

## 激光斑纹法测刚体沿其表面法线方向的位移\*

周 尚 文

(兰州大学物理系)

斑纹照相测物体位移或表面形变的一种方法参见 [1]。当物体的位移或形变的方向与记录照相机的光轴垂直,即所谓横向位移时,该方法有一些优点。但当物体位移或形变与相机的光轴平行,即所谓纵向位移时,情况将不同。对于物体沿一定方向的位移  $L$  来说,改变照相机的取向<sup>[2]</sup>,使其光轴不平行于位移方向,就可将相对于记录系统的纵向位移部分地变换成横向位移。但在用照相机的情况下,再加上物体形状的限制,该法有一定的局限性。

若物体只发生刚体位移,照相机的使用并不是必要的,可将相机换成感光底片,直接作两次曝光以记录位移前后的斑纹图样。不用照相机的斑纹记录通常叫无透镜斑纹记录。将感光底片的法线方向看作记录系统的光轴,前述横向位移和纵向位移的讨论仍然有效。

本报道将讨论用无透镜斑纹记录法测刚体位移时,把纵向位移变换成横向位移而加以测量的一种新的可能性和初步的实验证明。

为了讨论简单,设物体是块毛玻璃片,用平行激光束从背面照亮毛玻璃片,毛玻璃片面上各点对激光发生散射,由于这些散射光的相互干涉,在空间各点的光强呈现起伏现象,结果在空间暗的背景上形成许多照亮的立体区域,叫激光斑粒。斑粒一般是无规则杂乱分布的,平均地说,斑粒呈橄榄状,其大小与观察点的位置、散射体的几何轮廓和大小以及激光波长有关<sup>[3]</sup>。通常在某个平面(例如记录底片的乳胶面)上观察到的斑纹图样就是这种立体斑粒的一个剖面。

用激光斑纹的无透镜记录法测位移,记录

装置的示意图见图 1。

通常底片放在图中  $A$  的位置,当物体位移方向与  $z$  轴垂直时,对  $A$  来说,即为横向位移,物体的这种位移将引起斑粒平行于底片面作相应的移动。若底片在位移前、后分别作一次曝光,底片上将记录出每个斑粒在位移前后的位

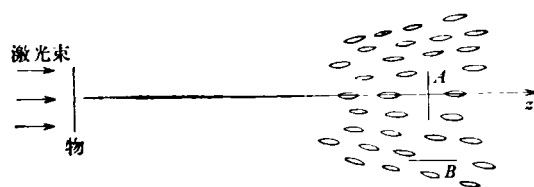


图 1 斑纹场中记录底片的不同取向

置,如前文<sup>[4]</sup>所述,这两个位置的记录相当于一个“双孔”或斑点偶。这种有规则的“双孔”结构是斑纹法决定位移的物理基础。两曝光的斑纹记录片通过傅里叶光学变换,根据变换面上杨氏干涉条纹的间距或空间频率(间距的倒数)可确定位移值。可以证明<sup>[4]</sup>,杨氏条纹的空间频率与物体位移值成线性关系。用这个方法测横向位移的灵敏度(即它所能探测的最小位移)应大于斑粒与底片相交截面的大小。否则,底片所记录的图样中,“双孔”结构不复存在。用此法所能测量的最大位移(只要位移值与记录底片的尺寸相比很小时),原则上都可被探测。而在实际上,测量所受到的主要限制,是在进行傅里叶光学变换时,变换面上观察杨氏条纹的分辨能力。

当位移方向平行于  $z$  轴时,对记录底片  $A$

\*1978年11月10日收到。

来说,即为纵向位移,在两次曝光的记录图样中,上述“双孔”的概念不能成立.因此,不能用与测横向位移同样的方式去确定纵向位移.这就是在测定纵向位移中所遇到的一个问题.

