

盐水条件下不同混凝土中 钢筋的快速腐蚀行为的研究

郭育霞, 贡金鑫

大连理工大学 海岸与近海工程国家重点试验室, 大连 116085

摘要:通过盐水条件下钢筋的快速腐蚀试验,研究了钢筋在不同水灰比、不同掺料合料掺量以及掺入 RI-IC₂ 型阻锈剂情况下钢筋的锈蚀行为。结果表明,水灰比是影响钢筋腐蚀的重要因素之一,相同条件下水灰比越大,钢筋锈蚀越严重;掺入粉煤灰和硅粉后,可有效降低钢筋的腐蚀率;RI-IC₂ 型阻锈剂有良好的阻锈效果,相同掺量下,水灰比越大,其阻锈效果越明显。

关键词:钢筋锈蚀;水灰比;掺和料;阻锈剂

中图分类号: TG178 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2007)03-0218-03

EXPERIMENTAL STUDY ON CORROSION OF REBAR

GUO Yu-xia, GONG Jin-xin

State Key Laboratory of Coastal and Offshore, Dalian University of Technology, Dalian, 116085

Abstract: Based on the corrosion test of rebar which was wrapped in concrete in salt-water environment, the effect of ratio of water to cement, the content of admixture and RI-IC₂ rust inhibitor on the corrosion of rebar was investigated. It is indicated that ratio of water to cement is one of the most important factors that influence corrosion of the rebar, and the larger the ratio of water to cement is, the more severe corrosion of steel bar is. The ratio of corrosion is reduced after the fly ash and silicon fume was mixed into the concrete. RI-IC₂ rust inhibitor has a remarkably effect on preventing the rebar from corrosion, and with the same content, the larger the ratio of water to cement is, the better the effect is.

Keywords: corrosion of rebar; ratio of water to cement; admixture; rust inhibitor

钢筋锈蚀对钢筋混凝土结构性能的影响主要体现在三方面^[1~4]: 1. 极限延伸率减小; 2. 体积膨胀压力使钢筋周围混凝土产生拉应力, 发生顺筋开裂, 降低结构耐久性能; 3. 使钢筋与混凝土之间的粘结力下降。钢筋锈蚀防护措施有很多, 如采用密实性好的高性能混凝土、对混凝土表面进行涂层、密封和薄膜覆盖保护、电化学防护、掺加钢筋阻锈剂等。其中在提高混凝土密实性的基础上掺加钢筋阻锈剂, 认为是最简单、经济和效果好的技术措施。本文研究了钢筋在不同水灰比、不同掺料合料掺量以及掺入 RI-IC₂ 型阻锈剂情况下钢筋的锈蚀情况, 研究结果可为盐环境下钢筋混凝土结构的耐久性设计提供参考。

1 实验方法

1.1 原材料及混凝土配合比

试验中采用的原材料: 水泥为大连小野田水泥厂生产的

普通硅酸盐水泥, 标号为 42.5 R; 粗骨料为最大粒径为 20 mm 的碎石; 细骨料为细度模数为 2.9 的河沙; 粉煤灰为大连热电厂生产的 II 级粉煤灰; 硅粉为埃肯公司生产的硅粉; 阻锈剂为 RI-IC₂ 型阻锈剂; 减水剂为 sika 高效减水剂; 钢筋为 Ø6 HPB 普通钢筋。

试验中采用普通混凝土和高性能混凝土。普通混凝土采用 3 种水灰比: 0.58、0.45 和 0.35。高性能混凝土以水灰比为 0.35 的配合比为基准, 总的胶结材料重量不变, 分别按照设计掺量 (5% (8%) 的粉煤灰 + 20% (30%) 的硅粉) 用粉煤灰和硅粉等量取代水泥。RI-IC₂ 阻锈剂的掺量为 12 kg/m³。混凝土配合比如表 1 所示:

1.2 试件制作与实验

1.2.1 钢筋准备 将直径 6 mm 的未锈钢筋用木锤敲直, 按 100 mm 长剪断, 挑选光滑平直的作为钢筋试样, 然后酸洗; 酸洗完毕后, 用粗、细砂布先后磨擦钢筋表面至光亮; 在天平上称得钢筋的初始重量, 最后放入干燥器中备用。

1.2.2 试件成型及养护 钢筋混凝土试样尺寸为 100 mm × 100 mm × 200 mm。每个试件分两次浇筑: 先用混凝土浇筑 100 mm 的中间段, 浇筑时, 两头采用端点板和木楔固定钢

