

Available online at www.sciencedirect.com**SciVerse ScienceDirect**

Procedia Engineering 27 (2012) 301 – 307

**Procedia
Engineering**www.elsevier.com/locate/procedia

2011 Chinese Materials Conference

Study on silane impregnation for protection of high performance concrete

Cui Gong^{a,b*}, Liu Jianzhong^{a,b}, Chen Cuicui^{a,b}, Li Changfeng^{a,b}, Shi Liang^{a,b}^aState Key Laboratory of High Performance Civil Engineering Materials, Nanjing 210008, China^bJiangsu Research Institute of Building Science, Nanjing 210008, China

Abstract

Steel corrosion caused by chloride penetration is the main reason for the damage of concrete structures in marine environment. By silane impregnation, the corrosion of chloride on concrete can be inhibited effectively, and the water absorption of concrete can also be decreased. Silane gel and silane solution was used as protection treatment on concrete surface respectively. Effect of silane type and painting amount of silane on the mechanical performance, capillary water absorption and chloride ion permeability of concrete was studied in the present investigation. The experimental results showed that the two silanes can penetrate to the depth of about 2~6mm. Compared with untreated samples, the reduction of water absorption and chloride absorption of treated concrete was higher than 90%. The chloride diffusion coefficient and electric flux decreased obviously. The protection effect of silanes on concrete both improves with the increase of painting amount. The protection of silane gel on concrete was better than that of silane solution.

© 2011 Published by Elsevier Ltd. Selection and/or peer-review under responsibility of Chinese Materials Research Society. Open access under [CC BY-NC-ND license](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Keywords: Silane gel; Silane solution; Concrete protection; Water absorption; Chloride absorption

高性能混凝土硅烷浸渍防护研究

崔巩^{a,b*} 刘建忠^{a,b} 陈翠翠^{a,b} 李长风^{a,b} 石亮^{a,b}^a高性能土木工程材料国家重点实验室, 南京, 210008, 中国^b江苏省建筑科学研究院有限公司, 南京, 210008, 中国

* Corresponding author. Tel.: +86-25-52705911; fax: +86-25-52704855.

E-mail address: cuihong@cnjsjk.cn.

摘要

氯离子侵蚀导致钢筋锈蚀是海洋环境下混凝土结构破坏的主要原因,采用硅烷浸渍技术,可以有效降低混凝土吸水率,同时阻止氯离子对混凝土的侵蚀。试验对高性能混凝土表面分别进行硅烷凝胶与硅烷溶液防护处理,研究了硅烷种类及涂覆量对混凝土力学性能、毛细吸水性能及氯离子渗透性能的影响规律。结果表明,两种硅烷 7d 内渗透深度约为 2~6mm。相对于未处理混凝土,混凝土吸水率及氯化物吸收量的下降幅度都大于 90%,氯离子扩散系数与电通量也有明显降低;随着涂覆用量的增加,两种硅烷的混凝土防护效果均有所提高;硅烷凝胶对混凝土防护效果优于硅烷溶液。

关键词: 硅烷凝胶; 硅烷溶液; 混凝土防护; 吸水性能; 氯离子吸收

海洋环境下氯盐侵蚀导致混凝土结构耐久性问题日益突出,是海港工程亟需解决的基础理论研究课题之一^[1-3]。为了减少周围环境中氯离子在混凝土中的传输,推迟混凝土中钢筋开始锈蚀的时间,延长其使用寿命,渗透性防护材料、表面封闭性涂料、防护膜或防护层等混凝土表面处理材料得到了广泛应用^[4-6]。实践证明,硅烷防护材料的防护效果较好,是保护混凝土免受氯盐侵蚀的理想浸渍材料^[7-9]。从 20 世纪 70 年代起,“硅烷浸渍”技术已在欧美、澳大利亚等大量应用,目前已有实际工程混凝土结构经 15~20 年的保护效果依然完好的记录;我国交通运输部、铁道部也相继将硅烷浸渍技术列入混凝土防腐措施之一。

