

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.08.017

水性油墨连结料对 PVC 印刷耐光色牢度的影响

盘茂森¹, 谢志昆², 葛雅莉³, 叶子升¹, 黄赞木¹

(1. 广东石油化工学院机电工程学院, 广东茂名 525000; 2. 东莞市华立实业股份有限公司, 广东东莞 523561;

3. 广东石油化工学院化学工程学院, 广东茂名 525000)

摘要: 为了研究水性油墨连结料对聚氯乙烯 (PVC) 塑料耐光色牢度的影响, 采用乳液聚合法和共混法制备了水性丙烯酸树脂乳液和水性聚氨酯-丙烯酸树脂乳液两种水溶性树脂作为水性油墨连结料, 分别配制成水性油墨并印刷到 PVC 塑料表面。利用傅立叶变换红外光谱和扫描电子显微镜等检测手段分析了水性油墨连结料影响 PVC 塑料印刷耐光色牢度的原因。测试结果表明, 水性聚氨酯-丙烯酸树脂乳液配制的水性油墨在耐光色牢度、附着牢度、耐水性能方面都比水性丙烯酸树脂乳液配制的水性油墨更优秀; 而在细度、黏度、初干性、着色力、pH 值性能方面两者相同。水性聚氨酯-丙烯酸树脂乳液配制的水性油墨的耐光色牢度用灰色样卡等级进行评价, 其灰色样卡等级为 4 级, 色差为 1.7~1.9; 而水性丙烯酸树脂乳液配制的水性油墨的灰色样卡等级仅为 3~4 级, 色差为 2.5~3.4。

关键词: 水性油墨; 连结料; 耐光色牢度; 水性聚丙烯酸树脂; 水性聚氨酯-丙烯酸树脂

中图分类号: TQ322 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)08-0093-05

Influences of Water-based Ink Binder on Printing Color Fastness to Light of PVC

Pan Maosen¹, Xie Zhikun², Ge Yali³, Ye Zisheng¹, Huang Zanmu¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China;

2. Huali (Asia) Industries Co., Ltd., Dongguan 523561, China;

3. College of Chemical Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China)

Abstract: In order to research the influences of water-based ink binder on the color fastness to light of PVC, both waterborne polyacrylic resin emulsion and waterborne polyurethane-acrylate resin emulsion were prepared by emulsion polymerization and blending method. These two types of waterborne resins used as binders were made into water-based ink and then printed on the surface of PVC, respectively. Testing methods, such as Fourier transformation infrared spectroscopy and scanning electron microscope and so on, were measured to pursue the influences of water-based ink binder on the color fastness to light of PVC plastic printing. The results indicate that waterborne polyurethane-acrylate resin emulsion ink has more excellent properties such as color fastness to light, adhesion and water resistance than waterborne polyacrylic resin emulsion ink. While both have the same properties, e. g. fineness, viscosity, initial dryness, tinting strength and pH value. The color fastness to light of waterborne polyurethane-acrylate resin emulsion ink is evaluated by grey card grade, the grey card grade is 4 grade and chromatic aberration is between 1.7~1.9. For waterborne polyacrylic resin emulsion, the grey card grade is only 3~4 grade and chromatic aberration is 2.5~3.4.

Keywords: water-based ink; binders; color fastness; waterborne polyacrylic resin; waterborne polyurethane-acrylate

随着社会进步和人们环保意识的增强, 水性油墨在印刷、油墨行业备受关注^[1-2]。水性油墨由于具有非常低的有机挥发物 (VOCs)、绿色环保、安全等

优点而被越来越多地应用于纸张、食品、医药包装印刷等行业^[3-5], 是目前印刷油墨中唯一经过美国食品药品协会认可的无毒油墨^[6]。但是, 在以聚氯乙烯

基金项目: 广东省科技计划项目 (2017ZC0347), 茂名市科技计划项目 (201531), 广东省橡塑材料制备与加工工程技术研究中心项目 (2015B090903083), 广东石油化工学院人才引进项目 (2015rc01)

通讯作者: 葛雅莉, 硕士, 实验师, 主要从事水性油墨印刷研究 E-mail: 434336743@qq.com

收稿日期: 2018-05-23

引用格式: 盘茂森, 谢志昆, 葛雅莉, 等. 水性油墨连结料对 PVC 印刷耐光色牢度的影响 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(8): 93-97, 109.

