

低碳轻钢集成建筑设备装配化施工关键技术研究

唐 艳

广东白云学院, 广东 广州 510450

[摘要]低碳新钢集成建筑凭借其现场污染少、施工能耗低、建筑可回收循环利用、搭建效率高等突出优势,广泛应用于各类新建工程项目中。如今传统建筑施工模式依旧存在一些不足之处,包括建筑构件标准化程度偏低、现场装配施工精度把控不到位等,对建筑的整体质量以及使用年限造成了很大的影响,同时也会影响施工进度,增加建造成本。基于此,文章首先对行业普遍存在的施工痛点问题进行了深入的分析,在此基础上全面梳理轻钢集成建筑施工的关键核心技术,并加强完善适配实际工程的施工优化体系,推动低碳新钢集成建筑标准化、规模化、绿色化发展,助力建筑行业低碳转型,以供参考。

[关键词]低碳建筑;轻钢集成建筑;装配化施工;设备集成;绿色施工;关键技术

DOI: 10.33142/aem.v8i5.19920

中图分类号: TU311.4

文献标识码: A

Research on Key Technology for Assembly Construction of Low Carbon Light Steel Integrated Building Equipment

TANG Yan

Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong, 510450, China

Abstract: Low carbon new steel integrated buildings are widely used in various new construction projects due to their outstanding advantages of low on-site pollution, low construction energy consumption, recyclability, and high construction efficiency. Nowadays, traditional construction methods still have some shortcomings, including low standardization of building components, inadequate control of on-site assembly and construction accuracy, which have a significant impact on the overall quality and service life of buildings, as well as affecting construction progress and increasing construction costs. Based on this, the article first conducts an in-depth analysis of the common construction pain points in the industry. On this basis, it comprehensively sorts out the key core technologies of light steel integrated building construction, strengthens and improves the construction optimization system that adapts to actual projects, promotes the standardization, scaling, and green development of low-carbon new steel integrated buildings, and assists the low-carbon transformation of the construction industry for reference.

Keywords: low carbon buildings; light steel integrated building; prefabricated construction; equipment integration; green construction; key technology

引言

在国家全力推进双碳发展目标的大背景下,建筑行业也应该向工业化、绿色化、低碳化方向转型。轻钢集成住宅与装配式建筑施工方式简单,还能提前在工厂完成大部分构件制作,不仅可以减少建筑材料的浪费,而且可以降低现场施工碳排放,完全贴合如今建筑工业化、绿色环保施工的主流发展方向。但是在具体的施工过程中仍存在问题,建筑内部水电暖通各类管线设备很难与轻钢主体结构相匹配,反复改动会造成原有建筑构件损坏,对建筑的整体质量造成很大影响,进一步提高施工能耗与碳排放量。基于此,文中结合施工的实践情况,全面整理归纳设

备一体化装配施工的实用核心技术,同时梳理目前落地过程中遇到的各类技术难点,搭建统一规范的施工执行标准,为整个建筑行业推行低碳节能施工提供依据。

1 低碳轻钢集成建筑设备装配化核心施工关键技术

1.1 构件与设备预制标准化技术

标准化预制施工是轻钢建筑走装配化低碳建造路子的根本前提,能有效改掉传统轻钢房子零件规格杂乱、尺寸不统一这些常见问题。现如今行业里未构建通用统一的配套使用标准,施工时很多构件对不上尺寸,通常是到工地现场临时切割改动、重新加工,无形中多了不少施工工

序,也直接提高施工过程里的碳排放量。这项施工技术最关键之处在于把建筑主体构件和水电机电配套部件都定好统一规格参数,把钢材截面大小、预留孔位、水电线路排布走向均统一规范好。前期设计直接用 BIM 智能建模制定施工方案,提前把各个部件位置精准明确,提前留好标准通用对接接口,不用后期临时改动。在工厂的生产环节,全程用自动化数控机器完成钢材切割、打孔、弯折和组件提前组装,从根源上避免运到工地再私自改尺寸、改造型,尽量减少钢材浪费,从生产源头省下用料、减少能源消耗,真正做到绿色低碳建房。

