

特约专栏

# 纳米复合海洋涂料在船舶防腐应用研究

王震宇<sup>1</sup>, 韩恩厚<sup>1</sup>, 刘福春<sup>1</sup>, 史洪微<sup>1</sup>, 邱再明<sup>2</sup>, 郝庆辉<sup>2</sup>

(1. 中国科学院金属研究所 国家金属腐蚀控制工程技术研究中心, 辽宁 沈阳 110016)

(2. 大连裕祥科技集团有限公司, 辽宁 大连 116033)

**摘要:** 主要研究纳米二氧化硅浓缩浆和纳米氧化锌浓缩浆对海洋环氧涂料和聚氨酯涂料性能的影响。通过盐雾试验、氙灯老化试验、人工海洋加速老化试验研究海洋腐蚀环境中纳米复合涂料的耐腐蚀性和抗老化性。通过三步法制备高稳定分散的纳米氧化物浓缩浆, 并利用纳米二氧化硅浓缩浆和纳米氧化锌浓缩浆改性海洋船舶环氧底漆和聚氨酯船壳漆, 制备海洋纳米复合涂料。利用 TEM 透射电镜、FTIR 红外光谱、XPS 光电子能谱、光泽仪、表面接触角测试仪和粘结强度测试仪等研究海洋船舶漆的耐腐蚀性、抗老化性及表面防污性能。纳米二氧化硅浓缩浆的红外光谱分析和粘度测试及纳米氧化锌浓缩浆的透射电镜观察表明高分子分散剂的长碳链位阻效应保证了纳米粒子的均匀稳定分散。不含有纳米二氧化硅浓缩浆的环氧漆粘结强度是 4.4 MPa, 而含有 1.0% 纳米二氧化硅浓缩浆的环氧漆粘结强度增加到 5.6 MPa。通过氙灯老化试验测试涂层的光泽度变化, 纳米复合聚氨酯漆的光泽度高于不含纳米氧化锌的普通聚氨酯漆光泽度。聚氨酯漆在海洋循环加速老化试验后 C/O 值减少 20.1%, 而含有 1.2% 纳米氧化锌浓缩浆的纳米复合聚氨酯漆老化后 C/O 值仅减少 10.7%, 抗氧化性提高。通过对海洋加速循环老化试验中纳米复合聚氨酯漆的测试分析表明 1.2% 纳米氧化锌浓缩浆提高了海洋船舶聚氨酯面漆的抗老化性和表面接触角。纳米浓缩浆可增强纳米复合涂料在海洋重腐蚀环境中耐腐蚀、抗老化等性能。

**关键词:** 纳米复合海洋涂料; 纳米氧化物浓缩浆; 海洋腐蚀环境; 抗老化

中图分类号: TB383.1; TG174 文献标识码: A 文章编号: 1674-3962(2014)01-0014-06

## Application Research of Marine Composite Nano-Coatings in Corrosion Protection of Ship

WANG Zhenyu<sup>1</sup>, HAN Enhou<sup>1</sup>, LIU Fuchun<sup>1</sup>, SHI Hongwei<sup>1</sup>, QIU Zaiming<sup>2</sup>, HAO Qinghui<sup>2</sup>

(1. National Engineering Research Center for Corrosion Control, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

(2. Dalian Yuxiang Science & Technology Corporation, Dalian 116088, China)

