



# FD-SWE-II

## 弦线上驻波实验仪

# 说 明 书

上海复旦天欣科教仪器有限公司  
中国 上海

## 一、概述

弦线上波的传播规律的研究是力学实验中的一个重要实验，并被列入全国综合性大学物理实验教学大纲中的一个必做实验。本仪器重点观测在弦线上形成的驻波，并用实验确定弦振动时，驻波波长与张力的关系，驻波波长与振动频率的关系，以及驻波波长与弦线密度的关系。掌握驻波原理测量横波波长的方法。这种方法不仅在力学中有重要应用，在声学、无线电学和光学等学科的实验中都有许多应用。FD-SWE-II型弦线上驻波实验仪与原有电动音叉驱动的弦振动实验仪相比具有以下优点：（1）采用单片机控制振动频率，电磁驱动振动簧片作振动源，该振动源具有频率变化范围较大，可连续微调振动频率等特点。可用于弦产生驻波时研究波长与振动频率、波长与张力的关系，扩大了实验内容。

（2）振动频率由数码管直接显示，频率数据稳定可靠。（3）弦振动实验在一个专门设计的实验平台上进行，该实验平台结构美观、牢靠。驻波波节位置可通过专用支架（支点为滑轮轴心位置或刀口位置）的标志线对准的标尺读数求得，标志线和标尺在同一平面上可消除读数视差。由于弦上驻波实验的频率、张力和线密度均可改变，因而实验内容丰富，有利于实验者研究弦线上横波的传播规律和驻波的特点与应用，是现代技术的新型物理实验教学仪器。本仪器可用于高校及中专学生的基础物理实验，也可用于做课堂演示实验。

## 二、仪器组成和技术参数

- 1、输入交流电压：220V±10%；50Hz
- 2、输出直流电压：9V/13V；0.5A

- 3、可调频率的数显机械振动源：频率调节范围 0-200Hz 连续可调；  
可调频率 0.01Hz。可根据输出振幅需要，连续调节振动振幅。可  
调节频率的数显机械振动源由变压器、单片机控制电磁驱动振动  
簧片、频率调节按键、振幅调节旋钮组成(顺时针增加幅度)。
- 4、实验平台（铝合金型材）长 1500mm，宽 80mm，高 40mm。
- 5、仪器质量：约 5.5kg
- 6、可滑动支架 1 只，可动刀口支架 1 只，滑轮的轴心(刀口)与支架  
底片的左侧边对齐，读数时支架可锁紧固定。
- 7、固定滑轮 1 个。
- 8、砝码盘 1 个。
- 9、砝码 6 个，砝码质量：45.00±0.04g /个。
- 10、铜线（漆包线）3 米，线径 0.35mm。

