



北京航空航天大学 实验报告

实验名称：全息照相和全息干涉

一、实验目的

1. 了解全息照相的基本原理。熟悉反射式全息照相和透射式全息照相的基本技术和方法；
2. 掌握在光学平台上进行光路调整的基本方法和技能；
3. 学习用二次曝光法进行全息干涉计量，并以此测定铝板的弹性模量；
4. 通过全息照片的拍摄和冲洗，了解有关照相的一些基础知识；

二、预习要点

(1)全息照相的特点

①全息照相的记录和再现分别运用了什么原理？

1. 记录：借助一束相干参考光，通过拍摄物光和参考光的干涉条纹，间接记录下物光的振幅和位相信息。
2. 再现：使照明光按一定方向照在全息图上，通过全息图的衍射，才能再现物光波前，看到物的立体像。

②什么叫相干光，什么叫非相干光？用两个激光光源分别做物光和参考光，能否制作一张全息图并再现原物的像？

1. 相干光：两束满足相干条件的光
相干条件：两束光在相遇区域振动方向相同；振动频率相同相位相同或相位差保持恒定。
2. 非相干光：不满足相干条件的光
3. 若两个激光光源发出的光是相干光便可行

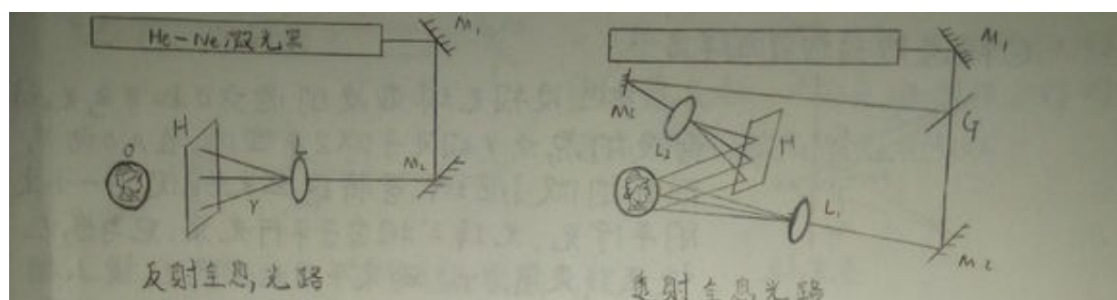
(2)全息照相的实践

①反射全息和透射全息有什么区别？表现在光路上有什么不同？

1. 区别：透射全息的物光和参考光位于记录介质(干板)的同侧

反射全息的物光和参考光位于记录介质(干板)的异侧

2. 两者的光路图如下:



②布置反射全息光路时, 应满足哪些基本条件? 布置透射全息光路时, 应满足哪些基本条件? 如何量取物光程和参考光程?

1. OH之间的距离通常在1cm以内, 而且尽量使物体面平行于H。
2. 感光板距静物不超过10cm
3. 用卷尺量取相应器件之间的距离。

(3)全息干涉法

①什么叫二次曝光法?

采用同一束光, 在不同的时间对同一张全息干板进行重复曝光, 如果两次曝光之间物体稍有异动, 那么再现时两物体的波前将发生干涉。

②二次曝光拍摄的全息照片再现时, 在物平面上观察到的明暗条纹是怎样形成的? 条纹的0级在什么位置, 条纹间距为什么不是均匀的?

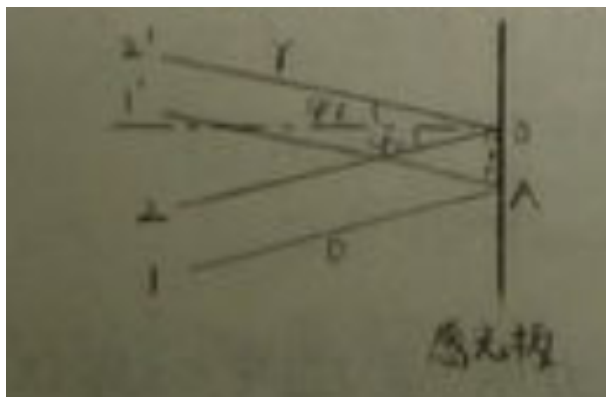
1. 两物体的波前发生干涉形成条纹
2. 0级在压力最大处附近
3. 入射光的夹角不同

