

## 实验 A5 金属材料力学、热学性能参数测量

### 实验内容一 动态悬挂法测量金属材料杨氏模量

材料在加工制备的过程或者工程应用的过程中都会受到外力作用。受力后材料会发生变形：外力较小时发生弹性变形，外力较大时发生塑性变形，持续增大外力而使外力过大时会发生断裂。在这些变形中，弹性变形在材料受力过程中首先发生，是其他变形的先行阶段，在塑性变形中同时也伴随着弹性变形。

理想的弹性变形是可逆的，在弹性变形的范围内，限度内，材料所受应力与其应保持线性函数关系，服从胡克定律，其中应力、应变比值为一确定常量，定义为该材料的杨氏模量。杨氏模量表征材料抵抗弹性形变的能力，是材料最具特征的力学性能参数，在实际应用中，杨氏模量是材料作为工程技术设计和选定机械零件极为重要的参考参数。因而，测量材料的杨氏模量对相应材料的实际应用具有重要意义。杨氏模量的测量方法有很多种，如一般有静态拉伸法、梁弯曲法、动力学共振法等。动力学共振法又称动态法，该方法测量结果稳定，理论同实验吻合度高，可适用于各种材料（包括非金属和金属）的测量，并适用于高温环境。由于测量上的优越性，动态法测量杨氏模量在实际应用中已经广泛应用，是国家标准指定的一种测量杨氏模量的方法。实验即采用动态共振法测量不同金属材料的杨氏模量，其基本方法为：将一根截面均匀的试样通过悬线悬挂在两只传感器（一只激振，一只拾振）下面，在两边自由的条件下，使其自由振动。通过检测出试样振动时的固有基频，并根据试样的几何尺寸、质量等参数，即可测得材料的杨氏模量。

### 【实验目的】

- 1、理解动态悬挂法测定材料杨氏模量的基本原理；
- 2、学会用外延法处理实验数据并了解本实验采用外延法的原因；
- 3、熟悉示波器的使用，学会用示波器观察信号和识别共振。

在一定条件下，一个试样的固有频率只与试样本身有关，试样确定，固有频率确定，不因外部条件的变化而改变。而对于

### 【实验原理】

对于确定的试样，其固有频率除取决于试样自身的几何形状、尺寸和质量之外，还与材料本身的杨氏模量直接相关。因此，如果我们通过实验测得某试样在一定温度下的固有频率，就可以通过简单的几何尺寸和质量的测量算得材料在此温度下的杨氏模量。动态悬挂法即采用动力学共振法测量试样基频振动下的固有频率，从而计算出试样的杨氏模量。现实情况下，试样不可能做无阻尼自由振动，因此其固有频率是不能直接测量的。在实际处理中，通常使试样受迫振动，测量受迫振动达到共振状态的共振频率。

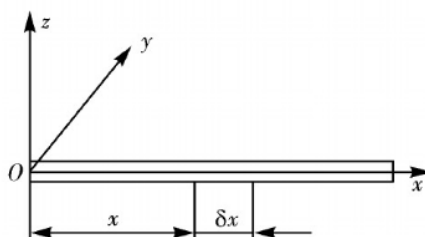


图 1 原理公式推导用图

根据机械振动基础理论知识，假设一两端自由的匀质试样，对于，其横振动方程为：

$$\frac{\partial^4 y}{\partial^4 x} = \frac{\rho S}{EJ} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (1)$$

式中  $\rho$ 、 $S$ 、 $E$ 、 $J$  分别表示试样的材料密度、试样棒的截面积、杨氏模量和特定截面的惯量矩 ( $J = \int y^2 ds$ )。

采用分离变量法求解上述方程，令  $y(x, t) = X(x)T(t)$ ，代入方程 (1)，得：

$$\frac{1}{X} \frac{d^4 X}{dx^4} = -\frac{\rho S}{EJ} \frac{1}{T} \frac{d^2 T}{dt^2}$$

等式两边分别是  $x$  和  $t$  的函数，只有方程两边都等于某一常数才成立。假设等式两边均等于  $K^4$ ，进行变形可得：

$$\frac{d^4 X}{dx^4} - K^4 X = 0$$

$$\frac{d^2 T}{dt^2} - \frac{K^4 EJ}{\rho s} T = 0$$

对这两个线性常数方程求解，其通解分别为：

$$X(x) = B_1 \cosh Kx + B_2 \sinh Kx + B_3 \cos Kx + B_4 \sin Kx$$

$$T(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

则试样横振动方程（1）的通解为：

$$y(x, t) = (B_1 \cosh Kx + B_2 \sinh Kx + B_3 \cos Kx + B_4 \sin Kx) A \cos(\omega t + \varphi)$$

