

山东胶东半岛区域 C60 高强混凝土在超高泵送

情况下的配合比研究

张鹏飞 史锦辉 宋浩 薛凯 孙强

中建八局第二建设有限公司 山东 济南 250022

【摘要】：本文通过对胶东半岛区域内混凝土原材料的地材分析，结合烟台华润南部商务办公楼项目的实际情况，使混凝土在受区域地材限制的情况下，通过试验优化配合比；在保证强度的前提下，高质量地满足在高层建筑中的应用。

【关键词】：高强混凝土；超高泵送；施工应用研究

引言

目前中国经济正处在飞速发展阶段，随着建筑业的发展，各类超高层建筑越来越多地进入人们生活中。为保障混凝土结构的可靠性，高强混凝土随之产生。然而高强混凝土的特性与普通混凝土不同，其自身的特殊性导致常规配合比难以满足现场工作需求，特别是在高层施工中更难以泵送。

1 工程概况

本工程位于山东省烟台市莱山区，总建筑高度为152.8m，地上45层，地下3层，工程定位为莱山区第一高。工程结构形式为钢筋混凝土框架-核心筒结构，从负三层至22层以下竖向结构（剪力墙、框架柱）混凝土强度等级为C60，属于高强混凝土，设计强度龄期为90d，其泵送最大高度为86m，高强混凝土超高泵送施工是本项目的一大难点。

2 研究方法

2.1 区域内高强混凝土应用情况调研

通过对胶东半岛区域近5年内应用高强混凝土（C60及以上）的工程进行调研，所调研项目共5个，具体如下表1。

表1 C60 高强混凝土应用调研

序号	应用地区	混凝土标号	泵送层数 (层)	泵送高度 (m)	应用时间 (时间段)
1	山东省烟台市	C60	9	38	2015.04 往前提
2	山东省烟台市	C60	8	34	2015.07
3	山东省烟台市	C60	8	35	2016.09
4	山东省烟台市	C60	11	48	2017.08
5	山东省青岛市	C60	10	49	2016.11

2.2 区域内地材的调研

通过查阅地质资料及现场调研，本区域内的石子母材多为石灰石和青石。通过对粗骨料石子的取样检测及统计分析，得到结论为：表观密度、堆积密度稳定，石子棱角较明显，含泥量在0.3%~0.4%区间；泥块含量在0.2%~0.3%区间；针片状颗粒含量<7.8%；压碎指标在9.7%~10.7%区间。

表2 对粗骨料取样检测分析表

编号	表观密度 (kg/m ³)	堆积密度 (kg/m ³)	含泥量 %	泥块含量 %	针片状含量 %	压碎指标 %
1	2665	1545	0.4	0.3	4	10.1
2	2670	1540	0.4	0.3	5	10.7
3	2665	1545	0.3	0.2	4	9.9

通过对细骨料砂的取样检测及统计分析，得到结论为：该区域砂为细度模数在2.7~2.9区间的II区中砂，泥块含量在0.2%~0.3%区间，含泥量在2.5%~3%区间。

表3 细骨料取样检测分析表

编号	细度模数	级配区间	泥块含量 %	含泥量 %
1	2.7	II	0.2	1.3
2	2.8	II	0.2	1.4
3	2.7	II	0.3	1.5

3 研究过程

3.1 确定高强混凝土材料的选用

基于该地区的粗细骨料物理特性，需要对粗细骨料进行过筛和清洗，使其含泥量和含泥块量降低。

3.2 配置混凝土配合比

3.2.1 计算基准配合比

通过对地材的影响和胶凝材料的选择，计算理论基准配合比。

表4 基准配合比 单位 kg/m³

水泥	粉煤灰	矿粉	河砂	碎石 5~25	水	外加剂
460	30	70	640	1070	175	13

基准配合比性能结果如下：

编号	1	2	3
坍落度 mm	195	195	200
扩展度 mm	/	/	/
1h 经时损失 mm	5	5	5
2h 经时损失 mm	10	10	10
7d 抗压强度 MPa	55.2	56.1	55.4
28d 抗压强度 MPa	62.1	63.4	62.8
60d 抗压强度 MPa	65.7	67.2	68