Pan Maosen, Xie Zhikun, Ge Yali, et al. Influences of water-based ink binder on printing color fastness to light of PVC[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8): 93-97, 109.

(PVC) 塑料薄膜、片材材质为主流的凹版印刷领域才刚刚起步^[7]。这主要是因为水性油墨在 PVC 等塑料表面印刷仍存在耐光色牢度差、附着力差、干燥慢、印刷有暗影、光泽度差以及容易出现小白点等缺陷,以致无法全面推广应用^[1,8]。

水性油墨是以水为溶剂或分散剂的油墨,其主要由连接料、颜料和助剂等组成^[9-10]。被誉为油墨“心脏”的水性油墨连接料是解决上述问题的技术关键。水溶性树脂连接料是水性油墨的常用连接料,其一般使用高酸值的合成树脂,再经过可挥发性的胺化试剂中和成盐^[11-13]。目前对水性油墨连接料的研究主要集中在合成改性方面,如 Duan Yufeng 等^[5]用丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸、羟丙基丙烯酸酯和双丙酮丙烯酸酰胺作单体,己二酸二酰肼作交联剂,通过室温下自交联反应合成了用于水性油墨的水性丙烯酸树脂。以此树脂配制的水性油墨在聚乙烯(PE)塑料基材印刷,实验结果表明,它具有吸水率低、成膜性好和附着牢度高等优点。此外,还有很多学者对水性油墨连接料的热稳定性、耐水性、附着牢度、干燥速率、复溶性、硬度、抗冲击力和耐溶剂性等性能进行了研究。雷亮等^[6]采用对称结构的二异氰酸酯、小分子扩链剂和聚酯多元醇制备了高固含量的水性聚氨酯,并获得较好的耐水性和干燥速率,同时其热稳定性和附着牢度也较好。来水利等^[14]则采用自由基溶液聚合法和半连续滴加方式制备了水性羟基丙烯酸树脂,并研究了影响树脂黏度的关键因素,考察了双组分聚氨酯连接料在硬度、耐冲击力、耐溶剂性等方面的性能。从现有的文献资料看,对于水性油墨连接料对塑料印刷中耐光色牢度影响方面的研究却凤毛麟角。谢志昆^[8]虽然研究了 PVC 封边条印刷中水性油墨对耐光色牢度的影响,但是却没有分析影响耐光色牢度的原因,更没有往水性油墨连接料方面深入挖掘。因此,对水性油墨连接料对 PVC 塑料印刷的耐光色牢度影响进行研究具有重要意义。

笔者以丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸等为单体,采用乳液聚合法制备水性丙烯酸树脂乳液,再通过水性聚氨酯对其进行改性制成水性聚氨酯-丙烯酸树脂乳液。将两种水溶性树脂作为连接料分别配制成水性油墨并印刷在 PVC 塑料表面。对比分析了两种水性油墨连接料在 PVC 塑料表面印刷中耐光色牢度的差异,并从微观结构上分析了原因。

1 实验部分

1.1 主要原材料

丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸、甲基丙烯酸:化学纯,纯度 $\geq 99.5\%$,广州双键贸易有限公司;

苯乙烯:化学纯,纯度 $\geq 99.5\%$,上海沪宇生物科技有限公司;

过硫酸铵、焦磷酸钠、碳酸氢钠、十二烷基硫酸钠、氨水:分析纯,纯度 $\geq 90.0\%$,广州化学试剂厂;

水性聚氨酯:PU-6011,广州市华驰化工有限公司;

氧化铁红 130、有机黄 151:东莞市安然化工有限公司;

UV 光油:UV-095,佛山市顺德区希贵化工有限公司;

水性油墨消泡剂:W-640,佛山稀贵化工有限公司;

PVC 底材:白色,0.2 mm,东莞市华立实业股份有限公司;

实验室三级水:东莞市华立实业股份有限公司;

刮样纸:80 g/cm²,东莞伟达仪器有限公司。

1.2 主要仪器及设备

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪:Tensor 27 型,德国 Bruker 公司;

扫描电子显微镜 (SEM):JSM-6490LA 型,日本 JEOL 公司;

平板式氙灯老化箱:SUNTEST XXL+ 型,美国 ATLAS 公司;

D65 标准对色灯箱:Verivide CAC60 型,英国 Verivide 公司;

