**Optoelectronics** 光电子, 2017, 7(1), 15-20
Published Online March 2017 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/oe
https://doi.org/10.12677/oe.2017.71003

Hans汉斯

# Identification and Analysis of "Holographic Technology"

**Mouzhao Zhou*, Saisai Song**

School of Mechanics and Optoelectronic Physics, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui
Email: *2499732090@qq.com

Received: Mar. 6th, 2017; accepted: Mar. 24th, 2017; published: Mar. 27th, 2017

## Abstract

**Holographic technology is widely used in image processing and display, stage performance and so on, and now it has become an indispensable part of people's life. However, what we usually call "holographic technology" is not the holographic technology in the scientific sense, but rather the Pepper's ghost. This paper introduces the principle and application of holography technology and Pepper's ghost. The purpose is to help people to better identify the "holographic technology", then holographic technology and Pepper's ghost will be better suited to the illusion of life and practice.**

## Keywords

**Holographic Technology, Pepper's Ghost**

# "全息技术"辨析

**周谋昭*，宋赛赛**

安徽理工大学，力学与光电物理学院，安徽 淮南
Email: *2499732090@qq.com

收稿日期：2017年3月6日；录用日期：2017年3月24日；发布日期：2017年3月27日

## 摘 要

**全息技术在图象处理和显示、舞台表演等方面都具有极其广泛的应用，现在已成为人们文娱生活中不可或缺的一部分。然而，我们平时所说的"全息投影技术"并不是真正科学意义上的全息技术，而是佩珀尔幻象。本文介绍了全息技术与佩珀尔幻象各自的成像原理和具体应用，帮助人们更好地辨别"全息技术"，从而将全息投影和佩珀尔幻象更好地应用于生活与实践之中。**

*通讯作者。

文章引用: 周谋昭, 宋赛赛. "全息技术"辨析[J]. 光电子, 2017, 7(1): 15-20. https://doi.org/10.12677/oe.2017.71003

## 关键词

**全息技术，佩珀尔幻象**

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

## 1. 引言

全息技术与佩珀尔幻象在日常生活中都有着广泛的应用[1] [2] [3]，他们把人们带入了一个全新的 3D 时代。全息技术发展于 20 世纪中叶，1947 年，英国匈牙利裔物理学家丹尼斯·盖伯发明了全息投影术，他因此项工作获得了 1971 年的诺贝尔物理学奖。1962 年，美国人雷斯和阿帕特尼克斯在基本全息术的基础上，将通信行业中“侧视雷达”理论应用在全息术上，发明了离轴全息技术，带动全息技术进入了全新的发展阶段。2001 年德国国家实验室首创研发了全息膜技术，使三维图像的再现成为可能。2008 年，美国亚利桑那州大学打造了展现大脑的可更新的 3D 全息显示屏。日本广播公司(NHK)决心在 2020 年之前推出第一台 Holo-TV，现已拨款 28 亿英镑用于这一雄心勃勃的项目。在舞台及魔术表演中常见的所谓的“全息投影技术”实际上是佩珀尔幻象。在十九世纪六十年代，一位名叫亨利·德克斯的发明家在古老的意大利光幻象的基础上进行了创新，利用玻璃和光来操控视觉效果，这种光幻象称为德克斯幻觉效应。由于这种视觉效果的产生极其复杂且成本高昂，需要完全重建剧院才能将特技展现出来，因此并未得到推广。约翰 H.佩珀尔于同一时期在伦敦皇家理工学院演讲时提出，用一种简单的方法在既有的剧院环境中实现德克斯的视觉效果，即仅仅使用一片玻璃。由于佩珀尔使这种幻象普及开来，因此被称为佩珀尔幻象。

国内目前对佩珀尔幻象经常直接以“全息投影技术”相称，这样的称呼在一定程度上混淆了全息投影的概念[4]，不利于人们真正科学地了解全息技术和佩珀尔幻象技术，一定程度上也阻碍了相关技术地发展。本文对全息技术与佩珀尔幻象各自的成像原理和具体应用进行了具体地介绍帮助人们更好地辨别“全息技术”，从而将全息投影和佩珀尔幻象更好地应用于生活与实践之中。

