

文章编号:1671-6833(2013)01-0001-04

基于渗透性的混凝土力学和耐久性能指标相关性试验

曾力¹, 朱蕴东², 赵卓¹

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省建筑设计研究院有限公司, 河南 郑州 450014)

摘要:通过开展掺矿物掺和料混凝土力学和耐久性能指标的试验测试, 研究不同龄期混凝土氯离子扩散系数与单方水泥用量、单方胶凝材料用量、立方体抗压强度、碳化深度以及动弹性模量间的相关关系. 试验结果表明: 单方胶凝材料用量与 84 d 龄期混凝土氯离子扩散系数线性相关性良好; 混凝土氯离子扩散系数均随立方体抗压强度的提高而降低, 84 d 立方体抗压强度与不同龄期混凝土氯离子扩散系数线性相关性良好; 混凝土氯离子扩散系数均随碳化深度的提高而提高, 碳化深度与 84 d 龄期混凝土氯离子扩散系数线性相关性良好; 不同龄期混凝土氯离子扩散系数均随 84 d 龄期动弹性模量的提高而降低.

关键词: 混凝土; 渗透性; 氯离子扩散系数; 耐久性; 相关性

中图分类号: TU528.1

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.01.001

0 引言

混凝土的抗渗性能是评价混凝土耐久性的重要指标之一, 传统所采用的混凝土抗高压水渗透的能力(即抗渗标号), 经实践证明, 已难以表征高强度等级混凝土的密实性能^[1]. 对于高性能或高强度等级混凝土, 目前较多采用氯离子扩散系数来表征混凝土的抗渗透性能^[1-3].

工程界一般通过掺加矿物掺和料、高效减水剂、降低混凝土水胶比等措施来提高混凝土的抗渗性能, 这些措施也将不同程度上影响混凝土的立方体抗压强度、抗碳化能力以及内部结构等, 而这些影响有可能是不一致的. 目前针对混凝土渗透性能的研究较多集中于原材料因素如矿物掺和料、水泥种类、轻骨料、其它各类添加或替代物以及养护方式等对混凝土渗透性能等的影响^[4-5], 而针对混凝土渗透性能与其它耐久性能指标相关关系的研究则相对较少, 且较多集中于抗压强度与混凝土渗透性能间相关关系的研究^[6-7].

笔者通过开展掺矿物掺和料混凝土的立方体抗压、氯离子扩散系数、快速碳化试验以及动弹性模量的试验测试, 分别研究了原材料、立方体抗压、碳化深度、动弹性模量与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的相关关系.

1 试验研究

1.1 试验原材料

水泥: 天瑞集团郑州水泥股份有限公司生产的普通硅酸盐水泥, 强度等级 42.5, 比表面积 354 m²/kg; 细骨料: 焦作产天然中砂, 细度模数 2.8, 表观密度 2 630 kg/m³; 人工机制砂: 细度模数 2.8, 表观密度 2 680 kg/m³, 石粉含量 12%; 粗骨料: 新密产碎石, 粒径 5~20 mm 连续级配碎石, 表观密度 2 708 kg/m³; 水: 饮用水; 粉煤灰: 洛阳首龙粉煤灰厂生产, F 类 II 级, 细度 18.5%; 磨细矿渣粉: 焦作市丹阳水泥有限公司生产, 比表面积 409 m²/kg, 密度 2.85 g/cm³; 高效减水剂: 河南新星建材有限公司生产的 FN-S2 高效减水剂, 脂肪族系, 水剂, 减水率 19.5%.

1.2 混凝土配合比

依据 JGJ 55—2011《普通混凝土配合比设计规程》和已有实际工程经验, 试验所用混凝土配合比如表 1 所示.

1.3 试验内容

按照 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》^[8]测试 4 个试验编号混凝土试块 28 d 和 84 d 龄期的立方体抗压强度. 混凝土试块尺寸 150 mm × 150 mm × 150 mm, 每试验编号每配合比各两组试件.

收稿日期: 2012-11-30; 修订日期: 2012-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51078334); 国家自然科学基金杰出青年科学基金资助项目(50925829)

作者简介: 曾力(1972-), 男, 湖南沅江人, 郑州大学副教授, 主要从事工程结构耐久性方面的研究, E-mail: zengli@zzu.edu.cn.

