

Research on Carbon Emission Accounting Model and Emission Reduction Path for Construction Projects

Huiyu Chen Tana Yu

Shandong Provincial Transportation Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

Abstract

Construction engineering is a key industry for carbon emissions, and establishing a reasonable accounting model and exploring feasible emission reduction paths have important practical significance. In the context of addressing global climate change, the construction industry, as a major energy consumer and emitter, has a direct impact on China's ability to achieve its "dual carbon" goals through carbon reduction. With different carbon emission statistics and overly scattered carbon reduction measures, it is not conducive to the industry's refined control. Therefore, this article aims to clarify the characteristics and main nodes of emissions by constructing a unified model. On this basis, various technologies and policies will be integrated to formulate an integrated carbon reduction strategy, build a comprehensive carbon reduction mechanism for the entire industry chain, and promote the sustainable development of green and low-carbon industries.

Keywords

Construction engineering; Carbon emission accounting; Emission reduction pathway; Life cycle assessment; Carbon emission reduction policy

建筑工程碳排放核算模型及减排路径研究

陈荟宇 于塔娜

山东省交通规划设计院集团有限公司, 中国·山东 济南 250000

摘要

建筑工程建设是碳排放的重点行业, 建立合理核算模型以及探寻可行减排路径有着重要的现实意义。在应对全球气候变化的大环境下, 建筑行业作为能耗大户和排放大户, 它的降碳问题直接影响着我国能否顺利达成“双碳”目标, 在目前碳排放统计口径各不相同以及降碳措施过于分散的情况下不利于行业的精细化管理, 因此本文以期能够通过构建一个统一的模型来明确排放的特征以及主要节点。在此基础上集成各种技术和政策等手段, 制定一体化的减碳策略, 构建一套系统的全产业链条的综合减碳机制, 促进整个行业的绿色低碳化持续发展。

关键词

建筑工程; 碳排放核算; 减排路径; 生命周期评价; 碳减排政策

1 引言

本文在生命周期理念基础上, 设计了一个包括建筑材料生产、建造及使用到最终拆除等阶段完整的碳排放核算模型, 经算例分析证明该模型适用性良好, 进一步从技术革新、管理优化与政策市场协同三个维度, 提出了系统性的碳减排路径体系, 期望对促进中国建筑业绿色低碳发展有所助益。

2 我国建筑工程碳排放总体特征

我国建筑行业碳排放体量上十分庞大, 时期集中, 地区间以及建筑间的差距显著, 在碳排放强度上虽然有所下降但是总量仍然不断增加, 处于由增转减的重要转折点上。

建筑行业是我国的能耗以及碳排放的主要部门, 行业的碳排放量始终居高不下, 在全国碳排放总量中占比已经超过一半, 远远高于世界平均水平, 从建筑自身的全生命周期来看, 碳排放并不是均匀的分布在各个环节之中, 而是主要集中在材料生产和建筑运营两个阶段。其中, 以水泥、钢铁为代表的大量传统材料的制作占三到四成, 一栋建筑几十年的使用寿命中因为供暖制冷照明等一直存在的能耗导致的建筑运行碳排放就占据了一半还多, 并逐年增加。除此之外, 在施工建造以及拆除过程中的碳排放尽管所占比例很低但是由于其集中程度很高, 管理又相对混乱, 减排的空间很大。在区域分配方面, 因为经济状况的不同、气候条件各异以及建设的力度不一, 东部和中部的发达地区的碳排放密度总是要大于西部的^[1]。

【作者简介】陈荟宇(1988—), 女, 中国山东济南人, 硕士, 高级工程师, 从事建筑工程研究。

3 建筑工程碳排放核算模型构建

3.1 确立系统边界与构建分阶段计算子模型

建立建筑工程碳排放计量模型的关键前提和基础工作是要明确界定碳排放计量的系统界限，在此基础上形成一个可以实施的分阶段计算子模型。系统边界的确认解决了“算什么”的问题，即明确了以摇篮至坟墓的整个过程中的何种行为属于计量对象。目前国际上常用的方法是在生命周期评估理论的基础上把建筑工程全寿命周期分为5个大的阶段：原材料采集和运输阶段、施工建造阶段、建筑使用及维护阶段、最后的建筑废弃及垃圾回收阶段。明确此界限很重要，它有助于防止重复或者缺失从而保证最终的核算结果是完整且有可比性的。

每一个子模型的设计都是基于某阶段的碳排放特点而设计的。对建筑材料及运输阶段而言，模型主要是建立一个较为完备的“物料—行为—碳排放系数”数据库。核算是要统计工程项目的不同主要物料（水泥、钢、玻璃、铝等）的使用量，乘以其各自从原材料采集至厂门口的生产过程中的碳排放系数，再加上该材料的原产地至工地的运输里程及运输方式碳排放。该阶段的重点就是要得到精确、具有代表性并更新及时的本地碳排放系数数据库。对于施工建设阶段而言，则是要注重于施工现场的机械、临建以及建造本身^[2]。

