

冻融与碳化交替作用下的混凝土性能试验

蒋林华 那彬彬 周晓明 王 涛 胡 杰 熊传胜

(河海大学力学与材料学院 江苏 南京 210098)

摘要 :为了研究冻融与碳化同时作用下混凝土的耐久性 ,采用冻融和碳化交替作用的方法对不同水胶比、不同粉煤灰掺量的混凝土进行抗冻性能和抗碳化性能试验。试验结果表明 :冻融与碳化交替作用下混凝土碳化深度不再服从时间的二次方根的发展趋势 ,而是随着交替次数的增加发展得更快 ;冻融作用所占比例越大 ,混凝土损伤越快 ,碳化也越严重。

关键词 :混凝土 ;冻融 ;碳化 ;耐久性

中图分类号 :TV431 **文献标志码** :A **文章编号** :1006-7647(2012)04-0033-04

Tests for properties of concrete under alternate freeze-thaw and carbonation actions//JIANG Lin-hua ,NA Bin-bin ,ZHOU Xiao-ming ,WANG Tao ,HU Jie ,XIONG Chuan-sheng(College of Mechanics and Materials , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : In order to investigate the concrete durability under combined freeze-thaw and carbonation actions , concrete tests with different water-cement ratios and fly ash contents were performed under the alternate freeze-thaw and carbonation actions. The results show that the carbonation depth under the alternate actions does not follow a square-root-of-time trend , but increases faster with alternate times. With the increase of the free-thaw percentage , the concrete is damaged faster and its carbonation is more significant.

Key words : concrete ; freeze-thaw ; carbonation ; durability

冻融和碳化是引起钢筋混凝土耐久性不良的主要因素^[1-3]。目前 ,学术界对冻融、碳化单一因素作用下混凝土的耐久性研究已经较为成熟 ,对混凝土在冻融和碳化同时作用下的耐久性研究较少^[4] ,而北方的一些混凝土工程通常处在冻融交替的气候中并且直接暴露于大气中 ,因此经受冻融和碳化的同时作用。本文采用冻融和碳化交替作用的方法来研究冻融和碳化同时作用下混凝土的耐久性。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

a. 水泥。南京浦口海螺水泥厂生产的 42.5 级普通硅酸盐水泥 ,性能指标如下 :80 μ m 筛筛余 1.6% ;初凝时间 150 min ,终凝时间 240 min ;3 d 抗压强度 25.1 MPa ,3 d 抗折强度 5.5 MPa ,28 d 抗压强度 43.8 MPa ,28 d 抗折强度 8.4 MPa ,安定性合格。所检项目符合 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》标准要求。

b. 粗骨料。粗骨料为 5 ~ 25 mm 连续级配 II 类

碎石 ,最大粒径 25 mm ,含泥量(质量分数 ,下同) 0.6% ,泥块含量 0.4% ,针片状颗粒含量 4.7% ,压碎指标 8.8% ,所检项目符合 GB/T 14685—2001《建筑用卵石、碎石》标准要求。

c. 细骨料。细骨料为 II 区 II 类河砂 ,细度模数 2.8 ,含泥量 1.3% ,泥块含量 0.8% ,氯离子含量 0.006% ,所检项目符合 GB/T 14685—2001《建筑用卵石、碎石》标准要求。

d. 掺和料。粉煤灰掺和料采用南京热电厂生产的 F 类 II 级粉煤灰 ,45 μ m 方孔筛筛余 15.5% ,蓄水量比 104% ,强度比 61% ,烧失量 1.1% ,所检项目符合 DL/T 5055—2007《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》标准的要求。

e. 外加剂、水。南京瑞迪高新技术公司生产的 HLC-NAF 高效减水剂。南京市自来水总公司供应的饮用水 ,满足 JGJ 63—2006《混凝土用水标准》标准要求。

1.2 配合比

参考南水北调中线工程中在建渡槽的配合比 ,

水胶比采用 0.4、0.5 和 0.6。粉煤灰对混凝土耐久性影响较为显著^[5-7],粉煤灰掺量(质量分数,下同)超过 30%,其强度和耐久性将急剧下降。故本试验采用 10%、20% 和 30% 共 3 组不同粉煤灰掺量。具体配合比见表 1。

表 1 混凝土配合比

编号	水胶比	粉煤灰/%	水泥/kg	石/kg	砂/kg	水/kg	减水剂/kg	坍落度/mm
A-1	0.5	30	280	1170	630	200	0	65
B-1	0.6	30	280	1144	616	240	0	70
C-1	0.4	30	280	1196	644	160	4.8	55
C-2	0.4	20	320	1196	644	160	3.3	45
C-3	0.4	10	360	1196	644	160	3.1	40
C-4	0.4	0	400	1196	644	160	2.4	38

