

装配式建筑数字化设计与建造研究

曹欣

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]装配式建筑及信息技术的结合应用是实现建筑业升级转型的有效方式之一。本文对装配式建筑数字化设计及施工进行研究分析,在以BIM为基础的协同设计、参数化及模块化设计、预制构件标准化及深化设计、数字化设计软件及信息集成等方面介绍了数字化设计的主要技术;在预制构件工厂化制造、施工过程信息化管理、现场安装质量控制以及物联网监控等几个方面提出了数字化施工的相关技术。研究发现:BIM技术作为核心技术的支撑者,连接了设计、生产和施工整个产业链条的信息链,实现了由“各自为政的设计”到“相互配合的设计”,以及“粗放式建设”到“精细化施工”的飞跃发展。本课题的研究可以为建筑装配式数字工程技术的应用起到借鉴作用。

[关键词]装配式建筑;数字化设计;BIM技术;智能制造;物联网

DOI: 10.64635/ja.2026.1117

中图分类号: TU741

文献标识码: A

Research on Digital Design and Construction of Prefabricated Buildings

Cao Xin

Hebei Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, Hebei, China

Abstract: The integrated application of prefabricated buildings and information technology is one of the effective ways to achieve the upgrading and transformation of the construction industry. This paper studies and analyzes the digital design and construction of prefabricated buildings. It introduces the major technologies of digital design in terms of BIM-based collaborative design, parametric and modular design, standardization and detailed design of prefabricated components, as well as digital design software and information integration. It also proposes relevant digital construction technologies in several aspects, including factory-based manufacturing of prefabricated components, information-based management of the construction process, on-site installation quality control, and Internet of Things monitoring. The study finds that BIM technology, as the core technical support, connects the information chain of the entire industrial chain covering design, production, and construction, enabling a leap from “isolated design” to “coordinated design” and from “extensive construction” to “refined construction.” This research can provide useful reference for the application of digital engineering technologies in prefabricated construction.

Keywords: prefabricated buildings; digital design; BIM technology; intelligent manufacturing; Internet of Things

引言

伴随着我国建筑业转型发展的不断深入,装配式建筑作为建筑工业化的具体体现,受到了国家政策的支持和社会的关注,装配式建筑利用工厂化生产部品部件、现场装配的方式进行建设,实现了建筑行业的根本性改革,颠覆了传统建筑业高耗能、高污染、低效能的局面,与此同时,以BIM、物联网、人工智能为代表的信息技术飞速发展,给装配式建筑的设计和施工提供了强有力的技术支持,信息技术与建筑工业化融合发展正在改写传统的设计、生产和建设过程,使建筑业由劳动力密集型转向技术密集型,

提升整个产业链各个环节的协作效率。但是目前的装配式建筑信息化的应用还存在着数据碎片化、协同较低效、数据不通透的现象阻碍了其综合效能的提升。本研究意在全面总结装配式建筑信息化的设计及建造中的关键技术及应用实例,研究设计到生产再到施工一体化的技术路线,作为装配式建筑信息化发展的理论借鉴。

1 装配式建筑数字化设计与建造现状分析

目前我国装配式建筑数字化设计、建筑已经处于蓬勃发展的时期。政策上,中央政府陆续发布了《“十四五”建筑业发展规划》以及《关于推动智能建造与建筑工业化

协同发展的指导意见》等文件明确了大力发展装配式建筑结合数字化技术的应用。在技术方面,应用 BIM 的比例在大型装配式建筑设计项目中达到了 80% 以上,在设计阶段应用已经比较成熟,应用施工阶段也有了很大的提升。在企业方面,一些大型建筑公司创建了企业级 BIM 中心以及数字化管控系统,实现了从设计到施工的全过程数字化管理。但是还存在着发展不平衡的情况。大规模企业和中小型企业之间及东部地区和中西部地区之间的数字化应用程度差异较大。目前装配式建筑数字化应用还是以“点状”的形式存在,在设计、生产和施工三个阶段的数据并没有实现完全联通,存在大量的信息孤岛问题,同时行业标准体系还不够健全,不同的软件之间彼此的数据接口并不一致也影响了整个产业链的协作效率问题。

