

一种简单高效的高亮度二步彩虹主全息图制作方法

刘艺 王仕璠

(电子科技大学应用物理系, 成都 610054)

提要 提出一种将记录二步彩虹全息图时引入的狭缝转移到主全息图的记录中, 充分利用主全息图面积, 再现得到高亮度物像的简单高效的二步彩虹主全息图制作方法, 对以光刻胶版为记录材料的激光印刷具有实用价值; 相应的实验得到了满意的效果。

关键词 彩虹全息图, 主全息图, 狭缝

1 引言

二步彩虹全息术中, 狭缝的存在带来一系列的优点, 但同时第二步记录时造成狭缝外光能的浪费, 使再现物像的亮度难以提高, 直接影响到彩虹全息图的清晰度和亮度。在以光刻胶版为记录材料时, 受记录介质感光灵敏度和激光器输出功率的影响, 记录的曝光时间通常达数十分钟, 更增大了优良产品制作的难度。

现在的解决方法, 一是采用像散全息^[1], 在第二步记录时用柱面透镜将光束会聚到狭缝位置, 提高光能的利用率; 第二是利用横向面积分割法, 提高主全息图的光能利用率^[2]; 另外则发展无狭缝成像技术^[3~5], 在一步彩虹拍摄时平移物体或透镜, 或等速平移物体和透镜, 使再现光场中形成类似狭缝的结构。对于以光刻胶版为记录材料的激光印刷来说, 无狭缝成像技术受透镜孔径限制且非常繁琐, 大口径的柱面镜需要较大投资且不便于实现对物体的分色记录, 二者都难以得到实际应用; 横向面积分割法现在应用较普遍, 但其光能利用率仍有限。如何简易地提高主全息图再现像的亮度不仅是众多全息学者探讨的话题, 也被许多生产技术人员所关心。最近有学者利用三束平行的线光束进行分色记录^[6], 得到了良好的效果, 但相应增大了技术难度。

本文从提高光能利用率和主全息图再现像亮度的角度提出一种简单高效的高亮度二步彩虹主全息图的制作方法。方法记录过程简便, 不增加任何生产成本, 能高效地提高再现物像的亮度, 并可实现对全息图的分色记录。新方法在全息印刷上可具有实用价值。

2 传统制作方法回顾

传统的二步彩虹全息图的记录光路如图1所示。图1(a)是第一步主全息图的光路, 这里

物体的主全息图是非涅耳离轴全息图,全息图上每一点都能再现出物体的全部位形信息;而在第二步记录时[如图 1(b)],成像光路受到狭缝的限制,所记录的彩虹全息图在垂直方向失去视差,其碎片将无法再现完整的物体像。然而记录中狭缝的引入,不但使全息图获得了白光再现的宝贵性能,而且使再现时物光集中在狭缝像方向,从而获得了明亮的再现像。

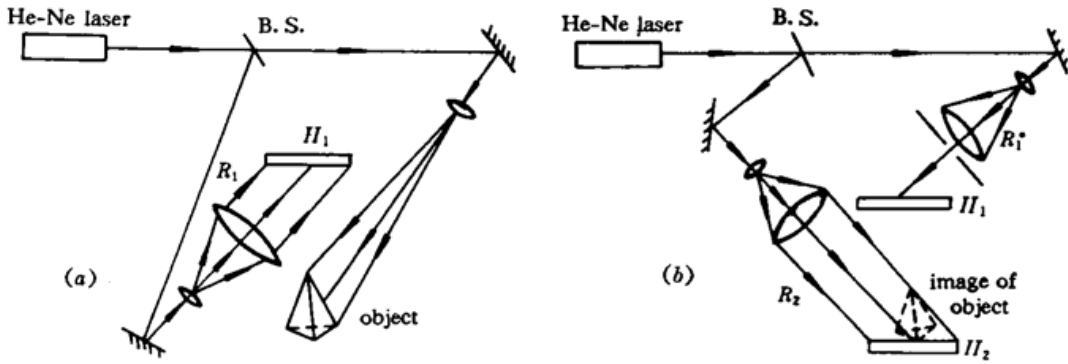


Fig. 1 Optical systems used to produce two-step rainbow hologram
(a) the first step optical system; (b) the second step optical system

