



● 徐大雄 主编

实用 全息 摄影

● 北京邮电学院出版社

实用全息摄影

主 编 徐大雄

责任编辑 郑 捷

*

北京邮电学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京朝阳区北苑印刷厂印刷

*

787×1092毫米 1/32 印张5.75 字数122千字

1989年3月第一版 1989年3月第一次印刷

印数：1-5000册

ISBN 7-5635-0018-9/O·3 定价：2.50元

引 言

全息摄影的基本原理是丹尼斯·盖伯教授提出的，文章发表于1948年。随着激光的出现以及利思和乌帕特尼克思的改进，全息摄影引起了科学界极大的兴趣和关注，并成为当今世界上应用研究的活跃领域。

全息术诞生至今已有40年，用激光制作全息图也有了30年的历史。在我国，全息技术还不普及，不少读者也许仅仅从科幻小说中见到过全息这个词。关于全息方面的书，现在已经有一些，但其中或是用了繁难的数学，对一般人来说，难以理解；或是资料不很完整，使你在实验工作中感到无从下手。

全息摄影并不困难，几乎一个不经专门训练的人也可以做好一张全息图。全息摄影既经济又有趣，是表达人的无穷尽创造力的理想工具。艺术家们无需过多的科学知识，就可以使用全息摄影来表现一些奇特的景象和意境。全息为科学与艺术的结合带来了绚丽多彩的未来。

编写本书的基本出发点，是总结十年来我们自己以及他人制作全息图的经验，并把这些经验提供给读者参考。参加编写本书的人都亲自动手制作了各种各样的全息图，他们熟悉了如何操作，掌握了其中的诀窍，也摸索出一些捷经。所以说，这本书在某种意义上说是经验之谈，而这些是其它

有关全息方面的书所没有的。

全息技术并不单纯是一种摄影技巧，而是在极严格的理论指导下的精巧的实验技术。一张全息图包含了物理光学和几何光学的基本理论。在实验中，你要取得满意结果，你就得注意有关细节，倍加小心地去做。在学习这种技术的同时，我们也学习了包括激光在内的量子物理、信息论的一般原理，以及空间域与通讯理论中时间域之间的相应关系。总之，在全息这个大领域中，无论何种水平的人，都能从事研究和探索。

学习全息最好是边干边学。读者首先应当实践，实践激发人的兴趣与好奇心，理解力与逻辑思维也会由此而产生。如果一个学员在第一次实验中就成功地拍摄了一张白光反射全息图，无疑他会兴奋，并受到鼓舞。这将促使他去学习相应的理论。在他向自己的朋友展示这张全息图时，他至少要学习三位诺贝尔奖金获得者的物理学观点，才能解释全息现象。或者说，学做全息图的过程是理论与实践相结合的过程。

本书共分六章。第一章全息摄影理论，第三章初级全息摄影技术，参考了美国森林湖大学张宗汉教授的“全息指南”一书的部分内容，并参阅了这本书尹志清同志的中文译本，由常默君、付子平同志编写。其余四章参考了“全息手册”（Fred Unterseher等著）的部分内容。第二章设备与材料由刘守、沈树群同志编写。第四章中级全息摄影技术由余重秀、王本同志编写。第五章高级全息摄影技术，讨论了几种较特殊的全息：合成全息、脉冲肖象全息、真彩色全息、光纤全息、计算机全息和模压全息。这一章由赵铭锡、沈树群、刘守同志编写。第六章艺术·哲学·全息由沈树群同志

编写,它谈及了由全息得到的哲学启示,即试图用全息去解释更普遍的自然乃至人类本身的现象和规律。全书由徐大雄教授、沈树群同志细致地进行了审阅,并最后定稿完成。

今天,全息术仍然处于早期阶段。全息摄影者犹如19世纪的摄影师,耕耘着这块未曾开垦过的处女地,魔术般地创造着影象的奇观。他们又如同今天的宇航员,为探索宇宙的奥秘经历着一次次的伟大飞行。欢迎你,全息术的先锋,从这次航行的开始就来体验它的欢悦与艰辛吧。

编著者

1988年10月于北京邮电学院

目 录

引 言

第一章 全息摄影理论

全息图的特性.....	(1)
全息图的几何模型解释.....	(3)
全息图的分类.....	(18)

