

doi:10.3969/j.issn.1674-117X.2019.01.011

基于 BIM 的绿色建筑全生命周期环境影响 评价与标杆树立研究

刘建文, 王金裕, 赵先超

(湖南工业大学 商学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 基于工程项目的全生命周期评价视角, 建立绿色建筑的多维信息模型, 将建筑对环境的影响进行量化, 明确绿色建筑技术的选择对项目碳排放削减的效果, 并采用标杆管理法树立优秀标杆项目。以长沙市某小学教学楼设计方案为例, 建立模型并进行计算, 根据计算结果分析建设项目全生命周期各阶段采取不同绿色技术手段对建筑物碳排放效果的影响; 采用相同的方法, 得到其他参评项目全生命周期各阶段及整个生命周期的碳排放削减量、个性优势权重, 据此评选出各个绿色建筑参评项目的个体标杆和群体标杆。

关键词: BIM; 建筑信息模型; 全生命周期; 碳排放; 个体标杆; 群体标杆

中图分类号: F407.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-117X(2019)01-0071-07

引用格式: 刘建文, 王金裕, 赵先超. 基于 BIM 的绿色建筑全生命周期环境影响评价与标杆树立研究 [J]. 湖南工业大学学报(社会科学版), 2019, 24(1): 71-77.

Research on Environmental Impact and Establishment of Benchmarking of Green Building Based on BIM

LIU Jianwen, WANG Jinyu, ZHAO Xianchao

(College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Based on the life cycle assessment perspective of the project, this paper establishes the Multidimensional Information Model of the green building, quantifies the environmental Impact of buildings, defines the effect of the choice of the green building technology on the carbon emission reduction of the project and adopts a benchmarking project to establish benchmarking projects. Taking the design scheme of a primary school teaching building in Changsha as an example, the model is established and calculated. Based on the calculation results, the effects of different green technologies on building carbon emissions in different stages of the whole life cycle of construction projects are analyzed. Using the same method, the carbon emission reduction and individual advantage weights of other projects in different stages of the whole life cycle are obtained to select the individual benchmarking and group benchmarking for each green building project.

Keywords: BIM; building information model; full life cycle; carbon emission; individual benchmarking; group benchmarking

收稿日期: 2018-10-17

基金项目: 湖南省教育厅基金资助重点项目“基于仿真模拟的湖南省能源消费碳排放安全评估与减排路径研究”(17A059)

作者简介: 刘建文(1964—), 男, 湖南衡山人, 湖南工业大学教授, 博士, 研究方向为低碳经济与技术、环境工程;
王金裕(1991—), 男, 江苏南通人, 湖南工业大学硕士研究生, 研究方向为绿色建筑、低碳经济与技术。

随着全球气候变化、资源能源短缺、生态环境恶化,温室效应已成为制约经济社会发展的重要问题。^[1]究其原因,化石能源的过度使用和土地性质的改变是温室效应加剧的重要因素。^[2]在各种生产活动中,建筑的建造和运营对能源的消耗及对环境的破坏较为突出。^[3]据统计,碳排放主要来源于建筑业、工业以及交通运输业。^[4]截至2016年底,建筑业碳排放量已占据了全球总碳排放量的19%。^[5]因此,树立绿色建筑的优秀标杆、选择合适的绿色技术来降低建筑碳排放量、减少环境污染已成为亟待解决的问题。由于建筑的全生命周期较长,工程量大且复杂,所以传统的计算方法在计算时需耗费大量人力。相关学者构建了建筑碳排放测算的数学模型,该模型可以较好地测算建筑碳排放量。^[6]建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术的产生改变了传统计算方法,其通过数值信息模拟各阶段建筑碳排放的真实情况,有利于了解建筑各阶段所采用绿色技术的有效性,为树立绿色建筑标杆提供了技术支持。

