

用大口径和大相对孔径的非球面 反射镜拍摄一步彩虹全息图

王能鹤 沃敏政 路敦武 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文叙述了使用大口径和大相对孔径的物镜制作一步彩虹全息图的优点,描述了非球面反射镜一步彩虹全息装置及其实验结果,并对一些有关的问题作了讨论。

一、引 言

在文献[1]中,报导了用普通胶卷记录全息图以及用场镜观察的特点。在此基础上,我

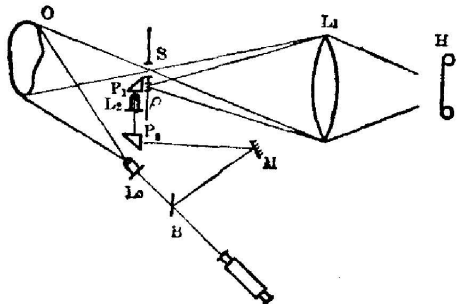


图1 用普通胶卷记录一步彩虹全息的
实验光路图

He-Ne—氦-氖激光器; B—分束器; L_1 —成像物镜; L_2, L_3 —显微物镜; P_1, P_2 —折光棱镜; S—狭缝; ρ —小圆孔; O—物体; H—胶卷
Fig. 1 Schematic diagram of the experimental arrangement for one-step holograms by using normal film
He-Ne—He-Ne laser; B—Splitter; L_1 —Imaging Lens; L_2, L_3 —Microscopic object lens; P_1, P_2 —Folding prism; S—Slit; ρ —Pin hole; O—Object; H—Film

们采取图1所示的实验装置,用普通胶卷记录了一步彩虹全息图。但是这种彩虹全息图有两个缺点。其一是普通胶卷的赛路璐基底噪声与乳胶颗粒噪声都较大,再现时零级光斑较大,以至常迭加在再现像上,使信噪比很低。第二个缺点是立体感不强。为了克服第一个缺点,增加物光与参考光之间的夹角,让参考光不经过成像物镜,并用全息干板记录。这与通常的一步彩虹全息光路^[2]没有什么差别。但是,作为光瞳使用的狭缝像还是不够长,不能两眼同时观察再现像,因此无立体视差。这是目前一步彩虹全息像中普遍存在的问题,也是人们宁可采用二步彩虹全息法的原因之一。我们通过分析,采用大口径和大相对孔径的物镜解决了这个问题。

二、大口径与大相对孔径 物镜的必要性

一步彩虹全息的光路布置可分为正像装置(orthoscopic configuration)与赝像装置(pseudoscopic configuration)^[3]。对于正像装置,狭缝的像距 l_2 应该大于物体的像距 l_1 (图2)。设全息底片的大小为 d_H (稍大于物体的像的

大小)。当狭缝的长度缩短到一点时,要求透镜口径为

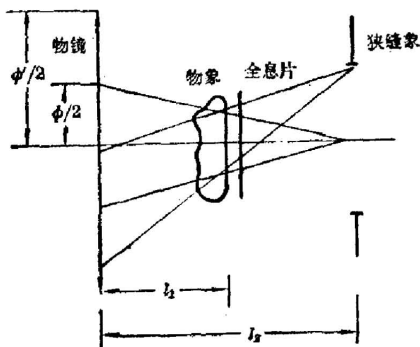


图2 正像装置中物镜口径的确定

Fig. 2 Requirement of imaging lens in the orthoscopic configuration

$$\phi = \frac{l_2}{l_2 - l_1} d_H \quad (1)$$

为了使再现像具有立体感,对物体的每一点来说,狭缝像的长度 d_s 都应大于人的双目间距,因此透镜的实际通光口径 ϕ' 应大于 ϕ :

$$\phi' \geq \phi + \frac{l_1}{l_2 - l_1} d_s = \frac{l_2}{l_2 - l_1} d_H + \frac{l_1}{l_2 - l_1} d_s \quad (2)$$

