

白光散斑的直接记录和非相干光分析

屠美容 韩金虎 吴阜肤

(中国科学院力学研究所)

近二十余年来,激光散斑法在实验应力分析领域中广为重视。它的突出优点是灵敏度可调,无损以及能给出全场信息。测试者可根椐待测应变量的大小,调节滤波孔高度,选择适当的条纹密度进行测量。因而这种方法对于弹性、塑性应变均能适用。是目前较理想、有潜力的测试手段之一。

但是,作为光源的激光器,不便随身携带它的维护和对环境稳定性的要求使得某些工程现场的实地量测受到限制,影响着散斑法的进一步推广和应用。其次,由于激光光源的高度相干性,使所获图片背景噪声较高,干涉条纹粗糙,测量值的随机不定度大,为精度的提高设下了障碍。

本文用白光散斑的直接记录和非相干光的分析系统对平面应力构件进行现场测试。试验前未对被测物表面喷涂任何覆盖物,只略作抛光处理,所谓的“散斑”仅仅是物体表面精细光学结构的空问分布。记录时,用闪光灯代替激光光源,免除了扩束镜、准直镜等相应的光路系统,采用无镜头成象的直接记录法,精简了照相设备,克服了记录系统与被测物体之间的刚体位移,降低了实验过程中对环境稳定性的要求,并最大限度地保留了被测物体表面精细光学结构空问分布中的高频成分,使全场分析时滤波孔的位置得以提高,增加了测量的灵敏度。白光的应用还抑制了相干噪声,改善了图片质量,提高了量测精度。

1. 原理说明

高度的相干照明对可能存在干光路系统中的缺陷是特别敏感的,透镜上的任何微小尘粒都可能引起十分显著的衍射图样迭加在象上,因而在利用激光散斑作为测量物体变形的参照物的同时,不可避免地会带来许多额外的噪声,这些噪声的出现使干涉条纹背景噪声高,信息模糊,造成散斑法的一大缺陷。白光散斑法是用白光记录物体表面精细光学结构的空问分布,它对镜头上的微小尘粒和光路系统中可能出现的缺陷都不敏感,记录的是有用的“散斑”信息。

为了获得频谱宽广的散斑图,我们对试件表面并未采用涂漆或喷洒玻璃微珠等人工制斑法,而是进行抛光处理;使物表面的高度沿某一方位呈迅速振荡的沟槽函数。我们知道,周期函数所对应的谱是孤立谱;而非周期函数所对应的谱是非孤立谱。一个相对平滑的函数其频谱范围较窄;而一个迅速振荡的函数所包含的谱就比较宽广。一个函数在某一方向上的空问频率仅仅是这一函数在单位距离内所重复的次数。略加思索便可知道,假如函数 $f(x)$ 迅速振荡不断地呈现尖峰与不连续点等,这种性态必然导致这样一些傅里

本文于1984年12月16日收到第一次稿,于1985年9月30日收到修改稿。

叶分量的产生, 它们的周期至少象 $f(x)$ 的精细结构的线度那样小^[4]。用白光记录抛光后的试件表面光学结构所得底片与用激光照射漫反射物表面所得底片一样, 相当于一个复杂光栅, 光栅的频率域决定于物表面光学结构的精细程度, 在具体操作时还可以根据需要改变抛光方向, 使某一方位上的空间频谱尤其宽广^[4]。

2. 实验与分析

图 1 为白光散斑直接记录的光路图, 由图中可以看出其所用的设备是极其简单的。全息干板的乳胶面朝向试件表面并与之紧贴。

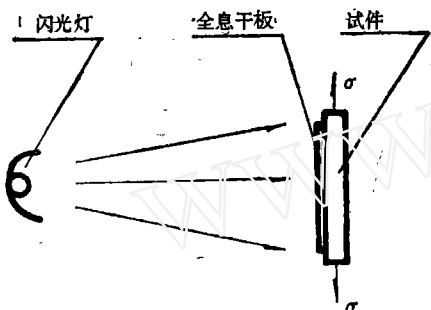


图 1 白光散斑直接记录光路图

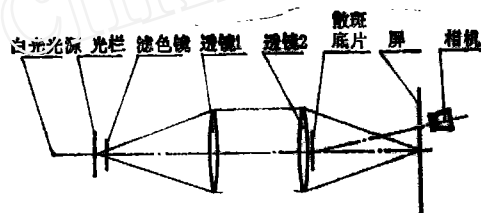


图 2 非相干光处理系统

图 2 是非相干光全场分析光路图。如前所述若用激光光源对白光记录的散斑底片进行全场分析, 则不可避免地还会带来噪声, 为了克服这一缺陷, 我们用具有一定带宽的复色光来照明散斑底片。当复色光满足:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \ll 1 \text{ 及 } \frac{1}{\Delta\nu} \gg \frac{r}{c} \text{ 时}$$