一 文献综述

绿色建筑全生命周期评估(life cycle assessment, LCA)是一种对项目从物化阶段(建材的生产施工阶段)、使用阶段到拆除处置阶段整个生命周期相关的环境负荷评价方法。目前,一些学者对建筑领域的研究主要集中在基于全生命周期评估的建筑项目能源消耗及其对环境的影响等方面。Bribián等人^[7]计算了建筑物在全生命周期中的能源消耗量,对生命周期评价方法进行简化,并将其运用于建筑的节能认证方面。Lee等人^[8]将建筑生命周期分为三个阶段,即建筑物物化阶段、运营使用阶段和拆除处理阶段,并基于碳排放建立了SUSB-LCA模型。Blengini等人^[9]的研究证明了低碳建筑的材料和维护保养措施是降低碳排放的主要因素,并建立了低碳建筑生命周期评价模型。以上文献对建筑全生命周期的评估适用于项目后评价,不能在项目前期的设计阶段预测建筑能耗以及建筑对环境的影响,从而难以使整个工程项目的质量和效率得到提高,而且传统的碳排放计算方法效率较低,只适用于简单结构的建筑中。^[10]

随着BIM技术的出现,传统计算方式发生了转变,BIM模型为解决建设项目方案及决策问题

提供了有效途径。BIM模型不仅能给使用者提供对项目的直观感受,而且还包含了工程项目各种数据。^[11]BIM可随时变更模型的参数,以模拟不同方案下建筑物的碳排放量,从而对项目进行设计、实施及运营管理。^[12]在目前建筑领域的相关研究中,主要采用BIM技术或LCA评估法来研究环境影响的主要因素,而很少有学者将此两种技术相结合来优化设计施工方案。因此,本文拟基于BIM技术,从工程项目的全生命周期角度,研究BIM模型元素和建筑材料的关系,通过调整模型的各项参数,以观察项目在各种绿色技术方案下各个阶段碳排放量的差异以及对环境的影响,最终找出适用于项目的最优方案。

二 BIM模型构建与环境影响评价

BIM技术可以共享建筑信息,其最重要的意义在于它重新整合了建筑设计流程,其所涉及的建筑生命周期管理对象,又恰好是绿色建筑设计的关注和影响对象,因此,很好地契合了建筑的全生命周期设计。BIM模型与LCA理论相结合的模型见图1(图片来源于中国BIM培训网)。

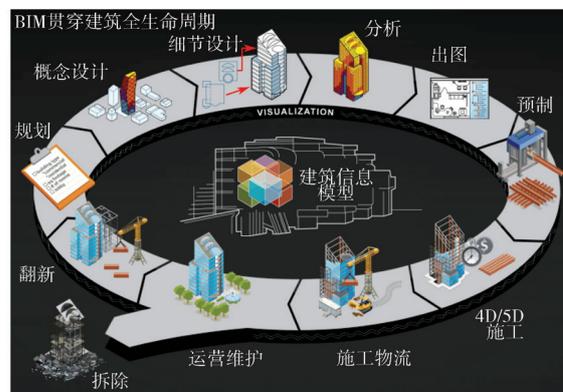


图1 BIM模型与LCA理论相结合的示意图

在工程项目的全生命周期中,评价指标的选取与量化对工程项目环境影响评价非常重要,其主要根据生命周期清单分析的结果,评估与这些投入产出相关的潜在环境影响。为了在不同的环境影响度量、建筑材料和建筑元素中建立统一的标准,本研究建立了基于高效建筑信息模型的综合评估框架,此框架可进行数据的传输与转换。

建筑的物化阶段以及拆除回收阶段可运用排放系数法;运营维护阶段可建立BIM模型,运用GBS(green building studio)分析工具计算各种能源消耗量以及碳排放量。通过绿色建筑全生命周

期评估, 可形成一系列环境影响类别的报告, 从而获得建筑在不同方案下对环境的影响值。由于各阶段采取的绿色技术不一样, 所以需通过自行设置参数加以修正, 对比分析不同方案下工程项目的碳排放量, 最终提出有效的减排措施。

