

高层建筑施工技术难点与解决方案

杨志会

河北建设集团股份有限公司 河北 保定 071000

摘要：高层建筑施工技术面临诸多难点，如施工周期长、高空作业风险大、工序复杂、安全风险高等。基础与地下结构施工需应对复杂地质条件，主体结构施工需解决超限结构体系与高空作业挑战，机电安装与装饰施工则需关注管线布置与精度控制。文章提出了针对性的解决方案，如采用“支护选型优化+信息化监测”应对深基坑施工，通过“BIM预演+智能装备”提升钢筋混凝土结构施工精度，推广“BIM管线综合+工厂化预制”模式优化机电安装流程。此外，施工安全与组织管理也得到了重视，构建了智能防护体系与多方协同机制。

关键词：高层建筑；施工技术难点；解决方案

1 高层建筑施工的特点与技术要求

1.1 高层建筑施工的核心特点

高层建筑施工具有“长、高、杂、险”四大核心特征。施工周期长，受地质条件、气候环境、多专业交叉影响，住宅类高层建筑周期普遍为2-3年，超高层综合体可达4-5年；高空作业占比高，主体结构、机电安装、外装饰等阶段超高空作业占比超60%，临边作业、吊装作业频繁；工序复杂，涉及土建、钢结构、机电、装饰等多个专业，交叉作业协调难度大；安全风险突出，高空坠落、物体打击、起重设备倾覆等安全隐患频发，且受大风、暴雨等恶劣天气影响显著。

1.2 不同类型高层建筑的施工技术要求

不同结构类型的高层建筑施工技术要求存在显著差异。钢筋混凝土结构高层建筑，需重点控制模板体系刚度与稳定性，确保混凝土浇筑密实性，严格控制墙体、楼板裂缝，尤其是核心筒墙体垂直度偏差需 $\leq 1/1000$ ；钢结构高层建筑，对构件加工精度要求严苛，钢柱截面尺寸偏差需 $\leq 3\text{mm}$ ，现场焊接接头探伤合格率需达100%，同时需做好防火防腐处理，涂层厚度偏差控制在 $\pm 5\mu\text{m}$ 以内；装配式高层建筑，预制构件吊装定位精度需 $\leq 5\text{mm}$ ，节点灌浆密实度需通过超声波检测验证，密封防水施工需满足抗渗等级P6及以上要求^[1]。另外，特殊功能高层建筑有专项要求：医疗类建筑需保障手术室、影像科等特殊区域的防辐射、防振动施工质量；酒店类建筑需注重精装工程的细节精度，墙面平整度偏差需 $\leq 2\text{mm}$ 。

2 高层建筑各施工阶段的技术难点

2.1 高层建筑基础与地下结构施工难点

高层建筑基础施工需应对复杂地质，软土地基承载力弱，需桩基与复合地基处理。深层桩基施工易受地下

障碍物干扰，成孔精度控制难。深基坑开挖面临支护结构变形与周边环境影 响，传统支护体系在富水地层中易渗漏，地下连续墙施工需防槽壁坍塌与接头渗水。大体积混凝土底板浇筑时水化热集中，易产生裂缝。地下水治理需平衡降水效率与地面沉降风险，尤其在敏感区域，动态监测与应急回灌至关重要。逆作法施工要求垂直运输效率高，土方开挖与结构施工衔接紧密，对组织能力要求极高。

2.2 主体结构施工难点

主体结构施工面临超限结构体系与高空作业挑战。巨型框架-核心筒结构需动态调整施工进度与支撑体系。高强度混凝土泵送高度增加，坍塌度损失与管道阻力增大，设备故障率升高。钢结构安装需控制焊接变形与高空风振影响，施工测量精度随高度增加而衰减。主体结构施工周期长，垂直运输设备调度直接影响进度，群塔防碰撞算法优化是关键。

2.3 机电安装与装饰施工难点

机电安装与装饰施工关乎高层建筑的使用功能与外观品质，难点集中在管线布置与精度控制。机电安装阶段，管线综合冲突频发。高层建筑机电系统包含给排水、电气、暖通、消防等数十个子系统，管线密集分布于吊顶、管井内，传统二维设计易出现管线交叉碰撞，某商业综合体项目机电施工时发现管线冲突点超200处，导致返工成本增加500万元。同时，机电设备安装精度要求高，如中央空调冷水机组找平误差需控制在0.1mm/m以内，否则影响运行效率。装饰施工阶段，外墙施工与成品保护难度大。玻璃幕墙安装时，高空吊篮作业受风力制约（风力 ≥ 5 级时无法施工），且幕墙板块定位偏差超2mm即影响密封性能，易出现雨水渗漏^[2]。

