http://pmse.scu.edu.cn

聚碳酸亚丙酯型水性聚氨酯丝网印刷油墨的制备

赵明明[1,2]，钱鹏号[1,2]，黄毅萍[1,2]，熊潜生[1,2]，鲍俊杰[1,2]

(1.安徽大学 化学化工学院，安徽 合肥 230601；2.安徽省绿色高分子材料重点实验室 水基高分子材料安徽省工程技术研究中心，安徽 合肥 230601)

摘要：采用以CO_2为原料制备的聚碳酸亚丙酯二醇(PPCD)为软段、异佛尔酮二异氰酸酯(IPDI)等为硬段制备水性聚氨酯(WPU)乳液，再将WPU乳液与颜料、助剂等混合制备了系列聚碳酸亚丙酯型水性聚氨酯丝网印刷油墨。通过红外光谱、力学性能、热重分析、附着牢度等测试分析了样品的结构与性能。结果表明，当IPDI中异氰酸酯基团和PPCD中羟基的摩尔比n(NCO):n(PPCD-OH)为4:1时制备的样品WPU-2综合性能最佳，拉伸强度为22.8 MPa，断裂伸长率为645%，24 h吸水率为27.6%，在PET薄膜上的附着牢度为100%。使用WPU-2制备的水性聚氨酯油墨均具有优异性能，其中水性颜料质量分数为13.9%的丝印油墨样品Ink-3综合性能最佳，其在PET薄膜上的附着牢度为100%，置于去离子水中24 h不溶解，60°入射角光泽度为79GU，印刷品清晰且颜色鲜艳。

关键词：聚碳酸亚丙酯二醇；丝网印刷；水性聚氨酯；油墨

中图分类号：TS802.3 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-7555(2025)04-0105-09

丝网印刷是利用丝网、油墨与刮板将图形设计模板印制在各类基材上的技术，具有使用方便、用途广泛等特点，广泛应用于塑料、电容器、线路板等领域[1~4]。目前应用于丝网印刷的油墨有聚氨酯类、丙烯酸类、环氧树脂类等[5~7]，但传统油墨大多为溶剂型，大量有机溶剂的使用会对环境造成影响，开发综合性能优异的环保型油墨是丝网印刷领域的主要发展方向之一[8]。

水性聚氨酯(WPU)几乎不含挥发性有机物(VOCs)，具有附着牢度大、力学性能好、绿色环保等优点，可用于环保水性油墨的制备[9]。Zhang等[10]采用聚酯多元醇合成了水性油墨用WPU乳液，探究了硬段含量对WPU在双向拉伸聚丙烯(BOPP)膜上T-剥离强度的影响，制备了T-剥离强度为2.05 N/15 mm的水性油墨。Liang等[11]分别采用二羟甲基丙酸(DMPA)和二羟甲基丁酸(DMBA)合成了WPU乳液，发现DMBA制备的WPU乳液粒径更小，胶膜拉伸强度和断裂伸长率更高，但耐水性和热稳定性相比于DMPA制备的WPU乳液差。目前合成水性聚氨酯大多采用不可再生的石油基原料，为了进一步提高材料的可再生性，采用以CO_2为原料制备的聚碳酸亚丙酯(PPCD，CO_2质量分数在25%~30%)为软段合成聚氨酯更符合绿色环保的要求[12]。谢正斌等[13]采用PPCD合成了超支化水性聚氨酯(HWPU)，探究发现其拉伸强度高于聚四氢呋喃醚二醇(PTMG)型HWPU，断裂伸长率高于聚己二酸-1,4-丁二醇酯二醇(PBA)型HWPU，PPCD型超支化水性聚氨酯具有优良的力学性能。Ma等[14]采用聚碳酸亚丙酯二醇合成了水性聚氨酯(PPC-WPU)，发现PPC-WPU胶膜吸水率比聚丙二醇型水性聚氨酯(PPG-WPU)低，且相比于PPG-WPU和聚四氢呋喃醚二醇型水性聚氨酯(PTMG-WPU)胶膜，PPC-WPU胶膜具有更好的耐酸性和耐碱性。PPCD型聚氨酯材料具有良好的耐水和力学等性能[15]，在聚氨酯胶黏剂和聚氨酯弹性体等的制备中应用较多，但在油墨中应用的研究报道相对较少。

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2025.0065
收稿日期：2024-04-09
通讯联系人：鲍俊杰，主要从事聚氨酯研究，E-mail: baoahu@qq.com

Tab. 1 Preparation formulations of different waterborne polyurethanes

Sample	*n*(NCO): *n*(PPCD-OH)	*m*(PPCD)/g	*m*(IPDI)/g	*m*(DMPA)/g	*m*(BDO)/g	*V*(TEA) /mL
WPU-1	3:1	40	8.89	1.88	0.81	1.94
WPU-2	4:1	40	11.86	2.01	1.80	2.08
WPU-3	5:1	40	14.82	2.14	2.88	2.21
WPU-4	6:1	40	17.78	2.28	3.87	2.35
WPU-5	7:1	40	20.75	2.41	4.86	2.49

