

利用电沉积方法修复混凝土裂缝试验研究

储洪强 蒋林华

(河海大学材料科学与工程系 ,江苏 南京 210098)

摘要 :对利用电沉积方法修复混凝土裂缝进行了试验研究 . 试验选取 6 种电沉积溶液及各项试验参数 ,设计了利用电沉积方法修复混凝土裂缝的试验装置 ,比较不同溶液中试件表面和裂缝的沉积效果 ,结果表明 :在所选的 6 种电沉积溶液中 , ZnSO_4 、 MgSO_4 和 MgCl_2 溶液可取得较好的沉积效果 ,试验采用的装置对于利用电沉积方法修复混凝土裂缝是适用的 .

关键词 :混凝土 ;电沉积溶液 ;裂缝修复 ;电极反应

中图分类号 :TV33 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2005)03-0310-04

利用电沉积方法修复混凝土裂缝是国际上近些年出现的一项新技术^[1-4] ,特别适用于传统的修复技术难以奏效或价格太高的混凝土结构 . 文献 [5] 选用 ZnSO_4 、 MgSO_4 、 CaCl_2 3 种电沉积溶液 ,在试件表面及裂缝里均出现沉积物 ,但是修复效果都不甚理想 . 为取得更好的修复效果 ,本文选用除文献 [5] 的 3 种溶液外 ,又增加 3 种电沉积溶液 ,并采用片状钛网板作为辅助电极进行试验 .

1 试验装置

将带有裂缝的水泥砂浆试件放入电解槽中 ,试件中预先埋入钢筋并引出导线 ,该导线与电源的负极相连作为阴极 ,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为阳极 ,然后注入电沉积溶液 . 这样水泥砂浆试件、电沉积溶液、辅助电极、导线、电源就构成一个回路 ,如图 1 所示 .

2 试验方案

试验选用以下 6 种电沉积溶液 (1) ZnSO_4 (2) MgSO_4 (3) MgCl_2 (4) CaCl_2 (5) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (6) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$,浓度 0.5 mol/L ,试件表面的电流密度为 1 A/m^2 ,辅助电极采用片状钛网板(边长 140 mm 的正方形) ,电极距离 40 mm ,每 5 d 更换一次溶液 ,以使溶液的浓度基本保持恒定 ,试验持续 20 d .

3 试件制作

试验采用水泥砂浆试件 ,尺寸 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$,水泥为 32.5 级普通硅酸盐水泥 ,水灰比 0.60 ,胶砂比 1 : 2.5 ,钢筋 $\varnothing 6 \text{ mm}$,预先埋置于砂浆试件中 ,保护层厚度(钢筋外边缘与裂缝所在面之间的距离)15 mm . 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 ,则在其纵向中部位位置附近产生贯穿裂缝 ,缝宽 $0.3 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$. 为保证沉积物只在裂缝所在面生成 ,其他面上均涂上环氧树脂 . 试件表面(本文中指裂缝所在面)及裂缝的情况见图 2 .

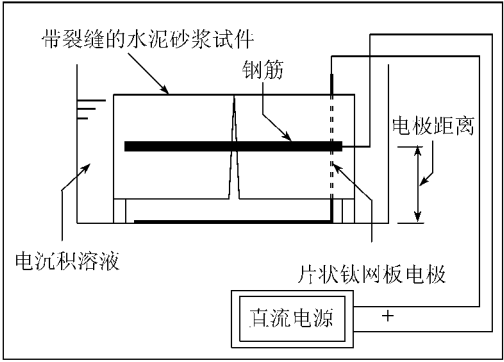


图 1 试验装置示意图

Fig.1 Sketch of experimental device



图 2 试件表面及裂缝情况

Fig.2 Details of surface and cracked part of specimen

4 试验过程与结果分析

4.1 试验主要现象

接通电路后,在砂浆试件与钛网板电极表面立即产生气泡,5 d 后溶液(1)(2)(3)(4)中试件表面及裂缝出现一些白色物质,(5)中试件表面及裂缝未发现明显的沉积物,(6)中试件裂缝出现灰色金属物质,(5)(6)中试件表面及裂缝的沉积情况见图 3。

根据上述现象,将溶液(5)(6)中试件从装置中拆除,继续试验,20 d 后试件表面及裂缝的沉积情况见图 4,试件裂缝处横断面的沉积情况见图 5。

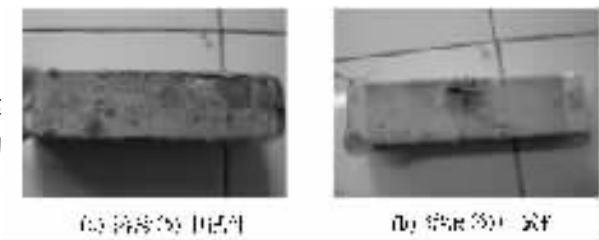


图 3 溶液(5)(6)中试件表面及裂缝的沉积情况(5 d)
Fig.3 Appearance of electrodeposits on specimen surface and cracked part of No.(5) and (6) after 5 days 'charging



