

## 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

#### 【实验目的】

1. 理解动力学振动法测量材料杨氏模量的基本原理；
2. 熟悉示波器的使用，学会用示波器观察信号和识别共振；
3. 学会用外延法处理实验数据,理解本实验采用外延法的原因。

#### 【实验原理】

材料加工制备或者工程应用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，持续增加外力逐渐发生塑性变形甚至断裂。在这些变形中，弹性变形首先发生，是其他变形的先行阶段，同时在塑性变形中也会伴随着弹性变形。对于理想的弹性变形，在弹性限度内材料所受应力与其应变保持线性函数关系，满足胡克定律，即弹性限度内应力、应变比值为一定常量，定义该常数为材料的杨氏模量，表征材料抵抗弹性形变的能力。杨氏模量是材料最具特征的力学性能参数，是材料在实际工程设计和机械设计中极为重要的参考量。因此，测量材料的杨氏模量具有非常重要的意义。杨氏模量的测量方法有很多种，一般可分为静态法和动态法。典型而常用的拉伸法即为静态法测量材料的杨氏模量，但这种静态拉伸法仅适用于材料形变量大，延展性好的情况，对于脆性材料如玻璃、陶瓷等不适用。动态法适用材料范围广，可测量脆性材料，适用于不同的温度环境，测量结果稳定，理论同实验吻合度高。这些测量上的优越性使得动态法测量杨氏模量在实际应用中应用非常广泛，是国家标准指定的一种测量杨氏模量的方法。本实验即采用动态法测量不同金属试样的杨氏模量，具体方法为：将一根截面均匀的棒状试样通过悬线悬挂在两只传感器（一只激振，一只拾振）下面，试样端部不受其他外力，满足自由振动，由此对试样进行激振从而检测出其振动时的固有基频，而后可测得材料的杨氏模量。

在一定条件下，对于具有确定材料组成和确定形状的待测试样，其固有频率的大小既与待测试样自身的几何形状、尺寸和质量有关，还与组成试样的材

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组成试样的材料在此温度下的杨氏模量。由此，基于此方法对材料杨氏模量的测量关键问题在于如何准确得测量试样本身的固有频率。本实验采用动态悬挂法测量相应振动下待测试样的固有频率，从而可算得试样材料的杨氏模量。

实验中，将如下图 1 所示的匀质试样通过悬线悬挂在两只传感器下，两传感器对待测试样分别起激振作用和拾振作用。其中，激振传感器对待测试样施以垂直于棒的力，在此垂直力作用下，待测试样发生弯曲变形并通过弹性恢复产生垂直于棒轴向的振动，振动方向垂直于振动的传播方向。因而在激振器的作用下，待测试样做两端自由的横向振动时。根据振动力学基础理论知识，当试样试棒长度  $L \gg$  试棒直径  $d$  时，其横振动方程为：

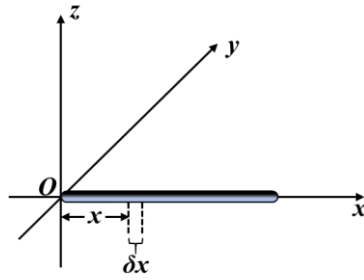


图 1 原理公式推导用图

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

式中  $\rho$ 、 $S$ 、 $E$ 、 $J$  分别表示试样的材料密度、试样棒的截面积、试样材料的杨氏模量和试样棒某一截面的惯量矩 ( $J = \int y^2 ds$ )。

采用分离变量法求解横振动方程 (1)，令  $y(x, t) = X(x)T(t)$ ，代入方程可得：

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

(2) 式两边分别为  $x$  和  $t$  的函数，因此，只有等式两边都为常数且相等式才成立。假设等式两边常量为  $K^4$ ，即：

$$\frac{1}{X} \frac{d^4 X}{dx^4} = -\frac{\rho S}{EJ} \frac{1}{T} \frac{d^2 T}{dt^2} = K^4 \quad (3)$$

