

装配式建筑低碳节能技术的思考分析

曾超山

广州汉森建筑设计有限公司

摘要：在建筑行业长期的发展过程中，人们更倾向于对经济利益的追求，导致工程项目实施过程中对周边环境造成了破坏。随着行业发展路径的转变，低碳建筑已逐渐成为国际建筑界的主流趋势，建筑工程项目追求的是工程的经济、生态平衡和绿色环保效益相统一。装配式建筑突破了传统施工技术的巨大限制，表现出环保性、经济性优势。未来的发展潜力巨大。为实现低碳建筑的目标，全面贯彻新发展理念，推动城乡建设绿色发展和高质量发展，国家提出以新型建筑工业化带动建筑业全面转型升级，大力发展装配式建筑推动产业结构调整升级。

关键词：低碳节能；装配式建筑；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.10.025

引言

装配式建筑建造过程具有“五化一体”的特点，即标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和信息化管理。与传统建筑相比，装配式建筑是一种可提升建筑品质、减少劳动力投入、加速工业化转型，实现绿色环保、低碳节能的工程建造新模式。大力发展装配式建筑是建筑行业贯彻创新发展和绿色发展理念的具体体现，是推进新型城镇化发展和供给侧结构性改革的重要举措，是推进建筑业提档升级、实现建筑产业现代化的重要抓手。

一、装配式建筑的优缺点

（一）装配式建筑的优点

1. 使用功能方面

在使用功能方面，装配式建筑的优点主要表现在以下几个方面。第一，能够减少污染。传统建筑施工会产生大量的建筑垃圾，但是装配式建筑的使用，能够大幅度地减少建筑垃圾的产生，同时也能够有效减少有害气体的排放，可以满足城市绿色发展，低碳节能的实际要求。第二，降低使用成本。装配式建筑具有冬暖夏凉的优点，能够减少空调采暖设备的能耗，从而有效节约使用成本。另外，外墙装饰施工可以在装配式构件制作的过程中完成，能够避免建筑因为长久使用而开裂、起皮、变形，从而减少建筑物维护成本。第三，性能更好。装配式建筑可以提高门窗与墙体之间的密封性，并且其使用的保温隔热材料具有一定吸声功能，能够减少声音的传递，降低噪声污染，从而为人们创造一个安静的室内环境。另外，装配式墙体使用的是不燃或者难燃材料，可以有效杜绝火灾的发生，控制火灾的蔓延，具有良好的防火阻燃的效果。此外，装配式建筑材料一般

都较轻，能有效降低建筑物的重量。

2. 成本控制方面

装配式建筑的设计与施工一般都是一体化的，这样能够在节约人力资源的同时，大幅减少建筑材料的使用。例如，施工人员不需要搭建脚手板、外架等，只需要安装安全围栏就可以满足施工要求；装配式隔墙可采用ALC板、轻钢龙骨墙，其构件尺寸、构件配筋以及荷载都会与现场匹配，减少裁切带来的施工损耗。因此，装配式建筑可以在一定程度上节约成本，避免人力资源和物资资源的浪费，从而有效降低工程造价。

3. 工程工期方面

传统的建筑施工需要的工期较长，并且还需要充分考虑天气因素。一旦遇到雨雪大风等恶劣天气，施工必须暂停，从而导致施工工期延长，增加不必要的经济损失。装配式建筑的构件可以直接在工厂生产，生产好的构件可直接在工地利用吊装拼接作业的方式进行安装施工。这种机械化的操作方式，能够大幅减少施工人员砌墙、抹灰等施工工序，有利于加快施工进度。

（二）装配式建筑的缺点

相较于传统现浇混凝土建筑，装配式建筑的优点非常明显，但也存在以下不足。第一，运输费用增加。因为装配式建筑的构件需要在工厂直接生产，然后运输到工地投入使用，如果工厂与施工现场的距离较远，那么构件的实际运输成本就会大幅增加。第二，尺寸限制。装配式建筑构件尺寸存在大小不一致的情况，构件在生产的过程中容易受到生产设备的限制。另外，工厂生产尺寸较大的构件时会存在一定的难度。第三，实际的应用领域较小。虽然在国家的大力推广下，装配式建筑已经得到了广泛应用，但是现阶段装配式建筑的整体高度会受到较大的限制。第四，抗震性能较差。因为装配式建筑的整体刚度较弱，所以其抗震能力和抗冲击能力较差。

