

双透镜像散光学系统摄制彩虹和像面全息图的实验研究

刘淑辉 厉志明

(浙江大学物理系)

Experimental investigation of fabricating rainbow and image-plane holograms with two lens astigmatic system

Liu Shuhui, Li Zhiming

(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou)

Abstract: Some practical problems in the process of fabricating rainbow and image-plane holograms with two lens astigmatic system were investigated, and suggestions to solve them by experiment are presented.

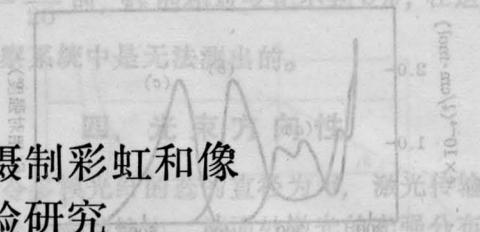
一、前言

我们曾建议在全息的白光显示术中采用双透镜像散光学系统来摄制全息图^[1,2],并在理论上推导了这种系统的全息像匹配条件,讨论了计算失配度和光路参数的方法。但在摄制过程中常会遇到一些具体问题。例如理论计算出的是薄透镜成像的光路参数,而实际上用的是厚透镜,因之无法严格按计算参数安排光路。又如理论计算一般是以确定的透镜焦距作为计算基础,而不同实验室所能拥有的透镜其焦距可能各异,重新计算是费时的。本文试图直接通过实验观测手段来定出摄制全息图所需的光路参数。这种方法可以用来修正将薄透镜理论应用于厚透镜光路时有关参数的偏差,也能用于解决不同焦距透镜的搭配问题。

二、基本准则

由像散光学系统作为成像系统摄制全息图的过程大体如下。根据需要安排光路。物体经像散系统后形成像散像,即 Y 维和 X 维二个像。如果在 Y 维像后面明视距离(即 30~40cm)处用双目观察,从

当 $\gamma = 1$ 时, α_0 的相对变化不到 8%, 在这个观察系统中是无法测出的。



Y 维像看向 X 维像时这两个像的视觉合成产生了原始物的像。为叙述方便,以后简称为镜像,其位置就在 X 维像处。镜像相对于原始物可以是放大、缩小、相同或畸变的,由光路的安排决定。而后找 Y 维像的中心平面,放置全息干板,摄制全息图。当用白光点源进行原始像再现时,双目处于距 Y 维再现像或全息图后方 30~40 cm 处,从 Y 维看向 X 维再现像,两个像的视觉合成产生了镜像的再现像,位置就在 X 维再现像处。再现像相对于镜像也可以是放大、缩小、相同或畸变的,由再现条件决定。我们希望得到的是视感上无畸变的再现像。

从实验上说,在安排光路时能直接进行观察的是镜像而不是再现像。即可以通过实验的直接观察,逐步调整光路参量值,获得视感上无畸变的镜像。问题在于视感无畸变的镜像能否保证获得一个视感无畸变的再现像。在我们的论文“双透镜像散光学系统摄制彩虹和像面全息图的像匹配理论”中推出的再现像匹配条件公式内,不含有参考点光源、再现点光源的位置和波长,即是说再现像的畸变性质与再现条件是无关系的。另一问题是全息图再现时,双目离全息图不同的距离观看,再现像的畸变性质将怎样变化。从上述论文及文献 [1, 2] 的失配度

公式看出,失配度随观看距离的增大而减小。于是我们从理论中得出一条实验上的基本准则:将双目置于放全息干板的位置后方30~40 cm处观看,调整光路参量,使物经像散系统后的镜像在视觉上无畸变。摄制全息图,当用白光点源进行原始像再现时,只要双目离全息图的位置等于或大于上述距离时,观看到的再现像也是视觉上无畸变的。

三、实验研究

1. 像散一步彩虹全息

用一只焦距10 cm的凸柱面透镜摄制的像散彩虹全息图,再现像的像深可达50 cm,但景深只有2~3 cm,否则再现像会有明显畸变。采用两只凸柱面透镜作为成像系统,目的在于增大景深,光路如图1所示。图中用二个可移动的圆环 O_1 和 O_2 代替物的近端和远端,圆环 O_1 经透镜系统后的Y维像为 O_{1y} ,X维像就在 O_1 处; O_2 的Y维像为 O_{2y} ,X维像在 O_2 处。

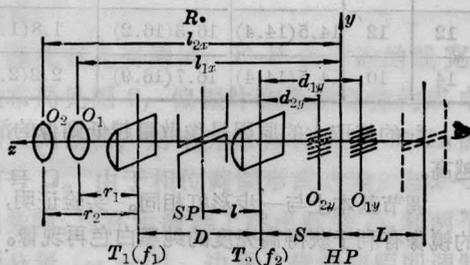


图 1

由双薄透镜成像的几何关系^[2],得到二只凸柱面透镜成像系统的像距 dy 和物距 r 之间的关系为 $dy = [D(r-f_1) - rf_1]f_2 / [(D-f_2)(r-f_1) - rf_1]$ 或

$$r = [dy(D-f_1-f_2)f_1 + dyf_1^2 - Df_1f_2] \times [dy(D-f_1-f_2) - (D-f_1)f_2]^{-1}$$

