

超高层建筑核心筒施工工艺创新与效率提升研究

庞世强

山东冠红建设集团有限公司 山东 临沂 276400

摘要：作为超高层建筑的“脊柱”与“心脏”，核心筒承担着主要的竖向荷载、水平抗侧力以及容纳垂直交通、设备管道等关键功能，其施工进度与质量直接决定了整个项目的成败。传统的核心筒施工方法在面对超高层建筑日益增长的高度、复杂性和工期压力时，逐渐显现出效率低下、安全风险高、资源消耗大等瓶颈。本文旨在系统梳理当前主流的核心筒施工工艺，深入剖析其在超高层应用中的局限性，并聚焦于近年来涌现的创新技术与管理策略。研究重点探讨了智能顶升模架系统（如“空中造楼机”）、数字化建造技术（BIM、数字孪生、物联网）以及精益建造理念在核心筒施工中的集成应用。通过理论分析与典型案例研究，本文论证了这些创新如何协同作用，实现施工效率的革命性提升、安全风险的有效管控及资源利用的优化。最后，文章对核心筒施工工艺的未来发展趋势进行了展望，为超高层建筑领域的工程实践与理论研究提供参考。

关键词：超高层建筑；核心筒；智能顶升模架；数字化建造；精益建造

引言

21世纪，人类空间探索从广度转向高度，超高层建筑在全球兴起，迪拜哈利法塔、上海中心大厦等不断刷新建筑高度。这一趋势是工程技术实力的象征，也是应对高密度城市发展的必然选择。钢筋混凝土核心筒因抗侧刚度、承载能力及空间整合优势，成为超高层建筑结构体系的主流，其施工贯穿项目始终，是决定整体工期的关键，施工周期常占主体结构总工期的60%以上，技术创新对其效益影响巨大。但超高层核心筒施工面临诸多挑战：高度增加使风荷载效应非线性增长，威胁临时结构稳定和人员安全；垂直运输距离长、效率低；工序衔接紧密，组织协调难；高空环境下混凝土施工难保证质量一致；安全风险点集中，传统管理手段难全覆盖。因此，对核心筒施工工艺进行系统性创新与效率提升研究，是解决痛点、推动超高层建筑建造技术发展的关键。

1 超高层核心筒传统施工工艺及其局限性

在创新工艺出现之前，滑模、爬模和翻模是核心筒施工的三大主流工艺，它们各自在特定历史时期发挥了重要作用，但在超高层建筑的严苛要求下，其固有缺陷日益凸显。

1.1 滑模施工工艺

滑模工艺通过液压千斤顶沿预埋在结构中的爬杆连续、缓慢地向上滑动模板，实现混凝土墙体的连续浇筑成型。这种方法的优势在于施工速度快、整体性好、无施工缝。然而，当应用于超高层建筑时，其局限性变得极为突出。滑模对结构的几何形状有着近乎苛刻的要求，仅适用于截面变化少、立面规则的筒体，而现代超高层建

筑为了追求美学和结构性能，常常采用收分、退台等复杂造型，这使得滑模工艺难以适应。在连续滑升过程中，一旦出现偏差，纠偏极为困难，极易导致结构扭转或倾斜等严重的质量问题。此外，滑模的操作平台通常较为狭小，各工种交叉作业干扰严重，不仅降低了工作效率，更带来了巨大的安全风险。最为致命的是，滑模无法形成封闭的作业空间，高空作业完全暴露在自然环境中，施工进度极易受到风、雨、雪等恶劣天气的干扰，难以保证工期的稳定性。

1.2 爬模施工工艺

爬模系统通过附着在已完成结构上的导轨或支架，利用液压或电动装置实现模板及操作架的整体爬升。相较于滑模，爬模可以分层施工，每层有固定的作业时间，这为质量控制和工序穿插提供了便利。然而，在超高层应用场景中，爬模同样暴露出诸多不足。每一次完成一个标准层的施工后，都需要经历解模、爬升、合模等一系列复杂的非生产性操作，这些环节耗时较长，显著拉低了整体施工节奏。同时，爬升操作必须等待下部新浇筑的混凝土达到足够的设计强度才能进行，这种对结构强度的依赖性成为了制约施工速度的刚性约束^[1]。在垂直运输方面，爬模系统本身并不集成物料垂直运输功能，所有材料和设备的吊运仍然高度依赖外部塔吊，这不仅效率低下，还占用了宝贵的塔吊资源，加剧了现场的运输瓶颈。此外，爬升过程的安全监控多依赖人工巡检，存在监控盲区和信息滞后的问题，难以实现全过程、全方位的安全保障。

