

# 直接散斑法测量各种材料试件的变形

韩金虎 (中国科学院力学研究所)

**摘要** 本文给出一种试件表面处理方法,它可以解决对于各种材料试件(例如有色金属、黑色金属、玻璃钢、碳纤维复合材料、陶瓷、岩石、混凝土制品等)使用直接散斑法进行变形测量的问题。文中阐述了基本原理和操作方法,给出了在铝合金材料、碳纤维复合材料、玻璃钢复合材料试件上进行断裂力学实验的结果。

**关键词** 直接散斑法,随机光栅,双曝光散斑图,镜面移植,等位移线

## 1. 引言

散斑法的实验方法有直接散斑法<sup>[1]</sup>和照相

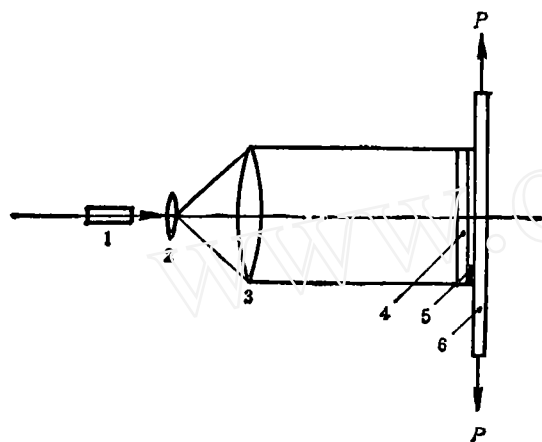


图 1

1.激光器 2.扩束镜 3.准直镜  
4.全息干板 5.固定点 6.试件

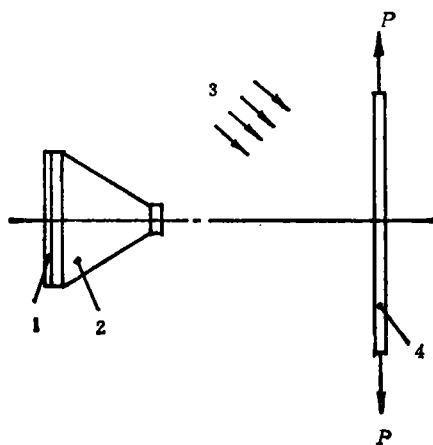


图 2

1.全息干板 2.照相机 3.激光照明 4.试件

散斑法<sup>[2]</sup>两种,光路示意图分别见图1和图2。利用图1或图2所示光路进行散斑法实验时均可得到记录着试件变形信息的双曝光散斑图,然后通过全场分析法或逐点分析法从双曝光散斑图中提取试件变形的数据。照相散斑法实验对试件表面要求不太高,且有非接触测量的优点,但是实验过程中试件或加载装置的刚体位移往往同时出现在记录试件变形信息的双曝光散斑图中而导致实验失败。直接散斑法实验由于具有克服试件或加载装置刚体位移的影响和其它优点而逐渐得到广泛重视和应用。直接散斑法对试件表面的要求较高。文献[1]曾利用试件表面抛光的方法对铝合金试件制作出质量较高的双曝光散斑图,并通过全场分析法拍摄出清晰的全场分析条纹图。本文介绍一种新的试件表面处理方法,它可以解决各种材料例如有色金属、黑色金属、玻璃钢、碳纤维复合材料、陶瓷、岩石、混凝土制品等材料的直接散斑法实验问题。

## 2. 基本原理和操作方法

在试件表面经过镀银镜面移植<sup>[3]</sup>后的银层上制作定向的、密度大致均匀的、具有宽广频谱范围的随机光栅。这样便在试件表面某个方向上产生了随机的、亮暗相间的“光学”粗糙状态,这种某个方向上的“光学”粗糙表面经过光线照射时便可在试件表面及其前方空间产生散斑。散斑分布与在试件上制作的栅线方向有关:若在试件表面制作的栅线方向是水平(一维)方向

