

# The Application of Life Cycle Assessment to Carbon Footprint Calculation in Architectural Design Stage

## 生命周期评估在建筑设计阶段的碳足迹测算应用

文 / 刘学贤 青岛理工大学 副教授

张 森 青岛理工大学 硕士研究生

张 超 青岛理工大学 硕士研究生

摘要：文章通过对当下建筑设计流程当中存在的问题和 LCA 体系的分析，提出国内现有 LCA 设计后评估模式无法解决已存在的设计问题；经过对建筑 LCA 参与建筑设计阶段的要点、时间和难点进行综合整理，明确了 LCA 在国家政策的推动下，进行建筑碳足迹测算的最佳介入点是建筑设计过程中，并且只有在建筑设计过程中做到“图模一致”，同时建立 BIM-LCA 体系，方可提前发现问题，以便于及时调整设计方案。

Abstract: Based on the analysis of the existing problems in the current architectural design process and the LCA system, this paper points out that the existing domestic post-design evaluation mode of LCA can't solve the existing design problems. After comprehensively sorting out the key points, time and difficulties of LCA's participation in architectural design stage, it is clear that the best time for LCA to calculate the carbon footprint of buildings is in the process of architectural design under the promotion of national policies. In addition, only in the process of architectural design to achieve "drawing model consistency", at the same time the establishment of BIM-LCA system can be found in advance, in order to timely adjust the design scheme.

关键词：LCA；建筑设计阶段；BIM；碳足迹

Keywords: LCA; architectural design phase; BIM; carbon footprint

DOI: 10.19875/j.cnki.jzywh.2023.09.007

### 引言

2022 年 4 月 1 日，《建筑节能与可再生能源利用通用规范》发布，本规范发布后，建筑碳排放计算开始作为建筑业主体的强制要求应用于建筑项目，成为所有新建、改建项目的硬性指标。虽然目前国内建筑 LCA 仍未达到相当成熟的水平，但由于社会环保意识增加以及国家层面对建筑行业的碳足迹的宏观调控，未来低碳建筑将成为建筑业主体的发展方向。

建筑业是国民经济的支柱产业，在疫情背景下，我国的建筑行业经受了极大的冲击，为了稳固建筑业持续健康发展，并落实中国在第七十五届联合国大会上提出的“双碳”减排目标，国家出台了一系列重要政策。2022 年 3 月 1 日，国家发布《“十四五”住房和城乡建设科技发展规划》（建标〔2022〕23 号）<sup>[1]</sup>，提出到 2025 年，提升建筑设计领域的科技创新能力，进一步完善科技创新体系，加快实现 2030 年、2060 年的双碳减排目标任务；提出加快 BIM 技术与新型产业技术融合发展的要求，加快实现 BIM 技术平台、核心建模软件、模拟分析软件的自主开发，加快建筑全生命周期数字云管理平台的开发<sup>[2]</sup>。

### 1 LCA 的技术体系

#### 1.1 LCA 体系与碳足迹

生命周期评价方法（Life Cycle Assessment, LCA）是一种各类产品的评价工具，是目前国际上分析产品的主流方法之一，用于计算产品或服务从无到有、再到无的整个过程的能源消耗和对环境产生的影响，在经济、社会等各个领域都有不同程度的应用。LCA 最早在 1990 年被应用于建筑类行业的建筑性能评估，同时也第一次初步确定了其技术

框架随着可持续性建筑的发展，建筑碳足迹评价也逐渐成为建筑 LCA 的重要组成部分。

目前国际上较为认可的建筑碳足迹的定义为建筑全生命周期的建筑碳排放量，而根据国际标准化组织（ISO）的标准，建筑全生命周期碳足迹指的是将整个生命周期内从规划设计到回收拆除排放的温室气体总量，按照每功能单位建筑产品的二氧化碳排放量表示。我国对于建筑碳排放的定义为：建筑全生命周期内产生的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。该定义来自于《建筑碳排放计量标准》GB/T 51366-2019。

