

# 木质音箱用喷涂聚脲弹性体的制备及其应用

杨春嘉<sup>1,2</sup>, 吴文文<sup>1,2</sup>, 崔洪犁<sup>1,2</sup>, 刁振峰<sup>1,2</sup>

(1. 海洋化工研究院青岛佳联研发生产基地, 山东 青岛 266071;

2. 海洋涂料国家重点实验室, 山东 青岛 266071)

**摘要:** **目的** 研制适合木质音箱表面使用的喷涂聚脲弹性体, 拓展喷涂聚脲的应用领域, 解决当前木质音箱表面防护与美观的涂装需求。**方法** 以异氰酸酯预聚物为 A 组分, 聚醚多元醇及胺基扩链剂为 B 组分, 采用高压无气喷涂方法制备喷涂聚脲弹性体。通过研究异氰酸酯含量、扩链剂种类与用量、聚醚多元醇等因素, 对聚脲凝胶速度、硬度、伸长率、外观等性能的影响, 研制出适合音箱表面喷涂使用的聚脲产品, 并对聚脲产品进行了物理性能及耐介质性能测试。**结果** 对音箱用喷涂聚脲弹性体的异氰酸酯含量进行筛选, 确定在 18%~24% 之间较为合适, 最终采用 21%。通过对扩链剂的筛选, 确定扩链剂 1 和扩链剂 2 质量比为 2:1 时, 可以满足施工和表现的要求。为实现涂层既刚又韧的特性, 确定聚醚多元醇  $m_{PPG2000}:m_{TMN3050}=1.6:1$  最合适。另外, 喷涂聚脲样片的物理性能以及耐介质性能良好。**结论** 成功研制出适合木质音箱表面使用的喷涂聚脲材料, 此音箱用聚脲具有良好的力学强度及表现效果。同时, 介绍了音箱聚脲的实际喷涂使用及喷涂技巧, 结果表明在音箱表面可以起到良好的装饰和防护效果。

**关键词:** 木质音箱; 喷涂聚脲弹性体; 凝胶速度; 拉伸强度; 断裂伸长率; 装饰与防护; 耐磨; 耐化学性  
**中图分类号:** TQ630.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2017)07-0213-06

**DOI:** 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.07.036

## Preparation and Application of Spray Polyurea Elastomer for Wooden Voice Box Use

YANG Chun-jia<sup>1,2</sup>, WU Wen-wen<sup>1,2</sup>, CUI Hong-li<sup>1,2</sup>, DIAO Zhen-feng<sup>1,2</sup>

(1. Qingdao Jialian R&D and Production Base, Marine Chemical Research Institute, Qingdao 266071, China;

2. State Key Laboratory of Marine Coatings, Qingdao 266071, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study and develop spray polyurea elastomer to be used on the surface of wooden voice box, expand application field of spray polyurea elastomer, and meet the demand of surface protection and elegant coating of the wooden voice box. The spray polyurea elastomer was prepared mainly from isocyanate (as A component) as well as polyether polyols and amine chain extender (B component) in high-pressure airless spraying method. The effects of such factors including isocyanate content, chain extender type and volume and polyether polyol on properties including gel velocity, hardness, elongation and appearance of polyurea were discussed. Polyurea products applicable to surface painting. Physical performance and medium resistance tests were performed to spraying polyurea products. Proper isocyanate content of spray polyurea elastomer was determined as 18%~24%. Finally, isocyanate content was defined as 21%. Construction and appearance requirements could be met when weight ratio of selected chain extender 1 versus extender 2 was 2:1. Proper weight ratio of PPG2000 versus TMN3050 was 1.6:1, which can achieve both rigid and tough characteristics. In addition, physical performance and medium re-

收稿日期: 2017-02-11; 修订日期: 2017-06-09

Received: 2017-02-11; Revised: 2017-06-09

作者简介: 杨春嘉 (1982—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为聚氨酯、聚脲涂料。

**Biography:** YANG Chun-jia (1982—), Male, Master, Engineer, Research focus: polyurethane, polyurea coating.

sistance tests performed to spray polyurea showed that both properties were favorable. The spray polyurea elastomer applicable to surface of wooden voice box was developed and studied successfully. The results show that the spray polyurea elastomer exhibits favorable mechanical strength and decoration performance. Furthermore, practical application and spraying technique are introduced. The practical application shows that the material could have a very good decorative and protecting effects on the surface of voice box.

