

# 拉丝镭射转移接装纸凹版印刷油墨配方的优化研究

杨明<sup>1</sup>, 卢卫东<sup>2</sup>, 阮伟<sup>2</sup>, 张杰<sup>1</sup>, 罗艳丽<sup>2</sup>, 柯贤文<sup>3</sup>, 刘维维<sup>1,3\*</sup>

(1.湖北中烟工业有限责任公司襄阳卷烟厂,湖北襄阳441002;  
2.襄阳市鸿琰实业有限责任公司,湖北襄阳441002; 3.武汉大学电子信息学院,湖北武汉430072)

**摘要:**为制备具有优异印刷适性的酯溶专色油墨,探究了稀释剂含量、酯溶金红含量和酯溶中黄含量对黄珠光专色油墨物理性能和印刷适性的影响。首先,通过单因素实验和响应面分析法对黄珠光专色凹印油墨的配方进行了系统优化,通过调整稀释剂、酯溶金红和酯溶中黄在接装纸凹印专色油墨中的配比,成功制备黄珠光专色凹印油墨;其次,对专色油墨的物理性能进行检测,并研究了不同配比的专色凹印油墨对印刷适性的影响;最后,采用凹版印刷的方式进行印刷效果研究。结果表明,稀释剂、酯溶金红和酯溶中黄含量均对油墨的印刷质量有一定的影响,当稀释剂、酯溶金红和酯溶中黄的质量比为18:0.55:1.95时,油墨的色差仅为1.29,制备的油墨具有优异的流变性能、流动度、印刷光泽度和印刷效果。

**关键词:**稀释剂;酯溶金红;酯溶中黄;专色油墨;流变学;凹版印刷

中图分类号:TS802.3

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2024)S1-0308-06

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.S1.056

## Optimization of ink formulation for gravure printing on wire drawing laser transfer paper

YANG Ming<sup>1</sup>, LU Wei-dong<sup>2</sup>, RUAN Wei<sup>2</sup>, ZHANG Jie<sup>1</sup>, LUO Yan-li<sup>2</sup>,  
KE Xian-wen<sup>3</sup>, LIU Wei-wei<sup>1,3\*</sup>

(1.Xiangyang Cigarette Factory, China Tobacco Hubei Industrial Corporation Limited, Xiangyang 441002, China;

2.Xiangyang Hongyan Industrial Co., Ltd., Xiangyang 441002, China;

3.Electronic Information School, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:**In order to prepare ester-soluble spot colour ink with excellent printability, the influences of diluent content, ester-soluble gold red content and ester-soluble middle yellow content on the physical properties and printability of yellow pearl spot colour ink are explored. Firstly, the formulation of yellow pearl spot colour gravure ink is systematically optimized through single factor experiment and response surface analysis. By adjusting the proportions of diluent, ester-soluble gold red and ester-soluble middle yellow in spot-colour gravure printing ink, a yellow pearl spot colour gravure printing ink is successfully prepared. Secondly, the physical properties of spot colour ink are tested, and the influences of different proportions on printability of spot colour gravure ink are studied. Finally, the printing effect is studied via gravure printing routine. Results show that the printing quality of ink is affected by the content of diluent, ester-soluble gold red and ester-soluble middle yellow each. The ink prepared has a colour difference of 1.29 only, and excellent rheological properties, fluidity, printing gloss and printing effect when the mass ratio of diluent, ester-soluble gold red and ester-soluble middle yellow is 18:0.55:1.95.

**Key words:** diluent; ester-soluble gold red; ester-soluble middle yellow; spot colour ink; rheology; gravure printing

镭射转移接装纸生产所用的油墨多为专色油墨<sup>[1]</sup>。专色油墨经满版实地印刷很容易呈现理想的大面积色块,因而被广泛应用于包装印刷领域。在专色油墨的调墨过程中,加入各种溶剂、添加剂和助剂通常会导致油墨性质的显著变化,如油墨的黏度、细度、流动性、附着牢度及耐抗性等印刷适性<sup>[2]</sup>。此外,各组分的含量也会影响印刷品的色相和印刷质量<sup>[3]</sup>。因此,选择合适的油墨配比是专色油墨制备的关键。

