

表面张力调控制备具有宽范围纸张适用性的喷码油墨

董海平¹, 奚茜^{1*}, 王培勇¹, 唐丹¹, 姚星¹, 李汨¹, 谢安¹, 赖嘉诚²

(1.遂宁宽窄印务有限责任公司,四川 遂宁 629000;2.四川大学 高分子科学与工程学院,成都 610065)

摘要: **目的** 传统的喷码紫外线 (Ultraviolet, UV) 墨水无法一墨通用于不同表面性质的承印纸张, 通过调节 UV 油墨中单体的化学组成、含量和表面张力, 制备一款具有较宽范围纸张适用性的油墨。**方法** 通过水接触角测试分析了典型的二维码承印纸张间表面性质的差异, 揭示承印纸张通用性与表面浸润性之间的关系, 选用不同油墨单体制备了系列不同表面张力的喷码油墨, 并测试油墨的黏度、固体粒子形貌和固化速率, 得到表面张力最合适且综合性能佳的通用型油墨配方。**结果** 相比商用 UV 油墨, 该通用型油墨减小了对目前主流的承印纸张的接触角和界面张力变化, 增强了油墨对不同类型纸张喷码的适应性。通过辅助组分的调控, 本油墨还具有快干、久置稳定、黏度低、热致变色等特点。**结论** 影响承印纸张通用性的关键是表面张力, 通过油墨单体化学基团调控, 这款油墨有望给高普适性 UV 油墨的研发提供借鉴。

关键词: UV 油墨; 二维码喷码; 表面张力; 承印纸张; 接触角

中图分类号: TB48

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2025)05-0070-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.05.009

Surface Tension Control Enabled Substrate-universal UV Jet Ink

DONG Haiping¹, XI Qian^{1*}, WANG Peiyong¹, TANG Dan¹, YAO Xing¹, LI Mi¹, XIE An¹, LAI Jiacheng²

(1. Suining Wide & Narrow Printing Co., Ltd., Sichuan Suining 629000, China;

2. College of Polymer Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT: The traditional UV ink for inkjet printing cannot be universally applied to substrates with different surface properties. The work aims to develop a type of ink with wide applicability to various substrates by adjusting the chemical composition, content and surface tension of the monomers in the UV ink. The water contact angle test was used to analyze the differences in surface properties among typical substrates for two-dimensional codes, revealing the relationship between the universality of the substrate and its surface wettability. A series of inkjet inks with different surface tensions were prepared with different monomers, and the viscosity, morphology of solid particles and curing rate of the inks were tested to obtain the most suitable universal ink formula with the best comprehensive properties. Compared with commercial UV inks, this universal ink reduced the contact angle and interfacial tension changes on the current mainstream substrates, enhancing the adaptability of the ink to different types of substrates for inkjet printing. Through the regulation of auxiliary components, this ink also had the characteristics of fast drying, long-term stability, low viscosity and thermochromism. The key to the universality of the substrate is the surface tension, which can be regulated by the chemical groups of the ink monomers. This ink is expected to provide a reference for the development of highly universal UV inks.

KEY WORDS: UV ink; inkjet printing of two-dimensional code; surface tension; substrate; contact angle

二维码喷码被越来越多地运用在包装中, 以起到溯源和防伪功能, 各烟酒行业印刷大厂的喷码油墨年使用量已达吨级。基于紫外线 (Ultraviolet, UV) 光固化的喷码是最主要的一种技术, 其在油墨中使用光固化高分子单体, 光照后单体被引发瞬间交联固化, 具有超快固化、零溶剂、打印清晰和易保存等优势^[1-2]。随着喷码技术的日渐推广, 承印纸张的种类日渐多样, 不同纸张的表面化学组成和物理粗糙度区别很大。依码 (EAMAR) 对同一油墨进行的多种纸张喷码测试表明, 不同的接触材料会显著影响印刷质量, 严重时更会导致二维码分辨率低和花码等问题。针对不同的承印材料需要测试不同的喷码墨水来选择合适的种类, 这样会造成复杂的调试流程和高成本^[3]。目前, 对 UV 喷码墨水的研究多关注固化、流变和耐磨黏附等问题, 鲜有研究改善油墨对于不同承印纸张的通用性。

