

激光全息照相实验技巧(四)

哈流柱

(北京理工大学光电工程系,北京,100081)

摘要: 结合作者在实验中的经验,总结了若干提高彩虹全息图质量的技巧。

关键词: 狭缝形平行光 双高斯 1:1 复制镜头 彩虹全息

Techniques in holographic experiment (Part 4)

Ha Liuzhu

(Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081)

Abstract: This paper presents the some techniques and skills in art to enhance the quality of rainbow holograms and to produce a high quality slit-like parallel beam. The double-Gauss lens with 1:1 magnification is used in one step rainbow holography.

Key words: slit-like parallel beam double-Gauss lens with 1:1 magnification rainbow holography

一、狭缝形高质量的平行光的产生

用两步法制版,在保证 H_1 的再现像足够的面积(例如整版 150×150)前提下有很好的像质(特别是像场弯曲与畸变),必须要求 H_1 的参考光与照明光严格共轭,即必须要求在制版和再现 Master 板 H_1 时有一个高质量的平行光束;再者由于激光器的功率有限,曝光时间应尽可能地短,所以要求激光器光束能量的利用率应尽可能地高,为此要求形成一束能量集中于狭缝形通光孔径的高质量的平行光,这成了制版中的关键技术。

图 1a 和 1b 说明了如何产生狭缝形高质量的平行光,图 1a 是俯视图,激光束通过一个焦距较长(例如 $f_1 = 240$)的柱面镜,在平行于全息台面的方向上会聚成一个焦点,它恰好位于扩束镜的主节点处,因此光线并不改变方向。我们加工了一个非球面透镜,其焦距 $f_2 = 1200$,平行光出射面是球面,入射面是平面,非球面修切量在平面上,处于二肋处修切量大约是 0.04mm ,加工中用刀口仪自准直法控制波差可以达到 $\lambda/10$ 或更高。

假定从激光器出射光束口径是 φ_1 ,那么在非球面镜上形成的光束宽度 S_d (见图 1a)

应该是 $S_d = \varphi_1 \cdot f_2 / f_1 = 1200 / 240 = 5(\text{mm})$,用这样宽度的狭缝制作彩虹全息图 H_2 应有很好的单色性^[1]。

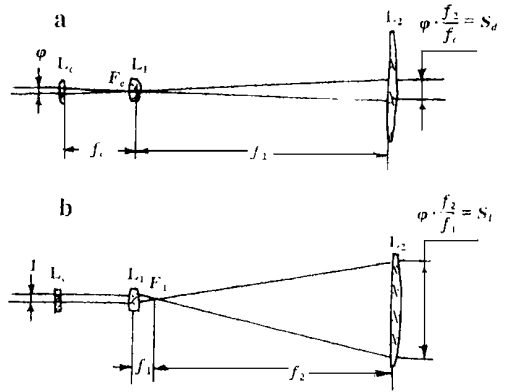


Fig. 1 Production of slit-like parallel beam

在铅垂面方向上的光路表示在图 1b, φ_1 激光束经过柱面镜, 并不改变其平行性, 因为柱面镜在这个方向无光焦度, 经过扩束镜(例如 $40\times$), 会聚于其后焦点上, $40\times$ 扩束镜焦距 f_1 应近似等于 $195 \div (\Gamma + 1) = 4.76$ ($\Gamma = 40$), 式中, 195 是显微物镜物面至像面的标准长度^[2]。扩束镜后焦点与非球面镜前焦点重合, 在非球面镜上形成的狭缝长度 $S_l = \varphi \cdot f_2 / f_1 = 252\text{mm}$, 这样长度的狭缝通常形成的视角不小于 40° 左右, 这是足够的。

在图 2 上, 从俯视方向看垂直维与水平维聚焦点有一段距离(即像散)是 $F_0F_1 = 4.76$, 由于狭缝半宽度 $S_d/2 = 25$, 造成的两个方向平行 $\delta = [F_0F_1 S_d / 2 \cdot (f_2 + F_0F_1)] / (f_2^2 + S_d^2/4)^{1/2} = 0.0082\text{mrad}$, 这与从激光器出射形成的激光束发散度(偏离平行)相比是可忽略的。假设 H_1 与 H_2 的距离 z 是 330mm , 那么狭缝宽度为 5mm , 这个方向上造成的艾里斑直径为 $1.22 \lambda z / B = 0.035$ ($\lambda = 441.6\text{nm}$), 而上述平行光两个方向不平行性造成的像的弥散值为 $330 \times 0.000082 = 0.027$, 较前者小一个数量级是可以忽略不计的。

严格考虑, 水平维与垂直维的焦深允值是不一样的, 根据文献[3], 水平维焦深允值是 $2\delta_l = 4 \lambda (z / S_d)^2 = (330/2.5)^2 \cdot \lambda = 7.7\text{mm}$, 垂直维焦深允值是 $2\delta'_l = 4 \lambda (z / S_l)^2 = 0.003\text{mm}$, (这里 λ 取 He-Cd 激光器输出波长 441.6nm)。即对垂直维的光束平行性要求非常严, 并且要求物面严格与全息台面垂直, H_1 与 H_2 也应严格与全息台面垂直, 激光束与台面严格平行。实践表明 H_1 形成的再现像面与 H_2 光刻胶表面的离焦量可以控制在 0.3mm 以内, 这对于成像面为 150×150 来说, 实在是一个可赞叹的成就, 这正是全息共轭再现的优点之一。顺便说明一下, H_1 和 H_2 制作的波长尽可能一致是非常必要的; 改变再现像的颜色可以改变参考光的入射角。

