

# 科技译文

大连工学院

一九七四年二月

---

科 技 译 文

1974年2月

編輯 大连工学院教育组

印刷 大连工学院印刷厂

---

编号 401-8

印数 450份

## 毛 主 席 语 录

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

# 科技译文

(激光)

## 目 录

光弹性全息照相的进展.....	1
全息照相术在光弹性中的应用.....	11
光弹性中的全息照相法和干涉法.....	21
用于应力分析的一个新的全息干涉仪.....	40
一个新的光学——应力实验方法： 应力——全息——干涉法.....	52

# 光弹性全息照相的进展

## 摘 要

1. 在分析全息照相和 Mach-Zehnder 干涉仪的光弹性条纹图案时, 出现的应力误差是微不足取的, 只要:

(a) 避免具有相同的等色和等厚条纹常数的材料, 以及 (b) 应力状态所相应的两族条纹的空间频率不相同。

2. 光弹性的全息照相术和光弹性的干涉仪法并不排除高质量的条纹照相的利用。

3. 全息照相映象的特征性的放大, 使得光弹性学者能够详尽地研究模型的任何部分。这个技术在动态研究中特别有用。

## 引 言

在过去几年中, 全息照相术在光弹性领域中应用引起了很大的兴趣。描述双曝光的光弹性全息照相的强度图案的表达式已由 Horanesian 和 Powell 给出<sup>(1)</sup>, 最近由 Fourney 和 Mate 作了改进<sup>(2)</sup>。本文结合对最终的强度图案具有重要影响的两次曝光的强度比的讨论, 对后者的方程作推广应用。

弯曲梁的全息照相用了 He-Ne 激光, 通过它企图去证实推广方程的正确性。静载实验和气体激光的作用还有助于改进实验因素, 诸如物光束和参考光束之间的强度比, 两个光程长度的容许差异, 等等。

在 Homolite 材料模型中, 爆炸载荷所产生的应力波的单一和双曝光的全息照相是用一个 Q-开关红宝石激光来完成。条纹光图的质量和通常记录的一样, 动载实验结果的全息照相映象的一部份在再现时加以放大, 借以显示本技术的能力。

### 推广的理论

双曝光的光弹性全息照相的光场强度图案的推广的表达式如下<sup>(3)</sup>:

$$I = 1 + \eta^2 \cos^2 \alpha + 2 \eta^2 \cos \beta \cos \alpha \quad (1)$$

其中 
$$\alpha = \frac{\pi t}{\lambda} (A - B) (\sigma_1 - \sigma_2) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\pi t}{\lambda} (A' + B') (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (3)$$

$$\eta^2 = \text{有应力模型曝光} / \text{无应力模型曝光} \quad (4)$$

物光束和参考光束都是用园偏振光。t 是无应力情况时模型的厚度，λ 是光的波长，A 和 B 是二维 Maxwell-Neumann 应力—光学定律的系数，A' 与 B' 通过下式与 A，B 连系。

$$A' = A - \frac{\nu}{E} (n_0 - n)$$

$$B' = B - \frac{\nu}{E} (n_0 - n) \quad (5)$$

E 是弹性模数，ν 是泊松比，n<sub>0</sub> 是无应力模型的折射系数，n 是模型周围介质的折射系数。若两次曝光相等，则(1)式简化为：

$$I = 1 + \cos^2 \alpha + 2 \cos \beta \cos \alpha \quad (6)$$

这与 Fournery 和 Mate 导出的表达式相等。

分析方程各项，可见：强度图案明显地依赖于量  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  及  $(\sigma_1 + \sigma_2)$ 。因为(1)式包括一个常数，一个  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  的函数和一个  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  与  $(\sigma_1 + \sigma_2)$  的函数。所以，方程(1)的极小值并不对应于各单项的极小值。而且，由于  $\eta^2$  的效应，条纹的反差和位置可以借助于使第一次曝光较强于第二次或者反过来的办法而发生变化。