近些年来,随着材料科学技术的发展,硅烷凝胶、硅烷溶液、硅烷干粉等种类相继问世,硅烷可以溶液、凝胶形式^[10-12]喷涂在建筑物表面上,也可以采用干粉掺入到混凝土中。本文开展了硅烷对海工高性能混凝土的防腐蚀性能的影响研究。系统研究了硅烷溶液与硅烷凝胶对高性能混凝土中的防护效果,并探讨不同浸渍用量对硅烷浸渍混凝土的防护效果的影响。

1. 试验原材料

1.1. 混凝土原材料

水泥采用山东山水集团 P·O 42.5;粉煤灰采用威海港域粉煤灰科技有限公司的 I 级粉煤灰;矿粉采用山东威海冒佳贸易公司的 S95 级磨细矿渣粉;碎石采用山东烟台栖霞石场的 5~20mm 的玄武岩碎石;砂采用山东威海乳山砂场的黄砂, I 区粗砂,细度模数 3.1;外加剂采用江苏博特新材料有限公司生产的 PCA(I)高效减水剂;水为自来水。

1.2. 硅烷产品

本研究采用了两种硅烷产品:硅烷凝胶,异辛基三乙氧基硅烷,白色膏体,活性含量为 80%,其余 20%为水和少量辅助物质;硅烷溶液,异丁基三乙氧基硅烷,透明液体,纯度不小于 98.9%,硅氧烷含量不大于 0.3%,活性含量 100%。

2. 试验方法

2.1. 混凝土制备与硅烷喷涂

混凝土配合比及主要性能见表 1。试件成型脱模后标准养护 21d,然后取出试件,清除表面灰尘及油污,至于室温下干燥 7d,然后喷涂硅烷,硅烷浸渍喷涂按照生产厂家推荐的方法进行,所有试验测试龄期在最后一次喷涂硅烷并养护 7d 后开始记录。

表 1 混凝土配合比及主要性能

Table 1, Mix proportion and main performance of concrete

Mix proportion				Main performance	
Cementitious material	Fine aggregate	Coarse aggregate	Water	Slump and Slump flow /mm	28d Compressive strength /MPa
420	775	1027	172	225/555	53.2

2.2. 硅烷浸渍混凝土试验方法

下述试验所有试件大小均为 100mm×100mm×100mm。混凝土抗压强度按《普通混凝土力学性能试验方法》(GB50081)进行测定,渗透深度、氯化物吸收量降低效果和吸水率按《海港工程混凝土结构腐蚀技术规范》(JTJ 275-2000)进行测定^[13]。

3. 结果与讨论

3.1. 硅烷浸渍混凝土的力学性能

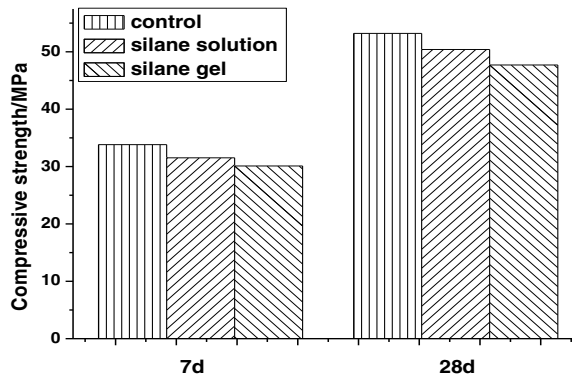


图 1 混凝土表面硅烷浸渍前后抗压强度的变化

Fig 1 Compressive strength of concrete before and after silane impregnation

未经表面处理的混凝土试件和表面喷涂硅烷凝胶以及硅烷溶液的同批混凝土试件的力学性能如图 1 所示。从图 1 可以看出,涂覆表面涂层后混凝土的抗压强度有一定程度的降低,硅烷溶液(异丁基)的降低幅度相对于硅烷凝胶(异辛基)大,7d 抗压强度的降低幅度分别为 10.9%和 6.8%,28d 降低幅度为 9.8%和 5.3%。这主要是由于混凝土表面涂覆硅烷后,硅烷渗透到混凝土内部孔隙,对水泥浆体有缓凝作用,从而延缓了水泥的水化,从 7d 和 28d 数据也可以看出,随着养护龄期的延长,降低幅度趋于减小。

