



疏水化合孔栓物对高性能混凝土性能影响的试验及应用

杨海成¹, 高 军², 熊建波¹, 王迎飞¹, 范志宏¹

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230;
2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 研究疏水化合孔栓物对不同强度等级的高性能混凝土工作性、力学性能及耐久性的影响。结果表明: 疏水化合孔栓物可改善新拌混凝土工作性、显著降低混凝土吸水率, 混凝土吸水率普遍降低50%以上, 同时可提高混凝土抗氯离子渗透性。疏水化合孔栓物降低混凝土早期强度, 但对后期强度无明显影响。该内掺型疏水材料在范和港跨海大桥、东华大桥等工程中得到推广应用, 显著提高了混凝土结构耐久性。

关键词: 疏水化合孔栓物; 高性能混凝土; 工作性; 力学性能; 抗氯离子渗透性

中图分类号: TU 528

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0113-05

Experimental research on influence of hydrophobic poreblocking ingredient (HPI) on performance of high-performance concrete and engineering application

YANG Hai-cheng¹, GAO Jun², XIONG Jian-bo¹, WANG Ying-fei¹, FAN Zhi-hong¹

(1. Key Laboratory of Harbor & Marine Structure Durability Technology, Ministry of Communications, CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China; 2. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: The influence of hydrophobic poreblocking ingredient (HPI) on the workability, mechanical property, and durability of concrete with different strength grades is studied. The research result shows that the HPI can improve the fresh concrete's workability and reduce water absorption of concrete significantly by more than 50%. The HPI can enhance concrete chloride ion's penetration resistance at the same time. It can reduce the early concrete strength, but it has no obvious difference at the later stage. The PI was used in Fanhegang bridge and Donghua bridge and improved the durability of concrete structure significantly.

Keywords: hydrophobic poreblocking ingredient (HPI); high-performance concrete; workability; mechanical property; chloride ion penetration resistance

对于处于海洋环境下的港口码头、道路桥梁等海工混凝土结构, 氯盐侵蚀是导致混凝土结构破坏的最重要原因^[1]。为提高混凝土结构耐久性, 通常需要采用耐腐蚀的高性能混凝土, 同时针对不同构件所处的腐蚀环境特点, 采取必要的附加防腐技术措施^[2], 比如表面涂层^[2]、硅烷浸渍^[3]、透水衬里模板布^[4]等。表面涂层、浸渍硅

烷等表面防腐技术, 易受表层混凝土性能的影响, 一旦表层混凝土开裂、受到磨损等, 防护效果将大大降低, 同时还面临长期暴露在室外环境中材料自身老化等问题。因此, 通过在新拌混凝土内掺憎水材料制备具有整体防水性能的混凝土, 可有效克服传统表面防腐材料的缺点。目前, 对于内掺型混凝土防水防腐材料的研究较少, 现阶段

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 杨海成 (1982—), 男, 硕士, 工程师, 从事海工混凝土材料耐久性方面的相关技术工作。

主要有内掺型硅烷乳液和疏水化合孔栓物混凝土内掺型的防腐剂,但内掺型硅烷乳液制备整体防水混凝土还基本处于理论研究阶段,未见相关工程应用^[5-6]。

疏水化合孔栓物(HPI)是一种新型的制备整体混凝土防水防腐添加剂,其机理是通过改变混凝土毛细孔表面张力提高材料的憎水性。另一方面,在受到外界水压作用下,分散在混凝土毛细孔的孔栓物聚集在毛细孔,进而形成“塞子”堵塞毛细孔,防止外界水及其它有害介质渗入,理论上能够在受到水压或无水压的情况下有效地抑制水的吸收和渗透,提高混凝土结构的耐久性。其在国内外相关工程中已得到一定的应用研究,但相关研究还不够系统。本文针对常用的3种不

