

DOI: 10.7672/sjgs2025020113

基于 BIM+技术的顶模高空安装技术应用研究

祁琪,李博迪,袁潇,洪志豪,赵刚,吴中侯

(中建三局集团有限公司,湖北 武汉 430064)

[摘要] 为克服强台风地区超高层建筑建造难题,提高海南省超高层建筑顶模施工水平,在海南中心项目施工过程中,首次采用 BIM+技术,从顶模设计到安装阶段进行全流程优化,改善轻量化支点顶模集成平台安装工艺,实现轻量化支点顶模集成平台在复杂工况下的快速安装。实践证明,该技术可有效降低顶模施工难度,显著提高安装安全性,缩短安装周期,提高工程质量。

[关键词] 高层建筑;信息化;集成平台;建筑信息模型;顶模;安装

[中图分类号] TU17

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)02-0113-05

Application Research of Top Formwork High-altitude Installation Technology Based on BIM+Technology

QI Qi, LI Bodi, YUAN Xiao, HONG Zhihao, ZHAO Gang, WU Zhongyu

(China Construction Third Bureau Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430064, China)

Abstract: In order to overcome the construction problems of super high-rise buildings in strong typhoon areas and improve the construction level of top formwork of super high-rise buildings in Hainan Province, BIM + technology is adopted for the first time in the construction process of Hainan Center project. The whole process is optimized from the design stage to the installation stage of top formwork, and the installation process of lightweight fulcrum top formwork integrated platform is improved, so as to realize the rapid installation of lightweight fulcrum top formwork integrated platform under complex working conditions. Practice proves that this technology can effectively reduce the difficulty of top formwork construction, significantly improve the safety of installation, shorten the installation period, and improve the quality of project.

Keywords: tall buildings; information; integrated platform; building information modeling (BIM); top formwork; installation

0 引言

自 21 世纪以来,中国经济的快速增长带动了城市化进程,对超高层建筑的需求日益增长。这类建筑不仅高度不断刷新,结构设计也趋向复杂,同时功能集成度越来越高,满足了多元化的社会发展需求。超高层建筑结构趋于复杂,建造难度同步增大,如何实现超高层高质量建造成为行业的一大难题。空中造楼机又称轻量化支点顶模集成平台(以下简称“顶模”),具有构件标准化、安装装配化、施工简便化、安全智能化特点,被广泛应用于各超高层建筑施工中。

顶模技术是保障超高层建筑安全、高效施工的关键措施,在全国范围内已有诸多成功应用案例,但以海口市为代表的海岛城市,受该地区高地震烈度、多台风的地理因素影响,鲜有 200m 以上超高层建筑,超高层建筑建造经验相对缺乏,顶模安装缺少成功案例。同时,该项目为停工续建项目,复工时塔楼已施工至 12 层,距地面高达 50m,空中安装的施工工况进一步增加了顶模安装难度。

为解决海南中心项目顶模高空安装的施工难题,以 BIM 技术为出发点,以 BIM 技术的数字化、信息化、可视化为核心理念,在顶模设计、方案制订、安装阶段,结合海南省地理特征和气候特点、塔楼结构特点、塔式起重机型号等因素进行模拟分析,开展顶模设计、材料布置、分块分节、工序分析、劳

动力优化等工作,化繁琐安装为简单的可视化工作,实现顶模在高空复杂工况下的快速安装,提高顶模应用可适性及安装经济性和安全性。

1 工程概况

海南中心项目位于海口市,总用地面积为 34 293. 22m²,总建筑面积为 390 057. 7m²,塔楼建筑高度 428m,地上 94 层、地下 4 层。塔楼为巨型斜撑框架+核心筒+伸臂桁架结构体系(包括 6 道腰桁架+2 道伸臂桁架),造型独特,构件复杂,海南中心项目效果如图 1 所示。塔楼外框有巨型圆管柱、圆管支撑柱、箱形柱等,周边支撑框架系统用于提供刚度和延性。外框钢柱最大截面尺寸为 $\phi 4\ 200\times 80$,核心筒钢板剪力墙最大壁厚 80mm,巨型斜撑最大截面尺寸为 $\phi 2\ 800\times 80$ 。