2 装配式建筑数字化设计关键技术

2.1 基于 BIM 的协同设计技术

以 BIM 为基础开展的合作式设计是装配式建筑信息化设计的基本前提。与传统的平面设计不同的是, BIM 的合作式设计可以在统一的平台模型上进行跨专业的合作设计,极大程度地提高设计的速度以及效率,而 BIM 的最大特点就是以信息为载体贯穿整个建筑物的生命周期,在构建一个共同的信息模型的基础上,可以做到建筑设计、结构设计、机电设计、装饰设计等各个部分的数据资源共享及合作设计,从而彻底解决设计过程中存在的信息孤岛问题。在装配式建筑的设计中,除了含有几何图形以外,还有构件类型属性、材质、生产工艺等一系列的非几何型信息,使得整个模型成为了蕴含全生命周期信息的数

据中心。协同设计平台实现跨专业的同步作业,设计变更实时链接到模型当中实现更新,杜绝了传统设计阶段各专业之间图纸错乱、信息滞后等弊端, BIM 的设计协同消除了传统的建筑设计中信息传递的“漏斗效应”,降低了信息传递过程中出现的扭曲和衰减,使得设计意图得以精准地传递到生产和施工阶段。同时 BIM 协同设计也允许多方在线协作,在线同步不同地域的设计工作,对于一些大型复杂装配式工程项目异地合作起到了极大的技术支持作用,适应了建筑行业设计任务越来越繁杂的需求。

2.2 参数化与模块化设计方法

参数化及模数化的设计方法,是达到装配式建筑标准化、系列化的一种关键技术途径。参数化设计是基于对于构件之间进行参数间联系建立的设计,可以实现对设计方案进行灵活的变化及优化。参数化设计可以把一个构件的几何参数、材料特性以及连接结构等信息都转化为可以调控的参数变量,在对这些参数进行相应调整后,就能够带动整个模型的自动变化,大大提高了设计时对方案的选择速度,方便了设计师进行方案的比较。参数化技术应用在装配式建筑设计上,主要就是用来建立预制构件族库,在设定合适的参数区间之后便能很容易地产生出相同种类但规格不同的多个构件来,适应不同的项目要求。而模块化的设计是基于功能单元,把建筑分为若干标准模块,用模块之间进行组合形成不同的建筑造型^[1]。模块化设计理念以“有限模块、无限组合”的原则来实现的,在少量的标准模块的基础上进行灵活组合就可以达到不同的建筑设计的要求,做到工业化生产的同时也可以进行个性化的设计。

表 1 装配式建筑构件模块化分类与参数化设计要素

构件类型	模块化划分方式	关键参数化变量	标准化程度	设计要点
预制叠合板	按跨度、荷载等级划分	板厚、钢筋规格、桁架筋间距	高	模数协调,减少异形板
预制楼梯	按层高、梯段形式划分	踏步尺寸、梯段厚度、平台节点	较高	统一梯段高度,减少模具种类
预制外墙板	按围护、承重功能划分	墙厚、保温层构造、窗洞位置	中	兼顾保温与装饰一体化
预制梁柱	按受力等级、跨度划分	截面尺寸、配筋率、节点形式	中高	节点标准化是关键

2.3 构件标准化与深化设计技术

构件标准化及深化设计技术是实现从设计理念到产品制造的重要一环,构件标准化是为了制定一套统一的模数关系、规格尺寸和接口规则等,以增强构件间的通用性和互换性。标准化是装配式建筑规模化和产业化发展的基础,在此基础上,通过简化构件规格类型以及统一连接形式能有效地减少模具投入、提升工作效率,从而有利于实现规模化生产。而在此基础上进一步开展深化设计,能够把设计方案变成可以指导下生产的具体的产品图样以及