则进行简单变形可得：

$$\frac{d^4 X}{dx^4} - K^4 X = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{K^4 EJ}{\rho s} T = 0 \quad (4)$$

方程（3）和（4）均为线性常系数微分方程，对这两个微分方程进行求解，可得他们的通解形式分别为：

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

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

则待测试样的横振动方程（1）的通解为：

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

$$\text{其中 } \omega = \left[ \frac{K^4 EJ}{\rho s} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5) \text{ 称为频率公式。}$$

此频率公式对于任意形状的截面和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即可求出常数  $K$ ，再代入待测试样截面的惯量矩  $J$ ，就可以得到具体条件下的待测试样杨氏模量的计算公式。

实际上，待测试样的振动模式取决于振动的边界条件。对于两端自由能的匀质试样，边界条件为待测试样两自由端所受垂直于轴的横向作用力  $F$  和弯矩  $M$  均为零，即：

$$F = -\frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\text{其中 } M \text{ 为弯矩，表达式为： } M = EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

$$\text{代入（6）可得： } F = -\frac{\partial M}{\partial x} = -EJ \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = 0$$

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

将前述所求通解代入边界条件，用数值解法可求得本征值  $K$  和棒长  $l$  应满足

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

$Kl=0$  相应于待测试样静止状态，因而将第二个数值 4.730 作为振动状态第一根并记做  $K_1 l$ 。一般将  $K_1 l = 4.730$  对应的试样横振动频率称为基频，即为试样的固有频率，此时。  $K_2 l = 7.853$  对应一次谐振，  $K_3 l = 10.966$  对应二次谐振，依此类推。不同级次的振动，试样上将产生相对应的不同形状的振动波形。

将上述试样做基频振动的本征值  $K_1 = \frac{4.730}{l}$  代入频率公式（5），可得到试样自由振动的基频频率（试棒的固有频率）：

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

进行适当数学变形可得到杨氏模量  $E$  的表达式： $E = 1.9978 \times 10^{-3} \frac{\rho l^4 s}{J} \omega^2 =$

$$7.8870 \times 10^{-2} \frac{l^3 m}{J} f^2$$

本实验所采用是圆柱形棒材，则上式中转动惯量为  $J = \int y^2 ds = s \left( \frac{d}{4} \right)^2$ ，代入可求得圆柱形棒材的杨氏模量为：

$$E = 1.6067 \frac{l^3 m}{d^4} f^2 \quad (7)$$

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(7)计算出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>。

上述所求试样横振动结论及其不同级次的振动波形已经得到实验证明。当激振源输出频率在一定范围内时，试样为基频振动形式，下图 2 为试样做最低级次的振动（基频振动）波形。

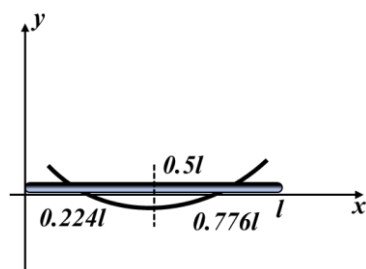


图 2 最低级次（基频）振动波形

由图可见，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会随着悬挂点位置的不同而变化，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，要测量振动试样的固有频率（基频频率），需要通过适当的数

据处理获得试棒悬挂点为节点处时，试棒做无阻尼自由振动的基频频率。

本实验装置中无加热炉，测量室温下待测试棒的杨氏模量。

【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试台、待测金属试样、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：



