

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2018.03.019

铝质气雾罐印刷图像变形处理的研究

石英军, 刘 昕, 杨 哲

(西安理工大学 印刷包装与数字媒体学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对铝质气雾罐表面印刷图像随罐体扩冲而变形的问题,提出了一种解决图像变形的新方法,这种方法具有迅速、准确、稳定的特点。首先建立罐体的半径随高度变化的数学模型;其次用等步长插入或删除像素对原图像处理,得到预变形图像的基本算法。用图像预处理的改变量抵消由罐体扩冲变形而引起的变量,以满足忠实复制的印刷效果。该方法为后续的研究奠定了理论基础,对金属包装印刷品生产具有实际指导意义。

关键词: 铝质气雾罐; 图像处理; 忠实复制

中图分类号: TS8

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2018)03-0359-05

Study of treatment of printing image morphing of aluminum aerosol cans

SHI Yingjun, LIU Xin, YANG Zhe

(School of Printing, Packaging Engineering and Digital Media Technology, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: To solve the problem of the deformation of the surface printed image of the aluminum aerosol cans with the expanding of the can, a new method is proposed to solve the image morphing, which is fast, accurate and stable. Firstly, the mathematical model of the tank is established, with the equation of radius variation with height obtained; secondly, the original image is processed by inserting or deleting pixels with the equal step length, with the basic algorithm of image pre-deformation obtained. The change of image preprocessing is used to cancel the variable caused by the can expanding deformation to meet the printing effect of faithful reproduction. This method lays a theoretical foundation for the following research and is of practical significance to produce metal packaging and printing products.

Key words: aluminum aerosol cans; image processing; faithful reproduction

气雾罐是带有喷射阀门和喷雾推进的气密性包装容器,要求罐体能承受一定的内压力,起初用于盛装气雾剂的金属容器材料是马口铁。在50年代中期,遇到马口铁材料短缺问题,包装工业开发了一种新型材料的铝质气雾罐^[1]。很快铝质气雾罐以其质量高、重量轻、耐腐蚀、耐压性等优良特点获得了金属包装行业的广泛青睐,被大量应用于工业及家居产品、包装饮料、个人护理产品如喷发剂、化妆品、医药品及其他消费品等领域。

作为包装容器其功能除了保护商品,方便存储和运输以外最重要的还是促销,能够更多的引起消费者的关注。因此,金属包装的个性化成为企业的发展方向。与此同时企业对制罐工艺与罐体表面图

像的印刷效果提出了更高的要求。由于制罐工艺的限制,只能是先对料块进行冲杯,形成基本的圆柱体以后再将设计好的原图像转印到罐体表面,最后对罐体进行扩冲和压缩到需要的形状。当完成印刷以后再对罐体表面进行变形必然会对表面印刷图像造成不同程度的影响。当罐体被扩冲的时候图像被横向拉伸,当罐体被压缩的时候图像被横向压缩,图像发生扭曲变形,影响印刷效果。尤其是当罐体表面印刷图像为图像的时候,变形最为明显。因此,有必要对铝质气雾罐表面印刷图像变形问题加以研究,提升金属包装容器表面图像的印刷质量。

