

智能建造技术在装配式建筑工程施工中的应用

王 健

中国五冶集团有限公司, 上海 201900

[摘要]装配式建筑高质量发展要依靠智能建造技术的支撑。文中以中冶长远里住宅项目为工程背景,对智能建造技术体系在装配式建筑施工中的应用进行阐述。整理出 BIM、物联网、人工智能等技术,并创建起感知控制和平台协同的系统架构。重点对预制构件智能生产、现场智能吊装及精准拼装、灌浆质量实时监测等技术进行了分析,并介绍了叠合板安装定位工具的一种应用。最后用进度、质量、成本、绿色施工这四个维度来说明应用的效果以及改进的方法。

[关键词]智能建造;装配式建筑;叠合板定位;BIM 技术

DOI: 10.33142/ec.v9i6.19821

中图分类号: TU17

文献标识码: A

Application of Intelligent Construction Technology in Prefabricated Building Construction

WANG Jian

China MCC5 Group Corp. Ltd., Shanghai, 201900, China

Abstract: The high-quality development of prefabricated buildings relies on the support of intelligent construction technology. The article takes the Changyuan Residential Project of MCC as the engineering background and elaborates on the application of intelligent construction technology system in prefabricated building construction. Organize technologies such as BIM, Internet of Things, and artificial intelligence, and create a system architecture for perception control and platform collaboration. The key technologies for intelligent production of prefabricated components, on-site intelligent lifting and precise assembly, and real-time monitoring of grouting quality were analyzed, and an application of installation positioning tools for composite panels was introduced. Finally, use the four dimensions of progress, quality, cost, and green construction to illustrate the effectiveness of the application and improvement methods.

Keywords: intelligent construction; prefabricated buildings; positioning of laminated panels; BIM technology

引言

目前我国建筑业正处在由粗放式向工业化、智能化转型的过程当中。装配式建筑是新型建筑工业化的主要载体,在提高效率、减少污染方面有明显的优势,但是预制构件的精准定位难、节点连接质量不好控制、多专业协同复杂等问题仍然存在,传统的经验驱动型管理模式已经不能满足高精度、高效率的施工要求。以 BIM、物联网、人工智能为核心的智能建造技术,依靠数字孪生、实时感知、智能决策等手段,给破解上述难题赋予了系统的解决办法。

1 智能建造核心技术体系

智能建造是以新一代信息技术为驱动力,以建造全过程感知、分析、决策、执行闭环为目标的建造模式。其技术体系为多技术融合集成,构成支撑工程智能化的“技术簇群”。BIM 技术就是智能建造的数字基础。BIM 创建三

维数字化表达,把几何、物理、空间、过程等信息整合起来,给设计协同、施工模拟、运维管理赋予统一的数据载体。装配式建筑 BIM 模型要细化到构件层面,包含钢筋、预埋件、连接节点等细节内容,这是实现精准生产的前提。物联网技术是打通物理与数字空间的关键感知神经。在构件上植入 RFID 芯片或者二维码,在施工机械和现场布设加速度、倾角、温湿度等传感器,形成一个包含“人、机、料、法、环”全方位的泛在感知网络^[1]。使得隐蔽施工过程透明化,给实时监控、风险预警、科学决策提供数据流。人工智能、大数据技术属于智能建造的决策大脑。机器学习从大量的数据中找出规律,用在进度预测、质量缺陷识别、安全判别等地方。计算机视觉分析监控视频,识别未戴安全帽、危险区域闯入等行为,实现从人工监督到智能监控的转变。

云计算、边缘计算给数据的实时处理、模型运算提供

算力支持。机器人技术把指令转化成物理操作,生产线流转、测量机器人、智能灌浆设备等都属于这种类型,从而直接提高质量效率。这些技术交织在一起就形成了以 BIM 为数据载体、IoT 为感知、AI 为分析的智能建造体系,为装配式建筑创新实践打下了基础。

2 装配式建筑智能建造系统架构

按照中冶长远里项目的特点,把系统架构分为“感知控制与数据集成层”和“平台应用与协同决策层”。

2.1 感知控制与数据集成层

本层为智能建造的物理基础和数据入口,对现场的人、机、料、法、环等各方面的实时感知、信息采集以及底层控制起着作用。项目 1#至 7#栋及地下室 A 区上万件预制构件从生产开始就获得了唯一的二维码或者 RFID 标签,成为“数字身份证”。堆场和进场通道的读写器以及摄像头可以完成构件清点、核对和入库工作^[2]。塔吊大臂、吊钩安装的幅度、高度、回转角、吊重、风速等传感器以及定位模组,实时计算出吊装姿态。灌浆设备装有流量、压力、温度传感器,在套筒出浆孔处设监测点。

