

双核心筒超高层建筑塔机群协同部署与连续施工转换技术研究

朱鑫龙

上海市中核华兴达丰机械工程有限公司 上海 200331

摘要: 随着建筑高度不断增加,双核心筒结构因优异的抗震性能与空间效率成为超高层建筑主流形式,但其对称布局特征导致塔机群协同作业面临双侧荷载差异显著、空间干涉风险倍增及设备转换效率低下等难题,严重制约施工进度与安全保障。本研究以某 206.75m 双核心筒超高层工程为依托,通过开发阶梯式高度差布局算法与截臂模块化改造工艺,成功实现 4 台塔机的无间歇转换,设备基础预埋件重复定位精度达 $\pm 1.5\text{mm}$,构建起覆盖半径互补的垂直运输网络,为同类工程提供技术参考。

关键词: 双核心筒;超高层建筑;塔式起重机;连续施工转换;协同作业

随着城市化进程的加速和建筑技术的革新,超高层建筑已成为现代城市空间集约化利用的重要载体。其中,双核心筒结构凭借其优异的抗震性能、空间效率及施工协同性,在 400m 级以上超高层建筑中得到广泛应用。研究针对双核心筒超高层工程,通过构建“三维动态配置-智能协同控制-模块化转换”技术体系,重点突破双峰作业面下的塔机群荷载均衡分配算法;受限空间内设备连续转换的精度控制技术。研究形成的解决方案为同类工程提供了理论依据和技术范式,推动超高层建筑施工技术向智能化、连续化方向发展。

1 工程概况

某超高层建筑项目面积为 17.4 万 m^2 ,地下工程包含四层整体开挖结构,基础施工区域呈现规则几何形态,地下作业深度达 23m,采用三层现浇混凝土支撑体系,垂直支撑系统由组合式钢构柱与钻孔桩基构成复合承重结构,如表 1 所示。工程场区地层具有渗透性与软弱夹层特征,地下水埋深仅 4.3m,砂砾层渗透系数达 $2 \times 10^{-2}\text{cm/s}$,粉质黏土层承载力仅 120kPa。基于此,塔机基础采用穿透软弱层的钻孔灌注桩,配合深基坑止水帷幕体系,确保重型设备安装稳定性。

2 超高层建筑塔机群连续施工重难点

2.1 空间约束与设备协同挑战

工程面临基坑外围无法设置常规吊装设备的空间限制,需在核心筒间距 21.06m 的对称布局中实现高精度的塔机定位。地下支撑体系钢构柱与塔机基础需保持 $\geq 1.2\text{m}$ 的净距要求,而三维空间干涉风险因密集的钢构柱网显著增加。特别在爬模系统协同方面,液压爬模的组件吊装依赖平臂塔机

完成,但爬模锚固区与塔机附着点存在空间竞争,需提前预埋专用锚固装置并进行动态协调。

2.2 设备迭代与连续转换难题

地下阶段平臂塔机体系向动臂式塔机的转换涉及 4 台设备的交替拆装,其中设备基础预埋件的重复定位偏差需控制在 3mm 以内。动臂塔机安装窗口期与核心筒墙体施工存在工序冲突,需通过截臂改造工艺缩短转换周期。

2.3 多系统时空协同管理

施工现场需构建“塔机-爬模-施工电梯”三位一体的协同网络,通过错时施工与动态包络分析解决系统冲突。平臂塔机在连续作业阶段需避让爬模锚固区,而动臂塔机间歇爬升时则要规避施工电梯井道空间。

3 地下室施工阶段平臂塔式起重机选型布置

3.1 塔式起重机数量

本工程基于双核心筒结构特征与施工工序需求,构建“分区配置+工序协同”的塔机部署体系。根据南北塔楼功能差异与核心筒布局特点,形成“南塔复合配置、北塔单机覆盖”的总体部署策略。通过 BIM 三维模拟确定设备数量为 5 台(平臂式 3 台、动臂式 2 台),其中南塔楼采用动态转换的“2+2”配置体系,北塔楼实施静态覆盖配置模式。

3.2 塔式起重机选型策略

本工程塔式起重机选型基于施工区域特征与载荷特性分析,采用分区差异化配置原则。项目施工区域呈矩形布局,纵向轴线长 156.51m,横向跨度 87.79m,通过划分南北两大作业片区,制定针对性选型方案。

3.3 塔式起重机定位

3.3.1 塔式起重机定位核心目标

本工程以结构安全与施工效率为核心目标,建立基于三维坐标系统的设备空间布局体系。通过精准定位确保塔机基础与地下结构保持安全间距,同时优化覆盖半径实现施工面高效覆盖,最终形成满足大型综合体施工需求的吊装作业方案。