**Abstract:** The aim of this paper is to investigate the effect of SiO<sub>2</sub> nano-concentrate and ZnO nano-concentrate on properties of epoxy and polyurethane marine coating. The corrosion-inhibiting and anti-aging properties of composite nano-coatings used in marine environment were investigated by the salt spray test, xenon lamp aging test, ocean accelerated cycle aging test. The stable well-dispersed nano-concentrates were prepared by three-step method, and epoxy and polyurethane marine nano-coatings were modified by SiO<sub>2</sub> nano-concentrate and ZnO nano-concentrate. The work has investigated corrosion resistance, weathering resistance and antifouling property of marine nano-coating by use of transmission electron microscopy (TEM), fourier transform infrared spectrometer (FTIR), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), gloss meter and measuring instrument of surface contact angle. The FTIR analysis and viscosity measurement of SiO<sub>2</sub> nano-concentrates and TEM observation of ZnO nano-concentrates demonstrate that the well-dispersed state of nanoparticles can be attributed to the strong steric effect of long carbon chains of polymer dispersing agent. The bonding strength of epoxy nano-coating with 1.0% SiO<sub>2</sub> nano-concentrate increases from 4.4 MPa of epoxy coating without nano-concentrate to 5.6 MPa. The analytic results of salt spray test demonstrate that 1.0% SiO<sub>2</sub> nano-concentrates improve the resistance of epoxy nano-coating to salt spray. The gloss measurement in the xenon lamp aging test demonstrates that gloss of polyurethane nano-coating is higher than that of polyurethane coating without nanoparticles. The C/O ratio of polyurethane coating without nano-concentrate after accelerated cycle aging test dramatically decreases 20.1% while the C/O ratio of polyurethane nano-coating with 1.2% ZnO nano-concentrate after aging test only decreases 10.7%. The measurements of gloss and surface contact angle during ocean accelerated cycle aging test indicate that 1.2%

收稿日期: 2013-10-03

基金项目: 国家科技支撑计划课题: 船舶与大型海洋工程防护涂料及关键技术研发(2009BAE70B03, 2009BAE70B01)

第一作者及通讯作者: 王震宇, 男, 1972年生, 博士, 副研究员, Email: zzyywang@imr.ac.cn

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.2014.01.03

improve the resistance of epoxy nano-coating to salt spray. The gloss measurement in the xenon lamp aging test demonstrates that gloss of polyurethane nano-coating is higher than that of polyurethane coating without nanoparticles. The C/O ratio of polyurethane coating without nano-concentrate after accelerated cycle aging test dramatically decreases 20.1% while the C/O ratio of polyurethane nano-coating with 1.2% ZnO nano-concentrate after aging test only decreases 10.7%. The measurements of gloss and surface contact angle during ocean accelerated cycle aging test indicate that 1.2%

ZnO nano-concentrations greatly enhance the anti-aging and surface contact angle of polyurethane coating. In conclusion, the nano-concentrates can improve corrosion resistance and weathering resistance of nano-coatings in marine heavy corrosion environment.

**Key words:** Composite nano-coating; Nano-concentrates; marine corrosion environment; resistance to weathering

## 1 前 言

海洋环境是严酷复杂的重腐蚀环境, 船舶长期处于干湿交替的盐雾、湿热、高紫外线的交互腐蚀环境。据统计, 我国船舶腐蚀损失约占维修费用的 50%, 因此船舶漆的防护研究具有重要意义。有机涂料是海洋环境中广泛使用的防腐手段, 以环氧底漆和聚氨酯面漆体系为主。环氧漆耐盐雾性较好, 但抗紫外线老化性能差。脂肪族聚氨酯类由脂肪族丙烯酸树脂的羟基与多异氰酸酯组分中的异氰根反应而交联成膜, 不具有苯环和环氧等结构, 抗紫外线老化性能好, 但耐盐雾性有待提高<sup>[1-3]</sup>。随着环保法规的加强, 有毒防污涂料的应用受到限制, 使用纳米粒子提高涂料的综合性能是国际化趋势。然而, 纳米粒子的高表面能使其很难分散和稳定, 团聚的纳米粒子不仅不能提高涂料性能, 反而会降低使用寿命。因此, 解决纳米粒子的分散稳定是一个世界性难题。1999 年中国科学院金属研究所开始研究纳米粒子分散性、稳定性和纳米浓缩浆制备, 并于 2006 年度获得国家技术发明二等奖。纳米氧化物浓缩浆的制备技术达到国际领先水平, 纳米材料(氧化钛、氧化锌、氧化锆和氧化铁等)浓缩浆的固含量约为国外产品的二倍, 粘度低于国外一半以上, 稳定性提高一倍, 贮存期大于一年<sup>[4-8]</sup>。利用少量纳米浓缩浆可明显提高常规涂料性能<sup>[9-11]</sup>。本研究通过传统海洋涂料中加入适量的纳米二氧化硅浓缩浆和纳米氧化锌浓缩浆, 改进环氧漆/聚氨酯漆体系的粘接强度、耐腐蚀、抗老化性和抗污性。

