

DOI: 10.13475/j.fzxb.20170802805

环保阻燃型静电植绒黏合剂的合成及其应用

吴海婷^{1,2}, 蒋小娟^{1,2}, 蔡再生^{1,2}

(1. 东华大学 化学化工与生物工程学院, 上海 201620; 2. 东华大学 生态纺织教育部重点实验室, 上海 201620)

摘要 为开发高附加值、环保型静电植绒黏合剂,以丙烯酸乙酯、丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸甲酯和丙烯酸为聚合单体,双丙酮丙烯酸酰胺为自交联单体,采用不含烷基酚聚氧乙烯醚类化合物(APEO)的阴/非离子复配乳化剂进行半连续核壳乳液聚合,通过添加有机/无机复配阻燃剂,合成一种烷基酚聚氧乙烯醚低温烘焙、无甲醛释放、不含 APEO,同时具有阻燃性能的硅丙静电植绒黏合剂。探讨不同阻燃剂、阻燃剂配比、阻燃剂用量、协效剂用量对静电植绒效果的影响。结果表明:当聚磷酸铵与阻燃剂 FR-5 按照质量比 1:3 复配,阻燃剂质量分数为 30%,协效剂 O-蒙脱土质量分数为 10% 时,所制得的黏合剂(FR)植绒牢度较高,手感柔软,阻燃效果良好。

关键词 静电植绒; 黏合剂; 丙烯酸酯; 烷基酚聚氧乙烯醚; 聚磷酸铵; 阻燃; 环保

中图分类号: TS 194.431 文献标志码: A

Preparation and application of environment-friendly flame-retardant silicone-acrylic flocking adhesive

WU Haiting^{1,2}, JIANG Xiaojuan^{1,2}, CAI Zaisheng^{1,2}

(1. College of Chemistry, Chemical Engineering & Biotechnology, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Key Laboratory of Science & Technology of Eco-Textile, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract In order to develop high-added value and environment-friendly flocking adhesives, a flocking adhesive featured low-temperature curing, no formaldehyde releasing, alkylphenol ethoxylates(APEO) and flame-retardancy was synthesized by blending an organic and inorganic compound retardant in semi-continuous emulsion polymerization using ethyl acrylate, butyl acrylate, methyl methacrylate and acrylic acid as polymer monomers. The influence of different retardants, mass ratio of retardants, retardant amount, synergist amount on the flocking were investigated. The results show that flocking adhesive(FR) with 30% retardant (mass ratio of ammonium polyphosphate and FR-5 is 3:1) and 10% organic montmorillonite has good properties with flocking fastness, hand feeling and flame-retardancy.

Keywords electrostatic flocking; adhesive; acrylate; alkylphenol ethoxylates; ammonium polyphosphate; flame-retardant; environment-friendly

静电植绒产品以其手感柔软、色彩艳丽、立体感强等特点,已广泛应用于家用纺织品、服装、汽车装饰材料等领域,市场需求量日益增大。在静电植绒生产工艺中,黏接基材和绒毛的黏合剂直接影响着静电植绒产品的牢度、手感、耐候性和植绒效果等性能。

随着环保意识的增强,相关科技工作者开始致力于环保型黏合剂的开发及其在纺织领域的应用。

通过开发低温自交联体系^[1-3]替代 N-羟甲基丙烯酰胺,降低黏合剂的烘焙温度,同时解决甲醛释放的问题;以无烷基酚聚氧乙烯醚(APEO)乳化剂^[4-5]的开发解决黏合剂废水中 APEO 含量过高的问题;通过对丙烯酸酯乳液的有机硅改性^[6],改善黏合剂整理后织物的手感。但是静电植绒领域仍然面临着高温能耗、甲醛释放、产品附加值低等问题,而对于

收稿日期: 2017-08-15 修回日期: 2018-02-28

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20130075130002)

第一作者简介: 吴海婷(1982—),女,讲师,博士生。主要研究方向为高性能黏合剂的合成和应用。

通信作者: 蔡再生, E-mail: zshcai@dhu.edu.cn。

高性能、环保型、高附加值静电植绒黏合剂的研究目前鲜有报道。

本文采用半连续核壳乳液聚合法^[7-9],以双丙酮丙烯酸酰胺为自交联单体、用无 APEO 阴/非离子乳化剂进行复配,合成低温烘焙、无甲醛、无 APEO 硅丙乳液,将阻燃剂与硅丙乳液共混得到环保阻燃型黏合剂(FR),并将其应用于静电植绒,对植绒织物的植绒牢度、硬挺度、手感以及燃烧性能进行测试,并与市售静电植绒胶进行了对比。

