

数字化技术在装配式建筑设计、生产、施工全过程中的应用

——以国家合成生物技术创新中心项目为例

陈光^{1,2} 刘纪超¹ 马云飞¹

(1. 三一筑工科技股份有限公司, 北京 102200; 2. 西安建筑科技大学, 西安 710055)

【摘要】为进一步提升建筑业发展质量和效益,加快推进建筑工业化、数字化、智能化升级是必然趋势。本文以国家合成生物技术创新中心项目为例,结合建筑工业化思维,探索数字化技术在装配式建筑全过程中的应用。通过创新性的结构技术、设计软件、生产装备、施工系统、协同平台的综合应用,打通各环节数据链,实现了装配式建筑智能化设计,数据驱动装备自动化生产,构件运输在线追踪及可视化施工管理,验证了基于平台的全周期、全要素、全角色在线协同管理模式,为推进建筑工业化转型升级提供了工程案例参考,有助于促进建筑业高质量发展。

【关键词】数字化技术;全过程应用;建筑工业化;数据驱动生产;示范工程

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】文集数据被中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录,被本刊录用并在中国知网网络首发正式出版,严禁侵权转载。

引言

随着建筑行业数字化的转型升级,装配式建筑正在向智能建造与建筑工业化方向发展。政府发布多项政策鼓励建筑行业跨界融合,协同创新,通过数字化手段,对建筑全生命期进行可视化、可追踪的多方位在线管理,实现建筑业全面转型升级。其中,2020年住建部联合十三部委发布《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》(建市[2020]60号)中特别指出:“加快推动新一代信息技术与建筑工业化技术协同发展,在建造全过程加大建筑信息模型(BIM)、互联网、物联网、大数据、云计算、移动通信、人工智能、区块链等新技术的集成与创新应用。研发自主知识产权的系统性软件与数据平台、集成建造平台。推进工业互联网平台在建筑领域的融合应用,建设建筑产业互联网平台,开发面向建筑领域的应用程序。”

本文深入挖掘数字化技术在装配式混凝土结构设计、生产、运输、施工全过程的应用,为数字化技术在建筑业的应用提供项目实例,构建数字化设计、自动化生产、智能化建造的应用思路。探索基于信息化平台的全周期、全要素、全角色的在线协同管理模式,有助于智能建造与建筑工业化的协同发展。

1 装配式建筑数字化应用难点

深化设计软件智能化程度低,导致数据源缺失。预制构件设计需考虑构件尺寸、钢筋碰撞、机电预留预埋件、施工吊装埋件等多方面因素,对设计的精细度要求较高,且图纸量较大。因此采用传统的CAD二维制图方式难以满足设计要求。而BIM深化设计软件智能化程度不足,导致预制构件拆分、深化、制图等设计过程存在大量调整模型工作,设计效率未有显著提升,使此类三维深化设计

【作者简介】 陈光(1969-),男,教授级高工,三一集团副总裁,总建筑师,主要研究方向:装配式建筑、绿色建筑研发;刘纪超(1990-),男,三一筑工设计智能研发所所长,主要研究方向:BIM技术应用与研究,BIM软件产品研发;马云飞(1980-),男,高级工程师,三一集团总裁助理,三一筑工建筑设计研究院副院长,主要研究方向:装配式建筑结构。

软件在市场上推广难,应用率低。从而导致设计阶段信息模型数据的缺失,影响生产、施工环节数字化技术的应用。

装备自动化程度低,无法实现数据驱动生产。除部分国外预制构件生产线拥有自动化生产装备和控制管理系统外,国产预制构件生产线少有具备自动化生产能力的装备,且能实现数据驱动生产的更是寥寥无几。在此背景下,预制构件依旧采用工厂人工加工生产的方式,对上游设计数据的要求也仅限于预制构件深化图图和 BOM 清单,对 BIM 模型数据需求不高也成为数字化全流程应用的阻力。

