

高性能混凝土在超高层建筑中的施工技术研究

尹志刚

广东顺策工程管理股份有限公司江西分公司 江西吉安 334000

摘要: 本文聚焦于高性能混凝土在超高层建筑施工中的应用技术。首先阐述了高性能混凝土的特性及其在超高层建筑中应用的重要性,接着详细研究了高性能混凝土的原材料选择、配合比设计等制备技术,以及运输、泵送、浇筑、振捣、养护等施工环节的关键技术。通过实际案例分析,总结了高性能混凝土施工技术在超高层建筑中的应用效果和存在的问题,并提出了相应的改进措施,旨在为高性能混凝土在超高层建筑中的更广泛、更科学应用提供参考。

关键词: 高性能混凝土;超高层建筑;施工技术

引言

随着城市化进程的加速,超高层建筑如雨后春笋般涌现。超高层建筑对结构的安全性、耐久性和稳定性提出了极高的要求,高性能混凝土凭借其高强度、高耐久性、良好的工作性等特点,成为超高层建筑施工的理想材料。然而,高性能混凝土在超高层建筑中的施工技术面临着诸多挑战,如长距离运输、高泵送难度、大体积浇筑等。因此,深入研究高性能混凝土在超高层建筑中的施工技术具有重要的现实意义。

一、高性能混凝土的制备技术

(一) 原材料的选择

水泥: 应选择强度等级高、安定性好、水化热低的水泥。普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥是常用的选择,其强度等级一般不低于42.5。水泥的质量直接影响高性能混凝土的强度和耐久性,因此要严格控制水泥的各项指标^[1]。

骨料: 粗骨料应选用质地坚硬、级配良好、针片状颗粒含量少的碎石,其最大粒径不宜超过25mm,以保证混凝土的工作性和强度。细骨料应选用中粗砂,细度模数在2.63.0之间,含泥量不超过2%。骨料的质量和级配会影响混凝土的孔隙率和强度,合理的骨料级配可以降低混凝土的水泥用量,提高其经济性。

矿物掺合料: 常用的矿物掺合料有粉煤灰、矿渣粉、硅灰等。粉煤灰可以改善混凝土的工作性,降低水化热,提高混凝土的耐久性;矿渣粉可以提高混凝土的后期强度和抗渗性;硅灰可以显著提高混凝土的强度和耐久性。矿物掺合料的掺入量应根据混凝土的设计要求和原材料的性能进行合理确定。

外加剂: 高性能混凝土中通常需要掺入减水剂、缓

凝剂、引气剂等外加剂。减水剂可以降低混凝土的用水量,提高混凝土的强度和工作性;缓凝剂可以延长混凝土的凝结时间,适应超高层建筑施工中长距离运输和大体积浇筑的需要;引气剂可以引入适量的微小气泡,提高混凝土的抗冻性和抗渗性。外加剂的品种和掺量应根据混凝土的配合比和施工工艺进行优化选择。

(二) 配合比设计

高性能混凝土的配合比设计应根据工程的具体要求,如强度等级、耐久性要求、工作性要求等,采用绝对体积法进行设计。在设计过程中,要充分考虑原材料的性能和相互作用,通过试验优化配合比。配合比设计的关键参数包括水胶比、胶凝材料用量、砂率等。水胶比是影响混凝土强度和耐久性的重要因素,一般不宜大于0.35;胶凝材料用量应根据混凝土的强度等级和耐久性要求进行合理确定,一般在450600kg/m³之间;砂率应根据骨料的级配和混凝土的工作性要求进行调整,一般在35%45%之间。

二、高性能混凝土的施工技术要点及质量控制措施

(一) 运输过程的质量控制

高性能混凝土在运输过程中必须严格保证其工作性能和均匀性。为确保运输质量,应当采用具有良好密封性能的专用混凝土搅拌运输车进行运输作业。运输时间应严格控制,一般情况下不宜超过1.5小时,在高温季节还应适当缩短运输时间。在运输过程中,搅拌车应保持3~5转/分钟的低速转动状态,以防止混凝土出现离析现象^[2]。当遇到运输距离较远或不可避免的长时间运输情况时,可在搅拌车中加入适量经过试验验证的缓凝剂或高效减水剂,以有效保持混凝土的坍落度和工作性能。同时,运输过程中应避免急刹车和剧烈颠簸,确保混凝

土的稳定性的。

(二) 泵送施工的技术要点

在超高层建筑工程中,高性能混凝土的泵送作业是整个施工过程中的关键环节。首先应当选用功率充足、性能可靠的混凝土输送泵设备,其最大输送压力和输送量必须满足工程实际需求。在正式泵送前,必须对输送管道系统进行彻底清洗,并使用专用润滑剂对管道内壁进行充分润滑,以降低泵送阻力,防止堵管现象发生。泵送过程中,操作人员要精确控制泵送压力在3~18MPa范围内,并根据浇筑部位高度调整合适的泵送速度,保持混凝土的连续均匀供应。同时要安排专人全程监控泵送状态,如发现压力异常波动或混凝土流动性下降等情况,应立即采取调整配合比或添加泵送剂等措施进行处理。

