

基于环境-经济表现计量的PC建筑建造方案决策研究^{*}

蔡彬清, 陈镇彬, 陈石玮

(福建理工大学管理学院, 福建福州350118)

摘要: 装配式混凝土(PC)建筑的发展势在必行。然而, 现有研究较少将PC建筑的环境-经济表现进行综合评价, 不利于提高PC建筑在市场中的接受程度。本文结合价值工程(VE)、生命周期环境评价(LCA)和生命周期成本评价(LCCA), 构建计量-对比-评价-决策(ACED)方法, 计量PC建筑的环境-经济综合表现, 旨在提高建造决策者对于PC建筑的环境效益和增量成本的综合认知, 辅助建造决策者进行PC建筑建造方案决策, 从而推动PC建筑的发展。

关键词: PC建筑; LCA; LCCA; 价值工程; 环境-经济综合表现

中图分类号: F426; TU71 文献标识码: A 文章编号: 1002-851X(2023)12-0047-07

DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.202312047

[引用本文] 蔡彬清, 陈镇彬, 陈石玮. 基于环境-经济表现计量的PC建筑建造方案决策研究[J]. 建筑经济, 2023, 44(12): 47-53.

1 引言

装配式混凝土(Precast concrete, 简称PC)建筑是将粗细骨料、水泥、添加剂等原材料运输到装配式构件工厂, 加工形成建筑构件, 并将构件运输到施工现场再组装而成的建筑。与传统现浇混凝土建造方式相比, PC建造过程更加可控, 材料浪费少, 能源消耗低, 为实现我国“双碳”目标和建筑业绿色转型提供了可行的建造方式。为此, 我国政府大力推广PC建筑。然而, 由于标准未统一、未实现大规模生产等原因, 目前PC建筑建造成本较高, 这使得建造决策者不愿意建造PC建筑, 阻碍了PC建筑的进一步推广发展。

不少研究对PC建筑在建造过程的环境表现进行了计量。Malindu Sandanayake等以全球变暖潜值、富营养化潜值等作为环境影响评价指标, 分别计量了PC和现浇混凝土对环境的影响。Cao等结合生命周期评价

模型, 使用三个损害类别来评估两种建筑技术的环境绩效, 结果显示相比传统的现浇施工技术, PC施工能减少对环境的破坏。这些研究构建了较为完善的PC建筑在建造过程的环境表现计量方法, 明确了PC建筑相比于现浇建筑在建造过程环境表现上的优势。但是, 这些研究仅分析了PC建筑的环境表现, 未将PC建筑的环境与经济表现进行综合计量与评价, 不能让建造决策者直观了解PC建筑环境效益与经济劣势的量化对比结果, 难以为建造决策者是否采用PC建造方式提供有效的决策支持, 不利于提高PC建筑在市场上的接受程度。

为解决这一问题, 本文将价值工程(Value Engineering, 简称VE)、生命周期环境评价(Life Cycle Assessment, 简称LCA)和生命周期成本评价(Life Cycle Cost Assessment, 简称LCCA)进行耦合, 构建计量(Assessment)-对比(Comparison)-评价(Evaluation)-决策(Decision support)方法(简称ACED方法), 对PC建筑的环境-经济表现进行综合计量, 并与假定采用现浇建造方式的表现进行对比, 为决策者是否采用PC建造方式提供决策辅助。本文还将该方法应用于实际工程案例, 验证了方法的有效性。

*基金项目: 福建省自然科学基金项目(2022J05191); 福建省数字城乡融合发展科技经济融合服务平台项目; 福建省住建厅科技计划项目(2022-K-295); 福建省财政厅科研项目(GY-S22001)

作者简介: 蔡彬清, 教授, 博士, 主要研究方向: 工程经济与项目管理。

2 ACED方法

2.1 方法框架

本文构建的ACED方法的框架如图1所示,包含四个模块:计量、对比、评价、决策。以下阐述这四个模块的具体流程。该方法通过收集两种不同建造方案的项目基本信息、方案的环境和成本数据对方案的评价指标(方案碳总排放量E、O和总建造成本P、I)进行计量;采用相对指标将得到的计量结果进行对比衡量得到PC建造方式相较于现浇建造方式的碳减排效益T与建造成本增量Q;再利用价值工程理论计算方案环境-经济综合表现的评价结果V;最后根据价值系数V的比较结果讨论出满意的建造方式,讨论出的方案结果能够为建造决策者进行PC建筑建造方案决策提供参考。