**KEY WORDS:** wooden voice box; spray polyurea elastomer; gel velocity; tensile strength; elongation at break; decoration and protection; abrasion resistance; chemical resistance

喷涂聚脲弹性体的出现完全打破了传统的防腐和防护观念,为材料保护行业树立了一个更高的标准。作为一种新型无溶剂、无污染的绿色技术<sup>[1-2]</sup>,聚脲涂层柔韧有余、刚性十足、色彩丰富,它致密、连续、无接缝,完全隔绝空气中水分和氧气的渗入,防腐和防护性能无与伦比,同时它具有耐磨、防水、抗冲击、抗疲劳、耐老化、耐高温、耐核辐射等多种功能。自诞生之日起,就广泛应用于各个领域。海洋化工研究院有限公司是国内最早引进喷涂聚脲技术的单位,在产品研发上具有深厚的技术底蕴<sup>[3-6]</sup>。

当前音箱表面采用的涂料有醇酸类和水性类。醇酸类涂料<sup>[7-8]</sup>含有有机溶剂,使用前需要配料、静置消泡,其工艺较繁琐且不利于健康环保;水性类涂料有环氧漆<sup>[9-11]</sup>、聚氨酯漆<sup>[12-14]</sup>、丙烯酸漆<sup>[15-16]</sup>等,绿色环保,但施工效率低,固化过程慢,不利于流水线快速涂装,并且需要大的空间晾干固化。为解决此类问题,可机器快速喷涂、瞬间固化、可厚涂施工的

喷涂聚脲涂料,在提高生产效率、减少污染等方面展现了自身的技术优势。针对木质音箱自身的特点,以及音箱对防护、外观等方面的要求,需要对普通聚脲的物理性能、反应速度、喷涂后涂层表面状态等方面进行改良。目前,关于喷涂聚脲在木制音箱表面上的应用研究少有公开的文献资料。

本文通过选取搭配不同胺基扩链剂和聚醚多元醇,制备了适用于音箱表面的喷涂聚脲弹性体,研究了异氰酸酯含量、扩链剂种类与用量、聚醚多元醇等对喷涂聚脲材料性能的影响,测试了产品的物理性能,最后介绍了音箱聚脲的实际喷涂使用及喷涂技巧等。

## 1 实验

### 1.1 主要原料

所用原料见表1所示。

表1 原料  
Tab.1 Raw material

名称	参数	厂家
MDI-100	$M_n/f_n=125$ , 4,4'-MDI质量分数 $\geq 99\%$	万华化学(北京)有限公司
MDI-50	$M_n/f_n=125$ , 2,4'-MDI质量分数 $\geq 50\%$	万华化学(北京)有限公司
聚醚多元醇(PPG1000、PPG2000、TMN3050、330 N)		天津石化三厂
端胺基聚醚Jefamine D-2000	官能度 $f=2$ , $M_n=2000$	美国Huntsman公司
端胺基聚醚Jefamine T-5000	官能度 $f=3$ , $M_n=5000$	万华化学(北京)有限公司
WANALINK 6200	官能度 $f=2$ , $M_n=310$	万华化学(北京)有限公司
IPDA	官能度 $f=2$ , $M_n=170$	美国Huntsman公司
扩链剂1		外购
扩链剂2		外购

### 1.2 性能测试

使用TY8000系列电子式万能试验机(江苏江都天源试验机械有限公司),参照HG/T 3831—2006,测试聚脲弹性体的力学性能。使用邵D硬度计(上海六菱仪器厂),参照GB/T 531—1999,测试其硬度。使用NDJ-5S数字式黏度计(上海尼润智能科技有限公司),参照GB/T 10247—2008,测试其黏度。

使用Taber Industries 5155 Abraser (Polytech Instruments Asia Pte Limited),参照GB/T 1768—2006,测试其耐磨性能。

### 1.3 工艺简述

#### 1.3.1 A组分的制备

将计量的异氰酸酯投入装有搅拌器、温度计、加料口和氮气入口的反应器,因为此反应相对比较快且

是放热反应，因此开始时不需要加热。缓慢加入计量的聚醚多元醇（聚醚多元醇使用前，需要在 100~130 ℃下真空脱水 1~2 h），体系自然升温 30~40 min 后，缓慢加热到(80±5) ℃，反应 3~4 h，取样检测 NCO 含量，达到预定值后出料。