### 三、实验仪器（如图 1 所示）

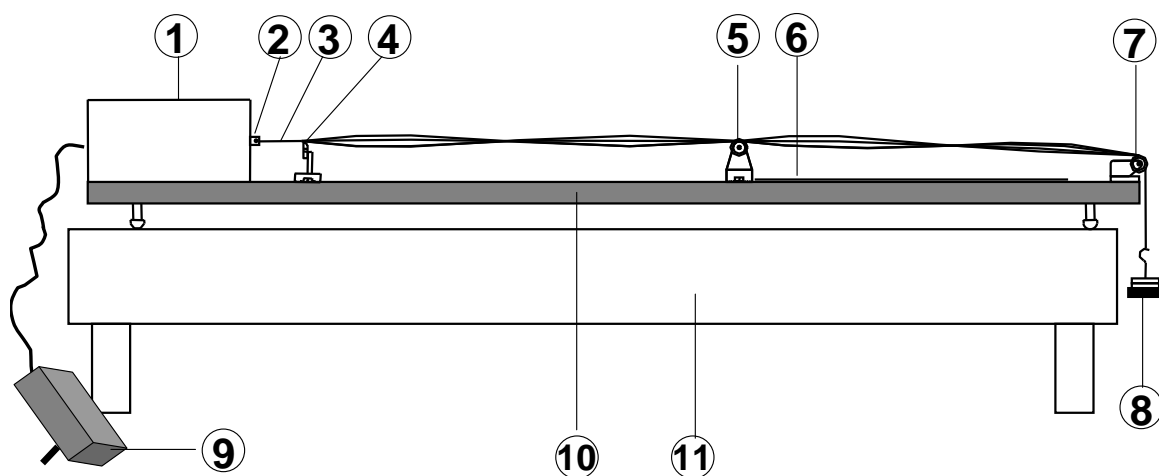


图 1 实验仪器图

- 1、可调频率数显机械振动源；2、振簧片；3、弦线；4、可动刀口支架；5、可动滑轮支架；
- 6、标尺；7、固定滑轮；8、砝码与砝码盘；9、变压器；10、实验平台；11、实验桌

## 四、使用方法

- 1、实验时，将变压器（黑色壳）输入插头与 220V 交流电源接通，输出端（五芯航空线）与主机上的航空座相连接。打开数显振动源面板上的电源开关①（振动源面板如图 2 所示）。面板上数码管⑤显示振动源振动频率  $\times \times \times . \times \times \text{Hz}$ 。根据需要按频率调节②中 ▲（增加频率）或 ▼（减小频率）键，改变振动源的振动频率，调节面板上幅度调节旋钮④，使振动源有振动输出；当不需要振动源振动时，可按面板上复位键③复位，数码管显示全部清零。

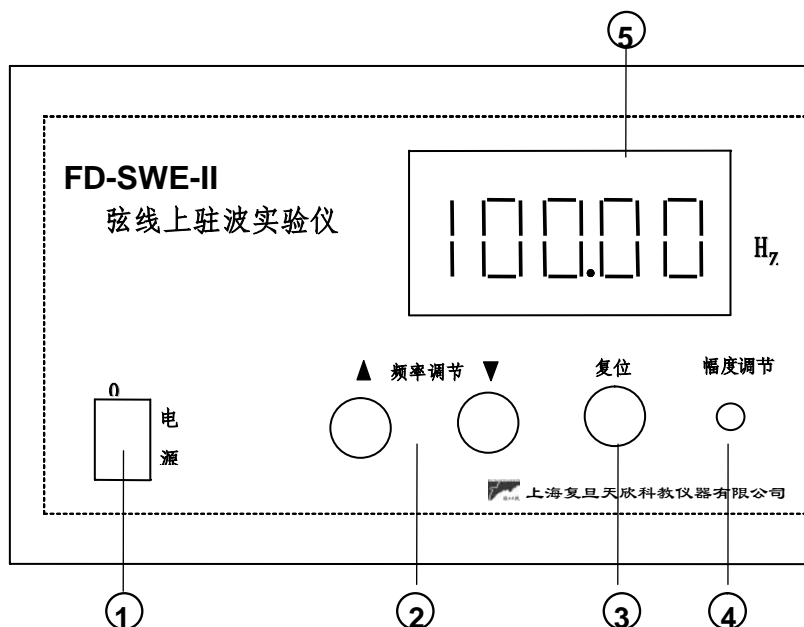


图 2 振动源面板图

- 1、电源开关    2、频率调节    3、复位键    4、幅度调节    5、频率指示
- 2、在某些频率，由于振动簧片共振使振幅过大，此时应逆时针旋转面板上的旋钮以减小振幅，便于实验进行。不在共振频率点工作时，可调节面板上幅度旋钮④到输出最大。
- 3、固定振动源的频率，在砝码盘上添加不同质量的砝码，以改变弦线

上的张力。每改变一次张力，均要调节可动滑轮的位置，使平台上的弦线出现振幅较大且稳定的驻波。此时，记录振动频率、砝码质量、产生整数倍半波长的弦线长度及半波波数。

- 4、同样方法，可固定砝码盘上的砝码质量，改变振动源频率，进行类似的实验。

## 五、操作注意事项

- 1、要准确求得驻波的波长，必须在弦线上调出振幅较大且稳定的驻波。  
在固定频率和张力的条件下，可沿弦线方向左、右移动可动滑轮⑤的位置，找出“近似驻波状态”，然后细细移动可动滑轮位置，逐步逼近，最终使弦线出现振幅较大且稳定的驻波。
- 2、调节振动频率，当振簧片达到某一频率（或其整数倍频率）时，会引起整个振动源（包括弦线）的机械共振，从而引起振动不稳定。此时，可逆时针旋转面板上的输出信号幅度旋钮，减小振幅，或避开共振频率进行实验。