2.2 计量模块

2.2.1 计量指标与计量方法选择

为对比建筑在PC建造方式和现浇建造方式下的环境-经济综合表现,本文选择建造过程中产生的碳排放量和建造成本作为计量指标。其中,碳排放是实现我国建筑业绿色转型和国家“双碳”政策的重要控制指标,建造成本则是建造决策者最关注的经济指标之一。本文采用LCA方法对建造过程的碳排放量进行计量。LCA起源于制造业,用于对生产产品从原材料生产到最终废弃处理的全过程进行跟踪与定量分析。现已纳入ISO14000环境管理系列标准,成为国际上环境管理的重要工具,并被广泛运用。本文采用LCCA方法对建造成本进行计量。ISO15686将LCCA定义为计算产品从研

发设计阶段、制造阶段、运营使用与维护阶段到最终处理的全过程所耗费成本的工具。LCCA与LCA同样起源于全生命周期管理理论,采用LCCA配合LCA进行计量有助于增强两种计量指标的可比性。

2.2.2 计量边界与清单分析

为进行碳排放和成本计量,需要先明确计量边界和计量因素,并进行清单分析。为增强对于两种建造方式计量的可比性,本文对于两种建造方式的计量采用同样的计量边界,都为从摇篮到施工(*from cradle to construction*),并在此边界内,整理出PC建造方式和现浇建造方式各阶段的碳排放和建造成本计量因素清单,如图2所示。通过查阅相关数据库(包括环境影响因子数据库和地方工程计价数据库)、地方政策文件和标准规范,获得清单中各计量因素的碳排放因子和价格,用于进一步计算。

2.2.3 计量公式

根据界定的计量边界和计量因素清单分别构建两种建造方式碳排放量和建造成本计量公式:

(1) 原材料开采加工阶段(A1)

PC碳排放量和成本为:

$$E_1 = \sum_{i=1}^n M_i \cdot q_e \quad (1)$$

$$P_1 = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_{mi} \quad (2)$$

式中, E_1 表示 A1 阶段所产生的总碳排放量 ($\text{kg} \cdot \text{CO}_2\text{-eq}$), M_i 表示开采加工第*i*种原材料过程中机械耗电量 (kWh), q_e 表示耗电的碳排放因子 ($\text{kg} \cdot \text{CO}_2\text{-eq}/\text{kWh}$) ; P_1 表示 A1 阶段总成本 (元), m_i 表示第*i*种建筑原材料的工作量 (工日/台班); r_{mi} 表示人工、机械费用单价 (元/工日, 元/台班)。