本文以CO_2基聚碳酸亚丙酯二醇为原料制备WPU，并探讨IPDI中异氰酸酯基和PPCD中羟基的比例对WPU性能的影响，选择性能最佳的WPU乳液加入颜料、分散剂、增稠剂和消泡剂等进行共混，制备出具有附着牢度高且耐水性好的聚碳酸亚丙酯二醇型水性聚氨酯油墨，为新型环保丝网印刷油墨的制备提供理论依据。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

聚碳酸亚丙酯二醇：规格PPCD 531，相对分子质量为3000，工业级，惠州大亚湾达志精细化工有限公司；异佛尔酮二异氰酸酯（IPDI）：工业级，徐州熠辉扬新材料有限公司；二羟甲基丙酸、1，4-丁二醇（BDO）：分析纯，上海麦克林生化科技有限公司；有机铋催化剂（MC-710）：工业级，北京佰源化工有限公司；三乙胺（TEA）、无水乙醇（EA）、异丙醇（IPA）：分析纯，成都市科隆化学品有限公司；丙酮（AC）：分析纯，国药集团化学试剂有限公司；分散剂（D045）、增稠剂（D002）、消泡剂（D65）：工业级，东莞市好又多新材料有限公司；水性涂料色浆（8111 大红）：工业级，河北邢台恒基新材料科技有限公司。

傅里叶变换红外光谱仪：Vertex80型，德国布鲁克公司；纳米激光粒径仪：ZS90型，英国马尔文公司；微机控制电子万能试验机：WDW-5型，济南天辰试验机制造有限公司；水接触角测量仪：SDC-100型，东莞市晟鼎精密仪器有限公司；热重分析仪：TGA5500型，美国TA公司；多角度光泽仪：JFL-B206085型，天津金孚伦科技有限公司。

1.2 水性聚氨酯连接料的制备

将真空脱水后的PPCD与IPDI在三口烧瓶中90 ℃反应3 h，之后加入一定量的DMPA和BDO，在80 ℃继续反应1 h，然后加入催化剂MC-710，65 ℃左右反应4 h，催化反应期间加入适量丙酮。反应到达终点后，降至室温，高速剪切下加入TEA中和反应5 min，转入乳化桶，加入去离子水高速剪切乳化，最后将乳液真空脱去丙酮，制得WPU。改变IPDI中异氰酸酯基和PPCD中羟基的摩尔比，*n*(NCO):*n*(PPCD-OH)比值分别为3:1，4:1，5:1，6:1和7:1制备系列WPU，将得到的乳液样品依次命名为WPU-1，WPU-2，WPU-3，WPU-4和WPU-5，制备原料及用量如Tab.1所示，制备路线如Fig.1所示。

1.3 水性聚氨酯油墨的配制

取适量WPU乳液于烧杯中，依次加入乙醇、异丙醇、分散剂、水性颜料、增稠剂和消泡剂进行搅拌分散，分散均匀后即制得水性聚氨酯油墨。根据添加不同比例的水性颜料制备系列水性油墨，依次命名为Ink-1，Ink-2，Ink-3，Ink-4和Ink-5，制备原料及用量如Tab.2所示。

1.4 测试与表征

1.4.1 红外光谱表征：使用傅里叶变换红外光谱仪（FT-IR）扫描并记录胶膜600~4000 cm^{-1}范围内的光谱，分辨率为2 cm^{-1}，扫描32次。

