

装配式建筑绿色度评价指标体系构建

魏明海,马茹萱,李丽红

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:结合装配式建筑、绿色建筑以及绿色度的内涵与特征,基于全生命周期理论,对装配式建筑绿色度的评价方法及内容等进行了研究,构建了适应绿色建筑发展现状的绿色度评价指标体系,并运用评价指标体系对具体工程案例进行了实证分析,为制订装配式建筑绿色度评价标准奠定了基础。

关键词:装配式建筑;绿色度;评价指标体系;全生命周期

中图分类号:TU985 **文献标志码:**A

近年来,面对日益严重的能源危机,提高能源利用率、降低能源消耗水平成为世界范围内共同关注的热点问题^[1]。建筑业作为能源消耗的大户,随着社会发展进行了突破性的技术变革^[2]。大规模推广装配式建筑助推绿色建筑发展能有效应对能源短缺和全球环境问题^[3]。

装配式建筑具有建筑设计标准化、构建生产工厂化、施工装配机械化、组织管理科学化等特征^[4-5],较传统粗放型现浇建筑而言,装配式建筑生产效率高、构件质量好、环保节能、绿色施工,与我国住宅建筑中倡导的“四节一环保”理念相吻合。而绿色建筑在全生命周期基础上,最大限度做到节水、节材、节能、节地、保护环境的同时减少污染^[6]。很多国家建立了符合其绿色建筑发展形势的评估体系^[7-8],其中,英国 BREEAM 绿色建筑评估体系、美国 LEED 绿色建筑评估体系开发历史较长,同时推广最普遍,其他国家地区的评价体系很大程度上是以这两者为基础开发的,我国也于 2006 年颁布了《绿色建筑评价标准》。但是,上述评价体系更多适用于事

后评价和认定,在指导设计阶段的应用还不够完善。故笔者结合装配式建筑和绿色建筑评价体系,提出“装配式建筑绿色度”测算方法。

“绿色度”是衡量产品满足绿色特征的程度,在“四节一环保”基础上融入了社会文化、运行机制等维度^[9-10]。国内外部分学者对其进行了研究,如 B. G. Scott^[11]运用生态足迹法对建筑进行绿色评价研究,侧重建筑资源节约与能源循环利用,延长建筑使用寿命,推动绿色建筑发展;胡云亮^[12]从功能性、生态性、经济性和舒适性上的绿色程度角度构建了公共建筑绿色度评估体系,包括功能绿色度、生态绿色度、经济绿色度、机制绿色度等指标;程凯^[13]构建了住宅建筑生态经济、社会文化和运行机制角度的评价指标体系,并用实际的案例来验证系统的可行性。

一、装配式建筑绿色度评价指标体系的构建

目前,国内外很多学者针对装配式建筑与绿色建筑进行了研究并取得较大进展。笔者借鉴有关学术成果,分析国内外绿色度评

价研究现状,基于全寿命周期理论,将评价指标体系划分为设计、生产、施工、使用与维护
和报废与回收 5 个阶段。

1. 构建原则

(1)科学简明性原则。每个指标必须建立科学的指导方针,并能反映建设过程中的各项评价指标,具体指标应适度复杂,可操作性强。

(2)独立性与整体性并重原则。各组指标独立存在,又相互影响,构成完善的有机整体。

(3)系统性与层次性结合原则。评价体系各目标层之间有紧密逻辑关系,既结构层次鲜明,又有完整的系统性。

(4)全寿命周期原则。全寿命周期理论评价反映了综合评价的思想,有助于发现问题所在环节并及时改进。

2. 评价指标

对装配式建筑进行绿色度评价,将整个建设周期分为设计阶段、生产阶段、施工阶段、使用与维护阶段和报废与回收阶段。在指标评价体系的构建过程中,节材、节能、节水、环境保护等指标在装配式建筑建造的多个阶段均有影响,根据各指标在各阶段影响的显著程度进行划分,为计算简洁,该指标在其他阶段中的影响忽略不计。

(1)设计阶段。该阶段重点关注“节地”因素(土地资源的有效利用、减少对外围环境干扰、选址与城市系统协调)、“文脉”因素(尊重地方文化、提供社区居民的公共活动场所、保护地方文化遗产)和“技术”因素(技术策略适应性)。