三、实验原理

(1)全息照相

1透射全息的记录

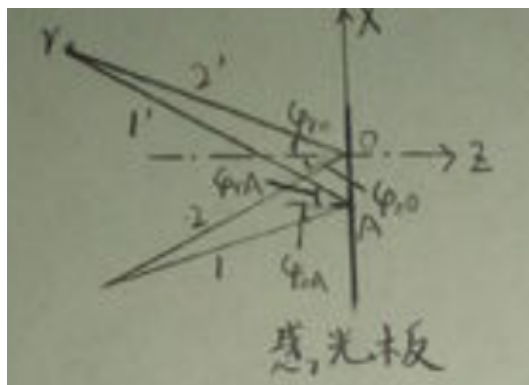
1. 两束平行光的干涉



如上图，设A、O两点为相邻的明条纹，则条纹间距 $d=OA$ ，其光程差为波长 λ 。
 $1'$ 与 $2'$ 光程差为 $d\sin\phi_r$ ， 1 与 2 光程差为 $d\sin\phi_0$ ，又 2 与 $2'$ 等光程。故 1 与 $1'$ 之间光程差为 $d(\sin|\phi_r| + \sin|\phi_0|)$ 。若以感光板法线为基准，逆时针转至入射光线(不大于 90°)的入射角为正，反之为负，则由图可知 ϕ_0 为正， ϕ_r 为负故条纹间距为

$$d = \frac{\lambda}{\sin\phi_0 - \sin\phi_r}$$

2. 单面发散球面波的干涉



如图，设物光球面波的源点O和参考光球面波的源点r均处于OXZ平面内。在A、O两点附近的微小区域，可将这些光线视为一小束的平行光，光线 $2'$ 相当于平行光束，它与感光板法线夹角为 ϕ_{r0} ，两束平行光在感光板上相遇而干涉，形成与Y轴方向平行的间距为 d_0 的明暗条纹，可得

$$d_0 = \frac{\lambda}{\sin\phi_{00} - \sin\phi_{r0}}$$

同理，在A点附近的微小区域内，条纹间距为

$$d_A = \frac{\lambda}{\sin\phi_{0A} - \sin\phi_{rA}}$$

2. 透射全息再现

全息图是以干涉条纹的形式记录的物光波，相当于一块以复杂光栅结构的衍射屏，必须用参考光照射才能在光栅的衍射光波中得到原来的物光，从而使物体得到再现。

3反射式全息照相

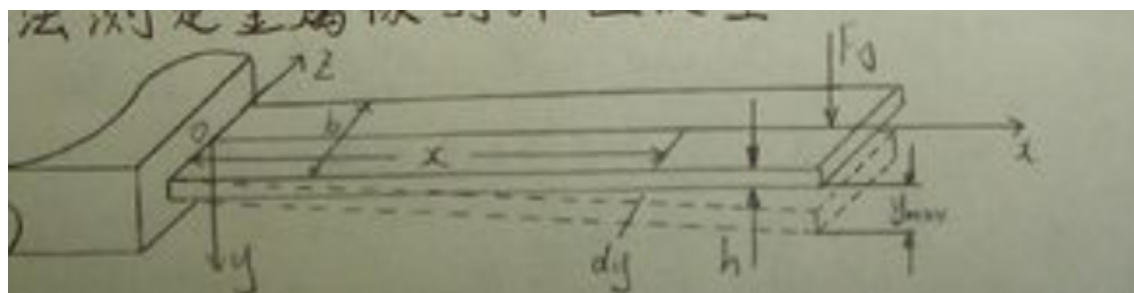
由于物光和参考光之间夹角接近于 180° ，故相邻两干涉面之间的距离近似为 $d = \frac{\lambda}{2\sin(180^\circ/2)} = \frac{\lambda}{2}$

当用波长为652.8nm的激光做光源时，这一距离约为 $0.52 \mu\text{m}$ 。而光致聚合物底板厚度为 $2.5 \mu\text{m}$ ，这样在干板中就能形成60-80层干涉面(布拉格面)。因而体全息图是一个具有三维结构的衍射物体。再现光在这三维物体上的衍射极大值必须满足下列条件：