表 1 混凝土配合比
Tab. 1 Mix proportion of concrete

试件编号	水泥	天然中砂	人工机制砂	碎石	水	粉煤灰	矿渣粉	高效减水剂
NC-1	200	250	675	980	110	170	—	5.5
NC-2	220	250	653	980	110	110	90	7.0
NC-3	290	772	—	1 000	140	120	80	8.5
NC-4	360	742	—	1 020	140	50	100	11.0

按照 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》^[9]测试 4 个试验编号 28 d 龄期混凝土试块碳化 28 d 后的碳化深度. 混凝土试块尺寸 100 mm × 100 mm × 300 mm, 每试验编号每配合比各一组试件. 按照规范的要求, 设置二氧化碳浓度为 20% (±3%)、湿度为 70% (±5%)、温度为 20 ℃ (±2 ℃).

按照 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》测试 4 个试验编号 84 d 龄期混凝土试块的动弹性模量. 混凝土试块尺寸 100 mm × 100 mm × 400 mm, 每试验编号每配合比各一组试件.

按照 JTG/TB 07 - 01—2006《公路工程混

凝土结构防腐技术规范》^[2]采用 RCM 法测试 4 个试验编号混凝土试块 28 d 和 84 d 龄期的氯离子扩散系数. 混凝土试块尺寸 150 mm × 150 mm × 150 mm, 每试验编号每配合比各一组试件. 试验前将试块按直径 100 mm 取芯柱, 并加工成规程所要求的高 50 mm 的圆柱体试样. 试验所用的溶液包括阳极和阴极两种溶液, 阳极溶液为 KOH 溶液, 阴极溶液为 KOH + NaCl 溶液, 试验用溶液均在试验室配制.

1.4 试验结果

混凝土立方体抗压强度、碳化 28 d 后的碳化深度、84 d 动弹性模量、氯离子扩散系数试验结果如表 2 所示.

表 2 混凝土试验结果
Tab. 2 Test result of concrete

试件编号	立方体抗压强度/MPa		碳化深度/mm	动弹性模量/MPa	氯离子扩散系数/(10 ⁻¹² m ² · s ⁻¹)	
	28 d	84 d			28 d	84 d
NC-1	23.38	40.98	17.91	33 669	13.30	2.52
NC-2	33.90	53.12	8.51	39 811	4.67	1.83
NC-3	41.65	58.37	8.35	41 829	4.39	1.13
NC-4	48.98	56.79	4.65	47 307	3.44	0.93

2 分析与讨论

2.1 原材料对氯离子扩散系数的影响

单方水泥用量与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系如图 1 所示. 单方胶凝材料用量与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系如图 2 所示.

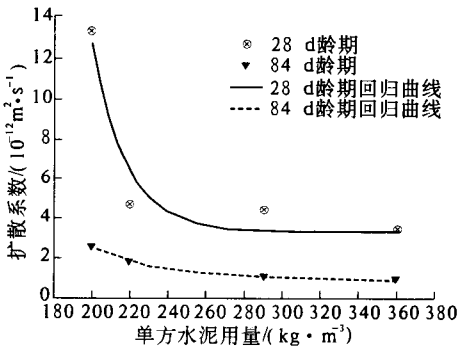


图 1 单方水泥用量与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系
Fig.1 Regression relationship between chloride diffusion coefficient and cement amount per cube meter

不同龄期混凝土氯离子扩散系数均随单方水泥用量的增大而降低, 两者之间具有一定的非线性回归关系. 不同龄期混凝土氯离子扩散系数均随单方胶凝材料用量的提高而降低, 84 d 龄期混凝土氯离子扩散系数与单方胶凝材料用量具有良好的线性相关关系.

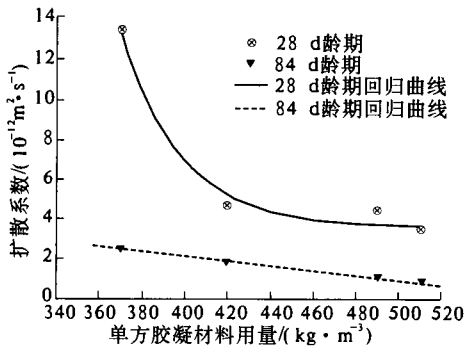


图 2 单方胶凝材料用量与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系
Fig.2 Regression relationship between chloride diffusion coefficient and cementitious material amount per cube meter

2.2 立方体抗压强度与氯离子扩散系数的关系

混凝土 28 d 与 84 d 立方体抗压强度与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系如图 3 和图 4 所示.

