

响应面分析法在油墨耐光色牢度测定中的应用

马亿珠¹, 兰付强¹, 钱芳方¹, 黄飞¹, 付丽丽²

(1.河南省产品质量监督检验院, 郑州 450047; 2.中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001)

摘要: **目的** 筛选出包装纸板在试验箱中开展耐光色牢度试验的5个影响因素值, 并验证方法的稳定性。**方法** 用配备了滤光器氙弧灯的试验箱模拟日光中紫外区域的光谱能量分布, 调整曝晒条件模拟包装纸板及制品日常使用环境, 通过响应面分析法对曝晒因素进行分析, 并采用色差计量化评定试样印刷油墨的色差值耐光色牢度。**结果** 优化的试验箱曝晒条件, 黑板温度为 $(65\pm 1.0)^{\circ}\text{C}$, 空气温度为 $(45\pm 1.0)^{\circ}\text{C}$, 空气相对湿度为 $(50.0\pm 2.0)\%$, 光辐照波长为340 nm, 光辐照度为 0.30 W/m^2 , 光辐照时间为42 h。通过色差计测定人工曝晒后样品印刷油墨色差 ΔE^*_{ab} 。**结论** 验证试验表明, 该方法测试结果具有可靠性及稳定性, 为进一步规范包装纸板及其制品产品质量监管提供分析测试技术支撑。

关键词: 印刷油墨; 耐光色牢度; 响应面分析法; 色差

中图分类号: TS80 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)07-0253-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.07.036

Application of Response Surface Analysis in the Test of the Light Fastness of Printing Inks

MA Yi-zhu¹, LAN Fu-qiang¹, QIAN Fang-fang¹, HUANG Fei¹, FU Li-li²

(1. Henan Province Product Quality Supervision and Inspection Center, Zhengzhou 450047, China;

2. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: The work aims to screen out five influencing factors of packaging paperboard's light-fastness test in the test chamber and verify the method stability. The test chamber equipped with a filter xenon arc light was used to simulate the spectral energy distribution in the ultraviolet region of the sunlight. The exposure conditions were adjusted to simulate the daily use environment of packaging paperboard and its products. The exposure factors were analyzed by response surface analysis, and the chromatic aberration light fastness of the printing ink of the sample was evaluated by color difference meter. The optimized exposure conditions of test chamber were $(65\pm 1.0)^{\circ}\text{C}$ blackboard temperature, $(45\pm 1.0)^{\circ}\text{C}$ air temperature, $(50.0\pm 2.0)\%$ air relative humidity, 340 nm light wavelength, 0.30 W/m^2 light irradiance and 42 h exposure time. The printing ink chromatic aberration ΔE^*_{ab} of artificially exposed samples was measured by the color difference meter. The validation test shows that the proposed method is reliable and stable, which provides analytical and testing technical support for further standardizing the quality supervision of packaging paperboard and its products.

KEY WORDS: printing ink; light fastness; response surface analysis; chromatic aberration

目前, 伴随电商、物流运输的快速发展, 包装纸箱以其优越的使用性能和良好的加工性能逐渐成为

运输包装和产品防护的主力军。该类产品自原料生产和废物处置的整个全生命周期对环境造成的不良影

收稿日期: 2019-08-21

作者简介: 马亿珠(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为包装纸制品及其他轻工产品性能表征及优化技术。

通信作者: 付丽丽(1986—), 女, 博士, 工程师, 主要研究方向为纸制品结构特征与其热物性构效关系。

响较小^[1-3],采用焚烧发电和回收再利用等方式处理废弃物品的可利用比例达到 70%^[4]。包装纸箱除了产品防护、便于仓储、运输之外,还起到宣传产品的作用,消费者对产品外包装及物流包装的要求也逐渐提高,其外表面油墨印刷标识信息对产品的标识、防护及其他相关说明具有重要的意义,在实际使用过程中,印刷油墨耐光色牢度是保证包装纸箱及纸板标识信息得以长期有效显示的关键。颜料、油墨所含物质的化学结构中聚集状态、结合状态、固色条件等因素对其耐老化性能有很大影响^[5-6];包装纸箱及纸板印刷油墨性能、纸板材质的着墨性能、印刷过程等多因素对成品油墨色差均造成一定影响^[7-9]。油墨中优良的功能单体可改善油墨稳定性、耐水性及耐磨性^[10],印刷过程中印刷密度、印刷图像文字质量、透印现象等因素对油墨吸收性有一定的作用^[11],此外,纸板的特性、颜料的着色力^[8,12]、吸收性、耐光性及耐热性等为成品油墨的耐老化性能有重要的影响因素。

