

硅灰在悬臂梁 C55 机制砂泵送混凝土中的应用

张 邓

中铁十五局集团第四工程有限公司 河南新郑 451100

摘 要: 本文根据重庆地区混凝土原材料情况,用机制砂取代天然砂设计 C55 泵送混凝土。采用相同配合比分别试拌机制砂和不同掺配比例的混合砂,通过比对发现机制砂混凝土强度高,但黏度大、流动性差、不易引气且气损快。通过调整引气剂、用微硅灰替代一部分粉煤灰、降低砂率优化机制砂配合比,经试拌验证机制砂可以配出符合设计要求的 C55 混凝土。为机制砂在高标号混凝土应用积累了相关经验。

关键词: 硅灰; 机制砂; 聚羧酸; 泵送混凝土; C55

Application of silica fume in cantilever beam C55 sand pumping concrete

Deng Zhang

The Fourth Engineering Co., LTD., China Railway 15th Bureau Group, Xinzheng 451100, China

Abstract: Based on the concrete raw materials situation in the Chongqing region, this paper designs C55 pumpable concrete using manufactured sand as a substitute for natural sand. The manufactured sand and different blending ratios of blended sand are tested with the same mix proportion. Through comparison, it is found that concrete with manufactured sand has higher strength but also higher viscosity, poor workability, difficulty in entraining air, and fast air loss. This paper adjusts the air-entraining agent, replaces a portion of fly ash with microsilica, and reduces the sand content to optimize the mix proportion of manufactured sand. Through mix verification, it is proven that manufactured sand can be used to produce C55 concrete that meets the design requirements. This research provides relevant experience for the application of manufactured sand in high-grade concrete.

Keywords: Silica fume; Machine-made sand; Polycarboxylic acid; Pumping concrete; C55

引言

随着我国基础建设的快速发展,天然砂作为地域性很强的地方资源,极快速的消耗使得天然砂资源面临枯竭。而重庆本地天然河砂的细度模数常在 1.0 以下属于特细砂,基本不能单独使用在建筑生产上;天然中粗砂资源更是严重匮乏,长期依赖外购市场,运输距离远、周期长、成本高。近年来,国家为加强自然环境保护,全国各地的天然砂开采受到严格限制,供需矛盾日益突出,用机制砂取代天然砂已经成为一种发展趋势。

同时,随着人工制砂及施工工艺的逐步成熟,有力的保障了适用于中高标号混凝土的人工砂及混合砂质量。不少省市公路及市政工程高标号混凝土已大规模采用人工砂,并积累了大量成功的工程应用实例。重庆又名山城,山体材料多以石灰岩为主,岩石母材具有坚硬、节理裂隙少、断层少、地貌稳定等特点,非常适宜用于机制砂的生产。

重庆渝遂高速公路复线项目位于重庆市,我项目部承担的施工任务主线长度 7.66km。小安溪特大桥为项目控制性工程之一,桥梁全长左 3620.5m/右 3593.5m,主桥采用 68+125+68m 的预应力混凝土连续刚构,最大墩高约 69m,混凝土设计标号 C55。

一、小安溪特大桥连续刚构 C55 预应力混凝土设计方案

根据小安溪特大桥主桥箱梁施工方案,混凝土采用三一重工 25Mpa 车载地泵泵送,泵管内径 100mm,最大泵送高度 76m,最远水平泵送距离约 80m。结合图纸及相关标准规范要求,拟采用以下 6 种材料组合方案试配,见下表:

表 1 配合比设计方案

材料名称	水泥	细集料	粗集料、粉煤灰、减水剂
1	P.042.5	机制砂	碎石 5~20mm, 二级配 F 类 I 级 聚羧酸高性能减水剂
2	P.042.5	混合砂 3:7	
3	P.042.5	混合砂 5:5	
4	P.052.5	机制砂	
5	P.052.5	混合砂 3:7	
6	P.052.5	混合砂 5:5	

1. 主要原材料规格、厂家及到场价格

原材料厂家、规格及材料到场价格见下表:

表 2 原材料信息表

序号	原材料名称	生产厂家	材料规格	单位/价格
1	机制砂	重庆新郑	0~5mm	1.1 元
2	碎石	重庆新郑	5~20mm	3.10 元
3	碎石	重庆新郑	20~30mm	3.1 元
4	粉煤灰	重庆新郑	P=042.5	35.0 元
5	粉煤灰	重庆新郑	P=052.5	45.0 元
6	聚羧酸	重庆新郑	F 类 I 级	32.0 元
7	减水剂	重庆新郑	SP-95	1.050 元
8	减水剂	重庆新郑	聚羧酸高性能减水剂	3.100 元

原材料依据现行标准试验方法检测,检测结果符合图纸及规范要求。

2. 胶凝材料成分组成及微观形貌

(1) 成分组成测定

A. 粉水

Compound name (%wt)	SiO ₂	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	其他
粉水	57.00	1.20	0.54	0.60	0.20	0.19	0.20	0.19	0.20

