

响应面法优化白墨在镭射卡纸上的附着力性能

李小东¹, 邹洋², 张彦粉¹, 冯利军³

(1. 东莞职业技术学院, 东莞 523808; 2. 比勒(上海)自动化技术有限公司, 上海 201102;
3. 西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 为了优化 UV 白墨在烟包用镭射卡纸上的附着力, 运用响应面实验设计方法对印刷工艺进行优化。**方法** 以在曼罗兰印刷机上生产红双喜烟标为例, 以 UV 灯功率、印刷车速为自变量, 以白墨在镭射卡纸上的附着力为因变量, 利用 Design Expert 软件, 设计响应面图表, 对 2 个自变量进行多次拟合, 建立相应的三维曲面, 得到最优的数学模型, 最后得到最优的印刷工艺, 并加以实验验证。**结果** 当 UV 灯功率密度为 120 W/cm, 印刷机的印刷速度为 8580 张/h, 能够使得白墨在镭射卡纸上有最优的附着力。**结论** 把响应面实验设计方法来优化烟包印刷工艺, 在减少实验次数的同时, 对白墨在镭射卡纸上的附着力具有较好的预测效果。

关键词: UV 白墨; 镭射卡纸; 印刷工艺; 响应面实验方法

中图分类号: TS802 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0171-05

Optimization of Adhesion Performance of White Ink on Laser Paper in Response Surface Method

LI Xiao-dong¹, ZOU Yang², ZHANG Yan-fen¹, FENG Li-jun³

(1. Dongguan Polytechnic, Dongguan 523808, China; 2. BST International (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201102, China;
3. Southeast Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the adhesion of white UV ink on laser paper with regard to cigarette package and optimize the printing process with the experimental design method for response surface. By taking Double Happiness cigarette label produced with Manroland printing machine as an example, and with the power of UV lamp and the speed of printing machine as the independent variables, and the adhesion of white ink on the laser paper as the dependent variable, the Design Expert software was used to design response surface chart. Multiplex fitting of the two independent variables was conducted to establish the corresponding 3D curve surface and obtain the optimal mathematical model, so as to finally obtain the optimal printing process and have such process verified through experiment. When the power of UV lamp was 120 w/cm, the speed of printing machine was 8,580 sheets/h, the optimal adhesion of white ink on laser paper could be obtained. The experimental design method for response surface used to optimize the printing process of cigarette packages can properly predict the adhesion of white ink on the laser paper at the time of reducing the number of experiments.

KEY WORDS: UV white ink; laser paper; printing process; response surface experimental method

收稿日期: 2016-09-14

基金项目: 2014 年东莞市社会发展项目 (2014106101036); 2015 年广东省质量工程项目 (GDJG2015001, GDJG2015005)

作者简介: 李小东 (1969—), 男, 湖南邵阳人, 硕士, 东莞职业技术学院副教授, 主要研究方向为印刷设备及工艺。

当前,市面上可以看到各式各样图案精美的香烟,卷烟厂为了突出防伪功能和呈现不同效果的图案,指定不同种类的镭射卡纸作为香烟包装用纸^[1]。卷烟厂多会在香烟包装上印刷条形码,确保香烟的唯一性、规范性和通用性,所以烟包印刷企业把条码检测作为重要的质量检测项目^[2]。烟包印刷企业为了呈现精美的图案和提高条码的可读性,在印刷工艺上都会采用先印刷白墨打底,然后在白墨基础上印刷其他颜色。因为白墨多作为印刷第1色和第2色,因此白墨在镭射卡纸上的附着力强弱直接影响印刷品的合格率。例如某印刷厂在生产广东红双喜条型烟盒时,条码等级不合格。停机数小时后,利用条码扫描仪检测时发现条码等级全部小于3级,达不到客户要求的3级以上,同时纸张之间会存在不同程度的粘连。经进一步用显微镜观察后发现,在合格的和不合格的条形码区域均有黑点(印刷条形码的点)、白点(印刷白墨的点)的光点(镭射卡纸的反射光点,未经印刷区),所不同的是不合格条形码区域的光点要比合格区域的光点大且多。换言之,不合格的条形码区域白墨在镭射卡纸上的附着力低,白墨打底不实,导致无法完全遮盖住镭射卡纸的光泽,最终致使条形码不合格。因此研究白墨在镭射卡纸上的附着力对实际生产有指导意义^[3-6]。

根据实际生产经验,在油墨品牌不变的情况下,导致此故障的原因多为UV灯功率密度和印刷机的印刷速度2个因素^[7]。由此,文中以某烟包印刷企业案例为基础,利用Design Expert软件^[8],采用响应面实验设计方法,以UV灯功率密度、印刷速度作为考察指标,以白墨在镭射卡纸上的附着力性能作为结果,得到最优的印刷工艺。同时,响应面实验设计方法可以推广到其他印刷工艺的优化上,在对印刷故障的处理上有一定的指导意义^[9-12]。

