

新型防雨蚀抗静电涂层系统的制备

万耀明, 余明明, 熊瑜, 张玉忠, 梁璐

(中国航发北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘要: **目的** 针对高盐高湿热海洋环境下对涂层长期耐盐雾和耐湿热性能提出的更高要求, 设计研制了一种新型防雨蚀抗静电涂层系统, 以提高涂层系统的防雨蚀抗静电功能。**方法** 采用新型饱和聚烯烃改性的弹性聚氨酯为基体树脂, 通过研究饱和聚烯烃、导电填料的用量对涂层系统性能的影响, 确定最优的配方设计。**结果** 采用饱和聚烯烃型聚氨酯制备得到的防雨蚀抗静电涂层体系, 在聚烯烃质量分数为 40% 时, 其力学强度为 21.3 MPa, 断裂伸长率为 385%, 80 °C 热水浸泡 19 d 后, 力学强度为 15.8 MPa, 断裂伸长率为 280%, 显示出优异的耐水性能。导电粉体质量分数为 16% 时, 抗静电涂层表面电阻为 4 MΩ/m²。在 75 d 盐雾实验之后, 涂层电性能依然稳定, 显示良好的稳定性。并且涂层的工艺性能良好, 可室温固化。**结论** 饱和聚烯烃的引入提高了涂层的力学强度及弹性, 增强了其防雨蚀冲刷性能, 导电填料用量的优化提升了涂层系统的抗静电性能。此外, 涂层系统的工艺性能良好, 应用前景广阔。

关键词: 防雨蚀; 抗静电涂层; 弹性聚氨酯; 饱和聚烯烃; 耐盐雾; 耐水性

中图分类号: TQ63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2018)05-0202-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2018.05.031

Preparation of a New Rain Erosion Resistant and Antistatic Coating System

WAN Yao-ming, YU Ming-ming, XIONG Yu, ZHANG Yu-zhong, LIANG Lu

(AECC Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

ABSTRACT: The work aims to improve rain erosion resistance and antistatic property by developing a new rain erosion resistant and antistatic coating system to meet the higher requirement for long-term salt fog resistance and hydrothermal resistance made by composite rain erosion resistant and antistatic coating system in high-salt and highly hygrothermal environment. The coating system was made based on a new polyurethane elastomer which was modified by saturated polyolefin resin. The coating formula was optimized by studying effects of amount of saturated polyolefin resin and electrical fillers on coating system properties. The system exhibited excellent properties. Mechanical strength was 21.3 MPa and elongation was 385% when mass fraction of saturated polyolefin reached 40%. After the system has been immersed in 80 °C hot water for 19 days, its mechanical strength was 15.8 MPa and elongation was 280%, which showed good water resistance. The surface resistance of antistatic coating was 4 MΩ/m² when mass fraction of conductive powder was 16%. The electrical property remained stable after 75 days' salt fog test. Meanwhile, the coating system exhibited excellent processing property, and could be cured at room temperature. The introduction of saturated polyolefin significantly improves mechanical strength and elasticity of the coating, and enhances its rain erosion resistance. The optimization of conductive filler promotes antistatic property of the coating system. Meanwhile, the new coating system has good processing properties and shows a broad application prospect.

收稿日期: 2017-10-13; 修订日期: 2017-11-20

Received: 2017-10-13; Revised: 2017-11-20

作者简介: 万耀明 (1989—), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为高分子材料及特种功能涂层。

Biography: WAN Yao-ming (1989—), Male, Doctor, Engineer, Research focus: polymer material and advanced functional coating.