式中  $\omega = \left[ \frac{K^4 EJ}{\rho s} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$

称为频率公式。

对任意形状的截面，不同边界条件的试样都是成立的。只需要用特定的边界条件求出常数  $K$ ，代入相应截面的惯量矩  $J$ ，就可以得到具体条件下的计算公式。

对于两端自由的匀质试样，边界条件为自由端的横向作用力为零：

$$F = -\frac{\partial M}{\partial x} = -EJ \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = 0$$

弯矩

$$M = EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$$

$$\text{即 } \frac{d^3 X}{dx^3} \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{d^3 X}{dx^3} \Big|_{x=l} = 0, \quad \frac{d^2 X}{dx^2} \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{d^2 X}{dx^2} \Big|_{x=l} = 0$$

将通解代入边界条件，得到

$$\cos Kl \cdot \cosh Kl = 1$$

用数值解法求得本征值  $K$  和棒长  $l$  应满足

$$Kl = 0, 4.730, 7.853, 10.966, 14.137, \dots$$

$Kl=0$  相应于试样静止状态，因而将第二个数值 4.730 作为第一根记做  $K_1 l$ 。

$K_1 l = 4.730$  对应试样的振动频率称为基频频率，即为试样的固有频率。

$K_2 l = 7.853$  对应一次谐振， $K_3 l = 10.966$  对应二次谐振，依此类推。

试样最低级次（基频）的振动波形如下图 2 所示。

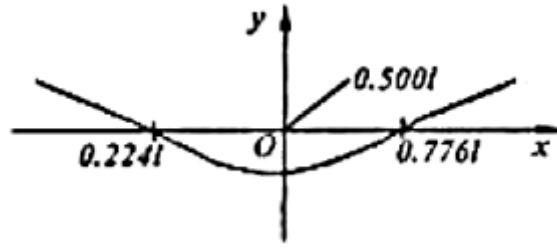


图2 最低级次（基频）振动波形

由图2可见，试样作基频振动时，存在距离端面分别为  $0.224l$  和  $0.776l$  的两个节点。显然，节点处是不振动的，阻尼为零，此时无阻尼自由振动的振动频率就是试样的固有频率，即当支撑点为节点时，测得的共振频率就是试样的固有频率。但是，因为节点处不振动无法实现激振，故而实验时悬丝不能吊挂在图2所示的试样节点而只能挂在节点附近。在实际测量中，悬丝和悬挂点均会对试样的自由振动产生阻尼，因而，所检测到的共振频率随悬挂点位置的不同变化，且悬挂点偏离节点越远，可检测的信号越强，但共振频率将偏离固有频率越大。所以，要测量振动试样的估计频率（基频频率），需要通过适当的数据处理获得节点的基频频率。

将上述所求得第一本征值  $K_1 = \frac{4.730}{l}$  代入频率公式(2)，可得到试样自由振动的共振频率（基频）：

$$\omega = \left[ \frac{(4.730^4 EJ) K^4}{\rho l^4 S} \right]^{\frac{1}{2}}$$

变形可得到杨氏模量的表达式： $E = 1.9978 \times 10^{-3} \frac{\rho l^4 S}{J} \omega^2 = 7.8870 \times 10^{-2} \frac{l^3 m}{J} f^2$

对本实验所采用的圆柱棒，上式中转动惯量为  $J = \int y^2 ds = s \left( \frac{d}{4} \right)^2$ ，代入可得杨氏模量为：

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

式中  $l$  为棒长、 $d$  为圆形棒的截面直径，单位：m； $m$  为棒的质量，单位：kg； $f$  为试样固有频率，单位：Hz。所以，如果实验中测定了试样在不同温度时的固有频率  $f$ ，即可通过式(3)计算试样在对应温度下的杨氏模量  $E$ 。在国际单位制中杨氏模量的单位为牛顿·米<sup>-2</sup>。

