

# 海工混凝土涂料的性能检测与对比研究

徐爱敏<sup>1</sup>, 国建飞<sup>1</sup>, 张 桓<sup>1</sup>, 吕忠达<sup>1</sup>, 杨小刚<sup>2</sup>

(1.宁波市高等级公路建设指挥部,浙江宁波 315192; 2.中国科学院海洋研究所,山东青岛 266071)

**摘 要:** 混凝土涂料防腐性能的优劣直接影响混凝土构筑物的使用寿命。在大气区和潮差区选用3种海工混凝土涂料以不同的配套体系分别进行涂装,按照日本土木协会和日本道路协会标准对3种涂料的裂缝追随性、附着强度、透水量和抗氯离子渗透性等性能分别检测,并对检测结果进行了分析和对比。

**关键词:** 混凝土涂料; 裂缝追随性; 附着强度; 透水量

中图分类号: TQ630.71

文献标识码: A

文章编号: 1007-9548(2011)07-0035-03

## Performance Testing and Comparative Study of Marine Concrete Coatings

XU Ai-min<sup>1</sup>, GUO Jian-fei<sup>1</sup>, ZHANG Huan<sup>1</sup>, LV Zhong-da<sup>1</sup>, YANG Xiao-gang<sup>2</sup>

(1. Ningbo Highway Construction Headquarters, Zhejiang Ningbo, 315192, China;

2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Shangdong Qingdao, 266071, China)

**Abstract:** The anticorrosion performance of concrete coating will directly affect the service life of concrete structures. It was detected respectively that the properties of pursuit performance, adhesion strength, permeable capacity and the resistance to chloride ion permeability of three kinds of marine concrete coating which were coated individually in different matching system in atmospheric zone and tidal zone according to the standards of Japan Society of Civil Engineering and the Japan Road Association and the results were analyzed and contrasted.

**Key words:** concrete coatings, pursuit performance, adhesion strength, permeable capacity

## 1 引言

我国的海岸线漫长,涉及海洋的基础建设工程众多,而腐蚀给海洋工程混凝土带来了许多不利影响。海工混凝土防护涂料可以有效隔绝氯离子、酸性气体等有害物质在混凝土内的渗透和扩散。海工混凝土防护涂料种类繁多,根据其对混凝土表现方式不同分为成膜型、渗透型和复合型3类。混凝土涂料具有经济、有效、施工方便等优点,目前在混凝土的防腐和劣化修复方面已经得到广泛应用,准确掌握涂料的各项性能对于监控其使用效果十分重要。

本文选用目前市场应用较广的3种混凝土涂料,在大气区和潮差区使用不同的配套方案对混凝土进行

涂装,根据日本土木协会和日本道路协会标准对3种涂料的裂缝追随性、附着强度、透水量和抗氯离子渗透性等性能分别检测分析与对比,为海洋工程防腐工作提供可靠的选择依据。

## 2 试验

### 2.1 涂料配套方案

对3种海工混凝土专用防护涂料(A,B,C)分别采用海洋大气区和潮差区2个区域的不同配套方案对混凝土进行涂装。配套方案见表1、2。

### 2.2 性能检测

#### 2.2.1 追随性试验

混凝土尺寸为120 mm × 40 mm × 10 mm,中间带

5 mm 凹槽。将试块掰开用硬纸片固定,在 120 mm × 40 mm 面上按照不同涂料的要求涂刷。(20±2) °C, 60%湿度条件下养护 7 d,在标准条件下放置 2 h,在试件上划间距为 10 mm 的平行标线。用厚度仪测出试件中间和两端 3 点的厚度,取其平均值。将试件固定安装于拉伸试验机夹具之间,以 5 mm/min 的拉伸速度拉伸试件至断裂,记录涂层断裂时的最大拉力,并量取此时试件标线间距离。测试 3 个平行试样。涂层的拉伸强度和断裂伸长率按下式计算:

$$TS = P / (B \times d) \quad (1)$$

式中:TS——涂层的拉伸强度,MPa;

P——最大拉力,N;

B——涂层宽度,mm;

d——涂层实测厚度,mm。

断裂伸长率:

$$E = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中:E——涂层断裂时的伸长率,%;

L<sub>1</sub>——涂层断裂时标线间距离,mm;

L<sub>0</sub>——涂层起始标线间的距离,mm。

表 1 大气区涂层配套方案

涂层	A	B	C
底漆	环氧树脂	环氧树脂封闭剂	环氧树脂
腻子	无溶剂型环氧树脂		
中涂	厚膜柔韧性改性环氧树脂	环氧树脂专用底漆(B)(2层)	环氧树脂
面涂	厚膜柔韧性改性环氧树脂	环氧树脂专用面漆(2层)	聚氨酯

