

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2014.01.011

基于UV油墨的3D地形图呈现

王焕美, 陈广学

(华南理工大学 制浆造纸工程国家重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 根据地形图的特点及UV油墨快速干燥的特性, 提出一种运用3D建模和分层设色的方法, 并通过实验, 完成了中国台湾省主岛部分3D地形图的打印。选择台湾省主岛部分等高线图, 在图形处理软件中, 根据其高程, 提取多幅等高线矢量图; 根据墨层厚度与打印层数的定量关系, 得到实际海拔高度与打印层数的对应关系, 再根据等高线分层设色原理, 设计分层设色对应表, 并设定适当的比例尺, 确定打印方案; 使用喷墨打印机, 打印得到具有一定立体感的3D彩色地形图。实验结果表明: 根据UV油墨快速干燥的特点, 使用UV喷墨打印机, 可以打印得到具有立体效果的3D彩色地形图。

关键词: 3D打印; 等高线; UV油墨; 地形图

中图分类号: TS853+.2; P284

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2014)01-0048-05

3D Printing of Topographic Map Based on UV Inks

Wang Huanmei, Chen Guangxue

(State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China
University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: According to the characteristics of topographic maps and rapid drying feature of UV ink, an idea was put forward to complete the 3D terrain map printing of main island of Taiwan by using 3D modeling and layer colors. The contour map of Taiwan was chosen in graphics processing software to extract the contour vector image according to its elevation. Based on the relationship between ink thickness and ink layers, the corresponding relation table between the actual elevation and ink layers was established. Layered corresponding table was designed according to the contour of layered principle, and the appropriate scale was set, the printing solutions was determined; The 3D color topographic map with a certain stereoscopic impression was printed by ink-jet printer. The experimental result shows that with the characteristics of the UV printing ink drying quickly, the color topographic map with stereoscopic effect can be got through UV inkjet printer.

Key words: 3D printing; contour; UV inks; topographic map

1 3D 打印技术

地图与人们的日常生活息息相关。近现代地图一般用等高线来表示地势的起伏形态, 这虽然可以

显示地面的高低起伏状态与实际高差, 并且具有一定的立体感, 但不够直观。近年来, 计算机图形学、多媒体技术、三维仿真技术、虚拟现实技术及3D打

收稿日期: 2013-09-11

作者简介: 王焕美(1987-), 女, 山东胶州人, 华南理工大学硕士生, 主要研究方向为印刷包装材料与印刷图文处理,

E-mail: wanghuanmei.1@163.com

通信作者: 陈广学(1963-), 男, 河南杞县人, 华南理工大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事数字印刷, 印刷图像处理 and 印刷包装材料方面的研究, E-mail: chengx@scut.edu.cn

印技术的快速发展,给传统二维地图注入了新的活力。在此背景下,基于三维虚拟场景及3D打印技术的三维电子地图成为电子地图的一个主要发展方向。相对于传统二维地图,三维电子地图更直观,更方便人们查看,故受到广泛的喜爱。

3D打印技术最早由美国麻省理工学院的E. M. Scans和M. J. Cima等人,在其1991年申报的关于三维打印专利中提出,随后,作为快速成型领域的一种新兴技术得到迅猛发展。

3D打印技术是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可黏合材料,通过连续的物理层叠加以逐层增加材料来生成三维实体的技术,又称为添加制造(additive manufacturing, AM)。作为一种综合性应用技术,3D打印技术综合了数字建模技术、机电控制技术、信息技术、材料科学与化学等多学科技术知识。目前,3D打印技术主要被应用于产品原型、模具制造以及艺术创作、珠宝制作等领域,替代这些领域传统依赖的精细加工工艺。此外,在生物工程与医学、建筑、服装、航空航天、地理信息系统等领域,也引入了3D打印技术,并因此开拓了这些领域的创新发展空间^[1]。

3D打印的原理即为通过机械的方式,用电脑控制打印机沿Z轴(空间垂直)方向在水平面上将打印材料一层层叠加起来,最终将计算机上的蓝图变成实物。3D打印的基本工作流程见图1。

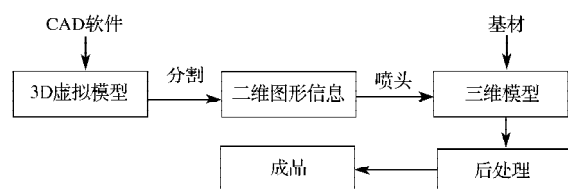


图1 3D打印流程

Fig. 1 3D printing process

1) 3D建模。3D建模是3D打印的前提,3D虚拟模型相当于平面印刷中的“原稿”。3D建模质量的高低决定了3D打印质量的高低。目前,市场上的3D建模软件一般都可以实现建模,如计算机辅助设计(computer aided design, CAD)等矢量建模软件,即可轻易地实现3D建模,形成3D虚拟模型。