1.3 试验方法

1.3.1 冻融与碳化交替作用的组合方案

试验采用冻融和碳化交替作用的方法。将不同的冻融循环次数和碳化条件进行组合应尽量与实际环境相似。一般而言,无污染大气中二氧化碳质量分数为 0.03%,另外根据统计资料^[8],我国不同区域可能出现的年平均冻融循环次数为:东北地区 120 次,华北 84 次,西北 118 次,华中 18 次,华东介于华北和华中之间,华南基本为无冻区。以年平均冻融循环次数 60、无大气污染的地区为例。1 a 内混凝土遭受冻融循环次数为 60 次,相当于实验室快速冻融循环 5 次,而 1 a 的碳化作用等效于在质量分数为 10% 的 CO₂ 下快速碳化 1 d。综合考虑各种因素,试验主要采用快速冻融 15 次和碳化 3 d 交替作用。

为研究在不同的冻融循环次数和碳化条件组合下混凝土的耐久性,设计了 5 种冻融与碳化组合方案,见表 2。

表 2 冻融与碳化组合方案

编号	冻融循环次数	CO ₂ 质量分数/%	碳化时间/d
1	15	10	3
2	15	5	3
3	15	20	3
4	10	10	3
5	25	10	3

碳化箱中温度均为 20℃±2℃,相对湿度均设为 75%。除进行冻融碳化交替作用试验外,还分别进行了冻融、碳化单一因素作用下混凝土耐久性试验。试验参照 SL 352—2006《水工混凝土试验规程》进行。

1.3.2 损伤的测量和表征

采用超声波无损检测方法测定混凝土的损伤^[9-11]。混凝土的动弹性模量 E_d 和损伤度 ω 可表示为

$$E_d = \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} \rho v^2 \tag{1}$$

$$\omega = 1 - \frac{E_d}{E_{d0}} = 1 - \frac{v^2}{v_0^2} \tag{2}$$

式中: ρ 为混凝土密度,kg/m³; μ 为泊松比; v 为冻融后混凝土实测超声波声速,m/s; v_0 为未冻融混凝土的超声波声速,m/s。

表征混凝土损伤的另一个参数是质量损失率 ΔW_G :

$$\Delta W_G = \frac{G_0 - G}{G_0} \tag{3}$$

式中: G_0 为混凝土试件未冻融时质量,kg; G 为冻融后混凝土试件的质量,kg。

1.3.3 试件尺寸

本试验采用边长为 100 mm 的立方体试件。

1.3.4 试验流程

混凝土的冻融和碳化交替作用试验流程见图 1。

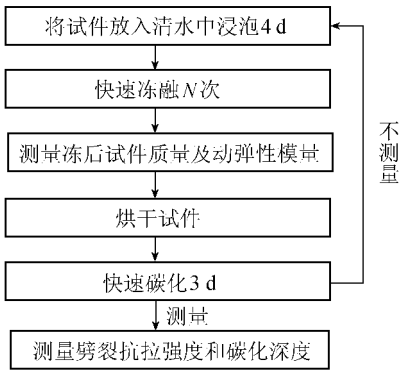


图 1 试验流程

2 试验结果与分析

2.1 冻融单一作用下的性能

在冻融循环单一作用下,不同水胶比的混凝土的冻融质量损失率和损伤度见图 2,水胶比为 0.4 的不同粉煤灰掺量混凝土的冻融损伤度见图 3。

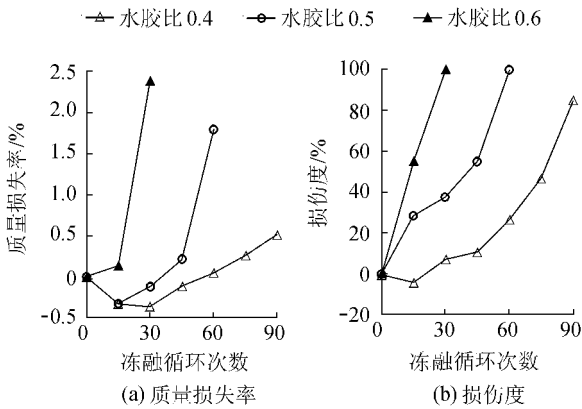


图 2 不同水胶比的混凝土冻融质量损失率和损伤度
由图 2 可以看出,损伤度的发展趋势与质量损失率相似,冻融初始阶段损伤增长速度比较慢,但随着冻融循环次数增加,损伤度增长逐渐加快,整体趋