(三) 浇筑作业的工艺要求

高性能混凝土的浇筑施工必须采用科学合理的分层浇筑工艺,每层浇筑厚度应严格控制在300~500mm范围内。浇筑过程中要确保混凝土下落高度不超过2m,以防止骨料分离。操作人员要均匀布料,保证混凝土的密实性和整体性,特别注意避免出现蜂窝、麻面等质量缺陷^[3]。对于大体积混凝土结构,必须制定专项温控方案,可采取在混凝土中预埋冷却水管通水降温、覆盖保温隔热材料、设置温度监测点等综合措施,将内外温差控制在25℃以内,有效预防温度裂缝的产生^[4]。浇筑完成后要及时进行表面抹平处理。

(四) 振捣操作的技术规范

振捣工序是确保高性能混凝土达到设计密实度的重要环节。应当选用频率在8000~12000次/分钟的高频插入式振捣器进行作业。振捣时间应控制在20~30秒为宜,以混凝土表面泛出水泥浆、不再产生明显气泡为判定标准。操作时要遵循“快插慢拔”的原则,插入间距不超过振捣棒作用半径的1.5倍,逐点移动有序振捣。对于钢筋密集区域或截面较小的构件,需换用直径30mm左右的小型振捣棒仔细振捣,确保每个部位都达到充分密实。要特别注意避免过振导致混凝土分层或漏振形成空洞。

(五) 养护管理的标准要求

高性能混凝土的养护质量直接影响其后期强度发展和耐久性能。在混凝土终凝后(一般为浇筑后6~12小时)就要立即开始养护作业,采用土工布覆盖并持续洒水保持湿润状态,养护时间不得少于14天。对于竖向结构构件,可选用成膜性能良好的养护剂进行喷涂养护,形成完整的保护膜。养护期间要确保混凝土表面始终处于湿润状态,环境相对湿度保持在90%以上,温度控制

在5~35℃范围内^[5]。在干燥多风季节要增加洒水频率,冬季施工则要采取保温措施防止冻害。养护期间还要做好成品保护,避免外力冲击影响混凝土质量。

三、实际案例分析

(一) 工程概况

案例名称:上海中心大厦项目

该项目位于上海市浦东新区陆家嘴金融贸易区,是中国超高层建筑的标志性工程之一。建筑总高度632米,地上127层,地下5层,总建筑面积57.8万平方米,其中地上部分41.1万平方米,地下部分16.7万平方米。结构形式采用“巨型框架-核心筒-伸臂桁架”体系,核心筒作为主要抗侧力构件,从基础直达顶层,承担了约90%的水平荷载(风荷载及地震作用)。

为满足超高层结构对强度、耐久性及施工性能的严苛要求,项目核心筒及巨型柱采用了C80~C100高性能混凝土(其中100层以上核心筒采用C100混凝土),水平构件采用C60~C70高性能混凝土,累计使用高性能混凝土约8.5万立方米,是国内首次在300米以上超高层中大规模应用C100级混凝土的工程。

(二) 高性能混凝土的施工过程

1. 原材料与配合比设计

水泥选用P·O52.5R低水化热硅酸盐水泥(28天抗压强度 $\geq 58\text{MPa}$),确保强度基础;

粗骨料采用5~20mm连续级配玄武岩碎石(压碎值 $\leq 10\%$,针片状含量 $\leq 5\%$),细骨料选用细度模数2.8的中粗河砂(含泥量 $\leq 1.0\%$);

矿物掺合料采用一级粉煤灰(需水量比 $\leq 95\%$)与硅灰(比表面积 $\geq 20000\text{m}^2/\text{kg}$)复掺,其中硅灰掺量为胶凝材料总量的8%~10%,以提升混凝土密实度;

外加剂选用高性能聚羧酸系减水剂(减水率 $\geq 35\%$),并复合缓凝组分(初凝时间延长至8~10h),满足超长泵送需求。

配合比经120余次试验优化,C100混凝土最终确定水胶比0.23,胶凝材料总量 $580\text{kg}/\text{m}^3$ (水泥 $380\text{kg}+$ 粉煤灰 $80\text{kg}+$ 硅灰 120kg),砂率40%,坍落度控制在 $240 \pm 20\text{mm}$,扩展度 $\geq 750\text{mm}$ 。

