

广 角 全 息 术*

董碧珍 陈正豪 陈岩松 邓道群 鞠蕊

(中国科学院物理研究所)

普通平面全息图记录和重现的视角,一般为 30° , 60° , 最大不超过 180° . 为了增加视角和充分利用全息照相的立体特性,人们提出了广角全息术. 广角全息图的视角超过了 180° , 直至 360° , 也就是说,它能够记录与重现物体 360° 的形象.

国外最常见的是把记录材料围成圆柱形^[1-3]或多边形^[4,5], 也可用狭缝 MASK 制作广角全息图^[6].

本文首先针对圆柱形和多边形广角全息术中物体照明不均匀的问题, 以及考虑到激光的偏振方向, 提出了多边形广角全息术的一种改进办法. 第二, 对狭缝 MASK 制作的广角全息图进行一些分析, 得到对制成此种全息图有用的一些数据.

一、分步记录多边形广角全息术

在以往的圆柱形和多边形广角全息术中, 因为采用单光束顶光照明, 照明的不均匀性是一个很严重的问题, 尤其对形状复杂的物体更是如此. 其次, 考虑激光的偏振性质, 使得偏振方向垂直于参考光与物体光所组成的平面, 这对记录全息图最为有利. 因此, 对于偏振性较强的物光 (例如漫射性能差的物体), 把记录材料直接围成圆柱形或多边形的广角全息术, 是难于摄制成高质量的全息图. 针对上述问题, 我们提出了一种改进办法, 称为分步记录多边形广角全息术.

图 1 是原理示意图. 物体置于有刻度的转盘上, 并处于多边形的中心. 全息干板放置于多边形的一边, 在这边的平面上, 入射的参考束与物光束具有相同的偏振方向, 即光的偏振方向垂直于参考光轴线和物光中心线所组成的平面. 采用发散的顶光和左右二束侧光照明物体. 这大大地增加了照明的均匀性, 同时又选择了最有利的记录面. 顶光的边缘部分照射干板作为参考光束.

摄制了一片全息图之后, 转盘转过一个适当的角度 θ , 换上一片未感光的全息干板, 曝光摄制第二片全息图. 如此下去, 直到物体旋转一周 (360°) 为止. θ 就是多边形一边的张角, 对于四边形来说, $\theta = 90^\circ$.

干板经过处理后, 按原摄制的顺序围成所需要的多边形. 在我们实验中是采用四边形. 用原来的顶光照明重现这四边形全息图, 一个 360° 的物体形象即可真实地重现在四

* 1977 年 8 月 4 日收到.

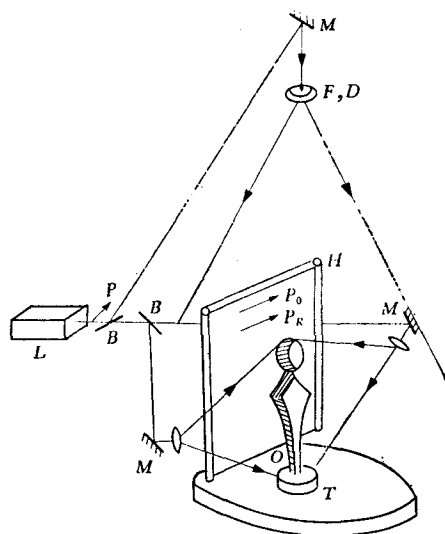


图1 多边形广角全息术示意图

L —He-Ne 激光器; H —全息干板; M —平面反射镜; O —物体; B —分光镜;
 T —转盘; F, D —空间滤波器及发散镜; P —激光偏振方向; P_0 —在全息干板上
 物光波的偏振方向; P_R —在全息干板上参考波的偏振方向

边形的中间. 图2 (见图版I) 示出四边形四边垂直方向上的重现照片.

二、用狭缝 MASK 制作广角全息图

图3是使用狭缝 MASK 制作广角全息图的示意图. 物体放在带有刻度的旋转台上,

两束光从物体的左右侧均匀照明物体. 发散的参考光束从物体的正上方倾斜入射到全息干板上. 干板被固定在架子上. 狭缝 MASK 垂直放置, 它紧贴在干板的乳胶上, 并且可以沿狭缝的垂直方向平移.