经基准配合比得出结论拌合物物理状态表现为：流动性差，有泌水现象；坍落度不满足高强混凝土在高层泵送的性能；该配合比混凝土强度增长较快，7d 就达到设计强度 90% 以上，浪费资源。

3.2.2 初步配合比

根据基准配合比需解决的情况进行下列调整：

减少水泥用量，降低混凝土前期增长速率，节约资源；增加粉煤灰用量，改善泌水状态，增加粘聚性，由于粉煤灰外形是细小的圆球体，它增加的同时能提高坍落度改善泵送性能。

将水胶比由 0.31 降至 0.30，改善泌水性，同时将外加剂的掺量提高 0.5。

保持砂率为 37.5% 不变，控制总容重在 2440kg/m³ ~2460kg/m³。

经调整后的初步配合比，见表 5。

表5 初步配合比 单位 kg/m³

水泥	粉煤灰	矿粉	河砂	碎石 5~25	水	外加剂
440	50	100	620	1050	170	15.5

420	60	100	630	1050	175	14.5
-----	----	-----	-----	------	-----	------

初步试配混凝土性能如下：

编号	1	2	3
坍落度 mm	225	230	230
扩展度 mm	635	635	640
1h 经时损失 mm	10	10	10
2h 经时损失 mm	15	15	10
7d 抗压强度 MPa	49.5	48.9	49.7
28d 抗压强度 MPa	62.7	61.4	62.8
60d 抗压强度 MPa	65.1	64.4	64.5

经初步配合比得出结论拌合物物理状态粘聚性较大，坍落度仍不满足高强混凝土在高层泵送的性能；拌合物的经时损失较大，保坍性不好；混凝土强度虽满足设计强度但富余系数较低，风险较大。

3.2.3 优化配合比

根据表 5 配合比的情况进行下列调整：

- (1) 降低水胶比、提高外加剂掺量；提高强度，加大坍落度、降低经时损失，提高保坍性；
- (2) 增加胶凝材料的用量，提高强度富余系数；
- (3) 增加石子用量，降低砂率至 37.1%，提高混凝土强度；
- (4) 控制总容重在 2440kg/m³ ~2460kg/m³。

优化后的配合比，见表 6。

表6 优化后的配合比 单位 kg/m³

水泥	粉煤灰	矿粉	河砂	碎石 5~25	水	外加剂
440	50	100	620	1050	170	15.5

初次优化混凝土的配合比性能如下：

编号	1	2	3
坍落度 mm	230	235	225
扩展度 mm	650	660	650
1h 经时损失 mm	0	5	0
2h 经时损失 mm	5	5	5

7d 抗压强度 MPa	50.4	51.9	50.8
28d 抗压强度 MPa	64.5	65.3	64.9
60d 抗压强度 MPa	67.1	66.6	67

通过优化后的配合比状态良好、和易性良好、强度高符合设计要求，将表 6 作为指导第一泵送段的施工配合比。

经实际施工中，发现该配合比仍难满足第一泵送段，且混凝土泵送至楼面经振捣后泛浆现象严重，高、低标号混凝土结合处封堵不住，低标号区域内流入高标号混凝土浆体，拆模后存在“大花脸”结构实体观感差。

3.2.4 二轮优化配合比

第二轮优化主要解决混凝土泛浆及第一段泵送困难，本次优化将砂率由原来的 37% 提高到 38%。砂率的增加导致表面积增大，增大后的表面积需要更多的水泥浆体进行包裹。根据施工经验，在同等条件下，单独提高砂率将导致强度的降低，故提高砂率时同时增加胶凝材料，而水泥用量过多将导致水化热加大，对结构不利。因矿粉具有离散性选择增加粉煤灰，且粉煤灰物理外形是圆球体，是胶凝材料中的泵送剂第二轮优化配合比见表 7。