1 实验部分

1.1 实验材料

甲基丙烯酸甲酯(MMA)、丙烯酸丁酯(BA)、丙烯酸乙酯(EA)、丙烯酸(AA)、双丙酮丙烯酸酰胺(DAAM)、三聚氰胺(MA)、十二烷基硫酸钠(SDS),以上均为化学纯,国药集团化学试剂有限公司,己二酸二酰肼(ADH,上海阿拉丁生化科技股份有限公司),乙烯基硅油 Andisil VS 200(南通 AB 特种有机硅有限公司),脂肪醇聚氧乙烯醚(AEO-9,化学纯,扬子石化-巴斯夫有限责任公司),过硫酸铵(APS,分析纯,上海青析化工科技有限公司),阻燃剂 FR-5(工业级,上海楚州化工有限公司),聚磷酸铵(APP,工业级,上海旭森非卤素消防阻燃剂有限公司),氨水(化学纯,上海波尔化学试剂有限公司)。

纯棉织物(经纬纱线密度均为 18.2 tex,江苏南通鑫祥纺织有限公司),锦纶绒毛(1.665 dtex × 0.5 mm,泉州宏鑫工艺品有限公司)。

1.2 仪器及设备

RW20n 型电动搅拌机(广州仪科实验室技术有限公司)、HH-S1 型恒温水浴锅(郑州长城科工贸有限公司)、KQ-500DE 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)、GPC-400KV 型静电植绒小样机(广州白云区中力电器设备厂)、MU572C 型涂层机(北京纺织机械器材研究所)、DGG-9070B 型电热恒温鼓风干燥箱(上海森信试实仪器有限公司)、PL602-S 型电子天平(梅特勒-托利多仪器有限公司)、Nu-Martindale 864 型耐磨及起毛起球试验仪(英国 JAMES H. HEAL 公司)、SHIRLEY 型折皱回复角测试仪(美国 SDL 公司)、YG815 A 型垂直法织物燃烧性能测试仪(温州大荣纺织仪器公司)、Atlas 型弯曲长度测试仪(美国 SDL-Atlas 公司)。

1.3 静电植绒黏合剂的合成

1.3.1 核壳型硅丙乳液的合成

以 DAAM/ADH 酮肼为交联体系,用 SDS/AEO-

9 阴/非离子乳化剂进行复配,乙烯基硅油作为改性剂,采用半连续核壳乳液聚合法制备硅丙乳液。按照核壳质量比为 3:2 先后加入预乳化后的核层和壳层单体,当反应体系有明显蓝光时,适当加快单体滴加速度,单体和引发剂的滴加时间约为 2 h,聚合温度为 77~84 °C,保温 2 h。

1.3.2 静电植绒黏合剂 FR 的合成

将上述核壳型硅丙乳液添加于 250 mL 烧杯中,并用 IKA rw20 型悬臂式搅拌机机械搅拌,转速控制在 800 r/min,以 0.2 g/min 的速度向烧杯内加入一定量的阻燃剂,加料完毕后,继续搅拌 10 min,待乳液混合均匀,即制得环保阻燃型硅丙静电植绒黏合剂 FR。

1.4 黏合剂在静电植绒织物上的应用

植绒前黏合剂先经氨水调节黏度,然后用涂层机将增稠好的黏合剂均匀涂覆于纯棉织物表面,再将涂有黏合剂的试样固定在静电植绒小样机的喷口下方,采用下降法进行植绒,极板间距设定为 15 cm,植绒电压为 50 kV,植绒时间为 5 s,静电植绒过程如图 1 所示。

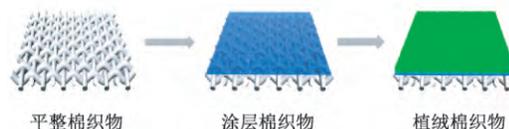


图 1 静电植绒过程

Fig. 1 Process of electrostatic flocking

1.5 测试与表征

1.5.1 阻燃性能测试

按照 GB/T 5455—2014《纺织品 燃烧性能 垂直方向损毁长度、阴燃和续燃时间的测定》,测试阻燃性能。

1.5.2 植绒牢度测试

植绒牢度按照 GB/T 13775—1992《棉、麻、绢丝机织物耐磨试验方法》测试。采用 Nu-Martindale 864 耐磨及起毛起球试验仪测试,压力为 9 kPa,以试样露底、条绒断条或表面完全破坏(GB 250—1995《评定变色用灰色样卡》中 3 级以下)为实验终点。