## 2 实验方法

### 2.1 纳米复合涂料制备

采用三步法制备纳米二氧化硅浓缩浆和纳米氧化锌浓缩浆。将纳米二氧化硅浓缩浆按 1% 质量比加入船舶环氧底漆中, 制得纳米复合环氧底漆, 与没有添加纳米二氧化硅浓缩浆的船舶环氧底漆进行对比试验。将纳米氧化锌浓缩浆按 1.2% 质量比加入船舶聚氨酯面漆中, 制得纳米复合聚氨酯面漆, 与没有添加纳米氧化锌浓缩浆的聚氨酯面漆进行对比试验。

### 2.2 性能分析

利用 JEM-2000EX 透射电镜研究纳米粒子分散状态。利用 Perkin-Elementer 2000FT-IR 红外光谱测试纳米粒子表面键合高分子分散剂 4 000 ~ 500  $\text{cm}^{-1}$  波段的官能

团。利用 VG ESCALAB250 XPS 光电子能谱研究防腐漆元素变化和抗氧化老化性能。利用 ERICHSEN Picogloss Model 560 微机光泽仪测量涂层的光泽和色差。利用上海中晨表面接触角测量仪 JC2000D2 测试涂层的表面接触角。

### 2.3 纳米复合环氧底漆试验

将环氧底漆和纳米复合环氧底漆进行盐雾试验, 用于盐雾试验的试板基体为经过 Sa2.5 级喷砂处理的 Q235 钢, 然后喷涂 100  $\mu\text{m}$  环氧底漆。研究不同含量的纳米二氧化硅对环氧底漆粘结强度的影响。

### 2.4 纳米复合聚氨酯面漆试验

采用人工海洋加速腐蚀试验模拟海洋飞溅区, 试验条件: 人工加速老化和冷凝试验 72 h, 盐雾测试 72 h,  $-20 \pm 2$   $^{\circ}\text{C}$  低温试验 24 h, 一个循环 168 h, 共进行 24 个循环。氙灯老化试验主要研究海洋大气区涂层耐光老化性能。本试验对聚氨酯漆和纳米复合聚氨酯漆进行氙灯老化试验和人工海洋加速腐蚀试验, 并对比分析老化后涂层的光泽度、XPS 光电子能谱元素分析和表面接触角测试。

## 3 结果与讨论

### 3.1 纳米复合环氧底漆研究

#### 3.1.1 纳米二氧化硅浓缩浆

对改性后纳米二氧化硅进行红外光谱分析(如图 1)。1 050 ~ 1 250  $\text{cm}^{-1}$  与 1 580 ~ 1 750  $\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰是高分子分散剂的酯键( $-\text{COOR}$ )和羰基( $\text{C}=\text{O}$ )的红外特征吸收峰, 2 890  $\text{cm}^{-1}$  处吸收峰为亚甲基( $-\text{CH}_2$ )的红外吸收峰。表明高分子分散剂的羧基

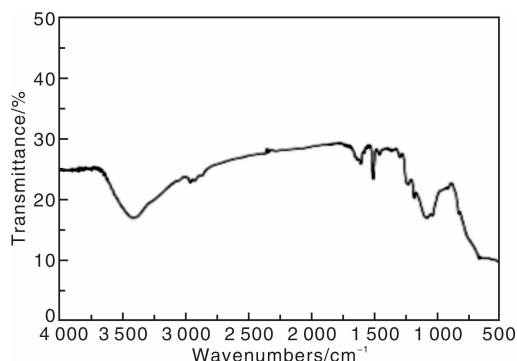


图1 高分子分散剂改性后纳米二氧化硅粒子的红外光谱图

Fig. 1 Infrared spectroscopy of  $\text{SiO}_2$  nanoparticles modified by polymer dispersing agent

(-COOH)已与纳米粒子活性表面的羟基键合,利用高分子分散剂长碳分子链的空间位阻效应提高了纳米粒子的分散稳定性<sup>[4-8,12-13]</sup>。

通过三步法制备纳米二氧化硅浓缩浆,其粘度小于100 cP,纳米二氧化硅固含量为22%。分散后从纳米二氧化硅颗粒的粘度曲线(如图2)可看出,纳米二氧化硅浓缩浆具有良好稳定性,可加入涂料中进行纳米改性。