图 3 DY-A 型金属动态杨氏模量测定仪的前面板示意图

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调节，频率由旋钮频率粗调和频率细调配合使用。

【实验装置】

本实验装置如下图 4 所示。

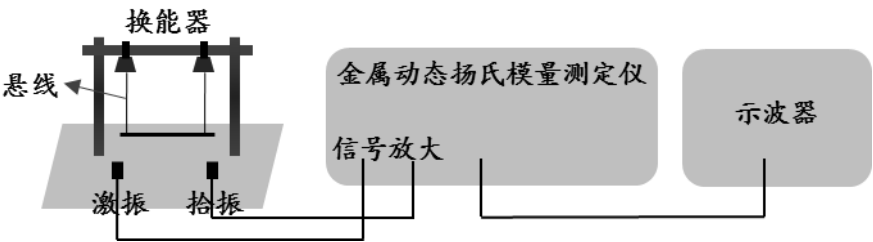


图 4 动态悬挂法测量杨氏模量实验装置图

动态杨氏模量测量仪作为信号发生器输出等幅正弦波电信号，信号经放大器放大，通过悬线上方的激励传感器将电信号转变为机械振动，由悬线把机械振动传递给待测试样，待测试样因受到悬线作用的横向作用力而产生横振动。试样的横振动通过另一端的悬线传递给拾振传感器，通过拾振传感器将试样横振动转变为周期电信号，经放大器放大后输入示波器。当信号发生器的输出频率不等于此悬挂状态下试样的固有频率时，试样不发生共振，示波器上几乎没

有信号波形显示或波形很小；当信号发生器的输出频率几乎接近试样相应悬挂状态下的固有频率时，试样发生共振，这时，示波器上波形会突然增大，此时信号发生器的输出信号频率，即为此时的共振频率，也是试样在此悬挂点悬挂时的固有频率。

### 【实验内容和步骤】

1. 根据公式（7），首先测量出待测试样的长度  $l$ ，直径  $d$  和质量  $m$ ，测量用具分别为游标卡尺、螺旋测微器和电子天平；
2. 估算待测试样的固有频率。已知室温下待测试样不锈钢棒材和铜棒材的杨氏模量标准值分别为  $2 \times 10^{11}$  牛顿·米<sup>-2</sup> 和  $1.2 \times 10^{11}$  牛顿·米<sup>-2</sup>，根据公式（7）先估算试样的固有频率  $f$ ，以便寻找共振点；
3. 根据实验原理图 2 横振动波形图，要使试样共振频率为待测试样的固有频率，试样本身须作无阻尼自由振动，要求在操作中，悬挂点须在两个节点位置（距离端面分别为  $0.224L$  和  $0.776L$  处）。但实际上，悬挂点在节点处时因节点处  $y=0$  无法实现试样激发振动。因此，在实际操作中，实际的吊扎位置要偏离节点；
4. 在偏离节点且距离试样两端面等距离处选择两位置，记录两点位置  $x$  并作为悬挂点在此两位置处悬挂待测试棒。室温下测量该悬挂位置待测金属棒的共振频率  $f$ ；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
5. 在节点的两侧分别选择不同位置对待测试棒进行悬挂，之后按照 4 相同的方法，测出待测金属棒在不同悬挂点悬挂时的共振频率。要求节点两侧待测量悬挂位分别两个及以上；
6. 以悬挂点  $\frac{x}{l}$  为横坐标，上述 4 和 5 测得的共振频率  $f$  为纵坐标做图，可得悬挂点位置和共振频率之间的变化曲线。根据曲线变化规律，采用内插法或外延法处理实验数据，当  $x$  逼近  $0.224l$  时即可得到悬挂点在节点处的共振频率，根据前述基本原理，此时的共振频率为试样无阻尼自由振动的基频，亦即试样的固有频率；
7. 将 6 通过数据数理所求的悬挂点在节点处的振动频率，作为试样的固有频率

代入(7)求出待测试样棒材的杨氏模量  $E$ ，此所求得的杨氏模量是通过实验测量的试样固有频率而得到的，是本实验最终测得的待测试样的杨氏模量。

8. 将实验测得的杨氏模量和第 2 步的已知标准杨氏模量相比较，分析和讨论实验误差。

### 【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，不可用力拉扯激振器和拾振器的挂钩；
2. 悬线尽量水平且悬挂点应与试样棒的两端等距；
3. 开始时硬将示波器中的波形振幅调到适当大小，以防共振时振幅增大数倍而溢出示波器屏幕；
4. 正确辨别材料的共振峰值，辨别假峰。