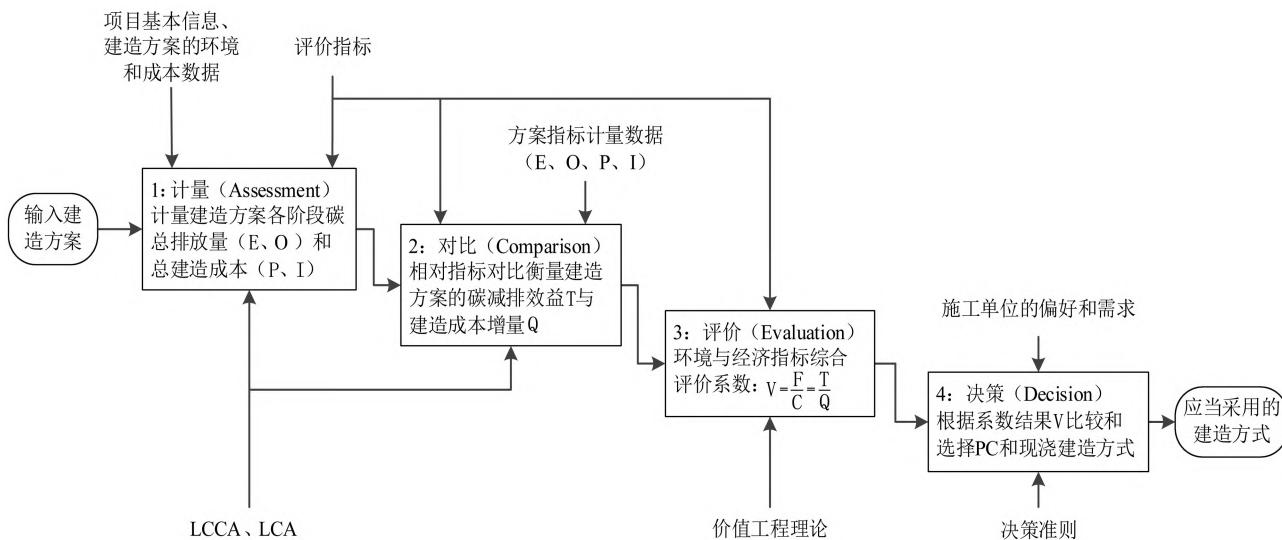


图1 ACED方法框架

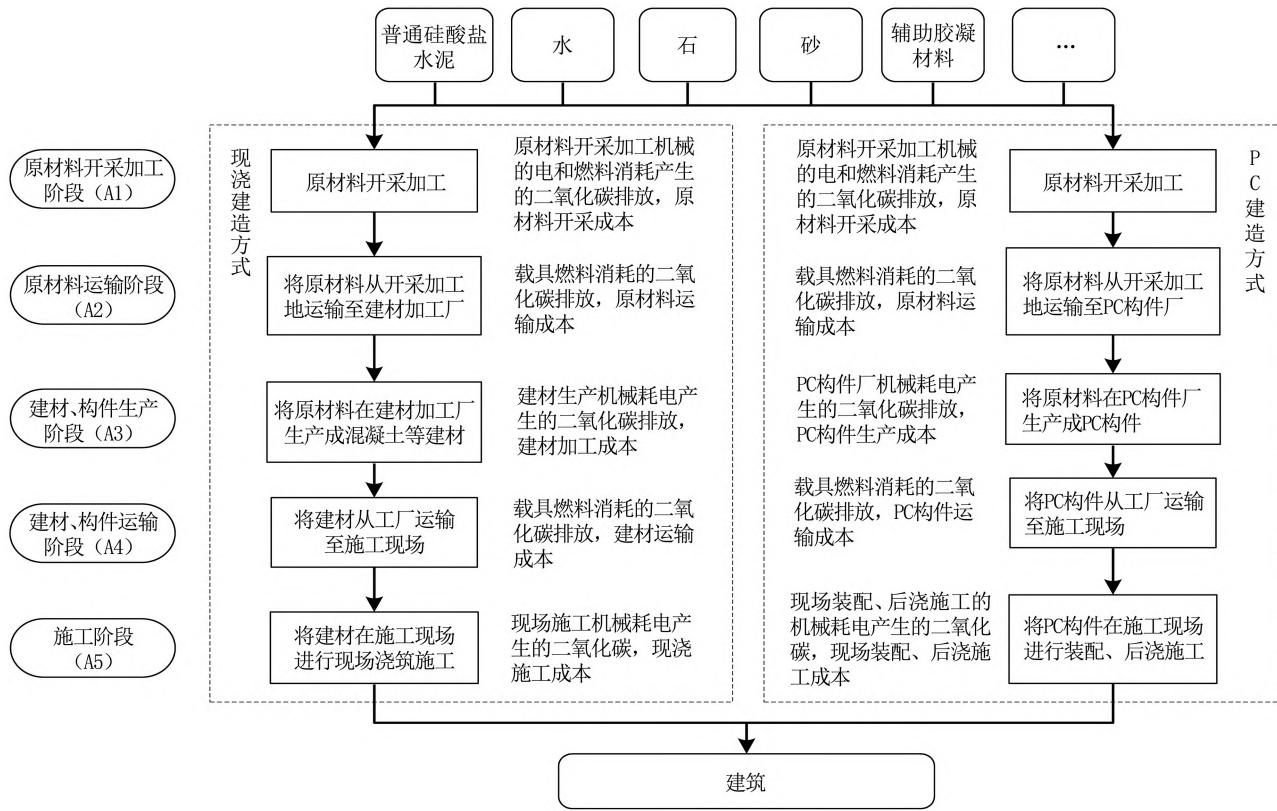


图2 生命周期计量边界

现浇碳排放量和成本为:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n W_i \cdot q_e \quad (3)$$

$$I_i = \sum_{i=1}^n W_i \cdot r_{wi} \quad (4)$$

式中, O_1 表示 A1 阶段所产生的总碳排放量 ($\text{kg} \cdot \text{CO}_2\text{-eq}$), W_i 表示开采加工第 i 种原材料过程中机械耗电量 (kWh); I_i 表示 A1 阶段成本 (元), w_i 表示第 i 种建筑原材料开采加工量; r_{wi} 表示开采加工第 i 种建筑原材料费用单价, 如人工费用单价、机械费使用费单价等。

(2) 原材料运输阶段 (A2)