为了解析从(1)式形成的条纹，有必要准确定义等色的与等厚的条纹的意义。众所周知，在园偏振光镜的光场中的强度图案由下式给出：

$$I = 1 + \cos \frac{2\pi t}{\lambda} (A - B) (\sigma_1 - \sigma_2) \quad (7)$$

因而当

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\lambda}{(A - B)t} Nc$$

$$N_c = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots \quad (8)$$

时，将形成暗的条纹。这些条纹被称为等色条纹。

等厚条纹的分析还不十分清楚。用于确定二维模型主应力和的第一种方法是利用侧向光学伸长仪量测模型的厚度的变化。这些常厚度的线被 Coker 与 Filon<sup>(4)</sup>称为等厚线（等厚度）。Mach-Zehnder, Michelson 和 Fabry 干涉仪的不同组合，后来用以概括厚度与系数二者改变的效应。每一种干涉仪观察到的干涉及主应力和的关系式是有差异的。但所有条纹都称为等厚线。Sinclair<sup>(5)</sup>用透射光完全消除了等色图案，简化了干涉图案。Dose 和 Landwehr 应用 Fabry 干涉仪得到等厚线，同时在 1953 年给出了关于等厚线分析的评价<sup>(6)</sup>。Chau 对 Bubb 提出的系统作了改进，并借助于全息照相术曾完成了等厚线的分析工作<sup>(7)</sup>。Nisida 和 Saito 运用 Mach-Zehnder 干涉仪同时得到主应力和及主应力差。他们的强度图案由下式给出：

$$I = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \beta \cos \alpha \quad (9)$$

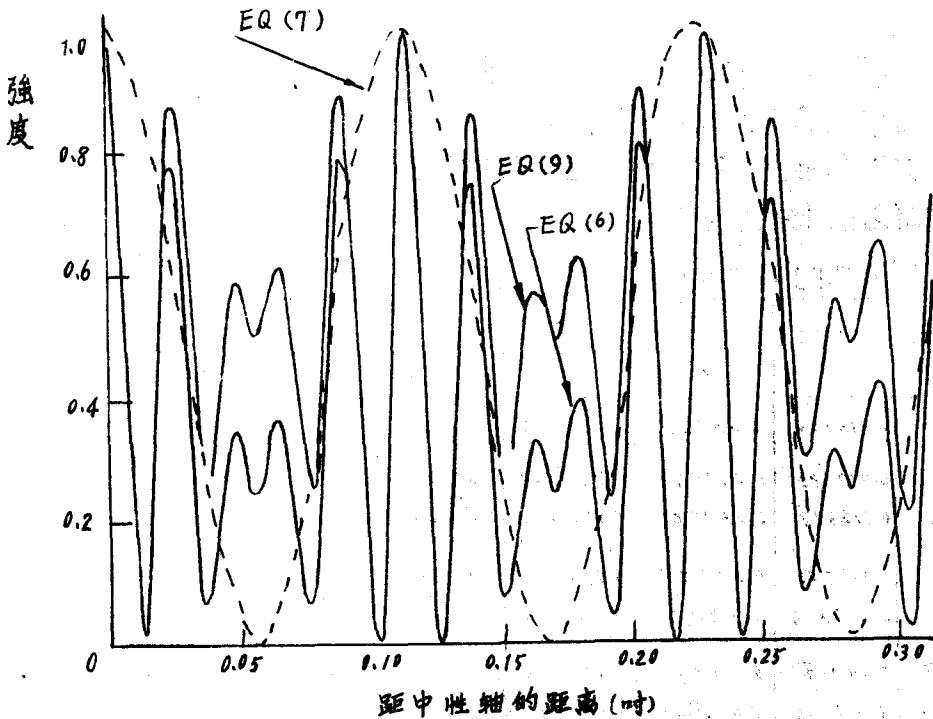


图 1 纯弯曲梁强度图案的正态分析：材料常数不同

很方便建立标准量，并可将其对方程(1)和(9)的最小值作比较。这对等色线的式子是清楚的，方程(8)将作为等色线的标准。等厚线的标准仅仅是从那些产生主应力的干涉图案的干涉仪中选择出来的。这样是为了消除等色线与等厚线组合的任何交叉效应。其中包括 Bubb, Sinclair 和 Chau 的干涉仪。确定等厚线的强度方程（包括模型周围液体的效应）是：

$$I = 1 + \cos \frac{2\pi t}{\lambda} (A' + B') (\sigma_1 + \sigma_2) = 1 + \cos \beta \quad (10)$$

当 
$$\sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\lambda}{(A' + B')t} N_p$$

$$N_p = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots \quad (11)$$

时，将形成暗条纹。在这些干涉仪中，光线通过模型两次，于是条纹的级数必然是全息照相干涉仪所得的两倍。为了以后(1)及(9)式的比较，方程(11)中厚度  $t$  将减去一半。