研究人员对油墨的各组分进行了大量研究,连

坤鹏等<sup>[4]</sup>考察了研磨工艺、研磨树脂、分散剂对高色浓度色浆的影响,研究了色浆细度对高清柔版水性油墨的影响,结果表明,制备的高清柔版水性油墨具有颜色饱满、鲜艳等特点。朱雁兵等<sup>[5]</sup>对水性油墨的成分和性能、水性油墨中颜料的分散性能、颜料分散性能对油墨印刷适性的影响等方面进行了分析和探讨,水性油墨中颜料的分散性能受到多种因素制约和影响,尤其是油墨的黏度和粒径对油墨质量有着很大影响。王洪霞<sup>[6]</sup>探讨了可食性油墨的流变学性质,利用 Matlab 等软件对流变学数据进行线

收稿日期:2024-02-28;修回日期:2024-06-19

作者简介:杨明(1973-),男,本科,工程师,主要研究方向为卷烟质量管理,13797729897, YANGMING@MARKET.HBTBACCO.CN;刘维维(2000-),女,硕士生,主要研究方向为印刷材料及其印刷适性,通讯联系人,17718146020, lww1614@163.com。

性拟合和非线性拟合,揭示了可食性油墨材料的微观性质(表面性能、结构化程度、弹性键、弹性强度),并与实际印刷建立相应的关系,预测可食性油墨的印刷性能,为油墨工艺设计制造及实际应用提供理论依据。黄灵阁等<sup>[7]</sup>通过对不同配比的金属油墨在不同纸张上的印刷适性的对比研究,试图找到适合实际生产使用的油墨配方。上述所有研究集中于油墨各组分的含量对油墨性能的影响上,而对具体的印刷质量的影响研究较少<sup>[8-12]</sup>,尤其是对专色油墨在镭射接装纸上印刷的相关研究更少。

基于此,本论文围绕黄珠光专色油墨中重要组分的含量对油墨性能的影响展开,以期获得高质量的印刷产品提供理论依据。

## 1 实验部分

### 1.1 实验材料及设备

#### 1.1.1 实验材料

黄色珠光粉、酯溶稀释剂、冲淡剂、酯溶油墨,江苏唐彩油墨科技股份有限公司;拉丝镭射转移接装原纸,武汉银采天纸业股份有限公司。

#### 1.1.2 实验设备

本研究所用实验设备见表1。

表1 实验设备

仪器	型号	厂家
多头磁力搅拌器	HJ-4	常州苏瑞仪器有限公司
电子天平	JCS-Z1	珠恒电子有限公司
光泽度仪	KGZ-1B	济南兰光机电技术有限公司
凹版印刷打样机	ZY-JBDY01	东莞市中谊精密仪器有限公司
流变仪	KINEXUSpro+	德国耐驰仪器制造有限公司
数字式黏度计	NDJ-8S	上海精天电子仪器有限公司
积分球分光光度计	X-rite Ci64	爱色丽色彩科技有限公司
密度计	X-rite eXact	爱色丽色彩科技有限公司
流动性测定仪	—	自制
刮板细度计	QXD	河北广惠试验仪器有限公司

### 1.2 黄珠光专色油墨的配制

#### 1.2.1 样品制备流程

专色油墨配制流程如图1所示,实验温度为 $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ ,湿度为 $(65\pm 5)\% \text{RH}$ 。

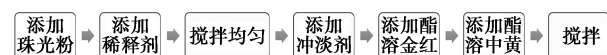


图1 专色油墨配制流程

#### 1.2.2 单因素实验

按照1.2.1的配制流程(图1)制备镭射转移接

装纸凹版印刷专色油墨,以色差为依据,确定专色油墨的最优配方,其他指标用来分析油墨印刷适性。根据预试验,确定珠光粉含量为5 g,冲淡剂含量为7.5 g,考察稀释剂含量(5 g、10 g、15 g、20 g和25 g)、酯溶金红含量(0.3 g、0.4 g、0.5 g、0.6 g和0.7 g)、酯溶中黄添加量(1.6 g、1.8 g、2 g、2.2 g和2.4 g)对专色油墨色差的影响。