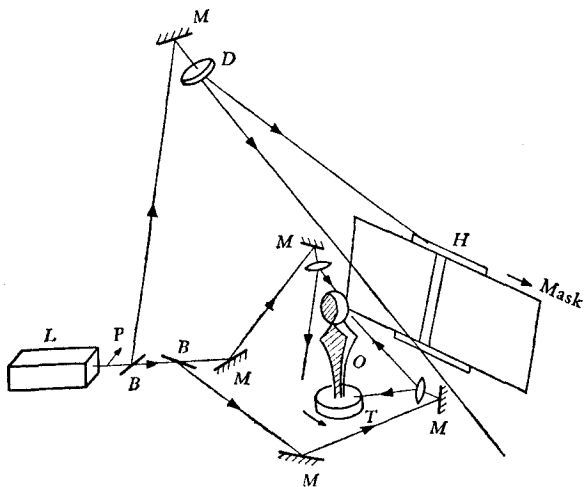


图3 采用狭缝 MASK 制作广角全息图示意图 (图例同图1)

照相时狭缝 MASK 位于干板的一边, 对应于物体的起始角度. 拍摄第一幅窄条全息图 (以后称子全息图). 接着, 物体转动一个适当的角度, 相应狭缝 MASK 对着物体转动方向平移一个缝宽距离, 再拍摄一幅子全息图. 如此下去, 直到整张干板拍摄完为止. 干板经过处理后,

就得到一张用狭缝 MASK 制作的广角全息图. 在我们实验中整张全息图由 60 幅子全息图组成, 每张子全息图的宽度是 1.8mm, 相应的转角为 4° , 所以广角范围为 240° .

重现时,用单色光照明此广角全息图.当观察者的眼睛左右来回移动时,或者观察者不动,而全息图在垂直于光束的方向左右移动时,观察者均能看到立体感很强的左右旋转的物体形象.自然也可把重现象投射到屏幕上观察.图4是广角全息图在不同视角下的重现物体形象的照片(见图版 II).

实验中需要合理地选择狭缝 MASK 缝宽和物体转角,因为它直接关系到重现象的质量.

缝宽 Δx 的考虑 若 MASK 的缝宽选择太大,则合成全息图的面积太大;若缝宽太小,则降低重现象的分辨率.

图5中,设肉眼距离重现象 I 的距离为 d_c ,全息图平面距重现象 I 的距离为 d_h .肉眼瞳孔直径为 D_c ,全息图的宽度为 Δx .由于光波的衍射,肉眼观察重现象的分辨单元为

$$\Delta_c = 1.22\lambda d_c / D_c,$$

λ 为光波波长.同时,宽度为 Δx 的全息图,产生的重现象分辨单元为

$$\Delta_h = 1.22\lambda d_c / \Delta x.$$

当肉眼的分辨单元大于或等于重现象的分辨单元时,即 $\Delta_c \geq \Delta_h$ 时,观察者看到的重现象是清晰的.否则,将看到一个很粗糙的形象.因此, $\Delta x = D_c d_h / d_c$ 是允许的最小缝宽.

取一些典型数据: $D_c = 3 \text{ mm}$, $d_c = 60 \text{ cm}$, $d_h = 20 \text{ cm}$, $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$, 则 $\Delta x \doteq 1 \text{ mm}$.可见,当缝宽 Δx 取为 1 mm 时,重现象分辨单元为 0.15 mm .若取 Δx 小于 1 mm , 则 Δ_h 增加,那么重现象的分辨率大大地降低了.因此,要求 $\Delta x \geq 1 \text{ mm}$.

转角 $\Delta\theta$ 的考虑 肉眼观察重现象,如果物体转动引起的空间位移小于眼睛的分辨本领,则观察不到由于空间位移引起的重现象的模糊.所以转角 $\Delta\theta$ 必须合理选择.

设转动轴穿过物体的中心,则每条子全息图所对应的物体空间位移为

$$\varnothing = \Delta\theta \cdot \frac{D}{2},$$

式中 $\Delta\theta$ 为物体的转角, D 为物体的最大直径.与 Δ_c 相比较,合理的 $\Delta\theta$ 值应为

$$\Delta\theta \leq 2.44\lambda d_c / D_c D = 2\Delta_c / D.$$

若取 $D = 40 \text{ mm}$, $\Delta_c = 0.15 \text{ mm}$, 则 $\Delta\theta \leq 0.5^\circ$.