在下面的讨论中，对从(1)和(9)式形成的条纹给一个命名将是有益的。这些条纹不是纯等色线和等厚线，因此，它们将被称为条件等色线和条件等厚线条纹。

对一纯弯梁，方程(1)，(7)，(9)和(10)的极小位置在计算机上计算，有效数字在  $10^{-7}$  时以内，结果列于表 1。这里发现：当  $\eta^2$  增加，(1)式的条件等色线的位置趋近于(7)，(8)式建立的标准值。当  $\eta^2 = 1$  时，条件等厚线和标准等厚线达到紧密吻合。以上分析采用了 Homolite 100 的材料常数。

纯弯的 Homolite 100 梁从中性量起的最小位置 表 1

方程式	系数 $\eta^2$	最小数值和位置 $y$ , 吋							
		1	2	3	4	5	6	7	8
(9)	.....	0.012550	0.037380	0.056848	0.076997	0.10870	0.126969	0.151749	0.170354
	0.25	0.012588	0.037473	0.056842	0.076906	0.101836	0.127012	0.151842	0.170538
	0.50	0.012627	0.037565	0.056837	0.076815	0.101802	0.127055	0.151936	0.170523
(1)	1.00	0.012705	0.037751	0.056827	0.076632	0.101733	0.127142	0.152124	0.170449
	2.00	0.012865	0.038128	0.056809	0.076260	0.101591	0.127319	0.152505	0.170439
	4.00	0.013197	0.038919	0.056779	0.075479	0.101296	0.127689	0.153302	0.170344
(7)和(10)	.....	0.012715	0.038146	0.056472	0.076293	0.101724	0.127156	0.152587	0.169417
		等厚线		等色线	等厚线			等色线	



对纯弯曲梁由(4)，(7)和(9)式产生的强度图案表示在图1，2中。对于两个图所作用的载荷是相同的。图1采用 Homolite 100 的材料常数（在空气中大约5条等厚线对应于一条等色线），图2采用了相同的材料常数（大约1.1条等厚线对应于一条等色线）。后者发生这样的情况，即浸于液体中的 epoxy 梁，其折射系数与 epoxy 的稍为不同。它标志着对曲线某些极小和极大位置稍有差异。在图2中，它表现得特别明显，在  $y = 0.28$  时的位置上。从(6)和(9)式计算的强度具有相对极大值，但真正等色曲线是极小值。

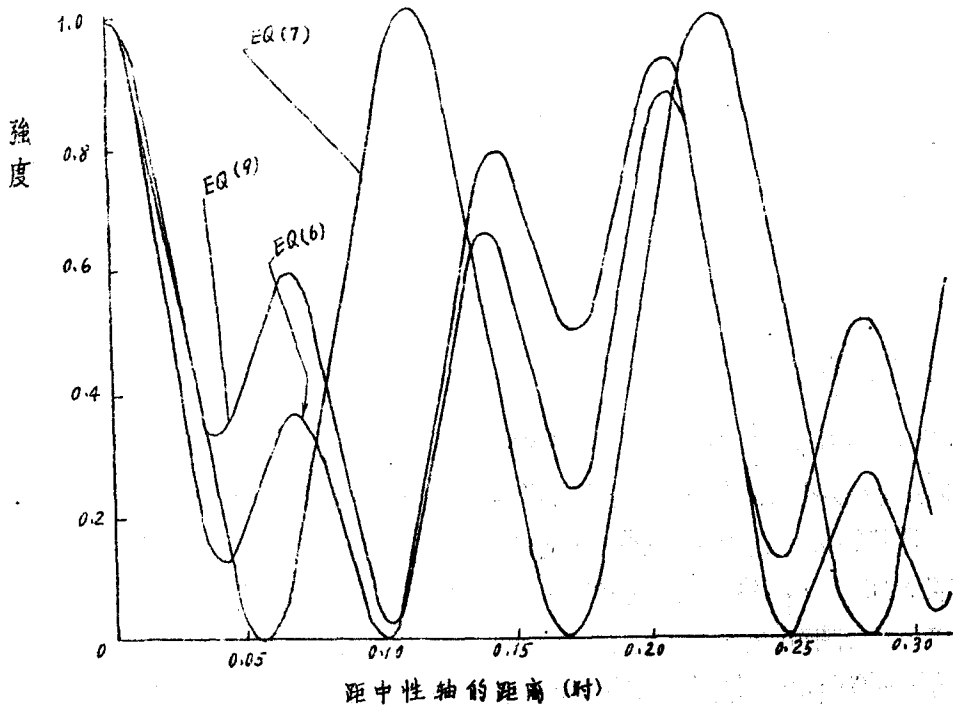


图2 纯弯曲梁的正态分析强度图案：材料常数不同

用  $n^2 = 0.25$  和  $n^2 = 4$  及 Homolite 100 的常数，由(1)式确定的两条曲线如图3所示。由图3可见：当曝光比改变时，条纹的反差大大地改变了。此外，从表1也能看到条纹的位置也改变了。假如第二次曝光用更弱的强度（小的  $n^2$ ），方程(1)趋近于方程(9)的形式，那里  $\cos^2 \alpha$  项消失。

