# PET 柱镜光栅立体成像技术研究进展

### 徐涛

(宜宾五粮液股份有限公司,宜宾 644007)

摘要:目的 介绍柱镜光栅立体成像技术的原理、特点及其研究和应用进展。方法 综述柱镜光栅立体成像技术中,柱镜光栅微结构设计、PET 柱镜光栅挤出成型工艺、"Magic 3D"软件设计制作的研究现状及应用进展。重点阐述柱镜光栅立体成像技术的分类及其制作方法,并对柱镜光栅立体成像技术在包装中的应用进行阐述。结论 近年来,柱镜光栅立体成像技术方面取得了大量研究成果,推动了酒类包装、食品包装行业的迅速发展。良好的柱镜光栅加密处理使平面图像产生立体感,被包装产品的质量安全得到有效管控。柱镜光栅立体成像技术在酒类包装、食品包装等方面得到了广泛应用,也是未来电子包装、医药包装、广告领域的发展方向之一。

关键词:立体成像技术;柱镜光栅微结构;PET柱镜光栅挤出工艺;"Magic 3D"软件

中图分类号:TB482.2;TS851 文献标识码:A 文章编号:1001-3563(2019)17-0256-09

**DOI**: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.17.037

## Advances in Stereo Imaging Technology of PET Lenticular Sheet

XU Tao

(Yibin Wuliangye Co., Ltd., Yibin 644007, China)

ABSTRACT: The work aims to introduce principle, characteristics and its research and application progress of stereo imaging technology of lenticular sheet. The research status and application progress of the micro-structure design of lenticular sheet, the extrusion technology of PET lenticular sheet and design and fabrication of "Magic 3D" software in the stereo imaging technology of lenticular sheet were reviewed. The classification and fabrication methods of stereo imaging technology of lenticular sheet were emphatically expounded, and its application in the packaging was described. In recent years, a lot of research results have been achieved in the stereo imaging technology of lenticular sheet, which promote the rapid industrial development of wine and food packaging. Good encryption processing of lenticular sheet makes the plane image produce stereo sense, and the quality safety of the packaged products is effectively controlled. The stereo imaging technology of lenticular sheet is widely applied in wine and food packaging and other fields, and it is also one of the development directions of electronic packaging, pharmaceutical packaging and advertising industry in the future.

**KEY WORDS:** stereo imaging technology; micro-structure of lenticular sheet; extrusion process of PET lenticular sheet; "Magic 3D" software

随着经济和科技的快速发展,消费者对产品的品质要求越来越高,3D包装以其独特的效果紧紧抓住了人们的视线。新技术的应用使立体印刷成本极大降

低,观察者无需佩戴眼镜或使用立体图像观察工具,就可观察到栩栩如生的三维立体效果[<sup>1]</sup>。它是一种将 光栅立体成像技术与柱镜光栅印刷工艺相结合的新

收稿日期: 2019-06-20

作者简介:徐涛(1968—), 男,宜宾五粮液股份有限公司工程师,主要研究方向为酒类包装及防伪解决方案,新材料、工艺应用。

光栅材料

型技术。柱镜光栅板经过特殊的处理使平面图案产生 景深度,图案实现立体的感觉。同时,对立体处理后 的柱状条纹进行跑图合成,具有不可复制性,产生的 图像通过光学加密处理,具有良好的防伪效果。在印 刷包装行业中,普通的平面印刷包装在信息传播领域 的地位正在逐渐下滑,将静态的二维图像变得栩栩如 生的立体印刷[2-3],广泛用于商品包装、商标、广告 图标、艺术装饰、文化用品、旅游纪念品、纪念门票、 博物展览馆橱窗陈列板、明信片、贺卡、各种名片等, 并将在服装、饮料、烟酒、化妆品、药品等产品的防 伪标识上发挥重要的作用[4-5]。近年来,随着市场的 发展和社会的进步,PET 光栅材料和立体设计软件的 技术逐渐成熟,柱镜光栅立体成像技术的应用已经走 进人们的生活,光栅立体印刷技术作为独立发展的高 科技印刷门类,因其产品独特的效果和较高的附加 值,有着可预见的广阔市场和发展空间。

