

基于UV喷墨的彩色3D打印研究

何留喜, 陈广学

(华南理工大学, 广州 510640)

摘要: **目的** 研究以UV喷墨为成型材料的彩色3D打印方案。**方法** 以纸张为承印介质,采用UV喷墨打印方式,在5张同种纸张表面打印不同墨层数的黄、品、青、黑和白等5种颜色的色块和IT8.7-3 CMYK i1 PM 5.0.5标版,对比分析不同墨层数色块的厚度和颜色再现情况,以及白色油墨对色域的影响。**结果** 对黄、品、青、黑、白等5种油墨来讲,第1层油墨会与纸张表面发生较强的渗透和铺展作用,影响高程精度;随着墨层数增加,黄、品和青等3种色油墨的亮度逐渐下降,色相逐渐偏离;在纸张表面均匀打印1层白色实地油墨,可改善纸张偏色情况,且白色油墨具有较好的色彩再现性。**结论** 能够以多层白色油墨的叠加实现3D模型的高度,以若干层彩色油墨打印实现3D模型的色彩方案,从而实现UV喷墨彩色3D打印。

关键词: UV油墨; 3D打印; 油墨厚度; 色彩再现性; 色域

中图分类号: TS805.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)09-0134-05

3D Color Printing Based on UV Ink-jet Technology

HE Liu-xi, CHEN Guang-xue

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study 3D color printing based on UV ink. When paper was used as the substrate, yellow, magenta, cyan, black and white patches with different ink layers and IT8.7-3 CMYK 5.0.5 standard version were printed on five pieces of paper with the same type using UV ink-jet printing. Then the thickness and color reproduction of different ink layers and the effect of white ink on color gamut were compared and analyzed. In terms of yellow, magenta, cyan, black and white ink, the stronger penetration and spreading effect of 1st ink layer on the paper surface influenced the precision of height. With increasing ink layers, the brightness of yellow, magenta and cyan ink gradually decreased, and the hue gradually deviated. Color shifting of paper could be improved after printing a uniform layer of white ink on the paper, and the color reproduction of white ink was better. In conclusion, to realize UV ink-jet 3D color printing, a scheme was proposed which achieved the height of 3D model with multilayer of white ink and the color of 3D model with several layers of color ink.

KEY WORDS: UV ink; 3D printing; ink thickness; color reproduction; color gamut

3D打印出现于20世纪80年代末期,是利用计算机对三维模型进行分层堆叠,最终制造出三维模型^[1-2]的技术。3D打印的成型材料很多,但目前制得的三维模型色彩不丰富、精度也不高,无法满足人们的需求,迫切需要研究新的成型材料来改善3D打印质量。

近年来,有许多研究人员以光固化型材料为基础

进行3D打印技术研究。在国外,Z Corporation公司和Riken Institute公司研制出基于粘结粉工艺的3D打印设备^[3];3D Systems公司于2004年推出了光固化型三维打印机,以光敏树脂作为成型材料,以蜡作为支撑材料^[4-6]。在国内,李晓燕博士^[7]顺利研发出了使用粘结材料进行3D打印的设备;王建^[8]进行了将光固化三

收稿日期: 2014-11-12

作者简介: 何留喜(1987—),男,河南人,华南理工大学硕士生,主攻印刷包装材料与印前图文处理。

通讯作者: 陈广学(1963—),男,工学博士,华南理工大学教授、博士生导师,主要研究方向为数字印刷及印刷包装材料等。

维打印应用于制造化学芯片方面的研究;王焕美^[9-10]利用UV油墨成功打印出三维地图。UV油墨是典型的光固化材料,内部含有光引发剂、预聚物和单体,在UV光照条件下可发生聚合反应,短时间内固化成型,形成光泽度高、色彩鲜艳的墨层,且基本无溶剂挥发^[11-12],这些特点和性质使得UV油墨特别适合作为3D打印的成型材料。目前,UV喷墨打印技术已经非常成熟,现有的Mimaki UV喷墨打印机喷头与承印物之间的距离可以调节,能够实现一定高度的Z向打印。UV喷墨打印的常用承印介质为纸张,纸张是成本低廉且具有一定吸墨性的薄层介质,对UV油墨的牢固附着和色彩再现均具有较好的效果,以纸张为承印介质的UV喷墨3D打印技术,可以实现一定高度的地图、油画及个性化产品的全彩打印。