第二章 设备与材料

自制光学平台.....	(20)
自制光学元件的支撑托架.....	(26)
暗室介绍.....	(32)
几种常见的全息记录材料.....	(38)

第三章 初级全息摄影技术

基本实验.....	(48)
单光束全息图.....	(55)

第四章 中级全息摄影技术

必要的光学元件及调整.....	(62)
透射母版全息图.....	(72)

反射全息图.....	(75)
彩虹全息图.....	(80)
开孔径全息图.....	(98)

第五章 高级全息摄影技术

曲面全息图.....	(103)
合成全息摄影技术.....	(107)
脉冲全息及肖像全息术.....	(111)
真彩色全息摄影.....	(115)
用光纤元件制作全息图.....	(119)
计算机制全息图 (CGH)	(122)
模压全息技术.....	(132)

第六章 艺术·哲学·全息

艺术与全息.....	(140)
哲学与全息.....	(147)
全息摄影技术名词语汇.....	(153)

第一章 全息摄影理论

全息图的特性

拍摄一张最简单的全息图，是先把激光分成二束。一束直接照在全息片上，称作参考光。另一束用来照亮被摄物体，光在物体表面被散射。散射光或称物光与参考光相遇，在空间形成稳定的干涉场。全息片置于干涉场内，曝光后就记录下了干涉场。经过类似普通照象术那样的处理，就完成了全息图的拍摄。观察全息图时，只要适当照明它，一个物体的三维象就会出现在你眼前。

全息图有以下特点：

1. 任何全息图最显著的特点是它能形成三维象。观察者通过全息图，就好象通过这个“窗口”去窥视一个完全不存在却又具有不可置疑真实感的世界。当观察者的头部上下、左右摆动时，他就能看到物体的不同侧面。这种立体感不是幻觉，也不同于立体电影。立体电影是由物体的二个略有差别的平面象，分别通过人的左右眼，然后在大脑中“综合”而成。全息才是第一次真正实现了三维成象。就是说，到达人眼的物光波与原物体散射的光波完全相同。

2. 全息图具有弥漫性。如果一张全息图破碎了，通过

任何一个小碎片仍可以看到象的全部，只不过此时象的清晰度变差。为了不破坏全息图，你可以用一张有小孔的黑纸遮住全息图。当你通过小孔观察时，就象通过关闭着的窗户上的小孔观察景物一样。你可以看到窗外的全部景物。随着小孔位置的改变，被观察到的景物间的配位关系也会有些变化。

3. 全息图可同时得到实象和虚象。如果象能投影在屏幕上，就称为实象。否则就称为虚象。这与古典光学中关于实象与虚象的概念没有区别。

4. 在薄感光乳胶上形成的全息图具有色散现象。当全息图用白光点光源观察时，例如用幻灯放映机光源照明，看到象的颜色是由蓝到红连续分布的。使得轮廓不清晰，如果用低压水银灯点光源照明，则可看到不同颜色的分离的象。

5. 如果改变参考光的方向或光的波长，则由于空间频率的变化而能在一张全息图上重叠记录几个不同物体的信息，并且能够分别再现这几个物体的象。

6. 全息图在外形上可以不做成平面型。例如用单曝光制作的圆柱形全息图(见第五章)，在处理之后，观察者可绕全息图一周，随便在那一位置都可以看到立体象。一般来说，只要全息感光胶片能做到的型式，都可以用于记录全息图。若把感光乳胶涂在瓶子的内壁上，也可对瓶子里的东西进行全息摄影，处理后可以看到原物之虚象呈现在瓶内。

7. 观察一张全息图，可以比直接观察物体获得更多的信息。比如要测量一个构件在受压前后的表面微小形变，可以对它拍摄全息图。只要在加载前后对同一张全息片曝光二次，则此图再现出的原物象上会出现黑色干涉条纹。从这些条