一种特殊情况有可能满足上述要求,就是 $D=f_1+f_2$ 。此时 $r = -(f_1/f_2)^2 dy + (f_1/f_2)(f_1+f_2)$,物的景深 Δr 和镜像的景深 Δdy 有线性关系:

$$\Delta r = -(f_1/f_2)^2 \Delta dy,$$

Δdy 可取4 cm,例如 $f_1/f_2=2$,物景深为16 cm; $f_1/f_2=3$;则为36 cm。另一方面,景深增大,像畸变也增加。从理论分析和实验结果来看,选用 f_1/f_2 等于2左右比较合适,能同时照顾到二者关系。

按 $D=f_1+f_2$ 固定二透镜的位置,双目处于透镜 T_2 后约40~50 cm处观看,调节圆环位置,找到二圆环在视觉上无畸变的最大间距。这样就确定了

物的近端和远端位置以及最大景深。而后取去圆环 O_1 ,用毛玻璃找到 O_2 的Y维像 O_{2y} ;放回 O_1 取去 O_2 ,用毛玻璃找到 O_1 的Y维像 O_{1y} 。二像的中点位置就是放全息干板处HP。最后拿掉圆环,放上被摄物。由 $1/l+1/(S+L)=1/f_2$ 计算出 l 值,放上光缝。双目处于缝像处,仔细调节二透镜的间距 D 和物的位置后,就可以拍摄全息图。

我们用透镜组: $f_1=15.6$ cm, $f_2=7.3$ cm。由实验观测确定的光路参数和理论计算值如表1。

表 1

(mm)	D (cm)	S (cm)	r_1 (cm)	r_2 (cm)	r_2-r_1 (cm)
实验值	22.5	7.8	7.0	27	20
理论值	22.9	7.6	5	25	20

从拍摄的全息照片的再现现象判断,实验值的匹配情况优于计算值。原因可能是薄透镜理论应用于厚透镜时有误差,而实验值是双目看着镜像进行调整的,因而能获得实际最佳值。由于被摄物的景深大,安排光路时应考虑到物上各部分的光和参考光的程差不要超过20 cm。在摄制景深达20 cm的物体时,缝宽只能取2 mm,否则再现像的远端会出现色模糊。当发现再现像的远端或近端太暗时,放干板的位置应向左或右移动一小距离。

2. 一步彩虹全息

一步彩虹全息的主要问题是体视性差。采用双透镜像散系统可以提高水平视差,达到改善体视特性的目的。为了保证一步彩虹再现像应有的清晰度,我们采用了在一步彩虹正像光路中插入一曲率半径较大的凹柱面透镜构成的像散光学系统,光路如图2所示。物 O 经透镜系统后形成像散像, O_x 为X维像; O_y 为Y维像。因为这种系统的像散性较小,物点经该系统后形成的X维像为一平行于Y轴的短线;Y维像为一平行于X轴的短线。所以 O_x 和 O_y 像用毛玻璃观看时是二个模糊的物像。与原物相比, O_x 沿Y方向扩展; O_y 沿X方向扩展。

这种系统对 f_1 和 f_2 的数值没有严格要求,但为了保证再现像的清晰度,像散量不能取得太大,一般 $|f_1|$ 的值以取 $2f_2$ 至 $3f_2$ 为宜。 D 的值在[1]中作过详细讨论,当 $D \approx 1.2f_2$ 时有最佳匹配。

因为像深和景深都不大,可以不用圆环,直接放上被摄物进行光路调节。先取去透镜 T_1 ,用毛玻璃找到物经 T_2 后的像,调整物距使像的大小、位置合适。放回 T_1 ,此时在毛玻璃上看到的像沿Y方向扩展了,这就是X维像。取去毛玻璃,双目处于缝像

位置观看,调节 T_1 位置,使看到物的镜像无畸变, D 值就确定了。 D 值一般在 $1.05f_2 \sim 1.35f_2$ 间匹配较好。最后将毛玻璃放回 O_x 像的位置,逐渐向后移动,当看到像沿 X 方向扩展而在 Y 方向无扩展时,就找到了 Y 维像 O_y 的位置,其中心平面就是放全息干板位置。当然,若先用二圆环代替物,调节会更准确些。