1 实验

1.1 实验机台与印刷产品

采用曼罗兰六色印刷机(带UV干燥功能)为印刷机台,以生产红双喜烟标为例,油墨采用杭华专色UV油墨,印刷色序^[13]为:专白—专白—专红—专黄—专棕—条码专棕—哑油,印刷样张见图1。



图1 红双喜烟标印刷样张

Fig.1 Sample of Double Happiness cigarette printing paper

1.2 实际印刷生产中的常见问题

红双喜烟包印刷样张(见图1)最常见的问题为条形码不识别、读码等级低等。广东卷烟厂最低要求条码等级为3级,即条码与底色对比度在55%以上。由于白墨在镭射卡纸上附着力不够,因而可能会导致白墨印刷不实,无法完全遮盖镭射卡纸的光泽。镭射卡纸的反射光直接影响条形码的检测,导致条形码无法识别、读码等级低;导致白墨局部脱落,露出镭射卡纸底膜,造成条形码检测等级不合格。

1.3 实验测试方法

按照印刷色序:专白—专白—专红—专黄—专棕—条码专棕—哑油,分别在不同UV灯功率、不同车速下正常生产100张,然后随机抽取10张。按照GB/T 9286—1998《色漆和清漆—漆膜的划格实验》^[14],根据样板底材及漆膜厚度用不同间距的划格刀具对漆膜进行格阵区域图形的切割。用3M胶带对划格部分进行剥离,按漆膜从划格区域底材上脱落的面积来确定漆膜的附着力程度^[15],重复10次实验,取其平均值。

1.4 响应面实验设计

结合实际印刷生产经验,选取影响附着力指标较大的2个因素即UV灯功率密度 x_1 、印刷机的印刷速度 x_2 作为考察因素,通过1.3节实验测试方法,以条形码区域白墨在镭射卡纸上的附着力性能作为因变量 y ,进行响应面实验设计。根据实际印刷生产经验,可以把UV灯功率密度确定在80~140 W/cm之间,印刷机的速度确定在8000~10000张/h之间,UV灯功率密度 x_1 、印刷机的印刷速度 x_2 的取值见表1。

表 1 2 个考察因素的取值
Tab.1 Value of two investigation factors

考察因素	下限值	上限值	平均值	标准差 Δ
UV灯功率密度 $x_1/(\text{W}\cdot\text{cm}^{-1})$	80	140	110	30
印刷速度 $x_2/(\text{张}\cdot\text{h}^{-1})$	8000	10 000	9000	1000

根据 Design—Expert 软件设计实验, 共需进行 13 组实验, 其中 4 组是重复的。每组实验在不同的 UV 灯功率密度和印刷速度下正常生产 100 张, 随机抽取 10 张后按照 GB/T 9286—1998《色漆和清漆-漆膜的划格实验》的测试方法进行附着力等级评分, 10 次实验取其平均值, 制得表 2。测试结果表明, 当 UV 灯功率密度为 120 W/cm, 印刷速度为 8580 张/h 时, 白墨在镭射卡纸上的附着力最好, 条形码区域可读性强, 读码等级达到了 4 级。

表 2 性能测试结果
Tab.2 Experiment results

实验号	考察因素		附着力等级
	UV灯功率密度 $x_1/(\text{W}\cdot\text{cm}^{-1})$	印刷速度 $x_2/(\text{张}\cdot\text{h}^{-1})$	
1	110	9000	9
2	110	9000	9
3	80	8000	5
4	80	10 000	4
5	70	9000	4
6	110	7600	9
7	110	10400	7
8	110	9000	9
9	140	10 000	7
10	110	9000	9
11	140	8000	8
12	110	9000	9
13	150	9000	8

注: 根据 1.4 节方法, 附着力的评判等级可以分为 1~10 级, 1 级为最差, 10 级为最优。

2 结果与分析

2.1 数学建模

利用 Design-Expert 软件, 以 UV 灯功率密度 x_1 、印刷速度 x_2 作为自变量, 以条码区域的白墨在镭射卡纸上的附着力作为变量 y , 得到方差分析表

(见表 3), 从而得到二项式方程。

表 3 方差分析
Tab.3 Analysis of variance

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	43.95	5	8.79	47.91	<0.0001	显著
UV灯功率密度A	17.00	1	17.00	92.66	<0.0001	显著
印刷机车速B	2.91	1	2.91	15.86	0.0053	显著
AB	0.000	1	0.000	0.000	1.000	
A ²	22.00	1	22.00	119.93	<0.001	
B ²	3.47	1	3.47	18.93	0.0034	
残差	1.28	7	0.18			
失拟项	1.28	3	0.43			
纯误差	0	4	0			
总计	45.23	12				

