

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.05.014

王学川, 孙红尧, 申明霞, 等. 混凝土用有机硅渗透剂耐紫外老化性能研究[J]. 水利水运工程学报, 2016(5): 96-102. (WANG Xue-chuan, SUN Hong-yao, SHEN Ming-xia, et al. Resistance to ultraviolet-light aging property of organosilicon impregnating agents for protecting reinforced concrete[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(5): 96-102.)

## 混凝土用有机硅渗透剂耐紫外老化性能研究

王学川<sup>1,2</sup>, 孙红尧<sup>1</sup>, 申明霞<sup>2</sup>, 李震<sup>1</sup>

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源和水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学 力学与材料学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 处于恶劣环境中不加以保护的钢筋混凝土会发生腐蚀破坏, 从而影响结构物耐久性。有机硅渗透剂是钢筋混凝土表面防护常见的物质。有机硅渗透剂由烷基烷氧基硅烷(或硅氧烷)组成, 分子结构中的碳碳键、碳氢键键能低, 均会被紫外辐照的能量破坏而断裂, 从而失去憎水性。对涂布3种有机硅渗透剂(LS-A(BS<sup>®</sup>1701), LS-B(70% BS<sup>®</sup>1701 & 30% BS<sup>®</sup>290)和LS-C(异辛基硅烷膏体))的砂浆试块进行了2 600 h耐紫外老化试验, 通过跟踪记录涂布有机硅渗透剂砂浆试块的吸水率和表面疏水性的变化过程, 以此间接反映有机硅渗透剂的耐老化性能。另外, 通过研究紫外老化后经打磨的混凝土表面憎水性变化, 探明紫外辐照对混凝土毛细孔内的有机硅渗透剂的影响。结果显示: 与LS-A和LS-C相比, LS-B有机硅渗透剂具有最好的憎水性和耐紫外老化性能; LS-A和LS-C在老化600 h内吸水率和接触角变化较小, 吸水率的变化趋势与接触角的变化趋势存在相关性; 紫外老化2 600 h后的试块经表面打磨处理后, 接触角有一定程度的恢复。根据试验结果可推测得出, 硅氧烷主链上较多的小烷基数目有助于提升有机硅渗透剂的耐老化性能; 硅烷的较大烷基则有利于有机硅渗透剂的初期耐老化性能; 混凝土毛细孔内部的有机硅渗透剂基本没有受到紫外线的辐照影响。

**关键词:** 钢筋混凝土; 有机硅渗透剂; 防腐蚀; 紫外老化; 表面接触角; 吸水率

**中图分类号:** TU56<sup>+</sup>1.67 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2016)05-0096-07

混凝土耐久性问题在狭义上可以认为是混凝土与环境介质之间的传质问题, 环境有害离子和气体溶于水后具有较强的穿透作用, 引起混凝土结构破坏<sup>[1]</sup>。有机硅渗透剂是一种以硅烷或硅氧烷为主要成分的单分子或小分子聚合物, 由于自身黏度小, 在混凝土表面毛细吸收作用下能渗透到混凝土内部一定深度。与水泥基材料表面接触时, 烷氧基水解形成不稳定的硅醇中间体, 这种硅醇能发生分子间的聚合反应, 同时硅醇中的羟基可以跟基体材料发生不可逆化学反应, 通常此过程被称作疏水膜层的锚固<sup>[2]</sup>(如图1), 从而实现混凝土半整体防水<sup>[3]</sup>(区别于将其作添加剂使用的整体防水<sup>[4]</sup>)。研究<sup>[5-7]</sup>表明, 有机硅渗透剂能有效降低水泥基材料的吸水率和氯离子扩散能力, 且不改变混凝土材料的原始外观和呼吸功能。图2描绘了有机硅渗透剂与其他混凝土表面防水材料的区别。大型工程如桥梁、大坝、海港码头的上部结构经过有机硅渗透剂表面处理后, 有些会直接暴露在太阳光下, 太阳光的辐照对混凝土表面有机硅渗透剂的长期耐久性有一定程度的影响。