的,则散斑分布在表面及其前方空间的竖直(一维)方向上特别强;若在试件表面制作的栅线方向是正交(二维)的,则试件表面及其前方空间的散斑分布是正交(二维)的。采取这种方法处理的各种材料的试件表面进行散斑法实验均可制作出高质量的双曝光散斑图,这种双曝光散斑图上记录了加载前和加载后试件表面上宽频带随机光栅形成的散斑场相互干涉的结果,从而在双曝光散斑图上形成了更复杂的光栅。将此双曝光散斑图置于图3所示的付氏光路中,便可通过不同位置的偏置滤波孔观察到不同方向的、测量灵敏度可以调节的、反映试件变形的等位移线全场分析条纹图。

操作方法是:(1)镀银镜面的移植:用粒度较大的砂布交叉打磨试件表面以扩大粘接面积,然后用酒精棉球擦洗试件表面。取一块比试件稍宽的、未涂红色保护层的镀银玻璃镜子,把室温固化的较稀的环氧胶分别涂在试件和镜子镀银层表面,涂匀后胶层贴合在一起,适当加压使之密合。放置24小时待胶层固化完全后用力把镜子的玻璃掀起。银层便移植到试件表面上。(2)在试件的银层上制作光栅:以钢直角尺为主要工具,用粒度较小的砂纸在试件表面的银层上沿钢直角尺的一条边轻轻地擦出均匀的划痕后即制作出宽频带随机光栅。(3)双曝光散斑图的制作参见文献[1]。(4)试件变形数据的提取参见文献[1]及本文第三部分的图3。

### 3. 结果

鉴于试件来源和加载装置之便,首先用铝合金 LY-12CZ 进行试验,尺寸如图4内所示。试件表面经过镀银镜面移植及制作正交随机光栅后的局部放大照片见照片1。随机光栅方向(这里把光栅方向定义为栅线的方向,并非栅线的法线方向)分别与试件的  $x$  轴、 $y$  轴一致。把得到的双曝光散斑图置于图3所示的付氏光路中观察时,沿  $x$  方向的偏置滤波孔观察时只能看到试件变形的  $x$  方向等位移线,见照片2;沿  $y$  方向的偏置滤波孔观察时只能看到试件变形的  $y$  方向的等位移线,见照片3。根据等位移

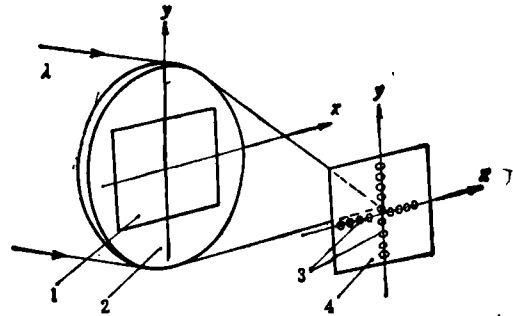
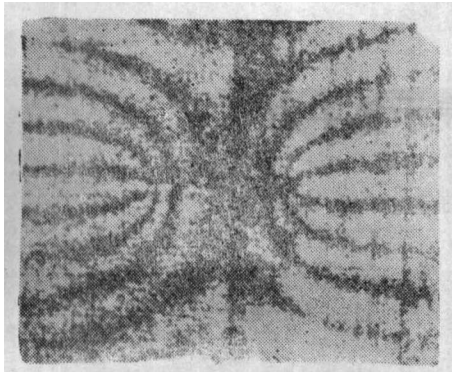


图3  
1. 双曝光散斑图 2. 付氏透镜  
3. 偏置滤波孔 4. 频谱分析板



线分布测量出的试件在  $x$ 、 $y$  两个方向的应变分布结果见图4。由此说明本实验方法不但可以在同一张双曝光散斑图上同时记录试件表面上  $x$ 、 $y$  两个方向的变形,而且双曝光散斑图在付氏光路中分离试件  $x$ 、 $y$  方向的变形分量也是比较容易的。采用本文方法还对碳纤维复合材料、玻璃钢复合材料、大理石材料等的板状试件进行了实验。在这些实验中,试件表面上的银



照片3 y方向等位移线  
(162线/毫米)