建筑国际标准化组织（ISO, ISO14040 总则）将生命周期评价的全过程分为几个部分：定义目的及范围；生命周期清单分析；生命周期影响评价和生命周期阐释<sup>[3]</sup>。我国的《GB/T 24040-2008 环境管理生命周期评价原则与框架》便是在引进了 ISO 14040s 的四项国际标准，并在其原有的标准上根据我国实际情况转化而来的标准。

#### 1.2 建筑 LCA 阶段划分

相较于发达国家，我国关于建筑能耗以及 LCA 方面的研究和应用相对滞后，但其发展速度相对较快，主要还是集中在建筑使用阶段，即狭义的建筑能耗和排放。但是，纵观整个生命周期，建筑材料的生产运输和建筑施工所产生的碳排放也是不可忽视的一部分<sup>[4]</sup>。建筑是一种生命周期很长的产品，其从原料的开采、加工，建材的运输、安装，到最后的拆除都会对环境造成影响。基于 LCA 理论，文章将建筑全生命周期划分为四个阶段：前期准备阶段、建筑物化阶段、使用维护阶段和拆解回收阶段<sup>[5]</sup>（图 1）。

同时，近年来建筑全生命周期评价也受到了

我国政府部门的重视。目前，LCA 作为一种对环境负荷进行评价的方法，已经广泛应用于公共政策制定、建筑设计与建筑施工领域以及企业的嵌入式管理模式当中，未来会成为可持续建筑和环境保护评价的重要工具。

#### 1.3 LCA 工具和数据库的开发

LCA 评价的计算需要强大的算力支持，因此要用到高效智能的计算工具和庞大的数据库，还可能经历多次的修改和调整，因此会耗费大量的时间，从而降低 LCA 技术在建筑领域的实用性和普适性。因此，解决该问题的最好办法便是进行 LCA 软件的开发。

目前国外大致将 LCA 工具分为三种级别：

（1）级别一：建材类工具，如德国的斯图加特大学开发的 GaBi，目前最新版本为 GaBi5，该软件使用范围十分广泛，除了建筑行业外，还涉及了石油化工业、金属制造业、汽车工业等多个领域，该软件的目标用户为各行业的 LCA 分析师，建筑业方面有其专门的 GaBi Build-It 软件，但目前该软件只有德语版本，在国内普及较少，GaBi5 的清单数据主要来自于四个数据库：GaBi, Databases, Ecoinvent, 美国输入输出数据库（US Input Output）和 EuropeanLCD；荷兰的 SimaPro：该软件由荷兰的 leiden 大学开发研制，目前最新版本为 SimaPro7.3，但不同于 GaBi5 的是，该软件为收费软件，费用从几百到几千欧元不等（根据版本和可使用用户数量的不同），且需要用户自己建立产品的生命周期模型；美国 BEES（Building for Environment and Economic Sustainability）：BEES 是美国国家标与技术局 NIST 能源实验室研发的，是专门开发用于评价建筑环境影响的软件，该软



图1 建筑全生命周期阶段划分(图片来源:作者自绘)

