

拍摄二步彩虹全息的新方法

单启蜚 陈桂丛 李 萱

(山东海洋学院物理系)

李孟超

林正行

(上海光学仪器研究所)

(上海第二教育学院物理系)

提 要

本文提出与 Benton 法不同的拍摄二步彩虹全息的新方法。利用二次正全息像获得了二步彩虹全息的正重现像。分析表明,重现像的模、轴向放大率是匹配的,而且本方法排除了 Benton 二步法中使用会聚参考光的主要缺点。文中同时给出实验结果。

关键词:二步法彩虹全息,全息片的薄透镜特性,横、轴向放大率匹配。

一、引 言

Benton 二步彩虹全息^[1]的操作步骤的每一步都利用了会聚球面参考波,因此需大通光孔径的透镜。尤其是在制作大彩虹全息片时,要获得符合要求的大通光孔径的透镜是困难的。

彩虹全息片作为三维像观察时,必须在白光重现下获得正象。Benton 二步法中是分别由二步中的两个虚像来得到重现正像的。但若利用二步中的两个正像,则最后的重现像亦应为正像的。本文利用全息片的等效薄透镜特性^[2]指出,由两个正像的方法可毋需利用会聚参考光,即可利用发散球面波参考光,因而毋需利用大通光孔径透镜。

二、理论分析

作者等人证明了在计算全息重现像的轴向位置及横、轴向放大率时,全息片等效于一个薄透镜^[2]。令 λ_1 及 λ_2 分别为记录及重现时的波长, (x_0, y_0, z_0) , (x_r, y_r, z_r) , (x_p, y_p, z_p) 及 (x_i, y_i, z_i) 分别为物 O_1 、参考波点源 C_1 、重现波点源 C_2 及重现正像 I 的坐标(图1)。全息图的物(正)像轴向位置关系满足高斯公式

$$\frac{f_{iH}}{z_i} + \frac{f_{oH}}{z_0} = 1, \quad (1)$$

$$f_{iH} = \left(\frac{1}{z_p} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{1}{z_r} \right)^{-1}, \quad f_{oH} = \left(\frac{1}{z_r} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \frac{1}{z_p} \right)^{-1}, \quad (2)$$

分别为全息片的像方和物方的等效焦距。从(2)式得

$$\frac{f_{iH}}{f_{oH}} = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad (3)$$

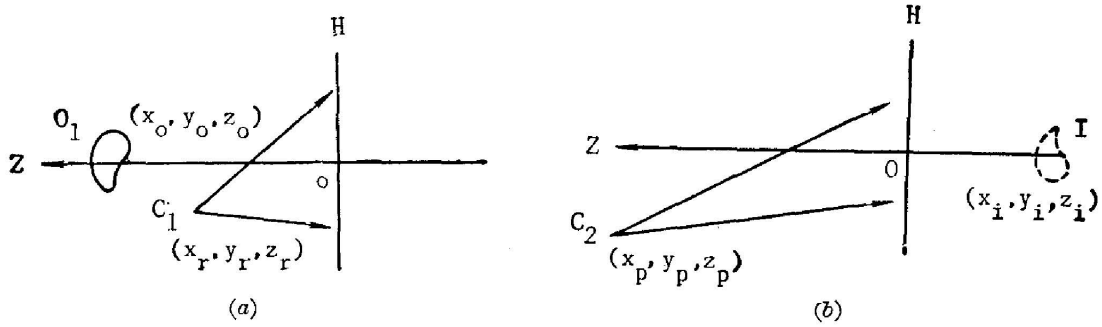


Fig. 1. Recording configuration of the first step of this method

- (a) O_1 , object; H , recording plate; C_1 , reference beam point source.
- (b) H , recording plate; C_2 , reconstruction point source; I , image

与几何光学公式 $(f_i/f_o) = -(n_i/n_o)$ 比较, 可以引入全息片的像方及物方等效折射率, 它们的比值为

$$\frac{n_{iH}}{n_{oH}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (4)$$

如果认为全息片的物方等效折射率为 1, 则像方等效折射率为 $n_{iH} = (\lambda_1/\lambda_2)$, 当 $\lambda_1 = \lambda_2$ 时, $n_{iH} = n_{oH} = 1, f_{iH} = -f_{oH}$.