波长范围是290~50 nm的紫外线, 辐射能量可达到342.7~405.5 kJ/mol<sup>[8]</sup>。烷基烷氧基硅烷分子在混凝土基面形成的Si-O键能(422.5 kJ/mol)较高, 因而抗紫外光辐照性能好, 而其与硅原子连接的烷基是由Si-C键(键能347 kJ/mol)、C-C键(键能347.3 kJ/mol)和C-H键(键能377 kJ/mol)组成, 在紫外光照射

收稿日期: 2015-10-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51279110)

作者简介: 王学川(1991—), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要从事钢筋混凝土结构的腐蚀与防护研究。

E-mail: 835830127@qq.com

下,这3种化学键可能会逐渐断裂,使混凝土表面的有机硅渗透剂逐渐失去憎水性能。许星鑫<sup>[9]</sup>采用3家厂家的异丁基三乙氧基硅烷涂布混凝土后,对不同温度和紫外辐照下硅烷的耐紫外老化性能进行研究,用傅里叶变换红外光谱对紫外老化前后有机硅渗透剂进行了表征,通过比较特征峰面积来确定老化程度,并通过阿累尼乌斯方程对服役寿命进行了预测,但试验时间只有12 d,并没有考虑混凝土表面和毛细孔内部有机硅渗透剂承受紫外老化的差异。闫大伟等<sup>[8]</sup>通过人工加速老化的方法对涂布有机硅混凝土试块进行试验,发现混凝土吸水率增加了10%左右,但未说明老化试验的时间。熊建波等<sup>[10]</sup>对异辛基硅烷膏体和异丁基硅烷液体浸渍的混凝土进行了1 000 h的耐紫外老化性能研究,结果表明异辛基硅烷膏体耐紫外老化性能明显优于异丁基硅烷液体,由于试验时间较短,并未完整反应有机硅渗透剂混凝土的老化过程。U. Attanayaka等<sup>[11]</sup>认为有机硅渗透剂本身的耐紫外老化性能较差,提出必要的渗透深度是长期耐久性的保证。E. McGettigan<sup>[12]</sup>的研究结果表明混凝土表面的有机硅渗透剂在UV下裂解,而毛细孔里面的有机硅渗透剂仍能提供有效的保护。

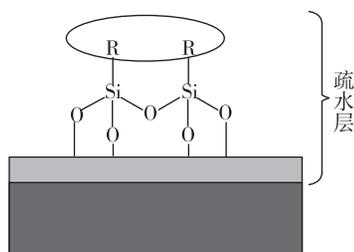


图1 硅烷在混凝土表面锚固示意

Fig. 1 Anchoring progress of silane on concrete

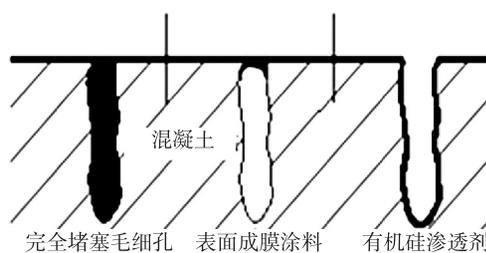


图2 3种类型的表面防水示意

Fig. 2 Different waterproof treatments on concrete surface

前述文献说明了有机硅渗透剂对紫外线敏感,但鲜有对有机硅渗透剂的紫外老化变化过程进行研究和表面疏水状态的演变进行表征。本试验为了解紫外线辐照条件下,经过有机硅渗透剂处理后混凝土的防水效果和有机硅渗透剂憎水性的变化过程,以吸水率和表面接触角作为主要试验参数,阐述了二者在混凝土紫外老化中的联系;此外,对混凝土内部一定深度毛细孔内的有机硅渗透剂的耐紫外老化性能进行研究。

## 1 试验研究

### 1.1 试验材料及试块成型

根据紫外老化试验仪器对试件尺寸的要求以及有机硅渗透剂水解后与水泥结合形成硅氧键的机理,以砂浆试块代替混凝土试块进行耐紫外老化试验。

采用P·O 42.5的水泥和细度模数为2.8的天然河砂作为原材料,砂胶比和水灰比分别为2.5和0.6。成型24块(4组)尺寸为150 mm×75 mm×10 mm的砂浆试块,24 h后脱模并在标准养护室((20±2)°C, RH>90%)养护28 d。为获得良好的水解条件和渗透深度,标准养护结束后将试块置于温度20°C,相对湿度(60±5)%的干缩室中存放7 d。