1.2 高精度装配定位施工技术

轻钢建筑装配精度对整体施工质量有着直接的影响,推行的高精度拼装定位工艺主要通过借助数字化技术进行精准测量,施工时用上全站仪、三维激光扫描仪这类专业设备定点定位,能把平面安装误差控制在 2mm 以内,高低高度误差控制在 1mm 以内,精度把控十分严格。构件与设备装配过程中采用分层、分块装配工艺,先把主体承重钢架搭建固定牢固,再依次安装外墙围护板材和各类配套设施。每完工一层,就用三维扫描设备复查核对尺寸,及时修正错位偏差。除此之外,施工中改用专用拼接固定夹具代替传统焊接作业,不仅能减少施工污染、降低碳排放量,还能进一步提高组装修精度,加快现场安装施工速度。

1.3 结构-设备一体化集成施工技术

传统轻钢建筑之所以施工耗能大、材料浪费严重,最核心的问题就是建筑主体结构和机电设备分开施工。工人在施工现场随意开槽、打孔、凿洞,不仅严重损伤建筑整体结构稳定性,还会产生超多建筑垃圾,既费工又不环保。而结构与设备一体化集成施工新工艺,主要是以工厂提前预制整合、现场同步拼装、整体一次性成型的施工思路。所有水电暖通各类管线,全都提前在工厂里和建筑结构模块组装到位,提前调试好各项功能,运到工地现场只需要简单拼接对接就能完成安装。施工前期还能用 BIM 技术提前排查管线交叉冲突问题,合理规划各类管路走向。全程按照先做好主体结构、同步跟进设备安装的施工逻辑,把建筑搭建和设备布设融为一体同步推进。这样既能大大减少工地现场零散施工步骤,节省大量建材物料,还能有效缩减施工过程中的能源消耗,降低建筑施工产生的碳排放量。

1.4 装配式节点密封与防渗施工技术

轻钢集成建筑的拼接节点一直是漏水漏气最容易出问题的区域。若是节点密封做得不到位,不仅屋子保温隔热效果变差、日常用电用气开销变大,还会让建筑钢材构

件慢慢受潮生锈损坏,进一步拉高建筑从建造到使用全程的碳排放。针对装配式建筑节点漏水漏气问题,主要靠模块化密封结构、环保低碳密封用料,再加上统一规范的施工手法。建筑拼接位置优先做成咬合企口样式,再搭配环保密封胶条和专用密封胶双重防护,值得注意的是,在施工前必须把拼接接触面清理干净,按照正规流程铺贴压紧,不留缝隙和施工漏洞。遇到水电管线穿过建筑节点的位置,统一使用专用密封套管搭配封堵材料处理,既能彻底防漏水、锁住室内外空气,还能同步做好保温隔热。通过这种操作能大幅减少后期使用过程中的能源消耗,以此确保轻钢集成建筑在长期使用中更加节能低碳,延长整体使用寿命。

1.5 绿色低碳装配施工管控技术

将低碳施工管理落实到装配式建筑施工全流程中,彻底解决老式施工普遍存在的材料消耗、能源用量超标等各类问题。具体落地技术主要分为三大板块:第一是优化施工流程,走低碳路线,减少多余无用施工步骤,进一步加大预制构件使用比例,从源头减少整体能源消耗;第二是精准把控各类施工资源,统一统筹调配建筑用料、施工用水用电,避免物资损耗、机械设备空转耗电耗油;第三是做好工地垃圾全流程规范管理,把施工产生的固体废料分门别类收集处理、二次循环利用,尽量做到工地垃圾少排放甚至零废弃。除此之外,借助数字化智能管理平台,随时查看现场用电耗能、碳排放等真实数据,依靠大数据合理安排施工人员排班、把控建材进场与使用进度,减少不必要施工行为带来的多余碳排放。全程大力推行干法施工模式,尽量减少现场湿作业施工方式,全方位提升施工现场绿色环保管控能力。