1.3 翻模施工工艺

翻模是最为传统的施工工艺，即逐层进行模板支设、混凝土浇筑和模板拆除的循环作业。其最大的优势在于灵活性极高，几乎不受任何建筑形态的限制。然而，这种灵活性是以牺牲效率为代价的，尤其是在超高层项目中，其劣势被成倍放大。大量的时间和人力被消耗在重复的模板安拆工作中，导致施工周期异常漫长。同时，模板、脚手架等大量周转材料需要频繁地通过塔吊进行高空吊运，这不仅增加了高空坠物的风险，也给塔吊带来了沉重的负荷。从资源利用的角度看，木材、钢管等周转材料在反复使用中损耗巨大，造成了严重的资源浪费，与当前倡导的绿色、可持续建造理念背道而驰。因此，翻模工艺在追求速度与效率的超高层时代，已基本退出了主流舞台。

2 核心筒施工工艺创新：智能顶升模架系统

智能顶升模架系统，俗称“空中造楼机”，是近年来我国在超高层核心筒施工领域取得的革命性突破。它本质上是一个可随建筑“生长”而自主顶升的、集成化的空中工厂。

2.1 系统构成与工作原理

2.1.1 系统构成

一个完整的智能顶升模架系统通常由以下几个核心子系统构成：（1）支撑与顶升系统：由多个大吨位、高精度的液压或电动千斤顶组成，通过支撑在核心筒墙体预留的牛腿或钢梁上，实现整个平台的平稳、同步顶升。这是系统的“骨骼”和“肌肉”。（2）钢平台系统：一个覆盖核心筒整个平面的巨大钢结构平台，为各工种提供宽敞、安全的施工作业面。平台上可分区设置钢筋绑扎区、模板操作区、混凝土浇筑区、工具房、甚至小型办公室和休息区。这是系统的“躯干”。（3）模板系统：通常采用液压自动开合的钢大模板，与平台刚性连接，随平台一同顶升。模板的定位、校正均可在平台上完成，精度高、效率高。（4）挂架与防护系统：在平台下方悬挂多层（通常3-4层）全封闭的防护挂架，形成一个从上至下贯通的、风雨无阻的安全作业空间，彻底解决了高空作业的环境问题。这是系统的“皮肤”。（5）布料与物料系统：平台上集成有混凝土布料机，可直接将泵送至平台的混凝土输送到指定位置。同时，设有专用的物料通道（如“垃圾通道”、“钢筋通道”），甚至可配备小型施工电梯，实现物料的内部垂直运输，极大缓解了对主塔吊的依赖^[2]。（6）智能监控系统：这是系统的“大脑”和“神经系统”。通过遍布平台的传感器（倾角、应力、位移、风速、荷载等），实时采集数据，并通过中央控制系统进行分析处理，实现对顶升过程的同步控制、结构

安全预警、环境参数监测等功能。

2.1.2 工作原理

其工作流程为：在一个标准层施工完成后，解除平台与下部结构的约束，启动顶升系统，将整个平台连同其上的所有设备、物料和未拆模板，一次性顶升至下一个施工层。随后，工人在封闭的平台上进行钢筋绑扎、模板微调、混凝土浇筑等作业。整个过程循环往复，如同一个移动的工厂，逐层向上建造核心筒。

2.2 效率提升机制分析

智能顶升模架系统通过以下方式实现了施工效率的质变：（1）工序高度集成化与并行化：平台提供了充足的空间，使得钢筋、模板、混凝土、预埋等多个工序可以在同一空间内平行作业，互不干扰，大幅压缩了单层作业时间。（2）非生产性时间最小化：顶升过程自动化程度高，速度快（通常数小时内即可完成一层顶升），且不影响下部楼层的其他作业（如外框钢结构安装）。物料的内部垂直运输也节省了大量等待塔吊的时间。（3）全天候作业能力：全封闭的作业环境使施工基本不受恶劣天气影响，有效工作日大大增加。（4）劳动力效能提升：宽敞、安全、舒适的作业环境改善了工人劳动条件，减少了疲劳，提高了工作效率和专注度。（5）标准化与自动化：模板的液压开合、平台的自动顶升等操作，减少了对熟练工人的依赖，降低了人为误差，保证了施工质量的一致性，从而减少了返工。