1.4.2 粒径测试：用去离子水将乳液稀释至固含量为0.3%，使用激光粒径仪进行测试，每个样品测试3次取平均值。

1.4.3 固含量测试：取锡纸盒称量记为m_0，盒内倒入适量乳液后称量记为m_1，放入烘箱内120 ℃烘干

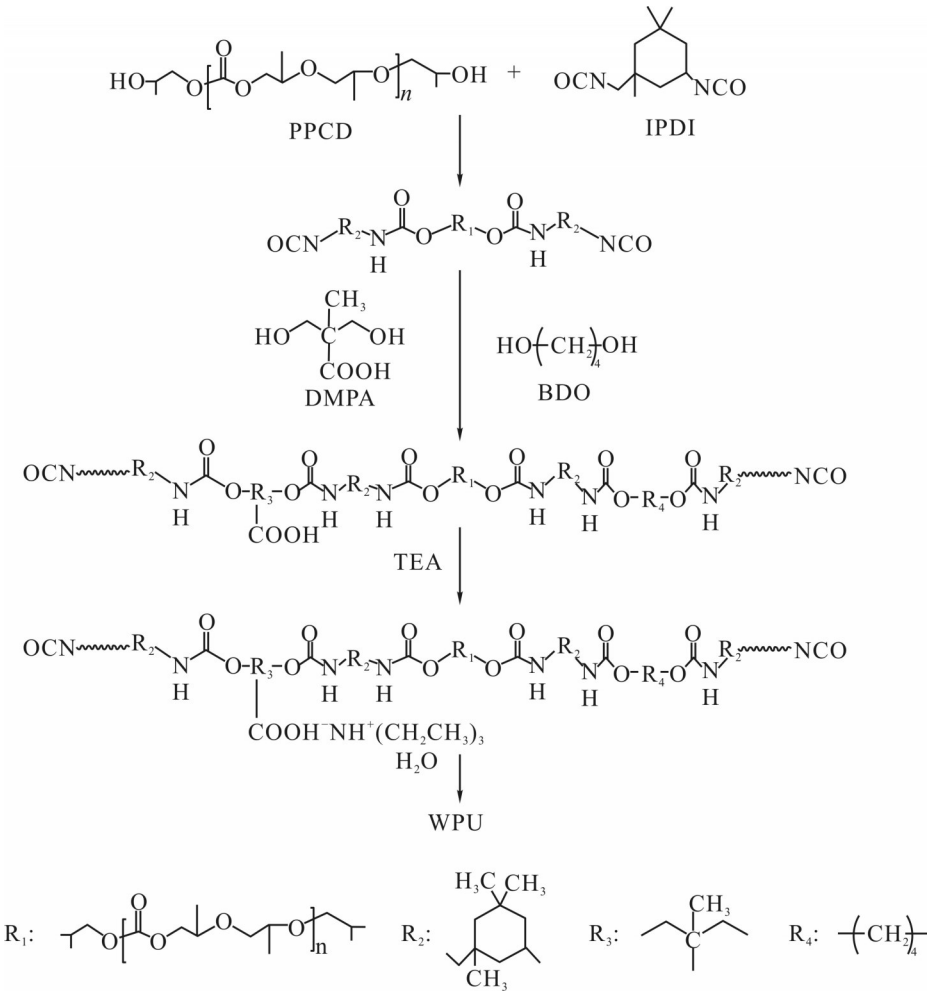


Fig. 1 Synthetic route of waterborne polyurethane

Tab. 2 Preparation formulations of different waterborne polyurethane inks

Sample	*m*(WPU)/g	*m*(Pigment)/g	*m*(EA)/g	*m*(IPA)/g	*m*(D045)/g	*m*(D002)/g	*m*(D65)/g
Ink-1	40	3	10	1.6	0.6	3	0.6
Ink-2	40	6	10	1.6	0.6	3	0.6
Ink-3	40	9	10	1.6	0.6	3	0.6
Ink-4	40	12	10	1.6	0.6	3	0.6
Ink-5	40	15	10	1.6	0.6	3	0.6

2 h,称量记为m_2,按照式(1)计算固含量(S),

$$S=\frac{m_2-m_0}{m_1-m_0} \tag{1}$$

1.4.4 力学性能测试:根据国标GB/T 1040.1—2018,裁取20 mm×4 mm×0.5 mm哑铃型样条,设置电子万能试验机拉伸速率为100 mm/min,每个样条测试3次取平均值。

1.4.5 接触角测试:使用接触角测试仪记录胶膜的水接触角。每个样品测试3次取平均值。

1.4.6 吸水率测试:剪取1 cm×1 cm胶膜方块,放入烘箱100 ℃烘干4 h,称量记为m_0,放入去离子水浸泡24 h,擦干表面水分后,称量记为m_1,按照式(2)计算吸水率(W),

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (2)$$

1.4.7 油墨耐水测试：取油墨涂在电晕处理的PET薄膜上，墨层厚度为75 μm，放入烘箱100 ℃烘干4 h。将墨膜的1/2放置在去离子水中浸泡24 h，对比墨膜浸泡与未浸泡部分的颜色变化及去离子水颜色变化情况。

1.4.8 附着牢度测试：根据国标GB/T 13217.7-2009，取样品涂在电晕处理的PET薄膜上，墨层厚度为75 μm，放入烘箱100 ℃烘干4 h。将3M胶带粘连在墨层表面后揭开胶带。计油墨覆盖格数为A_1，被揭开格数为A_2，按照式(3)计算附着牢度(A)，

$$A = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \quad (3)$$

1.4.9 热重分析：氮气气氛下，将样品以10 ℃/min的升温速率从30 ℃升温至600 ℃，记录质量变化。

1.4.10 光泽度测试：室温使用光泽度仪对墨层表面进行测量。每个样品选用3个不同位置测试60°的光泽度，结果取平均值。

2 结果与讨论

2.1 红外光谱分析

Fig.2为系列水性聚氨酯胶膜的FT-IR图。如Fig.2所示，WPU-1~WPU-5的红外光谱吸收峰位置基本一致。其中，游离态氨基甲酸酯的—NH—吸收峰应位于3450 cm^{-1}，而图中出现在3326 cm^{-1}处，这是因为在氢键化作用下发生了偏移；2860~2980 cm^{-1}处为$—CH_3$和$—CH_2$的吸收振动峰；2270 cm^{-1}左右—NCO的伸缩振动峰消失，说明异氰酸酯反应完全；1700 cm^{-1}左右出现的峰为碳酸酯键和氨基甲酸酯中—C=O伸缩振动峰的重叠峰[16]；1235 cm^{-1}处出现的峰是碳酸酯键中C—O的伸缩振动峰；1043 cm^{-1}处出现的峰为PPCD中C—O—C的伸缩振动峰。红外测试结果说明实验合成了PPCD型水性聚氨酯。