以下参考讲义和实验结果，由复旦大学物理实验教学中心提供

# 弦线上驻波实验

## 一、学习重点

- 1、观察在弦上形成的驻波，并用实验确定弦线振动时驻波波长与张力的关系；
- 2、在弦线张力不变时，用实验确定弦线振动时驻波波长与振动频率的关系；
- 3、学习对数作图或最小二乘法进行数据处理。

## 二、仪器用具

可调频率的数显机械振动源、平台、固定滑轮、可调滑轮、砝码盘、米尺、弦线、砝码、分析天平等。

## 三、实验原理

在一根拉紧的弦线上，其中张力为  $T$ ，线密度为  $\mu$ ，则沿弦线传播的横波应满足下述运动方程：

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

式中  $x$  为波在传播方向（与弦线平行）的位置坐标， $y$  为振动位移。将

(1) 式与典型的波动方程 
$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

相比较，即可得到波的传播速度：
$$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

若波源的振动频率为  $f$ ，横波波长为  $\lambda$ ，由于  $V = f\lambda$ ，故波长与张力及线密度之间的关系为：

$$\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (2)$$

为了用实验证明公式(2)成立，将该式两边取对数，得：

$$\log \lambda = \frac{1}{2} \log T - \frac{1}{2} \log \mu - \log f$$

若固定频率  $f$  及线密度  $\mu$ ，而改变张力  $T$ ，并测出各相应波长  $\lambda$ ，作  $\log \lambda - \log T$  图，若得一直线，计算其斜率值（如为  $\frac{1}{2}$ ），则证明了  $\lambda \propto T^{\frac{1}{2}}$  的关系成立。同理，固定线密度  $\mu$  及张力  $T$ ，改变振动频率  $f$ ，测出各相应波长  $\lambda$ ，作  $\log \lambda - \log f$  图，如得一斜率为 -1 的直线就验证了  $\lambda \propto f^{-1}$ 。

弦线上的波长可利用驻波原理测量。当两个振幅和频率相同的相干波在同一直线上相向传播时，其所叠加而成的波称为驻波，一维驻波是波干涉中的一种特殊情形。在弦线上出现许多静止点，称为驻波的波节。相邻两波节间的距离为半个波长。

#### 四、实验仪器

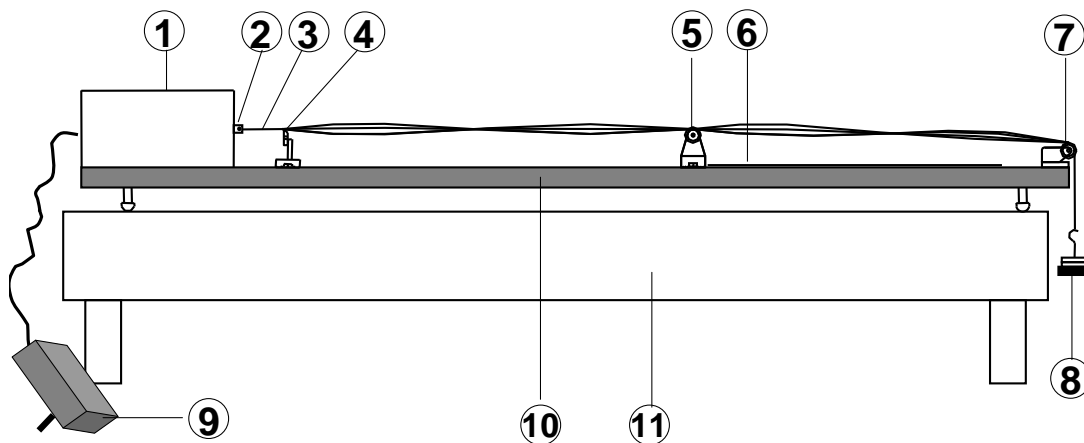


图 3 仪器结构图

- 1、可调频率数显机械振动源；2、振动簧片；3、弦线；4、可动刀口支架；5、可动滑轮支架；  
6、标尺；7、固定滑轮；8、砝码与砝码盘；9、变压器；10、实验平台；11、实验桌