绿色建筑的环境效益体现在全生命周期各个阶段中碳排放量较参照建筑的减少, 其公式为

$$F = F_w - F_s, \quad (1)$$

式中: F 为使用绿色技术后的建筑碳减排量; F_w 为未使用绿色技术建筑的碳排放量; F_s 为使用绿色技术后的建筑碳排放量。

(一) 建材生产阶段

建筑生产阶段的碳排放主要为建材生产与加工过程中的碳排放。使用绿色技术可节约材料的使用和减少材料本身携带的碳排放量。建材生产阶段的碳排放量度算公式为

$$F_1 = \sum_{i=1}^n Q_{mi} \lambda_{mi}, \quad (2)$$

式中: F_1 为建材生产阶段的碳排放量; Q_{mi} 为第 i 种材料在生产阶段的能源消耗量; λ_{mi} 为第 i 种材料生产阶段的能源碳排放因子。

(二) 施工建造阶段

建筑施工建造阶段的碳排放主要为建筑材料运输和现场施工器械产生的碳排放。使用本地建材、选用碳排放量小的器械及采用先进施工管理技术合理安排工期工序等绿色技术, 可减少建筑施工建造阶段的碳排放量。施工建造阶段的碳排放量计算公式如下:

$$F_2 = F_{2-1} + F_{2-2}, \quad (3)$$

$$F_{2-1} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{y_{vi}} R_{vi} l_i \lambda_{vi}, \quad (4)$$

$$F_{2-2} = Q_{ci} \lambda_{ci} \quad (5)$$

式(3)~(5)中: F_2 为施工建造阶段的碳排放量; F_{2-1} 为建筑材料运输产生的碳排放量; F_{2-2} 为施工现场产生的碳排放量; Y_i 为第 i 种材料在施工建造阶段的消耗量; y_{vi} 为车辆每次装载的货物量; R_{vi} 为每公里车辆的耗油量; l_i 为车辆的行驶里程; λ_{vi} 为运输车辆燃料的碳排放因子; Q_{ci} 为施工器械消耗的能源; λ_{ci} 为该阶段的能源碳排放因子。

(三) 运营维护阶段

运营维护阶段的碳排放主要为暖通、空调、照明、电器设备使用产生的碳排放。由于维护阶段的碳排放来源于材料更新替换和维护设施过程,

其工程量影响不大且不易估计, 所以忽略不计。此阶段, 可通过采用太阳能发电系统、自然通风技术、屋顶绿化、节能保温层等绿色技术, 以减少碳排放量。运营维护阶段的碳排放量计算式为

$$F_3 = Q_{oi} k_i \lambda_{oi}, \quad (6)$$

式中: F_3 为运营维护阶段的碳排放量; Q_{oi} 为建筑每年能源消耗量; k_i 为建筑的使用年限; λ_{oi} 为该阶段的能源碳排放因子。

(四) 拆除回收利用阶段

拆除以及建筑废料回收利用阶段的碳排放主要分为拆除阶段碳排放和回收处理阶段碳排放。该阶段主要采取建筑废料回收并将其用于制造新的建筑材料等绿色技术, 以减少碳排放量。拆除阶段的碳排放主要来源于现场施工器械的运行对能源的使用, 建筑废料处理阶段的碳排放主要来源于现场回收器械和运具对能源的使用。拆除回收利用阶段的碳排放量公式如下:

$$F_4 = F_{4-1} + F_{4-2}, \quad (7)$$

$$F_{4-1} = \sum_{i=1}^n Q_{di} \lambda_{di}, \quad (8)$$

$$F_{4-2} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{vi}}{q_{vi}} R_{vi} l_i \lambda_{vi} - \sum_{i=1}^n Q_{ri} \delta_i \lambda_{ri} \quad (9)$$