## 1 柱镜光栅技术概述

### 1.1 柱镜光栅立体成像基本原理

柱镜光栅立体印刷是根据光学原理,将不同角 度、不同层次的像素记录在感光材料上,利用光栅板 使图像记忆立体效果的一种印刷方法,相对于只能再 现平面效果的传统印刷产品,可以更形象地表达信 息,有强烈的视觉冲击力和吸引力[6]。柱透镜光栅是 由许多相同柱镜半径和柱镜间距的小圆柱透镜组成 的透明塑料薄片,一侧是平面,另一侧是具有一定曲 率半径的周期性起伏变化的半圆柱面[7]。在通常情况 下,与排列方向垂直的透镜对光线不起汇聚作用,而 在其排列方向上每个小透镜相当于汇聚透镜,起聚光 成像作用,使不同方向的光线聚焦于不同位置[8-10]。 柱镜光栅的平面为其焦平面,这使得柱镜光栅对图 像具有"缩放"和"分离"的作用[11-13],使经过小圆柱 透镜元的细小平行光束所携带的信息分别在左右眼 成像,并经中枢神经作用形成立体效果,因此,可以 通过在不同视点上获取的二维影像来重建原空间物 体的三维模型[14]。采用柱镜光栅制作的立体图像,不 需要借助立体眼镜或背光源即可观看,其成像原理 见图 1[15]。

## 1.2 柱镜光栅立体印刷的特点

立体印刷一般通过摄影来摄取主题景物,然后进行后期合成来再现立体图像[16—17],是将三维立体成像技术与印刷工艺融为一体的特种印刷技术,因此相对传统印刷,立体印刷品和其印刷工艺具有自身的优势。如今通过计算机技术,对平面图像在图像处理软件中进行处理,就能获得层次丰富的图像[18—19]。

柱镜光栅立体印刷的主要特点如下所述。

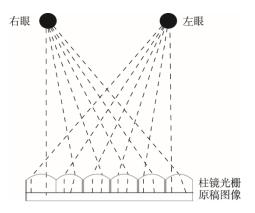


图 1 柱镜光栅立体成像原理 Fig.1 Stereo imaging principle of lenticular sheet

1)立体印刷的平面图像是由多幅图像抽样的精细线状条纹组成的,直接观看是模糊不清的,只有在光栅板的立体显示下才能呈现清晰的立体像。印刷的平面图像和其上的光栅板组成结构见图2。



b 实物样

图 2 柱镜光栅结构示意 Fig.2 Structural diagram of lenticular sheet

2)同时,立体图像是由精细线状条纹组成的,且材料表面覆有光栅板,不能被扫描、翻制,因此柱镜光栅立体印刷品具有良好的防伪性能。立体印刷主要应用在烟酒、化妆品、食品等高档产品的包装上,提升了产品的档次,美化了产品的外观,起到了很好的宣传和防伪作用。

#### 1.3 柱镜光栅立体印刷成像的种类

光栅立体印刷是根据人眼双目视觉形成立体感的生理特性,以及光栅板折射分像的光学原理,通过使用光栅板而使平面图像具有立体感的印刷技术。光栅立体印刷按印刷品的视觉效果主要分为以下3种。

- 1)三维立体效果。采用电脑把普通的图片通过专业的软件进行图像输出,制作成一幅三维立体图像后进行立体印刷,双眼观看到光栅后面的不同图像,经过光栅折射后经大脑合成产生立体空间感,见图3。
- 2)变画(动画)效果。双眼观看同一幅图像,随着双眼观看角度的不同,光栅后面的图像呈现不同画

面或不同动作,从而产生变画或动画效果,也就是说在不同的角度都能看到不同的光栅图,见图 4。

3)异变效果。随着双眼观看角度的改变,光栅后面的图像呈现类似变脸效果的以渐进方式进行的变化,见图 5。

以上这几种新、特、奇的立体表现形式,具有强大的视觉冲击力和视觉感染力,得到了广大消费者的青睐。耳目一新的效果,逐步改变了人们对传统图案的审美意识,大大拓宽了平面图像的应用领域,推动了3D产业的迅速发展。