油墨对承印纸张的通用性取决于纸张表面性质和油墨浸润性^[3-5]。由于纸张表面性质的差异, 油墨在接触后会呈现不同的浸润性。为了使喷码图案清晰稳定, 需要保证油墨对不同衬底的表面接触性质都保持在规定的范围内, 以免出现过度铺展或收缩的现象^[6]。

Young-Laplace 浸润方程可用来表示油墨液滴与承印纸张之间的浸润状况, 见式 (1)。

$$\cos \theta = \frac{\gamma^{sv} - \gamma^{sl}}{\gamma^{lv}} \quad (1)$$

式中: θ 为液体油墨在纸张上的接触角; γ^{sv} 、 γ^{sl} 、 γ^{lv} 分别为承印纸与空气、固体承印纸与液体油墨、空气与液体油墨的界面张力。

在测得接触角以及油墨液滴表面张力后, 根据式 (1) 的变化可得到表示固液界面张力的公式, 见式 (2)。

$$\gamma^{sl} = \frac{\gamma^{sv}}{2(\sqrt{1 + \sin^2 \theta} - \cos \theta)} \quad (2)$$

γ^{sl} 与 θ 都能够直接反映界面接触性, 通过式 (1) ~ (2) 可以具体衡量各类油墨与不同承印纸之间的接触性质, 为实验中调控油墨本身表面张力提供合理范围参考。

本文选取了工业应用中较典型的 4 类烟盒喷码纸张作为代表, 研究承印纸张的表面性质差异, 同时选取不同官能团的丙烯酸酯基单体制备油墨, 调控油墨的表面张力。相比商用 UV 油墨, 本油墨对于不同承印纸张的接触角和界面张力变化减小, 对于不同类型纸张喷码适应性提升^[7-8]。高含氧量的炭黑粒子、高引发剂的添加以及热敏黑粒子的使用, 使得本油墨具有久置稳定、快干和热致变色等特点, 有望给高普适性 UV 油墨的研发提供借鉴^[4,9]。

1 实验

1.1 材料和设备

主要材料: 烟盒烟包喷码光油纸, 即胶印水光油

纸、胶印 UV 光油纸、凹印水光油纸、凹印水光底凸字油纸, 遂宁宽窄印务有限责任公司。丙烯酸酯单体: 苯氧基乙基丙烯酸酯, 帝斯曼 (中国) 有限公司、武汉新力美电子技术有限公司; 乙氧化三羟甲基丙烷三丙烯酸酯, 上海引昌新材料有限公司; 多元醇类醇二丙烯酸酯, 上海引昌新材料有限公司。助剂: 炭黑 (NEROX 505), 德国欧励隆; 热敏黑, 常熟市染料化工厂; 2,4,6-三甲基苯甲酰基苯基膦酸乙酯, 青岛瑞狮化学有限公司; 聚氨酯丙烯酸酯树脂, 上海光易化工有限公司; 2,6-二叔丁基对甲基苯酚, 国药集团化学试剂有限公司; 商用喷码 UV 油墨, 北京佳瑞洋科技有限公司。实验中使用的水为纯水。

主要设备: 自动研磨机、行星式混匀机、光学接触角测量仪 (KRUS DSA25), 德国克吕士公司; 紫外线灯、模块化智能型高级旋转流变仪 (MCR302), 奥地利安东帕集团; 高分辨透射电子显微镜 (High Resolution Transmission Electron Microscopy, HRTEM) (Talos F200i), 美国赛默飞世尔科技公司; X 射线光电子能谱 (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) (K-Alpha), 美国赛默飞世尔科技公司; 喷印机, 上海越融科技发展有限公司。

