

## 綜 合 評 述

# 激 光 照 像

E. N. Leith, J. Upatnieks

将激光器所产生的高度相干光用于一种新的摄影方法中，在这种摄影方法里，感光胶片所记录的不是图像，而是光波。

尽管照像技术在稳步地改善，新的照像材料在发明，但近百年来，照像的光学原理却很少改变。实质上，照像过程是将立体图像作为平面图像记录在感光底片上。无论用什么样的装置，复杂的透镜系统或是简单的不透明屏上的针孔装置（图 5），都是把由客体反射成像的光聚焦在感光片上。

本文叙述摄影光学中一个全新的概念。在将近 20 年前提出的这个原理称为波前再现照像法，它不是记录被摄物体的像，而是记录反射光波。由小环、花瓣和斑点混合而成的照片，称为全光照片；照片与原物体没有任何相似之处，但却以一种特殊的光学编码形式包含了普通照像所包含的关于物体的全部信息，以及许多不可能用其他照像过程来记录的其他的信息。

由全光照片产生具体影像的过程称为再现过程。实际上，在此期间被记录的波由全光照片上释放出来，于是向外传播，好象“忘记”了自己的历史中有一个确定的时间流逝过程。再生波与原始波没有区别，特别是产生的所有现象也有原始波所具有的特征。例如，这些波可以用透镜聚焦为一点，并且形成原来物体的像，甚至当物体早已离开原来的位置时也如此。如果再现波射入观察者的眼里，则其效果完全同看到原始波一样：观察者看到了原始三维物体的全部特征，他观察到视差（在不同的观察点观察时，物体有显著的位移）以及在普通“看”的过程中出现的其他许多效应。

波前再现过程是在 1947 年由伦敦帝国科技学院的盖伯 (D.Gabor) 及其同事发现的。以后几年间，盖伯系统地发展了这种方法，并特别强调它在电子显微镜中的应用。此后，世界范围内的许多其他研究人员，特别是斯坦福大学的古塞因 M. A. 埃耳-苏门 (Hussein M. A. El-Sum) 和柯克帕特里克 (P. Kirkpatrick)，对此方法的发展作了极大的贡献。但是，他们的努力受到阻碍，因为缺乏能够胜任的相干光源，即其光波全都同相的光源。1960 年激光器的发现，为“波前再现”照像术的新进展开辟了道路。用气体激光器作为相干光源，并利用以前未试用过的几种其他技术，作者在其密西根大学实验室里已能得到高质量的立体全光

影像。由于作者的研究，也由于激光器这种相干光源的潜力尚大有探索的余地，因此在使用这种引人注目的照像方法的可能性上，又唤起了广泛的兴趣。

从光学的观点来看，“波前再现”照像方法与普通照像的原理有三个根本区别。在普通照像中，被摄物体和照像底片是这样配置的：使由物体反射的光投射到底片上。但是，与普通照像不同，这种新方法不采用透镜或其他成像装置，因而并不形成影像。一方面，由物体的每一点反射的光照射到整个照像底片表面上，另一方面，底片上的每一点都接收到由整个物体反射的光（图 5）。

与普通照像的第二个区别是应用了相干光照明物体。第三个区别是用反射镜使由部分相干光构成的光束经过物体附近直接投射到底片上。这束光称为参考光束；利用干涉效应，参考光束就将由物体反射到底片上的光波形图显示成可见的。记录在底片上的东西就是所得的干涉花样。

反射波和任何其他波一样，是用自己的振幅(或强度)、位相(或频率)来描述的。在点状散射中心的情况下，光的散射波从一系列以原点为中心的、不断扩展的球面连续向外传播，这些球面称为波前。这些三维球面波类似于投石于静止的水池时水面上出现的圆形波。如果反射物体不是点，而是十分复杂的物体，则可以把它当作大量点的总和，因而由物体表面反射所得的波形图案可看作很多以自己的源点为中心的这种球面波列的总和〔图 6(b)〕。不规则结构大物体反射光的波形图的精确形状是极复杂的，不可能在这里详细描述。

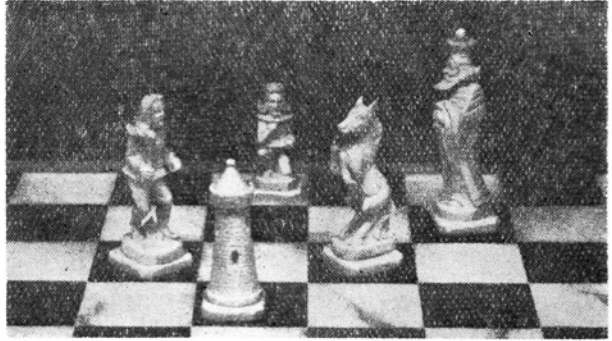


图 1 用普通的非相干光照明棋盘和几个棋子，并在照像底片上记录下景物的平面影像，就得到普通照片。由棋子反射的光用相机透镜聚焦到底片上。

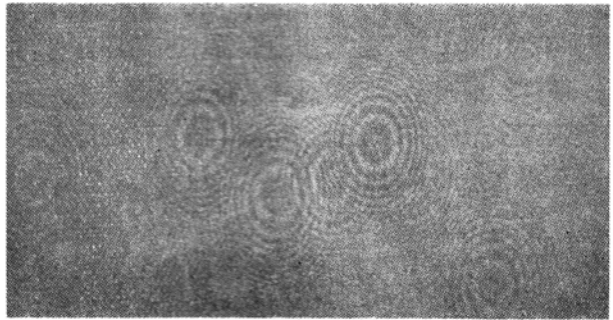


图 2 完成图 1 照片所示景物的全光照像记录，这是波前再现照像术的第一步手续。全光照片的可见结构与原始景物没有任何相似之处，但是它所包含的有关被摄影物的信息却比普通照片多得多。



图 3 用激光束照射全光照片时，得到的再现像。再现波经过透镜聚焦，在焦点上产生原来景物的像，尽管棋子早已取走。

用“波前再现”方法照像的中心问题在于，在某一瞬间将包含有物体信息的复杂图形记录在指定的平板上。这样的记录称为波形图的“冻结”；图形一直保持冻结，直到它被复活时为止，此时，波就由记录媒质中“读出”。为了完整地记录波形图，在记录表面上的每一点，既要记录波的振幅，又要记录位相。记录波的振幅部分不是太困难，普通的照像底片就是将振幅转换成照相乳剂的黑白变化来记录振幅的。但是，乳剂对波的位相关系完全不灵敏，因此，必须采用适当的装置，使能以照像记录方式，将这些位相关系转换成某种形式的东西。