表 7 第二轮优化配合比 单位 kg/m³

水泥	粉煤灰	矿粉	河砂	碎石 5~25	水	外加剂
440	70	100	630	1020	170	16

初次优化混凝土的配合比性能如下：

编号	1	2	3
坍落度 mm	235	235	240
扩展度 mm	675	675	680
1h 经时损失 mm	0	0	5
2h 经时损失 mm	5	5	5
7d 抗压强度 MPa	51.1	52	50.9
28d 抗压强度 MPa	64.8	65	64.6
60d 抗压强度 MPa	67.4	67.1	67

经过此次调整，现场可泵性良好，泛浆也得到有效控制，可泵性满足现场 13 层施工。针对 14 层至 21 层的施工仍需调整施工配比，项目技术人员在此基础上重新确定。

3.2.5 三轮优化配合比

第三轮优化主要解决混凝土 14~21 层泵送问题，当泵送高度在 50m 以上时，单纯地调整砂率、胶凝材料、外加剂掺量均难以全面解决问题，泵送高度和抗压强度往往顾此失彼，而混凝土强度等级达到一定级别后，单纯的增加胶凝材料已难以提高强度，甚至由于胶凝材料的过量导致强度下降。若同时解决这两个问题，还需同时从地材上选材考虑。

观察试块压碎后破坏形态主要体现在粗骨料石子的破坏，这说明该配合比胶凝材料已经满足，试块破坏主要是由于石子本身承受的压力达到极限。当试块抗压时石子内部存在较多的薄弱处，当压力达到一定时挤压力将石子的薄弱处裂开从而导致试块破坏。

根据分析对配合比进行第三轮优化，优化后的配合比见表 8。

表 8 第三轮优化配合比 单位 kg/m³

水泥	粉煤灰	矿粉	河砂	碎石 5~20	水	外加剂
440	70	100	630	1020	170	16

三轮优化混凝土的配合比性能如下：

编号	1	2	3
坍落度 mm	240	245	240
扩展度 mm	690	695	695
1h 经时损失 mm	0	0	0
2h 经时损失 mm	5	5	5
7d 抗压强度 MPa	52.4	52.6	52.7
28d 抗压强度 MPa	65.4	65.9	66.6
60d 抗压强度 MPa	69.3	68.2	69.7

观察表 8 混凝土试拌情况，混凝土粘聚性、流动性良好，不泌水、跑浆；由于该配合比用于 14~21 楼层，高度过高泵压损失也将增大，加上运途及待泵时的损失，所以在此基础上将外加剂掺量提高至 2.79%，将用水量减少 5kg 做为实际施工配合比，见表 9。

表 9 实际施工配合比 单位 kg/m³

水泥	粉煤灰	矿粉	河砂	碎石 5~20	水	外加剂
440	70	100	630	1020	165	17

将此配合比做为 14~21 层实际生产，该配合比泵送至 14

层楼后的坍落度达到 225mm，并且混凝土和易性良好，28d 抗压强度 65MPa 以上，达到预期要求，符合施工标准。

4 结束语

通过本次对胶东半岛高强混凝土的调研，结合烟台华润项目实际状况通过大量的对比试验，解决了本工程对于 C60 高强混凝土在高层建筑中的问题，为后续类似项目提供可靠

参考数据。

高强混凝土在高层泵送中砂率宜控制在 38%~40%；石子粒径越小，配置出的混凝土强度越高，且在砂率相同下较小粒径的石子更容易泵送。混凝土受泵压损失影响较大，泵压损失随着高度的升高而增大，可适当提高外加剂的掺量来抵抗泵压损失。粉煤灰是混凝土中良好的泵送剂，高层泵送混凝土应掺加粉煤灰。

参考文献：

- [1] JGJ/T 281-2012, 高强混凝土应用技术规程[S].
- [2] JGJ55-2011, 普通混凝土配合设计规程[S].
- [3] GB/T 14902-2012, 预拌混凝土[S].
- [4] JGJ 52-2006, 普通混凝土用砂石质量及检验方法标准[S].
- [5] GB 50164-2011, 混凝土质量控制标准[S].

作者简介：张鹏飞（1990-）男，本科，工程师。