

# 二步合成平板周视彩虹全息术\*

张晓春 郭永康 郭履容

(四川大学信息光学研究所, 成都 610064)

何龙庆

(安庆师范学院物理系, 安庆 246001)

**摘 要** 提出一种将物光波前先分解记录,再合成的二步平板周视彩虹全息术.波前的分解记录与合成彩虹全息图是分别通过转动物体和干板来实现的.记录这种周视全息图,不需要大孔径和其它特殊光学元件,即可获得周视半径大的无象差立体再现象.该方法可直接用于模压全息图母板的制作.

**关键词** 彩虹全息术, 周视, 合成全息图.

## 1 引 言

平板周视彩虹全息图<sup>[1~4]</sup>的再现方式不同于普通的彩虹全息图,它是在全息图下方中垂线上的白光点光源的照明下,观察者可以从它上方的360°环象内看到物体的再现象,因而大大扩展了彩虹全息图的观察范围.

将物周视波前等分分割后逐次记录,合成周视全息图的方法由本文献[5]的作者首先用于制作圆筒形360°象散彩虹全息图<sup>[5]</sup>.本文提出另一种两步合成平板周视彩虹全息图的方法.其基本做法是:将物360°的光波前分为几个等分,通过转动物体,将它们分别记录在同一张干板上的不同区域,得到几幅条形菲涅尔主全息图;再用这些主全息图的共轭再现实象合成能够周视的平板彩虹全息图.本方法采用的记录光路简单,操作不难,并且不需要大孔径<sup>[2,4]</sup>或特殊<sup>[1]</sup>的光学成象元件,就可以获得周视半径大,再现象无象差的全息图.

## 2 方法描述和原理

第一步记录光路如图1所示.物体O由两束光照明,用平行光束 $R_1$ 作参考光.全息干板 $H_1$ 前置一狭缝S.曝光后,在 $H_1$ 上形成第一幅菲涅尔全息图 $H_{11}$ .然后转动物体 $\theta$ 角,并将 $H_1$ 平移一定距离进行第二次曝光,得到第二幅条形菲涅尔全息图 $H_{12}$ ;这样继续下去,经 $n$ 次曝光,便将物360°周视波前记录于 $n$ 幅条形菲涅尔主全息图上.记录过程每次转动的角度:

收稿日期:1993年12月7日;收到修改稿日期:1993年5月11日

\* 本课题得到国家教委博士点基金的资助.