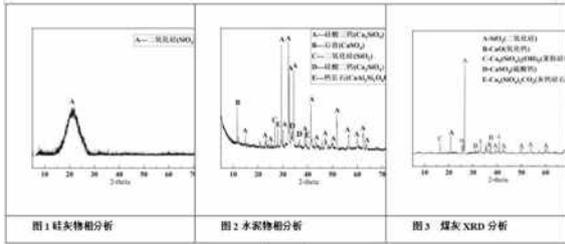
B. 水粉

Compound name (%wt)	SiO ₂	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	其他
水粉	62.48	12.65	5.07	4.52	3.57	1.41	0.75	0.65	1.54

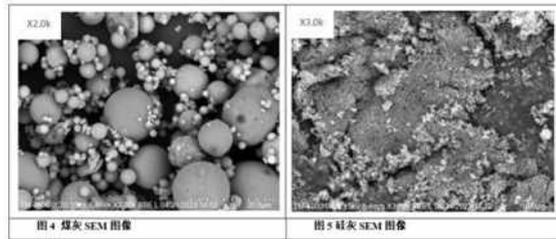
C. 煤炭

Compound name (%wt)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	其他
煤炭	50.30	21.73	7.95	6.30	1.40	2.16	1.46	1.25	1.11

(2) 物相组成测定



(3) 微观形貌 (TM4000)



3. 设计步骤

(1) 设计要求

- ①设计标号: C55
- ②设计坍落度: 200±20mm
- ③浇筑方式: 泵送
- ④其它要求: 7 天抗压强度达到设计强度的 90%以上

(2) 设计方法

依据《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011 设计混凝土理论配合比, 采用质量法计算混凝土配合比, 试配强度 64.9Mpa, 初步设计水胶比 0.30, 砂率 40%, 容重 2420kg/m³, 碎石掺配比例 5-10:10-20=2:8, 具体计算过程不在此赘叙, 计算结果见下表:

表 3 理论计算配合比

编号	水胶比	砂率 (%)	水泥 (kg)	粉煤灰 (kg)	机制砂 (kg)	河砂 (kg)	1 碎石 (kg)	2 碎石 (kg)	水 (kg)	减水剂 (kg)
1 #	0.3	40	450	50	708	0	212	850	150	7.0
2 #	0.3	40	450	50	496	212	212	850	150	6.5

3 #	0.3	40	450	50	354	354	212	850	150	6.25
4 #	0.3	40	425	75	708	0	212	850	150	5.5
5 #	0.3	40	425	75	496	212	212	850	150	5.0
6 #	0.3	40	425	75	354	354	212	850	150	4.7

(3) 混凝土拌合物性能及力学性能试验方法

混凝土拌合物性能包括坍落度、扩展度、坍落度径时损失、粘聚性、保水性、泌水率、容重、含气量、凝结时间。通过试配检测, 总体来说 6 个配合比强度均符合设计要求, 工作性能方面混合砂拌制的混凝土比纯机制砂的黏度小, 拌合物柔软易插捣成型, P.O52.5 水泥拌制的混凝土比 P.O42.5 水泥拌制的混凝土状态要好, 但强度和 P.O42.5 水泥差别不大, 具体检测结果见下表:

表 4 拌合物性能检测结果

配合比编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#
坍落度 (mm)	210	220	210	210	210	220
扩展度 (mm)	500±20	500±20	500±20	500±20	500±20	500±20
实测抗压 (kg/cm ²)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
含气量 (%)	1.7	1.6	1.9	2.2	1.8	1.4
备注	混凝土坍落度好, 流动性好, 易插捣, 无离析, 泌水。					
河砂掺量 (kg)	54.5	53.2	52.6	53.7	54.5	54.0
机制砂掺量 (kg)	38.4	37.9	38.6	38.9	38.2	38.9
25# 抗压强度 (MPa)	65.5	35.0	64.7	68.5	67.5	68.9

(4) 配合比优化

通过试配, 1#-6#号配合比拌制的混凝土不同程度有黏度大、流速慢, 含气量偏低, 气损快, 有板结现象, 混凝土容重偏差超规范要求; 上述问题会造成泵送阻力大, 不利于泵送成型; 另外 P•O52.5 水泥设计的 3#-6#号配合比工作性能, 力学性能比 P•O42.5 水泥设计的 1#-3#号配合比要好, 但优势不明显, 而且 1#-3#号配合比强度能达到设计要求, 从经济性、供应能力、水泥质量稳定性方面综合考虑, 不采用 P•O52.5 水泥。

根据上述情况从以下几个方面对 1#-3#号配合比进行优化, ①调整减水剂中引气剂含量和适应性, 提高混凝土含气量, 降低气损, 调节混凝土容重及流动性; ②用微硅灰替代一部分粉煤灰, 提高混凝土工作性能和力学性能, 防止离析、泌水, 大幅降低泵送阻力; ③设计容重调整为 2440kg/m³, 砂率调整到 39%, 降低黏度提高流动性。调整后的配合比见下表:

表 5 优化后的理论计算配合比

编号	水胶比	砂率 (%)	水泥 (kg)	粉煤灰 (kg)	微硅灰 (kg)	机制砂 (kg)	河砂 (kg)	1 碎石 (kg)	2 碎石 (kg)	水 (kg)	减水剂 (kg)
1#	0.3	39	450	38	12	688	0	218	874	150	7.25
2#	0.3	39	450	38	12	489	209	218	874	150	6.75
3#	0.3	39	450	38	12	349	349	218	874	150	6.50