1.3.2 B 组分的制备

将脱水后的聚醚、扩链剂及助剂混合并高速搅拌均匀，用 200 目筛网过滤后待用。根据 A 组分的 NCO 含量，按照上述步骤调整聚醚、扩链剂等用量，制备对应的 B 组分。

1.3.3 喷涂设备及工艺参数

实验所用喷涂设备是美国固瑞克（Graco）公司生产的 Reactor H-XP3 设备和 Fusion AP 喷枪（Air Purge Spray Gun）。主要工艺参数为：液压压力 13.7~17.2 MPa，物料温度 60~70 ℃，两组分混合体积比为 1:1。

1.4 样片制备

在涂有脱模剂的 PVC 板上喷涂厚度为 1.5 mm 的聚脲，喷涂样片室温放置 7 d 后进行性能测试。

在音箱用木板表面喷涂厚度为 0.7 mm 的聚脲，观察喷涂样片的外观。

2 结果与讨论

2.1 A 组分中异氰酸酯含量对体系的影响

作为在音箱表面的保护材料，首要功能是能保护音箱表面不受外力损伤，涂层需要具有一定的硬度、断裂伸长率等，防止磕碰损伤。其中 A 组分异氰酸酯含量对固化体系有着显著的影响。采用 MDI 单体与 PPG1000 聚醚合成 NCO 质量分数分别为 15%、18%、21%、24%、27% 的异氰酸酯预聚物，与相应的 B 组分分别进行反应固化。表 2 对各种异氰酸酯含量进行了性能比较。

表 2 不同异氰酸酯含量对涂层硬度及断裂伸长率的影响  
Tab.2 The influence of different isocyanate content on hardness and elongation

NCO质量分数/%	硬度（邵D）	断裂伸长率/%
15	55	260
18	64	170
21	70	124
24	75	40
27	78	15

异氰酸酯含量为 18% 以下时，聚脲硬度较低且断裂伸长率较大，应用在木质材料上韧性有余，刚性不足，起不到应有的保护作用；NCO 含量在 24% 以上

时，硬度高且脆性大，受到外力撞击易开裂。综合比较，异氰酸酯含量在 18%~24% 之间最合适，选用异氰酸酯含量为 21% 的预聚物进行后续试验。

2.2 扩链剂种类的影响

喷涂聚脲弹性体材料不仅要求能保护音箱免受磕碰损伤，而且要求具有较好的艺术性和美观效果，后者主要体现在喷涂聚脲表面造粒后的形态。为满足音箱表面的要求，聚脲需要合适的凝胶速度。凝胶速度快，涂料喷出后形成的涂层坑洼不平，难以实现表面平整，影响美观；凝胶速度慢，难以实现立体感强的外观效果。这都对凝胶速度提出了很高的要求。为此，系统地比较了各种扩链剂对凝胶速度的影响，并做出最优选择，见表 3。

表 3 不同扩链剂对凝胶速度的影响  
Tab.3 The influence of different chain expanding agent on gel velocity

扩链剂	凝胶时间/s	表干时间/s
IPDA	1~2	1~2
扩链剂1	4	6
扩链剂2	30	42
WANALINK 6200	45	180

可以看出，IPDA 是伯氨基扩链剂，含有 2 个活泼氢，同时氢原子的活泼性高，因此瞬间凝胶表干，反应太快，难以形成连续致密的涂层且易堵枪；扩链剂 1 属于伯胺类扩链剂，活性高，凝胶速度非常快；扩链剂 2 也属伯胺类，但是因为其分子中空间位阻的原因，造成凝胶速度明显变慢；WANALINK 6200 更因为空间位阻和肿胺的双重影响，反应速度进一步降低，不适合音箱表面凝胶造粒及快速使用的需求。试验表明，单用一种扩链剂难以满足要求，需要搭配使用。扩链剂 1 的反应活性较适宜，但稍快，可调节含量并搭配扩链剂 2 使用，来达到适合的凝胶速度。