1.2 方法

1.2.1 油墨的制备

将 20 质量份炭黑、20 质量份聚氨酯聚丙烯酸酯和 60 质量份丙烯酸酯单体混合研磨 30 min, 制得黑色色浆。接着将 20 质量份黑色色浆、25 质量份聚氨酯丙烯酸酯树脂、40 质量份丙烯酸酯单体和 15 质量份各类助剂按比例使用行星式混匀机混合 60 min 得到通用性油墨, 转速设置为 3 000 r/min。使用行星式混匀机对等质量的 2 份溶液进行高速旋转离心, 能够使油墨各组分均匀分散, 且其真空工作环境能够充分排出液体中的空气, 进一步保证油墨溶液体系的稳定性。热变色油墨的制备与上述流程一致, 仅需在黑色色浆中额外加入 5 质量份热敏黑^[10-11]。

1.2.2 油墨的表征

使用光学接触角测量仪, 采用座滴法和悬滴法分别测定承印纸张的水接触角、油墨对纸张的接触角以及油墨表面张力。通过模块化智能型高级旋转流变仪测定黏度, 使用 XPS 探测炭黑氧元素含量, 使用 HRTEM 观察炭黑粒径, 使用喷印机进行喷码测试, 其喷头为日本理光 G6, 分辨率设置为 600 dpi。油墨经紫外线灯照射, 间隔时间取样观测固化速率。

2 结果与分析

2.1 承印纸张表面性质

常见的烟盒喷码承印纸张, 根据其特性和工艺的不同, 主要可以划分为 4 大类: 胶印水光油纸、胶印

UV 光油纸、凹印水光油纸以及凹印水光底凸字油纸。为了深入探究这些承印纸张对油墨附着和浸润性能的影响,本文进行了详细的水接触角测试。水接触角测试是衡量液体在固体表面润湿程度的重要参数,可以反映出不同纸张与水之间的相互作用情况。

如表 1 和图 1 所示,不同承印纸张的水接触角在 $50^{\circ}\sim 95^{\circ}$ 内变化,这一变化范围反映了其表面性质的显著差异。在测试的纸张中,胶印水光油纸与水的接触角明显最小 (59.2°),说明其相对亲水。胶印 UV 光油与水的接触角普遍较高, $>80^{\circ}$,说明其表面相对疏水,油墨在其上的附着和扩散能力相对较弱。当凹印水光油纸与凹印水光底凸字油纸一起使用时,其接触角进一步降至 $62^{\circ}\sim 68^{\circ}$ 。这可能是由于凹印水光底凸字油纸的应用改变了纸张表面的微观结构,使其变得更加亲水。综上所述,不同承印纸张的水接触角差异较大,表面具有不同的浸润性、粗糙度和黏附力,使得同一种油墨在不同纸张上的表现差异显著,进一步导致油墨的不通用性。

表 1 不同承印纸张的水接触角
Tab.1 Water contact angles of different substrates

编号	纸的种类	水接触角/($^{\circ}$)
1	胶印水光油纸	59.20 ± 8
2	胶印 UV 光油纸	82.99 ± 8
3	凹印水光油纸	84.88 ± 5
4	凹印水光底凸字油纸	65.34 ± 3

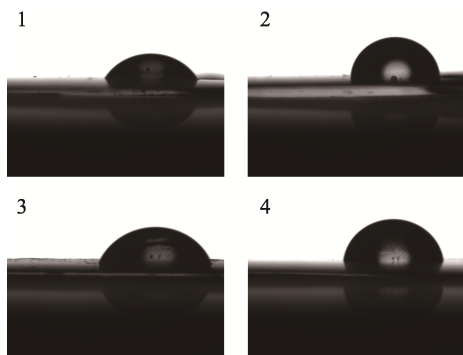


图 1 不同编号承印纸张的水接触角
Fig.1 Water contact angles of substrates with different numbers

