

电沉积处理后带裂缝混凝土的抗碳化性能研究*

储洪强¹, 蒋林华¹, 黄晓刚²

(1 河海大学材料科学与工程系, 南京 210098; 2 河海大学设计院, 南京 210098)

摘要 选用 ZnSO_4 和 MgSO_4 两种电沉积溶液, 对带裂缝的砂浆试件进行修复, 测定了 7 天、14 天、21 天、28 天、35 天龄期带裂缝砂浆试件无裂缝处及裂缝处的碳化深度, 研究了带裂缝的砂浆试件经过电沉积处理后碳化深度的变化情况。结果表明: 利用 ZnSO_4 和 MgSO_4 两种电沉积溶液, 对带裂缝的砂浆试件进行电沉积处理后, 其抗碳化能力均有所提高, 而且采用 MgSO_4 溶液, 抗碳化能力的提高程度要高于采用 ZnSO_4 溶液的。

关键词 混凝土 电沉积 裂缝修复 碳化

Study on Carbonation Resistance of Concrete with Crack after Electrodeposition

CHU Hongqiang¹, JIANG Linhua¹, HUANG Xiaogang²

(1 Department of Materials Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098;

2 Designing Institute of Hehai University, Hohai University, Nanjing 210098)

Abstract The mortar specimens with cracks are repaired with the ZnSO_4 and MgSO_4 solutions, in the process carbonation depth of the mortar specimens with cracks is measured at the non-cracked and cracked part after the ages of 7d, 14d, 21d, 28d and 35d, and carbonation depth of mortar specimens with cracks studied after electrodeposition. Results show that: the ability on preventing mortar from carbonation of the mortar specimens with cracks is improved after electrodeposition with the ZnSO_4 and MgSO_4 solutions, and it is improved more with the latter one.

Key words concrete, electrodeposition, repair of cracks, carbonation

大量工程实例表明, 由于混凝土结构耐久性病害导致破坏的损失是相当巨大的, 然而结构物的破坏和倒塌一般都是从裂缝扩展开始的。裂缝是混凝土结构最常见的病害, 它不仅影响混凝土的外观效果, 还降低了混凝土的强度和耐久性。但是混凝土裂缝几乎是不可避免的, 其微观裂缝是由本身物理力学性质决定的, 所以对混凝土裂缝修复技术的研究就显得尤为重要。

电沉积方法是修复钢筋混凝土结构裂缝的一项新技术, 特别适用于用传统修复技术难以奏效或修复价格太高的混凝土结构。日本自 20 世纪 80 年代后期就开始进行用电沉积方法修复海工混凝土结构裂缝的研究, 近年来日本、美国又对电沉积方法修复陆上混凝土裂缝的可行性及经电沉积方法修复后具有干缩裂缝混凝土的性能进行了初步研究^[1~4], 国内对该项技术的研究才刚刚起步^[5~8]。为了进一步研究带裂缝的混凝土经过电沉积方法修复后性能的变化情况, 本文就电沉积处理后带裂缝混凝土的抗碳化性能进行了试验研究。

1 试验部分

1.1 试验装置及工作原理

将带有裂缝的水泥砂浆试件放入电解槽中, 试件上表面用导电胶与钢片(50mm×35mm×0.3mm)相粘, 引出导线与电源的负极相连作阴极, 同时将片状钛网板放入电解槽底部, 并与电源的正极相连作阳极, 然后注入电沉积溶液, 使水泥砂浆试件、电沉积溶液、辅助电极、导线、电源构成一个回路, 如图 1 所示。

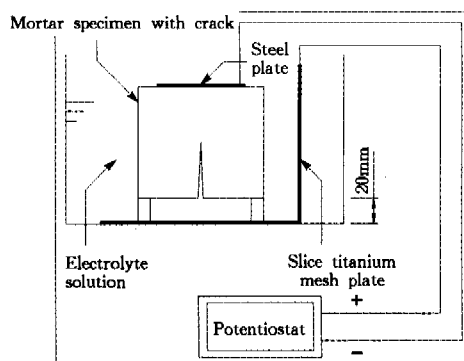


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Sketch of experimental device

