

Study on Durability of Fly Ash Concrete under Carbonization and Freeze-thaw Conditions

Jing Yuan

Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

Based on the concepts of concrete durability, carbonization, and the mechanism of freeze-thaw action, this paper carried out experiments on freezing resistance and carbonization resistance of concrete with different water-binder ratios and different amounts of fly ash. The interaction between the two environmental factors of freezing and thawing, summarized the damage law of concrete under the combined effect of the two factors.

Keywords

concrete; freeze-thaw; carbonization; durability

碳化与冻融条件下粉煤灰混凝土耐久性研究

袁敬

河北农业大学, 中国·河北保定 071000

摘要

本文从混凝土耐久性与碳化、冻融作用的机理等相关概念出发, 针对不同水胶比、不同粉煤灰掺量的混凝土进行了抗冻性能和抗碳化性能的相关实验, 以期探究出碳化与冻融两种环境因素之间的相互作用, 总结出两种因素共同作用下的混凝土损伤规律。

关键词

混凝土; 冻融; 碳化; 耐久性

1 粉煤灰混凝土耐久性与碳化、冻融作用

1.1 混凝土耐久性与粉煤灰混凝土

所谓混凝土耐久性, 就是在正常维护条件和指定工作环境中, 确保混凝土结构满足既定的功能和要求。混凝土结构往往处于各种复杂恶劣的环境下, 其耐久性决定了其使用寿命。作为中国主要的工业废渣之一, 粉煤灰如不经过处理直接排放出去会对空气和水源造成污染, 因此目前有不少专家学者就粉煤灰的合理利用进行了诸多探讨。实验证明, 粉煤灰会与水泥水化产生氢氧化钙反应, 进而会产生能够降低毛细孔体积/增强混凝土强度的C-S-H凝胶的产物。因此, 使用粉煤灰代替部分水泥, 可减少浇筑大体积混凝土过程中所产生的水化热, 避免出现温度裂缝^[1]。

1.2 粉煤灰混凝土耐久性问题与碳化、冻融作用

粉煤灰的应用和推广, 使得其耐久性问题日益突出, 具

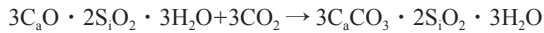
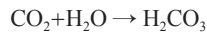
体表现为抗碳化和抗冻性能差。关于碳化、冻融单一因素对粉煤灰混凝土耐久性的影响, 世界各国学者在近些年均相继进行了一系列的研究, 且已经取得了一定的研究成果, 在实际工程项目中也得到了一定的应用和推广。然而, 目前关于碳化与冻融复合作用下粉煤灰混凝土耐久性的研究文献并不多。为了为粉煤灰混凝土在实际工程中的进一步推广应用提供借鉴与参考, 本文探究了碳化与冻融复合作用下粉煤灰混凝土的耐久性。

2 碳化与冻融的机理及其复合作用

2.1 碳化机理

混凝土内部存在着诸多孔隙、气泡和微裂纹等缺陷, 因此并不是密实的。空气中的二氧化碳往往还会通过这些缺陷进入混凝土与混凝土中的氢氧化钙发生反应, 进而生成碳酸钙及其他会降低水泥石原有碱度、增高碳酸盐含量的物质。

混凝土碳化的化学反应如下:



从上述化学反应式中我们可以看出,碳化反应造成了分子量的增加,混凝土密度由此提高,而由此生成的碳酸盐等也会沉积在混凝土的孔隙结构中,进而会导致孔隙被填充,密实度提高,混凝土强度上升。然而,混凝土强度提高的程度是十分有限的,同时还会增加混凝土的脆性。此外,碳化反应还会导致混凝土因失水而出现体积收缩,表面产生许多细小的裂纹。碳化作用还会导致混凝土碱度降低,进而造成钢筋锈蚀。