收稿日期: 2006-07-05 初稿; 2006-08-21 修改稿

作者简介: 郭育霞 (1977 -), 女, 博士研究生, 研究方向为混凝土耐久性

Tel: 13504082876 E-mail: gyx771221@sohu.com

Table 1 Mix proportion of concrete

试件 编号	胶水 比	每立方米混凝土材料用量, kg/m ³						
		水	水泥	石子	砂	粉煤灰	硅粉	减水剂
A	0.58	195	336	716	1169	-	-	-
B	0.45	195	430	609	1181	-	-	-
C	0.35	175	515	615	1195	-	-	7.5
C1	0.35	175	386.2	615	1195	103	25.8	7.5
C2	0.35	175	319.3	615	1195	154.5	41.2	7.5

* C1、C2 分别表示掺合料(硅粉+粉煤灰)掺量为 25%(5%+20%)、38%(8%+30%)的试件

Table 2 Weight loss percentage of corroded steel bar

试件编号		A	B	C	C1	C2
失重率	未掺阻锈剂 M_0	2.84	1.12	1.31	0.24	2.54
%	掺阻锈剂 M_R	0.74	0.59	1.20	0.20	2.41
	阻锈效果 $P, \%$	74	47	8	17	5

筋,以保证钢筋的保护层为 30 mm. 混凝土装入试模后,在振动台上振动至出浆. 随后卸去木楔和端头板,在两头浇筑水灰比小于中间混凝土的富配比砂浆,用油灰刀插捣密实. 每组试件成型 8 块(以防试件成型时筋错位,确保同一组保护层厚度误差不超过设计值的 20%),试件成型后 24 小时拆模,标准养护 28 天,进行试验.

1.3 实验

参照混凝土中钢筋快速腐蚀试验(海水)的方法^[5]进行实验,具体步骤如下:将养护后的试件放入烘箱,在(80±2)℃的温度下烘 4 天,冷却后放入浓度为 3.5% 的盐水中,浸泡 24 h 取出,再放入烘箱,烘 13 d. 从开始泡水至烘毕,共历时 14 d,为一个循环. 为便于对比分析实验结果,所有试件均进行 4 次浸烘循环.

1.3.1 钢筋失重率与阻锈剂阻锈效果计算 浸烘循环结束后,沿钢筋劈开试件,用钢尺测量钢筋两端的混凝土保护层厚度,剔除与设计保护层厚度误差大于 20% 的试件. 取 4 个与设计保护层厚度最相符的 4 块作为试验块,取出其中的钢筋. 然后酸洗钢筋,将腐蚀产物洗掉. 酸洗时,洗液中放入两根尺寸相同的同类无锈钢筋作空白校正,酸洗、烘干后称重. 按下式计算钢筋的失重率:

$$M = \frac{W_0 - W - \frac{(W_{01} - W_1) + (W_{02} - W_2)}{2}}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, M 为钢筋失重率(%); W_{01} 、 W_{02} 分别为空白校正两根钢筋的初始重量(g); W_1 、 W_2 分别为空白校正两根钢筋酸洗后的重量(g); W_0 为试验钢筋初始重量(g); W 为试验后钢筋重量(g).

阻锈剂的阻锈效果按(2)式计算:

$$P = \frac{M_0 - M_R}{M_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中 P 为阻锈效果(%); M_0 为未掺阻锈剂时的钢筋失重率

(%); M_R 为掺有阻锈剂的钢筋失重率(%).

2 结果与讨论

2.1 水灰比对钢筋失重率的影响

由失重率实验结果(表 2)可知,水灰比为 0.35、0.45 和 0.58 时,在保护层厚度均为 30 mm 的条件下,经历相同的浸烘循环后(4 个),混凝土中钢筋锈蚀后的失重率分别为 2.84%、1.12%、1.31%,钢筋失重率随水灰比的变化如图 1 所示. 总体上看,钢筋失重率随水灰比而增大. 进一步采用单因素方差分析法,对实验数据进行分析. 本实验中共有 3 个总体(分别对应于水灰比 0.35、0.45、0.58),每个总体有 4 个样本,进行 F 检验,由实验数据求得因素平方和 $SS_f = 7.114$,误差平方和 $SS_e = 0.459$, $F = \frac{SS_f / (3 - 1)}{SS_e / (12 - 3)} = 69.7$,取显著性水平 $\alpha = 0.05$,查得 $P(F > f_{(3, 12, 0.95)}) = 3.49$,显然 $F = 69.7 > 3.49$,所以水灰比对钢筋失重率有显著影响.