2.3 扩链剂用量的选择

在确定了扩链剂的种类后，对其用量的影响作了进一步的试验。为了确定合适的扩链剂用量，选用不同质量比  $m_{\text{扩链剂1}}:m_{\text{扩链剂2}}$ ，如表 4 所示。随着扩链剂 1 用量的增加，体系凝胶速度逐渐加快。凝胶速度在  $m_{\text{扩链剂1}}:m_{\text{扩链剂2}}$  为 1:1、2:1、3:1 时，提升很快；当质量比为 4:1、5:1 时，增加的速度变慢趋缓。根据喷涂效果及现场反馈，选择质量比为 2:1 的体系较合适。

表 4 扩链剂用量对凝胶速度的影响  
Tab.4 The influence of chain expanding agent content on gel velocity

$m_{\text{扩链剂1}}:m_{\text{扩链剂2}}$	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1
凝胶时间/s	10	7	5	4	4

## 2.4 聚醚多元醇对涂层物理性能的影响

在 A 组分固定的条件下 ( $w_{\text{NCO}}=21\%$ ), 选用不同聚醚 (PPG2000、TMN3050、330N), 比较其对聚脲性能的影响, 具体见表 5。其中, PPG2000 是两官能度聚醚, TMN3050、330N 是三官能度聚醚。从表 5 可知, PPG2000 形成的涂层的硬度和拉伸强度较低, 断裂伸长率较高, 这是因为 PPG2000 分子链规整, 柔顺性较好, 交联密度低。TMN3050 和 330N 作为三官能度聚醚, 利于涂层交联固化, 交联密度高, 提高了涂层的硬度和拉伸强度, 但同时造成断裂伸长率的降低。其中, TMN3050 表现更明显, 因为其具有更小的相对分子质量, 交联密度更大。

为了涂层刚性与韧性的平衡, 选用 PPG2000 与 TMN3050 配合使用, 在试验中进一步筛选, 确定  $m_{\text{PPG2000}}:m_{\text{TMN3050}}=1.6:1$  比较合适。

表 5 聚醚多元醇对聚脲物理性能的影响  
Tab.5 The influence of polyether polyol on the physical property of polyurea

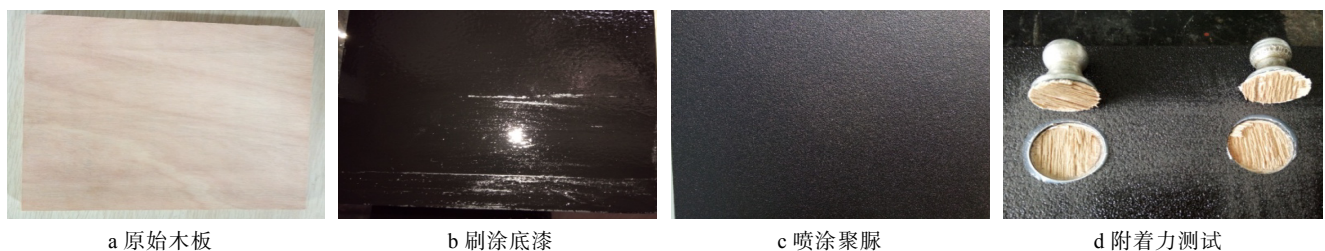
参数	PPG2000	TMN3050	330N
硬度 (邵D)	60	67	62
拉伸强度/MPa	18	22	20
断裂伸长率/%	230	146	164

## 2.5 音箱聚脲物理性能

通过系列试验筛选, 确定了最终配方, 喷涂养护后进行测试。聚脲的物理性能测试见表 6。

表 6 音箱聚脲物理性能  
Tab.6 The physical property of polyurea using on the surface of wooden sound box

项目	指标
凝胶时间/s	8
表干时间/s	12
硬度 (邵D)	68
拉伸强度/MPa	24
断裂伸长率/%	153
撕裂强度/( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ )	85
磨耗 Taber (750 g/500 r) /mg	20
附着力/MPa	$\geq 2.0$ 或破坏木材



a 原始木板

b 刷涂底漆

c 喷涂聚脲

d 附着力测试

图 1 在木板上喷涂聚脲

Fig.1 Spray polyurea on the surface of wooden plank: (a) the original wood, (b) brush primer, (c) spray polyurea, (d) adhesion testing