全息成像的横、轴向放大率及两者间的关系也和几何光学中的公式一致

$$M_x = \frac{n_{oH}}{n_{iH}} \frac{z_i}{z_o}, \quad M_y = \frac{n_{oH}}{n_{iH}} \frac{z_i}{z_o} \quad (5)$$

$$M_z = \frac{n_{oH}}{n_{iH}} \left(\frac{z_i}{z_o} \right)^2 \quad (6)$$

$$M_x = \frac{n_{iH}}{n_{oH}} M_{x0}^2 \quad (7)$$

综上所述, 我们可以用一个“等效薄透镜”综合全息拍摄及重现的全过程, 而使全息成像过程的分析及拍摄全息片时光路的设计, 归结为几何光学问题。

下面将从这种全息片和薄透镜的对应关系出发, 指出可以用正正二步方案代替 Benton 法中的赝赝二步方案来拍摄二步彩虹全息。其拍摄和重现的全过程如图 2 所示。

从 (2) 式可知, 在二步彩虹全息第一步母片制作中, 只要适当选取参考波及重现波点源轴向坐标 z_n 及 z_{p1} 的数值, 就可使全息片物方等效焦距 $f_{oH1} > 0$, 即全息片等效于一个正透镜

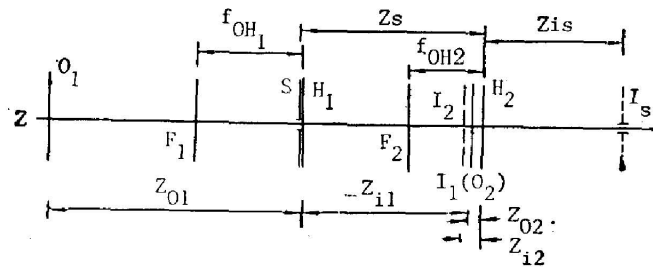


Fig. 2 Geometry of optical arrangement in two steps of this method

- O_1 , object; H_1 , recording plate in the first step; F_1 and F_2 , focal points of equivalent thin lens of the recording plate in the first step; S , a slit in the second step; $I_1(O_2)$, reconstruction image in the first step utilized as the object in the second step; I_2 , thereconstruction image in the second step; H_2 , recording plate in the second step; I_s , slit image

(注意图 2 中坐标正向的选取)。这时如果物轴向坐标 $z_{01} > f_{0H1}$, 则可在全息重现时获得一个正实像(其轴向坐标 $z_{i1} < 0$)作为第二步中的物。

在第二步由全息母片制作彩虹全息片过程中, 为了减少模糊, 第二张全息片放在“物”(即全息母片的重现像)附近(近像面全息), 最后获得的彩虹全息重现像将大体上在“物”的位置, $z_{i2} \sim z_{02} \sim 0$ (第二步中坐标原点改在第二张全息片处), 此情形相当于物经过紧靠它的薄透镜成像。狭缝(图 2 中的 s)加在全息母片处, 其轴向坐标为 z_s 。同理, 只要适当选取参考波及重现波点源轴向坐标 z_{r2} 及 z_{p2} , 可使第二张全息片也等效于一个正透镜(即 $f_{0H2} > 0$), 且 $f_{0H2} < z_s$, 于是狭缝重现像(图 2 中的 I_s)为全息片右方的实像(其轴向坐标 $z_{is} < 0$), 满足彩虹全息的要求。

第一步中的横、轴向放大率为

$$M_{x1} = M_{y1} = (z_{i1}/z_{01}), \quad M_{z1} = (z_{i2}/z_{02}), \quad (8)$$

第二步中横、轴向放大率为

$$M_{x2} = M_{y2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{z_{i2}}{z_{02}}, \quad M_{z2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \left(\frac{z_{i2}}{z_{02}} \right)^2. \quad (9)$$