#### 1.2.3 响应面优化实验

根据单因素的试验结果,利用 Design-Expert 8.0.6 软件的 Box-Behnken 试验设计与分析进行三因素三水平响应面试验,选取色差( $\Delta E_{2000}$ )为响应( $Y$ ),自变量分别为因素稀释剂含量( $A$ )、酯溶金红含量( $B$ )、酯溶中黄含量( $C$ ),优化专色油墨的最优配方。试验水平编码值见表2。

表2 油墨配方优化水平编码值

因素	编号	编码水平		
		-1	0	1
稀释剂质量/g	A	5	15	25
酯溶金红质量/g	B	0.3	0.5	0.7
酯溶中黄质量/g	C	1.6	2.0	2.4

以色差为主要指标进行评价。

### 1.3 黄珠光专色油墨的性能测试

#### 1.3.1 凹版印刷工艺流程

印刷参数设置为:印刷速度 80 m/min,印刷压力 0.6 mPa,刮刀压力 0.2 mPa,印刷圈数 1.5 圈。

#### 1.3.2 色差

利用 X-rite Ci64 积分球分光光度计对印品进行色差测定,色差公式如式(1)所示:

$$\Delta E_{2000} = \sqrt{\frac{[\Delta L'/(k_L S_L)]^2 + [\Delta C'/(k_C S_C)]^2 + [\Delta H'/(k_H S_H)]^2}{R_T [\Delta C'/(k_C S_C)] [\Delta H'/(k_H S_H)]}} \quad (1)$$

其中: $\Delta E_{2000}$ 代表颜色差, $\Delta L$ 是亮度(明度)的差异, $\Delta C$ 是色度的差异, $\Delta H$ 是色调的差异; $S_L$ 、 $S_C$ 、 $S_H$ 是适应性因子,它们用于调整在不同亮度、色度和色调条件下的感知权重; $k_L$ 、 $k_C$ 、 $k_H$ 是调整因子,它们用于调整在不同亮度、色度和色调条件下的影响程度; $R_T$ 是颜色的度量标尺,是一个总体的度量,用于考虑整体的颜色差异。

#### 1.3.3 细度

根据 GB/T 13217.3—2008《液体油墨细度检验方法》测试油墨的细度,采用 QXD 型刮板细度仪进行测定,以  $\mu\text{m}$  表示,直到连续 2 次测定数值相对平

均值的偏差不大于 3%，结果取 2 次测定值的平均数。

### 1.3.4 流动度

根据 GB 14624.3—2008《胶印油墨流动度检验方法》测试油墨的流动度，油墨试样及流动度测定仪应事先置于恒温室内保温 20 min，用调墨刀取油墨试样 2~3 g，在玻璃板上调动 15 次（往返为 1 次），用吸墨管吸取试样 0.1 mL，将管口及周围余墨刮去，使试样与管口齐平，管内油墨不得含有气泡。将吸墨管内油墨挤出，用调墨刀把墨刮置于金属固定盘内的圆玻璃片中心，并将吸墨管芯的余墨刮掉，抹于上圆玻璃片中心。将上圆玻璃片放在金属固定盘内的圆玻璃上，使中间有墨部分重叠，立即压上砝码，开始计时（注意金属固定盘保持水平）。15 min 时移去砝码，用透明度量尺测量油墨圆柱体直径，交叉测量 2 次。

### 1.3.5 黏度

根据 GB/T 9751—2008《色漆和清漆用旋转黏度计测定黏度》测试油墨的黏度，在 NDJ-8S 数字式黏度计上进行测试，设定温度（25.0±0.5）℃。

### 1.3.6 流变特性

使用 KINEXUSpro+流变仪探究样品的流变性，采用 PU-40 平板（直径 40 mm），工作间隙设置为 0.2 mm，置物台温度保持在 25℃，测定油墨的黏度、三阶段触变性。

### 1.3.7 印刷光泽度

根据 GB/T 8941《纸和纸板镜面光泽度的测定（20° 45° 75°）》测试印品的印刷光泽度，使用 KGZ-1B 型便携式光泽度仪测试，选择测量角度：45°，经过黑板调零白板校准后进行测试，一个试样上测量 4~6 个不同的点，测试几个样品后应重新校准仪器，实验结果以 10 张试样测试值的算术平均值表示，结果修约至小数点后两位。