目前,已经有部分学者和机构对金属包装容器表面印刷图像的变形问题展开研究。有人基于两片

收稿日期: 2017-04-17

作者简介: 石英军,男,硕士生,研究方向为颜色复制与印刷技术。E-mail:425316784@qq.com

通讯作者: 刘昕,男,教授,研究方向为颜色复制与印刷技术。E-mail:liuxin@xaut.edu.cn

式食品罐提出一种印刷版面设计^[2]方法:以平板料的中心为圆心画一基圆,再画一系列的等距同心圆当作纬线,从基圆向外画辐射线当作经线,构成网状线图。将画有网状线图的板料冲轧成罐,并确定所需产品图案在罐体上的位置,从而反绘到平面网状线图的相应位置上,即可得到印刷版面。这种方法是利用坐标映射的原理,即先在板材上建立坐标系然后将板材冲压成罐再在对应位置上印刷。这种方案多用于解决覆膜铁的两片式食品罐的图像变形问题,而且对罐体形状有要求,具有很明显的局限性。还有人提出一种区域划分^[3-4]的印刷版面设计方法:根据网格线图变形情况将覆膜铁板划分为不变形、均匀变形和不均匀变形三种区域。根据冲杯前后均匀变形区域和不均匀变形区域的变形量,将产品图案反绘到覆膜铁板上。冲杯后,预变形处理的变形量正好能抵消冲杯引起的变形量,从而在冲杯后得到规则的、不变形的图案。但是在实际应用中一旦毛坯形状、冲杯工艺参数等条件改变,以上方法所绘的印刷版面就不符合要求,需要重新设计,效率较低。此外,还有研究者提出一种新的图像变形^[5]问题,即由于二维平面图像映射到三维曲面而引起的视觉误差。其采用有限元单位逆映射的办法,对图像进行预变形处理。

笔者结合金属包装企业实际生产过程的需求,对铝质气雾罐表面图像变形明显的人物图像进行研究。印前设计人员依据预变形处理的设计思路,对原图像进行设计。根据罐体的变形情况提前给图像一个预变形量,将设计好的图像印刷到罐体表面进行扩冲或压缩之后的变形量正好抵消预处理的变形量,最终达到忠实复制的要求。该研究方法对后续理论研究和企业实际生产均具有一定的指导意义。

1 理论分析

1.1 图像变形

从生产工艺流程^[6]来讲,一个完整的铝质气雾罐首先是由一块铝坯料经过反复冲压而成型为罐体,再经过边幅修整,涂料印刷,最后进行拱底、收颈、卷边等过程。图像印在罐体表面经扩冲(或收缩)变形之后会发生不同程度的扭曲变形,见图1。



图1 图像变形示意图

Fig. 1 Schematic diagram of image

图1中可以很清楚的发现随着罐体扩冲,罐体表面印刷图像由图1(a)变形为图1(b)。

1.2 图像预变形

图像预变形是提前对原图像进行变形处理。因为罐体变形导致表面图像变形无法避免,所以在原图设计时提前考虑到变形情况,加入一个预处理环节。假设变形之前的罐体半径为 R_0 ,变形后的半径 R 随着罐体高的变化而变化。在同一水平高度上的半径变化量 ΔR 见式(1)、周长变化量 ΔC 见式(2)。

$$\Delta R = R - R_0 \quad (1)$$

$$\Delta C = 2\pi \times \Delta R \quad (2)$$

式(2)中当 ΔC 大于零时罐体被扩冲,图像被横向拉伸,那么预处理环节就要给其一个减少量,反之则给其一个增加量,这个量的多少与罐体变形情况有关。假设罐体印刷图像部位被横向拉伸,其图像预变形处理原理见图2。

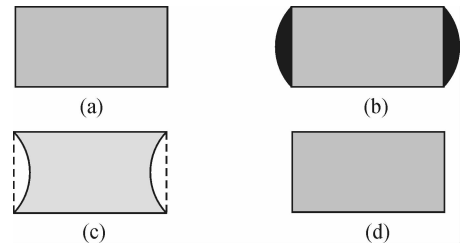


图2 图像预变形原理

Fig. 2 Principle of image pre

图2(a)是原图像,图2(b)是未经处理的图2(a)直接印刷在罐体表面后因罐体变形被横向拉伸的图像,图像两边深色区域为拉伸变形量。图2(c)是根据图2(b)的扩冲变形情况由图2(a)经本方法处理后得到的预变形图像。将图2(c)印刷在罐体表面,当罐体完成扩冲变形后,图像的变形量正好抵消罐体变形扩充而引起的图像变形量,得到图2(d)所示的结果。