从上面的讨论可知,这个问题的一个解决办法是:一块记录底片对两种位移测量上的差异,主要在于记录底片平面和位移的相互取向,只要底片的放置恰当,使斑粒的移动与记录平面平行,则在两曝光的底片上应可形成“双孔”.例如可把底片安置在图中B的位置.这样,就使对A片的纵向位移转变成对B片的横向位移.但是,由于斑粒对B片的取向不同于A片,故B片上记录的斑点的平均形状不再是圆,而是长轴沿位移方向的椭圆,这将相应地降低测量灵敏度.另外,这也导致记录底片在傅里叶光学变换中,变换面的衍射晕轮光呈椭圆形,而斑点的长轴方向应和它所形成的晕轮光轮廓的长轴方向相互垂直.还可预期,当位移值大于斑点在位移方向的尺寸时,杨氏条纹的空间频率也应与位移值成线性关系.

实验的记录装置如图2,物体为直径10cm的圆铁盘,盘面喷银灰色漆,物体固定在测量显微镜的载物台上,利用载物台的螺旋测微装置控制并确定物体的位移量.物体的位移方向与物体表面的法线方向平行.光源为功率约1mW的He-Ne激光管,波长为 $6328\text{ \AA}$ .设盘面为 $xoy$ 面,盘面法线方向为 $z$ 轴方向,底片的中心在此坐标系中的位置为 $(x_0, y_0, z_0)$ .我们在三个不同的位置分别作了一系列已知位移值的两次曝光的斑纹记录,底片中心的位置和取向如表1所示.实验中物体的位移范围从 $5\mu\text{m}$ 到 $300\mu\text{m}$ .各组记录底片经显影、定影后,用傅里叶光学变换进行信息分离.结果表明,当位移值较大时,对于每组底片,经傅氏光学变换,在变换面上都观察到了表明位移的杨氏干涉条纹,衍射晕轮光的轮廓呈明显的椭圆形.对于不同的记录位置,条纹反差的差别较大. I组底

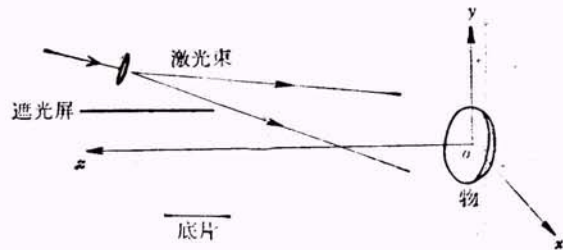


图2 无透镜斑纹记录装置

表 1

底片组	中心位置			底片面的取向
	$x_0(\text{cm})$	$y_0(\text{cm})$	$z_0(\text{cm})$	
I	7	0	0	平行于 $yoz$ 面
II	-12	0	13	平行于 $yoz$ 面
III	0	6	11	平行于 $xoz$ 面

片的条纹反差较好,其中心的位置大致处于未经扩束的激光束被物面作镜反射后的反射线附近.测定相邻条纹的间距 $p$ ,可得条纹的空间频率 $m = 1/p$ .在图3(a)中,(1)为I组记录

