

全息照相



79.8461

197

全 息 照 相

《全息照相》编译组 编译

上海人民出版社

D576/20

全 息 照 相

《全息照相》编译组 编译

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 3.125 字数 65,000

1974年6月第1版 1974年6月第1次印刷

印数 1—20,000

统一书号: 15171·121 定价: 0.20 元

毛主席语录

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

外国有的，我们要有，外国没有的，我们也要有。

前 言

全息照相术这项四十年代末问世的新颖摄影技术，近十年来，因受激光技术的促进，发展日趋迅速。全息照相记录从被摄物体发出的光波的全部信息，其再现图像具有许多优异的特性。全息术在工件检测、干涉测量、电影电视、计算机存贮、地质勘探、生物学和医学研究、宇宙航行、军事技术等许多领域内，已有了相当广泛的应用。

目前，世界上某些国家对全息照相原理及其应用技术已作了不少研究，并取得一定成果。遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的指示，我们编译了这本小册子，以供从事光学和全息照相术研究的工人、技术人员以及大专院校有关专业的教师、学员参考。

本书由五篇单独的译文组成，对全息照相（包括声学全息照相和射频全息照相）的原理、特点、摄制过程以及全息照相技术的应用范围作了较为系统、全面、通俗的介绍，对全息照相所涉及到的技术、设备，亦作了简单的叙述。各篇译文略有删节。

由于我们水平有限，译文中难免有不少错误之处，希望读者加以指正。

《全息照相》编译组

一九七三年六月

目 录

前言

激光照相	(1)
全息照相术的进展	(25)
全息照相术及其实践	(41)
声学全息照相	(63)
射频全息照相	(81)

激 光 照 相

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

尽管照相技术在稳步地改善，新的照相材料在发明，但近
百年来，照相的光学原理却很少改变。实质上，照相过程是将
立体图像作为平面图像记录在感光底片上的。无论用什么样的
装置，复杂的透镜系统或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。在将近二十年前
提出的这个原理称为波前再现照相机，它不是记录被摄物体



图 1 用普通的非相干光照明棋盘和几个棋子，并在照相底
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

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,称为全息照片;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相所包含的关于物体的全部信息,以及许多不可能用其他照相过程来记录的其他的

信息。
由全息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息照片上释放出来,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。再现波与原始波没有区别,特别是产生的所有现象也具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,他观察到视差效应(在不同的观察点观察时,物体有显著的位移)以及在普通“观看”过程中出现的其他许多效应。

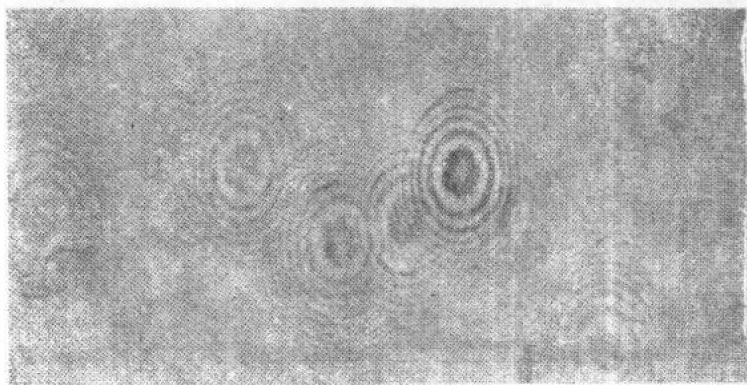


图 2 完成图 1 照片所示景物的全息照相记录,这是波前再现照相术的第一步手续。全息照片的可见结构与原始景物没有任何相似之处,但是它所包含的有关被摄景物的信息却比普通照片多得多

波前再现过程是在 1947 年由伦敦的盖伯 (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埃耳-苏姆 (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, 因为当时缺乏能够胜任的相干光源, 即其光波全都同位相的光源。1960 年激光器的出现, 为“波前再现”照相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息影像。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相方法的可能性上, 又唤起了广泛的兴趣。



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

* * *

从光学的观点来看, “波前再现”照相方法与普通照相方



图4 “波前再现”过程的第一步所采用的照相装置。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。在用来照明棋盘之前，光束的反射部分又被两面镜子（左下和右下）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（棋盘的下方）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。

法的原理有三个根本区别。在普通照相中，被摄物体和照相底片是这样配置的：使由物体反射的光投射到底片上。但这种新方法与普通照相不同，它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相底片表面上，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)。与普通照相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部分相干光束不到达物体而直接投射到底片上。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的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图案。

