

混凝土参数对沉积效果的影响

蒋林华, 储洪强

(河海大学材料科学与工程系, 江苏 南京 210098)

摘要 就电沉积方法修复混凝土裂缝中混凝土参数对沉积效果的影响进行试验研究, 测定了沉积过程中的试件质量增加率、表面覆盖率及裂缝愈合率, 结果表明: 在该文试验条件下试件质量增加率及裂缝愈合率随水灰比的增大而增大, 表面覆盖率随水灰比的增大而减小, 试件质量增加率、表面覆盖率及裂缝愈合率随保护层厚度的增大而减小, 试件表面覆盖率及裂缝愈合率随裂缝宽度的增大而减小, 质量增加率随裂缝宽度的变化规律不明显。

关键词 电沉积; 裂缝修复; 水灰比; 保护层厚度; 裂缝宽度; 沉积效果

中图分类号: TV33 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2005)02-0023-03

Influence of concrete parameters on electrodeposition effect//JIANG Lin-hua, CHU Hong-qiang(*Department of Materials Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China*)

Abstract : An experimental study was performed of the influence of concrete parameters on the deposition effect in repairing of concrete cracks with the electrodeposition method, the parameters including the rate of weight increase, the rate of surface coverage, and the rate of crack closure. Under the experimental condition, some conclusions were drawn: the rates of weight increase and crack closure increased with the water-cement ratio, but the rate of surface coverage inversely varied with the water-cement ratio; the three parameters increased with the decrease of the thickness of the concrete cover; the rates of surface coverage and crack closure increased with the decrease of the crack width, but it was not clear whether the rate of weight increase varied with the crack width or not.

Key words : electrodeposition; repairing of crack; water-cement ratio; thickness of concrete cover; crack width; deposition effect

在建筑、水利、港口和桥梁等工程中, 混凝土裂缝是极为普遍的现象, 它不仅影响混凝土的外观效果, 更降低了混凝土的强度和耐久性, 对结构产生有害的影响, 缩短其使用寿命。由于混凝土是一种脆性非匀质工程材料, 其内部存在大量微细裂缝和不同大小的孔隙, 抗裂性很差, 而且产生混凝土裂缝的原因很多, 所以混凝土裂缝几乎是不可避免的, 故对混凝土裂缝修复技术的研究就显得尤为重要。

电沉积方法是修复混凝土裂缝的一项新技术, 特别适用于用传统修复技术难以奏效或价格太高的混凝土结构。日本自 20 世纪 80 年代后期开始电沉积方法修复海工混凝土结构裂缝的研究, 以带裂缝的海工混凝土结构中的钢筋作为阴极, 在海水中放置辅助阳极, 两者之间施加微弱的低压直流电, 这样海水中的离子定向移动, 并发生相应的电极反应, 最后在海工混凝土结构的表面和裂缝里生成沉积物, 从而修复裂缝。根据这一原理, 日本近年来对利用电

沉积方法修复陆上混凝土裂缝的可行性进行了初步试验研究^[1~4]。国内河海大学也就电沉积方法修复混凝土裂缝进行了试验研究^[5~7], 并取得一定的进展。由于混凝土参数往往不同, 而混凝土参数对沉积效果的影响尚不清楚, 本文就电沉积方法修复混凝土裂缝中混凝土参数对沉积效果的影响进行试验研究。

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沉积溶液中, 试件中预先埋有钢筋并引出导线, 将该导线与电源的负极相连使其作为阴极, 将辅助电极(本试验采用边长 140 mm 的正方形片状钛网板)放入容器底部, 并与电源的正极相连使其作为阳极, 这样水泥砂浆试件(本身是导体)、电沉积溶液、辅助电极、导线、电源就构成了一个回路。试验装置如图 1 所示。

向回路中施加微弱的低压直流电, 当电流流过

溶液时,正负离子分别向两极移动,同时在电极上发生一系列反应,最后沉淀物沉积在水泥砂浆试件的裂缝里,从而达到修复裂缝的目的。

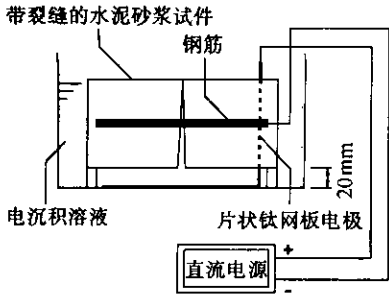


图1 试验装置示意图

2 试验方案

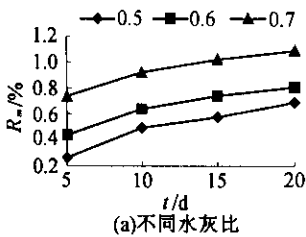
为研究混凝土参数(水灰比、保护层厚度、裂缝宽度)对沉积效果的影响,试验均采用 $MgSO_4$ 电沉积溶液,试件表面的电流密度为 $1 A/m^2$,试验方案见表1。裂缝所在面朝下与钛网板电极相对,以直接形成电场,每5 d更换一次溶液,以使溶液的浓度基本保持恒定;由于温度等外界条件对试验有影响,故在整个试验过程中尽一切可能保持外界条件恒定。