2) 3D分割。3D分割是将建立的3D虚拟模型分成一个个薄片,每个薄片的厚度是由喷涂材料以及打印机的结构所决定的。同样,分割工序也是由软件来实现的。

3) 三维模型的形成。传统的3D打印是将成型材料一层层喷涂在基材上,比较原始的做法是先喷一

层胶水,然后再在上面撒一层粉末,如此反复。

4) 后处理。打印完成后,还需对打印出来的3D模型进行后处理,如固化、剥离、修整等,最终完成所需要的模型制作^[1-3]。

3D打印需建立3D模型及利用专业的分层软件。根据地形图的特点及UV油墨快速干燥的特性,提出一种运用3D建模和分层设色的方法,并通过实验,完成了中国台湾省主岛部分3D地形图的打印。

2 墨层厚度与打印层数的定量分析

2.1 实验器材

实验设备:Illustrator CS4图形软件,Adobe公司生产;UJF-3042FX UV打印机,日本Mimaki公司生产;CHY-C2测厚仪,济南兰光机电技术有限公司生产。

实验材料:240 g/m²亮光纸,伊士曼柯达公司(Eastman Kodak Company)生产;Mimaki UV ink LH-100四色油墨,保定乐凯数码影像有限公司生产;Mimaki UV ink LH-100白色油墨,保定乐凯数码影像有限公司生产。

2.2 实验原理

UV固化油墨是在低碳环保政策的号召下应运而生的一种节能环保型油墨。UV油墨的光固化过程是指液态低分子油墨连结料在紫外光作用下发生光化学聚合反应转化成立体网状大分子而变成固态的过程。UV油墨以可以参与光固化反应的稀释单体取代传统油墨中的溶剂,使得膜层固化后基本无溶剂挥发和排放,符合低碳环保的要求。同时,由于光引发剂分解成若干活性自由基或离子基,这些基团引发预聚物和单体的聚合反应非常迅速,可以瞬间固化^[4-5]。因此,可以利用UV油墨瞬间干燥的性质,进行逐层打印来测得UV油墨的厚度。

2.3 实验步骤

1) 采用Illustrator CS4图形软件,设计C, M, Y, K四色实地色块。

2) 采用UJF-3042FX UV打印机,分别打印1~10层四色实地色块,并利用100%白墨替代功能打印1~10层白墨色块。

3) 采用CHY-C2测厚仪,根据GB/T 6672—2001《塑料薄膜和薄片厚度测定机械测量法》,分别测量纸张和1~10层各墨层的厚度,每个色块选取7个点进行测量,记录测量数据。

2.4 数据分析

各色实地色块1~10层墨层厚度测量数据见表1~5。

表 1 黑墨实地色块墨层厚度测量数据

Table 1 Black ink layer thickness measurement data

墨层厚度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均值 / μm	243.9	248.9	258.0	266.8	276.3	285.1	294.0	303.4	312.1	321.3	330.5
最大值 / μm	245.4	250.2	258.9	270.9	278.1	286.1	294.8	304.2	313.4	313.4	331.5
最小值 / μm	243.1	246.9	256.7	265.7	276.1	284.6	293.4	301.7	310.9	310.9	329.4
标准方差	0.8	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6

表 2 黄墨实地色块墨层厚度测量数据

Table 2 Yellow ink layer thickness measurement data

墨层厚度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均值 / μm	243.9	247.7	255.8	264.6	272.1	279.6	287.4	295.9	303.7	310.9	318.6
最大值 / μm	245.4	248.4	257.8	266.1	272.5	281.7	288.6	296.7	304.0	311.1	318.9
最小值 / μm	243.1	246.3	255.3	263.9	271.2	279.1	286.9	294.6	302.0	308.1	316.8
标准方差	0.8	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5

表 3 品墨实地色块墨层厚度测量数据

Table 3 Magenta ink layer thickness measurement data

墨层厚度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均值 / μm	243.9	255.7	268.9	282.6	296.3	309.5	322.5	335.4	348.3	361.5	374.6
最大值 / μm	245.4	256.3	269.8	283.8	297.0	310.3	323.3	336.2	348.9	362.5	376.1
最小值 / μm	243.1	254.7	254.7	282.1	295.1	308.8	321.1	333.8	346.5	361.1	373.9
标准方差	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5

