

# 建筑工程超高性能混凝土外墙施工技术研究

闻晓

浙江虹海建设有限公司

DOI:10.32629/ems.v8i5.20158

**[摘要]** 超高性能混凝土具有优异的力学性能及耐久性能,对于现代建筑外墙工程来说是理想的革新性材料,本文从其外墙施工的关键环节出发,讨论了材料拌合时工作性能的调控方法、构件成型浇筑时的质量保证措施、界面连接构造的稳定协同机制以及外墙养护条件对长期耐久性的影响规律,通过结合现行标准框架下的性能测试方法,旨在为超高性能混凝土外墙规范化施工提供技术建议,推动其在建筑工程领域的深度应用。

**[关键词]** 超高性能混凝土; 外墙施工; 性能测试

## 引言

现代建筑对围护结构性能的要求愈来愈高,传统材料体系面临诸多挑战。超高性能混凝土作为先进的水泥基复合材料,其高强度、高韧性及优异的环境耐久性成为高性能外墙理想的选择。将此类材料成功应用于外墙工程并非单纯依靠材料本身的性能,更取决于施工全过程的精准控制。从原材料精确拌合到构件合理养护,各环节都直接影响最终成品质量。深入探究并优化这些施工技术要点,是保证超高性能混凝土外墙达到设计预期、发挥材料潜力的关键。

## 1. 建筑工程超高性能混凝土概述

超高性能混凝土是以材料科学深度创新而诞生的先进水泥基复合材料,其制备原理在于排除传统混凝土中所用的粗骨料,继而采用合理的颗粒级配体系,将硅灰、石英粉、细砂等微米级粉体密实堆积,消除材料内部大部分孔隙。加入高掺量的微细钢纤维或合成纤维作为增韧相,并辅以高性能聚羧酸系减水剂,使极低水胶比的混凝土仍然具有较好的工作性。这种独特的微观结构设计,使其内部基体高度致密,基本不透水,从根源上解决了普通混凝土中孔隙、微裂缝引起的耐久性问题。

材料的综合性能远超常规混凝土,其抗压强度一般可达到120兆帕以上,部分优化的配方有可能突破250兆帕。纤维的桥接效应使材料具有明显的应变硬化行为及良好的抗弯、抗拉韧性,开裂之后残余承载力较高,防止了脆性破坏的风险。其力学优势在外墙应用中得以充分转化:墙体截面可以设计得极薄,结构自重相应减轻,为建筑设计留出更大自由度,同时致密的结构本身具有优异的隔热、隔声性能,

有利于提高建筑的热工效率。材料对氯离子侵蚀、冻融循环、碳化及化学腐蚀等环境劣化因素具有极强的抵抗能力,保障外墙在严苛气候条件下长期服役的可靠性,后期维修、更换的频率及由此产生的费用都大幅度降低。

## 2. 建筑工程超高性能混凝土外墙施工技术

### 2.1 材料拌合工作性能调控

超高性能混凝土拌合过程是获得其优异性能的基础环节,由于超高性能混凝土水胶比较低,又掺有大量微细粉体及高掺量纤维,拌合物的流变特性对搅拌工艺极其敏感,对搅拌工艺有严格的控制要求。精确控制各种组分的投料顺序至关重要,通常先将水泥、硅灰、石英砂等干粉料充分、均匀地预混合,消除团聚情况,然后加入部分拌合水及高效减水剂进行初步搅拌,得到均匀的浆体,之后分批加入钢纤维并充分搅拌至纤维完全分散、无结团<sup>[1]</sup>。整个过程必须依赖高功率强制式搅拌设备,以提供足够的剪切力,保证所有物料在微观尺度上真正均匀分布,避免纤维成团或粉体包裹不均所致的内部薄弱区。

拌合时间及搅拌速度应严格按配合比设计所确定的参数控制,因为拌合时间过短会导致混合不均,从而影响材料的均质性及强度,而拌合时间过长又容易因机械剪切作用过强而破坏外加剂的分散效果,造成拌合物流动性过快丧失,给后续浇筑带来不便。拌合过程不仅是物理混合,实际上是一个需要精确控制的化学反应准备阶段。工作性能的现场调控应通过微调高效减水剂掺量来实现,在保证拌合物具有足够流动性及良好可施工性的前提下,尽可能保留低水胶比带来的高强、高密实特性,为最终构件优异的力学性能及耐久性

打下坚实的物质基础。

## 2.2 构件成型浇筑质量控制

浇筑是把配制好的超高性能混凝土拌合物转化为实体构件的基本工序,也是决定成品外观及内在质量的关键环节。对于超高性能混凝土外墙,不论采用现场浇筑还是工厂预制的方式,都须严格保证浇筑过程的连续性、均匀性,防止形成冷缝。超高性能混凝土具有极好的自密实性能,浇筑时一般不需要使用插入式振捣器,否则强烈振动会破坏其内部均匀的微观结构,亦会造成纤维不利的定向排列,从而弱化材料的各向同性力学性能。