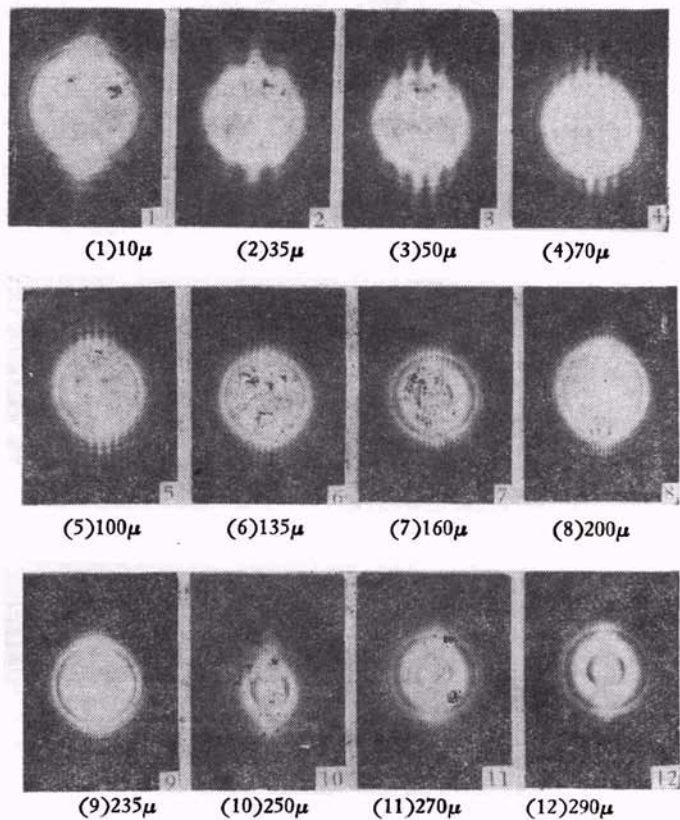


图3 (a) 对应于不同位移的变换面上的衍射图样

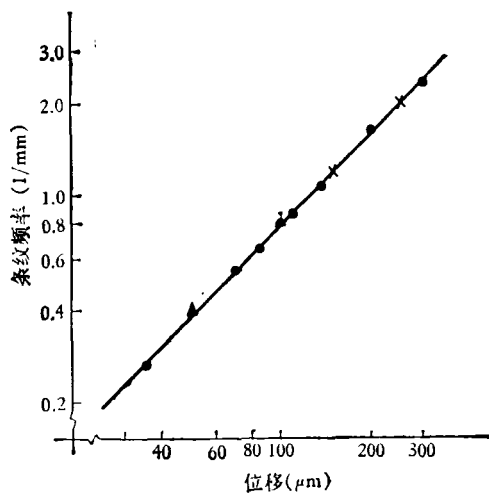


图 3(b) 条纹频率与位移的关系

中对应于一些位移值的傅氏变换面上的衍射图样；(2)为位移值和相应的杨氏条纹的空间频率

的关系。这种关系与横向位移的情形相类似，看来也具有线性的特点。

本实验中，可探测的  $z$  方向最小位移值约  $15\mu\text{m}$ ，在类似的实验中，当位移与物面平行时，可探测的最小位移值约  $5\mu\text{m}$ 。与一般测横向位移的情况一样，这个方法也只能根据条纹取向，确定出位移的取向是与条纹垂直，但不能确定位移方向指向哪边。近来有人<sup>[5]</sup>提出确定横向位移方向的一个方法也可适用于本实验。

### 参 考 文 献

- [1] 周尚文、刘国英, 物理, **7** (1978), 100.
- [2] A. W. Lohman et al., *Opt. Commun.*, **17** (1976), 51.
- [3] B. Eliasson et al., *J. Opt. Soc. Am.*, **61** (1971), 559.
- [4] E. Archbold et al., *Optica Acta*, **19** (1972), 253.
- [5] A. K. Aggarwal et al., *J. Optics (Paris)*, **8** (1977), 267.

## 信号分析的有力工具——快速傅里叶变换

袁 永 福

### 一、引 言

众所周知，各种基础物理学科和各种工程技术都必须对信号进行分析处理，例如光学、声学、射电天文、石油探测、雷达、卫星、遥感、声纳等都离不开信号的检测、分析、加工和识别。信号的加工处理是针对信号的特性进行的，这些特性包括频率、周期、幅度、相对时延和相位。在信号处理中，往往需要修改一个波形的成分或特性，以及分离两个或多个原先组合的波形或频率，有时还必须将被噪声淹没的微弱信号检测出来。傅里叶变换正是分析处理这类信号的数学方法，不过，这一方法在过去却很难有实际的应用，因为即使用最好的电子计算机，也是

十分费时的。

自从 1965 年快速傅里叶变换 (FFT) 出现以来，受到世界各国的普遍重视，发展很快。用 FFT 进行信号分析，比起用一般的傅里叶变换在时间上要缩短两个数量级，如果再配上专门的 FFT 处理机，运算时间还可以进一步缩短。

### 二、信号的傅里叶变换

正如分析周期信号用傅里叶级数一样，分析非周期信号用傅里叶变换（或称傅里叶积分）。设非周期信号为  $f(t)$ ，其傅里叶变换由下式给出

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt, \quad (1)$$

相应的傅里叶逆变换为