

# 正交柱形透镜全息术的色差和分辨率讨论

杨旭光 蒋 鸿

(山西大学物理系, 太原 030006)

## 提 要

本文讨论了正交柱形透镜全息术中的消色差范围, 分辨率, 像差和它的可能应用等问题.

关键词 全息术, 正交柱形透镜.

## 1 引 言

正交柱形透镜全息图<sup>[1]</sup>可以用白光再现, 并在一定范围内可以得到消色差或准消色差的白像, 它与像面全息相比, 优点是无视觉混乱. 像面全息, 像跨越底板, 观察时像将明显的分为底板前后两部分, 即所谓视觉混乱. 而正交柱形透镜全息, 像不跨越底板, 它完全位于底板之后, 甚至可以在距底板相当远的地方. 因此无视觉混乱现象. 本文讨论正交柱形透镜全息像的消色差范围, 分辨率, 像差等及其可能应用.

## 2 原理简述

如图 1 所示, 物体位置由  $xy$  坐标确定. 物点  $o$  被纵向放置的柱形透镜  $CL_1$  成像为纵向焦线  $A_1B_1$ . 被横向放置的柱形透镜  $CL_2$  成像为横向焦线  $A_2B_2$ . 坐标平面  $x_1y_1$  为焦线  $A_1B_1$  所在的平面.  $x_2y_2$  为焦线  $A_2B_2$  所在的平面. 底板  $H$  置于  $x_2y_2$  平面内. 两个坐标平面共  $z$  轴. 参考光  $R$  自上方入射. 曝光显影完毕后, 用白光沿参考光方向照明底板(全息图). 按全息原理将在两焦线位置重现出焦线  $A_1B_1$  和  $A_2B_2$  的全息像. 焦线  $A_2B_2$  在底板上(或附近), 所以它的像为像面全息像. 焦线  $A_1B_1$  远离底板, 它的像是一般费涅耳全息像. 观察点取在  $E$  处. 如果用两只眼睛平行于横向焦线  $A_2B_2$  观察, 由于眼睛瞳孔的限制, 看到的将是  $A_1B_1$  上的一个小线段  $o'$ , 即像点  $o'$ . 物体上每一点都按这个过程形成自己的像点, 各像点总起来便是我们所说的正交柱形透镜全息像.

由于同一个物体对纵向柱透镜  $CL_1$  和横向柱透镜  $CL_2$  的放大率不同, 因此在拍摄时光路配置必需满足如下的无畸变条件.

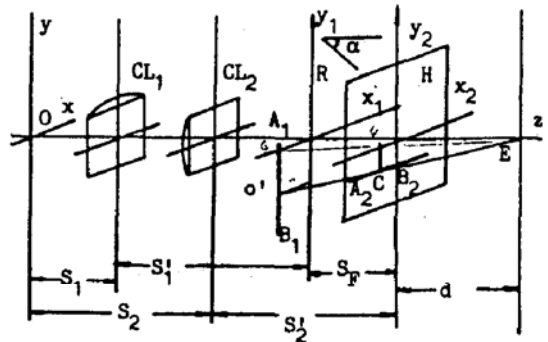


Fig. 1 The diagram for explaining principle

$$\frac{S_1'}{S_1} = \frac{d + S_F}{d} \cdot \frac{S_2'}{S_2}, \quad (1)$$

式中  $S_1$ ,  $S_1'$ ,  $S_2$ ,  $S_2'$ ,  $d$  及  $S_F$  各符号所代表的量都在图 1 上标出.

### 3 分辨率问题(像点大小)

假定几何光学成像系统是理想的,即除由柱形透镜造成的像散外,其他像差全已消除.像点  $o'$  的横向大小由全息图的线度和费涅耳全息像差确定,而纵向大小则由眼睛瞳孔的大小和如图 2 的几何关系确定.

$$A_y = D S_F / d, \quad (2)$$

式中  $A_y$  为像点的纵向大小,  $D$  为眼睛瞳孔的直径,  $S_F$  为两焦线  $A_1B_1$  和  $A_2B_2$  间的距离,  $d$  为眼睛与焦线  $A_2B_2$  的距

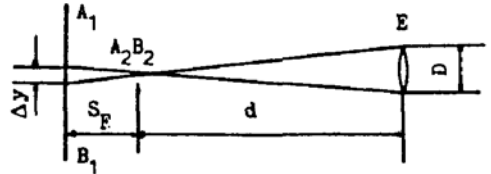


Fig. 2 The scheme about size of image point

离, 焦线  $A_2B_2$  垂直于纸平面. 举例: 当  $D = 2 \text{ mm}$ ,  $S_F = 33 \text{ mm}$ ,  $d = 1000 \text{ mm}$  时,  $A_y = 0.066 \text{ mm}$ , 对观察点的张角  $A\varphi = 0.22'$ . 一般人眼睛的分辨率为  $1'$ <sup>[2]</sup>, 此时优于人眼的分辨角, 像清晰可辨. 当  $d = 500 \text{ mm}$ , 其他条件不变时,  $A\varphi = 0.85'$ , 这与人眼分辨率相当, 所以我们说: 当  $S_F = 33 \text{ mm}$  时, 人眼与底版的距离必需大于  $500 \text{ mm}$  这个条件, 像才能看得清楚.