同强度等级高性能混凝土,系统开展了内掺型疏水化合孔栓物对混凝土工作性、力学性能及耐久性影响的试验研究,为工程应用提供技术参考,同时可为海工混凝土结构防腐蚀技术措施的选择提供新的技术途径。

1 试验方案

1.1 原材料及配合比

水泥采用粤秀 PII42.5R 硅酸盐水泥,水泥化学成分见表1,物理性能指标见表2。

表1 水泥化学成分配比

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	f _{CaO}	Cl ⁻	SO ₃
配比/%	19.31	5.02	4.76	66.36	1.2	0.26	0.006 2	0.82

表2 水泥物理性能指标

品种等级	初凝时间/min	终凝时间/min	煮沸安定性/mm	标稠用水量/%	抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
					3 d	28 d	3 d	28 d
P. II 42.5R	100	166	合格	25.0	7.0	9.4	32.0	53.5

粗骨料采用珠海建邦石场生产的花岗岩碎石(5~20 mm),表观密度2.70 g/cm³,紧密堆积密度为1.63 g/cm³,针片状含量2.3%,压碎值3.0%;细骨料采用广东西江砂,表观密度为2.64 g/cm³,细

度模数为2.7,含泥量为0.4%,泥块含量为0.2%。

粉煤灰采用珠江电厂II级灰,具体物理性能指标见表3;采用韶钢嘉羊生产的粒化高炉矿渣粉,其物理性能见表4。

表3 粉煤灰的物理性能

项目	细度(45 μm)/%	需水量比/%	SO ₃ /%	Cl ⁻ 含量/%	碱含量/%	含水率/%	烧失量/%	等级
珠江电厂	8	99	1.87	0.022 3	1.4	0.07	2.55	II级灰

表4 粒化高炉矿渣粉的物理性能

项目	比表面积/(m ² ·kg ⁻¹)	流动度比/%	烧失量/%	活性指数/%	
				7 d	28 d
韶钢嘉羊	410	99	0.49	84	99

内掺型防水防腐剂采用澳大利亚敏益集团生产的“克汰—CP1”牌疏水化合孔栓物,掺量为产品推荐掺量,即每立方米混凝土中掺入30 L“克汰—CP1”疏水化合孔栓物,并等量替换同质量的拌和用水。

混凝土成型拟选用的配合比见表5。该配合比考虑了C35、C45、C55共3个强度等级,基本涵盖了海工混凝土常用混凝土强度等级,并采用高性能混凝土复掺粉煤灰和磨细矿渣粉等矿物

掺合料的技术手段配制混凝土,以更紧密结合现场实际工况。在此基础上,通过内掺疏水化合孔栓物等量替换同质量的拌和用水,衍生出另外3个配合比。

表5 混凝土配合比

编号	强度等级	水胶比	胶凝材料总量	胶凝材料比例/%			疏水化合孔栓物/kg
				水泥	粉煤灰	矿粉	
P1	C35	0.45	380	40	20	40	0
P2	C45	0.35	420	40	20	40	0
P3	C55	0.32	450	40	20	40	0
S1	C35	0.45	380	40	20	40	30
S2	C45	0.35	420	40	20	40	30
S3	C55	0.32	450	40	20	40	30

1.2 测试方法

1.2.1 工作性

新拌混凝土的坍落度、坍落扩展度及凝结时间参照 GB/T 50080—2002 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》。

1.2.2 吸水率

参照 BS1881^[7]: Part122: 1983 测试方法混凝土吸水率, 主要测试流程: 成型 15 cm × 15 cm × 15 cm 混凝土立方体试件, 标准养护测试龄期前 4 d 时, 钻芯切割成 ϕ 7.5 cm × 7.5 cm 的芯样; 芯样在温度 (105 ± 5) °C 的烘箱中干燥时间为 (72 ± 2) h, 冷却 (24 ± 0.5) h 后开始吸水试验; 试验前称取

样品初始质量, 称重后将样品放入水中, 顶面距离水面距离为 (25 ± 5) mm, 浸泡时间为 30、60 及 120 min 后, 取出测试, 计算混凝土吸水率。