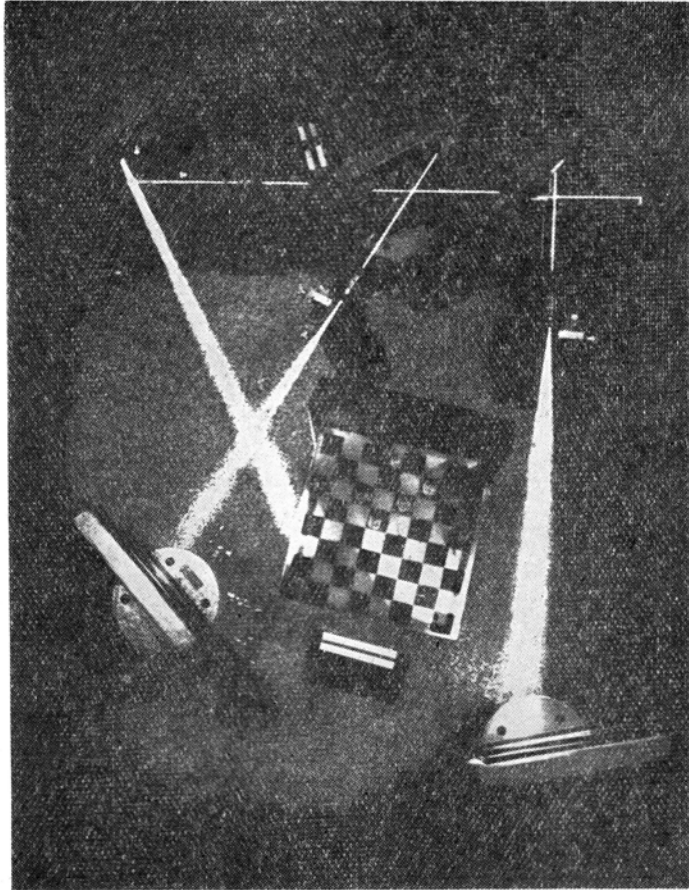


图 4 “波前再现”过程的第一步所采用的照像装置。这张照片摄于密西根大学作者的实验室里。激光束由右上部射入后，立刻通过两块部分反射和部分透过的玻璃片。在用来照明棋盘(中)之前，光束的反射部分又被两面镜子(左下和右)反射。光束的透过部分(称为参考光束)被另外一面反射镜(左上)反射，然后直接射到底片(下中夹心面包状的物体)上。每束光都通过显微镜头放大，但不影响它们宝贵的相干性。

在“波前再现”照像术中，是用一种标准的、而且早已建立好的、将位相关系转换为相应振幅关系的干涉量度学技术，将位相关系记录在照片上，变成可见的东西。首先就比较简单的情况研究这一过程是如何完成的，即考虑两准直光束——它们的波前是与光束方向垂直的一些相继平面——相互作用产生特有的干涉图样的情况；由于它们的波前具有这样的形状，因此这两列波称为平面波。

如果由一个普通光源导出两列平面波，以不同的倾斜角度投射到不透明的表面上，则它们在这个平面上形成一组均匀的、平行的相干条纹。条纹的间距只取决于两列波之间的角度。在表面的某一地方，两列波以相同位相到达，它们的振幅将迭加，所得的光强比每一列光波单独照射时强得多。这种过程称为相长干涉，它相当于在干涉图案中出现的亮条纹。在另外一些地方，波将以相反的位相到达，因而有相互抵消的倾向，如果两列波的振幅相等，则完全抵消掉。这种过程称为相消干涉，它相当于干涉图案中的暗条纹。在两列波既不同相，又不反相的地方，所得的光强和相应的条纹明暗介于这两种极端情况之间。

以照像方法记录这种条纹图案将得到一种与光栅相似的结构，可以把这种结构看作由电振荡器产生的正弦波的两维类似物。这种类似的重要之处在于如同电磁波可被调制作为信息(如声音)的载波一样，用干涉法产生的波形图案也能进行调制，作为产生这种图案的光波信息的载波。

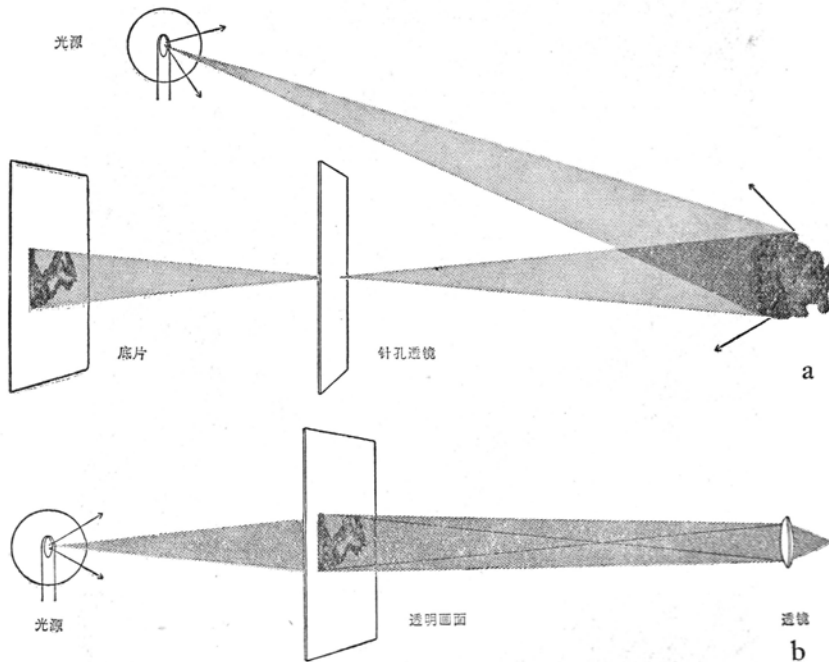


图 5 a—b 普通照像术与“波前再现”照像术的区别。普通照像术是将被照明的立体实物作成平面像记录在感光片上(a)。简单地用遮光屏上的针孔作成像装置，将物体反射的光聚焦在平面上。当用普通非相干光透射透明的画面时(b)，眼睛只能看到原始物体的静止平面像。