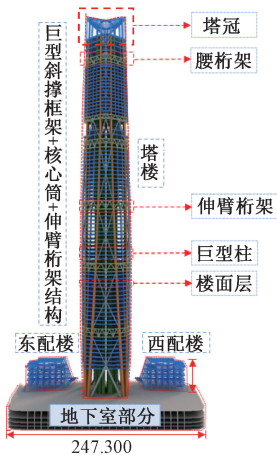


图 1 海南中心项目效果

Fig. 1 Effect of Hainan Center project

为满足项目抗震要求,塔楼核心筒钢构件设计为型钢柱和抗剪钢板,最大板厚 80mm。为满足现场施工吊装需求,塔楼核心筒钢构件主要采用 2 台 M1280D 塔式起重机吊装。

该项目为停工续建项目,复工时塔楼主体结构已施工至 12 层,结构最高点距地面达 50m。同时,海南省处于地震设防烈度 8.0 度(0.3g)地区,且台风频发,年平均风速为 2.7m/s,呈逐年上升趋势。综上,相较于其他超高层建筑施工,海南省超高层建筑建造面临着较恶劣的自然环境。

2 施工重难点分析

1)项目属于停工续建项目,停工时间>3 年,施工机械设备已全部拆除,现场面临大量结构检测、修复及总平面布置和大型设备安装等工作。在常规项目中,顶模安装多为地面拼装,施工便捷,吊装安全。项目续建开工时塔楼主体结构已施工至 12 层,距地面高度约 50m,如图 2 所示。顶模安装需进

行高空操作,施工困难,各方协调要求较高。



图 2 进场工况

Fig. 2 Entry conditions

2)海口市地处高地震烈度地区,对超高层建筑的抗震设计要求更高。为满足建筑抗震需求,项目核心筒单层建筑面积设计为 900m²,属于超大核心筒。受超大核心筒的影响,为确保核心筒整体结构施工的稳定性 and 顶模耐用性,在设计阶段需对顶模进行更精细化的考量。相较于标准设计,顶模设计工作量有所增加。同时,塔楼核芯筒设计采用全钢柱-钢板墙结构形式,该结构钢板墙最大厚度可达 80mm。由于钢结构本身体积较大且构造较复杂,顶模设计阶段同样需考虑钢结构吊装问题。

3)项目设计高度为 428m,因其高度高和结构复杂性,工程量较一般房建工程大。同时,在建造过程中,涉及土建、钢构安装、装修等专业。合理安排不同工种的作业时间和空间,确保各施工专业能紧密配合,实现各工序间的无缝衔接,对顶模结构设计、盖层设置等均提出了更高要求。同时,鉴于项目工期紧张等因素,顶模安装速度需进一步提升。

4)海南省属热带季风海洋性气候,年平均雨量为 923~2 459mm,同时其属于台风多发区域。受暴雨台风等气候影响,顶模安装存在作业不连续、构件连接困难等风险,进一步加大了顶模安装的困难程度。

3 基于 BIM 技术的顶模设计概况

结合项目特点和所处环境特征,为实现项目安全、高效施工,塔楼核心筒采用顶模施工。鉴于海口市具有强台风、高地震烈度等地理特点,塔楼结构设计为大截面、全钢板墙结构。为充分考虑核心筒施工安全性和顶模适配性,在顶模设计阶段,利用 BIM 技术针对顶模安装环境进行精细化建模分析,充分考虑塔楼结构、顶模构造、塔式起重机部署等关键因素,指导顶模设计。借助 BIM 技术的可视

化和数据分析能力,切实提高顶模结构与塔楼结构的适配性,减少后期拆改工作。同时,在 BIM 模型基础上,应用 MIDAS 等有限元计算软件,对顶模进行结构受力分析,确保顶模满足安全施工需求。