KEY WORDS: rain erosion resistance; antistatic coatings; elastic polyurethane; saturated polyolefin; salt fog resistance; water resistance

防雨蚀抗静电涂层系统主要用于复合材料天线罩表面,对消除复合材料罩体表面的静电,降低静电对雷达及通信系统的干扰,保障雷达及通信系统正常工作具有重要作用^[1]。同时,在飞行过程中,气流中的尘埃、沙石的冲蚀、磨蚀和雨点的雨蚀对复材结构的罩体会造成损伤,降低材料的强度,缩短制件的使用寿命,而防雨蚀抗静电涂层系统对复材罩体结构还可以起到保护作用^[2-3]。

20 世纪 80 年代以前,国内防雨蚀抗静电涂层系统主要以树脂型涂层为主。与橡胶型涂层相比,树脂型涂层质地硬脆,在气流、沙尘和雨滴的冲击下经常脱落,不能很好地保护雷达罩,造成雷达罩的破坏。20 世纪 90 年代初,采用芳香族聚氨酯弹性防雨蚀抗静电涂料,涂层的弹性及柔韧性得到很大的提高,更好地降低了气流冲刷、砂蚀和雨蚀对复合材料天线罩的破坏,但该系列涂料耐候性较差,主要是芳香族聚氨酯树脂受紫外线长期照射后易老化分解所致^[4]。

随着我国对海洋的重视以及远洋和航母技术的发展,要求复合材料天线罩在海洋高盐高湿热条件下服役的时间越来越长,因此对防雨蚀抗静电涂料要求越来越高,特别是长期耐盐雾性能。目前天线罩用防雨蚀抗静电涂料耐盐雾仅为 96 h,已无法满足长期海洋环境的使用要求。此外,国内抗静电涂料还存在耐环境性能差、易于脱落、修复不便等问题,在海洋环境中,这些问题更为突出。文中主要讨论了饱和聚烯烃弹性树脂改性的聚氨酯材料体系在防雨蚀抗静电涂层系统中的应用,并且研制得到了饱和聚烯烃改性的聚氨酯弹性防雨蚀抗静电涂料,提高了其防雨蚀、耐候及耐盐雾性能。

1 试验

1.1 涂料制备

1.1.1 防雨蚀涂料的制备

以饱和聚烯烃和改性聚氨酯为主要成膜树脂,按表 1 配方在树脂中加入钛白粉、云母粉、氧化锌和其他助剂,搅拌均匀,用砂磨机研磨至规定的细度,加入溶剂分散、过滤,制备得到涂料的组分一。组分二为固化剂,用量为组分一质量的 8%~10%。

1.1.2 抗静电涂料的制备

在上述防雨蚀涂料的配方基础上,加入一定比例(15%~20%)的导电填料于组分一当中,构成抗静电。

表 1 防雨蚀涂料组分一配方
Tab.1 Composition-formula of rain erosion resistant coatings

Raw material	Content/%
Saturated polyolefin resin	30~50
Modified PU resin	20~30
Titanium dioxide	8~12
Mica powder	3~5
Zinc oxide	6~10
Other fillers	5~6
Solvent	10~20

涂料的组分一,而抗静电涂料的组分二固化体系与防雨蚀涂料一致

1.2 涂层制备

涂层的制备包括底材处理、涂料的施工和涂层固化。

1) 底材处理。将马口铁板用有机溶剂除油、打磨除锈,再用溶剂清洗干净,干燥。对于环氧玻璃纤维复材试板,揭除光滑复材表层,露出粗糙的内部结构。

2) 涂料施工。将涂料各组分按规定的配比搅拌均匀,采用空气喷涂(或刷涂)涂覆于马口铁板或复材试板上,表干后再进行下一道涂料施工。单一涂层厚度根据测试要求进行控制,而对于防雨蚀抗静电涂层系统,相应的涂层厚度分别为:环氧底漆 20 μm,防雨蚀涂层 120 μm,抗静电涂层 50 μm。

3) 涂层固化。将施工完毕的试板室温放置 7 d 或置于烘箱 80 ℃烘烤 2 h,即可完全固化。

1.3 性能测试

1) 按 GB/T 1771—2007 进行涂层耐盐雾性测试。试验结束后,检查涂层表面状况,如无起皱、起泡、脱落等现象即表明耐盐雾性能良好。

2) 按 GB/T 1740—2007 进行涂层耐湿热性测试。试验结束后,检查涂层表面状况,如无起皱、起泡、脱落等现象即表明耐湿热性能良好。

3) 按 GB/T 1040.3—2006 进行涂层材料的力学性能测试,包括拉伸强度与断裂伸长率;按 GB/T 1720—1979 测定附着力;按 GB/T 1731—1993 测定柔韧性;按 GB/T 1732—1993 测定耐冲击性。

