

预制机电组件在装配式建筑中的安装协同技术研究

玉东梅¹, 黄修奖²

(1. 广西荣普特装建筑工程有限公司, 广西 南宁 530200;

2. 广西理工职业技术学校, 广西 南宁 530031)

摘要 针对装配式建筑预制机电组件安装协同不足及雨季施工组织困难等问题, 本研究以广西某高装配率住宅项目为依托, 构建了一套涵盖设计、生产、运输与安装全过程的协同技术体系。采用 BIM 技术构建参数化族库与协同平台, 实现多专业前置校核与信息贯通; 通过物联网打通 MES 与 TMS 数据链路, 建立基于气象与运输时窗的柔性调度机制; 围绕模块化单元优化现场作业流程, 引入节拍化编组与动态施工窗口管理, 以期为同类地区装配式建筑机电安装提供系统性的技术路径与实践参考。应用结果表明, 该技术体系有效削减了工序等待与切换损失, 显著提升了安装效率与一次合格率。

关键词 BIM 协同设计; 预制机电; 安装协同; MES-TMS 贯通; 雨季施工

中图分类号: TU85; TU741

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.20.005

0 引言

随着装配式建筑向高集成度与高装配率发展, 预制机电组件的安装协同逐渐成为影响工程品质与工期的关键环节^[1]。传统安装方式依赖现场二次加工与多专业逐次作业, 在设计、生产、运输与安装各阶段之间存在信息断层, 导致碰撞返工、接口错位、物料脱节等问题频发, 尤其在高温多雨地区, 施工窗口受限进一步放大了组织难度^[2]。信息化技术的引入为破解上述协同困境提供了可能, 但现有研究多聚焦单一环节优化, 缺乏面向全过程的系统性技术集成^[3]。基于此, 本研究从全过程协同视角出发, 构建以 BIM 为驱动、MES-TMS 数据贯通为基础、动态施工窗口管理为保障的安装协同技术体系, 并通过实际工程应用验证其可行性与实施效果。

1 工程概况

1.1 地域装配式建筑项目基本情况

本研究选取位于广西某市某城区南侧的装配式住宅项目, 总建筑面积约 85 000 m², 由 3 栋 33 层住宅塔楼及 1 座 2 层配套公建组成, 地下 2 层。结构体系为 PC 剪力墙, 装配率达 65%, 即以预制构件计量的工程量占比为 65%。机电系统覆盖给排水、强弱电、新风

与分户式多联机空调, 并把卫生间与厨房支管、竖向管井、综合支吊架等集成为可吊装单元。鉴于南部季风气候高温多雨的现实情境, 年均降雨量约 1 700 mm、夏季相对湿度常态超过 80%, 需把预制机电组件的防腐、防凝露与防渗漏控制前置到深化设计和工厂端, 并对构件运输时窗、塔吊周转与场内周转路线开展协同组织, 以满足安装精度和多专业交叉作业的协同性。

1.2 预制机电组件安装协同需求分析

鉴于项目装配式特点与高温高湿多雨工况, 预制机电组件安装面临多重协同约束。设计端: 多专业在竖向管井与走廊吊顶等受限空间内高密度布设, 传统二维转三维的转换误差导致碰撞率约 12%, 亟须在 BIM 环境中前置校核标高基准与预留预埋接口^[4]。生产与运输端: 工厂节拍与雨季道路限行叠加, 运输延误率约 8%, 塔吊节拍与到货窗口失配, 须建立 JIT 到货与气象风险缓冲机制。现场作业端: PC 套筒偏差叠加模块管段连接误差, 走廊与户内并行冲突率约 15%, 防腐涂层固化与吊装节拍失配加剧工序等待^[5]。综合上述约束, 需从设计、生产、运输、安装全流程出发, 构建 BIM 协同设计、标准化接口编码、塔吊-物流联动及雨季施工窗口管理的一体化技术体系。

作者简介: 玉东梅 (1993-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑机电施工。

2 预制机电组件安装协同技术体系构建

2.1 BIM 技术驱动的协同设计方法

鉴于该项目在竖向管井与走廊吊顶内的高密度机电布置,本研究把BIM作为协同设计核心,构建可复用的预制机电参数化族库,涵盖综合支吊架、竖井成组支架、分户多联机联接段以及厨卫成品支管。族参数与标高基准、PC墙体套筒坐标和净高控制线建立约束,并把保温厚度、防腐体系与防渗节点写入可校核属性,支撑跨专业一致性校对(见图1)。

围绕设计、生产、安装一体化需求,搭建基于CDE的BIM协同平台,设置模型版本治理、编码准则与信息权限,借助IFC与自定义属性集把构件编码、吊装接口与预留预埋点位映射至工厂MES与现场工序计划。平台配置碰撞规则集,包含最小净距、坡度与检修通道边界,并把防凝露包络与风雨环境参数嵌入规则以进行前置校核,将高风险区域在深化阶段化解。