图 4 溶液(1)(2)(3)(4)中试件表面及裂缝的沉积情况(20 d)
Fig.4 Appearance of electrodeposits on specimen surface and cracked part of No. (1)(2)(3), and (4) after 20 days 'charging

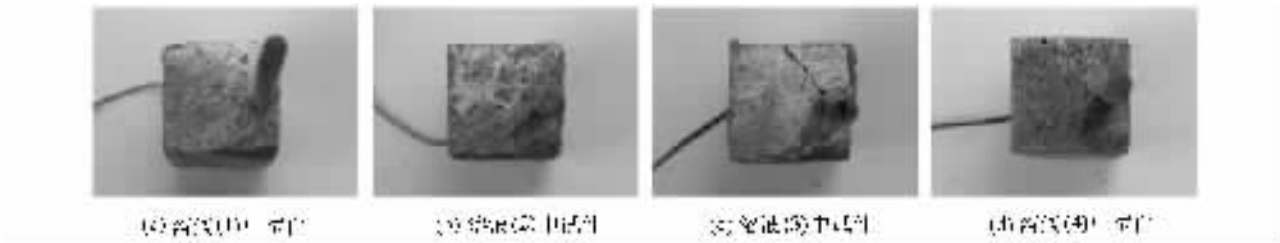


图 5 溶液(1)(2)(3)(4)中试件裂缝处横断面的沉积情况(20 d)
Fig.5 Cross-section of specimen of No. (1)(2),(3), and (4) after 20 days 'charging

20 d 后从不同部位将试件横向切开,用游标卡尺测出:溶液(1)中试件表面沉积物的厚度约为 0.1 ~ 0.3 mm,(2)(3)中试件表面沉积物的厚度约为 0.2 ~ 0.6 mm(裂缝处最厚)。

4.2 试件表面覆盖率

试件表面覆盖率按式(1)计算。

$$R_a = \frac{A_c}{A} \times 100\%$$
 (1)

式中: R_a ——试件表面覆盖率,%; A_c ——试件表面被沉积物覆盖的面积, mm^2 ; A ——试件表面总面积, mm^2 。

每隔 5 d 取出试件放入温度 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $60\% \pm 5\%$ 的恒温室内,待 24 h 后对每个试件拍摄数码照片,采用自编的计算机图形处理程序测出表面覆盖率,20 d 后(4)中试件表面覆盖率约为 10%,其余试件的表面覆盖率随时间的变化曲线见图 6。

4.3 裂缝愈合率

裂缝愈合率按式(2)计算。

$$R_l = \frac{L_c}{L} \times 100\%$$
 (2)

式中: R_l ——裂缝愈合率,%; L_c ——愈合裂缝长度,mm; L ——裂缝总长度,mm。

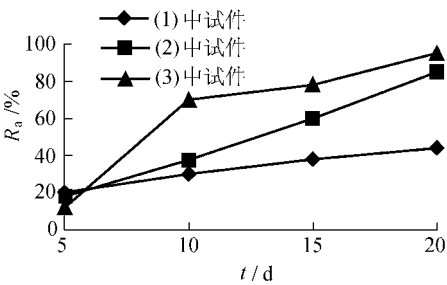


图 6 试件表面覆盖率随时间的变化曲线
Fig.6 Rate of surface coating versus age

采用 MapInfo 系统在数码照片上测出同一比例下未愈合裂缝的长度及裂缝总长度(均为曲线长度),然后按式(2)计算出裂缝愈合率.试件裂缝愈合率随时间的变化情况见表 1.

4.4 微观分析

20 d 后溶液(4)中试件表面覆盖率约为 10%,裂缝完全愈合,但是沉积物与试件表面黏结不牢,很容易从试件表面脱落,而且从表面覆盖率及裂缝处横断面的沉积情况(图 5(d))可以发现试件表面和裂缝里沉积物的量极少,故沉积效果不理想.利用 X 射线衍射仪对溶液(1)(2)(3)中试件表面及裂缝里的沉积物进行分析,结果见图 7.

表 1 裂缝愈合率随时间的变化情况

Table 1 Rate of crack closure versus age

试件	裂缝愈合率/%			
	5 d	10 d	15 d	20 d
(1) 中试件	44	80	100	100
(2) 中试件	100	100	100	100
(3) 中试件	100	100	100	100
(4) 中试件	80	88	90	90