1. 光从衍射面上反射时，反射角等于入射角。
2. 相邻两干涉层的反射光之间的光程差必须是 λ

$$\Delta L = 2nd \cdot \cos\theta = \lambda (n \text{ 是感光板折射率})$$

(2)两次曝光法测定金属板的弹性模量

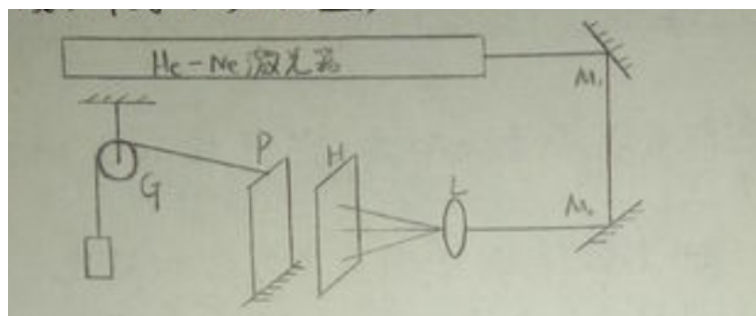


如图所示的悬梁在自由端受到一个力 F_y ，梁的中心线(x轴)上各点，沿x方向和z方向的变形略去不计，而沿y方向的位移量按材料学的挠度变形分布理论为

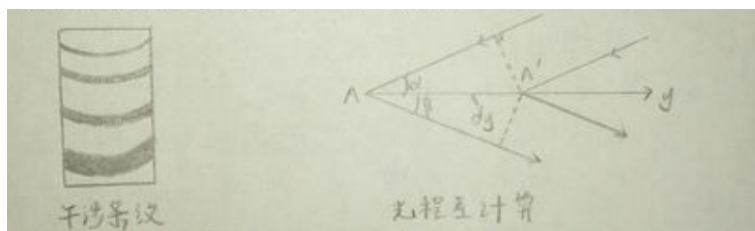
$$d_y = \frac{F_y x^2}{6EJ} (3L - x) < 1 >$$

式中L为梁长，E为弹性模量， $J = \frac{bh^3}{12}$ 为梁的横截面积的惯性矩。x为待测点的坐标位置。

实验光路如下图，L为扩束镜， M_1 ， M_2 为平面镜，H为干板，P为铝板，G为加力装置。



首先在悬臂梁尚未受力时做第一次曝光，则记录了悬臂梁处于原始状态的全息图，然后加力进行第二次曝光，有记录了悬臂梁受力变形后的全息图，再现时，同时浮现悬臂两个状态下的物光波前，发生干涉形成一簇等光程的干涉条纹。



可算出变形前后，A点与A'点发出的广播之间光程差为

$$s = d_y (\cos\alpha + \cos\beta)$$

根据干涉原理， $s = k\lambda$ 时是亮纹， $s = (2k-1)\lambda/2$ 时是暗纹

则亮纹处的位移量为

$$dy = \frac{k\lambda}{\cos\alpha + \cos\beta} < 2 >$$

暗纹处的位移量为

$$dy = \frac{(2k-1)\lambda}{2(\sin\alpha + \cos\alpha)} < 3 >$$

令< 1 >式与< 2 >式相等，则

$$\frac{F_y x^2}{6EJ} (3L - x) = \frac{k\lambda}{\cos\alpha + \cos\beta}$$

可得弹性模量为

$$E = \frac{F_y x^2 (3L - x)}{6Jk\lambda} (\cos\alpha + \sin\alpha)$$

式中， $J = \frac{bh^3}{12}$ ，其中b为梁的宽度，h为梁的厚度，故

$$E = \frac{2F_y x^2 (3L - x)}{k\lambda bh^3} (\cos\alpha + \cos\beta) < 4 >$$

同样可使< 1 >式与< 3 >式相等，则

$$E = \frac{4F_y x^2 (3L - x)}{(2k-1)\lambda bh^3} (\cos\alpha + \cos\beta) < 5 >$$

本实验中 α 和 β 都近似于0，由< 4 >式和< 5 >式可以看出，只要测出铝板的长度L，宽度b，厚度h和悬臂自由端所加力 F_y ，并读出某一级亮纹或者暗纹所在处的沿梁x轴方向的位置x，即可求出其弹性模量。

四、实验仪器

氦氖激光器及电源1套，分束镜1块，平面镜3块，被摄物1个，砝码加载器及待测铝板1套，载物台1个，底板架1个，扩束镜2块，透镜1块，白屏1块，纯净水，质量分数分别为40%,60%,80%,100% 的异丙醇溶液适量，竹夹1个，RSP-I型红敏光致聚合物全息干板。

五、注意事项

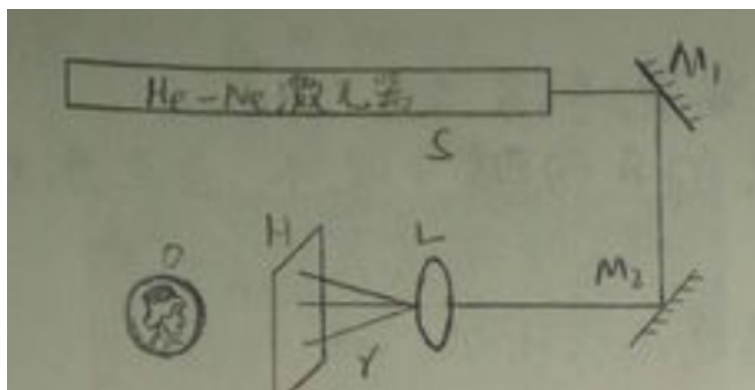
1. 全息干板必须夹持牢固，最好不要有自由端，特别是全息干板面积比较大时，需要固定自由端以避免振动，当板面较小时，可以只夹住一端。
2. 全息干板固定好后，应等几分钟在拍摄，在这段时间内可以让玻璃板慢慢释放夹持压力，否则易出现粗大干涉条纹，影响再现像的亮度与质量

