

大视角二维/三维彩虹全息标识记录

刘 艺 王仕

(电子科技大学应用物理系 成都 610054)

提要 提出了一种记录透射标识二维/三维彩虹全息图的新方法,它直接用散射狭缝光照明二维透射标识,将透射光记录为主全息图;主全息图可按普通二步彩虹一样进行二维/三维的分色、分层次记录,既保持了普通二步彩虹全息的分色、分层次的效果,又突破了普通主全息图面积和长度对再现像亮度和视角的限制,达到大视角、高亮度的效果;对光路的可行性和设置参数进行了详细的分析和讨论,相应的实验得到了满意的结果。

关键词 二维/三维,彩虹全息,狭缝,标识,大视角

1 引 言

二步彩虹全息记录中^[1],第一步的记录决定了物像再现时的观察视角,也在很大程度上决定了再现像的亮度;由于全息干版的长度有限,物像观察的视角受到较大的限制。第二步记录时的狭缝接着限制了再现像的亮度。有的一步记录系统利用从狭缝发出的散射光与参考光直接透过二维标识干涉,可以达到高光能利用率和增大狭缝长度,从而增大标识的观察视角。但已提出的方法^[2,3]需要将标识贴近全息干版,不易获得分层次记录,并且对标识进行分色记录时,曝光需要分次进行。这增加了记录彩虹全息的操作,不利于在采用光刻胶版的模压工业中使用。而标识的分色、分层次等信息可在二步彩虹全息术第一步记录主全息图的阶段完成操作^[4],使第二步的记录一次拍摄完成,过程简单,容易保证记录的效果。这在第二步采用光刻胶版记录彩虹全息图的模压产业中显得尤为可贵和重要。

本文结合普通二步彩虹全息图记录方式和一步记录系统的独到特点,提出一种新的二维/三维全息标识的记录方式。方法适用于透明全息标识的记录,分为两步:第一步采用长狭缝的散射光照明标识,记录标识的主全息图,获得高光能利用率和视角的标识全息像,并对标识进行分色和二维/三维的分层次;第二步则如同普通的彩虹全息图一样直接利用主全息图记录。此方法可方便地在模压工业中推广和应用。

2 原 理

2.1 一步记录系统的分析

一步记录系统光路如图 1。激光经扩束后照射到带长狭缝 S 的毛玻璃 G 上,形成散射的长

狭缝光, 狭缝光和参考光透过紧贴全息干版的透射标识进行干涉, 可以直接获得标识的彩虹全息像, 因此全息像亮度很高。该系统中, 由于无需拍摄主全息图, 狭缝长度可等于毛玻璃的长度, 不受全息图长度的限制, 因此能够很好地扩大再现像的视角, 实现标识的大视角记录和再现。由于透过标识的散射狭缝光和参考光直接干涉, 对标识的分色记录需要分次转动入射光束到 G 上不同的位置, 分次记录。由于彩虹全息记录时参考光一般采用平行光, 为使透过标识的散射狭缝光全部和参考光叠合产生干涉, 标识需要紧贴干版, 因此难以实现标识的 2D/3D 分层次记录。

2.2 对记录系统的改进和设计

一步记录系统存在的优点和缺点是明显的。它通过散射狭缝光透过标识记录, 获得的标识像视角大、光能利用率高, 但不利于实现标识的分色记录和分层次记录。因此我们采用一步记录系统的散射狭缝光记录标识的主全息图, 再将主全息图记录为彩虹标识, 这两方面的问题都得到满意的解决。此时主全息图和彩虹全息图记录光路分别如图 2, 图 3 所示。

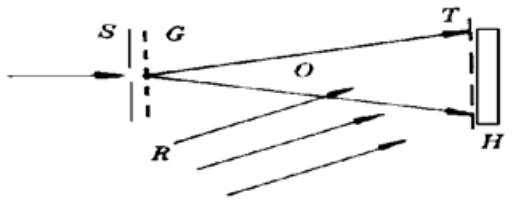


图 1 二维彩虹全息图的一步记录系统
Fig. 1 One step system of recording 2D rainbow hologram

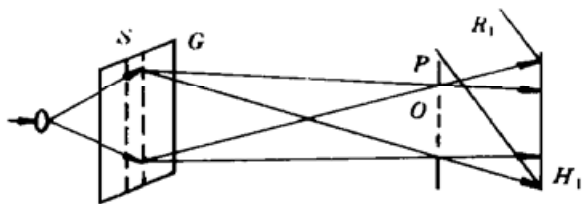


图 2 大视角标识主全息图记录系统
Fig. 2 Optical system used to record large viewing marking primary hologram