采用3种有机硅渗透剂作为试验原材料,材料信息如表1。由于分子量小和低黏度特性,BS<sup>®</sup>1701能快速渗透到混凝土内部,标记为LS-A;BS<sup>®</sup>290是无溶剂的硅烷硅氧烷浓缩液,挥发性较低,能保证与基体有充足的接触时间,为了

获得更好的渗透特性,本试验采用70%BS<sup>®</sup>1701与30%BS<sup>®</sup>290复配,标记为LS-B;硅烷膏体是硅烷经过乳化的产品,标记为LS-C。所有配方涂敷量为300 g/m<sup>2</sup>,采用“湿碰湿”的涂布方法(即第1道表面还有湿痕时涂布第2道)在6面进行涂覆,涂覆结束后,在干缩室放置7 d。

表1 有机硅渗透剂信息

| Tab. 1 Detailed information of organosilicon impregnating agents |           |            |         |
|--|-----------|------------|---------|
| 产品   | 活性组分      | 活性组分质量分数/% | 生产商/生产地 |
| BS <sup>®</sup> 1701   | 异辛基三乙氧基硅烷 | >99        | 瓦克/德国   |
| BS <sup>®</sup> 290  | 硅烷/硅氧烷    | >99        | 瓦克/德国   |
| 硅烷膏体   | 异辛基三乙氧基硅烷 | 80         | 某公司/中国  |

## 1.2 试验方法

试验采用 Q-LAB 公司生产的 QUV 紫外加速老化仪, 紫外光源 (UVA-340), 辐照度  $0.68 \text{ W/m}^2$ , 温度  $65^\circ\text{C}$ , 辐照 8 h, 喷水 2 min, 冷凝 4 h 为 1 个循环, 辐照方式如图 3。试验开始前进行初始接触角和吸水率测试, 在老化期间, 1 000 h 内, 每 100 h 测试 1 次接触角, 每 200 h 测试 1 次吸水率。1 000 h 后, 每 200 h 测试 1 次接触角和吸水率。2 600 h 后对所有试块进行表面打磨处理, 随后进行接触角测试。

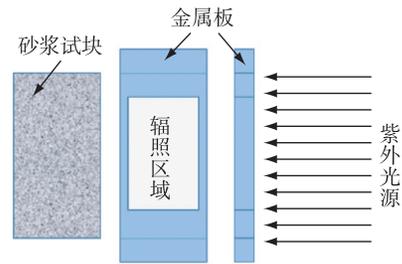


图 3 试块紫外老化试验

Fig. 3 Schematic view of UV aging experiment

**1.2.1 吸水率测试** 将试块从紫外老化仪中取出后, 在  $65^\circ\text{C}$  烘箱中烘干 48 h, 然后在温度  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$  和相对湿度  $(60\pm 5)\%$  环境下冷却至室温, 称量试块质量 ( $m_0$ ); 然后将试块放置在底部有玻璃棒的平底容器中, 注入  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$  的水, 保持液面高出试块顶面 2 mm。浸泡 24 h 后取出试块, 用抹布擦拭试块至表干, 立即称量其质量 ( $m$ )。以 6 块试块为一组, 计算 6 块试块吸水率的平均值。混凝土试块的吸水率  $K$  按式  $K = (m - m_0) / m_0 \times 100\%$  计算。吸水率的降低值  $K_j$  为经有机硅渗透剂处理试块的吸水率  $K_c$  与未处理空白试块的吸水率  $K_0$  差值与未处理空白试块的吸水率的比值, 即  $K_j = (K_0 - K_c) / K_0 \times 100\%$ 。