2.2 预制组件生产与运输协同管理机制

鉴于该项目在雨季高湿环境下存在工厂节拍与道路限行叠加的约束,本研究以物联网为底座,打通CDE协同平台与工厂MES、运输管理TMS的数据链路,构建从构件编码、工序完工、养护达标到车辆到位的闭环

管理。预制机电构件配置唯一编码,绑定RFID与二维码双通道标识,采集防腐涂层固化程度、保温层表面含水率及库位环境湿度,将合格判定与出库授权联动至运输排程。结合广西丘陵山地路网特征及进城拥堵时段,采用分段时窗组织与山区路段限速参数化建模,实现吊装窗口与到货窗口时序对齐。

运输阶段的柔性调度将北斗定位、道路通行事件与短临气象预报纳入统一界面,采用滚动时窗重排策略应对突发积水与事故拥堵。为减少塔吊闲置与场内拥堵,设置近场中转堆场,将整车到货拆分为小批量波次作业,并对关键构件实施防振托盘与防渗包材的标准化装箱。项目部将运输协同匹配度、塔吊小时产出与雨天停吊阈值纳入滚动计划联审,当短时强降雨预警触发时,系统自动切换外环绕行与堆场夜间入场策略,从而在高温多雨工况下维持构件到位的节拍稳定性与装卸安全边界。

2.3 现场多专业安装协同作业流程优化

以模块化单元为基本颗粒,围绕竖向管井、走廊吊顶与户内支管三类作业面开展节拍化编组,将塔吊、到货与检验三条节拍耦合,并以气象阈值作为动态约束。针对竖井成组支架、综合支吊架与分户多联机联

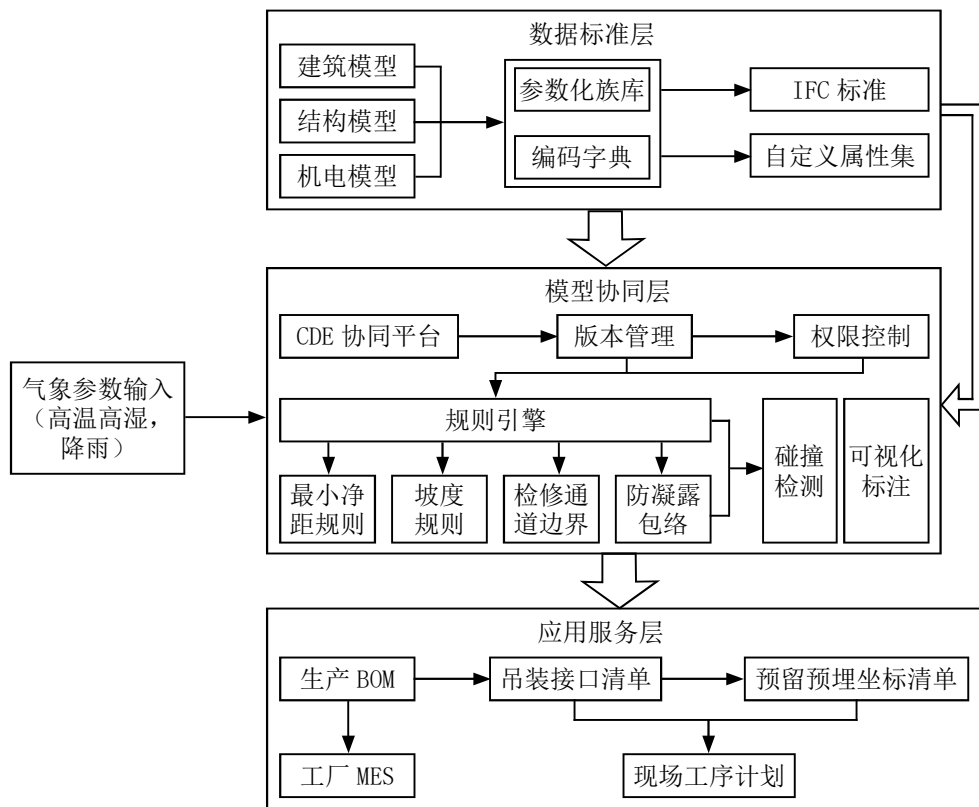


图1 BIM协同设计架构图

接段在空间受限、净高敏感区叠加的情况,在中转堆场设置到货检核工位,吊装前完成 RFID 核销、尺寸复核与防腐涂层外观判定。

作业流程以天气窗口为入口,根据短临降雨、地面含水率与风速分级,实现吊装与室内拼装的动态切换;强降雨预警时,快速部署可伸缩雨棚与临时排水沟,优先推进室内拼装与电缆桥架预制段对位。跨专业交叉时序以走廊吊顶为主线,依次完成综合支吊架定位、通风与排水模块落位,再按波次嵌入强弱电桥架与铜管保温段,管井层间接口与户内支管安排在夜间低温时段错峰施工。质量控制嵌入每个波次末的检核环节,扭矩、坡度与点位影像回传至 CDE 平台,偏差超阈构件回退堆场返修。现场指挥采用塔吊作业时隙与场内物流双重看板,滚动更新至 3h 时窗;当塔吊节拍与到货窗口失配时,将整车货拆分为小批次波次,联动竖井与户内流水线平衡,形成对雨季不稳定条件的吸收能力,提升协同作业的稳定性与安全边界。