3 数字化与精益建造的协同赋能

智能顶升模架是硬件载体，而数字化技术和精益建造理念则是其高效运行的软件灵魂。三者的深度融合，构成了现代超高层核心筒施工的核心竞争力。

3.1 BIM与数字孪生技术的深度应用

BIM技术在核心筒施工中扮演着“先知”和“沙盘”的角色。（1）深化设计与碰撞检查：在施工前，利用BIM模型对钢筋、机电管线、预埋件等进行精细化建模和碰撞检查，提前发现并解决图纸问题，避免现场返工。（2）4D/5D施工模拟：将施工进度计划（4D）和成本信息（5D）与BIM模型关联，对核心筒的施工全过程进行动态模拟。这有助于优化工序安排、验证顶升模架的顶升路径、精确计算物料需求，实现“虚拟建造先行”^[3]。（3）数字孪生平台构建：以BIM模型为底座，接入智能顶升模架的实时监控数据、现场视频、环境数据等，构建一个与物理世界完全对应的“数字孪生”核心筒。管理人员可以在指挥中心实时掌握现场状态，进行远程调度和应急指挥，真正实现“一屏观全域、一图管全程”。

3.2 物联网（IoT）与智能传感

物联网技术是连接物理世界与数字世界的桥梁。(1) 结构健康监测: 在核心筒关键部位和顶升模架上部署应力、应变、位移传感器, 实时监测结构在施工荷载和风荷载下的响应, 确保施工安全。(2) 设备状态监控: 对液压系统、电机等关键设备进行状态监测, 预测性维护, 防止因设备故障导致停工。(3) 人员与物料定位: 通过UWB或RFID技术, 实现对高危区域人员和重要物料的精确定位与轨迹追踪, 提升安全管理水平和物料调配效率。

3.3 精益建造理念的融入

精益建造的核心是“消除一切不创造价值的浪费”。

(1) 价值流分析(VSM): 对核心筒单层施工的价值流进行详细绘制, 识别出等待、搬运、过度加工等浪费环节。例如, 通过优化钢筋配送路线、采用定尺钢筋等方式, 减少现场二次搬运和切割。(2) 拉动式生产(Pull Production): 改变传统的“推动式”物料供应模式。根据顶升模架平台上各工位的实际消耗情况, 触发下一层物料的精准配送, 实现“零库存”或“最低库存”管理, 减少场地占用和资金占用^[4]。(3) 持续改进(Kaizen): 建立基于数据的PDCA(计划-执行-检查-处理)循环。通过对每个施工循环的数据进行分析(如实际用时vs计划用时、混凝土超耗率等), 不断寻找改进点, 实现施工效率的螺旋式上升。

4 典型案例分析: 北京中信大厦(“中国尊”)

北京中信大厦, 高528米, 是北京第一高楼。其核心筒施工是项目成败的关键。该项目成功应用了自主研发的“超高层巨型智能顶升模架系统”, 并深度融合了BIM和精益建造理念, 取得了显著成效。“中国尊”的顶升模架重达2000余吨, 可抵御10级大风。平台集成了4台高速施工电梯, 实现了人员和物料的快速垂直运输。其顶升系统采用激光测距和PLC控制, 确保了24个顶升点的绝对同步。项目建立了全生命周期的BIM管理平台, 对核心筒施工进行了毫米级的4D模拟。通过数字孪生技术, 实现

了对顶升过程的实时可视化监控和预警。在应用该系统后, “中国尊”核心筒的施工速度达到了创纪录的平均3-4天/层(在特定条件下最快可达2天/层), 比传统爬模工艺效率提升了一倍以上。整个核心筒施工期间, 安全事故率为零, 混凝土外观质量优良, 得到了业界的高度评价。这一案例充分证明了“智能装备+数字驱动+精益管理”三位一体模式的巨大威力。

5 结语

本文对超高层建筑核心筒施工工艺展开系统性研究得出明确结论: 传统施工工艺在效率、安全、质量上存在瓶颈, 难满足当代超高层建筑要求。“智能顶升模架系统”等集成化、工业化施工装备重构了施工生产方式, 是提升效率的硬件基石; BIM等数字化技术优化了资源配置与过程控制; 精益建造理念确保技术创新价值最大化释放。因此, “智能装备+数字驱动+精益管理”深度融合是当前及未来核心筒范式。展望未来, 超高层核心筒施工工艺将更智能、绿色、人性化。人工智能和机器人技术成熟, 相关机器人将减少高危作业、提升施工精度与安全; 超高性能混凝土等新材料应用将简化工艺、缩短养护周期; 基于5G通信和边缘计算的智慧工地平台提供智能决策支持; 在“双碳”目标下, 核心筒施工将注重全生命周期碳足迹管理。总之, 超高层核心筒施工工艺创新是产业变革, 需持续拥抱新技术、新理念以书写新篇章。

参考文献

- [1]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.
- [2]邵铭驰,赵伟,何久征,等.超高层建筑核心筒智能化施工技术革新[J].中华建设,2025,(01):144-146.
- [3]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.
- [4]唐元鹏.超高层建筑核心筒墙体爬模系统设计要点及施工工艺[J].中国新技术新产品,2023,(22):111-113.