(2)生产阶段。该阶段重点关注“节材”因素(材料节约及低“蕴能量”材料使用)、“节能”因素(围护结构节能、提高资源使用效率、利用可再生资源)、“环境保护”因素(降低 CO₂ 排放量、降低 SO₂ 排放量、降低粉尘污染)。

(3)施工阶段。该阶段重点关注“节水”因素(节水器具、中水和雨水回收、生态化污水处理)、“室外环境”因素(绿地率、屋顶绿

化)、“施工文明程度”(噪声、建造垃圾排放、施工方法)。

(4)使用与维护阶段。该阶段重点关注“室内环境”因素(改善通风、提高温度舒适度、提升采光和日照水平)、“运营管理”因素(废弃物收集与处理、节能节水管理、绿化管理)、“评价管理”因素(场地周围居民满意度、施工企业自我评价)。

(5)报废与回收阶段。该阶段重点关注“使用寿命”因素(寿命)、“回收难易”因素(难易程度)。

二、装配式建筑绿色度评价

1. 评价指标权重的确定

采用层次分析法(AHP)对各级指标相对重要程度进行分析,不仅具有严谨的逻辑性,还包括科学的数学处理,计算结果的可信度较高。因此,笔者拟采用 AHP 法确定装配式建筑绿色度评价指标各级权重。

以准则层权重计算为例,准则层主要包括装配式建筑绿色度评价的 5 个阶段,分别为设计阶段、生产阶段、施工阶段、使用与维护阶段以及报废与回收阶段。首先,要建立完整的递阶层次模型;其次,根据资深专家的评价数据构建成对比较的判断矩阵;最后,基于一致性检验,计算得出该层指标权重值。重复实施上述过程,即可得出评价体系全部指标权重值(见图 1)。

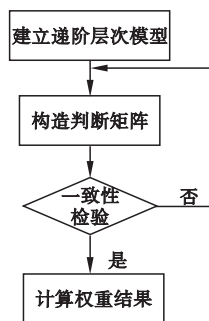


图 1 AHP 法确定指标权重计算过程

(1)构造判断矩阵。组织 20 位该领域内的权威专家对项目的绿色度评价指标体系的指标元素进行打分,根据所得评分结果构造判断矩阵。

(2)一致性检验。该过程的权衡因素为随机一致性比率 CR ,由判断矩阵一致性指标 CI 与平均随机一致性指标 RI 的比值确定。若 $CR < 0.1$,则通过检验;反之,继续调整矩

阵直至满足条件。
综上,计算得到该指标体系各指标权重,如表 1 所示。

表 1 装配式建筑绿色度评价指标体系及指标权重

目标层 G	准则层 A		准则层 B		评价层 C			
	因素	权重	因素	权重	因素	权重		
装配式建筑绿色度 G	设计阶段 A_1	0.109	节地 B_1	0.540	土地资源的有效利用 C_1	0.596		
					减少对外围环境干扰 C_2	0.128		
					选址与城市系统协调 C_3	0.276		
			文脉 B_2	0.297	尊重地方文化 C_4	0.196		
					提供社区居民的公共活动场所 C_5	0.493		
			技术 B_3	0.163	保护地方文化遗产 C_6	0.311		
					技术策略适应性 C_7	1.000		
	生产阶段 A_2	0.317	节材 B_4	0.240	材料节约及低“蕴能量”材料使用 C_8	1.000		
					围护结构节能 C_9	0.691		
			节能 B_5	0.550	提高资源使用效率 C_{10}	0.091		
					利用可再生资源 C_{11}	0.218		
					降低 CO_2 排放量 C_{12}	0.493		
			环境保护 B_6	0.210	降低 SO_2 排放量 C_{13}	0.311		
					降低粉尘污染 C_{14}	0.196		
	节水 B_7	0.625			节水器具 C_{15}	0.109		
			中水、雨水回收 C_{16}	0.582				
			生态化污水处理 C_{17}	0.309				
	施工阶段 A_3	0.295	室外环境 B_8	0.239	绿地率 C_{18}	0.667		
					屋顶绿化 C_{19}	0.333		
					噪声 C_{20}	0.128		
			施工文明程度 B_9	0.136	建造垃圾排放 C_{21}	0.276		
					施工方法 C_{22}	0.596		
					改善通风 C_{23}	0.540		
			室内环境 B_{10}	0.309	提高温度舒适度 C_{24}	0.297		
					提升采光和日照水平 C_{25}	0.163		
					废弃物收集与处理 C_{26}	0.073		
			使用与维护阶段 A_4	0.179	运营管理 B_{11}	0.582	节能节水管理 C_{27}	0.256
							绿化管理 C_{28}	0.671
							场地周围居民满意度 C_{29}	0.500
			报废与回收阶段 A_5	0.100	评价管理 B_{12}	0.109	施工企业自评价 C_{30}	0.500
							使用寿命 B_{13}	0.667
					回收难易 B_{14}	0.333	寿命 C_{31}	1.000
难易程度 C_{32}	1.000							