顶模平台集成了多项系统的优势。在 BIM 模型和有限元软件计算结果基础上,顶模在项目快速启动、协同配合的需求下,充分考虑了核心筒建设过程中各专业的具体需求。利用 BIM 技术对土建施工、钢结构吊装、机电安装等专业施工界面进行模拟划分,确保各专业可有序、安全地开展作业,故顶模设计覆盖 4.5 个结构层,包括混凝土养护层、混凝土浇筑层、钢筋绑扎层。为满足顶模安全施工及各专业需求,顶模集成钢平台系统、挂架系统、动力与支撑系统、模板系统及辅助系统等,如图 3 所示。顶模共设置 12 个支点,每个支点可由周转附墙支座、油缸支架等构件组成,各支点集成顶模动力与支撑系统,为顶模平台提供顶升动力和承载力。钢平台系统由高抗剪型贝雷片组成主桁架与次桁架,通过连接构件连接成一个整体平台,并在平台上铺设花纹钢板。整个挂架系统共 8 层,分为两种形式,即外挂架及内筒挂架。模板系统主要采用大钢模+铝合金模板。

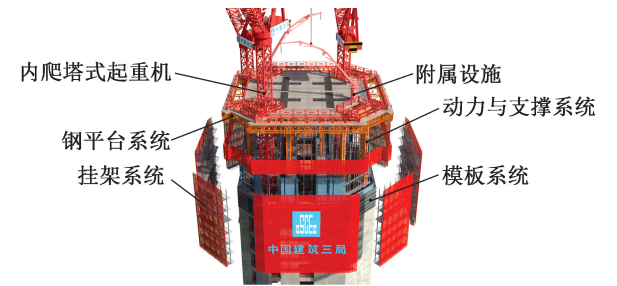


图 3 顶模平台结构

Fig. 3 Top formwork platform structure

4 基于 BIM 技术的顶模安装流程

4.1 工艺流程

顶模安装采取“BIM 先行,方案优化,指导现场”思路,即利用 MIDAS、BIM+等技术针对海南中心项目特点,进行全方位、高仿真建模,准确计算出满足需求的顶模支点数量及其分布,进一步利用模型对顶模安装工艺进行模拟。模拟需满足全流程、全系统、高精度、易理解要求。

1) 全流程是指模拟时需充分考虑顶模安装全流程,包括材料进场堆放、地面安装顺序、顶模分节分块及安装顺序等。

2) 全系统是指模拟不仅包括整体安装工序,还应涵盖核心筒主体结构建模、局部系统节点建模、

系统安装工序及安装过程中重要工序和塔式起重机吊次分析。

3) 高精度是指建模时确保模型有较高精度,满足“图模实一致”的需求,确保模型能有效指导现场施工,提高现场工作效率。

4) 易理解是指利用 BIM 模型制作交底动画或工艺卡时,需降低理解门槛,确保动画或工艺卡细致易懂,提高交底效率。

利用 MIDAS、BIM+技术完成顶模设计优化、安装模拟,并基于模拟结果指导现场进行顶模快速安装。在安装过程中,进一步借助 BIM+技术对顶模安装的实际实施过程进行二次优化,确保各工序高效、安全,最终实现顶模的高空快速安装。

4.2 重要措施

1) 高空安装规划。为确保顶模安全、有序安装,在顶模施工部署前期,利用 BIM 技术对其安装全流程进行初步规划。在模拟过程中,结合塔楼、顶模结构和塔式起重机部署情况,针对材料堆场布控、顶模结构件安装顺序等进行初步建模分析,根据模拟情况实时调整安装工序。

2) 工况精细化分析。利用 BIM 技术,结合塔式起重机型号、吊装范围等对顶模结构进行分块分节,并根据各构件自重进行吊次分析,形成塔式起重机运力最佳、安装平衡最优的顶模吊装工序。项目塔楼在前期共安装 2 台 1280D 型动臂塔式起重机。优化后的顶模吊次如表 1 所示。进一步,在优化后的吊装工序和吊次基础上进行所需劳动力分析,并针对模拟的各工序进行深化,形成局部和整体安装动画及 3D 施工工艺卡,如图 4 所示。

