

长狭缝一步彩虹全息

单启蛰 陈桂丛 牟幸福 顾久静 林挺

(山东海洋学院物理系)

提要: 本文提出了利用菲涅耳透镜作为成像透镜的一步彩虹全息方法, 得到了明亮清晰的重现正像。与一般一步彩虹全息相比, 得到的重现像具有大观察范围的优点。

One-step rainbow holography with a long slit

Shan Qizhe, Chen Guicong, Mou Xingfu, Gu Jiujing, Lin Ting

(Department of Physics, Shandong College of Oceanology)

Abstract: An one-step rainbow holographic process using a Fresnel lens as imaging lens is presented. A bright and sharp reconstructed image is obtained. As compared with the conventional one-step rainbow holography, this technique offers the advantage of wide field of view.

引言

H. Chen 等人提出的一步彩虹全息方法^[1]简化了 Benton 两步法^[2]拍摄彩虹全息片的繁琐手续, 而且得到了高象质的全息重现现象。在 Benton 二步法中, 利用母片的物实象拍摄彩虹全息片时, 母片不可避免带来物实象的本底噪声。一步法中将母片用透镜取代时, 由于透镜成象的本底噪声较母片的低, 因此一步法对提高象质是有利的。

一步彩虹全息方法最大缺点在于观察范围受到透镜孔径的限制^[3, 4]。为了获得大的观察范围, 应采用大孔径及短焦距的成象透镜。满足这种要求的成象透镜的价格是昂贵的, 而且这似乎并不现实。因此一步彩虹全

息的观察范围角(重现狭缝象长度对重现象点的张角)一般不超过 $\pm 5^\circ$ 。应用柱面镜的象散一步彩虹全息^[5]解决了大观察范围的可能性。但象散一步彩虹全息的象深只能限制在 1 m 左右, 不能重现大观察范围的浅象。

本文采用菲涅耳透镜拍摄大观察范围的浅象一步彩虹全息。该方法具有拍摄光路简单, 低噪声等一步法的优点, 同时克服了一步法小观察范围的缺点, 因此得到的重现现象视差配景关系是令人满意的。

拍摄光路及原理

我们采用的彩虹全息拍摄光路如图 1^[6]所示。图中成象透镜 L 为菲涅耳透镜, 狭缝

收稿日期: 1984年7月28日。

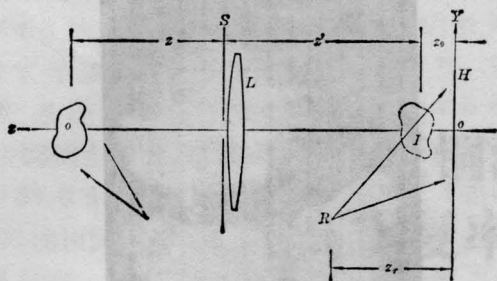


图 1

S 紧贴透镜。全息成象关系由下式表达^[7]

$$\frac{1}{z_1} = \frac{1}{z_p} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 z_r} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 z_o}, \quad (1)$$

$$x_i = \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_o} x_o - \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_r} x_r + \frac{z_i}{z_p} x_p, \quad (2)$$

$$y_i = \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_o} y_o - \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_r} y_r + \frac{z_i}{z_p} y_p, \quad (3)$$

式中 (x_o, y_o, z_o) 为图 1 中物 O 经菲涅耳透镜后的象 I 的坐标, (x_r, y_r, z_r) 为参考点源 R 的坐标, (x_p, y_p, z_p) 为重现实象坐标(图中未标出), λ_1 及 λ_2 分别为拍摄及重现时波长, (x_i, y_i, z_i) 为重现实象坐标。由图 1 可知, 狭缝离全息底片 H 的距离为

$$z_s = z' + z_o. \quad (4)$$

由(1)式, 当 z_r 足够小时, 狭缝重现实象坐标 $z_{is} < 0$, 即狭缝重现实象为图 1 中全息片右端的实象。

由图 1 及 (1) 式, 不难得到以下各关系式:

$$\frac{1}{z} + \frac{1}{z'} = \frac{1}{f}, \quad (5)$$

$$\frac{1}{z_{io}} = \frac{1}{z_p} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 z_r} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 z_o}, \quad (6)$$

$$\frac{1}{z_{is}} = \frac{1}{z_p} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 z_r} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 z_s}, \quad (7)$$

