

3D影像技术中的光学应用

张亮 张敏

近年来,3D开始进入人们眼帘,在我们生活的周围到处充斥着3D广告、图书、电影等,原本是平淡无奇的平面为什么会展示出栩栩如生的神奇立体世界?魔术?还是幻觉?其实道理很简单,以下我们从光学的角度出发探讨一下这神奇世界背后的奥秘。

一、人是如何看见立体的?

大部分人认为是眼睛的功能,眼睛就像一个照相机,外界物体在视网膜上成像,人们就“看到”了物体。其实,光靠眼睛是无法看到立体的,因为眼睛视网膜上的像是外界景物的投影,是二维影像,缺乏远近等深度信息。人之所以能感觉出三维空间的景物,还需大脑的参与,是眼睛和大脑共同作用的结果。人两眼之间有一定的间距(约6.2cm),我们在观察外界物体时,左、右眼各看见三维景物的左侧和右侧的细节,物体在左右视网膜上所成的像会有一些细微的差别,称为视差。(我们可以做一个简单的实验:把手掌垂直放置在两眼间,分别闭上左眼或右眼观察它,我们会发现两眼看到的景象是不同的。)这种差异引起的神经冲动传送到大脑皮层,经大脑皮层视区的综合作用便形成一个具有立体感的视觉影像,从而产生立体知觉。

二、立体图深度感的形成机制

平常我们见到的平面图,如相片、素描,反映了物体上下、左右二维关系,尽管也有一定的立体感,但这主要是根据平常的视觉经验,运用光影、虚实、明暗对比来体现的,并不是真实意义上的空间立体感。我们用物理光学来简单分析一下平面照片不能形成立体感的原因。

如图1,设C为平面M上任一物点,该点发出的光线(反射光线)在M上方空间是向四周发射的,进入双眼的光线为CA、CB,人眼凭这两条光线,

可判定C点在平面M上。对平面M上的其他任何点,由于均有两条光线到达人的双眼,所以人眼可以判定M上的所有的点均在同一水平面上,因此我们视觉和大脑无法提取画面上物体真实意义上的空间立体感。在摄影中,人们也会利用平面图缺乏深度信息这种特点来塑造一些趣味效果,如图2。

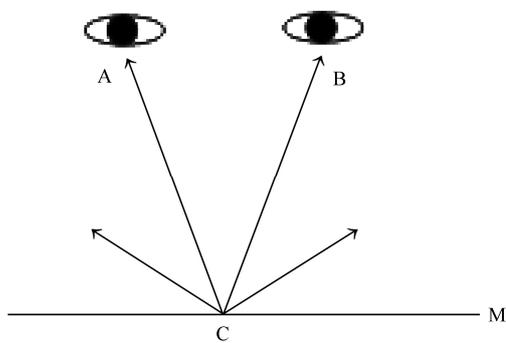


图1



图2 平面图缺乏深度信息,人感觉到手握住了比萨斜塔

真正的立体画面是模拟人眼看世界的原理,可以使眼睛感官上看到物体的深度信息。我们也以光路图为例来说明立体图深度感的形成机制。

如图3,设A、B为特征相同的两个点,如果

通过某种特殊的方法，使得 A 点发出的光线只能到达左眼，而 B 点发出的光线只能到达右眼，人眼凭这两条光线就会形成一种错觉，认为这两点是一个点 C，且该点在平面 M 以下，即形成远景。如果 A 点发出的光线只能到达右眼，而 B 点发出的光线只能到达左眼，人眼就会认为光线从 C 点发出，且浮出在平面 M 上，即形成近景。这就使得我们能够利用平面图像来实现立体显示。因此可知，采用平面图像实现立体显示的关键有两个：

(1) 在同一个平面上形成两个或多个特征相同的像点，即左视图和右视图。

(2) 分离左右视图，使得左眼只能看到左视图，右眼只能看到右视图。

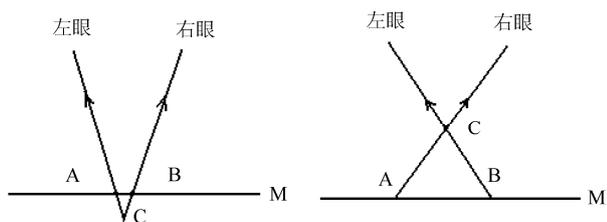


图 3 立体图远、近景的形成

如何分离左右视图呢？照像术、透镜材料以及光学的发展产生了许许多多的三维成像方法。现在我们以生活中常见的几种立体影像为例，简单的介绍此领域的各种光学三维成像方法的基本原理、观察方式、特点及其局限性。