表 2 潮差区涂层配套方案

涂层	A	B	C
底漆	无溶剂型表湿区环氧树脂涂料	环氧树脂封闭剂	环氧树脂
中涂	无溶剂型表湿区环氧树脂涂料	环氧树脂专用底漆(B)(2层)	环氧树脂(2层)
面涂		环氧树脂专用面漆(2层)	聚氨酯(2层)

### 2.2.2 附着强度

混凝土尺寸为 70 mm × 70 mm × 20 mm,试块涂刷和养护同上,将附着板用稀释剂浸泡洗净,用砂纸将板面打粗。用环氧树脂胶将其粘在涂料表面上,将处理好的样板固定在附着力仪上,增大压强直到涂层从附着板上断裂,读取涂层断裂时的最大压力。

$$\text{附着强度} = X / Y \quad (3)$$

式中:X——涂层断裂时的最大压力;

Y——附着板的底面积。

### 2.2.3 透水量试验

混凝土尺寸为 300 mm × 300 mm × 2 mm,试块涂刷和养护同上。用硅系封闭剂将直径为 75 mm 的漏斗底部粘在试板上。向漏斗中注满蒸馏水,用橡胶管连接上 5 mL 的移液管,向移液管中加水至从试板涂层到水液面的高度约为 250 mm。读取此时液面刻度。7 d 后读取移液管中水面刻度,根据和试验开始时水面的高度差,计算出试样的透水量。透水量测试装置见图 1。

$$\text{透水量} = (W_1 - W_2) / (7 \times S) \text{ g} \cdot (\text{d} \cdot \text{cm}^2)^{-1} \quad (4)$$

式中:W<sub>1</sub>——试验开始时液面的读数;

W<sub>2</sub>——试验进行 7 d 后液面的读数;

S——漏斗底部的面积。

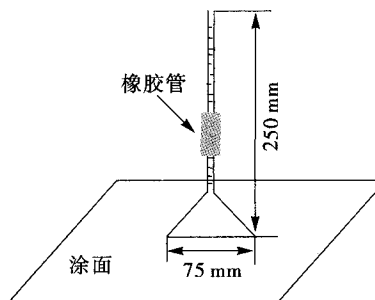


图 1 透水量试验装置

### 2.2.4 抗氯离子渗透阻止

混凝土尺寸为 70 mm × 70 mm × 20 mm,试块涂刷和养护同上。将试块浸泡在 3% 的 NaCl 溶液中,63 d 后取出,将试块进行切割,使用仪器测试试验块的氯离子浓度。

## 3 试验结果与讨论

### 3.1 追随性试验

在常温下,涂层的裂缝追随性试验结果如图 2 ~ 4 所示。由图 2、3 可知,涂层在拉伸过程中,3 种涂料的涂层在遭到破坏后并未断裂,而是继续随裂缝延展,开始时曲线急剧下降,之后趋于平缓,涂层的位移大于出现破坏时的位移,说明 3 种涂膜柔韧性较好,有较好的裂缝追随性。

由图 4 可知,涂层均具有较好的断裂伸长率,涂料的裂缝追随性为 E × 10 mm,因此大气区 3 种涂料的裂缝追随性分别为 1.860 mm、1.874 mm 和 1.489 mm。潮差区 3 种涂料的裂缝追随性为 1.413 mm、1.633 mm 和