目前,国内外并无包装纸箱及纸板印刷油墨防晒性能测定的相关检测方法及标准,为完善对纸板及制品包装印刷行业印刷油墨人工耐老化性能的技术及企业服务需求,文中选出较佳的人工曝晒条件,并对其印刷油墨人工耐老化性能进行量化评比。研究过程中,采用 Design Expert 8.0 数据处理软件设计各组试验条件,并采用响应面分析法确定优化的人工曝晒条件,在此基础上采用验证试验对该测试方法的稳定性和可操作性,并采用色差计对试样进行色差值 ΔE^*_{ab} ,便于为其印刷油墨耐光色牢度登记评定提供数据支持^[13-14]。

1 实验

1.1 设备

人工耐老化气候试验箱:由惰性材料构造,配备了温湿度控制及试样架的试验箱,且试验箱采用氙弧灯为光源,其辐照波长、光辐照度等人工曝晒条件均可独立调节。

色差采用符合 ISO 13655 的色差计^[15-16]进行

测定。

1.2 实验材料

测试样品:单瓦楞、双瓦楞、异型楞等各样品类别瓦楞纸板及瓦楞纸箱产品若干。

1.3 原理

采用配备了滤光器氙弧灯的试验箱模拟日光中紫外区域的光谱能量分布,通过设置黑板温度、试验箱温度及湿度、光辐照波长、光辐照度、光照时间长度等样品人工曝晒条件模拟包装纸板及制品日常使用环境条件,采用色差计量化评定试样印刷油墨的色差值耐光色牢度。

2 主要内容

2.1 曝晒条件筛选

在包装纸箱贮存和实际使用过程中,随着时间的增长及产品内外因素的综合作用,包装纸箱印刷油墨会出现失去光泽、褪色、开裂等现象,用包装纸箱防晒性能指标评价其实际使用过程中抗老化性能即可理解为耐光色牢度。包装纸箱所处环境的光照、温度、湿度等因素对其印刷油墨防晒性能有重要影响,为模拟实际使用过程中样品状态,不开启老化试验箱的喷淋装置,但仍需控制箱内空气湿度。选定黑板温度 A、空气湿度 B、空气温度 C、辐照度 D、辐照时间 E 等 5 个因素,考察不同因素条件下对测试结果可靠性及稳定性的影响。

为使得测试方法满足测试产品特性,选取典型样品作为筛选测试条件的试验对象。采用 Design Expert 8.0 数据处理软件,设定优化试验条件,设定 46 组筛选试验条件。辐照试验结束后,从试验箱中取出试样,对比试样辐照部位与未辐照遮盖部位颜色变化。目测试样辐照部位印刷油墨是否有褪色现象。若无褪色现象,试验结果为“印刷油墨无褪色现象”;若有褪色现象,则测定试样色差值 ΔE^*_{ab} 。在相应试验条件下各测定结果见表 2。

表 1 各影响因素选取条件
Tab.1 Values of various influencing factors

序号	黑板温度 A/°C	空气温度 B/°C	空气湿度 C/%	辐照度 D/(W·m ⁻²)	辐照时间 E/h
1	45	36	40	0.2	38
2	50	39	45	0.25	40
3	60	42	50	0.3	42
4	65	45	55	0.35	44
5	70	48	60	0.4	46