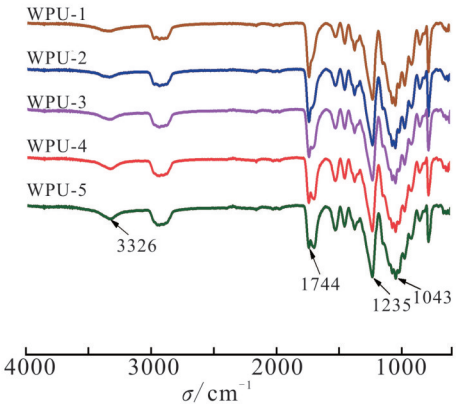


Fig. 2 FT-IR spectra of WPUs

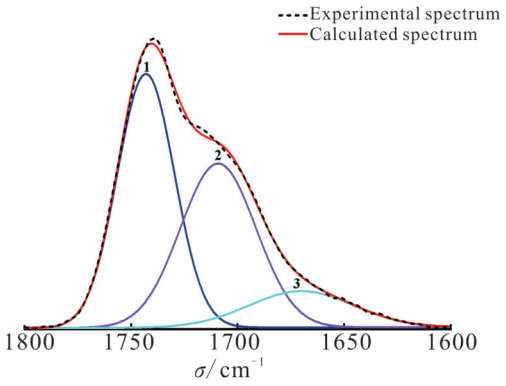


Fig. 3 Deconvolution of C=O of WPU-1
1: free C=O; 2: disordered hydrogen bonded C=O; 3: ordered hydrogen bonded C=O

Fig.3为WPU-1在1600~1800 cm^{-1}区间内羰基吸收峰的分峰拟合曲线，其中1743 cm^{-1}处为游离羰基吸收峰，1709 cm^{-1}处为无序氢键化羰基吸收峰，

Tab. 3 Absorption area fraction of different C=O bands

Sample	Free C=O		Disordered hydrogen bonded C=O		Ordered hydrogen bonded C=O	
	σ/cm^{-1}	Peak area/%	σ/cm^{-1}	Peak area/%	σ/cm^{-1}	Peak area/%
WPU-1	1743	47.3	1709	40.4	1670	12.3
WPU-2	1743	39.2	1706	54.0	1653	6.8
WPU-3	1744	32.4	1705	62.1	1650	5.5
WPU-4	1745	29.3	1703	66.8	1643	3.9
WPU-5	1745	25.7	1702	70.5	1644	3.8

1670 cm^{-1}处为有序氢键化的羰基吸收峰[17]。WPU-1~WPU-5水性聚氨酯羰基吸收峰分峰结果如Tab.3所示。随着*n*(NCO):*n*(PPCD-OH)的增大，WPU游离态羰基吸收峰的比例不断减小，由47.3%降低至25.7%，氢键化羰基比例不断升高，说明随着*n*(NCO):*n*(PPCD-OH)的增大，WPU的氢键化程度不断增加。

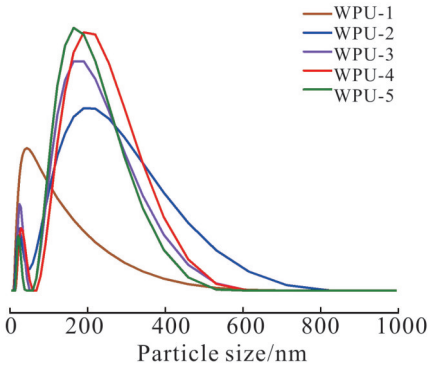


Fig. 4 Particle size distribution of waterborne polyurethane emulsion

2.2 乳液性能分析

Tab.4为系列水性聚氨酯乳液的性能。实验过程中通过控制去离子水的量来调控乳液的固含量，乳液固含量在31%左右时，WPU-1~WPU-5乳液的外观由半透明泛蓝光变为乳白色。Fig.4为制备的系列水性聚氨酯乳液粒径分布图。WPU-1~WPU-5乳液的平均粒径从46 nm逐渐增加至124 nm左右，粒径分布在10~60 nm区间的物质可能源于PPCD的副产物。随着*n*(NCO):*n*(PPCD-OH)的增大，硬段含量增加，体系中刚性链段变多，氢键化作用增强，链段聚集度高，从而使得预聚体在乳化过程中不易分散，乳液粒径变大，透明度降低。上述结果表明，样品WPU-1与WPU-2的乳液性能较好，具有较小粒径，而粒径小的WPU乳液更适用于配制水性油墨。

