

实验报告



课程名称:

实验名称: 动态杨氏模量实验

实验日期:

2023 年

5 月

19 日

晚

班 级:

教学班级:

叶冲老师班

学 号

[Redacted]

一. 实验目的

- (1) 学习用共振法测定金属棒的杨氏模量
- (2) 了解压力传感器的工作原理及特性

二. 实验原理

一根细长棒在纵振振动时, 应满足下列动力学方程 $\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + \frac{E}{\rho S} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = 0$ (3-6), 如果长棒的轴线沿 x 方向, 式中 η 为长棒 x 处截面沿 x 方向位移, E 为该棒的杨氏模量, ρ 为材料密度, S 为棒横截面积, I 为惯量矩 $I = \int x^2 ds$ 。对于直径为 d 的细圆棒, 其惯量矩 $I = \int x^2 ds = \frac{\pi d^4}{64}$ 。求取上述方程得到样品在以最低固有频率振动时, 细圆棒的杨氏模量 E 与其它物理量的关系式为 $E = 1.667 \frac{L^3 m}{d^4} f^2$ (3-7), 式中 L 为样品的长度, m 为其质量; d 为其直径; f 为样品的基频固有频率。各样品的固有频率通过共振法测量。而样品的共振频率 f 与其固有频率 f' 之间有下述关系: $f = f' \sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}}$ (3-8), 式中 Q 为样品的机械品质因数。由于本实验所选取的样品的 Q 值均大于 50, 因此 f 与 f' 的差值小于百分之二。故可以用样品的 f' 替代样品的固有频率 f 来计算动态杨氏模量 E 。

在实际测量中, 当样品不能满足 $d \leq L$ 的条件时, 式(3-7)应修正为 $E = 1.667 \frac{L^3 m}{d^4} f^2 T_1$ (3-9), 修正系数 T_1 可由表 3-1 查到。

| 径长比 d/L | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 修正系数 T_1 | 1.002 | 1.008 | 1.019 | 1.033 | 1.051 |

三. 实验内容及步骤

(1) 熟悉图 3-3 所示的实验系统。信号发生器输出的正弦波信号加在激振器上, 激发试样发生振动。拾振器将试样的振动信号转换为电信号输入示波器。改变信号发生器输出信号的频率, 当其输出信号的频率与试样的某种振动模式的固有频率一致时, 样品发生共振。本实验要求寻找刻样品的最低共振频率振动状态, 把测出的基频共振频率代入式(3-9), 就可以求得样品的动态杨氏模量 E 。

(2) 利用悬挂式测试, 测量铜制样品在纵弯曲振动时共振基频频率。并测定共振频率与悬点位置的关系曲线。理论上, 样品做基频共振时, 悬线的悬点应置于样品的节点处, 但节点处振幅始终为零, 棒的振动无法激发。在实验中先将悬线置于靠近样品端面的节点, 测定此时的共振频率。

联系方式:

指导教师签字:

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

然后,同时改变两悬点位置,每隔5mm测一次共振频率,共测8点。画出共振频率与悬点位置的 $f \sim x$ 关系曲线,以确定节点处对应的共振频率。

用支撑式测试架,采用“支撑法”测定铝棒或铜棒的共振频率。从样品的端点处开始测量,每1测点大约相距0.5cm,选择4个测点。由所测结果求出平均的基频共振频率 f_0 ,并确定各被测样品的动态杨氏模量。

(3)利用游标卡尺测量各被测样品的长度 L ;利用千分尺测量各样品的直径 d ;利用电子天平测定各个样品的质量 m 。

注意:

(1)在利用信号源测定共振频率时,先用频率粗调旋钮 f_1 慢慢调到共振频率附近,再用频率微调旋钮 f_2 微调信号源输出信号频率,否则共振峰很容易错过!

