

单体对 UV-LED 喷墨油墨性能影响的研究

易青^{1,2}, 王琪¹, 魏先福², 黄蓓青²

(1. 南京林业大学 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室, 南京 210037; 2. 北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 研究单体对 UV-LED 喷墨油墨性能的影响并改善油墨性能。**方法** 选用不同单体分别制备油墨样品, 测试色浆的分散性及油墨的黏度、表面张力、双键转换率、柔韧性和附着力, 并采用配方实验方法设计复合单体配方, 得到油墨综合性能最佳时混合单体的比例。**结果** 色浆配方中复合单体最优质量比为 $m_{\text{NPGDA}} : m_{\text{TMPTA}} = 0.54 : 0.46$ 时, 色浆分散性最优; 油墨配方中复合单体的最优质量比为 $m_{\text{TPGDA}} : m_{\text{TMPTA}} = 0.61 : 0.39$ 时, 油墨综合性能最优。**结论** 单体对 UV-LED 喷墨油墨的分散性及固化速度有显著影响, 对油墨固化后成膜性能影响也较大。

关键词: 单体; UV-LED 喷墨油墨; 性能; 配方实验

中图分类号: TS802.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)07-0127-06

Effect of Monomer on UV-LED Inkjet Ink Performance

YI Qing^{1,2}, WANG Qi¹, WEI Xian-fu², HUANG Bei-qing²

(1. Nanjing Forestry University, Jiangsu Provincial Key Lab of Pulp and Paper Science and Technology, Nanjing 210037, China; 2. Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: **Objective** To investigate the impact of monomer on UV-LED inkjet ink performance and improve ink performance. **Methods** Different monomers were used to prepare ink samples, and the dispersivity, viscosity, surface tension, curing rate, flexibility and adhesion of ink were tested. In the end, the optimal ratio of co-monomers was achieved by formulation experiment to obtain the best overall performance. **Results** The ink paste showed the optimal dispersivity when the mass ratio of co-monomers was $m_{\text{NPGDA}} : m_{\text{TMPTA}} = 0.54 : 0.46$, and the ink showed the optimal overall performance when the mass ratio of co-monomers was $m_{\text{TPGDA}} : m_{\text{TMPTA}} = 0.61 : 0.39$. **Conclusion** Monomer had a significant influence on the dispersion and curing rate of UV-LED inkjet ink, and also had a great impact on ink film-forming properties after UV-LED curing.

KEY WORDS: monomer; UV-LED inkjet ink; performance; formulation experiment

UV 固化是指材料经紫外光照射后, 吸收一定波段的紫外光发生交联聚合反应, 瞬间由液态转变成固态的过程^[1]。常规 UV 光源为高压汞灯, 存在寿命短、耗电量大、承印材料受热变形及重金属污染等缺陷^[2]。UV-LED 光源是 UV-LED 印刷系统的关键技术, 光源辐射波峰单一, 能量聚集在某个狭窄的紫外光谱段。它是利用光电转换原理, 在芯片极性方向加电压, 芯片中的电子和正电荷在移动过程中碰撞结合

转化成光能, 使得 UV-LED 固化更节能、环保, 且光源寿命长、辐射热量低, 成为喷墨油墨的新宠^[3-5]。

UV-LED 喷墨油墨的主要成分包括颜料、预聚物、光引发剂、单体和其他助剂, 其中, 单体是油墨的重要组成部分, 它不仅调节体系的黏度, 而且影响油墨的光固化速率和固化后油墨层的性能。文中通过研究单体对 UV-LED 喷墨油墨性能的影响, 为 UV-LED 喷墨油墨的研究和开发提供理论依据。

1 实验

1.1 材料

实验材料:单体为乙氧基乙氧基乙基丙烯酸酯(EOEOEA)、二丙二醇二丙烯酸酯(DPGDA)、己二醇二丙烯酸酯(HDDA)、新戊二醇二丙烯酸酯(NPGDA)、三丙二醇二丙烯酸酯(TPGDA)、乙氧基化三羟甲基丙烷三丙烯酸酯(EO3-TMPTA)和三羟甲基丙烷三丙烯酸酯(TMPTA),颜料为酞菁蓝,预聚物为 Viajet 100 和 Viajet 400,光引发剂为 ITX,活性胺为丙烯酸 2-乙基己酯(EHA),分散剂为 9077。