2.212 mm。日本土木学会 JSCE-K532-1999 规定混凝土涂层表面裂缝追随值要大于 0.411 mm,所以 3 种涂料均有较好的柔韧性和追随性。

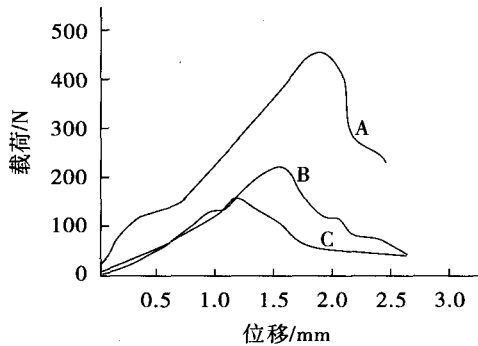


图2 大气区涂膜最大载荷与位移的关系

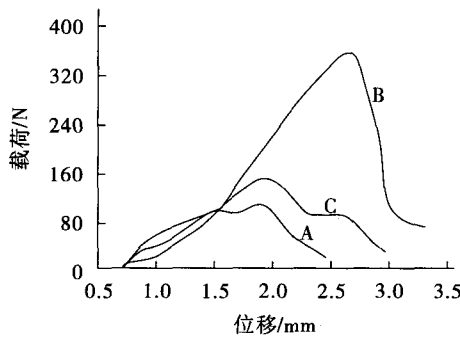


图3 潮差区涂膜最大载荷与位移的关系

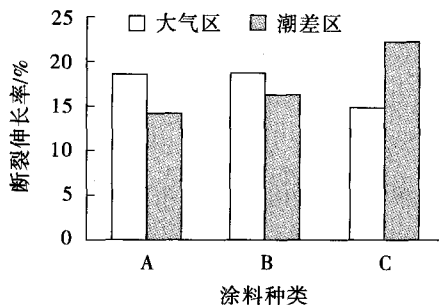


图4 海洋环境2个腐蚀区涂膜的断裂伸长率

### 3.2 附着强度

涂层的附着强度试验数据如表 3 所列,在测试时所有涂料的实际附着强度均大于试验值。这是因为在测试时所有的试样均为混凝土板破裂,而不是涂层从混凝土表面被拉裂。试验结果表明 3 种涂料在大气区和潮差区均具有较好的附着力,在大气区,未经耐碱测试的 3 种涂料涂层的附着强度相差不大,在潮差区,各种涂料的附着力强度均有提高。

从表 3 可以看出,经过 10 d 耐碱性测试,涂层的

附着力都有不同程度的下降,其中 A 涂料涂层经过耐碱性测试后涂膜附着强度最大。这主要是因为涂层使用环氧树脂为底漆和腻子,厚膜型柔韧性改性环氧树脂为中涂和面涂,具有较厚的涂膜,且涂膜的柔韧性好,使涂膜具有较好的耐碱性,所以在经过耐碱性测试后,其附着力下降幅度较小。

表 3 海洋环境两个腐蚀区涂层的附着强度

涂料种类	大气区涂层附着力/MPa		潮差区涂层附着力/MPa	
	未经耐碱测试	耐碱后	未经耐碱测试	耐碱后
A	4.33	4.00	5.16	4.17
B	4.50	3.12	5.33	3.50
C	4.33	3.16	5.00	3.16

### 3.3 透水量试验

3 种涂料的透水量结果见图 5。由图 5 可知,3 种涂料的透水量均低于 prEN1504-2 中建议的混凝土涂料透水率(小于  $0.1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h} / 2$ ),这说明 3 种涂料的抗水性能优异。在大气区,A 涂料的透水量最小,为  $2.9 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,C 涂料次之,B 涂料最大。在潮差区,A 涂料的透水量最小,为 0,3 种涂料在潮差区的透水量为  $C > B > A$ ,所以涂料 A 的抗水性能最好。

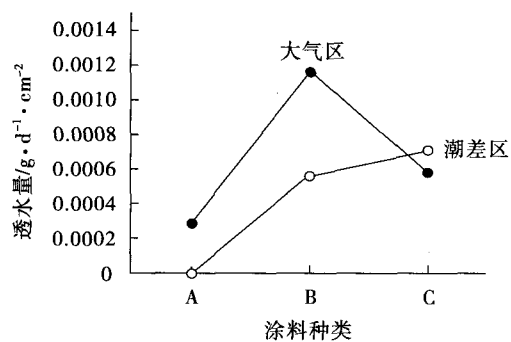


图5 海洋环境2个腐蚀区涂层透水量

### 3.4 抗氯离子渗透阻止

3 种涂料的表层和内层氯离子渗透性结果分别如图 6、7 所示。混凝土中钢筋锈蚀临界值为 0.07%(混凝土),从图 6 中可以看出,除 B 涂料在潮差区的表层氯离子渗透浓度高于临界值外,上述涂料均能有效阻止外部氯离子渗透。3 种涂料在潮差区表层抗氯离子渗透阻止性为  $C > A > B$ ,大气区的表层抗氯离子渗透阻止性为  $B > C > A$ 。由图 7 可知,试板经过 2 个月的氯盐溶液浸泡,混凝土内部渗透的氯离子浓度非常低,且均未超过混凝土中钢筋锈蚀临界值。在大(下转第 40 页)