PC 碳排放量和成本为:

$$E_2 = \sum_{i=1}^n H_i \cdot q_h \quad (5)$$

$$P_2 = \sum_{i=1}^n H_i \cdot r_h + A_h \quad (6)$$

式中, E_2 表示 A2 阶段所产生的总碳排放量 ($\text{kg} \cdot \text{CO}_2\text{-eq}$), H_i 表示运输第 i 种原材料时车辆的耗油量 (kg), q_h 表示柴油的碳排放因子; P_2 表示 A2 阶段所耗费的成本 (元), r_h 表示柴油的价格系数 ($\text{元}/\text{kg}$), A_h 表示装卸建筑材料和运输过程的人工费用 (元)。

现浇碳排放量和成本为:

$$Q_2 = \sum_{i=1}^n N_i \cdot q_h \quad (7)$$

$$I_2 = \sum_{i=1}^n N_i \cdot r_h + F_n \quad (8)$$

式中, O_2 表示 A2 阶段碳排放量 ($\text{kg} \cdot \text{CO}_2\text{-eq}$), N_i 表示运

输第 i 种原材料的车辆耗油 (kg); I_2 表示 A2 阶段所耗费的成本 (元), F_n 表示装卸建筑材料和运输过程的人工费用 (元)。

(3) 建材、构件生产阶段 (A3)

PC 碳排放量和成本为:

$$E_3 = \frac{\sum_{t=1}^k G_t \cdot T_t}{R_l} \cdot R \cdot q_e \quad (9)$$

$$P_3 = Q_3 + B_3 \quad (10)$$

式中, E_3 表示 A3 阶段碳排放量 ($\text{kg} \cdot \text{CO}_2\text{-eq}$), G_t 表示第 t 台机械的功率 (kW), T_t 表示第 t 台机械的工作时间 (h), R_l 表示构件厂房生产所有构件的总体积 (m^3), R 表示项目预制构件的总体积 (m^3); P_3 表示 A3 阶段总成本 (元), Q_3 表示生产构件的直接成本 (如人工费用、直接材料费、能源费用等), B_3 表示生产构件的间接费用 (如工厂管理费用、办公费、设备折旧费等)。

现浇碳排放量和成本为:

$$Q_3 = \sum_{i=1}^n J_i \cdot q_{ai} \quad (11)$$

$$I_3 = \sum_{i=1}^n j_i \cdot r_{ai} \quad (12)$$

式中, O_3 表示 A3 阶段的总碳排放量 ($\text{kg} \cdot \text{CO}_2\text{-eq}$), J_i 表示生产第 i 种建筑材料过程中机械耗电

量(kWh), q_{ai} 表示耗电量的碳排放因子($\text{kg} \cdot \text{CO}_{2-\text{eq}}/\text{kWh}$); I_3 表示A3阶段所耗费的成本(元), j_i 表示第*i*种建筑材料项目使用量, r_{ai} 表示制造第*i*种建筑材料的生产费用。

(4) 构件运输阶段(A4)

PC碳排放量和成本为:

$$E_4=2K \cdot V \cdot X \cdot q_h \quad (13)$$

$$P_4=2K \cdot V \cdot X \cdot r_h + A_k \quad (14)$$

式中, E_4 表示A4阶段所产生的总碳排放量($\text{kg} \cdot \text{CO}_{2-\text{eq}}$),2K表示预制构件厂到施工现场的往返运输距离(km),V为车辆每公里耗油量(L),X表示所有构件总运输次数。 P_4 表示A4阶段成本(元), A_k 表示装卸构件和运输过程的人工费用(元)。

现浇碳排放量和成本为:

$$O_4=2L \cdot V \cdot Y \cdot q_h \quad (15)$$

$$I_4=2L \cdot V \cdot Y \cdot r_h + F_l \quad (16)$$

式中, O_4 表示A4阶段所产生的总碳排放量($\text{kg} \cdot \text{CO}_{2-\text{eq}}$),2L表示建材生产地到施工现场的往返运输距离(km),V表示车辆每公里耗油量(L),Y为项目所有建材总运输次数; I_4 表示A4阶段运输成本(元), F_l 表示运输过程人工费(元)。

(5) 施工阶段(A5)

PC碳排放量和成本为:

$$E_5=\sum_{a=1}^b \sum_{f=1}^e D_{af} \cdot U_{af} \cdot q_{af} \quad (17)$$

$$P_5=Q_{di}+B_{di}+S_{di} \quad (18)$$

式中, E_5 是A5阶段所产生的总碳排放量($\text{kg} \cdot \text{CO}_{2-\text{eq}}$), D_{af} 表示进行第a项施工活动时第f台机械的功率(kW), U_{af} 表示进行第a项施工活动时第f台机械的工作时间(h), q_{af} 表示进行第a项施工活动时第f台机械使用的电能碳排放因子($\text{kg} \cdot \text{CO}_{2-\text{eq}}/\text{kWh}$); P_5 表示A5阶段所耗费的成本(元), Q_{di} 表示施工阶段的直接费用, B_{di} 表示施工阶段的间接费用, S_{di} 表示施工阶段的其他费用。