## 2. 全息技术

### 2.1. 全息技术的原理

全息技术也称虚拟成像技术，是利用干涉和衍射原理记录并再现物体真实的三维图像的记录和再现的技术[5]。它分为两步，干涉照相，衍射重现，原理如图 1 所示。

第一步是利用干涉原理记录物体光波信息，此即拍摄过程：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。记录着干涉条纹的底片经过显影、定影等处理程序后，便成为一张全息图，或称全息照片。

设物体散射的物光波为：

$$\widehat{E_0(x,y)} = a_0(x,y)\exp\left[i\varphi_0(x,y)\right]$$

另一个与物光波相干的参考光波为：

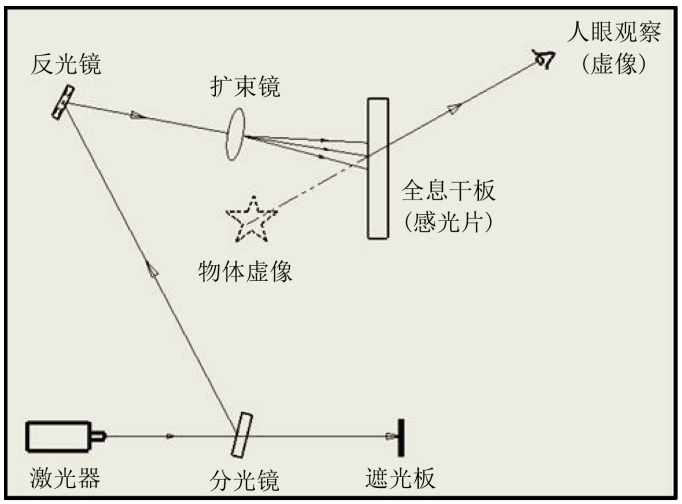


**Figure 1.** Schematic diagram of holographic technology
**图 1.** 全息技术原理图

$$\widehat{E_r(x,y)} = a_r(x,y)\exp\left[i\varphi_r(x,y)\right]$$

其中 $a_0(x,y)$、$a_r(x,y)$、$\varphi_0(x,y)$、$\varphi_r(x,y)$ 分别表示各波面的振幅和相位。

这两个相干光波在记录平面上叠加形成的光强为：

$$\begin{aligned} I(x,y) &= \left|\widehat{E_0(x,y)} + \widehat{E_r(x,y)}\right|^2 \\ &= \left|\widehat{E_0(x,y)}\right|^2 + \left|\widehat{E_r(x,y)}\right|^2 + \widehat{E_0^*(x,y)}\,\widehat{E_r(x,y)} + \widehat{E_0(x,y)}\,\widehat{E_r^*(x,y)} \\ &= a_r^{\,2} + a_0^{\,2} + 2a_r a_0\cos\left[\varphi_r - \varphi_0\right] \end{aligned}$$

其中，第一项和第二项分别表示参考光波和物光波单独到达全息图的强度，它们的和表示干涉条纹的平均强度，第三项包含了物光波和参考光波的振幅和相位信息。参考光波的作用是使物光波波前的相位分布转化为干涉条纹的强度分布。

底片振幅透射系数 $t(x,y)$ 为：$t(x,y) = k_0 + k_1 I(x,y)$。

其中 $k_0$、$k_1$ 是常数，$k_1 < 0$ 是负片，$k_1 > 0$ 是正片。

$$\begin{aligned} t &= \left(k_0 + k_1\left|\widehat{E_r}\right|^2\right) + k_1\left(\left|\widehat{E_0}\right|^2 + \left|\widehat{E_r^*}\,E_0 + E_r E_0\right|\right) \\ &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \end{aligned}$$