4) 按 GB/T 14522—2008 进行涂层老化试验。试验结束后,检查涂层表面状况,如无起皱、起泡、脱落等现象即表明耐老化性能良好。

5) 按 GB/T 1734—1993 进行涂层耐介质试验。试验结束后,检查涂层表面状况,如无起皱、起泡、

脱落等现象即表明耐介质性能良好。

6)按 GB/T 1409—2006 进行涂层的电性能试验,包括介电常数和损耗角正切;按 AMS-C-83231A 进行表面电阻测试。

2 结果及分析

2.1 饱和聚烯烃树脂对涂料力学性能的影响

聚氨酯材料是由软段和硬段共同组成,硬段通过结晶或大范围的氢键提供强度,而软段则是通过链段的柔顺性提供弹性,通过改变软硬段比例可实现聚氨酯材料的力学性能调控^[5]。通常聚氨酯软段采用端羟基聚醚或聚酯,聚醚作为软段具有很好的柔顺性和弹性,但是其强度偏低,且耐水性能差^[6-9];而聚酯型聚氨酯结晶性高,强度大,可是柔顺性不佳、耐候性差^[10-14]。

文中设计开发的饱和聚烯烃树脂主链结构为饱和聚烯烃链,主链上的碳碳单键可自由旋转而不受限制,具有良好的柔顺性,作为聚氨酯涂料的软段提供弹性^[15]。同时侧链上少量的脢基可以形成氢键,对提高材料的撕裂强度具有一定的作用。表 2 给出了不同饱和聚烯烃含量聚氨酯涂层的力学性能数据,由图 1 中的曲线可知,当饱和聚烯烃含量增加时,涂料的拉伸强度有所下降,而断裂伸长率在逐步提高。这是由

于饱和聚烯烃软段比例提高,增加了弹性,对应的硬段含量减少使强度有所减弱,这是聚氨酯材料普遍存在的一个规律。利用这一规律可以很好地调控聚氨酯材料的力学性能,使其满足不同的应用需求指标。综合考虑,饱和聚烯烃质量分数为 40%的树脂体系所显示的强度与断裂伸长率测试结果适中。因此,在文中后续的讨论中,防雨蚀涂料均采用饱和聚烯烃质量分数为 40%的树脂配方体系。另外,表 2 给出的柔韧性与耐冲击性指标均为最佳值,这是由于该涂料系统为弹性涂层,其柔韧性及耐冲击性良好。

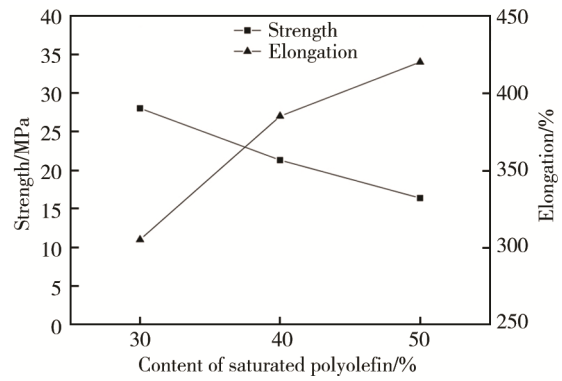


图 1 防雨蚀涂料力学性能随饱和聚烯烃含量的变化
Fig.1 Variation curve of mechanical properties of rain erosion resistant coatings at different content of saturated polyolefin resin

表 2 不同饱和聚烯烃含量对防雨蚀涂料力学性能的影响

Tab.2 Effects of different saturated polyolefin resin content on mechanical properties of rain erosion resistant coatings

Saturated polyolefin resin content/%	Flexibility/mm	Impact toughness/cm	Strength/MPa	Elongation/%
30	≤1	≥50	28	305
40	≤1	≥50	21.3	385
50	≤1	≥50	16.4	420