1.5.3 手感测试

以 8 人为 1 组,分别触摸静电植绒织物,并进行评级。将手感分为 5 级,未经静电植绒处理的空白棉织物定为 1 级,手感最好的定为 5 级。

1.5.4 摩擦色牢度测试

按照 GB/T 29865—2013《纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度 小面积法》测试耐摩擦色牢度,采用圆形摩擦头。

1.5.5 弯曲长度测试

织物弯曲长度按照 GB/T 7689.4—2013《增强材料机织物试验方法 第 4 部分:弯曲硬挺度的测定》采用斜面法。

2 结果与讨论

2.1 不同阻燃剂对植绒效果的影响

聚磷酸铵(APP)含磷量大、含氮量高、热稳定性好,在高温下能与多羟基化合物发生强烈的酯化反应并脱水引发膨胀过程,促进产生不易燃烧的三维炭层结构^[10]。三聚氰胺盐阻燃机制是生成的含氮惰性气体稀释了气相中的可燃气体^[11]。阻燃剂 FR-5 是有机磷系阻燃剂。兼顾阻燃剂的阻燃效果以及阻燃剂添加量对黏合剂黏接性能及织物手感的影响,分别探讨了聚磷酸铵、聚磷酸铵/三聚氰胺复配体系、聚磷酸铵/阻燃剂 FR-5 复配体系对植绒效果的影响,实验结果见表 1。

表 1 不同阻燃剂对植绒效果的影响

Tab.1 Effect of different retardants on electrostatic flocking

阻燃剂	植绒牢度/次	炭长/cm	续燃时间/s	阴燃时间/s
APP	11 493	28.9	29.6	3.2
APP/MA	8 761	22.6	25.4	1.4
APP/FR-5	10 472	16.9	14.3	0.7

由表 1 可知,相对于单独使用聚磷酸铵和使用聚磷酸铵/三聚氰胺复配体系,聚磷酸铵与阻燃剂 FR-5 复配使用的阻燃效果最好,植绒牢度可达 10 000 次以上。主要因为无机磷系阻燃剂与有机磷系阻燃剂具有协同增效作用,同时 APP/FR-5 阻燃体系与硅丙乳液的相容性较膨胀阻燃体系更好,因而对黏合剂的黏接性能影响较小。综合考虑以上因素,选取聚磷酸铵、阻燃剂 FR-5 复配,再与硅丙乳液共混,用于后续实验研究。

2.2 阻燃剂用量对植绒效果的影响

将聚磷酸铵与阻燃剂 FR-5 复配,再与硅丙乳液共混应用于静电植绒,探讨不同阻燃剂质量分数对植绒效果的影响,结果见表 2。

表 2 阻燃剂对植绒效果的影响

Tab.2 Effect of retardant dosage on electrostatic flocking

阻燃剂质量分数/%	植绒牢度/次	炭长/cm	续燃时间/s	阴燃时间/s
15	10 529	22.9	28.6	1.2
20	10 429	17.5	14.9	0.2
25	10 343	15.1	12.3	0.1
30	10 229	12.3	10.3	0.1
35	8 991	8.8	7.3	0.0

由表 2 可知,随着阻燃剂质量分数的增加,炭长减小,续燃时间和阴燃时间减少,阻燃效果不断增强,植绒牢度逐渐下降。当阻燃剂质量分数达 35% 时,植绒牢度明显下降。这主要是因为通过机械共混的方式添加的阻燃剂分散于硅丙乳液中,乳液固化成膜后,阻燃剂粒子均匀固着在胶膜分子之间,一定程度上影响了成膜的连续性,降低了胶膜分子之间的交联度,从而直接对黏合剂的黏接性能产生影响。因而,兼顾静电植绒牢度和阻燃效果,选取阻燃剂的质量分数为 30%。

