

轻钢集成绿色建筑智能施工与自动化技术应用研究

安 波

广东白云学院, 广东 广州 510000

[摘要]如今建筑工业化稳步发展,行业也在大力推行绿色低碳改造,轻钢集成绿色建筑自身重量小、现场装配比例高,而且在建筑全使用周期内碳排放更低,成为建筑行业重点发展的方向。依靠传统方式施工,很难满足轻钢集成建筑在施工精度、多方单位协同作业、绿色施工管理等方面的要求。文章以轻钢集成绿色建筑智能施工和自动化相关技术作为研究对象,整理归纳 BIM 与数字孪生、自动化柔性生产、智能装配机器人、物联网实时监测等一系列核心技术体系,探讨机器人精准拼装作业、机器视觉质检、智能化碳排放管理等落地应用方式,推动建筑行业朝着高质量、绿色、智能的方向持续升级,以供参考。

[关键词]轻钢结构;集成建筑;绿色建筑;智能施工;自动化技术

DOI: 10.33142/ect.v4i7.20129

中图分类号: TU745

文献标识码: A

Research on Intelligent Construction and Automation Technology Application of Light Steel Integrated Green Building

AN Bo

Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract: With the steady development of construction industrialization, the industry is vigorously promoting green and low-carbon transformation. Light steel integrated green buildings have a small weight, high on-site assembly ratio, and lower carbon emissions throughout the entire life cycle of the building, becoming a key direction for the development of the construction industry. Relying on traditional construction methods is difficult to meet the requirements of lightweight steel integrated buildings in terms of construction accuracy, collaborative work among multiple units, and green construction management. The article takes light steel integrated green building intelligent construction and automation related technologies as the research object, summarizes a series of core technology systems such as BIM and digital twin, automated flexible production, intelligent assembly robots, and real-time monitoring of the Internet of Things, and explores the practical application of robot precision assembly, machine vision quality inspection, intelligent carbon emission management, etc., to promote the continuous upgrading of the construction industry towards high-quality, green, and intelligent direction for reference.

Keywords: light steel structure; integrated architecture; green building; intelligent construction; automation technology

引言

在全球气候变暖、自然资源日益紧张的大环境下,建筑行业正朝着绿色低碳、工业化标准化转型^[1]。轻钢集成绿色建筑主要以冷弯薄壁型钢、轻型焊接 H 型钢作为主体承重结构,搭配高性能保温围护结构和一体化集成管线,不仅房屋抗震性能优异、施工周期短、建筑材料可回收再利用,整体优势明显,还能实现建筑全生命周期低碳排放,完美契合绿色建筑的发展要求^[2]。不过这种建筑模式也存在明显短板,零部件构件数量多、节点连接构造复杂,现场装配的精准度要求极高。如果沿用传统粗放的施工方式,很容易出现层层叠加的施工误差,根本做不到精细化施工

和绿色化管控,严重制约了轻钢建筑的推广落地。智能化、自动化的施工模式,既能大幅提升工厂构件生产、施工现场装配的精准度,还能依托实时数据,实现建筑能耗智能调控和碳排放动态监测^[3]。

1 轻钢集成绿色建筑的核心特征与技术诉求

轻钢集成绿色建筑不只是单纯把传统建材换成新材料,而是结构、围护墙体、设备管线、室内装修各大系统整合在一起的一体化体系,这套建筑独有的特点,也对现场施工工艺提出了不一样的硬性要求。建筑采用一体化统筹设计,施工现场各类工序相互穿插、同步推进,要是继续使用传统二维图纸、靠人工安排调度,很容易出现管线、