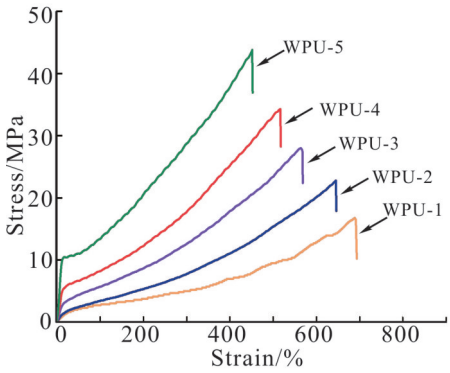


Fig. 5 Stress-strain curves of different waterborne polyurethane adhesive films

2.3 胶膜性能分析

Fig.5为不同水性聚氨酯胶膜的应力-应变曲线，Tab.5为水性聚氨酯胶膜力学性能数据。如Fig.5和Tab.5所示，WPU-1 ~WPU-5胶膜的拉伸强度不断增加，由16.8 MPa增加至43.8 MPa，断裂伸长率不断减小，由689%降低至452%。这是因为随着*n*(NCO):*n*(PPCD-OH)的增大，硬段含量增加，水性聚氨酯中生成的极性基团氨基甲酸酯键的数量随之增加，极性基团的增加使得体系中氢键化作用增强、内聚能增大，WPU形成了硬段微区，从而使得胶膜拉伸强度增加。另外，随着硬段含量增加，受到外力可以发生弹性形变的柔性软段含量降低，从而使得胶膜断裂伸长率降低。由于制备油墨的连接料需要具备一定的拉伸强度和弹性，因此

Tab. 4 Performance of waterborne polyurethane emulsion

Sample	WPU-1	WPU-2	WPU-3	WPU-4	WPU-5
Appearance	Translucent	Translucent	Opalescent	Opalescent	Opalescent
Particle size/nm	46	94	97	114	124
Solid content/%	30.6	32.2	32.8	32.9	31.2

Tab. 5 Mechanical properties of waterborne polyurethane adhesive film

Sample	WPU-1	WPU-2	WPU-3	WPU-4	WPU-5
Tensile strength/MPa	16.8	22.8	28.0	34.3	43.8
Elongation at break/%	689	645	565	516	452

WPU-2~WPU-4更适用于水性油墨的配制。

2.4 附着牢度分析

Fig.6为不同水性聚氨酯胶膜的附着牢度。如Fig.6所示，WPU-1与WPU-2胶膜的附着牢度均为100%，这是因为PPCD中含有较高内聚能的碳酸酯基，在硬段含量较低时就能使材料具有较高内聚能[17]，从而获得较好的附着牢度。如Fig.6所示，WPU-3~WPU-5胶膜的附着牢度不断降低，由100%降低至62%，这是因为随着*n*(NCO):*n*(PPCD-OH)的增大，硬段含量增加，聚氨酯中氢键化作用增强，分子之间内聚能增加，过高的内聚能强度使得分子链运动受阻，延展性下降，材料的极性基团与PET膜接触减弱，从而减弱了聚氨酯与基材间的粘接力，进而导致附着牢度减小。上述结果表明，样品WPU-1与WPU-2具有较强的附着牢度，符合油墨连接料的要求。

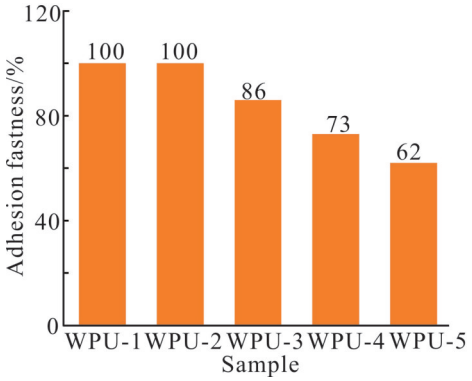


Fig. 6 Adhesion fastness of different waterborne polyurethane adhesive films

2.5 胶膜耐水性能分析

Fig.7为不同水性聚氨酯胶膜的吸水率。如Fig.7所示，WPU-1~WPU-5胶膜的吸水率不断降低，由56.7%降至3.7%。Fig.8为不同水性聚氨酯胶膜的接触角，如Fig.8所示，胶膜的水接触角逐渐增加，由63°增加至87°，耐水性能不断增加。这是因为随着*n*(NCO):*n*(PPCD-OH)的增大，硬段含量增加，聚氨酯内部更易形成微相分离结构，而硬段微区结构会妨碍水分子的渗入，同时软段含量的减少使得亲水基团酯基和醚基含量减少，因此胶膜的耐水性能逐渐增加。另外，合格的水性油墨需要同时具备良好的耐水性和复溶性，具有复溶性的油墨有一定的亲水性，可以使干燥后的油墨溶于原墨中，从而防止油墨干燥堵网，而较好的耐水性可以防止油墨遇水脱色。上述结果表明，样品WPU-2~WPU-4具有适中的耐水性，更适用于水性油墨的配制。