进一步深入研究,借助接触角实验和油墨/承印纸张界面张力的评估手段,全面探究普通商用 UV 油墨在不同纸张上的浸润性变化。通过实验数据的详细记录与分析,得到的结果如表 2 所示。根据表 2 数据,商用油墨在各类承印纸张上的接触角变化范围相当宽泛。该油墨在胶印 UV 光油纸上的浸润性最好,最

小接触角为 9° ,平均接触角为 17.5° ,波动较大。相比胶印 UV 光油纸,凹印水光油纸的接触角略大。凹印水光底凸字油纸的引入能够略微改善油墨与凹印水光纸张的接触稳定性,但对其浸润性缺乏有效提升。此外,油墨对胶印水光油纸的接触角以及波动范围都明显高于其他纸张,即浸润性和稳定性都有缺陷,表明油墨与不同承印纸张之间的相互作用存在显著差异。

表 2 普通商用油墨对于不同承印纸张的接触角和界面张力

Tab.2 Contact angle and interfacial tension of common commercial inks for different substrates

纸的种类	油墨接触角/ ($^{\circ}$)	油墨-承印纸张固液 界面张力/($\text{mN}\cdot\text{mm}^{-1}$)
胶印水光油纸	27.4 ± 11.7	$29.33\sim 161.43$
胶印 UV 光油纸	17.5 ± 8.5	$61.48\sim 484.28$
凹印水光油纸	20.6 ± 8.6	$49.51\sim 272.76$
凹印水光底凸字油纸	20.5 ± 4.8	$64.66\sim 161.43$

为了更深入地理解这种差异,结合式(2)进行计算。结果显示,商用普通油墨的固液界面张力在 $29\sim 484 \text{ mN/mm}$ 内变化,验证了普通商用油墨与不同承印纸张之间存在显著接触性差异,因此需要找到一种方法来减小浸润性差异,提高油墨的通用性。通过深入研究油墨与承印纸张之间的相互作用机理,优化油墨配方工艺,有望实现这一目标。

2.2 通用性油墨的测试及调控

本文挑选苯氧基、乙氧基和多元醇单体,与炭黑、引发剂和助剂共混,以制备出具有不同特性的油墨,从而实现对油墨接触角和浸润性的精准调控^[1,13]。这种调控方式不仅有助于探究油墨与承印纸张之间的相互作用机理,而且提供了一种优化油墨性能的有效手段。

制备 3 种不同表面张力 (26.3 、 24.6 和 25.0 mN/mm) 的油墨,不同基团单体油墨的接触角和界面张力如表 3 所示。研究发现:乙氧基单体油墨具有最小的接触角变化范围 ($14.2^{\circ}\sim 23.6^{\circ}$),表现出更好的稳定性和一致性,适合不同纸张;苯氧基和多元醇单体油墨接触角变化范围较大,可能导致喷码效果不稳定。为提高油墨通用性,建议优先使用乙氧基单体配方,并通过优化配方和工艺减小接触角变化,提高其在不同纸张上的浸润性和附着力,从而实现更好的喷码效果。

具体来说,配方从等质量比例的乙氧基类丙烯酸酯、苯氧基类丙烯酸酯以及多元醇丙烯酸单体出发 ($1:1:1$),逐渐增加乙氧基类丙烯酸酯的含量,以制备最佳通用油墨。表 4 为各种比例的通用性油墨与普通商用油墨的接触角对比。由表 4 可知,乙氧基官

表 3 不同基团单体油墨的接触角和界面张力
Tab.3 Contact angle and interfacial tension of monomer inks with different groups