浇筑时要严格控制混凝土拌合物的自由下落高度,避免骨料离析,应采用分层浇筑的方法,每层浇筑厚度都要经科学计算确定,既有利于填满模板各处空间,又有利于内部气泡在自重作用下顺利排出。模板是混凝土成型的直接模具,其必须具有足够的刚度、尺寸精度及良好的密封性,否则哪怕微小的变形或漏浆都会导致表面缺陷或几何尺寸偏差。浇筑完毕后应立即进行表面处理,及时抹平,清除泌水及浮浆层,给后续养护工作创造一个平整、致密的理想基面。全过程都应监测环境温湿度,在炎热或大风天气及时采取遮阳、挡风等措施,防止水分过快蒸发引起早期塑性收缩裂缝,保护构件的整体性及耐久性。

## 2.3 界面连接构造稳定协同

外墙是建筑外围护体系中重要的构件,其与主体结构梁、柱、楼板等构件的连接可靠性直接关系到整个建筑的安全稳定。超高性能混凝土与常规建筑材料(普通混凝土、钢结构)相接的界面又是应力传递、协调变形的关键区域,也是结构的薄弱点。为保证不同材料形成稳定可靠的协同工作机制,应采取恰当的界面处理及连接措施。

常见的增强手段是设置机械锚固件、植入钢筋或在新旧混凝土结合面预留粗糙界面,能提高界面粘结力及抗剪能力。在后浇超高性能混凝土之前,必须对既有结构表面进行充分凿毛、清洗、润湿,并按规范要求涂刷专用的高性能界面剂,激活旧混凝土表面,让新旧材料形成整体<sup>[2]</sup>。对于采用装配式施工的外墙板,板与板之间水平及竖向接缝处一般用后浇超高性能混凝土或专用高强灌浆料填充密实,将分散的墙板单元连成统一的整体受力体系。连接构造的设计还须具备前瞻性,考虑不同材料热膨胀系数的固有差异,在适当地点设置合理的变形

缝或采用柔性连接节点,释放温度变化所引起的约束应力,避免因反复热胀冷缩而产生的界面开裂或连接失效。

## 2.4 外墙养护条件耐久演化

养护是超高性能混凝土从塑性状态向最终硬化状态转化,并实现其全部设计性能不可或缺的关键环节。由于其水胶比极低,内部可供水泥颗粒充分水化的自由水分非常有限,因此外部环境提供的水分补充对于保证水化反应持续、彻底地进行至关重要。早期养护一旦不足,极易导致内部自干燥现象加剧,引发显著的自收缩,从而在材料内部产生微裂缝网络,严重损害其本应具备的优异抗渗性和耐久性。

标准养护程序通常要求在浇筑抹面作业完成后立即覆盖塑料薄膜、土工布等保水材料,并持续洒水保持混凝土表面始终处于湿润状态,整个养护周期不得少于七天。对于有更高性能指标要求的工程,可采用蒸汽养护工艺,通过适度提升环境温度来加速水泥水化进程,缩短脱模周期。但蒸汽养护必须严格控制升温 and 降温的速率,避免因构件内外温差过大而产生有害的温度应力,造成表面甚至贯穿性裂缝。养护制度的选择与执行质量,直接决定了超高性能混凝土微观结构的致密化程度、孔隙特征及界面过渡区的完善度,进而从根本上影响其长期抵抗外界环境侵蚀介质(如氯离子、二氧化碳、冻融循环等)的能力,以及维持其高强度、高韧性等核心力学性能的持久性。

## 3. 建筑工程超高性能混凝土外墙施工性能测试

### 3.1 关键性能测试方案

为系统、严谨地检验超高性能混凝土外墙施工质量及所用材料各项性能是否符合设计要求及有关规范,要依据现行权威标准制定科学合理、完整可行的试验方案。当前,《超高性能混凝土试验方法》(T/CECS 864 - 2021)及《超高性能混凝土非承重构件性能试验方法》(GB/T 45594 - 2025)标准文件已经提供了明确的测试框架和技术路线,该方案的核心在于覆盖材料新拌状态一直到长期服役全过程的关键性能指标,测试内容划分为拌合物工作性能、物理力学性能以及长期耐久性能三大类别。

拌合物性能是顺利施工的前提,其测试重点在于评估新拌混凝土的流动度及扩展度,这些指标直接反映材料在模板内的自填充能力及拌合物均匀性,也是现场可施工性可靠的判断依据<sup>[3]</sup>。物理力学性能测试是评价材料承载、抗变形能

力的关键手段,抗压强度、抗弯强度(用来表征韧性)、弹性模量及抗拉强度等指标彼此互补,共同构成评价超高性能混凝土结构安全储备及使用功能的基础数据。耐久性测试从材料长期服役的角度出发,以抗冻性、收缩率、体积稳定性等专项试验,来模拟材料在实际工程环境下抵抗各种劣化因素侵蚀的能力,由此预测其全生命周期的可靠性及服役寿命。