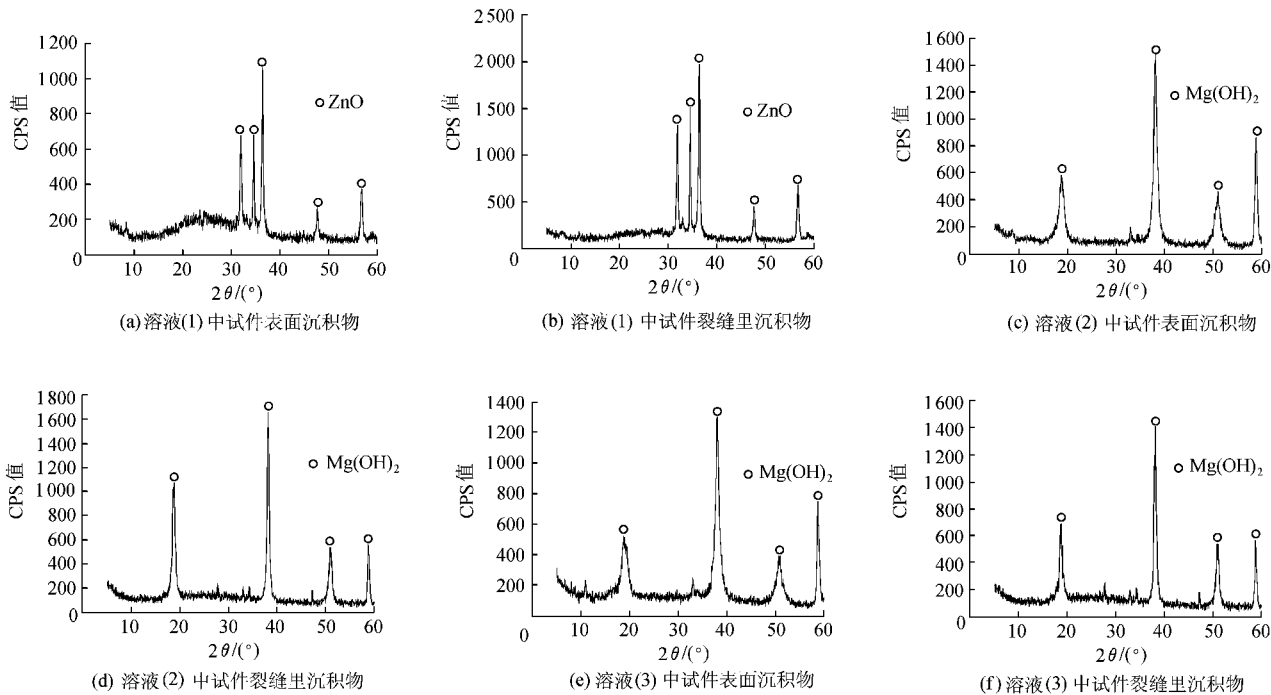


图 7 试件表面及裂缝里沉积物的 XRD 图谱

Fig.7 Patterns of X-ray diffraction of electrodeposits on specimen surface and cracks

由图 7 可以看出,溶液(1)(2)(3)中试件表面沉积物的主要矿物成分与裂缝里的是是一致的,而且(2),(3)中试件沉积物的主要矿物成分是相同的.溶液(1)中试件表面及裂缝里沉积物的主要矿物成分是 ZnO;(2)(3)中试件表面与裂缝里沉积物的主要矿物成分是 $Mg(OH)_2$,还有少量的 $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$ 的含量明显高于 $CaCO_3$,原因可能是电沉积溶液中含有大量的 Mg^{2+} ,其浓度远高于混凝土本身含有的 Ca^{2+} .

由表 1 可以看出,如果从每隔 5 d 裂缝愈合率变化来看,开始 5 d 的裂缝愈合率变化最大,即裂缝愈合速度最快.总的来说裂缝愈合速度随时间的推迟而变慢,原因可能是随时间的推迟裂缝逐渐愈合,阻止部分离子进入裂缝,使得裂缝里离子之间结合生成沉积物的几率逐渐降低,从而使得裂缝愈合速度逐渐变慢.

4.5 利用电沉积方法修复混凝土裂缝的原理分析

混凝土主要是依靠水泥浆体孔溶液中的 $K^+、Na^+、Ca^{2+}、OH^-$ 等离子导电^[6],向回路中施加微弱的低压直流电,当电流流过时,正负离子分别向两极移动,即在电位差的作用下,试件内部的阴极反应产物 OH^- 由钢筋穿过保护层向试件表面迁移,水泥浆体孔溶液中的 OH^- 向试件表面迁移,而 $K^+、Na^+、Ca^{2+}$ 向钢筋处移动,电沉积溶液(假定采用 $MgSO_4$ 溶液)中的 $OH^-、SO_4^{2-}$ 向片状钛网板移动,而 $Mg^{2+}、H^+$ 向试件表面及内部迁移,整个过程如图 8 所示.

当采用 $MgCl_2、ZnSO_4$ 电沉积溶液时,离子的迁移也与 $MgSO_4$ 溶液类似.根据电化学原理^[7],元素周期表中第 I 主族和 II 主族的金属,其金属活泼性很强,电极电位很低($<-1.5 V$),在水溶液中得不到金属电沉积层.从理论上分析, Mg 是处于第 II 主族的金属元素,在水溶液中得不到金属 Mg 的电沉积层,因此采用

