

文章编号: 1002-0268 (2005) 03-0082-04

桥用高性能混凝土长期耐久性试验研究

王斐峰, 邓学钧, 秦鸿根
(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 滨州黄河大桥主桥是三塔预应力混凝土斜拉桥, 桥塔采用 C55 高性能混凝土。在混凝土中掺加粉煤灰等活性掺和料, 配制不同配合比的 C55 高性能混凝土, 并对可能采用的 C55 高性能混凝土的长期耐久性、混凝土收缩、抗渗、碳化和钢筋锈蚀以及混凝土的抗氯盐侵蚀和抗硫酸盐侵蚀性能进行了试验研究。结果表明, 掺加活性掺和料有助于提高混凝土的长期耐久性。

关键词: 预应力混凝土斜拉桥; 高性能混凝土; 耐久性; 活性掺和料

中图分类号: U448.33

文献标识码: A

Experimental Research on Durability of High Performance Concrete for Bridge

WANG Fei-feng, DENG Xue-jun, QIN Hong-gen
(Transportation College, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096 China)

Abstract: Binzhou Yellow River Bridge, which is a three-tower prestressed concrete cable-stayed bridge, applies the C55 concrete in the towers. C55 high performance concrete of different mix proportion could be produced by adding active supplementary material such as flyash into it. A series of experiment, such as shrinkage, anti-infiltration, carbonation, steel corrosion, are carried out to ensure durability of concrete. Complementary experiment, such as chloride and sulphate diffusion, is also carried through for the concrete. The durability of concrete is enhanced by using of active supplementary material.

Key words: Prestressed concrete cable-stayed bridge; High performance concrete; Durability; Active supplementary material

0 前言

滨州黄河大桥为新建 205 国道高速公路跨越黄河的重要桥梁。主桥为三塔预应力混凝土斜拉桥, 跨度为 $42\text{m} + 42\text{m} + 300\text{m} + 42\text{m} + 42\text{m}$, 主桥的桥塔采用 C55 高性能混凝土。国际上一般把抗压强度高于 50MPa 的混凝土称为高强混凝土 (HSC)。滨州黄河大桥所选用高性能混凝土 (HPC) 除了要求具有优异的力学性能外, 还要具有良好的施工性能和耐久性。

高性能混凝土耐久性的大幅提高, 降低了混凝土在各种严酷条件下, 诸如暴露于有害气体或受到各种有害离子的侵蚀而带来的破坏性, 从而使结构的使用寿命延长, 具有巨大的经济效益和社会效益。

在对不同配合比的 C55 高性能混凝土工作性能和力学性能的系统试验研究基础上, 对其长期耐久性进行试验研究。依据 GBJ82-85 标准对混凝土进行干燥收缩、抗渗、碳化和钢筋锈蚀性能试验, 并对混凝土抗氯盐侵蚀和抗硫酸盐侵蚀性能进行试验, 进而分析粉煤灰、矿渣微粉等活性掺和料对高强混凝土的耐久性的影响。

1 混凝土配合比

配制混凝土所用的原材料如下:

水泥 (代号 C): 山东铝业公司水泥厂, 42.5P°
O; 砂 (代号 S): 粗砂; 碎石 (代号 G): 5~25mm 连续级配; 粉煤灰 (代号 FA): 山东鲁能邹城电厂球

收稿日期: 2004-07-22

作者简介: 王斐峰 (1972—), 男, 山东曲阜人, 博士, 主要研究方向为桥梁工程。

形粉煤灰;外加剂(代号 A):NF-II、NOF-2B 缓凝高效减水剂(掺量 2.5%);矿渣微粉(代号 SL):南京江南粉磨有限公司,S95 级。所选试验用混凝土配合比见表 1。

表 1 C55 高性能混凝土配合比

组别	C / kg·m ⁻³	掺合料 / kg·m ⁻³	S / kg·m ⁻³	G / kg·m ⁻³	W / kg·m ⁻³	外加剂 W/C / %	S _p / %
F0	500	—	697	1090	158	12.5	0.32
F10	458	50	673	1096	150	12.7	0.30
F14	442	70	650	1105	150	12.8	0.30
F18	430	FA94	636	1080	147	13.1	0.27
SL25	390	SL130	687	1074	146	13.0	0.28
F12SL15	390	FA62+SL78	652	1063	152	13.3	0.29