纹的形状和位置。可以推算出该构件表面各点的微小位移。这种技术称为全息干涉计量。现已经应用于乐器振动模式，构件应变、植物生长过程的观察和测量。

8. 如果一个透镜或反射镜，或是一种其它光学元件，是全息摄影景物中的一部分，当观察再现现象时，这些元件仍保持其原有光学性质。例如一个物体放在透镜的后面，就得到放大或缩小的象。当用一个实际透镜观察这样一张全息图时，它与拍摄前的那块透镜的象就组成了一台光学仪器，一台显微镜或是望远镜，允许观察者在一定程度上改变其系统的工作状态。

9. 一个实际上不存在的物体，也可以用计算机辅助计算来做它的全息图。当然，这要求全息图的数学模型是已知的。或者说记录在照相底片上的图形是能计算的，且能由计算机绘制出来。这个图形经照相缩小后能象一张全息图一样再现想象物的象。计算机全息图还能用于补偿或校正现有仪器的光学缺陷。

以上所列举的全息图特点并不详尽。所列举的部分主要是为了激发初学者的好奇心与兴趣。如果这会促使读者想用自己的实验来证实它，那也就达到了我们的目的。

全息图的几何模型解释

全息图的几何模型又称张氏模型，它是美国森林湖大学张宗汉教授提出的。这种模型，不用高等数学就可以解释大部分的全息物理特性。它可以让数理基础一般的人，如艺术家或普通技术人员，很容易地去理解全息。当然，若要对全

息做定量的分析，严格的数学还是必要的。

两点源发出的球面波相干涉

设两点源发出具有同一频率的连续球面波，对于这两列波在空间干涉的理解就是我们这个模型的基础。其演示通常是用波纹容器来进行。干涉花样是用两组完全相同的同心圆系列之叠加来模拟得出的。在图1.1中，每相邻两同心圆之半径差为一个波长 λ 。假设亮区域代表相长相干，暗区域代表相消相干，描绘出这两种情况之一，其结果都是一簇双曲线。图1.2是代表一组相长干涉的图形。沿零级线上，所有相交两圆之半径差均为零。沿 n 级线上，其相交两圆之半径差均为 $n\lambda$ 。在两相邻相长干涉的级次间，是波振幅出现极小的相消相干双曲线簇，相消相干曲线上，尽管两源发出的波不断地通过它，但两个波的振幅之和在这里总为零。严格来说，在零级附近因两波振幅基本相等，合成后为零，在远离零级处只能近似地把相消相干看作是零。