## 2 立体光栅技术的发展现状

### 2.1 立体光栅技术国内的发展

立体光栅在国内的发展已有一定基础,并已形成 了相对完整的光栅加工印刷生产链,但还存在一定的 制约因素,如国产立体光栅片的稳定性和精密度较 差,还需要使用进口光栅片;印刷立体图像时也多采 用进口胶印机;此外,立体印刷还缺乏统一的产品质 量标准。要发展立体印刷,就要不断提高印刷精度, 简化工艺过程,加快出版周期,提高产品质量[20]。目 前中国作为世界工厂,产品的开发和更新周期不断缩 短,特别是高档的产品包装迫切需要提升档次。而伴 随着立体印刷的包装盒逐步得到推广,开发了立体光 栅与各种材料、工艺(烫金、丝印、转印、激凹等) 相结合的包装盒,从单一结构的 3D 防伪包装发展到 多种复合型礼品包装,大大提高了3D包装的市场占 有率,成为了目前的发展趋势。针对目前国内光栅加 工和印刷的特点,结合国外光栅价格和人力成本高的 情况,首先要提高立体印刷在国内的普及率,让更多 的企业和消费者接触并了解光栅立体印刷,突破性地 推动 3D 产业的发展。



图 3 立体印刷品 Fig.3 Stereo prints

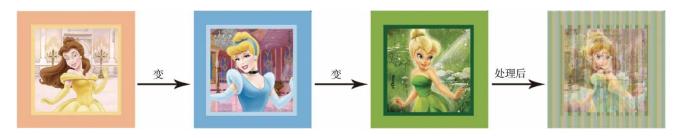


图 4 变图印刷品 Fig.4 Variographic prints

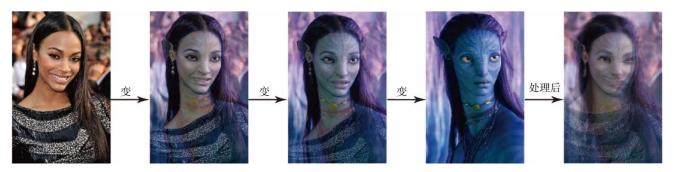


图 5 异变印刷品 Fig.5 Variable prints

### 2.2 立体光栅技术国外的发展

立体印刷技术源于视差理论、摄影技术和光栅 成像技术的结合。1833年,英国实验主义哲学家惠 斯登(C. Wheatstone)提出了双眼视差所产生的视网 膜像的不对应性在经神经系统综合后形成立体视觉 机制的学说,后于 1838 年制成象征人双眼视差的台 式实体镜(立体镜),并进行了公开实验,从此视差 理论成为立体照相的基础。法国的达盖尔(J. M. Daguerre)于 1839年发明了银板照相法,从此使照 相的感光速度和使用的方便性大大提高,可以满足 使用几个规格相同的镜头在打开快门时,在同一张 底片上获得同样曝光量的要求,为双镜头立体相机 的设计创造了条件[21]。英国物理学家塔尔伯特(F. Talbot)利用上述2项发明,于1841年发表了他设计 的单镜头立体相机。照相时,利用相机作左右向位移, 获得2张拍摄视角不同的底片,从而生成视差立体像 对。1849 年英国光学家布鲁斯特 (D. Brewster) 对塔 尔伯特的立体相机进行了改进,使之成为真正的双镜 头立体相机,一次曝光就可以同时获得具有一定视差 的立体像对[21]。但由于这种立体像对需要使用立体眼 镜才能观察出立体感,在使用上很不方便。1940年, 法国开始利用 W. Hess 于 1911 年发明的柱镜光栅成 像技术制作立体图片。法国人 Maurice Bonet 率先在 巴黎开设了人像立体摄影室,从此,柱镜光栅成像技 术开始了其商业应用。后来,美国 Victoranderson 的 VARI-VUE 公司利用 BONET 的设备开始了光栅立体 印刷生产,与此同时,日本也有数家印刷公司印刷光 栅立体变图图片[22]。经过多年的发展,当今学者对立 体印刷的研究主要集中在:立体印刷的防伪[23-25],立 体印刷图像处理算法[26],在立体视觉显示器上用作分 配器的光栅精度、刻蚀与优化方法[27-29],如何用光栅 实现裸眼观看 3D 电影[30],立体印刷光栅参数对图像 立体显示效果的影响[31],以及立体印刷中的套准精度 [32]等方面。

从国外的发展来看,在立体光栅软件开发、立体印刷技术等方面,都已经过了多年的发展,加工工艺和技术也比较成熟。由于 PET 柱镜光栅是目前业界公认的较好的立体印刷包装材料,所以目前国外的研究和发展趋势主要集中在 3D 立体设计软件开发、光栅模具激光雕刻工艺和 PET 原材料的改性方面。

## 3 PET 柱镜光栅立体技术的研究

光栅材料是立体印刷形成立体影像的观景器,是立体彩色印刷技术的基础。它是将一种特殊透镜依照人类视距视觉原理,有规则地排列于透明平面材料上,形成对图像信息分割与聚集合成的光学元件。它