**1.2.2 接触角测试** 接触角<sup>[13]</sup>能有效反映涂布有机硅渗透剂后的混凝土表面初期憎水性能, 通常用杨德耳方程表示 ( $\gamma_s = \gamma_{ls} + \gamma_l \cos\theta$ ), 其中  $\gamma_s$  为固体表面张力,  $\gamma_{ls}$  为固液表面张力,  $\gamma_l$  为液体表面张力,  $\theta$  为接触角。图 4 是有机硅渗透剂混凝土的接触角示意图, 有机硅渗透剂形成的疏水表面取代了水润湿的混凝土原表面, 降低了液固表面张力 ( $\gamma_{ls}$ )。接触角越大表示表面憎水性能越好。

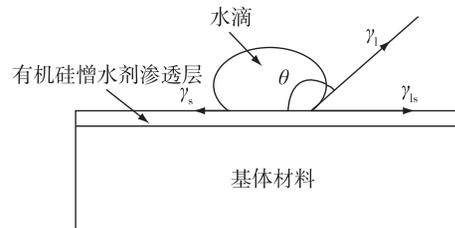


图 4 接触角示意

Fig. 4 Schematic view of surface contact angle

2 600 h 紫外老化结束后, 用砂纸在砂浆试块辐照区域打磨, 打磨厚度约 1 mm, 清除表面粉体, 再进行接触角测试。将试块水平放置在桌面, 在试块表面辐照区域, 用胶头滴管缓缓滴一滴水滴, 静置约 2 min, 待液滴完全平衡, 用 Coolingtech 公司制造的数字显微镜在与试块表面同水平高度进行图像采集, 并根据其相应的处理软件对图片处理获得接触角数据。每个试块至少进行 3 次测试, 每组试验用 6 个试块。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 紫外老化对试块吸水率的影响

不同有机硅渗透剂在不同老化时间的吸水量列于表 2, 试验开始与结束的吸水率数据列于表 3, 图 5 中给出了紫外老化不同老化时间的吸水率。

表 2 不同老化时间的吸水量

Tab. 2 Water absorption with different UV aging time

| 试验时间/h | 烘干后质量/g |        |        | 泡水后质量/g |        |        |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
|        | LS-A    | LS-B   | LS-C   | LS-A    | LS-B   | LS-C   |
| 0      | 267.01  | 296.10 | 269.00 | 268.05  | 296.54 | 269.97 |
| 200    | 260.71  | 288.99 | 262.59 | 261.83  | 289.56 | 263.55 |
| 400    | 258.76  | 284.92 | 260.51 | 260.07  | 285.81 | 261.84 |
| 600    | 258.64  | 284.26 | 260.37 | 259.94  | 285.62 | 261.69 |
| 800    | 258.85  | 284.45 | 260.74 | 260.98  | 285.94 | 262.81 |
| 1 000  | 258.69  | 284.10 | 260.47 | 261.44  | 285.89 | 263.30 |

(续表)

| 试验时间/h | 烘干后质量/g |        |        | 泡水后质量/g |        |        |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
|        | LS-A    | LS-B   | LS-C   | LS-A    | LS-B   | LS-C   |
| 1 200  | 258.71  | 284.30 | 260.49 | 261.44  | 286.29 | 263.31 |
| 1 400  | 258.82  | 284.51 | 261.05 | 261.57  | 286.84 | 263.83 |
| 1 600  | 259.04  | 284.93 | 261.98 | 261.69  | 287.71 | 264.71 |
| 1 800  | 258.83  | 284.75 | 261.13 | 261.60  | 287.84 | 264.12 |
| 2 000  | 258.77  | 284.74 | 261.34 | 261.53  | 287.70 | 264.38 |
| 2 200  | 258.75  | 284.67 | 261.27 | 261.50  | 287.66 | 264.21 |
| 2 400  | 258.91  | 284.75 | 261.59 | 261.63  | 287.66 | 264.62 |