向回路中施加微弱的低压直流电, 当电流流过时, 水泥砂浆试件内部及溶液中的正负离子分别向两极移动, 同时在电极上发生一系列反应, 接着在水泥砂浆试件的裂缝里出现沉积物, 最终达到修复裂缝的目的。

1.2 试验原材料

水泥为中国水泥厂生产的 32.5 级普通硅酸盐水泥, 细集料为天然河砂, 性能指标分别见表 1 和表 2。化学试剂主要是汕头光华化学厂生产的 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和上海通亚精细化工厂生产的 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 部分技术参数分别见表 3 和表 4。

* 教育部博士学科点专项科研基金项目(项目编号:20020294012)

储洪强:男, 1978 年生, 硕士, 主要从事新材料及结构耐久性方面的研究 Tel:025-83786618 E-mail:chq782003@yahoo.com.cn

表1 水泥性能指标

Table 1 Properties of cement

水泥品种	凝结时间 h : m		安定性	抗折强度, MPa		抗压强度, MPa	
	初凝	终凝		3d	28d	3d	28d
P·O32.5	2:58	3:51	合格	4.5	7.9	20.8	42.4

表2 细集料性能指标

Table 2 Properties of fine aggregate

细度模数	级配区	表观密度, kg/m ³	堆积密度, kg/m ³
2.10	Ⅲ区	2630	1430

表3 ZnSO₄·7H₂O 部分技术参数Table 3 Partial technique parameters of ZnSO₄·7H₂O

ZnSO ₄ ·7H ₂ O 含量	pH 值 (50g/L 溶液, 25℃)	澄清度试验	水不溶物 %
≥99.5%	4.4~6.0	合格	0.01

表4 MgSO₄·7H₂O 部分技术参数Table 4 Partial technique parameters of MgSO₄·7H₂O

MgSO ₄ ·7H ₂ O 含量	水溶液反应	澄清度试验	水不溶物 %
≥99.0%	合格	合格	0.005

1.3 试件制作

试验采用水泥砂浆试件, 尺寸 70.7mm×70.7mm×70.7mm, 水泥为 32.5 级普通硅酸盐水泥, 水灰比 0.60, 胶砂比 1:2.5。在试件中预先插入钢片预制成 70.7mm×35mm×0.5mm 的裂缝, 标准条件下养护 28 天后取出试验。为保证沉积物只在裂缝所在面沉积, 其他面上均涂上硅橡胶, 3 个试件 1 组, 用于本次试验的试件共有 72 个。试件表面及裂缝的情况见图 2。

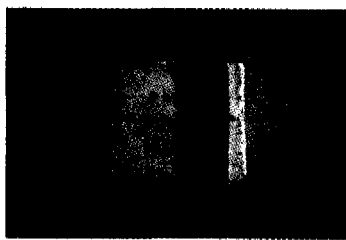


图2 试件表面及裂缝

Fig. 2 Details of mortar surface and cracked part

1.4 试验过程

电沉积处理时采用 ZnSO₄ 和 MgSO₄ 溶液, 浓度 0.05mol/L, 试件表面的电流密度为 0.25A/m², 除裂缝所在面, 其他面上均涂上硅橡胶, 裂缝所在面朝下, 辅助电极为片状钛网板, 每 5 天更换 1 次溶液, 对比试件浸泡在相同浓度的溶液中, 除未进行电沉积处理外, 其余条件均与电沉积处理的试件保持一致。30 天后取出所有的试件进行碳化试验。

碳化试验按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ82-85)的要求进行, 经过电沉积处理及未处理浸在溶液中

的试件 30 天后取出, 置于 60℃ 烘箱中 48h 后, 除裂缝所在面, 其余表面均用加热的石蜡予以密封。采用江苏省建筑科学研究院研制的 CCB-70 型碳化试验箱, 箱内 CO₂ 浓度、温度及湿度分别保持在 20%±3%、20%±5%、70%±5%, 测定龄期为 7 天、14 天、21 天、28 天、35 天, 到达龄期后取出相应试件垂直于裂缝破型, 刷去断裂面上的粉末, 随即喷上 1% 酚酞乙醇指示液以测定其碳化深度。