式(7)~(9)中: F_4 为拆除回收利用阶段的碳排放量; F_{4-1} 为拆除阶段施工器械运行对能源使用产生的碳排放量; F_{4-2} 为废料处理阶段回收器械和运具对能源使用产生的碳排放量; Q_{di} 为拆除阶段现场机械能源使用量; λ_{di} 为现场器械所用能源的碳排放因子; Q_{vi} 为拆卸建筑材料数量; q_{vi} 为回收处理阶段车辆装载货物量; R_{vi} 为回收处理阶段车辆的油耗量; l_i 为车辆行驶里程; λ_{vi} 为能源的碳排放因子; Q_{ri} 为建筑材料回收量; δ_i 为建筑材料回收率; λ_{ri} 为建筑材料回收阶段燃料碳排放因子。

三 模型构建与分析

(一) 基于个性优势识别法的绿色建筑标杆评定

本文采用个性优势识别法识别绿色建筑项目在全生命周期各阶段不同绿色技术碳排放的特征, 即当一个评价对象在某一种权重分配方案下得出最优结果时, 那么这种权重分配就是该评价对象的个性优势。

绿色建筑项目的个性优势识别主要通过确定其在全生命周期某一阶段指标上的个性优势权重,

以此识别绿色建筑在全生命周期4个阶段的生态特征以及存在的优势与劣势。

设有 n 个绿色建筑, 可记为

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\},$$

4个生命周期阶段指标可记为

$$I = \{I_1, I_2, \dots, I_4\},$$

式中: I_1 为建材生产阶段碳排放削减量; I_2 为施工建造阶段碳排放削减量; I_3 为运营维护阶段碳排放削减量; I_4 为拆除回收阶段碳排放削减量。

建筑项目 $P_i(i=1, 2, \dots, n)$ 在全生命周期4个阶段 $I_j(j=1, 2, 3, 4)$ 下的评价价值可以表示为 f_{ij} , 则 n 个绿色建筑项目在4个生命周期阶段下的 $n \times 4$ 个碳排放削减量就构成了一个矩阵, 可记为 $A = [f_{ij}]_{n \times 4}$;

再选择映射 $x_{ij} = \frac{f_{ij} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}$, 使矩阵 $A = [f_{ij}]_{n \times 4}$ 变成 $Z = [x_{ij}]_{n \times 4}$, 其中 $0 \leq x_{ij} \leq 1$ 。

依照目标规划的思想构建个性优势识别模型。理想标杆的评价结果为各个生命周期阶段的最佳评价价值的集合, 记为 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_4^*)^T$, 其中 $x_j^* = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\}$, $j=1, 2, 3, 4$ 。模型构建如下:

$$\left. \begin{aligned} d_i^2 &= \min \left\{ \sum_{j=1}^4 w_{ij}^2 (x_j^* - x_{ij})^2 \right\}, \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^4 w_{ij} &= 1, w_{ij} \geq 0, \\ i &= 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

模型的解是从有利于评价对象 i 的角度出发来确定权重系数 w_{ij} , 优势权重下评价对象 i 的评价结果最接近理想结果。运用拉格朗日乘子法可求得式(10)的解:

$$\left. \begin{aligned} w_{ij} &= \frac{\lambda_i^*}{(x_j^* - x_{ij})^2}, \\ \lambda_i^* &= \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(x_j^* - x_{ij})^2}} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

由式(11)可知, 模型(10)的最优解来源于原始数据, 不因为人为因素而改变, 所以识别出的个性优势特征具有客观公正性。

(二) 绿色建筑的个体标杆评选模型

利用公式(10)能得到每个项目的权重系数, 在考虑所有绿色建筑个体特征的情况下, 按照各组优势权重分配方案, 分别对包括自己在内的所

有绿色建筑项目进行评价, 模型为

$$Z_{it} = d_i(x_t, x^*) = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_{ij}^2 (x_j^* - x_{ij})^2}, t=1, 2, \dots, n. \quad (12)$$

模型(12)表示取绿色建筑 i 的优势权重去评价其他各绿色建筑项目。式中: Z_{it} 为从有利于绿色建筑项目 i 自身优势的角度出发, 绿色建筑项目 t 的评价结果与理想结果之间的差距。若最小的 Z_{it} 对应评价对象 t , 则 t 可视为评价对象 i 的个体标杆。