本实验只用来测量室温下材料的杨氏模量，不用加热炉。

### 【实验仪器】

DY-A 型金属动态杨氏模量测定仪、金属动态杨氏模量测定台、金属棒、游标卡尺、螺旋测微计、天平、示波器等。

DY-A 型金属动态杨氏模量测定仪的前面板如下所示，

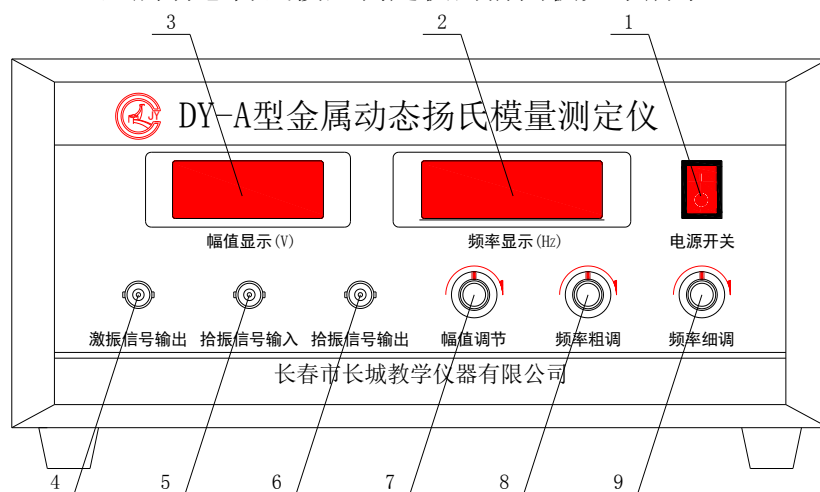


图3 DY-A 型金属动态杨氏模量测定仪的前面板示意图

- 1、电源开关    2、频率显示窗    3、幅值显示窗    4、激振信号输出  
5、拾振信号输入    6、拾振信号输出    7、幅值调节旋钮    8、频率粗调旋钮  
9、频率细调旋钮  
10、AC220V 电源输入座(在仪器后面板上)

前面板中幅值和频率显示均为数字显示，幅值由幅值调节旋钮 7 调节，频率由旋钮 8 和 9 进行配合使用。频率调节范围为 20Hz~2000Hz 精度  $\pm 0.1\text{Hz}$ 。

### 【实验装置】

本实验可实验装置如下图 4 所示。

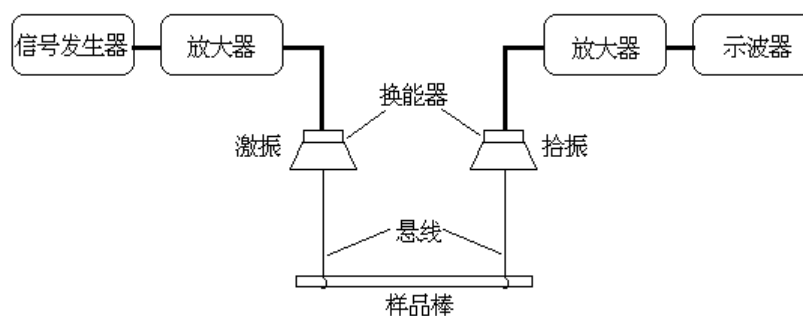


图4 动态悬挂法测量杨氏模量实验装置图

由信号发生器输出的等幅正弦波信号，加在激振传感器上，通过传感器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机械振动传给拾振传感器，这时机械振动又转变成电信号，该信号放大后送到示波器中显示。当信号发生器的输出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几乎接近试样的固有频率时，试样发生共振，这时，示波器上波形突然增大，读出此时的频率，就是试样在该温度下的共振频率，根据公式（3）即可计算出试样的杨氏模量。

### 【实验注意事项】

1. DY-A 型金属动态杨氏模量测试台中换能器已经过调整封固，不可敲击，用软线悬挂试样棒时要轻拿轻放，不要用力拉扯激振器和拾振器的挂钩；
2. 实验前可先估算不同金属棒的固有频率以便寻找共振频率；
3. 悬线尽量水平并应与试样棒的两端等距；
4. 开始时硬将示波器中的波形振幅调到适当大小（共振时振幅往往会增大数倍）；
5. 正确辨别材料的共振峰值，辨别假峰。