为明确各核心技术的管控重点、应用功能与降碳价值,需梳理统一技术管控标准,具体如表 1 所示。

2 当前技术应用现存瓶颈

2.1 标准化体系不完善,通用适配性不足

目前国内低碳轻钢集成建筑行业缺乏完善的设备组装机安装标准,市面上各类建筑构件尺寸规格不一致,配套施工设备的对接端口也各不相同,绝大多数企业都是按照自家需求定制化生产,没有统一规格,造成各类建筑部件和施工设备很难匹配对上,不同厂家的产品也没法互相调换使用。此外,整套从设计到施工的一体化行业规范也不够健全完善,施工时经常出现部件拼接错位、内部管线排布不通畅甚至无法正常使用等情况,只能到施工现场再临时改动返工,不仅耽误工期、增加成本,而且降低了轻钢建筑原本省时省力、低碳节能的核心优势。

表 1 各核心技术的管控重点、应用功能与降碳价值

核心关键技术	核心施工要点	质量控制标准	低碳应用效益
构件与设备预制标准化技术	采用 BIM 参数化建模，统一构件与设备接口参数，工厂数控精细化预制，优化下料方案，提前预留标准化管线孔洞与安装基座	构件尺寸偏差 $\leq \pm 1.5\text{mm}$ ，空洞位置偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ，材料利用率 $\geq 96\%$ ，预制模块接口统一适配	从源头减少材料浪费，杜绝现场二次切割、开孔作业，降低现场固废产出与施工碳排放
高精度装配定位施工技术	建立三维空间坐标系，激光精准放线，分层分块装配，全程偏差校核，采用专用夹具固定，减少现场焊接作业	平面定位偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，高程偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ，结构累计偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，设备安装水平度达标	避免误差累计导致的返工改造，降低机械能耗与材料损耗，保障结构长期稳定，减少后期运维碳耗
结构-设备一体化集成施工技术	工厂完成结构与设备管线一体化预装、调试，现场同步装配，BIM 碰撞检测优化管线排布	管线无挤压、无错位，设备接口密封完好，系统调试合格率 100%，结构完整性无损伤	大幅精简现场工序，摒弃开槽、打孔等破坏性作业，减少现场湿作业与建筑垃圾，显著缩短工期降碳
装配式节点密封与防渗施工技术	采用企口式密封构造，搭配低碳密封材料，标准化节点封堵，管线穿越位置专用套管密封处理	节点无渗漏、无空鼓，建筑气密性达标，密封层使用寿命与主体结构同步	降低建筑冷热能耗损耗，延缓构件与设备老化，延长建筑使用寿命，减少全生命周期碳排放
绿色低碳装配施工管控技术	数字化智慧管控，优化工序与资源调配，固废分类回收利用，严控现场能耗与污染，精简冗余作业	现场湿作业占比 $\leq 20\%$ ，固废回收率 $\geq 90\%$ ，施工能耗较传统工艺降低 40%以上	实现施工全过程低碳管控，优化资源配置，降低综合能耗，达成施工、运维双维度降碳

2.2 高精度施工管控能力薄弱

轻钢集成构件自重轻、柔性大，在堆放、吊装、装配过程中易产生微小形变，对施工精度管控要求极高。现阶段多数施工现场仍依赖传统人工放线、人工调校模式，数字化、智能化测量与校核设备普及率较低，无法实现全程高精度偏差监测。同时，施工人员专业化水平参差不齐，缺乏系统化的轻钢装配施工技术培训，对分层装配、偏差校核、节点处理等关键工艺把控不到位，易产生累计装配误差，引发设备运行异响、管线渗漏、结构稳定性下降等问题，增加后期运维能耗与维修成本，提升建筑全生命周期碳排放。

2.3 一体化集成技术成熟度偏低

结构与设备整合拼装是轻钢装配式建筑最核心的核心技术，不过目前这项技术还存在不少实际落地难题。一方面各类复杂水电暖通机电设施，和轻钢预制模块搭配契合度不够高，施工时常出现管线互相打架错位的情况，现场提前组装配齐的部件占比也达不到理想标准；另一方面预制模块整体防护做得不到位，在长途运输、现场吊装搬运过程中，很容易造成内部管线损坏、连接接口扭曲变形。除此之外，各类连接接口没有统一通用标准，快速拼接对接的实用技术也不够成熟，现场密封加固、固定衔接的工序又多又麻烦，整体施工速度慢、人工耗时多，达不到低碳节能、高效建房的行业发展要求。