若两振动在三维空间传播，就如同两声源的情况那样，其干涉图形是一簇双曲面。它是图1.1和图1.2以两点源连线为旋转轴旋转形成的。

如果将图1.1上两组同心圆分别画在两张幻灯片上，两片相对运动时就能观察到双曲线相对于两点源的位置是如何变化的。这可以用来演示迈克尔逊干涉仪及杨氏双缝的干涉。

模 型

现在我们来说明图1.3所示双曲面的一些特性，也许这不是大家所熟悉的，但却很有趣。取零级来看，零级是两点

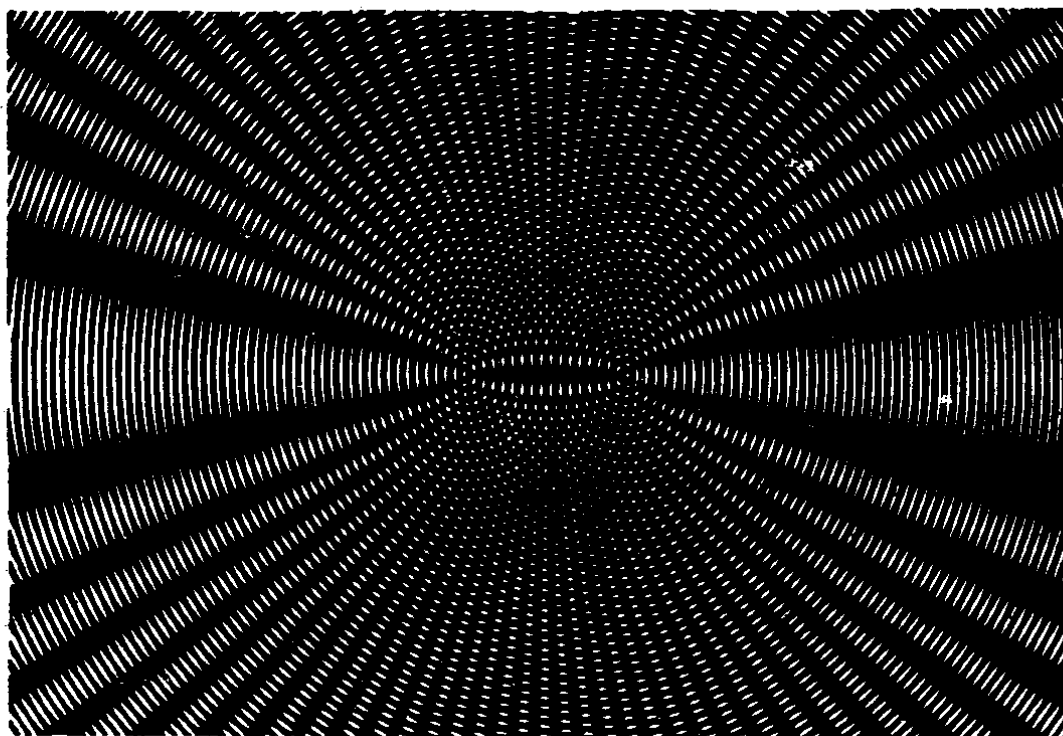


图 1.1

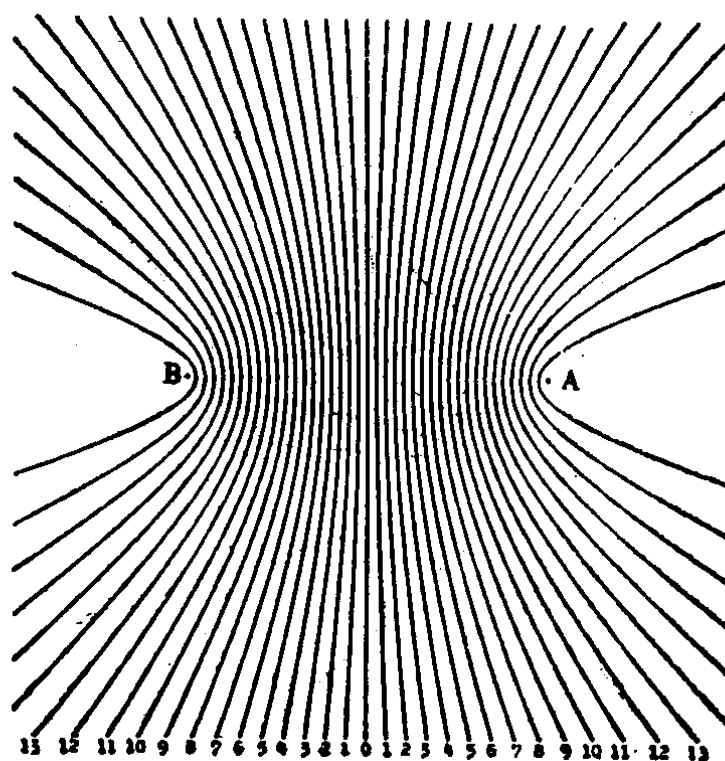


图 1.2

源连线的中分面。我们想象这个零级平面是一块反射镜。从点源A发出的光线到达这一平面后将被反射，其反射光线好象是从点源B射来的，我们称B是A的虚象。

现在再来看零级以外的其它级次。我们想象这是一个涂有反射层的双曲面。亦即一个双曲面反射镜。从点源A发出而射到镜面上的任何光线均以确定的方向被反射，好象反射光是从点源B发出的。也可以反过来说，从点源B发出的光线到达任何双曲面上的任何点，都将以一确定方向被反射，犹如这反射光是点源A发出的一样。用数学语言来表达就是：过双曲面上任一点与两焦点连线的夹角被过该点的切线所平分。