2.2 饱和聚烯烃型聚氨酯涂料的耐水性能

由于聚氨酯本身结构的疏水性,所以通常的聚氨酯材料具有良好的常温耐水性,但聚酯型的聚氨酯在高温下的耐水性较差。这是由于其中的酯键在高温下发生水解,主链结构被破坏,强度丧失。聚醚型聚氨酯的高温耐水性虽然比聚酯型要好,但醚键本身因能与水形成氢键而具有一定的亲水性,所以其在高温水中浸泡后,力学性能也会出现大幅度的下降,甚至材料发生破坏。文中所研制的饱和聚烯烃型聚氨酯是一类新型的聚氨酯材料,它不含对水敏感的酯基和醚键,软段结构为纯饱和聚烯烃,因而具有优异的耐水性,特别是高温耐水性能优异。图 2 给出了饱和聚烯烃型聚氨酯涂料在 80 ℃ 的水中浸泡不同时间后的力学性能测试结果,在热水中浸泡后,其力学性能在初期虽然有所降低,但随后一直稳定在一个较高的水平,表现出了极优异的耐水性能。

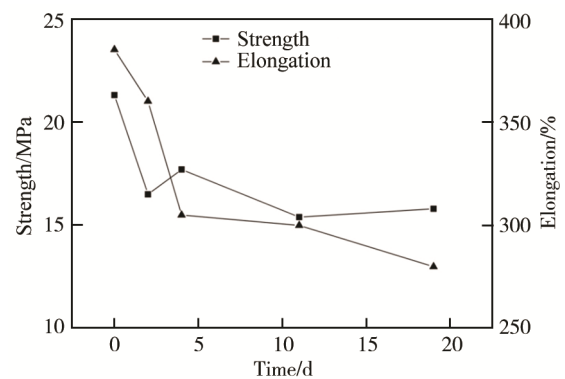


图 2 在 80 ℃ 水中浸泡下防雨蚀涂料力学性能
随时间的变化

Fig.2 Variation of mechanical properties of rain erosion resistant coatings as a function of time when being immersed in 80℃ water

2.3 导电填料对抗静电涂料电性能的影响

抗静电涂料分为添加型和本征型两类,本征型抗

静电涂料技术尚不成熟，目前的抗静电涂料绝大多数都是通过添加导电填料来实现导静电功能的^[3]。只有导电填料的体积分数超过一定阈值才能形成导电网络或通路，在阈值之前，导电填料无法形成连续的导电网络而不具备导静电的功能。表 4 给出了导电填料含量不同的抗静电涂料的电性能数据。在导电填料质量分数低于 16% 时，体系的导电性能差；而当导电填料质量分数大于等于 16% 时，表面电阻值迅速降低至 4 MΩ/m² 左右，导电性能突增。这表明该抗静电涂料体系的导电填料用量阈值在 16% 附近。当再进一步提高导电填料含量时，体系的电阻值持续下降，但下降幅度较小。笔者认为在导电填料质量分数达到 16% 时，体系的导电网络已经基本形成了一个完整的通路，导电性能出现一个阶跃，可以粗略地认为这是一个从无到有的过程；而当再进一步提高导电填料含量，只是单纯地提高了其导电网络的密度，实际对导电性能的提升很有限，因此导电填料质量分数从 16% 提高到 30% 后，电阻值下降并不明显。对于雷达罩的抗静电涂层，其电阻值一般要求在 0.5~25 MΩ/m²，因此确定对于本涂层体系，最佳的导电填料用量为 16%。

表 3 导电填料用量对抗静电涂料电性能的影响
Tab. 3 Effects of electrical filler content on electric property of antistatic coatings

Electrical filler content/%	14	15	16	18	20	30
Surface resistance/(MΩ·m ⁻²)	454.43	39.76	4.20	3.12	0.30	0.06
	412.78	78.58	4.42	2.87	0.60	0.08
	268.25	60.04	4.67	2.56	0.57	0.16
Average value/(MΩ·m ⁻²)	378.49	59.46	4.43	2.85	0.49	0.10

