

文章编号:1005-4642(2025)08-0044-04

学
生
园
地



动态法测杨氏模量实验装置的设计

申玲玲, 欧阳奕, 李 涵, 陈 宇, 王国友, 陈光伟

(湖南工业大学 理学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要:利用喇叭和话筒制作了激振器和拾振器,并将其作为测量杨氏模量装置的核心元件,利用改进装置采用支撑法和悬挂法测量杨氏模量的结果基本吻合。改装后的装置能精确测量棒材试件的共振频率,提高了杨氏模量的测量精度。该装置的设计合理,且具有相对误差小及重复性好等优点,可以拓展应用于弦振动实验。

关键词:杨氏模量;动态法;激振器;拾振器

中图分类号:O4-33

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2025.08.007

杨氏模量是描述固体材料抵抗形变能力的物理量^[1-2],其测量方法可分为静态法和动态法^[3-4]。其中,动态法(包括支撑法和悬挂法)因能较好反映材料在微小形变时的物理性能^[5-8],且具有测量结果稳定、误差小等优点而被高校广泛采用。本文设计了动态法测量杨氏模量的实验装置,利用喇叭和话筒的工作原理制作而成的激振器和拾振器作为核心部件,采用支撑法和悬挂法精确测量固体材料的共振频率,进而测得杨氏模量。利用电容式话筒制作拾振器,可激发学生的创新思维。该装置不仅可以采用支撑法和悬挂法测量杨氏模量,而且还可应用于弦振动实验,丰富了实验内容,可有效促进新工科背景下创新型人才的培养。

1 实验原理

动态法测量杨氏模量是以横杆振动的偏微分方程为基础,导出动力学下杨氏模量 E 的测量公式为^[9]

$$E = 1.6067 \frac{l^3 m}{d^4} f^2, \quad (1)$$

式中 l , d 和 m 分别是试件的长度、直径和质量, f 为试件的固有频率。由于固有频率和共振频率相等,因而实验的关键是测量试件的共振频率^[3]。

实验装置中信号传输的流程为:

1) 数字信号发生器输出频率连续可调的正弦

电信号经低频功率放大器放大后,输入激振器转化为机械振动;

2) 通过支撑架将振动传给试件,试件作受迫振动并将振动传给拾振器;

3) 拾振器将机械振动转换为电信号并放大,输出至示波器显示^[1]。

杨氏模量测量原理为:调节数字信号发生器输出信号的频率^[9],当信号发生器的频率与试件的固有频率相同时,试件产生共振,示波器显示的波形幅度达到最大,此时数字信号发生器的频率即为共振频率。测量不同位置(支撑点或者悬挂点)的频率,采用外延法或者内插法^[4-6]得到节点处的共振频率,最后利用式(1)求出棒材试件的杨氏模量^[3]。

2 实验装置

动态法测量杨氏模量实验仪如图 1 所示,实验器件包括数字信号发生器、低频功率放大器、激振器、拾振器、示波器、棒材试件和测试架等。测试架由 4 根立柱用螺丝固定在中间有长方形预留槽的矩形铁板上,每根立柱下端安装橡胶套,并在铁板上表面铺海绵垫。数字信号发生器依次与低频功率放大器和激振器连接。采用支撑法测量时,激振器和拾振器正立放置在测试架上,上端刀

收稿日期:2024-07-14;修改日期:2024-10-23

基金项目:湖南省大学生创新项目(No. S202411535043);湖南省自然科学基金项目(No. 2016JJ2045);湖南省教育厅科学研究项目(No. 19C0539)

作者简介:申玲玲(2003—),女,湖南石门人,湖南工业大学理学院 2021 级本科生。E-mail:2377784104@qq.com

通信作者:王国友(1974—),男,湖南隆回人,湖南工业大学理学院讲师,博士,从事量子信息方面的研究以及实验物理教学。E-mail:gywang04@163.com