3.2 模型集成、参数化与动态化设计

分阶段核算子模型建立起来之后，要形成真正可用的、灵活的合理核算模型就关键是如何对这些模型进行有效的模块整合，以及加入相关的参数化和动态的设计来满足建筑工程项目自身的复杂性和多样性。简单地将子模型相加并不意味着就是好的总体模型了，需要有相应的整合过程，保证数据信息能够顺利流转到一个环节当中去，并且尽量减少由于节点边界可能会造成的重复计算或者遗漏的情况。比如建筑材料的生产和施工环节中，材料生产的排放（钢铁中的隐形碳排放）应该是算作下一阶段施工阶段的输入之一，而施工时安装设备的效能则直接影响运营期间的耗能基准。一个整合的模型就是要有这样的内部联系，使得整个生命周期的核算成为一个连续的整体，而不是相互独立的部分相加。

更为重要的是，为了提高模型的适用性及通用性，需要做大量的参数化设计。建筑工程种类多样，从住宅、写字楼到体育场馆、医院，功能不同、结构各异、能耗形式也有很大差别；另外，项目所处地区不同，所处地区的气候带、电网结构、交通运输情况也大相径庭。一个统一化的固定模型是没有意义的。所以好的核算法则会有大量的关键因素作为变量进行设置。这些变量主要包括以下几方面：建筑物类别及大小参数（比如体型系数、层高等）、围护结构保温性能参数（比如外墙导热系数、窗地比等）、各主要设备系统的能效参数（比如空调 COP 值，照明功率密度等）、区域性参数（比如当地的发电结构碳排放因子、主要建筑材料运输距离等）、时间段参数（比如建设周期、建筑使用寿命等）。

通过这套参数体系，可以把用户将一个通用模型“实例化”为特定项目下的工程计算模型，让计算的结果体现项目的个性化特点。

3.3 模型验证、不确定性分析及数据基础构建

一个建立起来的建筑工程碳排放计算模型，它的可靠性和准确性并不是与生俱来的，它必须经过严谨地模型验证、诚实地不确定分析以及基于扎实的数据支撑才可以在实际运用过程中起到决策参考的作用。模型的验证是考查模型是否有效的必不可少的过程步骤，一般采用“倒放案例”“交叉核验”的方式来进行。研究者会选择一或若干个已竣工的，并具有某些阶段的较为明确的碳排放指标（如：有完整运行能耗记录或部分建材采购明细的审计报告等）的实际建筑工程项目作为案例。将工程设计参数、建材消耗量、运行状况等信息输入待验证模型，得出预测碳排放数值后与实际能获取到的数据或者是经过其他官方认可的方式计算出来的结果加以对比。若误差处于合理的可允许范围内（必须考虑到数据本身就不全的因素），模型的有效性就得到了初步验证。这一过程可能要循环往复多次，借助实例检验来修正模型内一些运算规则或预设常数，以不断优化模型准确度。

但是我们也必须清醒地认识到，任何模型都是对客观世界的简化，而建筑工程碳排放计算链条长、数据量大、假设繁杂，其计算结果不可避免地具有不确定性。所以一个严谨的建模流程应该有全面的不确定性分析。其中包括寻找不确定的主要因素，诸如：主要输入变量的不确定性（比如某种材料的碳排放因子是一个区间而不是确定的一个数值）、模型假定的理想化（比如假定所有施工机械都满负荷工作会夸大碳排放）、未来预测条件的变化（比如实际的建筑使用强度与预计的设计不同）。开展敏感度分析是量化不确定的重要方法，即分别或者同时变动主要输入参数（如水泥碳排放因子、建筑使用寿命、空调能效），并观察模型最后得出的结果有何变化，以此来找出对计算结果影响最大的“敏感参数”。

4 建筑工程碳减排路径

4.1 技术减排路径

建造工程碳减排技术路线，主要是依托技术创新与工艺提升，在建造活动源头以及过程中直接减少各环节的碳排放量。该路线覆盖建筑物全寿命周期，以材料创新开头，以运营管理结尾。在物料制造方面，积极发展并推广应用低碳建材是最为关键的一环，即应用高强度混凝土从而节约水泥用量、推广以高炉矿渣或粉煤灰为基础的绿色水泥、使用再生骨料或回收钢材大大减少原材料生产的“隐藏碳”，而合理利用包括木材、竹子在内的可再生生物质资源，由于其生长过程中的碳固定作用，在建筑材料中具有“负碳”的效益。

