

# 干湿循环机制下碳化混凝土氯离子侵蚀试验研究

元成方,牛荻涛,齐广政

(西安建筑科技大学土木工程学院,陕西 西安 710055)

**摘 要:**海工混凝土结构的水上区部分,长期受到氯离子侵蚀和碳化的双重作用,较之一般大气环境下的混凝土结构,这一区域的混凝土结构更易发生钢筋锈蚀.本文开展了干湿循环机制下碳化混凝土的氯离子侵蚀试验,通过分析氯离子浓度分布规律,扩散系数以及微观结构,深入研究混凝土碳化对氯离子扩散的影响.研究表明,碳化反应增加了混凝土内部自由氯离子的含量,减缓了氯离子浓度的衰减,对混凝土的抗氯离子侵蚀性能造成了不利影响.碳化后,低水胶比混凝土的氯离子扩散系数有所下降,而高水胶比混凝土的氯离子扩散系数显著增大.碳化反应对混凝土的微观结构有一定的劣化作用,将会加速有害介质的侵入.降低水胶比可显著提高混凝土的密实度,增强混凝土自身的抗氯离子侵蚀性能,同时可以减轻碳化反应对氯离子侵蚀的加剧.

**关键词:**海工混凝土结构;氯离子;碳化;干湿循环;扩散系数;微观结构

**中图分类号:** TU528

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2012)03-0339-06

我国海域辽阔,海岸线很长,大规模的基本建设都集中在沿海地区,随着杭州湾跨海大桥、珠港澳跨海大桥、青岛胶州湾海底隧道、厦门东通道海底隧道等大型海工混凝土工程的开工建设,海工混凝土工程耐久性得到了越来越多的关注.海工混凝土结构不同于一般大气环境下的混凝土结构,在特殊的外部条件作用下(如温度变化、海水浸泡与溅浪、碳化、冻融及干湿循环等)会产生多种形式的破坏.海工混凝土结构的水上区部分,长期受到氯离子侵蚀和碳化的双重作用,较之一般大气环境下的混凝土结构,这一区域的混凝土结构更易发生钢筋锈蚀.

目前,关于混凝土碳化对于氯离子扩散的影响还未达成共识,此类研究尚存在不少争议:P. J. Tumidajski<sup>[1]</sup>通过将混凝土浸泡在冲入二氧化碳气体的硫酸盐—氯盐复合溶液中发现,二氧化碳的存在降低了氯离子在普通混凝土中的扩散性能,但却提高了氯离子在矿渣混凝土中的扩散性能;Chindaprasirt<sup>[2]</sup>通过研究砂浆碳化对氯离子扩散性能的影响发现,碳化作用降低了氯离子在普通水泥砂浆中的扩散性能,但却提高了氯离子在火山灰水泥砂浆中的扩散性能;W. Puatatsananon<sup>[3]</sup>等采用二维非线性有限差分程序分析了氯离子和碳化共同作用下的钢筋混凝土劣化机理,证实碳化降低了混凝土中氯离子的渗透性;Claisse. Peter A<sup>[4]</sup>的研究结果表明,碳化会降低混凝土的渗透性,对于高水胶比和养护较差的混凝土尤其明显;郑永来<sup>[5]</sup>研究发现混凝土的碳化降低了内部的孔隙率,提高了混凝土的密实度,降低了氯离子扩散系数,完全碳化试件的氯离子扩散系数约为未碳化试件的1/2左右;赵铁军<sup>[6]</sup>研究表明碳化作用一定程度上降低了混凝土的抗氯离子渗透性能;许晨<sup>[7]</sup>等通过试验,研究了混凝土氯离子侵蚀与碳化的交互影响,结果表明碳化对氯离子侵蚀存在正负效应,一方面碳化产物填充了混凝土孔隙,阻止了氯离子扩散,另一方面碳化将释放结合氯离子从而导致自由氯离子增多;金祖权<sup>[8]</sup>通过将碳化后的混凝土浸泡到腐蚀溶液中发现,碳化增加了混凝土中的氯离子含量,提高了混凝土表面氯离子扩散系数,且随碳化时间的增加,其变化幅度变大;苏卿<sup>[9]</sup>、万小梅<sup>[10]</sup>亦通过将碳化后的混凝土浸泡到氯化钠溶液中发现,碳化作用加快了氯离子在混凝土中的扩散速度;张鹏<sup>[11]</sup>研究发现碳化反应破坏混凝土基体原有的过滤机制,提高了混凝土中的氯离子含量.方璟<sup>[12]</sup>等人的试验表明碳化后的混凝土,其渗透性