3.3.2 北部作业区塔式起重机定位策略

北部作业区采用单机最大化覆盖策略,将 TC7527 型塔机布置于距地下室北边界 16.8m、西边界 35.6m 的坐标点。该定位成功避让地下机电设备密集区,通过 57m 作业半径覆盖北塔楼施工面及西北侧 12m 物料周转区,吊装轨迹与地下支撑体系保持 3.5m 以上安全净距。

3.3.3 南部作业区塔式起重机布局方案

南部作业区实施双机错位协同布局,TC7035 型设备布置于南侧边界 45.8m、西侧边界 5.8m 坐标点,重点覆盖核心筒西翼施工面及场外运输通道;TC7020 型设备安装于南侧边界 47m、东侧边界 25.1m 位置,采用短臂架配置适配狭窄空间需求,覆盖东侧 10m 建材堆场及核心筒东翼施工带。

4 主体施工阶段塔式起重机不停工转换施工

4.1 塔式起重机转换技术路线

为满足南塔核心筒结构施工与重型设备配置需求,塔式起重机转换工程采用分阶段协同作业方案。项目初期借助平臂吊装设备完成爬模系统的初期架设,同步推进核心筒剪力墙与塔机基础梁的混凝土浇筑作业。四台塔机 2、3 平臂型,4、5 动臂型的拆装工序将根据现场动态调整,重点保障施工安全性与工序衔接。动臂式塔机的基础定位如图 1 所示。

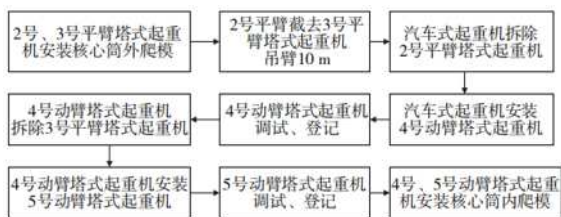


图 1 动臂塔式起重机定位方案

4.1.1 施工流程与设备配置

施工流程开始于核心筒三层的剪力墙结构施工,采用外脚手架体系逐层推进。当外墙施工达到第三层标高时,2 号及 3 号平臂塔机分别爬升至 61.5m 与 54.0m 作业高度,此时完成外爬模系统的整体装配。在核心筒上部剪力墙持续施工过程中,利用下悬式吊运装置将钢结构构件精准输送至筒

体内部,实现基础梁体系的连续施工。

4.1.2 设备布局调整与安全间距要求

针对设备布局的安全间距要求,在 4 号动臂塔机安装前需对 3 号平臂设备进行技术改造。由于两机间距 44.9m 小于 3 号塔机原有 45m 臂展,采用 2 号塔机辅助将其吊臂长度缩减 10m 以满足安全间距需求。然后通过 260t 级移动式吊装设备完成 2 号平臂装置的拆卸作业,同步展开 4 号动臂塔机的标准化安装流程。

4.1.3 双动臂系统联合作业与垂直运输体系建立

4 号动臂塔机完成调试后,即投入核心施工环节,承担 3 号平臂装置的拆除任务及 5 号动臂塔机的架设工作。双动臂系统联合作业模式下,最终完成核心筒内部爬升模板体系的整体安装,形成完整的垂直运输体系。各阶段均严格执行设备调试与使用登记制度,确保特种设备全生命周期管理符合规范要求。

4.2 塔式起重机截臂施工技术

4.2.1 塔式起重机截臂原则

为确保塔式起重机群组协同作业安全,工程实施臂架动态调整策略。当平臂式设备大臂运行轨迹与动臂式塔机塔身存在空间干涉时,需对保留设备进行臂长优化。

1) 臂架动态调整策略与臂长优化

经三维动态干涉分析,确定截臂作业遵循最小干预原则,在满足安全净距前提下最大限度保留设备工作半径。若优先拆除 2 号平臂设备,3 号设备与 4 号动臂塔身间距 44.9m,需截除 7.5m 标准节段;反之如先拆 3 号设备,2 号设备与 5 号动臂塔身间距 42.1m 时,需截除 15m 臂长。

2) 截臂作业方案选择与实施

通过比选,采用截臂量较小的前序方案,即保留 2 号设备完成 3 号设备 7.5m 截臂作业。实施过程中,两设备直线间距达 50m 以上,通过激光定位系统实时监测设备相对位置。

3) 截臂作业技术路线与工期控制

截臂作业采用模块化分解工艺,在垂直方向设置临时支撑体系,水平方向划定安全警戒区域,实现空间立体防护。该技术路线既满足核心筒施工进度要求,又将设备改造对工期影响控制在 3 个工作日内。