由表3可知,老化试验开始前涂布的3种有机硅渗透剂中,LS-B吸水率降低了98%,而LS-A和LS-C处理后试块的吸水率分别降低了94.8%和95.3%。经过2400h的紫外光照射后,3种有机硅渗透剂处理的混凝土试块的吸水率均出现了大幅度提高,吸水率在1%时基本达到稳定,如图5所示。同时空白组在老化后吸水率上升了0.73%,可能是长时间的紫外线辐照引起了基体表面的粉化所致。由图可知,LS-A和LS-C处理的试块在1000h就基本到达了吸水率的峰值期,而LS-B渗透剂在1800h才到达吸水率稳定峰值期。最终3条曲线呈现了较为接近的吸水率。

LS-B为70%BS<sup>®</sup>1701和30%BS<sup>®</sup>290的复配渗透剂,由于BS<sup>®</sup>1701为异辛基三乙氧基硅烷,分子量低和黏度小,能迅速渗透到砂浆试块内部,而BS<sup>®</sup>290是硅烷/硅氧烷浓缩液,黏度较大,其部分保留在砂浆试块表面和浅层,故用LS-B处理的混凝土表面憎水层主要是BS<sup>®</sup>290提供,硅氧烷的憎水烷基主要是甲基或乙基,碳链较短,但烷基数目较多。可能是紫外辐照时,LS-B憎水剂分子上的烷基逐步失去,使得表面防水性能逐渐下降,烷基数目的优势使其在开始辐照的1600h吸水率逐渐增加,烷基完全被破坏后,吸水率趋于不变。而LS-A和LS-C是8个碳原子的烷基,由7个碳碳键和1个硅碳键组成,在得到光子后,辛基的断裂位置是随机的,这与老化初期(0~600h)吸水率变化不大的结果相符合;当老化时间延长,碳原子在逐渐失去,碳链变短到最终失去,材料憎水性大幅降低,吸水率急剧上升达到最大值。由此可见,含有许多小烷基的长链BS<sup>®</sup>290的引入有助于提高有机硅渗透剂的耐光老化性能。

2.2 紫外老化对基体表面接触角的影响

接触角能直观反映基体表面的疏水情况,同时也间接反映了材料吸水性能。图6给出了接触角随老化时间的变化曲线,结果显示,500h前,3种渗透剂处理的混凝土表面接触角基本不变;500~700h,LS-A和LS-C方法处理的试块表面接触角开始缓慢降低;700h后,LS-A和

表3 紫外老化开始与结束时各试验组的吸水率

Tab.3 Water absorption of each experiment before and after UV aging

| 紫外辐照时间/h | 吸水率/% |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|
|          | 空白    | LS-A  | LS-B  | LS-C  |
| 0        | 7.58  | 0.391 | 0.148 | 0.360 |
| 2 400    | 8.31  | 1.049 | 1.021 | 1.158 |

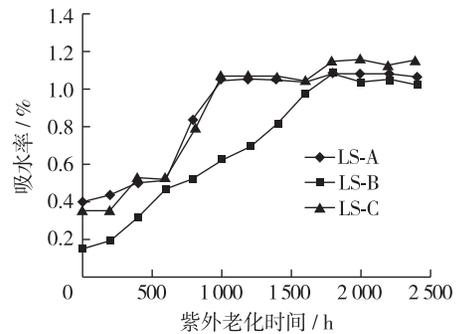


图5 吸水率随紫外辐照时间的变化曲线

Fig.5 Water absorption curves for different UV radiation time

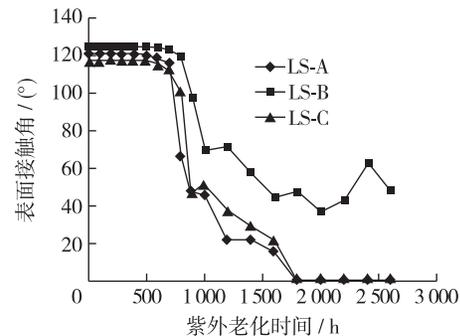


图6 表面接触角随紫外辐照时间的变化曲线

Fig.6 Surface contact angle curves for different UV radiation time

LS-C 处理的表面接触角急剧下降,到1 800 h,水在试块表面铺展,憎水性不明显。而用 LS-B 处理的试块表面接触角在开始试验后的 800 h 基本无变化;800 h 后开始加速下降,但其下降速率比 LS-A 和 LS-C 的缓慢,2 600 h 后,仍未出现液滴铺展现象,LS-B 表现出比 LS-A 和 LS-C 更优异的耐紫外老化性能。