3 安装协同技术应用效果评估

3.1 安装效率提升效果分析

针对高温多雨工况对节拍稳定性的刚性需求,将 BIM 协同设计、MES-TMS 贯通与塔吊时窗联动整合为统一安装组织。以主体标准层为统计单元,协同应用后安装周期由 120 d 缩短至 90 d,日均安装预制机电组件由 15 套提升至 22 套。

效率提升主要归因于碰撞前置化解、JIT 到货与波次化吊装对等待时间的同步削减。量化数据表明,塔吊有效作业小时由 6.5 h/d 提高至 7.8 h/d,吊装等待时间由 95 min/d 降至 40 min/d,降幅达 57.9%;运输协同匹配度由 90% 升至 97%,作业切换损失由 60 min/d 缩减至 25 min/d,降幅达 58.3%。上述指标的系统性改善,共同支撑了总安装周期缩短 25.0% 与日均产出提升 46.7% 的显著成效,验证了全过程协同组织对效率提升的叠加效应。

3.2 安装质量控制效果评估

针对高温高湿多雨交替环境对耐久性与密封性的冲击,将质量控制前置至 BIM 深化与工厂放行两端,并耦合安装节拍。通过参数化属性写入形成质量清单,在中转堆场完成 RFID 身份核验与尺寸复核;楼层装配阶段以扭矩、坡度、标高作为工序放行门,辅以影像回传与编码追溯;对保温黏结与防腐涂层固化设置夜间低温窗口,偏差构件回退堆场再标定,实现源头与过程双重处置。质量结果方面,得益于碰撞前置化解与标准化接口管理,总体一次合格率由 88% 提升至

96%,给排水、电气、暖通系统分别由 90%、85%、87% 提升至 97%、95%、96%。过程控制有效收敛了接驳错位与凝露隐患,形成了设计、生产、运输、安装四段质量闭环。

3.3 经济效益与社会效益分析

该项目在 BIM 协同与 MES-TMS 贯通条件下,将成本与周期优势转化为可计量收益。依托参数化族与标准化接口,材料浪费率由 10% 降至 5%,节约材料成本约 120 万元;塔吊时窗联动与波次化组织削减班组投入与加班峰值,人工成本下降 20%,节约人工费用约 80 万元;JIT 到货与近场中转同步压降间接费用。社会效益方面,安装周期缩短 30 天,围挡与占道时间压缩,降低对周边区域的通行与噪声影响;工厂预制替代现场切割,将扬尘与噪声源外移,施工现场环境扰动明显收敛。上述协同将资源节约、环境友好与安全文明施工要求统一于同一框架,为广西雨季条件下同类住宅项目提供了可复用的组织范式。

4 结束语

本研究围绕预制机电组件在装配式建筑中的安装协同难题,构建了以 BIM 协同设计为牵引、MES-TMS 数据贯通为支撑、动态施工窗口管理为保障的全过程技术体系,并通过实际工程验证了其在提升安装效率与质量、降低资源消耗与施工干扰方面的有效性。受项目地域与工程类型限制,所提方法在普适性与成本量化方面仍有待进一步拓展。未来研究将聚焦不同气候区与结构体系下的适应性调整,并结合智能化调度算法与数字孪生平台,推动安装协同向更高层次的预测与自优化方向发展。

参考文献:

- [1] 顾景景,刘静静,俞超,等.基于 DeMA 的半永久性装配式建筑机电设计策略分析[J].建筑科技,2024,08(11):61-65.
- [2] 周德元.装配式安装在管道阀组预制方面应用探讨[J].现代工程项目管理,2024,03(10):95-97.
- [3] 中建二局安装工程有限公司.一种机电设备机房预制组件及其装配式施工工法:CN202110607150.9[P].2023-11-10.
- [4] 张保平,贾德登,王基业,等.大型海水化淡厂逆渗透机组安装应用及施工方法[J].中国高新科技,2025(06):142-146,155.
- [5] 刘仙萍,田东,雷豫豪,等.光伏/光热-地源热泵联合供热系统运行性能研究[J].太阳能学报,2022,43(09):88-97.