所有的感知终端用 5G 专网或者工业 Wi-Fi 把数据汇聚到边缘计算节点上,清洗、过滤、压缩,得到构件偏移、吊装异常等关键事件,然后上传到云端,解决了带宽压力和延迟问题,保证了实时性。

2.2 平台应用与协同决策层

平台层就是用高精度的项目级 BIM 模型做为统一的数据底板。接收构件的身份信息、位置和状态参数之后,将这些参数对应到数字孪生模型中,就得到了数字工地。核心模块有构件全生命周期追溯看板,清楚地显示出任一块叠合板从生产到安装的全部过程,智能吊装调度模块,根据塔吊荷载、位置和进度计划来安排吊装顺序和路径,防止多塔冲突,质量安全协同管理模块,把方案、交底、验收标准同模型联系起来,现场人员借助移动端按照流程检查、拍照上传,留下自动归档的记录,形成可以追溯的电子档案。

该平台冲破了业主、设计、总包、构件厂、监理等各方的信息壁垒,各方面的数据得以共享并达成业务协同。构件厂根据现场进度及堆场预警提前通知生产,监理利用远程审查方式重点审查工序,项目团队用看板对进度、成本的偏差进行综合分析并做决定。数据驱动、平台赋能的工作方式,才是智能建造不同于传统信息化的根本所在。

3 施工关键环节的智能技术应用

本项目装配率为 51.30%,5#、6#栋为套内精装,智能技术在以下关键环节得到了充分的应用。

3.1 预制构件智能化生产

构件生产属于质量源头。项目预制楼梯、叠合板、空调板等在自动化工厂生产。生产线按照 BIM 深化模型中的数据进行解析。中央控制系统获取构件的外形尺寸、钢筋规格间距、预埋件三维坐标等信息,然后转化为生产指令。数控设备可以自动完成钢筋的加工,机械手准确地将边模和预埋件放好,精度为毫米级。

为了保证与现场无缝对接,对 5#、6#栋预制凸窗、带精装预留孔洞墙板等复杂的构件使用视觉复核技术进行生产应用。每一道工序结束之后,高分辨率工业相机对构件进行多角度扫描,将点云数据同 BIM 设计模型展开比较,自动生成尺寸误差云图,超差点发出报警信号,促使即时修正。源头数字化管控把问题构件拦在出厂之前,减少了返工的危险,给 26 层高层住宅竖向精度控制赋予了保证。

3.2 物流运输与堆场智慧管理

由于近 10 万 m^2 、七栋高层同时施工、场地狭窄,所以项目创建了以物联网为驱动的智慧物流系统。运输车辆装设卫星定位、RFID 识别装置,全过程轨迹可监控。车辆进入电子围栏时,系统就会发出预到货通知,并且会把信息传递给材料员以及吊装班组。

堆场划分成数字化库位,和构件种类、规格逻辑相联系。卸车之后扫描二维码,按照系统推荐的库位存放在指定位置,然后确认入库^[3]。平台堆场看板可以实时显示库位的状态和库存。当某类叠合板存量小于安全阈值或者根据未来三天进度推算会短缺的时候,系统就会发出补货预警,并给出建议运输批次和数量。数据驱动模式把传统的“人找料”变成“料等人”,大大减少了窝工、二次转运的成本。

3.3 现场智能吊装与精准拼装

构件吊装定位是核心工序,直接影响结构安全与质量。对于大量的叠合板安装,使用自研的安装定位工具来解决传统吊装一次到位难、反复撬动的问题。该工具如图 1、图 2 所示,由 L 型固定板(1)、滚柱(2)、螺纹推板机构和带支撑轮(12)的撬棍(10)组成。吊装前,用固定耳(3)将工具临时固定在支撑架体或者梁侧模上预定位置,每块板至少布置四套(图 3 所示)。塔吊将叠合板(14)缓慢落落到滚柱上,此时为滚动摩擦,便于微调。操作人员旋动手轮(8)带动螺纹杆(5)转动,推板(6)平稳移动,使叠合板沿推板方向做毫米级的精准调节,直到边缘与控制线重合,完成轴线和搁置长度的精调。定位完成后,工人握住握把(11)向上提起撬棍,以支撑轮为支点,

利用杠杆原理将 L 型固定板和滚柱一起从叠合板下取走，对已经就位的板件无扰动。

该工具化方案把传统的依靠经验、体力的纠偏变成可控制、可精确的机械化微调，大幅度提高了一次吊装的成功率，缩短了单块的安装时间，保证了 1#到 7#栋标准层快速均衡施工。