在我们实验中, $\Delta\theta = 4^\circ$, 这是太大了.因此在物体的边缘有不连续感.如在图4中兔子耳朵处.

采用北京科学仪器厂生产的 He-Ne 激光器,单模输出 10 mW ,天津感光胶片厂生产的全息干板 I 型,干板在 D-19 显影液中处理.

三、讨 论

采用 MASK 方法制作的广角全息图,物光束与参考光束的夹角比较小,它的比值可以根据需要调节.因此,这种广角全息图的质量比较好,尤其是衍射效率较高.但是由于

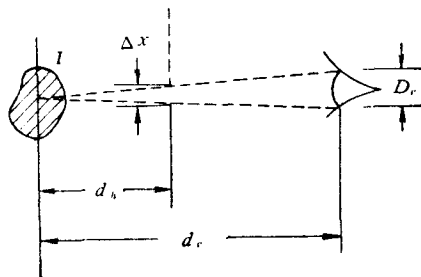


图5 观察重现象示意图

在一块干板上要曝光几十次,甚至达几百次之多。所以,曝光时间很长,往往在一小时以上。这就对激光器的稳定性和系统的防震性提出苛刻的要求。

在分步记录多边形广角全息术中,曝光时间短,所以对激光器的稳定性和系统的防震性要求低。但由于物光束与参考光束的夹角大,所以全息图的衍射效率往往很低,噪音也比较高。此外,由于乳胶的收缩,给再现的复位带来了麻烦。

对顶光照明的广角全息术,还可采用底部附加定向反射器,以改善物体下半部的照明。物体放置在定向反射器上,定向反射器是利用照明物体以外的多余光线反射到物体的下半部,从而增加了照明的均匀性。这个定向反射器可以根据发散光束的发散角度,补充照明的高度等参数,设计出一个平顶的圆锥体。

参 考 文 献

- [1] Tung, H. Jeong, *J. Opt. Soc. Amer.*, 57(1967), 1396.
- [2] Bradley A. Stirn, *Amer. J. Phys.*, 43(1975), 297.
- [3] S. T. Hsue et al., *Amer. J. Phys.*, 44(1976), 927.
- [4] Tung, H. Jeong et al., *J. Opt. Soc. Amer.*, 56(1966), 1263.
- [5] H. M. Chau, *Appl. Opt.*, 9(1970), 1479.
- [6] R. J. Collier et al., *Optical Holography*, Academic Press (1971), pp. 523—535.

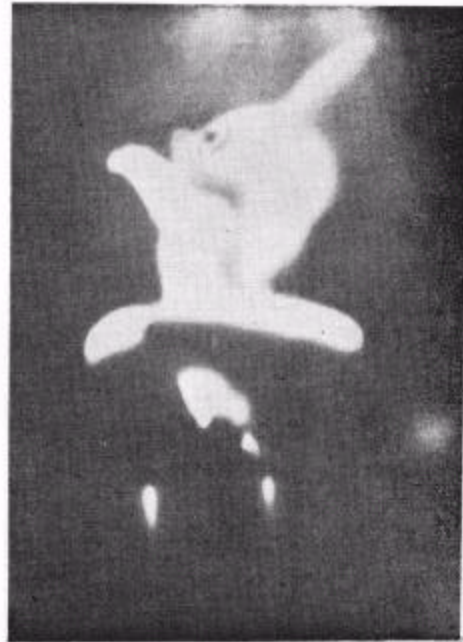
THE WIDE-ANGLE HOLOGRAPHY

DONG BI-ZHEN CHEN ZHENG-HAO CHEN YAN-SONG DENG DAO-QUN JU RUI

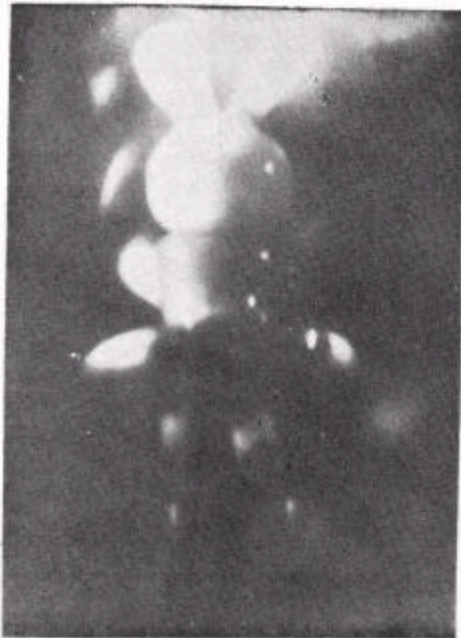
(*Institute of Physics, Academia Sinica*)