由于罐体变形后的半径 R 随着高度 H 而变化,所以在任意高度上图像的变化量是不同的。又因为图像变化率等同于罐体周长变化率,所以定义罐体周长变化率 r :

$$r = \Delta C/C_0 = 2\pi \times \Delta R / (2\pi \times R_0) = \Delta R/R_0 \quad (3)$$

式中: ΔC 为罐体周长变量, C_0 为其变形前周长。

1.3 建立罐体的曲线方程

以广东省某企业生产的铝质气雾罐为研究对象。罐体分为变形区域和不变形区域。不变形区域不会影响图像变形,在此不作处理。变形区域又分为压缩区域和扩冲区域,假设整幅图像印刷在罐体

部位为变形区域,所以应该建立变形区域的曲线方程,罐体变形区域轮廓曲线见图3。

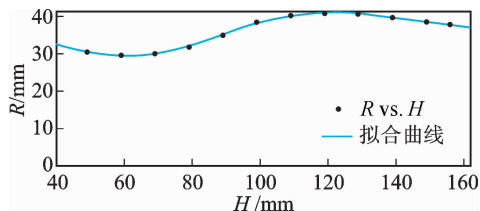


图3 罐体轮廓曲线图

Fig. 3 Curve of can contour

由图3可知罐体轮廓并非常规函数类型,所以采用多项式逼近的方法拟合曲线方程最为合适。设罐体曲线方程为:

$$R = p_1 H^n + p_2 H^{n-1} + \dots + p_n H + p_{n+1} \quad (4)$$

式中: $p_1, p_2, \dots, p_n, p_{n+1}$ 为待确定系数,多项式最高阶次为 n 。评价曲线拟合方程的两个重要参数是误差平方和(SSE)和确定系数(R-square)。

SSE计算的是拟合数据和原始数据对应点的误差的平方和:

$$SSE = \sum_{i=1}^h (\hat{R}_i - R_i)^2 \quad (5)$$

式中: \hat{R}_i 为拟合数据, R_i 为原始数据。SSE越接近于0,说明模型选择和拟合更好,数据预测也越成功。

SSR表示拟合数据与原始数据均值之差的平方和:

$$SSR = \sum_{i=1}^h (\hat{R}_i - \bar{R}_i)^2 \quad (6)$$

式中: \hat{R}_i 为拟合数据, \bar{R}_i 为原始数据均值。

SST表示原始数据与均值之差的平方和:

$$SST = \sum_{i=1}^h (R_i - \bar{R}_i)^2 \quad (7)$$

确定系数 R-square 也称拟合优度是 SSR 和 SST 的比值:

$$R - square = \frac{SSR}{SST} = \frac{SST - SSE}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (8)$$

当 R-square 的值接近 1 时表示相关的方程式参考价值越高;相反,越接近 0 时,表示参考价值越低。

2 图像预变形处理

像素是一副数字图像最小的单位^[7],对图像进行处理归根结底是对像素进行处理。该问题的解决思路是对原图像提前施加一个预变形量,这个量的多少是由不同高度下对应的罐体半径大小所决定

的。在进行图像处理前做好如下准备工作:

1) 建立罐体半径随高度变化的曲线方程。

2) 读入需要进行处理的原图文件,检测文件的大小为 h 行、 w 列。

3) 然后创建一个行数相等列数略大于 w 的二维全零矩阵用于存放处理后的图像信息。

2.1 确定像素变化量

创建一个大小为 h 的一维空数组 t ,用于存放每行像素的变化量:

$$t = [t_1, t_2, t_3, \dots, t_h] \quad (9)$$

将罐子纵向微分,最小的单位变化量为单个像素的边长,所以罐体高度 H 是随像素行数 i 的值而变化的:

$$H = h_1 + h_2 - (h_2/h) \times (i-1) \quad (10)$$

式中: h_1 为罐体未变形部分高度, h_2 为印刷图像部位高度(mm), h 为图像像素行数, i 为当前像素行数。将式(10)代入式(4)就能得到任意行像素对应的半径值。至此文中涉及到的变量均为已知,可以导出每一行像素变化量 Δw :

$$\Delta w = w \times r \quad (11)$$

式中: w 为图像像素列数, r 为罐体周长变化率。

Δw 随着当前像素所在行数 i 的变化而变化,将每一行计算得到的数值存放在数组 t 中。当图像从第一行遍历循环到最后一行,数组 t 不再是一个空数组,而是存储了整幅图像每一行像素的变化量:

$$t = [\Delta w_1, \Delta w_2, \Delta w_3, \dots, \Delta w_h] \quad (12)$$

2.2 对应像素的处理

知道每行像素的变化量 Δw ,每行像素总个数为 w 。使像素变化量 Δw 均匀分布,以便保留图像信息的完整性。本文采用的方法是等步长插入或删除像素。确定步长:

$$step = w / \Delta w \quad (13)$$

从图像第一行像素开始检测,先判断 ΔR 的值是否大于零。当 ΔR 满足大于零的条件时,将 Δw_1 个像素从第一行均匀间隔删除,步长为 $step(1)$ 。即当列坐标位置满足是步长的整数倍时将此坐标下像素的像素值置 0。见图4,红框框选的黑色像素为被置 0 标记的像素。



图4 剔除像素示意图

Fig. 4 Schematic diagram of removal pixels

当 ΔR 不满足大于零的条件时,在第一行中均匀插入 Δw_1 个像素,步长依然为 $step(1)$ 。即当列坐标位置满足是步长的整数倍时在此像素后面插入

一个与该像素灰度值相等的像素。见图5,被红框框选的两个像素,后者即为插入的新像素其像素值等于前面与其相邻的像素。



图5 插入像素示意图

Fig. 5 Schematic diagram of insert pixel

完成上述处理以后开始处理第二行像素,同理,依次往下循环,直到完成整幅图像的处理。

2.3 像素坐标调整与优化

前面提到删除像素并没有真正的将像素去掉只是将其像素灰度值置0作为标记,该位置像素仍然需要通过坐标变换将其全部平移至图像右侧。其变换方法通过赋值语句(14)来实现。

$$img(i, j - b) = I(i, j) \quad (14)$$

式中: i 、 j 分别代表坐标的行和列, b 代表同一行中当前像素前面置0像素的个数。

该赋值语句的作用是当列坐标 j 不是步长 $step$ 的整数倍时,将原图像当前像素值 $I(i, j)$ 赋给目标图像中 $img(i, j - b)$ 。通过这种调整便能将图像中有效像素(非标0像素)移至左边,无效像素(标0像素)移至右边。

创建一个 h 行 $\omega + \max(\Delta\tau)$ 列的二维全零矩阵,用于存放最终目标图的数据信息, $\max(\Delta\tau)$ 表示最大像素变化量。定义当前像素所在行右侧像素值为0的像素个数为 c :

$$c = \max(\Delta\tau) - \Delta\tau(i) \quad (15)$$

当前图像第一行第一个像素值赋给目标图的第 $c/2+1$ 个像素,第二个像素赋给 $c/2+2$ 个像素,依次循环完第一行整个有效像素,将每行像素右侧像素值为零的像素总数的一半转移到图像的左侧,第二行、第三行直到最后一行同理,最终获得目标图像。

3 结果与讨论

3.1 曲线方程参数确定

罐体半径采样数据的多少直接影响曲线方程的拟合精度,理论上高度间隔越小测量数据越多,方程拟合越准确。但是大量的测量数据首先增加了测量的时间,其次测量数据时测量误差是不可避免的,将含有较多误差的数据进行曲线拟合容易出现过拟合的情况反而会降低方程的拟合精度。