2.4 施工安全与组织管理难点

施工安全与组织管理贯穿高层建筑施工全过程,风险点多且管控难度大。安全方面,高空作业与设备安全风险突出。临边作业未设置防护栏杆、安全网破损等问题易导致坠落事故,据统计,高层建筑施工坠落事故占安全事故总数的40%以上。塔吊、施工电梯等特种设备运行风险高,某项目塔吊因基础沉降导致塔身倾斜,幸及时发现未造成人员伤亡。同时,施工现场临时用电混乱,如电缆拖地、漏电保护器失效等,易引发触电事故。组织管理方面,工序衔接与资源协调不畅。高层建筑施工涉及勘察、设计、施工、监理等数十家单位,工序衔接需精准配合,如主体结构施工与机电预留洞口施工不同步,易出现洞口遗漏。另外,农民工队伍流动性大、技能水平参差不齐,对新技术、新设备的操作能力不足,增加施工质量与安全风险。

3 高层建筑施工技术难点的解决方案

3.1 基础与地下结构施工解决方案

针对深基坑施工难点,采用“支护选型优化+信息化监测”协同方案。软土地区优先选用“地下连续墙+内支撑”支护体系,地下连续墙厚度 $\geq 800\text{mm}$,嵌入深度为基坑深度的1.2-1.5倍,同时采用水泥土搅拌桩止水帷幕,渗透系数控制在 10^{-7}cm/s 以下;岩溶地区施工前进行详细地质勘察,采用地质雷达探测溶洞分布,对大型溶洞采用“抛石+注浆”填充处理,注浆压力控制在0.5-1.0MPa。引入基坑自动化监测系统,布设测斜仪、沉降观测点,实时监测边坡位移(预警值 $\leq 30\text{mm}$)、周边地面沉降(预警值 $\leq 20\text{mm}$),数据每小时自动上传至管理平台,异常时触发声光预警。针对大体积混凝土裂缝问题,实施“原材料优化+全过程温控”方案。选用低热硅酸盐水泥(水化热 $\leq 270\text{kJ/kg}$),掺加30%-40%粉煤灰与10%-15%矿粉,降低水化热;采用60mm厚岩棉板覆盖保温,预埋冷却水管(管径50mm),通入15-20℃循环水,通过温度传感器实时监测混凝土内部温度,确保内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ 。同时,采用分层浇筑(每层厚度 $\leq 500\text{mm}$)、振捣密实(振捣时间15-20s/点),避免施工冷缝。

3.2 主体结构施工解决方案

钢筋混凝土结构施工采用“BIM预演+智能装备”提升精度与效率。通过BIM模型模拟钢筋绑扎、模板安装流程,优化梁柱节点钢筋排布,提前规避施工冲突;采用智能钢筋切断弯曲机(精度 $\pm 1\text{mm}$)加工钢筋,液压爬模系统(爬升速度 $\leq 2\text{m/h}$)实现模板整体提升,垂直度偏差控制在1/1500以内。混凝土运输选用高压混凝土泵(额定压力 $\geq 25\text{MPa}$),掺加高效减水剂与引气剂,控制坍

落度损失(1小时损失量 $\leq 10\text{mm}$);浇筑时采用布料机均匀布料,振捣采用高频振捣棒(频率 10000r/min),确保混凝土密实度。钢结构施工优化“吊装工艺+焊接管控”流程。根据构件重量与安装高度,选用超起塔式起重机(最大起重量 $\geq 300\text{吨}$),采用“双机抬吊”技术吊装大型构件,吊装时设置缆风绳控制摆动(幅度 $\leq 50\text{mm}$);安装激光定位仪(精度 $\pm 0.5\text{mm}$)实时校准构件位置,累积误差控制在10mm以内。焊接采用窄间隙埋弧焊(效率提升30%)与二氧化碳气体保护焊,厚钢板焊接前采用电加热片预热,温度通过红外测温仪实时监控;焊缝检测采用超声波探伤(UT)与射线探伤(RT)结合,一级焊缝合格率确保 $\geq 98\%$ 。

3.3 机电与装饰施工解决方案

机电安装推广“BIM管线综合+工厂化预制”模式。利用BIM软件进行管线碰撞检测(碰撞率降低至 $\leq 1\%$),优化管线排布(间距 $\geq 100\text{mm}$),生成三维施工图纸;在工厂预制机电管线(精度 $\pm 2\text{mm}$),如空调风管采用法兰连接,预制率 $\geq 80\%$,现场仅需拼接安装,施工效率提升40%。设备安装前采用水平仪找平(误差 $\leq 0.1\text{mm/m}$),地脚螺栓灌浆采用无收缩灌浆料,确保设备运行稳定。装饰施工实施“模块化装配+精准检测”方案。玻璃幕墙采用单元式模块化预制(每个单元尺寸 $1.5\text{m}\times 3.5\text{m}$),工厂内完成玻璃安装、密封胶施工,现场通过吊装孔(尺寸 $2\text{m}\times 2\text{m}$)吊装拼接,安装时采用全站仪定位(精度 $\pm 1\text{mm}$),密封胶施工后进行雨水渗透检测(压力0.3MPa,持续30min无渗漏)^[3]。成品保护方面,石材地面铺设5mm厚聚乙烯薄膜,机电施工时铺设临时走道;设置成品保护专员,建立巡查制度(每日2次),发现损坏及时修复。