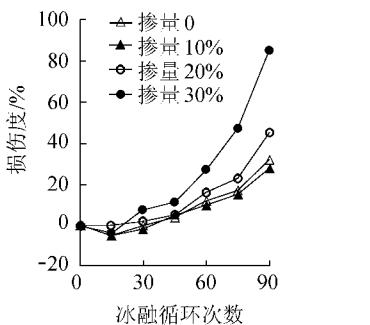


图3 不同粉煤灰掺量的混凝土冻融损伤度

势呈指数增长,水胶比对混凝土抗冻性影响很大,水胶比越低,抵抗冻融损伤的能力越强。另外由于冻融作用后混凝土孔隙率增大,导致混凝土孔隙中的水分增多,并且随着水化的继续进行,混凝土凝胶结构进一步水化、坚固,而冻融破坏则是一个按指数增长的过程,因此在初始阶段冻融作用对混凝土的破坏还不显著,所以在初始阶段质量损失率和损伤度会出现负值。

由图3可以看出,掺粉煤灰会降低混凝土的抗冻性能,特别是当掺量达到30%时,抗冻性有很大下降,而掺量小于10%时,对抗冻性能的影响很小。

2.2 碳化单一作用下的性能

不同水胶比和不同粉煤灰掺量的混凝土的碳化深度见图4和图5。

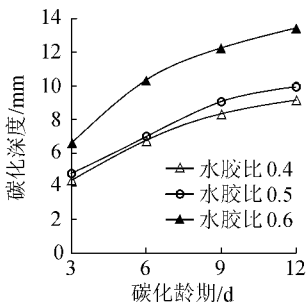


图4 不同水胶比的混凝土碳化深度

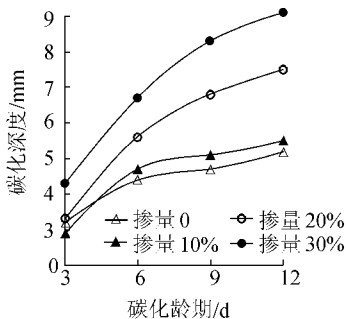


图5 不同粉煤灰掺量的混凝土碳化深度

由图4和图5可以看出,水胶比越小,混凝土抗碳化能力越强,粉煤灰掺量越大,混凝土抗碳化能力越低,粉煤灰掺量低于10%时对碳化性能影响不大,高于10%后影响开始变显著。

2.3 冻融与碳化交替作用下的性能

2.3.1 水胶比对交替作用下性能的影响

不同水胶比(粉煤灰掺量为30%)混凝土在组合1情况下的损伤度发展曲线见图6。

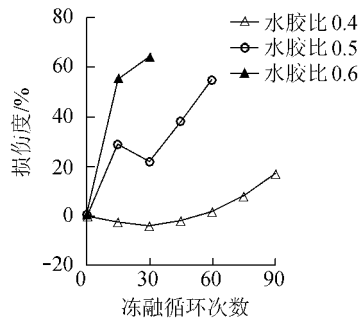


图6 交替作用下不同水胶比的混凝土损伤度

由图6可以看出,水胶比对冻融与碳化交替作用下的混凝土抗冻性影响很大,水胶比越大,混凝土损伤度越大;与冻融单一作用时相比,由于碳化作用混凝土变得更加致密,使得混凝土构件中毛细孔数量减少,而毛细孔则是混凝土冻融破坏的主要渠道,因此冻融与碳化交替作用下混凝土的抗冻性能有所改善。

2.3.2 粉煤灰掺量对交替作用下性能的影响

不同粉煤灰掺量(水胶比为0.4)混凝土在组合1情况下的损伤度发展曲线和碳化深度发展曲线见图7和图8。

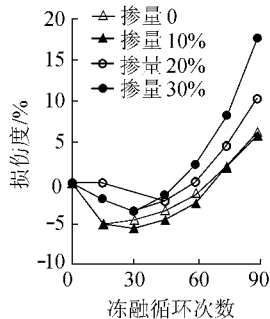


图7 交替作用下不同粉煤灰掺量的混凝土损伤度

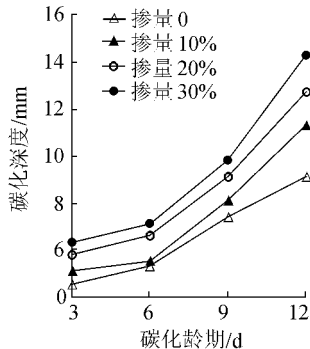


图8 不同粉煤灰掺量的混凝土碳化深度

由图7可以看出,与冻融单一作用时相比,冻融与碳化交替作用时混凝土的损伤度有很大降低,抗冻性能有所改善,粉煤灰掺量越大,抗冻性能越弱,

掺量较少时对抗冻性影响不大。另外在试验初始阶段损伤度会出现负值,这是由于水化反应的继续发展且碳化作用使得混凝土更加致密,而初始阶段冻融破坏作用并不显著。

由图 8 可以看出:冻融与碳化交替作用下混凝土碳化深度不再服从时间的二次方根的发展趋势,随着交替次数的增加,碳化深度增加更快,掺入粉煤灰能降低混凝土的抗碳化性能。粉煤灰掺量越大,抗碳化性能越弱。粉煤灰掺量超过 30% 后,混凝土的强度、抗冻性能和抗碳化性能将急剧降低,而掺量小于 10% 时,影响不明显。