设 $l_2 - l_1 = l_e$, l_e 接近明视距离,则

$$\phi' \geq \frac{l_1(d_H + d_s) + l_e d_H}{l_e} \quad (3)$$

作为例子,设 $l_1 = 250$ mm, $l_2 = 500$ mm, $d_H = 90$ mm, $d_s = 160$ mm, 则 $\phi' \geq 340$ mm。

因为一步彩虹全息术要求物体成实像,因此物镜的焦距 f 应小于 l_1 。所以,物镜的相对孔径 NA 为

$$NA = \sin \frac{\phi'}{2f'} > \sin \left[\frac{l_1(d_H + d_s) + l_e d_H}{l_e \cdot l_1} \right] \quad (4)$$

在上述数值例子中,设 $f' = 200$ mm, 则 $NA > 0.85$ 。

如果采用虚像装置,则透镜的口径略大于狭缝的长度即可。而且在虚像装置中,狭缝成放大的虚像。因此,狭缝的长度可以小于双目间距。这就大大降低了对物镜的要求。不过,对于三维物体成像来说,由于重构像是“赝”的,故一般没有实际意义。

三、实验布置

在我们的实验中(参看图3),所用的光源1是一个腔长为一米、单模输出的氦-氖气体

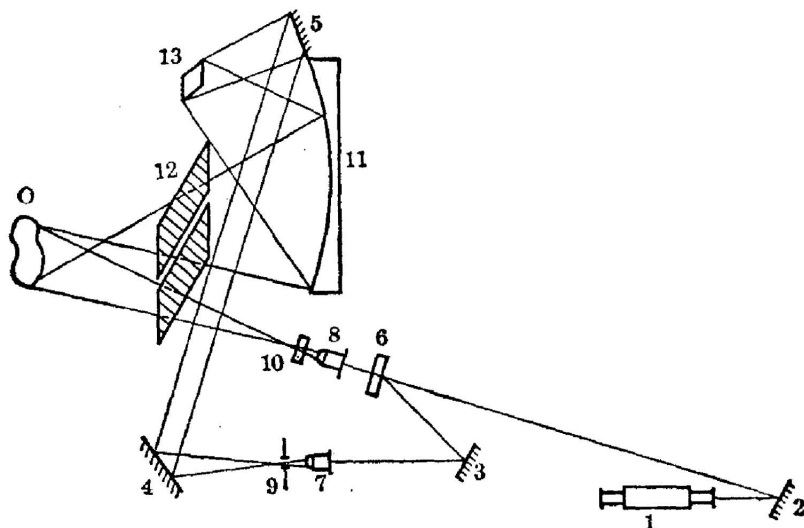


图3 使用大相对孔径反射镜制作一步彩虹全息片的光路示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the optical system for one-step holograms by using an aspherical mirror with a large relative aperture

激光器。发自光源的光线经反射镜 2, 分束器 6 分为两束光。一束光经显微物镜 8 扩束, 再通过毛玻璃 10 照明物体。自分束器经反射后分出的另一束光, 经反射镜 3、显微物镜 7、空间滤波器 9、反射镜 4 和 5 照到干板 13 上。选取显微物镜 7 时, 注意使其能与滤波器的小孔匹配, 并在光路中适当安置, 以使参考光充满干板而又不过大。

我们所用的显微物镜 7 是 $10\times$ 的, 滤波器小孔的直径为 $35\mu\text{m}$; 光阑狭缝的尺寸为 $5\times 70\text{mm}$; 反射物镜的口径是 240mm , 焦距为 230mm ; 参考光与反射物镜光轴之间的夹角约 45° 。实用物镜的相对孔径比前面数值例子小, 因此全息图的实际尺寸为 60mm 。

彩虹全息片 H 的复原像是用 6 伏小灯泡 1、光阑 2、透镜 3 和底片 4 按图 4 的光路拍摄的。全息片相对光源 1 放在观察再现像时的共轭位置, 就可以用普通胶卷拍摄再现的实像。光阑狭缝愈窄, 复原像愈清晰, 但光阑狭缝太窄曝光时间将加长。亦可不用光阑, 而使带红色滤色镜的照相机镜头对准再现的红色像拍摄复原像。

