

交互正交设计在凹印水性油墨中的应用研究

汤德芳¹, 王辉¹, 王可², 黄芳芳¹, 杜芳琪¹

(1.浙江中烟工业有限责任公司, 杭州 310024; 2.浙江美浓世纪集团有限公司, 杭州 310000)

摘要: **目的** 研究交互正交设计在凹印水性油墨中的应用, 以快速获得印刷品中所用水性油墨的最佳搭配配方。**方法** 采用色差仪、目测等方法对9色凹印机印制的18种水性油墨印刷品进行外观质量评价, 通过设计交互正交试验, 并运用极差分析、方差分析等相结合的方法, 对18种水性油墨印刷品的外观质量进行分析。**结果** A2B1C1为最佳组合, 印刷品的平均分值为91; 通过分析银色色块得知, A2B1为最优组合, 此时银色色块平均分值为41; 分析红色色块得知, A1C2或A2C1组合较佳, 平均分值分别为47和46; 白墨与红墨, 白墨与银墨之间在一定程度上存在复杂的交互作用。**结论** 交互正交试验设计在凹印水性油墨配方中的运用是一种高效率、快速、经济的试验设计方法。

关键词: 正交试验; 凹印; 水性油墨

中图分类号: TS802.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)03-0108-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.015

Application of Interactive Orthogonal Design in Gravure Water-based Ink

TANG De-fang¹, WANG Hui¹, WANG Ke², HUANG Fang-fang¹, DU Fang-qi¹

(1.China Tobacco Zhejiang Industrial Co., Ltd., Hangzhou 310024, China;

2.Zhejiang Minong Century Group Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

ABSTRACT: The work aims to study the application of interactive orthogonal design in gravure printing water-based ink in order to obtain the best formulation of water-based ink in printing products quickly. The appearance quality of 18 water-based ink printing products printed by 9 color gravure press was evaluated by chromatic aberration instrument and visual inspection. Through orthogonal experimental design and the combination of range analysis and variance analysis, the appearance quality of 18 water-based ink prints were analyzed. A2B1C1 was the best combination, and the average value of printed matter was 91. The analysis of silver color block showed that the combination of A2B1 was the best. At this time, the silver color block was 41. By the analysis of red color block, the combination of A1C2 and A2C1 was better, the average value was 47 and 46, respectively. In the process of analysis, there was a complex interaction between white ink and red ink, white ink and silver ink. Interactive orthogonal experimental design applied to gravure water-based ink is an efficient, fast and economical experiment.

KEY WORDS: orthogonal test; gravure; water-based ink

随着人们环境保护意识的增强, 作为环保型的水性油墨越来越受到青睐, 成为近年来研究的热点和焦点^[1-4], 并取得了一定的成绩, 如解决了困扰已久的

耐光、耐候性以及色彩、光泽度等主要问题^[5-9]。虽然水性油墨已广泛应用于食品、药品、香烟及儿童玩具等简洁包装的凹印印刷品中, 但在中、高档包

收稿日期: 2018-07-03

作者简介: 汤德芳 (1979—), 女, 硕士, 浙江中烟工业有限责任公司高级工程师, 主要研究方向为烟用材料。

通信作者: 杜芳琪 (1979—), 女, 硕士, 浙江中烟工业有限责任公司高级工程师, 主要研究方向为烟用材料。

装印刷品中还不能广泛应用。中、高档凹印包装印刷品多采用非吸收材料，如绿色环保的真空喷铝纸，且印刷品表面多采用叠印工艺，其外观效果富丽精致。水性油墨应用于中、高档凹印包装印刷品时，容易出现糊版、附着牢度差、色泽饱和度低等各类质量缺陷^[10—13]，从而大大制约了水性油墨在中、高档凹印包装印刷品的应用。

目前，影响水性油墨承印效果的因素非常复杂，且不同颜色的配方也不同^[14—15]。若要印制出一款精致的印刷品，试验次数繁多，效率低下。为提高试验效率，快速找到最佳水性油墨配方，正交试验设计不失为一种较好的试验方法。正交试验设计从全面试验中挑选出部分有代表性的点进行试验，具备均匀分散、齐整可比的特点^[16—18]。文中拟采用交互正交试验设计在相同印刷工艺参数下对凹印水性油墨配方进行应用，以简洁快速地找出最佳的水性油墨配方，减少传统试验的烦琐，为全面应用凹印水性油墨提供一定的参考。