的特点是能在一个平面上营造出有相对景深的立体空间,或者在一个相对静止的画面里制造出有动感的图案内容。印刷光栅是这种特殊透镜按照立体印刷工艺的要求,有序地排列于承印材料上而制成的透明材料体。

### 3.1 基于 PET 柱镜光栅材料微结构设计

光栅设计时除满足透镜成像的原理外,还需充分考虑光栅材料在工艺条件、环境变化、原材料稳定性、可视距离、可视角度、使用范围和用途等因素,将理论的关键数据进行优化,并一一进行论证和验证。

按球面折射成像理论,对于材料厚度:

F = nr / (n-1)

式中:F 为焦距;d 为材料厚度,且 F=d;n 为材料折射率;r 为光栅曲率半径。光栅线数=25.4 mm/光栅间距。

根据平凸透镜成像原理,采用 PET 聚酯切片为加工光栅片材的原料,该型号的原料其折射(n=1.58),通过计算,设计不同规格线数的光栅,由于可视角度的不同,根据不同组合的相关数据得到不同的结果。由于光栅辊轮表面轮廓部分厚度极小(小于 0.01 mm),在加热时容易变形和受外力时容易破损,为此在轮廓部分设计为微弧形,增加材料的耐受能力。光栅材料规格参数见表 1。

#### 3.2 PET 柱镜光栅的挤出成型

#### 3.2.1 PET 柱镜光栅片材

光栅板由许多结构参数和性能完全相同的小圆柱透镜平面线性排列组成,它的种类很多,并且是针对不同环境进行设计的,只有在光栅参数和栅格图像成比例的情况下,才能形成立体效果。

#### 3.2.2 基本工艺流程

PET 塑料片材具有强度高、耐腐蚀性好、电绝缘性能优良、容易黏结和焊接、可二次加工等特点,因此用途很广泛。

PET 塑料片材的挤出生产工艺流程因原料、设备等因素的不同而有所差别,但基本工艺是相同的。具体的工艺流程依据原料和设备的不同仍存在差异,聚丙烯(PP)材料由于吸水性不高,可直接用于挤出加工,聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)和聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)因原料的吸水性较强,并且在加工过程中容易发生水解反应,故挤出前必须经过干燥。光栅材料采用的是瞬间冷却固化成型,但冷却后的温度也在 70 ℃左右,然后再慢慢冷却到室温,这个过程材料还在收缩,并且随着温度的变化还在发生改变。光栅材料的表面是由许多微小透镜阵列组成,材料收缩会影响到成像效果。由于整个生产工艺过程要充分

考虑材料的收缩率,因此要保持挤出生产车间、半成品库房、印刷车间温度的一致性,才能达到产品的稳

定性。通常用单螺杆排气式挤出机生产,其工艺流程见图 6。

表 1 不同线数柱镜光栅片材设计数据 Tab.1 Design data of lenticular sheets with different line numbers

| 线数/lpi | 厚度/mm | 光栅间距/mm | 可视角度/(°) | 可视距离/m   | 常用规格/mm   |
|--------|-------|---------|----------|----------|-----------|
| 200    | 0.18  | 0.1565  | 47       | 0.15~0.6 | 710~1200  |
| 161    | 0.3   | 0.1568  | 39       | 0.15~0.6 | 710~1200  |
| 100    | 0.3   | 0.2555  | 52       | 0.15~1.0 | 710~1200  |
| 100    | 0.35  | 0.2555  | 48       | 0.15~1.2 | 710~1200  |
| 75     | 0.45  | 0.3364  | 49       | 0.15~1.8 | 710~1200  |
| 75     | 0.6   | 0.3364  | 38       | 0.15~1.8 | 710~1200  |
| 70     | 0.9   | 0.361   | 28       | 0.3~1.8  | 710~1200  |
| 40     | 0.8   | 0.6327  | 51       | 0.3~3.0  | 710~1200  |
| 10     | 3.25  | 2.52    | 50       | 3.0~16.0 | 1200×2400 |
| 20     | 3.25  | 1.26    | 31       | 1.5~9.1  | 1200×2400 |
| 10     | 3.8   | 2.48    | 46       | 3.0~16.0 | 1200×2400 |
| 20     | 3.8   | 1.25    | 29       | 1.5~9.1  | 1200×2400 |
| 10     | 3.25  | 2.52    | 50       | 3.0~16.0 | 1200×2400 |

