

超高层住宅外立面穿插施工技术管理研究

文 / 卢志钊 中天华南建设投资集团有限公司

摘要：为确保现代住宅建筑既满足安全性、功能性等需求的同时兼具美观性需求，还需进一步探索建筑外立面施工工艺，规避工序交叉作业中存在的风险。文章从超高层住宅建筑入手，分析此类建筑的特征和施工挑战，提出外立面的穿插施工技术核心要点，包括单元式幕墙穿插安装技术、干挂石材与装饰线条同步施工、外立面保温与装饰层一体化技术，以及在实际施工过程中需要采取的针对性管控措施，以此实现项目经济效益、社会效益、生态效益最大化目标。

关键词：超高层；外立面；穿插施工；同步施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.011

引言

建筑市场竞争日趋白热化，想要保证竞争优势，还需在提升施工技术的基础上，优化相应的管理手段，以此让项目得以稳定推进。从过往的建筑施工项目来看，外立面作为关键施工环节之一，其施工质量直接决定了建筑整体形象。但出于美观性、功能性等多方面需求，外立面施工工艺日益复杂，交叉作业过程中还会受到诸多客观环境影响，对工程技术和技术管理要求较高，想要在确保施工质量的基础上，降低施工成本，还需对技术要点和控制要点展开深入分析。

一、超高层住宅外立面施工特点

超高层住宅多为100m以上，有些工程可达500m以上，这类建筑物的立面建造面临着明显的竖向交通问题的挑战^[1]。以某320m高的典型超高层工程为例，在其建造过程中，单层竖向运输需要约350m³的混凝土、80吨的钢筋、200吨的模板和脚手架材料，在传统的单塔布置下，单层的吊装需要分12批进行，每一次吊装时间大约25分钟，使得单层结构施工周期延长至7.5天。建筑立面材质的多样化，使得建筑的建造更加复杂。某工程使用的是单体玻璃幕墙、干挂石材和复合装饰板的结合系统，该建筑的幕墙单位板的尺寸是4.2m×1.8m，每一块的重量都达到1.2吨，需要使用特殊的吊具来完成高空的定位和安装，并且要将其安装精度控制在±2mm之内。干挂石材幕墙是由厚度为30mm的花岗石制作而成，每块面积1.5m²左右，总重120kg左右，施工时要对平整度和接缝的宽度进行同步控制，误差不大于1mm。过程的复杂表现在多个系统的协同工作上，比如：某建筑外立面包含幕墙的防雷接地系统、保温隔热层、装饰线条和夜间照明，还需要在幕墙的龙骨上设置防雷接地网，而且接地电阻应小于1.0Ω。保温层为25mm厚的岩棉板，防火要求为A类，热导率不大于0.035W/(m·K)；以玻

璃纤维增强混凝土为例，采用玻璃纤维增强混凝土构件，单体重约500kg，通过预埋件将其与主体结构可靠连接，并进行100kN拉力测试。

二、核心施工工艺与操作要点

(一) 单元式幕墙穿插安装技术

单元式幕墙穿插安装技术是超高层住宅外立面施工的核心工艺，其核心在于通过工厂化预制与现场机械化安装的协同，实现幕墙工程与主体结构施工的立体交叉作业。在工厂的预制件阶段，使用标准化的模板制造单元板，该板的尺寸为4200mm×1800mm，板的质量为1500kg，尺寸误差为±1.0mm，质量误差为±0.5mm。以某400m高超高层建筑为例，该建筑的幕墙体系由12500块组成，82%为标准板，18%的角板和异型板，采用模块化的方法，使得预制板的标准化率达到91%。公司拥有一条独立的生产流水线，拥有高精密的CNC裁切和自动组框的机器，单机生产能力达到60台，板材装配合格率达到99.3%。