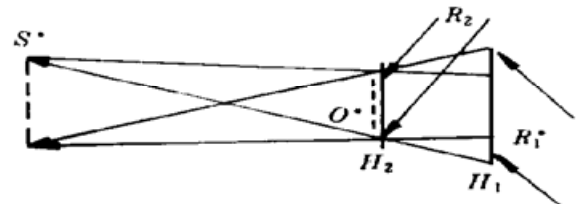


图 3 大视角标识彩虹全息图记录系统
Fig. 3 Optical system used to record large viewing marking rainbow hologram

图 2 中, 扩束后的激光通过狭缝 S 和毛玻璃 G 成为散射的长狭缝光; 挡光屏 P 置于标识 O 旁用于遮掩未经过标识的散射狭缝光。由图中可见, 参考光 R_1 不透过标识, 因此标识可前后移动, 达成 2D/3D 的记录效果。由于保留了散射长狭缝光直接透过标识, 使再现的标识像保留了大视角和高亮度的特性。转换狭缝 S 的位置, 可对标识进行分色记录。

图 3 中, 用 R_1 的共轭光 R_1^* 再现 H_1 , 由于光路可逆, 在原标识 O 处可获得标识实像 O^* , 同时, 在原狭缝 S 处还可获得长直狭缝的实像 S^* 。透过狭缝像 S^* 即可看到 O^* , 因此干版 H_2 记录的 R_2 和 O^* 的干涉图是 O^* 的彩虹全息图。此时第二步记录不必再引入狭缝, 提高了记录的光能利用率。观察时, 用 R_2 方向的白光再现 H_2 , 由全息学原理, 即可在狭缝像处看到标识的彩虹全息像。这一点与一般用 R_2 共轭方向的白光再现的本顿(Benton)彩虹全息图不同。

我们看到, 图 2 光路的布置需要保证主全息图 H_1 完全记录散射狭缝光透过标识的部分, 否则, 图 3 中再现的标识像不能获得与记录时相等的狭缝长度, 其视角将减小。

3 光路参数设计

为了使通过标识的散射狭缝光完全被干版记录, 并保障狭缝的足够长度, 我们需要全面考

察狭缝长度、干版长度和标识长度的关系, 以及标识宽度和干版宽度的关系。

图 4 是光路竖直方向的长度参数关系。图中狭缝到标识的距离 D 是人眼的明视距离, L_s , L_o , L_H 分别为狭缝、标识和全息干版的长度。此处不必考虑参考光的照射问题。