二、我国装配式建筑推广背景介绍

（1）“碳达峰”目标与“碳中和”愿景是我国对世界的庄重承诺。2020年9月22日，习近平总书记在第75届联合国大会上向世界宣布了中国的“碳达峰”目标与“碳中和”愿景。目前，我国抓紧制定2030年前“碳达峰”行动方案，鼓励有条件的地方率先实现“碳达峰”，继续打好污染防治攻坚战，实现减污降碳协同效应。大力发展新能源，加快调整当前能源结构、优化产业结构、推动煤炭消费尽早达峰。完善能源消费双控制度，加快建设全国用能权、碳排放权交易市场。目前，我国建筑能耗的总量逐年上升，降低建筑建设能耗，发

展低碳建筑将成为大势所趋。

(2) 建筑业工人数量持续下降,工人素质稳步提高促进建筑业提档升级。我国建筑业工人数量的绝对值从2014年以来一直在下滑,从6110万人下降到了5420万人。建筑业工人占总体农民工的比例从2014年开始也一直在下滑,从占比22.30%下降到占比18.90%,建筑行业劳动力供给形势在不断恶化。总体劳动力供给增速在持续下降,呈现结构性地流出建筑行业,农民工总体人数每年增长比例不足2%,80年代之后出生的新生代农民工占总体农民工的比例在持续增长中,目前已经超过了50%。相关的调查显示,新生代农民工的就业更偏向于制造业,而不是建筑业,说明整体社会的劳动力供给对于建筑行业来说在进一步恶化,未来建筑产业面临巨大的劳动力需求压力。中国改革开放40年,最大的体现在劳动力素质方面,我国的大学教育培育了一代又一代的工程师、技术人员以及管理者,我国职业教育培养了大量的高素质劳动队伍,为我国建筑产业现代化发展提供了坚实的人力资源。

三、国内制约装配式建筑发展的因素

尽管装配式建筑具有众多上述优势,但我国装配式建筑发展起步较晚,市场环境和技术还不成熟,使得我国装配式建筑工程平均成本较高,这些因素极大地制约了我国装配式建筑的发展。我国的建筑施工仍以现场浇筑作业为主,装配式建筑整体占比仍较小,且区域发展极不均衡,这也间接导致不同地区装配式建筑与传统式建筑的成本差异。国内装配式建筑预制构件产品单一、无统一标准或标准不明确、相关规范标准不完善等,高素质、高能力专业施工人才欠缺,这也直接或间接使得预制构件摊销成本大。

(一) 产业链不协调

目前,建筑行业产业链条上的科研、投资开发、设计、生产制造、施工、吊装等环节的企业,仍然依赖传统建筑的生产方式。这就导致装配式建筑模式各环节之间缺乏有效的衔接和协调,装配式建筑模式的生产组织系统缺乏有效的集成,使得装配式建筑施工及预制配件等的成本增高。

(二) 政策执行不到位及管理制度不完善

虽然国家已经出台了鼓励建造装配式建筑的政策,但是具体实施细则仍不完善,地方政府执行政策也存在不到位的现象,缺乏对企业的管理组织机制,不能积极引导原企业转型,也无法建立企业培育机制。目前,适合装配式建筑模式推广的工程招标、施工许可、施工图审查、质量检验、竣工验收等监管机制滞后,这也在很大程度上造成装配式建筑施工过程的不确定性。

(三) 配套标准不完善及技术不成熟

目前,在我国装配式建筑施工全过程中没有配套的标准技术体系,而且装配式建筑工程产业化没有完善的施工标准和统一的质量验收标准,零部件生产标准及相关配套零部件的生产验收标准也未由官方统一。而且,

目前我国装配式建筑一体化、标准化设计的关键技术和方法落后,在施工过程中设计、加工、生产、施工、装配脱节等问题普遍存在,这些技术性问题也极大地限制了装配式建筑的发展。

