

基于云模型的装配式建筑可持续发展评价

李国昌, 马涛, 章蓓蓓

(安徽建筑大学 经济管理学院, 安徽 合肥 230601)

摘 要: 可持续发展理念是一种获得当今世界各国和各技术领域普遍认可的新型科学发展观, 在当前我国大力推广使用装配式结构建筑的背景下, 装配式建筑的安全可持续发展日益凸显其重要性。依据全生命周期理论, 研究根据装配式建筑的特点将装配式建筑全生命周期分为设计、生产运输、施工、使用与维护、报废与回收 5 个阶段, 采用文献研读和专家访谈法对使用频度较高的指标进行筛选及调整共得到 36 个指标, 从而构建出装配式建筑可持续发展评价指标体系, 通过 C-OWA 算子和熵值法得到综合权重, 结合云模型理论对装配式建筑可持续发展进行综合评价。

关键词: C-OWA 算子; 熵值法; 云模型; 装配式建筑; 可持续发展;

中图分类号: TU391

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382 (2021) 02-015-06

Sustainable Development Evaluation of Prefabricated Buildings Based on Cloud Model

LI GUOchang, MA TAO, ZHANG BEIbei

(School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Heifei 230601, China)

Abstract: The concept of sustainable development is a new type of scientific development concept widely recognized by all countries and various technical fields in the world. Under the background of vigorously promoting the use of prefabricated structures in China, the safety and sustainable development of prefabricated buildings has become increasingly important. Research based on the theory of whole life cycle, according to the characteristics of the prefabricated construction the whole life cycle of prefabricated construction is divided into design, production transportation, construction, operation and maintenance, scrap and recycling five stages, by the method of literature study and expert interview, the use of high frequency of screening and adjustment in 36 indicators, so as to build a prefabricated building evaluation index system of sustainable development, through the C-OWA operator and get comprehensive weighted entropy value method, based on theory of cloud model, prefabricated construction is used to evaluate the sustainable development.

Key words: C-OWA operator; entropy value method; cloud model; prefabricated buildings; sustainable development;

“十九大”之后, 中国开始了全面建设社会主义现代化国家的新征程, 装配式建筑的发展迎来了新的机遇, 同时也面临着新的挑战。移动互联网、云计算、大数据与建筑行业的深度整合促进了建筑方式的转型, 整个产业链设计、生产与建设流程加快了装配式建筑企业的发展, 对装配式建筑的需求

也在急剧增加。2017 年 7 月住房和城乡建设部发布《“十三五”装配式建筑行动方案》, 提出统筹发展装配式建筑设计、生产、施工及设备制造、运输、装修和运行维护等全产业链, 增强产业配套能力。现在各个地方都在努力推进装配式建筑的实际应用, 但是由于装配式建筑产业链成熟度不高、信息不对

收稿日期: 2020-09-14

基金项目: 安徽省教育厅重点项目 (SK2017A0556)。

作者简介: 李国昌 (1963-), 男, 副教授, 主要从事投资项目决策分析与评价研究。

等、相关人才和产业技术工人资源缺乏、过程管理机制缺失等问题,使得装配式建筑可持续化发展停滞不前。因此,为促进装配式建筑的可持续发展应用,有必要建立一个科学的评价体系。

1 装配式建筑可持续发展的概念及内涵

1987 年世界环境与发展委员会提出了“可持续发展”的概念^[1]。对于装配式建筑可持续发展,当前还没有一个统一的概念,研究在对可持续发展内涵的学习和理解的基础之上,根据装配式建筑的特点,做出相应的装配式建筑可持续发展概念界定。研究认为装配式建筑可持续发展是一种度,用来描述装配式建筑在全生命周期中的一种客观状态,这种状态是装配式建筑自身所固有的特性。

从系统科学的角度来看,装配式建筑的可持续发展需要从宏观到微观,从政策到技术的一系列支持和保证。应该进一步明确可持续发展的内涵,以提供制定政策、引入限制规定、技术研发、开拓市场等决策方面的支持。研究将装配式建筑可持续发展的内涵剖析为安全可靠、低碳环保、智能化、引导产业发展四个方面。

安全可靠贯穿于装配式建筑的全生命周期,可分为规划安全、建设安全和运营安全。规划安全应当以不同发展阶段的要求为基础,建立不同的安全规划目标,以作为建设和运营安全规则制定的基础。建设安全不仅要保证建设流程的安全,而且要保证工程质量,需要专业的、标准化的技术转让、操作指南和管理系统。运营安全要对“人、机器、环境和管理”四个方面进行分析和管理的,及时识别安全问题和风险点,迅速制定相应的战略措施,以减少风险,改善安全。可持续的装配式建筑应该是低碳环保建筑,低碳环保包含环境友好和低能耗。“环境友好”是为了减少装配式建筑在全生命周期内对外部环境造成的负面影响。“低能耗”是指从装配式建筑装备到运行管理的一系列环节中,对节能减排提出的要求。智能化是装配式建筑安全和效率的重要保证,是对管理者和使用者的智能。装配式建筑应当引领产业的发展,装配式建筑发展的各个方面都与工业发展密切相关,工业开发水平不应是装配式建筑发展的瓶颈,而应该主动适应其发展。

2 装配式建筑可持续发展评价指标体系建立

指标的构建应反映装配式建筑的标准化程度,构建原则应从整体上把握装配式建筑的可持续发展,给予合理的评价。装配式建筑可持续发展评价指标的选择,一般遵循科学性、可操作性、多样性、层次性和完整性这五项基本原则。

