

用直接散斑技术测量复合材料 试件的面内位移

毛天祥 韩金虎 李春秀 邹荣达

(中国科学院力学研究所)

提要 直接散斑法用来测量带中心圆孔复合材料条状试件在拉伸载荷作用下的面内位移分布。采用镜面移植技术,提高复合材料试件表面的反射性能,从而得到高质量的散斑干涉干板。在分析散斑干涉干板时,由于得到的全场位移分布条纹频率的可调性,使此方法测量范围很宽,由弹性应变到塑性应变。直接散斑法测量的结果与云纹法得到的结果相符合。

关键词 直接散斑法、复合材料、位移测量、云纹法。

引言

研究复合材料的断裂与损伤时,需要测量圆孔孔边或裂纹尖端的面内位移和应变分布。光测方法、如云纹法和散斑法提供了有效的测量全场位移分布的手段。云纹法可以提供位移场,此位移场随着载荷的变化而变化,但其灵敏度由使用的云纹栅片的截距所限定。在最近的二十年以来,由于散斑法测量灵敏度的可调节性,被广泛地用来测量位移分布^[1,2]。选择不同位置的偏置孔,得到不同密度的位移分布条纹,此法可测量弹性及塑性应变问题。此外,此法还具有无损检测,遥控测量和全场可见信息等优点。

本文所用方法在测量和分析面内位移时,用激光直接散斑法记录,并用激光光路分析散斑干涉干板,得到位移分布条纹图^[3]。在与加载方向垂直的方向上用砂纸小心地画出一些划痕,可以增强散斑干涉干板在垂直方向的衍射效应。

在用激光记录散斑图分布时,将记录干板底片用一点固定于试件上,由此避免了刚体位移的影响。在记录时避免使用相机镜头,在散斑干板上保留了尽可能多的高频分量,因而在分析时,可以选择位置较高的偏置孔,提高测量位移的灵敏度。

用上述方法测量了带中心圆孔玻璃纤维增强聚脂复合材料试件的位移场和应变场,得到的结果与云纹法所得结果相符合。

实验过程

1. 用两次曝光法记录散斑图

记录系统如图1所示。将散斑记录干板用一点固定在试件表面,用平行光照明,光的传播方向平行于试件法线方向。使用具有高分辨率的全息干板,以提高散斑图的质量。由

本文于1986年1月8日收到。

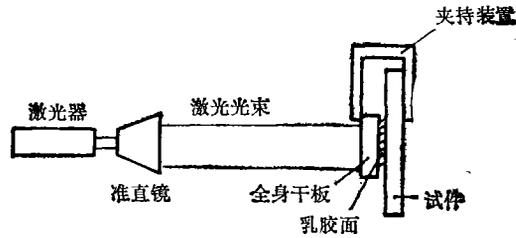


图 1 记录光路图

于试件是不透明的,照射光线必须透过记录干板,再由试件表面反射得到有用信息。因而与有用信息强度相同的均匀曝光干扰了,甚至会淹没数据的采集。本文采用镜面移植技术得到反射性极强的表面,(具体步骤见后)克服了上述困难。将散斑图记录在散斑干板上是由在试件变形前后,进行两次曝光而完成的。

2. 散斑干涉干板的分析

散斑干涉干板上,所有信息重叠在一起,在干板上不能见到任何条纹。将此散斑干涉干板置于富里哀光路中分析,可以得到全场位移分布条纹图(图 2)。选择在频率平面

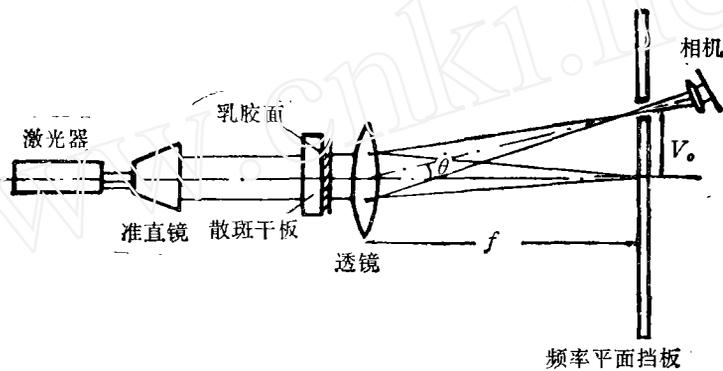


图 2 分析光路图

挡板上,具有不同 V_0 值的滤波孔,可以得到不同灵敏度的全场位移分布条纹图。如果点 P 的偏轴角为 θ ,灵敏度可由如下公式得到:

$$\frac{\sin \theta}{\lambda} = \frac{V_0 / f}{\lambda} = \frac{V_0}{\lambda \cdot f} \quad (1)$$

其中, $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ 为激光光源的波长; θ 为图 2 所示的偏轴角; V_0 为从激光光轴量起的点 P 的高度(图 2); f 为透镜的焦距。

3. 试件的表面处理

本文使用不透明试件,当照明光线通过散斑干板时,散斑干板的均匀曝光影响数据的提取。提高试件表面的反射率是非常重要的。本文采用镜面移植方法来得到高反射率的试件表面。

首先,试件表面涂上非常薄的环氧胶层。其次,将玻璃镜面置于胶层上,银面与胶层接触,在胶层固化时,用重物保持压力。胶层固化后,将玻璃拿开,银面就保留在试件表面上。最后,用细砂纸轻轻地在镜面上画出与加载方向垂直的划痕。

4. 试件、激光光源和试验机

试件是玻璃纤维增强聚脂条状试件(图3)。试件材料在加载方向的初始杨氏模量为 18.32 GN/M^2 。激光光源为输出功率为 3mW ，波长为 6328 \AA 的氦氖激光器。实验是在 100kN 的带有液压夹头的 MTS 材料试验机上进行。手动加载来记录散斑图。

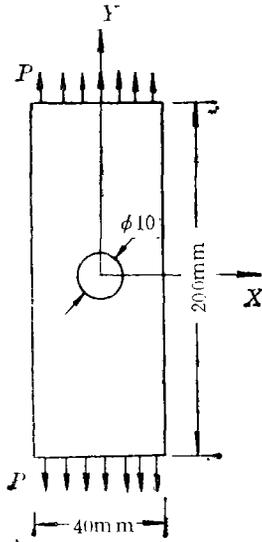


图3 试件

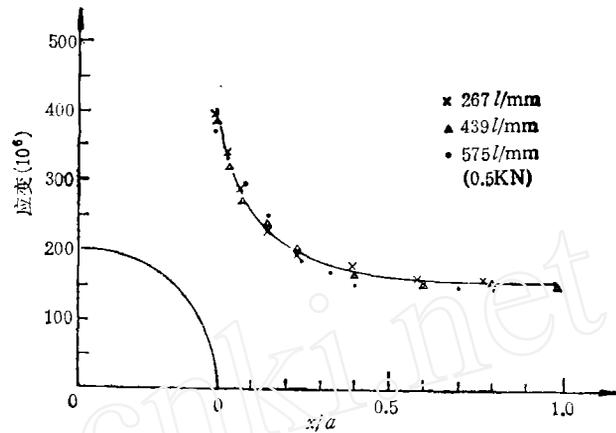


图4 应变沿 x 轴分布(直接散斑法, 0.5 kN)

实 验 结 果

在图1所示光路中进行实验,6张双曝光散斑干涉干板分别在零载荷与 0.25kN , 0.5 kN , 1kN , 1.5kN , 2.5kN 和 4kN 之间进行两次曝光得到的。

在图2所示光路中,对两次曝光的散斑干涉干板进行分析时,选择了5个偏置孔位置,即5个 V_i 值;由此分别得到相当于灵敏度为 248 线/毫米 , 267 线/毫米 , 439 线/毫米 , 575 线/毫米 和 694 线/毫米 的垂直位移分量的全场位移条纹图。例如,当分析载荷高于 1.5 kN 时得到的双曝光散斑干涉干板时,仅给出灵敏度为 267 线/毫米 的全场位移条纹图。对载荷为 1kN 时,得到的双曝光散斑干涉干板,分析后得到灵敏度分别为 267 线/毫米 和 439 线/毫米 的全场位移条纹图。对载荷为 0.5kN 时,得到的双曝光散斑干涉干板,分别得到灵敏度为 267 线/毫米 , 439 线/毫米 和 575 线/毫米 的全场位移条纹图。最后,对载荷为 0.25kN 时,得到的双曝光散斑干涉干板,仅仅在灵敏度为 575 线/毫米 和 694 线/毫米 的全场位移条纹图上,才能观察到条纹。