四、典型的装配式建筑低碳节能技术介绍

(一) 保温装饰一体化墙体

建筑外维护结构是建筑室内热量流失最主要部位,将外墙板、保温系统、内墙板结合的预制夹心保温外墙是比较新型的保温装饰一体化技术,外墙叶起外立面装饰和保护作用,能满足各种饰面效果,保温层受前后两层墙板保护,能有效提升保温效果,延长保温层寿命,同时也能解决保温材料的防火问题,内墙叶为结构受力层,同时也能集成内墙装饰,各部分互相配合,形成有机整体,能有效降低室内热损失,减少施工、运营成本,从而达到低碳减排的效果。

(二) 光伏建筑一体化系统

光伏一体化系统是指通过装配式集成方式,将光伏产品集成到建筑外墙、幕墙、屋顶等维护结构上,让光伏产品成为建筑的有机组成部分。该系统是建筑与光伏完美的结合,既能满足建筑的美学要求,也能满足建筑的采光要求,安全性能也较一般的光伏系统优异,而且因为产品是在工厂统一生产,与建筑主体融合,所以还有安装方便、寿命长、绿色环保等优点,既节约能源,又能让能源获取更便捷,使用更清洁,让建筑从被动式节能走向主动式节能。

(三) 装配式被动遮阳系统

通过玻璃进入室内的太阳辐射占总辐射量比例较高,一般情况下,采用遮阳系统对建筑节能降碳效果非常显著,有良好遮阳的建筑能较大幅度提高保温性能,节约建筑夏季制冷能耗和冬季采暖能耗。通过开发模块化装配式建筑,集成采光遮阳、节能门窗、光伏发电、等各项被动式节能技术的幕墙、门窗遮阳系统一体化系统;该系统外片玻璃可保护遮阳帘片,利用太阳能发电,内片中空玻璃满足节能的要求,且中置百叶能有效遮挡阳光,既能解决光伏发电,又能解决遮阳和节能问题,在减碳的同时为室内提供良好舒适的环境。

五、装配式建筑降低碳节能技术路径

近年来,装配式建筑发展迅猛。2021年,全国新开工装配式建筑面积达7.4亿 m^2 ,较2020年增长18%,占新建建筑面积的24.5%。从结构形式看,2021年新开工装配式混凝土结构建筑4.9亿 m^2 ,占新开工装配式建筑的67.7%。考虑到装配式建筑的主体结构、内外围护结构及装配式装修大量采用水泥基预制部品,如果能够从预制混凝土构件和内装部品的设计、生产、施工、安装到运营维保,用建筑全生命周期视角综合进行碳排放考量,无疑将助力装配式建筑发挥出更大的碳节能能力。

(一) 设计节能

建筑设计对于建筑业碳节能没有直接的体现,但对于装配式建筑全生命周期碳排放起着至关重要的作用。

首先,设计人员应建立全生命周期减少碳排放的理念,积极采用有利于低碳发展的室内装修与主体结构一体化的装配式建筑体系。从设计阶段开始,采用标准化设计、系统集成、各专业协同,制定合理的节能目标,明确新型绿色材料应用、新工艺的推广,材料可回收利用,超低能耗技术等新技术的应用,通过建筑楼栋、单元户型、厨卫模块、部品部件、外立面等开展标准化设计,降低项目的实施难度,提高模具的使用效率和施工效率。通过对国内学者研究成果的统计分析可以得出,若在结构重复率的标准层使用装配式建造工艺,可将标准层部分物化阶段的碳排放减少30%以上。其次,以绿色节能为导向,以BIM技术应用为抓手,将BIM技术贯穿于装配式建筑全生命周期,设计阶段通过BIM平台,实现多专业协同,找出图纸中存在的缺陷,确保设计准确性和合理性;加强碰撞检查,做到查缺补漏,将因设计失误导致的返工和建筑质量问题降至最低。例如,基于BIM的装配式建筑设计软件PKPM-PC的应用,对生产进行全流程赋能,将模型数据直接导入自动化生产设备,实现设计与生产数据自动对接。信息数据无须二次录入,在系统的各个环节中流动和传递,实现设计生产一体化,免除了图纸统计清单、清单汇总、清单分配等人工操作环节,减轻工作量,避免人为输入带来的错误,同时指导施工,为建筑运行维护阶段的节约能源,降低碳排放服务。