表 2 各影响因素条件下的测试结果
Tab.2 Test results under various influencing factors

序号	黑板温度 A/°C	空气温度 B/°C	空气湿度 C/%	辐照度 D/(W·m ⁻²)	辐照时间 E/h	色差 ΔE* _{ab} (CIEL*a*b*)
1	57.5	42	60	0.2	42	5.2
2	70.0	42	60	0.3	42	23.7
3	70.0	42	40	0.3	42	22.9
4	57.5	42	50	0.3	42	16.5
5	70.0	36	50	0.3	42	24.8
6	57.5	36	50	0.3	38	18.6
7	45.0	42	60	0.3	42	15.5
8	57.5	36	50	0.3	46	11.6
9	57.5	36	50	0.2	42	9.6
10	57.5	48	40	0.3	42	10.6
11	70.0	42	50	0.3	46	26.7
12	57.5	42	50	0.4	46	21.4
13	57.5	48	50	0.2	42	10.9
14	57.5	36	60	0.3	42	14.9
15	57.5	48	50	0.3	38	18.9
16	57.5	42	60	0.4	42	20.3
17	57.5	42	40	0.3	38	16.9
18	57.5	36	40	0.3	42	18.1
19	45.0	42	40	0.3	42	14.9
20	45.0	36	50	0.3	42	15.1
21	57.5	42	50	0.2	46	6.3
22	45.0	42	50	0.2	42	2.3
23	57.5	36	50	0.4	42	22.3
24	70.0	42	50	0.2	42	20.9
25	57.5	42	50	0.4	38	20.9
26	57.5	42	60	0.3	38	19.9
27	70.0	42	50	0.3	38	21.8
28	45.0	42	50	0.3	38	15.4
29	57.5	42	40	0.4	42	23.2
30	57.5	42	50	0.2	38	5.7
31	57.5	42	50	0.3	42	19.3
32	57.5	42	40	0.2	42	7.6
33	57.5	42	50	0.3	42	19.8
34	57.5	48	50	0.3	46	21.2
35	45.0	48	50	0.3	42	16.3
36	70.0	42	50	0.4	42	24.7
37	57.5	48	50	0.4	42	20.8
38	70.0	48	50	0.3	42	22.9
39	57.5	42	40	0.3	46	20.4
40	57.5	42	50	0.3	42	19.1
41	45.0	42	50	0.3	46	15.1
42	57.5	42	50	0.3	42	20.2
43	45.0	42	50	0.4	42	19.2
44	57.5	42	60	0.3	46	20.4
45	57.5	42	50	0.3	42	18.9
46	57.5	48	60	0.3	42	19.1

采用 Design Expert 响应面分析法对测试结果进行综合分析,得到因素筛选试验的三维响应曲面,见图 1。

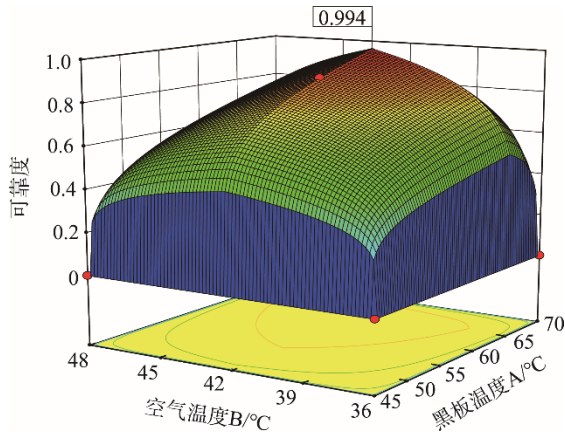


图 1 因素筛选试验三维响应曲面

Fig.1 3D response surface on the basis of test values

通过筛选试验,可以得到空气湿度、辐照度、辐照时间变量的选取对测试结果波动性影响较小,借助主要影响因素黑板温度、空气温度对测试结果的三维响应曲面图,确定优化的测试条件为:黑板温度 $(65\pm 1.0)^{\circ}\text{C}$,空气温度 $(45\pm 1.0)^{\circ}\text{C}$,空气湿度 $(50.0\pm 2.0)\%$,光谱辐照波长 340 nm,辐照度为 0.30 W/m^2 ,辐照时间为 42 h。

2.2 验证实验

选取不同型号包装纸箱样品开展印刷油墨防晒性能的测试,涉及单瓦楞包装纸箱、双瓦楞包装纸箱

及异型楞包装纸箱等 3 种类别样品,每种类别分别选取 3 批次样品,样品来源涉及市场及生产厂家,依次对样品进行编号,按照文中规定的试验条件进行包装纸箱印刷油墨防晒性能的测定。检测结果见表 3。