我们对这个模型可做如下陈述：假设代表两点源相长相干极大值的双曲面簇都是部分反射面，当一个全息图做好后，其上包含了许多组双曲面部分反射镜的叠加。其中每簇双曲

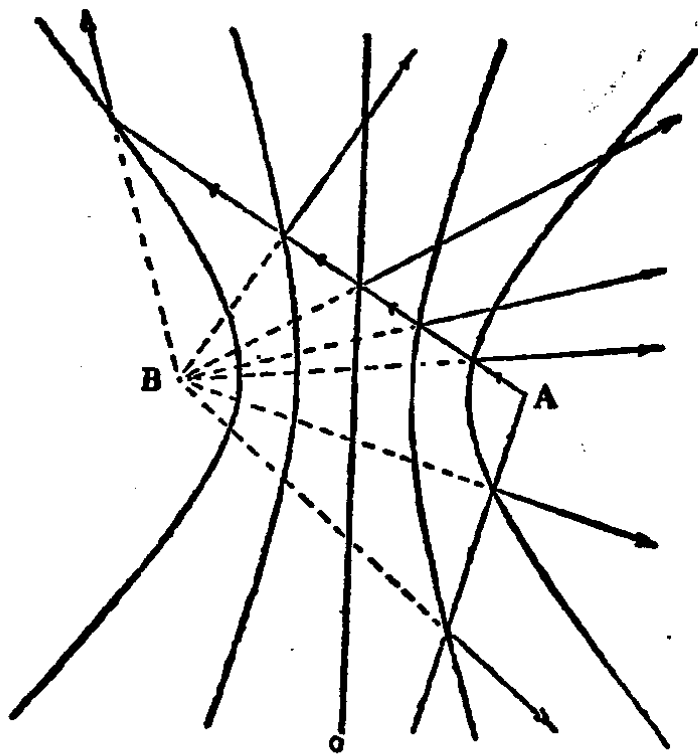


图 1.3

面是由物体上一点发出的光与参考光束相干而产生的。当全息图再现时，每一簇双曲面反射参考光而形成一物点的象。

模型的应用

1. 虚象

图1.4所示为两束光在三维空间的相干情况。假设两光

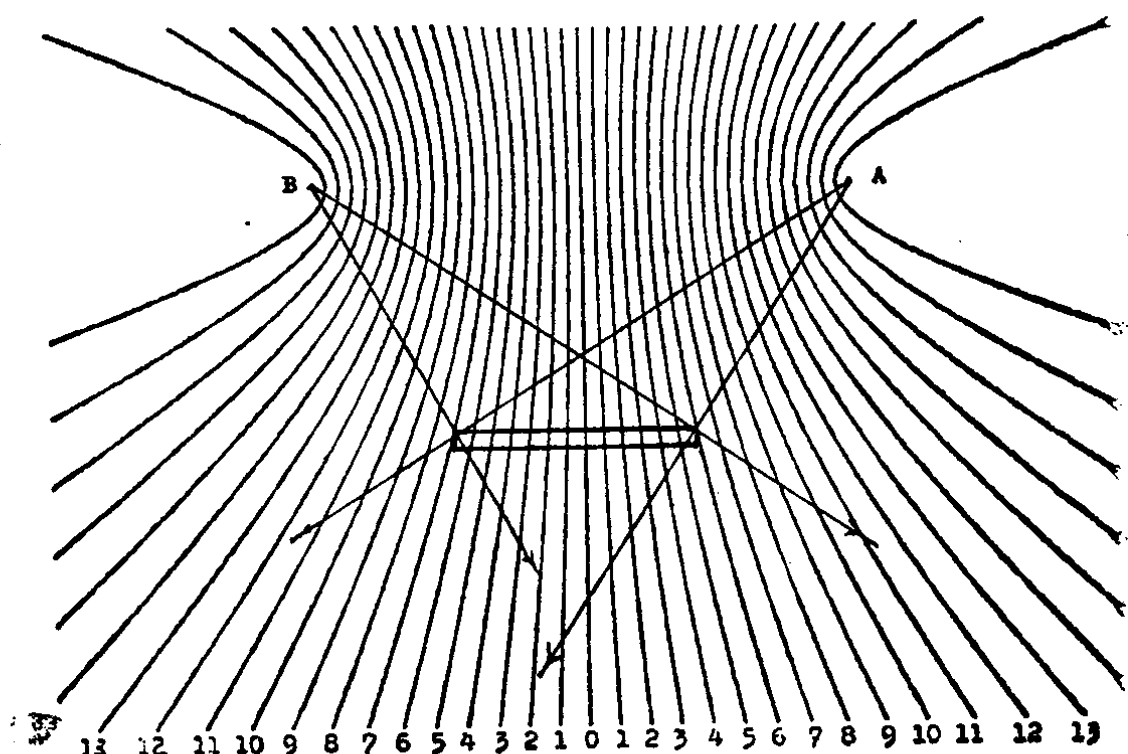


图 1.4

源以相同频率幅射，把记录介质(如卤化银全息记录乳胶片)放在如图所示的位置，由于这些乳胶的典型厚度约在 10λ 左右，记录在乳剂里面的干涉图形代表了许多不同级次的双曲面的截断面。设想在处理之后，这些曲面变成了部分反射镜(还有部分透射和部分吸收)。用光源A在原位置照明处理过