任何一种载波的调制可用不同的方法实现，但调幅和调频则是最有名、最流行的方法。调幅时，系使波幅随某种低频波变化而将讯号加到载波上(图 8)。在调频时，载波的振幅仍然不变，但波的各周之间距离却改变了。这种效果可以看成波频的变化：在某些地方周期被压缩，因而频率相应增高；而在另一些地方，周期延长，因而频率降低。也可以换一种说法，将这种调制看成周相，因为在任何指定瞬间，位相，或者波峰和波谷相对于某一静止点的分布情况，不存在调制时是有区别的(虽然调频和调相并不完全相同，但这种细微的差别在这里并不重要，可以忽略)。

当使由复杂物体反射回来的不规则波形图与平面波相干时，由于入射波前的不规则性，最终构成的干涉条纹同样是不规则的。在讯号波有最大振幅的地方，干涉条纹有最大的反差，而在讯号波的振幅小的地方，条纹反差也小。这样由物体反射的波的振幅变化，引起被记录的条纹花样反差的相应变化。

我们已经指出，条纹之间的间距与讯号波和参考波之间的角度有关。在讯号波与参考波构成大角度的地方，所得的条纹图案比较细致；在波以较小角度相交的地方，条纹图案较粗糙。因此，讯号波的位相变化，引起底片上条纹间隔作相应的变化。

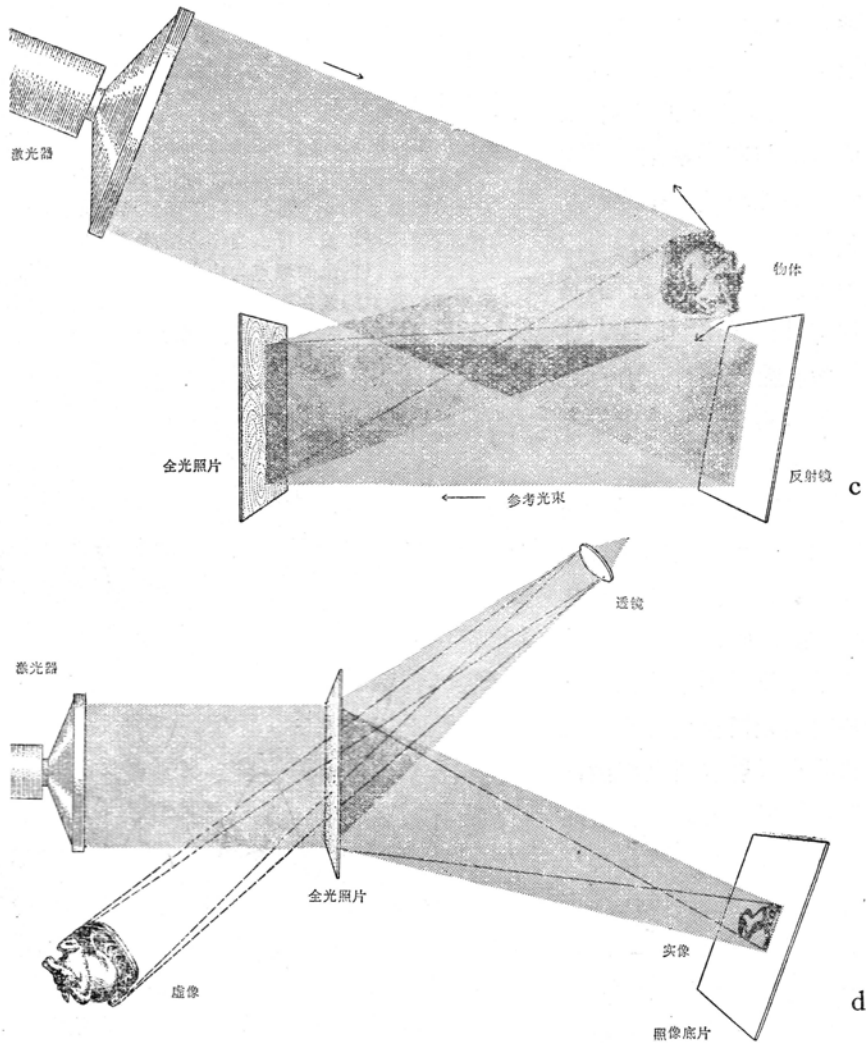


图 5 c—d 普通照像术与“波前再现”照像术的区别。在“波前再现”照像术的记录过程(c)中，不采用透镜或其他类似的设备，因而，不构成任何像。物体的每一点将光反射到整个全息照片上，反之，全息照片上的每一点都接收到整个物体的光。参考光束借助于干涉效应，将物体射向全息照片的波形图显示成可见的图案。在再现过程(d)中，用准直的单色光束照明全息照片，由全息照片的干涉光栅射出的“一级”衍射波产生两个像。

简略说来，我们作了两项重要的叙述：无论讯号波的振幅或者位相，都可以分别经过调制后，以被记录的干涉条纹的反差和间隔的形式保存下来。物体的反射光波所能携带的全部信息，都可以记录在由这些波与斜投射的平面波相干所产生的干涉光栅上。

由上述方法制作的全光照片，在很多性质上与用刻划机制造的光栅相同，但也有几点重要的差别，其中最重要的是，与高质量刻划光栅所得的严密均匀性相反，全光照片上的光栅狭缝是不均匀的。同时，用不完善的方法刻画光栅时，偶然产生的不均匀性会导出假谱线，称为“鬼线”，而在全光照片上有意造成不均匀性，在再现过程中产生完全而且清晰的像。

当由均匀分布的透明和不透明的狭缝构成的光栅用单色的准直光束照射时，由于光与光栅的相互作用，产生大量的平面波(图 9, (b) 的右部)。这些平面波以不同角度辐射，这些角度由光栅狭缝的间距决定。“零级”波在入射方向上传播，可以把它当作投射波的衰减物。此外，尚有两列“一级”衍射波，分布在零级波的两边。除此之外，还观察到二级、三级和更高级的衍射波。