表 3 不同类型样品测试结果

Tab.3 Test results of different types of samples

样品类别	样品编号	检测结果	
		外观比对	色差 ΔE^*_{ab} (CIEL*a*b*)
单瓦楞	S-1	无褪色现象	/
单瓦楞	S-2	有褪色现象	17.20
单瓦楞	S-3	无褪色现象	/
双瓦楞	D-1	有褪色现象	8.19
双瓦楞	D-2	有褪色现象	38.45
双瓦楞	D-3	有褪色现象	6.98
双瓦楞	D-4	有褪色现象	21.89
异型楞	H-1	无褪色现象	/
异型楞	H-2	有褪色现象	10.11
异型楞	H-3	无褪色现象	/

注:检测结果中“/”表示人员比对结果为“无褪色现象”,无需进行色差测试

为进一步考察该测试方法的科学性、可操作性,选取多组样品进行人员比对试验。验证样品均来源于市场,涉及 20 种品牌不同类型包装纸箱,可代表目前该行业产品水平,不同产品类型包装纸箱的印刷油墨防晒性能对比结果见表 4。

表 4 验证试验

Tab.4 Validation test

样品编号	样品类别	样品型号	A 组测试结果		B 组检测结果	
			外观比对	色差 ΔE^*_{ab} (CIEL*a*b*)	外观比对	色差 ΔE^*_{ab} (CIEL*a*b*)
1	瓦楞纸箱	BS-1.1	有褪色现象	19.20	有褪色现象	19.05
2		BS-1.2	有褪色现象	15.49	无褪色现象	15.61
3		BS-2.2	无褪色现象	/	无褪色现象	/
4		BS-2.3	无褪色现象	/	无褪色现象	/
5		BS-2.4	有褪色现象	5.38	有褪色现象	5.23
6		BD-1.2	有褪色现象	10.58	有褪色现象	10.50
7		BD-1.3	有褪色现象	9.58	有褪色现象	9.63
8		BD-1.4	有褪色现象	13.23	有褪色现象	13.30
9		BD-2.2	无褪色现象	/	无褪色现象	/
10		BD-2.3	有褪色现象	17.05	有褪色现象	17.13
11		BD-2.4	有褪色现象	15.39	有褪色现象	15.41
12		BD-2.4	无褪色现象	/	无褪色现象	/
13		BD-2.5	无褪色现象	/	无褪色现象	/
14		BD-2.5	有褪色现象	7.65	有褪色现象	7.70
15	瓦楞纸板	S-1.1	有褪色现象	16.35	有褪色现象	16.32
16		S-2.3	有褪色现象	21.34	有褪色现象	21.46
17		D-2.3	无褪色现象	/	无褪色现象	/
18		D-2.5	无褪色现象	/	无褪色现象	/
19		T-1.2	有褪色现象	/	有褪色现象	/
20		T-2.3	无褪色现象	/	无褪色现象	/

注:检测结果中“/”表示人员比对结果为“无褪色现象”,无需进行色差测试

2.3 结果分析

验证试验结果表明,该测试条件的选取具有一定的科学性,在该条件下测试结果具有适用性、科学性、可操作性。

3 结语

文中规定了包装纸板及纸箱制品印刷油墨耐老化性能测试仪器、环境条件,并借助 Design Expert 8.0 数据处理软件筛选出优化的人工曝晒条件:黑板温度为 $(65\pm 1.0)^{\circ}\text{C}$,空气温度为 $(45\pm 1.0)^{\circ}\text{C}$,空气湿度为 $(50.0\pm 2.0)\%$,光谱辐照波长为 340 nm,辐照度为 0.30 W/m^2 ,辐照时间为 42 h。