方程(1)和(9)的条纹位置与由(7)和(8)建立的标准位置之间的差异是方程(1)和(9)本身的形式造成的。它们不再是简单的正弦方程，而是由两项或更多互相关联的项所组成。这样，当每一项达到极小值时，方程不一定出现极小。那种认为  $\cos \alpha$  或  $\cos \beta$  是极小值，因而整个强度图案就是极小值，

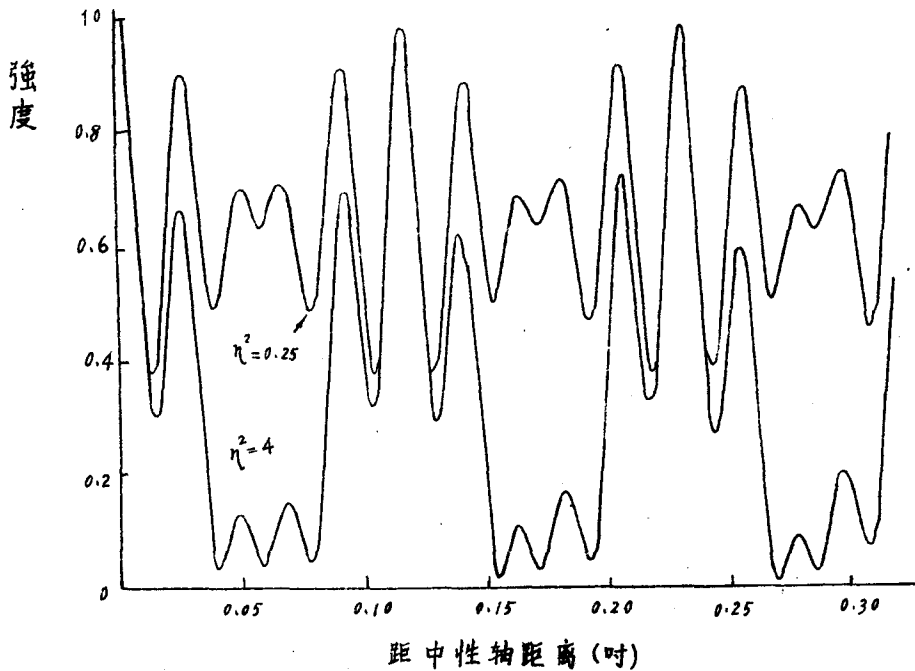


图3 方程(1)  $\eta^2 = 0.25$  和  $\eta^2 = 4$  的强度图案的正态分布

从而由相位  $\alpha$  和  $\beta$  去作关于应力状态的结论的说法是不正确的。

条纹间隙（亦即应力）的误差不积累，但依赖于相位  $\alpha$  和  $\beta$  成一比例周期地增加和减少。这些相位是模型材料常数和应力状态的函数。因此，当材料常数相似，或者应力状态使  $\alpha$ ， $\beta$  接近相同的情况，将产生显著的误差。图2所示曲线误差范围为10%，而且，对这样的情况，随着一等厚线交叉于一等色线，还很难区分条纹级数的变化规律。对材料常数不同的情况（图1），误差不甚严重，仅达1.3%。对于上述两种情况，在接近半级等色线的区域，都出现最大误差。

### 实验程序和结果

#### 静态全息照相术

全部静态全息照相术利用了波谱物理模型123连续波，采用平面偏振的He—Ne激光，其TEM<sub>00</sub>模输出功率为7-mw。试验是在重1500磅的混凝土的桌上进行的。全息照相术并不要求高质量的光学原件。所以，在静态和动态研究中都用不贵的透镜和反射镜。全息照相记录在Kodak 649F照相底板上。

在一组为验证方程(1)的试验中，以纯弯曲梁作为模型，在不同参数  $\eta^2$  时进行双曝光全息照相。实验装置如图 4 所示。在应力—自由状态进行第一次全息照相曝光。模型加载后进行第二次曝光。为了再现，底片经过处理后放置在一个空间滤光的，球形波阵面激光光束中，用光学二极管全息照相的实象扫描可得一条强度对沿光束束的短轴距离的曲线，其光学二极管的输出记录在 X—Y 记录器上。图 5 表示这些曲线的典型的图解。