实验装置如图 3 所示，金属弦线的一端系在能作水平方向振动的可调频率数显机械振动源的振簧片上，频率变化范围从 0-200Hz 连续可调，

频率最小变化量为 0.01Hz，弦线一端通过定滑轮⑦悬挂一砝码盘⑧；在振动装置(振动簧片)的附近有可动刀口④，在实验装置上还有一个可沿弦线方向左右移动并撑住弦线的动滑轮⑤。这两个滑轮固定在实验平台⑩上，其产生的摩擦力很小，可以忽略不计。若弦线下端所悬挂的砝码(包含砝码盘)的质量为  $m$ ，张力  $T = mg$ 。当波源振动时，即在弦线上形成向右传播的横波；当波传播到可动滑轮与弦线相切点时，由于弦线在该点受到滑轮两壁阻挡而不能振动，波在切点被反射形成了向左传播的反射波。这种传播方向相反的两列波叠加即形成驻波。当振动端簧片与弦线固定点至可动滑轮⑤与弦线切点的长度  $L$  等于半波长的整数倍时，即可得到振幅较大而稳定的驻波，振动簧片与弦线固定点为近似波节，弦线与动滑轮相切点为波节。它们的间距为  $L$ ，则

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

其中  $n$  为任意正整数。利用式(3)，即可测量弦上横波波长。由于簧片与弦线固定点在振动不易测准，实验也可将最靠近振动端的波节作为  $L$  的起始点，并用可动刀口④指示读数，求出该点离弦线与动滑轮⑤相切点距离  $L$ 。

## 五、实验内容

### 1、必做内容

#### A、验证横波的波长与弦线中的张力的关系

固定一个波源振动的频率，在砝码盘上添加不同质量的砝码，以改变同一弦上的张力。每改变一次张力(即增加一次砝码)，均要左右移动可动滑轮⑤的位置，使弦线出现振幅较大而稳定的驻波。用实验平台⑩



上的标尺⑥测量 $L$ 值，即可根据式(3)算出波长 $\lambda$ 。作 $\log \lambda - \log T$ 图，求其斜率。

### B、验证横波的波长与波源振动频率的关系

在砝码盘上放上一定质量的砝码，以固定弦线上所受的张力，改变波源振动的频率，用驻波法测量各相应的波长，作 $\log \lambda - \log f$ 图，求其斜率。最后得出弦线上波传播的规律结论。

## 2、选做内容

### 验证横波的波长与弦线密度的关系

在砝码盘上放固定质量的砝码，以固定弦线上所受的张力，固定波源振动频率，通过改变弦丝的粗细来改变弦线的线密度，用驻波法测量相应的波长，作 $\log \lambda - \log \mu$ 图，求其斜率。得出弦线上波传播规律与线密度的关系。

### 实验时须注意的问题：

- 1、须在弦线上出现振幅较大而稳定的驻波时，再测量驻波波长。
- 2、张力包括砝码与砝码盘的质量，砝码盘的质量用分析天平称量。
- 3、当实验时，发现波源发生机械共振时，应减小振幅或改变波源频率，便于调节出振幅大且稳定的驻波。

## 六、实验结果例

### 1、验证横波的波长 $\lambda$ 与弦线中的张力 $T$ 的关系

波源振动频率 $f = 100.00\text{Hz}$ ； $m$ 为砝码加挂钩的质量， $L$ 为产生驻波的弦线长度， $n$ 为在 $L$ 长度内半波的波数，实验结果如表1所示。（注： $n$ 的个数取决于所选弦线的密度 $\mu$ ，以下实验数据为复旦大学实验室教师

采集, 仅供参考)

