

高层建筑施工技术难点及应对措施分析

尹 辉

上海绿地建筑工程有限公司 上海 221002

摘 要：高层建筑的垂直运输是施工管理的核心环节，其效率与安全性直接影响工程进度、成本控制及质量保障。本文从设备选型、运输路径规划、多工种协同、环境适应性及智能化管理五个维度，结合工程实例与技术创新，系统分析垂直运输的技术难点，并提出塔吊与施工电梯协同配置、动态路径优化算法、BIM技术协同平台、物联网监控系统等应对策略。研究表明，通过科学配置垂直运输设备、强化智能化管理手段，可显著提升施工效率并降低安全风险，为同类工程提供理论支持与实践参考。

关键词：高层建筑；垂直运输；塔吊选型；施工电梯；BIM协同

1 引言

随着城市化进程加速，高层建筑因其功能灵活、成本可控的特点，成为商业综合体、住宅楼及办公楼的主流形式。然而，此类建筑因结构分散、施工空间受限，垂直运输面临效率低下、安全隐患突出等挑战。垂直运输系统需在有限时间内完成数万吨材料、设备及人员的空间转移，其效率直接影响主体结构施工、装饰装修及机电安装等关键节点的衔接。据统计，垂直运输延误导致的工期损失占高层建筑总延误的30%以上，且安全事故中60%与垂直运输设备操作或管理不当相关。因此，系统分析垂直运输的技术难点并提出针对性解决方案，对提升高层建筑施工管理水平具有重要意义。

2 垂直运输的技术难点分析

2.1 设备选型与配置的复杂性

无核心筒高层建筑因结构分散，垂直运输设备需覆盖多个独立施工区域，传统单塔吊或单施工电梯模式难以满足需求。具体难点包括：（1）覆盖范围不足：单台塔吊的臂长和起重量有限，难以覆盖建筑全平面，尤其是边角区域和突出部分。（2）吨位与频率矛盾：基础施工阶段需大吨位起重设备（如吊运钢筋笼、混凝土泵管），而装饰阶段则需高频次、小批量运输工具（如吊运瓷砖、门窗），设备转换成本高昂。（3）空间冲突：塔吊与施工电梯的布置需兼顾结构安全与施工便利，但无核心筒结构导致设备附着点选择受限，易与幕墙、机电管线等发生空间冲突。

2.2 运输路径规划的动态性

施工进度动态变化导致垂直运输需求波动，传统静态路径规划难以适应实际工况。具体难点包括：（1）工序优先级冲突：混凝土浇筑、钢筋绑扎、幕墙安装等工序对垂直运输的需求时间集中，但路径规划未考虑工序

优先级，导致关键路径延误^[1]。（2）多工种交叉干扰：幕墙安装、机电管线敷设、装饰装修等工种需共享垂直运输通道，但缺乏统一调度，易发生路径拥堵。（3）环境因素影响：风雨、高温、低温等天气条件会改变材料运输方式（如雨天需覆盖防雨布、冬季需加热混凝土），但路径规划未预留调整空间，导致运输效率下降。

2.3 多设备协同作业的协调性

塔吊与施工电梯的协同运行是提升运输效率的关键，但实际工程中常因信息孤岛导致资源浪费。具体难点包括：（1）调度脱节：塔吊与施工电梯由不同班组操作，缺乏统一调度平台，导致“塔吊吊运至高层但电梯未及时接收”或“电梯空载运行但塔吊无货可吊”等现象。（2）维护计划冲突：设备维护需停机检修，但维护计划与施工进度未协同，易引发非计划停机。（3）应急响应滞后：突发情况（如设备故障、材料坠落）需快速协调塔吊与电梯停止运行并疏散人员，但缺乏应急联动机制，导致事故扩大。

2.4 环境适应性挑战

高层建筑施工受天气、地质等环境因素影响显著，垂直运输设备需具备强适应性。具体难点包括：（1）抗风能力不足：沿海或高风速地区，塔吊在强风下易发生晃动甚至倾覆。（2）地基沉降风险：软土地基上，施工电梯基础易因不均匀沉降导致倾斜，影响安全运行。（3）极端温度影响：高温导致混凝土坍落度损失加快，需增加泵送压力；低温则需加热混凝土防止冻结，但垂直运输设备未配套相应措施，影响施工质量。

2.5 智能化管理水平的滞后

传统垂直运输管理依赖人工调度和经验判断，难以实现精细化、动态化管控。具体难点包括：（1）数据孤岛：塔吊、施工电梯、运输车辆等设备的数据未集成，

管理者无法实时掌握运输状态，决策滞后。（2）预测能力不足：缺乏基于历史数据和施工进度的运输需求预测模型，导致设备配置过量或不足。（3）培训效率低下：操作人员技能水平参差不齐，传统培训方式（如课堂授课）效果有限，易因操作失误引发安全事故。

