

## 物理学

# 利用双凹面实现三维显示

彭爱华

(中国石油大学(华东)物理科学与技术学院,青岛 266555)

**摘要** 真三维动态显示是图像显示技术发展的一个主要目标。基于双凹面镜可观察到物体的三维实像,一项新的三维显示方案被提出:用单凹面拍摄,用双凹面实现三维显示。该方案可实现真三维动态显示,其成像光路模拟了双凹面镜成实像,显示方案具有可行性。该三维显示方案对凹面的要求:两凹面顶点间的距离是凹面曲率半径的 $3/2$ 倍或 $1/2$ 倍时,能在圆孔处看见三维像,看见像的角度范围分别为 $104.48^\circ$ 和 $138.59^\circ$ 。

**关键词** 凹面 三维 显示

中图法分类号 O439; 文献标志码 B

图像显示技术发展的一个主要目标是实现图像的真彩色三维动态显示,以便更真实地记录和再现事物。目前的三维显示技术可分为以下四类:双眼视差<sup>[1,2]</sup>、激光全息<sup>[3]</sup>、静态成像<sup>[4]</sup>、动态体扫描<sup>[4]</sup>。利用双眼视差的三维显示技术有:利用柱透镜阵列分光、偏振光眼镜、快门眼镜等;激光全息的三维显示技术有:白光再现全息、计算机制全息图等;静态成像技术:利用两束相互垂直的红外激光在上转换材料中做三维空间的寻址扫描;动态体扫描技术有:用投影仪将图像切片快速连续地投影到旋转屏幕上、用三色激光束扫描旋转螺旋面等。利用双凹面镜可观察到物体的三维实像,这一有趣现象目前仅作为凹面镜成像规律的一个物理演示。还没有和该现象相关的三维显示技术。这里,基于双凹面镜可观察到物体的三维实像,一项新的三维显示方案被提出:利用双凹面实现三维显示。并给出了具体参数。

## 1 利用双凹面实现三维显示的原理

### 1.1 拍摄

如图1,上半个凹面上分布着固体摄像元件,可

以获得被拍摄物体发出的光线的方向、强度和颜色的信息。被拍摄物体位于下半个虚拟凹面的中心。上半个凹面和下半个虚拟凹面是几何对称的。

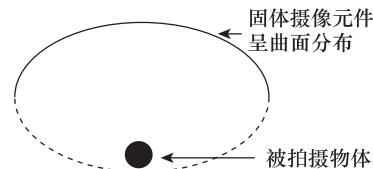


图1 拍摄示意图

### 2.2 显示

如图2,上半个凹面可按拍摄所得的光线的方向、强度、颜色出射光线(随着有机材料电致发光的发展,柔性显示屏出现后,可用在此处);下半个凹面是一个曲面镜;上半个凹面的中心区域是个圆孔,是成像区。



图2 显示示意图

利用上述方案可实现三维显示,是由于其成像光路模拟了双凹面镜成三维实像。

两曲率半径相同的凹面镜相对围成一个暗盒。在上面的凹面镜顶点开一小圆孔作为通光窗口,将一物体  $P$  置于下部反射镜面上  $O_1$  处,该物体出射的光先经过上凹面镜反射,反射光再经过下凹面镜反射,成像于圆孔  $O_2$  处。在圆孔处可看到该物体的像  $P'$  悬浮在圆孔上方,这一现象是物体通过该凹面镜组成像在圆孔  $O_2$  处。



图3 双凹面镜  
成像演示仪

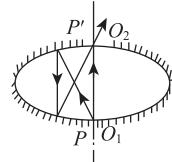


图4 双凹面镜  
成像光路图

利用双凹面实现三维显示的方案中,拍摄部分传感器件记录下的光和显示部分上凹面镜的发光器件按拍摄记录出射的光的方向都垂直于器件所在处的面。双凹面镜成像系统中,物体发出的垂直于上凹面镜面的光是会原路返回的。所以,在显示部分上凹面出射的光相当于双凹面镜成像系统中位于下凹面中心的物体出射到上凹面镜被反射回的光。该三维显示方案的成像光路模拟了双凹面镜成三维实像的光路,该方案具有可行性。

那么,该显示方案对双凹面的具体参数要求可按双凹面镜系统物体成像来求。

设两凹面镜的曲率半径都为  $r$ ,两顶点相距  $d$ ,上半个凹面称为  $M_2$ ,下半个凹面称为  $M_1$ ,上半个凹面的中心为  $O_2$ ,下半个凹面的中心为  $O_1$ ,物体  $P$  放在  $O_1$  处,经凹面镜组成像,要求所成像  $P'$  在圆孔  $O_2$  处,那么:

凹面镜镜面反射成像公式:

$$\frac{1}{S'} + \frac{1}{S} = \frac{2}{r} \quad (1)$$

物  $P$  经上半个凹面  $M_2$  成像,该像的位置  $S_2 = \frac{rS}{2S - r} = \frac{rd}{2d - r}$ 。

当  $S_2 > 0$  时,所成的像在  $M_2$  的下方;当  $S_2 < 0$  时,所成的像在  $M_2$  的上方。该像作为  $M_1$  的物而成

像  $P'$ ,此时物距为  $S = d - S_2$ ,或  $S = d + S_2$ ;要求所成像在  $O_2$  处,即像距  $S' = d$ ;将  $S = d - S_2, S' = d$  代入式(1),得  $O_1$  与  $O_2$  的距离  $d = \frac{r}{2}$  或  $d = \frac{3r}{2}$ ;将  $S = d + S_2, S' = d$  代入得  $d = \frac{r}{2}$ 。

由上面计算可知,当凹面镜顶点相距为  $d = \frac{r}{2}$

或  $d = \frac{3r}{2}$  时,  $O_1$  处的物可成像在  $O_2$  处。从圆孔射出的边缘光线所形成的夹角为  $2\theta$ ,只有在此角范围内才可看到图像,如图 5 所示。

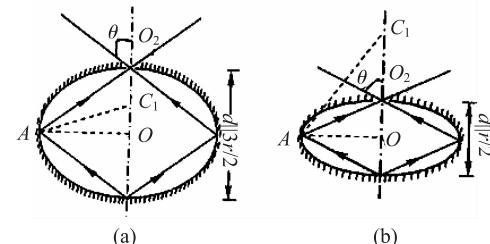


图5 像的可视范围示意图

$C_1$  为  $M_1$  的曲率中心,根据几何关系,有

$$\theta = \arctan \frac{OA}{OO_2} = \arctan \frac{\sqrt{C_1 A^2 - OC_1^2}}{OO_2}.$$

当两镜面顶点  $O_1$  与  $O_2$  的距离  $d = \frac{3r}{2}$  时,

$$\theta = \arctan \frac{\sqrt{r^2 - (\frac{r}{4})^2}}{\frac{3}{4}r} = \arctan \sqrt{\frac{5}{3}} \approx 52.24^\circ.$$

当两镜面顶点  $O_1$  与  $O_2$  的距离  $d = \frac{r}{2}$  时,

$$\theta = \arctan \frac{\sqrt{r^2 - (\frac{3}{4}r)^2}}{\frac{1}{4}r} = \arctan \sqrt{7} \approx 69.29^\circ.$$

两镜面顶点须相距  $d = \frac{3r}{2}$  或  $d = \frac{r}{2}$ ,才能在圆孔处看见像,看见像的角度范围分别为  $104.48^\circ$  和  $138.59^\circ$ 。

### 3 结论

用单凹面拍摄,用双凹面实现三维显示,是一项新的三维显示方案。其成像光路模拟了双凹面镜成实像,显示方案具有可行性。该三维显示方案对凹面的要求:两凹面顶点间的距离是凹面曲率半径的 $3/2$ 倍或 $1/2$ 倍时,能在圆孔处看见三维像,看见像的角度范围分别为 $104.48^\circ$ 和 $138.59^\circ$ 。

### 参 考 文 献

- 1 孔令胜,南敬实,荀显超.平面三维显示技术的研究现状.中国光学与应用光学,2009;(2):112—118
- 2 Hong H K , Park J, Lee S C, et al. Autostereoscopic multi-view 3D display with pivot function, using the image display of the square sub-pixel structure. Displays, 2008;29: 512—520
- 3 杨帆,杨宁,激光全息照相技术及其应用前景.中州大学学报,2008;(2),106—108
- 4 姜太平,沈春林,谭皓.真三维立体显示技术.中国图象图形学报,2003;(4),361—366

## 3D Display Based on Double Concave Sides System

PENG Ai-hua

(School of Physical Science and Technology, China University of Petroleum, Qingdao 266555, P. R. China)

**[Abstract]** True three-dimensional dynamic state display is a main goal of display. 3D real image of object can be observed through double concave sides system. Based on the phenomenon, a new scheme about 3D display is put forward: filming is base on one concave side and 3D display is based on double concave sides system. The scheme can achieve true three-dimensional dynamic state display. Its path of image formation rays simulates the path of rays in real image of object observed through double concave sides system. The scheme has feasibility. The concave sides in the scheme need to satisfy concrete condition: when the distance between the two apexes of concave sides is equal to  $3/2$  or  $1/2$  times of radius of curvature of the concave sides, 3D image can be seen at the sketched hole. The ranges of angle are  $104.48^\circ$  and  $138.59^\circ$ .

**[Key words]** concave side    3D    display