2.3 阻燃剂质量比对植绒效果的影响

将聚磷酸铵、阻燃剂 FR-5 复配,再与硅丙乳液共混应用于静电植绒,固定复配阻燃剂质量分数为 30%,探讨阻燃剂的质量比对植绒效果的影响,结果见表 3。

表 3 阻燃剂质量比对植绒效果的影响

Tab.3 Effect of retardant ratio on electrostatic flocking

$m(\text{APP}) : m(\text{FR-5})$	植绒牢度/次	炭长/cm	续燃时间/s	阴燃时间/s
1:5	10 478	19.9	22.7	0.9
1:4	10 414	16.6	17.4	0.4
1:3	10 383	12.7	12.9	0.3
1:2	10 299	15.3	13.6	0.1
1:1	8 217	21.5	26.2	1.7

由表 3 可知:复配阻燃剂体系中,随着聚磷酸铵用量的增加和阻燃剂 FR-5 用量的减少,静电植绒牢度逐渐降低,植绒织物阻燃性能增强;当 APP 与 FR-5 的质量比大于 1:2 后,静电植绒牢度和织物阻燃性能均明显下降。聚磷酸铵的含磷量和含氮量较高,且存在磷氮协同效应,因此,随着其含量的增加,阻燃性能增强;但是聚磷酸铵是无机组分,与硅丙乳液共混时,其粉末均匀悬浮于乳液中,当其用量过高后会影响到乳液的分散性和乳胶膜成膜连续性,从而影响到植绒牢度。当阻燃剂 FR-5 的用量过少时,有机无机协同效应降低,使织物的阻燃性能明显下降。综合考虑以上因素,选取复合阻燃剂 APP 与 FR-5 的质量比为 1:3。

2.4 协效剂用量对植绒效果的影响

按聚磷酸铵与阻燃剂 FR-5 质量比为 1:3 复配,添加量为 30%,在阻燃体系中添加一定量 O-蒙脱土作为协效剂,考察 O-蒙脱土质量分数对植绒效果的影响,结果如表 4 所示。

由表 4 可知:随着 O-蒙脱土添加量的增加,植绒牢度逐渐降低,织物阻燃性能不断增强;当 O-蒙脱土的添加量高于 10% 后,植绒牢度明显下降,炭长、续燃时间和阴燃时间也开始增加,织物阻燃性能降低。本文实验中采用的 O-蒙脱土是层状的硅酸

表 4 协效剂用量对植绒效果的影响

Tab. 4 Effect of synergist dosage on electrostatic flocking

O-蒙脱土质量 分数/%	植绒牢 度/次	炭长/ cm	续燃 时间/s	阴燃 时间/s
0	10 307	12.1	10.7	0.2
5	10 289	11.7	9.4	0.0
10	10 174	8.3	6.2	0.0
15	8 647	8.4	8.1	0.1
20	6 692	8.9	8.9	0.2

盐矿物质,其颗粒能够分散成细小晶层,与无机阻燃剂协效隔热。当 O-蒙脱土用量过高时,其在共混体系中的分散性降低,一些粒子出现团聚现象,降低了粒子和共混体系的相容性,影响了材料的力学性能,导致植绒牢度降低;而烘干后胶膜中的连续片层断开,硅保护层的屏蔽作用受到限制,隔热效果下降,协效作用减小,织物阻燃性能降低。综合考虑以上因素,选取有机改性 O-蒙脱土添加量为 10%。

2.5 上胶量对植绒效果的影响

上胶量是每平方米基布上所用的黏合剂质量。固定 APP/FR-5 的质量比为 1:3,添加量为 30%,协效剂蒙脱土添加量为 10%,探讨上胶量对植绒效果的影响,结果如表 5 所示。

表 5 上胶量对植绒效果的影响

Tab. 5 Effect of adhesive dosage on electrostatic flocking

上胶量/ (g·m ⁻²)	弯曲 长度/ cm	植绒 牢度/ 次	手感/ 级	续燃 时间/ s	阴燃 时间/ s	炭长/ cm
150	1.54	7 503	3	10.7	0.2	12.1
200	1.66	9 721	3~4	9.4	0.0	11.7
250	1.73	10 309	3~4	6.2	0.0	8.3
300	1.75	10 419	3~4	8.1	0.1	8.4
350	2.16	10 496	3	8.9	0.2	8.9