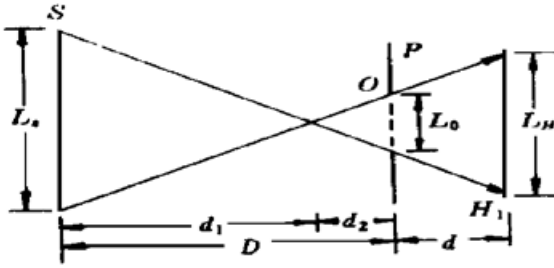


图 4 竖直方向的长度关系

Fig. 4 The length relation in the vertical direction

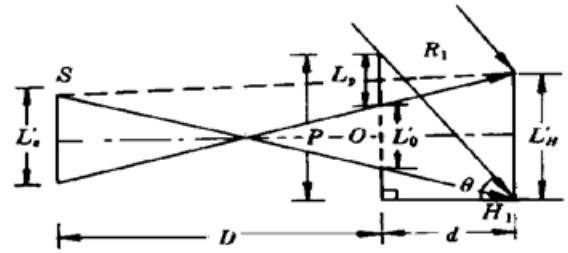


图 5 水平方向的宽度关系

Fig. 5 The width relation in the horizontal direction

由图中的几何关系可推知

$$L_o/L_s = d_2/d_1 = d_2/(D - d_2)$$

$$d_2 = DL_o/(L_o + L_s)$$

$$L_o/L_H = d_2/(d + d_2)$$

$$d = d_2(L_H - L_o)/L_o = D(L_H - L_o)/(L_o + L_s) \quad (1)$$

再考虑光路水平方向的宽度关系如图 5。设干版宽度为 L_H' , 标识的宽度为 L_o' ; 由于分色, 产生的狭缝移动宽度为 L_s' , 由此添加的挡光屏宽度为 L_P 。此处我们必须考虑侧向入射的参考光。通常干版和标识平行正对, 因此取参考光和光轴间夹角为 θ , 则图中 p 有

$$p = L_P + (L_o'/2) + (L_H'/2)$$

由图中几何关系有

$$d = D(L_H' - L_o')/(L_o' + L_s') \quad (2)$$

$$L_P = L_s'd/(d + D) \quad (3)$$

$$\operatorname{tg}\theta = p/d = [(L_H' + L_o')/2 + L_P]/d \quad (4)$$

一般取 $\theta \leq 45^\circ$, $D = 30 \text{ cm}$, $L_H' = 9 \text{ cm}$ 。暂时不考虑分色问题, 令 $L_s' = 0$, 由式(2) ~ (4) 可解得

$$L_o' \leq 7.1 \text{ cm} \quad (5)$$

取 $L_o' = 7 \text{ cm}$, 代入式(1), (2), 得 $2L_s + 9L_o = 7L_H$

再取 $L_H = 24 \text{ cm}$, $L_o = 10 \text{ cm}$, 可得 $L_s = 39.0 \text{ cm}$

此时若取 $L_o = 7 \text{ cm}$, 可得 $L_s = 52.5 \text{ cm}$

简单的计算可得, 此时狭缝长度不会影响照明激光的相干性, 因此狭缝长度可比干版长度增大一倍以上, 而且随着标识长度的减小还可得到进一步的增加, 标识的视角确实可获得较大的扩展。同时, 标识的尺寸 $7 \times 7 \text{ (cm)}$ 也满足一般的标识需要。

如果考虑标识的分色, 可适当缩小标识的尺寸。仍取 $\theta \leq 45^\circ$, 由式(2) ~ (4), 有

$$\frac{D(L_H' - L_o')}{L_s' + L_o'} \geq \frac{L_H' + L_o'}{2} + \frac{L_s'(L_H' - L_o')}{L_s' + L_H'} \quad (6)$$

取 $L_o' = 4 \text{ cm}$, 计算可得 $L_s' \leq 12.1 \text{ cm}$

此时取 $L_o = 5 \text{ cm}$, 可得

$$L_s = 56 \text{ cm}$$

取 $L_o' = 5 \text{ cm}$, 计算可得

$$L_s' \leq 8.4 \text{ cm}$$

此时取 $L_o = 5 \text{ cm}$, 可得

$$L_s = 58 \text{ cm}$$

因此, 方法的分色程度和一般的主全息图(宽 9 cm) 相同时, 狭缝物光的长度与普通主全息图相比仍然足够大, 在系统中分色是有效的。至于分层次, 由于标识的层次距离一般不大(如 1 cm), 与 30 cm 的距离 D 相比, 以上参数的计算值可认为不变。

以上对光路设置参数的分析、计算和讨论表明, 新提出的方法, 能够充分结合本顿二步法和一步散射狭缝光法的优点, 达成大视角的 2D/3D 彩虹全息的记录。另外, 在光能的利用上, 主全息图接收物光的面积是充分的, 可利用全部干版面积, 即 $9 \times 24 = 216 \text{ (cm}^2\text{)}$ 。而取狭缝宽度为 0.5 cm, 一般分三色的主全息图的利用面积仅为 $3 \times 0.5 \times 24 = 36 \text{ (cm}^2\text{)}$ 。因此尽管标识在进行分色和二维/三维记录时, 主全息图存在多次曝光, 再现标识像的亮度也是非常可观的, 系统的光能利用率很高。因此, 方法在模压全息标识制作上具有相当好的应用前景。

