

# 大视角两步彩虹全息术

王典民 哈流柱 王民草  
(北京理工大学 工程光学系)

## 提 要

本文巧妙地运用了全息图的光路可逆性,采用两面反射镜与小面积全息图相结合,制得了视场角接近 $180^\circ$ 的大视角彩虹全息图。整个过程分两步完成,无需任何特殊的光学元件。文中给出了实验结果,并进行了讨论。

关键词: 大视角, 两步彩虹全息术, 全息术。

## 一、概 述

彩虹全息术<sup>[1,2]</sup>作为一种白光再现全息术在全息显示中占有重要地位,但彩虹全息图的观察范围受到透镜口径的限制<sup>[4,6]</sup>。虽然最近单启蛰等人<sup>[5]</sup>提出了用两步孔径共轭法拍摄彩虹全息图的技术,该技术无需透镜,光路简洁,理论上可制作大视角的大面积彩虹全息图,但这样制得的全息图的再现像将受到体效应和全息像差的严重影响。

本文给出一种用一般口径的透镜摄制小物体大视角彩虹全息图的技术,它也分两步完成,再现像没有任何畸变,一般实验室具有的90mm口径的透镜,利用本技术就可制得视角接近 $180^\circ$ 的彩虹全息图。

## 二、原 理

全息图的一个重要性质,就是光路具有可逆性<sup>[3]</sup>,如图1所示。其中,入射波 $w_i$ 与出射波 $w_o$ 完全相同,仅仅是传播方向相反,也就是说两者是共轭的。这种关系与畸变介质 $O$ 的特性无关。利用全息图的这种性质,采用图2、图3和图4的光路即可完成大视角彩虹全息图的制作。

在上述过程中,用两面反射镜取代了图1中的畸变介质,它使 $H_1$ 记录了较其长(沿 $w$ 方向)几倍至几十倍的全息图才能记录的物光波,只要保证反射镜 $M_1$ 、 $M_2$ 与全息图 $H_1$ 垂直。在图3中,全息图 $H_1$ 再现时, $H_1$ 与 $M_1$ 、 $M_2$ 系统便等效为 $H'_1$ ,如图5所示。可见,在理论上,当物体 $O$ 位于两反射镜之间时, $H_1$ 的等效全息图 $H'_1$ 将接近无限长,相应地与 $H_1$ 对应的狭缝的等效长度也就与 $H'_1$ 对应,由此可见,上述过程制得的彩虹全息图的再现像的观察角度范围 $\alpha$ 在理论上可无限地趋向于 $180^\circ$ 。由于图2、图3中采用了会聚光,显然对透镜的口径并无特殊要求;此外,透镜的口径对彩虹全息图再现像的观察范围也无影响。但在

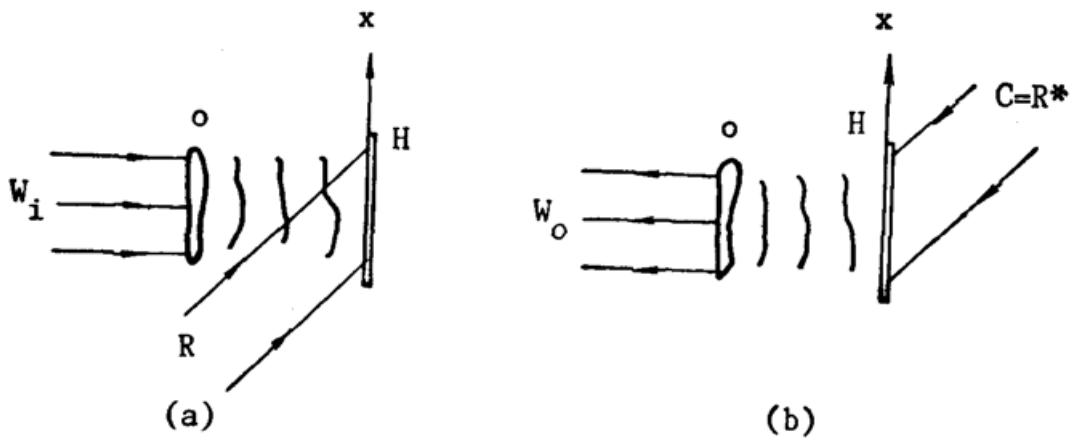


Fig. 1 Optical path reverse of hologram

(a) recording process; (b) reconstructing process, 0—phase-distorting medium, H—hologram, R, R\*—reference wave of H and its conjugate wave, C—illuminate wave of H