收稿日期:2012-01-09 修改稿日期:2012-05-03

基金项目:国家杰出青年科学基金(50725824);“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAJ03A02)

作者简介:元成方(1983-),男,河南郑州人,博士研究生,主要从事混凝土结构耐久性方面的研究.

有所提高;孙丛涛<sup>[13]</sup>研究了碳化与氯离子侵蚀交替作用下的混凝土劣化机制,证实碳化加速了混凝土中氯离子的扩散。

有鉴于此,本文将开展干湿循环机制下碳化混凝土的氯离子侵蚀试验,通过分析氯离子浓度分布规律,扩散系数以及微观结构,深入研究混凝土碳化对氯离子扩散的影响。

## 1 试验

### 1.1 原材料及混凝土配合比

水泥:陕西秦岭牌 P. O42. 5R 普通硅酸盐水泥. 粗骨料:陕西泾阳碎石, 5mm~20mm. 细骨料:西安灞河中砂, 细度模数 2. 62. 外加剂:西安红旗外加剂厂 GJ-1 高效减水剂. 水:普通自来水. 水泥品质指标如表 1 所示. 混凝土配合比及抗压强度见表 2.

表 1 P. O42. 5R 普通水泥各项品质指标

Tab. 1 The quality indicators of P. O42. 5R ordinary cement

| Setting time                               | Flexural strength /MPa |      | Compressive strength /MPa |       | Degree of fineness/% | Loss on Ignition/% | MgO/% | SO <sub>3</sub> /% |
|--|------------------------|------|---------------------------|-------|----------------------|--------------------|-------|--------------------|
|  | 3d                     | 28d  | 3d                        | 28d   |                      |                    |       |                    |
| Initial setting 65min;<br>Final setting 5h | 4. 3                   | 7. 9 | 24. 0                     | 42. 5 | 3. 4                 | 2. 7               | 2. 2  | 2. 4               |

表 2 混凝土配合比及抗压强度

Tab. 2 Mix proportion and compressive strength of concrete

| Concrete sample | Water-binder ratio | Binder / (kg · m <sup>3</sup> ) | Water / (kg · m <sup>3</sup> ) | Aggregate / (kg · m <sup>3</sup> ) | Sand / (kg · m <sup>3</sup> ) | Superplasticizer / % | Compressive strength/MPa |       |       |
|-----------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|-------|-------|
|                 |                    |                                 |                                |                                    |                               |                      | 28d                      | 56d   | 90d   |
| N1              | 0. 35              | 457                             | 160                            | 1 159                              | 624                           | 0. 5                 | 51. 1                    | 54. 3 | 62. 0 |
| N2              | 0. 45              | 355                             | 160                            | 1 210                              | 675                           | 0. 5                 | 42. 7                    | 51. 0 | 55. 1 |
| N3              | 0. 55              | 290                             | 160                            | 1 267                              | 683                           | 0. 5                 | 34. 6                    | 43. 1 | 47. 9 |

### 1.2 试件制作及试验方法

按照设计配合比制作试件,试件尺寸为 100mm×100mm×100mm. 浇筑好的混凝土 24h 后拆模,之后将试件放入标准养护室内养护 28d,自然养护至 90d. 养护到期后,将试件放入烘箱烘干 48h,留一个侧面作为渗透面,其余各面均用石蜡密封,之后进行加速碳化试验. 碳化试验参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》<sup>[14]</sup>(GB/T50082-2009)进行,龄期为 0d, 14d, 28d. 将碳化至预定龄期的混凝土试件放入浓度为 5% 的 NaCl 溶液进行干湿循环试验,干湿制度为浸泡 1 周,自然凉置 1 周,每 6 周为一个测试周期,测试同时更换 NaCl 溶液,试验共持续 18 周. 到达预定的试验时间,取出试块并烘干 48h,采用混凝土磨粉机从试块渗透面由表及里逐层取粉,第一厘米以 1mm 为单位分层研磨,之后以 2mm 为单位分层磨粉. 取粉后过 0. 63mm 筛,并立即装入自封袋,然后参照《水运工程混凝土试验规程》<sup>[15]</sup>(JTJ270-98)测试混凝土中水溶性氯离子含量. 通过电镜扫描试验观察腐蚀后混凝土的微观结构,试验设备为日本电子株式会社制造 JSM-6510LV 型扫描电子显微镜.

