

白激光散斑图及其在测量物体 内部变形中的应用

赵 晔 英

(上海激光技术研究所)

提要: 本文讨论了白光散斑图与单波长激光所产生的散斑图之差异。指出在散光散斑技术中,使用白激光器有很大的优越性。通过对掺有散射微粒的透明物体刚体位移的测量,不仅能得到清晰的散光散斑干涉图,而且能正确地对三维透明物体内部每一截面的变形进行定量分析。

White light laser speckles and their application to interior strain measurements

Zhao Yeying

(Shanghai Institute of Laser Technology)

Abstract: Speckles generated by a white light laser are different from those by conventional monochromatic lasers. It is pointed out that the white light laser has its advantages when speckle technique is used. By measuring the displacement of a transparent object doped with scattering particles, we can observe not only the distinct interference pattern of speckles, but also make a quantitative analysis on the deformation of each section within the three dimensional transparent objects.

空间散斑概念

众所周知,当相干光射到物体表面上时,由于物体表面具有一定的粗糙度,它们的反射光线将沿着不同方向散射出去,而这些散射光仍具有一定的相干性,由于它们的相互干涉而形成散斑。因散斑是分布在物体表面前方的空间,所以亦称“空间散斑”。这些随机分布的空间散斑点是跟随物体变化而变化

的。当我们用散斑图来研究物体的变形时,散斑图主要记录的是表示物体特征的空间散斑点,物体本身的图像仅作为背景。值得注意的是,漫反射物体前表面的这些散斑点,它所存在的空间是不变的。

在散光散斑的测量技术中,被测对象是在透明物体的内部。物体内部某截面被相干光照明后,一部分光被散射。这些散射光同样也具有相干性,在截面前方空间相互

收稿日期: 1981年11月2日。

干涉形成空间散斑点。然而与上述不同的是，这些空间散斑点虽然分布在截面的前方，但它们仍是在被测物体的内部。这样，当物体变形时，需测的截面变形了，这些空间散斑点也随之变化，然而这些空间散斑点所存在的空间本身也要变形，这些变化量也将迭加在此截面所产生的空间散斑点上。所以这时通过成象系统所记录的散斑图不再是单纯表示此截面的变化量。因此，用相干光进行散光散斑分析会增加误差，严重时有可能使散斑点的相关性破坏，导致测量失败。

白激光器同时输出 5 个波长的激光，它们的波长分别为 6360 \AA 、 6355 \AA 、 5337 \AA 、 5378 \AA 和 4416 \AA ，呈现红、绿、蓝三种颜色。我们知道，散光效应是与波长有关的，所以当截面在不同波长的光照射下，将产生不同的空间散斑图。由此可见，用白激光-薄片光通过物体内部某平面时，在此平面的前方将形成 5 个空间散斑图。根据概率统计性质，我们知道，对于一个散斑图的强度几率密度分布是符合一条负的指数曲线，如图 1 所示。因此，散斑图的反差总是为 $1^{[4]}$ 。但当不同波长的光所产生的空间散斑图迭加时，由于它们都是统计无关的、独立的，所以它们的迭加只能是强度迭加。为了简单起见，假定它们每个强度的平均值是相等的。这样，当许多不相干的散斑图相加时，强度将相互抵消，其反差也将下降。它的反差度将是散斑图数目

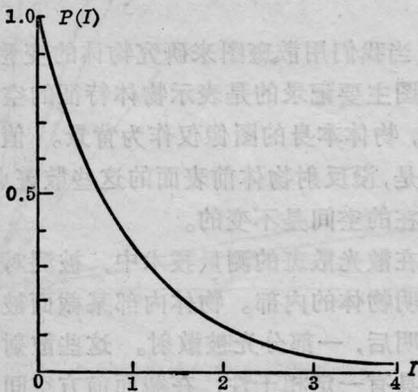


图 1 散斑图的强度几率密度分布曲线

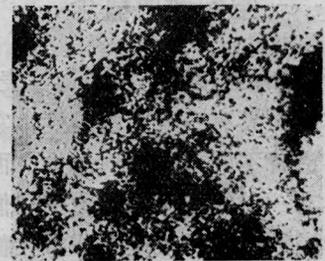
平方根的倒数。显然由白激光所产生的空间散斑图反差是很低的。因此不能作为散光散斑干涉图的主要记录信息。