各阶段数据不互通,且缺少统一的在线管理平台。各参与方采用自有的协同管理平台,未基于统一的信息模型进行管理,数据在传递和应用过程中存在丢失或不对应等情况,设计、生产、施工数据严重脱节,影响整体工作效率。最终影响预制构件的生产、施工质量,降低装配式建筑的品质。

2 项目概况

2.1 项目简介

国家合成生物技术创新中心核心研发基地项目位于天津市滨海新区天津港保税区空港经济区津滨保(挂)2018-16号地块,总用地面积 8.4 万 m²,总建筑面积为 17.7 万 m²。采用装配式混凝土预制构件的建筑为配套服务区的新建公寓部分,应用面积 2.6 万 m²。

2.2 项目特点

本项目是装配式建筑混凝土预制构件基于平



图 1 项目鸟瞰效果图

台全流程数字化应用的典型示范性工程案例。数字化技术的应用分为四个方面,智能化深化设计、自动化生产加工、可视化施工管理、信息化在线协同。针对预制构件的设计、生产、运输和施工及数据管理等环节提供数字化产品和平台。

主要应用流程包括采用创新的装配式结构技术,通过定制化的智能深化设计软件完成预制构件设计,生成图纸、清单、加工数据。数据上传至协同平台,与项目计划关联,进行统一的数据管理和传递。工厂接收设计数据后根据项目进度和要货计划进行预制构件合理化生产排产,构件的运输与进场施工采用移动端与 WEB 端结合的方式进行可视化跟踪管理,确保构件各环节数据留存在平台上,后期可追踪查证。通过上述全流程数字化应用以便达到提高预制构件设计、生产效率,缩短施工周期,降低综合成本,数字孪生交付等目标。

全流程应用示意图见图 2。

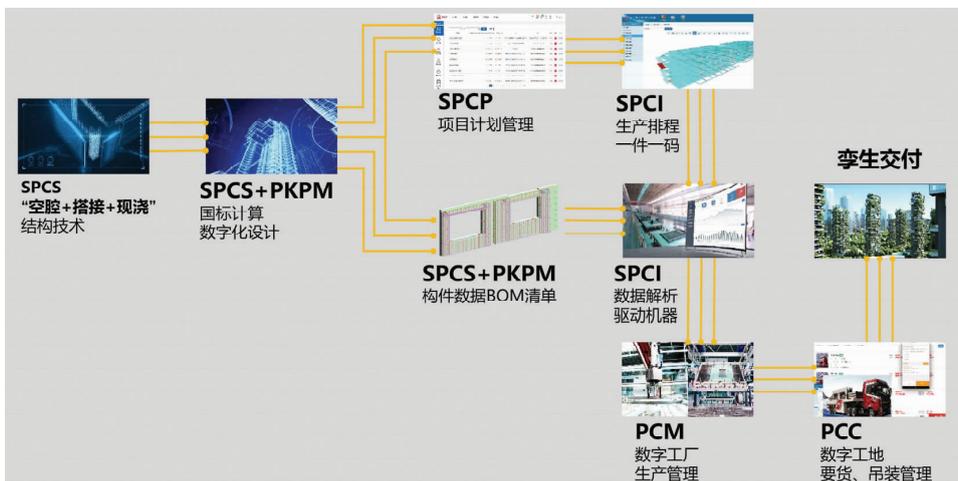


图 2 全流程应用示意图

3 设计阶段应用

3.1 装配式建筑创新结构技术应用

本项目采用装配整体式钢筋焊接网叠合混凝土结构技术(简称:SPCS),相比传统的装配式结构技术更适合建筑工业化,其创新点一是竖向结构采用空腔构件重量轻易运输;二是构件四周不出筋,利于生产、运输、施工;三是构件内部及现浇段采用机械焊接钢筋笼生产效率高;四是空腔构件内部、空腔构件间采用整体现浇混凝土,安全性能好,防水性强。