如果把透明狭缝看成柱状波源，则产生这些衍射波的现象很容易解释。这些子波在一些确定的方向上相互加强，因而出现各种衍射级。如果画出各子波波前的切线，则得到加强的方向。零级波是由在

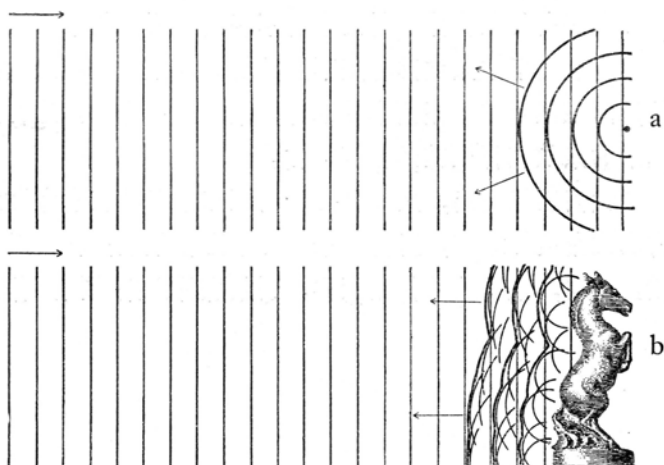


图 6 由点散射体(a)反射光波形成一系列不断扩大的、称为**波前的球面**。它们是以源点为中心的同心球面。如果反射物体很复杂(b)，则可以当作许多点的集合体；由物体表面反射所得的波，可以当作许多列这种球面波的总和，每列波都是以自己的源点为中心的同心球面。“波前再现”照像术的基本问题在于，在某一瞬间在指定的平面上记录这样的图案。

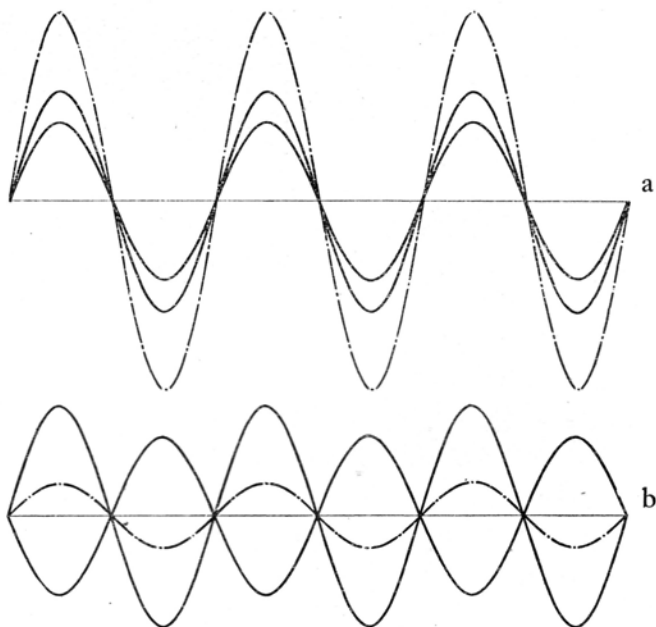


图 7 **光波的二种干涉**。如果不同振幅的两列光波以相同位相到达记录表面(a)，则它们的振幅将迭加，最终产生的强度((a)中的点划曲线)比只有每一列波单独作用时产生的强度大。这种过程称为**相长干涉**，它对应于干涉图案中的亮条纹。如果光波以相反的位相到达(b)，则它们有相互削弱的倾向。这种过程称为**相消干涉**，它相当于图案中的暗条纹。

同一时刻从光栅条纹上发出的，因而全都与光栅表面等距离的所有波前迭加而成的。如果画出所有这些相应的柱状波前的切线，就得到零级波。零级波与光栅平行。迭合由一条狭缝发出的子波前与邻近狭缝的前一波前，然后再迭加次一个相邻狭缝的更前面的波前，如此类推，就构成了两列一级衍射波之一。用类似的方法构成另一列一级衍射波，但方向相反。迭合由相邻狭缝发出的相距为两个波长的波前，就构成了二级衍射波，余类推。从这种构成方法可以看出，光栅刻线间的间距愈小，衍射角愈大。当光栅刻线的间距(或位相)不规则时，即在某些区域刻线间距较大，而在其他一些区域较小时，这种刻线间距的局部变化会引起衍射波方向对应的局部变化。同样，条纹的反差或振幅的局部变化会引起衍射波振幅或强度的局部变化。因此，衍射波前所受的干扰与全光照片条纹图案的不规则性(包括间隔和反差)有简单和可预言的联系。

现在让我们回忆一下：条纹的不规则性是由于摄制全光照片时射到全光照片干板上的信号波波前的振幅和方向的局部变化所造成的。此处有一种可逆性过程：条纹的不规则性所引起的衍射波波前的畸变，正好与产生条纹不规则性的原始波前的那些畸变一样。例如，在讨论全光照片的制作原理时，我们已经阐明，在信号波前与参考波前有最大夹角的地方，条纹排列得最紧密。全光照片光栅的这些部分也以最大的角度给出衍射波。

利用全光照片衍射光栅产生各级衍射波的方式实际上是构成记录在全光照片上的干涉图象的一个倒逆过程。这两个过程间存在的相似之处比我们此处所描述的要严格得多，而且是构成波前再现过程基础的主要概念。由全光照片产生的两列一级衍射波的每一列，实际上都是由原物体发出的波的严格的拷贝。这些波由全光照片向外传播，它们在各个方面的表现，与原始波不被置于行程上的照像底片阻断时的表现一样。安置在衍射波行程上的透镜可以把衍射波聚集至焦点上，因此原有物体仍能组成原物体的影像，即使原物已不存在时也如此。

二列一级衍射波相互之间有一个很重要的区别。其中一列一级衍射波似乎是由位于原物体所在位置的物体发出的波组成的。我们说，这些波产生和反射镜中的虚像类似的虚像。另一列一级衍射波同样是原始波精确的拷贝，但应该考虑到它们有共轭或相反的曲率，