方差分析中, 如果模型项的 $p \leq 0.05$, 说明 y 与 x 回归方程的关系是显著的。在方差表中可以得到, UV 功率密度 x_1 一项中, $p < 0.0001$, 即表示 UV 灯功率密度 x_1 对白墨在镭射卡纸上的附着力 y 有显著影响, 印刷速度 x_2 一项中, p 值为 $0.0053 < 0.05$, 即表示印刷速度 x_2 对白墨在镭射卡纸上的附着力 y 的影响显著。根据表 2 测试结果及表 3 方差分析表, 利用 Design-Expert 软件, 得到基于 UV 灯功率密度 x_1 、印刷速度 x_2 2 个自变量, 以条码区域的白墨在镭射卡纸上的附着力作为变量 y , 采用逐步回归的方法, 得到二次多项式回归方程。

二项式拟合的基本公式为 (回归方程 1):

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 \quad (1)$$

该数学模型的响应面方程为 (回归方程 2):

$$y = 9.02 + 1.5x_1 - 0.61x_2 - 1.93x_1^2 - 0.71x_2^2 \quad (2)$$

以此响应面为基础, 利用 Design-Expert 软件, 用响应面来反映最佳区域, 从而得到最佳的 UV 灯功率密度和印刷速度数据, 预测最优的附着力, 预测最优的印刷工艺。

2.2 优化工艺

通过 Design-Expert 软件, 以条码区域的白墨在镭射卡纸上的附着力作为因变量 y , UV 灯功率密度 x_1 、印刷速度 x_2 2 个自变量, 绘制二维等高图 (见图 2a) 和三维效应面 (见图 2b)。从三维效应面和二维等高图中, 选取附着力性能理想的区域。

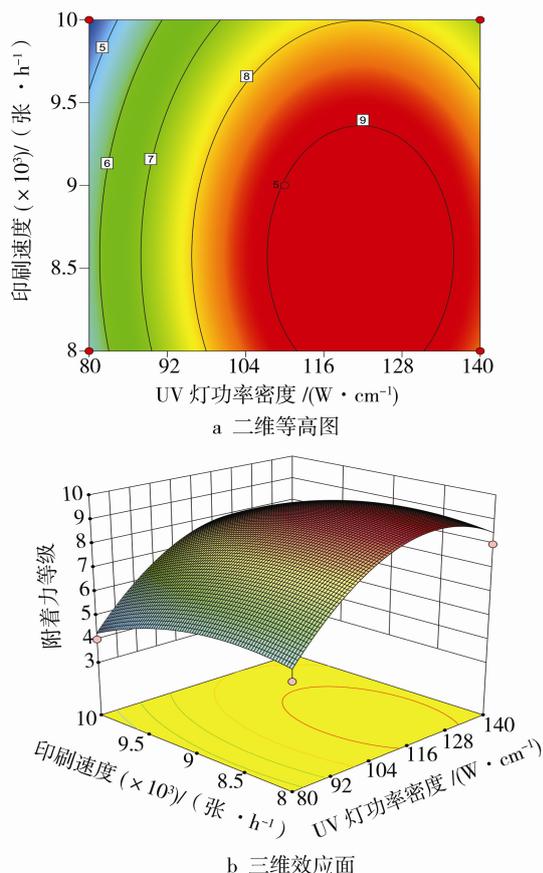


图2 UV灯功率密度和印刷速度对附着力的影响
Fig.2 Effect about the power of UV lamp and the speed of machine to adhesion

2.3 预测结果及其评价

数学模型、响应面方程是否会对实际生产有指导意义,可以通过验证方法来评判,即通过数学模型算出最优的印刷条件,预测最优的附着力性能。在此印刷条件下,正常生产红双喜烟标,在实际生产的样张上进行附着力测试,与数学模型的预测值进行对比。如果偏差小,则说明响应面方程对实际生产有指导意义。

当自变量 x_1 为 120, x_2 为 8580 时,预测值为 9.44,实际值为 9,两者之间的偏差为 4.6%,小于 10%,说明响应面方程在白墨在镭射卡纸上的附着力性能优化上是可行的。在 UV 灯功率密度为 120 W/cm,印刷速度为 8580 张/h 情况下,样张条码区域的条形码可读性增强,反射率曲线比较均匀。

3 结语

为了实现白墨在镭射卡纸上有最优的附着力性能,结合实际生产经验,以 UV 灯功率密度和印

刷速度为考察变量,以白墨在镭射卡纸上的附着力作为评价指标,以曼罗兰六色印刷机(带 UV 干燥功能)为印刷机台,生产红双喜烟标为例,利用 Design Expert 软件,采用方差分析、二维等高图和三维效应面方法进行实验数据采集与分析。实验数据分析结果表明,当 UV 灯功率密度为 120 W/cm,印刷机印刷速度为 8580 张/h 时,能够使得白墨在镭射卡纸上具有最优的附着力性能,附着力等级达到 9 级,同时条形码区域的条形码可读性好,读码等级高。