表1 试验方案

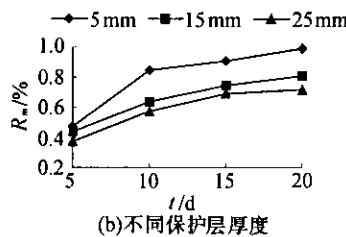
| 编号 | 水灰比 | 保护层厚度/mm | 裂缝宽度/mm | 编号 | 水灰比 | 保护层厚度/mm | 裂缝宽度/mm |
|----|-----|----------|---------|----|-----|----------|---------|
| 1 | 0.5 | 15 | 0.5 | 5 | 0.6 | 25 | 0.5 |
| 2 | 0.6 | 15 | 0.5 | 6 | 0.6 | 15 | 0.1 |
| 3 | 0.7 | 15 | 0.5 | 7 | 0.6 | 15 | 1.0 |
| 4 | 0.6 | 5 | 0.5 | | | | |

3 试件制作

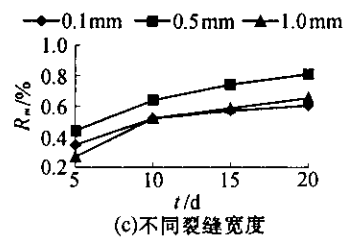
试验采用水泥砂浆试件(尺寸为 $40 mm \times 40 mm \times 160 mm$),水泥为32.5级普通硅酸盐水泥,水灰比



(a)不同水灰比

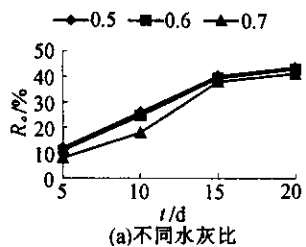


(b)不同保护层厚度

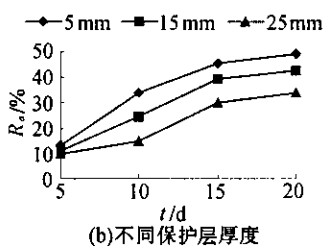


(c)不同裂缝宽度

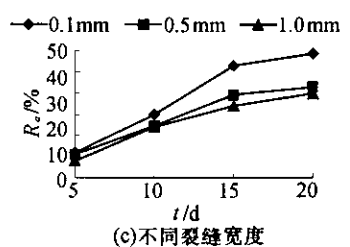
图3 试件质量增加率随时间变化曲线



(a)不同水灰比



(b)不同保护层厚度



(c)不同裂缝宽度

图4 试件表面覆盖率随时间变化曲线

见表1。水泥与砂的质量比为1:2.5。钢筋采用 $\varnothing 6$ 的光圆钢筋,预先埋置于砂浆试件中,保护层厚度见表1(相对于主裂缝所在面)。试件在标准条件下养护28 d后,在NYL-600型压力试验机下施加横向劈裂荷载,使其中部附近产生相互贯穿的裂缝,缝宽见表1(误差在 $\pm 0.05 mm$ 范围内)。为保证沉积物只在主裂缝所在面沉积,在试件的其他面上均涂上硅橡胶。试件表面及裂缝情况见图2。

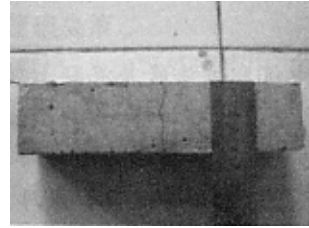


图2 试件表面及裂缝情况

4 试验过程与结果

接通电路后,在砂浆试件与钛网板电极的表面会立即产生气泡。每隔5 d取出试件,可以发现试件的表面和裂缝处出现白色沉积物,沉积物量随时间的推迟而增加。根据以前的试验研究^[6],当采用 $MgSO_4$ 作为电沉积溶液时,试件表面和裂缝里的白色沉积物主要矿物成分为 $Mg(OH)_2$ 。试件质量增加率(附有沉积物的试件质量增加量占原试件质量的百分率)、试件表面覆盖率(试件表面被沉积物覆盖的面积占试件表面总面积的百分率)、裂缝愈合率(愈合裂缝的长度占裂缝总长度的百分率)随时间的变化分别见图3、图4和表2。