构件位置打架的情况,造成返工。所以需要搭建三维数字化模型,提前模拟全流程施工工序,实现多方动态协同作业。同时,这套体系包含数量众多的冷弯薄壁型钢构件和配套连接件,虽然大部分构件都在工厂提前加工完成,但现场组装过程里误差会不断叠加,只要出现毫米级的偏差,后续模块就很难顺利安装,施工中要借助精准测量定位手段和自动化纠偏技术把控精度。这类建筑建设阶段要严格管控扬尘、噪声、施工垃圾以及能源消耗,依靠传统人工施工不仅资源利用效率偏低,碳排放也难以统计追踪,因此,要搭配自动化施工设备、物联网实时监测手段,达到绿色建筑对应的评价规范^[4]。

2 智能施工与自动化技术在轻钢集成建筑中的技术体系

2.1 BIM 与数字孪生驱动的数字化协同设计与施工推演技术

BIM 与数字孪生技术是轻钢集成建筑智能施工最核心的数据底座,彻底改变过去依靠二维图纸施工的老旧方式,真正做到建筑从设计到建成使用全过程数字化、看得见、多方协同统一管理。设计环节,轻钢集成建筑搭建精度达到 LOD400 的参数化 BIM 模型,把构件大小、材料种类、受力指标、连接节点等详细信息全部录入模型,自动对各类构件拆分细化设计。系统能够批量完成构件统计、校验和配对,既能降低设计出错概率,也能省下人工开支。施工准备阶段,借助数字孪生搭建和实景虚拟施工现场,汇集场地条件、机械设备、建材、施工人员所有信息,提前模拟施工顺序、构件吊装路线、各道工序交叉作业情况,优化施工方案,尽早发现施工风险和构件碰撞冲突,避免后期返工拖慢进度。除此之外,这套技术打通不同参与方之间的信息隔阂,方便多家单位协同开展工作,还能直接生成设备控制程序、材料清单等资料,对接工厂自动化加工以及现场智能化拼装,实实在在缩短施工周期、节约造价,进一步提高整体施工品质。

2.2 自动化构件加工与柔性制造技术

工厂推行标准化、自动化生产线,是保证轻钢构件加工精度、提高现场装配施工效率的关键,自动化柔性制造系统(FMS)适合轻钢构件种类多、单次生产量不大、加工要求高的生产模式,是这项生产模式的核心技术。过去依靠工人单机分开加工的老旧模式,人工操作变数很大,构件精度忽高忽低,生产速度提不上来,不同批次之间误差悬殊,而且质量检测往往滞后,等到发现问题已经加工完成,很难满足大规模智能化施工的发展要求。这套柔性

制造系统整合数控加工、机器人作业、机器视觉检测以及信息化管控手段,整条生产线从加工到检验都能智能精准运转。系统依托 MES 系统作为数据核心,直接对接 BIM 设计模型,自动读取构件参数和加工工艺,自主调控各类生产设备,不用人工反复调试,多种规格构件可以在同一条产线上混合生产,有效提升产能和生产灵活度。生产全过程的数据实时同步存档,自动生成生产记录,每一道工序都有据可查。另外,产线上搭配激光扫描、高清摄像设备开展实时视觉检测,自动对照标准参数,快速找出尺寸偏差、焊接瑕疵以及表面破损问题,实现生产、检测、分类分拣全程无人化作业,确保出厂构件全部达标,从根源上改善传统生产精度失控、质量不稳定的难题,给施工现场快速装配提供规格统一、质量可靠的构件保障。

2.3 智能物流与现场自动化装配技术

现场装配是轻钢集成建筑把控施工精度、提高施工效率最关键的一环。传统施工经常出现建材堆放杂乱、来回转运物料、拼装尺寸偏差大、工人劳动负担重等难题,为此行业借助智能物流、自动化装配技术,推动施工现场向智能化转型。在物料配送上,项目搭建 RFID 标签搭配 AGV 小车的智能物流系统。预制构件在工厂出厂时就贴上专属电子标签,把构件型号、需要安装的位置、施工先后顺序等全部信息录入系统。构件运到工地后,智能仓储系统自动分类摆放,库存情况实时同步更新。系统结合数字孪生模型里的施工进度,自动生成配送计划,调度 AGV 小车按需精准运送构件,避免物料混放、大量堆积以及反复转运,切实提高物料管理水平。到现场装配阶段,配套搭建智能吊装和机器人辅助施工体系。智能起重设备依靠高精度定位和雷达感应,能把大型模块吊装到位,误差控制在毫米级别;协作机器人能够自主找准螺孔,按照标准扭矩拧紧螺栓,实现节点紧固件自动化安装,减轻工人作业压力,减少人工操作带来的尺寸偏差、漏装错装等情况,从整体上提高拼装精度与工程质量。