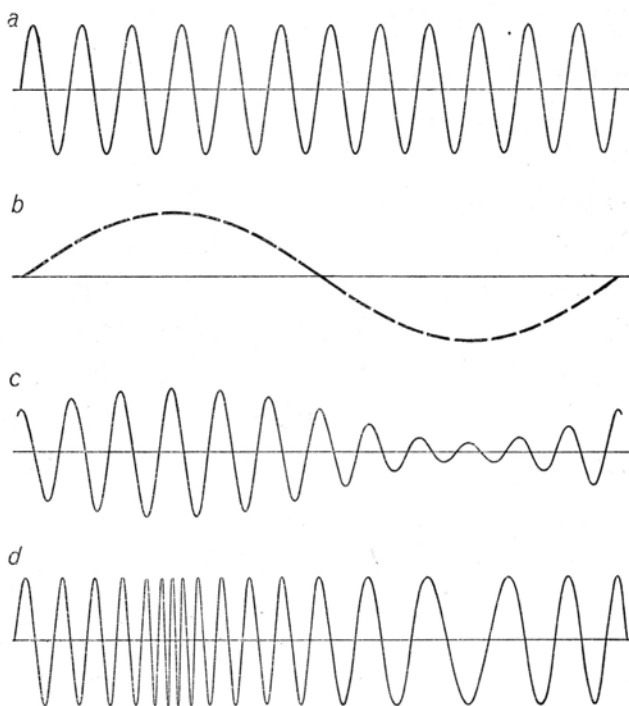


图 8 波以各种方式发送讯号。调幅和调频或调相是大家熟知的而且是最广泛采用的方法。调幅时(c)，按某一低频波(b)改变载波(a)的振幅，将讯号调制于其上。调频时(d)，载波振幅仍然不变，但周与周之间的间距却变化了。

即从物点发出的原始发散球面波变为会聚球面波。这些波产生实像。如果把照像底片放在像的位置上，那末无须用透镜，就能直接摄下。

由这些波产生的全光照片和影像具有许多离奇的、令人神往的特点。例如，图 2 中的全光照片很难于理解，并且丝毫不能暗示出寓于其中的图像。草率的观察使人们很想把摄得的可见的结构(同心环、斑之类的东西)和被摄物的某些部分对照一下。但这种对照根本是不正确的。摄得的可见图形与原来的物体毫无关系，它们是由供给参考光束的反射镜上的灰尘微粒及其他散射体引起的。只有在放大的情况下才能观察到记录在全光照片上的真正的信号，它们是由与原来物体毫无明显关系的极不规则的条纹组成的。很难相信，有谁不经实际再现影像的手续，而能直接识别全光照片上所摄的是什么东西。

但如果把全光照片置于相干光束的通路上，那末摄在上面的图像一下子就会显现出来。再现波与在全光照片摄制过程中使底片曝光的原始波的相同意味着，由全光照片产生的影像

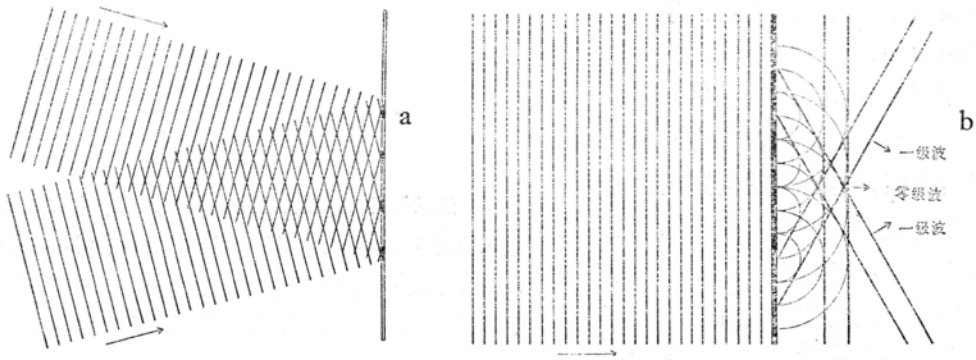


图 9 出于同一普通光源、以不同倾斜角投射到不透明表面上的两列平面波干涉时产生均匀、平行的条纹(a)。条纹间的距离只与波间的夹角有关。当此种光栅用相干光束照射时(b)，光束与光栅相互作用而产生若干列平面波。“零级”波按原来相干光的方向传播，并可把它看作是原来光束的衰减物。除这两列一级波以外，还观察到二级、三级以及更高级的波。

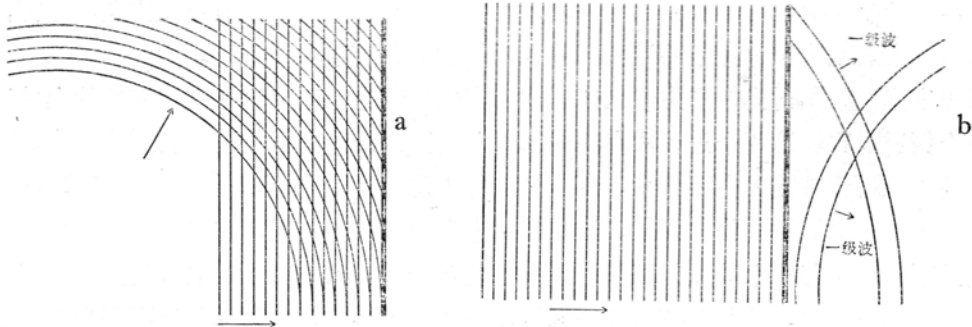


图 10 平面波与不规则波(此处为圆柱形波)干涉时产生调制条纹(a)。在平面波与畸变波之间的夹角较大的地方，条纹图结构较细致；角小的地方，条纹图案粗糙。用相干光束照射时，调制条纹图案的作用好似不完善的衍射光栅，它产生畸变的衍射波(b)。发散的一级衍射波组成物体的虚象；会聚的一级衍射波则组成物体的实像。



在外貌上应与被摄物体没有任何差别，这种全同实际上是实现了。例如，象透过窗户看到的景物一样，通过全光照片所看到的虚像是完整的三维物体，而且获得这种立体效果完全不需要任何立体像片对，也不需要类似立体显微镜之类的仪器。

影像还具有另外一些实在的特色，这些特色甚至在普通立体照像中也是观察不到的。例如，如果观察者改变自己的观察位置，那末图象中的透视情况也象观察原来景物时那样改变。景物中近距离和远距离物体的视差效应很明显。如果处于前景的物体位于另外什么东西之前，那末观察者只要把头偏移一下，绕过障碍物，就可以看到最初隐藏起来的東西。而且，当观察者把视线从景物中的近距离物体移到远距离物体上时，眼睛必须重新调焦。

