

# 装配式建筑物化阶段碳排放计量研究

彭启超<sup>1,2</sup> 盛在兴<sup>3</sup>

1 徐州工业职业技术学院 2 兰州交通大学 3 徐州华科加固工程有限公司

DOI:10.12238/btr.v5i1.3916

**[摘要]** 温室气体过多排放而造成的温室效应问题急需解决,已经引发了全球的注目。由联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的调研结果可知,建筑能耗在世界能耗总量中占比,而二氧化碳的排放量只比工业能耗少,达到了。原有高能耗建筑模式亟待改进。配备节能降排的装配式建筑在现阶段深受大众瞩目,其在建筑业中堪称是减排的着手点。钢筋混凝土的建筑规模及范围都较大,但现阶段在装配式建筑物化期排放量化方面的探索较为欠缺,碳排放计量体系缺乏科学性。在这种状况下,本文对装配式建筑在物化阶段碳排放量展开分析,使装配式建筑碳排量减少方案得到理论参考。

**[关键词]** 装配式建筑; 物化阶段; 碳排放

**中图分类号:** TD229 **文献标识码:** A

## Study on Carbon Emission Calculation of Prefabricated Buildings at Materialization Stage

Qichao Peng<sup>1,2</sup> Zaixing Sheng<sup>3</sup>

1 Xuzhou College of Industrial Technology 2 Lanzhou Jiaotong University

3 Xuzhou Huake Reinforcement Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** The problem of greenhouse effect caused by excessive greenhouse gas emissions needs to be solved urgently, which has attracted global attention. According to the research results of the Intergovernmental Panel on Climate Change (), building energy consumption accounts for a proportion of the world's total energy consumption, while carbon dioxide emissions reach 36%, only less than industrial energy consumption. The original high energy consumption building mode needs to be improved urgently. Prefabricated buildings equipped with energy-saving and emission reduction are attracting public attention at this stage, which can be regarded as the starting point of emission reduction in the construction industry. The scale and scope of reinforced concrete buildings are large, but at this stage, there is a lack of exploration in the emission quantification of prefabricated buildings at materialization stage, and the carbon emission measurement system is lack of scientificity. In this case, this paper analyzes the carbon emission of prefabricated buildings at materialization stage, so that the carbon emission reduction scheme of prefabricated buildings can be used as a theoretical reference.

**[Key words]** prefabricated building; materialization stage; carbon emissions

### 引言

2018年,在韩国仁川出台的《IPCC全球升温特别报告》中,对世界温度上升和带给气候的影响做了预估,如何有效的控制这0.5,从而减少气候变化对环境带来的不利影响:如升温导致了海平面与气温的增高、物种消失和疾病传播加速等问题。平均气温增高的主要原因在于能源消耗导致温室气体过多排放而造成的温室效应问题。

我国能源消耗前3位的行业分别是

建筑、工业及交通运输。为了与在全球各地的提议相符,同时为了满足我国碳达峰碳中和的双碳目标,部分行业开始逐步降低在设计与生产中的碳排放计量。建筑作为能耗大户,从建筑材料的生产、运输、建筑的建造、运维及拆除等全生命周期内都存在着巨大的能耗,我国建筑能源消费量占全国能源消费总量的30%。装配式建造方式是为了降低碳排放而采取的建造方式的革新,它能够有效降低建造过程中的碳排放量,因此有

必要对装配式建筑碳排放加以研究,并开展有针对性的方案以降低碳排放。

### 1 相关概念

1.1 装配式建筑。与传统的建造方式必须把钢筋、混凝土等原材料运到现场展开浇筑相比,装配式建筑是在预制厂生产出预制构件如楼板、墙板、楼梯板及预制梁等部品,借助运输设备把这些部品运到现场,利用搭积木方式现场安装而成。装配式建筑可以分为装配式混凝土结构、装配式钢结构和装配式木结

构三种。本文以装配式混凝土建筑为研究对象,通过与传统的建造方式比较,在施工质量、工期、安全、环保和节能方面更有保障,同时可以推动建筑产品工业化的发展,促使建筑业从粗放式到精细化的施工过程。