四 实验数据处理

(1)用坐标纸作出钢棒的基频共振频率 f_0 与悬点位置与棒的端点的距离 x 的关系曲线,并确定钢棒在节点位置的共振频率,以确定其动态 E 值。

(2)由两根同材质、不同直径样品的测量数据,并考虑各测量仪器的精良指标: $\Delta f = 2\text{Hz}$, $\Delta m = 0.02\text{g}$, $\Delta L = 0.02\text{mm}$, $\Delta d = 0.004\text{mm}$;当包含因子 $k=2$ 时,推导相对不确定公式 u_E/E ,绝对不确定度 u_E 公式,并以 $E(u_E)$ 表示测量结果。

(3)可根据各样品的 d/L 的不同数值,参考表3-1,利用内插法获得各样品的修正系数 η 值。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验三 金属的杨氏弹性模量

动态支撑法测定金属的杨氏模量

千分尺零读数: $d_0 = -0.010 \text{ mm}$

| 样品 | 钢棒 | | | | 铜棒 | | | | 细铝棒 | | | | 粗铝棒 | | | |
|---------------------|---|-------|-----------|--|--|-------|-----------|--|--|-------|-----------|--|--|-------|-----------|--|
| $L(\text{mm})$ | 199.92 | | | | 200.10 | | | | 200.40 | | | | 200.00 | | | |
| $m(\text{g})$ | 29.77 | | | | 32.73 | | | | 10.66 | | | | 15.15 | | | |
| $d(\text{mm})$ | d | | \bar{d} | | d | | \bar{d} | | d | | \bar{d} | | d | | \bar{d} | |
| | 1 | 4.925 | 4.925 | | 1 | 4.975 | 4.9723 | | 1 | 4.946 | 4.9387 | | 1 | 5.942 | 5.940 | |
| | 2 | 4.926 | | | 2 | 4.970 | | | 2 | 4.932 | | | 2 | 5.938 | | |
| | 3 | 4.924 | | | 3 | 4.972 | | | 3 | 4.938 | | | 3 | 5.940 | | |
| 基频共振 频率(Hz) | f | | \bar{f} | | f | | \bar{f} | | f | | \bar{f} | | f | | \bar{f} | |
| | 1 | 570 | 569 | | 1 | 370 | 370.25 | | 1 | 566 | 570.25 | | 1 | 670 | 668.5 | |
| | 2 | 566 | | | 2 | 371 | | | 2 | 571 | | | 2 | 669 | | |
| | 3 | 569 | | | 3 | 369 | | | 3 | 573 | | | 3 | 667 | | |
| | 4 | 571 | | | 4 | 371 | | | 4 | 571 | | | 4 | 668 | | |
| $E(\text{Pa})$ | 2.1103×10^{11} | | | | 0.96329×10^{11} | | | | 7.4899×10^{11} | | | | 6.7189×10^{11} | | | |
| $u_E/E(\%)$ | 0.4% | | | | 0.6% | | | | 0.5% | | | | 0.5% | | | |
| $u_E(\text{Pa})$ | 1.8×10^9 | | | | 6×10^8 | | | | 3×10^8 | | | | 3×10^8 | | | |
| $E(u_E)(\text{Pa})$ | $2.11 \times 10^{11} (1.8 \times 10^9)$ | | | | $0.963 \times 10^{11} (6 \times 10^8)$ | | | | $0.749 \times 10^{11} (3 \times 10^8)$ | | | | $0.672 \times 10^{11} (3 \times 10^8)$ | | | |

➤ 扩展不确定度: $\Delta d = 0.004 \text{ mm}$, $\Delta m = 0.02 \text{ g}$, $\Delta L = 0.02 \text{ mm}$, $\Delta f = 2 \text{ Hz}$, 包含因子都取 $k = 2$ 。

➤ 根据样品的 d/L 值, 利用内插或外延法计算各样品的修正系数 T 。

➤ 推导钢棒杨氏模量的相对不确定度公式 u_E/E , 并写出钢棒的 $E(u_E)$ 的计算过程。

思考题: 1. 答: 由 $\frac{u_E}{E} = \sqrt{\left(3 \frac{u_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{u_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{2u_f}{f}\right)^2 + \left(4 \frac{u_d}{d}\right)^2}$ 可知:

金属棒直径、长度对精度影响较大,

可改用精度高的游标卡尺、螺旋测微仪,

对金属棒长度、直径多次测量取平均值

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

数据处理

一. 内插法计算修正系数 T

(内插法: $\frac{A_1 - A}{A_1 - A_2} = \frac{B_1 - B}{B_1 - B_2} \Rightarrow A = A_1 + \frac{B_1 - B}{B_1 - B_2} \times (A_2 - A_1)$)

| | 钢棒 | 铜棒 | 细铝 | 粗铝 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|
| $\frac{d}{L}$ | 0.0246 | 0.0249 | 0.0246 | 0.0297 |