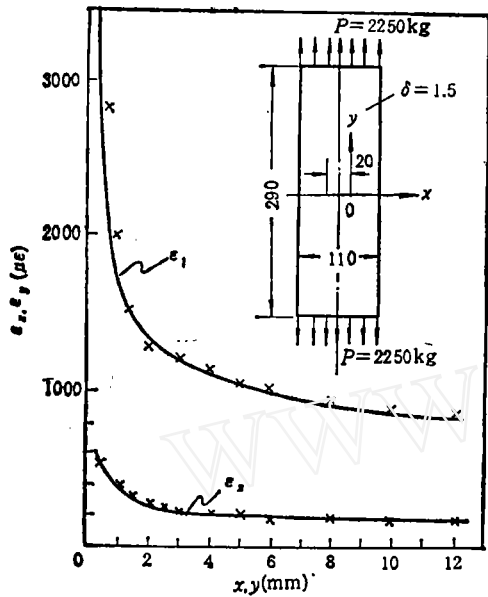


图4 中心裂纹铝合金材料试件

层只制作了与  $x$  轴平行的单向栅线, 碳纤维复合材料和玻璃钢复合材料的试件尺寸、载荷及实验结果示于图5中。

#### 4. 讨论

(1) 试件表面经过镀银镜面移植后使试件表面增加了一层胶层和一层银层, 这必然对试件产生增强作用。在增强作用中, 由于银层很薄, 因而胶层的影响是主要的, 对于弹性模量较高的材料, 增强作用可以忽略不计; 对于弹性模量较低的材料例如一般的硬塑料, 或者在胶的选择上想办法削弱其增强作用, 或者根据经验对得到的实验数据作相应的修正。还应指出, 本文所述方法不适用于很薄的试件。

(2) 真空镀铝的玻璃镜子不适于镜面移

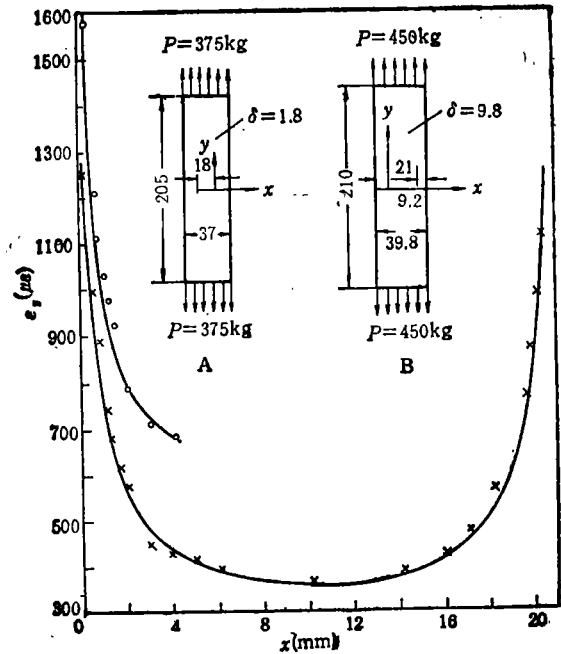


图5

A, O: 中心裂纹碳纤维复合材料试件  
B, X: 双边裂纹玻璃钢复合材料试件

植, 这是因为镜面的铝层与玻璃的结合力很强, 铝层很难被移植到试件表面上。镀银镜面很大面积移植到试件表面也是有困难的。如果在制镜工艺中使银层和玻璃之间增加一层隔离膜, 如果镀银镜子的玻璃改换成平整的塑料片基, 那末银层的大面积移植就很容易了。最近, 取代镀银镜子的比较理想的材料已被找到。

(3) 试件表面银层上的随机光栅是用砂纸手工摩擦制作的, 栅线密度大致均匀, 这可能是引起全场分析条纹图照片上的条纹边缘不规整的原因。

(4) 利用试件表面银层上随机光栅的方向性可以专门测量试件某个方向的变形分量, 这在文中照片2和3中已被证实。利用这种方法还可以测量试件其它方式的变形, 例如把试件表面银层上的随机光栅制作成圆周方向时便可测量试件表面的径向变形分量。