## 2 试验结果及分析

### 2.1 氯离子浓度变化规律

图 1~图 3 为干湿循环试验后的混凝土中水溶性氯离子浓度变化规律图. 由图可见,在干湿循环条件下,混凝土内部氯离子浓度最大值均出现在混凝土表层附近,混凝土内部的氯离子到达某一深度后开始出现稳定趋势,水胶比的增大以及侵蚀时间的增长使得氯离子趋于稳定时的深度有所增加,这表明氯离子主要以扩散机制向混凝土内部迁移. 随着侵蚀时间的增长,各组混凝土内部的氯离子浓度均有所增加,且增长幅度对于低水胶比混凝土更为明显. 较之水胶比 0. 35 和 0. 45 的混凝土,水胶比 0. 55 混凝土

的抗氯离子侵蚀性能较差.由图3可见,干湿循环18周时,水胶比0.35和0.45混凝土内部的氯离子浓度在深度11mm左右时即开始趋于稳定,而水胶比0.55混凝土内部的氯离子浓度在深度大于19mm时尚未出现稳定趋势.混凝土的水饱和程度对氯离子扩散有较为显著的影响,混凝土的水饱和度不仅与环境相对湿度有关,还与混凝土自身的密实度密切相关.在混凝土由饱和向非饱和状态变化的过程中,对于低水胶比混凝土,由于其密实度较高,混凝土内部水分蒸发较慢,在下次浸泡之前,其内部的水分能够保证氯离子继续以扩散机制向混凝土内部迁移,反之对于水胶比较高的混凝土,由于密实度较差,混凝土内部水分蒸发较快,在下次浸泡之前,氯离子的迁移将受扩散和毛细吸收两种机制的影响,因此迁移速度加快,造成混凝土内部氯离子浓度的升高.由此可见,采用低水胶比混凝土可以显著提高混凝土自身的抗氯离子侵蚀性能.

由图1~图3可见,干湿循环试验后,碳化和未碳化混凝土内部氯离子浓度分布表现出一定差异.对低水胶比混凝土( $W/B=0.35$ )而言,碳化反应未对氯离子浓度分布造成明显影响,无论碳化与否,氯离子浓度分布曲线均较为平滑,无明显波动并单调递减,碳化反应一定程度上降低了混凝土内部自由氯离子浓度(见图2(a)、图3(a)).随着水胶比的增大,碳化混凝土的氯离子浓度分布与未碳化混凝土相比,发生了两方面变化:其一,氯离子浓度出现波动,甚至出现“二次峰值”(见图3(b)、(c));其二,碳化与未碳化混凝土的氯离子浓度分布曲线有明显的“交点”.以图2(c)为例,碳化和未碳化混凝土氯离子浓度分布曲线的“交点”出现在深度4.5mm处,深度小于4.5mm时,未碳化混凝土内部的氯离子浓度较高,当深度大于4.5mm时,碳化混凝土内部的氯离子浓度较高.由此可见,混凝土碳化对氯离子浓度变化的影响可概括为“先降低,后增大”,碳化反应减缓了氯离子浓度的衰减,增加了自由氯离子含量,对混凝土的抗氯离子侵蚀性能造成了不利影响.