现浇碳排放量和成本为:

$$O_5=\sum_{a=1}^b \sum_{f=1}^e C_{af} \cdot Z_{af} \cdot q_{af} \quad (19)$$

$$I_5=Q_{ci}+B_{di}+S_{di} \quad (20)$$

式中, O_5 是A5阶段所产生的总碳排放量($\text{kg} \cdot \text{CO}_{2-\text{eq}}$), C_{af} 表示进行第a项施工活动时第f台机械的功率(kW), Z_{af} 表示进行第a项施工活动时第f台机械的工作时间(h), q_{af} 表示进行第a项施工活动时第f台机械使用的电能碳排放因子($\text{kg} \cdot \text{CO}_{2-\text{eq}}/\text{kWh}$); I_5 表示A5阶段所耗费的成本(元), Q_{ci} 表示施工阶段的直接费用。

(6) 总排放量和总成本

PC建造的碳总排放量E和总建造成本P为:

$$E=E_1+E_2+E_3+E_4+E_5 \quad (21)$$

$$P=P_1+P_2+P_3+P_4+P_5 \quad (22)$$

现浇建造的碳总排放量O和总建造成本I为:

$$O=O_1+O_2+O_3+O_4+O_5 \quad (23)$$

$$I=I_1+I_2+I_3+I_4+I_5 \quad (24)$$

2.3 对比模块

PC与现浇因建造方式不同,环境表现和经济表现也不同。PC建筑由于很大一部分是在工厂集中生产,生产环境可控,因此材料利用率更高,能源消耗更少,环境表现好,但建造成本更高;而现浇混凝土处于露天环境,易受不良环境影响,且作业过程依靠人工,管理粗放,因此材料浪费较多,能源消耗更大,环境表现一般较差,但建造成本一般相对PC建造方式会较低。采用相对指标(包括碳减排效益和建造成本增量)对PC建造方式和现浇建造方式进行对比衡量,其公式如下:

$$T=\frac{O-E}{O} \quad (25)$$

$$Q=\frac{P-I}{I} \quad (26)$$

式中,O表示现浇建造方式的碳排放量,E表示PC建造方式的碳排放量,T表示采用PC建造方式对比现浇建造方式而提升的碳减排效益(碳排放量减少百分比)。I表示现浇建造成本,P表示PC建造成本,Q表示采用PC建造方式对比现浇建造方式所投入的增量成本(建造成本增加百分比)。

2.4 评价模块

价值工程是力求以最低的生命周期成本实现产品对象的必要功能的一项科学管理方法,有利于对当前建筑业转型中既要注重经济效益,也要兼顾绿色减排的需求进行合理分析。本文运用价值工程理论对运用PC建造方式对比现浇建造方式的环境效益和增量成本进行综合评价,其公式如下:

$$V=\frac{F}{C} \quad (27)$$

式中,F—功能系数;C—成本系数;V—价值系数。当V>1,即功能属性大于成本属性,推荐该产品或服务;当V=1,说明功能属性和成本属性相当;当V<1,即功能属性小于成本属性,不推荐该产品或服务。

对计量模块中获得的指标进行分析。从价值工程视角,将利用LCA计量得到的采用PC建造方式对比现

浇建造方式所获得的碳减排效益作为功能系数, 利用LCCA计量得到的采用PC建造方式对比现浇建造方式所投入的增量成本作为成本系数。如此, 则采用PC建造方式对比传统现浇建造方式所提升的价值系数为:

$$V = \frac{F}{C} = \frac{T}{Q} \quad (28)$$

式中, T表示提升的碳减排效益(碳排放量减少百分比), Q表示投入的增量成本(建造成本增加百分比)。

2.5 决策模块

依据评价模块中获得的价值系数, 结合决策者的决策偏好, 辅助决策者对采用PC建造方式或现浇建造方式进行决策, 包括两个步骤:

(1) 依据价值工程理论进行初步筛选

依据价值工程理论, 若价值系数 $V=1$, 表示采用PC所提升的环境效益与所付出的增量成本比例相当, 处于均衡状态, 可以采用PC建造方式也可以采用现浇建造方式; 若价值系数 $V>1$, 表示采用PC所提升的环境效益在比例上大于所付出的增量成本, 说明虽然采用PC建造方式可能付出更多的成本, 但是会取得显著的环境效益, 推荐采用PC建造方式; 若价值系数 $V<1$, 表示采用PC所提升的环境效益在比例上小于所付出的增量成本, PC建造方式达到期望环保效益所付出的费用较高, 不推荐采用PC建造方式。