图4给出载荷为 0.5kN 时,沿 x 轴 ($Y = 0$) 的应变分布。应变值分别取自灵敏度为 267 线/毫米 , 439 线/毫米 和 575 线/毫米 的全场位移条纹图。这三张灵敏度不同的全场位移条纹图均取自同一张双曝光散斑干涉干板。图4结果表明,取自不同灵敏度的全场位移条纹图的沿 x 轴的应变结果相互吻合。图5给出用直接散斑法得到的不同载荷下应变沿 x 轴的分布。为了比较,也给出了载荷为 4kN 时由云纹法得到的应变沿 x 轴的分布。结果表明,云纹法与散斑法得到的结果相同。图6至图11给出垂直位移分量的全场位移

条纹图。图 6 所示条纹是载荷为 0.25kN 时，相应灵敏度为 575 线/毫米的全场位移条纹。图 7 是载荷为 0.5 kN 时，灵敏度为 267 线/毫米的全场位移条纹图。类似地，载荷为 0.5 kN 时，灵敏度为 439 线/毫米和 575 线/毫米的全场位移条纹图分别示于图 8 和图 9。图 10 给出载荷为 1.5 kN 时，灵敏度为 267 线/毫米的全场位移条纹图。图 11 为载荷为 4kN 时，灵敏度为 248 线/毫米的全场位移条纹图。

比较图 6 与图 7 的全场位移条纹图；后者的载荷为前者的两倍，但其灵敏度为前者的一半，所以得到相似的全场位移条纹图。图 7、图 8 和图 9 所示不同灵敏度的全场位移条纹图，均为载荷为 0.5kN 的情况。灵敏度为 267 线/毫米时(图 7)，圆孔两侧各有两条黑色条纹；灵敏度为 439 线/毫米时(图 8)，圆孔两侧各有三条黑色条纹；灵敏度为 575 线/毫米时(图 9)，