其中 c 是光速、 ν 是光波平均频率、 r 是衍射传布的最大光程。由单色光情况下推导出来的瑞利-索末菲衍射公式仍然适用, 相干系统中的运算能力得以保留^[5], 其中波长 λ 用平均波长 $\bar{\lambda}$ 代入。所不同的是用单色光照明时, 各点的复振幅是与时间无关的稳定场, 因而各点的光强也是与时间无关的稳定场; 而用复色光照明时, 复振幅与时间有关, $\nu = \nu(x)$,

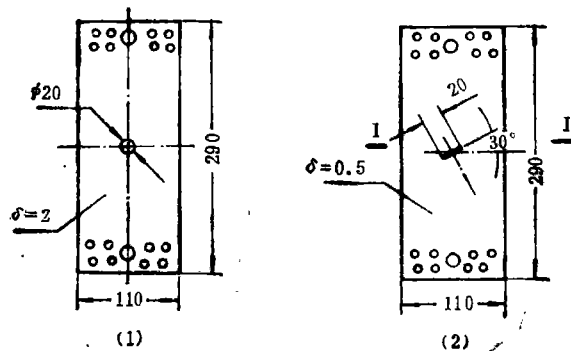


图 3

(1) 对中心孔试件, (2) 带斜裂纹试件

y, t)。但在比光波的振动周期大得多的时间间隔内, 强度取其时间平均值

$$I(x, y) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T v(x, y, t) \cdot v^*(x, y, t) dt.$$

并记作

$$I(x, y) = \langle v(x, y, t) \cdot v^*(x, y, t) \rangle$$

式中 I 为光强、 v 为复色光的复振幅、“*”代表共轭、 T 为光波振动周期。这样, 时间因素 t 在强度中不表现出来, 它也是一个稳定场。

我们对带中心圆孔和中心斜裂纹的两种薄板试件在单向拉伸载荷作用下的应变场分别进行测量, 试件材料均为铝合金, 屈服强度为 32 kg/mm^2 照片 1(a)、(b) 是试件 (1) 在平均应力 σ 分别为 8.33 kg/mm^2 和 16.67 kg/mm^2 载荷作用下的全场分析图, 所用空间频率为 $f = 901/\text{mm}$ 。其对称截面上的应变分布虚线如图 4 所示, 照片 2(a) (b) (c) (d) 是试件 (2) 在平均应力 $\sigma = 9.71 \text{ kg/mm}^2$ 载荷作用下的全场分析图, 其空间频率分别为 $62.1, 77.6, 90, 1401/\text{mm}$ 。其截面上的应变分布曲线如图 5 所示。