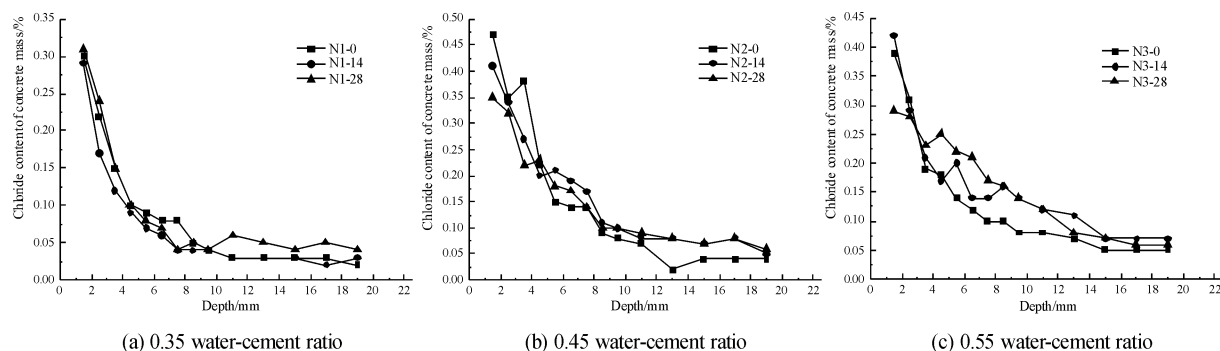


图1 干湿循环6周氯离子浓度变化

Fig. 1 Chloride concentration variation with depth after cycle one

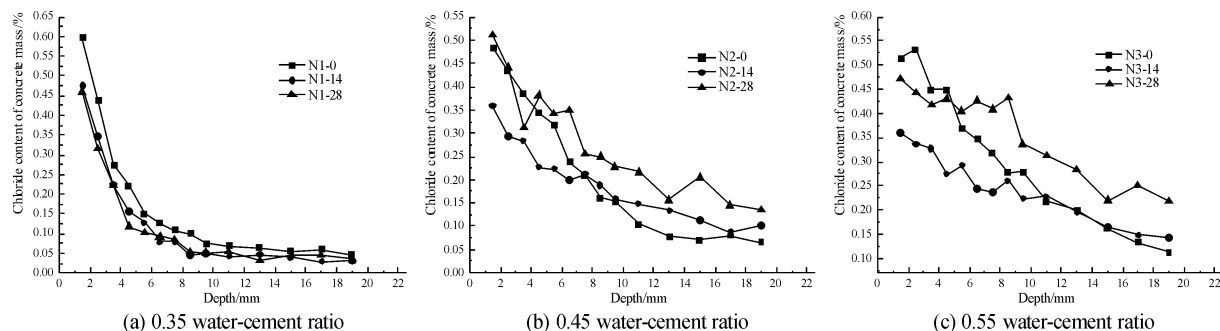


图2 干湿循环12周氯离子浓度变化

Fig. 2 Chloride concentration variation with depth after cycle two

## 2.2 氯离子扩散系数

处于干湿交替条件下的混凝土在干燥过程中,混凝土表层的水份逐渐地蒸发,而表层以内混凝土中的

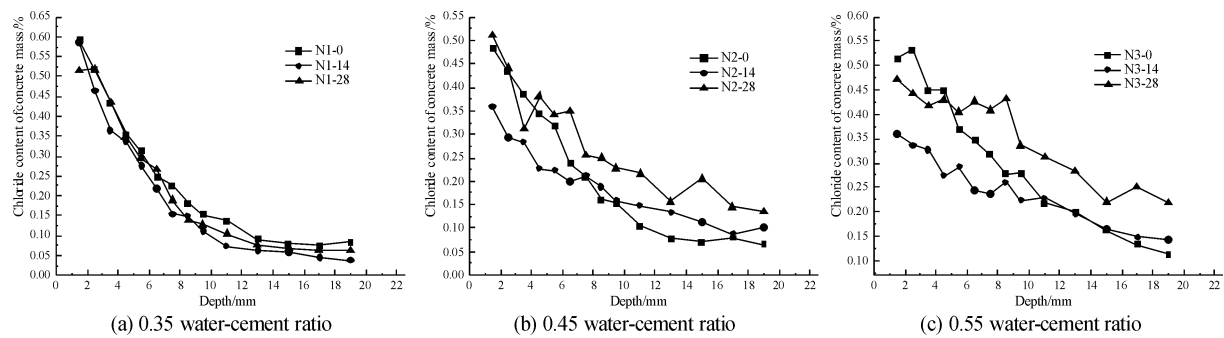


图3 干湿循环18周氯离子浓度变化

Fig. 3 Chloride concentration variation with depth after cycle three

湿度一般均能保证氯离子扩散的进行,即在干燥过程中,混凝土内部氯离子的扩散并未停止,因此干湿交替条件下混凝土中氯离子的扩散时间包括干燥过程经历的时间,即类似于全浸泡条件下的混凝土,从混凝土开始接触氯离子的那一刻开始计时。虽然氯离子在混凝土中的迁移分为对流过程和扩散过程,但是扩散过程占据主导地位,因此应用 Fick 第二定律对试验数据进行了回归分析。Fick 第二定律可以表示为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

式中  $C$  为氯离子的浓度(氯离子占胶凝材料或混凝土的质量百分比); $t$  为结构暴露于氯离子环境中的时间,s; $x$  为距离混凝土表面的深度,m; $D$  为氯离子的扩散系数, $\text{m}^2/\text{s}$ 。