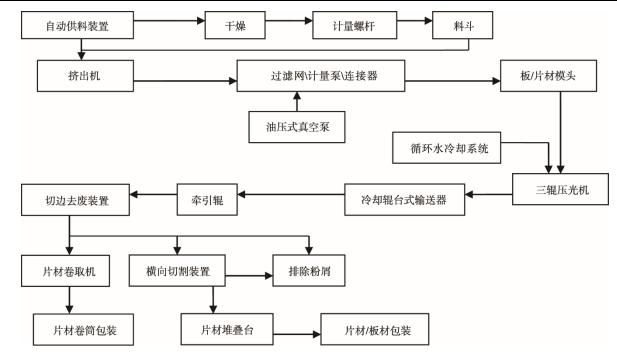


图 6 PET 柱镜光栅挤出生产工艺流程

Fig.6 Process flow of extrusion of PET lenticular sheet

## 3.3 基于柱镜光栅的立体成像模拟软件技术

利用立体相机直接获取光栅图像,在拍摄立体照片时精确地计算出拍摄物的距离、角度、布局、中心点等[33—34],然后通过相应的软件,将左右视图图像合成立体图像,使一幅平面图像上的不同位置看上去有远近不同的感觉,增强图像的立体效果。目前,国内专用软件生成法根据光栅图像的制作原理编写软件程序,通过读取多幅视差图序列直接生成一幅光栅图

像<sup>[35]</sup>。制作前后景的多幅平面图像在 Photoshop 中按前后景顺序分层放置,然后导入立体制作软件 Magic 3D,利用模式识别、数学形态学及三维图像技术,将平面图像转化成完全真实的三维立体图像,再现图像的真实立体空间,立体感相当于 10~30 镜头专业立体相机拍摄的效果,并且不存在非视差干扰现象。在制作图像时,根据经验调节得到所需的最佳景深,获得不同的立体感觉。这样,就解决了其他软件的漏洞,取长补短,使 3D 立体成像技术更具有大众化,极大

地拓展了立体图片的运用空间。

### 3.3.1 原图在 Magic 3D 中制作成立体图像

Photoshop 软件安装滤镜插件 Magic 3D,通过加密狗配合使用,可以实现 3D 立体跑图软件的部分功能,达到 3D 位移效果,进而模拟出使人眼能够感知图像中物体的前后关系的立体图像。采用 3D 位移法进行立体制作流程如下所述。

- 1)设定图像分辨率。制作的 3D 位移法图像必须 和选定光栅片材相匹配才能显示 3D 位移效果,因此 图像在进行 3D 位移法处理之前需要根据选定的光栅 片材设定平面图像的分辨率。该制作图样选用 150 lpi 光栅片材,镜头数为 8 个,因此平面图像分辨率为 1200 lpi。
- 2)选取栅格化(非矢量智能)图案进行立体位移 图层转换,同时此图像不能被锁定位置、透明像素和 图像像素。此次需使用 3D 位移法的示例图像为直径 10 mm 的圆形,见图 7。



图 7 3D 位移法的图像 Fig.7 Images of 3D displacement method

3)选择 Photoshop 软件的"滤镜"功能,在子菜单中选择"Magic 3D"选项,并在弹出的子菜单中继续选择"Shift V1.0"选项,见图 8。



图 8 Photoshop 3D 位移法插件界面 Fig.8 Plug-in interface of Photoshop 3D displacement method

4) "Shift v1.0"菜单中的"Shift Value"即 3D 位移量,当数值为正时,3D 位移后的图像突出于视觉水平面;当数值为负,图像则凹陷于视觉水平面,此次示例设定3D 位移量为"10"。将"Shift Value"设置完成后,继续对"Views"跑图张数即镜头数进行设置,此次示例图像的3D 位移制作采用8个镜头,因此"Views"

数值相应地设置为"8"。注"Shift v1.0"数值都必须为整数,见图 9。

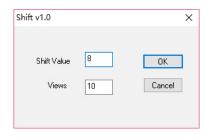


图 9 3D 位移量及镜头张数设定 Fig.9 Setting of 3D displacement and the number of images from different angle