查表知: $\frac{d}{L} = 0.02$ 时, $T_1 = 1.002$. $\frac{d}{L} = 0.04$ 时, $T_2 = 1.008$

$$\therefore T_{\text{钢}} = T_1 + \frac{0.02 - 0.0246}{0.02 - 0.04} (T_2 - T_1) = 1.00338$$

$$T_{\text{铜}} = T_1 + \frac{0.02 - 0.0249}{0.02 - 0.04} (T_2 - T_1) = 1.00347$$

$$T_{\text{细铝}} = T_1 + \frac{0.02 - 0.0246}{0.02 - 0.04} (T_2 - T_1) = 1.00338$$

$$T_{\text{粗铝}} = T_1 + \frac{0.02 - 0.0297}{0.02 - 0.04} (T_2 - T_1) = 1.00491$$

二. 不确定度的计算

钢棒的杨氏模量 $E = 1.6067 \cdot \frac{L^3 m}{d^4 f^2} \cdot T_{\text{钢}} = 1.6067 \times \frac{(199.92)^3 \times 29.77}{(4.925)^4} \times (569)^2 \times 1.00338 = 2.1103 \times 10^{11} \text{ (Pa)}$

B类不确定度: $U_f = \frac{\Delta f}{f} = 1/12$, $U_d = \frac{\Delta d}{d} = 0.002 \text{ (mm)}$, $U_m = \frac{\Delta m}{m} = 0.01 \text{ (g)}$, $U_L = \frac{\Delta L}{L} = 0.01 \text{ (mm)}$

推导相对不确定度:

$$E = 1.6067 \frac{L^3 m}{d^4 f^2} \quad \ln E = \ln 1.6067 + 3 \ln L + \ln m - 4 \ln d + 2 \ln f$$

$$\frac{\partial \ln E}{\partial L} = \frac{3}{L}, \quad \frac{\partial \ln E}{\partial m} = \frac{1}{m}, \quad \frac{\partial \ln E}{\partial d} = -\frac{4}{d}, \quad \frac{\partial \ln E}{\partial f} = -\frac{2}{f}$$

联系方式: $\frac{U_E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln E}{\partial L}\right)^2 U_L^2 + \left(\frac{\partial \ln E}{\partial m}\right)^2 U_m^2 + \left(\frac{\partial \ln E}{\partial d}\right)^2 U_d^2 + \left(\frac{\partial \ln E}{\partial f}\right)^2 U_f^2} = 0.004$
指导教师签字: _____
北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

$$\frac{\partial E}{\partial L} = 1.6067 \times 3 \frac{L^2 \cdot m}{d^4} \cdot f^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial m} = 1.6067 \frac{L^3}{d^4} f^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial d} = -4 \times 1.6067 \times \frac{L^3 m}{d^5} f^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial f} = 2 \times 1.6067 \times \frac{L^3 m \cdot f}{d^4}$$

$$U(E) = \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial L}\right)^2 (U_L)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial d}\right)^2 (U_d)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial m}\right)^2 (U_m)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial f}\right)^2 (U_f)^2} = 1.8 \times 10^9 (Pa)$$

$$\therefore E(U_E) = 2.110 \times 10^{11} (1.8 \times 10^9) (Pa)$$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

12f

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

$d_0 = -0.01 \text{ mm}$

| | 钢 | 铜 | 细铝 | 粗铝 |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $L(\text{mm})$ | 199.92 | 200.10 | 200.40 | 200.00 |
| $m(\text{g})$ | 29.77 | 32.73 | 10.66 | 15.15 |
| $d(\text{mm})$ | 4.925 4.926 4.924 | 4.975 4.970 4.972 | 4.946 4.932 4.938 | 5.940 5.942 5.938 |
| $f(\text{Hz})$ | 570 566 569 571 | 370 371 369 371 | 566 571 573 571 | 670 669 667 668 |

联系方式: _____

指导教师签字: _____