3.2. 硅烷在混凝土中的渗透深度

表 2 中试验结果表明,同等浸渍总用量为 300g·m⁻² 时,从憎水区域看,硅烷凝胶的渗透深度较大,而硅烷溶液的憎水区域不明显,两种硅烷浸渍剂在 C45 高性能混凝土中的渗透深度为

5.39mm 和 2.71mm，另外，两种硅烷浸渍剂的浸渍深度均随着浸渍总用量的增加而增大，当浸渍总用量大于 $300\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时，渗透深度增加幅度不再明显。相对于硅烷溶液，硅烷凝胶为膏体硅烷，与混凝土基面流挂性能好，与基面接触时间长，使得活性组分有更充分的时间进行渗透，硅烷凝胶 $150\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 浸渍用量的渗透深度基本达到硅烷溶液总用量为 $300\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时的渗透深度。

表 2 硅烷浸渍混凝土测试结果

Table 2 Test result for concrete with silane impregnation

NO.	Surface treatment	Amounts / $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	Penetration depth /mm	decreasing effect of chloride /%
WK-100	Silane gel	100	2.15	91.4
WK-150		150	2.83	91.5
WK-300		300	5.39	94.6
WK-450		450	5.46	95.6
DE-100	Silane solution	100	1.52	86.9
DE-150		150	1.69	90.1
DE-300		300	2.71	91.9
DE-450		450	3.05	92.3

3.3. 硅烷浸渍混凝土的氯化物吸收降低效果

硅烷浸渍适用于海洋工程混凝土结构表面的防腐蚀保护，主要防止海水或大气中氯离子等有害离子进入混凝土导致钢筋锈蚀，因此氯化物吸收降低率是硅烷浸渍混凝土性能的一种重要指标。从表 2 中试验结果可以看出，氯化物吸收降低率基本上高于 90%，硅烷浸渍总量对其性能影响较大，浸渍用量的增加会导致试件氯化物吸收降低率的明显提高，同样，相对于硅烷溶液，硅烷凝胶的氯化物吸收降低率明显较大。图 2 为两种硅烷浸渍剂用量均为 $300\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时的对比，从图中也可以看出，两种硅烷浸渍剂明显降低了混凝土中氯离子含量，且 $300\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 的浸渍用量为最佳，继续增加浸渍用量的防护效果提升不明显。

3.4. 硅烷浸渍混凝土的吸水率

图 3 为硅烷浸渍前后混凝土试件吸水高度—时间平方根曲线，相应的斜率即吸水率也在图中标出。从图中可以看出，混凝土经过两种硅烷浸渍处理后，其吸水率均显著降低，其中硅烷凝胶降低更为明显。 $300\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 浸渍总量情况下，硅烷溶液与硅烷凝胶的吸水率分别为 $0.00979\text{mm}/\text{min}^{1/2}$ 和 $0.00799\text{mm}/\text{min}^{1/2}$ ，低于 JTJ 275-2000 中硅烷浸渍混凝土试件吸水率的最大限值 ($0.01\text{mm}/\text{min}^{1/2}$)，这说明干燥混凝土在浸湿过程中，其毛细吸附能力明显下降，使氯离子传输减少。

图 4(a)与(b)分别为不同浸渍用量硅烷凝胶与硅烷溶液混凝土试件吸水高度—时间平方根曲线，从图中可以看出，随着浸渍用量的增加，吸水率降低非常明显，同等浸渍用量情况下，硅烷凝胶的吸水率均低于硅烷溶液。这表明，在硅烷浸渍施工中，保证合适的浸渍用量是保证其具有良好防护效果的关键。