2. 综合评判

(1)构建评价集

装配式建筑的评价指标大多高于普通建筑,将评价集划分为 4 个等级,并对其赋值:
 $V = (V_1, V_2, V_3, V_4) = \{ \text{优, 良, 合格, 不合格} \} = (4, 3, 2, 1)$

评估元素集为

$U = \{ u_1, u_2, \cdots, u_i \}$

其中, $u_i(i = 1, 2, \cdots, n)$ 为评估对象的第 i 个影响因素。

(2)构建隶属度矩阵

评审团由建设单位、施工单位、群众及相

关专家构成,单因素评价后,通过对调查结果的整理,对 U 中所有元素逐一评价,则得到 $U \times V$ 的隶属度矩阵 R :

$$R = (r_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中, r_{ij} 为第 i 个影响元素对第 j 个评语的隶属度。

(3) 模糊综合评判

依据评价结果,根据不同层次及隶属关系从下向上进行评判。用 AHP 法得到的权重集 W 与模糊评判矩阵 R 构建模型:

$$T = W \times R = (t_1, t_2, \cdots, t_m)$$

模糊综合评估指标 t_i , 通过归一化得以下标准评估结果,

$$T' = (t'_1, t'_2, \cdots, t'_m)$$

最终计算综合评分值:

$$D = T' \times V$$

3. 绿色度计算

根据计算得出的综合评分,通过其隶属度确定针对于总目标的绿色度评价结果。

三、实例分析

沈阳惠生新城项目,总占地面积为 0.0996 km^2 ,建筑面积 0.25 km^2 ,30 栋楼,各 18 层,合计 4 172 户。该项目的完美竣工推进了沈阳市现代建筑产业化发展,并创下全国住宅产业化领域“3 个最”:预制率最高,可达 71%,施工工期最短,仅用 153 d,预制单体工程量最大,可达 5.8 万 m^3 。该项目采用装配式剪力墙体系,节约能源,保护环境;产业整合,产品集成;标准件设计,通用性强;构件工厂生产,产品质量好;现场装配施工,缩短施工周期;机械加工规模大,节省劳动力。现运用模糊综合评价法对该装配式建筑进行绿色度评价。

(1) 组织 20 位该领域内的权威专家对项目的绿色度评价指标体系的指标元素进行打分,得到评价结果。

(2) 构造二级指标判断矩阵 R_{Bi} 。

(3) 单级综合评判 $T_{Bi} = W_{Bi} \times R_{Bi}$ 。

故,

$$T_{B1} = W_{B1} \times R_{B1} = (0.596 \quad 0.128 \quad 0.276) \times \begin{bmatrix} 0.450 & 0.350 & 0.100 & 0.100 \\ 0.250 & 0.350 & 0.400 & 0.000 \\ 0.400 & 0.450 & 0.100 & 0.050 \end{bmatrix} = (0.411 \quad 0.378 \quad 0.138 \quad 0.073)$$

$$T_{B2} = W_{B2} \times R_{B2} = (0.346 \quad 0.330 \quad 0.246 \quad 0.109)$$

$$T_{B3} = W_{B3} \times R_{B3} = (0.300 \quad 0.350 \quad 0.300 \quad 0.050)$$

$$R_{A1} = \begin{bmatrix} T_{B1} \\ T_{B2} \\ T_{B3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.411 & 0.378 & 0.138 & 0.073 \\ 0.346 & 0.330 & 0.246 & 0.109 \\ 0.300 & 0.350 & 0.300 & 0.050 \end{bmatrix}$$

$$T_{A1} = W_{A1} \times R_{A1} = (0.540 \quad 0.297 \quad 0.163) \times (0.373 \quad 0.359 \quad 0.188 \quad 0.080)$$

其中, T_{B1} , T_{B2} , T_{B3} 分别为设计阶段 A_1 中 3 个一级指标的模糊评估矩阵; R_{A1} 为 A_1 阶段绿色度评价指标体系的模糊关系矩阵; T_{A1} 为准则层的一个指标模糊评估矩阵。