5)对"Shift Value"与"Views"的参数进行设置后,点击"OK"选项,此时 Photoshop 软件会自动开始运行,图层里的图像将呈现出一个虚拟图像。此次 3D 位移后的图像中心会根据预先设置的数值,自动沿 x 轴向左偏移 65 个像素,将图像向右偏移,以使图像中心点回归未进行 3D 位移法时中心点的最近位置。回归原中心点最近位置所需像素的计算方式为 将 65 个像素均分为 2,得到 32.5 个像素,取最接近于镜头数的整倍数,得出此像素值为 32,因此图像沿 x 轴向右偏移 32 个像素即可,见图 10。



图 10 3D 位移法之后的图像 Fig.10 Images after 3D displacement method

6)将跑图制作的图像与其对应的 PET 光栅片材重叠对齐进行反复测试、调整,以便立体转换达到最佳效果。左侧为平面位移法之后的图像,右侧红色部分为平面位移法之前的图像,见图 11。



图 11 3D 位移法前后的图像位置对比 Fig.11 Comparison of image positions before and after 3D displacement method

总结可得,立体处理时图像的像素值设置是有规律的,根据光栅的错位排列演算,平面位移的移动量计算方法如下所述。

光栅线数(光栅板1英寸所含有的光栅条数)= 立体图档分辨率/跑图张数×2.54

图像实际移动量=(图像制作张数-1)×图像设定值/图像分辩率

# 4 PET 柱镜光栅材料立体技术的 应用

柱镜光栅材料依其使用用途不同,对它的性能指标要求也不一样。通过 Photoshop 生成分层文档后经过 Magic 3D 软件合成处理输出的图像,表面经过光栅的折射后,使画面在人的双眼中呈现立体感或变化的效果,柱镜光栅材料性能指标及主要应用领域如下所述。

- 1)包装领域。70/75 lpi 立体光栅片专用于包装印刷及广告印刷,其厚度适中,附墨性强,广泛运用于烟酒、化妆品、食品等高档产品的包装上,提升了产品的档次,美化了产品的外观,增强了防伪性。宜宾五粮液股份有限公司的系列酒包装,大部分采用柱镜光栅材料立体技术,起到了很好的宣传和防伪作用,见图 12。
  - 2) 文化产品。100/161 lpi 立体光栅由于厚度薄,



图 12 立体包装盒 Fig.12 Packaging carton with 3D image

特别适用于高精度、高清晰度、体积较小的包装产品,其影像锐利、图像细腻,满足高档的包装产品的要求。立体印刷主要应用于书籍封套、内页插图、儿童刊物、科技画册、连环画,以及台历、贺卡等方面,见图13。

3)广告展示。10/20 lpi 立体光栅板专用于大型户外广告市场,可视范围大,层次分明,具有坚实耐用和抗 UV 的特点;强大的立体视觉冲击力,加大了产品的广告效应,可用于灯箱、电影海报以及展台、标牌等,特别适用于制作变图、动画及渐变、缩放等效果,见图 14。



图 13 立体文化产品卡片 Fig.13 Cultural product card with 3D image







图 14 立体广告画 Fig.14 Advertising picture with 3D image

当今社会人们开始越来越多地追求个性产品,多样化的表现方式把产品的艺术效果与包装的功能结合在一起,大大提高了产品的附加值。

## 5 结语

柱镜光栅技术是一项综合光栅材料、立体图像处理、立体印刷等方面的系统工程。柱镜光栅立体技术的应用标志着未来包装行业的发展方向,它在日常生活、广告宣传、文化娱乐、包装装潢、建筑装饰、出版教育、防伪技术及旅游纪念等方面,都具有广泛的民用和商用价值。将来,继续应用于航空地图、医学解剖学、X光片等领域,立体印刷将为客户提供无限的商机,并成为一个应用广泛、利润丰厚、前景广阔的高科技项目<sup>[36]</sup>,潜伏着巨大的市场前景。立体印刷设备和产品也逐渐被推向市场,这是印刷的重大革新,也是必然的发展趋势。

#### 参考文献:

- [1] JOHNSON B R, JACOBSEN G. Advances in Lenticular Lens Arrays for Visual Display[J]. Proceedings of SPIE, 2005, 5874(6): 1—11.
- [2] 李晓春, 王莉. 探析立体印刷技术[J]. 包装工程, 2008, 29(4): 175—177.