简单些说，再现景物具有原来场景所有的视觉特性。至今我们还未找到一种能把再现景物和原来景物区别开来的视觉试验方法。

观察者同样可以观察到悬挂在自己和底片之间的空间的实象，这种影像具有上述的全部特点，但此种像较难观察到，其原因我们不准备在这里讨论。

用刚才描述的方法摄得的全光照片，除具有那些和三维再现性质有关的特性外，还有几种有趣的特性。例如，全光照片的每一部分，不管有多小，总能再现整个图像；采用此种方法，可以把全光照片分成小块，其中的每一小块都可再现整个图像。当小块渐小时，分辨率也就渐差，这是因为分辨率是成像系统孔径的函数。全光照片的这一奇特性可用上面观察到的现象来解释：因为照片上的每一点都受到被摄物体所有部分的光的作用，因此，这些点就用编码的形式包含了整个图像的信息。

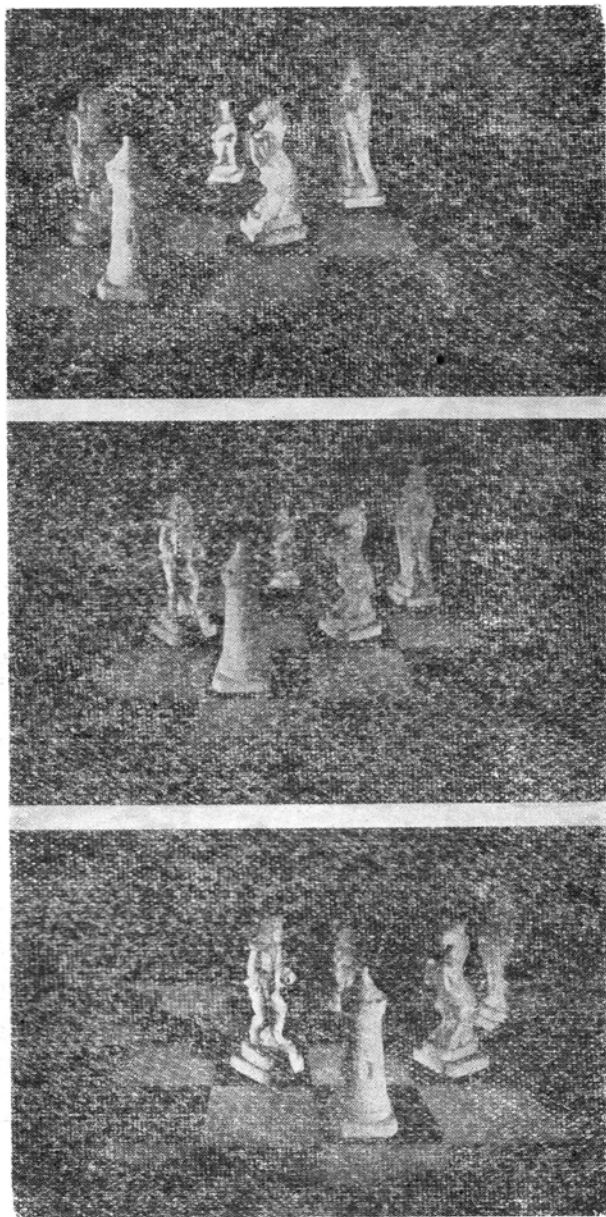


图 11 在同一张全光照片再现的三张虚像照片中，很明显的出现了视差现象。照片轻微移动时，棋子就出现明显位移。如果全光照片固定不动，只要摄影机移动，也可以产生同样的效果；或者，如果全光照片和摄影机都不动，只要激光器移动，仍有相同的效果。

波前再现方法的第二个奇特性质是不制作负片。一般情况下把全光照片本身看成是负片，从全光照片获得的影像算是正的。如果全光照片系用接触法复制得到，那末，其不透明部分就变成透明的，透明部分就变成不透明的。但是，用拷贝再现的影像仍然是正像，并且和用母片获得的影像没有区别。当然，在复制过程中，质量常常会少许下降。这一特点的形成，是由于信息是以调制空间载波的形式记录在软片上的缘故。软片的接触复制只引起载波极性的反转，但这种反转并不影响包含在载波上的信号。这一现象在无线电技术中有详细的记述。只要回忆一下，光栅载波上的信息之所以发生变化，归根结底是因为条纹反差和距离发生变化而引起的，那末我们就能理解，信号对极性变化之所以无反应，是因为不论是反差值还是距离，都不会随极性的改变而变化。

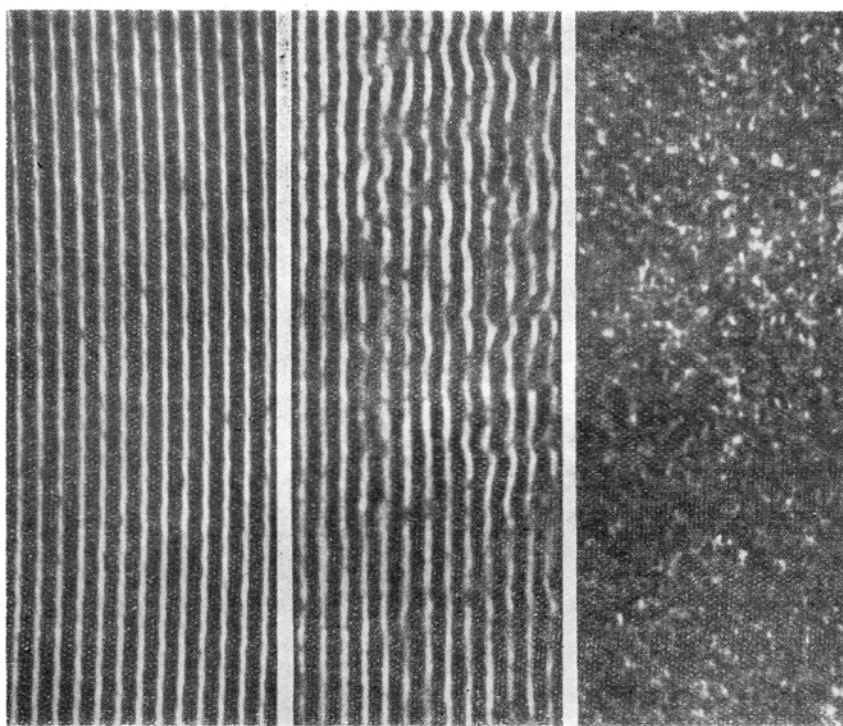


图 12 表示空间载波调幅和调相的**三幅干涉图**。左边一幅图案的条纹是当两束平面波互相成很小的角度入射到照像干板上时获得的。在中间的图上，其中的一列波是稍加调制的，其结果引起了条纹反差的微小改变和条纹轮廓的不规则。这幅图是由比较简单的照象透明画面的全光照片的一部分放大得到的。右图为漫反射三维物体全光照片一部分的放大。调制的程度很高，以致使干涉条纹失去了连续性，条纹已分辨不清。