$$\theta = 360^\circ/n \tag{1}$$

为使以后的彩虹全息图再现狭缝衔接形成闭合的周视多边形狭缝，每一菲涅尔主全息图长度  $l$  应为：

$$l = 2h \operatorname{tg} (\theta/2) \tag{2}$$

式中  $h$  是  $H_1$  到物转动轴  $AA'$  的垂直距离。

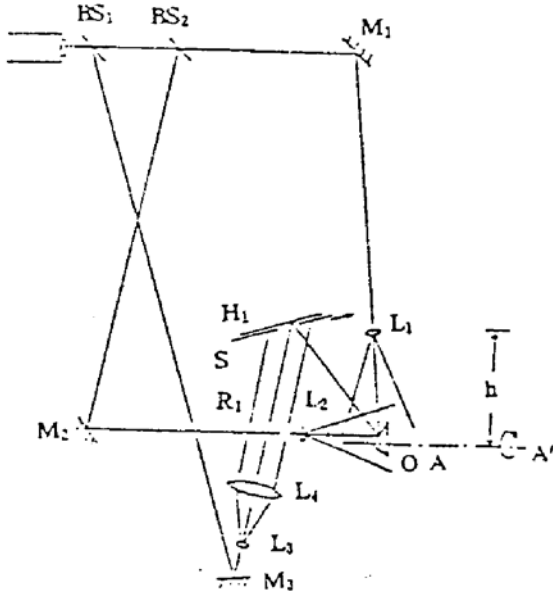


Fig. 1 Optical setup of recording master holograms

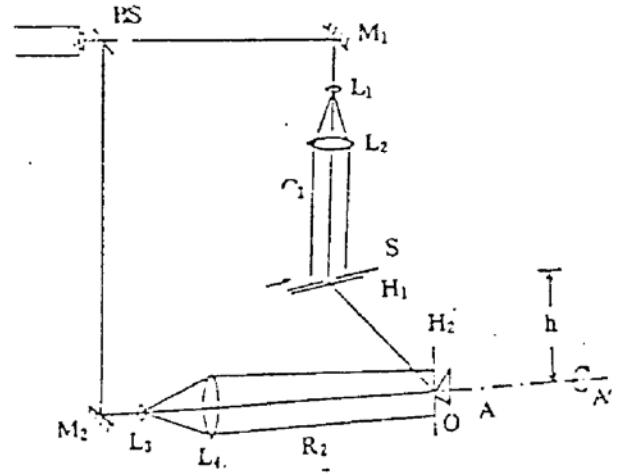


Fig. 2 Optical setup of recording circular viewing rainbow hologram

第二步将分解记录的周视物波前合成为周视彩虹全息图。记录光路如图 2 所示。将  $H_1$  放于原位，让  $H_{1i}$  置于狭缝  $S$  处；原来放置物体的转动平台保持不动，用于夹持记录干板  $H_2$ 。图中  $C_1$  是图 1 中  $R_1$  的共轭光束；参考光束  $R_2$  是正对  $H_2$  入射的球面会聚光束，其光轴与  $H_2$  的转动轴  $AA'$  重合。从第一幅子全息图  $H_{11}$  开始，直至  $H_{1n}$ ，使  $H_2$  经多次曝光。每次曝光后，以转动物体同样的方向将  $H_2$  转动  $\theta$  角，再精确平移下一子全息图于  $S$  处。这样历经几次曝光后，使第一步被分割记录的波前合为一体。显、定影后即形成可周视  $360^\circ$  的平板型彩虹全息图。当以图 3 所示的白光源照明  $H_2$  时，将再现出一个合为一体的立体物象。人眼可通过  $H_2$  上方  $360^\circ$  的多面形彩虹环带实象看到这个立体象。

图 4 表示将  $360^\circ$  多面环带物波前分为六等分的情形。注意坐标系固定在物体  $O$  上。逐个曝光后，各条形菲涅尔全息图上形成的复振幅透过率分布分别是：

$$\tau_i \propto |U_{R1}(i\theta)|^2 + |U_{1i}|^2 + U_{R1}^*(i\theta) \cdot U_{1i} + U_{R1}(i\theta) \cdot U_{1i}^*, \quad (i = 0, \dots, 5), \tag{3}$$

式中  $U_{R1}(i\theta)$  表示参考光  $R_1$  在第  $i$  次记录中相对于坐标系的复振幅表达式。

图 5 是合成周视彩虹全息图的原理示意图。转动坐标系附在  $H_2$  上。显然，各次由  $C_1$  再现的主全息图  $H_{1i}$  依次产生的波前为  $U_{1i}^*$ 。设  $U_{1i}^*$  传播至  $H_2$  时，其复振幅分布为  $U_{0i}^*$ ，并设多次曝光仍使记录干板  $H_2$  保持在线性记录区域内，则显影后其复振幅透过率  $\tau_2$  为：

$$\tau_2(x, y) \propto (6|U_{R2}|^2 + \sum_{i=0}^5 |U_{0i}|^2) + \sum_{i=0}^5 U_{R2}^* U_{0i}^* + \sum_{i=0}^5 U_{R2} U_{0i} \tag{4}$$

记  $U_0 = \sum_{i=0}^5 U_{0i}$ ，则：

$$\tau_2(x, y) \propto (6|U_{R2}|^2 + \sum_{i=0}^5 |U_{0i}|^2) + U_{R2}^* U_0^* + U_{R2} U_0, \tag{5}$$