(三) 绿色建筑的群体标杆评选模型

个体标杆的评定基于考虑全部个体的优势, 对包括自身在内的每个项目作出评价意见。将对某一绿色建筑项目 t 的全部评价意见进行综合, 就可以得到绿色建筑项目 t 的民主化评价结果。其模型为

$$Z_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{it}, t=1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

模型(13)综合了所有绿色建筑项目的评价意见, 是一个民主化的标杆评选模型。将 Z_t 按照升序排列, 得到所有参评项目的民主排序, 排序第一位的就是多数绿色建筑项目都认同的标杆项目。整个群体也更愿意接受如此评定的标杆项目, 所以最小 Z_t 值可作为群体标杆。

四 实例应用

因为评选模型的决策单元具有可比性, 所以绿色建筑标杆项目是分区域进行的。在绿色地图中选择同类区域且已经取得绿色评价标识的建筑项目进行分析, 树立标杆项目。

目前, 我国还没有建立统一的建筑材料碳排放因子库, 所以本文所涉及的碳排放因子都是依据国内外相关成果推算出来的。建筑常用能源碳排放因子如表1所示, 建筑常用材料碳排放因子如表2所示。

表1 建筑常用能源碳排放因子

能源类型	数据来源	碳排放因子 / (kg·kg ⁻¹)
汽油	IPCC 国家温室气体排放清单指南	0.553 8
煤油	IPCC 国家温室气体排放清单指南	0.571 4
柴油	IPCC 国家温室气体排放清单指南	0.582 1
煤气	IPCC 国家温室气体排放清单指南	0.354 8
液化石油气	IPCC 国家温室气体排放清单指南	0.504 2
电力	中国工程院	0.260 0

表 2 建筑常用材料碳排放因子

材料种类	碳排放因子 / (kg·t ⁻¹)
水泥	0.73
钢筋	2.60
混凝土加气块	0.17
砂石	0.20
石灰膏	2.67
实心黏土砖	0.20
玻璃	1.40

(一) 各阶段碳排放量

现以 6 个一星级评价标识的项目为决策单元进行实证分析。由于篇幅限制, 本文以项目 1# 长沙市某小学一栋教学楼为例进行计算分析。首先利用 Revit 建模软件构建 BIM 模型, 如图 2 所示。



图 2 教学楼模型图

该栋教学楼共 3 层, 总建筑高度为 14.41 m, 总建筑面积为 1 273.71 m²。教学楼为剪力墙结构, 首层平面图如图 3 所示。

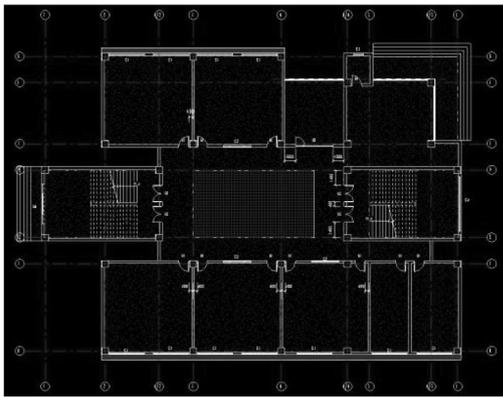


图 3 教学楼首层平面图

1. 建材生产阶段

由于计算时不可能涉及所有建筑材料种类, 因此, 本文只计算主要建材如混凝土、钢筋、砖块等的碳排放量。将教学楼模型导入广联达软件, 计算出绿色建筑建材的消耗量, 代入公式 (2), 得到绿色建筑建材在生产阶段的碳排放量; 然后, 将所得碳排放量代入公式 (1), 得到建材生产阶

