实验 31 用动态悬挂法测定工程材料的杨氏模量

引 言

测量杨氏模量的“拉伸法”由于拉伸试验载荷大，加载速度慢，存在弛豫过程，因此常不能真实反映材料内部结构的变化。无法用这种方法对脆性材料进行测量，也不能测量在不同温度时的杨氏模量。而测量杨氏模量的“动态悬挂法”适用范围较广，实验结果稳定，误差较小，而且是国标（GB）规定的一种方法。

实验目的

1、用动态悬挂法测定金属材料的杨氏模量；

2、培养学生综合应用物理仪器的能力。

实验原理

根据棒的横振动方程

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4}+\frac{\rho S}{EJ}\cdot\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=0$$

求解该议程，对圆形棒得

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

式中 l 为棒长，d 为棒的直径，m 为棒的质量。如果在实验中测定了试样（棒）在不同温度时的固有频率 f，即可计算出试样在不同温度时的杨氏模量 E。

在国际单位制中杨氏模量的单位为牛顿·米$^{-2}$。

实验仪器

YM-3 型动态杨氏模量试样加热炉，$YM-3$ 型数显温控仪，$YM-2$ 型信号发生器。ST16 型示波器，游标卡尺、螺旋测微计试样等。

本实验的基本问题是测量试样在不同温度时的共振频率。为了测出该频率实验时可采用如图 1 所示装置。

由信号发生器输出的等幅正弦波信号，加在传感器 I（激振）上。通过传感 I 把电信号转变成机械振动，再由悬线把机械振动传给试样，使试样受迫作横振动。试样另一端的悬线把试样的振动传给传感器 II（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显示。