当边界条件为: $C(0,t) = C_s$ , $C(\infty,t) = C_0$ ;初始条件为: $C(x,0) = C_0$  时,可以得到函数(1)的解析解为:

$$C_{x,t} = C_0 + (C_s - C_0) \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (2)$$

式中  $C_{x,t}$  为  $t$  时刻深度为  $x$  时的氯离子浓度, $C_0$  为氯离子初始浓度, $C_s$  为氯离子表面浓度, $D$  为氯离子扩散系数, $t$  为渗透时间, $\operatorname{erf}$  为误差函数:

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-u^2} du \quad (3)$$

本文根据自由氯离子浓度实测结果,按照公式(2),采用 MATLAB 进行曲线拟合,求得氯离子扩散系数  $D$ ,结果如图 4 所示。

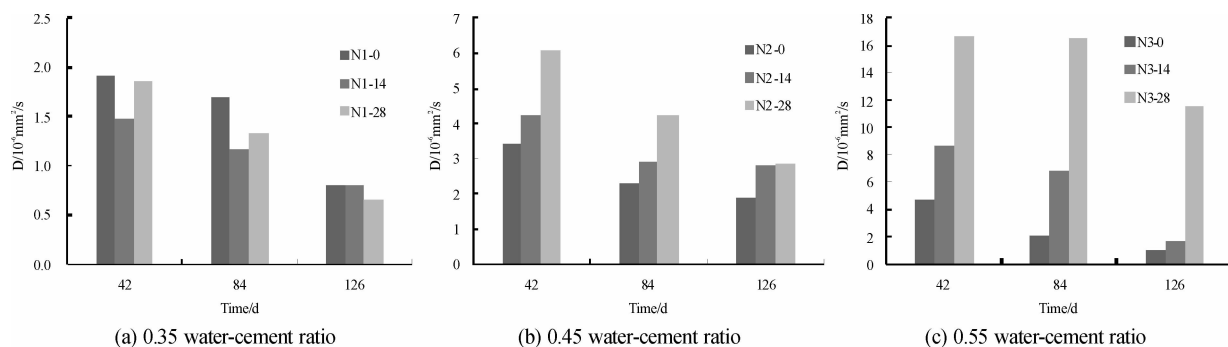


图4 氯离子扩散系数

Fig. 4 Chloride diffusion coefficient

由图 4 可以较为直观的看到混凝土碳化对氯离子扩散系数的影响:水胶比 0.35 的混凝土在碳化后,氯离子扩散系数有一定程度的降低,对于水胶比 0.45 和 0.55 的混凝土,碳化反应提高了混凝土的氯离子扩散系数,且水胶比 0.55 混凝土碳化前后的氯离子扩散系数差异很大,干湿循环 18 周后,加速碳化 28 d 混凝土的氯离子扩散系数是未碳化混凝土的 11 倍,由此可见,碳化反应提高了低水胶比混凝土