表 4 抗静电涂料在经历不同时长盐雾试验后的电性能变化
Tab. 4 Changes in electric property of antistatic coatings* after different duration of salt fog test

Time of exposed to salt fog/d	7	14	21	28	35	75
Surface resistance/(MΩ·m ⁻²)	4.426	1.886	1.479	1.532	0.968	0.498
	4.440	2.440	1.918	1.297	1.192	0.452
	4.429	2.133	1.764	1.796	1.057	0.475
Average value/(MΩ·m ⁻²)	4.432	2.153	1.720	1.542	1.072	0.475

* Electrical filler content: 16%

2.5 涂层系统的综合性能

对制备的饱和聚烯烃型聚氨酯防雨蚀抗静电涂料进行配方的优化后，得到了最佳的配方设计。其中防雨蚀涂料中饱和聚烯烃的质量分数为 40%，而抗静电涂料则在防雨蚀涂料配方的基础上加入 16% 的导电填料。防雨蚀抗静电涂层系统的构成为环氧底漆/防雨蚀涂层/抗静电涂层：环氧底漆的作用是对复材进行防潮保护和增强防雨蚀弹性涂层与复合材料基材间的附着力；聚氨酯防雨蚀中间层与环氧底漆间的

2.4 抗静电涂料电性能的环境稳定性

对于抗静电涂料而言，不但要具备一定的电性能来提供导静电功能，同时电性能的稳定亦是其作为雷达罩抗静电功能材料最为关键的一个因素^[16]。现有的抗静电涂料在常规环境下，其电性能一般都能够稳定在一个合理的区间，一旦涂层在经历各种环境实验之后，其电性能会发生巨大的变化，使之超出抗静电涂料要求的电性能区间。特别是盐雾试验过后，水中的盐离子通过往涂层中的逐步渗透而进入涂层本体，这些渗透进入的盐离子与体系中的导电粉体共同作用，增加了涂层的导电性，使常规抗静电涂料的电性能发生巨大变化，超出合理的电性能区间，导致抗静电涂层失效，雷达性能受到影响。

对于要长时间服役于高盐雾高湿热海洋环境的材料而言，抗静电涂层电性能的稳定性的显得尤为重要。本文对新型饱和聚烯烃型聚氨酯抗静电涂料经不同时间盐雾试验后的电性能进行表征，结果（表 4）表明，所研制的抗静电涂料电性能显示出了良好的稳定性，在经历长时间的盐雾试验后，电性能都能维持在一个较为稳定的水平，不会出现大起大落的现象。笔者认为这与采用的新型饱和聚烯烃聚氨酯树脂体系是相关的，饱和聚烯烃聚氨酯树脂具有优异的疏水及耐水性质，即使在高湿热高盐雾环境下，富盐的溶液也难以渗透进入涂料本体网络中，涂料的导电网络仍然由初始的导电粉体构成，因而其电性能基本不会出现大的变化。电阻值的轻微减小可能是由于在长时间的放置过程中，涂层体系树脂的交联网络逐渐完善，使导电粉体的间距缩小，从而表现为宏观的导电性轻微提高，但仍然在合理的区间。

层间附着强度高，相容性好；而最外层的抗静电涂层与防雨蚀涂层属于同类型树脂体系，所以其相容性不存在问题，同时层间附着强度很高。因此，文中设计的防雨蚀抗静电涂层系统的整体匹配性良好。表 5 给出了该防雨蚀抗静电涂层系统综合性能表征数据，由数据可以得出，该防雨蚀抗静电涂层系统不管是基本的力学性能、耐介质性能、耐环境性能，还是整体的防雨蚀、抗冲击、抗静电性能，均满足实际应用的需求。表明该防雨蚀抗静电涂层系统综合性能优良，具

有良好的潜在应用价值。

表 5 饱和聚烯烃型聚氨酯防雨蚀抗静电涂料系统的基本性能

Tab.5 Basic properties of rain erosion resistant and anti-static coating system made from saturated polyolefin polyurethane