2 结果与讨论

带裂缝砂浆试件的碳化情况见图 3。图 3 中, D 为砂浆试件无裂缝处的碳化深度, mm; Y 为裂缝处的碳化深度, mm。

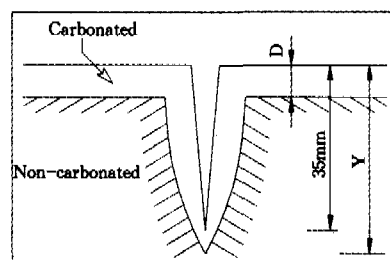


图3 带裂缝的混凝土结构碳化示意图

Fig. 3 Details about carbonation of mortar specimens with cracks

2.1 砂浆试件无裂缝处的碳化深度

电沉积处理和未经处理的砂浆试件无裂缝处的碳化深度 D 随时间的变化见图 4。

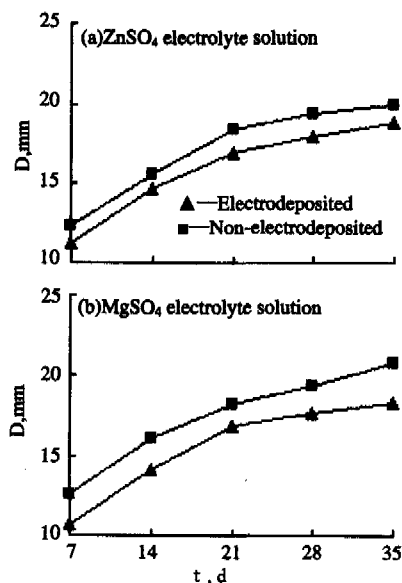


图4 砂浆试件无裂缝处的碳化深度 D 随时间变化的曲线

Fig. 4 Carbonation depth at the non-cracked part of mortar specimens versus age

2.2 砂浆试件裂缝处的碳化深度

电沉积处理和未经处理的砂浆试件裂缝处的碳化深度 Y 随时间的变化见图 5。

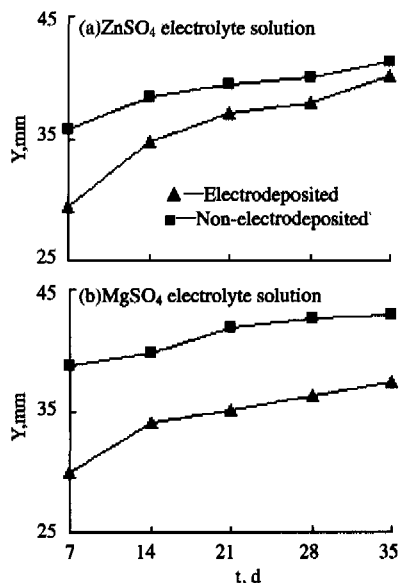
图5 砂浆试件裂缝处的碳化深度 Y 随时间的变化曲线

Fig. 5 Carbonation depth at the cracked part of mortar specimens versus age

2.3 电沉积处理后砂浆试件的碳化深度降低程度

电沉积处理后砂浆试件无裂缝处及裂缝处的碳化深度与未处理的试件相比,其降低情况见图6。

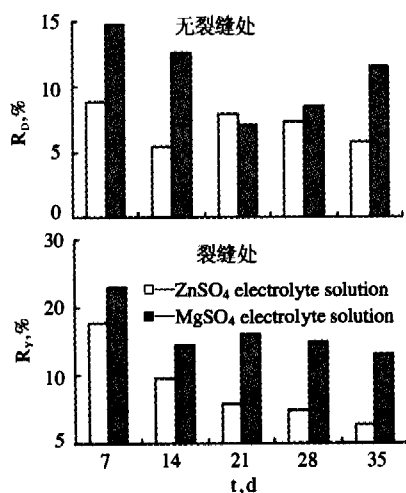
图6 无裂缝处碳化深度 D 及裂缝处碳化深度 Y 的降低程度

Fig. 6 Details about decrease of carbonation depth at the non-cracked part and the cracked part