1.2 仪器

实验仪器:GJ-2S 型高速研磨机,青岛海通达;恒磁磁力搅拌器,江苏荣华仪器;JJ-I 型机械搅拌器,常州国华;Microtrac S3500 激光粒度仪,美国 Microtrac;AR2000 型流变仪,美国 TA;K100 型表面张力仪,德国 KRUSS;FTIR-8400 傅里叶变换红外光谱仪,日本岛津;UV-LED 固化光源,辐射波长为 365 nm,上海依瓦塔;RK K303 MULTICOATER 型涂布机;百格刀;3M 胶带;QTY-32 漆膜弯曲试验仪,天津永利达。

1.3 方法

1.3.1 色浆及油墨的制备

将连接料及颜料等混合后使用机械搅拌器搅拌 30 min,置于高速研磨机中研磨至颜料在连接料中充分润湿分散,制得 UV-LED 喷墨青墨色浆。固定色浆及油墨配方,改变单体种类,在色浆中加入成膜预聚物、光引发剂、单体及助剂等,用机械搅拌器搅拌均匀后得到各 UV-LED 喷墨油墨样品。

1.3.2 性能测试

1) 粒径。使用 Microtrac S3500 激光粒度仪测试色浆分散性,文中用 95% 的粒径分布数值表征分散性。

2) 黏度。使用 AR2000 型流变仪测试油墨样品的黏度。

3) 表面张力。使用 K100 型表面张力仪测试油墨样品的表面张力。

4) 固化速度。室温下将油墨涂布在 PET 膜上(墨膜厚度约为 12 μm),经 UV-LED 光源固化 3 s 后

(照射功率为 1.2 W/cm²),采用间歇红外光谱法^[6-7],用双键转换率表征 UV-LED 喷墨油墨的固化速度。红外光谱中 810 cm⁻¹处为 C=C 双键上 C-H 面向弯曲振动峰,其吸收峰强度随着紫外光照射时间的增加而减弱,通过不同辐射能量下不同谱带的吸收强度比计算得到双键转换率^[8],公式为:

$$C_t = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_0 为墨膜未经紫外光照射时 810 cm⁻¹谱带的吸收强度; A_t 为墨膜经紫外光照射一定时间后 810 cm⁻¹谱带的吸收强度; C_t 为该条件下油墨的双键转换率。

5) 附着力。室温下将油墨涂布在 PET 膜上(墨膜厚度约为 12 μm),经 UV-LED 光源固化 3 s 后(照射功率为 1.2 W/cm²),使用划格法测试附着力,按 GB/T 9286—88 标准评定其等级。

6) 柔韧性。室温下将油墨涂布在 PET 膜上(墨膜厚度约为 12 μm),经 UV-LED 光源固化 3 s 后(照射功率为 1.2 W/cm²),使用 QTY-32 漆膜弯曲实验仪测试柔韧性,并用膜层弯曲断裂最小轴承的直径来表征样品柔韧性。

2 结果与分析

2.1 单体对 UV-LED 喷墨油墨色浆分散性的影响

2.1.1 单体种类对色浆分散性的影响

颜料颗粒在喷墨油墨体系中的分散性是喷墨油墨非常重要的物理性能,对油墨能否顺利喷出以及是否会堵塞喷头有着至关重要的作用^[9]。为考察不同单体对 UV-LED 喷墨油墨色浆分散性能及分散稳定性的影响,改变单体种类分别制备青墨色浆并测试粒径,以及测试各色浆放置 15 d 后的粒径,数据见图 1。

由图 1 可知,不同色浆的分散性有差异,且各色浆稳定性都较好。这是由于分散过程中单体分子结构的差异,不同单体与颜料之间的作用力不同,导致对颜料的润湿分散作用不同。单官能团单体 EOEOEA 分子为直链结构,颜料容易达到润湿状态,油墨粒径较小;三官能团单体 EO3-TMPTA 和 TMPTA 分子为立体结构,颜料较难达到最佳润湿状态,油墨粒径较大;双官能团单体 HDDA, NPGDA, TPGDA 及 DPGDA 分子主体均为直链结构,但 TPGDA 及 DPGDA 多