其中，轨道式提升装置和地面转移平台的协调工作是贯穿式安装的重点。在20层的基础上，设置环状轨道提升体系，该体系由Q345B高强度钢材制造，断面尺寸300mm×150mm×12mm，单线段为12m，由高强度螺栓连接构成封闭回路。该系统的最大承重能力为8吨，可以吊装2个幕墙单位。采用一种新型的液压提升运输平台，该平台具有4500mm×3000mm的结构，额定承载力为5吨，采用导轨与结构层精准对接，使其从外部轨道到内部工作区的横向传递。通过对该400m工程现场的实际测量，发现使用本系统，总耗时45分钟，其中垂直吊运8分钟，水平转运6分钟，人工调位4分钟。其中，单层幕墙的装配效率提高到每天8件/天，比单件安装的速度快300%，并且其装配精度明显超过规范的规定：板块拼接的高度差不超过0.5mm，缝宽度不超过±1.0mm，相邻

板块的平整度偏差在 1.0mm 以内。

为保证隧道贯通施工的安全，轨道设计多种保护措施^[2]。轨道与结构连接处使用 m24 高强度螺栓，预紧力控制在 350N·m ~ 400N·m，并在各个连接点上安装有防止松动的螺帽；提升装置选用 6×37+FFC，直径 22mm，断裂强度为 310kN，安全系数为 6.0；在运输平台的周围，要有 1.2m 高的保护护栏，在底座上铺上 5mm 厚的花纹钢板，在移动过程中，要安装红外防撞装置。该 400m 工程的实际应用，证明采取以上措施后，幕墙施工过程中高空坠落事故发生率为 0，单位面积材料损坏率低于 0.8 件 / 100m²。

(二) 干挂石材与装饰线条同步施工

采用 BIM 技术进行深化设计和机械连接过程的创新，实现石材幕墙和室内装修部件的高效整合^[3]。在深化设计阶段，利用 Revit 对石材排版，龙骨定位，装饰线安装等环节进行集成。例如，某区域 380m 的超高层建筑，相关数据如表 1 所示，在 BIM 模型的基础上，对 127 个节点进行优化，消除 38 个不一致的石材、装修线和机电管线，返工率达 62%。通过该模型输出的数据，可直接驱动 CNC 机床，使其达到 ±0.5mm 的切割精度，使龙骨的下料误差小于 ±1.0mm，从而达到设计参数和工艺参数之间的无缝转换。

表 1 施工相关数据

项目	数值
石材幕墙面积	62, 000 m ²
石材品种数	25 个
最大板面尺寸	2400mm×1200mm
最小板面尺寸	600mm×300mm

采用机械紧固和后插螺栓连接技术相结合的方法，提高施工效率。石材龙骨选用 80mm×60mm×4mm 矩形管，外镀 80 μm 以上的热镀锌。单根龙骨的剪切强度为 45kN，按石料尺寸设计，横向间距 1200mm，纵向间距 600mm，采用 M12 化学锚栓固定于墙体。为提高锚固力，在孔底设有扩孔区，采用后插螺栓法，后插螺栓孔直径 8mm，深 25mm。后插销 4 根，排列成长方形，后插销抗拉承载能力标准值为 12kN，满足 3 倍的安全系数。在工地上，用特制的石头挂件和后插销相连，挂件由 304 不锈钢 3mm 厚，用 M8 不锈钢螺钉固定在龙骨上，螺钉的紧固力矩为 25N·m ~ 30N·m。通过该 400m 工程现场实测，发现采用钻孔 8 分钟，安装挂件 5 分钟，2 分钟调整位置，日安装量增至 40 m² / 人，比湿贴技术提高 200%。

采用装配式装配工艺，实现装饰线和石材幕墙的同步建造。本公司生产的装饰线材为玻璃纤维增强混凝土或铝合金材料，规格为 3000mm，断面可按客户需求定做，最大断面为 400mm×200mm。将可调式支撑架与主体结构相连，支撑间距 1500mm，由 M16 高强度螺栓紧固在预埋件上，支架的立体可调调整范围为 ±20mm，能有效消除建筑构造误差。在线接部设有专门的连接部，该连接管由 6mm 厚的铝合金制成，用抽芯铆钉进行紧固，接缝为中性有机硅防水胶，接缝宽 10mm，深 5mm。在 400m 的工程实践中，采用这种方法，将室内装修的时间缩短 40%，在外墙的线型偏差不超过 2.0mm/2mm，而墙面的平整度误差在 1.5mm 以内，接缝的高度误差在 0.5mm 以内，所有的参数都超过规范的要求。