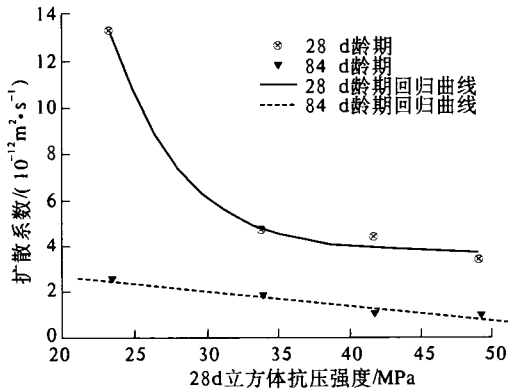


图 3 28 d 立方体抗压强度与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系

Fig.3 Regression relationship between chloride diffusion coefficient and 28 d cube crushing strength

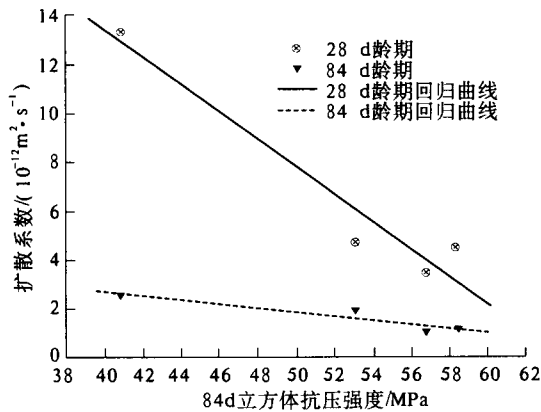


图 4 84 d 立方体抗压强度与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系

Fig.4 Regression relationship between chloride diffusion coefficient and 84 d cube crushing strength

由图 3 和图 4 可知,混凝土的氯离子扩散系数随立方体抗压强度的提高而降低.当混凝土处于 28 d 龄期时,其立方体抗压强度与氯离子扩散系数具有一定的非线性回归关系.杨钱荣^[6]的研究表明:各种类型混凝土的渗透性与强度存在相关性,与普通混凝土相比,粉煤灰混凝土、引气混凝土和粉煤灰引气混凝土的渗透性与强度的线性相关性相对较低.

随着混凝土龄期的增长,粉煤灰等矿物掺和料发生“二次水化”,火山灰活性效应及微填充效果逐步发挥出来,混凝土内部孔结构得到改善,后期强度和抗渗性能得到持续提高并趋于稳定,84 d 龄期时,氯离子扩散系数与立方体抗压强度之

间呈现良好的线性相关关系.

2.3 碳化深度与氯离子扩散系数的关系

28 d 龄期混凝土快速碳化 28 d 后的碳化深度与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系如图 5 所示.

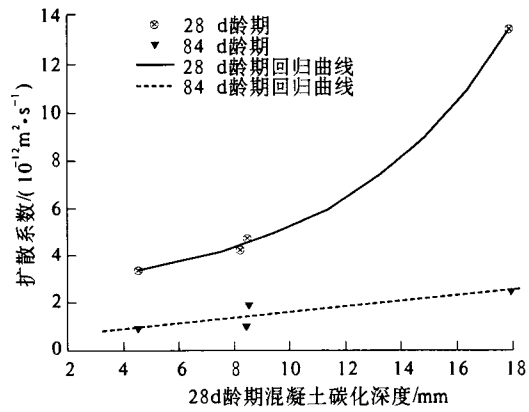


图 5 28 d 龄期混凝土碳化深度与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系

Fig.5 Regression relationship between chloride diffusion coefficient and carbonation depth of 28 d concrete

由图 5 可以看出,不同龄期混凝土氯离子扩散系数均随碳化深度的提高而提高,这是由于影响碳化深度的主要因素是混凝土本身的密实性和碱性储备的大小,碳化深度与 84 d 龄期混凝土氯离子扩散系数线性相关性良好.

2.4 动弹性模量与氯离子扩散系数的关系

84 d 龄期混凝土的动弹性模量与不同龄期混凝土的氯离子扩散系数间的回归关系如图 6 所示.