土的抗氯离子侵蚀性能,但使高水胶比混凝土的氯离子扩散系数显著增大,这一结论与氯离子浓度的试验结果相一致。此外,混凝土水胶比对氯离子扩散有较为显著的影响,混凝土氯离子扩散系数随水胶比的降低而减小。这是由于低水胶比混凝土拥有更为密实的孔隙结构和较好的抗渗性。混凝土的水化是一个缓慢的过程,随着水化的不断进行,混凝土的孔结构会得到逐步的改善,从而使氯离子扩散系数也逐渐减小,因此认为氯离子扩散系数是具有时间依赖性的。从图4可以发现,离子扩散系数随时间增长呈现出减小的趋势。

### 2.3 混凝土微观结构

选取干湿循环18周、碳化时间为0 d、28 d的混凝土进行电镜扫描试验(混凝土试样取自距混凝土侵蚀表面15mm左右处),混凝土内部SEM照片如图5所示。将混凝土碳化前后的SEM照片进行对比后可看出碳化反应对混凝土微观形貌造成的影响:当水胶比0.35的混凝土碳化后,原本排列致密的蠕虫状C-S-H凝胶结构不复存在,取而代之的是不规则的簇状C-S-H凝胶结构(见图5(d)),这使得混凝土的密实度一定程度上有所下降。水胶比0.45的混凝土在碳化前,结晶不完全的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在成熟水泥浆体中形成片层状沉淀,而碳化反应之后,水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 $\text{CO}_2$ 反应生成了大量 $\text{CaCO}_3$ ,由图5(e)可明显看到 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液表面沉淀的碳化层受到扰动后再结晶而形成的菱形面解理,这种晶体之间的孔隙较之碳化前有所增大。而水胶比0.55的混凝土在碳化之后,其内部孔隙的增大更为明显,由图5(f)可见,孔径最大可达 $9\mu\text{m}$ ,且孔隙之间的连通性也在提高。综上所述,碳化反应对混凝土的微观结构有一定的劣化作用,将会加速有害介质的侵入。这一结论与宏观试验的研究结论相吻合。

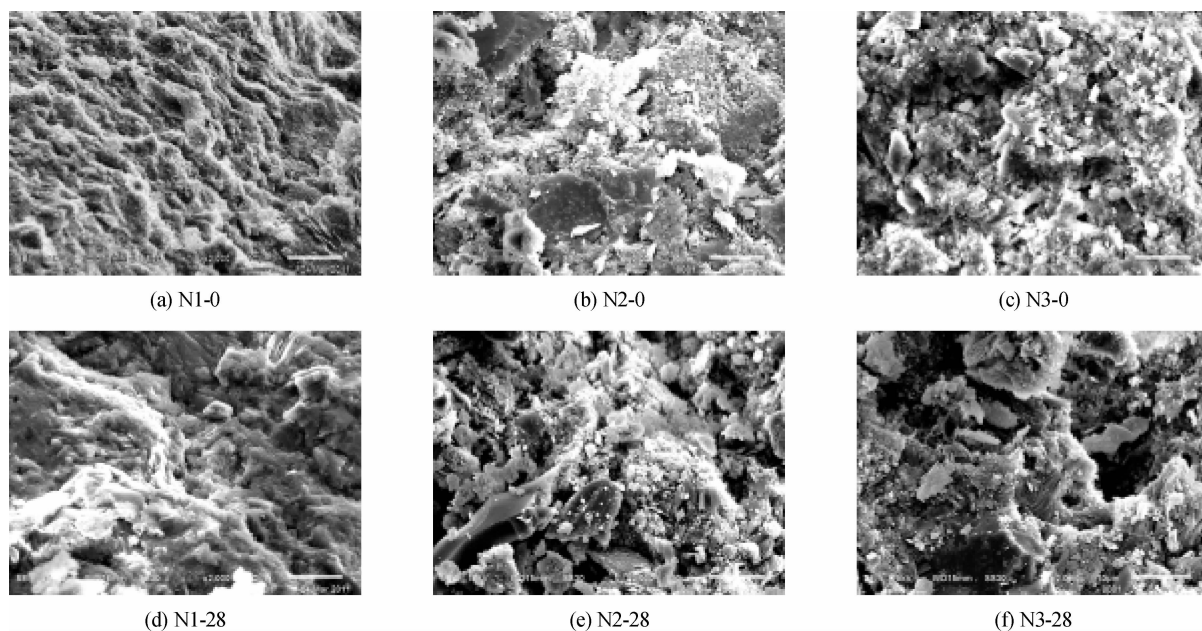


图5 混凝土内部SEM照片( $\times 2000$ )

