

# 南京大学 物理实验报告纸

系别 工程管理学院 学号 231275006 姓名 张潇腾 任课老师 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

实验 三 题目 弦振动的研究 年 月 日 \_\_\_\_\_ 第 1 页

## 一. 实验目的

- (1) 了解固定均匀弦振动的传播规律, 加深振动与波和干涉的概念.
- (2) 了解均匀弦振动固有频率的相关因素, 测量均匀弦线上横波的传播速度及均匀弦线的线密度.
- (3) 了解声音与频率之间的关系.

## 二. 实验原理

### 1. 弦线上横波的传播规律

一根拉紧的弦线的线密度为  $\rho$ , 弦线上的张力大小为  $F_T$ , 则沿弦线传播的横波满足以下运动方程:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{F_T}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (1)$$

式中  $x$  为波在传播方向上的坐标,  $y$  为振动位移.

与典型的波动方程  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$  相比较, 即可得到波的传播速度:

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\rho}} \quad (2)$$

若波源的振动频率为  $f$ , 波长为  $\lambda$ , 则有

$$v = f\lambda \quad (3)$$

比较 (2) 式和 (3) 式可得

$$\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{F_T}{\rho}} \quad (4)$$

### 2. 驻波原理

当两列振幅和频率相同的相干波在同一直线上相向传播, 初相位满足特定差值时, 将形成驻波.

如入射波可表示为:  $y_1 = A \cos[2\pi(ft - \frac{x}{\lambda}) + \varphi_1]$

反射波可表示为:  $y_2 = A \cos[2\pi(ft + \frac{x}{\lambda}) + \varphi_2]$

则合成波为:  $y = y_1 + y_2 = 2A \cos(-\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}) \cos(2\pi ft + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2})$ .

上式中  $|2A \cos(-\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2})| = |2A \cos(\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2})|$  为驻波的振幅. 在  $x=0$  处, 弦线的一端被固定, 振幅恒为 0, 即  $\cos(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}) = 0$ ,  $\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} = \frac{\pi}{2}$ , 所以波的振幅随坐标  $x$  ( $x \geq 0$ ) 的分布函数为:  $f(x) = |2A \cos(\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{\pi}{2})|$ .

(1) 当  $|\cos(\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{\pi}{2})| = 1$ , 即  $x = (k + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{2}$  ( $k=0, 1, 2, \dots$ ) 时, 振幅最大, 为波腹处.

(2) 当  $|\cos(\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{\pi}{2})| = 0$ , 即  $x = k\frac{\lambda}{2}$  ( $k=0, 1, 2, \dots$ ) 时, 振幅为 0, 为波节处.

# 南京大学 物理实验报告纸

系列 \_\_\_\_\_ 学号 231275006 姓名 张潇腾 任课老师 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

实验 二 题目 \_\_\_\_\_ 年 月 日 \_\_\_\_\_ 第 2 页

相邻两波腹或相邻两波节之间的距离都是半波长  $\frac{\lambda}{2}$ 。

## 三. 实验内容

### 1. 弦线线密度的测定(有 a、b 两种弦线)

首先测量弦线 a 的线密度. 将波形选择开关 7 置于“连续”位置, 将信号发生器输出插孔 1 与弦线 a 连接. 选取频率  $f=300\text{Hz}$ , 张力  $F_T$  由挂在弦线一端的砝码及砝码钩决定, 移动劈尖位置, 改变劈尖与砝码间的弦线长度, 同时适当移动磁钢的位置, 使弦线上形成明显的驻波, 记下砝码钩和砝码的总质量、频率显示器上的频率, 测出劈尖与砝码间的弦长, 数出驻波段数  $n$ ,  $\lambda=L/n$ , 由(4)式可得  $\rho_1 = F_T(n/2Lf)^2$ , 即可求得弦线的线密度.

以 150g 起点逐渐增加砝码质量至 450g 为止. 在各张力的作用下, 调节弦长  $L$ , 使弦线上出现若干个稳定且明显的驻波段. (砝码钩质量  $m_0$  为 3.5g)

### 2. 张力 $F_T$ 一定, 测量弦线的线密度 $\rho_1$ 和弦线上横波的传播速度 $v$ .

在张力  $F_T$  一定的条件下, 将频率  $f$  分别变为 200Hz, 250Hz, 300Hz, ..., 移动劈尖, 调节弦长  $L$ , 仍使弦线上出现若干个稳定且明显的驻波段, 记录相应的  $f, n, L$ , 由传播速度  $v = 2Lf/n$  (单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 可测量出弦线上横波的传播速度  $v$ .

### 3. 测量弦线张力 $F_T$

选择与张力调节旋钮 4 相连的弦线 a 或 b. 将其与信号发生器输出插孔 1 连接, 调节频率  $f$  至 300Hz 左右, 适当调节张力调节旋钮, 同时移动劈尖改变弦长, 使弦线出现明显驻波. 记录相应的  $f, n, L$ , 可间接测量出这时弦的张力为:

$$F_T = \rho_1 (2Lf/n)^2.$$

### 4. 聆听音阶高低.

将驱动频率设置为所定的值, 由弦振动的理论可知, 通过调节弦线的张力或长度, 可使弦线上形成驻波, 我们就能听到与音阶频率对应的声音了.

