

实验报告

课程名称: 物理实验B 实验名称: 动态金属杨氏模量 实验日期: 2024 年 5 月 16 日 晚上
 班级: 63012318 教学班级: _____ 学号: 1120232535 姓名: 汪隽宁

一、实验目的

- (1) 学习用共振法测定金属细棒杨氏模量
- (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 ($L \gg d$) 在做横振动时, 满足以下动力学方程: $\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + \frac{EI}{\rho S} \cdot \frac{\partial^4 \eta}{\partial x^4} = 0$ (3-6)

若长棒的轴线沿 x 方向, 式中 η 为长棒 x 处截面的 z 方向位移。 E 为该棒杨氏模量, ρ 为材料密度, S 为棒横截面积, I 为惯量矩 $I = \int_S z^2 ds$ 。对直径为 d 的细圆棒, $I = \int_S z^2 ds = \frac{\pi d^4}{64}$ 。
 求解可得到样品在以最低的固有频率(基频)振动时, 细圆棒的杨氏模量 E 与其他量关系式为: $E = 1.6067 \frac{L^3 m}{d^4} f^2$ (3-7)

L 为样品长度, m 为质量, d 为直径, f 为样品基频固有频率。各样品固有频率通过共振法测量。而样品共振频率 f 与其固有频率关系如下:

$$f = f' \sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}} \quad (3-8)$$

Q 为样品机械品质因数。由于本实验 $Q > 50$, 因此 f 与 f' 差值小于万分之一。故可用 f' 代替 f 算 E 。

实际测量中, 若 $d \ll L$ 不能满足, 式(3-7)应修正为 $E = 1.6067 \frac{L^3 m}{d^4} f^2 \cdot T_1$ (3-9)

T_1 从表中查 $\frac{d}{L}$ 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10

T_1 1.002 1.008 1.019 1.033 1.051

三、实验内容及步骤

(1) 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。拾振器将试样振动信号转为电信号输入示波器。改变信号发生器频率, 当其与试样某种振动模式固有频率一致

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: _____

时, 样品发生共振。本实验要求找到样品最低共振频率振动状态, 把测出基频共振频率代入(3-9), 可求 E 。

(2) 利用悬挂式测试架, 测量钢制样品在做弯曲振动时的共振基频, 并测定共振频率与悬点位置的关系曲线。理论上, 样品基频共振时, 悬线悬点应置于样品节点处, 但节点处振幅始终为0, 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测点, 测定此时共振频率

然后, 同时改变两悬线位置, 每隔5mm测一次共振频率, 共测8点。再画出 $f \sim x$ 曲线, 以确定节点处对应共振频率。

用支撑式测试架, 用“支撑法”测铝棒共振频率。从样品端点处开始测量, 每个测点大约相距0.5cm, 选4个。由结果求出平均基频共振频率 f , 确定样品 E 。

(3) 用游标卡尺测量各被测样品长度 L ; 用千分尺测 d (3次平均); 用电子天平测各样品质量 m 。

四. 数据处理

(1) 用坐标纸作出钢铝棒 $f-x$ 曲线, 确定其在节点位置共振频率, 以确定基频 E 值。

(2) 由两根同材质、不同 d 的样品测参数, 各测量仪器精度:

$$\Delta f = 2 \text{ Hz}, \Delta m = 0.02 \text{ g}, \Delta L = 0.02 \text{ mm}, \Delta d = 0.004 \text{ mm}$$

包含因子统一取 $k=2$ 时, 推导相对不确定度公式 $u_{E/E}$, 绝对不确定度公式 u_E , 用 $E(u_E)$ 表述结果

(3) 根据各样品 d 不同数据, 参考表3-1, 用内插法获得各样品修正系数 T_1 。

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: $d_0 = -0.051$ mm

样品	钢棒			铜棒			细铝棒			粗铝棒		
L (mm)	199.92			200.16			200.48			200.04		
m (g)	29.74			32.79			10.72			15.38		
d (mm)	d		\bar{d}	d		\bar{d}	d		\bar{d}	d		\bar{d}
	1	4.877	4.872	1	4.921	4.923	1	4.876	4.883	1	5.956	5.966
	2	4.869		2	4.929		2	4.891		2	5.965	
	3	4.871		3	4.918		3	4.881		3	5.976	
基频共振 频率(Hz)	f		\bar{f}	f		\bar{f}	f		\bar{f}	f		\bar{f}
	1	571	566.25	1	400	391.75	1	579	569.25	1	680	673.5
	2	567		2	393		2	571		2	675	
	3	565		3	388		3	565		3	671	
	4	562		4	386		4	562		4	668	
E (Pa)	2.091×10^{11}			1.005×10^{11}			7.61×10^{10}			6.88×10^{10}		
u_E/E (%)	0.383%			0.498%			0.394%			0.291%		
u_E (Pa)	8×10^8			5×10^8			3×10^8			2×10^8		
$E(u_E)$ (Pa)	$2.091(0.008) \times 10^{11}$			$1.005(0.005) \times 10^{11}$			$7.61(0.03) \times 10^{10}$			$6.88(0.02) \times 10^{10}$		