表 4 青墨实地色块墨层厚度测量数据

Table 4 Cyan ink layer thickness measurement data

墨层厚度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均值 / μm	243.9	251.7	261.6	272.6	283.2	294.4	307.1	318.2	328.5	339.2	351.8
最大值 / μm	245.4	252.3	262.5	273.5	283.6	295.5	308.1	318.4	329.1	339.6	353.2
最小值 / μm	243.1	250.6	260.8	271.8	282.1	293.9	306.9	317.9	327.6	338.1	350.6
标准方差	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.3	0.2	0.3	0.6	0.6

表 5 白墨实地色块墨层厚度测量数据

Table 5 White ink layer thickness measurement data

墨层厚度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均值 / μm	243.9	254.8	268.6	282.9	296.9	310.1	323.8	337.3	350.2	364.1	378.9
最大值 / μm	245.4	255.7	270.3	283.4	297.7	311.7	324.3	338.3	351.2	365.1	379.9
最小值 / μm	243.1	254.2	268.4	281.6	295.8	309.8	322.8	336.5	349.5	362.9	378.0
标准方差	0.8	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7

根据表 1~5 中的墨层厚度数据,得到如图 2 所示的各色油墨 0~10 层(0 层指没有进行打印的纸张)墨层平均测量厚度与墨层数的点折线图。

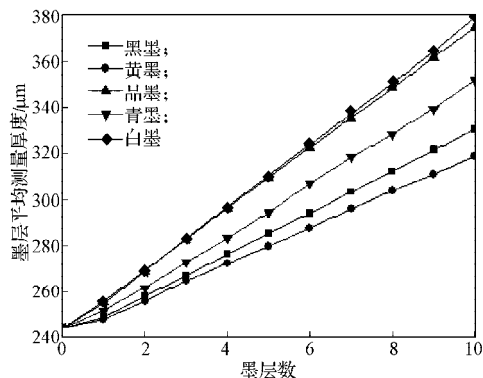


图 2 墨层平均测量厚度与墨层数关系

Fig. 2 Relation between ink thickness and layers

由图 2 可以发现,四色 UV 油墨的墨层平均测量厚度各不相同。黄墨层最薄,黑墨层次之,品墨层最厚。这与各色 UV 油墨的颜色性质相关。为了达到最佳的油墨颜色再现效果,根据 UV 油墨的颜色性质,UV 喷墨打印机已设置好各色 UV 油墨的出墨量,从而导致各色 UV 油墨的墨层厚度不同。由图 2 还可以发现,无论是四色 UV 油墨还是白色 UV 油墨,第一层的墨层厚度都明显地比其他打印层的墨层厚度薄。第一层墨层厚度比较薄的主要原因是油墨在高光纸上存在渗透行为。除第一层外,各色墨层厚度都随打印层数的增加呈直线增加的趋势。

为了探究各色墨层厚度随打印层数的增加呈直线增加趋势的原因,将各色油墨的 2~10 层的平均测量厚度分别减去各色油墨第一层的平均测量厚度,

得到各色油墨1~9层墨层厚度的数据。对1~9层各色墨层厚度与墨层数进行直线拟合,拟合图如图3所示。

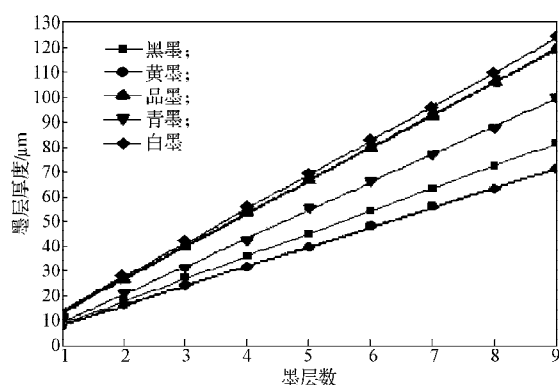


图3 墨层厚度与墨层数拟合图

Fig. 3 Fitting chart with ink thickness and layers

根据方程 $y=a+b*x$,对各色墨层厚度与打印层数进行拟合,得到如下5个直线拟合方程:

$$y_K=9.046\ 67+0.999\ 64*x, (S=0.096\ 85);$$

$$y_Y=7.906\ 67+0.999\ 39*x, (S=0.052\ 41);$$

$$y_M=13.221\ 67+0.999\ 88*x, (S=0.053\ 39);$$

$$y_C=11.096\ 67+0.999\ 79*x, (S=0.021\ 23);$$

$$y_W=13.628\ 33+0.999\ 96*x, (S=0.060\ 44)。$$

通过图3和以上拟合方程,可得到如下结论:

1) 5条各色油墨墨层厚度和打印层数拟合直线的拟合系数(即方程中系数 b)分别为0.999 64, 0.999 39, 0.999 88, 0.999 79, 0.999 96,均大于0.999,由此可见,除第一层外,各色墨层厚度与墨层数分别呈直线关系。

2) 5条拟合直线的斜率截距标准差(S)均在0.02~0.1之间,表明各点与拟合直线的偏离度较小,使用截距表示各色UV油墨每层墨层厚度的做法是可行的。

3) 由5条拟合直线的截距(方程中系数 a)可得出各色油墨每层的厚度(第一层除外),黑色油墨每层的墨层厚度为9.046 67 μm ,黄色油墨每层的墨层厚度为7.906 67 μm ,品色油墨每层的墨层厚度为13.221 67 μm ,青色油墨每层的墨层厚度为11.096 67 μm ,白色油墨每层的墨层厚度为13.628 33 μm 。

3 等高线地形图的分层设计和绘制

在大比例尺地形图中,常采用等高线表示地貌(即地表面的高低起伏状态)。地面上高程相同的相邻各点连成的闭合曲线,称为等高线。根据等高线的性质,可把地图等高线看成将地形用平面分层切割后得到的一个个二维平面图像。本研究选取一张中国台湾省主岛部分的等高线地形图,来具体说明

分层绘制和设计过程。

3.1 等高线的提取

从网上选取内存为1.21 MB大小的中国台湾省主岛部分等高线地形图,图片的分辨率为96 dpi*96 dpi。本文采用陈争光等^[6]提出的基于圆追踪的自动适用的矢量化方法,并在此基础上,使用三次B-样条对矢量化结果进行曲线拟合的方式来获得矢量化的等高线。对地形等高线的关键点搜索方法如下:首先,查找等高线的起始点 A ,并记录该点,然后以 A 点为圆心,以20像素为半径画圆,并记录该圆与等高线的交点 B 。依次类推,每一次画一个圆都记录一个交点,直至所画的圆和等高线没有交点为止。通过上述方法,得到等高线上一些间距不等的离散坐标点。之后,采用三次B-样条进行拟合,拟合过程就是反求B-样条的过程,拟合的结果就是对每一条等高线上的 n 个型值点求得 $(n+2)$ 个控制点^[6-7]。由此得到地形图上的等高线矢量图,再运用内插值的方式来增加等高线^[5],从而得到等高距为100 m的等高线图,如图4a所示。

以每条等高线代表100 m,做出台湾省主岛部分0~3 952 m共40条等高轮廓线,并对不同高程的等高线轮廓分别提取保存为.eps格式的矢量图。图4b, 4c, 4d分别为高程0, 1 600, 2 400 m的轮廓图。

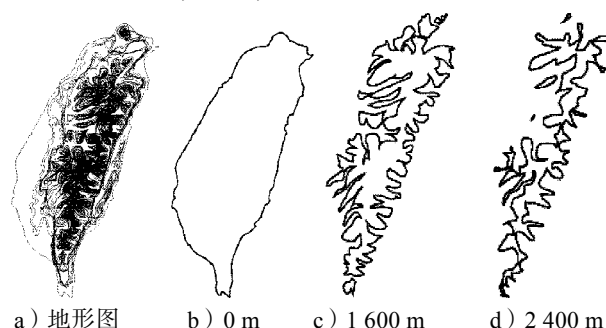


图4 等高线地形图

Fig. 4 Contour map

3.2 地形图分层设色

在绘有等高线和等深线的地图上,按照不同的高度和深度,描上深浅不同的褐色、黄色、绿色、蓝色等颜色,以鲜明地表示地面和海底起伏的形态,这种地图叫分层设色地形图。分层设色是以地貌等高线为依据,应用颜色的饱和度和亮度变化、按不同高程带的自然象征设色,来表现地貌形态和高度分布的特征。分层设色地形图的立体感强,它既能表示海拔,又能表示相对高度,既能表示地势,又能在一定程度上表示各种地形类型。其主要方法是随地势高低、色彩排列规律来设色:地势越高,颜色饱和度越高,色彩越亮;地势越低,颜色饱和度越

低, 色彩越暗。同时根据地形特点设置光谱色。

分层设色通用的颜色顺序是: 海洋用蓝色, 平原用绿色, 低山丘陵用黄色, 高山用棕褐色。在不同的等深线之间, 用分层设色法加上深浅不同的蓝色, 表示海底的深度。在不同的等高线之间, 绿色越浓, 表示地势越低; 棕褐色越深, 表示地势越高; 雪线以上的地区通常用白色表示^[8-9]。