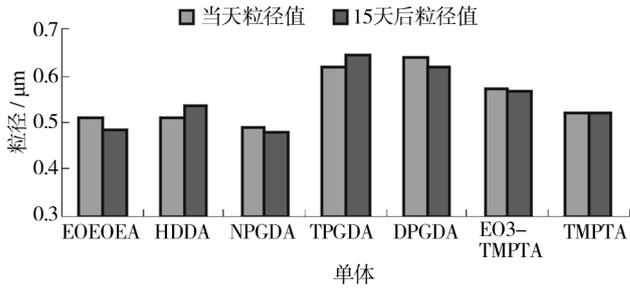


图 1 单体对油墨色浆分散性的影响

Fig. 1 Effect of monomer on the particle size of ink paste

一个乙氧基,导致颜料分子间作用力大,不容易达到润湿状态,油墨粒径最大。双官能团单体 NPGDA 制备的油墨粒径最小,表明其对颜料的润湿性最好。

2.1.2 混合单体对色浆分散性的影响

综合考虑单体对色浆分散性及分散稳定性的影响,以及不同官能团单体的性质,选用 EOEOEA, NPGDA 和 TMPTA 利用配方实验设计复合单体配方,以得到色浆分散性最佳时复合单体的比例。采用三因素三阶单纯形重心设计^[10],共有 7 种单体配方,分别制备不同色浆并测试粒径分布,配方实验及结果见表 1。

表 1 配方实验和结果

Tab. 1 Formulation experiment and results

实验 编号	X_1 (EOEOEA)	X_2 (NPGDA)	X_3 (TMPTA)	粒径 /μm
1	1	0	0	0.511
2	0	1	0	0.491
3	0	0	1	0.521
4	1/2	1/2	0	0.431
5	1/2	0	1/2	0.411
6	0	1/2	1/2	0.402
7	1/3	1/3	1/3	0.406

三因素三阶单纯形重心设计规范变量与试验指标间的回归方程,见式(2)。

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

将表 1 中的粒径数据代入公式(2)计算得到回归系数,并将回归系数代入方程(2),得到粒径 y 与变量之间的回归方程,见式(3)。

$$y = 0.511x_1 + 0.491x_2 + 0.521x_3 - 0.280x_1x_2 - 0.420x_1x_3 - 0.416x_2x_3 + 0.603x_1x_2x_3 \quad (3)$$

回归方程的值越小,表明色浆的分散性越好。经规划求解,当 $x_1 = 0, x_2 = 0.5361, x_3 = 0.4639$ 时,回归

方程式(3)得到最小值为 0.40。通过实验及数据分析,该实验条件下,复合单体制备的色浆的分散性优于单一单体制备的色浆,复合单体的最优质量比 $m_{NPGDA} : m_{TMPTA} = 0.54 : 0.46$ 。使用该优化配方制备色浆并测试粒径分布,95% 处粒径值为 0.399,与回归方程预测值一致,色浆分散性优异。

2.2 单体对 UV-LED 喷墨油墨性能的影响

2.2.1 单体种类对油墨黏度的影响

黏度是流体分子间相互作用而产生地阻碍其分子间相对运动能力的量度,对油墨在喷射过程中墨滴的形成和喷墨质量有着重要影响^[11-12]。为确保油墨能够顺利喷出并且印品质量良好,油墨的黏度必须控制在一定的范围内,通常 UV 喷墨油墨的粘度为 15 ~ 30 mPa · s (25 °C)。改变单体种类制备油墨,测试各油墨黏度,数据见图 2。