SPCS 结构技术示意图见图 3。

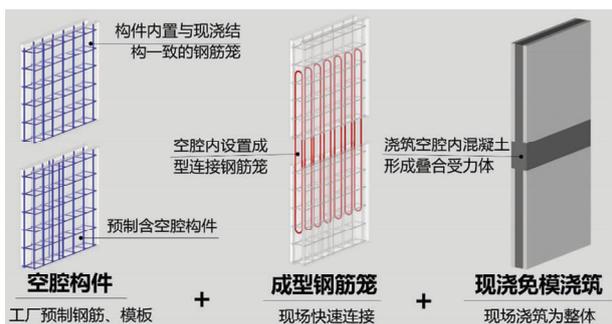


图 3 SPCS 结构技术示意图

3.2 智能深化设计软件应用

设计是数字化全流程应用的数据源头,应采用基于 BIM 技术的进深化设计工具以保障数据的完整性和准确性。本项目采用基于 PKPM-BIM 平台研发的针对 SPCS 结构技术的智能深化设计软件(简称:SPCS + PKPM)。本软件特点一是国产设计软件,从底层图形引擎到 BIM 平台均采用国产技术,解决被国外软件市场垄断和图形技术“卡脖子”

等问题。国产化是未来的发展趋势,可避免数据外漏,有益于国家信息安全;二是智能化程度高,软件内置 SPCS 技术的设计规则,使预制构件的建模、拆分设计、深化设计、图纸绘制等均可快速完成,有效提高设计效率;三是数据上下游对接,软件上游可对接传统结构计算分析软件的模型数据,下游可导出对接工厂生产装备的加工数据以及用于生产、施工可视化管理的模型数据。

软件数据应用流程示意图见图 4。

SPCS + PKPM 软件主要设计流程包括:模型创建、拆分设计、计算分析、配筋设计、预留预埋设计、成果输出等六个步骤,具体应用如图 5 所示。

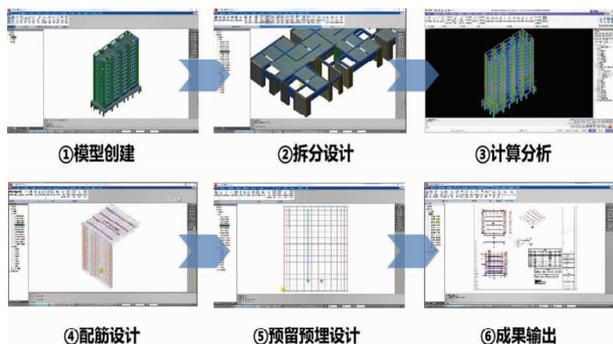


图 5 项目设计软件应用流程示意图

(1) 模型创建

软件支持 CAD 二维建模,以及 PKPM 和盈建科软件的计算模型导入。在国内的工程项目基本都会采用以上两种结构软件进行计算分析,因此上游数据源相对稳定。将计算模型导入 SPCS + PKPM 软件中在模型微调整后即可进行预制构件深化设计,节省了大量的建模工作量,缩短前期设计准备时间。