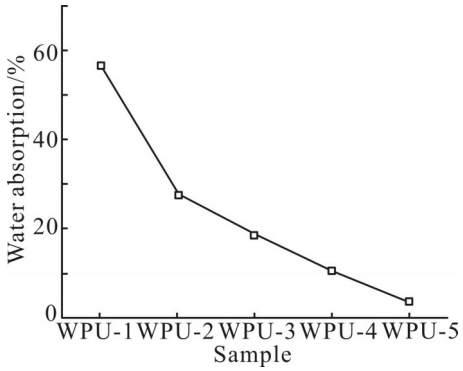


Fig. 7 Water absorption of different waterborne polyurethane adhesive films

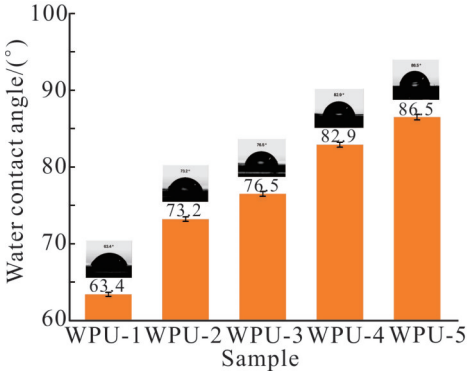


Fig. 8 Water contact angles of different waterborne polyurethane adhesive films

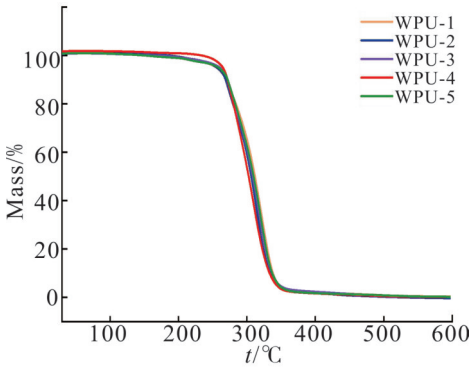


Fig. 9 Thermogravimetric curves of different waterborne polyurethane adhesive films

2.6 胶膜热稳定性分析

Fig.9为不同水性聚氨酯胶膜的热重曲线。Tab.6为水性聚氨酯胶膜失重5%，50%和90%时的温度数据表。如Fig.9所示，WPU-1~WPU-5胶膜起始分解温度在240 ℃左右，分解结束温度均在350 ℃左右，5个样品在5%，50%和90%失重的温度差别不大。其中，热重曲线中前3%质量的损失可

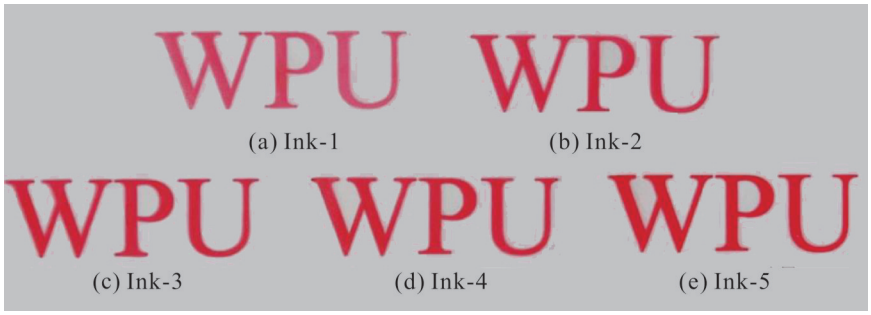


Fig. 10 Waterborne polyurethane ink screen printing physical drawing

Tab. 6 Thermogravimetric data of different waterborne polyurethane adhesive films

Sample	WPU-1	WPU-2	WPU-3	WPU-4	WPU-5
T_5/℃	255.7	256.3	260.4	265.0	258.6
T_{50}/℃	311.8	306.3	308.5	302.6	309.8
T_{90}/℃	338.2	334.2	336.9	333.3	337.2

Tab. 7 Performance of waterborne polyurethane inks

Sample	Ink-1	Ink-2	Ink-3	Ink-4	Ink-5
Adhesion fastness/%	100	100	100	100	100
Water resistance	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble
Gloss(60°)/GU	73	75	79	70	66

能源于PPCD中副产物碳酸丙烯酯的分解[18]。水性聚氨酯热分解主要分为2段,在250 ℃附近发生硬段分解,在350 ℃附近发生软段的分解。软段PPCD分解遵循两步热分解机制,在250 ℃之前通过链分解进行解链,在250 ℃之后通过链段的随机断裂进行分解[19]。热重分析结果显示,制备的PPCD型水性聚氨酯具有较好的耐热性能。