在此,以国内外研究人员的研究成果为基础,结合UV喷墨打印的特点,以纸张为承印介质研究了UV喷墨3D打印技术对高程和色彩的实现,并观察和分析了不同墨层数对应的油墨厚度和表面色彩再现情况,最终建立了UV喷墨彩色3D打印的实施方案。

1 实验

1.1 实验器材

材料:选取定量为123 g/m²的同种涂布纸5张,分别编号1#,2#,3#,4#和5#;墨水采用MimakiLH-100 CMYK墨水和MimakiLH-100W墨水。

设备和仪器:Illustrator CS 5图形设计软件;Mimaki UJF-3042 UV喷墨打印机;Labthink CHY-C2测厚仪;X-rite Macbeth标准光源比色箱;爱色丽EyeOne Pro分光光度仪;爱色丽i1-iO扫描台;Profile Maker软件;X-Rite 530密度计。

1.2 实验标版

使用Illustrator CS 5图形软件设计墨层数分别为1,2,3,4,12,20层的色块,分别作为标版1和标版2;选用Profile Maker软件提供的IT8.7-3 CMYK i1 PM 5.0.5作为实验标版3,共包含1120个色块。

1.3 实验步骤

1.3.1 标版输出

驱动Mimaki UJF-3042 UV喷墨打印机,分别在1#和2#涂布纸表面打印标版1和标版2,其中,标版2以

100%白色油墨替代进行白色色块的打印,超过1层的色块采用重复打印方式进行,如重复打印4次而获得4层墨层的色块,最终得到不同墨层数的黄、品、青、黑和白色实地色块;驱动Mimaki UJF-3042 UV喷墨打印机,在3#涂布纸表面直接打印标版3,在4#涂布纸表面先均匀打印1层白色实地油墨,然后再打印标版3。

1.3.2 厚度测量

在ISO标准恒温恒湿室中,使用CHY-C2测厚仪分别测量1#和2#不同墨层数色块的厚度,以及5#的厚度,每个色块选取10个点进行测量。

1.3.3 颜色测量

使用X-Rite 530密度计在D50/2条件下,分别测量1#,2#涂布纸表面每个色块的L*a*b*值,以及4#表面均匀打印白色油墨部分和5#表面的L*a*b*值和纸张指数。

1.3.4 色域图生成

在ISO标准恒温恒湿室中,使用Profile Maker软件和爱色丽EyeOne Pro分光光度仪,对3#和4#标版3的颜色色块进行测量,生成ICC特性文件,然后在Profile Editor中生成相应的色域图。

2 结果与讨论

2.1 厚度数据比较分析

黄(Y)、品(M)、青(C)、黑(K)和白(W)等5色实地色块的平均测量厚度减去纸张厚度,可以计算得到不同墨层数对应的油墨厚度,见图1。图1中5个折线图的第1条线段的斜率均明显小于其他5条线段的斜率,表明5种油墨的第1层厚度均明显小于其他油墨层厚度,这是由于第1层油墨在纸张表面发生了渗透和铺展作用的结果^[13-15]。观察图1还发现,除第1层油墨外,油墨厚度随墨层数增加几乎呈直线增加,用2~20层油墨厚度减去第1层油墨厚度,通过线性拟合方法,得到5种油墨的厚度与墨层数的线性拟合方程,分别为:

$$y_c=11.1893x_c+0.3976 \quad (1)$$

$$y_m=12.7057x_m+0.0657 \quad (2)$$

$$y_y=7.9139x_y-0.1169 \quad (3)$$

$$y_k=9.4736x_k-0.0248 \quad (4)$$

$$y_w=13.1232x_w+0.2274 \quad (5)$$

方程(1)~(5)的线性拟合系数分别约为0.999 94, 1, 0.999 99, 1, 0.999 98,均大于0.9999,接近于1。这

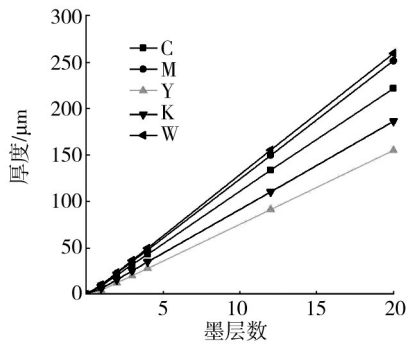


图1 油墨厚度与墨层数关系

Fig.1 Relationship between ink thickness and the number of ink layer

表明油墨厚度与墨层数之间呈线性关系。根据斜率定义,可知黄、品、青、黑、白等5种油墨经UV喷墨打印得到的每层厚度分别为11.19, 12.7, 7.91, 9.47, 13.12 μm 。因此,5种油墨的第1层油墨均会与纸张发生较强的渗透和铺展作用,而油墨与油墨之间的相互作用较小,且是稳定的,不会随着墨层数的增加而发生改变。对于以纸张等具有吸墨性的材料为承印介质的UV喷墨3D打印技术来讲,第1层油墨会对总高度造成误差,影响高程信息的精确度,因而应预先对纸张进行处理,可以预先在纸张表面打印1层实地油墨,以排除第1层油墨带来的误差。

2.2 实地色块颜色再现分析

在X-rite Macbeth标准光源比色箱中,选择D65光源,以标准视距观察条件,观察1[#]和2[#]表面实地色块的颜色,并结合色块的L*a*b*值分析其颜色再现情况^[16]。白色和黑色油墨的视觉效果和色度值均不随墨层数的变化而变化,而黄、品和青等3种色油墨的视觉效果和色度值则随墨层数增加而发生较大变化,见图2和表1。

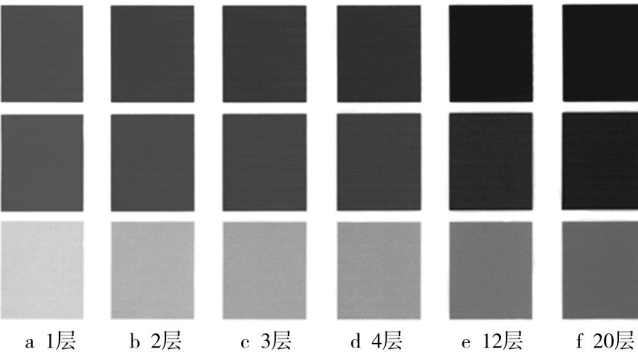


图2 CMY色块的颜色变化

Fig.2 Color change of YMC color patches from 1 to 20 ink layers

表1 不同墨层数对应的色块色度值

Tab.1 Chromatic values corresponding to different ink layers

墨层数	1	2	3	4	12	20	
C	<i>L</i>	46.72	34.87	29.15	25.03	18.74	14.78
	<i>a</i>	-30.06	-22.53	-15.05	-10.46	4.69	6.97
	<i>b</i>	-46.03	-51.15	-50.86	-49.59	-27.92	-19.24
M	<i>L</i>	44.47	36.66	33.90	31.14	29.55	26.14
	<i>a</i>	70.24	70.76	67.16	65.17	41.89	35.01
	<i>b</i>	1.10	18.25	27.91	33.42	16.00	12.45
Y	<i>L</i>	83.70	79.18	75.91	73.22	62.21	54.61
	<i>a</i>	-2.27	4.37	10.05	14.30	30.76	36.71
	<i>b</i>	63.51	81.57	84.91	85.72	63.88	56.59