展色仪:NB229T 型,中山市诺邦机械设备有限公司;

便携式分光测色仪:CM2300 型,日本 Konik-Minolta 公司;

印刷机:FRB842 型,滨州泰诺机械制造有限公司;

刮板细度仪:QXP 0-50 型,深圳市三诺电子仪器有限公司;

胶粘带压滚机:YGJ-02 型,济南兰光机电技术有限公司;

圆盘剥离试验机:BLD-02 型,济南兰光机电技术有限公司;

便携式 pH 计: PHB-1 型,上海三信仪表厂;

电子天平: FA2004B 型,上海精科天美科学仪器有限公司;

察恩杯: 4[#],广州市德钦电子科技有限公司。

1.3 水性油墨的配制

用丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸、甲基丙烯酸、苯乙烯无色透明液体,过硫酸铵、焦磷酸钠、碳酸氢钠白色粉末,十二烷基硫酸钠、水性油墨消泡剂、实验室三级水、氨水等为原材料,根据参考文献[14-16]配制水性丙烯酸树脂乳液(简称 PA 乳液)。用乳液 PA、水性聚氨酯、十二烷基硫酸钠、实验室三级水、水性油墨消泡剂、氨水等为原材料,参考文献[17-18]中的方法制备水性聚氨酯-丙烯酸树脂乳液(简称 PUA 乳液)。

按照表 1 中两种方案配制水性油墨,其中 PA 乳液作连结料配制的水性油墨简称 WPA,用 PUA 乳液作连结料配制的水性油墨简称 WPUA。最终的水性油墨 pH 值用氨水调制在 8.0~9.0 之间。

表 1 水性油墨配制方案

WPA		WPUA	
化学组成	比例	化学组成	比例
乳液 PA	35%~45%	乳液 PUA	38%~46%
氧化铁红或有机黄	7%~14%	氧化铁红或有机黄	7%~17%
实验室三级水	35%~45%	实验室三级水	35%~45%
氨水	2%~4%	氨水	1%~2%
水性油墨消泡剂	1%~2%	水性油墨消泡剂	1%~2%

1.4 水性油墨在 PVC 表面印刷

称量 2 kg 配制好的水性油墨,加入稀释剂调整色浓度,称量 1 kg UV 光油分别倒入印刷机的两组装墨槽中。将一卷 30 m 长 PVC 底材装在印刷机的放卷机上,PVC 底材经过印刷机的去静电装置预处理,进入印刷辊印刷,接着经过干燥辊筒干燥(约 60℃),然后经过第二组印刷辊过 UV 光油,再经过干燥辊筒干燥(约 60℃),最后引入收卷装置,即得到成品。具体工艺流程如图 1 所示。印刷完毕,根据实际需要分切成 A4 纸大小,供性能测试使用。

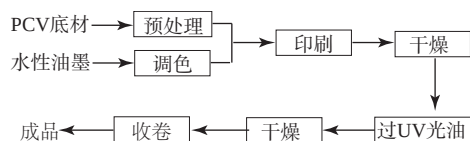


图 1 水性油墨印刷过程流程图

1.5 性能测试

水性油墨的细度按照 GB/T 13217.3-2008 测试。

液体油墨黏度按照 GB/T 13217.4-2008 测试。将油墨装满 4[#] 察恩杯,然后打开底部小孔,用秒表计时漏完油墨的时间,此时间即可代表该油墨的黏度。

液体油墨初干性是指一定温度、湿度的油墨在刮板挥发 30 s 时从刮板反印到刮样纸上,测量刮样纸未着墨部分的长度,此长度的长短反映出油墨干燥的快慢。按照 GB/T 13217.5-2008 测试。

液体油墨着色力是指将试样油墨用白墨冲淡至与标准油墨墨色、面色一致需要用的白墨量占标准油墨所用白墨量的百分比值。按照 GB/T 13217.6-2008 测试。

液体油墨附着牢度是指将油墨印刷到底材上,用胶带粘贴后剥下来,保留的油墨层的格数占油墨层格数与被剥离油墨层格数之和的百分比。按照 GB/T 13217.7-2009 测试。