2.4 结果分析

由图4可以看出,采用 $ZnSO_4$ 和 $MgSO_4$ 电沉积溶液,电沉积处理后的砂浆试件无裂缝处的碳化深度比未处理的试件要小。原因可能是^[9],一方面砂浆试件表面的沉积物在一定程度上阻止了 CO_2 向其内部扩散;另一方面沉积物填充了试件内部的部分孔隙,使总孔体积、各孔径范围内的孔体积特别是孔径 20nm 以上的孔体积减小, $ZnSO_4$ 电沉积溶液中砂浆试件距离沉积面 5mm 处试样的总孔体积减小 11.96%,直径 20nm 以上的

孔体积降幅达 17.80%, $MgSO_4$ 电沉积溶液中砂浆试件距离沉积面 5mm 试样的总孔体积下降 24.33%,直径 20nm 以上的孔体积减少 15.46%,而且 $MgSO_4$ 电沉积溶液中砂浆试件距离沉积面 20mm 处试样的总孔体积也降低了 7.52%,直径 20nm 以上的孔体积减少 6.31%,孔分布发生了一定的变化,砂浆更加密实,从而使得 CO_2 渗入试件内部的阻力加大。

由图5可以看出,采用 $ZnSO_4$ 和 $MgSO_4$ 电沉积溶液,电沉积处理后的砂浆试件裂缝处的碳化深度比未处理的试件要小。原因可能是:一方面砂浆试件裂缝里的沉积物能在一定程度上阻止 CO_2 向试件内部扩散;另一方面沉积物填充了试件内部的孔隙,总孔体积、各孔径范围内孔的体积特别是孔径 20nm 以上的孔体积减少,孔分布发生了一定的变化,使砂浆更加密实,加大了 CO_2 渗入试件内部的难度。

由图6可以看出,采用 $MgSO_4$ 电沉积溶液修复后砂浆试件无裂缝处碳化深度和裂缝处碳化深度的降低程度总的来说要高于 $ZnSO_4$ 溶液。原因可能是采用 $MgSO_4$ 溶液修复后,砂浆试件内部总孔体积及孔径 20nm 以上的孔体积的减少程度要高于 $ZnSO_4$ 溶液,而且沉积物填充孔隙所能达到的深度(即与沉积面的距离)更远一些。

3 结论

(1)采用 $ZnSO_4$ 和 $MgSO_4$ 电沉积溶液,带裂缝的砂浆试件经电沉积处理后,其抗碳化能力均有所提高。

(2)采用 $MgSO_4$ 电沉积溶液,带裂缝的砂浆试件经电沉积处理后,其抗碳化能力的提高程度要高于 $ZnSO_4$ 溶液。

参考文献

- 1 Otsuki N, Hisada M, Ryu J S, et al. Rehabilitation of concrete cracks by electrodeposition [J]. Concrete International, 1999, 21(3): 58
- 2 Otsuki N, Ryu J S. Use of electrodeposition for repair of concrete with shrinkage cracks [J]. Materials in Civil Engineering, 2001, 13(2): 136
- 3 Ryu J S. An experimental study on the repair of concrete crack by electrochemical technique [J]. Materials and Structures, 2001, 34(4): 433
- 4 Ryu J S, Otsuki N. Crack closure of reinforced concrete by electrodeposition technique [J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32(1): 159
- 5 储洪强, 蒋林华, 徐金霞. 钢筋混凝土电沉积修复技术研究. 混凝土与水泥制品, 2004, 136(增刊): 25
- 6 储洪强, 蒋林华. 利用电沉积方法修复混凝土裂缝试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(3): 310
- 7 蒋林华, 储洪强. 混凝土参数对沉积效果的影响[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(2): 23
- 8 储洪强, 蒋林华. 辅助电极及电极距离对沉积效果的影响. 建筑材料学报, 2005, 8(4): 456
- 9 储洪强. 电沉积方法修复混凝土裂缝技术研究[D]. 南京: 河海大学, 2005

(责任编辑 张 敏)