从图3、图4及表2可以看出,当采用 $MgSO_4$ 电沉积溶液时:

a. 试件质量增加率及裂缝愈合率随水灰比的

表 2 裂缝愈合率随时间的变化

| 时间 /d | 裂缝愈合率/% | | | | | | | | |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | $w/c = 0.5$ | $w/c = 0.6$ | $w/c = 0.7$ | $\delta = 5 \text{ mm}$ | $\delta = 15 \text{ mm}$ | $\delta = 25 \text{ mm}$ | $b_c = 0.1 \text{ mm}$ | $b_c = 0.5 \text{ mm}$ | $b_c = 1.0 \text{ mm}$ |
| 5 | 72 | 75 | 88 | 100 | 75 | 62 | 100 | 75 | 50 |
| 10 | 86 | 90 | 95 | 100 | 90 | 78 | 100 | 90 | 72 |
| 15 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 100 | 100 | 88 |
| 20 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

注: w/c 表示水灰比, δ 表示混凝土保护层厚度, b_c 表示裂缝宽度。

增大而增大, 而表面覆盖率随水灰比的增大而减小, 其原因可能是砂浆试件的孔隙率随着水灰比的增大而变大, 一方面降低了 OH^- 从砂浆试件中析出的阻力, 另一方面降低了砂浆试件的电阻, 从而在砂浆试件中产生更高的电流, 使得在试件内部及裂缝里离子间结合生成沉积物的几率增加, 而试件表面离子间结合生成沉积物的几率相对降低。

b. 试件质量增加率、表面覆盖率及裂缝愈合率都随保护层厚度的增大而减小。

c. 试件表面覆盖率及裂缝愈合率均随裂缝宽度的增大而减小, 将试件沿裂缝横向截开可以发现裂缝填充深度及裂缝横断面覆盖率随裂缝宽度的增大而增大, 原因是裂缝宽度越小则离子在裂缝里结合生成沉积物堵住裂缝的速度将越快, 使得离子进入裂缝深处结合生成沉积物的几率降低, 而在试件表面及孔隙里离子结合生成沉积物的几率增加, 试件质量增加率随裂缝宽度的变化规律不明显, 裂缝宽度为 0.5 mm 的试件质量增加率最大。

从图 3 可以看出, 如果以每隔 5 d 试件的质量增加率变化来看, 开始 5 d 的试件质量增加率变化最大, 总的来说以后试件的质量增加率变化随时间的推延而减小, 原因可能是随时间的推延裂缝逐渐愈合, 试件中的孔隙也逐渐被沉积物所填充, 从试件中析出的 OH^- 减少, 所有这些都使离子之间结合生成沉积物的几率逐渐降低, 从而使质量增加率变化随时间的推延而减小。

从表 2 可知, 如果以每隔 5 d 裂缝愈合率的变化来看, 开始 5 d 的裂缝愈合率变化最大, 即裂缝愈合速度最快, 以后裂缝愈合速度随时间的推延而变慢, 原因可能是随时间的推延裂缝逐渐愈合, 阻止了部分离子进入裂缝里, 使得裂缝里离子之间结合生成沉积物的几率逐渐降低, 从而使裂缝愈合速度逐渐变慢。

5 结 论

a. 不论混凝土参数(水灰比、保护层厚度、裂缝宽度)如何变化, 刚开始 5 d 的裂缝愈合速度最快, 20 d 后裂缝基本上完全愈合。

b. 试件质量增加率及裂缝愈合率随水灰比的增大而增大, 试件表面覆盖率随水灰比的增大而

减小。

c. 试件质量增加率、表面覆盖率及裂缝愈合率都随保护层厚度的增大而减小。

d. 试件的表面覆盖率及裂缝愈合率随裂缝宽度的增大而减小, 裂缝填充深度及裂缝横断面覆盖率随裂缝宽度的增大而增大。

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—63.
- [2] Ryu J S. An experimental study on the repair of concrete crack by electrochemical technique[J]. Materials and Structures, 2001, 34(4): 433—437.
- [3] Otsuki N, Ryu J S. Use of electrodeposition for repair of concrete with shrinkage crack[J]. Materials in Civil Engineering, 2001, 13(2): 136—142.
- [4] Ryu J S, Otsuki N. Crack closure of reinforced concrete by electrodeposition technique[J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32(1): 159—164.
- [5] 储洪强, 蒋林华, 徐金霞. 钢筋混凝土电沉积修复技术研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2004, 13(增刊): 25—28.
- [6] 蒋林华, 储洪强. 钢筋混凝土结构裂缝电沉积修复技术研究(一)[EB/OL]. <http://www.paper.edu.cn>, 2004-05-17/2004-08-01.
- [7] 储洪强, 蒋林华. 辅助电极及电极距离对沉积效果的影响[EB/OL]. <http://www.paper.edu.cn>, 2004-07-27/2004-08-01.

(收稿日期 2004-08-02 编辑 高建群)

勘 误:

①本刊 2004 年第 6 期第 5 页简讯中的第 4~5 行“……是四川省仅有的 1 座具有季调节能力的水电站”应为“……是四川省难得的一座具有季调节能力的水电站”。

②本刊 2005 年第 1 期第 1 页作者简介中“方子云(1943—)”应为“方子云(1921—)”。

特此更正。

(本刊编辑部)