口处放置棒材试件;采用悬挂法测量时,激振器和拾振器倒立放置且其支撑架处于预留槽中,用穿过刀口处悬挂孔的悬丝悬挂棒材试件。拾振器的输出接口连接示波器。

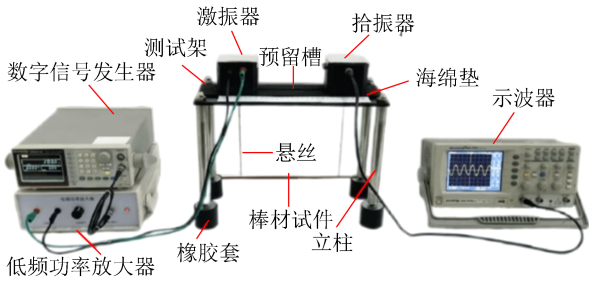


图 1 动态法测杨氏模量实验仪

2.1 设计激振器

激振器主要由喇叭、支撑架、输入接口、外壳等组成,结构如图 2 所示。喇叭作为核心部件,由载流线圈、磁铁和纸盆等组成,通过螺丝固定在外壳顶端,支撑架则用胶水粘贴在纸盆开口处,输入接口安装在外壳的侧面。实验时,信号发生器产生的交流电信号经低频率放大器放大后由输入接口输入激振器,在喇叭的载流线圈与磁铁磁场间产生方向变化的磁场力,载流线圈往复振动,带动纸盆上下振动^[10],再通过支撑架将振动传递给棒材试件,引起试件振动。

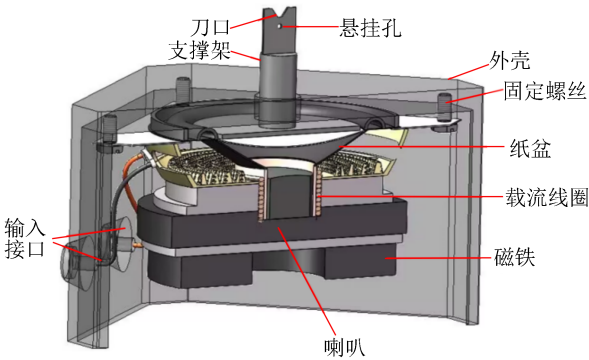


图 2 激振器结构示意图

2.2 设计拾振器

拾振器主要包括电容式话筒、麦克风放大器模块、纸盆、支撑架、密封腔、输出接口、6 V 电池、外壳等,结构如图 3 所示。密封腔(由尼龙棒加工而成的壳体)和纸盆围成,具备良好的气密性)通过螺丝固定在外壳顶端,可以使振动通过内部空气传导,能有效隔绝外界声波的干扰,起到保护作

用。支撑架用胶水粘贴在纸盆开口处。电容式话筒是利用电容效应将振动信号转换为电信号的能量转换器,能够输出电信号^[11],将其安装在密封腔内的下底面。麦克风放大器模块可用于增大输出电信号的功率,6 V 电池为麦克风放大器模块供电。当支撑架接收到试件的机械振动后,纸盆振动,该振动通过密封腔内空气传导给电容式话筒,电容式话筒将振动转化为电信号,电信号再经麦克风放大器模块放大后经外壳上的输出接口输出到示波器显示。

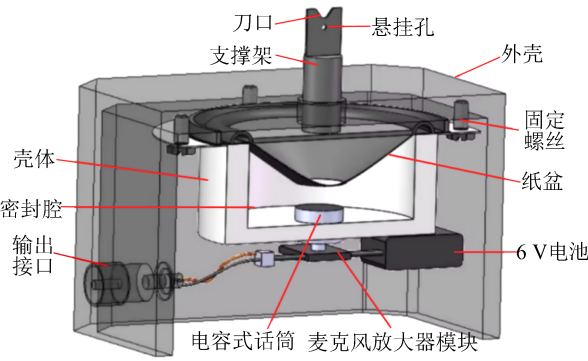


图 3 拾振器结构示意图

3 实验方法

3.1 基础量测量

用钢卷尺、螺旋测微器和电子天平分别测量棒材试件的长度 l 、直径 d 和质量 m ,实验数据如表 1 所示。

表 1 试件长度 l 、直径 d 和质量 m 测量数据表

试件	l/cm	d/mm	m/g
纯铜棒	30.00 ± 0.06	5.967 ± 0.006	74.648 ± 0.006
铝棒	30.00 ± 0.06	5.996 ± 0.009	22.710 ± 0.006
不锈钢棒	30.00 ± 0.06	5.930 ± 0.009	64.987 ± 0.006

3.2 支撑法及悬挂法测共振频率

1)如图 4 所示,在水平放置的样品试件的轴线上建立坐标系,坐标原点 O 分别处于试件的两节点位置,即距端点 $0.224l$ 和 $0.776l$ 处。以坐标原点 O 为起点,每隔 5 mm 用铅笔在试件上画线,得到左坐标 $(25, 20, 15, 10, 5, 0, -5, -10, -15, -20, -25)$ 和右坐标 $(-25, -20, -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15, 20, 25)$ 。

2)当采用支撑法测杨氏模量时,需将试件按

左、右坐标相同且对称地放在正立的激振器和拾振器两支撑架的刀口上,并保持横向水平;当采用悬挂法测杨氏模量时,需将悬丝穿过倒立的激振器和拾振器两支撑架刀口处的小孔,并将试件水平悬挂.