根据选取的地图上台湾省最高峰为 3 952 m 的实际情况, 以及在分层设色原理的基础上, 为了达到颜色分层明显的效果以及确保地形图质量, 将台湾省主岛部分地形图分成 14 层来设色, 地形图分层设色方案如表 6 所示。

表 6 地形图分层设色方案

Table 6 Color gradient scale

海拔高度 / m	C/%	M/%	Y/%	K/%	色块
<0	70.00	15.00	0.00	0.00	
0~100	90.00	30.00	95.00	30.00	
100~200	90.00	20.00	100.00	20.00	
200~300	85.00	10.00	100.00	10.00	
300~400	75.00	0.00	100.00	0.00	
400~500	50.00	0.00	100.00	0.00	
500~600	20.00	0.00	100.00	0.00	
600~700	5.00	0.00	90.00	0.00	
700~800	0.00	20.00	85.00	0.00	
800~900	0.00	40.00	85.00	0.00	
900~1 000	0.00	55.00	95.00	0.00	
1 000~2 000	0.00	70.00	90.00	0.00	
2 000~3 000	0.00	90.00	85.00	5.00	
3 000~4 000	15.00	100.00	90.00	10.00	

4 地形图的打印

4.1 实际海拔高度与打印层数对应关系

由前文论述可知, 四色油墨的墨层厚度各不相同。为了避免厚度不均一的情况, 故选用白色油墨多次套印, 并在 3D 实体的最外层进行原色打印。由于原色打印的油墨为 CMYK 四色叠加, C 墨层平均每层的厚度为 11.096 67 μm , M 墨层平均每层的厚度为 13.221 67 μm , Y 墨层平均每层的厚度为 7.906 67 μm , K 墨层平均每层的厚度为 9.046 67 μm 。根据色料减少原理, 不能得出具体打印的原色墨层厚度。在此, 采用 CMYK 四色墨层均值 10.3 μm , 以此厚度作为进行计算地形图的垂直比例尺。实际海拔高度与打印层数对应关系设定为 4 层白墨和 1 层彩墨对应实际海拔高度 100 m, 对应关系如表 7 所示。

表 7 实际海拔高度与打印层数对应表

Table 7 Corresponding relation of actual altitude and printing layer

海拔高度 / m	100	200	300	400	500	600	700	800	...	4 000
打印层数	5	10	15	20	25	30	35	40	...	200

4.2 比例尺的设定

地形图上任一线段的长度与它所代表的实地水平距离之比, 称为地形图比例尺。其主要计算公式如下:

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{\frac{D}{d}} = \frac{1}{M}$$

式中: d 为地图表示尺寸, D 为地图实际尺寸, M 为实际尺寸与表示尺寸的比值。

根据实际情况和实验情况, 进行比例尺数据的确定。

1) 平面比例尺

平面比例尺是指传统地图中的比例尺。根据地理知识, 得到台湾省主岛部分南北垂直距离为 376.24 km, 据此做出矢量图, 其最南端与最北端的坐标分别为 (130.86, 92.03), (107.29, 218.23), 单位为 mm, 则平面比例尺为: 125.1 mm/376.24 km=1:300 万。

2) 垂直比例尺

垂直比例尺是针对有高度的 3D 地图而言的, 是指垂直方向上的比例尺。根据表 7 实际海拔高度与打印层数对应表中的数据, 计算其垂直比例, 得到垂直比例尺为: (10.3+54.8) μm /100 m=1:150 万。

4.3 地形图的打印

使用 UJF-3042FX UV 打印机, 按照表 7 实际海拔高度与打印层数对应关系, 对不同高程的等高线图按顺序分别打印, 打印精度为 720 dpi*600 dpi。打印出来的 3D 地形图, 其平面比例尺为 1:300 万, 垂直比例尺为 1:150 万, 分层设色为 14 种颜色, 打印高度约为 2.66 mm。与等高线地形图相比较, 此地形图立体感更强。

5 结论

1) 利用地形图等高线及分层设色的原理, 获得 3D 地形图分层后的二维图像;

2) 通过建立墨层厚度与打印层数的定量关系, 并设定适当的比例尺, 确定打印方案;

3) 使用喷墨打印机, 打印得到具有一定立体感的 3D 彩色地形图。

参考文献:

[1] 王雪莹. 3D 打印技术与产业的发展及前景分析[J]. 中国高新技术企业, 2012(26): 3-5.

Wang Xueying. The Development and Prospect of 3D

(下转第 56 页)

