

数字光弹性实验

一、实验目的

- 1. 计算机采集圆盘对径受压时的等色线图，等倾线图。
- 2. 在计算机中利用等差线、等倾线骨架线法对采集得到的条纹进行半自动处理以绘制等差线、等倾线骨架线。
- 3. 通过计算机处理采集的图片得到等倾线和等差线的相移图。
- 4. 使用计算机在采集处理后的图片上绘制出主应力迹线。
- 5. 利用计算机进行应力计算。

二、实验设备

1. 光弹仪一套
2. 环氧树脂制的圆盘一个
3. 加载附件
4. 计算机、采集卡、CCD 及镜头

三、实验原理和装置

(1) 理论分析

a 等倾线相移

如图 1 所示，在平面正交偏振光场下，假设某点的主应力方向与水平轴呈 α 角，当起、检偏镜同步逆时针旋转 β 角时，其一般光强表达式可写为：

$$I = \frac{1}{2} k \sin^2 \frac{\delta}{2} [1 - \cos 4(\alpha - \beta)] \quad (1)$$

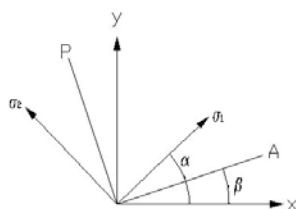


图 1 等倾线夹角示意图

Figure 1 schematics for isoclinics

当 β 分别为 $0, \pi/8, \pi/4, 3\pi/8$ 时：

$$\alpha = \frac{1}{4} \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_3 - I_1} \quad (2)$$

α 的值域为 $[0, \pi/2]$ ，它定义等倾线参数角 α 为第一主应力或第二主应力与 x 轴夹角。

b 等差线相移

在正交圆偏振光场下，图 2，要确定 0 点的小数级条纹，借助 Tardy 补偿法，转动检偏镜 β 角，（由 A 到 A'），0 点的光强表达式为：

$$I = k \sin^2 \left(\frac{\delta}{2} + \beta \right) = \frac{k}{2} [1 - \cos(\delta + 2\beta)] \quad (3)$$

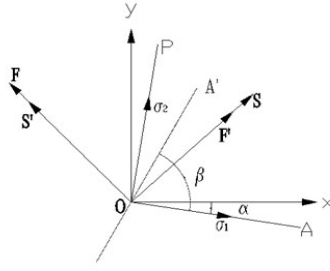


图 2 等差线相移原理示意图

Figure 2 schematics for isochromatics

对于第一主应力方向相同的区域，可以通过旋转检偏镜的方式使等差线产生相移。当 β 分别为 0 、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 时：

$$\delta = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \quad (4)$$

选择在 $\alpha = 0$ 、 $\pi/8$ 、 $\pi/4$ 、 $3\pi/8$ 四个方向上进行等差线相移，形成十六幅相移图，再根据如下准则，构造出连续的全场等差线位相图像 II。

$$II = \begin{cases} I(0) & \text{if } -\pi/16 \leq \alpha < \pi/16 \\ I(\pi/8) & \text{if } \pi/16 \leq \alpha < 3\pi/16 \\ I(\pi/4) & \text{if } 3\pi/16 \leq \alpha < 5\pi/16 \\ I(3\pi/8) & \text{if } 5\pi/16 \leq \alpha < 7\pi/16 \end{cases} \quad (5)$$

其中， $I(\alpha)$ 表示第一主应力与 x 轴呈 α 角下的等差线相位图像。

得到等倾线与等差线位相图后，可利用根据光弹平面模型应力计算方法编制好的程序进行应力计算。

(2) 实验步骤

1. 利用摄像装置与计算机采集圆盘卸载后的等差线、等倾线条纹图
2. 将采集到的图片在数字光弹软件中手动绘制等差线、等倾线条纹图的骨架线
3. 分别采集明场、暗场下模型的等差线条纹图，进行等差线倍增处理
4. 采集等倾线条纹图进行细化处理
5. 等倾线相移

以白光作光源，等倾线的相移采用四步相移法：在平面正交偏振光场下，逆时针同步旋转起检偏振镜 0 、 $\pi/8$ 、 $\pi/4$ 、 $3\pi/8$ 获得四幅原始图象，然后利用这四幅图象进行相移法处理，并对相移后的图象进行去包裹的处理。

6. 等差线相移

等差线的全场相移为先在第一主应力方向为 0 、 $\pi/8$ 、 $\pi/4$ 、 $3\pi/8$ 四个方向上分别进行相应方向的等差线相移，再把四个方向获得的相移图拼接为全场的等差线相移图像。具体操作只以 $\pi/8$ 方向为例，以单色光作光源，步骤为：

