

超高层建筑核心筒施工关键技术研究

邵峰¹ 张力²

1. 浙江省三建建设集团有限公司 浙江 杭州 310000

2. 潮峰钢构集团有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：随着城市化进程的不断推进与土地资源日益紧张，超高层建筑（通常指高度超过300米或80层以上的建筑）已成为现代都市的重要标志。作为超高层建筑的“脊梁”，核心筒承担着主要的竖向荷载、水平风荷载及地震作用，其施工质量与效率直接关系到整个工程的安全性、经济性与工期控制。本文系统梳理了当前超高层建筑核心筒施工中的关键技术，重点围绕液压爬模系统、高强高性能混凝土应用、垂直运输组织、施工测量与监测、BIM技术集成以及绿色施工等核心领域展开深入分析。总结各技术的优势、挑战及优化路径。研究表明，多技术协同、智能化管理与精细化施工是提升核心筒施工水平的关键方向，对推动我国超高层建筑高质量发展具有重要参考价值。

关键词：超高层建筑；核心筒；液压爬模；高强混凝土；BIM技术；施工监测；绿色施工

引言

在超高层建筑结构体系中，核心筒-外框架混合结构因其良好的抗侧刚度与空间灵活性被广泛采用。核心筒通常由钢筋混凝土剪力墙围合而成，内部布置电梯井、楼梯间、设备管道等，是建筑的“中枢神经系统”。其施工过程具有高度集中、工序复杂、精度要求高、安全风险大等特点，成为制约整体工程进度与质量的关键环节。核心筒施工技术的创新与优化，不仅关乎单体建筑的安全与效率，更对推动建筑工业化、智能化转型具有战略意义。一方面，高效的核心筒施工可显著缩短主体结构工期，降低融资成本；另一方面，先进施工技术的应用有助于减少资源消耗、提升施工精度、保障作业安全，契合“双碳”目标下的绿色建造理念。因此，系统研究超高层建筑核心筒施工关键技术，具有重要的理论价值与工程实践意义。

1 超高层核心筒结构特点与施工难点

1.1 结构特点

核心筒一般位于建筑平面中心，呈矩形、圆形或多边形，墙体厚度从底部的1.2米以上逐层收进至顶部的0.3~0.5米。其结构体系以钢筋混凝土剪力墙为主，具备极高的竖向承载能力和抗侧刚度，能够有效抵抗风荷载和地震作用。同时，核心筒内部集成了大量功能性空间，如电梯井道、疏散楼梯、机电管井等，使得其构造异常复杂。墙体中往往存在大量门洞、设备预留孔以及密集的预埋件，对钢筋排布和模板支设提出了极高要求。此外，为了保证整体结构的连续性和受力性能，核心筒通常采用滑模或爬模工艺实现无施工缝的连续浇筑，这对施工组织 and 材料性能均构成严峻考验。

1.2 主要施工难点

超高层核心筒施工面临多重技术挑战。首先，高空作业环境恶劣，作业面狭窄且临边、洞口众多，在强风条件下极易引发安全事故。其次，混凝土需泵送至数百米高空，超高泵送过程中易出现离析、堵管甚至强度损失等问题，对配合比设计和泵送设备提出极限要求。第三，模板系统长期处于高空暴露状态，不仅要承受自身重量和施工荷载，还需抵抗风振、温度变形及偏心加载带来的不利影响，稳定性控制极为关键^[1]。第四，垂直运输资源高度受限，人员、材料、设备均依赖核心筒内部有限的井道进行输送，协调难度极大，常成为制约施工节奏的瓶颈。第五，施工精度控制难度随高度累积而急剧放大，微小的定位偏差若未及时纠正，将在顶部形成显著偏心或错台，严重影响结构安全与使用功能。最后，项目普遍面临严苛的工期压力，核心筒施工速度直接决定整体进度，部分项目甚至要求实现“两天一层”的极快节奏，这对施工组织与资源配置构成巨大挑战。

2 核心筒施工关键技术体系

2.1 液压自动爬升模板系统

液压自动爬升模板系统是当前超高层核心筒施工的主流工法，其通过液压千斤顶驱动模板系统沿预埋导轨实现自动爬升，形成“支模—绑筋—浇筑—养护—爬升”的高效循环作业模式。该系统通常由模板面板、操作平台、液压爬升机构及附着装置四大部分组成。模板面板多采用钢框木胶合板或全钢材质，确保高刚度与表面平整度；多层立体操作平台为钢筋绑扎、混凝土浇筑、预埋件安装等工序提供安全作业空间；液压系统则通过多个同步油缸实现平稳、精准的爬升动作；附着装置通过