图 2 为从水灰比为 0.58(A) 和 0.45(B) 的试件中取出的锈蚀钢筋,可以看出,水灰比较大时,其内部钢筋表面全部锈蚀,而水灰比较小时,钢筋仍有局部未锈蚀. 这是因为水灰比越大,混凝土密实越差,经过烘烤后,内部水分完全失去,

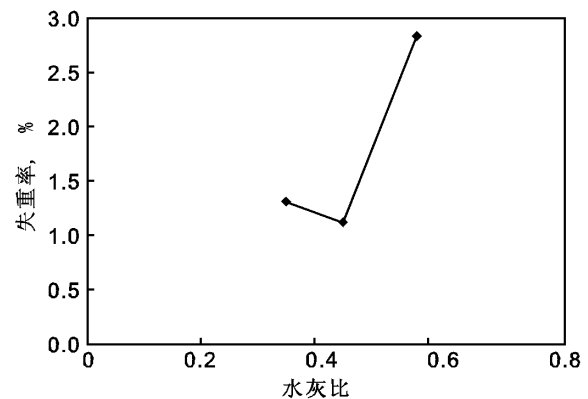


Fig. 1 Weight loss percentage of profile steel bar versus ratio of water to cement

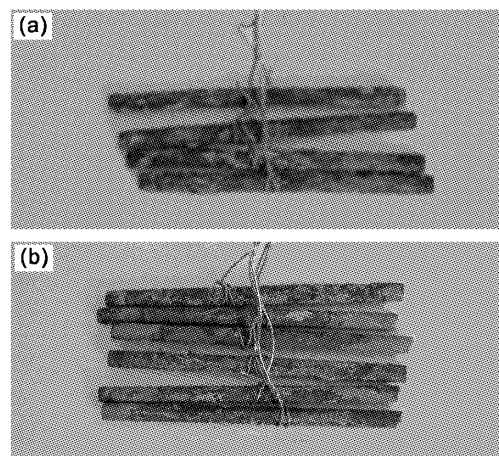


Fig. 2 Corroded steel bar, (a) sample A, (b) sample (b)