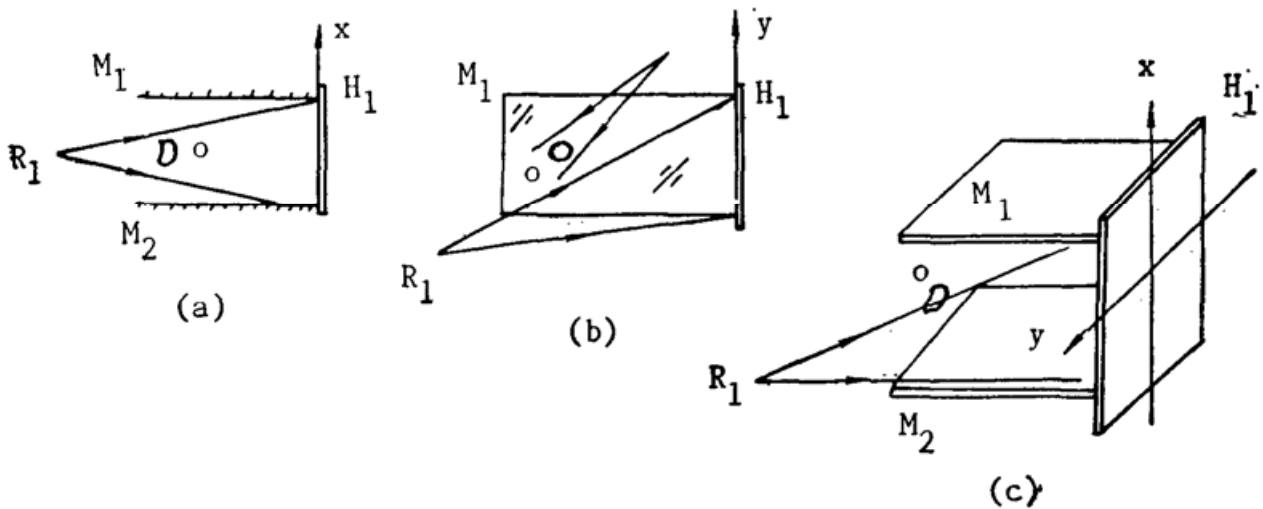


Fig. 2 Recording process of Fresnel hologram

(a) in  $xs$  plane; (b) in  $ys$  plane; (c) hologram 0—object,  $M_1, M_2$ —reflection mirror R—reference wave,  $H_1$ —holographic plate

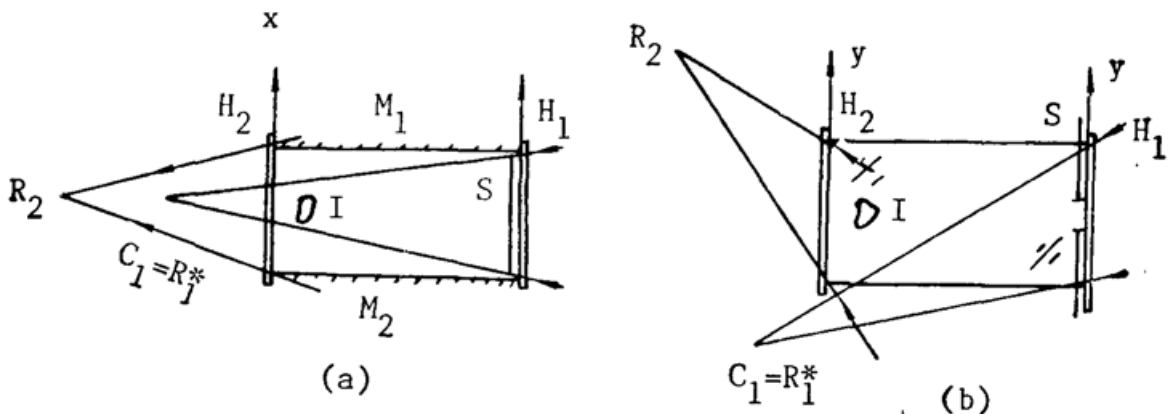


Fig. 3 Recording process of rainbow hologram

(a) in  $xs$  plane; (b) in  $ys$  plane ( $M_2$  is ignored). I—holographic image from  $H_1$ ,  $C_1$ —illuminating wave of  $H_1$ ,  $R_1^*$ —conjugate wave of  $R_1$ ,  $R_2$ —reference wave of  $H_2$ , S—slit,  $H_1$ —Fresnel hologram,  $H_2$ —rainbow hologram

上述过程中有两点要求必须满足: (1)在记录彩虹全息图  $H_2$  时,  $H_1$  与  $M_1, M_2$  三者必须严格复位; (2) $H_1$  的再现光  $C_1$  与参考光  $R_1$  必须共轭, 即  $C_1 = R_1^*$ 。