同理,可整理得出:

$$R = \begin{bmatrix} T_{A1} & T_{A2} & T_{A3} & T_{A4} & T_{A5} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0.373 & 0.359 & 0.188 & 0.080 \\ 0.316 & 0.383 & 0.221 & 0.080 \\ 0.265 & 0.422 & 0.294 & 0.019 \\ 0.454 & 0.416 & 0.112 & 0.018 \\ 0.417 & 0.383 & 0.183 & 0.017 \end{bmatrix}$$

(4) 高层次的综合评判。

$$T = W_G \times R =$$

$$(0.109 \quad 0.317 \quad 0.295 \quad 0.179 \quad 0.100) \times$$

$$R = (0.342 \quad 0.398 \quad 0.216 \quad 0.044)$$

(5) 求项目绿色度。

项目综合评分为:

$$D = T \times V = (0.342 \quad 0.398 \quad 0.216 \quad 0.044) \times (4 \quad 3 \quad 2 \quad 1)^T = 3.038$$

项目绿色度为

$$E = \frac{D}{4} \times 100\% = \frac{3.038}{4} \times 100\% = 75.95\%$$

即该装配式建筑绿色度为 75.95%,绿色度良好。

四、结 论

(1) 利用模糊层次分析法对装配式建筑

绿色度进行综合评价。经研究论证,评价指标体系相对可行和有效,具有一定的科学合理性。

(2)装配式建筑绿色度评价指标体系并不是终结性评价,不仅可以在项目建成之后评估鉴定,也可作为设计和施工的指导依据。

(3)在建筑绿色度综合评价中,注重经济与生态建设,同时,关注社会文化因素和运营管理,能有效评价装配式建筑的绿色度。

(4)通过对实际项目进行绿色度评价,能为装配式建筑的效益研究提供新思路和数据支持。

参考文献:

- [1] ASSAD M, HOSNY O, ELHAKEEM A, et al. Green building design in Egypt from cost and energy perspectives[J]. Architectural engineering & design management, 2015(1): 21–40.
- [2] YUYA K, TOSHIHIRO I, THONG N G. Analysis of building environment assessment frameworks and their implications for sustainability indicators[J]. Sustainability science, 2011, 6(2): 233–246.
- [3] LI B Z, YAO R M. Building energy efficiency for sustainable development in China – challenges and opportunities[J]. Building research & information, 2012, 40(4): 417–431.
- [4] 吕青. 装配式节能建筑经济评价体系模型

- [J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2011(3): 303–306.
- [5] 齐宝库, 李长福. 装配式建筑施工质量评估指标体系的建立与评估方法研究[J]. 施工技术, 2014(8): 20–24.
- [6] 鲍学英, 王起才, 王恩茂. 基于模糊层次分析法的建筑绿色度评价研究[J]. 生态经济, 2013(5): 298–300.
- [7] OSAJI E E, SURESH S, CHINYIO E. The role of building energy and environmental assessment in facilitating office building energy-efficiency[J]. Sustainability in energy and buildings, 2013, 22: 679–704.
- [8] CASTRO L. Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia[J]. Building and environment, 2009(6): 1627–1633.
- [9] 周庆, 邵高峰, 赵青龙, 等. 建筑外墙涂料的绿色度评价研究[J]. 新型建筑材料, 2011(9): 1–4.
- [10] 肖娟. 绿色公共建筑运行性能后评估研究[D]. 北京: 清华大学, 2013.
- [11] SCOTT B G. Green building valuation and materials efficiency[J]. Construction information quarterly, 2009(9): 132–139.
- [12] 胡云亮. 大型公共建筑绿色度评价研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [13] 程凯. 建筑绿色度评价指标体系研究[J]. 合作经济与科技, 2011(7): 10–11.

Green Degree Construction on Evaluation Index System of Fabricated Building

WEI Minghai, MA Ruxuan, LI Lihong

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: With connotation and characteristics of fabricated buildings, green buildings and green degree, this paper investigates the methods and details of green degree evaluation for fabricated buildings based on the life cycle theory. The evaluation index system of green degree corresponding to the current situation of development for green buildings has been established, by which the practical case studies have been empirically analyzed and the analysis results can lay a foundation for developing green degree evaluation standards of fabricated buildings.

Key words: fabricated construction; green degree; evaluation index system; life cycle theory