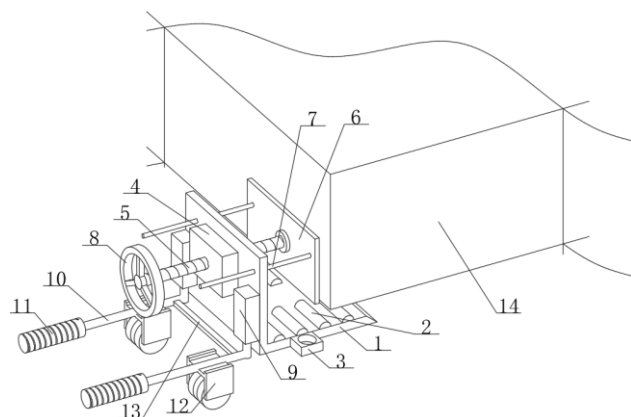


图 1 定位工具整体结构示意图

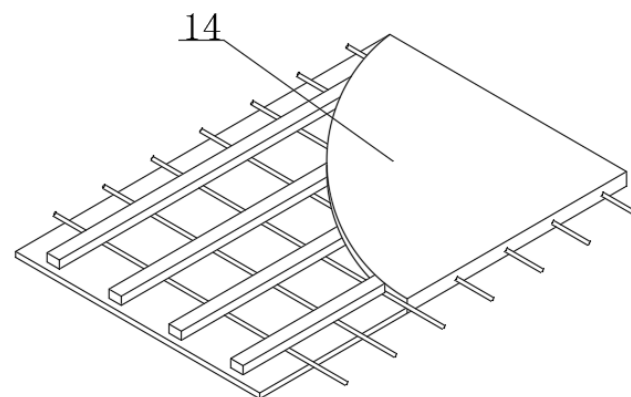


图 2 叠合板的整体结构示意图

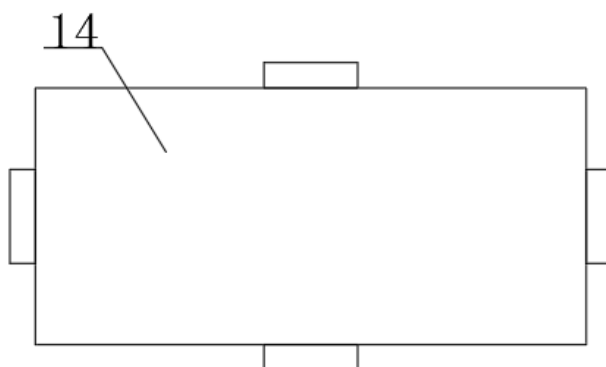


图 3 定位工具的安装位置示意图

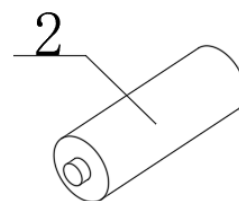


图 4 滚柱的整体结构示意图

3.4 节点连接与灌浆质量实时监控

装配式建筑“等同现浇”的关键在于套筒灌浆密实度。项目抛弃了以往依靠眼睛去判断出浆的凭经验的方式，采用智能灌浆监控系统。

系统前端是灌浆泵上装有流量计、压力传感器和出浆孔传感器的结构。作业时随时采集流速、累计流量、灌浆压力等参数。控制单元内装有灌浆料流变特性及套筒容积的算法，当进浆量达到理论容积并且压力稳定上升，出浆孔传感器检测到均匀饱满的浆料并且保持规定的时间之后，系统发出声光提示，此时系统认为该套筒是饱满的。所有的灌浆数据起始时间、操作人员、实时压力流量曲线、饱满度判定结果等全部上传到智慧工地平台，并且和对应的墙体 BIM 模型永久关联起来，形成一个无法被篡改的数字化质量档案，对全过程进行客观定量的记录^[4]。管理人员可以通过平台或者 APP 实时查看任意部位灌浆的进度以及历史记录，对于压力突然下降、流量异常等立即可以追溯到的原因进行分析，把灌浆质量由结果检测转变为过程透明管控，给项目达到一级耐火等级和丙类设防目标提供主要保障。

4 应用效能与多维优化路径

智能建造系统性应用可以实现进度、质量、成本、绿色施工的全面最优。

4.1 进度动态管控与调度优化

项目创建出基于数字孪生的进度动态控制体系。把 BIM 模型同任务计划联系起来创建出 4D 进度模型，每日构件安装扫码、工序报验数据促使模型更新，达成虚实同步。平台会自动算出各个栋号、工区的计划和实际工期差异用红色、黄色、绿色热力图表示出来。

当某标准层叠合板安装进度连续滞后的时候，系统就会发出预警。管理团队调取关联塔吊工效、构件进场记录、劳务出勤等数据进行多维分析，发现原因是塔吊午间利用率低。项目根据调整后的班组作业时间，采用智能调度算法优化吊装指令序列，释放出高效时段的能力来完成主体构件。基于实时数据的闭环调度，把计划调整从“月调”变成“日调”，精准敏捷，保证七栋高层结构封顶节点比