  LI Xiao-chun, WANG Li. Discussion on 3D Printing Technology[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(4): 175—177.
- [3] 秦睿睿, 许文才, 罗世永. 立体印刷技术探究[J]. 北京印刷学院学报, 2012, 20(2): 20—25. QIN Rui-rui, XU Wen-cai, LUO Shi-yong. The Exploration of Stereoscopic Printing Technology[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2012, 20(2): 20—25.
- [4] 吴伟. 浅谈立体印刷及其应用[J]. 今日印刷, 2004 (3): 42—44.
  WU Wei. Brief Discussion on Stereo Printing and Its Application[J]. Printing Today, 2004(3): 42—44.
- [5] 齐成. 立体印刷在防伪领域中的应用[J]. 印刷质量与标准化, 2005(6): 19—22. QI Cheng. Application of Stereo Printing in Anti-Counterfeiting Field[J]. Printing Quality and Standardization, 2005(6): 19—22.
- [6] 周立权. 光栅立体印刷图像处理技术研究[J]. 包装工程, 2010, 31(3): 107—110.

  ZHOU Li-quan. Research on Image-processing Technology of Stereoscopic Printing[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 107—110.
- [7] 于瀛洁, 蔡明义, 张之江. 柱透镜光栅自由立体显示

中几何参数间关系分析[J]. 光电子技术, 2010, 30(1): 10—15

YU Ying-jie, CAI Ming-yi, ZHANG Zhi-jiang. Analysis for Geometric Parameter Relation of Lenticular Sheet Based Autostereoscopic[J]. Optoelectronic Technology, 2010, 30(1): 10—15.

- [8] DODGSON N A. Autostereoscopic 3D Display[J]. Computer, 2005, 38(8): 31—36.
- [9] LOVEG D, HOFFMAN D M, HANDS P J W, et al. High Speed Switchable Lens Enables the Development of a Volu Metric Stereoscopic Display[J]. Opt Exp, 2009(17): 716—725.
- [10] 彭爱华, 朱化凤. 应用于立体印刷的矩阵式透镜光栅的原理[J]. 燕山大学学报, 2010, 34(3): 262—265. PENG Ai-hua, ZHU Hua-feng. Principium of Matrix Lens Grating in Three-dimensional Printing[J]. Journal of Yanshan University, 2010, 34(3): 262—265.
- [11] 卢军. 现代光栅立体印刷原理与工艺[J]. 印刷技术, 2007(10): 50—52.

  LU Jun. The Principle and Technology of Modern Stereoscopic Printing[J]. Printing Technology, 2007(10): 50—52.
- [12] ZHU Z W, CHEN G X, CHEN Q F. Technology Application of Cylindrical Lens Grating Stereoscopic Printing[C]// 2011 Internation Coference on Photonics, 3Dimaging, and Visualization, 2011.
- [13] KWON YM, LEE J H, AHN J H, et al. New Synthesis Method of Stereo Image in Lenticular Display System[M]. Seoul: Korea Institute of Science and Technology, 1995.
- [14] ADELSON E H, WANG J Y A. Single Lens Stereo with a Plenoptic Camera[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 99—106.
- [15] BRNERR, DUCKSTEIN B, MACHUI O, et al. A Family of Single-User Auto Stereoscopic Displays with Head-Tracking Capabilities[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(2): 234—243.
- [16] 谷俊, 王琼华, 刘军, 等. 多摄像机拍摄立体图像的 方法[C]// 中国光学学会 2010 年光学大会论文集. 天津: 中国光学学会, 2010. GU Jun, WANG Qiong-hua, LIU Jun, et al. A Multicamera Shooting Method for Autostereoscopic Dis
  - camera Shooting Method for Autostereoscopic Display[C]// The Chinese Optical Society Annual Conference 2010. Tianjin: The Chinese Optical Society, 2010.
- [17] 赵亮. 3D 立体成像研究[J]. 科技信息, 2011(8): 626—627.

  ZHAO Liang. Research on 3D Three-dimensional Im-

aging[J]. Information Technology, 2011(8): 626—627.

- [18] 吴宇. 立体光栅标签防伪印刷全接触[J]. 印刷技术, 2009(13): 27—29.
  - WU Yu. Solid Contact for Grating Label Anti-counterfeiting Printing[J]. Printing Technology, 2009 (13): 27—29.
- [19] 安敬. 柱镜光栅立体地图关键技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2010. AN Jing. Research On Key Techniques of Lenticular Screen Stereoscopicmap[D]. Zhengzhou: PLA Infor-

mation Engineering University, 2010.

- [20] 史瑞芝. 光栅立体印刷技术综述[J]. 中国印刷与包装研究, 2009, 1(5): 1—9.
  SHI Rui-zhi. Summary of Grating Stereoscopic Printing Technology[J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 1(5): 1—9.
- [21] 董太和. 立体照相绪论——立体照相理论与实践讲座之一[J]. 照相机, 1994(2): 19—22.