3)连接测量仪器:数字信号发生器连接低频功率放大器,低频功率放大器连接激振器的输入接口,拾振器的输出接口与示波器输入通道连接.

4)打开各仪器电源开关,调节示波器处于正常工作状态,再由低到高调节数字信号发生器的输出频率,找出示波器上的波形突然增大时棒材试件的基频共振频率.

5)从两节点位置的两侧由内向外依次同时移动 2 个支撑点(或悬挂点)的位置,即左右坐标相同且对称放置,测出不同位置(节点处除外)处基频共振频率^[2,7],共记录 10 组数据.

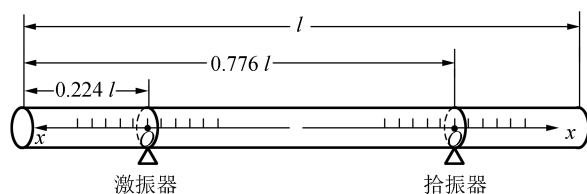


图 4 坐标系示意图

支撑法及悬挂法测共振频率的实验数据如表 2~3 所示. 用 Origin 软件分别对表 2 和表 3 数据拟合出 f - x 关系曲线,如图 5~6 所示. 利用拟合曲线截距值即节点处($x=0$)的共振频率^[8]求得棒材试件的杨氏模量 E ,如表 4 所示. E 的公认值:纯铜棒为 $1.3 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$,铝棒为 $0.7 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$,不锈钢棒为 $2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$.

表 2 支撑法测共振频率数据表

x/mm	f/Hz		
	纯铜棒	铝棒	不锈钢棒
-25	221.3	281.8	282.8
-20	223.2	288.6	286.6
-15	224.0	294.8	289.7
-10	224.7	299.5	291.9
-5	225.2	302.6	293.2
5	224.5	302.4	293.0
10	223.9	299.5	291.9
15	223.4	295.3	289.7
20	222.4	290.2	287.1
25	221.2	285.1	284.5

表 3 悬挂法测共振频率数据表

x/mm	f/Hz		
	纯铜棒	铝棒	不锈钢棒
-25	231.1	307.4	298.2
-20	229.1	306.1	295.9
-15	227.7	304.6	294.9
-10	226.8	304.1	294.3
-5	225.8	303.8	293.6
5	225.9	303.8	293.6
10	226.5	304.1	294.1
15	227.6	304.7	294.7
20	228.9	305.3	295.5
25	230.4	306.6	296.6

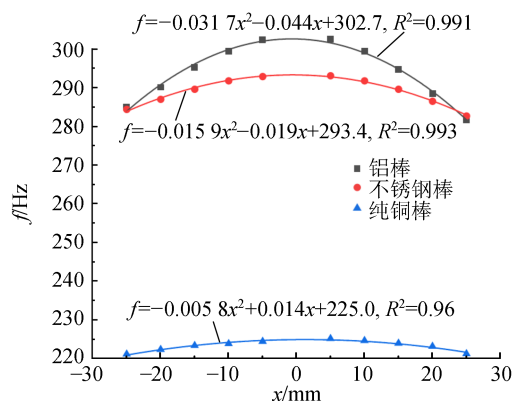


图 5 f - x 关系图(支撑法)

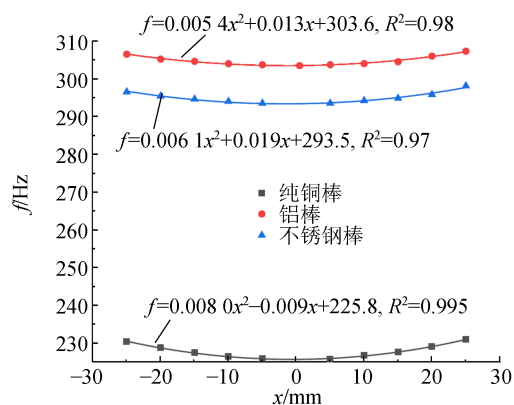


图 6 f - x 关系图(悬挂法)