观察图2,并结合表1的颜色数据发现,同种颜色色块随墨层数的增加颜色越来越浓,L值逐渐下降,这是饱和度逐渐增加的缘故。墨层数为1时,青、品和黄等3种色均在其色相范围内,视觉效果也接近于标准的青、品和黄,说明UV油墨在平面的色彩再现效果好;当墨层数逐渐增加时,3种颜色均逐渐偏离了各自的色相,在第20层时,青色的色相角已经落在了蓝色色相范围内,品红色的色相角落在了品红色和红色的色相边界处,黄色的色相角落在了黄色和红色的色相边界处,视觉上青色渐变为深蓝色,品红色渐变为黑红色,黄色渐变为棕黄色。多层彩色油墨叠加亮度下降、色相偏离的现象,主要是由青、品和黄等3种色墨的光学差异性导致的,这是由于UV喷墨打印多层呈色属于湿压干式的油墨叠印呈色^[17],下层干燥的油墨会对上层油墨的颜色产生影响,相当于承印物的颜色对油墨呈色的影响,其中的定量关系难以确定。因此,在UV喷墨3D彩色打印中,模型表面的色彩只能通过单层彩墨来呈现,不能采用多层彩墨的叠加打印方式来实现。

2.3 白色油墨对色域影响

4[#]和5[#]的色度值及纸张指数数据见表2,其中,4[#]表面均匀打印了1层白色实地色块。对比纸张指数可知,原来的纸张偏色较严重,打印1层白色实地色块之后亮度有所下降,但偏色情况改善良好。对比L*a*b*值可知,原来的纸张与打印上白墨的纸张L值差别较小,而打印白墨以后的色偏较小。由此可见,在纸张表面均匀地打印1层白色实地油墨,可以有效改善纸张的偏色情况。

将由3[#]和4[#]的标版3分别生成的色域图G3和G4,与由EuroscaleCoated.icc特性文件所生成的色域

表2 4#和5#的色度值和纸张指数
Tab.2 Chromatic values and paper indexes of 4# and 5#

纸张编号	纸张亮度/%	偏色程度/%	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
4#	81	0	91.87	-0.15	-0.54
5#	86	5	91.39	1.58	-4.92

图GE对比,并显示在CIE1931XYZ色度图中,见图3。由图3可知,当*L*为75和50时,GE的色域最大,将它作为参考标准。G4的色域均大于G3的色域,更接近于GE的色域,且G4的色域边界几乎包含了G3

的色域边界,表明白墨在亮调和中间调均具有较好的色域再现能力;当*L*为25时,3个色域大小差别不大,GE色域对黄色和绿色的再现性较好,某些青色和品红色表现不出来。与GE的色域相比,G3和G4的色域对青色和品红色的再现性较好,某些黄色和绿色表现不出来,G3的色域略大于G4的色域,表明白墨在暗调区域的色域再现能力略小于纸张的色域再现能力。总的来讲,白色UV油墨相对于纸张具有更好的色彩再现性,能够在中间调和亮调呈现出更大的色域范围。