锥形螺栓或专用预埋件与已浇筑混凝土墙体可靠连接,传递全部施工荷载。液压爬模技术的核心优势在于其高效性与安全性。一方面,标准层施工周期可压缩至3至4天,显著提升施工速度;另一方面,全封闭的作业环境有效隔离高空风险,大幅降低坠落事故概率。同时,模板定位精度高,混凝土成型质量稳定,外观平整度好,且系统可重复使用数百米高度,经济性突出^[2]。然而,该技术的成功应用依赖于多项关键控制措施。例如,多点液压系统必须实现高度同步,否则易导致模板扭曲或局部失稳;附着节点的设计需经过严格力学验算,确保在各种工况下均具备足够安全储备;此外,在台风频发区域,还需设置抗风缆、限位装置等辅助措施,并建立风速预警机制,必要时暂停爬升作业以保障安全。

2.2 高强高性能混凝土(HPC/UHPC)应用技术

为满足超高层建筑对结构自重和截面尺寸的严苛限制,核心筒普遍采用C60至C80等级的高强混凝土,部分关键部位甚至引入超高性能混凝土(UHPC)。这类材料不仅要求具备高强度,还需兼具优异的工作性能与体积稳定性。具体而言,混凝土需具有高流动性(坍落度不低于220毫米,扩展度不小于600毫米),以适应超高泵送需求;同时需具备良好的保塑性,确保在90分钟内坍落度损失控制在30%以内;水胶比通常控制在0.30以下,并掺加硅灰、矿粉等矿物掺合料以优化微观结构;此外,还需通过配合比设计有效抑制收缩与徐变,防止早期裂缝的产生。超高泵送是高强混凝土应用中的核心技术难点。为实现500米以上的垂直输送,需选用出口压力不低于22兆帕的高压混凝土泵,并采用大直径(通常 ≥ 150 毫米)、高耐磨性的输送管道,尽量减少弯头数量以降低阻力。泵送前需使用专用润滑砂浆或海绵球进行管道隔离,防止混凝土与管壁直接摩擦造成离析。施工过程中还需对泵压、流量、环境温度等参数进行实时监控,一旦发现异常及时干预,避免发生堵管事故。

2.3 垂直运输与物流组织

核心筒内部的井道是整个超高层施工的“生命线”,其垂直运输能力直接决定了施工效率。由于永久电梯尚未安装,施工阶段主要依赖临时施工电梯和物料提升系统。为最大化利用空间,通常采用“永临结合”策略,即在永久电梯井道内安装临时施工电梯,待主体结构封顶后再拆除转换为正式电梯。对于超高层建筑,单一电梯难以覆盖全高,因此常设置接力转换层,通过高低区电梯衔接实现全高度覆盖^[3]。同时,引入智能调度系统,如IC卡识别、人脸识别及AI算法优化乘梯顺序,可显著提升人员运输效率。物料垂直输送同样至关重要。混

土浇筑多采用塔吊配合布料杆,或在核心筒顶部设置独立布料机,实现精准定点浇筑。为保持作业面整洁,还需设置专用封闭式垃圾滑道,将施工废料快速清运至地面处理。更为先进的是,通过BIM技术对垂直运输路径进行4D模拟,可提前识别潜在冲突点,优化设备布置与运输时序,避免人货混流或通道拥堵。这种基于数字化的物流组织方式,已成为现代超高层项目的标准配置。

2.4 施工测量与变形监测技术

在超高层建筑施工中,毫米级的精度控制是确保结构安全与使用功能的前提。传统测量方法难以满足如此严苛的要求,因此高精度测量技术应运而生。通常采用激光铅直仪与高精度全站仪组合的方式,建立贯穿全高的三维控制网,实现基准点的精准传递。为减少人为误差,越来越多项目引入智能棱镜系统,可自动识别目标并完成数据采集。在建筑顶部,还可布设GNSS接收机,实时监测整体位移响应。除静态测量外,动态变形监测同样不可或缺。通过在核心筒关键部位布设倾角传感器、应变计、温度计及风速风向仪,可实时获取结构的倾斜、应力、温升及环境荷载数据。这些信息通过物联网技术上传至中央数据平台,经分析后可实现风险预警与决策支持。例如,当监测到某楼层位移速率异常加快时,系统可自动触发警报,提示暂停施工并启动应急预案。广州东塔项目在施工期间部署了超过200个传感器,构建了完整的数字孪生模型,实现了从“被动应对”到“主动防控”的转变,极大提升了施工安全性与可控性。