2. 运输与泵送技术

运输采用12辆 6m^3 搅拌运输车,从搅拌站到工地车程约40分钟,运输过程中保持2~3r/min低速搅拌,到场后实测坍落度损失 $\leq 30\text{mm}$;

泵送为关键难点:核心筒施工最大泵送高度达580米,选用2台超高压混凝土泵(工作压力 48MPa),管道

采用Φ150mm耐磨合金管，布置成“之字形”折线（每30米设1个90°弯头）以降低阻力；泵送前用1:2水泥砂浆（用量2m³）润滑管道，泵送过程中保持连续供料（间隔≤15分钟），压力稳定在35-40MPa。

3. 浇筑与振捣工艺

核心筒采用“分层分段”浇筑，每层厚度300mm（对应振捣棒有效长度1.2倍），每段浇筑面积≤20m²，避免冷缝产生；

振捣采用Φ50mm高频振捣棒（振动频率12000r/min），插入点间距≤300mm，振捣时间20-30秒（至表面泛浆、无气泡溢出），钢筋密集区改用Φ30mm振捣棒补振。

4. 养护与温控措施

浇筑完成后12小时内覆盖塑料薄膜+阻燃棉被保湿保温，核心筒内部埋设循环冷却水管（进水温度≤20℃），通过测温系统（每2小时记录一次）控制内外温差≤25℃；

养护期延长至28天，前7天保持表面湿润（湿度≥90%），后期涂刷养护剂（成膜时间≤2小时），确保强度稳步增长。

（三）应用效果和存在的问题

应用效果：

强度达标：C100混凝土28天抗压强度平均值达108MPa（标准差≤3.5MPa），满足设计要求；60天弹性模量达4.8×10⁴MPa，符合结构刚度需求。

耐久性优异：碳化深度28天≤0.5mm，抗渗等级达P12，氯离子渗透系数≤1.5×10⁻¹²m²/s，适应上海潮湿多盐雾的环境。

结构效益：采用C100混凝土使核心筒截面尺寸从原设计的12m×10m缩减至10m×8m，增加使用面积约1800m²；自重减轻约15%，基础造价降低800万元。

存在的问题：

超高压泵送导致管道磨损严重，每浇筑500m³混凝土需更换弯头（磨损量达3mm），增加施工成本约12万元；

部分楼层核心筒表面出现细微收缩裂缝（宽度≤0.1mm），主要因胶凝材料用量高、水化热集中所致。

（四）改进措施

针对管道磨损：优化管道布置（减少弯头数量），采用“双金属复合管”（内壁堆焊耐磨层），使管道使用寿命延长3倍；

针对收缩裂缝：调整配合比（硅灰掺量降至8%，粉煤灰增至100kg），并在混凝土中掺入0.02%钢纤维（长度12mm），抑制裂缝发展；养护期间采用“智能喷淋系统”（每小时自动喷水10分钟），保持表面持续湿润。

通过上述改进，后续施工中管道更换频率降低60%，裂缝发生率从15%降至3%以下，确保了高性能混凝土在超高层极端环境下的施工质量。

结论

高性能混凝土以其高强度、高耐久性、良好的工作性等特点，在超高层建筑施工中具有显著的优势。它可以提高建筑物的安全性、耐久性和经济性，减小结构构件的尺寸，增加建筑物的使用空间。高性能混凝土在超高层建筑中的施工技术要点包括原材料的选择、配合比设计、运输、泵送、浇筑、振捣和养护等环节。在施工过程中，要严格控制原材料的质量，优化配合比设计，采用合理的施工工艺和设备，加强施工过程的质量控制和养护管理。

尽管高性能混凝土在超高层建筑中的应用取得了一定的成果，但仍存在一些问题需要进一步研究。未来的研究方向可以包括开发新型的高性能混凝土原材料和外加剂，提高混凝土的性能；研究更加科学合理的配合比设计方法，降低混凝土的成本；探索更加先进的施工工艺和设备，提高施工效率和质量等。通过不断的研究和创新，推动高性能混凝土在超高层建筑中的更广泛、更科学应用。

参考文献

- [1]唐开军.超高压泵送混凝土技术在超高层建筑工程中的应用研究[J].建筑科学, 2021, 37(5): 1.
- [2]潘景斌.超高层混凝土柱置换加固施工技术研究[J].地产, 2022(2): 0122-0124.
- [3]潘德要.超高层钢管柱混凝土泵送浇筑施工技术应用研究[J].广东土木与建筑, 2020, 27(3): 4.DOI: CNKI: SUN: GDTM.0.2020-03-024.
- [4]何华.超高层泵送混凝土施工技术研究[J].居舍, 2021(21): 29-30.
- [5]李引胜, 寇琦, 陈晓斌, 等.超高层大体积混凝土施工技术[J].建筑安全, 2022, 37(3): 5.