

# 物像互遮掩的彩虹全息记录

刘 艺 王 仕

(电子科技大学应用物理系 成都 610054)

**提要** 提出了一种使多个物体的再现像间有相互遮掩效果的彩虹全息记录方法。在主全息图记录光路中设置系列互补的挡光屏,对不同的物体分别进行记录;所得到的彩虹全息图再现时,左右移动观察,将看到不同物体的再现像在视场中逐渐交替出现,沿挡光屏边缘相互遮掩。给出了挡光屏的设置参数,并完成了“天狗袭日”彩虹全息图的设计和制作,获得了满意的效果。

**关键词** 彩虹全息,互遮掩,互补挡光屏

全息术的出现使物体的三维再现成了现实。长久以来,全息工作者在利用全息术艺术地记录和再现多个物体方面作了大量的努力,如对多个物体进行多重记录、分区分色记录<sup>[1,2]</sup>,最近还有文献报道了相互间有遮蔽效果的多个三维物体分色彩虹图的制作<sup>[3]</sup>,能够强烈地展示物体的三维存在。本文从另一个角度研究了多个物体记录的问题。

本文采用在拍摄主全息图光路中的一些位置,设置系列互补的挡光屏,对多个物体分别进行记录的方法。由此制作的彩虹全息图再现时,左右移动观察,多个物体的再现像将会在视场中逐渐交替出现,沿挡光屏边缘产生相互遮蔽。设计特殊的挡光屏,可以达到特定的再现效果,不会在视场中出现多个物像的叠合干扰。由此我们设计并完成了“天狗袭日”彩虹全息图的制作。全息图从左慢慢移动再现时,可清晰地看到三维的“天狗”带着圆形的阴影,逐渐地从二维太阳图案的边缘出现,完全遮盖住“太阳”,再由“太阳”中退出,出现一个新的太阳图案的情景,具有强烈的艺术性和观赏性。由于此方法是利用主全息图不同的区域记录多个物体,获得的彩虹全息图避免了多重记录引起的衍射效率降低的问题。

## 1 实验原理

以两个物体的记录进行分析,如图 1。图中  $H_1$  是将拍摄的主全息图,  $AB$  是一个待记录物体,  $S$  是  $AB$  的挡光屏,  $L$  是挡光屏  $S$  的高度,  $L_H$  是  $H_1$  的高度,  $L_0$  是  $AB$  的高度,  $D$  是  $AB$  与  $H_1$  之间的距离,  $d$  是  $AB$  与挡光屏  $S$  之间的距离。  $A'B'$  是另一个待记录的物体,它的挡光屏是  $S'$  (图中没有画出参考光  $R$ )。

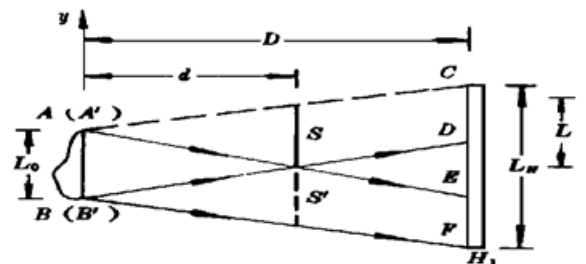


图 1 两个物体的互遮掩记录

Fig. 1 Recording of two objects with hiding effect

由于在光路中设置了挡光屏  $S$ ,  $H_1$  被分为三个区域:  $CD$ ,  $DE$  和  $EF$ 。其中,  $CD$  区完全接收

不到物光,  $DE$  区每一点上只能看到部分的物体,  $EF$  区的记录效果和无挡光屏时一致, 能处处记录到全部物体发出的光波。将物体  $AB$  换为另一个物体  $A'B'$ , 并将挡光屏  $S$  换为在挡光边缘互补的  $S'$  时,  $H_1$  面上的记录情况正好完全相反:  $CD$  区可完全记录物体  $A'B'$ ,  $EF$  区无法记录,  $DE$  上每一点只能记录到部分物光波, 此时  $DE$  区能看到物体的部分与刚才正好相反。