表 1 顶模部分构件吊次分析

Table 1 Analysis of hoisting times for components in top formwork

构件名称	吊次/次	最重/t
贝雷架	41	19.75
支撑系统	36	18.3
挂架	53	10.0
转化托梁	1	9.3
模板系统	316	2.0
辅助系统	112	10.3

3) 预埋件安装。附墙支座安装是顶模安装的前置工作,附墙支座预埋件安装的准确性直接影响顶模安装及后续使用效率,故预埋件的测量定位尤为重要。在核心筒剪力墙施工中,采用传统工艺完成 2 层墙体施工,并进行顶模可周转预埋件的预埋工作。利用 BIM 技术可视化特性,对工人进行细致的可视化交底,确保工人充分理解施工要求。安装

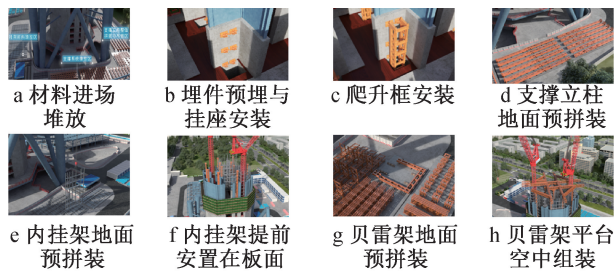


图 4 安装工序动画模拟

Fig. 4 Animation simulation of installation process

过程中,需对附墙支座预埋件进行精确预埋预留,提高预埋件安装精度。完成测量放线后,进行可周转预埋件预埋及支座安装,安装完成后再次复核点位,确保安装精度满足误差要求。

4)附墙支座安装。混凝土浇筑完成且附墙支座安装前,复测预埋件标高、垂直度及轴线位置,利用 BIM 技术进行可视化交底,提高安装效率。

5)动力与支撑系统安装。动力与支撑系统是顶模核心系统之一,涉及构件众多,安装相对复杂,同时,塔楼结构在完成附墙支座安装后已完成 14 层墙体浇筑,动力与支撑系统需进行高空安装,安装难度进一步加大。根据前期 BIM 工序模拟及实际工况分析,采取地面拼装后整体吊装方案,减少空中吊装次数及系统安装工序,降低施工风险。进行地面拼装时,利用 BIM 技术对安装工人进行可视化交底,避免安装失误,造成返工。进行高空吊装时,利用 BIM 技术进行吊次分析,总结最佳吊装高度,并实时分析吊装工况,避免高空吊装碰撞等施工风险。考虑海口市平均风速较大,实际吊装时,预先系 2 根缆风绳,采用人工拉紧方式防止立柱晃动,同时能较好地控制安装精度,提高安装效率。

6)内挂架安装。参考动力与支撑系统安装,利用 BIM 技术进行快速可视化交底,结合塔式起重机起重性能进行高空吊装工况分析,将挂架在地面进行分段拼装后整体吊装。

7)钢平台系统安装。钢平台系统由高抗剪型贝雷片组成,构件众多,安装较复杂。在进行钢平台系统安装前,利用 BIM 技术,综合考虑塔式起重机运力、钢平台安装稳定性,等对钢平台系统安装工序进行模拟,快速制订安全、高效的吊装路径。路径确定后,将单片桁架拼成整樘或单樘桁架,通过连接件及销轴连接后进行整体吊装,吊装期间穿插进行挂架与贝雷架下弦连接。钢平台吊装如图 5 所示。

8)外挂架安装。外挂架安装参考内挂架安装措施,借助 BIM 技术进行可视化交底和工序预排,



图 5 钢平台吊装

Fig. 5 Hoisting of steel platform

吊装时在挂架顶部采取四点吊装,高空吊装时借助电动葫芦做好固定措施。进行外挂架安装的同时,还应穿插进行外围防护等辅助系统的安装工作。

9)监测系统安装。为及时掌握顶模健康情况,进一步提高顶模施工安全性,在顶模系统中加装监测系统。监测系统主要包括结构垂直度、顶升行程监测模块,结构应力监测模块,结构水平度监测模块及环境监测模块。顶模安装完成后的实际工作情况如图 6 所示。