2 混凝土耐久性试验

2.1 高性能混凝土干燥收缩性能

对滨州黄河大桥桥用 C55 高性能混凝土进行干燥收缩性能试验,试验结果见表 2。

表 2 C55 混凝土干燥收缩率

组别	FA / %	SL / %	干燥收缩率/ %						
			3d	7d	14d	28d	90d	120d	240d
F0	0	—	0.0165	0.019	0.0255	0.0344	0.0375	0.0391	0.0469
F10	10	—	0.0143	0.016	0.0181	0.0297	0.0341	0.0357	0.0444
F14	14	—	0.0121	0.0146	0.025	0.0308	0.0341	0.0355	0.0455
F18	18	—	0.0054	0.0118	0.017	0.028	0.0356	0.0383	0.0456
S25	—	25	0.0166	0.0167	0.0226	0.0339	0.0404	0.0430	0.0462
F12SL15	12	15	0.0109	0.0109	0.0221	0.0304	0.0353	0.0370	0.0420

试验结果表明:

(1) 上述 6 组混凝土的干缩率随龄期增长而增大,早期较快,后期减缓,28d 干缩率在 (2.8~3.5) × 10⁻⁴,240d 在 (4.2~4.7) × 10⁻⁴。

(2) 掺合料的品种对干缩率有一定影响,一般掺 I 级粉煤灰有利于减小干缩率,而掺矿渣微粉则会使干缩率有所增大(特别是早期)。采用双掺时可使混凝土干缩率有所减小。

(3) 粉煤灰掺量在 18%以内时,随粉煤灰掺量增加混凝土干缩率减小。

2.2 高性能混凝土抗渗性能

C55 高性能混凝土抗渗性试验依据 GBJ82-85 标准进行,抗渗试验结果列于表 3 中。

表 3 C55 高性能混凝土抗渗性能

组别	强度等级	FA/ %	SL/ %	抗渗压力/MPa	渗水高度/ mm
F0	C55	0	—	1.2	20
F14	C55	14	—	1.2	14
F18	C55	18	—	1.2	10
SL25	C55	—	25	1.2	15
F12SL15	C55	12	15	1.2	18

试验结果表明:

(1) 试验混凝土具有很好的抗渗性,按标准方法采用逐级加压法,水压力达 1.2MPa 时,渗水高度均 ≤ 20mm,均满足 P12。

(2) I 级粉煤灰或矿渣微粉的掺入均有助于混凝土抗渗性的提高,且在一定范围内随掺量的增大而提高。

2.3 混凝土抗碳化试验

碳化是钢筋混凝土和预应力混凝土的一项重要的耐久性指标,对 C55 高性能混凝土进行系统碳化试验,试验结果列于表 4 中。

表 4 C55 高性能混凝土碳化试验结果

组别	FA/ %	SL/ %	外加剂	碳化深度/ mm		
				14d	28d	56d
F0	0	—	NF-II	5	6	6
F10	10	—	NF-II	6	7	6
F14	14	—	NF-II	6	7	7
F18	18	—	NF-II	6	7	8
F12SL15	12	15	NF-II	6	7	7

试验结果表明:

(1) 碳化寿命预测,在标准条件下试验结果表明,C55 混凝土具有良好的抗碳化性能,在标准碳化条件下碳化 28d,其量纲相当于大气条件下碳化 50 年,其混凝土碳化深度均不超过 7mm,与对比组混凝土碳化深度相近。

(2) 所配制 C55 高性能混凝土具有良好的抗碳化性能,不论是掺粉煤灰或矿渣微粉,其碳化深度均不大。其碳化深度 28d < 7mm,56d < 8mm。

(3) 对采用普通硅酸盐水泥配制 C55 混凝土,掺入粉煤灰或矿渣微粉,抗碳化性能与不掺的混凝土相近。

2.4 高性能混凝土钢筋锈蚀试验

普通混凝土中的钢筋在强碱溶液 (PH>12) 中,其表面生成钝化膜,不易生锈,但如果混凝土中 CL⁻含量过多,或由于碳化过大使保护层混凝土中性化,钢筋表面钝化膜破坏而导致钢筋锈蚀。对 C55 高性能混凝土进行抗钢筋锈蚀试验,试验结果列于表 5 中。

表 5 混凝土钢筋锈蚀试验

组别	碳化深度/ mm		钢筋锈蚀情况	
	28d	90d	失重率/ %	表面状况
F0	5.0	6.0	0.055	光亮
F10	4.5	5.5	0.039	光亮
F14	5.0	6.0	0.044	光亮
F18	6.0	7.0	0.035	光亮

