DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.05.061

混合砂高性能海工混凝土性能分析

黄开元
(中交路桥建设有限公司上海分公司,上海市 200000)

摘　要: 结合相关文献和项目部分配合比使用情况,通过比较 P.O42.5 级水泥 C30 桩基配合比、P.Ⅱ52.5 级 C30 桩基混合砂配合比,经计算,两者浆骨比基本一致,后者耐久性、经济性较好。基于此,通过对 C40\C45\C50 墩柱混合砂高性能海工混凝土配合比施工过程中部分抗压强度的统计和氯离子扩散系数的检测发现:力学性能方面,28 d 混凝土抗压强度均满足设计要求,且相对稳定,56 d 强度有明显增长,90 d 强度增长放缓;耐久性方面,56 d 氯离子扩散系数小于 3×10^{-12} m^2/s。因此,总体来看,采用 P.Ⅱ52.5 级水泥设计混合砂高性能海工混凝土配合比,混凝土强度、耐久性均能满足要求,同时还有明显的经济效应。

关键词: 混合砂;高性能海工混凝土;抗压强度;耐久性;经济性
中图分类号: U444　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2024)05-0260-03

0 引　言

随着我国基础设施建设快速发展，各种建筑材料的性能也需要不断优化、提升。就混凝土材料的发展而言，它已从最初的普通混凝土发展到现在具备各类特殊性能的混凝土,如水下混凝土、自密实混凝土、高性能混凝土和超高性能混凝土等。大掺量矿物掺合料高性能混凝土在公路桥梁建设中因其耐久性、工作性和经济性良好,结构安全性满足设计和使用要求,大量应用于相关工程建设中。例如,在设计时速 350 km 的京沪高铁项目中,粉煤灰 - 矿渣粉复合矿物掺合料 50%最大掺量混凝土配制试验取得成功,在水下基础、桩身施工中推广应用[1]。又如舟岱跨海大桥项目,其水下桩基混凝土配合比中,粉煤灰 - 矿渣粉复合体系掺合料比例达到了 60%，混凝土工作性能良好,耐久性和结构强度满足设计要求。

1 工程概况

该项目集市域铁路、快速路、一级公路、慢行系统、市政管线过江等功能于一体，采用双层桥梁建设。实施内容包括水域正桥、陆域高架主路、两对出入口匝道和地面辅路。全线采用双层桥梁建设形式,上层桥为温瑞大道快速路，下层桥为市域铁路预留线,地面道路为仙昆线一级公路。

收稿日期: 2023-08-15
作者简介: 黄开元(1993—)，男，学士，工程师，从事桥梁施工技术工作。

混凝土等级采用情况主要为:C30/C40（桩基）、C50/C40/C30(承台)、C50/C45/C40(墩柱、盖梁)等,混凝土方量约 35 万 m^3。

2 混合砂高性能海工混凝土配合比设计

混合砂高性能海工混凝土配合比设计,首先是选择品质优良的骨料、活性相对较高的优质矿物掺合料和性能稳定可靠且与胶凝材料体系相适应的高性能减水剂。粗骨料可采用水洗整形料,细骨料可采用河砂、河砂和机制砂掺配的混合砂,粉煤灰可为 F 类Ⅱ级或 F 类Ⅰ级灰,矿渣粉可为 S95 级及以上矿渣粉,减水剂可为聚羧酸高性能减水剂。混凝土配合比重点在于解决合理的复合胶凝材料体系、最优浆骨比和水泥 - 减水剂适应性问题,同时采用较常规混凝土更低的水胶比,充分利用混合砂高性能混凝土中大掺量矿物掺合料复合胶凝材料体系低水化热、后期强度增长和高耐久性等有利条件。

3 试验研究

3.1 浆骨比

对于施工企业来说,混凝土性能方面主要关注良好的施工性能和结构安全性,也就是拌合物的使用性能、硬化后结构的使用性能和外观可接受性能。施工性能主要包括流动性、黏聚性和保水性等,结构安全性主要包括结构设计强度、收缩性能、使用的视觉效果等。浆骨比为混凝土中水与胶凝材料的体积之和与骨料的体积之和的比值[2]。当浆骨比太小时,粗细集