三、光学立体显示技术

光学三维立体显示技术，按照观察的方式，大体可分为两类：一类需要借助助视仪器（眼镜），如红绿立体图、偏振立体电影；另一类无需助视仪器，也称裸眼 3D 显示技术，如随机阵点立体图、光栅立体图、全息图等。

红绿立体图（或电影）：了解了立体感的形成机理后，红绿立体图的制作就非常简单了。我们只需要在拍摄完第一张照片之后，把相机水平移动一定的距离（6.2cm），对准原来的目标再拍第二张，将拍摄完成的两幅图片处理成单色图像（通常是红和绿）后合成为一张图片即可。因此，当我们裸眼直接观察这类立体图时，画面有很明显的重影，并没有显示立体效果。要观察到立体效果，观察者通常需要佩戴红绿立体眼镜（图 4）。红绿立体眼镜的镜片是两块滤光片，用来帮助隔离左右眼的影像。

滤光片颜色和组成立体图像的颜色是对应的，比如，观察一幅通过红色和绿色通道混合的图像，观察者需要佩戴带有红色滤光片和绿色滤光片的立体眼镜，红色滤光片使一只眼睛只能看到图像上的红色部分，而绿色滤光片则使另一只眼睛只能看到图像上的绿色部分，从而模拟了人眼真实观察立体景物的情景，如图 5。



图 4 红绿眼镜

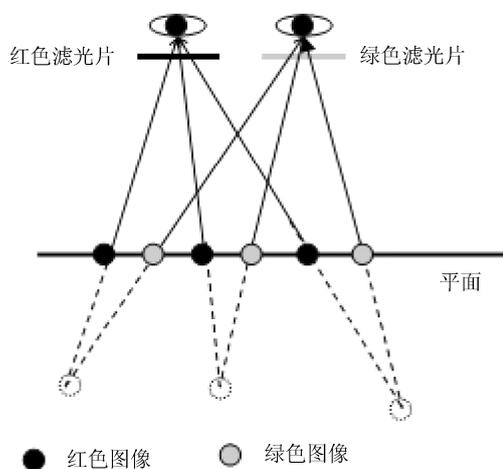


图 5 红绿立体图原理图

红绿立体图制作简单，立体效果逼真，在图书等教育领域广泛应用。值得一提的是，红绿立体图在人类的空间探测领域中也发挥了重要的作用。在空间探测中，人类常借助空间探测器发回其他星球的照片来分析外星球表面的特性，但问题是在平面相片中，由于没有熟悉地标作为参考，人们很难理解所观察场景的特性。2003 年，美国国家航空航天局（NASA）在火星探测漫游者计划中使用了可以产生立体图的设备，两台摄像机被安装在漫游者离地面 1.5 米的位置，产生具有视差的一对图像，形成立体三维图像。通过红绿立体成像系统，研究人员可以详细的观察到立体的火星表面，从而很好地

解决了无人空间探索中所遇到的问题（图 6）。

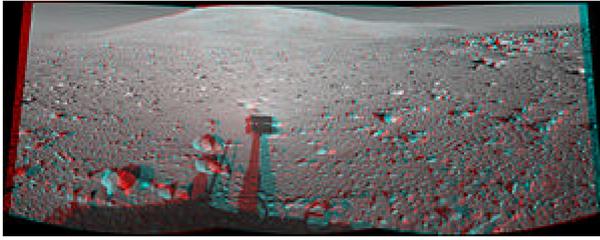


图 6 勇气号发回的显示火星表面的三维红绿立体图，摄于 2004 年 6 月 8 日。需要通过带有红色滤光片和绿色滤光片的立体眼镜观察

立体电影的原理与此类似，只不过平面内不再是静止的图片，而是动态的视频。在技术上，就是要实现左、右双画面放映并分别映入观众的左、右眼，再通过大脑复现成三维图像。早在胶片电影发明后不久，人们就在尝试以各种方式和形式放映立体电影。这其中，红绿电影设备成本较低，而且采用这类滤光原理制作的电影对显示屏幕没有特殊要求，在投影、电视、电脑上都能观看，因此在很大的范围得到应用。但红绿电影毕竟是过滤一部分色彩而换来的 3D 的立体效果，因此电影屏幕颜色单一，画面昏暗，没有普通影片鲜活。另外如果眼镜不适配或有色弱的人群不能正常观看，会有重影。