1.2.3 抗氯离子渗透性

抗氯离子渗透性参照 GB/T 50082—2009 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》中“电通量法”测试混凝土的抗氯离子渗透性能。

2 试验结果分析

2.1 工作性

不同强度等级 (C35、C45、C55) 新拌混凝土的工作性及凝结时间见表 6 和图 1 ~ 2。

表 6 混凝土工作性及凝结时间

编号		坍落度/mm		扩展度/mm	初凝时间	终凝时间	减水剂掺量/%
		初始	1 h				
P1	空白	185	70	390	6 h10 min	8 h50 min	0.30
S1	克汰	190	90	395	7 h30 min	10 h35 min	0.40
P2	空白	210	110	525	6 h	8 h35 min	0.50
S2	克汰	200	140	540	7 h20 min	10 h20 min	0.65
P3	空白	230	120	545	5 h	7 h30 min	0.60
S3	克汰	220	190	565	8 h	10 h40 min	0.95



a) P3



b) S3

图 1 疏水孔栓物对新拌混凝土工作性的影响

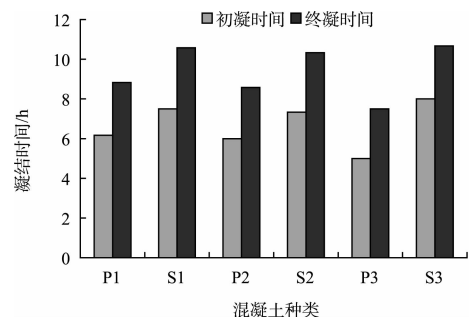


图 2 内掺疏水材料后混凝土凝结时间的影响

由表 1 和图 1 分析可知: 加入“克汰”疏水孔栓物, 可改善新拌混凝土的工作性, 提高新拌混凝土的和易性和粘聚性, 降低混凝土坍落度损失。相比空白混凝土, 掺加克汰的新拌混凝土, 1 h 坍落度损失低于空白混凝土。但试验发现, 在获得相同坍落度时, 掺加“克汰”疏水材料的新拌混凝土需要减水剂的掺量需适当增大, 并且水胶比越低, 需要增加的减水剂的量就越大。

由表1及图2分析可知：掺加“克汰”疏水化合孔栓物的新拌混凝土，其凝结时间（初凝时间和终凝时间）有所延长，说明“克汰”疏水化合孔栓物具有一定的缓凝作用，通常凝结时间延迟1~3 h。分析其主要是由于疏水化合孔栓物本身作为一种疏水材料，能够延缓胶凝材料的水化进程，从而延长胶凝材料的凝结时间。“克汰”疏水化合孔栓物的缓凝作用，可延迟大体积混凝土的早期温升，有利于控制大体积混凝土结构温度裂缝的发生。

2.2 力学性能

不同强度等级混凝土力学性能见图3。由图3可知：在新拌混凝土中掺加“克汰”疏水化合孔栓物后，混凝土的早期（7 d）强度有所降低，并且降低幅度对低水胶比的混凝土影响更加明显。如水胶比为0.45混凝土（配合比P1、S1），相比未掺加“克汰”疏水材料的空白混凝土（P1），掺加“克汰”的混凝土S1，其7 d强度基本与空白混凝土相当，而对于水胶比为0.32的混凝土（配合比P3、S3），掺加“克汰”的混凝土S3 7 d的强度降低了8 MPa。分析可能是由于“克汰”疏水化合孔栓物是一种具有疏水特性的乳液，在新拌混凝土中采用“克汰”等量替换拌和用水量，造成新拌混凝土中可用于胶凝材料水化的拌和用水量减小，并且“克汰”材料本身具有疏水特性，可能在一定程度上延缓胶凝材料水化速度，从而造成混凝土早期强度低于空白混凝土，并且这种影响对于低水胶比的混凝土影响更加显著。但“克汰”疏水孔栓物对混凝土后期（28 d、56 d）强度的影响相对较小，在28 d及56 d时混凝土抗压强度基本与空白混凝土相当。