由于挡光屏边缘严格互补,  $DE$  上每一点只能记录物体  $AB$  和  $A'B'$  空间位置不同的部分, 两个部分在视场中以挡光屏边缘为界。因此, 用参考光  $R$  再现  $H_1$  时, 当在  $DE$  区域移动观察时, 视场中将看到  $AB$  的像和  $A'B'$  的像以挡光屏边缘为界, 逐渐相互替代; 移动的方向不同, “遮掩”与“被遮掩”的关系相反, 因此物像可彼此相互遮掩。从这里我们看到, 此方法中多个物体的观察是利用全息图视角的转换实现的。利用多个边缘互补的挡光屏, 即可在  $H_1$  上记录更多“相互遮掩”的物体。将物体的主全息图  $H_1$  激光再现, 记录为物体的彩虹全息图  $H$  是很容易的, 这里不再给出光路示意图。根据彩虹全息图的记录和观察习惯, 再现时一般是左右移动全息图  $H$ , 看到多个物体在  $H_1$  上各自的成像相互遮掩。

物体彼此相互遮掩在实际中是难以想象和实现的, 本方法利用光路中系列互补的挡光屏分别对物体进行遮掩, 再利用全息的记录和再现, 达到各像的互遮掩再现。它利用全息图视角的转换分别看到多个物体的相互遮掩, 与合成全息的记录是不同的, 再现效果也有很大的不同。由于多个物体分别记录在主全息图不同的区域上, 因此不同于变换参考光或物光角度进行的多重记录, 不会带来对彩虹全息图衍射效率的影响。

## 2 挡光屏的设置

光路设计的关键, 是合理地设置挡光屏, 使主全息图能完整地记录上述的三个区域, 从而既能完整地观察到两个物体的独立存在, 又能清晰地看到物体逐渐地相互遮掩。

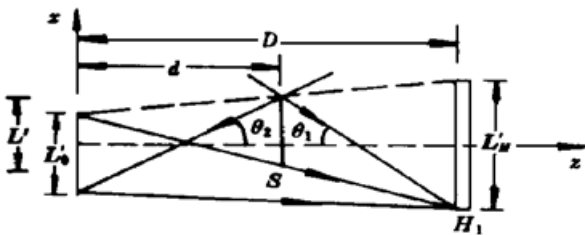


图 2 考虑挡光屏宽的光路俯视图

Fig. 2 The optical system when the width of the sheltering screen is considered

大小及其影响, 示意光路如图 2, 它是图 1 的俯视图, 图中所标符号代表水平方向的尺寸。

图 2 中,  $d$  和  $D$  的大小如图 1, 与式 (1) 的计算相同;  $L_0'$  为物体宽度,  $L_H'$  为主全息图  $H_1$  的宽度,  $\theta_1$  为参考光与光轴夹角,  $\theta_2$  为物体照明光与光轴夹角, 光轴垂直于干版和物体。

通过简单的三角几何计算可得

$$\begin{cases} L' = \frac{d}{D}(L_H' - L_0') + L_0' & (L_H' > L_0') \\ L' = \frac{d}{D}(L_0' - L_H') + L_H' & (L_H' < L_0') \end{cases} \quad (2)$$

仍然如图 1 进行分析, 设定上述三个区域在全息图面上均分, 使两个物体的分别观察和交替过程都很充分。由图 1 可以得到

$$\frac{L_0}{L_H/3} = \frac{d}{D-d} \quad d = \frac{3DL_0}{L_H + 3L_0} \quad (1)$$

挡光屏的高度  $L$  可以相应求出, 它在光路中的长短也很容易得到满足。由于参考光和物体的照明光是侧向入射的, 挡光屏的宽度  $L'$  对光路的布置才有密切的影响, 因此这里主要讨论宽度  $L'$  的大小

$$\theta_1 = \arctg \frac{L_H' + L'}{2(D - d)}, \quad \theta_2 = \arctg \frac{L_o' + L'}{2d} \quad (3)$$

全息干版能记录的条纹密度有限, 对于一般的全息图记录, 最好  $\theta_1 < 45^\circ$ , 照明光的角度  $\theta_2$  也不宜太大。一般取  $L_H' = 90 \text{ mm}$ ,  $L_H = 200 \text{ mm}$ ,  $L_o = 100 \text{ mm}$ ,  $L_o' = 50 \text{ mm}$ ,  $D = 300 \text{ mm}$ , 由式(1)~(3)可得  $d = 180 \text{ mm}$ ,  $L' = 74 \text{ mm}$ ,  $\theta_1 = 34^\circ$ ,  $\theta_2 = 29^\circ$ 。