料含量相对增加、比表面积相对增加，需要更多的水泥浆包裹和润滑，与实际相对减少的水泥浆体含量形成叠加负面效应，会导致混凝土工作性较差；反之，浆骨比较大并超过一定范围时，会导致混凝土整体浆体富余较多，可能会导致泌浆、浮浆。两者均会对混凝土施工性能造成不利影响[3]。通过表 1、表 2 可以看出该项目不同水泥品种的 C30 桩基混凝土配合比浆骨比均为 30∶70，混凝土施工性能良好，没有明显泌浆和浮浆现象，混凝土强度和耐久性均满足设计要求，成桩质量检测结果均为Ⅰ类。

表 1　C30 水下桩基每立方米混凝土配合比

项目	水泥	粉煤灰	矿渣粉	粗骨料	混合砂	水	外加剂	水胶比	浆骨比
规格	P.O42.5	F 类Ⅱ级	S95 级	5~25 mm	0~4.75 mm	自来水	聚羧酸	—	—
用量及配比	213 kg	97 kg	78 kg	989 kg	840 kg	163 kg	3.9 kg	0.42	30∶70

表 2　C30 桩基每立方米混凝土配合比

项目	水泥	粉煤灰	矿渣粉	粗骨料	混合砂	水	外加剂	水胶比	浆骨比
规格	P.Ⅱ52.5	F 类Ⅱ级	S95	5~25 mm	0~4.75 mm	自来水	聚羧酸	—	—
用量及配比	148 kg	118 kg	126 kg	989 kg	842 kg	157 kg	3.9 kg	0.40	30∶70

3.2　复合胶凝材料体系选择

施工配合比设计时常见的复合胶凝材料体系主要有水泥－粉煤灰、水泥－矿渣粉、水泥－粉煤灰－矿渣粉和水泥－粉煤灰－硅灰等。该项目的胶凝材料体系为水泥－粉煤灰－矿渣粉复合体系，主要考虑矿渣粉活性需要一定的碱激发效应，粉煤灰的二次水化也需要一定量的碱性氢氧化钙作用。从表 3 所列 3 组胶凝材料体系活性指数可以看出，随着水泥用量的减少，复合掺合料的增加，复合胶凝材料体系活性指数呈现下降趋势。项目最终选择试验组 2 胶凝材料体系，总体保持水泥用量 40%左右。

表 3　不同比例复合材料体系活性指数

序号	水泥	粉煤灰	矿渣粉	水胶比	活性指数	
	P.Ⅱ52.5	F 类Ⅱ级	S95 级		7 d	28 d
对照组	100%	0	0	0.50	—	—
试验组 1	55%	20%	25%	0.50	85%	109%
试验组 2	40%	30%	30%	0.50	78%	103%
试验组 3	35%	30%	35%	0.50	74%	99%

3.3　减水剂适应性选择

组织 4 家减水剂厂家对表 2 中 C30 水下桩基混凝土配合比试拌，细骨料为 50%机制砂和 50%河砂掺配，复合掺合料比例为 62%，矿物掺合料掺量相对较大，检测工作性和硬化混凝土试件强度。该 C30 水下桩基配合比工作性及力学性能对比情况见表 4。由表 4 可以看出，1 号、4 号配合比满足设计要求，但由于考虑复合胶凝材料体系存在一定的波动，选择富余系数相对较高的 1 号作为基准配合比进行配合比设计，检测混凝土 56 d 氯离子渗透系数，结果为 2.8×10^{-12} m²/s，满足设计要求，由此可以得出，混合砂高性能海工混凝土的力学性能和耐久性满足设计要求，可以为后续相应环境配合比设计提供参考。

表 4　不同厂家减水剂 C30 桩基配合比试拌结果和力学性能对比表

序号	减水剂品种	坍落度 / mm	容重 / (kg·m⁻³)	黏聚性	强度 /MPa	
					7 d	28 d
1	聚羧酸高性能减水剂（缓凝型）	230	2 390	良好	34.3	44.2
2		240	2 370	不良	30.1	38.0
3		240	2 360	不良	31.0	38.5
4		220	2 380	良好	32.5	40.1