图 6 顶模工作情况

Fig. 6 Working condition of top formwork

5 应用效果

利用 BIM 技术,对顶模从设计到安装应用端的全流程进行模拟和数字化分析,显著提高了安装效率,而且与传统顶模安装方式相比,工期缩短了 25d。集成在顶模平台上的多项系统使土建工程、钢构安装及机电管线等不同专业领域能高效地进行穿插施工,实现工序的无缝对接。这种施工方式极大地提高了工作效率,使每层建设周期缩短至 5~6d。

6 结语

1)通过 BIM 技术优化顶模安装工序,将预计安装完成工期 60d 缩短至 35d,有效缩短了核心筒主体结构施工工期,节约了大型设备租赁及管理费用。

2)基于 BIM 的可视化模拟,显著提高了工人施工效率,加快工人对关键要素的掌握,从而减少因误解或沟通不畅引起的错误和重复劳动。

3)在未来进行 BIM 技术与超高层建筑相结合的研究中,可进一步增加 BIM 技术在设计 and 施工部

署阶段的应用探索。借助 BIM 技术的数据化和可视化能力,结合相应算法简化节点深化工作,优化设计,并提高各专业协同能力,减少后期拆改变更等工作。同时,利用 BIM 技术数据化能力,结合相应算法推算出最优劳动力配置。这有助于项目在施工组织设计过程中精准控制劳动力人数,避免因劳动力过多带来的窝工现象,或因劳动力过少而造成的施工进度缓慢。

4)基于 BIM 技术的轻量化支点顶模集成平台高空安装技术成功应用于海南中心项目中,极大地降低了顶模高空安装难度,优化了安装施工部署。

参考文献:

[1] 骆发江,栗世伟,孟召虎,等. 建筑智能化工业化轻量化施工作业集成平台技术研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(17):86-88.

LUO F J, LI S W, MENG Z H, et al. Research on integrated platform technology for lightweight construction operations in building intelligent chemical industry [J]. Construction technology,2023, 52(17):86-88.

[2] 曾佳明,余大海,罗淙仁,等. 轻量化支点顶模集成平台在城脉金融中心大厦项目中的应用[J]. 施工技术(中英文), 2021,50(20):79-81.

ZENG J M, SHE D T, LUO C R, et al. Application of lightweight fulcrum top model integration platform in Chengmai Financial Center Building project [J]. Construction technology,

2021, 50(20): 79-81.

[3] 吴红涛,张凡锋. 造楼机在超高层住宅建造应用中的项目管理服务实践[J]. 建设监理, 2024(3): 8-12,28.

WU H T, ZHANG F F. Practice of project management services for building machines in the construction of super high-rise residential buildings [J]. Project management, 2024 (3): 8-12, 28.

[4] 林晓华,王旭毅,艾琦暘,等. 超高层自爬模架体内置材料周转装备施工技术 [J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(5): 127-130.

LIN X H, WANG X Y, AI Q Y, et al. Construction technology of material turnover equipment embedded in the self climbing formwork of super high-rise buildings [J]. Construction technology,2023, 52(5): 127-130.

[5] 毛卫民,罗晓生,陈振宇,等. 超高层采光井连梁全周转模板支撑技术研究 [J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(2): 104-107.

MAO W M, LUO X S, CHEN Z Y, et al. Research on full turnover formwork support technology for connecting beams of super high rise lighting wells [J] Construction technology,2023, 52(2): 104-107.

[6] 张培强. 超高层建筑施工中液压爬模与集成高层造楼机选用分析[J]. 四川水泥, 2024(5): 134-136.

ZHANG P Q. Analysis on the selection of hydraulic climbing formwork and integrated high-rise building machine in the construction of super high-rise buildings [J]. Sichuan cement, 2024(5): 134-136.