(2) 依据决策者偏好进行深入筛选

在价值工程分析的基础上, 还需结合决策者对于环境目标和经济目标的偏好进行筛选。传统价值工程理论中, 价值系数 $V>1$ 说明所获得的环境效益大于增量成本, 即“物有所值”, 方案可以采用。但是在实际工程实践中, 建造决策者如果更看重PC建筑的碳减排效果而对相关成本投入较为宽容, 则即使 V 略小于1, 只要环境效益的绝对值明显, 也可以接受PC建造方案; 反之, 如果建造决策者非常重视成本, 觉得PC建筑的成本投入必须获得相当或更高的碳减排效果, 则会对 V 提出更高的要求。在此种情况下, 本方法也可以依据决策者对于碳减排效果和成本的不同偏好进行决策, 可以将判别系数进行适当调整, 例如一家企业要求环境效益需要高于增量成本二成以上, 则可以将判别系数由1变为1.2。

3 案例应用

3.1 项目概况

将本文构建的方法用于深圳某PC住宅建筑项目。该项目总建筑面积 64050m^2 , 包括3栋高层住宅建筑, 该项目1、2、3号楼的预制率分别为60.42%、49.30%、42.02%。该项目各楼底部1~4层采用现浇建造方式, 作为本文现浇建造方案表现计量对象, 5楼及以上采用PC建造方式, 作为本文PC建造方案表现计量对象。该项目的数据通过现场调研、询问项目管理人员和查询构件生产方案与施工组织设计获得。

3.2 环境-经济表现计量与对比

由于该项目大部分构件采用C35混凝土, 为简化计算, 本研究中假定该项目全部采用C35混凝土进行计算。根据国家现行标准《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011)得到混凝土配合比, 进而计算出混凝土A1阶段的碳排放因子, 如表1所示。

采用计量公式(1)~(24)计算PC和现浇两种建造方式在A1~A5各阶段的碳排放量和建造成本, 以及碳减排量和增量建造成本, 如表2所示。由于缺乏项目A1~A3阶段的分阶段数据, 使用建筑材料购买价格和预制构件到场价分别作为A1+A2+A3的PC和现浇建造成本。通过查询文献和咨询现场管理人员, 与现浇混凝土建筑相比, PC建筑的建筑原材料一般可以减少10%~15%的浪费, 本文取中间值12.5%。现浇建造生命周期其他阶段的相关数据, 为与预制建造方式保持一致性, 均基于预制建造方式的相关数据对其进行假设, 如现浇建筑材料运输平均运距为86km。

3.3 评价与决策

根据表2的计算结果, 结合式(25)、(26)得到三栋楼的环境效益系数、增量成本系数和价值系数, 如表3所示。三栋楼的环境-经济表现如图3和图4所示。根据图3, 比较三栋楼生命周期的碳减排量发现: A1和A5阶段对两种建造方案的碳减排量减排效益最明显。在A1阶段, 由于采用PC建造方案可以减少原材料浪费, 节省原材料开采消耗的燃料, 所以A1阶段减排效益明显。在A5阶段, PC对比现浇建造方式现场湿作业大量减少, 降低现场机械的能源消耗, 因此减排效益明显。由于PC

表1 混凝土配合比

混凝土等级	混凝土生产原料消耗量(kg/m^3)					碳排放因子($\text{kg} \cdot \text{CO}_{2-\text{eq}}/\text{m}^3$)
	42.5MPa等级普通硅酸盐水泥	最大粒径为20mm碎石	砂	水	掺料物	
C35	324	1294	637	175	0	242.5892