聆听声音时可将波形选择开关置于“断续”或者“连续”位置, 而断续波的作用则是模拟弹奏乐器发出的声音.

## 四. 注意事项

(1) 注意安全用电.

(2) 振动仪的振幅要适当, 不必过大; 应在弦线上出现振幅较大且稳定的驻波时, 再测量驻波波长, 并从波源处开始测量.

(3) 弦线所受张力的的大小是砝码和砝码钩的总重量, 砝码和砝码钩的质量均已标出.

# 南京大学 物理实验报告纸

系别 \_\_\_\_\_ 学号 231275006 姓名 张萧腾 任课老师 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

实验 三 题目 \_\_\_\_\_ 年 月 日 \_\_\_\_\_ 第 3 页

(4) 实验时,若发现波源发生机械共振时,应减小振幅或改变波源频率,以便调节出振幅大且稳定的驻波.

## 五.数据处理

表 1

	$f = 300.0 \text{ Hz}, m = 3.5 \text{ g}$									
$T (9.8 \text{ N})$	$0.100 + m$		$0.150 + m$		$0.200 + m$		$0.250 + m$		$0.300 + m$	
驻波段数 $n$	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2
弦线长 $L (10^{-2} \text{ m})$	31.33	46.05	35.32	57.47	41.40	41.65	46.45	46.21	51.50	51.36
$\rho = T(n/2Lf)^2$ (kg/m)	$1.148 \times 10^{-4}$	$1.196 \times 10^{-4}$	$1.339 \times 10^{-4}$	$1.139 \times 10^{-4}$	$1.293 \times 10^{-4}$	$1.277 \times 10^{-4}$	$1.279 \times 10^{-4}$	$1.293 \times 10^{-4}$	$1.246 \times 10^{-4}$	$1.252 \times 10^{-4}$
平均 $\rho$ (kg/m)	$1.246 \times 10^{-4}$									
$V = 2Lf/n$ (m/s)	93.99	92.10	106.0	114.9	124.2	125.0	139.4	138.6	154.5	154.1
平均速度 $V$ (m/s)	93.05		110.5		124.6		139.0		154.3	
$V^2$ (m/s) <sup>2</sup>	8657		$1.220 \times 10^4$		$1.552 \times 10^4$		$1.932 \times 10^4$		$2.381 \times 10^4$	

作  $T \sim V^2$  图象以求出  $\rho$  的值:

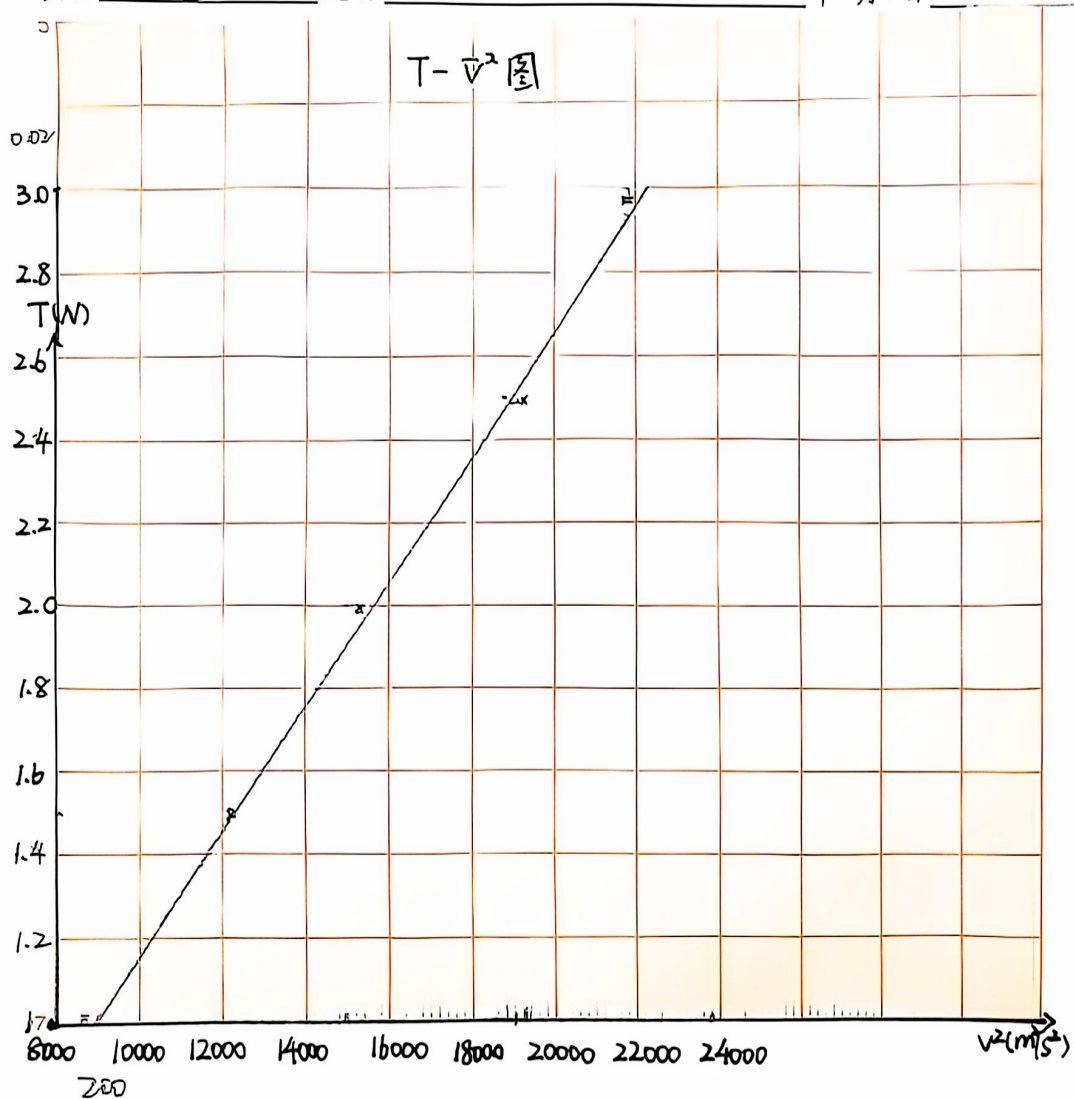
$T (\text{N})$	1.104	1.504	1.994	2.484	2.974
$V^2 (\text{m/s})^2$	8654	$1.220 \times 10^4$	$1.552 \times 10^4$	$1.932 \times 10^4$	$2.381 \times 10^4$