图 4 软件数据应用流程示意图

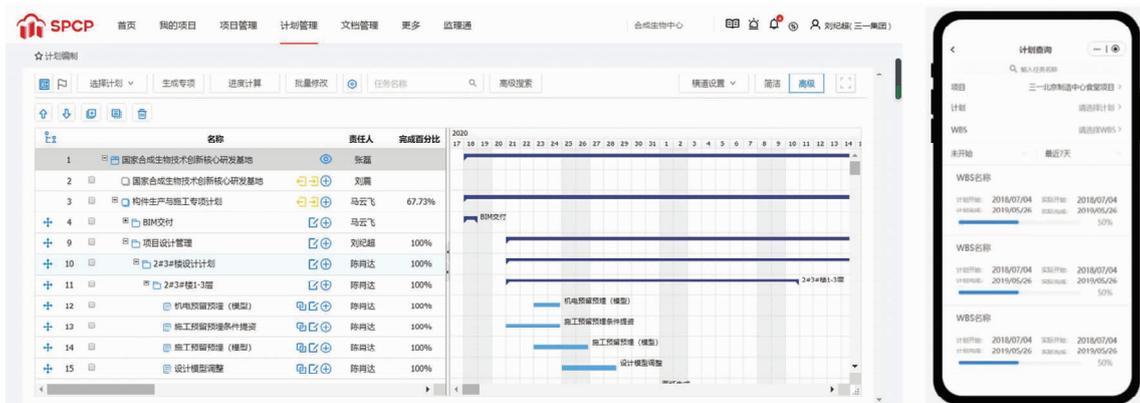


图 6 SPCP/D 计划与文档管理系统

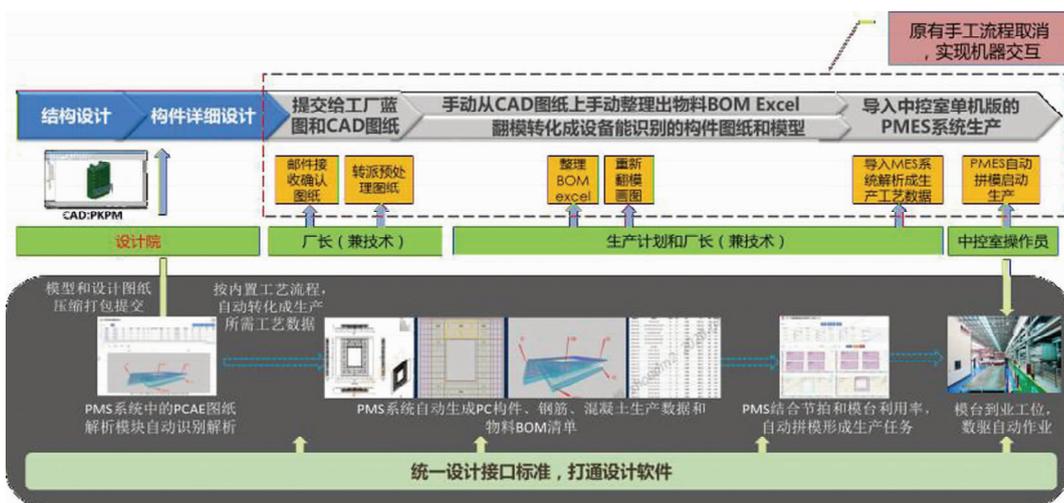


图 7 数据解析流程示意图

(2) 拆分设计

软件内置了 SPCS 结构技术设计规则和构件生产、施工常用的构件规格尺寸,为设计师提供更为智能化的设计功能,快速生成经济、合理的拆分方案,输出装配率、预制率等统计指标。

(3) 计算分析

软件内置 SATWE 结构计算模块,可实时对模型进行整体分析,验证拆分方案的合规性。并将计算的配筋数据和施工图导入到软件中,作为配筋设计的依据。

(4) 配筋设计

预制构件配筋是深化设计过程中最为复杂的步骤。软件支持根据传统结构设计的配筋数据和施工图进行构件自动配筋,并提供便捷的配筋调整功能,如碰撞检查和自动避让模块,有效减少设计错误,提高设计准确性和效率。

(5) 预留预埋设计

软件提供预留预埋交互布置,支持 P-BIM 机电模型导入自动布置预埋件、自动开洞等操作。

(6) 成果输出

一键生成全套深化设计图纸,包括:布置图、构件图、预埋件详图、钢筋大样图等;一键生成构件的 BOM 清单和生产加工数据。

3.3 协同管理平应用

本项目 EPC 的装配式专项部分采用 SPCP/D 计划与文档管理系统,对项目计划进行编制和反馈,系统将文档与业务工作流程结合,使各参与方紧密联系。真正实现项目全周期、全要素、全角色的在线协同管理。本系统主要优势有以下几个方面:

(1) 计划高效编制及项目建筑实时共享

用户在权限范围内可协同编制进度计划,设定

参数,上传相关文档等功能。通过逻辑关系、模板和逻辑推演等灵活应用,可为用户提高计划编制效率。支持多方协同编制进度计划,实时跟踪、同步反馈,多专业(账号)、多地域查看项目最新进展。