工艺资料,保证了设计意图被顺利的传递到了生产车间中去。深化设计包括构件细化设计,节点放大设计,预留预埋,钢筋翻样,碰撞检测等,每一个都直接影响到后期制作加工、安装时的便利程度以及是否具备制造条件,深化设计的任务在于如何保证预制构件的生产、运输、吊装的技术可行性及经济合理性,防止由于设计失误造成的返工或现场变更。利用 BIM 技术来实现深化设计,使的碰撞检测更为精确、预留预埋更加准确、各专业的冲突可以预先排查解决。

2.4 数字化设计平台与数据集成技术

数字化设计平台及数据分析技术是保证设计信息顺利转移的重要保障。数字化设计平台拥有构建、解析、渲染、协作等诸多功能，为设计师提供了一站式的研发平台，改变了以往的设计软件各自独立、信息隔绝的问题。而数字化设计平台的最大优势在于打通了各专业之间软件的界限，利用开放的数据接口使得信息可以无障碍地传递到别的专业或者其它软件中去。目前市面上常用的装配式建筑设计平台都是基于云计算模式开发，能够跨设备使用，设计者可以在浏览器或者手机上随时随地查看和编辑模型以及相关资料，做到了随时随地工作和线上合作^[2]。数据集成技术注重的是设计信息向生产和建造环节的有效传递，保障信息在整个产业链条中的贯通性和准确性。以IFC标准为基础的数据交换模型可以做到不同软件平台间的互连互通，实现了设计、生产、建造一体化的技术支撑，是连接各环节之间信息断崖的技术手段。再加上设计平台同ERP系统以及MES系统的对接，使得设计数据可以直接控制生产设备，从而做到由“图纸到产品”的直接转变。

3 装配式建筑数字化建造技术应用

3.1 构件工厂化生产与智能制造

预制构件工厂制作是预制建筑不同于传统施工的重要特点。工厂化制作把现场湿法加工变为工厂内加工，在标准化工艺及先进生产设备条件下完成预制构件的高速精准制作，工厂化生产借助自动化流水线以及模台流转、自动浇筑、机械养护等手段大大提高了生产效率以及产品的一致性，降低了对环境、人力等条件的要求。智能制造

应用于预制构件生产的重点在于对整个生产流程的管理和控制。MES对于生产计划，原材料供应、工艺实施、检验检测等工作进行跟踪记录以及数据收集，达到生产过程可视化管理的目的，让管理人员能够随时了解生产线情况；设备通过对BIM模型中构件进行识别，实现自动化的钢筋下料、混凝土灌注等工作，降低了人为因素造成的影响，保证了生产的准确度。

3.2 施工过程数字化管理技术

施工过程数字化管理技术是把数字化贯穿整个施工过程，做到对工程工期、质量、造价、安全的精细控制。数字化管理是以BIM模型为基础，收集整理施工现场各方面的数据，集成成为统一的控制系统，解决了以往传统施工管理下信息碎片化以及反应慢的问题。基于BIM的4D/5D虚拟现实仿真技术，把时间、造价与三维模型结合在一起，可以直观地看到整个工程项目的进度情况以及费用变化趋势，让管理者一眼就能看清工程项目的全貌。在施工阶段，管理人员利用移动设备把工程进度资料、质量检验结果、安全隐患图片等在现场及时上传到系统中，与BIM模型相链接显示出来，从而达到现场信息即时传递的目的。信息化管理系统通过对数据收集、处理以及报警的方式使原来的事后补救变为了现在的提前预防及监控过程中及时发现问题，极大的提高了施工现场管理的工作效能，减少了管理成本。^[3]对于进度管理来说，系统可以自动比较计划进度和实际进度之间的差距，并发送报警的消息；对于质量管理来说，形成了质量缺陷的闭环管理系统，做到问题整改有记录可查。