件用户界面简洁,操作较为简单,因此受众范围较广,目标用户有建造商、建筑设计师以及产品制造商,因其无须用户创建产品的LCA过程,对于不了解LCA理论及过程的使用者也十分友好。BEES使用由荷兰SimaPro计算得出的建筑材料生命周期环境影响清单数据,因此BEES与SimaPro的清单数据库相同。(2)级别二:建筑整体决策工具,如由美国雅典娜学院和明尼苏达州大学共同研制的Athena Eco Calculator,该软件基于Excel平台设计,主要用于计算建筑结构和建筑围护结构的材料在全生命周期内的能源及资源消耗情况,并计算出所有使用材料的碳排放量;eBalance是由国内亿科环境科技有限公司(IKE)研发,是国内首个具有自主知识产权的通用型生命周期评价软件。该软件适用于各种LCA分析,不仅支持完整的LCA标准步骤分析,还延伸出更多额外功能,可大幅提高用户的工作效率和工作价值;Envest系列:Envest是英国在2000年推出的第一个环境影响评价软件,而后又相继推出了Envest2计算版和Envest2估算版,Envest系列软件是一个自助型的环境分析评价软件,主要用于在建筑设计早期阶段设计师对建筑项目的环境影响分析预估,帮助设计师选用对环境影响较小的材料以便权衡建筑在运行期间能源和水资源的消耗情况,从而分析对比不同建筑方案的环境影响。(3)级别三:建筑整体评估体系和框架,例如Athena影响评价工具、LEED、BREEAM等。但是级别三当中所提到的,是更偏向于整体性的评价体系,在其中使用LCA理论也不涉及LCA相关背景。

## 2 建筑设计流程及其问题

### 2.1 建筑设计流程

根据上文,前期准备阶段是一个项目的最初阶段,该阶段包含了决策者对建设项目的宏观调控,同时也直接决定了该项目的全生命周期碳足迹的走向,其一般包括项目投标、场地勘察、方案设计、初步设计和施工图设计。通常来讲,规划设计阶段的碳排放比重相较于建筑全生命周期中其他阶段是比较小的,但是该阶段的碳足迹研究却相对更加重要,原因在于,一方面,建筑设计阶段是所有建筑都不可或缺的流程;另一方面,该阶段的相关设计内容决定了建筑的规模、结构、形式以及所用的材料种类及材料量,对后续的施工建造、日常运维和拆除回收都会造成决定性的影响,且规划设计成果一旦落地建设,便很难再做出改变<sup>[6]</sup>。

### 2.2 存在的问题

建筑的设计过程是连续的,相应的BIM模型也在连续不断完善,现阶段大多数建筑LCA通常

是在规划设计阶段结束后进行的,因为这时已经有了完整的建筑信息,但是对决策过程的影响已是日暮途穷。所以通过这种LCA进行的设计后评估本身并不有效,因为它并不能改善建筑设计对环境的影响。另一方面,建筑LCA是一项复杂的任务,需要大量的建筑信息才能完成。因此需要较多的时间和精力去建立BoQ(单个材料的工程量清单),并在LCA数据库中找到相对应的数据来匹配材料,这就意味着建筑LCA需要花费较高的人力成本比和经济成本,导致企业没有足够的积极性、主动性和执行力去实现建筑LCA的完整进程。

### 3 LCA介入要点

LCA结果需要在整个设计阶段,特别是在具有决定性的前期阶段提供给决策者和设计者,以便对建筑项目做出适时且适当的方案设计调整。利用BIM技术在建筑设计阶段建立建筑信息模型,准确高效地获取建筑项目工程信息和材料用量清单,从而为LCA提供可靠的数据来源,形成系统完整的BIM-LCA评估体系。

BIM技术拥有CAD等二维设计软件不具备的三维设计优势,可以对建筑进行全方位的三维仿真模拟,包括建造物化、日常运维、能耗模拟以及拆除回收等,且能更加全面地整合建筑设计和施工信息。BIM模型当中的构件不仅是简单的模型,其拥有相对应的材料、做法、尺寸信息数据,可以对数据进行整合、校对、处理、分析,为项目各个阶段提供数据支持<sup>[7]</sup>。

### 4 LCA介入时间

在建筑全生命周期中,使用维护阶段的碳足迹占比最大,其次为物化阶段,但在整个生命周期中,建筑材料的生产运输和施工建造过程的碳足迹也是不可忽视的一部分。此外,就发掘潜力来看,建筑设计阶段是挖掘减碳潜力成本最低、效益最高的阶段,因此LCA进行碳足迹测算的最佳介入阶段是建筑设计过程中。通过Revit建立BIM建筑信息模型,利用Revit明细表功能,导出项目的材料量清单,利用LCA分析软件进行分析,实现材料量的自动读取和分析。