我们用两个透镜组作试验。实验光路参数和理论计算值(括号内)列于表 2 和表 3。

表 2 $f_1 = -24 \text{ cm}, f_2 = 9 \text{ cm}$

$r(\text{cm})$	$D(\text{cm})$	$d_x(\text{cm})$	$d_y(\text{cm})$	$d_y - d_x(\text{cm})$
16	9	14(14.1)	16(17.5)	2(3.4)
14	9.5	14.5(14.6)	16.5(17.6)	2(3.0)

表 3 $f_1 = -14 \text{ cm}, f_2 = 9 \text{ cm}$

$r(\text{cm})$	$D(\text{cm})$	$d_x(\text{cm})$	$d_y(\text{cm})$	$d_y - d_x(\text{cm})$
16	9.5	14(13.9)	19(19.2)	5(5.3)
13	9.5	14.5(15.0)	20(20.2)	5.5(5.2)

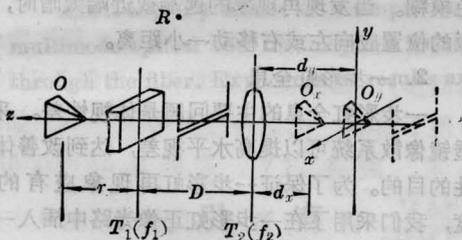


图 2

表中 r 为物的中心平面位置; d_x 和 d_y 为物的 x 维像和 y 维像上与 r 相对应的位置,近似等于像的中心平面位置。光缝可取 $4 \sim 5 \text{ mm}$ 。但要注意到 Y 维像的 Z 向宽度不宜超过 4 cm , 否则再现像的近端或远端会过暗或不清晰。

3. 像面全息

一般的像面全息图,其再现像跨立在全息图的两侧,靠近观看者的那部分像会引起视觉上的混乱。应用像散系统作为成像系统的目的在于使整个再现像落在全息图的后方,可以看到稳定清晰的再现像。我们采用的是与摄制一步彩虹相似的光路。考虑到被用于摄制像面全息图的物的景深很浅,只要将物的 X 维像的中心平面移到距全息干板后 $1 \sim 2 \text{ cm}$ 处,整个再现像就能落到全息图的后方。

我们用透镜组: $f_1 = -27 \text{ cm}, f_2 = 9 \text{ cm}$ 。光路参数列于表 4。

表 4

$r(\text{cm})$	$D(\text{cm})$	$d_x(\text{cm})$	$d_y(\text{cm})$	$d_y - d_x(\text{cm})$
12	12	14.5(14.4)	16.3(16.2)	1.8(1.8)
14	10	4.5(14.4)	16.7(16.9)	2.2(2.5)

f_1 的值取大的原因是像散量越低则像的清晰度越高。

调节基本上与一步彩虹相同。实验证明,缩小的镜像有利于获得高亮度的纯黑白色再现像。

参 考 文 献

- [1] 厉志明,刘淑辉;《光学学报》,1986,6, No. 5, 440.
 - [2] 刘淑辉,厉志明;《中国激光》,1986,13, No. 7, 424.
- (收稿日期:1986年9月24日)

(上接第 368 页)

- | | | |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Zhao Yuxing (赵裕兴) 741 | Zheng Yuxia (郑玉霞) 464, 575 | Zhu Huimin (朱慧敏) 499 |
| Zhao Yuying (赵玉英) 225 | Zhong Lichen (钟立晨) 262 | Zhu Jian (朱健) 189 |
| Zhao Zhensheng (赵震声) 57, 692 | Zhong Yuan (钟媛) 159, 436 | Zhu Lizhi (朱力知) 654 |
| Zhen Deshu (曾德树) 252 | Zhou Cui ping (周翠萍) 243 | Zhu Weizu (朱卫祖) 127 |
| Zhen Kung (曾堃) 199 | Zhou Haiguang (周海光) 735 | Zhu Xiaojie (朱筱杰) 508 |
| Zhen Xiangdong (郑向东) 37 | Zhou Heping (周和平) 599 | Zhu Xuanping (朱选平) 183 |
| Zhen Zhaoxin (曾昭信) 380 | Zhou Kun (周焜) 499 | Zhu Yanbin (朱延彬) 599 |
| Zheng Chengen (郑承恩) 193 | Zhou Nianzu (周念祖) 662 | Zhu Zhenghua (朱正华) 748 |
| Zheng Kequan (郑克全) 571 | Zhou Weijing (周文锦) 565 | Zhuang Dakui (庄大奎) 412 |
| Zheng Lemin (郑乐民) 718 | Zhou Yuliang (周玉良) 544 | Zhuang Guoliang (庄国良) 27 |
| Zheng Qianbing (郑茜冰) 359 | Zhou Zhengzhuo (周政卓) 544 | Zhuang Qi (庄琦) 346, 460, 646 |
| Zheng Qiguang (郑启光) 631 | Zhu Hanru (朱涵如) 96 | Zhuang Yuexiang (庄悦祥) 376 |