2.3.3 冻融与碳化组合方式对性能的影响

混凝土(水胶比 0.4,粉煤灰掺量 30%)在不同组合作用下的损伤度发展曲线和碳化深度发展曲线分别见图 9 和图 10。

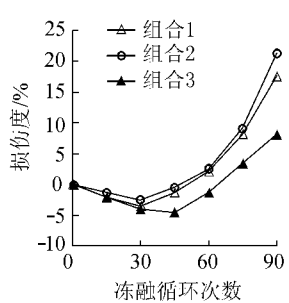


图 9 不同组合作用下的混凝土损伤度

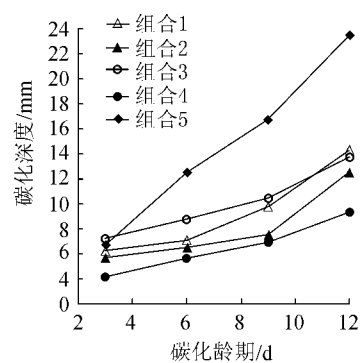


图 10 不同组合作用下的混凝土碳化深度

由图 9 和图 10 可以看出:冻融作用占的比例越大,混凝土的损伤发展越快,碳化深度发展也越快,因为冻融损伤会造成混凝土内部裂纹扩展,从而使碳化加剧;冻融作用比例不变时, CO_2 的质量分数越高,冻融损伤发展越慢,因为碳化作用使混凝土变得密实,减少混凝土中的毛细孔,故能延缓冻融破坏。

3 结 论

a. 掺入粉煤灰会降低混凝土抗冻性能和抗碳化性能。水胶比相同的情况下,粉煤灰掺量超过 30% 后,混凝土强度、抗冻性能和抗碳化性能将急剧降低,而掺量小于 10% 时,影响不明显。

b. 水胶比对混凝土耐久性影响显著。在试验所设计的水胶比范围内,水胶比越低,混凝土抗冻性能和抗碳化性能越强。

c. 冻融与碳化交替作用下混凝土耐久性与单一冻融、单一碳化时有很大不同,碳化使混凝土变得密实,减少混凝土中的毛细孔,故能延缓冻融破坏;冻融损伤造成混凝土内部裂纹扩展,从而使碳化加剧。

d. 冻融与碳化交替作用下混凝土碳化深度不再服从时间的二次方根的发展趋势,而是随着交替次数的增加,发展得更快。

e. 冻融与碳化交替作用下,冻融作用所占比例越大,混凝土损伤越快,碳化也越严重;冻融作用比例不变时, CO_2 的质量分数越高,损伤发展越慢。

参考文献:

- [1] 陈伟,陈晓宝.论影响混凝土碳化的主要因素[J].建筑施工,2006,28(3):238-239.
- [2] 冀晓东,宋玉普.钢筋与混凝土黏结性能冻融破坏的力学分析[J].水利学报,2009,40(12):1495-1499.
- [3] 于孝民,任青文.冻融循环作用下普通混凝土的断裂能试验[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(1):80-82.
- [4] JIANG Lin-hua. A model for predicting carbonation of high-volume fly ash concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2000, 30(5):699-700.
- [5] 蒋林华.混凝土材料学[M].南京:河海大学出版社,2006:114-123.
- [6] 贾伟霞,裴树林.粉煤灰对混凝土耐久性影响的分析与试验研究[J].山西建筑,2006,32(13):145-146.
- [7] 袁承斌,陈兴,陈小鹏.粉煤灰掺量对真空脱水混凝土碳化速度的影响[J].水利水电科技进展,2009,29(3):17-19.
- [8] 李金玉.混凝土抗冻性的定量化设计[C]//王媛俐,姚燕.重点工程混凝土耐久性的研究与工程应用.北京:中国建材工业出版社,2001:26-27.
- [9] 姚博,刘志强.超声波测量冻土动弹性模量的试验研究[J].中国建材科技,2009(3):85-88.
- [10] 李志强,周宗辉.基于超声波技术的混凝土无损检测[J].水泥工程,2010(3):72-75.
- [11] 唐修生.超声探测混凝土损伤和内部缺陷研究[D].南京:南京水利科学研究院,2004.

(收稿日期:2011-10-10 编辑:周红梅)