## 2.6 音箱聚脲耐化学性

音箱使用范围广泛, 有户内使用, 也有户外使用。如国内外大型体育场馆及户外演出、户外广场音乐喷泉系统、露天体育场、公园、学校操场、运动场等大型公共场所, 这就要求涂层具有良好的耐水性、耐介质性等。按照 GB/T 23446—2009 对音箱聚脲进行了耐酸碱盐浸泡试验, 结果见表 7。样片原始拉伸强度为 24 MPa, 断裂伸长率为 153%。耐酸浸泡采用 2% 的硫酸, 耐碱浸泡采用 0.1% 的氢氧化钠+氢氧化钙过饱和状态溶液, 耐盐浸泡采用 3% 的氯化钠溶液。浸泡 7 d 后测试。

表 7 音箱聚脲耐化学性  
Tab.7 The chemical resistance property of polyurea

项目	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	增重/%
耐酸浸泡	22.40	142	0.97
耐碱浸泡	21.70	139	1.59
耐盐浸泡	23.50	146	0.68

通过在酸碱盐溶液中的浸泡测试可以看到, 在各种介质中, 聚脲的拉伸强度和断裂伸长率都会下降, 但幅度不大, 总体上保持率在 90% 以上, 说明其耐化学性良好。在酸碱盐各介质中, 可以看到, 在碱溶液中, 浸泡后的拉伸强度和断裂伸长率最低, 这应该是因为分子链中的聚醚链段更易在碱类溶液中水解, 所以宏观表现为样片的物理强度下降; 同时在增重方面, 也是在碱性溶液中最大, 达到 1.59%。所以, 此音箱聚脲耐盐水性最好, 其次是耐酸、耐碱。

## 3 音箱聚脲弹性体的应用

### 3.1 聚脲在音箱木板及音箱表面的喷涂

聚脲在木板上喷涂使用时, 因为木材的多孔结构, 为减少表面瑕疵, 保证完美的表面效果, 需要封闭木材表面的空隙。为此, 专门配套底涂, 其作用一是渗透到木材内部, 封闭木材孔洞, 否则喷涂聚脲后, 会因木材孔洞内气体的膨胀造成涂层鼓泡、针孔等缺陷; 二是提高了聚脲在木材上的附着力, 甚至达到了破坏木材的附着效果。具体喷涂效果见图 1 和图 2 所示。结果表明, 喷涂后的聚脲涂层呈现出良好的装饰效果。



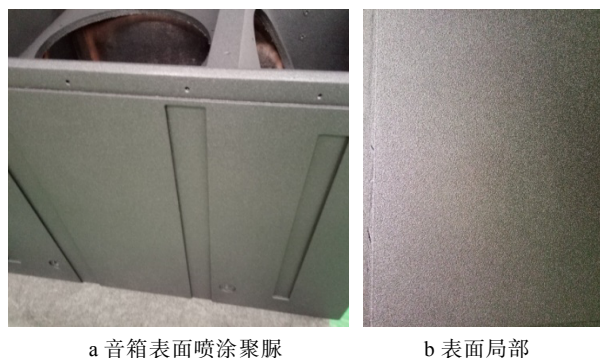


图 2 在音箱表面喷涂聚脲

Fig.2 Spray polyurea on the surface of wooden sound box: (a) spray polyurea on the surface of sound box, (b) the part of box surface

### 3.2 喷枪的操作对音箱聚脲喷涂效果的影响

现在市面常见的喷枪是 Fusion AP 喷枪 (Fusion Air Purge Spray Gun), 其特点是输出效率高, 雾化充分完全。喷涂造粒后, 颗粒有层次感, 缺点是涂料用量一般较多。

同样是 Fusion AP 喷枪喷涂, 不同的使用方法, 最终的表面效果也有区别。在喷涂聚脲完毕后, 为了表观的需求, 都会在最后进行造粒喷涂。此时, 喷枪距离音箱面较近, 造粒颗粒一般较大, 形成的聚脲层较亮, 见图 3a 所示。这是因为离得近, 一方面物料会在喷涂后快速接触基材, 小范围内有较充分的时间流平, 形成亮面; 另一方面, 空气里凝胶的大颗粒更容易造粒在表面, 形成略粗糙的面。

当喷枪在较远处造粒时, 形成的颗粒更细腻、均匀, 并且还具有一定的哑光效果, 如图 3b 所示。因为远离时, 物料抵达基材时已没有更多的时间流平, 并且空气中凝胶的小颗粒更易被吹到远处造粒, 而此时大颗粒早已沉降落地。