Fig. 5 SEM images of the internal concrete( $\times 2000$ )

## 3 结论

(1)研究结果表明,碳化反应增加了混凝土内部自由氯离子的含量,减缓了氯离子浓度的衰减,对混凝土的抗氯离子侵蚀性能造成了不利影响。碳化后,低水胶比混凝土的氯离子扩散系数有所下降,而高水胶比混凝土的氯离子扩散系数则显著增大。通过SEM分析发现,碳化反应对混凝土的微观结构有一定的劣化作用,将会加速有害介质的侵入。

(2)降低水胶比可显著提高混凝土的密实度,增强混凝土自身的抗氯离子侵蚀能力,同时可以减轻碳化反应对氯离子侵蚀的加剧,因此,海工混凝土宜采用低水胶比混凝土。

## 参考文献 References

- [1] TUMIDAJSKI P J, CHAN G W. Effect of Sulfate and Carbon Dioxide on Chloride Diffusivity[J]. Cement and Concrete Research, 1996, 26(4): 551-556.
- [2] CHINDAPRASIRT Prinya, RUKZON Sumrerng, SIRIVIVATNANON Vute. Effect of carbon dioxide on chloride penetration and chloride ion diffusion coefficient of blended Portland cement mortar[J]. Construction and Building Materials, 2008, 22: 1701-1707.
- [3] PUATATSANANON W, SAOUMA V E. Nonlinear Coupling of Carbonation and Chloride Diffusion in Concrete [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, May/June, 2005: 264-275.
- [4] Claisse. Peter A., El-Sayad. Hanaa, Shaaban. Ibrahim G. Permeability and Pore Volume of Carbonated Concrete [J]. ACI Materials Journal, 1999, 96(3): 378-381.
- [5] 郑永来, 郑洁琼, 张 梅. 碳化程度对混凝土中氯离子扩散系数的影响[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2010, 38(3): 412-416.  
ZHENG Yonglai, ZHENG Jieqiong, ZHANG Mei. Experimental Study on Effect of Concrete Carbonization Degree on Chloride Diffusion Coefficient[J]. Journal of tongji university: natural science, 2010, 38(3): 412-416.
- [6] 赵铁军, 李淑进. 碳化对混凝土渗透性及孔隙率的影响[J]. 工业建筑, 2003, 33(1): 46-48.  
Zhao Tiejun, Li Shujin. Effect of carbonation on permeability and porosity of concrete[J]. Industrial Construction, 2003, 33(1): 46-48.
- [7] 许 晨, 王传坤, 金伟良. 混凝土中氯离子侵蚀与碳化的相互影响[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(3): 376-380.  
XU Chen, WANG Chuan-kun, JIN Wei-liang. Interaction Effect of Chloride Attack and Carbonization in Concrete [J]. Journal of building materials, 2011, 14(3): 376-380.
- [8] 金祖权, 孙 伟, 李秋义. 碳化对混凝土中氯离子扩散的影响[J]. 北京科技大学学报, 2008, 30(8): 921-925.  
JIN Zu-quan, SUN Wei, LI Qiu-yi. Effect of carbonation on chloride diffusion in concrete[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2008, 30(8): 921-925.
- [9] 苏 卿. 滨海环境海砂混凝土结构耐久性机理与寿命预测研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.  
Su Qing. Durability and Life Prediction of Sea Sand Concrete Structures under Coastal Environment[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2010.
- [10] 万小梅. 力学荷载及环境复合因素作用下混凝土结构劣化机理研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.  
Wan Xiao-mei Deterioration Mechanisms of Reinforced Concrete Structures under Combined Mechanical and Environmental Action[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2011.
- [11] 张 鹏, 赵铁军, 郭平功等. 冻融和碳化作用对混凝土氯离子侵蚀的影响[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2006, 36 增刊(II): 238-242.  
Zhang Peng, Zhao Tie-jun, Guo Ping-gong, Wittmann Folker. H. Influence of freeze-thaw cycles and carbonation action on chloride penetration into concrete[J]. Journal of southeast university: Natural Science Edition, 2006, 36 SUP(II): 238-242.
- [12] 方 璟, 梅国兴, 陆采荣. 碳化对混凝土性能影响的研究[J]. 水利水电技术, 1996(2): 58-64.  
Fang Jing, Mei Guo-xing, Lu Cai-rong. Influence of Carbonation on Properties of Concrete[J]. Water resources and hydropower engineering, 1996(2): 58-64.
- [13] 孙丛涛. 氯离子侵蚀环境下混凝土耐久性研究及寿命预测[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.  
Sun Cong-tao. Study on Concrete Durability and Service Life Prediction Based on Chloride Corrosion[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2010.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准(GB/T50082-2009)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.  
Ministry of Housing and Urban, PRC. Test Code for Concrete of long-term performance and durability (GB/T50082-2009) [S]. Beijing: China building industry Press, 2001.
- [15] 中华人民共和国交通部. 水运工程混凝土试验规程(JTJ270-98)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.  
Ministry of Communications, PRC. Testing Code of Concrete for Port and Waterway Engineering (JTJ270-98) [S]. Beijing: China building industry Press, 1998.