### 【实验内容】

1. 测定试样的长度  $l$ ，直径  $d$  和质量  $m$ ；
2. 在室温下不锈钢和铜棒的杨氏模量分别为  $2 \times 10^{11}$  牛顿·米<sup>-2</sup> 和  $1.2 \times 10^{11}$  牛顿·米<sup>-2</sup>，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需要有一个过程，且共振峰十分尖锐。因此共振点附近调节信号频率时，必须十分缓慢的进行；
3. 根据实验原理，要使试样无阻尼振动就应该把悬线吊扎在试样的节点上（试样在作基频振动时，两个节点的位置距离端面分别为  $0.224L$  和  $0.776L$  处），但这样就不能激发和拾取试样的振动。因此实际的吊扎位置都要偏离节点；
4. 在偏离节点位置、节点两侧分别取两个及两个以上吊扎点，测出室温下不同位置吊扎时金属棒的共振频率  $f$ ，以悬挂点  $x$  为横坐标，测得的共振频率为纵

坐标可得悬挂点位置和共振频率之间的变化曲线，根据曲线变化，逼近  $x=0.224l$  时可得到节点处的共振频率，即为试样基频振动的固有频率；

5. 将上步骤所求的试样的基频振动固有频率，代入(3)求出不同材料的杨氏模量  $E$ ，并与第 2 步的已知理论值相比较，计算测量误差并对误差进行讨论分析。

### 【问题探讨】

1、关于试样的几何尺寸在推导计算公式的过程中，没有考虑试样任一截面两侧的剪切作用和试样在振动过程中的回转作用。显然这只有在试样的直径与长度之比（径长比）趋于零时才能满足。精确测量时应对试样不同的径长比作出修正。令

$$E_0 = KE$$

式中  $E$  为未经修正的杨氏模量， $E_0$  为修正后的杨氏模量， $K$  为修正系数。 $K$  值如下表：

径长比 $d/l$	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
修正系数 $K$	1.001	1.002	1.005	1.008	1.014	1.019

实验时一般可取径长比为 0.03~0.04 的试样，径长比过小，会因试样易于变形而使实验结果误差变大。

对同一材料不同径长比的试样，经修正后可以获得稳定的实验结果。

2、关于悬丝的材料和直径用《标准》中推荐的几种悬丝做实验，对某一试样在相同温度时测得的结果为

悬丝材料	棉 线	Φ0.07 铜丝	Φ0.06 镍铬丝
共振频率 (Hz)	899.0	899.1	899.3

可见对不同材料的悬丝，共振频率差值不大 (0.03%)。但悬丝越硬，共振频率越大。用同种材料不同直径的悬丝做实验，对同一试样在相同温度时测得的结果为

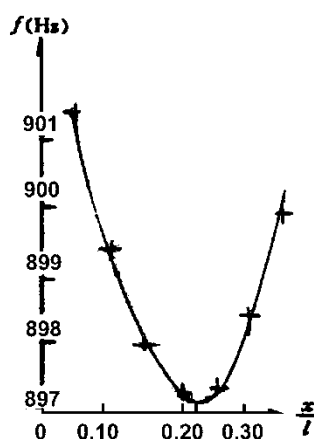
铜丝直径(mm)	0.07	0.12	0.24	0.46
共振频率 (Hz)	899.1	899.1	899.3	899.5

可见悬丝的直径越粗，共振频率越大。这与上述的悬丝越硬，共振频率越大是一致的。因此，如果实验时的温度不太高，悬丝的刚度能承受时，悬丝尽量用

得细些、软些。

至于悬丝和试样安装时的倾斜度，经多次实验，未见明显影响。

3、关于悬丝吊扎点的位置 在原理部分，已简单述及了试样作基频对称形振动时，存在两个节点，节点是不振动的，实验时悬丝不能吊扎在节点上，必须偏离节点。在原理中，同时又要求在试样两端自由的条件下，检测出共振频率。显



图五

然这两条要求是矛盾的。悬挂点偏离节点越远，可以检测到的共振信号越强，但试样受外力的作用也越大，由此产生的系统误差越大。为了消除误差，可采用内插测量法测出如果悬丝吊扎在试样节点上时，试样的共振频率。具体的测量方法可以逐步改变悬丝吊扎点的位置，逐点测出试样的共振频率 $f$ 。设试样端面至吊扎点的距离为 $x$ ，以 $\frac{x}{l}$ 作横坐标，共振频率 $f$ 为纵坐标，作图，如图五。

从图内插求出吊扎点在试样节点（ $\frac{x}{l} = 0.224$ 处）时的共振频率 $f$ （图标 $f=897.2\text{Hz}$ ）。实验数据如下：