2.2 冻融机理

混凝土在饱水状态下,其中的游离水受冻体积因膨胀而产生的压力超过混凝土的抵抗强度,由此所产生的破坏就是冻融作用。在寒冷地区,造成混凝土耐久性降低的主要原因就是冻融损伤。混凝土冻融破坏的过程是极为复杂的。从微观结构来看,温度变化会使得混凝土内部出现水分的物理形态变化的不均衡,进而会导致孔隙结构中出现破坏混凝土硬化成型后形成的微观结构的膨胀和渗透压力,新的微裂缝由此产生;从宏观表象来看,冻融损伤不仅会促进混凝土的裂缝发展,还会导致混凝土表面出现裂纹、表面砂石和细骨料剥落等严重影响混凝土质量的问题。数据表明,冻融损伤还会影响混凝土的力学性能,具体表现为强度、变形能力和动弹性模量的下降。

2.3 混凝土碳化与冻融复合作用

如前文所述,在实际工程项目中,混凝土结构所处环境往往十分复杂,而影响混凝土耐久性的因素也并不会是孤立单一的。据此,中国学者于近几年对双重乃至多重因素作用下混凝土的耐久性问题进行了大量的研究工作。冉晋等学者针对单一碳化、单一冻融以及碳化与冻融交替作用下的混凝土耐久性研究进行了相关实验,最终研究结果显示:碳化与冻融交替作用下,混凝土抗压强度明显高于单一冻融作用,但强度的增加值十分有限;混凝土相对动弹性模量要小于单一冻融作用,但碳化深度则大于单一碳化作用时的碳化深度。也就是说,碳化与冻融交替作用尽管在某种程度上起到了改

善混凝土力学性能的作用,但往往会造成抗冻耐久性和抗碳化能力的降低^[2]。

3 实验设计与结果分析

3.1 实验设计

(1) 原材料与实验方法:本研究选取了水泥(42.5级普通硅酸盐水泥)、粗骨料(5~25mm连续级配II类碎石)、细骨料(II区II类河沙)、掺和料(某热电厂生产的F类II级粉煤灰)、高效减水剂(南京瑞迪高新技术公司生产的HLC-NAF减水剂)以及水。

(2) 配合比:本实验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,粉煤灰掺量分别为10%、20%和30%。具体混凝土配合比如表1所示。

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

3.2 实验方法

(1) 碳化与冻融交替作用的组合方案

本次实验采用冻融和碳化交替作用的方法,即将不同的冻融循环次数和碳化条件进行组合,需注意的是冻融作用和碳化作用均应与实际环境相似。最终,本次实验共设计了5种冻融与碳化组合方案,具体见表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

除冻融碳化交替作用实验外,本次研究还进行了冻融、碳化单一因素作用对粉煤灰混凝土耐久性的影响实验。

(2) 损伤测量与表征

本次研究采用超声波无损检测方法对混凝土损伤进行测定。

(3) 实验流程

粉煤灰混凝土冻融和碳化交替作用的实验流程见图1。

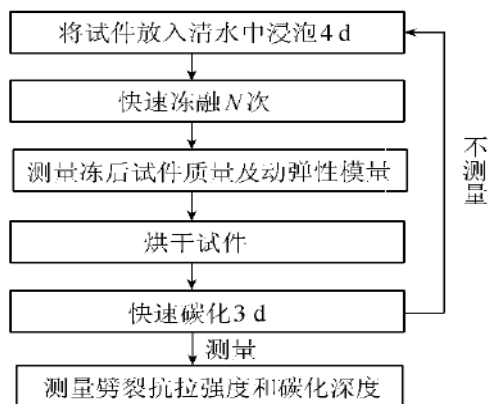


图1 试验流程

图1 实验流程

3.3 实验结果分析

(1) 冻融单一作用下的粉煤灰耐久性：在冻融循环单一作用下，不同水胶比的混凝土冻融质量损失率和损伤度如图2所示，水胶比为0.4的不同粉煤灰掺量混凝土的冻融损伤度如图3所示。