的照片(如图1.5),一些光线透射,一些光线被吸收,其余光线则被反射。反射光好象来自光源B一样。因此,一个观察者沿光源B的方向去观察处理过的全息片,他就能看见B的虚象。

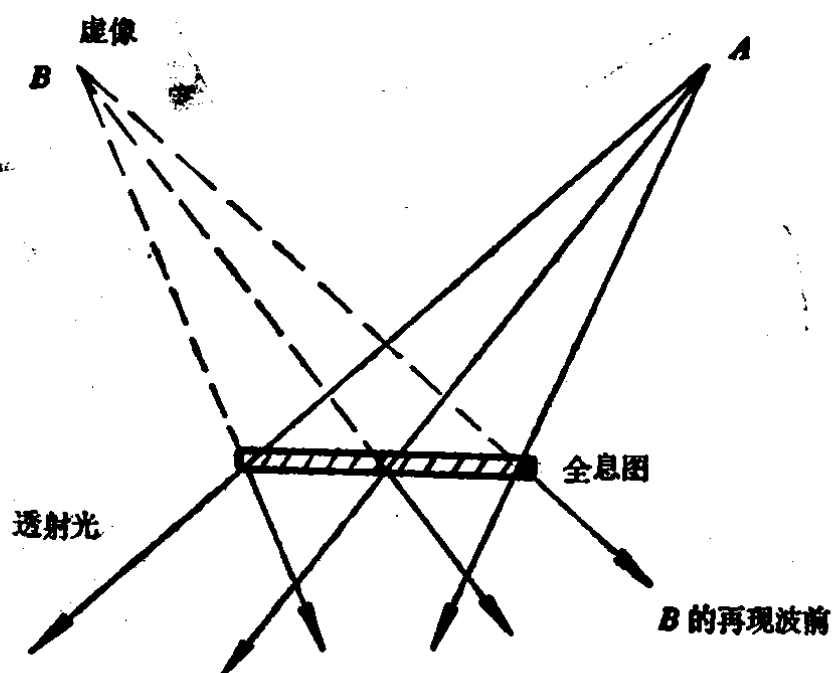


图 1.5

我们若把来自光源A(或者B)的光线叫做参考光。而把来自光源B(或者A)的光线叫做物光。如果在B附近有几个物点,那么每个物点都将与光源A形成唯一的一簇双曲面。胶片将记录下各物点所形成的双曲面簇。当仅用参考光A照明处理后的全息图时,每个双曲面簇都反射光线,形成对应各物点之虚象。

如果用三维物体代替B,并且用与参考光同频率的光束照明,则物体表面上的每一点与光源A产生唯一的一簇双曲面记录在乳胶中,于是我们得到一张三维物体的全息图(如图1.6)。