经测量原罐体半径 $R_0 = 33$ mm,选取变形后高度间隔10 mm罐体测量半径 R 见表1,高度间隔5 mm罐体测量半径 R 见表2。

表1 高度间隔10 mm的罐体半径

Tab. 1 Radius of can at a height interval of 10 mm

H/mm	R/mm	H/mm	R/mm
9	33.00	89	34.96
19	33.00	99	38.50
29	33.00	109	40.30
39	32.68	119	40.79
49	30.50	129	40.70
59	29.60	139	39.70
69	30.05	149	38.63
79	31.82	156	37.81

表2 高度间隔5 mm的罐体半径

Tab. 2 Radius of can at a height interval of 5 mm

H/mm	R/mm	H/mm	R/mm
40	32.50	100	38.55
45	31.44	105	39.54
50	30.50	110	40.32
55	30.15	115	40.74
60	29.65	120	40.85
65	29.61	125	40.83
70	30.25	130	40.73
75	31.00	135	40.45
80	32.15	140	39.72
85	33.15	145	39.17
90	35.24	150	38.64
95	37.05	155	38.10

由表1、表2中数据可知罐体高度39 mm以下部位没有发生变形,原始半径为33 mm。从39 mm处开始半径值呈现出一个先变小后变大的趋势。将以上两组数据以及式(4)进行多项式拟合,理论上多项式阶次越高样本拟合程度越好,但是样本拟合程度越好并不代表拟合精度越高。因为随着多项式阶次的增加曲线开始发生震荡,样本拟合良好但是测试数据并不准确,所以选择合适的多项式阶次保证拟合曲线不发生震荡且拟合误差满足精度要求。本文选择6阶多项式,半径 R 和高度 H 的曲线方程为

$$R = -2.124 \times 10^{-10} H^6 + 1.378 \times 10^{-7} H^5 - 3.528 \times 10^{-5} H^4 + 4.481 \times 10^{-3} H^3 - 0.2918 H^2 + 9.131 H^1 - 75.8 \quad (16)$$

对表1数据进行拟合,由式(5)知该曲线拟合方程误差平方和 SSE 为0.4405,由式(6)~(8)可知确定系数 R -square为0.9962。虽然 R -square的值趋向于1,但是 SSE 值偏大说明曲线拟合误差较大。同理由表2数据拟合曲线方程误差平方和 SSE 为0.0470,确定系数 R -square为0.9972。 SSE 趋近于0, R -square的值趋近于1说明曲线拟

合精度较高,确定方程系数为 $p_1 = -2.124 \times 10^{-10}$ 、 $p_2 = 1.378 \times 10^{-7}$ 、 $p_3 = -3.528 \times 10^{-5}$ 、 $p_4 = 4.481 \times 10^{-3}$ 、 $p_5 = -0.2918$ 、 $p_6 = 9.131$ 、 $p_7 = -75.8$ 。

3.2 图像处理

图像的承印载体是半径为 33 mm,高 157 mm 的铝质气雾罐。变形后的参数未变形底座的高度为 39 mm,罐体高度依然是 157 mm。基于 Matlab 2014a 软件对图像进行处理^[8],结果见图 6。

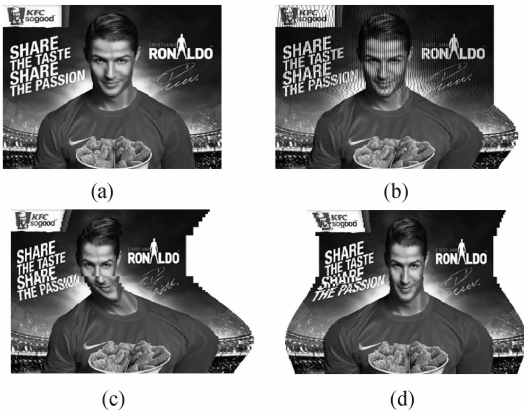


图 6 实验处理结果

Fig. 6 Experimental result

图 6(a)是原图像宽 149.2 mm,高 111.9 mm。经检测其行高 414,列宽 552,像素灰度值分布区间为 0~255。

图 6(b)是像素置 0 标记和插入新的像素后的效果图。此时观察整幅图像,当罐体被拉伸需要删除像素的位置,实质上并没有真正的去除像素而是将其像素值置 0 作为标记,因此图像上方产生黑色的细线。当罐体被压缩则需要插入部分新的像素,其像素灰度值等同于同一行中邻近像素的灰度值。