白激光散斑图的形成

根据“白光散斑法的原理”^[9]，我们在透明模型中均匀掺入许多微小的粒子。当光线照明某一断面时，这些微粒就发亮，形成该断面的“人为散斑图”。所掺的微粒不仅提高了散光效率，而且由于人为散斑只是限于在被测的断面上，它只是反映该断面的变化情况，能正确地表达信息量。图 2 的两张照片分别表示用白激光器和 He-Ne 激光器拍摄掺有微粒的透明材料的散光散斑图的显微照相。图 2(a) 是由白激光器产生的散光散斑图，照片中的散斑点是材料中掺入的散射微粒，背景很清晰。图 2(b) 是由 He-Ne 激光器产生的散光散斑图，除记录了微粒本身发光的图像外，背景上还布满了由 He-Ne 激光散射子波迭加而成的随机散斑点。整个图像的反差也降低了。由此可见白激光器是研究散光散



(a)



(b)

图 2

斑较为理想的光源。

散光散斑照相术和漫反射表面的散斑照相几乎一样。光通过三维透明物体某一平面，用两次曝光法将物体形变前、后，沿光束垂直方向进行散光散斑照相。两次曝光后的散斑干涉图可以用逐点法，也可以用全场法进行分析。它的最大测量灵敏度与所掺入的微粒直径有关，被限于测量大于一个微粒直径的位移。当然也可以用其它方法来提高灵敏度。

实 验

用一块大约 $45 \times 45 \times 50$ 毫米³ 的立方体透明材料，里面掺有直径 10 微米左右的玻璃微粒。材料放入液槽内，液槽安装在可移动的架子上。将白激光器输出的光束，形成 $\phi 1$ 毫米宽的光片照射透明材料的某一断面。散光散斑图用 $f 58$ 毫米， $F 2$ 的透镜记录。底片用上海激光所生产的 HR-1 型全息底片。当透明材料沿垂直于光轴方向，即图 3 $3x$ 方向移动 100 微米时，所记录的散光散斑图用 He-Ne 激光进行逐点法分析，得到的杨氏条纹衍射图如图 4 所示。表示杨氏条纹间距和方向的方程式与其它散斑法相同，这些杨氏

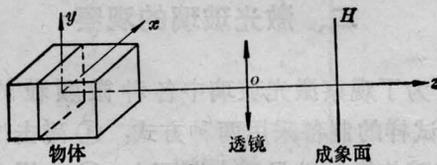


图 3 记录散斑图示意图

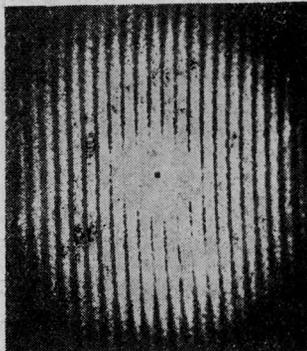
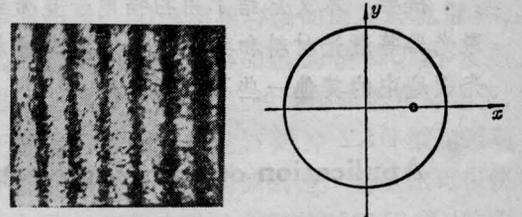


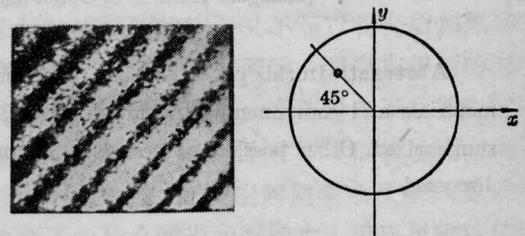
图 4

条纹所表示的位移量为 100.5 微米，与实际位移量是符合的。

另外，当这透明材料沿光轴方向，即图 3 $3z$ 方向移动了 150 微米时，仍使用上述的透镜，只是在它的前面附加了 4 个 $\phi 5$ 毫米的小孔进行记录，两次曝光后，所得的散光散斑图进行傅里叶变换，图 5 是傅里叶变换平面上滤波孔分别在 x 方向和 45° 方向上所获得的全场等值图，计算得法向位移值为 151.5 微米，同样，它们的实验值与实际量符合得很好。



滤波孔在 x 方向的全场条纹图



滤波孔在 45° 方向的全场条纹图

图 5

实验证明，散光散斑法有可能测量三维透明物体内部的变化。当透明材料中掺入散射物质形成“人为散斑”以及用白激光器作为光源时，可以获得较好质量的散光散斑干涉图，并可以进行正确的定量分析。

该工作得到美国纽约州立大学石溪分校机械系 F. P. Chiang 教授的大力支持，实验中使用的掺散射微粒的透明材料由 Chiang 教授提供，特表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Edited by J. C. Dainty; "Laser Speckle and Related Phenomena", 1975, p23.
- [2] Edited by E. Wolf; "Progress in Optics", 1978, 16, 281.