(5) 在双曝光散斑图记录的信息中, 除了试件表面的面内变形信息以外, 同时还记录着可用反射全息法测量的试件表面离面变形的信

(下转第46页)

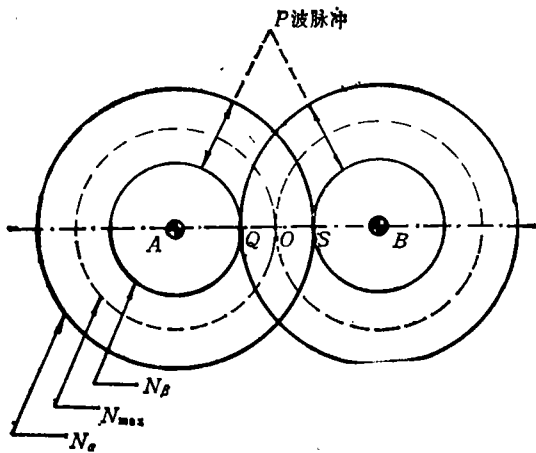


图6 计算同时起爆时P波叠加的应力条纹级数示意图

用二维动态应力光学定律获得的定性分析结果对于研究爆炸应力场具有一定的参考价值。

(2) 对于无限平面应力场,在动态情况下, $\sigma_0$ 开始为压,后转为拉, $d$ 值大约为3。

(3) 相邻炮孔同时起爆时,炮孔之间存在应力叠加,但持续时间很短。因此,炮孔之间断裂的产生主要是爆炸气体和它的准静态应力场的作用。

本文是在王树仁副教授指导下完成的,苏先基、宋锦良副教授对本文的分析给予了帮助,在此一并表示感谢。

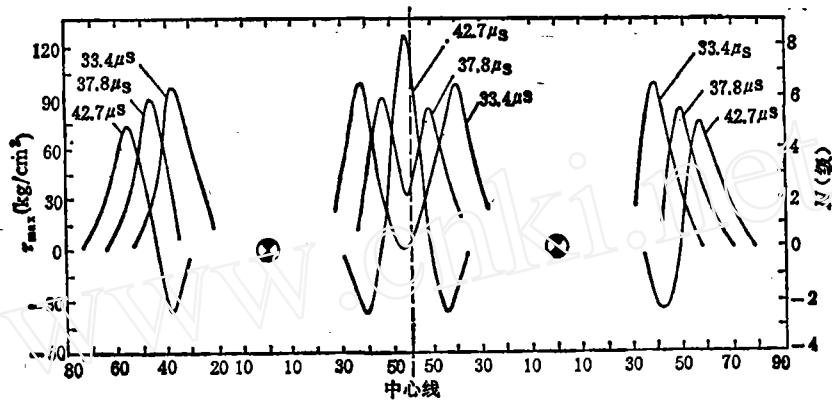


图7 P波叠加时三个时刻炮孔连心线上条纹级数的分布曲线

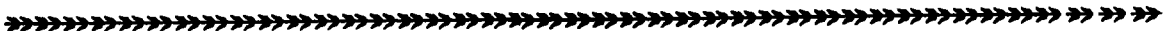
### 参 考 文 献

[1] 朱振海、杨永琦,爆炸与冲击,5,3(1985),67—76.

[2] 朱振海,火工品,3(1984),34—36.

[3] Durelli, A. J. and Shukla A., *Exp. Mech.*, 23, 1(1983), 111—119.

(本文于1985年10月14日收到)



(上接第49页)

息,这样便解决了试件表面变形的三维测量问题。不过这只有用直接散斑法制作的双曝光散斑图中才具有以上特点。

### 参 考 文 献

[1] 韩金虎,激光散斑技术和提高直接散斑法全场分析条纹图清晰度的技术途径,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年11月。

[2] Chiang F. P., A New Family of 2D and 3D Experimental Stress Techniques Using Laser Speckles, *Solid Mechanics Archives*, 3(1), (Feb. 1978).

[3] 林绍坤等,反射全息和散斑干涉结合的实验技术,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年11月。

(本文于1985年8月23日收到)