最后, 由于上述过程采用了两次共轭再现, 因此, 获得的是物体的正视再现像; 由图 3 根

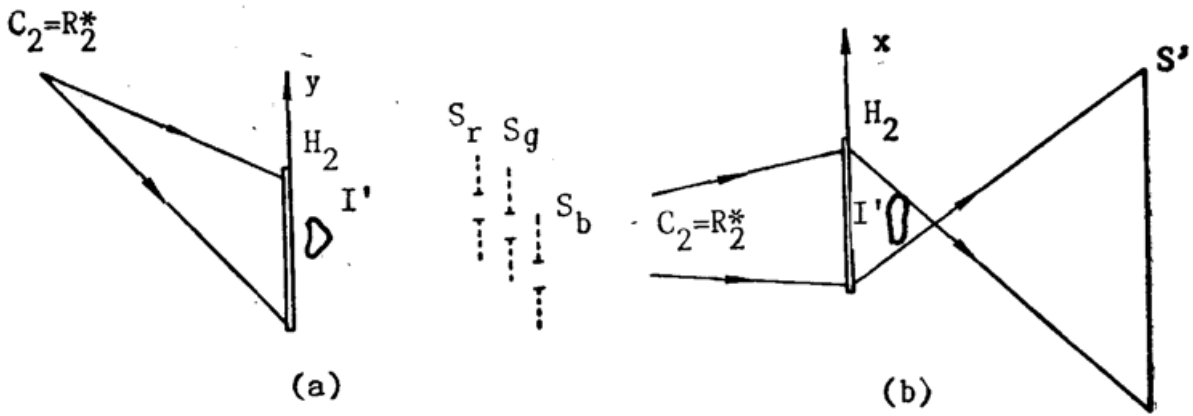


Fig. 4 Reconstituting process of rainbow hologram

(a) in  $yz$  plane; (b) in  $xz$  plane.  $I'$ —holographic image,  $H_2$ —rainbow hologram,  $C_2$ —illuminating wave of  $H_2$ ,  $R_2^*$ —conjugate wave of  $R_2$ ,  $S'$ —holographic image of slit

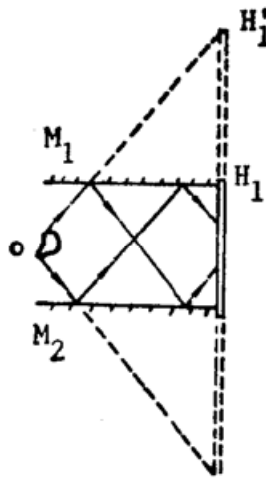


Fig. 5 Equivalent hologram

据需要也可以很容易地获得物体的再现实像或虚像,从而满足了实像显示的需要。

通过实验发现,  $C_1$  与  $R_1$  不严格共轭时,只要  $M_1$ 、 $M_2$  平整度较好,仍能再现出完整清晰的象,只不过在不同的观察位置看到的再现像的位置有些差别,但并不影响整个观察效果。

### 三、理论分析

下面证明,不管两面反射镜性质如何?采用图 2、图 3 和图 4 光路都能获得物体的再现实像。这仅需证明图 3 中的再现物光波与原物光波共轭即可。

记入射物光波在  $H_1$  左边的分布为

$$O(x, y) = O_0(x, y) \exp[i\varphi_0(x, y)], \tag{1}$$

参考光波  $R(x, y)$  和照明光波  $C(x, y)$  分别为

$$R(x, y) = r_0(x, y) \exp[i\varphi_r(x, y)], \tag{2}$$

$$C(x, y) = c_0(x, y) \exp[i\varphi_c(x, y)], \tag{3}$$

这样,图 2 中全息干板  $H_1$  上记录的光波为

$$H(x, y) = O(x, y) + R(x, y), \tag{4}$$

当进行线性记录时,全息图的透光率可表示如下<sup>[7]</sup>:

$$T_h(x, y) = aH(x, y)H^*(x, y) = a\{o_0^2(x, y) + r_0^2(x, y) + O(x, y)R^*(x, y)\}$$

$$+R(x, y)O^*(x, y)\}, \quad (5)$$

或简称作

$$T_h(x, y) = a\{o_0^2 + r_0^2 + OR^* + RO^*\}, \quad (6)$$

当共轭再现时

$$O(x, y) = R^*(x, y). \quad (7)$$

全息图的衍射光波为

$$D(x, y) = T_h(x, y)O(x, y) = a\{[o_0^2 + r_0^2]R^* + r_0^2O^* + OR^*R^*\}, \quad (8)$$

式中  $ar_0^2O^*$  是物光波  $O$  的共轭波项, 其中  $ar_0^2$  是实系数, 它只影响  $O^*$  的光强分布, 并不影响  $O^*$  的波前形状。这就是说衍射波  $ar_0^2O^*$  在  $H_1$  左边的传播光路与(1)式物光波  $O$  的完全相同, 只是方向相反, 由光学系统的光路可逆性可知, 在物体  $O$  处可得到原物发出光波的反向传播波, 即物波的共轭波, 这就说明了由图 3 再现的物光波的共轭波没有畸变。

