

一种新的预置狭缝法制作彩虹全息图*

何龙庆

(安庆师范学院物理系 安庆 246011)

提要 提出一种新的“预置狭缝法”制作彩虹全息图。该方法除可使光能利用率大幅度提高外,还易制作具有较大视角的彩虹全息图。

关键词 彩虹全息图, 视角, 预置狭缝

1 引 言

两步彩虹全息术中,因第二步记录彩虹全息图的光路中存在限制狭缝,使光能利用率大大降低,这对于以光刻胶为记录材料制作模压彩虹全息母版带来一定困难。采用像散法^[1]、横向面积分割法^[2]及合成狭缝法^[3~5],可在一定程度上提高光能利用率。最近,文献[6]提出一种用预置狭缝制作彩虹全息图的新方法。该方法通过在记录主全息图时,在物体与全息干版间的适当位置预先引入一狭缝,从而可避免在第二步记录彩虹全息图时使用狭缝,该法可将记录彩虹全息图时光能的利用率提高数倍至数十倍,为制作高亮度、高衍射效率的模压全息母版带来很大方便。文献[7]进一步指出文献[6]中能量利用率的提高是以视角损失为代价的,并通过在预置狭缝长端各放置一个平面镜,从而克服了文献[6]中的视角损失。

与文献[6,7]相比,本文提出的预置狭缝制作彩虹全息图法除仍具有大幅度提高光能利用率的优点外,其突出优点是容易获得较大视角的彩虹全息图,且光路简单,易于布置,仅增加一个价廉的菲涅耳透镜。

2 记录方法及原理

记录过程分两步。第一步记录光路如图 1(a) 所示。图中 L 是一普通书写投影仪上的菲涅耳螺纹透镜。为提高成像质量,采用 $1:1$ 成像光路。物体 O 置于菲涅耳透镜前 $2f$ 处,狭缝 S 紧贴菲涅耳透镜。波长为 λ_0 的激光照射物 O 后,其物波信息经 L, S 后成像于后面 $2f$ 处,在此位置放入全息干版,引入与光轴夹角为 θ_R 的平行参考光至 H 平面,经曝光、显影、定影后,即制得一张含有狭缝信息及物 O 信息的主全息图 H_1 。显然, H_1 既是物 O 的像面全息图,又是狭缝 S 的菲涅耳全息图。

第二步记录光路如图 1(b) 所示,用波长为 λ 的共轭光 $R^*(\lambda)$ 再现 H_1 ,去掉狭缝 S ,使 H_1

* 安徽省教委自然科学基金资助课题。

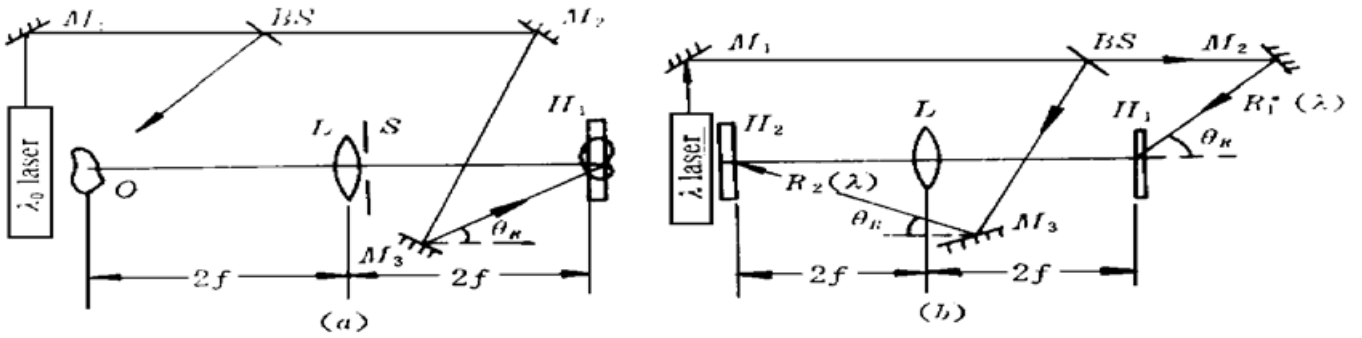


图 1 第一步 (a) 和第二步 (b) 记录光路

Fig. 1 The first step optical setup (a) and the second step optical setup (b)

的共轭像逆光路成像, 将记录材料(例如光刻胶版) H 置于 H_1 再现像的像面附近, 并同样以入射角为 θ_R 的平行参考光 $R_2(\lambda)$ 记录, 经处理后, 即制得 H_2 。当用与 R_2 共轭的白光再现 H_2 时, 物 O 及预置狭缝的像将同时共轭再现, 人眼置于狭缝像的位置(对于白光中波长为 λ_0 的光, 其对应的狭缝像将位于记录 H_1 时预置狭缝 S 的位置^[8]), 即可观察到物 O 的彩虹全息像。