1.2物化阶段。建筑物化阶段是建筑从无到有的一个过程,即从最初的建筑材料生产,中间环节的部品部件的制作与运输,再到现场的建造施工,建立完善建筑物之后交付使用的全过程。建筑工程清单包括多个分部分项工程,对照工程量清单的定额能耗,在分部分项工程中的能耗来源主要在于建筑材料生产、机械设备以及人员的活动。

1.3碳排放。温室气体排放的俗称就是碳排放,因二氧化碳在温室气体中所占比重最大,不同的温室气体均可以转化成二氧化碳当量表示。碳排放和碳足迹的内涵类似,后者包括了产品或服务的所有寿命周期,而前者指的是一个产品的所有主体或构成部分在一个时期的碳足迹。学术界中,大多认为碳足迹就是直接或间接由某一个活动形成或在某一个产品寿命周期里累计的二氧化碳总的排放量,其仅包含二氧化碳总计量,对其他温室气体并未作考量。同时,碳足迹在此定义里是通过二氧化碳质量计量模式已被诸多碳排放文献进行应用。

## 2 装配式建筑物化阶段碳排放测算公式

通过对现浇结构建筑与装配式建筑碳排放量计算的比较,得出装配式建筑碳排放量及节能减排方面的优势。装配式建筑的物化阶段碳排放(C)是建筑材料和构件的生产阶段、材料和构件的运输阶段、施工现场的装配部分及局部的现浇部分等与相关的作业阶段所形成的温室气体的总排放量,用二氧化碳当量来体现。装配式建筑的物化阶段碳排放(C)包含了现浇工程和预制装配式工程两种物化阶段的碳排放,及(C<sub>x</sub>)与(C<sub>z</sub>)。

$$C=C_x+C_z$$

式中,C:装配式建筑物化阶段碳排放量;

C<sub>x</sub>:现浇工程物化阶段碳排放量;

C<sub>z</sub>:装配式工程物化阶段碳排放量。

2.1现浇工程碳排放测算公式。现浇工程物化阶段碳排放量主要由建材生产阶段、建材运输阶段、现场施工阶段三个部分分别计量碳排放量后汇总得出。

$$C_x=C_{x1}+C_{x2}+C_{x3}$$

式中,C<sub>x</sub>:现浇工程物化阶段碳排放总量;

C<sub>x1</sub>:现浇工程建材生产阶段碳排放量;

C<sub>x2</sub>:现浇工程建材运输阶段碳排放量;

C<sub>x3</sub>:现浇工程现场施工阶段碳排放量。

建材生产的碳排放量C<sub>x1</sub>:从建材的初始原料能源的开采、生产、运输,至建材生产阶段的碳排放,即清单工程量X相应碳排放因子。而建材生产阶段碳排放的测算包含了建筑主体及围护结构的耗材、建筑构件和部品等。建材品种繁杂,为使测算更方便,选择主材的质量、造价及能耗不少于建筑施工全阶段在这些总量的80%来展开计算,借助工程量清单与定量消耗额有效结合后获得具体消耗量,利用分类汇总定额具体的消耗量获得现浇施工建材生产过程的工程量,算出生产阶段的碳排放量。

建材运输环节的碳排放量C<sub>x2</sub>:建材运输到现场,通过水路、铁路、公路或多种方式结合的运输模式,使用运输工具时耗费大批能源形成碳排放,此部分碳排放基本来源于运输。建筑材料运输过程指建筑主材和周转料运到现场,土石方的场内运输平衡和场外运输到现场中的运输工具使用的燃料耗费形成的碳排放。现浇施工建材运输过程中的碳排放大多来源于建材的质量和运输的模式、距离及车次。

现场施工环节碳排放量C<sub>x3</sub>:现浇施工作业中机械设备耗费的柴油、汽油、电形成的碳排放,和使用水和劳动力所形成的碳排放。碳排放的计算涉及分部分项工程与措施项目工程,前者主要计算土石方、桩基础、主体结构、装饰装修四部分工程的碳排放。后者主要计算脚手架、模板和支架、垂直运输以及大型机械的进、出场与安拆等工程量。利用工程量清单,与定量消耗额有机结合

