

# 涂硅烷偶联剂的新老混凝土修补界面层的特征

罗白云, 熊光晶, 李庚英, 李毅强  
(汕头大学土木系, 汕头 515063)

**摘要:** 用 KH-570 硅烷偶联剂溶液, 分别涂抹花岗石板和老砂浆表面, 再修补新砂浆, 结果显示界面层拉拔强度显著提高。初步探讨作用机理, 并观察微观结构。结果表明, 适量浓度的偶联剂不仅可能使界面层中产生了化学力, 而且可显著改善修补界面层的微观结构, 从而使宏观力学性能大幅提高。

**关键词:** 硅烷偶联剂; 微观结构; 化学力; 粘结强度; 花岗石

**中图分类号:** TU 528

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-4431(2004)05-0009-03

## Feature of Silane Coupling Agent Modified New to Old Concrete Repair Interfacial Layer

LUO Bai-yun, XIONG Guang-jing, LI Geng-ying, LI Yi-qiang

(Department of Civil Engineering, Shantou University, Shantou 515063, China)

**Abstract** The granite and old mortar surfaces were coated with different concentrations of KH-570 silane coupling agent and applied with new mortar. The test results showed that the pull off strength of repair interfacial layers increased significantly. The acting mechanism was first investigated followed by the observation of fine structure of the different interfacial layers. The investigation indicated that a suitable concentration of the coupling agent solution not only created a chemical bond to link substrate and repair material, but also significantly modified the fine structure of interfacial layer, and thus improves the macro mechanical properties substantially.

**Key words:** silane coupling agent; micro and fine structure; chemical bond; bond strength; granite

任何一个国家土木建筑业的研发主体都会从以新建为主, 发展到以维修加固为主<sup>[1]</sup>, 其中混凝土维修加固任务最为繁重。混凝土加固成败的关键是新老混凝土修补界面层的粘结质量。研究表明, 用既有维修方法修补的新老混凝土界面层强度主要由较弱的分子间引力构成<sup>[2,3]</sup>, 强度低。为此提出将偶联剂涂于老混凝土表面, 使界面层产生化学力。偶联剂具有 2 种不同性质的基团, 亲无机物基团可与无机物表面(如玻璃, 粉煤灰等含硅材料<sup>[4,5]</sup>)的化学基团反应, 形成强固的化学键合; 亲有机物基团可与有机物分子反应或物理缠绕, 从而使有机与无机 2 种材料的界面实现化学键接, 大幅度提高粘结强度。但偶联剂是否可“偶联”2 种无机材料呢? 马一平<sup>[6]</sup>首先做了有益的尝试, 用硅烷偶联剂 KH-570 涂刷大理石, 再抹水泥净浆, 并进行宏观力学性能实验, 测得劈拉强度提高达 57% ~ 84%。分别在砂浆和花岗岩表面涂抹硅烷偶联剂 KH-570 溶液, 再补新砂浆, 结果显示拉拔强度可分别比不涂偶联剂时提高 38% 和 123%<sup>[7]</sup>, 据此推测, 界面层中可能产生了大量化学键。但根据已有偶联剂作用机理<sup>[4,5]</sup>, 偶联剂在 2 种不同物质(无机与有机)界面中才形成化学键; 而新老混凝土均是无机材料, 显然用该理论无法解释, 为此初步探讨新的作用机理。

收稿日期: 2004-01-10

基金项目: 国家自然科学基金(50278050)。

作者简介: 罗白云(1969-), 男, 助理工程师, 硕士生 E-mail: gxiang@stu.edu.cn

## 1 偶联剂多分子膜层模型

表 1<sup>[7]</sup>和图 1 分别为涂偶联剂界面拉拔试件强度和破坏情况,可见破坏主要发生在花岗岩和老砂浆一侧。破坏形态和强度的大幅度提高有理由猜测偶联剂使界面层中产生了化学力。

初步提出如下偶联剂多分子膜层模型(如图 2(b)所示):在无机材料表面 M 上涂完偶联剂后,

只有一部分分子的亲无机物基团与无机物反应,其余分子的亲有机物基团可自行聚合<sup>[8,9]</sup>,亲无机物基团也可自行聚合,故可形成多个分子膜层。其奇数层的亲有机物基团可与有机物反应,而偶数层的亲无机物基团则可和另一种无机物反应,故偶联剂应能“偶联”2种无机材料。当然这一解释有待验证。