二、双高斯型 1:1 复制镜头及其应用

图 3a 示出了应用 1:1 复制镜头进行一步彩虹全息制版光路。图 3b 示出了这个复制镜头, 它是双高斯对称结构, 放大率为 -1 , 从原理上慧差与畸变由于左右两半部大小相等符号相反而自动抵消^[4], 畸变为零, 这对于全息制版十分重要。这是一个中等视场 $\pm 9^\circ$ (在 2 倍焦距处视场 ± 100 相当于 $1/4$ 版 70×70), 相对孔径较大在明视距离处狭缝长大于人眼双瞳距

$$\delta = \frac{F_0 F_1}{(f_2 + F_0 + F_1)} \cdot S_l / 2 \cdot (f_2^2 + S_l^2 / 4)^{-1/2}$$

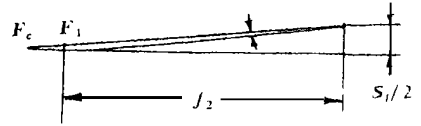


Fig. 2 Parallel difference in horizontal and vertical dimensions

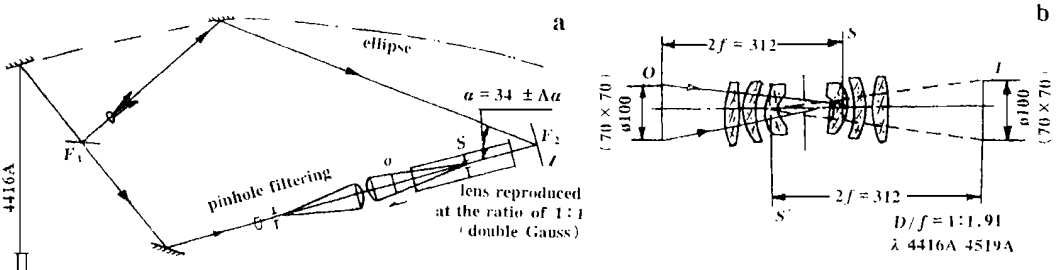


Fig. 3 Lens reproduced at the ratio of 1:1 is used for multilayer-multicolour 70×70 plate making

a—multilayer-multicolour plate making (70×70) with one-step process b—double-Gauss lens with 1:1 magnification

62mm, 现已达到 81.6mm, 镜头相对孔径 D/f 为 1:1.9。考虑到彩虹全息片的明视距离取为 312mm, 由于 1:1 成像则 $2f = 312$, 镜头焦距取 156mm, 狭缝位于对称中心面上, 处于镜头光学系统的半部结构的焦点以内, 所以可以在其像方形成一个放大的狭缝像, 这就是狭缝像长 81.6mm。由于使用的是单色光(例如 441.6nm), 所以不存在矫正色差的问题。实验证明其优点: 第一, 物像比较可以认为畸变可以小到忽略不计的地步; 第二, 像平面像场弯曲小, 像质优良, 弥散小(垂直面内相对孔径大, 但水平面内由于狭缝宽度小是细光束); 第三, 制成的光刻胶版全息图低噪音, 因为狭缝相当于一个杂光过滤器。

物面稍稍前后移动, 形成了再现像的多层结构, 改变参考光的角度可以改变再现像的颜色。

使用会聚光照明物面, 会聚光的直透光会聚点在双高斯物镜的物方有效光阑中心处, 这样有利于利用激光器能量。物面上加入毛玻璃, 由于物面和像面共轭, 所以理论上毛玻璃作为位相物体位于物面上, 在使用激光时在其共轭像面上不成像^[5], 由于物面和像面共轭, 这与一步拷贝法相比较来说, 一步拷贝法其狭缝是在毛玻璃上, 物是 Master 拷贝片蒙在光刻胶板上, 这样光刻胶板不在毛玻璃的像面上, 所以散斑噪音是不可避免的。而两步法中的 H₁ 显影定影漂白处理, 显像颗粒的增大也会带来噪音。

为了保证改变物参夹角, 参考光路中心光程不变, 尽量使光刻胶面曝光中心点与参考光转镜中心位在椭圆的两焦点上。

对于制作 2D/3D 的服装挂牌“防伪兼工艺美术”标识, 以上光路可供参考, 其优点是图案中有的部分可以用狭缝彩虹全息, 有的部分可以用光栅式全息(此时只要把物面上的毛玻璃去掉即可)。

如果在光刻胶版前加一个场镜, 还可以用来制作三维物的彩虹全息图, 此时狭缝像经场镜再次成像于光刻胶版后, 可以保证观察者看到的不是虚像而是正常像。

由于狭缝在双高斯结构的中心对称面上是从镜筒外部插入的, 因此可以改变狭缝的宽度, 便于选择。如果把狭缝长度方向上分成两半, 上半部制作第一像面, 下半部制作第二像面, 这样的两个像面对应物面是从两个视向拍摄的人物肖像, 就可以形成一个立体视对的人物肖像(例如标识上厂长或总经理的头像)。这种立体像的形成, 其优点是不存在色模糊, 因为这本身就是一种像面全息。

参 考 文 献

- 1 哈流柱, 张 勇. 光电子·激光, 1995; 6(4): 216~ 218
- 2 李士贤, 郑乐年编. 光学设计手册. 北京: 北京理工大学出版社, 1990: 244
- 3 光学仪器手册编写组. 光学仪器设计手册(上册). 北京: 国防工业出版社, 1971: 15
- 4 袁旭沧. 光学设计. 北京: 北京理工大学出版社, 1988: 294
- 5 徐 敏, 郑 庸, 许澍翔 *et al.* 应用激光联刊, 1982; 2(3): 7~ 14

作者简介: 哈流柱, 男, 1941 年 9 月出生。副教授。从事全息技术研究。

收稿日期: 1997-05-04 收到修改稿日期: 1997-06-29