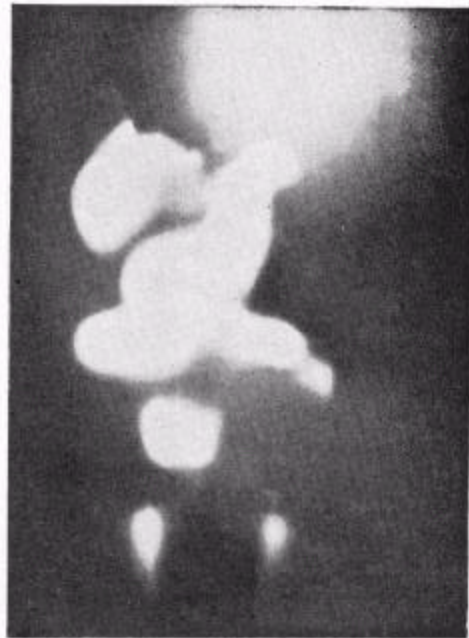
(a)



(b)

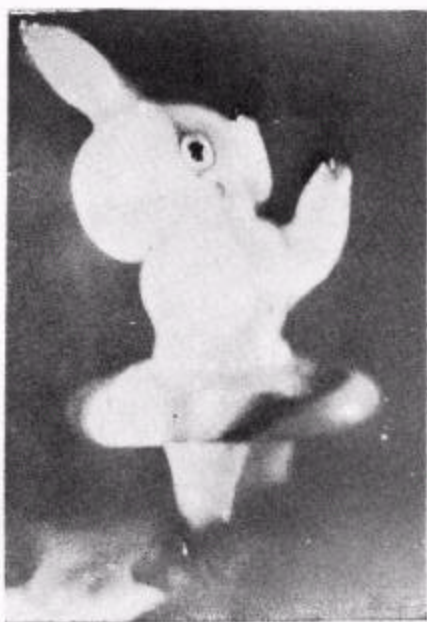


(c)

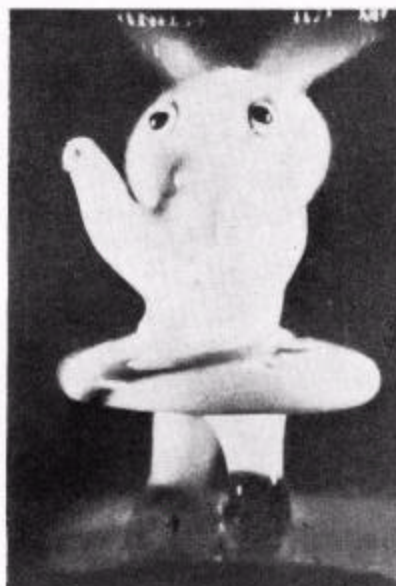


(d)

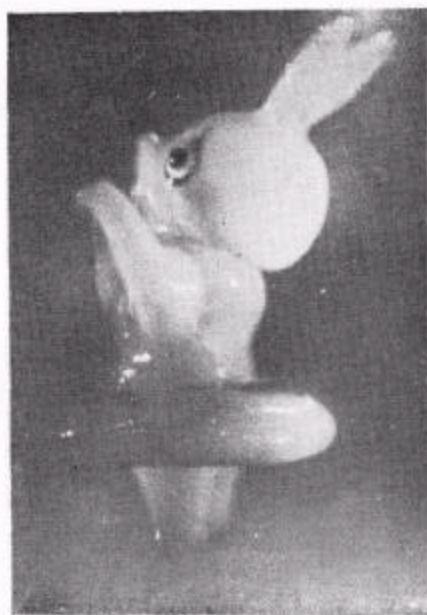
图2 四边形广角全息图的四边重现物体照片



(a)



(b)



(c)

图4 在三个观察视角下重现物体的照片