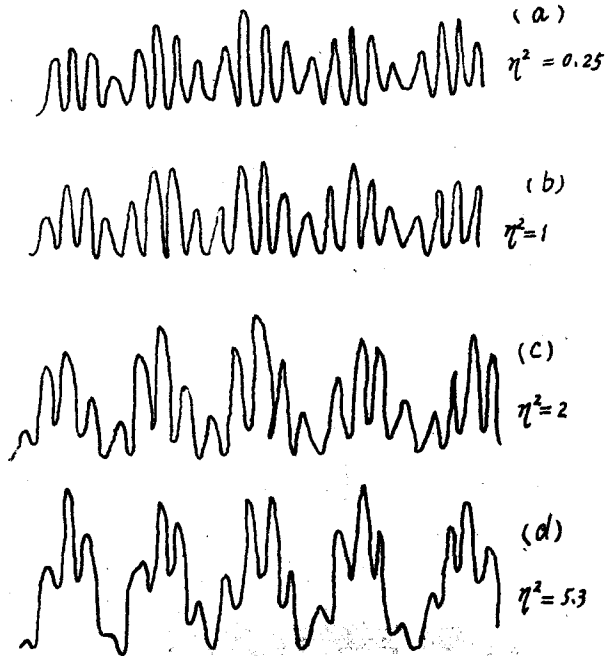
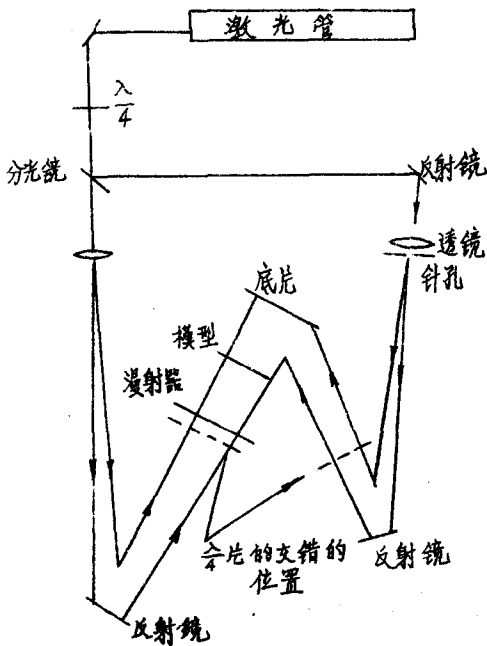


图 4 用于静态全息照相术的装置

图 5 纯弯曲梁的实验的强度图案

前面已提到的关于条纹可见性的特征可在图 5 中见到。在图 5(a)中， $\eta^2 = 0.25$  和包含  $\eta^2$  的项企图支配包含  $\eta^4$  的项。而当  $\eta^2$  增加， $\eta^4$  项就开始起支配作用。到图 5(d)，一个具有本质的波纹强加于等色条纹上。

### 动态全息照相术

动态全息照相术的实验是用一套包括 Pockel 盒快速开关的红宝石激光系统。这个系统通过 Q—开关发出一系列的平面偏振脉冲，其频率达 200,000 1/秒，它曾被 Rowlands 应用于动力光弹性的偏振光镜中<sup>(10)</sup>。

对全息照相术实验，必须在光穴中放置一个 1 毫米的孔。当孔出现时，在 TEM<sub>00</sub> 模中，激光趋向于与孔一致动作<sup>(11)</sup>。实际上，除了必须用凹形的

小扩散透镜以防止在小凸透镜中可能由于反射光的内聚焦造成的损失，和防止在参考光束中使用针孔空间滤光器外，动态全息照相术的装置与静态实验所用的是相类似的。全息照相记录在带有 8E75 和 10E75 乳胶的 Agfa 照相纸上。

双曝光全息照相用两种技术得到。第一，利用 Pockel 盒开关的多脉冲能力以获得当单闪光管放光时两个 Q — 突变脉冲。一个脉冲出现在加载之前，另一个脉冲发生在加载以后。第二个技术是使激光两次发射，每一次释放一个 Q 损耗脉冲。当第一次曝光时，模型无应力，照相底板的一部分用罩板盖起来。当爆炸载荷加于模型上几微秒之后，进行第二次曝光，这时照相底板全部感光。在第一次曝光时，照相底板被盖住的那部份将只记录下来等色图案。而在两次曝光都感光的部份将把方程(1)所表达的组合图案记录下来。图 6 和图 7 是同一张照相底板上的不同部份所记录的两张映象。在这两种双脉冲技术中，实验证明，第二种技术比较方便和有用，但是，它要求全息照相系统中的所有原件，在第一和第二次激光发射之间是稳定的。图 6 和图 7 中所示模型，是带有一个 1 吋直径的孔的  $2\frac{1}{2}$  吋  $\times$  5 吋  $\times$   $\frac{1}{4}$  吋的支柱。第二次曝光是在模型顶部施放爆炸载荷 30  $\mu$  秒以后进行的。

