

## 实验二十二 动态悬挂法测定金属材料的杨氏模量

### [实验目的]

- 1) 了解用共振法测杨氏模量的原理;
- 2) 用动态悬挂法测定金属材料的杨氏模量;
- 3) 培养综合应用物理仪器的能力。

### [实验原理]

杨氏模量是弹性体在伸长或压缩时的物理参量,当弹性棒振动时,棒的不同部位出现反复的伸长和压缩,其振动频率与杨氏模量有关,因此,从棒的振动频率可以求出杨氏模量。

将一根截面均匀的试样(金属棒)悬挂在两个传感器(一个激振,一个拾振)下面,在试样两端自由的条件下,使其作自由振动,测出试样的固有基频,并根据试样的几何尺寸、密度等参数,测出材料的杨氏模量。

方法原理: 根据棒的横振动方程

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\rho s}{EJ} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (22-1)$$

用分离变量法解该方程,对圆形棒得

$$E = 1.6067 \frac{l^3 m}{d^4} f^2 \quad (22-2)$$

式中,  $l$  为棒长,  $d$  为棒直径,  $S$  为棒截面积,  $\rho$  为棒的密度,  $m$  为棒的质量,  $f$  为棒横振动的固有频率,  $J$  为极惯性矩。

由式(22-2)知,测定出试样(棒)在不同温度下的固有频率  $f$  及各力学参数,即可计算出试样在不同温度时的杨氏模量  $E$ 。

### [实验方案]

仪器如图 22-1 所示,由信号发生器输出等幅正弦波,加在传感器 1(激振)上,通过传感器 1 把电信号转变成机械振动,再由悬线把机械振动传给试样,使试样受迫做横振动。试样另一端的悬线把试样的振动传给传感器 2(拾振),这时机械振动又转变成电信号,该信号经放大后送到示波器中。

当信号发生器的频率不等于试样的共振频率时,试样不发生共振,示波器上几乎没有信号波形或波形幅度很小。当信号发生器的频率等于试样的共振频率时,

试样发生共振,这时示波器上的波形幅度突然增大,读出此时的频率就是试样在该温度下的共振频率。根据式(22-2)即可计算出该温度下试样的杨氏模量。

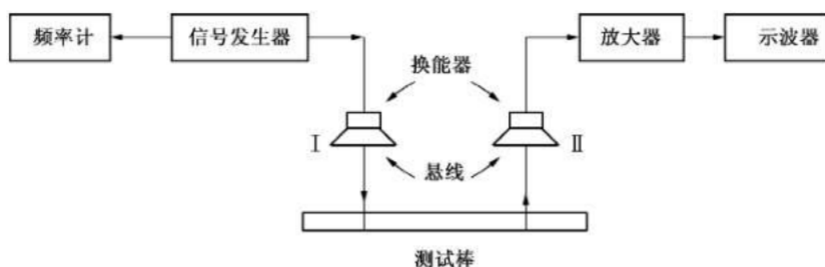


图 22-1 实验装置图

确定实验方案时要注意:实验中实测的共振频率为试样的共振频率  $f_{\text{共}}$ ,但是物体的固有频率  $f_{\text{固}}$  和共振频率  $f_{\text{共}}$  是两个不同的概念,它们之间的关系是  $f_{\text{固}} = f_{\text{共}} \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2}}$ ,其中  $Q$  为试样的机械品质因数。当用悬挂法测其杨氏模量时,一般  $Q$  的最小值约为 50,  $f_{\text{共}}$  与  $f_{\text{固}}$  相比只偏低 0.005%,所以,在一般性的测试中可用  $f_{\text{共}}$  替代  $f_{\text{固}}$ 。

### [实验器材]

动态杨氏模量测试仪(含标准试样、测试架、信号放大器)、信号发生器、示波器、千分尺、游标卡尺、天平。

### [内容及要求]

- 1) 测试试样的长度  $l$ 、直径  $d$ (各测量 5 次)和质量  $m$ ;
- 2) 测定室温下不锈钢和铜的杨氏模量。

室温下不锈钢和铜的杨氏模量大约分别为  $2 \times 10^{11} (\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$  和  $1.2 \times 10^{11} (\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$ ,实验时请先估算出共振频率,以便寻找共振点。

注意:① 因试样共振状态的建立需要有一个过程,且共振峰十分尖锐,因此在共振点附近调节信号频率时,必须十分缓慢地进行;② 实际测量中,往往会出现几个共振峰,应该注意运用已有的物理学知识和实验技能判别真假。

### [归纳与小结]

杨氏模量是工程材料的一个重要物理参数,它标志着材料抵抗弹性形变的能力。测量杨氏模量的方法有静态测量法、动态测量法,本实验采用的共振法属于动态测量法,是一种在工程技术上常用的方法。

## [思考题]

- 1) 如何利用李萨如图形法判定试样的共振频率?
- 2) 试样的长度  $l$ 、直径  $d$  和质量  $m$  等参数应该采用什么规格的仪器测量? 为什么?
- 3) 怎样才能比较准确地用共振法测出材料的杨氏模量值?