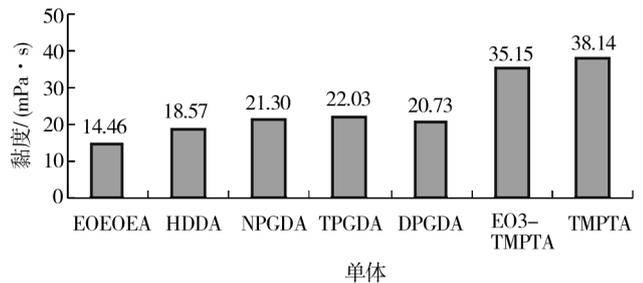


图 2 单体对油墨黏度的影响

Fig. 2 Effect of monomer on the ink viscosity

由图 2 可知,油墨的黏度随着单体官能团数目的增加而增大,EOEOEA 黏度最低, TMPTA 黏度最高。这是由于随着单体官能团数目的增加,单体分子量也相应增加,引起分子间的相互作用力增大,油墨黏度也增大。双官能团单体 TPGDA, HDDA, NPGDA 和 DPGDA 分子主体均为直碳链结构,其中 TPGDA 和 DPGDA 多一个乙氧基,氧原子数量多,分子间作用力大,且 TPGDA 比 DPGDA 分子链长,支链间缠绕机会多,分子链段间作用力强,因而 TPGDA 黏度较高。三官能单体 TMPTA 和 EO3-TMPTA 分子结构为立体状,后者因乙氧基团的引入,单体分子的支化程度增加,支链结构更加紧凑,因而黏度低。

2.2.2 单体种类对油墨表面张力的影响

喷墨油墨的表面张力是指液体表面相邻两部分间单位长度内的相互牵引力,对油墨在喷射过程中墨滴的形成和喷墨质量有着重要影响。油墨表面张力

过低会导致液滴不稳定,表面张力太大会导致油墨不易形成细小的微滴引起拖尾现象,都会影响图像的质量^[13]。通常UV喷墨油墨的表面张力(25℃)为20~30 mN/m。改变单体种类制备油墨,测试各油墨表面张力,数据见图3。

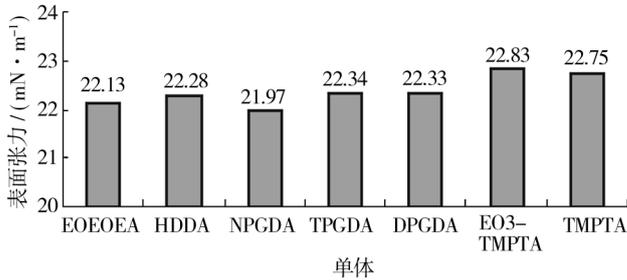


图3 单体对油墨表面张力的影响

Fig. 3 Effect of monomer on the ink surface tension

由图3可知,单体对油墨的表面张力有一定影响,NPGDA制备的油墨的表面张力最小,EO3-TMPTA制备的油墨的表面张力最大。这是由于单体结构不同导致油墨表层分子引力的差异,NPGDA分子链最短,分子间的相互作用力小,液面自动缩小的能力弱,因而表面张力最小;EO3-TMPTA分子结构为立体状,且支链较长,内部液相分子间吸引力大,因而表面张力最大。

2.2.3 单体种类对油墨固化速度的影响

固化速度是UV-LED喷墨油墨非常重要的性能参数,它是UV-LED喷墨油墨固化过程的关键指标。各油墨样品经相同紫外光能量照射后,用红外光谱仪测试并计算得到双键转换率,数据见图4。

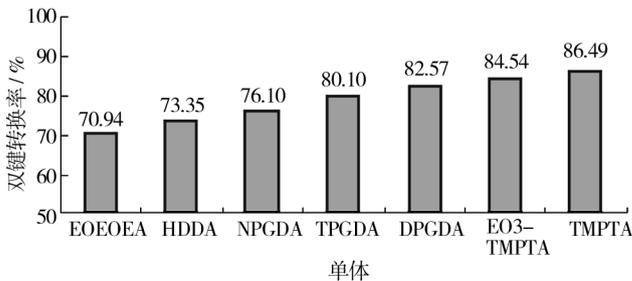


图4 单体对油墨固化速度的影响

Fig. 4 Effect of monomer on the ink curing rate

由图4可知,油墨的固化速度随着单体官能团数目的增加而加快,单官能团单体EOEOEA制备的油墨固化速度最慢,三官能团单体TMPTA制备的油墨固化速度最快。单官能团单体在光聚合后,只能得到线性聚合物,固化率较低,而三官能团单体官能度多,