### 1.3.8 印刷感官评分

适量样品在凹版印刷打样机上进行凹版印刷，对印刷效果进行感官品质评定，挑选 5 人为评定小组对成品进行评分，取平均值为最终感官评定得分。

### 1.3.9 数据分析与处理

采用 Microsoft Excel 进行数据整理；采用 Design-Expert 8.0.6 进行响应面结果分析；采用 Origin 2021、SPSS2022 进行图片绘制、数据拟合和误差分析；使用 Matlab 进行色差计算；所有样品平行实验 3 次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单因素试验结果与分析

#### 2.1.1 稀释剂含量变化对印品色相的影响

从表 3 中的结果可知，随着稀释剂含量的增加， $L^*$  呈上升趋势， $\Delta E_{2000}$  指标呈先下降后上升趋势，稀释剂含量为 57.1% 时  $\Delta E_{2000}$  最小，但与 50% 时  $L^*$  相差较小。因此，选择稀释剂含量为 25%~62.5% 进行响应面试验。

表 3 不同含量稀释剂各指标测定结果

编号	稀释剂含量/(wt%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{2000}$
X-1	25.0	61.51	13.91	54.74	2.09
X-2	40.0	61.65	12.76	51.90	1.89
X-3	50.0	63.88	14.44	57.41	1.38
X-4	57.1	64.00	11.42	49.12	1.31
X-5	62.5	64.84	9.02	44.56	3.25

#### 2.1.2 酯溶金红含量变化对印品色相的影响

从表 4 中的结果可知，随着酯溶金红含量的增加， $a^*$  呈上升趋势， $\Delta E_{2000}$  指标呈先下降后上升的趋势，含量为 2% 时  $\Delta E_{2000}$  最小，但与酯溶金红含量为 1.6%、2.4% 时  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值均相差较小。因此，选择酯溶金红含量为 1.2%~2.8% 进行响应面试验。

表 4 不同含量酯溶金红各指标测定结果

编号	酯溶金红含量/(wt%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{2000}$
J-1	1.2	61.97	9.48	52.74	2.95
J-2	1.6	64.34	12.38	57.71	1.89
J-3	2.0	63.13	14.68	51.90	1.29
J-4	2.4	62.58	16.34	54.23	2.18
J-5	2.8	62.71	17.69	54.15	2.92

#### 2.1.3 酯溶中黄含量变化对印品色相的影响

如表 5 所示，随着酯溶中黄含量的增加， $b^*$  指标呈上升趋势， $\Delta E_{2000}$  指标呈先下降后上升的趋势，含量为 7.3% 时  $\Delta E_{2000}$  最小，但与酯溶中黄含量为 8% 时  $L^*$  值相差较小。因此，选择酯溶中黄含量为 6.5%~9.4% 进行响应面试验。

表 5 不同含量酯溶中黄各指标测定结果

编号	酯溶中黄含量/(wt%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{2000}$
H-1	6.5	63.60	14.58	49.47	1.72
H-2	7.3	63.36	13.87	51.81	0.76
H-3	8.0	63.13	14.68	51.90	1.28
H-4	8.7	63.09	13.92	56.04	1.17
H-5	9.4	63.49	13.02	59.74	2.26

## 2.2 响应面试验结果与分析

### 2.2.1 模型的建立及显著性检验

在单因素试验结果的基础上,以色差值( $Y$ )为响应值,将稀释剂含量( $A$ )、酯溶金红含量( $B$ )、酯溶中黄含量( $C$ )作为考察因素,试验结果见表 6。

表 6 中心组合设计试验方案及试验结果

实验编号	稀释剂含量/g	酯溶金红含量/g	酯溶中黄含量/g	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{2000}$
1	15	0.5	2.0	63.88	14.44	57.41	1.38
2	25	0.5	2.4	65.57	12.02	57.74	2.46
3	25	0.3	2.0	65.49	9.34	54.16	3.08
4	5	0.5	1.6	61.51	16.63	53.87	2.90
5	5	0.7	2.0	61.65	16.89	54.23	2.92
6	15	0.5	2.0	64.08	14.74	56.41	1.21
7	5	0.5	2.4	61.88	16.02	58.84	2.63
8	15	0.5	2.0	63.98	14.34	57.21	1.32
9	15	0.7	2.4	63.49	16.69	58.74	2.26
10	15	0.5	2.0	63.85	14.39	57.32	1.35
11	15	0.5	2.0	63.57	14.54	57.05	1.32
12	15	0.3	1.6	63.60	9.58	53.67	2.55
13	25	0.5	1.6	65.84	12.02	53.90	1.91
14	25	0.7	2.0	65.13	15.69	57.12	1.95
15	15	0.3	2.4	64.25	9.78	58.84	3.43
16	5	0.3	2.0	61.98	10.58	57.74	3.15
17	15	0.7	1.6	63.86	16.68	53.97	2.13