3 新方法的提出及证明

利用光路可逆的思想和上述狭缝的引入使彩虹全息图再现像亮度提高的方法,高亮度主全息图的记录和再现光路如图 2 所示。记录时,在物体和全息干版间的适当位置引入宽度为 b 的狭缝,使物体的全部信息通过狭缝记录在宽为 L_H 的干版面上,此时物体每一个确定点的信息只能记录在干版上与狭缝方向垂直的狭小区域 δ 内,如图 2(a) 所示;再现时,如图 2(b),根据光路可逆,狭缝像与物像同时在全息图衍射光场中形成,因此可直接进行彩虹全息图的记录。这样,第二步记录彩虹全息图时不再需要引入狭缝,再现时主全息图面积得到充分利用。由图 2(b) 还可看到,彩虹全息图 H_2 上的线全息图 ΔH 是由主全息图 H_1 的对应区域形成的,这正体现了彩虹全息图的特点。

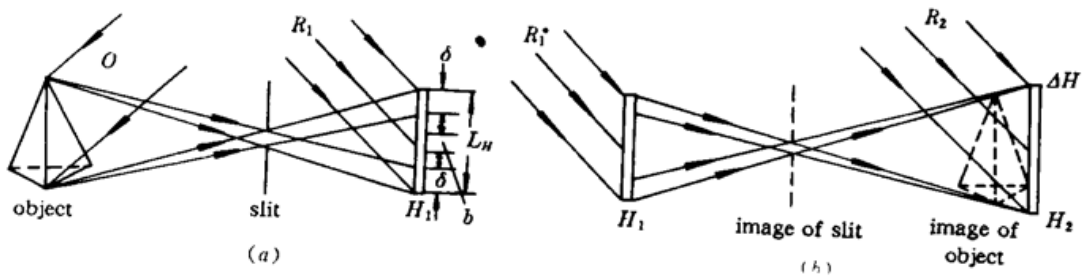


Fig. 2 Optical systems used to produce high brightness primary hologram
(a) recording system; (b) reconstructing system

如果主全息图衍射效率均为 η ,再现光强均为 I ,全息图长度为 L ,则使用传统记录方式(即在物体的菲涅耳全息图上加宽度为 b 的限制狭缝再现)获得的再现像的光能量为

$$I_1 = \eta \cdot I \cdot L \cdot b \tag{1}$$

现在宽度为 L_H 主全息图再现像光能量为

$$I_2 = \eta \cdot I \cdot L \cdot L_H \tag{2}$$

两者光能利用相比为

$$I_2/I_1 = L_H/b \quad (3)$$

一般在激光印刷中,记录主全息图的干版宽度 $L_H \approx 9.0 \text{ cm}$,狭缝宽 $b = 0.5 \text{ cm}$;即使在一般的实验中,干版宽度也有 4.5 cm 。显然,新方法的光能利用率和再现物像亮度可轻易获得数倍甚至十倍以上的提高。如果适当增大主全息图宽度到 18 cm ,亮度的提高更为可观,而与传统记录方法相比并不引入新的光学损耗。

只要记录时适当安排狭缝,保证记录时透过狭缝的物光横向不超出全息干版,新方法与原记录方法在第二步引入狭缝相比不会引起物体信息的丢失。与彩虹全息图类似,由于已引入了狭缝,主全息图再现像失去 y 方向视差,全息图碎片不可重现整个物体信息。

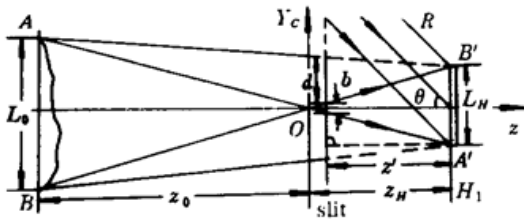


Fig. 3 Simple system used to record high brightness primary hologram

下面的分析和计算可以说明,主全息图记录时在适当位置引入狭缝,并不影响物光和参考光的照明,在光路布置上也是合理的。

图3中根据一般彩虹全息图的拍摄规范,物体和干版平行正对,取观察距离 $z_0 = 30 \text{ cm}$,参考光与干版夹角 $\theta = 45^\circ$,狭缝宽 $b = 0.5 \text{ cm}$,要求光路上可行,则:(1)狭缝处的挡板相对于全息干

版来说,应挡除狭缝外的一切物光;(2)挡板位置不能影响参考光对干版的照明。

由图中各三角形的相似,有

$$\text{干版位置} \quad z_H = z_0 L_H / L_0 \quad (4)$$

$$\text{狭缝到干版距离} \quad z' = z_H (1 - b/L_H) \approx z_H \quad (5)$$

$$\text{又} \quad \overline{OC} = L_H \cdot z_0 / (z_0 + z_H) \quad (6)$$

$$\text{挡板宽} \quad d = \overline{OC} \cdot z' / z_H \approx \overline{OC} = L_H \cdot z_0 / (z_0 + z_H) < L_H \quad (7)$$