### 【思考题】

1. 什么是杨氏模量？杨氏模量的意义？
2. 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？

## 附录:

1. 前述实验原理公式(7)的推导, 没有考虑试样在横振动过程中任一截面两侧的剪切作用和试样在横振动过程中的回转作用, 因而要求待测试样满足: 试棒长度  $L \gg$  试棒直径  $d$ 。实际情况下, 精确的测量需要对待测试样可能的径长比做出修正。设  $E$  为实验中通过计算直接得到的未经修正的杨氏模量,  $E_0$  为修正后的杨氏模量,  $K$  为与待测试样径长比相关的修正系数, 则:

$$E_0 = KE$$

$K$  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

另外需要注意: 虽然上表中, 径长比越小, 误差越小, 但若待测试样径长比过小, 试样会由于易于变形而引入新的误差, 因此, 实验中一般控制试样的径长比在 0.03~0.04。

2. 实验中所采用悬线的材料和悬线直径对于同一待测试样振动频率测量结果有影响, 如下表:

a) 相同温度下悬线材料不同共振频率测量结果:

悬丝材料	棉 线	$\Phi 0.07$ 铜丝	$\Phi 0.06$ 镍铬丝
共振频率 (Hz)	899.0	899.1	899.3

由表可见: 悬线材料不同, 共振频率差别不大; 悬线越硬, 共振频率越大。

b) 相同温度下悬线材料相同直径不同, 同一试样共振频率测量结果:

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

3. 实验结果表明: 试样安装时的倾斜度, 对实验结果无明显影响。

4. 关于真实共振峰的判别。在实际测量中, 激振器、拾振器、支架等都有自己的共振频率, 这导致可能会出现几个共振峰, 而实验原理中公式(7)只适用于基频共振。因此, 准确判断和识别示波器上的信号是否为基频共振信号非常重。以下几种辨别方法, 供参考:

①通过标准参考值预估法: 实验前先用理论公式结合提供的标准值估算出待测试样的固有频率, 然后以此频率为参考进行细致测量。



②峰宽判别法: 真正的共振峰非常尖锐, 对共振频率非常敏感, 虚假共振峰很宽。

③撤耦判别法: 用手托起试样, 此时真正的共振峰波形会变小或没有, 假峰波幅变化不大。

## 实验内容二 基于迈克尔逊干涉测量金属材料线膨胀系数

### 【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及调节方法;
3. 理解测量微小尺寸变化的方法;

### 【实验原理】

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”可能会引起工程结构的损坏、仪表失灵等。线膨胀系数为了表征物体随温度变化其长度变化程度而引入的物理量, 可定量分析材料热膨胀问题, 是衡量材料热稳定性的重要指标。实际应用中经常要对材料的线膨胀系数进行测定。在对线膨胀系数的测定中, 对于一般的固态材料, 由于随温度变化的而引起的长度变化量比较微小, 因而, 测量材料线膨胀系数的关键在于对微小尺寸及变化量的测量。目前, 对微小长度和其变化量的测量方法按照基本原理可分为三类: 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微小尺寸的结果精度最高, 本实验即基于迈克尔逊干涉现象测量金属材料随温度变化在确定方向的伸长量, 从而可得其线膨胀系数。

### 1. 线膨胀系数

线膨胀系数在数值上定义为固体材料每升高 1℃ 时单位长度的伸长量。实际上不同材料的线膨胀系数截然不同，譬如塑料的线膨胀系数明显比较大，相对来讲金属材料的线膨胀系数则偏小。同时，对同一材料，在不同的温度区间，线膨胀系数也不尽相同，一般认为在温度变化不大的情况下，线膨胀系数可近似看作一常量。