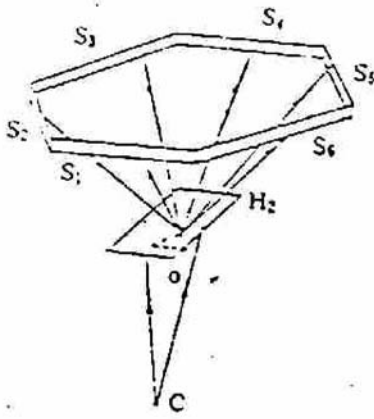


Fig. 3 Reconstruction of the rainbow hologram

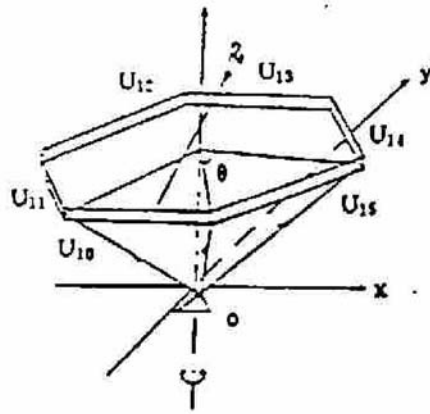


Fig. 4 Schematic diagram of recording Fresnel holograms of each sub-wavefront

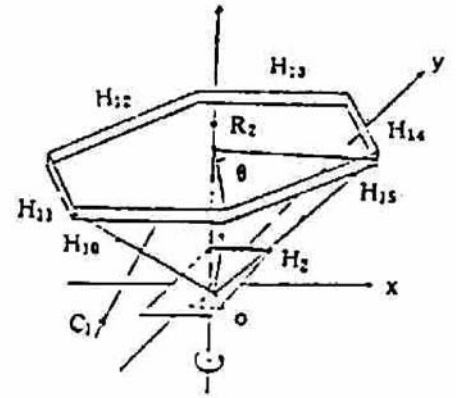


Fig. 5 Schematic diagram of synthesizing circular viewing rainbow hologram

因此，用  $C = U_{12}$  照明  $H_2$  时，(5) 式中第四项  $U_0$  被重现出来，既周视物波前被重现。

### 3 实验与结果

采用图 1 和图 2 所示的光路，用 He-Ne 激光器和天津 I 型全息干板记录了“小鸭与兔”模型的周视彩虹全息图。选取参数如下： $n = 8$ ， $\theta = 45^\circ$ ，准直透镜的有效孔径是 180 mm，现取  $l = 175$  mm，由(1)式算出  $k \approx 211$  mm。物体 O 离  $H_{11}$  约 500 mm，狭缝的宽度为 6 mm。经第一步 8 次曝光并处理后的主全息图置于记录光路的原位置，以原放置物体的转动盘夹持住全息干板  $H_2$ ，然后用与  $R_1$  共轭的光束  $C_1$  照明  $H_{11}$ ，则  $H_{11}$  的再现像位于  $H_2$  附近并与原物的位置重合。在两步记录过程中，每次曝光后精确移动  $H_{11}$  至  $H_{11}$  位置，并转动物体(第一步记录)或转动  $H_2$ (第二步记录)  $45^\circ$  角。

虽然经多次曝光势必造成  $H_2$  衍射效率的下降，但控制参物光强比稍大于 1，并使总曝光量控制得当，仍然可得到高的衍射效率。本文作者经 8 次曝光制作的彩虹全息图，处理后仍得到明亮的图象。图 6 的 (a)、(b)、(c)、(d) 是从不同方位拍摄的再现像黑白照片。可以在  $H_2$  上方  $360^\circ$  内观察到清晰的周视立体象。在各狭缝的交接处也能看到清晰的立体象。但因手工转动角度，角度误差约为几度，使再现像在缝的交接处略有跳动感。这一误差显然易于克服。