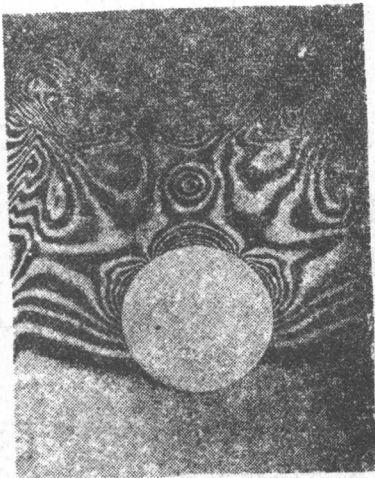


图 6 加载后 30  $\mu$  秒拍摄的动态等色条纹图案

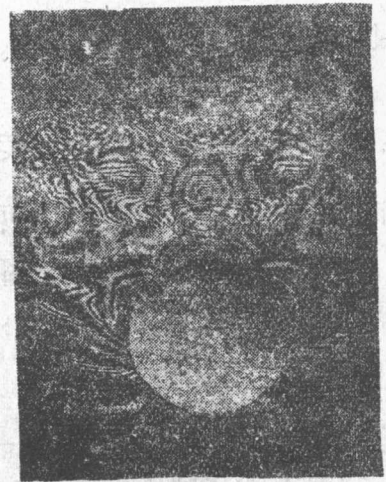


图 7 加载后 30  $\mu$  秒拍摄的动态等色等厚条纹同时发生的组合图案

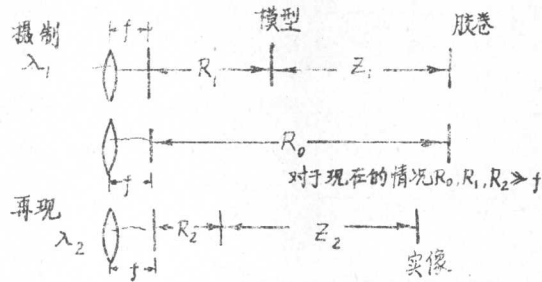


图 8 对于确定实像的放大的几何位置

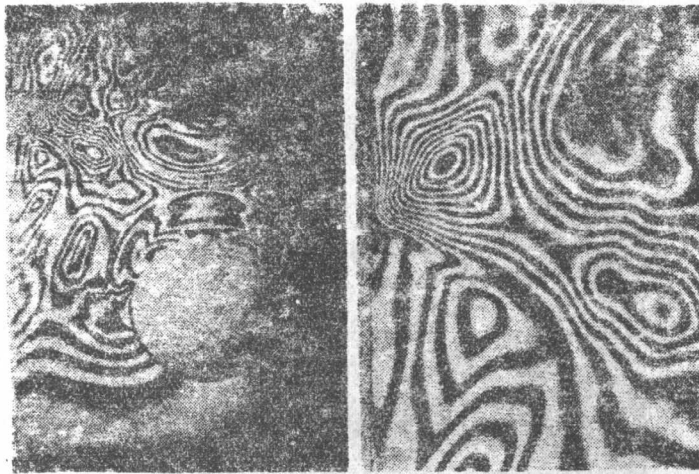


图 9 动态等色条纹图案的再现的实像放大

### 再现时映象的放大

利用全息照相术再现动态条纹图案，能使研究者详细研究条纹或模型的一个微小截面。所以，今后仅将照相底板的一小部份在再现过程中，把映象加以放大，这样就没有必要使用大模型或者大视场的偏振光镜以获得准确的数据，即使是那些使人感兴趣的随时间滞后及随载荷而改变的最大区域，对于它们，在模型中没有必要事先知道，因为任何区域都能被挑选出来和加以研究。

放大的基本方程是由 Leith 和 Upatnieks<sup>(12)</sup> 及 Develis 和 Reynolds<sup>(13)</sup> 提出的，这里只不过是重述一下。实验装置的几何位置如图 8 所示，映象的侧面或平面放大倍率  $m$  由下式给出：

$$m = \left( 1 - \frac{Z_1}{R_0} - \frac{\lambda_1 Z_1}{\lambda_2 R_2} \right)^{-1} \quad (12)$$