图 7 为各阶段接触角演变情况。由于接触角是表面疏水性的宏观表现,试验前期,3 种憎水剂的表面接触角基本不变,说明 3 种有机硅憎水剂的老化都是逐渐老化的过程,在潜伏期有机硅渗透剂的老化破坏都未在宏观上(接触角)明显表现出来,潜伏期后 LS-A,LS-C 与 LS-B 的接触角曲线的变化产生了明显的不一致,结合吸水率的变化曲线,同样佐证了紫外老化时 LS-A,LS-C 是小分子烷基长碳链的逐步断裂,而 LS-B 是硅氧烷分子多个烷基的逐步失去。

### 2.3 吸水率与接触角变化之间的关系

图 8 为表面接触角衰减量(初始接触角与相应老化时间后接触角的差值)与吸水率升高之间的关系。由图 8 可知,600 h 内吸水率呈缓慢上升趋势,而接触角基本保持稳定;600~1 000 h 内吸水率持续上升,此时接触角经过大约 200 h 的诱导期后,也随即出现大幅度衰减;1 000 h 后吸水率基本稳定,而接触角持续下降,到1 800 h 后才达到稳定铺展。综上可知,接触角的衰减趋势基本与吸水率上升一致,后期可能出现较低程度的滞后性,故可用表面接触角的降低直接反应吸水率的升高。图 8 中吸水率曲线的平稳期明显短于接触角曲线的平稳期,说明接触角反映的是宏观老化现象。

### 2.4 紫外辐照对毛细孔内有机硅渗透剂的影响

表 4 中,与空白组比较,试块经过2 600 h 的加速紫外老化试验后,LS-A,LS-B,LS-C 的吸水率都有大幅度降低。图 6 和图 7 中接触角结果显示,2 600 h 后,LS-A,LS-C 的表面憎水性大幅降低,液滴在基材表面铺展,LS-B 接触角也大幅降低,但仍有一定憎水性。为了进一步分析毛细孔内有机硅渗透剂的老化,对试块进行表面打磨,并测试接触角,表 4 和图 9 给出了打磨前后接触角的变化。

表 4 打磨处理后的砂浆试块表面接触角

Tab. 4 Contact angle of mortar specimens after polished treatment

| 有机硅渗透剂 | 表面接触角/(°) |            |      | 有机硅渗透剂 | 表面接触角/(°) |            |      |
|--------|-----------|------------|------|--------|-----------|------------|------|
|        | 老化前       | 老化 2 600 h | 打磨后  |        | 老化前       | 老化 2 600 h | 打磨后  |
| LS-A   | 120.3     | 铺展         | 71.9 | LS-C   | 117.5     | 铺展         | 63.8 |
| LS-B   | 124.8     | 48.7       | 81   | 空白     | 完全润湿      | 完全润湿       | 完全润湿 |

表面打磨后,砂浆基体表面能恢复憎水性,由此可知,紫外照射会使表面有机硅渗透剂老化,但毛细管内部的有机硅渗透剂基本没有受到破坏,这就解释了在吸水率达到峰值时仍比空白组吸水率低的原因,与文献<sup>[14-15]</sup>中的结论一致。

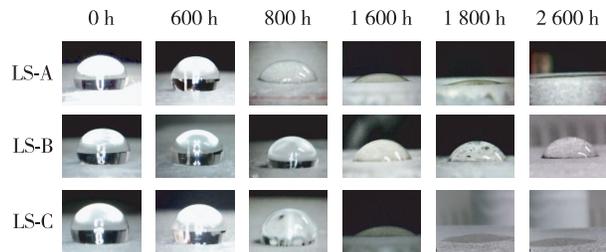


图 7 表面接触角随紫外老化时间的演变

Fig. 7 Evolution of surface contact angle for different UV radiation time

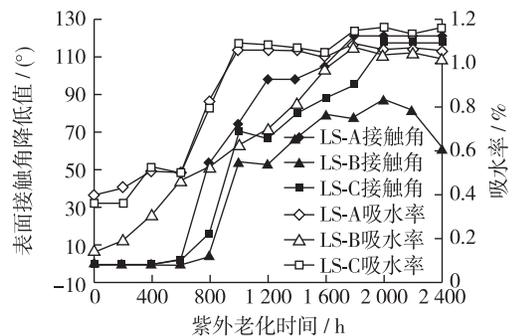


图 8 吸水率与接触角随紫外老化时间的变化

Fig. 8 Changes of water absorption and surface contact angle with UV radiation time