表2 施工过程数字化管理技术应用对比

管理维度	数字化技术	核心功能	应用效果
进度管理	BIM 4D/5D 模拟、进度看板	施工过程动态模拟，计划与实际对比	提前识别进度偏差，优化工序衔接
质量管理	移动端质量巡检、BIM 模型挂接	质量问题定位、整改闭环、追溯记录	提升问题处理效率，减少返工
成本管理	BIM 工程量提取、ERP 系统集成	工程量自动统计，材料消耗实时监控	提高成本控制精度，减少浪费
安全管理	智慧工地平台、视频监控	危险源识别、人员定位、预警推送	降低安全事故发生率

3.3 施工现场装配与信息化控制

现场装配是装配式建筑施工的主要工序之一，装配质量关系着建筑物的安全及性能，信息控制系统借助数字工具对装配过程实施精确控制，保证每块构件的装配质量，预制件进场时利用扫描构件二维码的方式可以查询到构件的相关信息，以及生产信息、质量合格证明等，做到进场验收的信息化管理，避免不合格构件进入。在起吊阶段使用塔吊监控管理系统及可视化辅助起吊技术，实时显示吊钩的位置以及构件的状态，指导操作人员精确定位，降低了传统起吊方式用喊话器沟通造成的差错。精密测量方

法例如全站仪以及三维激光扫描仪用于对构件安装位置进行现场校核，保证构件安装精度符合设计标准，防止由于定位误差造成的浪费时间返工现象；组装过程中使用了BIM技术，预先搭建模型来模拟出吊装流程，找出存在的碰撞情况，调整好吊装次序等。

3.4 物联网与智能监测技术应用

物联网及智能监测技术赋予了装配式建筑施工过程感知监控的能力，能够做到对整个施工过程以及结构状况的全天候跟踪记录。通过在构配件内预设各类传感元件、或者在现场布置相关的监测仪器可以及时获取结构响应

信息及环境因素的相关参数等数据。物联网系统把传感器、rfid芯片、智能终端等多种设备联接起来形成一个对构件进行全寿命周期跟踪的传感体系,做到了从前端制造到最终安装的全过程信息化管理。在施工过程中主要是以结构安全性监测及施工质量检验为主,比如在重要位置预留应变片对构件运输、吊运及拼装环节进行实时测控,保证施工的安全性等等。在临时支撑结构上安装倾角计进行监测,及时了解支撑情况防止支撑坍塌^[4]。智慧管理系统依靠无线信号将采集的数据发送到云端,由分析算法进行处理检测出非正常状态并报警提示,给施工带来了安全保障,完成了由事后补救到事前告警的过程。运行过程中留下的传感器还可以继续使用为桥梁结构监测供给数据支持。

4 结语

装配式建筑与信息化技术的融合应用,是促进建筑行业转型发展的必由之路。本文以数字化设计、数字化建造两个方面为切入点,全面总结了装配式建筑数字化发展的关键技术体系的研究成果。通过分析,BIM作为一种主要的数据表达方式,正在改变装配式建筑设计的方式;而参

数化设计以及模块化的设计也使得装配式建筑的设计更加标准化;而在加工制造方面则是采用工厂化生产、智能制造的方法来提高生产率;而在施工现场则是运用数字化管理以及智能化检测的技术加强对现场的控制力度。将来还会出现新的数字化技术如数字双胞胎、AI、5G等等的应用,使装配式建筑数字化向深层次发展,实现从设计到生产的全过程数字化集成化管理。但是,在标准体系建设、数据接口统一、跨专业协同机制完善等方面仍然需要继续加强,以便于给装配式建筑数字化发展做好服务保障。

[参考文献]

- [1]王诗慧.装配式建筑智能建造中的结构节点数字化设计与施工技术[J].智能建筑与智慧城市,2025(12):102-104.
- [2]樊则森.装配式建筑智慧建造的新边界、新模式、新技术与新产业[J].建筑技艺,2019(09):54-57.
- [3]苏会文,张成业,彭晓.装配式建筑装饰产业数字化转型路径研究[J].中国建筑装饰装修,2025(14):136-138.
- [4]李清忠.装配式建筑数字化设计与智能化制造的思考与应用[J].建材发展导向,2024,22(20):43-45.