根据表 6 试验结果,通过 Design-Expert 8.0.6 软件进行回归方程拟合,建立的  $A$ (稀释剂含量)、 $B$ (酯溶金红含量)、 $C$ (酯溶中黄含量)3 个因素与  $Y$ (色差值)之间的回归方程为:

$$Y = 18.7801 - 0.27526A - 15.11083B - 11.35084C - 0.11195A \times B + 0.051508A \times C - 2.36373B \times C + (6.68532E - 003)A^2 + 19.67915B^2 + 3.03989C^2 \quad (2)$$

对方程(2)进行方差分析,结果见表 7。

表 7 二次响应面回归模型的方差分析结果

方差来源	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	F 值	P 值 $P_{y>F}$
模型	8.51	9	0.95	71.56	<0.0001
A-A	0.61	1	0.61	46.31	0.0003
B-B	1.08	1	1.08	81.84	<0.0001
C-C	0.2	1	0.2	15.46	0.0057
AB	0.2	1	0.2	15.17	0.0059
AC	0.17	1	0.17	12.85	0.0089
BC	0.14	1	0.14	10.82	0.0133
A <sup>2</sup>	1.88	1	1.88	142.40	<0.0001
B <sup>2</sup>	2.61	1	2.61	197.43	<0.0001
C <sup>2</sup>	1	1	1	75.38	<0.0001

残差	0.093	7	0.013		
模型失拟项	0.077	3	0.026	6.42	0.0522
纯误差	0.016	4	3.98E-03		
总离差	8.6	16			

由表 7 的方差分析可以看出,模型大于  $F$  值的概率  $P < 0.0001$ ,表明模型对响应值  $Y$  的影响非常显著,可信度较高;另外,各单一因素  $A$ 、 $B$ 、 $C$  对统计结果的影响显著( $P < 0.05$ ),由  $F$  值可知,3 个因素对色差值影响的次要顺序为  $B > A > C$ ,即酯溶金红含量 > 稀释剂含量 > 酯溶中黄含量。模型的二次项对色差的曲面效应均非常显著( $P < 0.05$ );交互项  $AB$ 、 $AC$ 、 $BC$  的影响均显著( $P < 0.05$ );模型失拟项(Lack of Fit,表示模型预测值与实际值不拟合的概率)的  $P$  值为 0.0522,表明模型符合实际情况,可以用此模型对色差进行分析 and 预测。

### 2.2.2 各因素交互作用分析

为了进一步研究相关因素间的交互作用和确定最优配方,利用 Design-Expert 8.0.6 软件对回归模型进行响应面分析,得到相应的等高线图和响应面立体分析图(如图 2~图 4)。由图 2 可知,在稀释剂含量不变时,色差值随着酯溶金红含量的增大而呈现先减小后增大的趋势,当酯溶金红含量不变时,色差值随着稀释剂含量的增大呈现先减小后增大的趋势。由图 3 可知,在稀释剂含量不变时,色差值随着酯溶中黄含量的增大而呈现先减小后增大的趋势,当酯溶中黄含量不变时,色差值随着稀释剂含量的增大呈现先减小后增大的趋势。由图 4 可知,在酯溶金红含量不变时,色差值随着酯溶中黄含量的增