X(mm)	7.5	15.0	22.5	30.0	37.5	45.0	52.5
$\frac{x}{l}$	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
F(Hz)	901.4	899.4	898.0	897.3	897.4	898.5	900.0
激振电压*(V)	0.2	0.3	0.4	2	3	0.4	0.3

4、关于真假共振峰的判别：在实际测量中，往往会出现几个共振峰，致使真假难分。尤其在高温测量时，因试样的机械品质因素下降，真假共振峰更难区别。下面提供几种判别方法，供参考。



①共振频率预估法: 实验前先用理论公式估算出共振频率的大致范围, 然后进行细致的测量。对于分辨真假共振峰十分有效。

②峰宽判别法: 真正的共振峰的峰宽十分尖锐, 尤其在室温时, 只要改变激振信号频率 $\pm 0.1\text{Hz}$ , 即可判断出试样是否处于最佳共振状态。虚假共振峰的峰宽就宽多了。

③撤耦判别法: 如果将试样用手托起, 撤去激振信号通过试样耦合给拾振传感的通道。如果是干扰信号, 尤其是当激振信号过强时, 直接通过空气或测振台传递给拾振传感器, 则示波器上显示的波形不变。如果波形没有或变小了, 则有可能就是真的共振峰。

④其它尚有衰减判别法(突然去掉激振信号, 共振峰应有一个衰减过程, 而干扰信号没有)、倍频检查法, 跟踪测量法(变温测量时)等。实验者可运用你已有的物理学知识和实验技能, 设法进行判别。

### 【思考题】

1. 试讨论, 试样的长度 $l$ 、直径 $d$ 、质量 $m$ 、共振频率 $f$ 分别应该采用什么规格的仪器测量? 为什么?
2. 在实际测量中, 往往会出现几个共振峰, 致使真假难分。请列举几种判别真假共振峰的方法。

**【数据记录及处理】****原始数据记录**试样种类：不锈钢棒      节点位置（距端面）：mm

表 1. 测量试样尺寸与质量

次数	1	2	3	4	5	平均值
长度（mm）						
直径（mm）						
质量（g）						

理论计算试样固有频率值：\_\_\_\_\_Hz

表 2. 共振频率测量

次数	1	2	3	4	5	6
端面与悬挂点的距离 X （mm）						
共振频率 f(Hz)						

## 实验内容二 基于迈克尔逊干涉测量金属材料线膨胀系数

由于微观粒子热运动的存在，绝大多数材料宏观上存在“热胀冷缩”现象，即物体存在受热时会膨胀，受冷时会收缩的特性。这种随温度变化而产生宏观尺寸变化的特性在材料的实际应用中应予以充分考虑，否则将产生不利影响，如因“热胀冷缩”而引起的工程结构的损坏、仪表失灵等。线膨胀系数为了表征物体受热时，其长度方向变化程度而引入的物理量，是定量分析材料热膨胀问题的重要参数，在数值上等于固体材料每升高  $1^{\circ}\text{C}$  时单位长度的伸长量。线膨胀系数是衡量材料的热稳定性好坏的一个重要指标，是工程技术中选择材料的重要参数，实际应用中经常要对材料的线膨胀系数进行测定。一般来讲，对于固态材料，由于温度变化而引起的线度变化比较微小，因而，测量材料的线膨胀的主要任务是测量材料的微小尺寸及变化。目前，测量材料微小长度和其变化量的方法按照测量原理基本上可分为三类：利用杠杆原理、利用光学干涉原理和利用螺旋测微原理直接测量。在几种测量方法中，利用光学干涉现象测量小尺寸和其伸长量结果精度最高，本实验将基于迈克尔逊干涉现象测量材料温度变化下在一维方向的伸长量，从而可得其线膨胀系数。

**【实验目的】**

- 1、观察材料的线膨胀现象，了解测量材料线膨胀系数的基本原理；
- 2、了解光学干涉现象及迈克尔逊干涉的基本原理；
- 3、理解测量微小尺寸变化的方法；

**【实验原理】**

## 1、固体材料的线膨胀系数

由于原子分子热运动，固体材料受热温度升高会发生膨胀。膨胀系数是定量分析材料热膨胀问题的重要参数，一般所说的膨胀系数为材料的线膨胀系数，在数值上等于固体材料每升高  $1^{\circ}\text{C}$  时单位长度的伸长量。对于同一材料，在不同的温度区间，线膨胀系数是不同的，但在温度变化不太大的情况下，通常认为材料的线膨胀系数可近似为常量。假设在确定的温度范围内，一固态物体在确定方向上温度为  $t_0$ （单位： $^{\circ}\text{C}$ ）时长度为  $L_0$ ，温度为  $t$  时，长度伸长为  $\Delta L$ 。伸长量与温度增量  $\Delta t$ （ $\Delta t = t - t_0$ ）近似成正比，与物体原长  $L_0$  也成正比，即：