2.7 油墨性能分析

Tab.7为使用WPU-2配制的水性聚氨酯油墨的性能。如Tab.7所示,随着水性颜料含量的增加,Ink-1~Ink-5油墨均具有优异的附着牢度,附着牢度达100%,并且具有良好的耐水性能,24 h浸泡去离子水不溶解。Ink-1~Ink-3油墨墨层的光泽度随着水性颜料含量的增加而增加,由73增加至79 GU,这可能是因为水性颜料会在墨膜中形成网状的细小管道,这些网状的细小管道使连接料保留在墨膜中,从而使墨层表面留下更多的连接料,进而增加了墨层表面的光泽度。Ink-3~Ink-4油墨墨层的光泽度随着水性颜料含量的增加而减少,由79 GU下降至66 GU,这可能是因为随着水性颜料含量增加,过多的水性颜料无法在连接料中均匀分散,连接料不能完全包覆水性颜料颗粒,增大了墨膜表面的光散射,从而降低了墨层表面的光泽度[20]。

Fig.10为Ink-1~Ink-5水性聚氨酯油墨丝网印刷实物图。如Fig.10所示,Ink-1~Ink-5水性油墨丝网印刷品字样逐渐清晰、颜色逐渐鲜艳。其中,Ink-1与Ink-2油墨的丝网印刷品颜色浅,印刷模糊。Ink-3~Ink-5油墨的丝网印刷品印刷清晰,视觉观感优良,印刷效果好。丝网印刷效果和油墨耐水等性能测试结果表明,Ink-3的综合性能最佳。

3 结论

本文采用聚碳酸亚丙酯二醇(PPCD)为软段制备了系列PPCD型水性聚氨酯丝网印刷油墨,得到如下结论。

(1)当n(NCO):n(PPCD-OH)为4:1时,制备的水

性聚氨酯连接料（WPU-2）综合性能最佳，拉伸强度为22.8 MPa，断裂伸长率为645%，24 h吸水率为27.6%，在PET薄膜上的附着牢度为100%。

（2）使用WPU-2制备的水性聚氨酯油墨均具有优异性能，当水性颜料质量分数为13.9%时，调制的水性油墨（Ink-3）性能最佳，在PET薄膜上的附着牢度为100%，置于去离子水中24 h不溶解，60°光泽度为79 GU，印刷效果较好。

（3）本文合成了基于聚碳酸亚丙酯二醇的水性聚氨酯油墨，为实现二氧化碳资源利用和制备综合性能优良的绿色环保丝网印刷油墨提供了理论依据。

参考文献:

[1] Musa A M, Kiely J, Luxton R, *et al*. Recent progress in screen-printed electrochemical sensors and biosensors for the detection of estrogens[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2021, 139: 116254.

[2] Giti P, Ehsan G, Mireia B. Screen-printed electrodes: fabrication, modification, and biosensing applications[J]. Chemosensors, 2023, 11: 113-113.

[3] Zhang Y, Zhu Y, Zheng S, *et al*. Ink formulation, scalable applications and challenging perspectives of screen printing for emerging printed microelectronics[J]. Journal of Energy Chemistry, 2021, 63: 498-513.

[4] Kasi V, Zareei A, Gopalakrishnan S, *et al*. Flexible hybrid electronics via near- infrared radiation - assisted soldering of surface mount devices on screen printed circuits[J]. Advanced Electronic Materials, 2023, 9: 2201012.

[5] 崔香, 杨智慧. 环保交联水性聚氨酯油墨连结料的制备与性能[J]. 塑料, 2024, 53(1): 103-108.
Cui X, Yang Z H. Preparation and properties of environmentally-friendly cross- linked waterborne polyurethane ink binders[J]. Plastics, 2024, 53(1): 103-108.

[6] 胡霄鹏, 孙景锋. 基于丙烯酸系水性油墨的制备方法研究[J]. 现代盐化工, 2022, 49(3): 34-36.
Hu X P, Sun J F. Research on preparation method of acrylic water-based ink[J]. Modern Salt and Chemical Industry, 2022, 49(3): 34-36.

[7] 王锦霞, 张毅冲, 张志琳, 等. 环氧树脂/聚醚胺柔性导电油墨的制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2017, 33(9): 141-147.
Wang J X, Zhang Y C, Zhang Z L, *et al*. Preparation and properties of epoxy resin/polyetheramine flexible conductive ink [J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2017, 33(9): 141-147.

[8] Hu T, Zhong Z, Zhong J, *et al*. Progress in the preparation and printability of water-based polyurethane plastic printing ink[M]// Zhao P, Ye Z, Xu M, *et al*. Advances in graphic communication, printing and packaging technology and materials. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore: Springer, 2021, 754: 607-613.

[9] 潘健, 万海峰, 王艳青, 等. 水性聚氨酯油墨连接料的研究进展与分析[J]. 安徽化工, 2023, 49(6): 11-14.
Pan J, Wan H F, Wang Y Q, *et al*. Research progress and analysis of waterborne polyurethane ink connectors[J]. Anhui Chemical Industry, 2023, 49(6): 11-14.