2.4 低碳施工管控体系不健全

行业低碳管控多聚焦竣工能耗，缺全流程体系。现场碳排放监测靠人工，精准度低，难动态调控。建筑垃圾回收技术不成熟，资源循环利用率低，未充分发挥轻钢建筑可循环、低排放优势。

3 技术优化与发展对策

3.1 构建统一标准化技术体系

统一规范轻钢集成构件和各类机电设备的基础技术参数，定好构件尺寸规格、对接安装接口以及内部管线走向布置的通用标准，确保各类配件能够互相通用、自由替换使用。进一步补齐从整体方案设计、现场施工到完工验收全环节的一体化执行准则，大力普及 BIM 数字化参数建模技术，搭建现成通用构件模块资源库，让项目从头到尾各项技术参数保持一致，尽量减少现场私自改动、非标准调整的情况，既全面提升建筑建造标准化程度，又切实降低施工能耗、践行低碳建造理念。

3.2 推广数字化高精度施工技术

普及数字化施工设备，构建高精度施工体系。建立构件形变实时监测机制，动态修正装配偏差。此外，加强人员培训，规范操作流程，杜绝人为误差，保障装配精度，减少返工碳排放。

3.3 升级一体化集成施工工艺

提前用 BIM 技术做好全盘规划优化，进一步扩大工厂预制构件的使用占比，研制统一规格、方便拆分对接的构件连接结构，优化完善构件运输与吊装过程中的防护工艺，让成套集成构件能高效精准完成现场拼装，大幅缩减工地现场施工步骤，稳步提高整体一体化建造施工的实践水平与落地成效。

3.4 完善全周期低碳管控体系

搭建智慧化全周期低碳管控平台，实现施工碳排放动态监测、数据分析、智能调控。优化施工机械排班、材料进场与人员调配方案，降低设备空转、资源闲置带来的无效能耗。完善建筑垃圾闭环回收利用机制，研发轻钢构件、密

封材料、管线材料的再生利用技术,提升固废资源化利用率。

4 结论

低碳轻钢集成建筑的设备装配化施工模式,和传统建筑施工方式相比,优势十分突出,不仅能有效降低施工能耗、减少碳排放,还能大幅提升整体施工效率、缩短建设周期,是当下绿色建筑发展的优质施工形式。重点梳理拆解了这项施工工艺的关键核心技术,发现目前该技术落地仍存在不少发展瓶颈,核心问题集中在行业统一标准化体系不完善、施工全过程高精度质量管控能力薄弱等方面,同时也存在配套施工规范不统一、现场落地适配性不足等实操问题。针对以上现存痛点和行业发展难题,有针对性地提出搭建行业统一标准体系、全面普及推广数字化智能施工模式、优化现场装配施工流程等落地对策。放眼行业未来,低碳轻钢集成建筑施工,将朝着全流程标准化、施工操作智能化、建筑资源循环再利用三大核心方向升级发展,能够持续推动建筑行业绿色低碳转型升级、实现节能

减排的发展目标。

[参考文献]

- [1]吴奔生.BIM 与物联网背景下装配式住宅施工质量控制研究[J].居舍,2026(14):72-75.
- [2]李雪婧.浅谈装配式住宅建筑工程施工技术的优势[J].居舍,2026(14):59-62.
- [3]许浒,谢林伯,王博文.绿色建筑设计与施工协同的关键技术应用探析[J].建筑工人,2026,47(5):35-37.
- [4]范燕燕.装配式建筑结构节点一体化设计研究[J].居业,2026(5):104-106.
- [5]李元齐,吴雨杭.冷弯型钢轻钢集成体系建筑工业化建造技术发展现状与展望[J].四川建筑科学研究,2021,47(3):1-19.

作者简介:唐艳(1986—),女,湖南岳阳人,副教授,硕士,毕业于湖南科技大学矿产普查与勘探专业,研究方向为轻钢集成建筑设备,工程造价/现从事教师岗。