与文献[7] 相比, 本方法可获得更大的视角。在文献[7] 的方法中, 其狭缝像的长度不超过主全息图 H_1 的长度 X_h , 故最大视角应满足 $\theta_{max} \leq 2\arctg X_h/2z_0$ (参见[7] 中的主全息图)。目前常用的全息干版, 其长度一般达 240 mm, 实际可用的最大长度约为 220 mm, 故当取[7] 中的数据 $z_0 = 400$ mm 时, 得 $\theta_{max} \leq 30.8^\circ$, 况且若要使 R_1 及 R_1^* 的光斑有效直径在 H_1 面上均达到 220 mm, 必须要有大孔径的准直透镜。按本文提出的方法, 在狭缝成像的位置, 狭缝像长度由菲涅耳透镜的有效孔径决定, 故其最大视角满足 $\theta_{max} \leq 2\arctgd/2z_0$, 式中 d 为菲涅耳透镜的有效孔径。一般书写投影仪上的菲涅耳透镜, 其有效孔径均达 270 mm 以上。更重要的是: 按本文方法, 其视角大小与 H_1 的长度无关, H_1 的尺寸只要能完整记录下物 O 的像即可, 故无需大孔径的准直透镜以提供大孔径的 R_1, R_1^* 。

值得提出的是, 文献[9] 曾提出一种扩大彩虹全息图视角的位相共轭法, 并使用一种由全息透镜复合而成的全息聚光屏做聚光元件, 其作用相当于本文的菲涅耳透镜, 再现时狭缝像的长度就等于全息聚光屏的长度。为了提高全息透镜的聚光能力, 文献[9] 采用了漂白处理。我们知道, 经线性处理的全息透镜对光波的作用相当于一块平版玻璃、一个负透镜和一个正透镜, 而不能做到线性处理的全息透镜具有多重成像特性, 这必然降低了经全息透镜后所成像的亮度。理论上, 在全息透镜成最亮像的位置, 其最大聚光能力^[10] 为 $1/\pi^2$ 。为了比较全息聚光屏与菲涅耳透镜的聚光能力, 将一块直径为 43 mm, 主焦距约为 315 mm, 亮度很高的位相型全息透镜与所用的菲涅耳透镜在相同条件下成像, 即相同的发光物、相同的物距、相同的通光孔径。并用 LE-3 型激光功率计对像的亮度直接进行测量, 发现在相同条件下, 菲涅耳透镜所成像的亮度是全息透镜所成多重像中最亮的像亮度的 8.5 倍。因此, 使用菲涅耳透镜代替全息聚光屏, 可大大提高光能利用率。另外, 要制作较长(例如达 300 mm) 的全息聚光屏, 并使各部分聚光能力基本一致, 在技术上亦有一定困难, 而且全息聚光屏在漂白处理时, 将不可避免地带来噪声。本文用价廉的大孔径菲涅耳透镜做成像元件, 完全克服了上述困难, 省去了制作全息聚光屏的麻烦, 特别是能大大提高光能利用率。这对于制作模压全息母版非常有益。本文还在实际光路中使用了预置狭缝, 亦使制 H_2 时的光能利用率大幅度提高。

3 实验结果

采用图 1 (a), (b) 所示光路, 分别记录了 H_1 及 H_2 。所用菲涅耳透镜是西北光仪厂的 STY-5 型书写投影仪上的菲涅耳螺纹透镜。该透镜由两个焦距都是 390 mm 的菲涅耳透镜叠合而成, 密接触时的总焦距是 195 mm; 平行参考光 R_1 与光轴夹角 40° ; 物长 100 mm, 至透镜距离 $z_0 = 2f = 390$ mm, 透镜至 H_1 的距离 $z_h = 2f = 390$ mm。为简单起见, 两步记录均采用 32 mW 的 He-Ne 激光, 记录介质是天津 Γ -型全息干版。实验中发现, 当物较大时, 经菲涅耳透镜 L 所成的像有较明显的像场弯曲, 但因记录 H_2 时, 是使 H_1 的共轭像逆光路成像, 故 H_2 的再现像无明显的像场弯曲。图 2 (a), (b) 分别是两个角度摄得的 H_2 的再现像, 视场达 40° , 与前述公式 $\theta_{\max} \leq 2\arctgd/2z_0$ 相符。显然, 若采用 d 更大的菲涅耳透镜, 并未用多束光照明物体以获得物体大视角信息, 在保持 $z_0 = 300 \sim 400$ mm 的情况下, 可望将视场进一步提高。例如, 若 $d = 300$ mm, $z_0 = 300$ mm, 则有 $\theta_{\max} \approx 53^\circ$ 。