活性大,交联密度高,固化率高。EO3-TMPTA与TMPTA均为三官能团单体,与TMPTA相比,前者在结构上引入了乙氧基,降低了单体分子中不饱和双键的密度,即参与反应的活性基团浓度减小,因而固化速度低于TMPTA。

2.2.4 单体种类对油墨附着力及柔韧性的影响

附着力是指油墨膜层与印刷基材的结合力,对UV-LED固化油墨的性能有着重要影响,如果油墨的附着力不好,其他性能就很难实现^[14]。柔韧性是衡量油墨特性的重要参数指标之一,直接影响印后加工精细程度及产品质量。固化后附着力及柔韧性测试结果见表2。

表2 单体对油墨附着力及柔韧性的影响

Tab. 2 Effect of monomer on the adhesion and flexibility of ink

	EOEOEA	HDDA	NPGDA	TPGDA	DPGDA	EO3-TMPTA	TMPTA
附着力	3	2	3	2	3	4	3
柔韧性	2	3	3	2	2	3	4

由表2可知,单体对油墨层的附着力和柔韧性有不同影响,TPGDA附着力及柔韧性最佳,EO3-TMPTA附着力最差,TMPTA柔韧性最差。EOEOEA为单官能度单体,碳碳双键含量低,固化收缩率较低,柔韧性较好。双官能度单体中,TPGDA比HDDA和NPGDA多一个乙氧基,且比DPGDA分子链长,柔性得到提高,且表面张力较低,因为在一定范围内降低油墨表面张力可提高对基材的润湿性,从而增加墨膜对涂层的附着力,所以TPGDA附着力及柔韧性最佳。EO3-TMPTA和TMPTA均为三官能度单体,固化后墨膜的交联密度增加,相对于单官能度和双官能度单体而言固化收缩率较大^[15],墨膜的残余应力高,附着力及柔韧性较差,且与TMPTA相比,EO3-TMPTA在分子结构中引入了柔性醚键,柔韧性得到提高。

2.2.5 混合单体对油墨性能的影响

通过考察单一单体对UV-LED喷墨油墨性能的影响,可知不同单体对油墨各性能的贡献不同,EOEOEA能调节体系黏度,TPGDA成膜性能较好,TMPTA有利于提高固化速度,所以选用EOEOEA,TPGDA和TMPTA利用配方试验设计油墨混合单体配方。采用3组分单纯形重心设计,设 X_1 , X_2 , X_3 分别表示EOEOEA,TPGDA,TMPTA3种单体在混合单体配方中的比例,各配方油墨性能见表3。

表3 配方实验和结果

Tab.3 Formulation experiment and results

编号	X_1	X_2	X_3	固化率 /%	黏度 /($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	表面张力 /($\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$)	附着力	柔韧性 /mm
1	1	0	0	68.30	13.08	22.89	3	2
2	0	1	0	79.10	22.03	21.74	2	2
3	0	0	1	85.54	34.44	21.70	3	4
4	1/2	1/2	0	71.37	17.51	22.39	3	2
5	1/2	0	1/2	78.14	19.84	22.91	3	3
6	0	1/2	1/2	87.89	24.94	22.45	3	3
7	1/3	1/3	1/3	85.12	19.33	22.53	3	3

根据实验条件以及各项性能对油墨影响的重要程度不同,将固化率、黏度、表面张力、柔韧性及附着力的权重分别取 0.4,0.2,0.1,0.15 和 0.15。首先计算各项性能指标的指标隶属度,然后计算各配方油墨的综合分数。各性能指标隶属度计算方法为:如果该性能值越大越好,指标隶属度=(指标值-指标最小值)/(指标最大值-指标最小值);如果该性能值越小越好,指标隶属度=(指标值-指标最大值)/(指标最小值-指标最大值)。各配方油墨的综合分计算公式为:综合分=固化率隶属度 \times 0.3+黏度隶属度 \times 0.2+表面张力隶属度 \times 0.1+柔韧性隶属度 \times 0.2+附着力隶属度 \times 0.2。