文中采用色差计评定经人工曝晒处理试样印刷油墨的色差值,为其印刷油墨耐老化性能提供量化评价,该评价方法测试过程稳定、可靠,具有良好的可操作性。

文中为包装纸板、包装纸箱印刷油墨耐老化性能提供了评价依据,为该指标测试方法标准的建立奠定基础,同时对该行业产品质量提升及使用性能优化具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 陈璧辉,吴旭英,周飞敏.产品包装绿色性评价方法 LCA 剖析[J].包装工程,2008,29(3):176—180.
CHEN Bi-hui, WU Xu-ying, ZHOU Fei-min. LCA Analysis of Product Green Packaging[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 176—180.
- [2] SUH S W. An Inventory Estimation Tool for Missing Flows Using Input-output Techniques[R]. USA: CML, Leiden University, 2004: 9—11.
- [3] 刘继永,杨前进,韩新民.瓦楞纸箱全生命周期环境影响评价研究[J].环境科学研究,2008,21(6):105—109.
LIU Ji-yong, YANG Qian-jin, HAN Xin-min. Life Cycle Assessment of Environmental Impact of Corrugated Boxes[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 105—109.
- [4] 魏风军.瓦楞纸箱柔印预印的发展、印刷特点及其工艺策划[J].中国包装,2014,34(1):44—48.
WEI Feng-jun. Development of Flexo Printing of Corrugated Carton, and its Printing Characteristics and Process Planning[J]. China Packaging, 2014, 34(1): 44—48.
- [5] 黄琳.色牢度测试标准比较及常见色牢度问题分析[J].印染,2010,36(7):36—40.
HUANG Lin. Comparison Among Testing Standards for Color Fastness and Analysis of Common Fastness Problems[J]. Dyeing and Finishing, 2010, 36(7): 36—40.
- [6] 南静生.瓦楞纸箱印刷过程中的质量控制[J].中国包装,2011,31(8):39—41.
- NAN Jing-sheng. Quality Control in Corrugated Carton Printing Process[J]. China Packaging, 2011, 31(8): 39—41.
- [7] 潘家杰.楞纸箱印刷色差之研究[J].中国包装,2016,36(7):75—77.
PAN Jia-jie. Color Difference of Carton Printing[J]. China Packaging, 2016, 36(7): 75—77.
- [8] 严美芳.印刷材料与印刷适性[M].北京:化学工业,2007:183—184.
YAN Mei-fang. Printing Materials and Printing Suitability[M]. Beijing: Chemical Industry, 2007: 183—184.
- [9] 褚夫强,陈夫山,王庆,等.水性光固化柔性版油墨呈色性能的研究[J].包装工程,2007,28(7):25—27.
CHU Fu-qiang, CHEN Fu-shan, WANG Qing, et al. Study on the Color Performance of Water-based UV-curable Flexo Ink[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 25—27.
- [10] HADI B S, MOHAMMAD J, ZOHURIAAN M, et al. Effect of Functional Monomer GMA on the Physical Mechanical Properties of Coatings from Poly (BA-MMA) Latexes[J]. Journal of Material, 2011, 46(8): 2771—2777.
- [11] VON B M. Spreading Dynamics of Liquids and Surfactant Solutions on Partially Wetttable Hydrophobic Substrates[J]. Colloids and Surfaces, 2001, 193(1): 86—96.
- [12] 李广生,唐小双.浅谈影响瓦楞纸箱质量的若干因素[J].印刷杂志,2014(3):62—64.
LI Guang-sheng, TANG Xiao-shuang. Factors Affecting the Quality of Corrugated Carton[J]. Printing Field, 2014(3): 62—64.
- [13] 赵博研,赵玉珠.常见色牢度的检测方法与应用[J].天津纺织科技,2018(2):17—22.
ZHAO Bo-yan, ZHAO Yu-zhu. Common Test Methods of Color Fastness and Application[J]. Tianjin Textile Science & Technology, 2018(2): 17—22.
- [14] 骆志荣,马涛.装饰纸/纸板的染料光照变色机理及其耐光色牢度的测定方法[J].涂布纸与特种纸,2009,40(3):57—60.
LUO Zhi-rong, MA Tao. The Mechanism and Determination of Dye Stoff Colour Fading under Light Illumination and the Methods of Improvement its Light Resistance Firmness[J]. East China Pulp & Paper Industry, 2009, 40(3): 57—60.
- [15] GB/T 16422.1—2006, 塑料 实验室光源暴露试验方法 第1部分:总则[S].
GB/T 16422.1—2006, Plastics-Methods of the Exposure to Laboratory Light Sources-Part 1: General Guidance[S].
- [16] GB/T 16422.2—2014, 塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分:氙弧灯[S].
GB/T 16422.2—2014, Plastics-Methods of the Exposure to Laboratory Light Sources-Part 2: Xenon-arc Sources[S].