第二步是利用衍射原理再现物体光波信息，其成象过程为：全息图犹如一个复杂的光栅，在相干激光照射下，一张线性记录的正弦型全息图的衍射光波一般可给出两个象，即原始象(又称初始象)和共轭象。再现的图像立体感强，具有真实的视觉效应。全息图的每一部分都记录了物体上各点的光信息，故原则上它的每一部分都能再现原物的整个图像，通过多次曝光还可以在同一张底片上记录多个不同的图像，而且能互不干扰地分别显示出来。

如果照明光是与全息图记录时的参考光波完全相同的光波 $\widehat{E_0 = E_r}$，透过全息图的光波的复振幅分布 $\widehat{E(x,y)}$ 为：

$$\begin{aligned}\widehat{E}(x,y) &= \widehat{E_r t} \\ &= \left\{\left(k_0 + k_1\left|E_r\right|^2\right)\right\}\widehat{E_r} + k_1\widehat{\left|E_0\right|^2 E_r} + k_1\widehat{\left|E_r\right|^2 E_0} + k_1\widehat{\left|E_r\right|^2 E_0^*} \\ &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4\end{aligned}$$

其中，第一项和第二项表示衰减的重现光 $\widehat{E_r}$ 方向不变的透过全息图，第三项是透过全息图的+1 级衍射光，除了一个常数衰减外，这是一个与原物光波完全相同的重现物光波，第四项是通过全息图的-1 级衍射波，这是一个与原物光波的共轭波。

## 2.2. 全息技术的应用

随着全息术的迅速发展，全息照相技术的应用领域已越来越广泛，如今它已被应用于以下领域中[6]：

### 2.2.1. 全息显微技术

全息显微技术是全息与显微相结合的技术[7] [8]。与一般显微术相比，其优点是能存储标本物整体，无须制备标本物的切片。尤其是对一些活的标本物，它可以用高功率的连续光或脉冲激光拍照全息图，长期保存，再现像具有立体性，能显示样品的细节。全息显微术主要有 2 种形式：一种是将全息技术和显微镜结合，称为“全息显微镜”，解决了一般显微镜中分辨本领与景深的矛盾，避免了像差影响而达到很小衍射极限，可以获得更大的视野；一种是利用全息图本身的特性来进行放大，称为“全息放大”。如果在拍摄和显示时，采用不同波长，衍射角不同，这等于将全息图作了相应的调整，可以实现图像放大。全息显微术广泛应用于医学、生物学、科研等方面。

### 2.2.2. 全息显示技术

全息显示是指利用全息照片来重现十分逼真的物体的三维图像。这个领域是商业价值较高的领域，尤其是白光再现全息术，它是走出实验室的最实用的全息术。现在民品开发主要集中在全息显示领域，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，而使原物妥善保存，防止失窃。大型全息图既可展示轿车、卫星以及各种三维广告，亦可再现人物肖像、结婚纪念照。小型全息图可以戴在颈项上形成美丽装饰，它可再现人们喜爱的动植物，如多彩的花朵与蝴蝶等。用于全息显示的全息图主要有菲涅耳全息图、像全息图、反射全息图、彩虹全息图、合成全息图等。这些图片可用于投影、室内装潢舞台布景、建筑等；层面 X 射线照相术、3DCAD 技术、3D 动画片等充分展示了全息术的创造性魅力和艺术美。

### 2.2.3. 全息模压

全息术是 20 世纪 70 年代提出的一种低成本大批量复制全息图的技术，也是目前世界上唯一能够大规模工业化生产全息图的技术方法。其生产过程是首先通过全息照相技术获得一张表面浮雕式全息图，再通过精细化学镀膜技术制成上机镍板，最后通过专用模压机在适当材料(PET 和 PVC)上压印出全息图像。模压全息技术类似于凸版印刷术，但由于不需要使用油墨，因而又被称为无油墨印刷。由于它可以印刷立体图像并具有广泛的前景，又被称为“立体印刷”和“21 世纪的印刷术”。它解决了全息图的复制问题，可以大规模生产，使全息图最终走出实验室，迅速商品化，并使全息术进入人们社会生活的很多领域。模压全息图逼真的三维显示、变幻无穷五彩缤纷的图像，使其在包装、产品促销和装饰上得到充分应用，其最重要的应用是在防伪领域。目前，很多国家的护照、身份证、信用卡、商标、商品包装上都用模压全息作为防伪标识，并不断推出新技术打击伪造者。