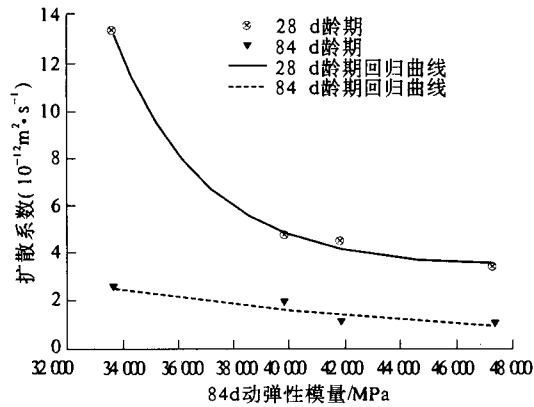


图 6 84 d 龄期动弹性模量与不同龄期混凝土氯离子扩散系数间的回归关系

Fig.6 Regression relationship between chloride diffusion coefficient and 84 d dynamic elastic modulus

由图 6 可以看出,不同龄期混凝土氯离子扩散系数均随 84 d 龄期动弹性模量的提高而降低,

这是由于混凝土动弹性模量的大小可反映混凝土内部的整体性和密实性。

3 结论

(1)对于掺矿物掺和料混凝土,随着龄期的增长,混凝土的密实性提高,并体现于混凝土的立方体抗压强度和氯离子扩散系数指标。

(2)不同龄期混凝土氯离子扩散系数随单方水泥用量、单方胶凝材料用量的增大而降低,84 d 龄期混凝土氯离子扩散系数与单方胶凝材料用量具有良好的线性相关关系。

(3)不同龄期混凝土氯离子扩散系数随立方体抗压强度的提高而降低,28 d 立方体抗压强度与 84 d 龄期混凝土氯离子扩散系数线性相关性良好,84 d 立方体抗压强度与不同龄期混凝土氯离子扩散系数线性相关性良好。

(4)不同龄期混凝土氯离子扩散系数均随混凝土碳化深度的提高而提高,碳化深度与 84 d 龄期混凝土氯离子扩散系数具有良好的线性相关性。

参考文献:

[1] 中华人民共和国铁道部. TB 10005—2010 铁路混凝土结构耐久性设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 2011.

[2] 中华人民共和国交通部. JTG/T B07-01—2006 公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2006.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50476—2008 混凝土结构耐久性设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.

[4] 谢友均, 马昆林, 龙广成, 等. 矿物掺合料对混凝土中氯离子渗透性的影响[J]. 硅酸盐学报, 2006, 34(11):1345-1350.

[5] HASAN Y, TOLGA I, OZKAN S. Effect of cement type on the resistance of concrete against chloride penetration[J]. Construction and Building Materials, 2011, 25(3):1282-1288.

[6] 杨钱荣. 掺粉煤灰和引气剂混凝土渗透性与强度的关系[J]. 建筑材料学报, 2004, 7(4):457-461.

[7] AKBAR R A, AMIRREZA P, MAHDIL M, et al. Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength[J]. Construction and Building Materials, 2011, 25(5):2472-2479.

[8] 中华人民共和国建设部. GB/T 50081—2002 普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.

[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50082—2009 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.

Experiment on the Correlation of Chloride Diffusion Coefficient with Mechanical and Durability Index of Concrete with Supplementary Cementitious Materials

ZENG Li¹, ZHU Yun-dong², ZHAO Zhuo¹

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd, Zhengzhou 450014, China)

Abstract: Through test on mechanical and durability index of concrete with supplementary cementitious materials, the correlation of chloride diffusion coefficients at different ages with cement amount per cube meter, cementitious materials amount per square meter, cube crushing strength, carbonation depth and dynamic elastic modulus are studied. The test results show that 84d chloride diffusion coefficient has a good linear correlation with cementitious materials amount per square meter. Chloride diffusion coefficients at different ages all reduced with the increase of cube crushing strength, and chloride diffusion coefficients at different ages all have a good linear correlation with 84d cube crushing strength. Chloride diffusion coefficients at different ages all increased with the increase of carbonation depth, and 84d chloride diffusion coefficient has a good linear correlation with carbonation depth. Chloride diffusion coefficients at different ages all reduced with the increase of 84d dynamic elastic modulus.

Key words: concrete; permeability; chloride diffusion coefficient; durability; correlation