4 实验和讨论

实验所用的第一步和第二步光路如图 2 和图 3。记录的标识大小为 $4 \times 3 \text{ (cm)}$, 由一个心型图案和两个英文字母 “RQ” 组成, 图案和字母相距 3 mm。记录主全息图时, 散射狭缝长度 $L_s = 40 \text{ cm}$, 使用的干版长度为 $L_o = 12 \text{ cm}$, 物参夹角 $\theta = 45^\circ$, 狭缝分色记录移动宽度 $L_s' = 4.0 \text{ cm}$, 标识和散射狭缝相距 $D = 30 \text{ cm}$ 。由(1)式算得干版和狭缝距离 $d = 5.4 \text{ cm}$, 并由(2)式得主全息图宽度 $L_H' = 5.1 \text{ cm}$, 依此参数对主全息图进行记录。记录的主全息图再现像明亮, 在距像 30 cm 处获得分色长直狭缝二条, 如图 6。图 7 是标识的彩虹全息图再现像的照片。心型图案呈红色时, 字母呈绿色; 左右移动观察, 再现像具有良好的视角范围, 约 50° 。

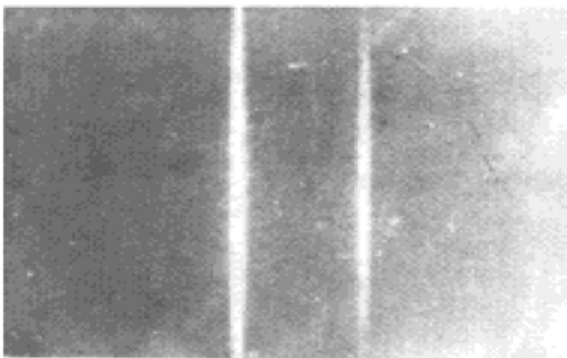


图 6 狭缝的再现像

Fig. 6 The reconstructed image of the slits



图 7 标识再现的彩虹像

Fig. 7 The rainbow image of the marking

从记录的标识像结果看, 完全达到了标识的大角度二维/三维分色分层次的记录效果, 充分说明了新方法的实用性和价值。

新的二维/三维彩虹标识记录方法, 给标识像提供了更大的视场角和观察范围; 结合物像互遮掩的记录方法^[5], 可以制作多个标识互遮掩的全息图案, 在像遮掩数目和观察范围上获得更大的提高, 更好地达到标识互遮掩的艺术效果和加密。

参 考 文 献

- 1 Zhu Ziqiang, Wang Shifan, Shu Xianyu. Manual of Contemporary Optics. Chendu : Sichuan University Press, 1990, 131~ 133(in Chinese)
- 2 Liu Shou. A new method of making rainbow holograms. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1986, **13**(8) : 303~ 304 (in Chinese)
- 3 Lei Guangdong. A new method of making multicolour rainbow hologram. *Optical Technique* (光学技术), 1994 (1) : 6~ 10 (in Chinese)
- 4 Xie Jinghui, Zhao Yeling, Yu Menwen. 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)
- 5 Liu Yi, Wang Shifan. Rainbow hologram with hiding effect. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **A25** (4) : 343~ 346 (in Chinese)

Recording the Large Viewing Angle 2D/3D Marking Rainbow Hologram

Liu Yi Wang Shifan

(Department of Applied Physics, Univ. Of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract A new method of recording the transmission marking 2D/3D rainbow hologram was put forward. It uses directly a scattered slit beam to illuminate the 2D transmission marking. The transmitted light was recorded on the master hologram. The latter can be recorded according to the colour separation and layer separation like the general two-step rainbow hologram. But it broke through the limit of the length and area of the general hologram on the brightness and the viewing angle of the reconstructed image, thus the large viewing angle and high brightness were achieved. The feasibility and parameters of the optical set-up were discussed in detail and the satisfactory experimental results were obtained.

Key words 2D/3D, rainbow holography, slit, marking, large viewing