3.4 施工安全与组织管理解决方案

施工安全构建“智能防护+制度保障”体系。临边作业设置1.2m高防护栏杆(间距 $\leq 1.8\text{m}$)、2000目安全网(阻燃等级B1级),高空作业人员佩戴智能安全帽(含定位与坠落预警功能),实时监控人员位置与状态。塔吊、施工电梯安装安全监控系统(含重量、力矩、高度限制器),数据实时上传至监管平台,超载或违规操作时自动停机。临时用电采用“三级配电、两级保护”,电缆穿管埋地敷设(深度 $\geq 0.7\text{m}$),每台设备设置独立开关箱,漏电保护器动作电流 $\leq 30\text{mA}$ 。组织管理建立“多方协同+精细化管控”机制。成立联合指挥部,每周召开协调会议,明确各单位工序衔接节点(如结构施工至10层时启动机电预留);采用Project软件制定进度计划,细化至每日施工任务,延误时及时调整资源(如增

加施工班组)。农民工管理实施“技能培训+实名制”,入场前开展安全与技能培训(时长 ≥ 40 学时),考核合格后方可上岗;通过实名制平台记录考勤与工资发放,确保用工规范。

4 新技术在高层建筑施工中的融合应用

4.1 BIM技术在高层建筑施工中的全流程整合

BIM技术深度渗透于高层建筑施工的每个环节。施工筹备阶段,通过构建集建筑、结构及机电一体化的BIM模型,模拟施工方案,有效揭示出核心筒模板与钢结构之间的冲突点共计12项,为提前优化布局、规避返工提供了可能;进入进度管理阶段,BIM模型与Project进度管理系统实现无缝对接,生成4D进度模拟,直观呈现施工全貌,一旦偏差超出预设阈值(如3天),即刻调整策略。同时,利用BIM模型与实际施工数据的比对分析,精确识别质量瑕疵,结合激光扫描技术,曾成功定位墙体平整度不达标区域8处,并迅速采取整改措施;竣工交付之际,BIM模型进一步升级,纳入设备参数与详尽施工记录,形成数字化资产,与运维管理系统完美对接,为后续设施维护提供坚实的数据支撑^[4]。

4.2 智能建造技术在高层建筑施工中的革新实践

智能建造技术的广泛应用,显著提升了高层建筑施工的智能化层级。施工现场,混凝土浇筑机器人、钢结构焊接机器人及幕墙安装机器人等智能化设备遍地开花,其中,混凝土浇筑机器人作业效率较人工提升一倍,钢结构焊接机器人作业精度高达99.5%,幕墙安装机器人更是能在50米高空精准作业,展现了高超的技术实力。无人机技术亦被引入超高层外立面检测,搭载红外热成像设备,高效识别幕墙密封缺陷,检测效率较传统方法提升五倍。另外,物联网与大数据技术深度融合,施工现场密布50至100个物联网传感节点,实时收集温度、湿度、人员分布及设备状态等数据,大数据分析助力资源优化配置,通过智能排班,人工成本得以有效降低约10%;同时,构建的施工风险预测模型,针对起重作

业、高空作业等高风险环节提前预警,预警准确率稳定在85%以上。

4.3 绿色施工技术在高层建筑施工中的综合推进

绿色施工技术在高层建筑施工中的全面应用,为“双碳”目标的实现贡献力量。节能方面,施工现场积极采用太阳能照明及临时供电系统,年发电量可达5万度,有效减少化石能源消耗;雨水回收系统则将雨水变废为宝,用于降尘及养护作业,年节约用水量高达3000立方米。在废弃物资源化利用领域,建筑废弃物经分类处理后,混凝土废渣转化为再生骨料,回收利用率高达80%,部分再生骨料成功应用于路基回填,有效节约建设成本。同时,绿色建材如低碳水泥、再生钢材等得到广泛应用,显著降低碳排放20%;外墙保温材料采用高效真空绝热板,保温性能较传统材料提升50%;超低挥发性有机物(VOC)涂料的推广使用,确保了室内空气质量全面达标,保障了居住者的健康权益。

结束语

高层建筑施工技术的不断革新与进步,不仅提升了施工效率与质量,还有效降低了安全风险与环境负担。通过BIM技术的全流程整合、智能建造技术的革新实践以及绿色施工技术的综合推进,高层建筑施工正逐步迈向智能化、精细化与绿色化。未来,随着技术的进一步发展及融合应用,高层建筑施工将更加高效、安全与环保,为城市发展与建设贡献更大力量。

参考文献

- [1]丁飞,谷文锦.高层建筑地下室防水施工技术难点与解决策略[J].住宅与房地产,2024,(23):95-97.
- [2]杨青松.沉降观测技术在装配式高层建筑施工中的应用研究[J].北方建筑,2024,9(01):27-31.
- [3]巩立斌,王跃军.超高层建筑绿色施工中数字化技术的应用研究[J].绿色建造与智能建筑,2024,(08):33-38.
- [4]柴其忠.深厚软土中高层建筑深基坑支护施工技术研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(10):34-36.