2.4 物联网感知驱动的施工智能管控技术

绿色施工想要真正做到精细化管理落地,核心就是对施工现场所有要素、每一道工序做到实时掌握、智能化管控。项目借助物联网、各类传感设备、大数据以及云平台技术搭建轻钢施工现场智能感知管控系统,全方位监测现场施工机械、作业环境、能源消耗、工程进度以及人员安全,实现统一监测和智能调配。项目在施工器械、轻钢预制构件、施工区域和临时用电装置上安装扬尘噪声、温湿度、能耗、人员定位等各类传感器,织起一张全覆盖的数

据感知网络,不间断收集扬尘浓度、噪音数值、现场环境条件、机械运行状态、能源消耗、人员行动路线等多类信息,所有数据实时同步上传至云端管控平台。平台依托大数据分析 and 人工智能算法汇总各类信息、自动分析判断现场情况。在施工进度管理上,系统自动对照预设工期和实际施工情况,一旦工序出现拖期就及时发出提醒;安全管理方面,依靠定位信息和机械运行数据,及时发现工人违规操作、设备异常故障;绿色施工管控模块持续监控污染物排放和用电用油消耗,自动调整机械设备运转方案。

3 智能施工与自动化技术的深度应用路径

3.1 机器人辅助轻钢龙骨精准拼装与自适应连接应用路径

轻钢龙骨墙体、屋面、楼面拼装属于轻钢建筑施工的基础工序,现场工作量大、操作重复度高,同时安装精度要求十分严格,人工操作产生的偏差容易不断叠加积累,因此特别适配智能自动化施工模式。采用搭载多轴机械臂的复合型建筑机器人,设备底部配备可移动底盘,整合三维激光扫描、点云配准以及阻抗控制相关算法,能够完成龙骨拼装、节点紧固整套工序,实现智能化自适应施工。开工之前,机器人搭载的三维激光扫描仪会对施工现场基础导轨与下层龙骨开展全方位扫描,采集现场实际工况的点云数据;再运用 ICP 算法,把现场实测点云数据和 BIM 标准模型精准匹配对齐,计算出构件安装偏差以及场地变形带来的误差,自动生成带有误差补偿的运动路径,从源头减少误差持续累积。机械臂按照规划轨迹完成龙骨抓取、搬运与精准对位,依托末端力矩传感器实现柔性作业,避免薄壁轻钢材料受压发生形变。进行节点作业时,高清视觉识别系统定位螺孔、卡槽位置,引导自动送钉设备精准完成锁钉作业;阻抗控制模块实时监测接触作用力与扭矩大小,动态调整施工参数,缓解构件屈曲变形、螺丝滑丝等常见问题,让所有节点紧固力度保持一致,显著提高轻钢主体拼装精度与整体结构稳定性。简单来讲,这套机器人先扫描现场情况对比设计模型,自动修正安装路线,柔性抓取轻钢构件,视觉定位打孔锁钉,全程实时调控力度,解决人工施工误差叠加、轻钢容易压坏、螺丝松紧不一等痛点。

3.2 无人机与机器视觉融合的智能巡检应用路径

轻钢集成建筑施工推进速度快,现场立体交叉施工频繁,作业区域又比较分散。依靠人工开展传统巡检不仅效率不高,还很难做到全面覆盖,经常出现巡检死角,难以实现大范围、高频次的施工质量与进度管控。利用无人机结合机器视觉、深度学习技术搭建非接触式全自动工地智