(三) 外立面保温与装饰层一体化技术

外立面保温与装饰层一体化技术通过工厂复合与现场结合施工，实现保温性能与装饰效果的协同优化^[4]。以岩棉、聚苯板为隔热芯材，芯层密度 140kg/m³ - 160kg/m³，热导率 ≤ 0.025W/(m²·K)，具有 A 类不可燃性。该面板是由 4mm 厚的硅铝片或 2mm 厚的铝片制成的，其表面镀有 25 μm 以上的涂层，其耐候性能在 3000 小时的 QUV 加速老化测试中不会发生改变。该产品的整体尺寸为 1200mm×2400mm，板材质量不超过 45kg/m²，易于一人操作和安装。该复合过程是利用真空抽吸的方法，在 0.08MPa 的真空环境下，以双组分聚氨酯为粘合剂，粘接强度不低于 0.15MPa，在 -40℃ ~ +80℃ 的环境下，板材的平面度不超过 0.5mm/m。

在现场，采取湿贴法和干挂法相结合的方法，底层三层由于风压比较大，采取湿贴法的方法，提高连接的可靠度，而在上层则采取干挂法的方式，以简化施工程序。在进行湿贴施工时，要求墙面的表面平整度不超过 3mm/2m，含水量不超过 10%，pH 值不超过 10。粘结用的是高分子聚合物粘结砂浆，抗拉强度不低于 1.0 MPa，浸泡后不低于 0.5 MPa。板背面预制有深 5 mm、宽 50 mm 的锚固槽，以增强与挂件的机械咬合力高分子聚合物粘结砂浆。在施工过程中，按“点框”的方法，将宽 50mm、10mm 厚的粘结砂浆均匀地涂在周围，并在中心位置留直径 100mm，厚 10mm 的粘结点，粘结面积大于 60%。对 380m 工程进行现场测试，结果表明，采用湿法粘贴后，底板的抗风压达到 8.0kPa，达到 300m 的设计要求。

干挂工程使用铝合金挂件体系，挂件的厚度为 3mm，经阳极处理，镀层厚度 ≥ 15 μm。吊件之间的间

隔按板材大小而定，横向间隔 600mm，纵隔 1200mm，采用 M8 不锈钢管膨胀螺栓固定于墙面，螺栓埋置深度 $\geq 40\text{mm}$ ，单点抗拉承载力 $\geq 5.0\text{ kN}$ 。整体面板和吊饰的连接方式为 L 形的角码，每个角码的厚度为 3mm，用长 30 mm 的抽芯铆钉紧固。在干挂施工中，在板缝中放置泡沫条，并加有抗风密封剂，其直径是缝宽度的 1.3 倍，而密封胶的注胶深度为缝宽的 0.5 倍，从而保证防水效果。通过在 400m 工程中的实际应用，发现干挂面板平整度偏差在 1.5mm/2m、竖向偏差在 2.0mm/2m、接缝宽度不超过 $\pm 1.0\text{mm}$ ，总体气密性符合国家标准 7 级，防水性能符合国家标准 5 级。不仅如此，该工艺具有较好的综合效果，还可使外墙的施工工期从 180 天缩短到 120 天。