### 5 LCA介入难点

#### 5.1 评估过程繁琐

进行生命周期评价不仅要明确整个建筑全生命周期能量、原料需求量及碳排放量,还要将这些原料、能量、排放量所造成的影响进行评估,即碳足迹评价,在实际操作时牵扯到许多复杂细节,如建筑原料的开采、加工、运输,这涉及了上、中、下游产业的关联模式和资料库的共用问题。其中,会遇到较多资料缺口,如资料的不可获得、某阶段的生产过程不在国内或数据的获取成本较高而无力负担等问题。

#### 5.2 评估标准不统一

由于LCA在国际上的标准未达成一致,各国

都有不同的评价标准,不同单位所建立的评估系统存在不同的假设条件和主观意识,因此所构建的数据库和碳排放因子都存在相当的不一致性。我国虽然发布了《建筑碳排放计算标准》(GB/T51366-2019),但数据库所需数据仍未完善,碳排放数据量化仍然存在短板,如:碳足迹核算方法不准确、建筑低碳建设标准不完备。

### 5.3 数据库资料透明度不足

无论是其他行业的LCA还是建筑的LCA,其结果可信度的关键在于数据库的正确性和可获得性。现阶段国内大部分只是定性的评价碳足迹,并没有形成统一的国内标准。此外,我国能耗统计制度不完善也是造成问题的原因,没有较好的数据获取渠道,缺乏可持续性和系统性<sup>[8]</sup>。

### 结语

综上所述,面对国内现存的建筑设计流程当中存在的问题和LCA体系介入存在的难点,需要建立健全完善完整的建筑碳排放核算体系,以提高碳排放核算效率,降低核算成本和人力投入;另外,标准化体系是指导标准化工作的前提,我国应构建适合国内建设各领域、各层级的碳排放核算标准,而不是照搬或套用国外标准;最后,完善国内数据库资料是使建筑LCA长期发展的坚实基础,要建立覆盖全面、边界清晰、科学合理的碳排放数据库。

设计主体在建筑设计阶段,前期要做到“图模一致”,即根据建筑设计图纸构建较为完整、完善的Revit模型,使其具备各类智能控制信息,因为施工图成本占设计费总成本的1/4~1/3,完整的Revit模型可降低设计成本、设计周期和返工率。此外,要在前期建立BIM-LCA体系,读取Revit模型中的图元并统计用量,同时能对其进行LCA赋值、计算和分析,使其整个过程都在同一平台中完成,不再需要跨平台以及平台间的数据格式转换。借助BIM-LCA的建筑碳足迹评估框架再结合现代化的产业组织模式和管理方法管理建筑产业,这将会成为未来建筑环境保护评价体系的趋势。

#### 参考文献:

- [1]马克·戴维斯,寇清.智能建造在建筑工业化中的价值分析[J].建筑技术,2022,53(09):1255-1258.
- [2]谭梦琪.强化科技创新支撑引领作用 推动城乡建设绿色低碳发展“十四五”住房和城乡建设科技发展规划出炉[J].中国勘察设计,2022,(03):10-11.
- [3]刘红超.基于可持续视角的生命周期评价模型研究[D].天津大学,2014.
- [4]娄峰,刘亮俊,曹祚威,等.装配式钢-混组合结构建筑碳排放计算及减排优化策略[J].施工技术(中英文),2021,50(24):65-68+74.
- [5]黄芳.基于全生命周期理论的低碳公共建筑评价研究[D].中南大学,2013.
- [6]赵秀秀.绿色建筑全生命周期碳排放计算与减碳效益评价[D].大连理工大学,2014.
- [7]张雪,刘学贤,张笑彦.BIM技术在装配式建筑初步设计阶段的应用研究[J].建筑技术,2021,52(01):4-6.
- [8]张胜杰.建筑业降碳难点多潜力大[N].中国能源报,2022-03-21(002).