能巡检系统,能够自动排查施工现场存在的施工质量、工程进度以及节能相关问题。硬件方面选用搭载可见光摄像头、红外热成像设备和高精度定位模块的工业无人机,按照提前设定好的三维飞行路线自动巡航,能够巡查建筑外立面、高空区域以及普通人很难到达的位置,同步拍摄实景画面、采集热成像信息并记录精准空间位置数据。软件端运用 CNN 深度学习模型处理海量采集数据:依靠目标检测和图像对比算法查看构件摆放、节点连接状态,对照 BIM 模型核算实际施工进度和计划的差距,及时找出构件错装、漏装、连接工艺不规范等质量隐患,标记问题位置并自动生成整改清单。除此之外,搭配红外热成像技术和传热反演算法检测建筑围护结构,找出保温层缺失、板材拼接缝隙、热桥等不容易直接看见的节能缺陷,提前预防建筑后续投入使用后能耗偏高的问题。这套巡检方式有效弥补人工巡检存在的各类不足,实现施工现场全域巡查、隐患早发现,所有巡检数据全程留存有据可查,构建起适用于轻钢建筑施工全流程的智能化质量管理体系。

3.3 基于区块链+物联网的施工能耗与碳排放智能管控路径

低碳是轻钢集成绿色建筑最突出的优势,做好施工阶段碳排放管控,更是建筑全生命周期实现碳中和的重中之重。传统施工模式一直存在不少难题:碳排放量没法精准统计、能源消耗管控粗放、减碳方案总是滞后一步。对此,可以搭建一套融合区块链和物联网技术的施工碳排放动态核算智能管控模型,实时跟踪施工能源消耗与碳排放情况,做到精准计算、动态调整优化。可以在施工现场各类耗能设备上安装智能采集装置,不间断收集用电、燃油、用水等各类能耗信息,实现能源数据细致、实时采集。参照国家相关标准建立统一的碳排放因子数据库,把采集到的能耗数据换算成碳排放量,再关联整合到 BIM 模型当中,搭建多维度数字化管控体系,碳排放来源、流向一目了然,方便追溯。这套系统能够自动持续监测碳排放水平,一旦数值超标,就自动推送对应的优化方案。比如调整施工排班错峰施工、优先使用绿色电力、优化工程机械作业路线,减少不必要的能源浪费。另外利用区块链数据难以篡改的特点,完整保存真实、可查验的碳数据,给绿色建筑评定、低碳相关认证提供可靠依据,真正把施工阶段的低碳目标落到实处。

4 结论

轻钢集成绿色建筑,是今后建筑工业化、低碳环保发展的主流方向,离不开智能施工和自动化技术作为核心支

撑。有了自动化、智能化手段深度参与施工,就能改善轻钢集成建筑常见难题:施工精度不好把控、多方配合效率不高、环保管控落实不到位等现实问题。往后需要打通机器人、土木工程多个学科开展联合研究,统一行业数据规范,推动技术落地,助力全球建筑业走上可持续、低碳发展的道路。

[参考文献]

- [1]苏江.薄壁轻钢装配式建筑数字化管理研究[J].中国建材,2024(10):143-145.
- [2]李觐,詹峤圣,杨焰文,等.轻钢体系装配式低能耗建筑设计应用发展趋势分析[J].广州建筑,2024,52(2):69-74.
- [3]谢轶莎,彭雄,李颖,等.装配式轻钢轻混房屋及智慧建造技术体系研究[J].施工技术(中英文),2022,51(22):12-16.
- [4]应宇垦,罗金辉,张其林,等.BIM 技术在轻钢龙骨结构深化设计中的应用研究[J].土木建筑工程信息技术,2020,12(2):37-43.

作者简介:安波(1979—),就职于广东白云学院,东北大学项目管理专业毕业。