

用预置狭缝法制作彩虹全息图

国承山 程传福 刘文贤 蔡履中*

(山东师范大学物理系 济南 250014 * 山东大学光学系 济南 250100)

提要 对用预置狭缝法制作彩虹全息图时的视角损失进行了分析,表明该方法能量利用率的提高是以视角损失为代价的。提出了一种在提高能量利用率的同时减小视角损失的方法。

关键词 彩虹全息图, 视角, 狭缝

在以光刻胶为记录材料记录二步彩虹全息图时,由于狭缝的存在,常常使光能的利用率降低,使记录时间增长。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的利用率。最近,又有人提出了一种简单高效的高亮度二步彩虹全息图制作方法^[6]。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,从而避免了在第二步记录彩虹全息图时使用狭缝,使能量利用率得到提高。本文称这种方法为预置狭缝法。

文献[6]对预置狭缝法作了较为详细的分析,指出该方法可以很容易地使能量利用率提高数倍甚至十倍以上。

本文在文献[6]的基础上,重点分析了预置狭缝法中的视角问题,发现在使用同样大小的透镜时,该方法能量利用率的提高是以视角损失为代价的。因此该方法只适用于对视角要求不高的场合。

本文还在文献[6]的基础上,提出了一种在提高能量利用率的同时减小视角损失的简单方法,并给出了有关实验结果。

1 预置狭缝法的视角问题

图 1 所示是预置狭缝法记录主全息图的光路示意图。由图 1(a) 可见,在全息图衍射效率及狭缝长度相同的条件下,该方法的光能利用率与传统两步彩虹全息记录方式的光能利用率之比为^[6]

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{y_h}{b} = 1 + \frac{z_h(y_0 + b)}{z_0 b} \quad (1)$$

因此,适当增大主全息图到预置狭缝的距离 z_h , 可以大大提高光能利用率。这对于以光刻胶版为记录材料的激光印刷来说,是非常有利的。

但是,由于受透镜孔径限制,参考光束直径是一定的。当我们从图 1(b) 所示的角度考察该记录光路时就会发现,随着 z_h 的增大,利用该方法得到的彩虹全息图的再现狭缝长度 x_b 将

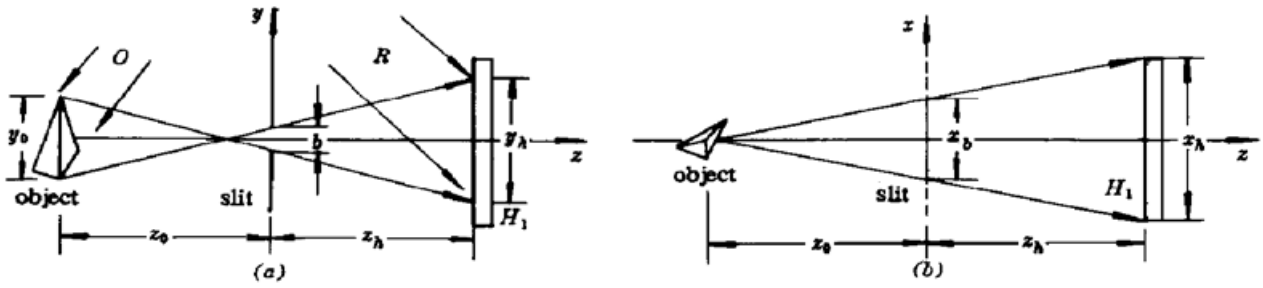


图 1 用预置狭缝法记录主全息图的光路示意图

(a) $y-z$ 平面; (b) $x-z$ 平面

Fig. 1 Recording configuration of the primary hologram by using the method of pre-existent slit

(a) $y-z$ plane; (b) $x-z$ plane

相应减小,也就是说,其有效视角将变小。根据图 1(b) 所示的光路几何,若用传统两步彩虹全息法记录时有效狭缝长度为 x_h ,用预置狭缝法时有效狭缝长度 x_b 将减小为(设物体到狭缝的距离均为 z_0)

$$x_b = \frac{z_0}{z_0 + z_h} x_h \tag{2}$$

例如,当 $z_0 = 40 \text{ cm}$ 时,若 z_h 增加到 20 cm ,则狭缝有效长度将减小 $1/3$,这对于拍摄大视角彩虹全息图是非常不利的。比较(1),(2)两式可见,预置狭缝法的增大光能利用率是以减小有效视角为代价的。由(1),(2)式可得

$$\frac{e_2}{e_1} = 1 + \frac{(y_0 + b)}{x_b b} (x_h - x_b) \tag{3}$$

其中, $x_h - x_b$ 就是视角(用相同 z_0 处的缝长表示) 损失量。显然,光能利用率越高,有效视角就会变得越小。这就大大限制了它的应用范围。

2 一种改进的预置狭缝法

为了避免在增大光能利用率时使有效视角减小,在文献[6]的基础上我们提出了一种改进方法,该方法记录主全息图的光路与图 1(a) 相似,也是将一预置狭缝置于物体 O 和全息干版 H_1 之间,从而避免在第二步记录彩虹全息图时使用限制狭缝。所不同的是,我们在预置狭缝两端(长度方向)引入了两个平面镜,如图 2 所示。图 2 中, M_1 和 M_2 就是所引入的两个平面反射镜。利用这两个反射镜,可以将不能直接到达全息干版 H_1 的 B, C 两部分物波反射到全息干版上,并被记录下来。当用 H_1 作主全息图进行第二步彩虹记录时,由于所用物波是共轭再现波, A, B, C 三部分物波将沿原光路返回,并同时被记录到彩虹全息图上,从而避免了视角损失。