表 4 试件杨氏模量的测量值及相对偏差

方法	棒材试件	$E/(10^{11} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2})$	E_r
支撑法	纯铜棒	1.293 ± 0.009	0.54%
	铝棒	0.698 ± 0.006	0.29%
	不锈钢棒	1.963 ± 0.014	1.85%
悬挂法	纯铜棒	1.302 ± 0.009	0.15%
	铝棒	0.703 ± 0.006	0.43%
	不锈钢棒	1.964 ± 0.014	1.80%

支撑法及悬挂法2种方法测得的杨氏模量的结果接近,且相对偏差较小。误差来源:激振器和拾振器的刀口没有完全调节到同一水平高度^[12];在棒材试件上位置画线不准确,测量时放置有偏离,导致曲线拟合的共振频率有偏差;仪器读数的偶然误差。

该装置可完成不同方法的测量,操作简便,不仅节省了实验时间和资源,而且性能稳定,测量重复性好。由电容式话筒改装而成的拾振器频率响应优越,且灵敏度高,信号频率只要稍有改变,示波器便能及时显示波形变化,缩短测量时间。

4 结束语

本文设计了利用喇叭和话筒的工作原理制作而成的激振器和拾振器,并与信号发生器、示波器等组合得到动态杨氏模量测量仪。该装置可采用支撑法和悬挂法精确测量固体材料的杨氏模量,具有测量结果稳定、测量精度高等优点。此外,本实验制作的激振器和用电容式话筒改装成的拾振器可以拓展应用于弦振动实验,实验效果良好。学生利用该装置采用不同方法进行实验,丰富了实验教学内容,有效增强学生的动手能力、实验设计能力以及创新能力。

参考文献:

[1] 樊聪聪,刘华扬,程敏熙. 动态法测杨氏模量实验的

探索与改进[J]. 大学物理实验,2016,29(1):51-59.

[2] 周晓明. 三种杨氏模量测量方法比较[J]. 实验科学与技术,2011,9(6):97-99.

[3] 段阳,杨浩林,伍泓锦,等. 杨氏弹性模量测量实验综述[J]. 物理与工程,2020,30(3):89-102.

[4] 张西平,吴云沛,陈杰,等. 确定动态法测杨氏模量基频的方法研究[J]. 科学技术创新,2018(5):70-71.

[5] 徐珏,陈元杰,马永利. 负载动态法测均匀细杆杨氏模量的理论与方法[J]. 大学物理,2015,34(7):39-43,60.

[6] 潘人培,赵平华. 悬丝耦合弯曲共振法测定金属材料杨氏模量[J]. 物理实验,2000,40(9):5-7,9.

[7] 丁慎训,傅敏学,丁小冬,等. 用动力学法测杨氏模量实验及其实验装置的研制[J]. 大学物理,1999,18(7):25-27.

[8] 洪子昕,郭无箴,白在桥. 动态法测杨氏模量实验中的双共振峰现象[J]. 物理实验,2019,39(9):48-53.

[9] 徐嘉彬,袁海甘,吴鸿斌,等. 弯曲共振法测量材料的杨氏模量实验改进[J]. 物理实验,2011,31(11):43-46.

[10] 陈艺灵,蒋炜波. 动圈式扬声器的演示实验改进[J]. 物理教学,2023,45(7):36-38,35.

[11] 罗爱山. 节目制作中话筒的合理选用[J]. 中国有线电视,2005(22):2217-2219.

[12] 冯一帆,胡琦珩,杨杰,等. 利用智能手机测量金属的杨氏模量[J]. 物理实验,2017,37(12):41-44.

Device design for measuring Young's modulus using dynamic method

SHEN Lingling, OUYANG Yi, LI Han, CHEN Yu, WANG Guoyou, CHEN Guangwei
(College of Science, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: With an exciter and a pickup as the core components, a Young's modulus device was innovatively designed and manufactured by using a speaker and microphone. The measurement results given by the device based on support method and suspension method respectively were coincident. Additionally the device could accurately measure the resonant frequency of bar specimens and therefore realize the relatively more precise measurement of the Young's modulus. The design of the device was reasonable and had such advantages as small relative error and good repeatability. It could also be extended to string vibration experiments.

Key words: Young's modulus; dynamic method; exciter; pickup

[编辑:任德香]