3. 拍摄光路上所用到的各个元件必须用磁性表座/磁铁或螺栓牢固固定，不必要的元器件不要放在全息台上
4. 避免在室外用振动或较大噪声的情况下曝光
5. 曝光时间内，不要再室内走动或敲击全息台面，以免因振动使干涉条纹模糊化，振动严重时甚至不能记录干涉条纹

六、实验内容

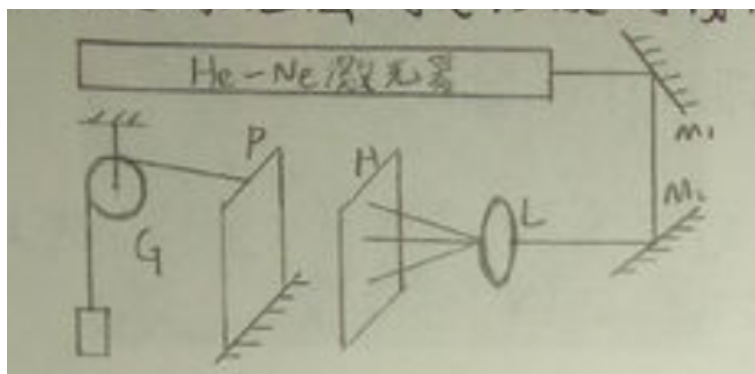
(1) 全息照片的拍摄

1. 反射式全息照相



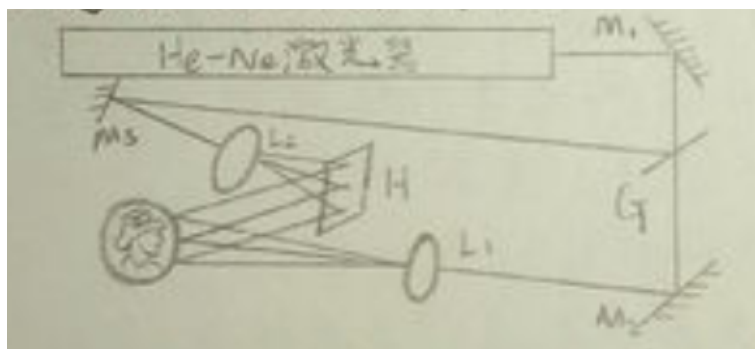
按上图调整光路，然后遮挡激光，安放感光板，H的乳胶面应正对物体，随后，开放激光曝光10-20s。

2. 二次曝光法测定铝板的杨氏模量



按上图调整光路，物体静止时，进行第一次曝光，时间大约为10s，随后用砝码加载器，给悬梁臂自由端施加适当大小的力 F_y ，稳定1min后，进行第二次曝光，时间约15s。也可以先加力稳定1min后，第一次曝光，然后释放力，再稳定1min进行第二次曝光。

3. 透射式全息照相



按上图布置光路，G为分束镜，M1，M2和M3为平面镜，L1和L2为扩束镜，H为感光板。

- ①首先粗调激光器水平，其次改变平面镜俯仰，使平面镜与激光束垂直，然后调节等高共轴。
- ②布置物光光路。移动L1使被摄物全部被均匀照明，感光板距静物不超过10cm。
- ③量取物光光程，使其和参考光光程基本相等，同时使两光夹角在40°左右。
- ④前后调整L2的位置，使参考光均匀照在整张感光板上，并使物光与参考光光强比为1:4-1:10。
- ⑤检查各光学元件是否用螺钉拧紧，并将磁性表座锁定。
- ⑥用黑纸遮挡激光，将感光板乳胶面朝光安装在底板架上。打开挡板曝光80-100s。

(2) 冲洗底板

1. 将曝光后的感光板用竹夹夹住，放在纯净水中浸泡10s取出，滤尽水。
2. 将感光板依次放入质量分数为40，60,80的异丙醇溶液中，各脱水10-15s后取出，每次取出都要滤尽溶液。
3. 将感光板
4. 滤尽

(3) 再现像的观察

1. 反射式全息图的观察
2. 弹性模量的测量
3. 透射全息图的再现