- 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 。

数据处理见下页
- 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: $E = 1.6067 \frac{L^3 m}{d^4} f^2 T_1$ $\frac{u_E}{E} = \sqrt{\left(3 \frac{u_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{u_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{2u_f}{f}\right)^2 + \left(4 \frac{u_d}{d}\right)^2}$

$$\frac{u_E}{E} = \frac{1.6067 T_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{3L^3 m f^2}{d^4} \cdot \frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{L^3 f^2}{d^4} \cdot \frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{4L^3 m f^2}{d^5} \cdot \frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{2L^3 m f^2}{d^4} \cdot \frac{\Delta f}{f}\right)^2}}{1.6067 T_1 \cdot \frac{L^3 m f^2}{d^4}}$$

由上式影响精度的主要因素是长度 L 和直径 d

措施: 使用精度更高的测量仪器
多次测量取平均减小误差。



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

代入各量值,有

$$\text{钢棒: } \frac{d}{L} = \frac{\bar{d} - d_0}{L} = 0.02462$$

根据书上表3-1.

$$T = 1.0034$$

$$\text{钢棒: } \frac{d}{L} = \frac{\bar{d} - d_0}{L} = 0.02485$$

离四根棒 $\frac{d}{L}$ 值最近的两点

$$T = 1.0035$$

$$\text{细铝棒: } \frac{d}{L} = \frac{\bar{d} - d_0}{L} = 0.02461$$

均为 $\frac{d}{L} = 0.02$, $T_1 = 1.002$

$$T = 1.0034$$

和 $\frac{d}{L} = 0.04$, $T_1 = 1.008$

$$\text{粗铝棒: } \frac{d}{L} = \frac{\bar{d} - d_0}{L} = 0.03008$$

拟合直线: $T_1 = 0.3 \frac{d}{L} + 0.996$

$$T = 1.0050$$

推导 钢棒杨氏模量 相对不确定度 $\frac{u_E}{E}$

$$\text{由 } E = 1.6067 \frac{L^3 m}{d^4} f^2 \cdot T_1 = 1.6122 \frac{L^3 m}{d^4} f^2 \quad E = 2.091 \times 10^{11} \text{ Pa}.$$

$$u_E = \sqrt{\left[\frac{\partial E}{\partial L} u_{c(L)}\right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial m} u_{c(m)}\right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial d} u_{c(d)}\right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial f} u_{c(f)}\right]^2}$$

$$\frac{u_E}{E} = 1.6122 \cdot \sqrt{\left(3 \frac{L^2 m}{d^4} f^2 \cdot \frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{L^3}{d^4} f^2 \cdot \frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(-4 \cdot \frac{L^3 m}{d^5} f^2 \cdot \frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{L^3 m}{d^4} f \cdot \frac{\Delta f}{f}\right)^2}$$

$$1.6122 \frac{L^3 m}{d^4} f^2$$

接下来计算 u_E

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{0.02}{2} = 0.01 \text{ mm}, \frac{\Delta m}{m} = \frac{0.02}{2} = 0.01 \text{ g}, \frac{\Delta d}{d} = \frac{0.004}{2} = 0.002 \text{ mm}, \frac{\Delta f}{f} = \frac{2}{2} = 1 \text{ Hz}.$$

将以上不确定度和 $L = 199.92 \text{ mm}$, $m = 29.74 \text{ g}$, $d = 4.923 \text{ mm}$, $f = 566.25 \text{ Hz}$ 代入, 则

$$u_E = 8 \times 10^8 \text{ Pa} \quad \frac{u_E}{E} = \frac{8 \times 10^8}{2.091 \times 10^{11}} = 0.383\%$$

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: _____

原始数据	钢	铜	细铝	粗铝
L(mm)	199.92	200.16	200.48	200.04
m(g)	29.74	32.79	10.72	15.38
1	4.877	4.921	4.876	5.956
d(mm) 2	4.869	4.929	4.891	5.965
3	4.871	4.918	4.881	5.976
1	571	400	579	680
f(Hz) 2	567	393	571	675
3	565	388	565	671
4	562	386	562	668

$d_0 = -0.051\text{mm}$

序号:	张力达		
时间:	年	月	日
上午	下午	晚上	

联系方式: _____

指导教师签字: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088