耐水性按照 ASTM D2247-2015 测试。耐水性分为 5 个等级,1 级最差,5 级最好。

pH 值测试:直接将准备好的水性油墨倒入便携式 pH 计的测试管中测试 pH 值。

水性油墨的耐光色牢度和色差测试:参考 GB/T 15102-2006 对试样进行暴晒试验,试验结束后根据 GB/T 250-2008 用灰色样卡等级对试样进行耐光色牢度评价,同时使用便携式分光测色仪测定试样的色差值。

FTIR 测试:扫描范围 500~4000 cm⁻¹,分辨率 4 cm⁻¹,扫描次数 16 次。

SEM 分析,加速电压 30 kV,用 SEM 对样品表面进行分析。

2 结果与讨论

2.1 水性油墨基础性能分析

对配制好的 WPA 和 WPUA 两种使用不同连接料的水性油墨进行基础性能测试,研究两种水性油墨在细度、黏度、初干性、着色力、pH 值、附着牢度和耐水性方面的性能差异,测试结果列于表 2。从表 2 可以看出,WPA 的细度在 0.2~5.0 μm 之间,黏度为 10~30 s,初干性为 15~17 mm,着色力为 45%~60%,pH 值为 8.0~9.0,附着牢度为 70%~90%,耐水性为 4 级。而 WPUA 的细度、黏度、初干性、着色力和 pH 值与 WPA 相同。但是,WPUA 的附着牢度为 75%~95%,耐水性是 5 级,比 WPA 更好。说明采用 WPUA 在 PVC 塑料表面印刷时结合力更强,耐水性更好。原因主要在于水性聚氨酯

O—H, C—N—H, C—N 以及杂原子的变形振动或弯曲振动出现宽吸收峰和尖细吸收峰^[19-20]。但是 WPA 在 3350 cm^{-1} 处出现强吸收峰,其对应的 N—H 是没有能力连接染色离子或基团的。而在 2932 cm^{-1} 和 2856 cm^{-1} 处有可能连接染色离子或基团的—CH₂—却表现出弱吸收峰,说明 WPA 对染色离子或基团的键合能力没有 WPUA 强,所以导致光照容易褪色。相反, WPUA 在 2932 cm^{-1} 和 2856 cm^{-1} 处却表现出很强的吸收峰,说明水性聚氨酯—丙烯酸树脂乳液连接料对颜料染色离子或基团的键合能力较强,需要很大的能量才能将染色离子或基团破坏,意味着它具有更好的耐光照能力,亦即耐光色牢度更好,灰色样卡等级更高。同样, WPA 在 1502 cm^{-1} 和 $1105\sim 1250\text{ cm}^{-1}$ 处容易吸收染色离子或基团的吸收峰均比较弱,导致 WPA 的耐光色牢度或灰色样卡等级不如 WPUA 高。

由图 3 可以看出。两种不同连结料制备的水性油墨的微观表面有较大差异。WPA 的微观表面有凹凸不平的颗粒,粒径在 $300\sim 1000\text{ nm}$ 之间。而 WPUA 的微观表面则非常平整致密,几乎看不到粗大的颗粒。基于这一事实,可以做以下假想:当太阳光照射到水性油墨表面时,因为 WPUA 中的颜料颗粒非常小,表面平整致密,相同时间内单位面积接收到的光能量要比 WPA 的少,相同时间内辐照能量让颜料脱去染色粒子的可能性更低,因而提高了 WPUA 的灰色样卡等级,其耐光色牢度好。而 WPA 中的颗粒较粗大并且凸出,相对于单位面积受到的光能量较多,在同样的日晒时间内会接收到更多的光能量,因而更容易使颜料脱去染色离子,降低了 WPA 的灰色样卡等级,其耐光色牢度不如 WPUA 的好。另外,致密平整的表面层有助于提高水性油墨的耐水性和附着牢度,这也再次印证了 WPUA 的附着牢度、耐水性都比 WPA 好。

3 结论

采用乳液聚合法和共混法制备了 PA 和 PUA 两种水溶性树脂乳液作为水性油墨连接料,分别配制成水性油墨并印刷到 PVC 塑料表面。两种不同连接料水性油墨的细度、黏度、初干性、着色力、pH 值相同,但在附着牢度、耐水性方面, WPUA 的性能比 WPA 的更好。无论是用有机黄颜料还是氧化铁红颜料, WPUA 用于 PVC 塑料表面印刷时的灰色样卡等级为 4 级,色差为 $1.7\sim 1.9$; WPA 的灰色样卡等级为 3~4 级,色差为 $2.5\sim 3.4$, WPUA 用于

