



基于滨海建筑防腐蚀要求的 再生混凝土试验研究

颜岳¹, 郭予军², 刘娟红³

(1. 中交建筑设计研究院有限公司, 北京 100007; 2. 交通运输部长江航务管理局, 湖北 武汉 430014;
3. 北京科技大学土木与环境学院, 北京 100083)

摘要: 针对目前我国再生混凝土使用的局限, 着眼于经济、环保的可持续性发展, 从滨海环境混凝土材料面临的主要腐蚀特点出发, 研究再生骨料混凝土满足标准工作性能的抗腐蚀能力。结果表明: 采用粉煤灰掺合料和特定外加剂改性后, C30~C40 再生混凝土强度及耐久性均符合规范对普通混凝土的基本要求, 具有良好的使用前景, 为拓宽再生混凝土利用领域提供了参考。

关键词: 再生骨料; 滨海; 耐久性; 粉煤灰

中图分类号: TU 503

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0036-05

Experimental research on recycled aggregate concrete in littoral corrosive environment

YAN Yue¹, GUO Yu-jun², LIU Juan-hong³

(1. CCCC Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. Changjiang River Administration of Navigational Affairs, MOT, Wuhan 430014, China;

3. Institute of Civil Engineering and Environmental Project, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: This research is carried out under the instruction of pump concrete, mixing with recycled coarse aggregate, to get a conclusion from the durability test against the port corrosion environment. The experiment shows that it is possible to improve the durability of C30~C40 concrete after cement is partly replaced by fly-ash and mixed with specified admixture, so as to fulfill the basic requirement of commercial concrete. It could bring a reasonable orientation to use recycled aggregate concrete for civil structure in port environment, and to provide conditions for the sustainable development of economy and environment.

Key words: recycled aggregate; littoral; durability; fly-ash

21 世纪后, 我国建筑行业对再生资源开展大量的研究和工程实践, 以商品混凝土生产标准要求, 对于再生混凝土的强度、力学性能、吸水性, 形成了比较细致的功能划分, 提出了诸多改善再生混凝土性能的有力措施^[1-3]。

而从目前我国对再生混凝土的使用情况来看, 普遍仍停留在公路建设工程中, 处理方法仅为现场简单再生, 不对骨料采取改性措施提高^[4]; 现

阶段我国大中型城市都具有处理再生骨料的技术条件和材料来源, 但城市住宅建设对混凝土强度及标准化要求较高, 导致生产再生骨料成为鸡肋产业, 无法有效商业化, 得不到长足发展。因此, 如何促使再生混凝土在工民建行业或其行业的某些特定领域首先得到应用, 成为日前推进再生混凝土大规模商品化的主要研究方向。

我国十一五至十二五规划中, 港口工业建设

收稿日期: 2013-10-08

作者简介: 颜岳 (1983—), 男, 硕士, 工程师, 从事建筑结构设计工作。

占据了重要的地位,港口设施的兴修对商品混凝土的需求量保持着平稳增长。由于临港工业民用建筑基本采用多层、单层钢筋混凝土框架结构或钢结构,主结构及基础混凝土设计强度较低(通常不高于C40),这就给再生混凝土在临港工程下使用提供了基本条件;而由于滨海建筑受海风条件及地下水干湿交替影响,结构混凝土主要面临氯化物及硫酸盐侵蚀的危害。笔者通过标准配比试验,研究粉煤灰掺合料及减水剂改性下的C30、C40再生混凝土抗硫酸盐腐蚀及抗 Cl^- 渗透能力。

1 研究目的

根据GB 50046—2008《工业建筑防腐蚀设计规范》, Cl^- 和硫酸盐分别对钢筋及混凝土体耐久性造成较大影响,对一般及以上腐蚀条件下要求混凝土强度等级不低于C30。本试验旨在研究改性后的再生骨料混凝土,在满足滨海环境对混凝土强度要求的前提下,能够通过简单调整骨料掺量和矿物掺合料比率的方法,利用标准试验测得的 Cl^- 渗透性及抗硫酸盐侵蚀后的强度基本不低于或接近普通混凝土。

2 配合比设计

2.1 试验原材料

1) 水泥:北京兴发水泥厂生产的P. O42.5水泥。

2) 细骨料(砂):天然中砂,表观密度 $2\ 650\ \text{kg}/\text{m}^3$,细度模数2.7。

3) 粗骨料为再生骨料,来自北京砂石厂周边公路拆除的混凝土。原混凝土等级C25,经鄂式破碎机粉碎后洗净、筛分和除渣而得,基本为普通粒径石子,表面附着部分旧水泥水化物,参数见表1。

表1 再生骨料基本条件指标

粗骨料	粒径范围/ mm	堆积密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	表观密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	压碎指标/ %	级配
再生骨料	5~30	1 237	2 540	14.9	连续