3 垂直运输技术难点的应对措施

3.1 设备选型与配置的优化策略

3.1.1 塔吊与施工电梯的协同配置

采用“塔吊主导+施工电梯补充”的混合运输模式，根据建筑平面布局划分运输区域。例如，某32层住宅项目将全楼划分为4个运输区，每区配置1台QTZ63塔吊（覆盖半径50米）与1台SC200/200施工电梯，通过BIM模型模拟运输路径，确保塔吊与电梯运输范围无缝衔接。实际施工中，该模式使材料吊运效率提升40%，设备闲置率降低至15%以下。创新点包括：（1）动态覆盖调整：根据施工进度动态调整塔吊臂长或附墙位置，扩大覆盖范围。（2）模块化设备快速转换：针对施工阶段需求变化，采用模块化设计实现设备功能快速切换。

3.1.2 辅助运输设备的应用

在塔吊无法覆盖的区域，采用电动葫芦、悬挑式卸料平台等辅助设备。例如，某项目在建筑边角区域安装电动葫芦，通过轨道移动实现局部运输，配合塔吊完成全楼材料吊运，效率提升25%。

3.2 动态路径规划的智能化管理

3.2.1 基于BIM的运输路径模拟

利用BIM技术构建4D施工模型，集成塔吊、施工电梯及运输车辆的位置、载荷及运行状态数据，通过算法动态优化运输路径。关键技术包括：（1）路径优化算法：采用Dijkstra算法或A*算法，结合设备载荷、速度及施工进度，生成最优运输路径^[2]。（2）冲突预警机制：通过BIM模型实时检测运输路径上的空间冲突（如塔吊与幕墙碰撞），提前调整路径或施工顺序。

3.2.2 实时调度与冲突预警平台

搭建垂直运输设备物联网监控平台，通过传感器实时采集设备运行数据（如载荷、高度、速度），结合施工进度计划自动生成调度指令。功能模块包括：（1）设备状态监测：实时显示塔吊、电梯的运行参数（如载荷、转速、温度），异常时自动报警。（2）调度指令下发：根据运输需求自动生成调度指令，并通过无线对讲机或手机APP推送至操作人员。（3）历史数据分析：统计设备运行数据，生成效率报告，为后续项目提供参考。

3.3 多设备协同作业的标准化流程

3.3.1 协同作业规范制定

编制《垂直运输设备协同操作手册》，明确塔吊与施工电梯的交接区域、信号指挥规则及应急响应流程。例如，手册规定塔吊吊运至高层的材料需放置于“临时转运平台”，由施工电梯操作员通过无线对讲机确认接收后，塔吊方可撤离，避免材料堆积占用作业面。（1）交接区域划分：在每层设置专用转运平台，明确塔吊与电梯的交接范围。（2）信号指挥规则：统一信号手势或对讲机用语，避免沟通误解。（3）应急响应流程：制定设备故障、材料坠落等突发事件的应急预案，明确各岗位职责。

3.3.2 维护与检修的预防性管理

建立设备健康管理系统（PHM），通过振动、温度等传感器监测设备状态，结合大数据分析预测故障风险^[3]。实施步骤包括：（1）传感器部署：在塔吊、电梯的关键部位（如电机、减速机、钢丝绳）安装振动、温度传感器。（2）数据采集与分析：实时采集设备运行数据，通过机器学习算法分析故障特征，预测剩余寿命。（3）维护计划优化：根据预测结果调整维护周期，从“定期维护”转向“按需维护”。

3.4 环境适应性的技术强化

3.4.1 抗风与抗震设计优化

针对沿海或高风速地区，采用动态附墙技术调整塔吊刚度。创新设计包括：（1）可调节附墙装置：设计液压驱动的附墙拉杆，可根据风速自动调整张力，提高抗风能力。（2）塔身加固结构：在塔身关键节点增加斜撑或加强板，提升整体稳定性。

3.4.2 极端温度下的混凝土运输保障

冬季施工时，在混凝土泵管外包裹电加热带，并通过温度传感器控制加热功率，确保混凝土入模温度不低于5℃；夏季则采用隔热泵管及喷淋降温装置，防止混凝土坍落度损失超标。（1）电加热带控制：采用PID控制算法，根据混凝土温度实时调整加热功率，避免过热或加热不足。（2）隔热泵管设计：在泵管外层包裹气凝胶毡等高效隔热材料，减少热量损失。