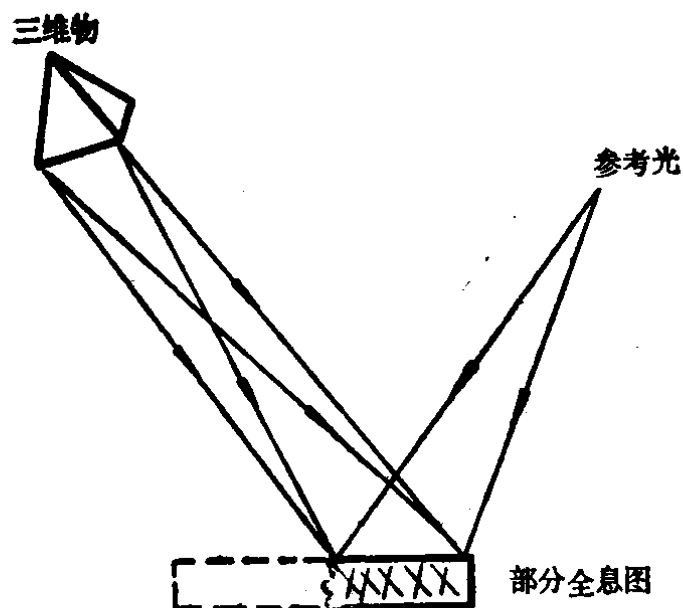


图 1.6

2. 实象

按图1.5制作的全息图，若用向A点会聚的光束照明(如图1.7)，被双曲面镜反射的光线将聚交于B点。如果用一投影屏去接收，就能得到B点的实象。这同样适用于图1.6所制作的全息图。在这种情况下，屏上所呈实象随屏的位置不同，得到聚焦的象的相应部位也不同。

3. 冗余

前面我们已经知道，如果一张全息图打破了，那么每一小碎片都能给出原物的完整象。这可以从图1.8得到解释。假设全息图只剩原尺寸的一半大小或仅一小块(如图1.6)。由于全息图中每一部分都是整个物体散射光线所形成，所以全息片的每一小部分都能给出一个完整的象。换句话说，用于制作全息图的胶片尺寸与实物大小无关。为把实象投影到屏幕上，我们采用未经扩束的激光照明全息图。这时照明区

很小，其直径仅有几毫米。在这种情况下，实象是以小角度光线构成的，景深比较深。即在光路方向一个较大的范围内都能得到一个清晰的实象。在这里，几何光学的许多概念，如景深、分辨率等也是适用的。

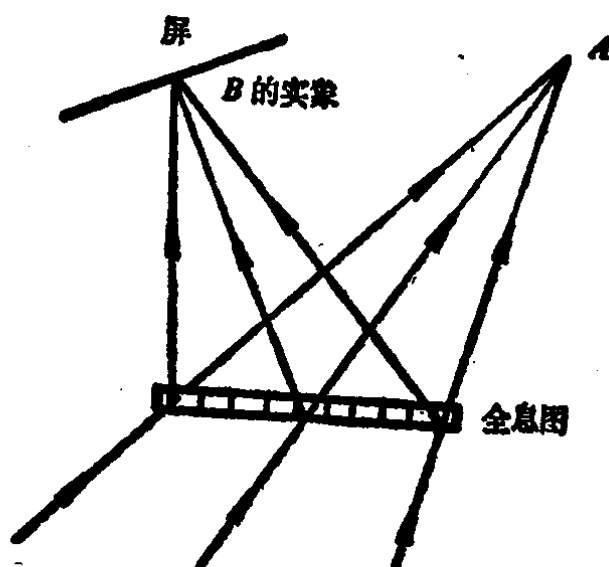


图 1.7

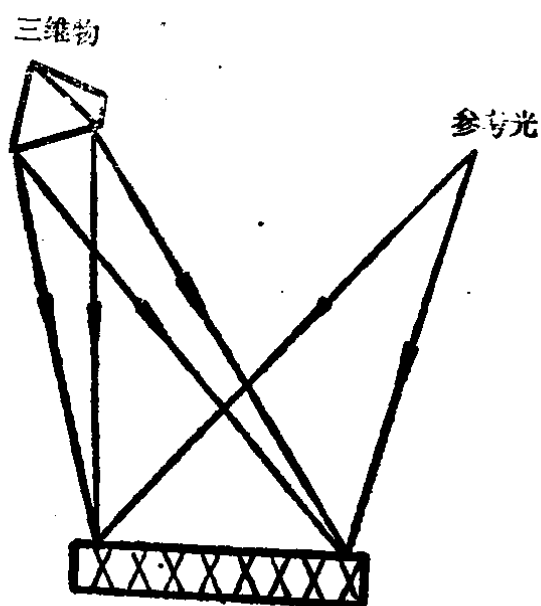


图 1.8