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta t \quad (1)$$

式中， $\alpha$  即为此温度变化区间内该固体材料的线膨胀系数，表征了材料在确定方向上的受热膨胀（或收缩）的程度。温度变化不大时，材料的线膨胀系数  $\alpha$  可近似为常数。

温度为  $t$  时物体长度为  $L_t$ ，则

$$L_t = L_0 + \Delta L \quad (2)$$

联立式（1）和（2）可得线膨胀系数  $\alpha$  为：

$$\alpha = \frac{L_t - L_0}{L_0 \Delta t} = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (3)$$

由此可见，线膨胀系数  $\alpha$  的意义为：温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，物体单位长度的伸长量。需要说明的是，上述温度变化不大时， $\alpha$  可视为常量。对于温度变化较大时， $\alpha$  随温度变化而变化，为变量，通常用  $t$  的多项式表示如下：

$$\alpha = A + Bt + Ct^2 + \dots \quad \text{式中 } A, B, C \text{ 为常数。}$$

根据上述原理，实际测量中，通常需要测量的是固体材料在室温  $t_1$  下的长度  $L_1$  及其温度变化过程中温度从  $t_1$  至  $t_2$  对应的长度变化量。代入公式（3）即可求得该固体材料的线膨胀系数，由此得到的线膨胀系数是该固体材料在此温度范围内

的平均热膨胀系数，为

$$\alpha \approx \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta L_{21}}{L_1(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

式中， $L_1$ 、 $L_2$ 分别为物体在温度 $t_1$ 、 $t_2$ 下的测量长度， $\Delta L_{21} = L_2 - L_1$ 为物体从温度 $t_1$ 至温度 $t_2$ 的长度变化量。