## 四、实验结果与讨论

实验用天津 I 型干板, 使用两块  $10 \times 25 \text{ cm}^2$  反射镜制作了一小玩具兔的彩虹全息图, 面积为  $8 \times 9 \text{ cm}^2$ , 用激光再现出的狭缝像长达半米以上, 而且狭缝像两端向外无限延伸, 只是光强越来越弱而已。

作者认为, 狭缝像两端不够明亮的原因主要有两点, 一是反射镜反射率的影响, 因为狭缝越靠边缘, 对应的物光在记录时, 在反射镜上反射的次数越多, 因而也就越弱; 另一方面是全息图体效应的影响, 因为越靠狭缝像边缘, 对应的物光线与参考光线的夹角越大, 因而体效应也就越强, 相应的衍射效率也就越低。采用高反射镜和薄胶层的干板, 即可克服以上两点带来的影响。

## 五、小 结

本文利用全息图的光路可逆性质, 巧妙地使用了反射镜, 用小口径的透镜记录了小物体的大视角彩虹全息图, 其视角可接近  $180^\circ$ , 是以往任何技术都难以达到的。本文的技巧可灵活地应用于其他类全息图的制作, 例如, 利用圆筒状反射镜制作周视菲涅耳全息图或彩虹全息图。作者正致力于这方面的工作, 相信本技术对于全息显示, 尤其是模压彩虹全息图的商品化将有重大的经济意义。

本文曾得到于美文教授和张静芳博士的帮助, 在此深表感谢。

## 参 考 文 献

- [1] S. A. Benton; *J. O. S. A.*, 1969, **59**, No. 11 (Nov), 1545.
- [2] S. A. Benton; *Proc. ICO Conference on Application of Holography & Optical Information Processing*, (Pergamon Press, New York, 1978), 401.
- [3] H. Chen, F. T. S. Yu.; *Opt. Lett.*, 1978, **2**, No. 4 (Apr), 85.
- [4] E. N. Leith, H. Chen et al.; *Appl. Opt.*, 1979, **17**, No. 20 (15 Oct), 3187.
- [5] 单启菡, 陈桂丛等; *光学学报*, 1989, **9**, No. 3 (May), 232~235.
- [6] R. J. 科利尔, C. B. 伯克哈特等; *光全息学*. (机械工业出版社, 北京, 1983), § 13.1, § 13.2.
- [7.] 于美文等; *光学全息及信息处理*, (国防工业出版社, 北京, 1984), 7, 17.

## Two-step rainbow holography with large-viewing-angle

WANG DIANMIN, HA LIUZHU AND WANG MINCAO

(*Optical Engineering Deptment, Beijing Institute of Technology*)

(Received 22 January 1990; revised 16 April 1990)

### Abstract

By using the optical path reversibility of hologram, we have made the large-viewing-angle rainbow holograms by means of two reflection mirrors. The viewing angle of the hologram is close to  $180^\circ$ . The process includes two steps, and does not need any special or expensive optical element. The experimental result is presented and analysed.

**Key words:** large-viewing-angle, two-step rainbow holography; holography.

---

### 生物发光和化学发光分析应用学术讨论会在苏州举行

中国物理学会和中国生物物理学会主办的生物发光和化学发光分析应用学术讨论会于1990年5月21日~25日在苏州举行,全国十六个省市的110名代表参加了会议。会议收到论文121篇,收集入《会议论文摘要汇编》111篇。在全体大会上报告的论文10篇,在分组会上报告的论文54篇。

这次学术讨论会交流的论文内容,涉及到生物发光和化学发光的各个侧面,它包括生物超微弱发光、生物发光、化学发光、细胞发光、体表发光、激光生物学、铜系荧光以及微量元素荧光分析等;从生物光学的物理特性和反应机理的研讨,到有关多学科的应用研究。

这次学术讨论会体现了物理学与生物学、医学;化学与生物学、医学的密切结合,以及学科间的相互渗透;体现了发光理论和技术研究的多学科的横向联系。

这次会议还反映了发光应用面极广,同时也反映了我国近几年在发光的研究和应用中新的发展。例如,活性氧和超微弱发光的研究、淋巴细胞的发光、某些微量元素的测定、生物发光的广泛应用、铜系元素荧光分析等研究,有的工作跟踪着国际水平,代表了学科的发展前沿。但是,从这次会议也可看到我国的生物发光和化学发光的整体工作,距国际先进水平尚远,所用的研究工具和手段还较落后。

(乙 民供稿)