[10] Zhang M G, Lian X Y, Cui J L, *et al*. Synthesis of waterborne polyurethane ink binder with high T- peel strength and its application in biaxially oriented polypropylene film printing[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2020, 138: e50273.

[11] Liang H, Wang S, He H, *et al*. Aqueous anionic polyurethane dispersions from castor oil[J]. Industrial Crops Products, 2018, 122: 182-189.

[12] 袁洁, 谢正斌, 冼文琪, 等. PPCD型水性聚氨酯胶粘剂的制备及性能研究[J]. 中国胶粘剂, 2022, 31(3): 23-28.
Yuan J, Xie Z B, Xian W Q, *et al*. Preparation and properties of PPCD waterborne polyurethane adhesive[J]. China Adhesives, 2022, 31(3): 23-28.

[13] 谢正斌, 艾娇艳, 袁洁, 等. PPCD型超支化水性聚氨酯的合成及性能[J]. 聚氨酯工业, 2022, 37(5): 12-15.
Xie Z B, Ai J Y, Yuan J, *et al*. Synthesis and properties of PPCD hyperbranched waterborne polyurethane[J]. Polyurethane Industry, 2022, 37(5): 12-15.

[14] Ma L, Song L, Wang H, *et al*. Synthesis and characterization of poly(propylene carbonate) glycol-based waterborne polyurethane with a high solid content[J]. Progress in Organic Coatings, 2018, 12238-44.

[15] 冼文琪, 刘晓暄, 刘保华, 等. 聚碳酸亚丙酯二醇在聚氨酯中的应用研究进展[J]. 聚氨酯工业, 2021, 36(4): 1-4.
Xian W Q, Liu X X, Liu B H, *et al*. Research progress on application of polypropylene carbonate glycol in polyurethane [J]. Polyurethane Industry, 2021, 36(4): 1-4.

[16] Wang C, Li H, Huang Z, *et al*. Novel CO_2-based low-molecular weight poly (propylene carbonate) diol (PPCD) for two-component polyurethane adhesive[J]. Chemical Papers, 2023, 77: 3347-3359.

[17] Wei J, Ma Y C, Cai Y Q, *et al*. Synthesis of high- toughness waterborne polyurethane utilizing self- emulsifying CO_2- based polyols[J]. Progress in Organic Coatings, 2022, 173: 107167.

[18] Li J W, Zhao L H, Hong C Y, *et al*. Synthesis and

characterization of waterborne polyurethane- based ink binder modified via a silane coupling agent[J]. Progress in Organic Coatings, 2024, 186: 108018.

[19] He Z L, Xian W Q, Ding Z, *et al*. Synthesis of novel propylene carbonate diol(PCD)and application in CO_2- based polyols waterborne polyurethane[J]. Journal of Polymer Research, 2022, 29: 445.

[20] Cui S, Wei P, Li L. Thermal decomposition behavior of poly (propylene carbonate) in poly(propylene carbonate)/poly(vinyl alcohol) blend[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2019, 135: 2437-2446.

Preparation of Polypropylene Carbonate Type Waterborne Polyurethane Screen Printing Ink

Mingming Zhao[1,2], Penghao Qian[1,2], Yiping Huang[1,2], Qiansheng Xiong[1,2], Junjie Bao[1,2]

(*1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China; 2. Anhui Engineering Technology Research Center of Water- Based Polymer Materials, Anhui Key Laboratory of Green Polymer Materials, Hefei 230601, China*)

ABSTRACT: The polypropylene carbonate diol (PPCD) prepared with CO_2 as raw material was used as soft section, and the isokone diisocyanate (IPDI) was used as hard section to prepare the waterborne polyurethane (WPU) emulsion, and then the WPU emulsion was mixed with pigments and additives to prepare a series of polypropylene carbonate waterborne polyurethane screen printing inks. The structure and properties of the samples were analyzed by FT-IR, mechanics, TG, adhesion fastness and other tests. The results show that when the isocyanate group of IPDI and the hydroxymolar ratio *n*(NCO): *n*(PPCD-OH) in PPCD is 4:1, the WPU-2 has the best comprehensive properties, with a tensile strength of 22.8 MPa, an elongation at break of 645%, a 24 h water absorption rate of 27.6%, and an adhesion fastness of 100% to PET film. The water-based polyurethane inks prepared with WPU-2 have excellent performance, among which the screen printing ink sample Ink-3 prepared with the water-based pigment mass fraction of 13.9% has the best comprehensive performance. Its adhesion fastness to PET film is 100%, it is insoluble when placed in deionized water for 24 h, the gloss of 60° angle of incidence is 79 GU, and the printed matter is clear and brightly colored.

Keywords: poly(propylene carbonate) diol; screen printing; waterborne polyurethane; printing ink