#### 2.2.4. 全息计算

计算全息图的物波不是来自真实物体的光波，而是人们利用计算机算出的假想物体的物波函数——物波的光场分布。可以先由计算机算出假想物体的物波与参考波相干叠加的光强分布，再由计算机绘图仪把算出的干涉图形画出来，将模拟的干涉图样绘制和复制在透明胶片上。这种计算机合成的全息图称为计算全息图。目前，计算全息的主要应用范围是：产生特定波面用于全息干涉计量、二维和三维物体像的显示、激光扫描器、数据存贮及在光学信息处理中用计算全息制作各种空间滤波器等。通过计算机制成的全息图，可将数量巨大的组合图像进行记录，并能很好地平衡其颜色，为电子文档和图像处理系统开辟了崭新的前景。

#### 2.2.5. 在军事上的应用

全息技术可以弥补一般的空中、水下监视系统的不足。例如，一般雷达系统只能探测到目标的远近、方位和运动速度等，而全息监视系统能提供目标的三维图像。这在国防军事上具有重要意义，因为及时识别目标是飞机还是导弹，是潜艇还是鱼雷，对采取对策极为重要。全息术应用于军事将使通讯、导航、定位检测等技术发生实质性的变化。全息术是正在蓬勃发展的光学分支，其应用正向纵深方向发展，已渗透到多个领域，成为近代科学研究、工业生产及经济建设中有效的测试工具。

## 3. 佩珀尔幻象

### 佩珀尔幻象的原理及应用

现在商业和舞台表演上常用的“全息投影技术”实际上是一种伪全息技术，科学上称之为佩珀尔幻象[9] [10]。在十九世纪六十年代，约翰 H.佩珀尔在伦敦皇家理工学院演讲时提出，仅仅使用一片玻璃、一种简单的方法就在既有的剧院环境中实现德克斯的视觉效果。

佩珀尔幻象是一种在舞台上与某些魔术表演中产生幻觉的技术。这种技术借由使用一面平坦的玻璃与特定的光源技术，使物体可以出现或消失，或是变形成其他物体。佩珀尔幻象中使用的玻璃或透明胶片与周围空气的折射率不同，也就是说，光在这两种介质中以不同的速度传播。当光到达这两种具有不同折射率的材料的边界时，通常一部分光会被反射，而其余的光则以某个角度折射，或称作透射。反射光和折射光的量可以通过菲涅耳方程来控制，同时还取决于入射角度、入射光的偏振以及相邻的材料。作用原理如图 2 所示。