在规划与建设阶段，创新的重点集中在节能、节材上。以气候适应性的被动式建筑设计为首推手段，在不借助或少

量借助机电设备的前提下达成室内的适宜稳定。其主要做法是通过合理的朝向选择、有效的自然通风设计、高效的保温隔热外围护结构、良好的自然采光以及有效的外部遮阳等措施让建筑本身尽可能满足对室内环境要求,从而极大地减少了日后运行中所要消耗的能量。装配式建筑与模块化建造技术是建设过程中的一大革新,在这个过程中把过去大量的湿作业,高耗能的现场作业变成了环境可控的预制厂中的干作业,这不但大大提高了施工精度与品质,更能通过对构件的标准化制作来节约建筑材料、节省工期,减少现场施工机械使用带来的能耗和扬尘污染,从源头减少碳排放^[1]。

4.2 管理减排路径

管理减排路径旨在从优化流程、创新模式、加强机制方面入手,打造一套全流程、一体化的碳排放管理体系,以激发系统节能降碳的效能潜力。管理减排路径的关键是促成管理转型、重塑流程,把碳排放管理由末端治理、分散控制转变为项目前期的设计、招采阶段,到中端的工程建设再到后端的运维乃至拆除报废等环节的全流程、穿透式管理,在项目的立项、规划、设计阶段就确立碳排放绝对量和相对量的目标并作为硬性指标纳入方案的选择及优化过程中,做到前端控制。

促进绿色供应链管理是管理降碳的有效途径。这也就意味着建设单位及总包单位必须把碳排放当作一项重要考核指标,加入选材商、设备供应商甚至分包商的选择、考核、奖励政策当中去,建立低碳采购名录表、请求相关企业提供产品的碳足迹声明、优先考虑选择采取绿色生产的合作伙伴,从供应链源头引导整条供应链向绿色化发展。数字化、信息化技术的深度融合赋予了精准化管理全新的可能,而BIM技术就扮演着大脑的角色。依托于BIM平台能够整合出设计图纸中的建材信息、施工方案的进度及物资信息、运维过程中的耗能设备的信息,在数字世界里对建筑物从建造到报废全过程的碳排放进行仿真、预估、实时调整。这个“孪生兄弟”可以在建造之前提醒我们何处存在较高的碳排放量,从而优化我们的施工组织来节省不必要的投入,在运维期间,配合物联网的数据实现实时监测下的能源系统智能化、精益化调节,防止“跑冒滴漏”的隐形损失。

4.3 政策与市场减排路径

科技及管理减排潜力能否最大化地发挥,归根结底取决于一套以有效制度与成熟市场相辅相成的激励与制约兼

备的良好外部体系。政策及市场路径侧重于通过制度安排、经济手段以及法治市场来系统地推动和倒逼整个建筑行业的低碳化转型。对于政策管制而言,重中之重就是要建立健全并不断完善针对建筑的强制节能及碳排放的标准体系。具体而言就是要不断提高新建建筑节能设计标准(比如近零能耗建筑设计标准),并逐步使标准的刚性要求从仅针对“运行能耗”转变为覆盖建筑材料制造、建筑施工建造等全流程的“全生命周期碳排放”的强制要求,对建筑的“生老病死”进行全方位的强制性约束。

同时,应该积极推广绿色建筑评价标识、低碳建筑认证等一系列自愿性或者导向性的标准,在这些认证标识良好口碑及市场价格上的增值的作用下,刺激着开发企业主动实现比法定底线更好的环保表现水平。经济激励与约束机制的应用是最直接的激励政策。政府可以采取财政奖励、税收减免(例如对于采购绿色材料、高效设备可提供增值税抵扣)、绿色贷款利息补贴等措施直接减少发展低碳建筑技术的额外费用,扩大市场需求。另一方面,尝试把建筑行业逐步纳入碳排放权交易所,或对建筑能耗(主要是化石燃料消耗)征收一定的碳税额,都可以把温室气体排放的外部成本转嫁于其内部,使得排放较多的建筑以及运行方法承担起更多的经济惩罚,为低碳的选择赢得竞争空间。

5 结语

核算模型与减排路径研究证明建筑物碳减排是一个覆盖从设计到施工再到运维全生命周期的过程,推进这一工作的开展,不仅需要低碳材料以及智能技术不断突破革新,而且离不开数据驱动下的精细化管控,同时还需要各类标准以及金融市场等制度体系来保驾护航,未来随着数字化以及绿色金融的结合发展,在对建筑物进行精确化计算和有效减少之间形成良好循环的过程中,建筑业也可以在应对气候变暖问题上做出真正的改变。

参考文献

- [1] 谷欣博,潘卫东,阿斯哈尔·尼亚孜别克,等.井工煤矿煤炭生产碳排放核算及减排路径研究[J].煤炭科学技术, 2025, 53(S1):497.
- [2] 陈梦圆,张凯,黄瑞舒,等.西北地区典型井工煤矿碳排放核算与减排路径研究[J].中国煤炭, 2025(4).
- [3] 朱正.绿色建筑全生命周期碳排放核算与控制路径研究[J]. 2025.