将综合分代入公式(2)计算得到回归系数,并将回归系数代入方程,得到综合分与变量之间的回归方程,见公式(4)。

$$y = 0.427x_1 + 0.733x_2 + 0.452x_3 - 0.363x_1x_2 - 0.107x_1x_3 + 1.320x_2x_3 - 1.091x_1x_2x_3 \quad (4)$$

回归方程的值越大,表明油墨的综合性能越好。通过实验及数据分析,该实验条件下,复合单体的最优质量比 $m_{\text{TPGDA}} : m_{\text{TMPTA}} = 0.61 : 0.39$ 时,油墨综合性能最优。

根据该最优配方制备油墨,测试油墨各性能,见表4,油墨综合性能理想。

表4 最优配方制备的油墨的性能

Tab.4 Ink Performance with the optimized formula

固化率 /%	黏度 /($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	表面张力 /($\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$)	附着力	柔韧性 /mm
86.30	23.56	22.17	3	2

3 结语

实验条件下,不同种类单体对 UV-LED 喷墨油

墨各性能有不同的影响,通过实验及数据分析可得。

1) 不同单体制备的色浆分散性有差异,各色浆稳定性均较好,其中双官能团单体 NPGDA 制备的油墨粒径最小,表明其对颜料的润湿性最好。

2) 复合单体制备的色浆的分散性优于单一单体制备的色浆,复合单体的质量比 $m_{\text{NPGDA}} : m_{\text{TMPTA}} = 0.54 : 0.46$ 时,色浆分散性最好。

3) 单体对 UV-LED 喷墨油墨性能有不同影响,各油墨的黏度和固化速度随着单体官能团数目的增加而增大;各油墨表面张力差别不大,NPGDA 制备的油墨表面张力最小,EO3-TMPTA 制备的油墨表面张力最大;单体对油墨层的附着力和柔韧性有不同影响,TPGDA 附着力及柔韧性最好,EO3-TMPTA 附着力最差,TMPTA 柔韧性最差。

4) 油墨配方中,复合单体的最优质量比 $m_{\text{TPGDA}} : m_{\text{TMPTA}} = 0.61 : 0.39$ 时,油墨综合性能最优。

参考文献:

- [1] 赵欢,许文海,芦永军. LED 阵列型紫外光固化光源系统[J]. 电子·激光,2007,18(11):1314—131. ZHAO Huan, XU Wen-hai, LU Yong-jun. An UV Curing Source System with LED Arrays[J]. Optoelectronics Laser, 2007, 18(11):1314—131.
- [2] STOWE R W. Key Factors in the UV Curing Process: The Relationship of Exposure Conditions and Measurement in UV Process Design and Process Control Part II: Lamp Systems[J]. Metal Finishing, 2006, 104(4):50—56.
- [3] 季栋梁. LED 在 UV 印刷方面的应用及发展动向[J]. 印刷杂志, 2010(5):56—58. JI Dong-liang. The Application and Development Trends of LED in UV Printing[J]. Printing Field, 2010(5):56—58.
- [4] 王锐. UVLED 技术在印刷领域的应用[J]. 今日印刷,