由表 5 可知:当上胶量为 250 g/m²时,静电植绒织物获得了较高的植绒牢度、手感和阻燃效果;当上胶量超过 250 g/m²后,织物的柔软度受到影响,阻燃效果也有所降低;当上胶量过多时,大量植绒黏合剂无法渗透到基材中,堆积在织物表面,过多的黏合剂固化成膜后,使得织物硬挺度增大,手感变差,阻燃效果降低。综合考虑以上因素,选取上胶量为 250 g/m²。

2.6 焙烘时间对植绒效果的影响

保持其他工艺条件不变,探讨焙烘时间对植绒效果的影响,结果如表 6 所示。由表可知:随着焙烘时间增加,植绒织物的植绒牢度和摩擦牢度均增强;当焙烘时间超过 4 min 后,植绒织物的弯曲长度明显增加,柔软度下降。在本文实验体系中,常温贮存时乳液保持中性或弱碱性,DAAM 中的酮羰基不与

ADH 中的酰肼基反应,焙烘过程中随着氨的挥发,体系 pH 值降低,酮羰基与酰肼基在酸性条件下发生脱水缩合反应^[12]。焙烘时间达到 4 min 后,脱水反应基本完全,胶膜充分交联。继续增加焙烘时间,对于植绒牢度和摩擦牢度的提升不再明显,反而会影影响织物的手感和柔软度。综合考虑以上因素,最终选取焙烘时间为 4 min。

表 6 焙烘时间对植绒效果的影响

Tab. 6 Effect of curing time on electrostatic flocking

焙烘时间/ min	弯曲长度/ cm	植绒牢 度/次	摩擦牢度/级	
			干	湿
2	1.68	8 992	3	3
3	1.73	10 183	3	3
4	1.71	10 397	4	3~4
5	1.76	10 438	4~5	4
6	1.81	10 574	4~5	4~5

2.7 焙烘温度对植绒效果的影响

保持其他工艺条件不变,探讨焙烘温度对植绒效果的影响,结果如表 7 所示。

表 7 焙烘温度对植绒效果的影响

Tab. 7 Effect of curing temperature on electrostatic flocking

焙烘温度/ ℃	弯曲长度/ cm	植绒牢 度/次	摩擦牢度/级	
			干	湿
80	1.68	8 992	3	3
100	1.73	10 183	3	3
120	1.71	10 397	4	3~4
140	1.76	10 438	4~5	4
160	1.81	10 574	4~5	4~5

由表 7 可知:随着焙烘温度升高,植绒织物的柔软度下降,植绒牢度和耐磨性增强;当焙烘温度为 120 ℃时,织物具有较好的柔软度和植绒牢度,摩擦牢度也可以达到 3~4 级;焙烘温度过高,涂膜烘干过快,胶层易起泡且发黄,影响植绒平整度和手感,对植绒牢度的提升作用不大,反而增加能耗。综合考虑以上因素,最终选取焙烘温度为 120 ℃。

2.8 静电植绒黏合剂 FR 的应用性能

在相同植绒工艺条件下,将自制静电植绒黏合剂 FR 与市售植绒黏合剂产品 A、B 的应用性能进行对比,结果见表 8。

表 8 不同植绒黏合剂应用性能比较

Tab. 8 Applied properties of flocking adhesives

黏合剂 种类	手感/ 级	弯曲长 度/cm	植绒牢 度/次	炭长/ cm
自制植绒胶 FR	3~4	1.71	10 397	8.3
市售产品 A	3	2.54	11 423	27.2
市售产品 B	4	2.02	6 237	29.3

由表 8 可知,经静电植绒黏合剂 FR 处理的植绒织物其植绒牢度、手感、硬挺度测试都达到

FZ/T 64011—2012《静电植绒织物》服用产品一等品以上,有效地解决了手感和牢度的矛盾,织物的手感、植绒牢度与市售的静电植绒胶相当,硬挺度优于市售产品,而其炭长远远低于市售产品,这说明自制的静电植绒胶 FR 具有良好的阻燃性能。

3 结 论

1) 采用半连续法制备核壳硅丙乳液,将聚磷酸铵与阻燃剂 FR-5 按照质量比 1:3 复配,阻燃剂质量分数为 30%,协效剂 O-蒙脱土添加量为 10%,与硅丙乳液共混制得环保阻燃型硅丙静电植绒黏合剂 FR。