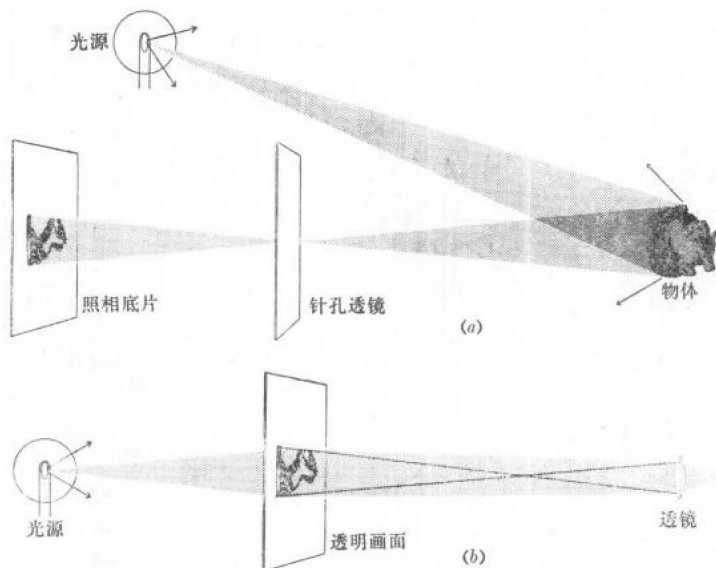


图 5 普通照相术与“波前再现”照相术的区别。普通照相术是将被照明的立体实物作成平面像记录在感光片上。(a)简单地用遮光屏上的针孔作成像装置，将物体反射的光聚焦在平面上。(b)当用普通非相干光透射透明的画面时，眼睛只能看到原始物体的静止平面像

1108775 · 5 ·

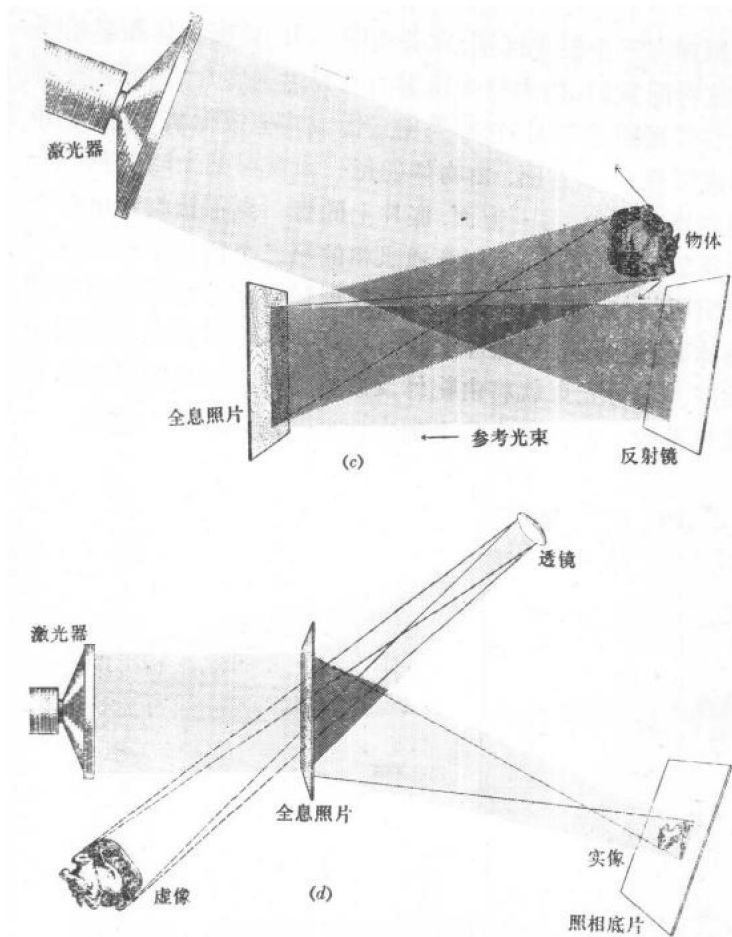
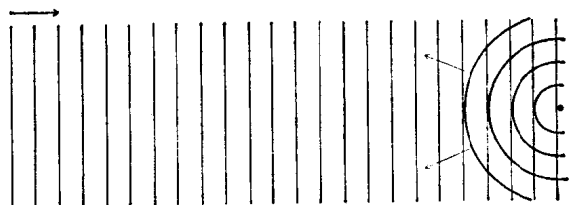
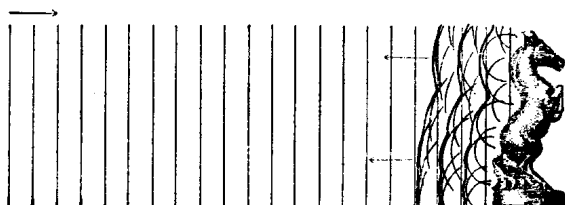


图 5(续) 普通照相术与“波前再现”照相术的区别。(c) 在“波前再现”照相术的记录过程中,不采用透镜或其他类似的设备,因而,不构成任何像。物体的每一点将光反射到整个全息照片上,反之,全息照片上的每一点都接收到整个物体的光。参考光束借助于干涉效应,将物体射向全息照片的波形图显示成可见的图案。(d) 在再现过程中,用准直的单色光束照明全息照片,由全息照片的干涉光栅射出的“一级”衍射波产生两个像

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。三维球面波类似于投石子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的点的总和,因而由物体表面反射所得的波形图案可看作很多以各自的源点为中心的这种球面波列的总和(图6b)。结构不规则的大物体的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。



(a)



(b)