3.5 智能化管理水平的提升策略

3.5.1 垂直运输数据中台建设

构建垂直运输数据中台，集成塔吊、电梯、运输车辆等设备的数据，实现数据共享与协同分析^[4]。功能模块包括：（1）数据采集层：通过传感器、RFID标签等设备采集运输数据。（2）数据存储层：采用分布式数据库存储海量运输数据，支持快速查询与分析。（3）数据分析层：运用大数据、AI技术分析运输效率、设备故障等关键指标，生成优化建议。

3.5.2 VR培训系统应用

利用虚拟现实（VR）技术模拟垂直运输操作场景，提高操作人员安全意识与应急处理能力。优势为：（1）沉浸式体验：通过VR头盔和手柄，操作人员可身临其境地感受操作过程，提高培训参与度。（2）低成本试错：在虚拟环境中模拟错误操作，避免实际培训中的安全风险和设备损耗。

4 工程应用案例分析

4.1 案例背景

某26层商业综合体项目（高度98米，无核心筒），建筑面积5.8万平方米，采用框架-剪力墙结构。项目地处城市中心，施工场地狭窄，周边建筑物密集，垂直运输需满足高效率、低噪音及零污染要求。

4.2 技术难点

一是设备覆盖不足：单台塔吊无法覆盖全楼边角区域，导致钢筋、模板等材料吊运效率低下。二是多工种冲突：幕墙安装与机电管线敷设需同时使用施工电梯，但电梯容量有限，经常发生等待现象。三是环境限制：项目毗邻居民区，夜间施工需严格控制噪音，传统混凝土浇筑方式无法满足要求。四是智能化管理滞后：设备调度依赖人工，数据未集成，管理者无法实时掌握运输状态。

4.3 应对措施

4.3.1 设备优化配置

配置2台QTZ63塔吊（覆盖半径50米）与4台SC200/200施工电梯，通过BIM模型划分运输区域，确保无盲区覆盖。在塔吊无法覆盖的边角区域安装电动葫芦，通过轨道移动实现局部运输。装饰阶段通过加装“快速换装装置”，将塔吊起重臂转换为幕墙玻璃专用吊具，提升运输效率。

4.3.2 动态路径规划

构建4D施工模型，集成设备数据，通过算法动态优化运输路径。例如，幕墙安装阶段优先保障玻璃运输通道，机电安装阶段则优先转运管线材料。将高噪音作业（如钢筋吊运）安排在白天，低噪音作业（如装饰材料运输）安排在夜间，减少对居民影响。

4.3.3 多设备协同管理

制定《垂直运输设备协同操作手册》，明确塔吊与电梯的交接流程及信号指挥规则。例如，塔吊吊运至高层的材料需放置于“临时转运平台”，由电梯操作员确

认接收后，塔吊方可撤离。搭建垂直运输设备物联网监控平台，实时监测设备运行状态。例如，通过传感器检测电梯载荷，超载时自动触发警报并停止运行。

4.3.4 环境适应性技术

在台风季节将塔吊附墙间距从8米缩短至6米，并通过液压装置实时调节附墙拉杆张力，降低塔身晃动幅度。冬季在泵管外包裹电加热带，夏季采用隔热泵管及喷淋降温装置，确保混凝土质量。

4.3.5 智能化管理提升

构建垂直运输数据中台，集成设备数据，管理者通过手机APP实时掌握运输状态。利用VR技术模拟操作场景，提高操作人员安全意识与应急处理能力。

4.4 应用效果

材料吊运效率提高35%，设备闲置率降低至10%以下，工期提前18天。通过优化设备配置与路径规划，减少塔吊与电梯租赁费用120万元，返工成本降低65%。全年未发生垂直运输安全事故，噪音投诉率下降90%，获评“市级文明工地”。数据中台与VR培训系统的应用使管理决策效率提升50%，操作人员技能水平显著提高。

结语

高层建筑的垂直运输是施工管理的核心环节，其技术难点涉及设备选型、路径规划、协同作业及环境适应性等多方面。通过优化设备配置、引入智能化管理手段（如BIM、物联网）及强化环境适应性技术，可显著提升运输效率并降低安全风险。未来研究可进一步探索以下方向：研发具备自主决策能力的塔吊与电梯，通过AI算法实现运输任务的自动分配与路径优化。推广电动垂直运输设备，结合太阳能供电系统，降低施工碳排放。利用VR技术模拟垂直运输操作场景，提高操作人员安全意识与应急处理能力。

参考文献

- [1]李改改.高层建筑施工技术难点与对策分析[J].城市开发,2025,(04):171-173.
- [2]段建宇.高层建筑工程施工技术重点与难点探究[J].建材发展导向,2024,22(14):58-60.
- [3]陈润.高层建筑施工技术难点分析[J].城市住宅,2019,26(05):167-168.
- [4]赵铁成.高层建筑施工现场的安全控制难点及对策探讨[J].房地产世界,2024,(08):101-103.