因此, 光路是完全可以实现的。实际上

$$\theta_1 = \arctg \frac{L_H' + \frac{3L_o}{L_H + 3L_o}(L_H' - L_o') + L_o'}{D \left[ 2 - \frac{3L_o}{L_H + 3L_o} \right]} < \arctg \frac{L_H' + |L_H' - L_o'| + L_o'}{D} = \begin{cases} \arctg \frac{2L_H'}{D} & (L_H' > L_o') \\ \arctg \frac{L_H' + L_o'}{D} & (L_H' < L_o') \end{cases} \quad (4)$$

由于  $D = 300 \text{ mm}$ ,  $L_H' = 90 \text{ mm}$ , 当  $L_H' > L_o'$  时,  $\theta_1$  显然满足小于  $45^\circ$  的条件; 当  $L_o' > L_H'$  时, 若物体确实较大, 使  $L_o' + L_H' > 300 \text{ mm}$ , 则只需相应增大  $D$  的长度, 也可满足条件, 获得合适的光路。这对大物体的拍摄也是必要的。

相似的分析可以得出, 物体照明光和光轴的夹角  $\theta_2$  也容易小于  $45^\circ$ , 不会引起较大的物光光程变化。因此光路的布置是完全实际的。

如果需要记录  $n$  个物体, 式(1) 中的 “3” 将变成  $n + 1$ , 物体和挡光屏间距  $d$  的大小将发生改变; 但由式(4) 和类似的分析可知, 这并不影响参考光以及照明物光的入射, 因此对多个物体, 光路的设置依然是可行的。

### 3 “天狗袭日”的设计和制作

选择 “天狗袭日”这一古老民间话题, 用互遮掩的方法进行了制作。为了生动并和实际更加符合, 全息图不但需要实现 “天狗”和 “太阳”间的相互遮掩, 遮掩时还应看到有一个圆形的阴影, 阴影大小和 “太阳”相同。为此, 采用了三个图案及对应的三个挡光屏, 三个边缘互补的挡光屏如图 3 所示。

实验中采用圆形孔面的挡光屏, 使相互遮掩的边缘为圆形, 并仔细调节光路使圆孔和圆形的 “太阳”图案在明视距离约  $300 \text{ mm}$  处视角相同, 从而在 “侵袭”时达到日食一样的遮蔽效果。全息图再现的结果如图 4。为了突出 “袭日”的过程, 在 “袭日”的前后 “太阳”图案中的 “凤凰”形状不一: 袭日前的高举双翅, 显得很慌乱, 如图 4(a); “天狗”离开后的则双翅平垂, 显得很祥和, 如图 4(e)。图 4(b) 是 “天狗”正 “袭日”时的遮掩情景, 图 4(c) 是 “天狗”完全遮挡 “太阳”的遮掩情景; 图 4(d) 是新太阳复出, “天狗”被赶走的遮掩效果。侵袭的过程非常明显生动。

实验中, 制作的太阳图案直径为  $70 \text{ mm}$ , “天狗”采用一个三维的陶瓷小狗, 它的大小约为  $50 \times 50 \text{ (mm)}$ 。虽然有三个待记录的图案, 但中间的 “天狗”是通过如图 3(b) 圆孔屏记录的, 因

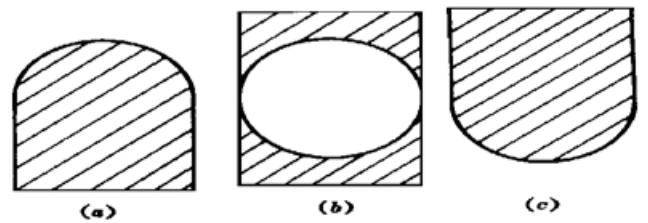


图 3 记录全息图所用的三个互补挡光屏  
Fig. 3 Three complementary sheltering screens used to record hologram