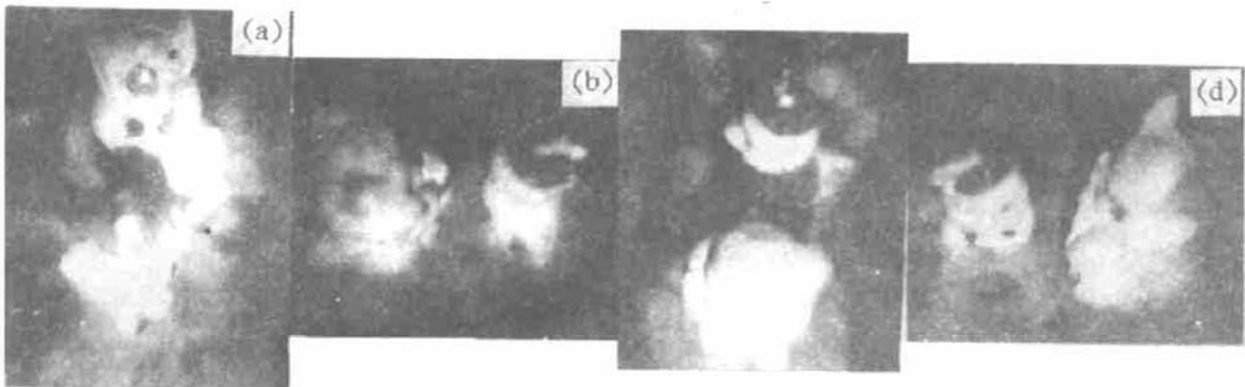


Fig. 6 Photographs of reconstruction image

## 4 结 语

根据作者的经验：每次均以同样的曝光量进行记录。记录银盐干板时，总的曝光量比一般记录普通彩虹全息图的略小；而记录光刻胶板时，总的曝光量则稍大。另外一个办法即采用图 7 所示的二元振幅光栅进行记录。其周期约  $100\ \mu\text{m}$ ，透光部分占  $\frac{1}{8}$ 。让其紧贴记录全息干板  $H_2$ 。每次曝光后，将它和干板转动  $45^\circ$ ，再单独平移该光栅  $12.5\ \mu\text{m}$ ，进行下一次记录。这样，干板各部分都只曝了一次光。由于光栅周期小于人眼分辨率  $200\ \mu\text{m}$ ，不影响图象的清晰度。

本文提出的拍摄周视全息图方法，拍出的彩虹全息图除了具有立体感强，可用于模压复制等平板周视彩虹全息图的特点外，其突出的优点是不需要任何特殊或大孔径的光学元件，拍出的全息图周视半径大，观察效果好，再现像无像差。物体各侧面再现象的重合精度仅取决于  $H_1$  横向移动的精度及物体、 $H_2$  转动角度控制的精度。这些平移与转动易于达到高的控制精度，因而用本法能够制得优质的周视彩虹全息图。

## 参 考 文 献

- [1] 王典民, 哈流柱, 王民草, 周视彩虹全息术. 光学学报, 1990, 10(9): 996
- [2] 江朝川, 张晓春, 郭履容等, 双凹面镜一步周视彩虹全息术. 光学学报, 1993, 13(12): 1149
- [3] 张晓春, 江朝川, 郭永康等 两步正象周视彩虹全息术. 中国激光, 1993, 20(11): 849
- [4] 江朝川, 郭履容, 单凹面镜一步周视彩虹全息术. 中国激光, 1993, 20(B): 597
- [5] Hsuan Chen, Mingyi Chen, Fabrication of a  $360^\circ$  astigmatic rainbow hologram. *Appl. Opt.*, 1983, 22(16): 2474

## Two-Step Synthetic Circular Viewing Rainbow Holography on Plane Holographic Plate

Zhang Xiaochun      Guo Yongkang      Guo Lurong  
(Information Optics Institute of Sichuan University, Chengdu 610064)

He Longqing

(Physical Department of Anqing Normal College, Anqing)

(Received 1993; revised 1993)

**Abstract** A kind of circular viewing rainbow holography on plane holographic plate is proposed, in which a ring object wavefront above it is firstly divided and recorded onto  $n$  strip Fresnel holograms, then synthesized. Dividing the wavefront to record and synthesizing a rainbow hologram are realized by rotating the object and holographic plate respectively. The technique will need no special or large aperture optical element, and can obtain a no-aberration reconstructing image with large viewing radius. It can be applied to fabrication of embossed master holograms.

**Key words** rainbow holography, circular viewing, synthetic hologram.

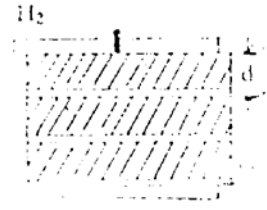


Fig. 7 Binary absorption Grating with 1/8 transparent part