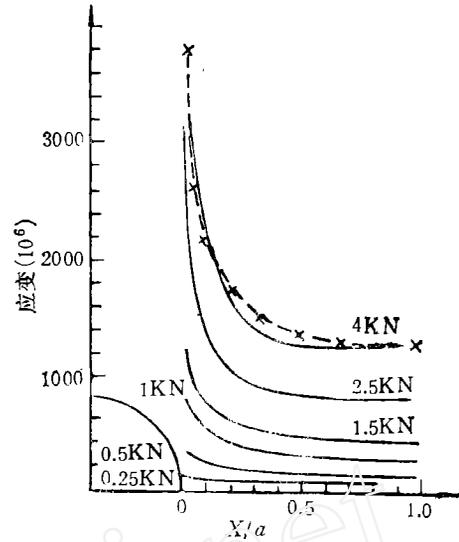


图 5 应变沿 X 轴分布
—— 直接散斑法 - - - 云纹法

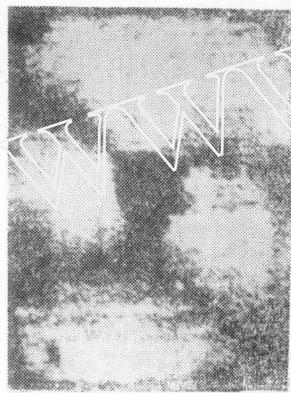


图 6 0.25kN, 575 l/mm

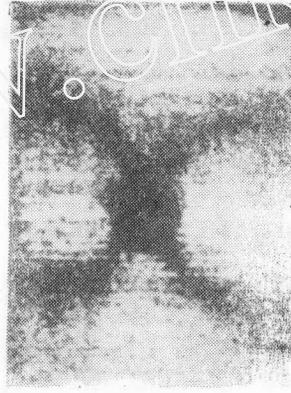


图 7 0.5kN, 267 l/mm



图 8 0.5kN, 439 l/mm

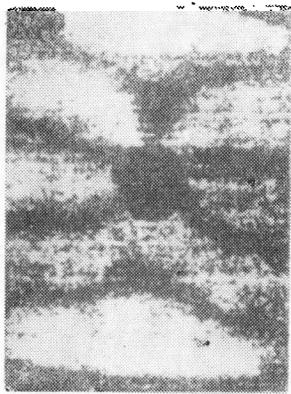


图 9 0.5kN, 575 l/mm

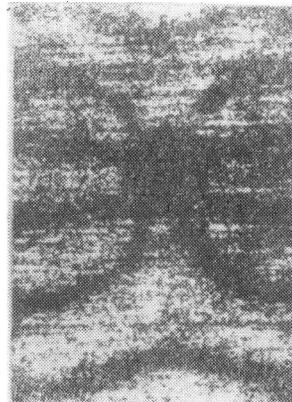


图 10 1.5kN, 267 l/mm

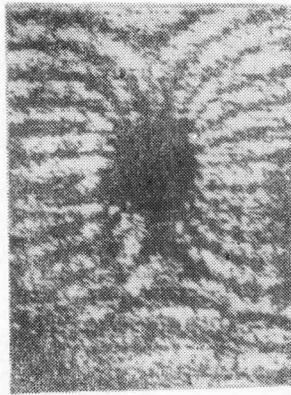


图 11 4kN, 248 l/mm

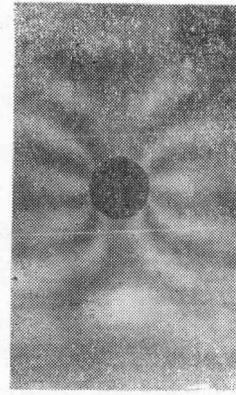


图 12 4kN, 100 l/mm

圆孔两侧各有四条黑色条纹。图 7 和图 10 的全场位移条纹的灵敏度均为 267 线/毫米, 但相应的载荷不同; 后者载荷为前者的三倍, 因而图 10 所示条纹密度为图 7 所示条纹密度的三倍。最后, 比较图 11 和图 12; 全场位移条纹图均在载荷为 4kN 时得到, 但图 11 的条纹由直接散斑法得到, 灵敏度为 248 线/毫米, 图 12 的条纹由云纹法得到, 灵敏度为 100 线/毫米。因而图 11 所示的条纹密度为图 12 密度的 2.5 倍。

上述结果表明: 直接散斑法为测量复合材料试件的面内位移和应变场提供了有效的手段。当载荷较低, 应变较小时也可以使用。镜面移植技术, 使复合材料试件表面具有较高的反射性能; 在镜面上 x 方向小心地刻划的沟痕, 增加了富里哀分量的频率, 加宽了 y 方向的频谱, 大大提高了垂直位移分量测量的灵敏度。

参 考 文 献

- [1] 屠美容, 用直接散斑法对平面应力问题进行全场应变分布测定的实验与分析, 力学学报, **5**, 5 (1983), pp. 515—521.
- [2] 韩金虎, 散斑法在各种材料实验中的应用, 黄山复合材料力学性能会议 (1985).
- [3] Boone, P. M., *Optical Engineering*, **21**, 3 (1982), pp. 407—410.

IN-PLANE DISPLACEMENT MEASUREMENT OF COMPOSITE BY OBJECTIVE SPECKLE PHOTOGRAPHY

Mao Tianxiang, Han Jinhua, Li Chunxiu, Zou Rongda

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

Abstract The objective speckle photography is used to measure the in-plane displacement around the hole in a coupon specimen of composite materials under tensile load. Mirror transplantation method is adopted to ensure the high reflectance of specimen surface and obtain high quality resulting transparency. The adjustable frequency of the resulting full-field pattern for the displacement made it possible to measure a broad range of strain, from elastic to plastic strain. The results obtained by objective speckle photography agree well with the results by Moire method.

Key words: objective speckle photography, composite materials, displacement measurement, Moire method.