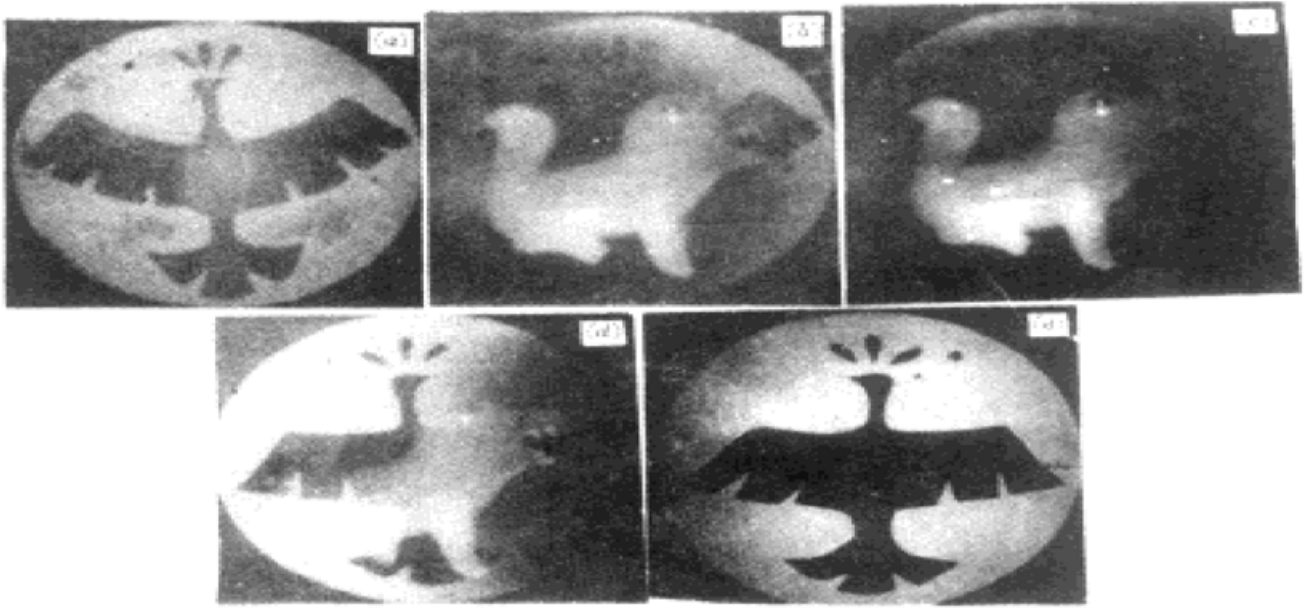


图 4 互遮掩彩虹全息图的再现像

Fig. 4 Reconstructed images of rainbow hologram with hiding effects

此对另外的两个挡光屏, 计算中取  $n = 2$ , 主全息图的  $L_H = 200$  mm,  $L_H' = 45$  mm,  $D = 300$  mm, 由式(1)~(3)算得  $d = 154$  mm,  $L' = 58$  mm,  $\theta_1 = 19^\circ$ ,  $\theta_2 = 22^\circ$ , 此时所需的圆孔直径应大于 35 mm。实际光路布置时,  $d = 150$  mm,  $L' = 70$  mm,  $\theta_1 = 30^\circ$ , 圆孔直径为 40 mm。图案的照明采用两束光从左右同时入射,  $\theta_2 = 45^\circ$ 。

利用彩虹全息图视角的转换记录多个物体的方法, 如果记录物是一个物体的多个侧面, 则可达到物体的多视角记录和再现。当然, 此时物体各侧面间将有一个交替的过程, 观察的结果会类似于走马灯的效果。这方面的研究尚在进行。

### 参 考 文 献

- 1 R. J. Collier, C. B. Burckhardt, L. H. Lin. Optical Holography. Academic Press, Inc. New York, 1971, Ch. 18
- 2 Zhu Ziqiang, Wang Shifan, Su Xianyu. Manual of Contemporary Optics. Chengdu: Sichuan University Press, 1990, Ch. 6 (in Chinese)
- 3 Jin Weimin, Wang Hui. Pseudocolor encoding of three-dimensional objects with rainbow holography. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(6): 574~ 576 (in Chinese)

## Rainbow Hologram with Hiding Effect

Liu Yi Wang Shifan

(Department of Applied Physics, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 610054)

**Abstract** A method of recording rainbow hologram using hiding effect between the recorded object's images is proposed. A series of complementary sheltering screens are placed in the optical path of the master hologram. The varied objects are recorded respectively by means of different screens. When the obtained rainbow hologram is reconstructed, the varied images will be displayed or hidden one another along with the rainbow hologram displaced horizontally. The setting parameters of the complementary sheltering screens and the experimental example are given in this paper. The experimental result is very satisfactory.

**Key words** rainbow hologram, hiding, complementary sheltering screen