  DONG Tai-he. Solid Photograph Introduction Solid Photograph Theory and Practice Lecture1[J]. Camera, 1994(2): 19—22.
- [22] 田学礼. 现代立体印刷工艺学[M]. 武汉: 武汉大学 出版社, 2007. TIAN Xue-li. Modern Stereoscopic Printing Technology[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2007.
- [23] 任乐义, 刘真, 问双双, 等. 随机矩阵抖动加网在光栅防伪技术中的应用[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 89—92.
  REN Le-yi, LIU Zhen, WEN Shuang-shuang, et al. Ap
  - plication of Random Matrix Pattern Jitter Screening in Grating Anti Counterfeit Printing Technology[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 89—92.
- [24] 刘真, 任乐义, 杨晟炜. 调幅加网技术在光栅防伪技术中的应用[J]. 包装工程, 2011, 32(21): 90—93. LIU Zhen, REN Le-yi, YANG Sheng-wei. Application of AM Screening in Grating Anti Counterfeit Technology[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 90—93.
- [25] 殷庆纵, 刘吉. 无油墨印刷包装材料激光制版机的设计[J].包装工程, 2013, 34(13): 112—116.

  YIN Qing-zong, LIU Ji. Design of Laser Platesetter for No Ink Print Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13): 112—116.
- [26] BLEYER M, GELAUTZ M. A Layered Stereo Matching Algorithm Using Image Segmentation and Global Visibility Constraints[J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2005, 59(3): 128—150.
- [27] CHEN C Y, DENG Q L, LIN B S, et al. Quartz-Blazed

- Grating Applied on Auto Stereoscopic Display[J]. Journal of Display Technology, 2012, 8(8): 433—438.
- [28] JOO D Y, YOUNGSHIN K, SEUNGJOON Y. Evaluation of Perceptual Resolution and Crosstalk in Stereoscopic Displays [J]. Journal of Display Technology, 2013, 9(2): 106—111.
- [29] JESSICA D, ARMOUR, DANIEL L. Lau Printer Optimization for Lenticular Screening[J]. Southeastcon, IEEE. April 2008: 226—230.
- [30] KUNIO S, TAKASHI O. Glasses-free 3D Display System Using Grating Film for Stereo Image Superimpose [C]// SPIE, 2009: 7635.
- [31] 黄敏, 刘浩学. 立体印刷制作工艺光栅板参数的选择[J]. 北京印刷学院学报, 2005, 13(1): 9—12. HUANG Min, LIU Hao-xue. Selecting of the Parameters of Cylindrical Lens Sheet Imaging in 3D Printing[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2005, 13(1): 9—12.
- [32] 安敬, 史瑞芝, 王艳林, 等. 立体印刷套印精度研究 [J]. 中国印刷与包装研究, 2009, 1(4): 23—28.

  AN Jing, SHI Rui-zhi, WANG Yan-lin, et al. Research on the Overprint Precision of Stereoscopic Printing[J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 1(4): 23—28
- [33] 常晓霞. 走近立体 感受变幻: 立体印刷印制模式总 汇[J]. 印刷技术, 2003(32): 12—15. CHANG Xiao-xia. Approaching the 3D Image: Summary of Stereo Printing Patterns[J]. Printing Technology, 2003(32): 12—15.
- [34] 孙艳华. 前途无量的特种印刷方式:立体印刷[J]. 广东印刷, 2006(6): 39—40.

  SUN Yan-hua. The Promising Special Printing Method:
  Stereo Printing[J]. Guangdong Printing, 2006(6): 39—40.
- [35] 董永贵, 沈里, 冯冠平, 等. 一种基于柱透镜光栅的 计算机辅助彩色立体图片合成方法[J]. 光学技术, 1999, 25(3): 66—68. DONG Yong-gui, SHEN Li, FENG Guan-ping, et al. Computer-aided Composite Method of the Lenticular Screen Covering Color Stereo-image[J]. Optical Technique, 1999, 25(3): 66—68.
- [36] 桑凤仙. 立体印刷用光栅材料及成型工艺的研究 [D]. 北京: 北京印刷学院, 2008. SANG Feng-xian. Study on Lenticular Sheet and Its Forming Technology for Stereo Printing[D]. Beijing: Beijing Printing College, 2008.