段节约的碳排放量, 如表 3 所示。

表 3 建材生产阶段的碳排放量

建 材	碳排放量 / kg	采取绿色技术后的碳排放量 / kg	节约碳排放量 / kg
水泥	37 045.43	32 304.31	4 741.12
混凝土	130 487.46	126 371.53	4 115.93
钢筋	83 520.87	83 520.87	0
混凝土加气块	28 642.70	23 629.05	5 013.65
砂	28 021.92	28 021.92	0
涂料	1 615 348.00	1 603 621.20	11 726.80
生石灰	1 471.60	1 405.10	66.50
石灰膏	25 769.95	22 054.42	3 715.53
砖块	200 624.60	200 624.60	0
混合砂浆	17 330.10	14 318.40	3 011.70
水泥砂浆	3 387.80	3 057.30	330.50
总量	2 171 650.43	2 138 928.70	32 721.73

2. 施工建造阶段

在施工建造阶段, 碳排放主要来源于车辆运输建材、现场施工器械运行对能源的消耗以及现场办公生活对能源的消耗。此阶段绿色建筑项目主要建材都是通过汽车来运输的, 根据现场施工运输距离、汽车型号及油耗量等信息, 利用公式 (4) 得到该项目在运输阶段的碳排放量为 9 840.32 kg, 采取绿色技术后的碳排放量为 6 360.52 kg, 运输阶段节约的碳排放量为 3 479.80 kg。

由于水和气的碳排放较小, 可忽略不计, 所以只计算施工现场机械运行消耗的汽油、柴油、电力等能源所产生的碳排放。利用公式 (5), 计算得到施工现场机械运行的碳排放量为 30 427.35 kg, 采用绿色技术后的碳排放量为 21 274.21 kg, 施工现场机械运行节约的碳排放量为 9 153.14 kg, 故施工建造阶段总节约的碳排放量为 12 632.94 kg。

3. 运营维护阶段

运营维护阶段的碳排放主要为建筑物使用过程中电器设备运行消耗能源产生的碳排放。基于 BIM 模型, 在 Revit 模型中设置各部件的材料信息, 然后 GBS 软件可以快捷地从 BIM 软件中导入建筑模型, 利用建筑模型中的海量建筑信息来构建一个相对准确的热模型, 并将模型格式转换为 XML 格式, 在 GBS 软件中确定建筑物所属地理位置等信息后, 即可模拟分析能源消耗等。假设建筑运营时间为 30 年, 得到的模拟结果如下: 此建筑运行过程消耗的电力为 3 357 620 kW, 燃料为 28 743 571 MJ, 年度用水量为 71 483 065 L。该建筑处在化石能源发电以及

水力发电为主的地区,暖通空调主要消耗燃料和电力,而照明主要消耗电力。将各设备的能源消耗量代入公式(6),即可计算得到此楼运营阶段的碳排放量为5 043 486 kg,采用绿色技术后运营阶段的碳排放量为2 755 164 kg,故该楼运营阶段节约的碳排放量为2 288 322 kg。

4. 拆除回收阶段

拆除回收阶段的碳排放主要来源于各种现场施工器械和运输车辆对能源的消耗。结合该楼拆除阶段所使用器械的信息,代入公式(8)(9),可得到拆除回收阶段的碳排放量为31 807.15 kg,使用绿色技术后的碳排放量为11 206.41 kg,故该楼拆除回收阶段节约的碳排放量为20 600.74 kg。

综上,可知本文选取的1#建筑在全生命周期4个阶段通过使用绿色技术分别节约碳排放量为32 721.73, 12 632.94, 2 288 322, 20 600.74 kg。其余项目在全生命周期4个阶段的碳排放削减量和整个生命周期的碳排放削减量也可以用同样的方法得到,结果如表4所示。

表4 参评项目全生命周期各阶段碳排放削减量 t

项目	建材生产阶段	施工建造阶段	运营维护阶段	拆除回收阶段
1#	32.72	12.63	228 8.32	20.60
2#	32.06	12.54	226 8.21	23.10
3#	33.58	13.52	216 4.31	21.07
4#	32.94	11.77	221 7.35	22.36
5#	31.61	11.59	229 2.33	18.96
6#	33.47	12.09	223 1.33	21.98