1 试验

1.1 材料与仪器

文中选取白墨、红墨、银墨等 3 种水性油墨，该 3 种油墨涵盖了凹印无机颜料油墨（白墨）、凹印有机颜料油墨（红墨）、凹印特种油墨（银墨）的范围，具有代表性，油墨来自国内具有实力的 3 家水性油墨厂家。此外，为排除其他干扰因素，纸张统一采用定量为 227 g/m² 的真空镀铝转移纸；印刷设备为松德 9 色凹印机，其工艺参数：印刷速度为 120 m/min，红墨、银墨、白墨的烘箱温度分别为 90，80，80 ℃，排风量为 100%等，设定保持不变；色差仪采用爱色丽 CI7800；观察样品采用 D65 光源。

1.2 试验方法

根据试验印刷品的特点，对其外观质量进行评价。其中，试验的印刷品主要由红色块与银色块组成，对红色块（红墨与白墨叠印的呈现效果）的实地表现度、色相等主要指标进行评价，对银色块（银墨与白墨叠印的呈现效果）的网点呈现度、色相等主要指标进行评价。红色实地、银色网点呈现度的检测方法参考 GB/T 7707《凹版装潢印刷品》中规定的外观检验方法^[19]；红色色相、银色色相的检测方法参考 YC/T 330《卷烟条与盒包装纸印刷品》中规定的同色色差检验方法^[20]， ΔE 表示色相表现度以色差值。为方便统计分析印刷品的外观质量，文中以计分形式进行了区分，见表 1。其中，每组试验样品检测 30 次，以平均值计算。

2 结果与讨论

2.1 交互正交试验设计表的制定

该试验以 3 种颜色油墨（白墨、银墨、红墨）作为影响印刷品外观质量的三因素，即以 A，B，C 分别表示白墨、银墨、红墨三因素；以 3 家油墨厂（厂家 1、厂家 2、厂家 3）的同系列水性油墨作为影响因素的三水平，即以 1，2，3 分别表示厂家三水平。该试验中印刷品的红色块色相和银色块色相是通过红墨叠印在白墨上、银墨叠印在白墨上而实现的。由此可见，油墨之间存在一定的交互作用，因此，考虑白墨与银墨（A×B）、白墨与红墨（A×C）的交互作用，制作如下交互正交试验，见表 2。

2.2 交互正交试验设计表的分析

2.2.1 整体外观质量分析

对表 2 进行数据整理汇总，算出各类总得分，

表 1 印刷品外观质量与分值
Tab.1 Appearance quality and value of printed matter

序号	红色实地表现度	银色网点呈现度	红色/银色色相表现度	分值
1	实地边缘光洁、墨色均匀	网点清晰均匀、完整	$\Delta E \leq 0.5$	30
2	实地墨色轻微纹状或边缘轻微拖尾	网点轻微变形或轻微缺失	$0.5 < \Delta E \leq 1.0$	25
3	实地边缘轻微拖尾和墨色轻微纹状	网点轻微变形和轻微缺失	$1.0 < \Delta E \leq 1.5$	20
4	实地边缘拖尾或墨色纹状	网点变形或网点缺失	$1.5 < \Delta E \leq 2.0$	15
5	实地边缘拖尾和墨色纹状	网点变形和网点缺失	$2.0 < \Delta E \leq 2.5$	10
6	实地边缘严重拖尾或墨色严重纹状	网点严重缺失或严重变形	$2.5 < \Delta E \leq 3.0$	5
7	实地边缘严重拖尾和墨色严重纹状	网点严重缺失和严重变形	$\Delta E > 3.0$	0