后获得施工场的人工、水、周转材料以及机械设备的耗用总量。

2.2装配式工程碳排放测算公式。装配式工程物化阶段碳排放大致可分成建材的生产和运输、部品部件的生产和运输阶段以及现场施工等五个阶段,将此五个阶段的碳排放量展开分开核算且归总后获得装配式工程物化阶段的碳排放总量。装配式混凝土结构工程中主要包括了预制柱、预制梁、预制板、预制楼梯、预制阳台等构件。

$$C_z=C_{z1}+C_{z2}+C_{z3}+C_{z4}+C_{z5}$$

式中,C<sub>z</sub>:装配式工程物化阶段碳排放总量;

C<sub>z1</sub>:装配式工程建材生产阶段碳排放量; C<sub>z2</sub>:装配式工程建材运输阶段碳排放量; C<sub>z3</sub>:装配式工程构件生产阶段碳排放量; C<sub>z4</sub>:装配式工程构件运输阶段碳排放量; C<sub>z5</sub>:装配式工程构件安装阶段碳排放量。

建材部分生产阶段碳排放量C<sub>z1</sub>:装配式工程是把预制构件的现场生产转向加工厂生产,生产建筑材料时会和现浇施工一样均将耗费大批能源与材料,形成二氧化碳。

建材运输阶段碳排放量C<sub>z2</sub>:装配式工程建筑材料运输环节指利用运输工具把建材运到预制厂,而此过程中使用运输工具将耗费大批能源形成碳排放。运输材料包括混凝土和钢筋等,运输碳排放大多来源于建材的质量和运输的模式、距离及车次。运输重量指建筑材料的需量与其重度相乘后的数值,运输方式由作业方可知,而运输距离通过百度地图测算可知。

构件生产阶段碳排放量C<sub>z3</sub>:预制构件的生产主要通过规范化流水作业,涵盖很多专业,预制构件的生产包含了构件的拆解与设计、模具的设计与生产、钢筋的加工绑扎、预埋件、混凝土的浇筑、养护和脱模等工艺。这些生产过程中的碳排放量计算包含了铝模生产、钢筋的加工绑扎以及混凝土浇筑时使用人与设备耗费形成的碳排放。应该利用技术将工程量清单导出以得到模板面积、构件体积及钢筋质量,与耗费率融合后获取人、材料及设备耗费的数据。

装配式工程构件运输阶段碳排放量 $C_{24}$ : 装配式构件运输过程主要包含预制场内及场外两种运输,前者包括预制构件生产好后,吊装运到储存地,而后者包括预制构件制作好后通过运输工具送到现场。相较于建材,预制构件的运输存在极大差异,其运输的是带有独立作用的预制构件,因其形状及体积所致,运输途中如果出现构件损坏,会增大成本并耽误工期,可见,对装配式工程而言,装配式构件的运输极为关键。构件运到作业现场的距离通常是曲线的,运输使用的是大型专业运输车辆,因交通道路管制等因素必须绕道,因此构件的具体运输线路相比直线距离更长。构件的运输主要包括立式、平层叠放及叠合等模式。其中,内、外墙等垂直构件的运输基本使用立式模式。阳台板和楼梯等横向构件的运输基本使用平层叠放模式。小型及异型等构件的运输基本使用散装模式。运输之前要针对各构件建立相应的运输办法,制定运输的模式及路线等。

装配式工程装配施工阶段碳排放量 $C_{25}$ : 装配式构件运到作业现场后,安装预制构件时和耗费人力、周转材料及机械形成的碳排放。

### 3 建筑物化阶段减碳措施

3.1设计阶段。进一步优化设计,改进施工方法。设计过程中碳排放不大几乎为零,不过会对建筑物化过程甚而建筑全寿命周期碳排放产生极大影响。加强设计师的碳排放意识,从源头上采用节能减排的建筑方案和结构方案,优化施工图纸设计,加深各相关专业的配合,完善改进施工的工序与方案,让施工图纸更具可行性,最大化实现图纸施工任务,特别要注意防止设计的改变。装配式构件的深化设计是对预制构件展开结构、钢筋、预埋件、机电管线和装饰部品等的深化。通过工程量清单及碳排放因子测算碳排放量,是为了将碳排放核算环节提到施工之前进行,在所涵盖的环节测算建筑碳排放量,并分析所有物化阶段中的碳排放量,为设计师与建造师等工程管理人员进一步优化设计,改进施工策略提供数据基础。