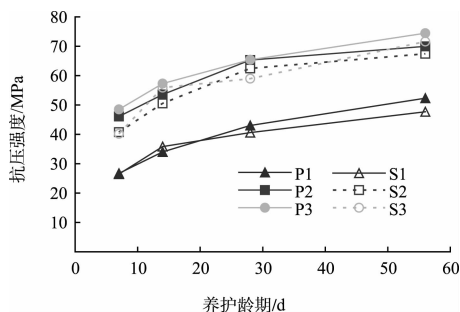


图3 内掺疏水材料后不同强度等级混凝土的抗压强度

2.3 混凝土吸水率

水是有害介质侵入混凝土结构最为重要的载体。对处于浪溅区的海工混凝土结构，混凝土中毛细管的虹吸作用能够快速将含有腐蚀性介质的海水吸入混凝土内部，进而引起混凝土中钢筋锈蚀和结构性能劣化。采用混凝土吸水率可评价混凝土吸水特性，是描述混凝土耐久性的重要指标之一，在一定程度上可表征表层混凝土渗透性、孔隙特征等参数。

图4为不同强度等级的混凝土在7、28 d时测试的吸水率。

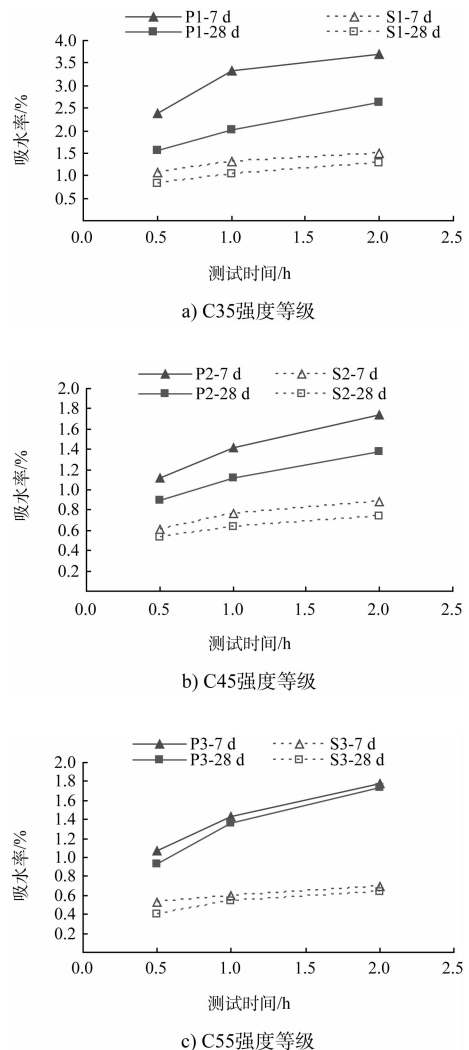


图4 内掺疏水材料后不同强度等级混凝土的吸水率

由图4可知，在混凝土中掺加“克汰”疏水孔栓物，可显著降低混凝土的吸水率，不同强度等级混凝土吸水率普遍降低了50%以上；且不同强度等级混凝土在7 d龄期时吸水率低于1.0%。

分析可能是由于“克汰”疏水化合孔栓物改变了混凝土及内部毛细孔表面张力,使其表面产生憎水效果,同时分散在混凝土毛细孔内部的孔栓物,堵塞了孔隙的连通性,从而可有效降低混凝土的吸水率。同时混凝土的吸水率随养护龄期的延长存在降低趋势,其主要是由于随养护时间的延长,胶凝材料不断水化,混凝土内部相对更加密实,从而改善了混凝土内部微孔结构,降低了混凝土的吸水率。混凝土吸水率随水胶比的减小同样存在降低趋势。