## 2、基于迈克尔逊干涉实验测量线膨胀系数

迈克尔逊干涉实验是波动光学中非常重要的基础实验，实验基于迈克尔逊干涉现象，与波动光学干涉理论知识一脉相承，其光路图如下图 1 所示。

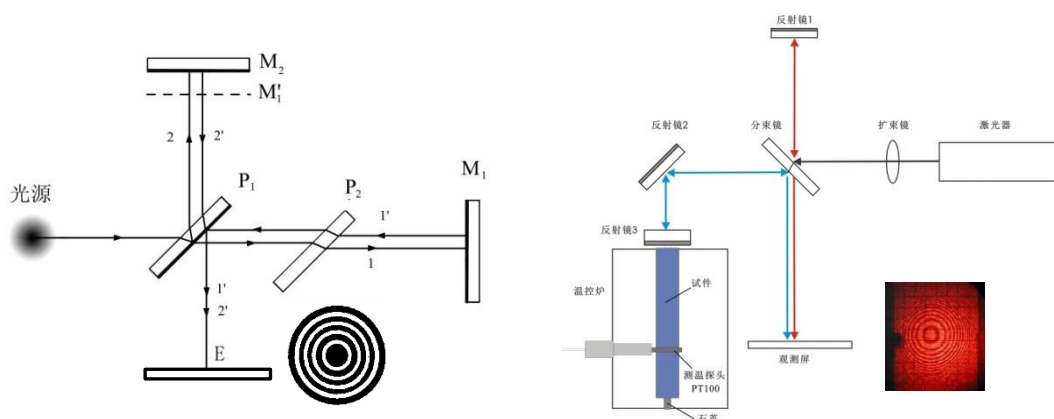


图 1 迈克尔逊实验光路图

图 2 基于迈氏干涉测量线膨胀系数原理示意

图 1 所示为迈克尔逊实验原理光路图。如图所示，由光源发出的光束首先射到分光镜  $P_1$  上，此时将有 50% 的光通过光路 2 被反射，50% 的光通过光路 1 透射出去，即入射光通过分光镜  $P_1$  将被分为两束，后分别在反射镜  $M_1$ 、 $M_2$  上发生反射，反射光通过分光镜  $P_1$  透射并重合于观察屏  $E$  上。入射光来自同一激光光源，满足相干条件，若此时在光源和分光镜之间放一凸透镜（扩束镜），使光线扩束，即可在观察屏上看到干涉图样。在具体的实验装置中，图中反射镜  $M_2$  为可移动透镜，通过移动此反射镜可改变光路 1 和光路 2 之间的光程差，从而实现干涉条纹的动态观察。另外，实验中使用扩束镜是因为实验所使用的激光光源出射光束半径较小，为便于实验观察使用扩束镜来扩大光束半径，同时，扩束镜还可有效较少激光光源出射光束的发散，使光束平行。另外，图 1 所示  $P_2$  为补偿镜，用于补偿两路光线的附加光程差。但在本实验的实际测量中，由于实验采用单色激光光源，光程差补偿非必要，故本实验没有使用补偿镜。

图 2 所示为利用迈克尔逊干涉实验测量固体材料线膨胀系数的实验原理示意图。如图 2，将待测金属试样置于左下侧温控炉内并通过温控炉在一定温度范围内改变试样温度，试样将受热发生膨胀而增长，推动反射镜 3 向上移动，从

而使迈克尔逊干涉中其中的一路的光程发生变化，两路光线的光程差改变，由此可实现干涉条纹的动态观察。

假设初始条件下，待测试样的长度为  $L_1$ ，将待测试样放入温控路并对其进行加热产生线膨胀，则反射镜 3 向上移动，移动的位移量即为待测试样的轴向线膨胀伸长量，同时等于两光路光程差的改变量。

根据波动光学干涉基本理论，

$$\text{满足: } \Delta L = N \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

式中： $\lambda$  为激光光源的光波波长。

当  $N$  为奇数时，为干涉暗纹；当  $N$  为偶数时，为干涉明纹。

$$\text{将式 (5) 带入式 (4) 得: } \alpha = \frac{N \frac{\lambda}{2}}{L_1(t_2 - t_1)} \quad (6)$$

### 【实验仪器】



图 3 热膨胀实验仪



1. 温控表：温度设定与控制；
2. 启/停：开启或停止智能控温；
3. 电源总开关。

图 4 仪器正视面板图

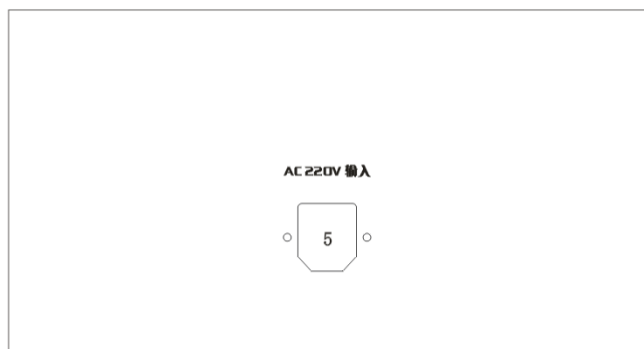


图 5 仪器右侧面板图

4. 半导体激光电源,5V 输出(仅半导体激光器型);

5. 市电 AC220V 输入;



图 6 仪器后面板图

6. PT100 测温传感器接口;

7. 加热炉控制电源输出;

### 【实验内容及步骤】

1. 准备待测试样，将待测试样放入温控炉中

1) 取下温控炉上方反射镜 3，将辅助螺钉旋入待测试件一端的螺纹孔，确定牢固后降待测试样从温控炉中的试样盒中拉出。

2) 使用游标卡尺在不同方位测量室温下待测试件的初始长度  $L_1$  (3~5 次) 并记录，求平均值。

3) 再次利用辅助螺钉将待测试样小心轻放入温控炉内。放置待测试样时，注意将待测试样下方的测温孔洞对准温控炉后下测温探头插入圆孔。测温传感器插座与仪器后面板上的“PT100”相连，温控炉控制电源与仪器后面板上的“加热炉电源输出”相连。

注意：严禁将待测金属试样直接松开掉入温控炉，温控炉底部有石英玻璃垫，避免砸碎。

4) 插入测温探头并固定。

- 5) 安装反射镜 3。从待测试样上取下辅助螺钉，将反射镜 3 轻轻旋入待测试样上方的螺孔，此处注意反射镜 3 上石英玻璃泡，严禁拧的太紧而破坏石英玻璃泡。
- 6) 更换测试试样时，需先拧下反射镜 3，然后用辅助螺钉取出已测金属试样，而后依据步骤 2) 重复新的测量试样。