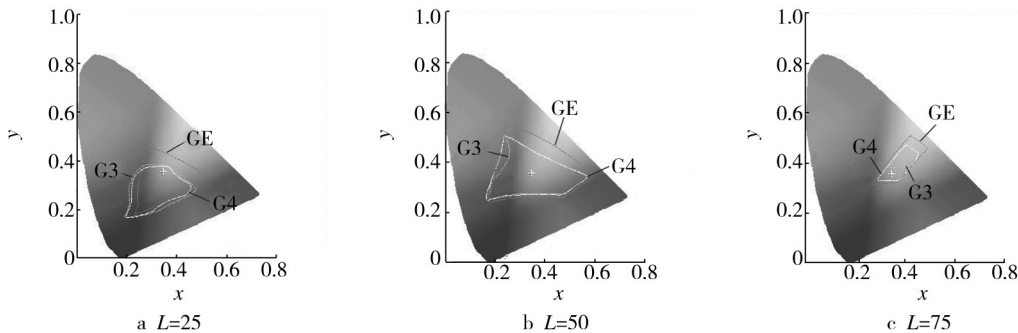


图3 不同阶调的色域比较
Fig.3 Color gamut comparison of different tones

2.4 UV喷墨彩色3D打印方案

对于UV喷墨彩色3D打印,在高程实现方面,第1层油墨与纸张之间的渗透和铺展作用会引起模型的高度误差,可通过预先在纸张表面打印1层实地油墨,来排除第1层油墨的影响;在色彩呈现方面,多层彩墨的叠加会导致亮度下降、色相偏离,因此,只能以单层彩墨来实现色彩的呈现。因而,实现UV喷墨彩色3D打印,可以充分利用白色油墨具有较好的色彩再现性特性,预先在纸张上均匀打印1层白色实地色块,然后通过打印多层白色油墨来实现3D模型高程信息的打印,最后在白色油墨表面需要呈现色彩的地方打印单层彩色油墨来实现3D模型的色彩呈现。这样,既排除了第1层油墨给高度带来的误差,又能较好地实现了3D模型表面色彩的呈现。

综上所述,UV喷墨彩色3D打印可总结为单层白色实地油墨打印、多层白色油墨叠加打印和单层彩色油墨打印等3个步骤,最终3D模型的总高度为多层白色油墨的厚度和若干层彩色油墨厚度之和。

3 结语

UV喷墨彩色3D打印技术,克服了以光固化树脂

为打印基材的三维成型技术在喷头选择和色彩呈现方面的难题,采用以多层白色油墨的叠加实现3D模型的高度,以若干层彩色油墨的打印实现3D模型色彩的方案,来完成彩色3D模型的打印输出。白色油墨的厚度为13.12 μm,相对于传统三维制造0.1 mm的最小厚度来讲,大大提高了3D打印的精度,且白色油墨具有较好的色彩再现性,使得3D模型也可以具有不逊于平面图像的鲜艳色彩。当然,UV喷墨彩色3D打印仍然存在很多问题,模型的总高度是多层白墨和若干层彩墨厚度之和,而单层彩色油墨的厚度是未知数,若干层彩墨会给模型总高度带来一定的误差,UV喷墨彩色3D打印在模型侧面的呈色也需要进一步研究。总之,UV喷墨彩色3D打印技术,对于目前各领域3D打印技术的研究和应用具有较好的指导作用,对于提高3D打印的高程精度和色彩再现也具有重要意义。

参考文献:

[1] 郭振华,王清君,郭应焕.3D打印技术与社会制造[J].宝鸡文理学院学报,2012,33(4):64—70.
GUO Zhen-hua, WANG Qing-jun, GUO Ying-huan. 3D Printing Technology and Social Manufacturing[J]. Journal of