### 4 关于像差

1) 这种全息像各像点光线的横向传播分量(即平行于  $xz$  平面传播的分量)可以认为是来源于普通费涅耳全息图, 它的像差与普通费涅耳全息图的像差相同. 更确切的说, 由于物体不大, 各物点为近轴, 物光波的横向分量与参考波构成同轴全息图, 因此其像差与同轴全息图的像差相同, 横向色差很小, 几乎为零<sup>[2]</sup>. 所以说当物体不大时, 像为横向消色差或准消色差.

2) 各像点光线的纵向分量受眼睛瞳孔和横向焦线像  $A_2B_2$  的限制, 像点是被眼睛瞳孔在  $A_1B_1$  上截取的小线段. 因此对横向焦线位于全息图上的物点, 其像点  $o'$  的各种像差的纵向分量表现不出来(不进入瞳孔). 这样的物点, 其像点的纵向色差为零, 即像点的纵向是理想消色差的, 当然也是理想消色差的. 它对应于一个平面物体.

3) 对横向焦线不在底版上的物点, 各像点本身的纵向像差分量仍然表现不出来, 但它要受横向焦线像  $A_2B_2$  的纵向像差分量的影响, 即横向焦线像  $A_2B_2$  的纵向像差要转移到像点  $o'$  上, 如图 3 所示. 设横向焦线的纵向光线像差<sup>[3]</sup>为  $\delta y_2$ ,  $\delta y_2 = \overline{CD}$ , 它转移到像点  $o'$  上的纵向光线像差为  $\delta y_1$ , 则按图 3 的几何关系应有:

$$\delta y_1 = \frac{d + S_F}{d} \cdot \delta y_2, \quad (3)$$

当横向焦线  $A_2B_2$  与  $H$  的距离不大, 各种像差很小, 当然色差也很小, 它转移到  $o'$  上的纵向像差也很小. 这种纵向转移色差目视可以感觉不到, 此时称为准消色差.

由以上三点讨论可知, 当物体不大可视为近轴物点时; 其全息像的横向和纵向色差为零或近似为零. 所以用正交柱形透镜可以得到消色差或准消色差全息像. 实验表明; 目视消色差范围, 垂轴向(视场)可达  $10 \text{ cm}$ , 轴向(景深)可达  $5 \text{ cm}$ . 如果允许有轻微色差则范围要大得多了.

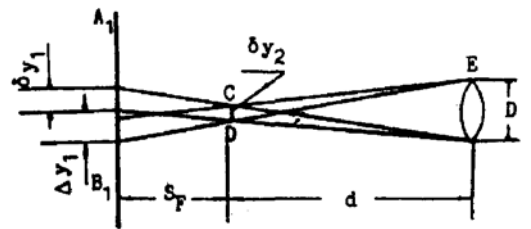


Fig. 3 The scheme for explaining transfer ray aberration

## 5 讨 论

1) 受无畸变条件的限制; 2) 使用两个柱形透镜, 视场角不易加大; 3) 被摄目标必须满足近轴条件, 视场不能太大.

以上讨论是用两支眼睛观察的情形, 如果用一只眼睛观察或用照像机拍照, 则观察到的或记录的将不是纵向焦线上的小线段而是由眼睛瞳孔或照像机光阑所截取两焦线段间的最小模糊圆, 它的像差与分辨率与用两只眼睛观察到的极相近但并不等同. 图 4 的照片是用照相机翻拍下的一个扬声器的正交柱形透镜全息振型图. 用皮腔式照像机, 光圈取为“22”, 物镜距全息像约 1.3 m. 负片比原物缩小一倍, 此照片系再将负片放大一倍而成, 因此照片与原物大小相等.

### 可能的应用

1) 在全息艺术方面, 这种全息像可以做到无视觉色散, 只有黑白两色, 给人以素雅明亮的感觉.

2) 由于它无视觉色差, 因此即使用白光光源再现, 也可以得到很高的干涉条纹级次. 作者曾在一个球体的全息像上观察到 30 多个等高线条纹, 并且比用激光(He-Ne)再现清楚得多. 这种全息方法可以应用于观察点固定或观察点移动不大的干涉计量问题中, 如振型显示, 等高线显示, 无损检验等.



Fig. 4 Photograph of the holographic image of a vibrating loudspeaker by orthogonal cylindrical lenses holography

## 参 考 文 献

- [1] 朱建平, 杨旭光, 中国激光, 1986, 13(1): 23~24
- [2] 于美文, 张静方, 全息显示技术, 北京, 科学出版社, 1989, 50
- [3] M. 玻恩, E. 沃耳夫 光学原理(中译本), 北京, 科学出版社, 1978, 268

## The discussion of chromatism and resolving power about the orthogonal cylindrical lenses holography

YANG Xuguang      JIANG Hong

(Physics Department, Shanxi University, Taiyuan 030006)

(Received 10 December 1991; revised 4 May 1992)

### Abstract

This paper discussed the achromatic region, resolving power, aberration and applied range etc in orthogonal cylindrical lenses holography.

**Key words** holography, orthogonal cylindrical lenses.