(二) 项目的个性优势识别

将筛选出的6个有效项目作为标杆参选项目,进入标杆树立阶段。依照公式(10)和(11),得到这6个项目在全生命周期4个阶段的优势权重。现以1#项目为例,举例说明如下。

已知理想标杆 $x^*=(x_1^*, x_2^*, \dots, x_4^*)^T=(1, 1, 1, 1)^T$ 。首先,将全生命周期各阶段碳排放削减量矩阵 $A=[f_{ij}]_{6 \times 4}$ 经公式 $x_{ij}=\frac{f_i - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}$ 进行映射转换,使 $0 \leq x_{ij} \leq 1$,将结果代入公式(10),依据公式(11)求模型解。

第一步,求出 $\lambda_1^*=0.013 0$ 。

第二步,求指标权重。确定 λ_1^* 后,求得各个指标的权重,如 $w_{11}=0.068$,依次求出其他3个指标的权重,最后得到1#项目在全生命周期4个阶段的个性优势权重,依次为(0.068, 0.061, 0.832,

0.036)。其余项目均使用相同的方法得到各自的个性优势权重,结果如表5所示。

表5 参评项目的优势权重

项目	建材生产阶段	施工建造阶段	运营维护阶段	拆除回收阶段
1#	0.068	0.061	0.832	0.036
2#	0	0	0	1
3#	0.500	0.500	0	0
4#	0.217	0.036	0.033	0.714
5#	0	0	1	0
6#	0.411	0.051	0.059	0.467

通过观察表5中的数据,可以快速有效地识别出6个绿色建筑参评项目的优势特征,如表中4#项目的优势权重为(0.217, 0.036, 0.033, 0.714),其中,最大优势特征在拆除回收阶段,为0.714。说明该项目在拆除回收阶段采用绿色技术减少的碳排放量较为突出,比其他阶段更具备优势。再如6#项目在施工建造阶段中的权重相对于其他3个相指标是最低的,说明该项目在此阶段采取的绿色技术方面存在不足,需要改进。同理,每一个项目都能通过表6中的数据直观有效地发现自身存在的优势与不足。

(三) 项目标杆评定

利用公式(12),分别以每一个项目的优势权重对其他所有项目进行评价。如从1#项目的角度,分别对3#项目和4#项目进行评价,经计算得知,由于评价值越小,距离理想的绿色建筑项目越近,所以站在1#项目的角度看,4#项目比3#项目更能提供借鉴的价值。同理,可以得到其他项目的评价结果,如表6所示。

表6 个体标杆评价结果

排名	1#(A)	2#(B)	3#(C)	4#(D)	5#(E)	6#(F)
1	A	B	C	B	E	F
2	E	D	F	D	A	D
3	F	F	D	F	F	B
4	D	A	A	A	D	C
5	C	C	B	C	B	A
6	B	E	E	E	C	E

根据表6中的排序情况,可以评选出各个绿色建筑参评项目的个体标杆。如果站在有利于自身的角度,自己的评价结果往往是最优秀的。但是也有例外,如从4#项目角度出发,排名结果却显示2#项目排名第一,即2#项目是4#项目的个体标杆。所有的项目都可以通过这种方法找到属于自己的个体标杆的。由于个体标杆考虑了每个

项目的意愿, 因此评定结果可作为项目学习和接受的标杆。

然而无论采用哪一组优势权重, 5# 项目始终排在最后, 这就说明此项目的表现落后。

依据公式 (13), 可以得到 6 个项目基于个性优势识别的综合评价结果, 如表 7 所示。

表 7 群体标杆评价结果

排名情况	1	2	3	4	5	6
项目	2#	1#	4#	6#	3#	5#

由表 7 可以看出, #1 项目和 #2 项目在群体标杆评定中也排在前列, 表现良好, 这表明综合表现好的群体标杆通常情况下也是其他评定对象的个体标杆。群体标杆是集合了各项目的评价意见而选取的, 所以它具有权威性和公正性。