按上表配合比试拌, 拌合物工作性能良好, 黏度合适,

流动性好，不板结，拌合物柔软易于插捣成型，检测结果见下表：

表 6 拌合物坍落度性能检测结果

配合比编号	1#	2#	3#
坍落度(mm)	210	210	215
扩展度(mm)	360×370	580×580	600×590
扩展容量(cc)	2454	2489	2480
含气率(%)	2.4	2.6	2.7
含气稳定性(%)	28.5	21.0	2.0
含气率标准差(mm)	320×325	530×540	560×550
检测结果	坍落度合格，扩展度良好，无泌水。	坍落度合格，扩展度良好，无泌水。	坍落度合格，扩展度良好，无泌水。

拌合物力学及耐久性能检测，检测 3d,5d,7d,14d,28d 抗压强度及耐久性，检测结果见下表：

表 7 拌合物力学及耐久性能检测结果

配合比编号	1#	2#	3#	
力学性能检测	3d 抗压强度(Mpa)	50.6	49.6	49.3
	5d 抗压强度(Mpa)	53.2	52.8	52.0
	7d 抗压强度(Mpa)	57.2	56.5	55.9
	14d 抗压强度(Mpa)	62.7	61.6	60.8
	28d 抗压强度(Mpa)	66.8	65.4	64.7
	28d 弹性模量(Mpa)	4.66×10 ⁴	4.50×10 ⁴	4.48×10 ⁴
耐久性检测	28d 抗冻	>P20	>P20	>P20
	28d 电通量(C)	486	465	458

二、理论配合比确定

综上所述 1#-3#配合比拌制的混凝土工作性能和力学性能均满足设计及施工要求。因机制砂相较于天然砂而言有较高的经济性，虽使用机制砂混凝土会使部分材料用量有所增加，但综合材料成本低，能大量节约项目成本，故采用 1#纯机制砂配合比。

表 8 每立方混凝土材料成本

配合比编号	1#	2#	3#
每立方混凝土材料	395.4	440.6	470.8

表 9 C55 混凝土配合比设计结果

水泥(kg)	粉煤灰(kg)	微硅灰(kg)	机制砂(kg)	1 碎石(kg)	2 碎石(kg)	水(kg)	减水剂(kg)
450	38	12	698	218	874	150	7.25

三、配合比使用情况

配合比在实际应用中效果理想，工艺性能良好，坍落度损失小，凝结时间满足现场施工需要。混凝土泵送时出泵口连续满管泵出，流动过程中混凝土边缘有明显坡脚，且能够维持坡脚向前翻滚流动，黏聚性良好；混凝土静止后，表面石子微露，各组分分布均匀，无跑浆，砂石比、浆骨比适宜；振捣后，混凝土表面没有明显可见泌水现象。混凝土结构性能满足设计及效果标准规范要求。

表 10 C55 混凝土现场取样检测结果

检测参数	坍落度(mm)	扩展度(mm)	同条件试件		
			5d 抗压强度	6d 抗压强度	7d 抗压强度
1	215	580×575	49.6Mpa	51.1Mpa	52.7Mpa

四、配合比使用注意事项

加强进场原材料质量控制，确保原材料质量稳定、波动小，符合相关标准规范要求；重点关注机制砂的细度模数、级配、含粉量和亚甲基值。加强混凝土拌合质量控制，重点关注拌合物含气量、同条件凝结时间，充分考虑运输距离及天气情况对混凝土拌合物工作性能的影响，完善相应的保障措施。该混凝土结构钢筋、预应力管道分布密集，建筑混凝土时注意控制浇筑速度、布料顺序、布料厚度、振捣方式等，确保浇筑质量。测试记录环境温度、混凝土表面温度、内部温度，根据三者温度差及时调整养护措施，确保混凝土不出现早期开裂。

五、结论

1.本项目中对大规模应用高标号机制砂混凝土，既保护环境，又能提高资源利用率，形成综合效益，符合绿色可持续发展国策。

2.通过试验验证表明，小剂量硅灰加机制砂配置 C55 泵送混凝土，明显改善混凝土提浆和包裹，而且初始工作性能良好，力学及耐久性能均满足设计要求。

3.为了推广机制砂在高标号混凝土中的应用，需加强对机制砂生产企业的管理、加强机制砂生产工艺和生产设备的研究、对已有机制砂混凝土工程进行跟踪监测。

参考文献：

- [1]《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011.
- [2]《公路工程集料试验规程》JTG E42-2005.
- [3]《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241-2011.
- [4]《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420-2020 .
- [5]《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081-2019.
- [6]《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080-2016.
- [7]《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082-2009.
- [8]《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009.
- [9]《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011.
- [10]《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650-2020.
- [11]《公路工程人工砂混凝土应用技术规程》CQJTG/T A04-2021.
- [12]《公路工程水泥混凝土用机制砂》JT/T 819-2011.
- [13]《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596-2017.