# 南京大学 物理实验报告纸

系别 \_\_\_\_\_ 学号 231275006 姓名 张潇腾 任课老师 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

实验 三 题目 \_\_\_\_\_ 年 月 日 \_\_\_\_\_ 第 4 页



由图象得,

$$\rho = \frac{3.000 - 1.000}{2.23 \times 10^4 - 0.88 \times 10^3} = 1.481 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$$

## 六. 误差分析

- ① 作图时由于拟合直线未经过所有描点, 导致所得  $\rho$  值与求均值的方法得到的  $\rho$  值有一定偏差.
- ② 实验过程中,  $L$  在某一长度范围内均能观察到明显的驻波, 但  $L$  理论值唯一, 导致  $L$  的测量有误差.

# 南京大学\_\_\_\_\_物理实验报告纸

系别\_\_\_\_\_学号 231275006 姓名 张潇腾 任课老师\_\_\_\_\_成绩\_\_\_\_\_

实验 三 题目\_\_\_\_\_年 月 日\_\_\_\_\_第 5 页

## 七. 讨论思考题

(1) 弦长、频率一定时, 想调出较多的波腹, 弦线应紧些还是松些?

答: 由  $\rho = T(n/2Lf)^2$  得, 当  $L, f$  一定时, 若波腹较多, 则  $n$  更大,  $T$  更小, 弦线应该松些.

(2) 当弦线的线密度加大时, 应如何才能使波的传播速度不变?

答: 由  $T = \rho v^2$  得, 当线密度增大时, 若  $v$  不变, 则  $T$  增大, 需加砝码使弦线更紧.

# 南京大学 物理实验报告纸

系别 \_\_\_\_\_ 学号 231275006 姓名 张潇腾 任课老师 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

实验 三 题目 弦振动的研究 年 10 月 2 日 第 附 页

	$f = 300.0\text{Hz}$									
	$m = 3.5\text{g}$									
5位	$T(9.8\text{N})$		0.100tm		0.150tm		0.200tm		0.250tm	
常	驻波段数 $n$		2	3	2	3	2	2	2	2
位	弦线长 $L(10^{-2}\text{m})$		31.33	46.05	35.32	57.47	41.40	41.65	46.45	46.21
位	$\rho = T(n/2Lf)^2$ (kg/m) 4位		1.148 $\times 10^{-4}$	1.196 $\times 10^{-4}$	1.339 $\times 10^{-4}$	1.139 $\times 10^{-4}$	1.293 $\times 10^{-4}$	1.277 $\times 10^{-4}$	1.279 $\times 10^{-4}$	1.293 $\times 10^{-4}$
	4位 平均 $\rho$ (kg/m)		$1.246 \times 10^{-4}$							
	44 吊 4位 $V = 2Lf/n$ (m/s)		93.99	92.10	105.96	114.94	124.20	124.95	131.35	138.63
	4位 平均速度 $V$ (m/s)		93.05	110.46	124.58	139.00	154.29			
	4位 $V^2$ (m/s) <sup>2</sup>		8657.37	12199.20	15518.93	19318.22	23805.40			

根据  $T-V^2$  图以及公式  $T = \rho V^2$  可得,

$\rho = k = 1.481 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$ , 即弦的线密度为  $1.481 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$ .

10.12.