注:28d 为标准碳化试验时间,90d 为碳化时间和放于标养室的时间之和,其中标养时间为 28d。

试验结果表明：掺入 10%~18%的 I 级粉煤灰的混凝土钢筋失重率小于不掺粉煤灰的对比混凝土，钢筋耐锈蚀性能优于不掺的混凝土。

2 5 高性能混凝土耐氯盐锈蚀的性能

按照 JTJ270-98 标准方法制备 C55 高性能混凝土，标养 28d 后置于 3.5%的 NaCl 溶液中浸泡 70h，再烘干 24h，循环 15 次。测其强度损失率和混凝土中不同部位砂浆的水溶性氯离子含量，试验结果见表 6。

表 6 高性能混凝土在氯盐溶液中加速腐蚀试验结果

组别	FA/ %	SL/ %	抗压强度/MPa		强度损失率/ %	CL-含量/ %		
			腐蚀试件	同龄期对比试件		A	B	C
F0	0	0	60.8	70.1	13.3	0.90	0.47	0.29
F18	18	0	66.7	69.8	4.2	0.52	0.27	0.19
SL25	0	25	63.7	74.6	14.6	0.75	0.32	0.23
F12SL15	12	15	70.6	73.9	3.6	0.57	0.26	0.16

注 砂浆位置距原表面 A: 0~6mm, B: 10~16mm, C: 20~26mm (靠钢筋)

氯盐加速腐蚀试验结果表明:

(1) 经氯盐溶液 15 次烘浸循环，混凝土表层氯离子含量明显增加，且随深度而逐渐减小。严重者会引起钢筋锈蚀。

(2) 经氯盐腐蚀后的混凝土抗压强度明显降低，其强度损失的规律与所测 CL-含量的规律基本一致，但降低的幅度与掺合料的品种与数量有关。

(3) 在混凝土中掺粉煤灰和矿渣微粉使混凝土中的 CL-含量明显降低，混凝土抗压强度损失减小。掺 18%的 I 级粉煤灰和双掺 12%I 级粉煤灰和 15%矿粉的两组尤为明显，同深度 CL-含量减少 40%左右。

2 6 高性能混凝土耐硫酸盐腐蚀性能

固体盐并不侵蚀混凝土，但是盐溶液却能与硬化水泥浆发生化学反应，硫酸盐与 Ca (OH) 2 及水化铝酸钙反应，就会对水泥产生侵蚀，其反应物为石膏与硫酸钙，引起混凝土膨胀与开裂。

2 6. 1 抗 SO4⁻ 腐蚀试验

将配制的 C55 高性能混凝土标养 28d，置于 5% Na2SO4 溶液中进行浸 (72h) 烘 (24h)，反复循环 15 次，测其抗压强度的变化，以比较不同的掺合料对高性能混凝土抗硫酸盐腐蚀性能的影响。试验结果列于表 7 中。

表 7 C55 高性能混凝土抗硫酸盐腐蚀试验结果

组别	FA/ %	SL/ %	抗压强度/MPa		强度损失率/ %
			同龄期试块	腐蚀试件	
F0	0	0	70.1	63.0	10.1
F18	18	0	69.8	67.1	3.9
SL25	—	25	74.6	69.4	7.0
F12SL15	12	15	73.2	68.1	7.0

试验结果表明，所配制的掺加活性掺合料的 C55 高性能混凝土，抗压强度损失率小于不掺掺合料的混凝土。掺加活性掺合料有利于提高混凝土的抗硫酸盐腐蚀性能。

2 6. 2 硫酸盐快速腐蚀试验

参照石子坚固性试验方法，将 C55 高性能混凝土试件标养 28d 后，进行硫酸盐结晶溶解快速腐蚀试验，在硫酸盐饱和溶液 (含无水硫酸钠 30%~35%) 中浸泡 6h，且在 80℃烘箱中烘 6h 为一次腐蚀循环，共进行 10 次循环，试验结果列于表 8 中。

表 8 高性能混凝土快速腐蚀试验

组别	FA/ %	SL/ %	抗压强度/MPa		强度损失	
			28d	快速腐蚀后	/ %	比值
F0	0	0	63.2	25.3	60.0	100
F14	14	0	68.7	44.7	34.9	58.1
F18	18	0	68.1	38.8	43.0	71.7
F12SL15	12	15	73.7	45.5	38.3	63.8

材料在硫酸盐过饱和溶液中浸泡和高温烘干的条件下进行结晶溶解快速循环试验是砂石坚固性试验的基本方法，它比抗冻性更快速，对含孔材料具有更大的破坏力。

试验结果表明，在 C55 高性能混凝土中，掺入 18%以内的 I 级粉煤灰或双掺 12% 粉煤灰与 15%的矿渣，混凝土强度损失率减小 30%~40%，极大地改善了高性能混凝土的抗硫酸盐腐蚀性能。