表 1 给定频率的实验数据表

$m/10^{-3}\text{Kg}$	44.64	89.96	135.33	180.69	226.01	271.35	316.69
$L/10^{-2}\text{m}$	74.30	68.80	84.20	71.90	80.70	61.20	65.90
$n$	6	4	4	3	3	2	2

由表 1 计算得:

表 2 波长与弦线中张力的关系

$\lambda/10^{-2}\text{m}$	24.77	34.40	42.10	47.93	53.8	61.20	65.90
$T/\text{N}$	0.4372	0.8811	1.325	1.770	2.214	2.658	3.102
$\log \lambda$	-0.6061	-0.4634	-0.376	-0.319	-0.269	-0.213	-0.181
$\log T$	-0.3593	-0.0549	0.1222	0.2480	0.3452	0.4246	0.4916

经最小二乘法拟合得  $\log \lambda - \log T$  的斜率为: 0.498, 相关系数为: 0.999

## 2、验证横波的波长 $\lambda$ 与波源振动频率 $f$ 的关系

砝码加上挂钩的总质量  $m = 135.33 \times 10^{-3} \text{Kg}$ ; 上海地区的重力加速度  $g = 9.794 \text{m/s}^2$ ; 张力  $T = 135.33 \times 10^{-3} \times 9.794 = 1.325 \text{N}$ , 实验结果如表 3、表 4 所示。

表 3 给定张力的实验数据表

$f/\text{Hz}$	45.00	60.00	80.00	100.00	125.00	150.00	175.00
$L/10^{-2}\text{m}$	44.80	34.20	54.80	84.60	66.30	55.10	71.30
$n$	1	1	2	4	4	4	6

由表 3 计算得:

表 4 波长与频率的关系

$\lambda/10^{-2}\text{m}$	89.60	68.40	54.80	42.30	33.15	27.55	23.77
$\log \lambda/10^{-2}$	-4.769	-16.49	-26.12	-37.37	-47.95	-55.99	-62.40
$\log f$	1.653	1.778	1.903	2.000	2.097	2.176	2.243

经最小二乘法拟合得  $\log \lambda - \log f$  的斜率为:  $-0.988$ , 相关系数为:  $0.999$ 。

实验结果得到  $\log \lambda - \log T$  的斜率非常接近  $0.5$ ;  $\log \lambda - \log f$  的斜率接近  $-1$ 。验证了弦线上横波的传播规律, 即横波的波长  $\lambda$  与弦线张力  $T$  的平方根成正比, 与波源的振动频率  $f$  成反比。

## 七、思考题

- 1、求  $\lambda$  时为何要测几个半波长的总长?
- 2、为了使  $\log \lambda - \log T$  直线图上的数据点分布比较均匀, 砝码盘中的砝码质量应如何改变?
- 3、为何波源的簧片振动频率尽可能避开振动源的机械共振频率?
- 4、弦线的粗细和弹性对实验各有什么影响, 应如何选择?

## 八、参考资料

- 1、贾玉润 王公治 凌佩玲 大学物理实验, 上海复旦大学出版社, 1986: 117—119。
- 2、陈骏逸 陆申龙 范伟民 弦线上波的传播规律实验装置的改进, 大学物理实验, 第 16 卷第 1 期 2003.3: 13—15。
- 3、沈元华 陆申龙 基础物理实验, 高等教育出版社, 2003

上海复旦天欣科教仪器有限公司

地址: 上海市国权路 39 号 技术服务热线: 021-55068654-14

上海复旦天欣科教仪器有限公司

# FD-SWE-II 弦线上驻波实验仪

## 装箱清单

您所购买的产品与装箱清单中是否相符，请验收！

日期： 年 月 日

名 称	数 量	备 注
1、实验主机	壹台	(包括: 可调频率数显机械振动源、实验平台、一个动滑轮、一个刀口支架、一个定滑轮)
2、变压器	壹个	输出直流: 9V/13V 0.5A
3、砝码	柒个	包括一个砝码盘
4、铜丝(漆包线)	叁米	直径 0.35mm
5、标尺(1.31米)	壹个	已贴在实验平台上
6、合格证	壹张	
7、说明书	壹份	附实验讲义和实验数据
8、装箱清单	壹份	