偏振立体电影：偏振立体电影是利用光线的偏振原理来分离左右影像的。在制作时，它模拟人眼观察景物的方法，并列安置两台摄影机，分别代表人的左、右眼，同步拍摄出两条略带水平视差的画面。放映时（图 7），将两条影片分别装入左、右电影放映机，并在放映镜头前分别装置两个偏振光轴垂直的偏振镜。两台放映机需同步运转，同时将画面投放在银幕上，形成左影像、右影像的双影画面。当观众戴上偏光眼镜时，由于左、右两片偏光镜的偏振光轴互相垂直，并与放映镜头前的偏振光轴相一致，致使观众的左眼只能看到左影像，右眼只能看到右影像，由大脑处理后产生三维立体的视觉效果，展现出一幅幅连贯的立体画面，使观众感到景物扑面而来或进入银幕深处，能产生强烈的身临其境的立体感。这种方法可以作到大视场、大景深，成像质量优良，画面栩栩如生，且可用于彩色图像，故在立体电影的迅速发展得到了广泛而成功的应用。迄今为止，它仍然是实现大屏幕立体显示的最具实用和普及的技术。

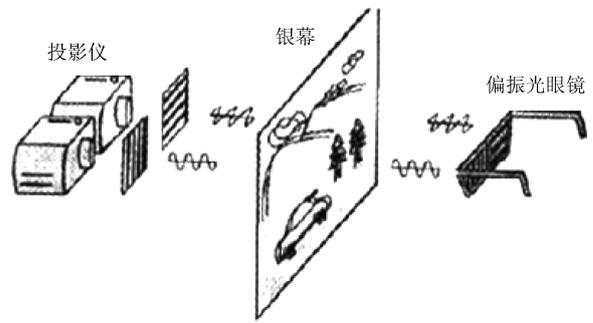


图 7 偏振立体电影原理

随机阵点立体图：其由前红绿立体图变化而来，特点是用颜色随机的点阵代替了实物图像，一般由计算机制作，如图 8。它是由许多在水平方向上重复周期稍有差异或视角稍有变化的元图像在该方向重复排列而形成的深度感。这类立体图所表达的立体内容无法直接辨认，观看时也不需要带特殊眼镜，但需通过特殊的观察方法，如须将双眼视线聚焦于无穷远处或相互交叉，方可感觉到隐藏在其中的立体形。随机阵点立体图像三维显示技术所存在主要问题是立体融合困难，只有具备良好的立体视觉的人才能感知到这种空间形体的存在。如果观察者的单眼视力有缺陷或不具备立体视觉功能，就不能辨别出这种空间形体的存在。因此，在医学临床上，随机阵点立体图也常用来判别观察者是否具有立体视觉，通过计算机生成的具有不同视差等级的随机点体视图，还可以定量检测出观察者的立体锐度、交叉视差、非交叉视差等立体视觉参量。但这类立体图因制作简单，印刷方便，曾在国内外颇为流行，被称为“画中画”、“魔画”，等。

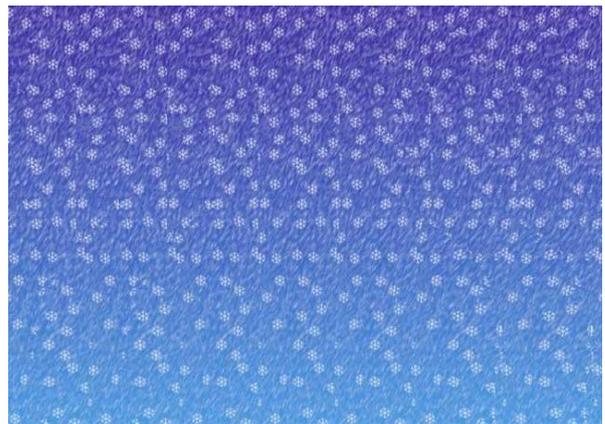


图 8 随机阵点立体图，隐藏在画面里面的是一只奔跑的梅花鹿

光栅立体图片用光栅板代替眼镜片，免去了观众配戴眼镜的累赘，是一种自动体视立体技术。而根据光栅的类型，这类立体图又分为狭缝光栅立体图和柱镜光栅立体图。

狭缝光栅立体图：光栅立体图片一般主要由光栅板和抽样图粘接而成。抽样图是由两幅以上的视差图像按奇偶列分成两个相互交错的特殊图像，如图 9，左、右分别形成左右眼图像显示像素区。光栅板则是置放在人眼和图像之间的一多狭缝挡板，且与图像列像素平行且按一定比例周期排布。由于光栅的阻隔作用，使得左眼只能看到左眼像，右眼只能看到右眼像，从而分离了左右眼的图像，产生立体的视觉效果，如图 10。但视差挡板立体图也有一些明显的缺点，例如挡板的使用会降低图像的亮度及产生衍射效应等，所以狭缝式图片也称“黑光栅”，需要灯箱才能看到立体图像，但却具有立体感强、清晰度高、色彩鲜艳的特点。