(二) 生产节能

相比于传统建筑模式,装配式建筑工厂化生产可大幅提升构件质量和施工技术水平,省去了传统的施工过程的复杂工序,提高了建筑施工的环境友好性。工业化的生产模式可充分发挥原材料性能,使水泥、骨料等原材料实现精细化、集约化利用,减少模板、木材、砂石、水泥、钢材以及水的消耗,提升保温系统寿命,减少建筑全生命周期能源消耗。但是,国内装配式建筑预制构件生产存在效率不高、生产线布局不合理、产品生产能耗较高等问题,可通过工厂自动化、信息化、智能化流水线生产,进一步提升效率,减少人工和能源的消耗,降低过程能耗。例如,上海建工研发的可扩展组合式预制混凝土构件生产线,能有效提高预制混凝土构件生产效率,降低构件生产单位产品能耗,降低预制构件建厂初期投资,并为装配式建筑预制构件生产企业提供新的建厂方案和一种新的预制构件生产技术。经检测,可扩展组合式预制混凝土生产线预制构件生产蒸养能耗约为装配式混凝土预制构件生产企业单位产品综合能耗先进指标值的32%,其他工艺能耗约为先进指标的62.8%,数字化生产线车间仅为传统固定模台车间单位产品综合能耗的70%。

(三) 施工节能

相较传统现浇建筑建造过程,装配化施工可大幅减少木模板、施工用水,可降低施工现场噪音、粉尘污

染,减少污水、废水排放,实现能源节约,降低碳排放。在施工过程中,如果应用BIM技术、大数据、智能化、云计算、物联网等智慧建造技术,将进一步提高部品部件安装精度,避免返工而造成的资源浪费。另外,生产现场采用智能机器人,使得人工大量减少。例如,某建设集团研发的基于BIM的智慧施工管理系统,将BIM技术应用到项目建设全过程,为项目决策、设计、施工、生产提供系统界面,各参建单位可在BIM技术应用板块、协同管理平台、预制构件全过程管理平台下协同作业。该系统在装配式建筑项目全过程管理的应用,精细到预制构件的生产、加工、堆放、安装等各个工序,有效降低了预制构件15%的生产偏差,避免了5%的预制构件二次转运带来的损耗,提升了预制构件破损后二次供应效率10%;通过项目协同管理平台有机的将各参建方统一在一起,确保沟通效率,降低了30%的沟通成本,同时缩短了5%的项目工期。

(四) 运维节能

设计节能是运维节能的前提条件。只有在设计时采用了热工性能好的围护墙及门窗结构、光伏发电或太阳能热水等可再生资源设备、可回收利用建筑材料、智能化系统设备等手段才能保证后期运维阶段将信息化和智能化技术与物业精益化管理相结合,做到对建筑的全部数据进行全天不间断的监控、测量和控制,实现对设备的精细化智能化管理,实行自我调节,降低建筑能耗,实现节能降碳效果。

结束语

在建筑业绿色低碳发展进程中,最为显著的趋势就是绿色化、工业化和智能化,而在装配式建筑领域,应该从这几个方面出发,进一步深化装配式建筑系统工程的理论研究,进一步进行装配式建造方式的实践,解决装配式建筑的技术要素碎片化,整体性差,统筹协调能力不足的问题,真正实施一体化建筑,实现建筑节能,低碳的目标。

参考文献

- [1] 孙磊,刘雅雅.装配式建筑预制混凝土构件生产成本控制的研究[J].北方建筑,2019,4(2):79-81.
- [2] 李晓娟.装配式建筑施工质量风险评估研究[J].工程管理学报,2020,34(6):107-112.
- [3] 毛宁宁.装配式混凝土建筑成本分析与控制对策[D].福州:福建工程学院,2018.
- [4] 任志刚.基于贝叶斯网络的装配式建筑施工质量风险研究[D].北京:华北电力大学,2020.
- [5] 李政道,陈哲,张丽梅,等.基于模糊综合评价理论的装配式建筑施工进度风险管理[J].建筑施工,2020,42(11):2193-2196.
- [6] 陈蓉芳,姜安民,董彦辰,等.装配式建筑施工质量风险评估模型的构建与应用研究[J].铁道科学与工程学报,2021,18(10):2788-2796.