要根据客户实际需要, 实现不同表面效果, 可以在造粒时适当拉开喷枪到音箱面的距离。

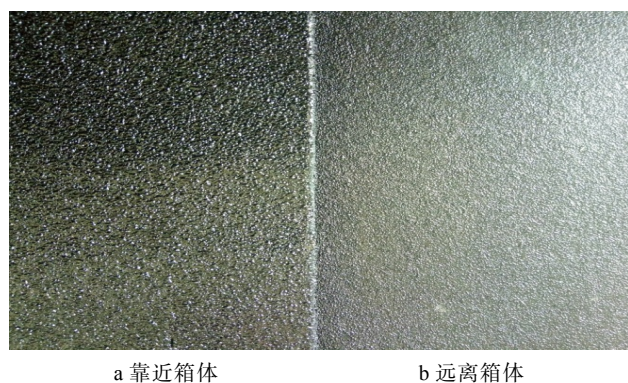


图 3 喷枪与音箱面距离对外观的影响

Fig.3 The influence of the distance between spray gun and sound box surface on extrinsic feature: (a) close to the box, (b) far away from the box

## 4 结论

对音箱用喷涂聚脲弹性体的异氰酸酯含量进行筛选, 确定在 18%~24% 之间较合适, 最终采用 21%。通过对扩链剂的筛选, 确定扩链剂 1 和扩链剂 2 质量比为 2:1 时, 可以满足施工和表观的要求。为实现涂层既刚又韧的特性, 选用  $m_{PPG2000}:m_{3050}=1.6:1$  最合适。另外, 对喷涂聚脲样片进行了物理性能以及耐化学性能测试, 结果表明其具有良好的物理性能及耐酸碱盐能力, 能够满足日常使用条件下音箱的防护需要。为增强在木质底材上的使用效果, 推荐在喷涂前采用配套的封闭底涂处理, 可以提高聚脲对木板的附着力, 并减少缺陷的形成。同时比较了喷涂技巧对表面效果的影响, 可根据实际需要使用。

此聚脲应用于木质音箱表面, 高贵典雅, 颜色可调, 装饰效果佳, 无 VOC 排放, 安全环保, 并且施工效率高, 可满足快速生产的需求。此类聚脲可广泛应用于各类木质音箱表面, 拓展了喷涂聚脲弹性体的应用领域。

### 参考文献:

- [1] PRIMEATIX D J. A Study of Polyurea Spray Elastomer System[J]. High Solid Coatings, 1994, 15: 2.
- [2] 黄微波, 王宝柱, 陈酒姜, 等. 喷涂聚脲弹性体技术在我国的发展和展望[J]. 聚氨酯工业, 2002, 17(3): 6—9. HUANG Wei-bo, WANG Bao-zhu, CHEN Jiu-jiang, et al. Progress and Prospect of the Spray Polyurea Elastomer Technology in China [J]. Polyurethane Industry, 2002, 17(3): 6—9.
- [3] 黄微波, 陈酒姜, 徐德喜, 等. 喷涂聚脲弹性体的施工与工艺[J]. 涂料工业, 2001, 31(3): 23—28. HUANG Wei-bo, CHEN Jiu-jiang, XU De-xi, et al. Spray Application Technology of Polyurea Elastomers[J]. Paint & Coatings Industry, 2001, 31(3): 23—28.
- [4] 杨宇润, 陈酒姜, 王宝柱, 等. 100%固含量喷涂聚氨酯(脲)弹性体技术[J]. 聚氨酯工业, 1998, 13(4): 7—11. YANG Yu-run, CHEN Jiu-jiang, WANG Bao-zhu, et al. 100% Solid Spray Polyurethane (Polyurea) Technology and Its Application[J]. Polyurethane Industry, 1998, 13(4): 7—11.
- [5] 黄微波, 王宝柱, 陈酒姜, 等. 喷涂聚脲弹性体技术的理论与实践[J]. 上海涂料, 2003, 41(4): 8—12. HUANG Wei-bo, WANG Bao-zhu, CHEN Jiu-jiang, et al. The Principle and Practice of Spray Polyurea Elastomer Technology[J]. Shanghai Coatings, 2003, 41(4): 8—12.
- [6] 吴文文, 崔洪犁, 刁振峰, 等. 阻燃型喷涂聚脲涂料的制备与性能表征[J]. 表面技术, 2016, 45(6): 22—27. WU Wen-wen, CUI Hong-li, DIAO Zhen-feng, et al. Preparation and Characterization of Flame-retardant Spray Polyurea Coating[J]. Surface Technology, 2016,