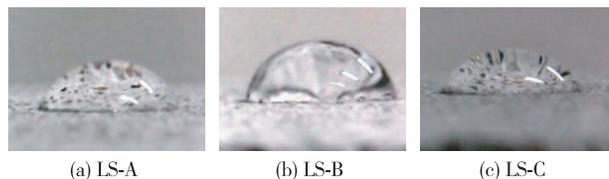


图 9 老化 2 600 h, 打磨处理后砂浆试块表面接触角的恢复  
Fig. 9 Surface contact angle recover through polished treatment after 2 600 h UV radiation

### 3 结 语

对涂布3种有机硅渗透剂的砂浆试块进行2 600 h的老化试验,试验分析结果表明,有机硅渗透剂分子结构上的烷基会受到紫外线老化的影响而发生降解,从而降低其憎水性能。吸水率试验和接触角试验结果显示,烷基小但数目多的有机硅渗透剂(LS-B)的耐紫外老化性能优于单个大烷基的有机硅渗透剂(LS-A和LS-C)。600 h内LS-A和LS-C的吸水率的缓慢升高表明,烷基中碳原子的数目大(异辛基)有利于提高有机硅渗透剂的初期耐紫外老化性能。3种有机硅渗透剂都有接触角的潜伏期(约800 h)存在,在潜伏期内,接触角基本不随老化时间的延长而降低,说明接触角是有机硅渗透剂老化的一种宏观表征方法。有机硅渗透剂的吸水率变化和接触角变化的相关性与烷基结构有关。通过对老化后试块表面的打磨处理,发现混凝土毛细孔内的有机硅渗透剂在试验时间内基本未受到紫外线破坏,仍表现出较好的憎水性,这与老化1 800 h后吸水率变化趋于平缓的结论相符。

### 参 考 文 献:

- [1] TITTARELLI F, MORICONI G. The effect of silane-based hydrophobic admixture on corrosion of reinforcing steel in concrete[J]. *Cement and Concrete Research*, 2008, 38: 1354-1357.
- [2] ROOS M, KONIG F, SYADTMULLER S, et al. Evolution of silicone based water repellent for modern building protection[C]// *Proceedings of 5<sup>th</sup> International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials*, Germany: Aedificatio Publishers, 2008: 3-16.
- [3] WITTMANN F H, ZHANG P, ZHAO T. Significance of water repellent treatment of SHCC for durability and service life[C]// *Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials*, Germany: Aedificatio Publishers, 2011: 3-14.
- [4] WITTMANN F H, JIANG R, WOLFSEHER R, et al. Application of natural products to make integral water repellent concrete [C]// *Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials*, Germany: Aedificatio Publishers, 2011: 117-124.
- [5] YANG C C, WANG L C, WENG T L. Using charge passed and total chloride content to assess the effect of penetrating silane sealer on the transport properties of concrete[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2004, 85: 238-244.
- [6] DE RINCÓN O T, MILLANO V, ABOULHOSN M, et al. Evaluation of hydrophobic concrete coatings in tropical marine environments[J]. *Corrosion*, 2011, 67(11): 592-596.
- [7] SCHUEREMANS L, GEMERT D V, GIESSLER S. Chloride penetration in RC-structures in marine environment-long term assessment of a preventive hydrophobic treatment[J]. *Construction and Building Materials*, 2007, 21(6): 1238-1249.
- [8] 闫大伟, 孙明赫, 王静, 等. 有机硅在混凝土保护中的试验研究[J]. *节能*, 2012, 31(4): 10-12. (YAN Da-wei, SUN Ming-he, WANG Jing, et al. Experimental study of silicone in the concrete protection[J]. *Energy Conservation*, 2012, 31(4): 10-12. (in Chinese))
- [9] 许星鑫. 海工混凝土表面渗透型有机硅防护涂料耐久性研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012. (XU Xing-xin. Research on durability of impregnating silicon coating on marine concrete surface[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012. (in Chinese))
- [10] 熊建波, 潘峻, 王胜年, 等. 两种硅烷浸渍剂功效性对比分析研究[J]. *水运工程*, 2010(4): 11-14. (XIONG Jian-bo, PAN Jun, WANG Sheng-nian, et al. Research on crême silane's application of impregnation for concrete protection[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2010(4): 11-14. (in Chinese))
- [11] ATTANAYAKA U, NG S Y C, AKTAN H. Criteria & benefits of penetrating sealants for concrete bridge decks[R]. Michigan: Michigan Department of Transportation Construction and Technology Division, 2002.
- [12] MCGETTIGAN E. Silicon-based weatherproofing materials[J]. *Concrete International*, 1992, 14(6): 52-56.
- [13] KARGOL M A, MUELLER U, GARDEI A, et al. Influence of blended cements on the performance of water repellent agent[C]// *Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials*, Germany: Aedificatio Publishers, 2011: 23-32.