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：℃）时长度为  $L_0$ ，对物体进行升温，当温度为  $T$  时，其长度为  $L$ ，伸长量  $\Delta L = L - L_0$ 。实验表明，物体在确定方向上的单位伸长量与温度增量  $\Delta T$ （ $\Delta T = T - T_0$ ）近似成正比，即：

$$\Delta L / L_0 = \alpha \times \Delta T \quad (1) \quad (1) \text{式中系数}$$

$\alpha$  即为该物体在此温度区间内的线膨胀系数，表征了组成材料在此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。

现令温度为  $t$  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℃，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， $\alpha$  将随着温度变化而变化，为变量，通常可用温度  $T$  的多项式表示如下：

$$\alpha = A + BT + CT^2 + \dots \quad (A, B, C \text{ 为常数})$$

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

迈克尔干涉是基于光的分振幅法实现光的干涉的波动现象，是非常重要的基础实验，其基本光路结构和原理如图 1 所示。首先，对同一光源的入射光经反射镜分别反射和透射为两路不同路径的光束，然后再把分开的两束光经不同的反射镜反射，反射后的两光束最终合在一起而形成明暗相间的干涉条纹。

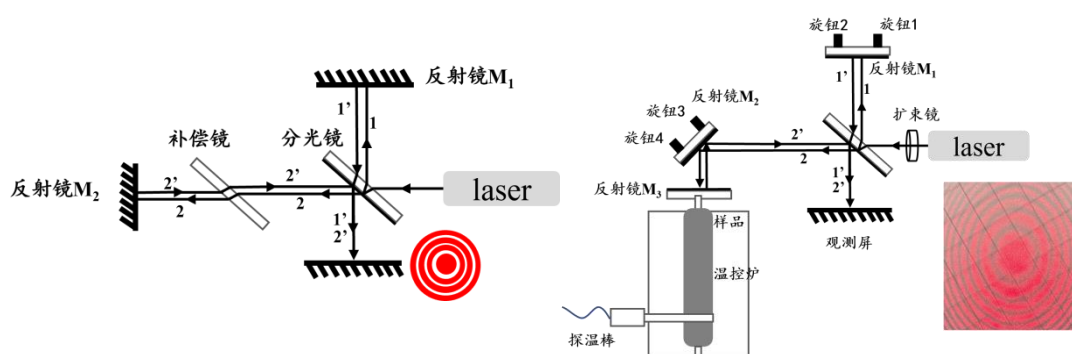


图 1 迈克尔逊实验光路图 图 2 基于迈氏干涉测量线膨胀系数原理示意

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入射到分光镜  $P_1$  上，此时将有部分入射光通过光路 2 被反射，另外一部分光通过光路 1 透射出去，即入射光通过分光镜  $P_1$  将被分为两束光。两路被分开的光束又分别在反射镜  $M_1$ 、 $M_2$  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。在本实验具体的装置中，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，光程差的补偿非必要，故本实验没有使用补偿镜。

图 2 所示即为本实验利用上述迈克尔逊干涉实验测量固体材料线膨胀系数的实验原理图。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待测试样温度，试样将受热发生膨胀而伸长，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，因而，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炉并对其进行加热使试样产生线膨胀，则反射镜 3 将随之向上移动，移动的位移量即为待测试样在温度改变过程中轴向的线膨胀伸长量，同时等于温度变化过程中两光路光程差的改变量。

实验中，对待测实验进行升温，随着温度变化，因试样轴向线膨胀伸长而产生的光程差变化量为：

$$\text{光程差 } \delta_{\Delta T} = \Delta L \quad (5)$$

根据波动光学干涉基础理论知识，

$$\delta_{\Delta T} = N \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

式中： $\lambda$  为激光光源的光波波长。当  $N$  为奇数时，两束光相干结果为干涉暗纹；当  $N$  为偶数时，为干涉明纹。

联立 (5) (6) 式并带入式 (4) 可得：  $\alpha = \frac{N \frac{\lambda}{2}}{L_1(t_2 - t_1)}$  (6)