### 3.2 力学与韧性性能测试

力学性能测试是超高性能混凝土工程验收及性能认证中的核心环节,它是对材料抵抗外力能力直接的定量评价,也是结构安全分析有力的数据支撑。抗压试验作为典型的力学测试,一般采用小尺寸立方体或圆柱体试件,在高精度、高刚度的压力试验机上进行加载,以获取其极限抗压强度值。该指标既是材料承载潜力的基本尺度,也是判断其是否符合设计强度等级要求的首要依据。

然而,由于高韧性是超高性能混凝土显著的特性,抗弯性能测试更有利于反映其相对于传统混凝土的优越性。通过四点弯曲试验,可以完整记录测定试件从初始受力、出现初裂、裂缝稳定扩展直到最终破坏全过程荷载—挠度曲线。这条曲线不仅提取抗弯比例极限强度及抗弯极限强度等参数,也揭示了其开裂后的非线性力学行为及应变硬化特性,以及较好的能量吸收能力,这是普通脆性混凝土所没有的<sup>[4]</sup>。

直接拉伸试验虽然试件制备、夹持过程都比较复杂,对设备及试验工艺有较高要求,但其所得结果反映了材料本身的抗拉性能及应变硬化特性,也是研究材料本构关系及微观机理理想的手段。所有力学性能测试都严格要求在规定的标准养护龄期之后进行,即二十八天自然养护或七天热养护后的试件,这样才能保证测试数据有统一、明确的基准,也更有利于不同试件结果之间的比较。标准化测试既可用于验证材料是否达到设计强度等级,也有利于厘清材料在复杂应力状态下的力学响应机制,为超高性能混凝土外墙的实际应用提供可靠的设计参数,也更有利于保证其工程安全性。

### 3.3 耐久性与长期性能评估

耐久性测试的目的是模拟超高性能混凝土外墙,长期服役时所经受的各种环境侵蚀及物理化学劣化过程,从而预估其长期性能。快速冻融循环试验是评价其抗寒冷地区严酷气候性能的有效手段,在实验室中对材料进行反复冻融循环,检验其在饱水状态下抵抗内部冰晶膨胀压力、防止表面剥落、

保持强度的能力。收缩性能测试,尤其是对早期自收缩及长期干燥收缩的精确测定,对预测墙体在约束条件下开裂的风险具有重要意义,因为微小收缩变形在受限时会转化为拉应力,这是裂缝萌生的诱因。

此外,从测定材料吸水率及体积密度入手可以反映材料微观结构的致密程度及孔隙连通性,低吸水性、高密度往往是优异抗渗性及耐久性的直接体现。但完整的耐久性评价需要兼顾抗氯离子渗透性、抗碳化性能及抵抗硫酸盐侵蚀的能力,各种测试结果共同揭示了材料抵御外界有害介质侵入、保护内部钢筋免于锈蚀、保持自身化学稳定性的综合能力<sup>[5]</sup>。所有长期性能指标彼此关联、共同作用,综合构成了对超高性能混凝土外墙全生命周期内抵抗环境侵蚀、保证结构完整性、维持功能稳定性能力的完整评价体系。基于严谨的测试数据,工程师可以对工程长期性能作出科学的判断,指导质量验收、维护计划的制定,为未来类似工程的设计优化提供切实可靠的依据。

### 结语

超高性能混凝土外墙施工是以先进材料科学为基础、以精细化工艺控制为手段的系统工程。从材料拌合的控制、浇筑成型的组织、界面构造的设计、养护制度的制定,每一个技术环节都紧密关联着最终产品的品质。依托日益完善的标准测试体系,对施工结果进行客观、准确的评价,保证其卓越性能得以实现。随着技术日趋成熟、成本不断降低,超高性能混凝土在塑造更安全、更耐久、更可持续的建筑外墙方面的作用愈加突出。

### [参考文献]

- [1] 蒋勤俭, 刘昊, 吴永杰, 等. 大型轻质复合保温外墙挂板饰面层用超高性能混凝土(UHPC)制备和成型的关键技术[J]. 混凝土与水泥制品, 2025(11): 62-66.
- [2] 张军杰, 路昆澎. 超高性能混凝土 UHPC 在建筑设计中的应用[J]. 室内设计与装修, 2025(2): 118-119.
- [3] 李博威. UHPC 磷石膏夹芯保温剪力墙设计及力学性能研究[D]. 三峡大学, 2023.
- [4] 杨亮. 装配式建筑工程中超高性能混凝土应用研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(10): 58-60.
- [5] 付成林, 钱若霖. 不同纤维增强超高性能混凝土性能研究与应用[J]. 内江科技, 2025, 46(4): 18-19.