三、穿插施工关键技术体系

(一) 垂直运输优化技术

竖向搬运优化是指利用塔式起重机和施工升降机进行协调调度，并对物流路线进行动态规划，以达到多个标高的有效连接。超高层建筑采取双塔吊装分区覆盖的策略，即两座塔式起重机分别位于大楼南侧和北侧，臂长 65m，起吊高度 12 吨和 8 吨，有效保护范围不超过 15m。塔吊性能参数为：起升速度 0-80m/min，回转速率 0-0.8r/min，变幅速率 0-40m/min。中心控制系统可对这些参数进行实时监控与协同调度，保证在各种标高范围内吊装材料的高效吊装。在 350m 的超高层建筑工程中，双塔吊车协同工作时，每天可完成 1200m³ 的混凝土吊装和 800 吨的钢筋吊装，比单机吊装的效率提高 40%。

(二) 外立面施工工序分解与穿插逻辑

建筑立面施工过程的分解和穿插逻辑是通过主体和装修的协调推进来缩短建筑工期，如图 1 为全过程穿插流程图。

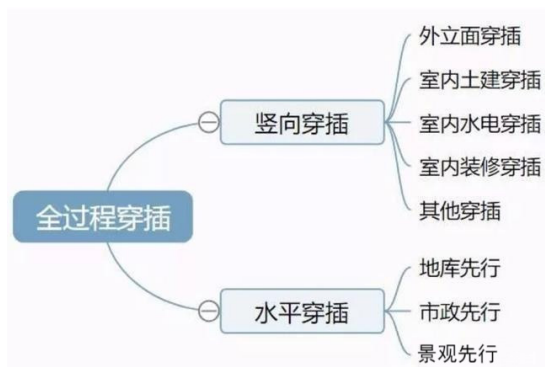


图 1 全过程穿插流程图

在主体结构施工时，预制件的安装和结构的施工进行，每隔 3 层就有幕墙连接点预埋区域，预埋件 300mm×300mm×12mm，锚筋 20mm，长度 400mm，与结构钢筋通过焊接固定，焊缝长度不少于 100mm，焊脚尺寸 8mm。预埋件的位置精度要求为 $\pm 2\text{mm}$ ，垂直度误差不超过 1.5mm，采用全站仪和激光测距仪进行综合校验，保证幕墙的安装精度。通过对 380m 工程的现场测试，发现预制块的一次验收合格率达到 99.2%，返工率低于 0.5%。

(三) 高空作业安全防护技术

采用整体吊装和悬挂平台相结合的方式，并辅以智能监测系统，建立多层次的安全保护系统。整个升降架由电动葫芦起吊，吊车额定起重量为 5 吨，升降速率从 0-0.2m 每分钟都可以调节。架体宽 0.9m，步距 1.8m，立柱间距 1.5m，涵盖 4 个标准楼层的高度。架体和结构用轨道相连，支架的横向间隔为 3.6m，纵向间隔为 5.4m，各支架均设有防倒和防坠装置，防坠间隔为 80mm。根据 350m 工程的实测资料，该脚手架吊装的同步性误差不超过 10mm，架体的垂直度偏差不得超过 0.5%，一次吊装时间不超过 4 小时。

结语

综上所述，在外立面施工过程中，需要灵活应用穿插技术，以此可在延长工序施工时长的基础上，稳步推进工序。综合来看，可借助全新的技术手段，在实现穿插安装、同步施工、一体化工艺的基础上，对垂直运输技术进行优化，明确外立面施工工序分解与穿插逻辑，并落实高空作业安全防护技术。上述技术的落实，可将施工过程中存在的风险前置化，在不影响整体建设进度的基础上，改善整体效益，为后续其他施工环节奠定良好基础。

参考文献

[1] 冯达煌. 超高层住宅外立面穿插施工技术管理浅析 [J]. 居业, 2025, (08): 183-185.

[2] 蔡宏伟. 建筑外立面铜钢铝晒光伏幕墙一体化施工技术研究 [J]. 山西建筑, 2025, (16): 42-45+50.

[3] 廖科, 潘加良, 姚玉, 等. 大型高层厂房外立面复杂线条施工技术研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (15): 180-182.

[4] 周妹娟. 建筑外立面施工中铝板材料的选择与应用技术研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, (14): 34-36.