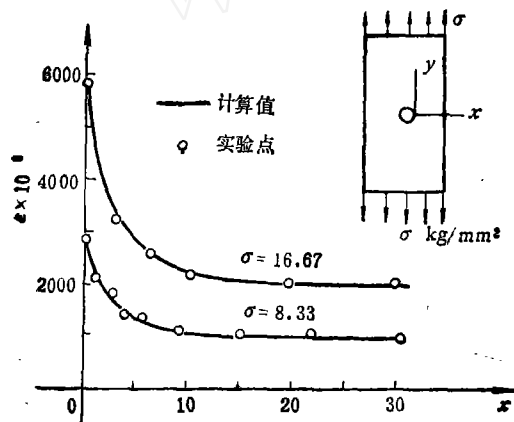


图 4 试件 (1) 对称截面上的应变分布
— 计算值 ○ 实验点

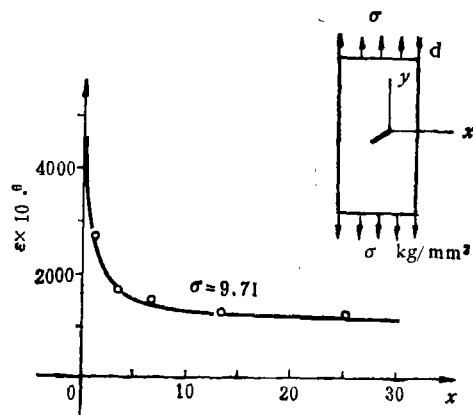
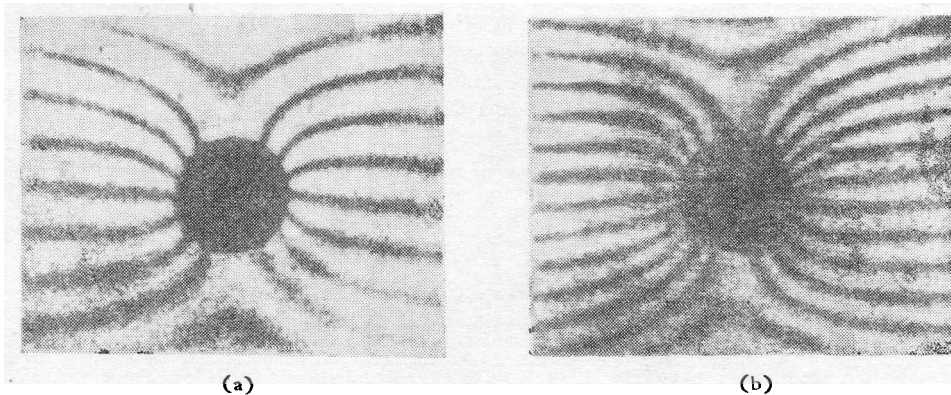
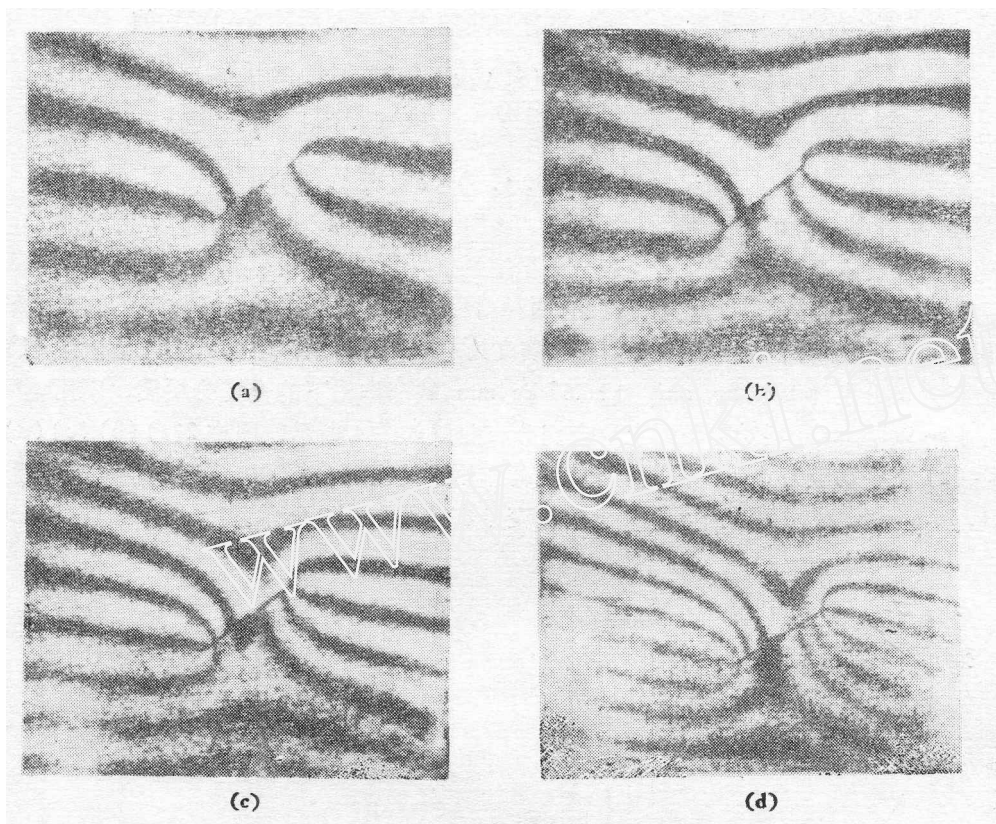


图 5 试件 (2) x 截面上的应变分布



照片 1



照片 2

3. 结束语

白光散斑与激光散斑相比有两大突出优点 1. 记录设备简单,能适用于现场。 2. 图片质量得到改善,有利用测量精度的提高。但在全场分析时,由于对复色光有一定带宽的要求,故仍具有部分相干性,致使背景噪声不能完全消除,有待于进一步改进。其次,本文所提出的表面处理的方法有待于进一步改进,以逐步完善,得到更清晰的干涉图。

参 考 文 献

- [1] JACK D EASKILL, *Linear System, Fourier Transform, and Optics*, 1978.
- [2] 韩金虎, 激光散斑技术和提高直接散斑法的全场条纹清晰度的技术途径. 中国力学学会第三届实验应力分析学术会议论文摘要汇编. 1982.
- [3] Goodman, J. W., *Introduction to Fourier Optics* McGraw = Hill, 1968.

OBJECTIVE WHITE LIGHT SPECKLE METHOD AND INCOHERENT DATA EXTRACTION

Tu Meirong, Han Jinhui, Wu Fufu

(Institute Mechanics, Academia Sinica)

Abstract

Objective white light speckle method can be used for the measurement of inplane displacement of practical engineering structure. There is no need for recording lenses nor a coherent light resource. The object surface needs no special treatment. It is capable of generating fringes with high sensitivity and low noise.