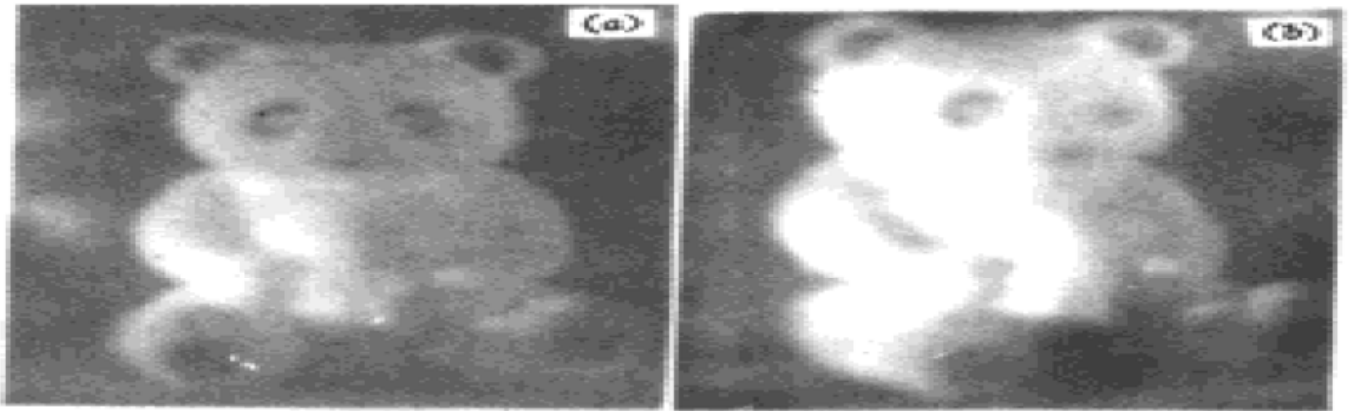


图 2 彩虹全息图白光再现像照片

(a) 前左方视像; (b) 前右方视像

Fig. 2 Photos of the reconstructed image of the H_2

(a) front-left viewing image; (b) front-right viewing image

4 结 论

我们提出了一种新的预置狭缝法制作彩虹全息图, 新方法除具有文献[6, 7]中可大幅度提高光能利用率的优点外, 其突出的优点是易于制得具有较大视角的彩虹全息图。与文献[9]相比, 本方法更为实用、方便, 且光能利用率更高。本方法同样适用于物是二维透明片的情况。若在透镜的不同部位安置预置狭缝, 则同样可对主全息图进行分色。该方法在模压彩虹全息母版的制作中, 具有一定实用价值。

参 考 文 献

- 1 Yu Meiwen, Zhang Jingfang. Holography Display Technology. Beijing: Science Press, 1989. 102 (in Chinese)
- 2 Xie Jinghui, Zhao Yeling, Yu Meiwen. Traversing area partition technique and its application in 2D/3D embossing holograms. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1988, 8(5): 410~ 416(in Chinese)
- 3 Guo Chengshan, Zhou Yanxun, Feng Yufen. Two-step rainbow holography using no slit. *Acta Optica*

- Sinica* (光学学报), 1987, **7**(9): 794~ 798 (in Chinese)
- 4 Wang Ququan, Da Xiaoyi. Theoretical analysis of synthetic slit in rainbow holography. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1993, **A20**(10): 761~ 765 (in Chinese)
 - 5 He Longqing, He Xiamei, Guo Zongming. A new method for 3D diffusion-objects true color rainbow holography. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **A24**(3): 263~ 268 (in Chinese)
 - 6 Liu Yi, Wang Shifan. A simple method of making two-step rainbow hologram with high efficiency and high brightness. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(4): 359~ 362 (in Chinese)
 - 7 Guo Chengshan, Cheng Chuanfu, Liu Wenxian *et al.*. Recording of rainbow holograms by using the method of a pre-existent slit. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **A24**(6): 543~ 545 (in Chinese)
 - 8 Jiang Chaochuan, Fan Cheng, Guo Lürong. True-color rainbow holography of 3D diffused object with single-wavelength laser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1992, **12**(11): 1024~ 1027 (in Chinese)
 - 9 Guo Chenshan. A new method of obtaining large view rainbow hologram—holographic phase conjugation method. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1990, **10**(11): 991~ 995 (in Chinese)
 - 10 Huang Wanyun. Fourier Optics Course. Beijing: Beijing Normal University Press, 1985. 234 (in Chinese)

A New Method with a Pre-existent Slit for Making Rainbow Holograms

He Longqing

(*Department of Physics, Anqing Normal College, Anqing 246011*)

Abstract A new method with a pre-existent slit for making rainbow holograms is presented. This method not only can rise the energy utilization, but it can more easily gain rainbow holograms of a larger viewing angle.

Key words rainbow hologram, viewing angle, pre-existent slit