- [14] TITTARELLI F, MORICONI G. The effect of silane-based hydrophobic admixture on corrosion of galvanized reinforcing steel in concrete[J]. *Corrosion Science*, 2010, 52: 2958-2963.
- [15] MAMAGHANI I H P, MORETTI C, DOCKTER B A. Application of sealing agents in concrete durability of infrastructures systems[R]. North Dakota: North Dakota Department of Transportation, 2007. [http://www.dot.nd.gov/divisions/materials/research\\_project/UND0601final.pdf](http://www.dot.nd.gov/divisions/materials/research_project/UND0601final.pdf)

## Resistance to ultraviolet-light aging property of organosilicon impregnating agents for protecting reinforced concrete

WANG Xue-chuan<sup>1,2</sup>, SUN Hong-yao<sup>1</sup>, SHEN Ming-xia<sup>2</sup>, LI Zhen<sup>1</sup>

(1. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *College of Mechanics and Material, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

**Abstract:** Without any protection treatment, reinforced concrete shall be corroded in harsh environment, and the durability of concrete structure must decrease significantly thereby. The organosilicon impregnating agent is a common method for protecting the reinforced concrete against damage. It consists of alkyl alkoxy silane and/or siloxane. In the UV irradiation conditions, C-C and C-H bonds in the molecular structure will be destroyed due to low bond energy, and thus concrete loses hydrophobicity. In the study, three organosilicon impregnating agents (LS-A(BS<sup>®</sup>1701), LS-B(70% BS<sup>®</sup>1701 and 30% BS<sup>®</sup>290) and LS-C(isooctylsilane cream)) were selected as the test materials to carry out a research on their properties of resistance to 2 600 h UV aging. By tracking the water absorption and surface hydrophobicity process of the organosilicon penetrating specimen mortar, the test results indirectly reflected the anti-aging properties of the organosilicone impregnating agents. In addition, the anti UV aging properties of the organosilicon impregnating agent in concrete pores were studied by surface polishing. The test results show that LS-B has the best resistance to UV aging properties. The water absorption increased slightly and the concrete surface is contact angle after treated with LS-A and LS-C as almost unchanged in the initial 600 h test time. The whole tendency of the contact angle decay and the water absorption increase is almost synchronous. When concrete surface polished after 2 600 h UV aging tests, the surface contact angle has a certain degree of recovery. According to those results, it can be expected that numerous small alkyl groups will be favorable to improving the anti-aging properties of the silicone penetrant; a larger alkyl group is beneficial to the early anti-aging properties; and the UV aging has little influence on the organosilicon impregnating agents in the concrete pores.

**Key words:** reinforced concrete; organosilicon impregnating agent; anticorrosion; UV aging; surface contact angle; water absorption