表2 1、2、3号楼两种建造方案各阶段碳排放量与建造成本

建造阶段	1号楼				2号楼				3号楼									
	现浇混凝土建筑		PC建筑		碳减排量	成本增量	现浇混凝土建筑		PC建筑		碳减排量	成本增量	现浇混凝土建筑		PC建筑		碳减排量	成本增量
	F ₁	C ₁	F ₂	C ₂	F ₁ -F ₂	C ₂ -C ₁	F ₁	C ₁	F ₂	C ₂	F ₁ -F ₂	C ₂ -C ₁	F ₁	C ₁	F ₂	C ₂	F ₁ -F ₂	C ₂ -C ₁
A1	223.77		197.27		26.49		223.77	327.68	202.12	840.33	21.65	512.65	235.68	341.86	217.88	811.91	17.81	470.05
A2	15.73	323.45	16.18	959.94	-0.45	636.49	15.73		15.75		-0.02		16.27		16.29		-0.03	
A3	1.43		5.70		-4.27		1.46		4.94		-3.48		1.56		4.72		-3.16	
A4	0.96	10.47	3.93	16.43	-2.97	5.96	0.96	10.47	3.38	15.33	-2.42	4.86	1.00	10.86	3.16	15.22	-2.16	4.36
A5	28.12	860.57	6.19	444.56	21.93	-416.01	28.16	883.00	6.45	553.17	21.71	-329.83	28.36	870.83	6.77	530.90	21.59	-339.94
合计	270.00	1194.48	229.27	1420.93	40.73	226.45	270.07	1221.14	232.64	1408.82	37.43	187.68	282.87	1223.55	248.82	1358.03	34.06	134.48

注: F₁为现浇混凝土建筑碳排放量, C₁为现浇混凝土建筑建造成本; F₂为PC建筑碳排放量, C₂为PC建筑建造成本; 表中, 碳排放量单位: kg·CO₂-eq/m², 建造成本单位: 元/m²。

表3 PC建筑的价值系数结果

楼	预制率	环境效益F	成本增量C	价值系数V
1号楼	60.42%	15.0860%	18.9577%	0.7958
2号楼	49.30%	13.8581%	15.3697%	0.9017
3号楼	42.02%	12.0399%	10.9906%	1.0955

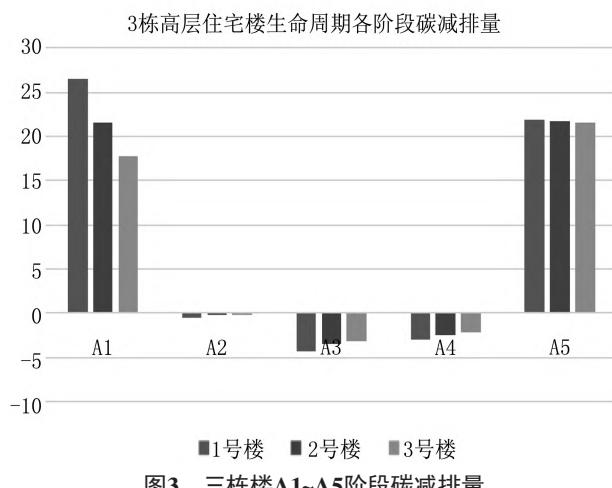


图3 三栋楼A1~A5阶段碳减排量

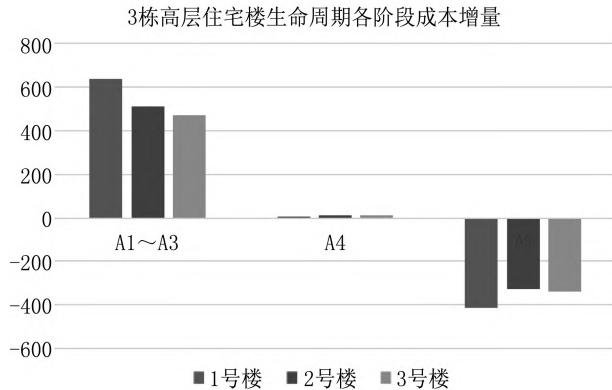


图4 三栋楼A1~A5阶段成本增量

建造方式将原本现浇建造方式的现场作业转移到工厂内进行, 在A3阶段PC的碳排放量高于现浇。

根据图4, 比较三栋楼建造增量成本发现: PC建造方式在A1~A3阶段的成本增量较高, 这主要与预制构件将现场湿作业转移到工厂内进行有关, 工厂需要摊销更多的管理费用, 且不同尺寸构件需要消耗不同部件产品模具, 从而增加了构件的制作成本。而在A5施工阶段PC建造方式的构件安装使用机械吊装, 减少了劳动力消耗, 其成本要低于现浇建造方式。

对该项目三栋楼在A1~A5的建造阶段碳减排总量和建造总成本进行分析发现, 采用PC建造方式取得的碳减排效益和产生的增量成本与具体的PC建造方案有关。如表2所示, 在施工条件接近的情况下, 三种不同预制率的PC建造方案带来的效果不同: 环境效益方面, 随着预制率的提高, 建筑中越多的构件由现浇改为PC, 此时材料浪费和现场作业越来越少, 虽然A3阶段的碳排放增大, 但是A1和A5阶段的碳减排效益更加明显, 使得总体环境效益提高; 但是在成本方面, 随着预制率的提高, 建筑中越来越多采用PC构件, 增量成本增加, 而且这一增加幅度随预制率上升的趋势比环境效益提高的趋势更加明显。因此, 该项目三栋楼中, 随着预制率的提升, 价值系数反而呈现下降趋势。