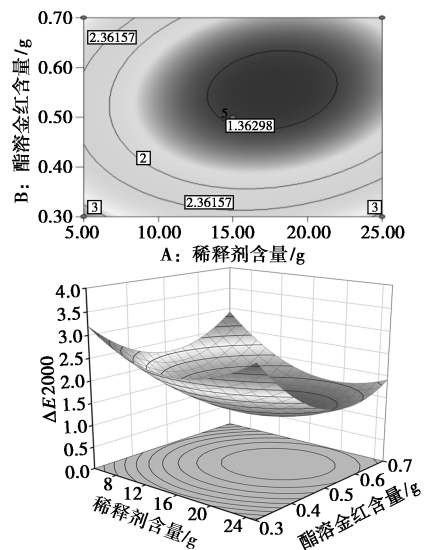


图 2 稀释剂含量和酯溶金红含量交互作用的等高线和响应面

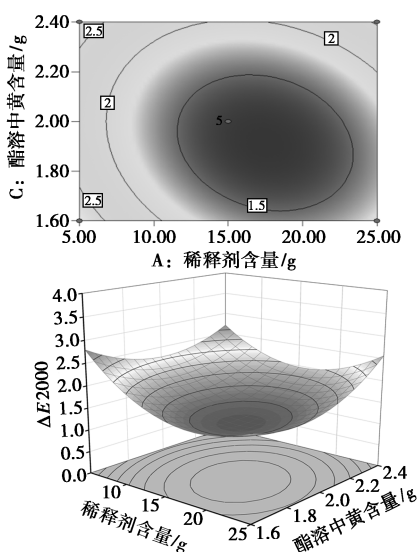


图 3 稀释剂含量和酯溶中黄含量交互作用的等高线和响应面

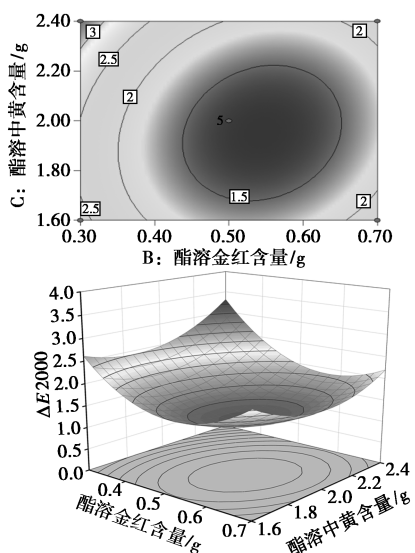


图 4 酯溶金红含量和酯溶中黄含量交互作用的等高线和响应面

大而呈现先减小后增大的趋势,当酯溶中黄含量不变时,色差值随着酯溶金红含量的增大呈现先减小后增大的趋势。

### 2.2.3 最佳条件的确定及验证试验

通过 Design Expert 8.0.6 软件进行配方的优化,可得 A 取 17.76、B 取 0.55、C 取 1.93,此时响应值 Y 为最小值,  $Y_{\min} = 1.22$ 。即得到的专色油墨的最佳配方为:稀释剂 17.76 g,酯溶金红 0.55 g,酯溶中黄 1.93 g。

为验证模型预测的准确性,根据得到的优化后的最佳配方并考虑到实际情况,在修正条件下(即珠光粉 5 g,稀释剂 18 g,冲淡剂 7.5 g,酯溶金红 0.55 g,酯溶中黄 1.95 g)进行 3 次验证试验,所得

结果为 1.29,与模型预测值 1.22 非常接近,证明采用响应面优化专色油墨的回归方程拟合良好,获得的优化工艺参数准确可靠。

## 2.3 油墨印刷适性结果与分析

### 2.3.1 油墨基本指标

根据上述油墨配方,编号为 X-N:珠光粉 5 g,稀释剂 18 g,冲淡剂 7.5 g,酯溶金红 0.55 g,酯溶中黄 1.95 g,另选取了各组分配比不同的 7 组油墨进行性能测试分析,油墨各性能指标及印品质量指标测试结果如表 8 所示,由表 8 及图 5~图 7 可以看出,随着各组分量含量的增加油墨黏度减小、流动度增加、印刷光泽度增加;稀释剂增加细度减小,酯溶金

