

反射光弹性条纹倍增法*

安里千

(中国矿业大学北京研究生部, 1990年4月7日收到)

摘 要

本文提出一种简单实用的光弹性条纹倍增新方法, 该方法只用普通光弹仪中的一个四分之一波片和一个起偏镜, 通过光反射实现条纹倍增。

关键词 光弹性 等差线条纹 倍增 反射

一、引 言

在光弹性实验中, 许多情况下, 模型上的条纹较少, 会直接影响读数精度。因此, 需要用条纹倍增方法, 增加条纹数目, 以提高分析精度。通常采用的条纹倍增方法是在模型两边放置两片相互略有倾斜角的半反射镜, 垂直于模型入射的光线在两片半反射镜之间多次反射和透射, 从而达到条纹倍增的目的。目前, 此方法在光弹性倍增中应用最普遍。此方法的缺点是, 为防止不同介质中折射率的影响, 应将模型置入与其具有相同折射率的浸没液中, 由于光线多次反射和透射, 光强损失很大, 使倍增后的应力光图清晰度下降。

利用光弹性照片迭合方法, 可以得到倍增一倍的条纹图。这种方法需要拍摄暗场和明场两张条纹图的胶片进行迭合。两张底片迭合时, 需精心对准, 然后还需要翻拍。

本文提出的方法, 不用半反射镜, 也不需要拍摄明、暗视场条纹图胶片, 只用一个起偏镜和一个四分之一的波片, 利用模型后表面的反射光线达到倍增一倍条纹的目的。本方法的优点是不需要半反射镜, 也不需要增加任何倍增设备, 操作简便, 倍增条纹图清晰。

二、实验装置及原理

该倍增装置, 实际上就是普通光弹性仪的前半部分, 即起偏镜和四分之一波片, 如图1所示。四分之一波片快轴(或慢轴)同起偏镜的偏振轴成 45° 角。由四分之一波片射出的偏振光合成为圆偏振光, 此圆偏振光入射模型后, 其中一部分光线被模型的后界面反射回来。此时, 其快轴方向和慢轴方向的光矢量互换位置, 即圆偏振光的旋转方向恰好与原旋转方向相反。当反射光由模型射出, 第二次达到四分之一波片, 慢轴和快轴方向的光波分别

* 王志忠推荐。

本工作得到霍英东教育基金会资助。

通过四分之一波片快轴和慢轴, 相对位相差增加 $\pi/2$, 合成线偏振光偏振方向与偏振镜偏振轴方向正交。因此, 在起偏镜后面观察由模型反射回来的光线, 实际形成暗视场。由于光束两次通过模型, 从而产生两倍的光程差, 观察到的等差线条纹图为二倍增的应力光图。

在条纹倍增装置中, 各镜轴及应力主轴的相对位置如图2所示。光束通过起偏镜后变成平面偏振光

$$E = a \sin \omega t$$

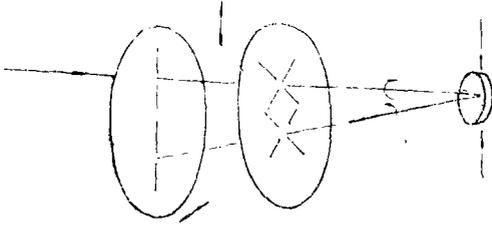


图1 条纹倍增装置示意图

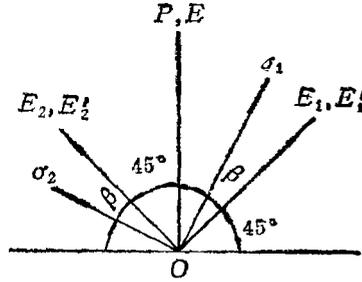


图2 圆偏振光场的光轴与应力主轴的相对位置

到达四分之一波片后, 沿波片的快、慢轴分解成两束平面偏振光。该两束偏振光通过四分之一波片后, 产生相对的相位差 $\pi/2$, 即

$$E_1 = (\sqrt{2}/2) a \sin(\omega t + \pi/2) = (\sqrt{2}/2) a \cos \omega t \quad (\text{沿快轴})$$

$$E_2 = (\sqrt{2}/2) a \sin \omega t \quad (\text{沿慢轴})$$

这两束光合成为圆偏振光。当圆偏振光达到模型上的O点时, 又沿主应力 σ_1, σ_2 的方向分解为两束光波, 设 σ_1 的方向与快轴成 β 角, 则

$$E_{\sigma_1} = E_1 \cos \beta + E_2 \sin \beta = (\sqrt{2}/2) a \cos(\omega t - \beta)$$

$$E_{\sigma_2} = E_2 \cos \beta - E_1 \sin \beta = (\sqrt{2}/2) a \sin(\omega t - \beta)$$

通过模型后, 产生一个相位差 δ , 得

$$E'_{\sigma_1} = (\sqrt{2}/2) a \cos(\omega t - \beta + \delta), \quad E'_{\sigma_2} = (\sqrt{2}/2) a \sin(\omega t - \beta)$$

由模型后表面反射回来的两束光波, 相位产生突变 $-\pi$, 快、慢轴方向互换。第二次通过模型又产生相位差 δ , 则

$$E''_{\sigma_1} = -(\sqrt{2}/2) a \cos(\omega t - \beta + 2\delta), \quad E''_{\sigma_2} = -(\sqrt{2}/2) a \sin(\omega t - \beta)$$