PVC 塑料表面印刷时的耐光色牢度比 WPA 好。

参考文献

- [1] 甘长风,徐群娜,周建华,等.聚丙烯酸酯类乳液型水性油墨连接料的研究进展[J].材料导报,2013(11):89-92.
Gan Changfeng, Xu Qunna, Zhou Jianhua, et al. Research progress of polyacrylate emulsion type binders for water-borne printing ink[J]. Materials Review, 2013(11):89-92.
- [2] 熊华玉,包婷,文为,等.水基油墨聚合物连接料的研究进展[J].胶体与聚合物,2016,34(2):82-84.
Xiong Huayu, Bao Ting, Wen Wei, et al. Research progress of polymers binder for water-based ink[J]. Chinese Journal of Colloid & Polymer, 2016, 34(2):82-84.
- [3] Wang Hailin, Nie Lie, Li Jing, et al. Characterization and assessment of volatile organic compounds (VOCs) emissions from typical industries[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(7):724-730.
- [4] Majee S, Liu Chenjuan, Wu Biao, et al. Ink-jet printed highly conductive pristine graphene patterns achieved with water-based ink and aqueous doping processing[J]. Carbon, 2017, 114:77-83.
- [5] Duan Yufeng, Huo Yandong, Duan Li. Preparation of acrylic resin modified with epoxy resin and their behaviors as binders of waterborne printing ink on plastic film[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2017, 535(20):225-231.
- [6] 曹亮,夏正斌,杨涛,等.水性聚氨酯油墨连接料的关键性能分析[J].中国胶粘剂,2015,24(7):54-58.
Lei Liang, Xia Zhengbin, Yang Tao, et al. Analysing key properties of waterborne polyurethane ink binder[J]. China Adhesives, 2015, 24(7):54-58.
- [7] Ramirez J C C, Tumolva T P. Analysis and optimization of water-based printing ink formulations for polyethylene films[J]. Applied Adhesion Science, 2018, doi:10.1186/s40563-017-0102-z.
- [8] 谢志昆.水性油墨在PVC封边条印刷中耐光色牢度研究[J].广东化工,2016,43(24):64-65.
Xie Zhikun. Study on the color fastness of water based ink in printing the surface of PVC edge banding[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(24):64-65.
- [9] 王小芳,李昭,孙建明.环保水性油墨制备技术与应用现状分析[J].科学技术与工程,2017,17(15):167-175.
Wang Xiaofang, Li Zhao, Sun Jianming. Research on synthesis technology and application of environment-friendly water-based ink[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(15):167-175.
- [10] 葛雅莉,盘茂森,安哲.水性油墨连接料的研究现状[J].广东化工,2016,44(16):278,254.
Ge Yali, Pan Maosen, An Zhe. The research status of the connection material for waterborne ink[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 44(16):278,254.
- [11] Żołek-Tryznowska Z, Tryznowski M, Królikowska J. Hyperbranched polyglycerol as an additive for water-based printing ink[J].