(下转第 375 页)

## Field research of indoor thermal comfort in summer for residential buildings in Baotou

YANG Liu<sup>1,2</sup>, ZHOU Shu-bing<sup>1</sup>, YAN Hai-yan<sup>1,3</sup>, ZOU Meng-lin<sup>1</sup>, GAO Lu<sup>1</sup>

(1. School of Architecture, Xi'an Univ. of arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xi'an 710055, China;

3. College of Architecture and Art Design, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** In order to analyze the indoor thermal environment situation and thermal comfort of residential building in Baotou in Inner Mongolia during the summer, a method using thermal environment parameters test combined with the subjective questionnaire survey is adopted in the analysis. Through 361 effective samples, a conclusion is drawn that the interior comfortable temperature in summer for natural ventilation residence in Baotou ranges from 23.8 °C to 26.9 °C, the summer neutral temperature of residents averages 24.9 °C, and the expected temperature is 24.6 °C. And in combination with other research results in severe cold region, summer heat adaptation of city residents is analyzed. The present study provides references for the evaluation and design of naturally ventilated buildings in severe cold regions and evidences for field research of thermal adaptation.

**Key words:** *severe cold region; natural ventilation; thermal comfort; energy conservation*

---

**Biography:** YANG Liu, Professor, Ph. D., Xi'an 710055, P. R. China, Tel:0086-29-82205390, E-mail: yangliu@hotmail.com

---

(上接第 344 页)

## Experimental study on chloride penetration into concrete after carbonation under wet and dry cycle mechanism

YUAN Cheng-fang, NIU Di-tao, QI Guang-zheng

(School of Civil Engineering Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** The part above the sea water of marine concrete structures will be subjected to chloride penetration and carbonation over a long period of time. Compared with the concrete structures in the general atmosphere, marine concrete structures are more susceptible to reinforcement corrosion. In this paper, experiment of chloride penetration into concrete after carbonation under wet and dry cycle mechanism was carried out. Effect of concrete carbonization on chloride diffusion was deeply studied through analysis of the distribution of chloride ions, chloride diffusivity coefficient and microstructure of the concrete. The results showed that free chloride ion content in concrete was enhanced after carbonation, the decay of chloride ion concentration was slowed down. After carbonation, chloride diffusivity coefficient of concrete with low water-binder ratio was reduced, and chloride diffusivity coefficient of concrete with high water-binder ratio was increased apparently. And the microstructure of the concrete was deteriorated by carbonation. Both the density and chloride ion penetration resistance of concrete could be increased by reducing the water-binder ratio.

**Key words:** *marine concrete structures; chloride ion; carbonation; wet and dry cycle; diffusivity coefficient; micro-structure*

---

**Biography:** YUAN Cheng-fang, Candidate for Ph. D., Xi'an 710055, P. R. China, Tel:0086-29-13679173869, E-mail: chengfang1102@126.com