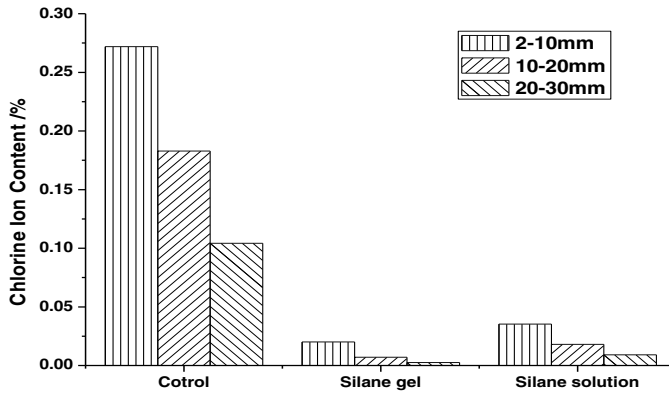


图 2 300g·m⁻²浸渍总量处理的混凝土不同深度氯离子总含量

Fig 2 Chlorine ion content of concrete with 300g·m⁻² silane impregnation

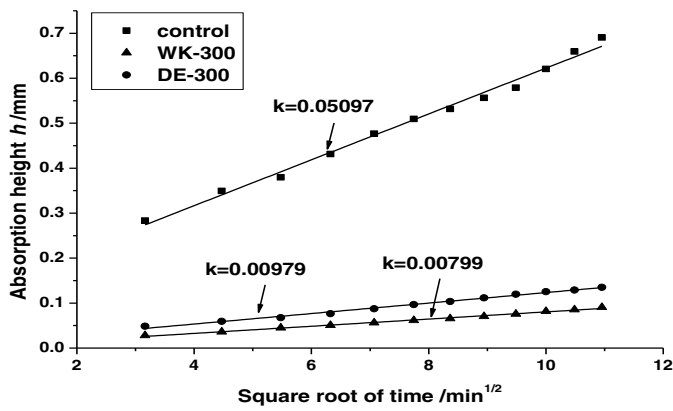
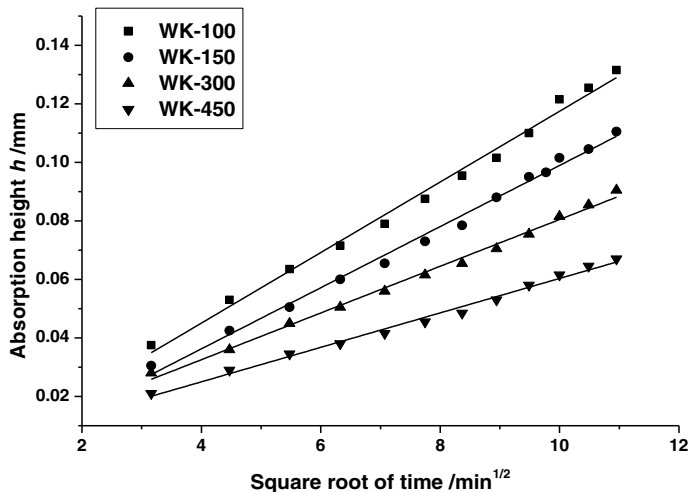
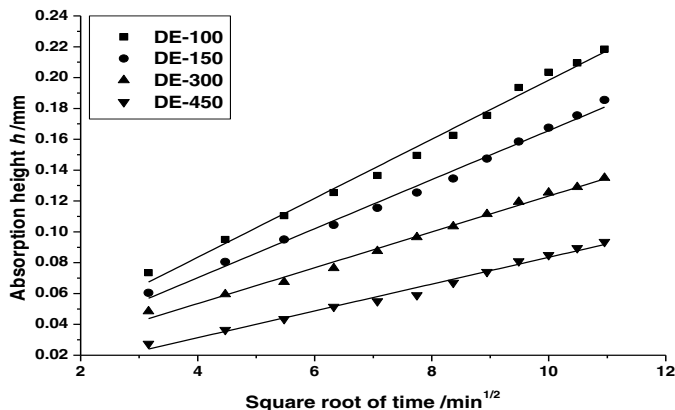