4.2.2 塔式起重机截臂施工步骤

工程通过配重调整与吊臂重组实现设备优化,采用塔机协同运输系统完成高空构件转运,施工全过程配备激光定

位监测系统实时控制设备间距,消除相邻塔机运行轨迹的空间干涉风险。

1) 配重调整与吊臂优化

利用2号平臂设备执行配重卸载作业,从3号设备移除2.5t级配重单元1组及3.0t级配重单元4组。然后展开吊臂结构改造工序,根据设计截除方案,依次分解3号设备的第3、4、5及末端第9标准节段,通过塔机协同运输系统将拆解构件安全转运至地面作业区。

2) 吊臂组件重组与配重配置

在地面作业平台完成4号与9号标准节段的模块化拼装,采用销轴连接技术通过2号设备将重组吊臂定位至3号设备主体。重组后重新配置3.0t级配重单元3组,经力矩平衡检测系统验证配重参数。

3) 改造工期与构件利用率优化

进行起升钢索系统调试与整机运行测试,确保改造后的3号平臂设备达到额定工作载荷标准。通过模块化拆解与高空精准吊装技术,将传统臂架改造工期缩短40%,同时实现98%以上的构件重复利用率。改造全过程采用激光定位监测系统,实时控制设备间距,确保相邻塔机运行轨迹无空间干涉风险。

4.3 塔式起重机安拆

项目建立三维空间碰撞预警体系,针对塔式起重机群组作业实施分级管控。1号、2号、3号平臂设备形成阶梯式布局(38.5m/61.5m/50.25m),最小垂直高差达11.25m,通过空间错位消除吊装轨迹冲突。动臂设备选择核心筒施工至第三层时安装,确保50m作业半径内无既有建筑遮挡。

4.3.1 平臂设备间安全间距控制

1号与2号塔身间距97.55m、1号与3号间距94.95m,均突破规范值64m;2号与3号设备54.8m间距较54m临界值保持0.8m冗余量。采用激光测距系统实时监测,动态偏差控制在 $\pm 0.15\text{m}$ 范围内。

4.3.2 动臂设备安装与周边环境防护

4号与5号动臂设备平衡臂间距15.42m,超出2m安全基线7.7倍,配备自动限位装置。3号平臂设备东侧与相邻大厦实测间距50.62m,较49m安全阈值提升3.3%,形成环形防护缓冲带。

4.3.3 跨项目设备协调与安全要求

西侧项目6号塔机原75m臂展导致与2号设备间距仅

74.39m,经协调将其臂长缩减至65m,理论防护距离降至69m,实测间距74.39m满足改造后安全标准。建立跨项目设备运行日报制度,实现安全数据共享。

5 结论与建议

综上所述,针对双核心筒超高层建筑塔机群协同部署与连续施工转换技术展开系统研究,通过建立分区差异化配置体系、创新设备转换工艺、开发三维空间协同控制技术,解决了受限空间下多塔机协同作业与施工连续性难题。

(1) 基于核心筒结构特征的“2+2”设备配置策略可实现地下与主体施工阶段的无缝衔接;(2) 三维坐标定位与动态干涉分析技术显著提升设备转换精度;(3) 模块化截臂施工工艺为设备迭代提供创新解决方案;(4) 阶梯式高度差布局与时空协同机制有效保障多系统并行作业安全。

在技术层面需要深化塔机群组智能调度算法开发,集成气象监测与应急响应模块;优化设备转换工艺的极端天气工况应对方案,增强系统鲁棒性;推广基于BIM的塔机基础预埋定位技术标准体系。在管理层面建立特种设备全生命周期数字化管理平台;构建跨项目塔机协同作业的联合调度机制;完善设备改造经济效益评估模型,强化过程成本控制。

参考文献:

- [1] 童庆闯.超高层建筑塔式起重机多级置换拆除施工技术[J].上海建设科技,2024,(01):65-68.
- [2] 吴胜辉,刘军,吴承杰,等.超高层建筑工程内爬塔式起重机附着提升拆除关键技术[J].建筑技术,2024,55(10):1234-1237.
- [3] 刘浩宇,耿涛,武大伟.多机协同塔机阶梯式爬升高效建造技术研发与应用[J].建筑施工,2024,46(01):23-27.
- [4] 忻扬.塔式起重机布置方案研究——以“绿地中心·杭州之门”项目为例[J].房地产世界,2023,(24):121-123.
- [5] 叶晨浩.大型超高层建筑工程中内爬式塔式起重机施工技术的应用研究[J].建筑技术开发,2023,50(10):50-52.
- [6] 黄朗,杨瀚,白航.新增内爬附着式塔吊后核心筒连梁的加固设计——以减小荷载效应的方法为例[J].工业建筑,2023,53(S1):718-721.
- [7] 熊定振,丁秉一.超高层建筑塔式起重机高空拆除施工技术[J].建筑施工,2023,45(05):963-965.

作者简介:朱鑫龙(1992—),男,汉族,江苏南京,助理工程师,硕士,研究方向为建筑设备。