如果仅仅从价值工程理论的判别原则出发, 则3号楼的PC建造方案是合理的(价值系数V>1), 1、2号楼需要修改当前的PC建造方案, 从当前项目的指标趋势来看可能需要降低预制率; 如果建造决策者对于环境目标更加重视而对成本存在一定的宽容, 比如可以容许价值系数V>0.8的方案, 则2、3号楼的PC建造方案符合要求, 而1号楼需要修改当前的PC建造方案; 如果建造决

策者对于成本的要求较为严格,认为投入的增量成本必须取得超额的回报,比如仅容许价值系数 $V>1.2$ 的方案,那1、2、3号楼的方案都不符合建造决策者的要求,都需要修改。

由上述分析可以看出,本文提出的ACED方法能够有效辅助建造决策者进行PC建造方案的决策。另外,采用PC建造方式所获得的建造表现是复杂的,不同的方案存在不同的环境-经济表现,且环境指标和经济表现随PC建造方案的变化而呈现不同幅度的改变。因此,进行PC建造方案决策时,需要综合考量环境效益与经济效益,并结合不同决策主体对于目标的偏好,进行综合分析。这也印证了本文提出的ACED方法在PC建造方案决策过程中是必要的。

4 结语

本文构建的方法为PC建筑的环境-经济综合表现提供了计量方法,并为建筑工程项目的决策者对于是否采用PC建筑这一决策问题提供了决策工具。最后将该方法应用于实际工程案例,验证了方法的有效性。应用结果显示,本方法可以对比PC建造方式和现浇建造方式,也可以对比不同类型的PC建造方案,并且依据决策者的对于环境目标和经济目标的偏好和要求,为决策者提供决策支持。此外,本文的计量表现仅分析了PC建筑在环境和经济方面的表现,而PC建筑的优势不仅仅在于环境效益,还体现在建筑质量提升、减少建筑业劳动力压力等方面,下一步将从更多因素角度对PC建筑综合表现进行更全面的分析。▲

参考文献

- [1] Cao X, Li X, Zhu Y, et al. A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2015 (DEC.16) : 131-143.
- [2] Hong J, Shen G Q, Mao C, et al. Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: an input-output-based hybrid model[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112: 198-2207.
- [3] 唐久林.装配式混凝土建筑建设全过程增量成本分析[J].建筑经济, 2022 (S1) : 156-160.
- [4] Ms A, Wl B, Gz C. Direct and indirect impact assessment in off-site construction—A case study in China[J]. Sustainable Cities and Society, 48: 101520-101520.
- [5] 赵愈, 孙思园, 刘陆.装配式建筑碳减排驱动因素与路径研究[J].建筑经济, 2022 (10) : 90-95.
- [6] Dong L, Wang Y, Li H, et al. Carbon Reduction Measures-Based LCA of Prefabricated Temporary Housing with Renewable Energy Systems[J]. Sustainability, 2018 (3) : 718.
- [7] 杨徽, 龚志起.基于LCA的高原地区装配式建筑物化阶段环境影响研究[J].青海交通科技, 2021 (1) : 31-37.
- [8] Ji Y, Li K, Liu G, et al. Comparing greenhouse gas emissions of precast in-situ and conventional construction methods[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 173: 124-134.
- [9] Wang H, Zhang Y, Gao W, et al. Life Cycle Environmental and Cost Performance of Prefabricated Buildings[J]. Sustainability, 2020 (7) : 2609.

Research on Construction Plan Decision of PC Buildings Based on the Environmental-Economic Performance Evaluation

CAI Binqing, CHEN Zhenbin, CHEN Shiwei

(School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: The development of prefabricated concrete (PC) buildings is imperative. However, few existing studies comprehensively evaluate the environmental-economic performance of PC buildings, which is not conducive to improving the acceptance of PC buildings in the market. This research combined Value Engineering Theory (VE), Life Cycle Environmental Assessment (LCA), and Life Cycle Cost Assessment (LCCA) to construct an Assessment-Comparison-Evaluation-Decision (ACED) method to quantify the comprehensive environmental-economic performance of PC buildings. It aims to improve Construction decision-makers' comprehensive cognition of the environmental benefits and incremental costs of PC buildings, assists construction decision-makers in making decisions about PC building construction schemes, thereby promoting the development of PC buildings.

Keywords: PC buildings; LCA; LCCA; VE; comprehensive environmental-economic performance