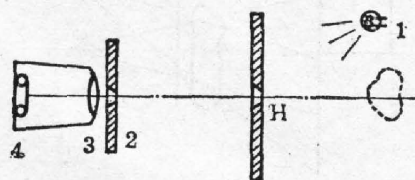


图 4 拍摄彩虹全息片再现复原照片的示意图

Fig. 4 Schematic diagram of reconstructions of the one-step holograms

四、实验结果和讨论

我们分别使用天津 I 型干板和德国 Agfa-Gevaert(10E75 $1.5\sim 1.7\text{mm}$)干板将工艺品猫和鸡作某种布置(主要指二者之间的纵向距离)进行拍摄。在同样条件下, 用两种干板所拍摄的全息片经漂白处理后, 其再现像的质量相近。天津干板感光层的收缩似乎比 Agfa-Gevaert 干板显著, 但用天津干板比用 Agfa-Gevaert 干板拍摄所需的曝光时间短一倍。

1. 彩虹全息片再现像的立体感

由于成像物镜使用的是大口径、短焦距的非球面反射镜, 从信息传输的观点来说, 被摄物体正面和侧面(一部分)的信息都可由物镜传输到干板上, 并被干板所记录; 而从成像的观点来说, 它有较强的景深, 加之我们把狭缝光阑置于被放大的位置。因此, 在既记录了被摄物体的信息、又记录了光阑信息的全息片再现时, 就会得到一个放大的光阑像, 从而使双目可同时置于光阑像中观察被摄物体的再现像, 并犹如基于视差双目观察真实物体那样



图 5 彩虹全息图再现像的复原照片

(a) 一个观察位置; (b) 另一个观察位置

Fig. 5 Reconstructions of the rainbow-hologram

(a) One direction of the viewer; (b) Another direction of the viewer

而具有立体感。图 5 中 a 和 b 是在两个不同位置观察到的复原像。可以看到 (b) 的再现像中有部分重迭, 这就是立体观察中的遮蔽效果。

从我们在不同条件下拍摄的全息片可以看到: 不在像面记录的两个被摄物体的全息再现像比在像面记录其中一个被摄物体的全息再现像的立体感强。其原因可能在于: 不在像面记录被摄物体的全息再现像在干板“里面”, 本身就使我们有一定的深度感之故。

2. 景深

照相物镜焦距短、有效光阑的直径小都可增大景深^[4]。我们对彩虹全息色模糊的计算表明, 理想成像深度是 2 cm 左右, 考虑到彩虹全息并不用于计量, 照相物镜又有很大的放大倍率, 故景深可达 10 cm 以上。

3. 像差

因为我们用大口径非球面反射镜作为制作彩虹全息片的成像物镜, 故无色差 (当使用单色光源, 如氦-氖激光器时, 这个优点没有多大意义), 球差亦不会大。但从图 3 可见, 由于物光对于镜面是傍轴入射, 且物体有一定的高度, 故子午像差较大, 而弧矢像差则不显著。

如用文献[6]所建议使用的非球面透镜作为成像物镜, 不仅可充分利用其口径, 增大视场, 更重要的是物光主要从轴上射向物镜, 因此, 必然会减少像差, 故用其可望得到更好的彩虹全息图。

4. 像模糊

由于我们使用的狭缝光阑的缝宽为 5 mm, 而记录用的全息干板又置于靠近物镜的成像面处, 故用白光再现全息像时, 由光谱带宽所引起的像模糊不严重^[7]。但当拍摄不同距离上的两个物体或数个物体时, 只能使一个物体的像接近成像面, 而其它物体离焦成像。这些离焦成像物体的全息再现像总会有一定程度的像变模糊。从图 5 的 (b) 即可看到: 不在像面的鸡的像变模糊程度比接近像面的猫再现像的像变模糊程度严重。

我们使用的再现光源是 6 伏 15 瓦灯泡, 它的灯丝尺寸约为 2 mm, 灯丝离全息干板 (再现像附近) 的距离约为 300 mm, 因此其张角为 20' 左右。这是影响重构像分辨率的主要因素。