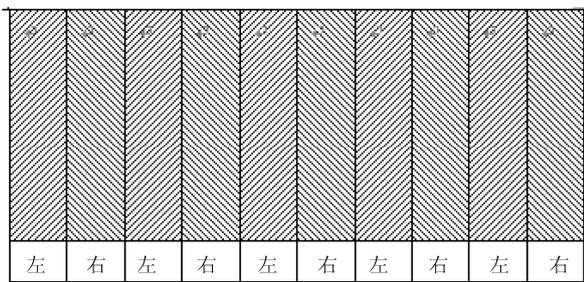


图 9 光栅立体图抽样图分布

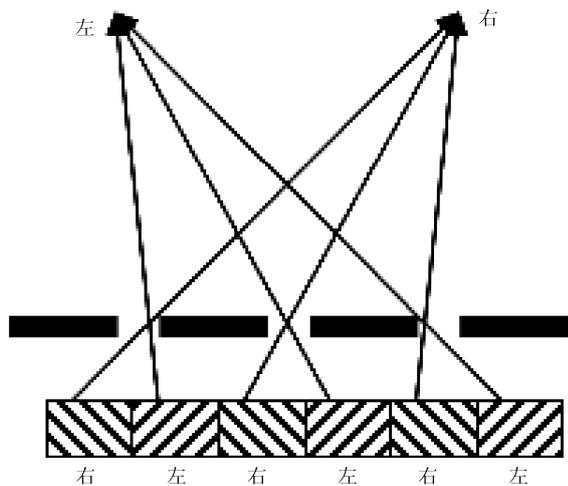


图 10 狭缝光栅立体图原理

柱镜光栅立体图与狭缝光栅立体图不同，柱镜光栅立体图的光栅是由一系列竖条形柱透镜组成。

由于透镜的折射作用，使得平面上不同点的像，出射光线的方向在一个特定范围以内。如图 11 所示， O 为柱面轴心， P'_0 点的像只能沿 P'_0OE' 出射，偏离 P'_0O 方向的光线因柱面的折射而不能进入人眼， P'_0 点的像只能沿 P'_0OE' 出射。由此可见，柱镜光栅具有分光作用，可使视差图像分离，分别进入人的左右眼，让两眼看到不同的图像，产生立体感。柱镜式立体图的优点是不需要灯箱，借助环境光就能看到立体图像，因此可以在公共场合展示，且制作简单，成本较低，因此具有更广阔的发展空间，包括印刷、摄影、广告、装饰、仿真等领域。

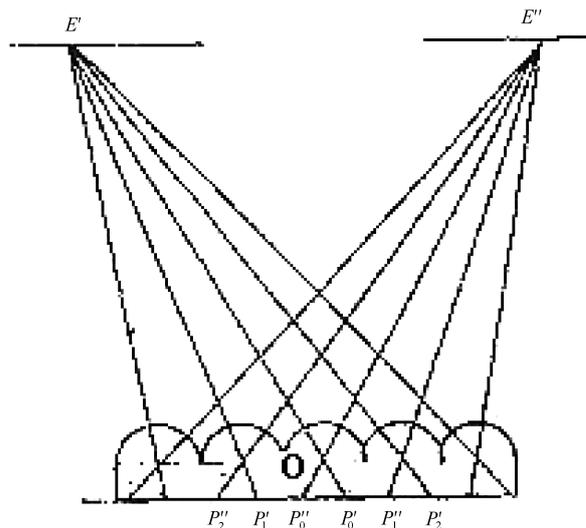


图 11 柱镜光栅立体图原理

全息立体图：全息术是英国科学家丹尼斯·伽博于 1948 年提出的一种崭新的成像概念，并因此获得了 1971 年度诺贝尔物理学奖。按照物理学观点，人眼之所以能看见外界物体，是由于物体发出的光波到达了人眼的视网膜，视神经细胞接收到物光波，从而产生三维空间像的视觉。按照这一成像理论，伽博采用了和传统照相截然不同的思路和方法，传统照相是记录物体面上的光强分布，它不能记录物体反射光的位相信息，因而失去了立体感，而全息术是设法完全记录三维物体物光波的振幅和位相分布等较为全面的物光波信息，因此称为“全息图”。