(5)~(7) 式中, f 为菲涅耳透镜焦距, z_{io} 及 z_{is} 为物及狭缝重现实象的 z 坐标。

当 $z \neq z'$ 时, 菲涅耳透镜成象关系的横-轴向放大率是不匹配的。当 $z_p \neq z_r$ 时, 由(1)~(3)式知, 全息成象关系的横-轴向放大率也是不匹配的。但合理选取光路中各参量, 不难得到图 1 光路系统的横-轴向总放大率

的匹配关系。

设菲涅耳透镜的横、轴向放大率分别为 β_L 及 α_L , 则

$$|\beta_L| = \left| \frac{z'}{z} \right| \quad (6)$$

$$|\alpha_L| = \beta_L^2 \quad (7)$$

全息成象的横、轴向放大率分别为 β_H 及 α_H , 则由(1)~(3)式,

$$\beta_H = \frac{dx_{io}}{dx_o} = \frac{dy_{io}}{dy_o} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \frac{z_{io}}{z_o}, \quad (8)$$

$$\alpha_H = \frac{dz_{io}}{dz_o} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \left(\frac{z_{io}}{z_o} \right)^2 \quad (9)$$

用图 1 光路拍摄时, z_r 可能很小, $z_{io} \neq z_o$ 。(8)及(9)式说明这时全息横-轴向放大率可能是高度不匹配的。图 1 中光路系统的总放大率匹配条件为

$$|\beta_L \beta_H| = |\alpha_L \alpha_H|,$$

将(6)~(9)式代入上式, 得

$$z' z_{io} = z z_o. \quad (10)$$

利用(4)~(7)及(10)式可确定拍摄全息的各项参数。

实验结果

实验用 $\lambda_1 = 6328 \text{ \AA}$, $f = 23.4 \text{ cm}$, 选取

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 0.8, \quad z_{is} = -40 \text{ cm}, \quad z_p = 120 \text{ cm}$$

满足(4)~(7)及(10)式的一组参数为:

$$z_s = 42 \text{ cm}, \quad z_r = 15.8 \text{ cm}, \quad z_o = 2 \text{ cm},$$

$$z' = 40 \text{ cm}, \quad z = 56 \text{ cm}, \quad z_{io} = 2.8 \text{ cm}.$$

利用上述参数的实验结果如图 2(a) 及 (b)。由于用该方法得到了长狭缝重现实象, 比较图 2(a) 及 (b), 可知全息重现实象的体视配景效果是明显的。该两照片自重现狭缝的不同位置拍摄, 前后两小天使的相对位置明显不同。

我们采用的菲涅耳透镜的通光孔径 $D = 35 \text{ cm}$, 由(1)~(3)式计算, 知狭缝重现实象长 $D' \approx 27 \text{ cm}$, 对应的观察范围角 $\alpha \approx \pm 18^\circ$ (图 3)。

图 4 为物经菲涅耳透镜成象后直接拍摄



(a)



(b)

图 2

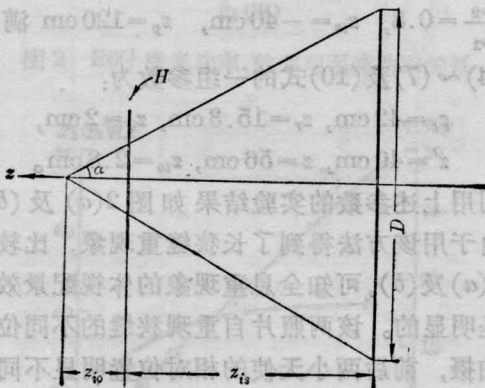


图 3

的照片，拍摄照片时物由 He-Ne 激光照明。激光使照相图片带有散斑，但从图片可知，菲涅耳透镜能成清晰的象，满足拍摄全息的要

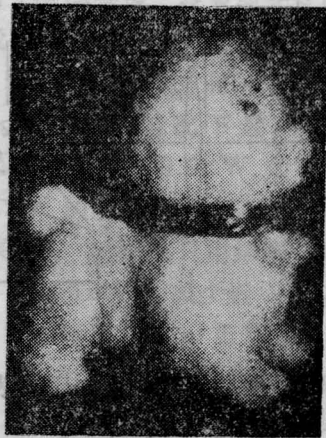


图 4

求。由于近代工艺水平的提高，可以模压出有很细沟槽的菲涅耳透镜，沟槽频率为 200~250 条/英寸。在彩虹全息记录光路中，狭缝是紧贴透镜的，重现时狭缝重现实象的位置即为菲涅耳透镜的重现象位置。因此狭缝重现象的色模糊及重现光源尺寸带来的模糊使菲涅耳透镜的沟槽结构不会影响观察。拍摄彩虹全息中，当要求具有大观察范围的大孔径透镜时，采用廉价的菲涅耳透镜比光学玻璃透镜要优越得多。菲涅耳透镜的球差是得到校正的，全息重现观察时，由于眼瞳仅约 3mm，使球差进一步得到抑制。在我们的实验中，用二块菲涅耳透镜组成如图 5 所示的放大率负一倍附近的光学系统，得到满意的成象效果。