(2) 文档在线传递、储存、全过程管理

基于权限范围,用户可对文档、数据进行实时共享、分发,提高项目文档管理效率,降低人工管理成本,实现项目文档可追溯。

(3) 全方面提示及预警功能

具有全方面的预警功能,可以提高项目计划开始和完成及时率,在项目计划中对 WBS、里程碑、任务进行预警,个人中心对用户责任范围内的 WBS、任务进行提示与预警等。

4 生产阶段应用

4.1 数据解析

SPCI 数据解析系统自动提取 SPCS + PKPM、PlanBar 等输出的构件设计模型,获取构件的设计尺寸、强度、物料清单等,按体系标准重组生产工艺数据,直接驱动设备作业,无需二次翻模、人工处理图纸。

4.2 数据驱动生产

本项目采用三一筑工的 SPCS 结构技术专用生产线。对接设计软件导出的生产数据,完成自动化的生产。主要生产流程包括以下几个方面:

(1) 钢筋自动化加工。板构件的网片钢筋和墙构件的梯子型钢筋均可通过钢筋焊接加工装备一次成型,由钢筋投放装备运输到指定工位进行钢筋布置;

(2) 机器人布模与划线。装备读取预制构件的轮廓信息,由机械手进行自动布模或者在模台上划线,避免人工放线、布模,大大节省操作时间;

(3) 埋件激光定位。通过激光定位仪将埋件的位置投影到模台上,工人根据投影点放置相应埋件和检验埋件位置的准确性;

(4) 自动布料与振捣。将 BOM 清单与加工数据一并导入到装备系统中,根据混凝土体量数据精准布料,避免浪费。

4.3 PCM 生产管理系统

本项目采用 PCM 生产管理系统,以一物一码方式,建立 PC 构件标识体系,实现 PC 构件在排产、生产、质检、堆场、运输的全过程管理;配合强大的数据分析和可视化技术,为管理者提供全要素管理支持,覆盖订单、生产、库存,运输等多个维度。

本系统主要特点如下:

(1) 计划驱动,生产过程可控

PCM 用计划驱动生产,用质检校验工艺,将生产情况及时反馈给管理人员,保证生产计划和产品质量的严肃性。通过生产管理模块,PCM 将生产计划和产品质量牢牢地控制在工厂管理者手中。