总横轴向放大率匹配关系应满足

$$|M_{x1} \cdot M_{x2}| = M_{x1} \cdot M_{z2}, \quad (10)$$

将(8)、(9)式代入(10)式得

$$\left| \frac{z_{i1}}{z_{01}} \frac{z_{i2}}{z_{02}} \right| = 1. \quad (11)$$

三、数值计算及实验结果

在我们的实验中, 选取 $(\lambda_2/\lambda_1) = 0.8$, $z_{p2} = 120 \text{ cm}$, $z_{is} = -50 \text{ cm}$, $z_s = 64 \text{ cm}$, 由(1)式和(3)式算得 $f_{0H2} = 24.6 \text{ cm}$ 。再由(2)式算得 $z_{r2} = 19.6 \text{ cm}$ 。取 $z_{02} = 4 \text{ cm}$, 计算结果为 $z_{i2} = 6 \text{ cm}$ 。由(11)式知为满足横、轴向放大率的匹配, 必须有

$$\left| \frac{z_{i1}}{z_{01}} \right| = \frac{2}{3}. \quad (12)$$

由 $z_s = z_{02} - z_{i1}$ (见图 2), 得 $z_{i1} = -60 \text{ cm}$ 。由(12)式得 $z_{01} = 90 \text{ cm}$, (1)式和(3)式算得 $f_{0H1} =$

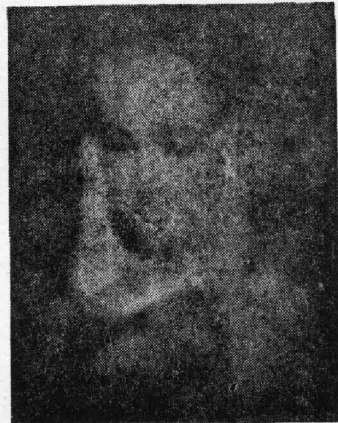


Fig. 3 Photo of white light reconstructed image of a rainbow hologram

36 cm, 取 $z_{p1} = 100$ cm, 再由 (2) 式算得 $z_n = 26.5$ cm。

实验证明上述计算与实验结果一致。图 3 为在白光重现下彩虹全息重现像的照片。

四、结 论

由于本文所述的新方法的产生, 当人们需要扩大二步法彩虹全息的视场角^[3]时, 就不会再象 Benton^[1]法中的那样受到成像透镜的孔径限制了。并且, 已经证明: 使用这种新方法所得到的重现像能近似满足横、轴向放大率匹配关系, 因而是一种很有实用价值的方法。

参 考 文 献

- [1] S. A. Benton; *J. O. S. A.*, 1969, **59**, No. 4 (Oct), 1545A.
- [2] 单启蜚, 陈明仪, 陈桂丛; 《山东海洋学院学报》, 1987, **17**, No. 1 (Jan), 46.
- [3] F. T. S. Yu; Anthony M. Tai *et al.*; *Opt. Engng*, 1980, **19**, No. 5 (Sep/Oct), 666.

A new method for fabricating two-step rainbow hologram

SHAN QIZHE, CHEN GUICONG, LI XUAN
(Dept. of Physics, Shandong College of Oceanology)

LI MENGCHAO
(Shanghai Optical Instrument Research Institute)

LIN ZHENGXING
(Dept. of Physics, Shanghai Second Institute of Education)

(Received 9 November 1987; revised 23 May 1988)

Abstract

Unlike the Benton two-step rainbow holographic process, a new technique for making the two-step rainbow holograms is presented. Orthoscopic holographic images produced separately in both steps are used and the final reconstructed image is orthoscopic under white light illumination. Analysis indicates that the reconstructed image with matched longitudinal-lateral magnification can be obtained and furthermore, the use of converging reference waves, an major obstacle of making Benton's two-step holograms, is removed. Experimental results are included.

Key words: two-step rainbow holographic process; thin lens feature of holograms; match longitudinal-lateral magnification.