波前再现照像术的另一个有趣的特点是，无论照相乳剂的反差特性如何，再现影像同原来物体的反差都非常非常接近。这种情况下，在普通照像术中只适用于线画之类物体的高反差感光底片，也可应用，毫无丧失物体色调性质的危险。包含了全光照片的感光底片只能记录两种黑度——全透明的和不透明的，但再现的影像的色调性质不会受到损失。波前再现照像术这一神秘的特性是很难用普通的术语解释清楚的，但它仍然和使用载波有联系，同时，

它也和下面的现象有关：物体上的每一点并不单单记录在全光照片的某一点上，而是记录在整个照片上。在这些情况下，能够指出，色调传输过程中的欠缺导致(作为其主要的影影响)高级衍射波的产生。若只考虑一次近似，则产生再现图像的一级衍射波并不受色调传输欠缺的影响。

全光照像的最后一个特性是，在同一软片上用连续曝光的方法可以重迭几个影像，而每一影像又可不受其他影像的干扰而单独显现。要想得到这样的结果，我们可以对每幅画面利用不同的空间频率载波，正象在无线电中要在两地之间同时传输很多节目时采用不同载波频率的原理一样。光栅载波可以象无线电通讯那样具有不同的频率；除此之外，二维软片还具有另一种自由度，即迴转角。这样，光栅载波就具有了条纹距离和条纹方位的特性。例如，在第一次曝光时条纹图案可能是竖直的，而在另一次曝光时可能是水平的。当各种再现波再现时，它们是沿不同方向衍射的，因而就在各个不同的地方组成再现影像。

看来，波前再现照像术有其引人的可能性，但是至今还未走出实验室阶段。而且就目前的情况看来，在短期内还不会改变。存在这种情况的一个基本原因是因为在这一过程中对所采用光源的相干性要求很严格。普通光源缺乏这种相干性，而相干光源又比较昂贵，且使用起来也不太方便。

相干性有两种——时间相干性和空间相干性，对于再现照像术来说，这两种相干性都是必不可少的。时间相干性(或曰单色性)之所以重要，是因为干涉过程产生的条纹图案是照射波长的函数。如果光谱相当宽，那末每一光谱组成部分都产生自己固有的图案，但在各个光

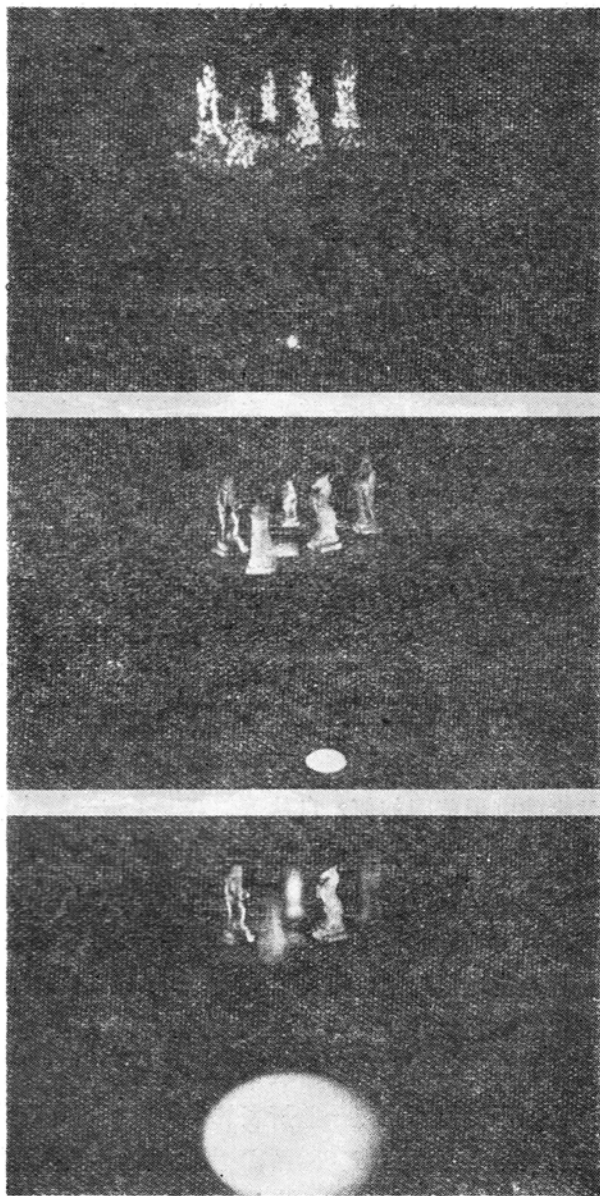


图 13 全光照片上不管是多小的任何一个部分，都可以再现整个原来景物的影像。在顶图中，以直径约半毫米的未扩展激光束射到全光照片(每一张照片前景中暗淡的矩形)上。由于分辨率是成像系统孔径的函数，故在这种孔径下，影像全是疙瘩，而且极不清晰。当逐渐增大全光照片的被照部分时，分辨率提高，但景深却缩短(中图及下图)。

谱组成部分同时作用时，条纹就会被平均掉，同时照度也变得均匀了。然而，有限数量的光谱组成部分能迭加，比如包含了三原色的三种单色波，便可以组成彩色再现影像。当然，这一单色性的条件不能过宽，三种颜色都应该只占很窄的光谱范围。