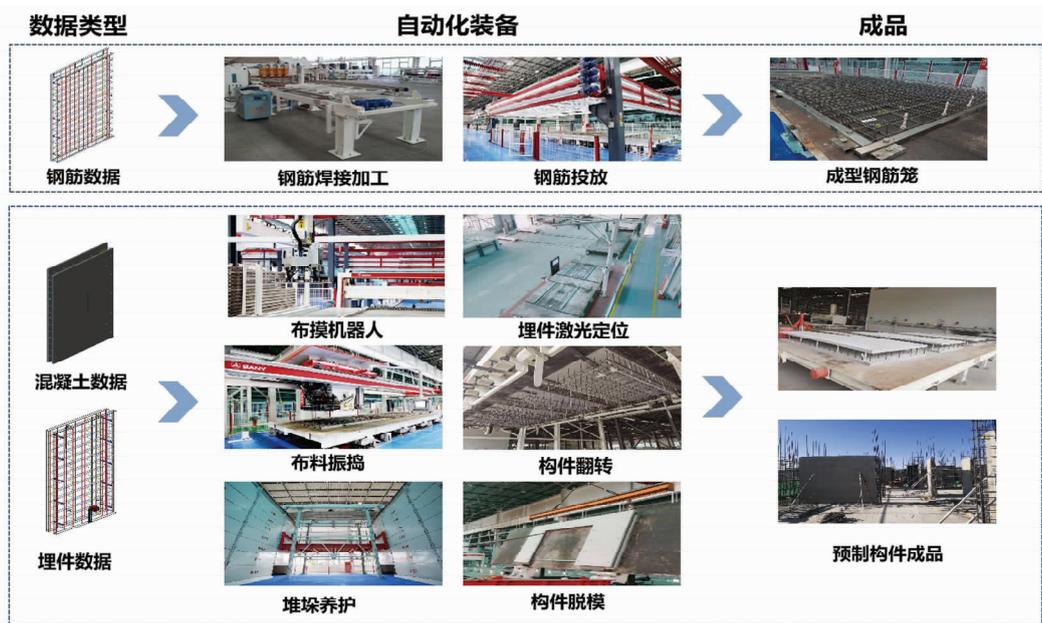


图 8 SPCS 构件生产流程图



图 9 PCM 生产管理系统

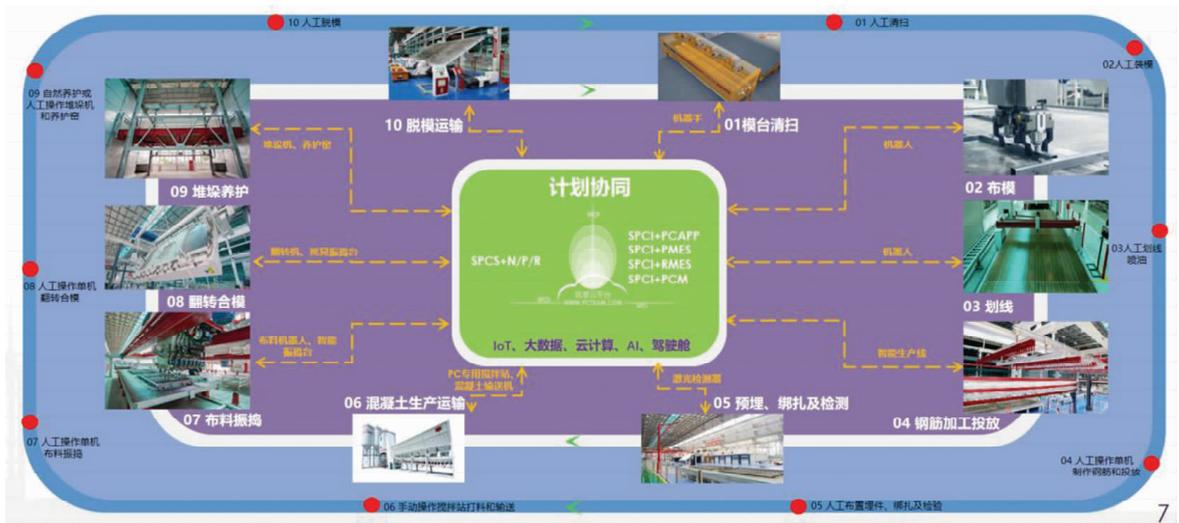


图 10 智能装备和数字工厂发展跑道图

(2) 一件一码, 全程数字孪生

PCM 采用一件一码的管理方式, 用标签绑定数字构件与实体构件, 实现虚实同步。支持通过数字交付, 完成工厂生产和工地安装的模拟、仿真。

(3) 自动报表, 掌握工厂动态

依靠生产管理、堆场管理和运输管理模块中积累的基本运行数据, PCM 自动汇总数据。将数据汇总周期精确到天, 将数据延迟缩短到秒。

4.4 智能装备与数字工厂

预制构件的生产效率与质量一直制约着装配式建筑的发展, 类比制造业的自动化生产线, 国产

的 PC 生产装备仍然有较大的提升空间。三一筑工利用三一集团多年在工程机械领域的装备研发经验, 研发智能生产装备, 打造数字工厂, 为建筑工业化发展助力。

通过项目探索与实践, 我们将智能装备和数字工厂的发展分为四个阶段。

- 1.0 - 机械化: 采用手工加机器的方式, 实现简易的机械化生产;
- 2.0 - 自动化: 将数据导入设备中, 一键操作, 自动生产;
- 3.0 - 信息化: 中台数据驱动智能装备完成相应