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突

然增大，读出的频率，就是试样在该温度下的共振频率。根据（1）式，即可计算出该温度下的杨氏模量。不断改变加热炉的温度，可以测出在不同温度时的杨氏模量。

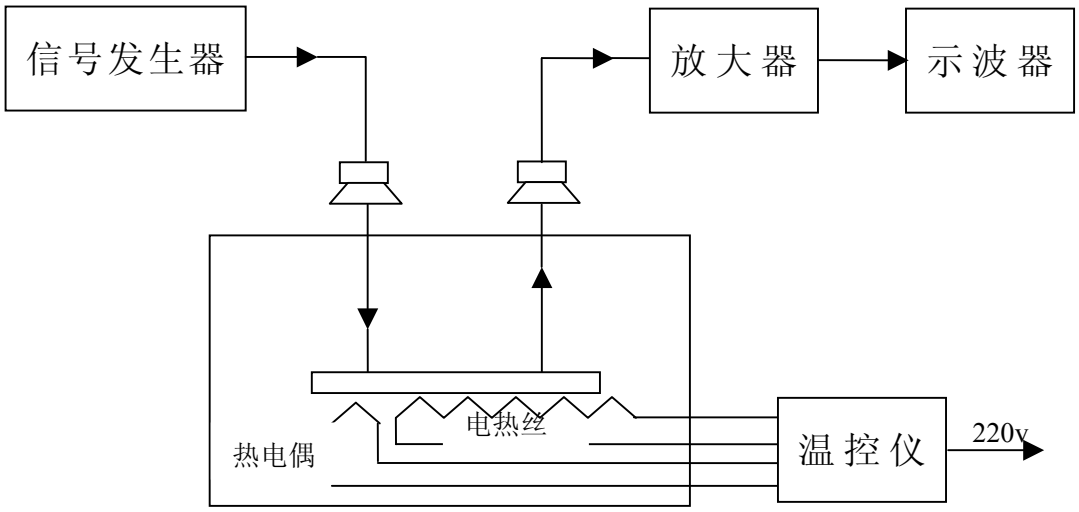

图 1

YM-2 型信号发生器的前面板如图 2 所示：

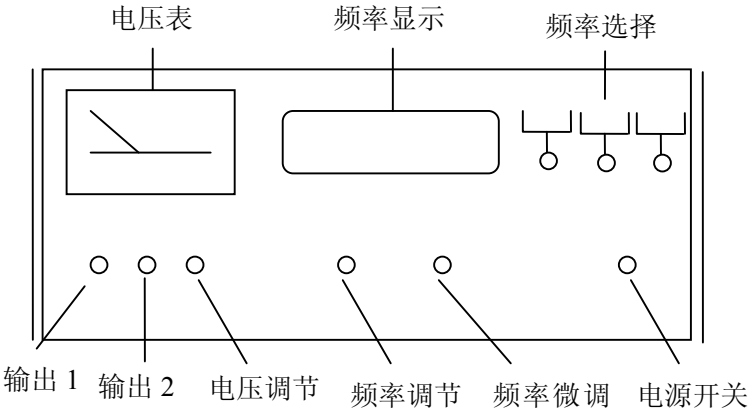

图 2

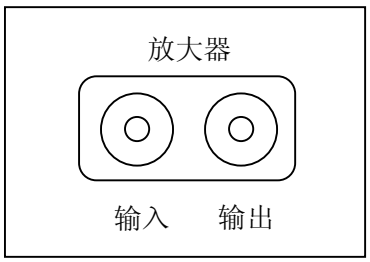

图 3

电压表：指示输出电压幅值，其值由幅度调节钮调节。

输出 1、输出 2：两路并联输出，可用随机提供的专用导线与传感器、示波器等联接。

频率选择：分三档，500～1KHz，1K～1.5kHz，1.5～2KHz。

频率调节和频率微调：频率调节旋钮为频率粗调，频率微调旋钮为频率细调。实验时两者配合使用。先用频率调节旋钮转动找到共振频率的大致位置，然后用频率微调旋钮仔细调节得准确的共振频率值。而且随着温度 T 的变化，共振频率大小改变，每次的找共振频率方法一致，先粗调后细调。

YM-2 型信号发生器附有信号放大器，可通过后面板上的插座（图 3）。用导线将拾振传感器输

出的信号，经过放大后与 ST16 型示波器相连接。

YM-3 型动态杨氏模量试样加热炉和 YM-3 型数显温控仪如图 4 和图 5 所示，其使用方法是：

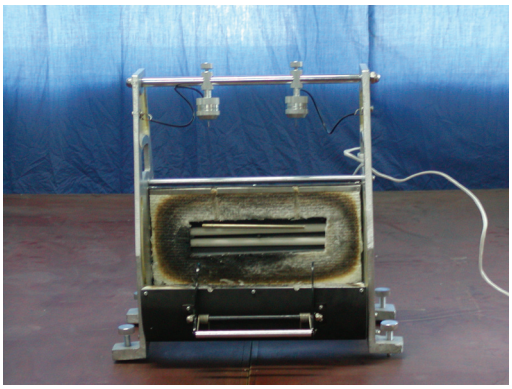

图 4

图 5

1、悬挂试样：打开试样加热炉，将试样用细漆包线悬吊在两只传感器上。调整悬线长度和加热炉的底脚螺丝，使试样位于炉膛的正中央。

2、连接电源：将数显温控仪后面板上的确输出接试样加热炉的 220V 输入。

3、装热电偶：将热电偶的一端接数显温控仪后面板上的热电偶接线端，注意正负极不要接错。热电偶在另一端（测温端）插入试样加热炉后背面的热电偶插孔，尽量深入并靠近试样，但不相碰。

4、设定炉温：因加热炉存在热惯性，当设定炉温在某温度，通过电加热到该温度时，电源虽然跳动，但炉温会继续上升，然后缓缓下降。因此，在设定炉温时，应予留因热惯性炉温上冲的空间。

5、通电加热：各项准备工作都完成后，将数显温控仪接通 220V 电源，对试样进行加热。

实验内容

1、测定试样的长 l、直径 d、质量 m；

2、在室温下不锈钢和铜的杨氏模量分别约为 2×10^{11} 牛顿·米$^{-2}$ 和 1.2×10^{11} 牛顿·米$^{-2}$ 先估算出共振频率 f，以便寻找共振点。因试样共振状态的建立要有一个过程，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。

3、不断加热试样，测出不同温度下的共振频率 f，求出不同温度下材料的杨氏模量 E。

4、作出杨氏模量 E 和温度 t 的关系图线。

思考题

1、试讨论，试样的长度 l，直径 d，共振频率 f 分别采用不同的测量仪器，为什么？

2、钢的杨氏模量为 $2\times10^{11}N\cdot m^{-2}$，而其极限强度（破坏应力）为 $7.5\times10^{8}N\cdot m^{-2}$，你认为这不矛盾吗？

注意事项

1、YM-2 型信号发生器输出信号的电压为 0.1～1 伏特之间，不能调得过大，以免损坏 YM-3 型动态杨氏模测量仪的换能器。

2、YM-3 型数显温控仪的温度调节不大于 350℃，且在测量时应注意留有温度上升空间。