(1)、将双正交圆偏振光场逆时针旋转 $\pi/8$ (将双正交圆偏振光场中的起偏镜、两个四分之一波片、检偏镜一起逆时针旋转 $\pi/8$)，采集第一幅条纹图象，此为 0 degree image。(如要获得第一主应力方向为 0 、 $\pi/4$ 、 $3\pi/8$ 的等差线相移图，需将双正交圆偏振光场所有

镜子分别逆时针旋转 0 、 $\pi/4$ 、 $3\pi/8$);

(2)、其他镜子不动,只逆时针旋转检偏镜 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$,采集图像分别为软件中 45 degree image、90 degree image、135 degree image。它们与步骤(1)中的 0 degree image 形成了四幅图像,通过程序中一个方向的等差线相移处理得到 $\pi/8$ 方向的等差线相位图,

(3)、同理,第一主应力方向为 0 、 $\pi/4$ 、 $3\pi/8$ 的相移图按照(1),(2)步骤可以得到。用上面程序分别得到 0 、 $\pi/4$ 、 $3\pi/8$ 方向的相移图并与 $\pi/8$ 形成四个方向上的等差线相位图。

7. 绘制主应力迹线

8. 利用数字光弹软件,根据得到的等差线、等倾线相位图计算模型内部应力。

(3) 注意事项

1. 给圆盘加载后,载荷需保持稳定,所有条纹图均需在稳定载荷下采集
2. CCD 焦距需调节到最佳效果,所有条纹图应清晰可见
3. 软件专业性较强,软件操作时避免误操作,否则易出现软件自动关闭

(4) 实验结果分析

将软件计算的模型各向应力数据列出表格,并与手绘条纹图、利用剪应力差法理论计算出的应力数据做对比分析。

四、实验报告

学生的实验报告按所提供的标准格式,由学生以论文形式完成。



图 3 新型数字光弹仪

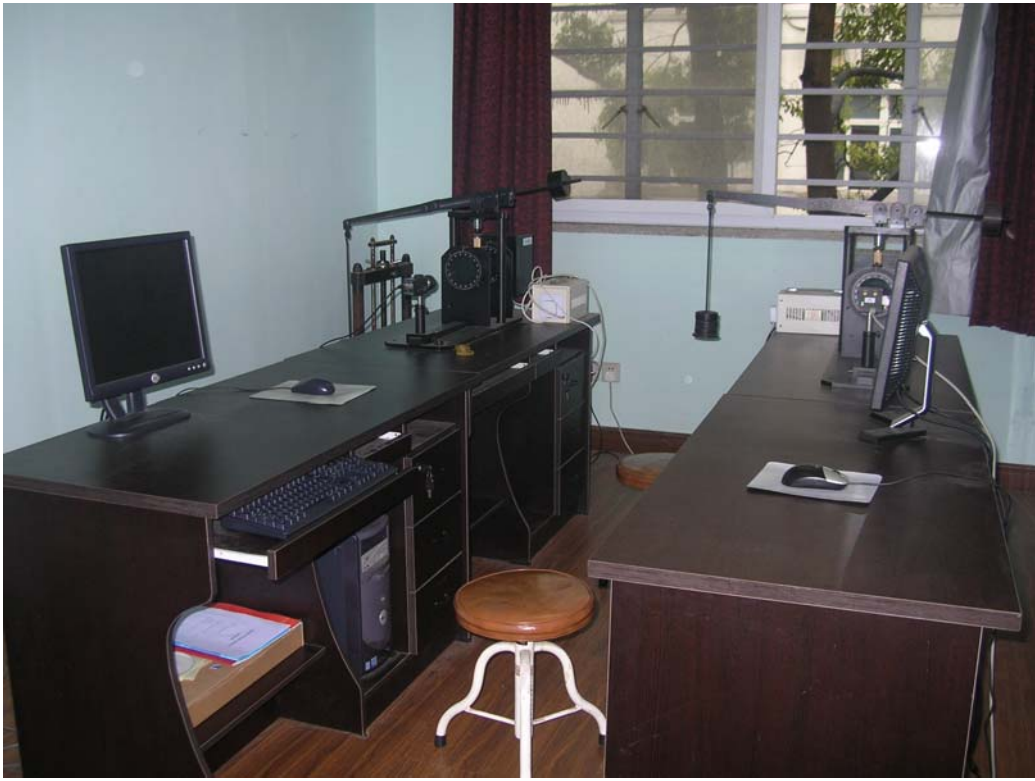


图 4 数字光弹实验室环境