Test items	Test results
Drying-time: (23±2)℃	Surface dry≤1 h Totally dry≤3 h Cured≤7 d
Flexibility/mm	1
Impact toughness/cm	≥50
Adhesive force (scratching method)/level	0
Salt fog resistance (4000 h)	No bubble, no exfoliation, no wrinkling
Thermal-humidity resistance (5000 h)	No bubble, no exfoliation, no wrinkling
High temperature resistance (150℃±2 ℃, 2 min)	No bubble, no exfoliation, no wrinkling
Ultraviolet aging test (2000 h)	No bubble, no exfoliation, no wrinkling
Water resistance (23 ℃±2 ℃, 3 d)	No bubble, no exfoliation, surface resistance is qualified
Aviation kerosene resistance (23 ℃±2 ℃, 1 d)	No bubble, no exfoliation, no wrinkling
120# gasoline resistance (23 ℃±2 ℃, 3 d)	No bubble, no exfoliation, surface resistance is qualified
3%NaCl aqueous solution resistance (23 ℃±2 ℃, 3 d)	No bubble, no exfoliation, surface resistance is qualified
Dielectric constant (Frequency: 9.375 GHz)	≤7
Loss tangent, tanδ (Frequency: 9.375 GHz)	≤0.5
Surface resistance/(MΩ·m ⁻²)	0.5 ~ 25

3 结论

1) 饱和聚烯烃改性的聚氨酯作为基体树脂而制备得到的防雨蚀弹性涂层材料,在聚烯烃质量分数为40%时,其力学强度为21.3 MPa,断裂伸长率为385%,力学强度和弹性达到平衡,满足防雨蚀涂层的应用要求。

2) 采用饱和聚烯烃树脂改性聚氨酯,由于不含对水敏感的酯键和醚键,涂层显示了极优异的耐水性,特别是高温耐水性能优异,在80℃的水中长时间浸泡,其力学性能仍然稳定。

3) 饱和聚烯烃聚氨酯树脂优异的疏水及耐水性质,使其在高温高盐雾条件下对盐离子具有良好的阻隔性能,从而提高了抗静电涂层电性能的环境稳定性。

4) 文中所研制的饱和聚烯烃改性聚氨酯防雨蚀抗静电涂层系统具有可室温固化、耐盐雾、耐湿热、耐候性能优异,弹性、强度等力学性能良好,电性能

稳定等突出优点。涂层系统层间匹配性好、综合性能优良且稳定,应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 孟季茹,梁国正,秦华宇,等.机载雷达罩涂层的研究概况[J].材料导报,2000,14(2):51-52.
MENG Ji-ru, LIANG Guo-zheng, QIN Hua-yu, et al. Research on Coating System for Radome[J]. Materials Review, 2000, 14(2): 51-52.
- [2] 胡宁先.特种涂料[M].上海:上海科学技术文献出版社,1990.
HU Ning-xian. Special Coating[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Press, 1990.
- [3] 张玉忠,王彦,濮忠民,等.飞机雷达罩抗静电涂层系统施工工艺概况[C]//2013年首届中国航空科学技术大会论文集.北京:中国航空学会,2013:1-3.
ZHANG Yu-zhong, WANG Yan, PU Zhong-min, et al. Finishing Process of Antistatic Coatings for Radar Cover of Aeroplane[C]//2013 Chinese Aeroplane Science and Technology Conference Thesis. Beijing: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 2013: 1-3.
- [4] 狄志刚,袁立新,傅敏,等.飞行器雷达罩修补漆的研制[J].涂料工业,2002,32(4):6-7.
DI Zhi-gang, YUAN Li-xin, FU Min, et al. Development of Refinishing Paint for Radar Shield of Air Vehicle[J]. Paint & Coatings Industry, 2002, 32(4): 6-7.
- [5] 安孟学.聚氨酯弹性体手册[M].北京:化学工业出版社,2000.
AN Meng-xue. Polyurethane Elastomer Handbook[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.
- [6] 郭晓勇,李萍,石红翠,等.聚醚型聚氨酯中软硬段之间的氢键作用[J].聚氨酯工业,2016,31(4):9-12.
GUO Xiao-yong, LI Ping, SHI Hong-cui, et al. Hydrogen Bonding between Hard and Soft Segment in Polyether-based Polyurethane[J]. Polyurethane Industry, 2016, 31(4): 9-12.
- [7] 宋川.聚醚型聚氨酯弹性体的制备及改性[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
SONG Chuan. Preparation and Modification of Polyether-Polyurethane Elastomer[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009.
- [8] 郝亚瞰.共聚醚/TDI室温固化体系力学性能的研究[J].弹性体,2017,27(1):27-30.
HAO Ya-kun. Mechanical Properties of Copolyether/TDI Cured at Room-temperature[J]. Elastomer, 2017, 27(1): 27-30.
- [9] 权衡,倪丽杰,姜会钰,等.聚醚/聚酯型亲水性聚氨酯防水透湿性能研究[J].聚氨酯工业,2013,28(4):32-36.
QUAN Heng, NI Li-jie, JIANG Hui-yu, et al. Study on the Waterproof and Breathable Properties of Polyether/Polyester Hydrophilic Polyurethane[J]. Polyurethane