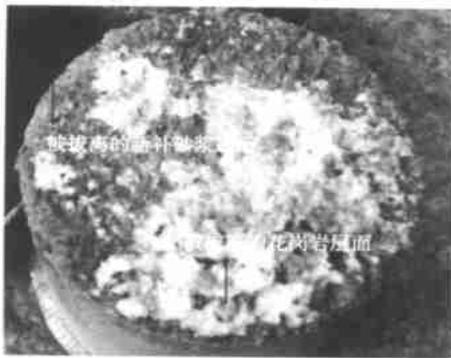


图 1 修补界面层拉拔破坏形态

由表 1 可见偶联剂浓度对界面层粘结强度影响显著。当偶联剂浓度在 2% 时,强度仅为不涂偶联剂界面的 60%。究其原因,可能是因高浓度导致在被修补界面形成过多分子膜层<sup>[4]</sup>,而降低了界面粘结强度。当然,偶联剂用量过少则不能完全包覆表面,也会降低强度。偶联剂在界面中的分子层数目可通过改变它的溶液浓度来控制<sup>[5,8]</sup>,在无机-有机材料之间应尽可能提高单分子层占包覆表面积的比例<sup>[5,8]</sup>。同理,无机-无机材料之间的粘结应尽可能提高双分子层占包覆表面积的比例。

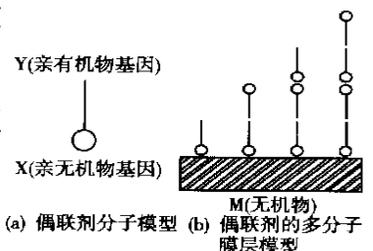


图 2 无机材料表面上偶联剂分子的排列简图

## 2 试验结果与讨论

可能有人提出 2 个疑问:一是偶联剂涂于花岗岩表面后应呈网状分布<sup>[10]</sup>,其对后浇且落入网格内与粗骨料直接接触的那部分水泥浆的影响如何?二是如若偶联剂能与花岗岩表面和水泥浆表面反应,则形成的化学键接层厚度也仅为纳米(nm)级,其对从水泥浆表面开始深度可达几十微米( $\mu\text{m}$ )的整个界面层浆体的细观结构影响如何?为此从每组花岗岩-新砂浆和老砂浆-新砂浆拉拔修补试件<sup>[7]</sup>取样 3 个,进行 SEM 观察。由图 3 和图 4 可见,未涂偶联剂的修补界面层细观结构疏松多孔,存在大的裂缝,并伴有六角状氢氧化钙晶体(图 3(a)及图 4(a)中箭头 1 和 2)及柱状钙矾石晶体,其界面过渡层厚度达到 20  $\mu\text{m}$  以上。涂偶联剂的修补界面层连接密实,没有观察到大孔洞、大的钙矾石和氢氧化钙晶体,其界面过渡层厚度也较薄,约 10  $\mu\text{m}$ (图 3(b)及图 4(b))。可见新水泥浆体水化物能生长填充到偶联剂网状结构内,与花岗石(或老砂浆)形成紧密结合(图 3(b)及图 4(b))。新砂浆一侧的细观结构不如界面层中砂浆紧密,可能是因偶联剂网状结构具有疏水性<sup>[9]</sup>,使得界面层内局部水灰比低于新砂浆,故取向性强的氢氧化钙大晶体难以生成,而 C-S-H 含量相应增加,细观结构更密实。