表 8 油墨性能测试结果

编号	黏度/(Pa·s)	细度/ $\mu\text{m}$	流动度/mm	印刷光泽度/%
X-1	97.324	9.3 $\pm$ 1.25	9.2 $\pm$ 0.3	55.3 $\pm$ 1.36
X-2	54.636	8.9 $\pm$ 0.8	12.5 $\pm$ 0.5	60.8 $\pm$ 1.25
X-3	25.347	8.3 $\pm$ 0.86	14 $\pm$ 0.3	63.5 $\pm$ 0.50
X-N	22.525	8.1 $\pm$ 1.0	14.3 $\pm$ .2	66.6 $\pm$ 0.86
J-1	40.990	8.4 $\pm$ 0.55	9.5 $\pm$ 0.6	54.3 $\pm$ 0.89
J-4	20.060	8.5 $\pm$ 0.36	11.5 $\pm$ 0.7	68.1 $\pm$ 0.50
H-1	57.018	8.2 $\pm$ 0.45	11.5 $\pm$ 0.5	61.4 $\pm$ 0.67
H-5	23.154	8.2 $\pm$ 0.6	11.8 $\pm$ 0.4	68.5 $\pm$ 0.33

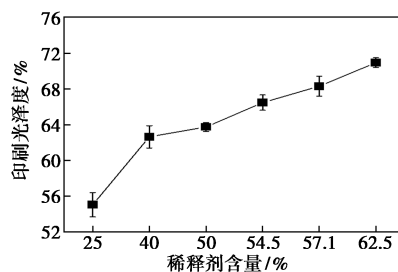


图 5 稀释剂含量变化与印刷光泽度的关系

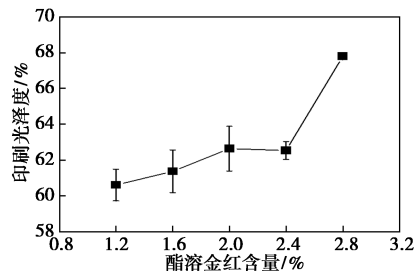


图 6 酯溶金红含量变化与印刷光泽度的关系

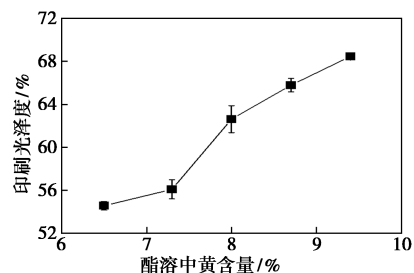


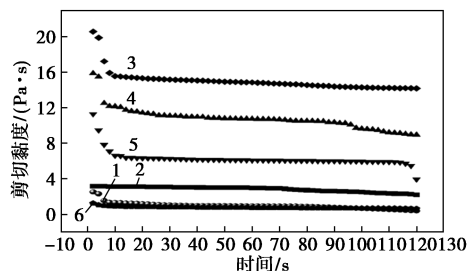
图 7 酯溶中黄含量变化与印刷光泽度的关系

红和酯溶中黄增加对细度影响不显著。可能由于稀释剂占比远高于其余两个组分,其性能基本代表专色油墨的基本性质。

### 2.3.2 油墨流变学

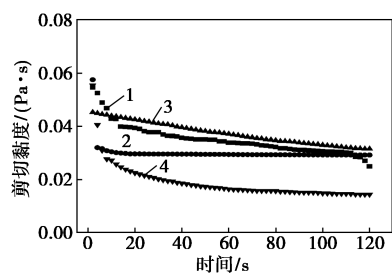
#### (1) 黏度-速率扫描

图8~图9展示了对油墨进行恒剪切速率扫描的结果,图8为不同酯溶油墨时间-黏度变化曲线,随着时间的变化,在恒定剪切速率下,酯溶油墨性质较稳定,酯溶金红和酯溶深红油墨的黏度较大。4种酯溶油墨的黏度范围为2~15 Pa·s。图9为稀释剂组油墨时间-黏度变化曲线,各油墨黏度在0.03 Pa·s左右,远低于原墨黏度,稀释剂、冲淡剂等助剂的添加会极大程度影响油墨黏度,进而影响油墨印刷适性。因此在配制油墨前,应研究油墨添加成分对油墨性质的影响。