图 3 混凝土试件表面处理前后吸水高度发展曲线

Fig 3 Water absorption height development with time for specimens before and after silane impregnation



(a) Silane gel



(b) Silane solution

图 4 不同浸渍用量硅烷处理混凝土试件吸水高度发展曲线

Fig 4 Water absorption height development with time for specimens with different dosage of silane

4. 结语

1. 相对于未处理混凝土试件，经过硅烷浸渍处理的混凝土抗压强度有所降低，降幅为 5%~10%，硅烷溶液比硅烷凝胶的降幅略大；经过硅烷浸渍处理的混凝土试件渗透深度均随着浸渍用量的增加而明显提高，当浸渍用量大于 300g·m⁻²时，渗透深度增加幅度不再明显。
2. 两种硅烷浸渍剂均明显降低了混凝土的氯离子含量，且随着浸渍用量的增加，混凝土氯离子吸收降低率明显提高，同时，两种硅烷均显著降低了混凝土的吸水率；且随着喷涂用量的增加，混凝土吸水率下降。

3. 硅烷凝胶特有触变性、不流淌的特点，克服了硅烷溶液容易在垂直的表面上流失以及容易挥发的缺点，能够使硅烷活性组分更容易渗透到高性能混凝土表层。相对而言，硅烷凝胶的渗透深度、氯化物吸收量降低效果以及吸水率较低效果均优于硅烷溶液，其对高性能混凝土防护效果最佳。

Acknowledgements

This study is financially supported by Science and Technology Research and Developing Program of Railways Ministry (Grant No. 2010G024)

References

- [1] Mehta PK, Langley SL. Monolithic foundation: built to last a “1000 years”. *Concrete International* 2000;**6**:27-32.
- [2] Prezzi, Monica; Geyskens, Philippe; Monteiro, Paulo J.M. Reliability approach to service life prediction of concrete exposed to marine environments. *ACI Materials Journal* 1996; **93**(6): 544-552.
- [3] Carter. Paul D. Preventive maintenance of concrete bridge decks. *Concrete International* 1989; **20**(11):33-36.
- [4] Paul, Jay H. Extending the life of concrete repairs. *Concrete International* 1998;**20**(3):62-66.
- [5] Hong DH. Repair measures for concrete structures damaged by reinforcement corrosion. *Journal of Building Materials* 1998; **1**(3):271-277.
- [6] Zhang WP, Guan XJ. Experimental study on chloride permeability of concrete surface-treated with epoxy resin. *Journal of Building Materials* 2008;**11**(3):339-344.
- [7] Jiang ZW. Method of field evaluation of waterproofing effect of silicane immersed concrete. *China Harbour Engineering* 2006;**5**:1-3.
- [8] Niu JS, Guo PG. Concrete with a crack treated by silane soakage. *Journal of Chongqing Jianzhu University* 2008;**30**(6):37-41.
- [9] Zhang P, Dai JG. Water repellent treatment on surface of cracked concrete under seawater exposure environment. *Journal of Building Materials* 2009;**12**(2):214-218.
- [10] Su HF, Wang RJ. Effect of creme silicane in protection of high performance concrete. *China Harbour Engineering* 2007; **149**(3):30-35.
- [11] Hager R. Silicones for concrete protection. Proceeding of the International conference held at the University of Dundee. Scotland, 1996, 361-367.
- [12] Wang LJ, Zhang P. Water absorption of strain hardening cementitious composite with addition of silane. *New Building Materials* 2010;**37**(11):72-74.
- [13] JTJ 275-2000.