## 2. 根据迈克尔逊干涉光路原理调节光路，观察干涉条纹

接通电源，点亮氦氖激光器。首先，移开扩束镜，依据图 1 迈克尔逊干涉光路原理图调节激光器出射光和光路中各可调光学镜片，使光线在光路中等高并使反射后的两路光的最强光点能够最终在接受屏上重合。此时，在激光器出光口放置扩束镜调整光束，仔细调节，即可在接收屏上观察到明暗相间的干涉条纹。

注意：观察到干涉条纹后，可根据条纹情况微调图 2 中反射镜 1 和反射镜 2，将干涉条纹图样调整到条纹粗细适当，条纹中心位于接收屏较靠中间的位置以便于观察和读取条纹冒出或湮灭的个数。

## 3. 测量和读取数据

测量前，先通过温控表设置加热炉最高可达到的温度，建议加热炉最高可达温度设置为高于室温  $20^{\circ}\text{C}$  左右。然后，确定调整好干涉条纹可观察后，按下仪器前面板上的“启/停”按钮开始给试件加热。为了实现待测试样的均匀线膨胀，此处需注意在开始时留一定时间进行观察，待观测到干涉条纹均匀变化后再开始记录数据。记录数据时，首先记录下待测试样的初始温度  $t_1$ ，同时，随着温度的升高，干涉条纹状态发生变化，记录一定温度变化区间内对应的干涉条纹环数的变化量，达到预定的条纹变化环数（建议：10-15 条）时即记录下此时温控表上显示的温度  $t_2$ 。之后重复这一过程，多次记录不同温度改变范围内相应条纹变化个数。测试完毕后，按“启/停”按钮停止对加热，并将温控表上的目标温度设置到室温以下，此时温控炉进行冷却。若测量过程中室温低于试件的线性变化温度范围，则需将试件加热至所需温度后再进行实验测量。

数据读取方法：

- 1) 固定试件一定的线膨胀量，根据测量原理，此时线膨胀量即为两路光线光程差变化，因此，此时需要在确定的条纹变化数下读取试样此伸长量所对应的温度变化；
- 2) 固定温度量，如约  $5^{\circ}\text{C}$ - $10^{\circ}\text{C}$ ，读取此温度增量对应的试件线膨胀量，即干涉



条纹的变化个数。

两种方法均可从测得的数据计算试样的线膨胀系数。

本实验要求测量黄铜和硬铝两个试样并对测量数据做表记录。

### 【注意事项】

- 1) 眼睛不可直视激光束!!
- 2) 反射镜 3 上粘结的石英玻璃管和温控炉内试件底部位置的石英垫不能承受大力冲击, 安装试件时要特别注意轻旋反射镜和轻放试件, 不可使试样砸向温控炉底部。
- 3) 加热炉温度不可设置太高, 以免冷却时间过长。
- 4) 实验完毕须将温控表设定温度设置在室温以下再关毕电源。

### 【仪器主要技术参数】

1. He-Ne 激光器: 功率约 1 mW, 波长 632.8 nm;
2. 温控仪适宜升温范围: 室温-60℃, 测温最小分辨率 0.1℃;
3. 试件品种: 硬铝 (20℃起测), 黄铜 (H62) (25℃~300℃), 钢 (20℃起测);
4. 试样尺寸:  $L=150\text{ mm}$ ,  $\phi=18\text{ mm}$ ;
5. 线膨胀装置系统误差:  $<3\%$ 。

## 【数据记录及处理】

## 原始数据记录

表 1. 测试数据表

试件名称: 黄铜 黄铜线膨胀系数参考值:  $\alpha=20.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 

测量次数	试件长度 $L_1$ (mm)	温度 $^{\circ}\text{C}$			干涉环 变化数 N
		$t_1$	$t_2$	$\Delta t$	
1					
2					
3					
4					
6					

表 2. 测试数据表

试件名称: 硬铝 硬铝线膨胀系数参考值:  $\alpha=23.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 

测量次数	试件长度 $L_1$ (mm)	温度 $^{\circ}\text{C}$			干涉环 变化数 N
		$t_1$	$t_2$	$\Delta t$	
1					
2					
3					
4					
6					