全息技术是利用光的干涉和衍射原理记录并再现物体真实的三维图像技术。通常记录过程利用光的干涉存储或“冻结”了三维物体的全部光学信息，

此即拍摄过程。原理如图 12。被摄物体在激光辐照下形成漫射式的物光束；另一部分激光作为参考光束射到全息底片上，和物光束叠加产生干涉，把物体光波上各点的位相和振幅转换成在空间上变化的强度，从而利用干涉条纹间的反差和间隔将物体光波的全部信息记录下来。因此如果人眼直接去看这种感光的底片，只能看到像指纹一样的干涉条纹。再现过程，即从全息图中提取物光波的信息，则利用光的衍射来完成，用适当的光波照射全息图，“解冻”或重构原来的物光波，人眼迎着再现物光波观察时，就如同通过全息图这个窗口去观察原来的真实物体一样。从这种意义上来说，全息像才是真正的三维像，而前文所述各种由视差合成的图像只是“准”三维像。

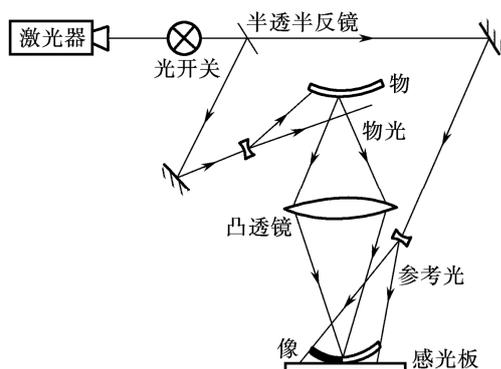


图 12 全息原理图

全息立体图的景物立体感强，形象逼真，效果突出。在一些博物馆，我们甚至可以用此方法把一

些珍贵的文物用这项技术拍摄下来，展出时可以真实地立体再现文物，供参观者欣赏，而原物妥善保存，防失窃。其实，在生活中，也常常能看到全息摄影技术的运用。比如，在一些商品的商标、身份证、银行信用卡，甚至钞票上就会出现“彩虹”全息图。但这些全息图像感光度低，更多只是作为一种复杂的印刷技术来实现防伪目的。

四、评论与展望

本文简单的评述了实现三维显示的一些光学方法，这些方法主要局限于光学领域的范围，并且没有涉及其中理论分析和技术细节。但从中已可看出，光学方法可以给立体图示技术提供一些基本原理和实现途径，而且在许多方面已得到了成功的运用。但由于光学方法的某些固有特点，使得这些技术还有不同程度的局限。其实人类在对 3D 视图的追求远不止于此，由此产生了很多其他很多的技术和方法。除了以上几种方法之外，近代电子技术及液晶技术等领域的迅速发展为三维显示提供了另一重要途径。走进家电卖场，3D 电视琳琅满目，3D 消费电子产品迭出，从 3D 笔记本电脑到 3D 投影机、3D 数码相机等许多条产品线中均出现了 3D 的身影。总之，立体图像技术的出现是在图像领域彩色替代黑白后又一次技术革命，借此 3D 内容迅速丰富，3D 产业蓬勃发展，将来也必定是图像行业发展的未来趋势。

(江苏南京晓庄学院物理与电子工程学院 211171)



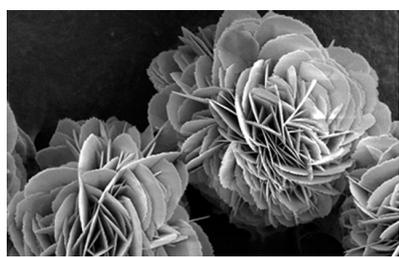
科苑快讯

无法观赏的纳米花

纳米花可不能在约会时作为礼物，但是研究者说这些只能在电子显微镜下才能看到的花形微粒却有着特殊用途。它们由磷酸铜花瓣包围的蛋白质组成。

这些花瓣不仅漂亮，而且还有两个重要功能。首先它们保护蛋白质，防止其损坏分解。其次，如果蛋白质有催化作用（即加速其他化学反应），包裹在纳米花中将提高其催化效率。因此纳米花催化剂比裸露蛋白质的催化效果更好，保持时间也更长。这一研究结果已发表于 6 月的《自然纳米技术》(Nature Nanotechnology)，研究者目前利用其提高嗜铬细胞瘤（一种罕见的肾上腺肿瘤）检验的准确

性和速度。这一测试包括检测患者尿液中肾上腺素的激素水平，科学家利用纳米花可以提高催化效率以检测激素含量。在未来，他们还建议将纳米花用于探测工厂废水废气中的有毒污染物，会比现有技术更加有效。



(高凌云编译自 2012 年 6 月 5 日 www.sciencemag.org)