda_{13}) + (\lambda_7 - \lambda_{14})]$$

$$= \frac{1}{7} \times (29.920 + 30.365 + 29.620 + 30.190 + 29.650 + 29.580 + 29.660) = 29.855 \text{ mm}$$

$$\therefore \bar{\lambda} = 8.430 \text{ mm}$$

$$\therefore V_{t2} = f \cdot \bar{\lambda} = 347.65 \text{ m/s}$$

位相比较法平均值

$$\bar{V}_t = \frac{1}{2}(V_{t1} + V_{t2}) = 347.86$$

3. 波形移动法

$$10\lambda = \frac{1}{3} (85.630 + 84.500 + 84.880) = 85.003 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = 8.500 \text{ mm}$$

$$\bar{V}_t = f \cdot \bar{\lambda} = 41.24 \times 8.500 = 350.54 \text{ m/s}$$

注意有效数字的保留

六. 实验结论及现象分析

声速理论值为 $v_t' = 331.45 \times \sqrt{1 + \frac{25.8}{273.15}} = 346.75 \text{ m/s}$

1. 极值法 $\bar{v}_1 = 349.75 \text{ m/s}$ 相对误差 = $\frac{|\bar{v}_1 - v_t'|}{v_t'} = 0.87\%$

2. 位相比较法 $\bar{v}_2 = 347.86 \text{ m/s}$ 相对误差 = $\frac{|\bar{v}_2 - v_t'|}{v_t'} = 0.32\%$

3. 波形移动法 $\bar{v}_3 = 350.54 \text{ m/s}$ 相对误差 = $\frac{|\bar{v}_3 - v_t'|}{v_t'} = 1.09\%$

由上述数据可知, 位相比较法测的声速最准确。

误差分析:

1. 极值法中对最大值点的判断不准确会对结果造成影响, 误差较大

2. 位相比较法中只须观察直线的李萨如图形, 操作相对容易, 误差较小

3. 波形移动法中, 由于人为因素或仪器误差, 所测长度不一定正好为10个波长, 因此可能带来误差。

此外, 要注意消除回程差, 实验时一定要始终沿同一方向移动接收器, 否则可能带来较大误差。

七. 讨论问题

1. 答: 两者共同的因素: 同轴调节的精度, 共振频率调节的准确性, 信号源频率的稳定性, 长度测量的精度。

对于极值法, 信号源幅度稳定性和共振声波波形幅值最大点判断的准确性也有影响。对于位相法, 从图形上判断相位差为 π 的点的偏差也有影响。由于信号幅度的漂移对位相检测没有影响, 原则上后一种方法更好。

2. 答: 如果不用逐差法, 将使中间各数据相互抵消, 而只有两端的数据有效, 造成测量精度不高。由于自变量 x 变化等间隔, 且误差远小于 y 的误差, 即可采取近似过程, 忽略 x 的误差。所以此实验可以采用逐差法。

声-电转换机理:

机理为“压电效应”。当结构上不存在对称中心的晶体受压变形时, 会在其表面产生电荷, 即“压电效应”。而此种晶体在电场中时则会产生机械形变, 这是“逆压电效应”。

压电化能器正是利用“逆压电效应”, 将高频电压转化为高频率的振动, 从而产生超声波。

将物体置于两换能器之间的现象:

(1) 放入钢笔: 声波信号幅度减弱。因为钢笔阻挡声波且使其发散, 衍射但由于存在绕射, 仍能收到较弱的声波信号。

(2) 放入纱布: 声波幅度减小, 且幅度极小, 因为纱布吸收了声信号, 使其强度减弱。

(3) 管子与声波平行: 声信号幅度增强, 因为管子可以使声波会聚, 减小其发散损失, 故信号增强。

若管子横放在声波中, 则现象与钢笔相似。