合同工期提前。

4.2 质量安全一体化智能监管

项目依靠同一个平台把质量与安全数据融合起来,创建起一体化的监管方式。质量上从构件生产视觉复核、进场扫码比对、使用定位工具实现毫米级就位、灌浆实时监控等,形成了一个包含源头、过程、结果的数字化防线。所有的质量活动生成带时空、责任人信息的电子记录,汇总成单体“数字质量档案”,给终身负责制提供支持。

安全上系统把视频 AI 识别、塔吊监测和环境监测结合起来。当环境监测到瞬时风速超过六级,影响 6#、7# 栋高处吊装安全的时候,平台和塔吊防碰撞数据融合,在电子地图上划定虚拟的禁飞区,向相关的塔吊发出限位停机指令,并通知区域人员撤离。跨系统数据融合以及自动连锁把安全管理由事后追查变成事前预防和事中控制,从而削减高空坠落、物体打击等危险。

4.3 资源调配与全过程成本控制

用 BIM 精确算量得到比传统手算更准确的关键材料工程量清单,作为成本控制的依据。施工期间用物联网技术对材料消耗、机械台班、人工工时进行实时监测,然后计算出已完成工作的实际成本^[5]。平台把实际成本同合同价、预算成本做三算对比,按栋号、楼层、工序归集分析。

系统分析可得地下室 A 区独立基础施工时某型号钢筋的损耗率有异常。追踪该批钢筋领用、加工数据及现场影像,迅速找出异形箍筋加工尺寸出现系统性正偏差的地方,并督促后台进行校验修正,防止浪费的发生。工序级成本穿透分析使得风险可以被提前发现。长期形成的工效和损耗数据可以反过来对定额的编制以及资源的调配计划进行修正,从而形成一种成本控制的良性循环。对于 3.39 亿元的项目来说,微小百分点的节约就会产生巨大的效益。

4.4 绿色施工与全周期信息追溯

智能技术增大装配式建筑环保优势。精确到构件的物流管理以及智能调度可以缩减场内二次搬运次数,削减运输扬尘和碳排放。施工用水、用电设备接入系统分区计量监测,异常偏高时报警,辅助发现资源浪费。喷淋和扬尘

监测联动,根据需要自动喷雾降尘,节水明显。

深层次的含义就是全周期信息数字化追溯。项目所有的从规划、设计、生产、施工到运维的信息都存放在 BIM 数据中心中。每一个构件的材料来源、生产时间、安装位置、灌浆数据以及 5#、6# 栋精装修材料的品牌批次都可以一目了然地查询到。完整、真实的“建筑数字档案”给竣工验收带来了便利,也给未来数十年的建筑全生命周期安全维护、部品更换、建材回收提供了无价的数据支持,是实现建筑业全周期绿色可持续发展的重要基础。

5 结束语

中冶长远里项目实践证明,以 BIM、物联网、人工智能为代表的新型信息技术同传统建造技术深度交融,给装配式建筑高质量发展赋予了变革途径。创建“感知—平台—应用”的架构,在构件生产、物流、现场安装、连接质量等重要环节实行数字化、智能化更新,尤其看重叠合板定位工具这类“微革新”同智能系统融合起来,从而破解具体工艺上的难题。技术应用冲破了信息孤岛,促使进度、质量、安全、成本一体化管控革新,达成降本增效和绿色施工。未来智能建造会向着更高层次的“人机协同、自主决策”发展,需要不断的技术攻关和模式创新,为建造大国迈向建造强国作出贡献。

[参考文献]

- [1]叶浩文,王宁.双碳目标下装配式建筑绿色建造技术路径研究[J].建筑结构学报,2023,44(2):1-10.
 - [2]张时聪,徐伟.建筑全生命周期碳排放计算方法与减碳路径研究[J].建筑科学,2023,39(5):12-19.
 - [3]龚剑,苏志勇.新型建筑工业化与智能建造关键技术[J].施工技术(中英文),2023,52(3):1-8.
 - [4]曹阳,刘界鹏.基于 RFID 与 BIM 的装配式建筑构件智能物流追溯体系研究[J].建筑经济,2023,44(4):92-98.
 - [5]胡玉银,赵勇.装配式混凝土结构套筒灌浆连接质量检测与智能监控技术进展[J].建筑结构,2023,53(12):112-119.
- 作者简介:王健(1991—),男,安徽安庆人,工程师,重庆工商大学环艺设计专业毕业,现就职于中国五冶集团有限公司,从事工程施工管理工作。