- Industry, 2013, 28(4): 32-36.
- [10] 殷宁, 亢茂青, 冯月兰, 等. 聚醚-酯嵌段共聚物提高聚氨酯弹性体水解稳定性的研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(4): 105-109.
YIN Ning, KANG Mao-qing, FENG Yue-lan, et al. Study on Developing Hydrolysis Stability of Polyurethane Elastomer Modified by Poly(Ether-Ester) Segmented Copolyols[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2007, 23(4): 105-109.
- [11] 郝瑞, 周艺峰, 聂王焰. 含 PCL 和 PBST 链段聚酯聚氨酯的合成与表征[J]. 材料科学与工艺, 2011, 19(6): 58-64.
HAO Duan, ZHOU Yi-feng, NIE Wang-yan. Synthesis and Characterization of Poly(Ester Urethane) Via Chain Extension of PCL and PBST Prepolymers[J]. Materials Science and Technology, 2011, 19(6): 58-64.
- [12] 张静, 崔利娟. 聚酯聚氨酯风机叶片涂料的研究[J]. 中国涂料, 2013, 28(2): 53-56.
ZHANG Jing, CUI Li-juan. Study on the Polyester Polyurethane Coatings for Wind Turbine Blade[J]. China Coatings, 2013, 28(2): 53-56.
- [13] 李相权. 聚氨酯改性不饱和聚酯树脂的制备[J]. 中国涂料, 2013, 28(1): 51-53.
LI Xiang-quan. Preparation of Polyurethane Modified Unsaturated Polyester Resin[J]. China Coatings, 2013, 28(1): 51-53.
- [14] 王正辉, 萧翼之. 高结晶性聚酯型水性聚氨酯的制备及表征[J]. 高分子材料科学与工程, 2005, 21(4): 292-294.
WANG Zheng-hui, XIAO Yi-zhi. Preparation and Characterization of Water-based Polyurethane Having High Crystallinity[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2005, 21(4): 292-294.
- [15] 陶灿, 王继印, 鲍俊杰, 等. 氢化端羟基聚丁二烯改性水性聚氨酯涂料的合成及其性能研究[J]. 涂料工业, 2015, 45(3): 51-57.
TAO Can, WANG Ji-yin, BAO Jun-jie, et al. Preparation and Characterization of Waterborne Polyurethane Coatings Modified by Hydrogenated Hydroxyl Terminated Polybutadiene[J]. Paint & Coatings Industry, 2015, 45(3): 51-57.
- [16] 李留东, 董存峰, 杨茂伟, 等. 抗静电涂料的抗静电机理探讨[J]. 涂料技术与文摘, 2010, 31(11): 38-40.
LI Liu-dong, DONG Cun-feng, YANG Mao-wei, et al. Antistatic Mechanism Discussion of Antistatic Coatings[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2010, 31(11): 38-40.