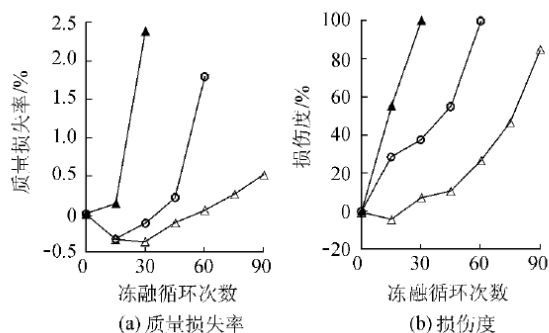


图2 不同水胶比的混凝土冻融质量损失率和损伤度

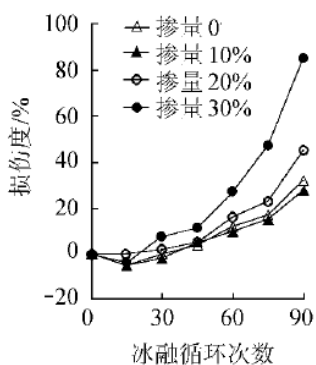


图3 不同粉煤灰掺量的混凝土冻融损伤程度

从图2我们可以看出，损伤度的发展趋势与质量损失率是相近的，且在冻融初始阶段的损伤增长速度是明显较慢的，但冻融循环次数的增加则会加快损伤增长速度；水胶比越低，混凝土抵抗冻融损伤的能力就越强。从图3我们可以看出，掺粉煤灰会导致混凝土抗冻性能的降低，粉煤灰掺量越高，混凝土的抗冻性越低^[3]。

(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碳化深度结果如图4和图5所示。

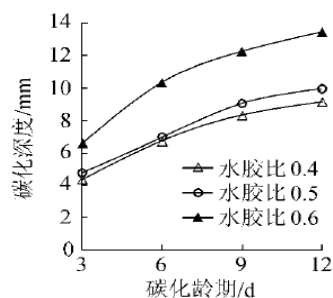


图4 不同水胶比的混凝土碳化深度

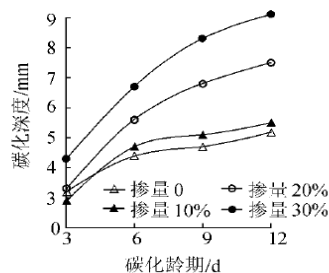


图5 不同粉煤灰掺量的混凝土碳化深度

图4图5显示，随着水胶比和粉煤灰掺量的提高，混凝土抗碳化能力越来越低；当粉煤灰掺量低于10%时，其对碳化性能的影响并不大，高于10%后影响则愈加显著^[4]。

(3) 冻融与碳化交替作用下的性能

不同水胶比、不同粉煤灰掺量、不同冻融与碳化组合方式对混凝土耐久性的影响分别如图6、7、8、9、10所示。

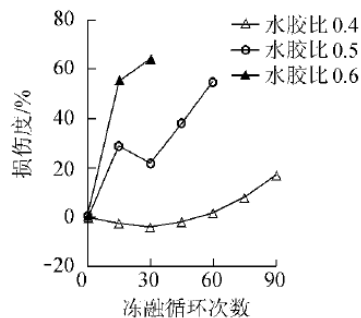


图6 交替作用下不同水胶比的混凝土损伤程度

水胶比越大,混凝土损伤度越大,但抗冻性能则较之冻融单一作用有所改善。主要原因在于碳化作用使得混凝土变得更加致密,极易导致混凝土冻融破坏的混凝土构件中的毛细孔数量也会大大减少。