为使参考光顺利入射,应有

$$z' \tan \theta \geq d + b/2 + L_H/2 \approx d + L_H/2 \quad (8)$$

$$\text{由(7)式,只需} \quad z' \tan \theta \geq 1.5 L_H \quad (9)$$

代入(5)、(4)式及 θ 值,得 $z_0 \geq 1.5 L_0$,即只要被记录物体长度在 20 cm 以内,光路布置是完全可行的。这个条件对一般的拍摄物体很容易被满足。若 L_0 较大,如 $L_0 = 50 \text{ cm}$,则相应增大 z_0 即可,这对大物体的记录和观察也很必要。如果希望在记录主全息图时进行分色,可相应地移动狭缝或利用多个狭缝完成,如图4所示。

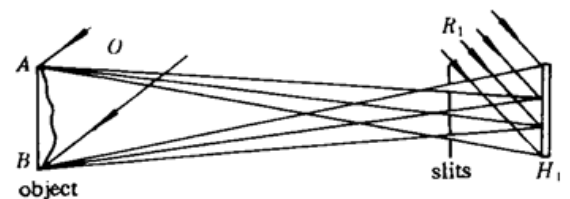


Fig. 4 Optical system used to record high brightness primary hologram with three slits

例如用三狭缝平均分色记录,使用宽度为 9 cm 的干版, L_H 每条可取 2.5 cm 宽,再现像亮度相对原三狭缝横向面积分割法记录的主全息图可以提高 5 倍。实际记录时,三狭缝的间距及各自的宽度,应根据对颜色的要求和色散宽度来设计,因而分色主全息图各条的宽度不一定按狭缝数均分全息干版,但基本相差不大。此时,再现像亮度的提高仍然是很可观的。

我们可以看到,新方法将原在传统二步彩虹记录过程中第二步引入的狭缝移到第一步的主全息图记录过程中,实质上是把原记录过程中第二步狭缝对物光场减弱作用转移到第一步主全息图的记录中;而在激光印刷中,第二步的记录介质光刻胶版的感光灵敏度较低,第一步

使用的银盐干版则感光灵敏度良好,添加狭缝后曝光时间至多数分钟,不会导致制作主全息图难度的加大;而狭缝的存在对光刻胶版记录时物光场的减弱对其数十分钟的曝光却很关键。新方法充分利用了主全息图的面积,大幅度提高了光能利用率,对彩虹全息图记录质量的提高是很有帮助的。

4 实验结果

实验记录物为一个长 $L_o = 9$ cm 的小花瓶,记录时物参光夹角 $\theta = 45^\circ$,狭缝到花瓶距离 $z_o = 40$ cm,到干版距离 $z' = 20$ cm,干版宽 $L_n = 4.5$ cm,狭缝宽 $b = 0.5$ cm;实验完全达到目的,面积为 4.5×6.0 cm² 的一小片主全息图在 60 cm 外再现的花瓶像非常清晰,透过在 20 cm 外再现出明亮的狭缝像,可观察到明亮完整的花瓶像,如图 5;用主全息图记录的彩虹全息图亮度很好,如图 6 所示。



Fig. 5 The image of an object observed in the image of the slit



Fig. 6 The rainbow image of the object

参 考 文 献

- 1 P. Hariharan. Optical holography. 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二维/三维模压全息图中的应用. 光学学报, 1988, 8(5): 410
- 3 关承祥. 无狭缝一步彩虹全息的新方法. 光学学报, 1990, 10(8): 743
- 4 王取泉, 答孝义. 一维散射屏无狭缝彩虹全息术. 中国激光, 1993, 20(3): 302
- 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 吴建宏, 陈林森. 一种提高多色虹全息光能利用率的办法. 中国激光, 1994, 21(10): 831

A Simple Method of Making Two-step Rainbow Hologram with High Efficiency and High Brightness

Liu Yi Wang Shifan

(Department of Applied Physics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract A simple method of making two-step rainbow hologram with high efficiency and high brightness is proposed. In the method a slit used to record the two-step rainbow hologram is transferred to primary hologram, so as to use fully its area. The method given in this paper has practical value for embossing hologram which uses photoresist as the recording material. Satisfactory results are obtained in corresponding experiments.

Key words rainbow hologram, primary hologram, slit