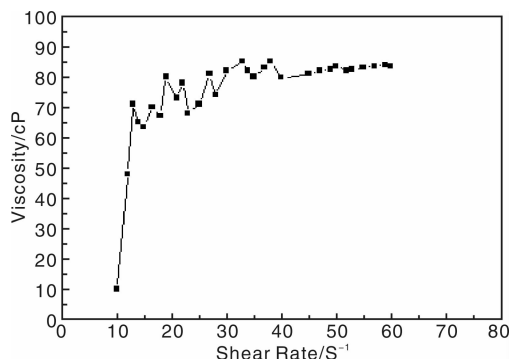


图2 纳米SiO<sub>2</sub>浓缩浆粘度曲线

Fig. 2 Viscosity curve of SiO<sub>2</sub> nano-concentrates

### 3.1.2 粘结强度测试

不同含量纳米二氧化硅粒子对环氧底漆粘结强度的影响如图3所示。普通环氧船舶底漆的粘结强度为4.4 MPa, 0.5%纳米二氧化硅对环氧漆粘结强度增加仅0.2 MPa, 1.0%纳米二氧化硅增加环氧漆粘结强度1.2 MPa, 达到5.6 MPa, 高于1.0%纳米二氧化硅对环氧漆粘结强度没有明显提高。本测试说明1.0%纳米二氧化硅能够显著提高环氧漆的粘结强度<sup>[11]</sup>。这与文献<sup>[14]</sup>的结果一致。

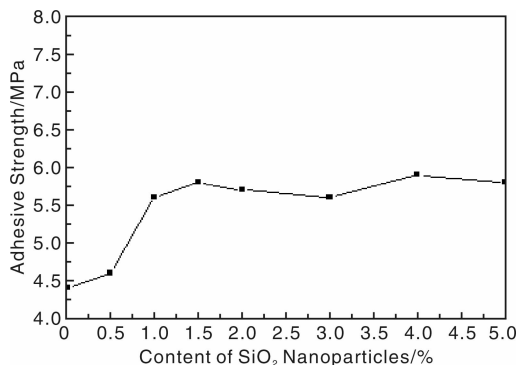


图3 环氧漆粘结强度随纳米二氧化硅粒子含量变化曲线

Fig. 3 Bonding strength of epoxy coatings with different content of nano-SiO<sub>2</sub> particles

### 3.1.3 盐雾试验

对比不含纳米二氧化硅粒子的环氧底漆与纳米复合环氧底漆盐雾试验后照片发现: 经过1 200 h 盐雾

试验后, 1.0% 纳米二氧化硅改性纳米复合环氧底漆没有腐蚀迹象(图4b), 而不含有纳米粒子的海洋环氧底漆在划痕处发生严重锈蚀(图4a)。这说明1% 纳米二氧化硅明显提高了海洋环氧底漆的耐盐雾腐蚀性, 与在其它涂料中使用纳米离子具有类似的功效<sup>[15]</sup>。

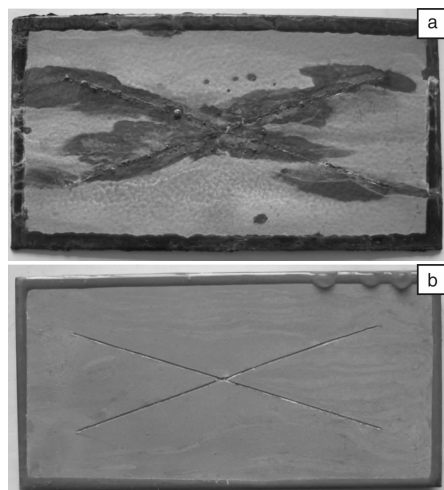


图4 1 200 h 盐雾试验后环氧漆(a)和纳米复合环氧漆(b)照片

Fig. 4 Pictures of epoxy coating (a) and epoxy nano-coating (b) after 1 200 h salt spray test