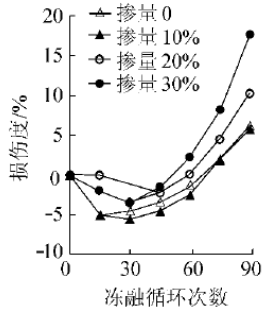


图7 交替作用下不同粉煤灰掺量的混凝土损伤度

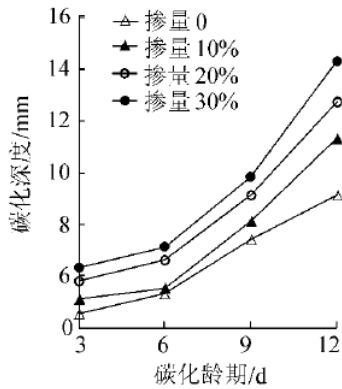


图8 不同粉煤灰掺量的混凝土碳化深度

较之冻融单一作用,冻融与碳化交替作用时,混凝土的抗冻性能有所改善,混凝土的损伤程度也会随之降低;粉煤灰掺量较少时对混凝土的抗冻性影响并不是很大,但随着掺量的增加,混凝土的抗冻性能则会逐渐减弱。从图8来看,随着交替次数的增加,混凝土的碳化深度会增加更快,粉煤灰会降低混凝土的抗碳化性能,且粉煤灰掺量越大,混凝土的抗碳化性能就会越来越弱^[5]。

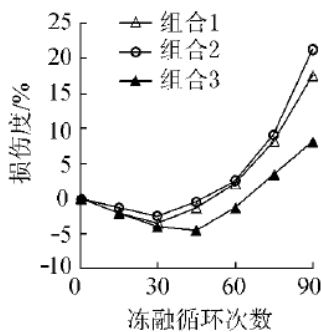


图9 不同组合作用下的混凝土损伤度

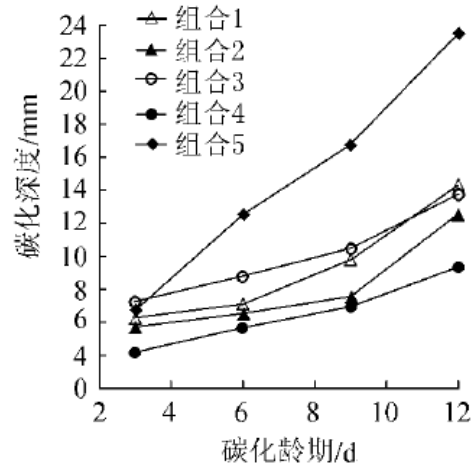


图10 不同组合作用下的混凝土碳化深度

冻融作用所占比例越大,混凝土损伤发展越快,碳化深度发展也就越快;当冻融作用比例保持不变时,CO₂的质量分数越高,冻融损伤的发展也就越慢,主要原因在于碳化作用能够使得混凝土中的毛细孔因密实而减少,冻融破坏由此可得到延缓^[6]。

4 结语

本文探究了冻融和碳化共同作用下对粉煤尘混凝土耐久性的影响,通过充分的实验研究分析了混凝土在冻融和碳化作用下的损伤规律与碳化深度发展规律,为混凝土在冻融与碳化作用下混凝土结构的寿命预测提供了一定的理论意义和应用价值。

参考文献

- [1] 张金喜,冉晋,马宝成,王建刚.碳化对混凝土抗冻性的影响及机理[J].建筑材料学报,2017,20(01):12-17.
- [2] 张炯,李莉,明瑞平,马国栋,崔新壮,崔社强,王忠啸.不同掺合料的透水混凝土冻融循环性能研究[J].硅酸盐通报,2017,36(05):1480-1485.
- [3] 张士萍,邓敏,唐明述.混凝土冻融循环破坏研究进展[J].材料科学与工程学报,2008,26(06):990-994.
- [4] 耿欧,张鑫,张铨铠.再生混凝土碳化深度预测模型[J].中国矿业大学学报,2015,44(01):54-58.
- [5] 余波,成获,杨绿峰.混凝土结构的碳化环境作用量化与耐久性分析[J].土木工程学报,2015,48(09):51-59.
- [6] 元成方,牛荻涛,陈娜,段付珍.碳化对混凝土微观结构的影响[J].硅酸盐通报,2013,32(04):687-691+707.