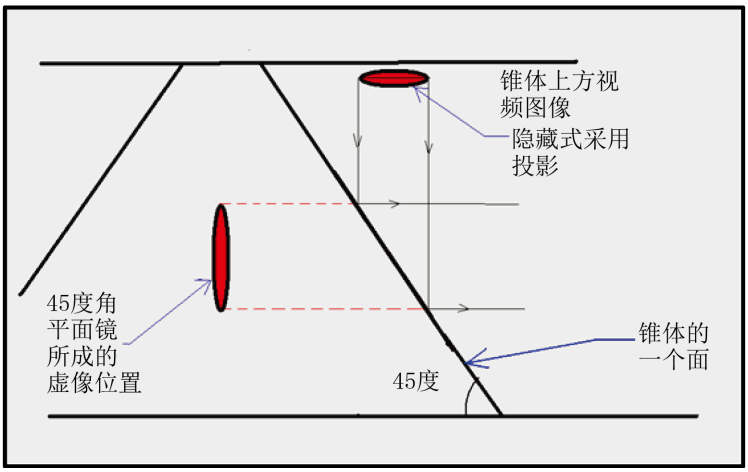


**Figure 2.** Schematic diagram of Pepper’s ghost
**图 2.** 佩珀尔幻象原理图

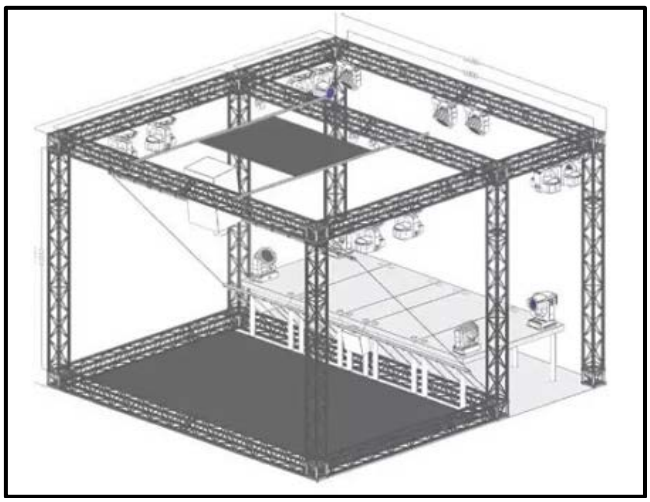

**Figure 3.** Schematic diagram of Pepper's ghost's stage
**图 3.** 佩珀尔幻象舞台原理图

佩珀尔成像是由透明材料制成的四面锥体，由四个不同角度拍摄的、二维物体的视频，折射 45 度成像并汇集到一起后形成具有感观维度的立体影像，所以可以从锥体的四个面分别看到物体的不同侧面，但它不是立体的。锥体上方四个面有四个不同的视频图像，通过锥体面 45 度折射成像。实现上是普通平面镜成像原理转了 45 度角而已。舞台原理如图 3 所示。

## 4. 结束语

我们平时所说的“全息投影技术”并不是真正科学意义上的全息技术，而是佩珀尔幻象。本文介绍了全息技术与佩珀尔幻象各自的成像原理和具体应用，帮助人们更好地辨别“全息技术”。佩珀尔幻象的作用机理比全息技术更加简单，因此大多应用在舞台表演上。但是全息技术的成像效果更好，而且不像佩珀尔幻象受空间的限制，所以其应用的范围更广。综上所述，两者各有长处，我们要根据两者的特点对他们进行正确、科学的应用。

## 基金项目

2016 年大学生创新创业训练计划课题(项目编号：201610361085)。

## 参考文献 (References)

[1] 孙天娇, 耿佳琪, 等. 多角度投影三维显示技术的研究[J]. 物理实验, 2016(6): 27-29.

[2] 朱婷婷. 浅谈舞台上的“全息技术” [J]. 商, 2016(30): 209.

[3] 徐恩慧, 张磊. 舞台“全息技术”辨析[J]. 演艺科技, 2015(4): 50-53.

[4] 解问鼎, 郭雅洁, 等. “佩珀尔幻象”的光学原理及其在初中物理教学中的应用[J]. 物理教师, 2014, 35(10): 40-42, 48.

[5] 苏迷. 舞台演艺中数字媒体应用研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.

[6] 夏溢涵. 虚拟展示场景的探究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2015.

[7] 段鹏. 全息投影技术在服装表演舞美设计中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安工程大学, 2015.

[8] 金小湘. 浅析全息投影在舞台演出中的应用[J]. 艺苑, 2016(3): 76-78.

[9] 佘林子. 3D 全息投影技术在展示设计中的应用[J]. 现代装饰(理论), 2016(8): 22.

[10] 王思超. 论全息投影技术在展示空间中的应用[J]. 现代经济信息, 2015(24): 318.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：oe@hanspub.org