## 3.2 纳米复合聚氨酯漆研究

### 3.2.1 纳米氧化锌浓缩浆透射电镜分析

通过透射电镜观察, 纳米氧化锌的粒径主要分布在40~100 nm(如图5), 并且达到均匀的纳米级分散。而均匀分散的纳米氧化锌粒子应用于聚氨酯漆中可提高其使用性能<sup>[9-11,15]</sup>。

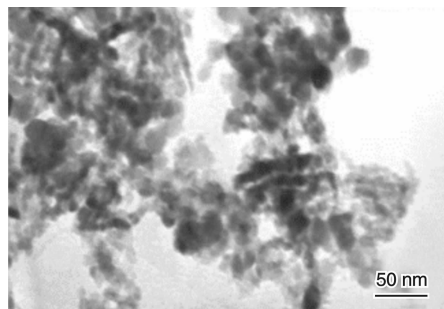


图5 纳米氧化锌粒子分散状态的TEM图

Fig. 5 TEM picture of ZnO nanoparticles in nano-concentrate

### 3.2.2 氙灯老化试验(海洋大气区)

1 000 h 氙灯加速老化试验后涂层光泽度变化曲线如图6所示。不含纳米氧化锌的聚氨酯漆的光泽度降低11.2%, 而纳米氧化锌改性聚氨酯漆的光泽度仅降低4.6%, 得出1.2%纳米氧化锌可改善聚氨酯漆在海洋大气区的耐光老化性能。

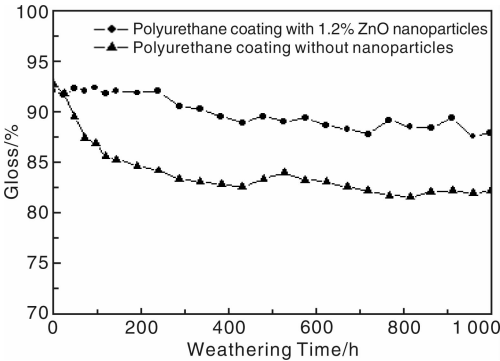


图 6 1 000 h 氙灯加速老化过程中聚氨酯漆与纳米复合聚氨酯漆光泽度变化曲线

Fig. 6 Gloss change curves of polyurethane coating and nano-coating after 1 000 h aging of xenon lamp

3. 2. 3 人工循环加速老化试验(海洋飞溅区)

海洋人工 24 个加速循环试验后涂层光泽度变化曲线如图 7 所示。试验结果表明，含有 1.2% 纳米氧化锌粒子的纳米复合聚氨酯漆的失光率明显低于不含纳米粒子的聚氨酯漆。1.2% 均匀分散纳米氧化锌粒子可屏蔽紫外线辐射，提高聚氨酯面漆在海洋飞溅区抗老化失光和耐腐蚀性<sup>[17]</sup>。

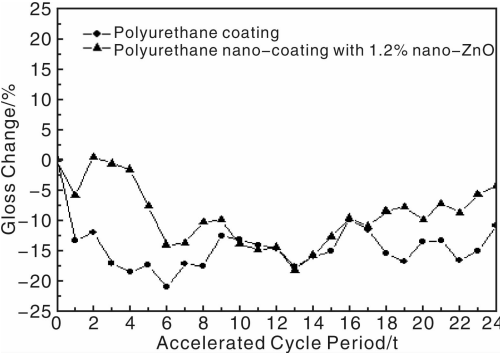


图 7 海洋人工加速循环过程中聚氨酯漆与纳米复合聚氨酯漆光泽度变化曲线

Fig. 7 Gloss change curves of polyurethane coating and nano-coating after ocean accelerated cycle aging test

从海洋人工加速循环老化试验后涂层照片(图 8)看出，纳米聚氨酯面漆表面没有任何腐蚀破坏现象，而聚氨酯面漆表面仅有轻微腐蚀迹象。

3. 2. 4 纳米复合涂料 XPS 元素分析

运用 XPS 光电子能谱分析海洋人工加速循环试验后涂层表面元素成分(见表 1~4)。加速老化试验后，不含纳米氧化锌的聚氨酯漆 C/O 值由 4.23 减少到 3.38，减少 20.1%；含有 1.2% 纳米氧化锌的纳米复合聚氨酯漆 C/O 值由 4.30 减少到 3.84，减少 10.7%。涂层聚合物基料的 C/O 值能反应出其老化腐蚀的降解程度：C/O