纸的种类	苯氧基单体 接触角/(°)	乙氧基单体 接触角/(°)	多元醇单体 接触角/(°)	苯氧基单体界面 张力/(mN·mm ⁻¹)	乙氧基单体界面 张力/(mN·mm ⁻¹)	多元醇单体界面 张力/(mN·mm ⁻¹)
胶印水光油纸	25.3±7.0	23.6±7.2	26.2±8.1	91.14~266.43	93.00~308.35	81.64~287.72
胶印 UV 光油纸	16.7±5.9	14.7±6.2	15.3±7.6	177.60~748.92	192.91~1 125.91	163.97~1 386.9
凹印水光油纸	22.9±6.9	20.5±8.1	20.1±8.6	105.65~345.91	106.64~533.35	107.24~626.33
凹印水光底凸字油纸	14.5±7.0	14.2±6.4	15.2±7.0	195.35~1 543.6	198.34~1 335.54	173.97~1 223.94

表 4 不同比例通用性油墨与普通商用油墨的接触角对比
Tab.4 Comparison of contact angle between different proportions of universal inks and common commercial inks

纸的种类	1 : 1 : 1	2 : 1 : 1	3 : 1 : 1	4 : 1 : 1	普通商用油墨
胶印水光油纸	27.2±7.6	26.6±5.1	25.9±4.0	25.9±3.8	27.4±11.7
胶印 UV 光油纸	17.9±7.3	17.3±6.2	17.0±5.5	17.1±5.2	16.5±8.5
凹印水光油纸	22.0±8.4	21.3±7.9	20.1±7.8	20.0±7.8	20.6±8.6
凹印水光底凸字油纸	21.6±6.8	20.3±6.0	19.1±5.6	19.1±5.4	20.5±4.8

能团的增加对接触角的大小变化和稳定性都有一定程度的改善, 配比达到 3 : 1 : 1 后接触角几乎没有变化。以 3 : 1 : 1 配比的通用油墨为例, 这款油墨在不同承印纸张上的接触角变化相比普通商用油墨有显著的减小, 对不同承印纸张的浸润性也十分相近, 从而大大增强了其通用性。

首先, 将乙氧基类丙烯酸酯作为油墨的主要成分, 其分子结构使得油墨具有较低的表面张力, 有利于油墨在纸张表面扩散和附着。其次, 苯氧基类丙烯酸酯分子结构中含有苯环, 增加了与纸张表面芳香族物质的共轭作用, 使得油墨在纸张表面容易形成更稳定、黏附更强的附着层。最后, 多元醇丙烯酸酯单体也有富羟基, 可与纸张形成氢键相互作用, 调节黏附性。综上所述, 通过控制 3 类丙烯酸酯单体的比例, 能够成功制备出具有优异通用性和综合性质的油墨。这款油墨可以在不同承印纸张上实现接触角变化的减小和浸润性的相近, 从而满足对不同纸张的表面浸润性和综合性能的要求。

2.3 油墨的综合性能

在制备油墨时, 需关注黏度、分散稳定性和固化速度, 确保喷码顺利。炭黑是关键组分, 为避免炭黑团聚导致稳定性下降和打印堵塞, 选择粒径适中的炭黑。粒径过小易团聚, 过大可能堵塞, 所选炭黑粒径在 50 nm 左右, HRTEM 图像如图 2a 所示。对所选炭黑进行 XPS 分析, 发现其氧含量高达 1.2%, 如图 2b

所示。这一特性有望改善炭黑与油墨中极性液体的相互作用, 从而进一步提升油墨的稳定性。

炭黑的良好分散性不仅有助于提高油墨的稳定性, 还有助于降低油墨的黏度。如图 2c 所示, 通用油墨的黏度降至 13.0 mPa·s, 相比商用油墨的 15.5 mPa·s 下降约 17%, 黏度的降低更有利于喷墨打印的流畅进行^[14-16]。商用油墨的引发剂含量约为 4%, 为了提升油墨的固化速度, 在符合油墨正常使用标准的基础上提高引发剂含量, 分别制备了通用油墨 1 和通用油墨 2, 其引发剂的含量分别为商用油墨的 2 倍和 3 倍, 即 8% 和 12%。如图 2d 所示, 观察油墨在 UV 灯下的固化厚度, 发现高引发剂含量的通用油墨 2 在 20 s 内实现了商用油墨 60 s 才能达到的固化量, 固化速率提升近 3 倍。