五 结论

建筑材料生产阶段及建筑运营维护阶段的碳排放量占建筑全生命周期碳排放总量的 98.47%, 所以这两个阶段是减少碳排放量的重点阶段。运营阶段可以利用平台数据库中的多种建材和设备信息, 通过使用 GBS 能耗分析工具, 调整建筑物的参数, 对各方案进行对比, 使测算碳排放量更为便利。

BIM 凭借自身拥有的大量数据计算得到工程项目建设在全生命周期的不同阶段对环境产生的影响, 并且在处理大量项目数据时实现了由繁入简, 完成了项目各信息之间的共享。动态数据和可视化分析的优势为绿色建筑的设计提供了有价值的决策, 能使其有针对性地对建筑项目全生命周期内采用的绿色技术进行必要的改进或优化。

本文的创新点为: 将 BIM 技术与全生命周期理论相结合, 并运用到建筑项目的环境影响评估中; 将标杆管理方法引入绿色建筑领域, 能有效识别优秀绿色建筑在不同阶段使用了哪些有效的减排措施。对于其他绿色项目而言, 在充分认识自身项目的基础上, 标杆管理的运用也为其提供了学习的榜样。

由于实际工程情况比较复杂, 涉及社会影响、地域、文化、气候等多方面的因素, 本文样本只选取了湖南省地区获得绿色标志的项目, 并未对其他地区的绿色建筑进行研究, 因此本研究具有一定的局限性, 未来将进一步拓展研究对象的范

围, 以使研究更加科学。

参考文献:

- [1] MEADOWS D H, MEADOWS D L, RANDERS J, et al. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 1972, 4(3): 323-332.
- [2] 方精云, 朱江玲, 王少鹏, 等. 全球变暖、碳排放及不确定性 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2011(10): 1385-1395.
- [3] 秦佑国, 林波荣, 朱颖心. 中国绿色建筑评估体系研究 [J]. *建筑学报*, 2007(3): 68-71.
- [4] BIRCH E L. A Review of "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability" and "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change" [J]. *Journal of the American Planning Association*, 2014, 80(2): 184-185.
- [5] SUN L, WANG Q, ZHOU P, et al. Effects of Carbon Emission Transfer on Economic Spillover and Carbon Emission Reduction in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 1432-1442.
- [6] 张陶新, 周跃云, 芦鹏. 中国城市低碳建筑的内涵与碳排放量的估算模型 [J]. *湖南工业大学学报*, 2011, 25(1): 77-80.
- [7] BRIBIÁN I Z, USÓN A A, SCARPELLINI S. Life Cycle Assessment in Buildings: State-of-the-Art and Simplified LCA Methodology as a Complement for Building Certification[J]. *Building & Environment*, 2009, 44(12): 2510-2520.
- [8] LEE K, TAE S, SHIN S. Development of a Life Cycle Assessment Program for Building (SUSB-LCA) in South Korea[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(8): 1994-2002.
- [9] BLENGINI G A, CARLO T D. The Changing Role of Life Cycle Phases, Subsystems and Materials in the LCA of Low Energy Buildings[J]. *Energy & Buildings*, 2010, 42(6): 869-880.
- [10] 管昌生, 张海华, 华虹, 等. 基于 BIM 模型的小高层办公楼建筑节能应用研究 [J]. *绿色科技*, 2013(3): 242-245.
- [11] LI Y F, WANG H C, ZHAO X F, et al. Research on BIM Technology Application in the Construction of a Subway Station[J]. *Applied Mechanics & Materials*, 2013, 405/406/407/408(8): 3396-3400.
- [12] LUO H B, LI B, ZHONG H, et al. Research on the Computational Model for Carbon Emissions in Building Construction Stage Based on BIM[J]. *Structural Survey*, 2012, 30(5): 411-425.

责任编辑: 徐海燕