通过把响应面实验方法引到白墨在镭射卡纸上附着力性能的优化上,大大减少了实验次数,减少了损耗,节约了成本。响应面实验设计方法可以推广至其他印刷工艺的优化上,同时也对排除印刷故障有一定的指导意义。另外,通过应用,也证明了响应面实验设计方法具有有效性和直观快捷性。

参考文献:

- [1] 周乾. 浅谈金银卡镭射卡纸印刷工艺[J]. 印刷质量与标准化, 2015(3): 41—42.
ZHOU Qian. The Process about Printing on Laser Cigarette Paper[J]. Printing Quality & Standardization, 2015(3): 41—42.
- [2] 蔡荣弢. 提高烟包条码印刷质量的方法[J]. 纸品包装, 2015(12): 40—41.
CAI Rong-tao. The Way to Improve the Printing Quality of Barcode on Cigarette Paper[J]. Paper Packing, 2015(12): 40—41.
- [3] 官燕燕, 叶义成. 镭射卡纸条形码印刷质量问题研究[J]. 包装工程, 2014, 35(10): 135—139.
GUAN Yan-yan, YE Yi-cheng. The Research about Printing Quality of Barcode on Laser Cigarette Paper [J]. Packing Engineerin, 2014, 35(10): 135—139.
- [4] 魏宋杨. 条码检测仪在条码质量检测中的应用[J]. 中国测试, 2011(37): 38—40.
WEI Song-Yang. The Application of Barcode Detector on Testing about Quality of Barcode[J]. China Measurement & Test, 2011(37): 38—40.
- [5] 李永梅. 镭射镀铝卡纸之特性分析[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 76—78.
LI Yong-mei. The Analysis about Laser Metallized Paper[J]. Packing Engineering, 2008, 29(2): 76—78.
- [6] 关东宁. 浅析镭射卡纸的印刷适性[J]. 印刷杂志, 2010(10): 46—49.
GUAN Dong-Ling. The Printability Analysis about Laser Paperboard[J]. Printing Field, 2010(10): 46—49.
- [7] 王雀, 高海, 韩国栋, 等. ABS/PET 用紫外光固化涂料中单体对附着力的影响[J]. 上海涂料, 2013(11): 13—17.

- WANG Que, GAO Hai, HAN Guo-dong, et al. The Adhesion of Regins in UV Curable Coating on ABS/PET[J]. Shanghai Coating, 2013(11): 13—17.
- [8] 徐向宏, 何明珠. 实验设计与 Design-Expert, SPSS 应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 146—157.
- XU Xiang-hong, HE Ming-zhu. Experimental Design and Application of Design-Expert, SPSS[M]. Beijing: Science Press, 2010: 146—157.
- [9] 李帅, 孙慧. 响应面法优化酸浆果酒发酵工艺的研究[J]. 中国酿造, 2016(8): 124—128.
- LI Shuai, SUN Hui. Optimization of Fermentation Technology of Physalis Alkekengi Friut Wine by Response Surface Method[J]. China Brewing, 2016(8): 124—128.
- [10] 王小鹤, 于森, 鲁明, 等. 响应面法优化冷榨花生粕制备锅巴工艺研究[J]. 辽宁农业科学, 2016(4): 16—22.
- WANG Xiao-he, YU Miao, LU Ming, et al. Preparation of Cold Pressed Peanut Meal Rice Crust Using Response Surface Methodology[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2016(4): 16—22.
- [11] 杨舒, 李新华. 响应面法优化粟米糠油溶剂萃取工艺及理化性质分析[J]. 食品科学, 2014(24): 81—85.
- YANG Su, LI Xin-hua. Optimization of Extraction of Millet Bran Oil by Response Surface Design and Analysis of Physico-chemical Properties[J]. Food Science, 2014(24): 81—85.
- [12] BAS D, BOYACI I H. Modeling and Optimization I: Usability of Response Surface Methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 836—845.
- [13] 盖丽英, 成刚虎. 胶印色序安排及其影响因素[J]. 印刷技术, 2007(30): 50—52.
- GAI Li-ying, CHENG Gang-hu. Sequence of offset Printing and Influencing Factors[J]. Printing Technology, 2007(30): 50—52.
- [14] GB/T 9286—1998, 色漆和清漆 漆膜的划格实验[S]. GB/T 9286—1998, Paints and Varnishes-Cross Cut Test for Film[S].
- [15] 许君. 涂层附着力测试方法比较及影响因素探讨[J]. 现代涂料与涂装, 2012(10): 18—20.
- XU Jun. Coating Adhesion Test Method Comparison and Discussion of Influence Factors[J]. Modern Paint & Finishing, 2012(10): 18—20.