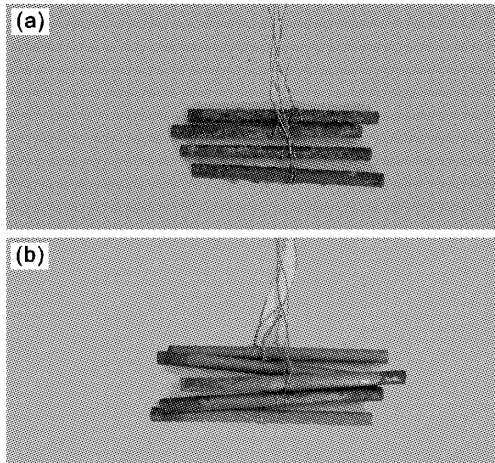


Fig. 3 Corroded steel bar, (a) sample C, (b) sample C1

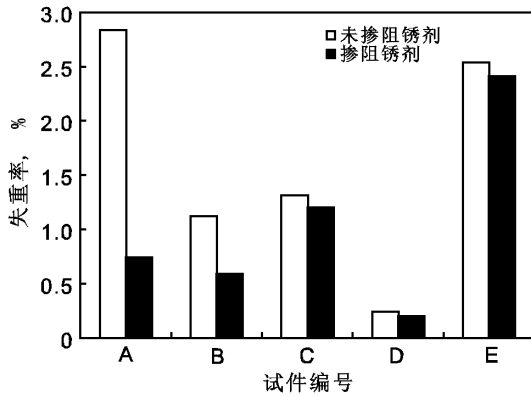


Fig. 4 Effect of rust inhibitor on weight loss percentage of steel bar

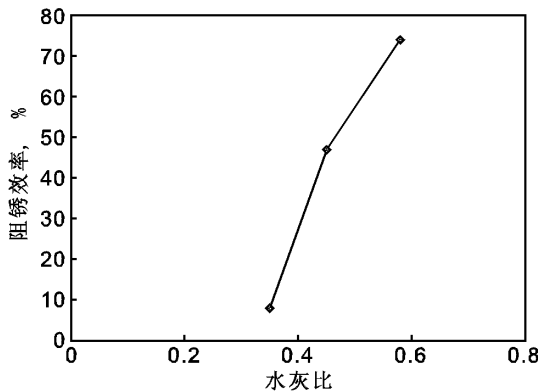


Fig. 5 Efficiency profile of rust inhibitor versus ratio of water to cement

其孔隙率越高,孔径越大,浸入盐水时,吸水多,水容易到达钢筋表面,腐蚀快。

2.2 掺合料(粉煤灰+硅粉)掺量对钢筋失重率的影响

由实验测得,掺合料掺量为 0、25% 和 38% 时,钢筋的失重率分别为 1.31、0.24 和 2.54。掺合料掺量为 38% (C2) 试件的钢筋锈蚀较掺和料掺量为 0 (C) 和 25% (C1) 试件的严重,可能与试件成型时中间部分振捣不到位、两侧砂浆未插捣密实有关。但是对于掺量为 25% 的试件,可以看到其锈蚀程度很低,中间段基本没有锈蚀,只有两端与砂浆相连的部

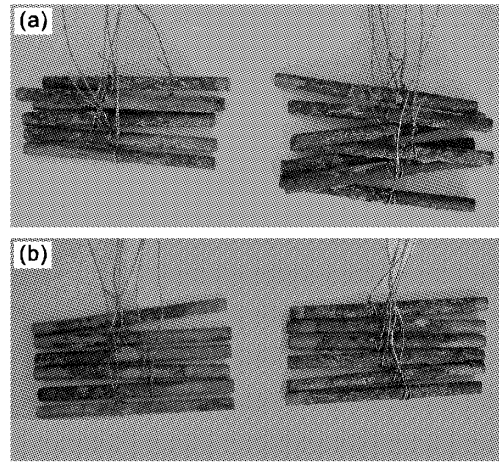


Fig. 6 Comparison of corroded steel bar in concrete with and without rust inhibitor, (a) sample A, (b) sample B

分有锈迹,如图 3 所示,这可能是由于试件两端砂浆密实性差,盐水容易从该部位侵入的缘故。总的来说,掺入粉煤灰和硅粉后,对防止钢筋锈蚀是有利的。其原因是粉煤灰和硅粉均是具有一定活性的无机矿物细粉,加入混凝土可改善混凝土的微观结构,使混凝土更加密实,从而降低了混凝土的渗透性,在一定的时间内进入混凝土内的盐水较少,延缓了钢筋的锈蚀。另外,粉煤灰颗粒具有空心结构和复杂的内比表面积,可能增加吸附与反应的场所^[6],对吸附渗入到混凝土内部的氯离子起到一定的有利作用,也延缓了钢筋锈蚀。

2.3 阻锈剂对钢筋失重率的影响

图 4 为混凝土不掺阻锈剂与掺阻锈剂时钢筋失重率的对比图,显然未掺阻锈剂试件的钢筋锈蚀情况要严重,阻锈剂起到了有效的阻锈作用。对于试件 A、B、C、C1 和 C2,掺入阻锈剂后其内部钢筋的失重率分别降低了 74%、47%、8%、17% 和 5%。很显然,水灰比越大,阻锈剂的阻锈效率越高,如图 5 所示,图中阻锈效率掺用阻锈剂后钢筋失重率的降低率表示。

3 结论

1. 在相同腐蚀条件下,水灰比是影响混凝土内钢筋锈蚀率的主要原因,水灰比越大钢筋锈蚀率越高,腐蚀越严重。
2. 掺入粉煤灰和硅粉后,可以提高混凝土的密实性,从而降低其渗透性,有效降低混凝土内钢筋的锈蚀。
3. 掺入 RI-IC₂ 型阻锈剂后可有效抑制钢筋的锈蚀。水灰比越低阻锈剂的阻锈效果越明显。

参考文献:

- [1] 刘超英,孙伯永. 水工混凝土中钢筋锈蚀检测技术及应用[J]. 浙江水利科技,2003,(2):38.
- [2] 张青红,辛剑. 亚硝酸钙对混凝土结构中钢筋氯腐蚀的缓蚀作用[J]. 材料保护,1999,32(11):7.
- [3] 杨水彬,彭英. 钢筋阻锈剂阻锈效果的评价[J]. 腐蚀与防护,2005,2:60.
- [4] 丁万平,胡志平,陈志坚. 钢筋锈蚀监测传感器结构和原理的研究[J]. 江西科学,2005,8:353.
- [5] JTJ270-98,水运工程混凝土实验规程[S].
- [6] 张平均,董荣珍,张莉,等. 粉煤灰在耐氯离子侵蚀混凝土中作用机理的研究[J]. 科学研究,2004,3:14.