油(4%~5%)、季戊四醇(11%~13%)、苯酚(21%~24%)、苯甲酸(4%~5%)、顺酐(0.3%~0.4%)、抗氧剂(0.1%)、对稀溶剂(35%)。树脂相关指标如表5所列。该树脂与市场上广泛使用的本公司经济型浅色醇酸树脂相比较(见表6),通过对比试验可见:所开发的新型辛癸酸/硬脂酸改性醇酸树脂用于配制PU面漆,漆膜平整无弊病,漆膜干性及硬度较好,各项机械性能指标优异。并且,受当前国内国际原材料供求关系的影响,月桂酸价格大幅上扬并居高不下,采用辛癸酸/硬脂酸搭配使用制备醇酸树脂,产品成本得到有效控制,具有很高的市场竞争力。

表4 硬脂酸与辛癸酸对比对漆膜的影响

检验项目	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5
硬脂酸:辛癸酸	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3
附着力/级	1	1	1	1	1
铅笔硬度	2H	2H	2H	2H	H
变浑浊的温度/℃	-5	-10	-20	-30	-30
表干时间/min	12	12	12	15	15
实干时间/h	3.5	3.5	3.5	4.0	5.0
丰满度	良	良	优	优	优

表5 醇酸树脂的技术指标

检测项目	指标值	检测项目	指标值
油度/%	33	酸值/mg·KOH·g <sup>-1</sup>	≤10
外观	无色透明黏液	羟值/mg·KOH·g <sup>-1</sup>	130±10
色泽(Fe-Co比色计)	≤1*	黏度(25℃)/mPa·s	30 000~50 000
固体含量/%	70±2		

表6 漆膜性能的比较

比较项目	新产品	原产品
施工配比(漆:固化剂:稀释剂)	1:1:0.8	1:1:0.8
板面效果	佳	佳
表干时间/min	15	15
实干时间/h	3.5	4.0
铅笔硬度	2H	2H
附着力/级	1	1
丰满度	优	优
重涂性	好	好
流平性	好	好

#### 4 结语

综上所述,以辛癸酸和硬脂酸为脂肪酸,甘油和季戊四醇为多元醇,与苯酚缩合合成浅色醇酸树脂,并引入苯甲酸来提升制品的干燥速度和硬度。该树脂用于

配制PU底漆及面漆,漆膜各项性能良好,能满足家具厂家对油漆性能的要求。由于所用脂肪酸价格较低,因此所制备的醇酸树脂具有很高的性价比优势,本公司推出该类型产品并实现批量生产,赢得客户一致好评。

收稿日期:2011-04-20

(上接第37页)气区内A类涂料试板的内层氯离子浓度最大,为0.041765%,大气区内层抗氯离子渗透阻止性为C>B>A,潮差区内层抗氯离子渗透阻止性为A=C>B。

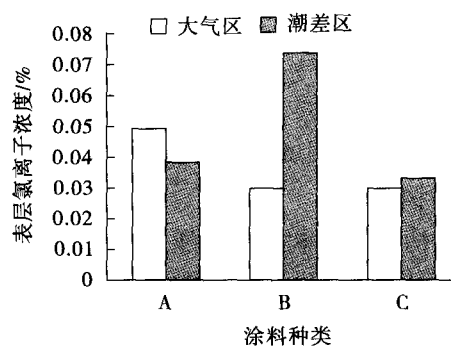


图6 海洋环境2个腐蚀区涂料表层氯离子渗透浓度

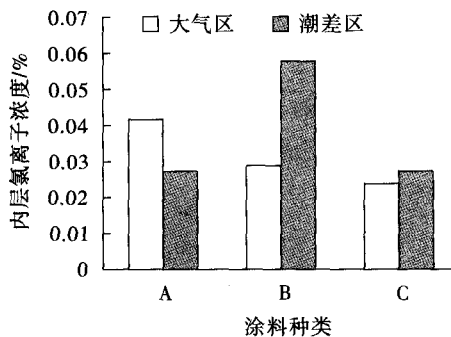


图7 海洋环境2个腐蚀区涂料内层氯离子渗透程度

#### 4 结语

经过裂缝追随性、附着强度、透水量和抗氯离子渗透性试验,表明3种涂料均对混凝土底材具有优异的裂缝追随性,A涂料具有优异的附着强度、稳定性和较好的抗水性;A,C涂料具有良好的抗氯离子渗透阻止性,所以3种涂料都能达到在苛刻海洋腐蚀环境中对海工钢筋混凝土基体的保护要求,但综合看来,A涂料的性能最好,最适合恶劣海洋环境下使用。

收稿日期:2011-03-01