3.4　后续墩柱混凝土配合比强度及耐久性试验

采用 P.Ⅱ52.5 级硅酸盐水泥，掺合料总量在 50%左右进行混合砂 C40/45/C50 墩柱混凝土配合比设计、施工，抽取相应数量、相应龄期的混凝土抗压强度试件和氯离子扩散系数试件，各等级混凝土 28 d、56 d、90 d 抗压强度检测趋势曲线见图 1、不同氯离子扩散系数对比见图 2。，由图 1 可以看出，各等级混凝土 28 d 强度均满足设计要求，56 d 强度有明显增长，90 d 强度增长不明显。由图 2 可以看出，3 组配合比施工期抽检 56 d 氯离子扩散系数均小于 3.0×10^{-12} m²/s 的设计要求，且有随着强度等级的提高而降低的趋势。

3.5　经济性比较

由于前期对于 C30/C40 水下桩基混凝土配合比进行过一定优化，因此选择该两组配合比进行经济性对比分析，数据见表 5。由表 5 混凝土单价分析，采用 P.Ⅱ52.5 级硅酸盐水泥设计的配合比单价降低了 13~18 元，经济效益明显。

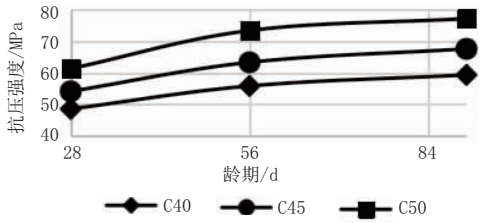

图 1　不同等级混凝土强度 - 龄期趋势

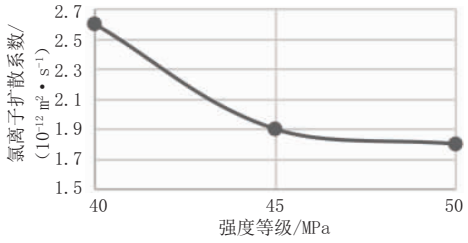

图 2　不同墩柱配合比 56 d 氯离子扩散系数

表 5　每 m³C30/C40 桩基混凝土配合比经济性比较

序号	强度等级	水泥 /kg	粉煤灰 /kg	矿渣粉 /kg	粗骨料 /kg	细骨料 /kg	水 /kg	外加剂 /kg	单价 / 元
		P.042.5(P.Ⅱ52.5)	F 类Ⅱ级	S95 级	5~25 mm	0~4.75 mm	自来水	聚羧酸	
1	C30	213	97	78	989	840	163	3.9	409.08
2	C40	238	108	86	1 012	796	160	4.3	422.61
3	C30	148	118	126	989	842	157	3.9	396.28
4	C40	186	119	119	964	855	157	4.2	404.76

注：1 号、2 号配合比所用水泥规格为 P·042.5，3 号、4 号配合比所用水泥规格为 P·Ⅱ52.5。

4　结　语

（1）对比该项目两个不同水泥品种的桩基配合比，两者浆骨比一致，混凝土工作性能、力学性能和耐久性均满足设计要求，且成桩质量没有明显差异，但采用 P.Ⅱ52.5 水泥设计的配合比经济性较好。

（2）通过不同比例掺合料活性指数对比分析，随着水泥用量减少，水泥熟料减少，整个胶凝材料体系掺合料需要的碱量减少，活性逐渐降低。

（3）根据前述试验所用浆骨比、胶凝材料体系设计 C40/C45/C50 混凝土墩柱配合比可见：3 个配合比混凝土强度随龄期增长而增长，56 d 较 28 d 强度有明显增长，90 d 龄期较 56 d 强度增长较不明显；3 个配合比氯离子扩散系数满足设计要求，且有随强度等级提高而降低的趋势。

参考文献：

[1] 胡明文.大掺量掺合料混凝土配制技术研究与应用[J].高速铁路技术，2017，8(6)：33-37.

[2] 郭洪娟，马智法，宋琦.调整浆骨比优化混凝土配合比试验研究[J].东北水利水电，2007(7)：68-70.

[3] 李福海，唐慧琪，文涛，等.浆骨比对混凝土早龄期收缩特性的影响[J].实验室研究与探索，2021，40(7)：55-59.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴，为您提供平台，携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊　欢迎新老客户刊登广告

投稿网站：http://www.csdqyfh.com　电话：021-55008850　联系邮箱：cdq@smedi.com