注：印刷品外观质量总分 120。红色块 60 分，包括红色实地表现度和色相表现度；银色块 60 分，包括银色网点呈现度和色相表现度

表 2 交互正交试验的样品平均分
Tab.2 Average score of samples in interactive orthogonal test

序号	白墨 (A)	银墨 (B)	红墨 (C)	白墨×银墨 (A×B)	白墨×红墨 (A×C)	银色色块 平均得分	红色色块 平均得分	平均 总得分
1 [#]	1	1	1	1	1	38	13	51
2 [#]	1	2	2	2	2	26	41	67
3 [#]	1	3	3	3	3	26	9	35
4 [#]	2	1	1	2	2	42	47	89
5 [#]	2	2	2	3	3	26	38	64
6 [#]	2	3	3	1	1	18	11	29
7 [#]	3	1	2	1	3	34	27	61
8 [#]	3	2	3	2	1	29	12	41
9 [#]	3	3	1	3	2	23	47	70
10 [#]	1	1	3	3	2	34	31	64
11 [#]	1	2	1	1	3	26	18	44
12 [#]	1	3	2	2	1	27	53	80
13 [#]	2	1	2	3	1	40	40	80
14 [#]	2	2	3	1	2	25	11	36
15 [#]	2	3	1	2	3	24	45	69
16 [#]	3	1	3	2	3	31	13	43
17 [#]	3	2	1	3	1	32	31	63
18 [#]	3	3	2	1	2	24	27	51

A1 为 341、A2 为 367、A3 为 329、B1 为 388、B2 为 315、B3 为 334、C1 为 386、C2 为 403、C3 为 248、(A×B) 1 为 272、(A×C) 1 为 344、(A×B) 2 为 389、(A×C) 2 为 377、(A×B) 3 为 376、(A×C) 3 为 316；此外，还得出极差值， $R(C)$ 为 155、 $R(A×B)$ 为 117、 $R(B)$ 为 73、 $R(A×C)$ 为 61、 $R(A)$ 为 38。依据试验样品的分值极差，可知序号为 4 的样品 (A2/B1/C1) 平均总分为最高；C (红墨) 因素对印刷品外观质量的影响最大，其次为 A×B (白墨与银墨交互作用)，再其次为 B (银墨)，A×C 和 A 影响较小。根据各类最佳条件得出，A2/B1/C2 (13 号样品) 的印刷品外观质量最优，与实际结果 (A2/B1/C1 (4 号样品) 的印刷品外观质量最优) 并不相符，这可能是由于平均总分将分块分数加在一起，模糊了分块分数，不能精细化体现分块实际情况，导致分析结果与实际结果不一致。此外，红色色块与银色色块在试验样品外观分布中属于独立分开部分，故需进一步分块精确的分析。

2.2.2 银色色块分析

根据表 2 中银色色块平均得分可算出各类和，进而得出极差值。极差值仅可得出影响顺序的大小，不能说明影响因子是否显著。为确定影响因子是否显

著，需借助 Minitab 软件与 Excel 软件相结合的方法进行方差分析，其中 A×C 与银色并无直接关系，在分析中将其删除。此外，为了说明方差分析的可靠性，将 C (红墨) 纳入数据分析中。同时，为选出最佳搭配，运用水平搭配的方法，见表 3—4。

由表 2 可知，序号 4 样品银色分值最高，此时银墨为 B1、白墨为 A2。由表 3 可知，银墨 $P < 0.05$ 、红墨 $P > 0.05$ ，说明银墨影响显著，红墨影响不显著，这与实际试验样品情况非常吻合，即银色色块外观质量与银墨有关，而与红墨无关，这一定程度上验证了方差分析的可靠性。由表 4 可知，B1 平均值最高，即 B1 为最优。综上所述，确定银墨为 B1，这与总分分析得出的结果一致，验证了其结果的可靠性。此时，由表 4 可知 A2 最优。

2.2.3 红色色块分析

以同理的方法，对红色色块进行了相应的方差分析并制作了水平搭配表，见表 5—6。

由表 2 可知，序号 12 样品红色平均分最高，此时红墨为 C2，白墨为 A1。由表 5 可知，红墨 $P < 0.05$ ，银墨 $P > 0.05$ ，说明红墨影响显著，银墨影响不显著，这也与实际试验样品情况非常吻合，即红色色块外观质量与红墨有关，而与银墨无关。由表 6 中看

表 3 银色色块分值方差分析
Tab.3 Variance analysis of silver color block

来源	自由度	平方和	均方	F值	P值
白墨	2	1.08	0.54	0.05	0.956
银墨	2	499.00	249.50	20.74	0.000
红墨	2	45.08	22.54	1.87	0.209
白墨×银墨	2	25.08	12.54	1.04	0.391
误差	9	108.25	12.03		
合计	17	678.50			