- 2013(11):61—62.
WANG Rui. Application of UVLED Technology in Printing [J]. Print Today, 2013(11):61—62.
- [5] STEPHEN B S. UV Commercialization of LED Curing [A]. Proceedings of RadTech Asia 2005, 2005:339—356.
- [6] HYO-SOOK J, YOUNG-JUN P, HYUN-SUNG D, et al. The Curing Performance of UV-curable Semi-interpenetrating Polymer Network Structured Acrylic Pressure-sensitive Adhesives [J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2007(7):575—588.
- [7] 包容, NSSON S J. UV 固化膜中逐层双键转化率分析的新方法 [C] // 全国辐射固化研讨会 2006 论文集. 广州, 2006:132—147.
BAO Rong, NSSON S J. A New Approach in Analyzing the Double Bond Conversion Using "Layer by Layer" Conversion in UV Cured Films [C] // Proceeding of 2006 National Radiation Curing Forum. Guangzhou, 2006:132—147.
- [8] 王海龙. 光固化过程控制及其膜性能评估 [EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/8d78b359be23482fb4da4ca6>, 2009.09.
WANG Hai-long. Light-curing Process Control and Membrane Performance Evaluation [EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/8d78b359be23482fb4da4ca6>, 2009.09.
- [9] 魏先福, 王娜, 黄蓓青, 等. 用紫外吸收光谱评价 UV 喷墨油墨颜料分散性 [J]. 北京印刷学院学报, 2010, 18(2):9—12.
WEI Xian-fu, WANG Na, HUANG Bei-qing, et al. Evaluation of the Pigment Dispersion of UV-curable Inkjet Ink Using UV Absorption Spectrum [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2010, 18(2):9—12.
- [10] 王娜. UV 喷墨油墨分散性及流变性能的研究 [D]. 北京:北京印刷学院, 2008.
WANG Na. Study on Dispersion and Rheological Behavior of the UV Inkjet Ink [D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2008.
- [11] 孙菁梅, 魏先福, 黄蓓青. 可食性喷墨油墨性能对印刷品质量的影响 [J]. 北京印刷学院学报, 2011, 20(4):6—8.
SUN Jing-mei, WEI Xian-fu, HUANG Bei-qing. Influence of the Viscosity of Edible Ink for Inkjet Printing on Drop State [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2011, 20(4):6—8.
- [12] 李小东, 龚修端, 陈路, 等. 胶印油墨粘度对印刷质量的影响研究 [J]. 包装工程, 2009, 30(5):60—62.
LI Xiao-dong, GONG Xiu-duan, CHEN Lu. Analysis of the Influence of Ink Viscosity on Offset Print Quality [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5):60—62.
- [13] 张婉. UV 喷墨油墨的研究 [D]. 北京:北京印刷学院, 2008.
ZHANG Wan. Study on UV Inkjet Ink [D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2008.
- [14] 杜晶晶, 陈洪, 汤建新. 紫外光固化油墨的应用现状和发展 [J]. 株洲工学院学报, 2006, 20(4):1—4.
DU Jing-jing, CHEN Hong, TANG Jian-xin. Application and Development of UV Curable Ink [J]. Journal of Zhuzhou Institute of Technology, 2006, 20(4):1—4.
- [15] 韩玄武. UV 油墨光引发剂与颜料匹配的研究 [J]. 包装工程, 2009, 30(4):48—50.
HAN Xuan-wu. Research on Matching between Photoinitiator and Pigment of UV Ink [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4):48—50.
- [13] LI Jin-quan, ZHU Su-xia, LEI Quan-sheng. Analysis on Influence Coefficient of Workspace of a Configuration Palletizing Robot [J]. Advanced Materials Research, 2012:2389—2392.
- [14] 商记中, 陈安平. 基于几何法的 3-PCR 平移并联分拣机器人工作空间研究 [J]. 包装工程, 2011, 32(17):80—83.
SHANG Ji-zhong, CHEN An-ping. Research on the Workspace of 3-PCR Translational Sorting Parallel Robot Based on Geometrical Method [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(17):80—83.
- [15] 陈光. 精通 MATLABGUI 设计 [M]. 北京:电子工业出版社, 2011.
CHEN Guang. Proficient In MATLABGUI Design [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011.
- [16] 郭勇, 王振林. 基于 MATLAB/GUI 的非线性包装系统破损边界计算软件设计 [J]. 包装工程, 2012, 33(17):57—59.
GUO Yong, WANG Zhen-lin. Development of Damage Boundary Computation Software for Nonlinear Packaging System Based on MATLAB/GUI [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17):57—59.
- [17] 侯和平, 李莎, 刘澎, 等. 基于 Matlab 软件的递纸机构运动特性分析软件的设计 [J]. 包装工程, 2008, 29(2):105—106.
HOU He-ping, LI Sha, LIU Peng, et al. Design of Motion Properties Analysis Software for Paper Gripper Mechanism Based on Matlab [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2):105—106.

(上接第 88 页)