图6 (a)由点散射体反射光波形成一系列不断扩大的、称为波前的球面。它们是以原点为中心的同心球面。(b)如果反射物体很复杂,则可以把它当作许多点的集合体;由物体表面反射所得的波,可以当作为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”照相术的中心问题在于,在某一瞬间在指定的平板上记录这样的波

用“波前再现”方法照相的中心问题在于，在某一瞬间将包含有物体讯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，波就从记录媒质中“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，又要记录波的位相。记录波的振幅部分不是太困难，普通的照相底片就是将振幅转换成照相乳剂的黑白变化程度来加以记录的。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，使能以照相记录方式，将这些位相关系转换成某种形式的东西。

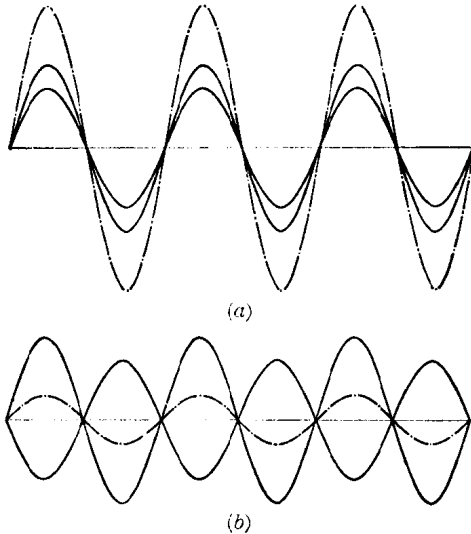


图7 光波的两重干涉。(a) 如果不同振幅的两列光波以相同位相到达记录表面，则它们的振幅将迭加，最终产生的强度(点划曲线所示)比只有每一列波单独作用时产生的强度大。这种过程称为相长干涉，它对应于干涉图案中的亮条纹。(b) 如果光波以相反的位相到达，则它们有相互削弱的倾向。这种过程称为相消干涉，它相当于图案中的暗条纹

在“波前再现”照相术中，是用一种将位相关系转换为相应振幅关系的标准的干涉度量学技术，这种技术是早就发明了的，它是把位相关系记录在照片上，使其变成可见的东西。首先，我们就比较简单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（具有这样形状的波前的波称为平面波）——相互作用产生特有的干涉图案的情况。

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，则它们在这个表面上形成一组均匀的、平行的干涉条纹。条纹的间距只取决于两列波之间的夹角。在表面的某些地方，两列波以相同位相到达，它们的振幅会迭加，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，它相当于干涉图案中的亮条纹。在另外一些地方，两列波以相反的位相到达，有相互抵消的倾向，如果它们的振幅相等，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。

以照相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是类似于由电振荡器产生的二维正弦波。这种类似的重要之处在于如同电磁波可被调制作为讯息（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讯息的载波。

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，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。这种效果可以看成频率的变化: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,将这种调制看成调相,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,与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)。

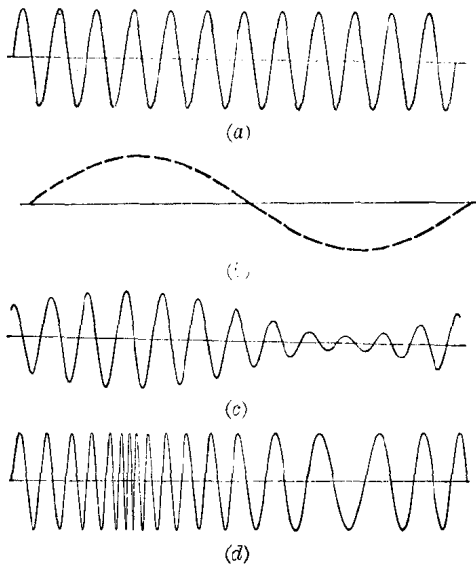


图 8 波以各种方式发送讯号。调幅和调频或调相是大家熟知的而且是最广泛采用的方法。调幅时 (c), 按某一低频波 (b) 改变载波 (a) 的振幅, 将讯号调制于其上。调频时 (d), 载波振幅仍然不变, 但周与周之间的间距却变化了

当使由复杂物体反射回来的不规则波形图与参考波相干时, 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,而在讯号波的振幅较小的地方,条纹反差也较小^[注1]。这样由物体反射的波的振幅变化,引起被记录的条纹图案反差的相应变化。

我们已经指出,条纹之间的间距与讯号波和参考波之间的夹角有关。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密;在波以较小角度相交的地方,条纹图案较粗疏。因此,讯号波的位相变化,引起底片上条纹间距作相应的变化。

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讯息,都可以记录在由这些波与斜射的平面参考波相干所产生的干涉光栅上。

* * *

由上述方法制作的全息照片,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的均匀性相反,全息照片上的光栅狭条是不均匀的。同时,用不完善的方法刻划光栅时,偶然产生的不均匀性会导出假谱线,称为“鬼线”,而在全息照片上有意造成不均匀性,在再现过程中就可产生完全而清晰的像。

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9b右部)。这些平面波以不同角度辐射,而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。