图 11 PCC 产品界面图

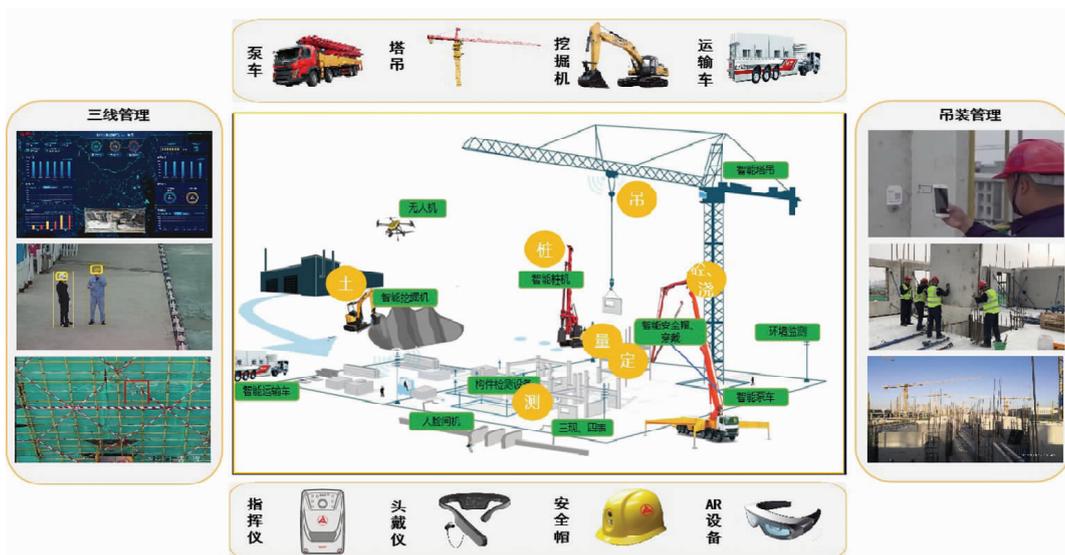


图 12 智慧工地技术应用图

工序生产；

4.0 - 智能化: 中台算法整体优化的数据驱动智能装备生产, 管理流与工业流自动化, 达到实时动态全局最优, 形成数字孪生。

我们相信, 随着新技术的融合与装备的智能化改造升级, 在不久的将来装配式建筑的混凝土预制构件生产将同造汽车一样, 更高效, 更精确。

6 施工阶段应用

6.1 PCC 施工管理系统

筑享云易吊装 (简称: PCC) 以吊装施工为核心, 提供基于构件数据的施工模拟, 要货协同, 进场验

收, 吊装施工, 一件一码吊装记录, 施工验收与整改等施工全过程管理, 实现构件全生命周期追踪溯源与 BIM 孪生交付。本产品提供 WEB 端与移动端服务, 现场数据同步上传至平台, 有效提高装配式建筑施工管理效率, 其主要功能点包含以下部分 (产品界面见图 11):

(1) 智能要货协同

打通构件生产管理系统, 自动同步要货计划与运输信息, 实时定位并智能识别构件运输状态, 及时通知有关人员。

(2) 进场验收处理

支持扫描构件二维码生成服务单, 提出维修或

退货申请,主动通知构件维修处理进展,便捷查询构件补货情况。

(3) 吊装仿真与计划

基于 BIM 的标准层吊装策划与仿真施工,快速制定吊装计划,自动同步生成要货计划,直观展示构件齐备情况。

(4) 吊装协同施工

三屏联动的数字化图纸指导施工,直观定位或指定构件安装位置,记录吊装信息,按构件统计施工用时。

(5) 施工验收与整改

智能一键报验,自动形成报验清单,支持构件扫码提出整改意见,基于构件记录整改回复信息,达成验收数据闭环。

(6) 项目数据交付

数字孪生动态交付,直观展示施工进度,为施工单位统筹施工计划,分析吊装效率提供数据支持。

6.2 智慧工地系统

智慧工地系统是利用信息化手段,包括: BIM、互联网+、物联网、大数据、人工智能、5G 移动通讯、云计算及虚拟现实等信息技术与机器人等相关设备,对现场“人、机、料、法、环、测、能源”等各关键要素全面感知和实时互联,实时监控施工工期、质量、安全和成本。本项目针对装配式建筑施工环节进行智慧工地探索,利用物联网将施工装备、人员穿戴装备、构件定位和三线可视化数据联通整合,搭建信息化管理平台,提高工程管理效率和信息化水平。