必须满足的附加条件是

$$\left( \frac{-1}{Z_1} + \frac{1}{R_0} \right) + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \left( \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{R_2} \right) = 0 \quad (13)$$

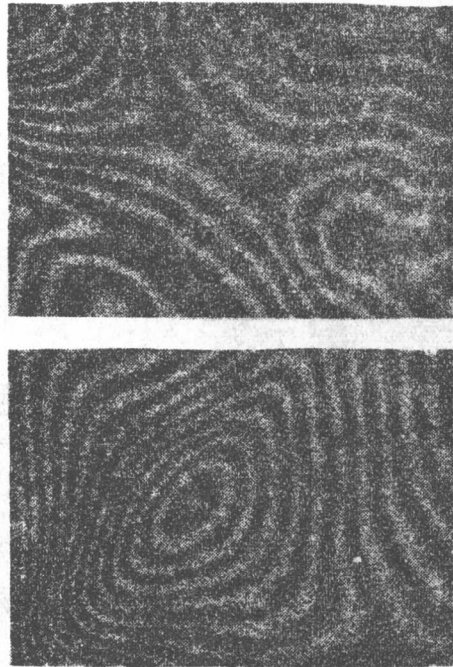


图 10 从图 9 动态条纹图案放大 12 倍而得到的图案

表示在图 9 和 10 中的是 Homolitel 100 模型的实象的放大序列。物光束稍微离开模型的左边，结果整个模型的图形不是均匀感光。放大集中于孔的左上部由虚线所划出的区域。全部动态全息照相用的光波长是 6943 埃，再现光的波长是 6328 埃。用于产生上述图形的实验尺寸是：R<sub>2</sub> 为 20 吋，于是放大倍率 m = 12。利用(13)式得到相应的 Z<sub>2</sub> 值约为 10 呎，即它需要离开照相底板 10 呎。放大实际上受限制于实验者工作区域的大小和再现时激光的强度。实象全部记录在 5 吋×7 吋 Kodak 的全色反差的板胶卷上，该胶卷放置在映象的聚焦面上。

参考文献(略)

(译自 Exp Mech, vol. 11, No. 2, 1971)  
D. C. Holloung, R. H. Johnson

## 全息照相术在光弹性中的应用

### 提 要

本文对探索全息照相术在光弹性中的应用进行了讨论。研究表明：离轴全息照相术可以应用于记录二维光弹性标准试件的双折射图案。这里需要一种专用类型的偏光镜。本文讨论产生等色线，等倾线，等厚线及等厚线与等色线的组合条纹图案所需的各种不同的装置。借助于斜射，全息照相的三维性质被用于分离主应力。正射与斜射的条纹图案可同时记录在一张全息照片上。文中还简短的讨论了这方法推广应用于动力学的情况。

### 引 言

全息照相，或波阵再现是一种关于物体三维性质讯息贮藏的方法。目前主要的兴趣在于采用可见的辐射光，因此，使讯息的贮藏就关系到物体的光学性质。关于全息照相法的详细讨论，可以 Gabor<sup>(1)</sup>的最初论文或 Leith 和 VPatniaks<sup>(2)</sup>较近的论文及 Stroke<sup>(3)</sup>的书中找到。

本文的目的是介绍不同实验的结果，根据这些实验，企图把全息照相的极其良好的讯息贮藏能力用于光弹性分析。为此，在这里将仅仅是简短的叙述全息照相的一般程序。

这个过程基本上包括两步：第一步称为全息照相的拍摄过程，其图解如图 1(a)所示。对要进行全息照相的物体用一束相干光束来照明，由物体散射的光与第二束相干光束——称为参考光束组合，就形成了干涉图案而记录在一个照相底板上。该底板经过正常的照相处理后，它包含了进行第二步所需的讯息。再现步骤由图 1(b)的图解示出。由一束相干的光源照明，光被全息照相所衍射而形成原物体的象。第一级衍射图案同时形成物体的实象和虚象，其位置如图中示出。所希望的讯息可以从任一个象中获得。