由表1看出:再生骨料表观密度明显降低,且压碎指标变差,不符合高强度混凝土设计要求^[5]。

4) 掺合料: I级粉煤灰。

5) 外加剂:北京瑞博公司加剂厂生产KRL型减水剂,减水率约20%。

2.2 配合比强度试验

1) 根据标准混凝土配合比设计要求配置C30、C40两个强度等级的混凝土,每种强度各分4组,分别采用0,25%,50%和75%的再生骨料取代率;

2) 用粉煤灰对水泥进行一定比率的超量取代;

3) 根据商品混凝土泵送要求,设计塌落180~220 mm。

表2 再生混凝土C30配合比及试验结果

编号	C/kg	Fa/kg	S/kg	G/kg	RA/kg	W/L	塌落度/ mm	抗压强度/MPa		
								3 d	7 d	28 d
A01	289	66	867	1 060	0	155	180	26.3	25.6	38.0
A02	289	66	867	765	265	163	185	27.5	25.2	39.6
A03	289	66	867	530	530	166	200	24.5	24.8	38.2
A04	289	66	867	265	765	168	190	14.3	24.1	33.6
A11	272	88	867	1 060	0	152	210	21.9	25.1	37.8
A12	272	88	867	765	265	160	215	24.4	27.8	40.9
A13	272	88	867	530	530	165	210	22.1	26.5	38.8
A14	272	88	867	265	765	166	190	23.7	27.0	38.9
A21	255	111	867	1 060	0	154	200	14.7	22.3	37.8
A22	255	111	867	765	265	162	200	15.7	22.8	35.1
A23	255	111	867	530	530	165	190	14.9	23.2	36.3
A24	255	111	867	265	765	172	200	15.1	22.2	36.0
A31	238	133	867	1 060	0	152	180	17.9	29.4	40.9
A32	238	133	867	765	265	173	190	16.3	26.5	35.6
A33	238	133	867	530	530	175	195	13.2	21.3	32.1
A34	238	133	867	265	765	178	190	12.5	20.6	30.3

表3 再生混凝土 C40 配合比及试验结果

编号	C/kg	Fa/kg	S/kg	G/kg	RA/kg	W/L	塌落度/ mm	抗压强度/MPa		
								3 d	7 d	28 d
B01	344	73	800	1 104	0	154	180	31.9	44.8	50.2
B02	344	73	800	828	276	165	185	30.1	45.5	52.1
B03	344	73	800	552	552	170	200	29.1	37.6	48.4
B04	344	73	800	276	828	178	190	25.9	38.8	48.9
B11	324	97	800	1 104	0	183	215	26.4	39.6	48.1
B12	324	97	800	828	276	183	220	27.8	41.3	48.6
B13	324	97	800	552	552	183	210	25.4	43.6	49.6
B14	324	97	800	276	828	198	195	20.7	38.0	44.0
B21	304	122	800	1 104	0	174	200	25.5	27.3	47.2
B22	304	122	800	828	276	174	200	22.8	35.1	49.4
B23	304	122	800	552	552	187	190	20.1	30.2	47.8
B24	304	122	800	276	828	198	200	18.1	30.9	47.5
B31	238	146	800	1 104	0	160	180	22.5	31.8	44.0
B32	238	146	800	828	276	166	195	24.8	38.2	47.1
B33	238	146	800	552	552	170	190	21.9	30.8	47.7
B34	238	146	800	276	828	176	195	21.7	32.2	47.0

注: 1. 编号“设计标号-XX”, A, B 分别表示强度等级 C30、C40; 一数字粉煤灰取代率 0~3, 分别为 15%, 20%, 25%, 30%; 二数字再生骨料掺量 0~3, 分别为 0, 25%, 50%, 75%。

2. 混凝土试块抗压强度采用 10 cm 标准立方试块测定。

以上数据表明, C30、C40 混凝土因水胶比较高, 再生骨料掺量不高于 50%, 利用粉煤灰取代一部分水泥, 降低胶凝材料的水化速度, 虽然早期强度较低, 但完全不影响后期强度^[5], 这与业界的大多数再生混凝土研究结论是相符的。

3 抗硫酸盐腐蚀

硫酸盐对混凝土的侵蚀可能会受到混凝土水胶比、胶砂比、试块尺寸以及养护条件的影响, 并在湿热条件影响下, 使混凝土表面及内部生成单硫型水化硫铝酸钙, 俗称钙矾石。本次试验再生混凝土试块受硫酸盐侵蚀为 25 个循环, 通过试验发现, 经硫酸盐溶液浸泡至一定时期 (约 25 d) 的再生混凝土试块洗净烘干后, 在整体上, 表面仍残留有部分白色的结晶状固体, 并且在试块表面平整处形成比较均匀的分布, 而在坑洼的孔结构表面周围则没有白色固体状物质残留。