式中, E''_{σ_2} 的相位较 E''_{σ_1} 的相位提前 $-\pi/2$, 故圆偏振光旋转方向与反射前相反。光波第二次到达四分之一波片, 沿快、慢轴分解为

$$\begin{aligned} E'_1 &= E''_{\sigma_1} \cos \beta - E''_{\sigma_2} \sin \beta \\ &= (\sqrt{2}/2) a [-\cos(\omega t - \beta + 2\delta) \cos \beta + \sin(\omega t - \beta) \sin \beta] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E'_2 &= E''_{\sigma_1} \sin \beta + E''_{\sigma_2} \cos \beta \\ &= (\sqrt{2}/2) a [-\cos(\omega t - \beta + 2\delta) \sin \beta - \sin(\omega t - \beta) \cos \beta] \end{aligned}$$

通过四分之一波片后, 又产生相位差 $\pi/2$, 得

$$E''_1 = (\sqrt{2}/2) a [\sin(\omega t - \beta + 2\delta) \cos \beta + \cos(\omega t - \beta) \sin \beta] \quad (\text{沿快轴})$$

$$E''_2 = (\sqrt{2}/2) a [-\cos(\omega t - \beta + 2\delta) \sin \beta - \sin(\omega t - \beta) \cos \beta] \quad (\text{沿慢轴})$$

通过偏振镜后, 得到偏振光为

$$E' = (E''_1 + E''_2) \cos 45^\circ$$

或 $E' = a \sin \delta \cos(\omega t - 2\beta + \delta)$

偏振光的光强与其振幅的平方成正比, 即

$$I = Kr(a \sin \delta)^2$$

式中, r 为模型内面的反射系数。

引入相位差与光程差的关系 $\delta = 2\pi\Delta/\lambda$, 得

$$I = Kr(a \sin(2\pi\Delta/\lambda))^2$$

为使光强 $I=0$; 只要 $\sin(2\pi\Delta/\lambda)=0$, 则

$$2\pi\Delta/\lambda = N\pi$$

$$\Delta = N \cdot \lambda/2 \quad (N=0, 1, 2, \dots)$$

此式表明, 只要在模型中产生的光程差 Δ 为单色光波长 $\lambda/2$ 的整数倍, 就消光 ($I=0$)。

令

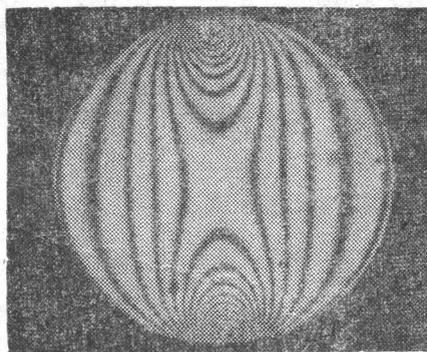
$$m = N/2 \quad (N=0, 1, 2, \dots)$$

则 $\Delta = m\lambda$

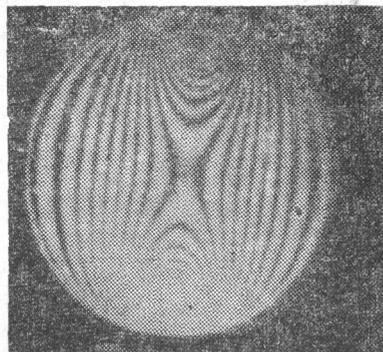
当 $m=0, 1/2, 1, 3/2, \dots$ 时皆消光, 出现黑条纹。由此可见暗视场等差线条纹增加一倍。

三、实 例

图 3(a) 是一个对径受压圆盘的等差线图, 图 3(b) 为倍增后的等差线图。倍增条纹的坐标与其它方法进行了对比, 测量的统计偏差小于 0.1mm 。



(a) 倍增前等差线图



(b) 倍增后等差线图

图 3

四、结 论

本文提出的光弹性条纹倍增方法, 不需要增加任何设备, 在普通光弹仪上就可实现条纹倍增。操作十分简便, 得到的倍增条纹图清晰。精度能满足光弹性应力分析的要求。

但是, 由于入射光和反射光不是正射于模型表面, 因而测量结果是测点附近一定宽度内平均值, 在某种程度会降低精度。只要尽量减小入射光和反射光的夹角, 一般情况下由于光线不正射引起的误差可以忽略。

根据平面应力光学定律, 考虑到光线两次通过模型, 故

$$\sigma_1 - \sigma_2 = Mf/2t$$

其中, f 为模型材料应力条纹值, M 为等差线条纹级数, t 为模型厚度. 在应力分析中采用斜射法, 不仅可简化实验过程, 而且结果也是令人满意的.

参 考 文 献

- [1] 赵清澄主编, 《光测力学》, 上海科学技术出版社 (1982).
- [2] 张如一、陆耀楨主编, 《实验应力分析》, 机械工业出版社 (1981).
- [3] 天津大学材料力学教研室光弹组主编, 《光弹性原理及测试技术》, 科学出版社 (1980).
- [4] Kobayashi, Albert S., *Handbook on Experimental Mechanics*, Prentice-Hall, Inc., U. S. A. (1987).

Fringe Multiplication by Reflection

An Li-qian

(Beijing Graduate School, China University of Mining, Beijing)

Abstract

A new method of fringe multiplication is presented in this paper. The method is simple and applicable. Only one polarizer and one quarter-wave plate are adopted to get fringe multiplication by reflection.

Key words photoelasticity, isochromatic fringe, multiplication, reflection