7 结语

未来,建筑业应当加快推进以创新为基础的技术和标准体系建设,推动建筑工业化、数字化、智能化升级,促进行业高质量发展。我认为建筑业向智能建造和建筑工业化转型升级还应做好以下三个方面的工作:

(1) 政府部门主导联合各企事业单位制定行业数据

应用标准。标准范围应纵向贯穿覆盖规划、设计、生产、运输、施工、运维全流程,统一数据传递、储存、应用标准。

(2) 软件、平台、装备推动国产化发展。随着国际形势日趋紧张化,建筑的信息安全也面临挑战。现如今,建筑行业同其他行业一样,一直存在软硬件几乎被国外垄断的情况,核心技术被“卡脖子”,阻碍了国产化软件、平台、装备的发展。

(3) 跨界融合促进新技术应用。加速推进人工智能、物联网、大数据、云平台等创新技术应用,联合互联网领域、制造领域等跨行业的企业,借鉴其发展经验和技能,助力建筑行业转型升级。

参考文献

- [1] 马云飞,刘纪超,盛珏等. 基于装配式建筑智能建造的思考与实践[J]. 住宅产业, 2020, (9): 43-49.
- [2] 高强. BIM 技术在装配式建筑应用过程中存在的问题及对策[J]. 建设科技, 2020, 1(399): 83-85.
- [3] 王巧雯. 基于 BIM 技术的装配式建筑协同化设计研究[J]. 学术论文专刊, 2017, 1(16): 18-21.
- [4] 徐照, 占鑫奎, 张星. BIM 技术在装配式建筑预制构件生产阶段的应用[J]. 图学学报, 2018, 39(6): 1149-1155.
- [5] 吴大江. BIM 技术在装配式建筑中的一体化集成应用[J]. 建筑结构, 2019, 24(49)
- [6] 叶浩文, 周冲, 樊则森, 等. 装配式建筑一体化数字化建造的思考与应用[J]. 工程管理学报, 2017, 31(5): 85-89.
- [7] 樊骅. 信息化技术在预制装配式建筑中的应用[J]. 住宅产业, 2015(8): 61-66.
- [8] 李浩, 李永敢. 工业化住宅预制构件深化设计流程及深化设计要点分析[J]. 上海建设科技, 2014(1): 1-5.
- [9] 周可璋, 卢宁, 刘天宇等. BIM + 装配式技术在青岛国际会议中心项目中的应用[J]. 施工技术. 2020, 49(16): 28-30.
- [10] 汤昱泽, 孙昱晨, 于江等. EPC 模式下 BIM 全过程实践——以南京江北新区人才公寓(一号地块)为例[J]. 土木工程信息技术. 2020, 12(6): 49-58.

Application of Digital Technology in the Whole Process of Prefabricated Building Design, Production and Construction

—Take the National Synthetic Biotechnology Innovation Center project as an Example

Chen Guang, Liu Jichao, Ma Yunfei

(1. *Sany Construction Technology Co., Ltd., Beijing 102200, China*;
2. *Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China*)

Abstract: In order to further improve the development quality and efficiency of the construction industry, it is an inevitable trend to accelerate the industrialization, digitalization, and intelligentization of buildings. This article takes the National Synthetic Biotechnology Innovation Center project as an example, combined with the thinking of building industrialization, and explores the application of digital technology in the whole process of prefabricated buildings. Through the comprehensive application of innovative structural technology, design software, production equipment, construction system, and collaborative platform, the data link of each link is opened, and the intelligent design of prefabricated buildings is realized, the automatic production of data-driven equipment, the online tracking of component transportation and the visual construction are realized. Management has verified the full-cycle, full-element, and full-role online collaborative management model based on the platform, providing engineering case references for promoting the transformation and upgrading of construction industrialization, and helping to promote the high-quality development of the construction industry.

Key Words: Digital Technology; Full-Process Application; Construction Industrialization; Data-driven Production; Demonstration Projects