根据清华大学冯乃谦教授制定的混凝土硫酸盐侵蚀干湿循环试验要求^[6], 对再生混凝土试块质量损失 5% 后的强度进行测试, 为了更好地表示出再生混凝土受硫酸盐侵蚀后的强度变化情况绘

制出关系曲线 (图 1)。

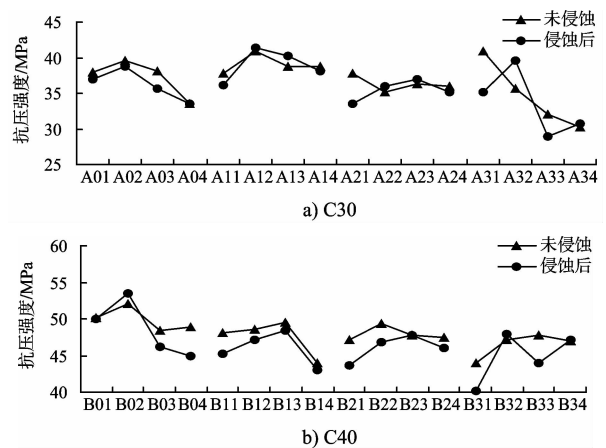


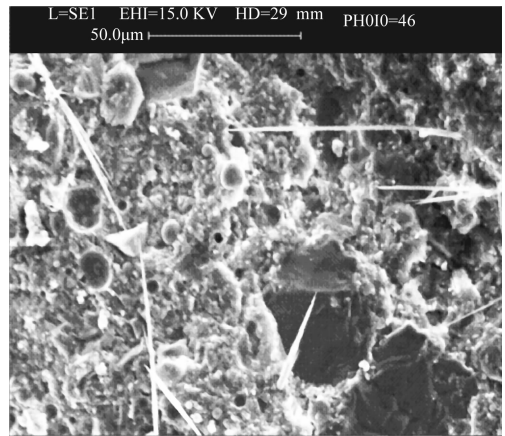
图1 再生混凝土抗压强度与硫酸盐侵蚀关系曲线

由图 1 可看出, 再生骨料掺量在 25%~50% 范围时, 硫酸盐侵蚀反应后强度未见明显降低, 当掺入一定量的粉煤灰后, 更能进一步保障混凝土强度的恒定, 此现象在 C30、C40 再生混凝土中均得到体现。现行 GB 50046—2008 《工业建筑防腐蚀设计规范》规定, 一般腐蚀环境下结构混凝土最低强度等级为 C30, 强腐蚀下应为 C40, 试验则证明了 C30~C40 强度区间内再生混凝土满足一定骨料掺量和合理添加外加剂条件下, 抗硫酸盐

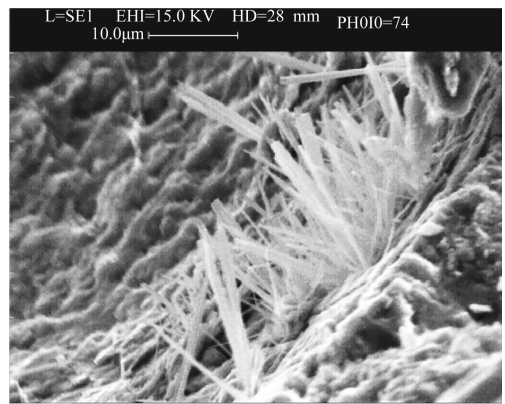
腐蚀能力并不低于普通商品混凝土。

对于产生上述现象的原因,可以从混凝土强度的成因和侵蚀机理角度进行分析。普通混凝土水胶比较大时,混凝土强度决定于骨料与水泥的咬合,受到硫酸盐侵蚀生成钙矾石后,骨料与水泥间结合层膨胀破坏,造成混凝土强度降低。而采用了再生骨料的混凝土试块,当掺入量处于25%~50%,因骨料表面残余旧水泥,与粉煤灰颗粒互相渗透,使结合层处的空隙更小,结合更紧密,阻碍了钙矾石的产生。

图2是将C40再生混凝土经抗硫酸盐标准试验后的试块破碎后经扫描电镜观察下得到的表面情况。可以看出,采用C40再生混凝土,再生骨料掺量不大于50%时,受硫酸盐腐蚀而产生的针状钙矾石密度相对较低;当大于50%,而粉煤灰取代率较高时,产生的钙矾石并不均匀分布在混凝土体内,而是在局部位置产生密度较大的钙矾石簇,体内局部膨胀应力集中,导致混凝土强度变化的离散型,如图1中A32、A33及B33试样结果,说明再生骨料掺量低于50%,混凝土体内钙矾石发展得到了有效遏制。



b) B23



c) B33

图2 硫酸盐侵蚀后的C40再生混凝土骨料细部表面结构SEM图



a) B13

4 抗氯离子渗透

本试验采用NEL法^[7],即清华大学路新瀛教授利用Nernst-Einstein方程将氯离子扩散系数的确定转变为混凝土电导率的测量的一种方法。经浓度为4%的NaCl溶液在真空状态下水饱和后的再生混凝土试块,通过试验机测得氯离子扩散系数(Chlorine Diffusion Coefficient, CDC),本次试验根据所选配合比得到100×100×50再生混凝土试块,所得试验结果见表4,5。