2) 将制备的环保阻燃型硅丙静电植绒黏合剂 FR 应用于静电植绒织物,上胶量为 250 g/m²,焙烘温度为 120 ℃,焙烘时间为 4 min,植绒牢度可达 10 397 次,弯曲长度仅为 1.71 cm,手感柔软,炭长为 8.3 cm,无甲醛释放,无 APEO,可实现低温烘焙,各项性能优于市售静电植绒黏合剂,同时具有良好的阻燃性能。

FZXB

参考文献:

- [1] PI P, WANG W, WEN X, et al. Synthesis and characterization of low-temperature self-crosslinkable acrylic emulsion for PE film ink [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2015, 81(4): 66–71.
- [2] PI P, CHEN X, WEN X, et al. Preparation and characterization of ambient-temperature self-crosslinkable water-soluble acrylic resin for PE film ink [J]. *Journals of Coatings Technology & Research*, 2016, 13(1): 73–80.
- [3] LI M, LIN X S, LI X Y, et al. Preparation and property study of core-shell ambient-temperature crosslinkable polyacrylate binder [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 469(11): 3–6.
- [4] KOUKIOTIS C, SIDERIDOU I D. Preparation of high solids stable translucent nanolatexes of MMA/BA copolymers and MMA/BA/Veova-10 terpolymers with low MFFT using green industrial surfactants [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2008, 63(1): 116–22.
- [5] 冯艳荣,袁剑民,王文力,等. 水性聚丙烯酸酯涂料染色黏合剂的合成及其性能 [J]. *纺织学报*, 2017, 38(4): 90–96.
- FENG Yanrong, YUAN Jianmin, WANG Wenli, et al. Synthesis and properties of waterborne polyacrylate coating dyeing binder [J]. *Journal of Textile Research*, 2017, 38(4): 90–96.
- [6] 狄剑锋,刘裕文,纪凤龙. 交联型有机硅改性聚氨酯丙烯酸酯乳液的合成及其性能 [J]. *纺织学报*, 2016, 37(1): 75–80.
- DI Jianfeng, LIU Yuwen, JI Fenglong. Synthesis and properties of crosslinked polyurethane acrylate modified with organic silicon [J]. *Journal of Textile Research*, 2016, 37(1): 75–80.
- [7] TAN C, TIRRI T, WILEN C E. The effect of core-shell particle morphology on adhesive properties of poly(styrene-co-butyl acrylate) [J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2016, 66(4): 104–113.
- [8] BAI L, HUAN S, ZHANG X, et al. Fabrication and evaluation of one-component core/shell structured latex adhesives containing poly(styrene) cores and poly(acrylate) shells [J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2016, 70(10): 152–159.
- [9] 隋智慧,杨康乐,陈杰,等. 含氟聚丙烯酸酯乳液整理剂的性能及其应用 [J]. *纺织学报*, 2016, 37(9): 100–105.
- SUI Zhihui, YANG Kangle, CHEN Jie, et al. Properties and application of fluorine-containing acrylate copolymer emulsion as finishing agent [J]. *Journal of Textile Research*, 2016, 37(9): 100–105.
- [10] 宗成中,郭莉莎,卢伟. 超薄膨胀型硅丙乳液防火涂料的研究 [J]. *中国涂料*, 2016, 31(4): 58–61.
- ZONG Chengzhong, GUO Lisha, LU Wei. Research on ultrathin expansive type silicone-acrylic emulsion fire-retardant coatings [J]. *China Coatings*, 2016, 31(4): 58–61.
- [11] 姜鹏,张胜,谷晓昱,等. 新型三聚氰胺盐类阻燃剂的合成及其在聚乳酸中的应用 [J]. *化工新型材料*, 2017, 45(5): 197–199.
- JIANG Peng, ZHANG Sheng, GU Xiaoyu, et al. Synthesis of novel melamine salt flame retardant and its application on poly(lactic acid) [J]. *New Chemical Materials*, 2017, 45(5): 197–199.
- [12] 彭晨,张良均,李欢,等. 单组分室温自交联聚氨酯丙烯酸酯乳液的合成及性能 [J]. *现代涂料与涂装*, 2016, 19(4): 1–4.
- PENG Chen, ZHANG Liangjun, LI Huan, et al. Synthesis and performance of one-component and ambient temperature self-crosslinking polyurethane acrylate emulsion [J]. *Modern Paint & Finishing*, 2016, 19(4): 1–4.