值越高，表明面漆抗老化腐蚀能力越强，被氧化降解程度低<sup>[18]</sup>。因此，纳米复合聚氨酯漆的抗老化腐蚀性能优于不含纳米氧化锌的聚氨酯漆。

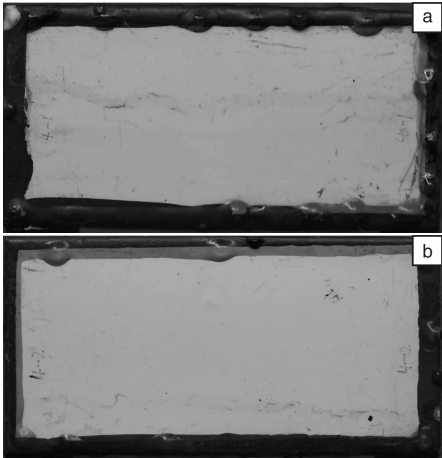


图 8 海洋人工加速老化试验后环氧底漆/聚氨酯面漆(a)与纳米复合环氧底漆/纳米复合聚氨酯面漆(b)照片

Fig. 8 Pictures of polyurethane coating (a) and polyurethane nano-coating (b) after ocean accelerated cycle aging test

表 1 人工海洋加速腐蚀试验前不含纳米粒子的聚氨酯漆元素组成

Table 1 Composition of polyurethane coating without nanoparticles before ocean accelerated aging test

Element	Start BE	Peak BE	End BE	Peak area(N)	Atom fraction/%
C1s	292.30	282.32	278.29	1.65	76.04
N1s	405.80	398.03	391.76	0.13	6.00
O1s	537.76	534.82	528.55	0.39	17.97

表 2 人工海洋加速腐蚀试验后不含纳米粒子的聚氨酯漆元素组成

Table 2 Composition of polyurethane coating without nanoparticles after ocean accelerated aging test

Element	Start BE	Peak BE	End BE	Peak area(N)	Atom fraction/%
C1s	292.90	283.25	279.16	1.52	72.73
N1s	405.93	397.95	391.55	0.12	5.74
O1s	539.02	535.43	529.27	0.45	21.53

表 3 人工海洋加速腐蚀试验前纳米复合聚氨酯漆元素组成

Table 3 Composition of polyurethane nano-coating before ocean accelerated aging test

Element	Start BE	Peak BE	End BE	Peak area(N)	Atom fraction/%
C1s	292.97	283.29	278.77	1.72	76.10
N1s	404.60	397.69	390.88	0.14	6.20
O1s	537.22	535.46	527.38	0.40	17.70

表 4 人工海洋加速腐蚀试验后纳米复合聚氨酯漆元素组成

Table 4 Composition of polyurethane nano-coating after ocean accelerated aging test

Element	Start BE	Peak BE	End BE	Peak area(N)	Atom fraction/%
C1s	293.50	283.77	279.20	1.65	74.66
N1s	405.22	398.05	391.63	0.13	5.88
O1s	539.58	536.65	529.78	0.43	19.46

### 3.2.5 纳米复合涂料表面接触角分析

人工海洋加速老化试验过程中纳米复合聚氨酯漆的表面接触角变化趋势如图 9 所示。整个加速老化过程中, 纳米复合聚氨酯漆的表面接触角比普通聚氨酯漆表面接触角高  $4^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。在第二个海洋加速老化试验后, 没有纳米改性的聚氨酯面漆的表面接触角降低程度明显高于纳米复合聚氨酯面漆。以上分析表明纳米浓缩浆不仅可增加表面接触角, 而且可减低老化过程对面漆表面接触角的影响<sup>[19]</sup>。这说明纳米浓缩浆能抵制腐蚀介质渗透及降低紫外线对有机结构的破坏作用。