1—冲淡剂;2—黑墨;3—金红;4—深红;5—中黄;6—稀释剂

图8 专色油墨主成分黏度-恒剪切速率变化曲线



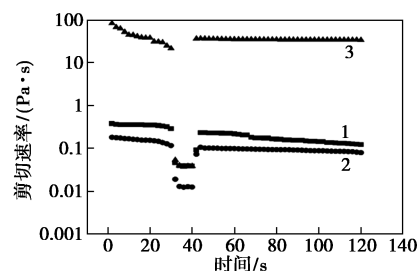
1—X-1;2—X-2;3—X-3;4—X-N

图9 稀释剂组油墨黏度-恒剪切速率变化曲线

#### (2) 印刷过程模拟(3ITT)

图10展示了油墨在印刷过程模拟中的黏度变化。实验首先进行30s的初始恒定低速剪切( $0.1\text{ s}^{-1}$ ),再进行10s高速剪切( $300\text{ s}^{-1}$ ),最后在恒定低速剪切速率( $0.1\text{ s}^{-1}$ )下恢复。当剪切速率从 $0.1\text{ s}^{-1}$ 到 $300\text{ s}^{-1}$ 时,由于强剪切力破坏了网络结构,所有油墨黏度均急剧下降。当剪切速率回到 $0.1\text{ s}^{-1}$ 时,由于剪切力的减小,油墨体系的网络结构开始重建并恢复,黏度逐渐上升。其中X-N具有较高的黏度和恢复率,表明油墨的恢复速度快,油墨黏度达到平衡所需要时间少,油墨容易固着在承印物上,油墨性质更

加稳定,印刷效果更好。



1—X-2;2—X-3;3—X-N

图10 3ITT测试黏度

### 2.4 印刷感官评分

凹版印刷是常用的印刷方式。X-1油墨中稀释剂含量少,黏度较大,不易转移到承印物上,因此印刷品颜色较深且印刷不均匀;X-6油墨中稀释剂含量最高,颜色最浅。可知X-N总体评价最高,印刷效果最好。

### 3 结论

通过单因素和响应面试验,与与标样对比的色差值为指标,考虑到实际生产情况,得到专色油墨的最佳配方质量比例为:珠光粉:稀释剂:冲淡剂:酯溶金红:酯溶中黄=5:18:7.5:0.55:1.95,对最佳工艺参数进行3次验证试验,得到的色差值与模型预测值接近,且其印刷适性良好,具有良好的流变性能和触变性能,感官评价上与测试结果一致,与标样最为接近,为专色油墨的配方优化进一步研究提供参考依据。

#### 参考文献

- [1] 吕伟,方丽丽.基于三刺激值匹配与光谱匹配的油墨配色实验探究[J].数字印刷,2020,(4):31-38.
- [2] 邹伟,邱宝伟,梁雪,等.壳聚糖/大豆油/栀子黄可食性抗菌油墨的制备及性能测定[J].现代化工,2018,38(6):69-72.
- [3] 李欣悦,郭姗姗,申钰洁,等.丝网印刷用抗菌型可食性油墨的制备及性能[J].数字印刷,2021,(5):54-60.
- [4] 连坤鹏,刘润林,罗景升,等.高清晰版水性油墨的制备[J].当代化工研究,2022,(7):50-52.
- [5] 朱雁兵.水性油墨中颜料的分散性能及对油墨印刷适性的影响分析[J].粘接,2020,43(7):39-42,70.
- [6] 王洪霞.壳聚糖-无机颜料基可食性油墨流变及印刷适性研究[D].武汉:武汉大学,2019.
- [7] 黄灵阁,杨操,刘振东.金属油墨中颜料含量对油墨转移率及遮盖率的影响[J].包装工程,2007,28(10):36-38,53.
- [8] 吕伟,贾圆圆.光柱镭射纸基础油墨数据库对专色配色精度的影响[J].包装工程,2021,42(19):204-211.
- [9] 郭婷,黎厚斌,田学军,等.壳寡糖可食性喷墨墨水的流变性[J].包装工程,2018,39(3):99-103.
- [10] 杨淑杰,孙冠章,余伟.不同种类凝胶剂对印刷油墨连接料流变性能的影响[J].杭州化工,2019,49(1):4.
- [11] Svanholm E. Printability and ink-coating interactions in inkjet printing[D].Karlstad University,2007.
- [12] Jang D, Kim D, Moon J. Influence of fluid physical properties on ink-jet printability[J].Langmuir,2009,25(5):2629-2635. ■