5. 视场

从像差的讨论已经知道, 由于弧矢像差不明显, 故可充分利用水平方向的视场。即宜拍摄扁而宽的物体, 窄而高的物体因受子午像差的制约而不宜拍摄。特别是垂直方向上具有直边界的物体, 由于畸变严重更不宜拍摄。

我们使用该实验装置曾拍摄了我所研制的声光调制器、SW 波导激光器、激光手术刀头、微能量计、F-P 标准具、X 光针孔照相机等装置和仪器。

上述实验结果与文献[6]的理论分析一致。

参 考 文 献

- [1] 王之江等;《激光》, 1979, 6, No. 10 (Oct), 27.
- [2] H. Chen, F. T. S. Yu; *Opt Lett.*, 1978, 2, No. 2 (Jul), 85.
- [3] H. Chen, F. T. S. Yu et al.; *Proc. SPIE*, Vol. 215, «Recent Advances in Holography», (Los Angeles, California, 1980), 162.
- [4] A. U. 杜德罗夫斯基;《光学仪器理论》第一卷 (科学出版社, 1958).

- [5] D. Casasent *et al.*; *Optical Data Processing: Applications*, (Berlin Springer-Verlag, 1978), 165.
 [6] 王之江;《激光》,1980,7, No. 4 (Apr), 3.
 [7] J. C. Wyant; *Opt. Lett.*, 1977, 1, No. 4 (Oct), 130.

Making one-step rainbow hologram by using an aspherical mirror with large aperture and large relative aperture

WANG NENGHE WO MINGZHEN LU DENGWU AND WANG ZHIJIANG
 (Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 1 November 1981)

Abstract

The advantage of fabrication of one-step rainbow hologram by using an imaging lens with large aperture and large relative aperture is that the reconstruction image possesses highly stereoview and orthoscopic view. For example, the aperture and relative aperture of the imaging lens must be more than 340 mm and 0.85, if the size of hologram is 90 mm and the distance of the observer is 250 mm away from the hologram. An aspherical mirror with aperture of 240 mm and focal length of 230 mm is used in the experiments. The equipment with the aspherical mirror as the imaging lens is given. The experimental results and some related problems are discussed. The reconstructed image has a good resolution and high ratio of signal to noise.

.....
 (上接第 37 页)

7 相干性、同相位、噪声与振荡谱线宽度

从经典理论和量子电动力学理论来描述激光的相干性。对受激发射光与入射光相位相同的理解,认为可以解释为:受激发射光和入射光的同相位,乃是光和原子相互作用的结果引起的受激发射的、加上原入射的光子态相同的大数量光子的经典近似,而不是单个光子的属性,只有含有大数量的光子态相同的光子的电磁波,才赋有经典近似下的确定的相位角的意义。不同的看法认为:把光对原子的相互作用比作强迫振动,借以说明发射光的同步,但未能做到完整的本质的阐述。对相干和噪声涉及激光的本质、自发辐射噪声与激光谱线的极限宽度的关系、模式噪声与激态空间和时间相干性的关系,以及在不同场合有不同线宽和分辨率的看法,进行了广泛的讨论。

8 非线性光学

有三个中心发言,来进行讨论。

由安徽光机所的刘颂豪教授,向代表们作了第五届国际激光光谱会议的概况介绍。并代表会议领导小组作了总结。

与会代表一致认为,这次会议与以往宣读研究论文的学术会议不同,它的特点之一是围绕某些基本概念深入探讨它们的实质,比较各种定义或叙述方式的好坏,尤其是对于激光物理的教学起了很好的作用,是这些年来,别具一格的一次学术会议,代表们受益匪浅。特点之二是会议安排了非常充分的讨论时间,甚至比中心发言的时间还长,讨论气氛极其热烈,代表不分从事激光工作的资历如何,不分长幼,不分地位高低,畅所欲言,讨论不作结论(因为认识还有发展)。象这类基本问题和概念的讨论会,必然会对激光工作的发展起积极的促进作用,所以代表们认为今后值得再召开。

(乙氏)