2.4 混凝土抗氯离子渗透性

图5为内掺疏水化合孔栓物后混凝土的电通量的变化趋势。由图5分析可知,混凝土中掺加“克汰”疏水化合孔栓物,可降低混凝土的电通量,提高混凝土抗氯离子渗透性,28 d龄期时疏水孔栓物对不同强度等级混凝土电通量降低幅度在10%以上;但“克汰”疏水材料对混凝土电通量的降低效果没有吸水率降低幅度明显,分析可能由于采用电通量法测试时,混凝土在60 V直流电场作用下加速了离子迁移,而在一定程度上弱化了疏水孔栓物对混凝土毛细孔的堵塞效果。

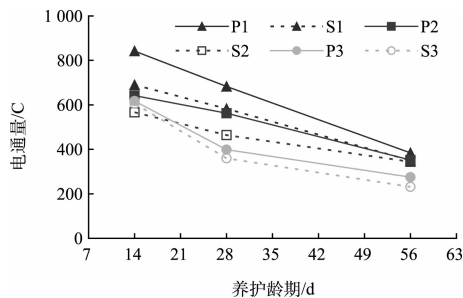


图5 内掺疏水材料对混凝土电通量的影响

3 工程应用^[8-10]

范和港跨海大桥位于广东省惠州市南部,横跨大亚湾东侧的范和港海湾。桥梁全长2.741 km,主桥采用双塔单索面预应力混凝土斜拉桥,跨径组合为152 m + 300 m + 152 m。主塔塔高78 m,采用独柱型塔。桥址位于大亚湾内海湾,为半封闭性水域,因受径流影响小,海域含盐度主要受外海水团控制,低潮位时水体含盐度为14‰,高潮位时水体含盐度为20‰。根据海水腐蚀环境作用

等级的划分,大桥墩身、承台、主塔等混凝土结构腐蚀环境作用等级为F级,耐久性问题十分突出。为此,针对上述严酷腐蚀环境下的混凝土构件,采用疏水化合孔栓物作为添加剂成功配制出整体防水抗腐蚀混凝土,并成功在大桥承台、墩身等混凝土结构中推广应用,现场承台混凝土检测表明:配制的抗氯离子扩散系数低于 $2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$,7 d龄期时30 min吸水率低于1%,展现出良好的抗海水侵蚀性能,显著提高了结构的使用寿命。疏水化合孔栓物作为提高混凝土自身防水抗腐蚀的主要技术措施,在东华大桥、广东凤凰一桥等工程的承台、墩身混凝土结构中也得到推广应用,显著提高了结构耐久性。

4 结论

1) 混凝土中内掺“克汰”疏水化合孔栓物,可改善混凝土的工作性,提高混凝土的和易性和粘聚性,降低混凝土坍落度损失;可显著降低混凝土的吸水率,不同强度等级混凝土吸水率普遍降低50%以上;内掺“克汰”疏水化合孔栓物能够降低混凝土的电通量和氯离子扩散系数,提高混凝土的抗氯离子渗透性;由于疏水化合孔栓物对胶凝材料早期水化进程的影响,使得混凝土早期抗压强度有所降低,但后期(28 d后)强度与空白混凝土基本相当,无明显影响。

2) 采用疏水化合孔栓物制备的整体防水抗腐蚀混凝土,在范和港跨海大桥、东华大桥等结构中得到推广应用,技术经济效益显著。

3) 疏水化合孔栓物可有效避免传统表面涂装材料易于破损、老化等耐久性问题,为解决严酷环境下混凝土结构耐久性提供了新的技术途径。

参考文献:

- [1] 王胜年,黄君哲,张举连,等. 华南海港码头混凝土腐蚀情况的调查与结构耐久性分析[J]. 水运工程,2000(6):8-11.
- [2] JTJ 275-2000 海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范[S].
- [3] 杨海成,熊建波,范志宏. 硅烷防护对混凝土抗氯离子渗透性的影响[J]. 水运工程,2013(8):63-68.