由此，在本实验中，我们只需对待测试样进行升温，并测量出相应温度变化时干涉图样中干涉条纹冒出或者湮灭的个数，即可通过公式 (6) 计算得到该待测试样在此温度范围内的线膨胀系数。

### 【实验仪器】

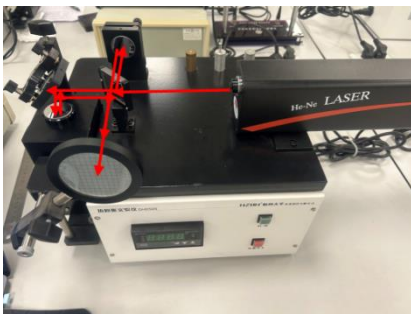


图 3 热膨胀实验仪



图 4 热膨胀仪仪器操作面板图

### 【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) 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。

2) 取下温控炉上方反射镜 3, 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。

3) 在温控炉后下测插入测温探头并固定。

4) 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。

5) 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 1) 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, 打开氦氖激光器。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最终能够在接收屏上重合。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, 条纹中心尽量位于或靠近接收屏较中间的位置以便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 20~30℃左右。然后, 确认已调整好干涉条纹可用于观察和计数, 按下仪器前面板上的“启/停”按钮, 此时温控炉即开始给待测试样加热。随着待测试样温度升高, 轴线发生线膨胀, 反射镜 3 将向上移动, 两路光程差发生改变, 因此, 可观测到干涉图样中明暗条纹冒出或湮灭。测量和读取数据

需要注意：在初始加热阶段，试样受热不均匀，为了提高数据精确度，需要观测并等待一定时间，待待测试样均匀线膨胀后再开始记录数据！开始记录数据时，首先记录待测试样的初始温度  $t_1$ ，并仔细观察当前干涉图样的具体形态，随着待测试样被加热，温度升高而均匀膨胀，记录此时干涉条纹环数随温度的变化量，达到预定的条纹变化数（建议：10-15 条）的时候，记下此时温控表上的温度  $t_2$ 。测试完毕后，按“启/停”按钮停止加热，并将温控表上的目标温度设置到室温以下，对加热炉进行冷却。若测量过程中室温低于试件的线性变化温度范围，则需将试样加热至所需温度后再进行实验测量。

数据读取方法：

- 1) 固定试样确定的线伸长量读数，如约 10 个干涉条纹变化对应的光程差，即相应每 10 个干涉条纹变化量读取此伸长量所对应的试样温度的变化量；
- 2) 固定温度变化量，如约  $5^{\circ}\text{C}$ - $10^{\circ}\text{C}$ ，读取此温度增量区间内对应的试样线膨胀量，此伸长量对应光程差即干涉条纹的变化个数。

根据所测数据，计算待测试样的线膨胀系数。

本次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 上粘结石了石英玻璃泡，脆而易碎，安装和取下反射镜 3 时务必注意轻旋，不可大力操作，
3. 温控炉内试样位置底部有石英玻璃垫，易破碎，不能承受大力冲击，安装待测试样时注意轻放试样，不可松手使其落而砸向底部；
4. 加热炉温度不可设置太高，以免冷却时间过长。
5. 实验完毕须将温控表目标温度设置在室温以下，之后关毕电源。

### 【思考题】

1. 测量材料线膨胀系数的意义并举例说明。
2. 分析实验中影响实验结果的因素有哪些。

## 附录:

### 仪器主要技术参数

- 1.激光光源: 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.试件尺寸:  $L=150\text{ mm}$  ,  $\varphi=18\text{ mm}$ ;
- 5.线膨胀装置系统误差:  $<3\%$ 。