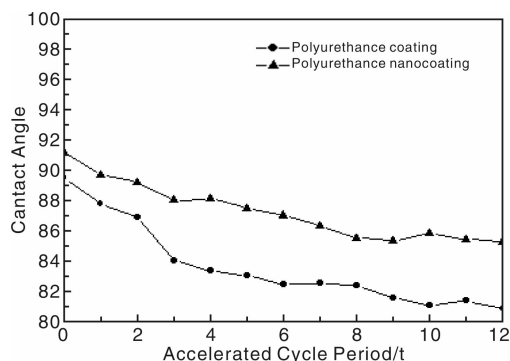


图 9 人工海洋加速试验中纳米复合聚氨酯漆表面接触角变化曲线

Fig. 9 Contact angle of polyurethane coatings during ocean accelerated aging test

## 4 结 论

(1) 利用稳定分散的纳米氧化物浓缩浆可提高海洋涂料性能: 1.0% 纳米二氧化硅可提高海洋环氧底漆耐盐雾腐蚀和粘结强度, 1.2% 纳米氧化锌可提高聚氨酯面漆的抗老化失光、耐腐蚀性能和表面接触角。

(2) 纳米复合环氧底漆与纳米复合聚氨酯面漆体系应用于海洋大气区和海洋飞溅区, 可显著提高耐腐蚀和耐老化性能。

## 参考文献 References

[1] Schmidt D P, Shaw B A, Sikora E, *et al.* Corrosion Protection Assessment of Sacrificial Coating Systems as a Function of Exposure Time in a Marine Environment [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2006, 57(4): 352–364.

[2] Xia Lanting (夏兰廷). *Marine Corrosion and Protection of Metal Materials* (金属材料的海洋腐蚀与防护) [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2003.

[3] Heyer A, D Souza F, Leon Morales C F, *et al.* Ship Ballast

Tanks a Review from Microbial Corrosion and Electrochemical Point of View [J]. *Ocean Engineering*, 2013, 70: 188–200.

[4] Liu Fuchun (刘福春). *Titanium Dioxide Nano-Composite and Its Preparation Method* (一种纳米二氧化钛浆组合物及其制备方法): China, 01128206.1 [P]. 2003–04–16.

[5] Liu Fuchun (刘福春). *Zinc Oxide Nano-Composite and Its Preparation Method* (一种纳米氧化锌浆料组合物及其制备方法): China, 01128271.1 [P]. 2003–04–23.

[6] Liu Fuchun (刘福春). *Polyurethane Nano-Coating for Ship and Its Preparation Method* (船用纳米改性聚氨酯涂料及其制备方法): China, 02132731.9 [P]. 2003–10–29.

[7] Wang Zhenyu (王震宇), Han Enhou (韩恩厚). *A Composite Nano-Coating with Low Surface Treatment and Its Preparation Method* (一种低表面处理纳米复合防腐涂料及其制备方法): China, 200810010985.0 [P]. 2011–02–02.

[8] Liu F C, Han E H, Ke W, Fabrication and Characteristics of a Nano-TiO<sub>2</sub> Concentrated Dispersion [J]. *Journal of Dispersion Science Technology*, 2010, 31(5): 611–616.

[9] Liu Fuchun (刘福春), Han Enhou (韩恩厚), Ke Wei (柯伟). 抗紫外纳米 TiO<sub>2</sub>/ZnO 复合丙烯酸酯涂料 [J]. *Chinese Journal of Materials Research* (材料研究学报), 2003 (17): 138–144.

[10] Yang L H, Liu F C, Han E H. Effects of P/B on the Properties of Anticorrosive Coatings with Different Particle Size [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2005, 53(2): 91–98.

[11] Wang Z Y, Han E H, Ke W. Influence of Nano-LDHs on Char Formation and Fire-Resistant Properties of Flame-Retardant Coating [J]. *Progress In Organic Coatings*, 2005, 53(1): 29–37.

[12] Yu S L, Zuo X T, Bao R L, *et al.* Effect of SiO<sub>2</sub> Nanoparticle Addition on the Characteristics of a New Organic-Inorganic Hybrid Membrane [J]. *Polymer*, 2009, 50(2): 553–559.

[13] Rudolph M, Erler J, Peuker U A. A TGA-FTIR Perspective of Fatty Acid Adsorbed on Magnetite Nanoparticles-Decomposition Steps and Magnetite Reduction [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2012, 397: 16–23.