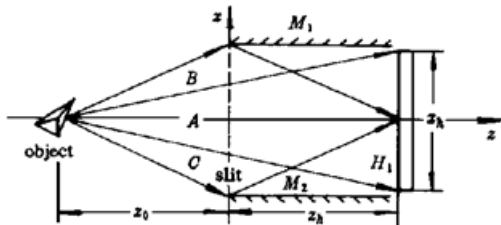


图 2 用预置狭缝法记录主全息图的一种改进光路。利用该光路可避免在增大光能利用率时使有效视角减小

Fig. 2 A simple recording configuration of the primary hologram with a reduced view-angle loss

为了说明上述改进光路的有效性和实用性,我们按照文献[6]的有关实验参数分别用图 1 和

图 2 所示光路拍摄了彩虹全息图。实验中,光源为 30 mW 的 He-Ne 激光器,记录介质为天津一型全息干版,物体到预置狭缝的距离 $z_0 = 40$ cm,预置狭缝到全息干版 H_1 的距离 $z_h = 20$ cm,预置狭缝宽度 $b = 0.5$ cm,参考光有效光斑尺寸(沿 x 方向)为 10 cm。实验结果表明,两种方法的光能利用率是相同的。但是,用两种方法得到的彩虹全息图的有效视角则明显不同。图 3 (a) 是用图 1 所示光路拍摄时得到的彩虹全息图再现狭缝的照片,该再现狭缝的长度约为 6.5 cm;图 3 (b) 则是用图 2 所示光路拍摄时得到的彩虹全息图再现狭缝的照片,该再现狭缝的长度约为 10 cm。上述两种情况下再现狭缝到全息图面的距离均为 40 cm。实验结果与(2)式的计算值是一致的。

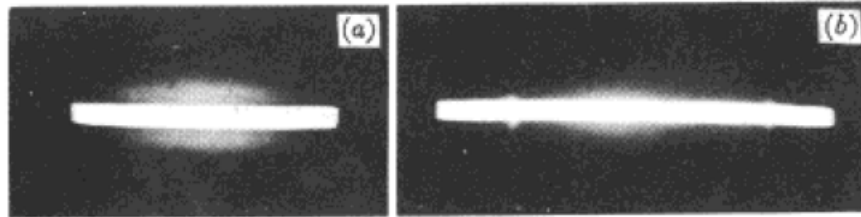


图 3 彩虹全息图再现狭缝像的照片

(a) 用图 1 所示光路进行记录时的结果;(b) 用图 2 所示改进光路进行记录时的结果

Fig. 3 Photos of the reconstructed slit of the rainbow hologram

(a) recorded by using the configuration in Fig. 1; (b) recorded by using the configuration in Fig. 2

通过对用预置狭缝法制作彩虹全息图时的视角分析表明,该方法能量利用率的提高是以视角损失为代价的,即提高能量利用率将导致有效视角的减小。预置狭缝法的这一缺点可以通过在记录光路中的预置狭缝两侧引入一对平面反射镜来克服。实验结果表明,该方法简单易行,既能提高能量利用率,又能保证得到的彩虹全息图有足够的视角,因此该方法在激光印刷上具有实用价值。

参 考 文 献

- 1 P. Hariharan. Optical holography. Cambridge: Cambridge University Press, 1986, 127
- 2 谢敬辉,赵业玲,于美文. 横向面积分割法及其在模压全息图中的应用. 光学学报,1988, 8(5): 410
- 3 国承山. 无狭缝两步彩虹全息术. 光学学报,1987, 7(9): 794
- 4 关承祥. 无狭缝一步彩虹全息的新方法. 光学学报,1990, 10(8): 743
- 5 王取泉,答孝义. 彩虹全息综合狭缝的理论分析. 中国激光,1993, 20(10): 761
- 6 刘 艺,王仕 . 一种简单高效的高亮度二步彩虹主全息图制作方法. 中国激光,1996, A23(4): 359

Recording of Rainbow Holograms by Using the Method of a Pre-existent Slit

Guo Chengshan Cheng Chuanfu Liu Wenxian Cai Luzhong*

(Physics Department, Shandong Normal University, Jinan 250014

* Optics Department, Shandong University, Jinan 250100)

Abstract The view angle of the rainbow holograms recorded by using the method of a pre-existent slit is analyzed, which shows that the rise of the energy efficiency in this method will result in a reduction of the view angle. A single method of making rainbow hologram with high efficiency and a reduced view-angle loss is presented and experimentally demonstrated.

Key words rainbow hologram, view angle, slit