相干性的第二个要求——空间相干性——意味着，光系由点光源发出，或光能够聚焦到很小的斑或点上。如果光源欠缺空间相干的特点(就是说，光源是宽广的)，那末，光源每一部分产生的干涉条纹都与其他部分产生的那些条纹错位；很多组这种条纹相加，产生一种近于均匀的平均效果，因而条纹图案就不再存在了。

如果采用象汞弧灯这样的传统光源，这两种相干性都能满足。要想得到单色性，可以让光束通过某些光学装置，如单色器或者窄带滤色器。这使得除了落在窄带中的光谱成分外，其他的部分都被删除。将光聚焦到针孔上后就可以获得空间相干性。因为从灯发出的全部光线，只有很少一部分才能聚焦到这个针孔上，故汞弧灯光源的大部分光线都是无用的，只有极少一部分才能用来照明物体。

但激光器辐射的光却具有高度的单色性和空间相干性，因此前面谈及的不经济的手续都不需要了。激光束和其他光源比较起来，要是它们具有相同的单色性和空间相干性，那末前者在强度上也要比后者高几个数量级。因此，对再现照像这一门新技术来讲，激光比起其他所有的光源来，有其无可比拟的优越性。而且，也正是因为应用了激光，才取得了那些有趣的结果。

充分论述了这种产生不平常的、奇特影像的新技术后，自然会产生这样的问题：这一新技术的应用范围如何？自从盖伯开辟了这一新技术后，人们提出了很多各种各样应用再现过程的建议，尤其在最近，这些建议还在迅速地增长。

这里，我们立即就会想起两种应用——电视和电影。原则上，可以制作全光照像电视系统，因为全光照片象记在照相乳剂中一样，也能很容易地在电视摄像机的感光面上记录下来。而且，全光照片的信息可以传输，并能在电视接收机上再现出来。这种电视系统能保证影像根本的实在性。

但是，在研究所需的装置和元件特性时，发现实现这一系统远远超出了目前的工艺水平。如果我们不采取一些折衷的设计方案，那末传输全光照片所需的频带就会比目前普通电视的频带宽好几百倍，然而，折衷的设计方案又会使全光照片的奇特性质受到部分损失。摄像机、显象管及其他有关器件的质量也应比现有的设备高得多。此外，物体需用激光束照明，同样，在接收机中也应配备激光器，现有的激光器尚不能适应这些工作，要求再提高一步。全光照像应用于电视的可能性是很大的，但价格也是高昂的。目前正进行研究工作，试图把对系统频带宽度的过高要求降低一些。已取得了一些成绩，但还有很多工作等待解决。将全光照像术用于电影的技术，也存在着类似的问题，并且还要严重些。

随着激光器的日益完善，波前再现照像术一定会脱离实验室阶段。由于这一技术具备优越的三维成像特点，它就可以成为模拟装置、教学装置以及要求物体严格再现的场合中的重要照像方法。

从历史上看，显微术是波前再现法的最早应用。盖伯最初提议的应用也在这一范围。盖

伯以及斯坦福大学的埃耳-苏门(El-Sum)和贝兹(A.V. Baez)证明,完全不用透镜而用发散的辐射束,那末由波前再现法便可获得很大的放大率。而且,全光照片能用一种波长的光摄制,而再现时可用另一种波长。盖伯建议在电子显微镜中用电子波来产生全光照片,然后用可见光来完成再现。应用这一方法,就可以在电子波领域内(在这一范围内透镜技术还未达到理想的程度)应用已高度发展的光学成像法来成像。同样,埃耳-苏门和贝兹已由X射线显微镜摄得全光照片,然后用可见光再现影像。这一应用很有前途,但是X射线只能粗略地聚焦,同时聚焦也很困难。X射线显微术所取得的分辨率,比理论上可能的分辨率低几个数量级。这一状况可以用波前再现法来补救。技术上的一些难关——主要是缺乏有足够强度的X射线源、单色性和相干性——对这一领域的改善起了阻碍作用,但它们并不是不能克服的。

作者的两位同事鲍威耳(R. Powell)和斯特森(K. Stetson)证明,用波前再现法很容易测量复杂物体的振动。由振动物体反射的光束,以一种可预料的方式,丧失自己的相干性。振动振幅的轮廓图迭加在由全光照片再现的影像上;这样,简单地测量全光照片的影像,就可以直接得到物体上每一点的振动振幅。

技术运用公司的汤普森(B. Thompson)和帕伦特(G. Parrent)及其合作者发明了一种非常简单的应用方法,他们碰到了这样的问题:要测量样品体积中浮动粒子(好似雾中的粒子一样)的大小、分布及其他性质。通常这些粒子处于不断运动的状态,因此观察者来不及调焦到这些粒子上。此外,也常常需要在某一给定时刻把一定体积中的全部粒子都摄下来。波前再现术是解决这一问题最理想的方法。用脉冲激光束照射一定体积的样品,并记录透射光,就制成全光照片。采用短脉冲激光来“冻结”粒子的运动。再现时得到整个体积的图像,因而粒子的大小、分布情况以及横截面的几何形状都可以借显微镜测量出来(虽然汤普森和帕伦特在发展全光照像过程应用了再现图像的立体能力和激光器的高度相干性,但是他们的工作与我们毫不相干,他们完全是沿另外一条路线来发展盖伯的原始理论的)。

应及时发展更新的应用,尤其是当先进技术提供了新装置,能促进波前再现法发展的时候。特别值得指出,具有优良相干性的高功率脉冲激光应完成主要的推进任务。可以有把握地预言,不久的将来,人们的注意力将集中于这种成像方法的立体性和高度真实性上,这是普通照像方法无法与之比拟的。

## 参 考 文 献

- [1] W. L. Bragg, G. L. Rogers, *Nature*, **167** (No. 4240), 190 (1951).
- [2] D. Gabor, *Nature*, **161** (No. 4098), 777 (1948).
- [3] E. N. Leith, J. Upatnieks, *JOSA* **52** (10), 1123 (1962).
- [4] R. Gabor, *Proc. Roy. Soc. (London)*, A **197**, 454 (1949).
- [5] E. N. Leith, J. Upatnieks, *JOSA* **53** (12), 1377 (1963).

原载 *Scientific American*, 1965, **212**, No. 6, 24-35

转译自 *Успехи физических наук*, 1965, **87**, № 3, 521-538 (陈彩廷、周稳观译, 颜绍知校)