3 结论

试验研究结果表明，在桥用 C55 混凝土中掺入一定量的 (10%~25%) 的粉煤灰，矿渣微粉或双掺，对提高桥梁结构混凝土的长期耐久性是十分有利的。

(1) 掺 10%~18% I 级粉煤灰的混凝土干燥收缩率低于不掺粉煤灰的；而掺磨细矿渣微粉的混凝土，其干燥收缩率高于掺粉煤灰的混凝土。

(2) 掺活性掺合料的混凝土具有良好的抗渗性，活性掺合料有利于混凝土抗渗性的提高。

(3) 掺活性掺合料对混凝土抗碳化和抗钢筋锈蚀性能有所提高，但影响幅度较小。

(4) 在沿海地区和重化工工业区，混凝土的抗氯盐和硫酸盐侵蚀性能是非常重要的。在混凝土中掺入 10%~25%的粉煤灰、矿渣微粉或双掺可以改善混凝土抗氯盐和硫酸盐侵蚀的性能。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路桥涵施工技术规范 (JTJ041-2000) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

[2] 夏威, 程刚. 高钙粉煤灰与矿渣的符合及大掺量用于高性能混凝土的研究 [J] . 混凝土与水泥制品, 2004, 136 (2): 1—5

[3] 许建荣, 何锦华, 季绿梅. 浅析外加剂对人防混凝土性能的影响 [J] . 混凝土与水泥制品, 2004, 137 (3): 21—23.

[4] A A Di Maio, L J Lima, L P Traversa. Chloride profiles and diffusion coefficients instructure located in marine environments [J] . Structural Concrete, 2004, 5 (1): 1—4.

[5] N shafiq Effects of fly ash on chloride migration in concrete and calculation of cover depth required against the corrosion of embedded steel reinforcement [J] . Structural Concrete, 2004, 5 (1): 5—9.

[6] R Selvaraj, S Muralidharan, S Srinivasan. The influence of silica fume on the factors affecting the corrosion of reinforcement in concrete-a review [J] . Structural Concrete, 2004, 4 (1): 19—23

[7] S Helland. Service life of concrete offshore structures [J] . Structural Concrete, 2004, 2 (3): 121—125.

[8] J Strasky. The power of prestressing [J] . Structural Concrete, 2003, 4 (1): 25—43.

[9] Michel Virboguex New trends in prestressed concrete bridges [J] . Structural Concrete, 2002, 3 (2): 67—97.

(上接第 77 页)

应力,属于全预应力混凝土构件。各控制截面的受压区的压应力也不会超出《公路桥涵设计规范》的容许压应力。在正常使用极限状态下,桥梁具有足够的抗弯承载能力。

(4)在偏载作用下,会产生向上的支座反力,但不会大于由自重、恒载产生的边支座的压力,不会产生锐角或钝角上翘现象。在对称荷载作用下,支座反力分布比较均匀。

(5)在整个试验过程中,没有观测到裂缝。

(6)成桥的动载试验表明,20m 的预应力混凝土矮 T 梁桥的固有频率的实测平均值为 6.5 Hz,试验测得的结构阻尼比为 0.042,符合 20m 简支梁桥的阻尼比范围。实测的桥梁冲击系数 $(1+\mu)$ 的平均值为 1.1495,与设计值 1.195 相接近。因此可以认为预应力混凝土矮 T 斜梁桥的动力性能良好。

6 结语

对新庙矮 T 斜梁桥实桥荷载试验研究表明,该桥具有很好的静力和动力性能,并且试验结果与理论分析结果^[3]吻合良好。该类结构可以用于平原地区的中、小跨径公路桥梁,研究结果对中、小跨径的斜梁桥设计具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 王焕定,等.有限单元法及计算程序 [M] . 北京:中国建筑工业出版社,1997.

[2] 黄平明.混凝土斜梁桥 [M] . 北京:人民交通出版社,1999.

[3] 夏淦,邵容光.斜梁结构分析 [M] . 南京:江苏科学技术出版社,1995.

[4] Kahleel, Mohammad A, Itani, Rafik Y. Live-Load moments for continuous skew bridges [J] . J. Struct. Eng., 1990, 116 (9) .

[5] 黄侨,金秀辉,张连振.装配式预应力混凝土矮 T 梁力学性能及施工工艺研究报告 [R] . 2002