得益于通用油墨稳定的浸润性、稍低的黏度和高固化速率, 通用油墨在喷码实验中切换不同承印纸张后仍能清晰喷码, 而普通商用油墨由于接触性质的波动会导致喷码图案右上角缺陷, 如图 3 所示。进一步对 2 种油墨的喷码及图案综合性能对比, 结果如表 5 所示。可以看到: 在固体颗粒大小以及流体黏度上, 本通用油墨具有显著优势; 在 2 种承印纸张上分别进行喷码, 本通用油墨具有更小及更窄的表面张力分布。随后使用 3M 长胶带对喷码图案表面进行反复黏接, 2 种喷码油墨的图案均无墨迹脱落, 体现出优秀的附着力。最后, 将图案样品均放置 30 d, 所有喷码图案均未出现形变、褪色和毛边, 证明具有良好的稳定性。

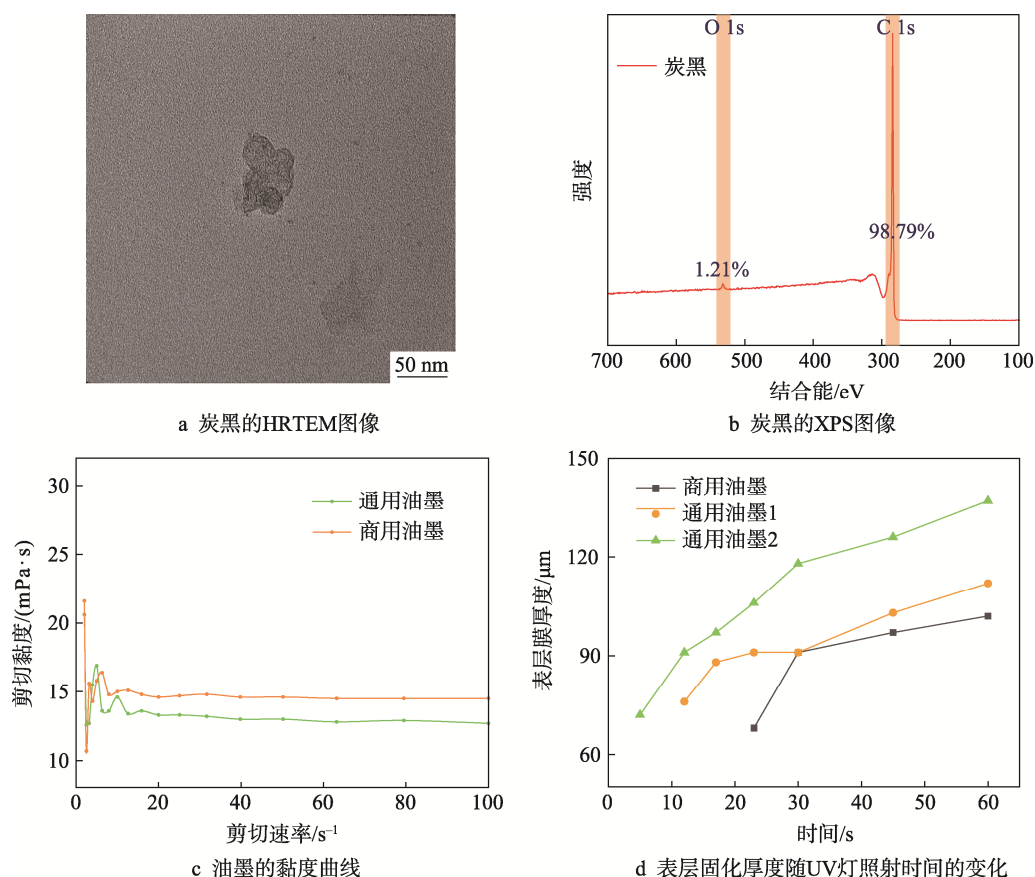


图2 油墨中炭黑的结构以及油墨的流动性和固化性

Fig.2 Structure of carbon black in ink and fluidity and solidification of ink

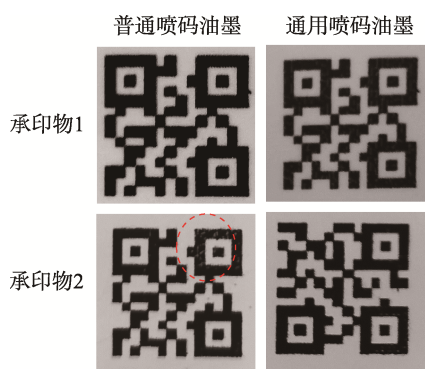


图3 普通油墨和通用油墨在不同承印纸张上的喷码

Fig.3 Inkjet pictures of common inks and common inks on different substrates

表5 普通喷码油墨与商用喷码油墨
喷码图案综合性能对比

Tab.5 Comparison of comprehensive performances of pattern between common inks and commercial inks