图 6(c)是将标记置 0 像素移至图像右侧以后的效果图。这样做的是为了能够将前面标记置 0 的像素全部转移到图像右侧,实现原图像像素灰度值给目标图像像素赋值过程。确保变形完成后的图像整体依然是规则矩形同时达到减少有效像素的目的。

图 6(d)是最终得到的目标图像。在图 6(c)的基础上将图像右侧全部像素值为 0 的像素均匀转移到图像的两侧,使有效像素分布均匀,画面整体协调美观。

此时图像的形状与我们常见的仍然有很大差别是因为根据罐体变形情况对图像进行了预变形处理。当图像印刷在罐体表面经过扩冲变形以后,图像预变形量正好抵消图像随罐体变形产生的变化量,最终得到忠实复制的目的。

4 结论

通过对铝质气雾罐实体建模以及对表面印刷图

像变形情况进行处理研究,得到以下结论。

1) 本文提出一种图像预变形处理解决方法,将原图像施加一个预变形量能够正好抵消由罐体变形引发的图像变化量,经试验验证该方法能够有效解决铝质气雾罐表面印刷图像的变形问题。

2) 确定测量罐体半径最佳高度间隔为 5 mm,建立罐体半径 R 随高度 H 变化的曲线方程式(16),其误差精度评价参数 SSE 为 0.047,趋近于 0, R -square 为 0.997 2 趋近于 1,满足曲线方程对误差精度的要求。

3) 采用等步长插入或删除像素的方法对图像进行预变形处理,确定步长见式(13)。这种方法能够快速定位插入或删除的像素在图像中的位置,且能够保证图像信息的完整度,如图 4 和图 5 所示。最终得到了图像预变形的基本算法,能够有效解决金属包装企业在生产过程中遇到的实际问题。

参考文献:

- [1] 顾翀,郑功昊. 异形罐-金属包装新宠 [J]. 印刷技术, 2008,(4): 25-26.
GU Chong, ZHENG Gonghao. New favorites of metal packaging: special-shaped cans [J]. Printing Technology, 2008,(4): 25-26.
- [2] 肖力,林洋介. 一种两片式食品罐及其表面印刷制版方法: 中国, CN1184757A[P]. 1998-06-17.
- [3] 余志礼. 任意变形深冲彩印容器及其制作方法: 中国, CN1304854A[P]. 2001-07-25.
- [4] 江柯,张作全. 预变形技术在覆膜铁罐彩印中的应用 [J]. 包装学报, 2012, 4(4): 47-49.
JIANG Ke, ZHANG Zuoquan. Application of pre-distorted printing technology in DRD polymer-coated cans [J]. Packaging Journal, 2012, 4(4): 47-49.
- [5] 严红梅. 基于有限元法的单元映射图案预变形技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
YAN Hongmei. The research of pre-distorted technology based on mapping algorithm of finite element method [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2014.
- [6] 张纪娟. 丝网印刷在金属包装中的印刷工艺 [J]. 网印工业, 2015(8): 24-27.
- [7] 于振. 基于模糊理论的超像素算法研究及应用 [D]. 山东: 山东大学, 2014.
YU Zhen. Research and application of super pixel method based on fuzzy theory [D]. Shandong: Shandong University, 2014.
- [8] 张德丰. MATLAB 数字图像处理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009, 36.

(责任编辑 王绪迪)