3.2建材生产阶段。建材生产过程的碳排放放在物化阶段碳排放中占比超过,是节能降排的关键,具有极大的可操作性。建筑材料的节能降排主要有低碳建材的应用与建材回收率的增强。

应用低碳建筑材料,加大对具有较高强度及性能的混凝土、轻集料和轻混凝土的开发。降低水泥和混凝土使用量,采用木、钢结构。增强建筑物质量、延长建筑物生命周期,降低建筑维修与重建形成的能耗。选用低碳建材生产企业能从根本上良好控制碳排放,推动企业摒弃高能耗生产模式,从建材源头实现节能降排目标。以绿色材料替代高能耗材料,调整产业结构和生产工艺,摒弃落后设备,从建材生产阶段降低碳排放。增大环保可回收建筑材料的比重,利用减少层数和变更主建材,增大木、钢结构占比。通过分离技术对建筑废物进行分类回收,并非单纯的填埋。加大对可增强混凝土回收利用技术的开发。

3.3建材及构件运输阶段。建筑材料运输过程中的碳排放和建材从加工厂运至作业现场的运输的距离、方式及工具有很大关系。较大距离的运输尽量选择水路与铁路,而距离较小的运输可选择公路。尽可能选用当地的建材企业,缩短运输距离,降低运输方式能耗产生的碳排放。减少运输载重,选择轻质建材。如:用轻混凝土代替一般的混凝土,降低运输过程的载重,便于运输及作业,降低预制构件立式与横式运输中的运输工具使用的能耗,从而降低运输过程中的碳排放。建立运输计划,改进运输,降低运输程序、选用有效运输路线,减少建筑材料运输中的能耗,全面体现运输效率。

3.4现场施工阶段。借助科学的管理与科技发展,引导环保作业,改进施工的组织规划与方案,在设计中注重对水、电、能等的节约。制定整体规划过程中,应该全面注重环保作业的整体需求。改进施工的组织规划与方案时要重视环保作业,科学设计施工平面图,防止或降低再次运输。科学设计施工的工序,降低设备低负载的运转。强化对环保作业的推

广与培训,增强施工现场管理者与职工的环保认知,降低能耗。科学设计施工工序,增强施工设备的使用率,减少机械能源耗费。摒弃落后和高消耗的机械设备,应用新的技术、设备与工艺,摒弃高能耗施工计划。强化施工质量管理,最大限度防止出现二次施工。建立建材节约方案,降低建筑废物,提高可再利用材料使用的比重,增大模板和脚手架的周转频次。构建电方案,科学配置大型的机械设备,尽量选择高效能设备。

### 4 结语

本文从理论角度分析和指出了一种装配式建筑的碳排放测算观点,能便于获取装配式建筑结构化阶段碳排放总量,可以帮助将装配式建筑结构和现浇结构从节能降排的优势进行对比。并还可以帮助对装配式建筑结构碳排放的来源进行分析,明确碳排放的主要来源同时给出相应的降碳方案。基于有关建筑产品碳排放强度值探索的进一步深化,装配式建筑结构碳排放测算结果将随之日渐精准,并成为政府相关机构用来对施工企业环保作业质量的考评标准。

### 【参考文献】

- [1]李静,刘胜男.装配式混凝土建筑物化阶段碳足迹评价研究[J].建筑经济,2021,42(01):101-105.
- [2]高鑫,朱建君,陈敏,等.装配式混凝土建筑物化阶段碳足迹测算模型研究[J].建筑节能,2019,47(2):5.
- [3]纪颖波,张祺,朱发东.基于Process-Based LCA方法的我国装配式住宅物化阶段碳排放计算模型研究[J].工程管理学报,2017,31(04):23-28.
- [4]徐鹏鹏,申一村,傅晏,等.基于定额的装配式建筑预制构件碳排放计量及分析[J].工程管理学报,2020,34(3):6.

### 作者简介:

彭启超(1976--),男,汉族,江苏丰县人,研究生,徐州工业职业技术学院,高级工程师,研究方向:建筑结构设计、装配式结构设计及装配式碳排放研究。

盛在兴(1969--),男,汉族,江苏徐州人,本科,徐州华科加固工程有限公司,高级工程师,研究方向:建筑结构设计。