表4 C30再生混凝土氯离子扩散系数

编号	A01	A02	A03	A04	A11	A12	A13	A14	A21	A22	A23	A24	A31	A32	A33	A34
CDC/(10 ⁻⁸ cm ² ·s ⁻¹)	3.2	3.1	3.8	4.1	3.0	3.0	3.6	3.4	3.3	4.4	3.7	4.2	3.8	5.6	5.0	4.9

表5 C40再生混凝土氯离子扩散系数

编号	B01	B02	B03	B04	B11	B12	B13	B14	B21	B22	B23	B24	B31	B32	B33	B34
CDC/(10 ⁻⁸ cm ² ·s ⁻¹)	3.3	2.8	3.6	4.0	3.0	3.6	2.8	2.8	2.4	2.2	2.6	2.5	3.6	3.9	3.6	4.4

表中数据显示,再生粗骨料掺量较低时,氯离子扩散程度与普通混凝土相仿,掺量为 50% 时再生混凝土的氯离子扩散稍有增大;再生骨料的影响无论对 C30 还是 C40 混凝土都保持一致,说明对中低强度再生混凝土来讲,水胶比不再是其氯离子抗渗性能的唯一影响因素。

掺入适量的粉煤灰 (20% 左右),对低水胶比再生混凝土,可提高骨料与水泥交界面环境的密实程度,但效果并不明显;掺量过高时,整体胶凝材料的水化变慢,在试验环境下容易造成氯离子渗透。

降低的原因可能是由于混凝土掺入再生骨料后在 28 d 的养护条件下还未能达到一个理想的致密状态,或再生混凝土中新旧水泥交界面对于空隙结构造成了整体上的影响。

虽然由于试验条件和时间的限制无法进行更长时间养护和测试,但从以上表中氯离子渗透能力分布特点并根据氯离子渗透原理,可以推断出再生骨料表面裂隙较多的结构特点并没有影响其混凝土体的密实性,这使得再生混凝土在氯离子浓度较高的环境下仍能保持良好的工作状态。

5 结语

1) 一般强度等级的再生混凝土,保持 25% ~ 50% 的再生骨料掺量,其后期强度不低于普通混凝土,加入粉煤灰掺合料和泵送外加剂后能够具有良好的工作性能及稳定性。

2) 再生骨料表面的旧水泥附着层容易与新水泥产生水化反应,加强了骨料与胶凝材料间的结

合,对于 C40 以下混凝土抗硫酸盐侵蚀能力相比普通混凝土有所提高,同时在硫酸盐侵蚀环境下能够维持良好的抗压强度水平。

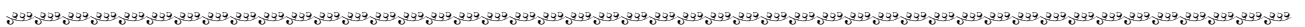
3) 中低强度再生混凝土,采用少量掺合料取代水泥,能提高再生混凝土体密实性,巩固了其抵抗氯离子渗透的能力,与普通商品混凝土相比没有明显降低,从而满足《工业建筑防腐蚀设计规范》对基础及地下结构混凝土的要求。

4) 通过主要耐久性强度试验,可以证明将再生混凝土运用于临港民用建筑施工,同样可保证结构安全和耐久可靠度。如能对再生混凝土进行商品化,对港口工业建设创造很大的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 李俊,尹健,周士琼,等.基于正交试验的再生混凝土强度研究[J].土木工程学报,2006(9):43-46.
- [2] 郑红,黄崇峰.对再生混凝土的探讨研究[J].城市建设理论研究,2012(20):56-58.
- [3] 刘娟红,颜岳.再生混凝土筒支梁静力荷载下性能研究[J].武汉理工大学学报,2008(8):113-116.
- [4] 孙跃东,周德源.我国再生混凝土的研究现状和需要解决的问题[J].混凝土,2006(4):25-28.
- [5] 吴中伟,廉慧珍.高性能混凝土[M].北京:中国铁道出版社,1999.
- [6] 冷发光,张仁瑜.混凝土标准规范及工程应用[M].北京:中国建材工业出版社,2005.
- [7] 廉慧珍,路新瀛.按耐久性设计高性能混凝土的原则和方法[J].建筑技术,2001(1):8-11.

(本文编辑 郭雪珍)



著作权授权声明

全体著作权人同意:论文将提交《水运工程》期刊发表,一经录用,本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。