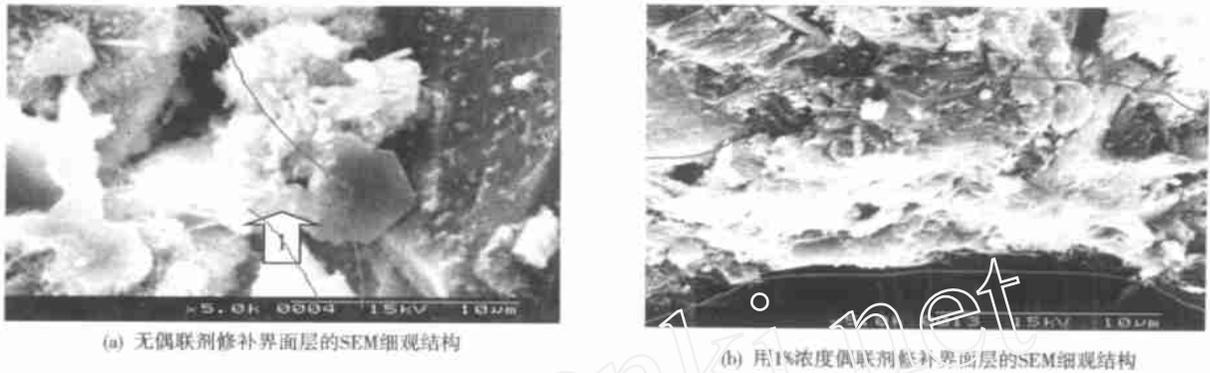


图 3 花岗石-砂浆界面层微结构

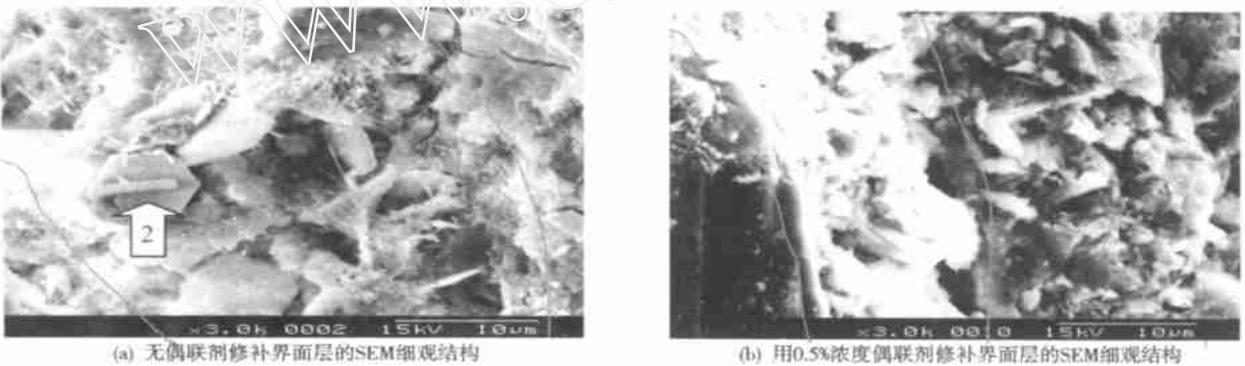


图 4 新-老砂浆界面层微结构

### 3 结 论

a. 硅烷偶联剂有可能使 2 种无机材料界面形成偶数分子膜层化学键接, 以双分子层效果最佳, 从而使修补界面层粘结强度显著提高。但化学键解释有待从微观尺度检验(即从原子、分子水平观察分析偶联剂在花岗岩和水泥浆表面的结构和成分)和修正。

b. 偶联剂的疏水性使修补界面层内水化水泥浆体微观结构(微米尺度)均匀密实, 使界面层粘结强度显著提高。

### 参考文献

- [1] 熊光晶, 姜 浩, 陈立强, 等. 新老混凝土修补界面过渡区微细观结构改善方法的研究[J]. 硅酸盐学报, 2002, 30(2): 263~ 266
- [2] Mehta P K. Concrete in Marine Environment[M]. New York: Elsevier Science Publishers Ltd, 1991. 41~ 46
- [3] Wall J S, Shrive N G. Factors Affecting Bond Between New and Old Concrete[J]. ACI Materials Journal, 1998, 95(1): 117~ 125
- [4] 牛红梅, 周安宁. 用偶联剂改进填充体系的相容性[J]. 陕西化工, 1997, (2): 12~ 14
- [5] 牛光良, 王 同, 徐恒昌. 硅烷偶联剂的浓度对钨玻璃与树脂基质间粘接强度的影响[J]. 中国生物医学工程学报, 1999, 18(2): 211~ 215
- [6] 马一平. 提高水泥石-集料界面粘结强度的研究[J]. 建筑材料学报, 1999, 2(1): 29~ 32
- [7] 邬 翔, 熊光晶. 硅烷偶联剂溶液浓度对新老混凝土粘结界面层拉拔强度的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2003, (3): 18~ 19
- [8] Graf R T, Koenig J L, Ishida H. The Influence of Interfacial Structure on the Flexural Strength of E-glass Reinforced Polyester[J]. J Adhesion, 1983, (16): 97~ 114
- [9] 徐 溢, 滕 毅, 徐铭熙. 硅烷偶联剂应用现状及金属表面处理新应用[J]. 表面技术, 2001, 30(3): 48~ 51.
- [10] 钱逢麟, 竺玉书. 涂料助剂: 品种和性能手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1990. 556