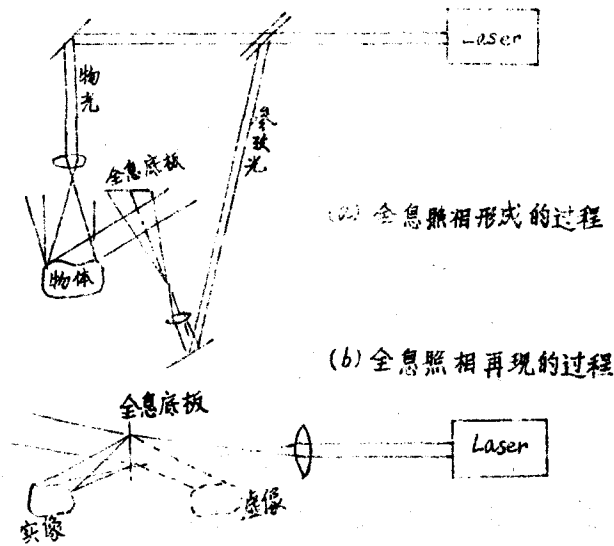


图1 全息照相的摄制和再现的图解

### 实验装置

为了形成全息照相，需要物体，照相底板和两柱光束。由于在照相底板上形成的衍射图形有一个空间，这个空间为所用的光的波长所决定，所以这些项目的相对移动必须限制在小于该空间的数值以内。为了达到此目的，用一张稳固的平枱，它包括一枱平的  $4 \times 6$  呎的金属桌子，重量约为 2130 磅，并与周围的振动相隔离。

在本文中的全息照片都是用 He—Ne 激光。其型号为 Spectra—Physics 115，单相模输出功率为 3mw。照相底板用 Kodak 649<sup>M</sup> 分光板。所有的反射镜都是前表面的，这些反射镜和分光镜的平面度在  $1/4$  波长范围内。透镜是普通的短焦距显微镜的物透镜，其质量是平常的。一套典型的设备装置如图 2 所示。

除了上面所述以外，在拍摄过程中还有某些实际要求如下：

(1) 物光束和参考光束的路程应造成近似相等，因此两柱光束将维持空间的相干性（这些实验指出：路程差小于 1 吋）。

(2) 在全息照相板上两束光的强度应使之近似相等，这样记录下来的干涉图案的密度梯度将是最大。（光强度的变化小于标准曝光表上一半的时间）。

(3) 两柱光束对全息照相板的夹角应使之尽可能的小。

第一个要求很明显所用激光的函数，而后两个要求则是选用软片类型



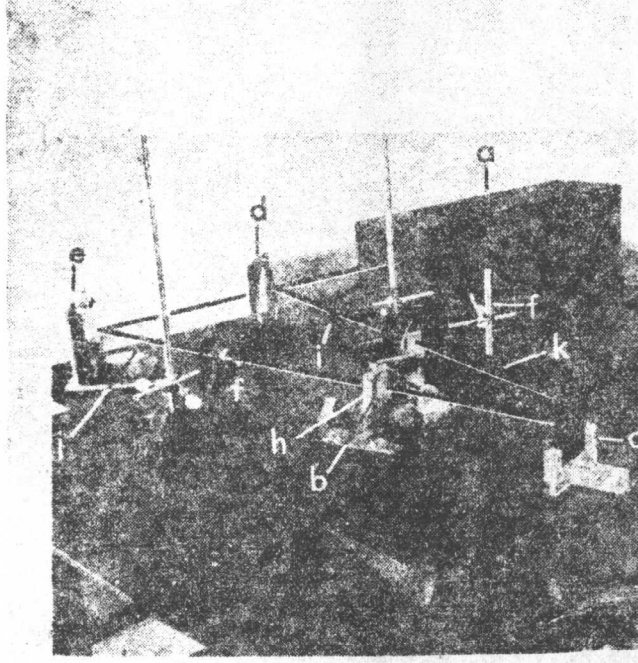


图2 典型的设备装置的布置  
 (a)激光；(b)模型和加载架；(c)全息照相底板；(d)分光镜；(e)反射镜；(f)透镜；  
 (g)针孔和空间滤光器的设计位置；(h)光的漫射器和偏振器；(i)参考光束的偏振元件；(j)物光束；(k)参考光束。

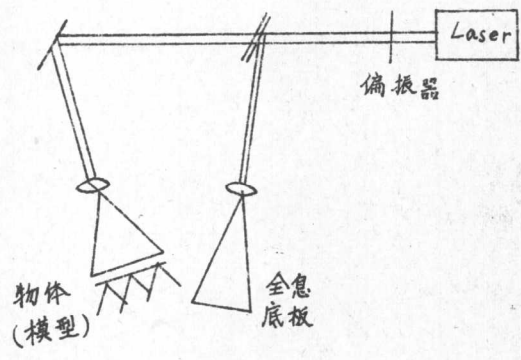


图3 偏光全息照相设备的设计图解