- Baoji University of Arts and Science, 2013, 33(4): 64—70.
- [2] BASSOLI E, GATTO A, IULIANO L, et al. 3D Printing Technique Applied to Rapid Casting[J]. Rapid Prototyping Journal, 2007, 13(3): 148—155.
- [3] 杨小玲, 周天瑞. 三维打印快速成形技术及其应用[J]. 浙江科技学院学报, 2009(3): 186—189.
- YANG Xiao-ling, ZHOU Tian-rui. Three Dimensional Printing Prototyping Rapidly Technology and Its Application[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2009(3): 186—189.
- [4] LADD C, SO J H, MUTH J, et al. 3D Printing of Free Standing Liquid Metal Microstructures[J]. Advanced Materials, 2013, 25(36): 5081—5085.
- [5] LIPSON H, KURMAN M. The New World of 3D Printing[M]. John Wiley & Sons, 2013.
- [6] CAMPBELL T A, IVANOVA O S. 3D Printing of Multifunctional Nanocomposites[J]. Nano Today, 2013, 8(2): 119—120.
- [7] 李晓燕, 张曙, 余灯广. 三维打印成形粉末的均匀试验设计研究[J]. 上海理工大学学报, 2007(2): 183—188.
- LI Xiao-yan, ZHANG Shu, YU Deng-guang. Application of Uniform Design in Research of Three Dimensional Printing's Powder[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2007(2): 183—188.
- [8] 王建. 化学芯片的喷墨快速成型技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- WANG Jian. Research on Rapid Prototyping Technology of chemical Chip[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2006.
- [9] WANG H M, CHEN G X, ZHANG W B. 3D Printing of Topographic Map Based on UV Ink-jet Printer[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014(469): 309—312.
- [10] 王焕美, 陈广学. 基于UV油墨的3D地形图呈现[J]. 包装学报, 2014, 6(1): 48—52.
- WANG Huan-mei, CHEN Guang-xue. 3D Printing of Topographic Map Based on UV Inks[J]. Packaging Journal, 2014, 6(1): 48—52.
- [11] 韩玄武. UV油墨光引发剂与颜料匹配的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 48—51.
- HAN Xuan-wu. Research on Matching between Photoinitiator and Pigment of UV Ink[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 48—51.
- [12] 陈海生. 用于PE材料印刷的UV固化油墨的研制[J]. 包装工程, 2012(11): 97—100.
- CHEN Hai-sheng. Development of UV Curable Ink Used on PE Materials[J]. Packaging Engineering, 2012(11): 97—100.
- [13] 童博士. UV油墨固化概述及泰威UV数码喷印发展路线[J]. 印刷工业, 2010(3): 51—53.
- TONG Bo-shi. Overview of UV Ink Curing and Printing Development Route of Taiwei UV Digital Printing[J]. Print China, 2010(3): 51—53.
- [14] 顾小萍, 唐正宁. 对喷墨印刷中油墨铺展和渗透的研究[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 98—100.
- GU Xiao-ping, TANG Zheng-ning. Research on Ink Penetration and Spreading in Ink-jet Printing[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 98—100.
- [15] 李莹. 涂布纸油墨渗透的表征及影响油墨渗透因素的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- LI Ying. Study on Characterization of Ink Penetration into Coated Paper and Factors Affecting Ink Penetration[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.
- [16] 胥春雨, 许卫东, 李胜水, 等. 不同光源下样品颜色三刺激值测试的比较分析[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 102—105.
- XU Chun-yu, XU Wei-dong, LI Sheng-shui, et al. Comparative Analysis of Test Color Tristimulus Values Under Different Light Sources[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 102—105.
- [17] 朱元泓. 油墨叠印的密度与色度评价分析[J]. 包装工程, 2008, 29(6): 64—66.
- ZHU Yuan-hong. Analysis of Densitometric and Colorimetric Evaluation Methods for Ink Trapping[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 64—66.
-
- (上接第128页)
- 印算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(17): 91—94.
- HE Bing, WANG Heng, ZHAO Jie. Digital Watermarking Method Resisting to Affine Transforms Based on Fourier-mel-lion Transform[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(17): 91—94.
- [15] 刘丽, 周亚建, 张斌, 等. 基于DCT和SVD的QR码数字水印算法[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(S2): 304—311.
- LIU Li, ZHOU Ya-jian, ZHANG Bin, et al. Digital Watermarking Method for QR Code Images Based on DCT and SVD[J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(S2): 304—311.
- [16] 白韬韬, 刘真, 卢鹏. 基于QR码的Contourlet域数字水印算法[J]. 光电子·激光, 2014, 25(4): 769—776.
- BAI Tao-tao, LIU Zhen, LU Peng. Digital Watermarking Scheme in Contourlet Domain Based on QR Code[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2014, 25(4): 769—776.
- [17] 吴清乐, 彭代渊. 基于离散傅里叶变换的数字全息水印[J]. 计算机应用, 2013, 33(3): 752—755.
- WU Qing-le, PENG Dai-yuan. Digital Hologram Watermarking Based on Discrete Fourier Transform[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(3): 752—755.