- [7] Roelofs J C, Van Bokhoven J A, Van Dillen A J, et al. The thermal decomposition of Mg-Al hydrotalcites: Effects of interlayer anions and characteristics of the final structure[J]. Chemistry, 2015, 8(24):5 571-5 579.
- [8] Grand L M, Palmer S J, Frost R L. Synthesis and thermal stability of hydrotalcites based upon gallium[J]. Journal of Thermal Analysis & Calorimetry, 2010, 101(1):195-198.
- [9] 施燕琴. 聚丙烯/插层改性水滑石纳米复合材料研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2009.
- Shi Yanqin. Study on polypropylene / intercalated LDHs nanocomposites[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2009.
- [10] 赵维, 李玉红. 马来酸根离子柱撑水滑石的超分子结构插层组装及表征[J]. 科技导报, 2009(20):65-68.
- Zhao Wei, Li Yuhong. Intercalation assembly and characterization of the supramolecular structure of maleic acid anions column pillared layered double hydroxides[J]. Science and Technology Review, 2009(20):65-68.
- [11] 毕付英. 丙烯酸调控水滑石结构及接枝反应制备聚丙烯/水滑石复合材料[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
- Bi Fuying. Preparation of PP / LDH nanocomposites with AA modified LDH[D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- [12] 杨旭宇, 陈建文. 石墨烯/聚丙烯复合材料的等温结晶动力学研究[J]. 塑料科技, 2012(10):36-39.
- Yang Xuyu, Chen Jianwen. Study on isothermal crystallization kinetics of PP / reduced graphene oxide composites[J]. Plastics Science and Technology, 2012(10):36-39.
- [13] 杨红艳, 刘江, 周晓红, 等. 水滑石与 β 成核剂复配改性等规PP的等温结晶动力学[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(1):93-97.
- Yang Hongyan, Liu Jiang, Zhou Xiaohong, et al. Isothermal crystallization kinetics of layered double hydroxides / β nucleating agent modified isotactic polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(1):93-97.
- [14] 聂思, 支景鹏, 秦军, 等. 己二酸/无水硫酸钙晶须改性PP的等温结晶动力学[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(10):92-97.
- Nie Si, Zhi Jingpeng, Qin Jun, et al. Isothermal crystallization kinetics of adipic acid and calcium sulfate whiskers modified polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(10):92-97.
- [15] Avrami M. Kinetics of phase change. I General theory[J]. Journal of Chemical Physics, 1939, 7(12):1 103-1 112.
- [16] Schwaab M, Pinto J C. Optimum reference temperature for parameterization of the Arrhenius equation. Part 1: Problems involving one kinetic constant[J]. Chemical Engineering Science, 2007, 62(10):2 750-2 764.
-
- (上接第 97 页)
- Journal of Coatings Technology and Research, 2015, 12(2):385-392.
- [12] Tryznowski M, Żolek-Tryznowska Z, Izdebska-Podsiadły J. The wettability effect of branched polyglycerols used as performance additives for water-based printing inks[J]. Journal of Coatings Technology and Research, 2018, 15(3):649-655.
- [13] Pi Pihui, Chen Xi, Wen Xiufang, et al. Preparation and characterization of ambient-temperature self-crosslinkable water-soluble acrylic resin for PE film ink[J]. Journal of Coatings Technology and Research, 2016, 13(1):73-80.
- [14] 来水利, 王晶丽, 李文韬, 等. 水性羟基丙烯酸树脂的合成及其性能研究[J]. 热固性树脂, 2016, 31(1):1-5.
- Lai Shuili, Wang Jingli, Li Wentao, et al. Study on the synthesis and properties of water-borne hydroxyl acrylic resin [J]. Thermo-setting Resin, 2016, 31(1):1-5.
- [15] 龙小柱, 王利军, 李海洋, 等. 水性油墨用水性丙烯酸树脂的研制[J]. 应用化工, 2015, 44(12):2 293-2 296.
- Long Xiaozhu, Wang Lijun, Li Haiyang, et al. The research of water-based acrylic resin in water-based ink[J]. Applied Chemical Industry, 2015, 44(12):2 293-2 296.
- [16] 徐然. 水性丙烯酸树脂的设计合成及应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- Xu Ran. Synthesis and application of the two-component water-borne polyurethane[D]. Changsha: Hunan University, 2014.
- [17] 雷远志, 万俊亮, 李会宁, 等. 聚氨酯固化丙烯酸酯型与水性PVDF的共混相容性研究[J]. 涂料工业, 2018, 48(4):20-25.
- Lei Yuanzhi, Wan Junliang, Li Huining, et al. Miscibility in blends of polyurethane cured acrylic resin and waterborne PVDF[J]. Paint & Coatings Industry, 2018, 48(4):20-25.
- [18] 雷亮. 塑料薄膜印刷用水性聚氨酯油墨连接料的制备及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- Lei Liang. Research on the preparation and properties of water-borne polyurethane ink binder used for the plastic film printing[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [19] Romo-Urbe A, Santiago-Santiago K, Zavala-Padilla G, et al. Waterborne layered silicate / acrylate nanocomposites by in-situ emulsion polymerization: Thermal and mechanical reinforcement[J]. Progress in Organic Coatings, 2016, 101:59-70.
- [20] Xu Jicheng, Jiang Yan, Zhang Tao, et al. Synthesis of UV-curing waterborne polyurethane-acrylate coating and its photopolymerization kinetics using FT-IR and photo-DSC methods[J]. Progress in Organic Coatings, 2018, 122:10-18.