表 4 A×B 的水平搭配
Tab.4 Level collocation of A×B

因素	A1	A2	A3
B1	36	41	33
B2	26	25.5	30.5
B3	26.5	21	23.5

表 5 红色色块分值方差分析
Tab.5 Variance analysis of red color block

来源	自由度	平方和	均方	F值	P值
白墨	2	125.1	62.5	0.39	0.686
银墨	2	143.6	71.8	0.45	0.650
红墨	2	1839.3	919.6	5.79	0.024
白墨×红墨	2	271.6	135.8	0.85	0.457
误差	9	1430.5	158.9		
合计	17	3810.0			

表 6 A×C 的水平搭配
Tab.6 Level collocation of A×C

因素	A1	A2	A3
C1	15.5	46	39
C2	47	39	27
C3	20	11	12.5

出，A1C2 平均分值为 47，A2C1 平均分值为 46，非常接近，效果较佳。这 2 种组合分值较为接近，这可能与白墨和红墨之间存在复杂的交互作用有一定关联，因此，C2 与 C1 还需进一步验证确定。

综合上述分析可得出，银墨 B1 为最佳，红墨 C1 或 C2 为较佳。结合表 4 和表 6 水平搭配表的分析可得出，A2B1 组合分值最高，与红墨 C1 或 C2 可组成 A2B1C1 或 A2B1C2 较佳组合，A2B1C1 正是表 2 中的 4 号样品，A2B1C2 为 13 号样品，两者分值均较高，效果较佳；A1C2 组合分值与 A2C1 组合分值较为接近。A1C2 组合与前面确定的 B1 形成了 A1B1C2 新组合，未在表 2 中出现，需进行再次试验验证。A2C1 组合与前面确定的 B1 则形成了 A2B1C1 组合，

即 4 号样品。

2.3 再现试验

为获得印刷品外观质量最佳效果，需将前面分析得出的 A1B1C2 组合、A2B1C2 组合以及 A2B1C1 组合等 3 种水性油墨配方组合进行再现试验，以确定最佳的水性油墨配方组合，具体见表 7。

表 7 再现试验
Tab.7 Reappearance test

序号	组合	银色色块均值	红色色块均值	总分均值
1	A1B1C2 (新样品)	42	44	86
2	A2B1C2 (13号样品)	41	40	81
3	A2B1C1 (4号样品)	43	48	91

由表 7 可知，无论是银色色块均值、红色色块均值，还是总分均值，A2B1C1 组合的分值均最高，效果最优。这进一步体现了正交试验“虽然不一定是全

面试验的最好点,但往往也是相当好的点”的优势。同时,在试验样品总分分析过程中出现个别分析结果与实际试验样品结果不一致的情况,进一步说明了白墨与红墨、白墨与银墨之间在一定程度上存在复杂的交互作用。

3 结语

在凹印水性油墨中应用交互正交设计试验,这在一定程度上减少了凹印水性油墨试验的次数,这对解决水性油墨问题节约了时间与试验成本,为快速研发水性油墨的印刷品提供了有利的条件。同时,交互正交设计试验更强调了试验过程的分析能力,这对掌握水性油墨的特性提出了更高的要求,对真正快速应用于各种中、高档凹印包装印刷品的水性油墨研发具有现实意义。

参考文献:

- [1] 何丽. 水性油墨的现状以及发展分析[J]. 纸和造纸, 2017(9): 47—48.
HE Li. Present Situation and Development Analysis of Water-based Ink[J]. Paper and Paper Making, 2017(9): 47—48.
- [2] 高红丽, 刘昕. 绿色凹印水性油墨的研发[J]. 今日印刷, 2014(7): 54—55.
GAO Hong-li, LIU Xin. Research and Development of Green Gravure Ink[J]. Print Today, 2014(7): 54—55.
- [3] 陈春霞. 水性凹印技术开创绿色印刷科技新时代[J]. 科技创新导报, 2016(36): 86—87.
CHEN Chun-xia. Waterborne Gravure Printing Technology Created a New Era of Green Printing Technology[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2016(36): 86—87.
- [4] 崔庆斌. 论水性油墨在绿色软包装印刷中发展解析[J]. 上海包装, 2017(12): 66—68.
CUI Qing-bin. Development and Analysis of Water-based Ink in Green Soft Packaging Printing[J]. Packaging Shanghai, 2017(12): 66—68.
- [5] 邢洁芳, 张绪勇, 郝琪, 等. 凹印水性油墨在烟包印制中的应用研究[J]. 北京印刷学院学报, 2016, 24(2): 1—4.
XING Jie-fang, ZHANG Xu-yong, HAO Qi, et al. Research on the Applying of Water-based Ink in Gravure Printing of Cigarette[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2016, 24(2): 1—4.
- [6] 牛倩倩. 多功能水性油墨的研发[J]. 今日印刷, 2017(5): 33—35.
NIU Qian-qian. Research and Development of Multi-functional Water-based Ink[J]. Printing Today, 2017(5): 33—35.
- [7] 曹瑞春, 魏先福, 王琪, 等. 水性油墨分散技术研究进展[J]. 精细化工, 2017, 34(3): 241—249.
CAO Rui-chun, WEI Xian-fu, WANG Qi, et al. Research Progress on Dispersion Technique of Water-based Ink[J]. Fine Chemicals, 2017, 34(3): 241—249.
- [8] 盘茂森, 谢志昆, 葛雅丽, 等. 水性油墨连接料对 PVC 印刷耐光色牢度的影响[J]. 工程塑料应用, 2018, 8: 93—97.
PAN Mao-sen, XIE Zhi-kun, GE Ya-li, et al. Influences of Water-based Ink Binder on Printing Color Fastness to Light of PVC[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 8: 93—97.
- [9] 张复忠, 黄蓓青, 魏先福, 等. 水性凹印油墨光泽度的影响因素[J]. 北京印刷学院学报, 2014, 22(2): 17—19.
ZHANG Fu-zhong, HUANG Bei-qing, WEI Xian-fu, et al. The Study of Effect Factors on Glossiness of Water-based Gravure Ink[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2014, 22(2): 17—19.
- [10] 王敏莲. 水性油墨的现状以及发展研究[J]. 科技创新与应用, 2015, 9: 84—84.
WANG Min-lian. Research on Current Situation and Development of Water-based Ink[J]. Scientific and Technological Innovation and Application, 2015, 9: 84—84.
- [11] 戈楚. 水性油墨印刷质量影响因素分析[J]. 云南化工, 2018(3): 82—83.
GE Chu. Analysis of Influencing Factors on Printing Quality of Waterborne Ink[J]. Yunnan Chemical Technology, 2018(3): 82—83.
- [12] 吴怡斐. 水性油墨印刷质量影响因素研究[J]. 化工管理, 2016(1): 156—156.
WU Yi-fei. Study on Influencing Factors of Water-based Ink Printing Quality[J]. Chemical Management, 2016(1): 156—156.
- [13] 刘波. 烟包凹印水性油墨应用探讨[J]. 印刷技术, 2016(3): 22—24.
LIU Bo. Application of Waterborne Ink in Cigarette Pack Gravure Printing[J]. Printing Technology, 2016 (3): 22—24.
- [14] BAZRAFSHAN Z, ATAEEFARD M, NOURMOHAMMADIAN F. Modeling the Effect of Pigments and Processing Parameters in Polymeric Composite for Printing Ink Application Using the Response Surface

- Methodology[J]. Progress in Organic Coatings, 2015, 82(5): 68—73.
- [15] BOGATU C, PERNIU D, DUTA A. Challenges in Developing Photocatalytic Inks[J]. Powder Technology, 2016, 287(1): 82—95.
- [16] 刘文卿. 实验设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- LIU Wen-qing. Experimental Design[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [17] 宋卫生, 卢芳芳. 正交试验法优化矿泉水瓶瓶体凹槽结构的形状[J]. 包装工程, 2016, 37(19): 137—141.
- SONG Wei-sheng, LU Fang-fang. Optimization of the Shape of the Groove Structure on the Mineral Water Bottle with Orthogonal Test Method[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(19): 137—141.
- [18] 刘振学, 黄仁和, 田爱民. 实验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- LIU Zhen-xue, HUANG Ren-he, TIAN Ai-min. Experiment Design and Data Processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [19] GB/T 7707—2008, 中国标准书号[S].
- GB/T 7707—2008, CSBN[S].
- [20] YC/T 330—2014, 中国标准书号[S].
- YC/T 330—2014, CSBN[S].