2.5 BIM与智能建造技术集成

建筑信息模型(BIM)技术为核心筒施工提供了强大的数字化支撑。在深化设计阶段,BIM模型可用于进行多专业碰撞检查,优化钢筋排布,避免现场返工;在施工阶段,通过将模型与进度计划、成本数据关联,形成4D/5D模拟,可直观展示施工流程,优化工序搭接;对于复杂节点,还可实现工厂预制与现场预拼装,提高装配精度。此外,借助AR/VR技术进行可视化交底,使一线工人更直观理解施工意图,提升执行准确性。更进一步,BIM正与物联网、人工智能深度融合,催生“智能工地”平台。该平台可集成人员定位、设备监控、环境感知、质量验收等模块,实现全要素数字化管理^[4]。例如,通过UWB定位技术实时追踪工人位置,一旦进入危险区域即自动报警;通过AI算法分析混凝土养护图像,预测强度发展曲线;甚至可自动生成施工日志、检验批资料等文档,大幅减少人工录入错误。这种以数据驱动的管理模式,正在重塑超高层施工的组织逻辑。

2.6 绿色施工与可持续技术

在国家“双碳”战略背景下，绿色施工已成为超高层建设的必然要求。核心筒施工环节可通过多项措施践行可持续理念。在模板体系方面，推广铝合金模板或全钢模板，不仅周转次数高，还可大幅减少木材消耗；在水资源管理上，设置雨水收集系统与混凝土养护水循环装置，实现水资源的梯级利用；针对高空扬尘与噪声问题，采用全封闭爬模系统配合雾炮降尘，并优先选用低噪施工设备；在材料加工环节，引入钢筋数控加工生产线，将损耗率控制在1.5%以内，显著减少建筑垃圾产生。这些措施不仅降低了环境负荷，也提升了项目的社会形象与合规水平。

3 技术挑战与发展趋势

3.1 当前面临的主要挑战

尽管超高层核心筒施工技术已取得长足进步，但仍面临若干瓶颈。极端气候条件，如强台风、寒潮等，对高空作业安全构成持续威胁，现有防护措施尚显被动。施工过程中对人工依赖度依然较高，尤其是钢筋绑扎、模板安装等环节，自动化程度不足，制约了效率提升与风险降低。此外，各类信息系统如BIM、监测平台、项目管理软件之间尚未完全打通，存在“数据孤岛”现象，影响了决策的时效性与科学性。在材料层面，C100以上超高强混凝土虽强度优异，但脆性增大、裂缝敏感性提高，如何兼顾强度与韧性仍是研究热点。

3.2 未来发展趋势

面向未来，超高层核心筒施工将朝着智能化、模块化、绿色化方向深度演进。在装备层面，钢筋绑扎机器人、自动焊接机器人等智能装备将逐步替代人工作业，推动“少人化”甚至“无人化”工地建设。在建造模式上，核心筒有望实现模块化预制，将墙体、管线、防火隔墙

等集成于工厂单元，现场仅需吊装拼接，大幅提升质量与效率。新材料方面，工程水泥基复合材料（ECC）、碳纤维增强复合材料（CFRP）等高韧性、轻质材料将拓展应用，智能混凝土（具备自感知、自修复功能）也将从实验室走向工程实践。最终，通过构建覆盖设计、施工、运维全生命周期的数字孪生体，实现虚拟建造与物理建造的双向反馈与动态优化，将成为超高层建筑高质量发展的核心引擎。

4 结语

超高层建筑核心筒施工是一项高度复杂的系统工程，其技术发展已从单一工法创新迈向多技术融合、智能化驱动的新阶段。液压爬模、高强混凝土、BIM集成、智能监测等关键技术的成熟应用，显著提升了施工效率、质量与安全性。然而，面对更高、更复杂、更绿色的建设需求，行业仍需在自动化装备、新材料研发、数据融合等方面持续突破。未来，随着人工智能、物联网、先进制造等技术的深度融合，超高层核心筒施工将朝着“少人化、高精度、零事故、近零碳”的目标迈进，为中国乃至全球超高层建筑的可持续发展提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1]邢毅.超高层建筑核心筒爬模施工技术及其工效分析[J].江西建材,2023,(03):287-289.
- [2]徐文尚.超高层建筑核心筒爬模体系施工设计优化与应用[J].新城建科技,2025,34(08):165-167.
- [3]黄先银.超高层建筑核心筒+框架剪力墙结构施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(06):96-98.
- [4]章奕峰.基于超高层建筑核心筒爬模施工技术[J].建设科技,2023,(02):91-93.