[14] May M, Wang H M, Akid R. Effects of the Addition of Inorganic Nanoparticles on the Adhesive Strength of a Hybrid Sol-Gel Epoxy System [J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2010, 30(6): 505–512.

[15] Wang Z Y, Han E H, Liu F C, *et al.* Fire and Corrosion Resistances of Intumescent Nano-Coating Containing Nano-SiO<sub>2</sub> in Salt Spray Condition [J]. *Journal of Materials Sciences & Technology*, 2010, 26(1): 75–81.

[16] Tang E, Fu C Y, Wang S, *et al.* Graft Polymerization of Styrene Monomer Initiated by Azobis (4-Cyanovaleric Acid) Anchored on the Surface of ZnO Nanoparticles and Its PVC Composite Film [J]. *Powder Technology*, 2012, 218: 5–10.

[17] Wang Z Y, Han E H, Liu F C, *et al.* Ageing Resistance and

Corrosion Resistance of Silicone-Epoxy and Polyurethane Top-coats Used in Sea Splash Zone[J]. *Material Corrosion*, 2012, 63: 1 – 8.

[ 18 ] Vilani C, Weibel D E, Zamora R R M, *et al.* Study of the Influence of the Acrylic Acid Plasma Parameters on Silicon and Polyurethane Substrates Using XPS and AFM[J]. *Applied Surface Science*, 2007, 254(1): 131 – 134.

[ 19 ] Pegoretti A, Dorigato A, Brugnara M. Contact Angle Measurements as a Tool to Investigate the Filler-Matrix Interactions in Polyurethane-Clay Nanocomposites from Blocked Prepolymer[J]. *European Polymer Journal*, 2008, 44 ( 6 ): 1 662 – 1 672.



## 厦大自主研发深紫外光子学材料获新进展

厦大自主研发的新型宽带隙半导体材料为深紫外光子学的发展提供了新的思路 and 方向。它的“秘诀”在于材料纯度和结构质量高，通过其中激子和光子的相互转化特性可以轻松实现深紫外光的发射，从而大大提升激光器件的发光能效。近期，相关研究成果刊登在《自然》出版集团旗下在线开放刊物《科学报道》上。

据了解，这项成果出自厦大物理与机电工程学院康俊勇教授课题组，该课题组长期致力于研究深紫外光宽带隙半导体，这也是近年来物理学界的一个热门研究领域。所谓深紫外光，是指波长短于 280 nm 的紫外线。这种光源波长短、频率高，可在水及空气净化、疾病治疗、信息技术等领域发挥独特作用。传统的深紫外光源通常由高压汞灯产生，体积大、电压高、毒性大，而用氮化铝基宽带隙半导体来产生深紫外光，一般体积不足米粒大、只要数伏特、无毒无害，且寿命长数百倍。

从 2005 年开始，康俊勇教授课题组便开始研发这种高纯度的宽带隙半导体深紫外光源材料和器件，并不断突破结构瓶颈。2012 年底，课题组博士生李孔翌在氮化铝半导体中探测到了名为“激子极化激元”的粒子。这种粒子是激化的电子与光子结合的产物，天生容易聚在一起。藉由它可以轻松实现光的同步发射，也就是说，在很低的电流驱动下就可发射出激光。李孔翌说，事实上，这种粒子本身并不足为奇，“它存在于很多材料中，但是，在高频率的深紫外材料中出现却是第一次。”这样的发现，意味着厦大自主研发的这种半导体材料可为未来研制深紫外波段高信道容量的量子通信和激光器件等奠定了材料基础。

近期，康俊勇教授课题组深入开展不同维度、不同结构功能的深紫外材料研究，取得显著成果。课题组成员林伟博士突破光沿氮化铝基半导体各个方向传播不同的天性，首次造出深紫外光各向同性的量子结构材料，大大提高深紫外光在半导体器件中传导和发射的可控效率，成果被刊登在国际光子学领域综述专刊——《激光和光子评论》的卷首。课题组成员吴雅苹博士开发出大尺度石墨烯单晶，它能克服传统透明电极材料对深紫外光吸收强的弱点，为深紫外光电集成提供了一种可选的电极材料。

（来源：中国科技网）