利用图 6 的光路^[8]，不难由两个菲涅耳

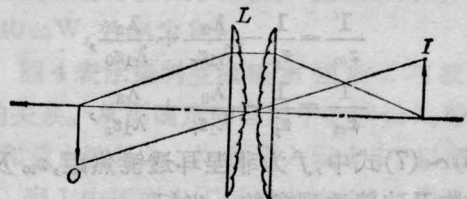


图 5

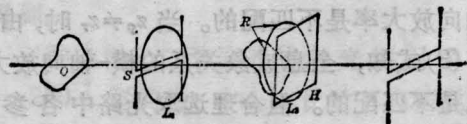


图 6

透镜 L_1 及 L_2 得到长狭缝的大彩虹全息片, 图中 L_1 将物成象在全息底片 H 附近, L_2 紧靠 H , 将狭缝成象在全息底片的右端(实象), 参考点源的位置在 L_2 的前焦面附近, 因此全息片 H 上的参考光接近平行光。我们采用图 6 的装置同样得到清晰的彩虹全息象, 但衍射效率较低。估计是紧贴底片的 L_2 细圆环沟槽结构导致全息片的非均匀曝光带来的后果。

结论及讨论

1. 采用菲涅耳透镜作为成象透镜, 能得到大观察范围的一步彩虹全息片。

S. A. Benton^[6] 提出一步彩虹全息法的“WLT”全息照相机(holo-camera)的原理时, 为了得到大观察范围的重现象, 他建议使用焦距 12", $f/2.5$ 的 Kodak Aero-Ektar 镜头。由该镜头拍摄的全息片的重现象的观察范围角仍只有 $\pm 5^\circ$, 人眼在距全息片 40 cm 观察时, 只有观察者在确定的位置才能使

重现狭缝实象复盖人的双眼, 而本文得出的观察范围角 $\pm 18^\circ$ 的全息片不会受到这种限制。

2. 菲涅耳透镜应用在彩虹全息时使光路设计具有更大的灵活性, 如拍摄二步彩虹全息时需用大透镜得到两个会聚参考光, 若利用菲涅耳透镜获得该两个会聚光应可制作比一般二步法更长的狭缝及更大的全息片。

本工作中得到罗炎炎同志的协助, 特此致谢。

参 考 文 献

[1] H. Chen, F. T. S. Yu; *Opt. Lett.*, 1978, **2**, 85.
 [2] S. A. Benton; *Opt. Soc. Am.*, 1969, **59**, 1545A.
 [3] F. T. S. Yu *et al.*; *Opt. Eng.*, 1980, **19**, 666.
 [4] H. Chen *et al.*; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, 3557.
 [5] H. Chen; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, 3728.
 [6] S. A. Benton *et al.*; Recent Advances in Holography", T. C. Lee, P. N. Tamura Eds., Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., 215, 156 (1980).
 [7] J. W. Goodman; "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill, New York, 1968, pp. 214~218.
 [8] P. N. Tamura; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, 3343.

我国制成微机控制的大功率 CO₂ 激光加工机床

激光加工机床是激光加工的重要设备, 可对各种金属材料 and 工件进行激光相变硬化、激光涂敷、激光合金化、激光微晶化等研究和加工。用微机控制的大功率 CO₂ 激光加工机床是国家科委和上海市科委分别在 1982~1983 年下达的重点研究项目, 由上海光机所、上海电焊机厂、上海起重电器厂共同协作研制。现加工机床实验样机已研制成, 并用它作了激光相变硬化、合金化和涂敷等热处理试验和激光焊接试验, 效果相当好。在适当增加机床附件之后,

能加工的工种范围还可扩大。

该激光加工机床在 1985 年 3 月 30 日至 31 日在上海召开的鉴定会上通过了鉴定, 认为这是我国第一台加工性能比较齐全的激光加工机。有关部门认为, 加快这项成果的推广生产, 对促进我国激光加工的发展具有重要意义, 希望进一步做好中试生产工作。

(纪 钟)

甲	乙	丙	丁	戊	己	庚	辛	壬	癸
1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005