性能指标	普通喷码油墨	通用喷码油墨
颗粒大小/nm	141	58
黏度/(mPa·s)	15.5	13.0
表面张力/(mN·mm ⁻¹)	118.31~472.53	120.46~257.68
附着情况	无脱落	无脱落
固化速度/(μm·s ⁻¹)	3	4
放置稳定时间/d	30	30

进一步探索通用油墨功能化的可能性。在通用油墨的配方中引入热敏黑材料,以检验其热变色防伪性能。如图4所示,二维码的黑色边框采用热敏黑复合通用油墨。当温度 $>40^{\circ}\text{C}$ 时,中间的普通商用油墨颜色保持不变,而热敏黑复合通用油墨边框则逐渐变为淡黄色。这一温变变色特性的机理源于热敏黑材料的独特性质,该材料在特定的温度条件下分子结构会发生变化,从而导致颜色转变。这一变化是可逆的,当温度恢复到常温时,边框的颜色又会变回黑色,如此可以实现简易的防伪验证^[10,15]。



图4 油墨的热敏变色照片

Fig.4 Thermochromic photo of ink

3 结语

通过接触角、界面张力和表面张力测试,评估了UV油墨对不同承印纸张的表面浸润性差异。结果表明,使用低表面张力的乙氧基单体有利于得到浸润性变化较小、承印纸张通用性更佳的通用性油墨。进一

步选取适中粒径高氧化度的炭黑粒子和高含量引发剂,通用性油墨同时展现较低黏度、良好分散稳定性和高固化速度。最终的喷码图案清晰,对不同纸张喷码适应性扩大,还具有热致变色功能。通过本文研究,有望给高普适性UV油墨研发提供借鉴。

参考文献:

- [1] 李伟,高峰,刘凯承. UV光固化油墨的制备及测试[J]. 广东印刷, 2021(4): 52-54.
LI W, GAO F, LIU K C. Preparation and Test of UV Photocurable Ink [J]. Guangdong Printing, 2021(4): 52-54.
- [2] 肖忠良,巫桂英,史燕,等. UV油墨的制备与性能优化[J]. 精细化工中间体, 2009, 39(3): 61-64.
XIAO Z L, WU G Y, SHI Y, et al. Preparation and Performance Optimization of UV Ink[J]. Fine Chemical Intermediates, 2009, 39(3): 61-64.
- [3] SCOTTON R S, GUERRINI L M, OLIVEIRA M P. Evaluation of Solvent-Based and UV-Curing Inkjet Inks on the Adhesion and Printing Quality of Different Aircraft Surfaces Coating[J]. Progress in Organic Coatings, 2021, 158: 106389.
- [4] SOLEIMANI-GORGANI A, NAJAFI F, MOHAMMADREZAEI F, et al. Transparent Water-Based UV-Curable Urethane Acrylate Ink-Jet Ink[J]. International Journal of Polymer Analysis and Characterization, 2021, 26(3): 228-239.
- [5] SU Y P, ZHANG S T, ZHOU X H, et al. A Novel Multi-Functional Bio-Based Reactive Diluent Derived from Cardanol for High Bio-Content UV-Curable Coatings Application[J]. Progress in Organic Coatings, 2020, 148: 105880.
- [6] 任焱,刘昕. 柔印水性UV油墨的研究[J]. 西安理工大学学报, 2013, 29(4): 491-494.
REN Y, LIU X. Study on Flexographic Water-Based UV Ink [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2013, 29(4): 491-494.
- [7] 吴敏达. 用于PE基材的UV固化油墨研究[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(6): 56-58.
WU M D. Research on UV-Curable Inks for PE Substrates [J]. Chemical Design Communication, 2023, 49(6): 56-58.
- [8] 易青,王琪,魏先福,等. 单体对UV-LED喷墨油墨性能影响的研究[J]. 包装工程, 2014, 35(7): 127-132.
YI Q, WANG Q, WEI X F, et al. Effect of Monomer on UV-LED Inkjet Ink Performance[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 127-132.
- [9] 官燕燕,陈海生,皮阳雪,等. UV-LED导热油墨的研制及应用研究[J]. 塑料工业, 2021, 49(6): 159-164.
GUAN Y Y, CHEN H S, PI Y X, et al. Research on Development and Application of UV-LED Thermal Ink[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(6): 159-164.
- [10] 广东壮丽彩印股份有限公司. 一种热敏变色微胶囊UV光固化油墨及其制备方法: CN201611248508.9[P]. 2017-05-17.
Guangdong Magnificent Color Printing Co., Ltd. A Heat-Sensitive Color-Changing Microcapsule UV Photocurable Ink and Its Preparation Method: CN201611248508.9[P]. 2017-05-17.
- [11] 房振三. 一种具有感温变色功能的印刷品及印制方法: CN202210681287.3[P]. 2022-08-26.
FANG Z S. A Kind of Printing and Printing Method with Temperature-Sensitive and Color-Changing Function: CN202210681287.3[P]. 2022-08-26.
- [12] ABDEL HAKEIM O, ARAFA A A, ZAHRAN M K, et al. Characterisation and Application of Pigmented UV-Curable Inkjet Inks[J]. Pigment & Resin Technology, 2018, 47(2): 164-172.
- [13] 倪平秀,魏先福,黄蓓青,等. 单体对UV喷墨油墨固化过程流变行为的影响[J]. 包装工程, 2010, 31(17): 142-144.
NI P X, WEI X F, HUANG B Q, et al. Impact of Monomer on Rheological Behavior in the Curing Process of UV Jet Printing Ink[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(17): 142-144.
- [14] 陈海生. 填料对UV胶印油墨性能的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 113-116.
CHEN H S. Effect of Fillers on Properties of UV Offset Printing Inks [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 113-116.
- [15] 步荣霞,罗世永,刘晓,等. UV-LED喷墨油墨用单体和光引发剂性能的评估[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 86-91.
BU R X, LUO S Y, LIU X, et al. Evaluation on Performance of Monomers and Photoinitiators for UV-LED Inkjet Inks[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 86-91.
- [16] ZHANG H L, MASSINGILL J L, WOO J T K. Low VOC, Low Viscosity UV Cationic Radiation-Cured Ink-Jet Ink System[J]. Journal of Coatings Technology, 2000, 72(6): 45-52.