- 45(6): 22—27.
- [7] 张庆忠, 孟德群, 孟令汉, 等. 低 VOC 醇酸树脂涂料制备方法[J]. 中国涂料, 2016(9): 60—64.  
ZHANG Qing-zhong, MENG De-qun, MENG Ling-han, et al. Preparation of Low VOC Alkyd Coatings[J]. China Paint, 2016(9): 60—64.
- [8] 甘孟瑜, 李志春, 刘兴敏, 等. 聚苯胺/醇酸树脂复合涂料防腐性能的研究[J]. 表面技术, 2011, 40(3): 11—13.  
GAN Meng-yu, LI Zhi-chun, LIU Xing-min, et al. Study on the Anti-corrosion Property of Polyaniline/Alkyd Composite Coatings[J]. Surface Technology, 2011, 40(3): 11—13.
- [9] 陈浩锦, 刘晓国. 水性 UV 树脂的研究进展[J]. 表面技术, 2014, 43(2): 142—149.  
CHEN Hao-jin, LIU Xiao-guo. Research Progress of Waterborne UV Resin[J]. Surface Technology, 2014, 43(2): 142—149.
- [10] 付龙越, 崔巩, 刘建忠, 等. 水性环氧树脂涂料的制备和技术应用进展[J]. 涂料与应用, 2016(1): 5—9.  
FU Long-yue, CUI Gong, LIU Jian-zhong, et al. Preparation and Application of Waterborne Epoxy Resin Coatings[J]. Paint and Application, 2016(1): 5—9.
- [11] 牛凯辉, 宋伟强, 谢宝粘, 等. 水性环氧树脂涂料研究与应用进展[J]. 广州化工, 2015(13): 20—23.  
NIU Kai-hui, SONG Wei-qiang, XIE Bao-zhan, et al. Research Progress and Application on Waterborne Epoxy Resin Coating[J]. Guangzhou Chemical Industry Technology, 2015(13): 20—23.
- [12] 许凯翔, 杨建军. 功能性水性聚氨酯建筑涂料的研究现状和最新进展[J]. 聚氨酯工业, 2016(2): 1—4.  
XU Kai-xiang, YANG Jian-jun. The Research Situation and the Progress of Functional Waterborne Polyurethane Building Coatings[J]. Polyurethane Industry, 2016(2): 1—4.
- [13] 何程林, 杨劲松, 徐玉华, 等. 高固体分车用水性聚氨酯树脂的合成及性能研究[J]. 涂料技术与文摘, 2016(6): 39—42.  
HE Cheng-lin, YANG Jin-song, XU Yu-hua, et al. Synthesis and Properties of Waterborne PU Resin with High Solid Content Vehicle[J]. Coating Technology & Abstracts, 2016(6): 39—42.
- [14] 李维虎, 戴家兵, 张兴元. 木器涂料用水性聚氨酯研究进展[J]. 中国涂料, 2013(6): 12—15.  
LI Wei-hu, DAI Jia-bing, ZHANG Xing-yuan. The Research Progress of Water-borne Polyurethane in Wood Coatings[J]. China Paint, 2013(6): 12—15.
- [15] 丁纪恒, 顾林, 赵海超, 等. 水性丙烯酸防腐涂料的研究进展[J]. 涂料技术与文摘, 2015(2): 37—43.  
DING Ji-heng, GU Lin, ZHAO Hai-chao. Research Progress of Waterborne Acrylate Anticorrosive Coatings[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2015(2): 37—43.
- [16] 柳泉润, 范桂利, 仇鹏, 等. 浅谈零 VOC 丙烯酸酯涂料的研究进展[J]. 广东化工, 2014(3): 83—84.  
LIU Quan-run, FAN Gui-li, QIU Peng, et al. Research Progress on Free VOC Acrylate Coating[J]. Guangdong Chemical Industry, 2014(3): 83—84.