通过全生命周期过程这一理论可以将装配式建筑可持续评价划分为产品设计、生产与运输、施工、使用与日常维护和材料报废与资源回收 5 个主要阶段。通过整理相关文献,分析现有众多学者的研究成果,对其中实用性指标进行统计分析。在此基础上,对使用频度较高的指标进行筛选及调整,最终得到装配式建筑可持续发展指标评价体系。

在设计阶段,首先证明项目的可行性,其次强调体现土地集约性,为将周边环境的危害降到最低,应该持续改善土地资源的利用效率。建筑所处的空间位置是否合理,所需技术设备是否满足要求也需要在设计阶段充分考虑。通过文献整理得到项目净现值、动态投资回收期、环境适应性、选址与城市系统协调、设备技术水平、预制率、能源消耗率、土地利用效率、原材料利用率 9 个指标。齐宝库^[2]认为环境适应性、选址与城市系统协调、设备技术水平、预制率对于装配式建筑的设计阶段影响较大;刘喆^[3]认为能源消耗率、土地利用效率、原材料利用率对于装配式建筑的设计阶段影响较大。

在生产运输过程中,资源的不充分使用会造成环境施工过程中的耗能,各种污染物的排放都会对环境产生影响。在节能、环保的同时预制件的生产和运输的成本应重点考虑。通过文献整理得到构件生产成本、构件运输成本、废料产生量、废水排放量、生产机械化程度、材料节约及低碳材料使用率、水资源利用率 7 个指标。徐雨濛^[4]认为构件生产和运输成本、生产机械化程度、废料和废水排放量、材料节约及低碳材料使用率、水资源利用率对于生产运输阶段影响很大。

在施工阶段,要提高节约水资源的意识和重要度,强调雨水和污水的再利用。在施工过程中,要提高室外因素的重要性,尽量提高周边绿地的占比面积,同时满足文明建筑施工的要求。通过文献

整理得到构件安装成本、噪声污染程度、扬尘排放量、固废排放量、污水排放量、碳排放量、绿化率、工人技术熟练度、机械节能率 9 个指标。郑玉婷^[5]认为构件安装成本、噪声污染程度、扬尘排放量、固废排放量、污水排放量、碳排放量、机械节能率对于施工阶段的影响较大。

使用和维护阶段应改善室内环境,提升室内环境的舒适度,同时要注重运营管理以及废弃物的收集和处理,实现水资源的有效利用,并确保良好的绿化效果。通过文献整理得到运营维护费、垃圾回收处理能力、室内自然采光系数、室内新风率、污水水回收利用率、居民满意度 6 个指标。杨苏^[6]认为室内自然采光系数、室内新风率、污水水回收利用率在使用和维护阶段比较重要。

报废与维护阶段主要考虑建筑的使用年限、回收阶段的技术设备水平以及建材的重复利用情况。

通过对各阶段的分析以及文献阅读,并且结合专家意见,最终得到表 1 装配式建筑可持续发展指标评价体系。

表 1 装配式建筑可持续发展指标评价体系

目标层	准则层	指标层
装配式建筑可持续发展指标评价体系 D	设计阶段 A ₁	项目净现值 F ₁₁ 、动态投资回收期 F ₁₂ 、环境适应性 F ₁₃ 、选址与城市系统协调 F ₁₄ 、设备技术水平 F ₁₅ 、预制率 F ₁₆ 、能源消耗率 F ₁₇ 、土地利用效率 F ₁₈ 、原材料利用率 F ₁₉
	生产运输阶段 A ₂	构件生产成本 F ₂₁ 、构件运输成本 F ₂₂ 、废料产生量 F ₂₃ 、废水排放量 F ₂₄ 、生产机械化程度 F ₂₅ 、材料节约及低碳材料使用率 F ₂₆ 、水资源利用率 F ₂₇
	施工阶段 A ₃	构件安装成本 F ₃₁ 、噪声污染程度 F ₃₂ 、扬尘排放量 F ₃₃ 、固废排放量 F ₃₄ 、污水排放量 F ₃₅ 、碳排放量 F ₃₆ 、绿化率 F ₃₇ 、工人技术熟练度 F ₃₈ 、机械节能率 F ₃₉
	使用与维护阶段 A ₄	运营维护费 F ₄₁ 、垃圾回收处理能力 F ₄₂ 、室内自然采光系数 F ₄₃ 、室内新风率 F ₄₄ 、污水水回收利用率 F ₄₅ 、居民满意度 F ₄₆
	报废与回收阶段 A ₅	建筑使用年限 F ₅₁ 、建筑物净残值率 F ₅₂ 、固废回收量 F ₅₃ 、回收设备技术水平 F ₅₄ 、建材再生利用率 F ₅₅

3 基于云模型的综合评价

3.1 云模型概念及应用

云模型^[7]是以综合概率和模糊数学理论为

基础的质量概念和定量数值变换模型。通过期望 (Ex)、熵 (En) 和超熵 (He) 的三个数值特性,有机地结合评价对象的模糊、随机以及不连续性,实现不确定性和定量价值概念之间的自然转换。

目前在决策领域中使用云模型的研究相对较少。虽然一些研究人员^[8]在准则值用语偏好的决策问题上使用浮动云进行集合,并根据云图的相对贴程度来决定解决方案的排名,这种方法仍然存在一定的局限。部分学者^[9]对复杂系统的评价过程很感兴趣,以云模式为基础,构建了定性变量与定量变量转换方法,通过多重条件及多规则生成器,将定性变量及定量变量在不同条件下变换,最终确保测试对象的质量水平。部分学者^[10]在综合评价中考虑运用云权重,但是在激活相同的云模式时,如果有其他的准则值参与,就无法解决排名问题。

3.2 评价等级界定以及指标权重的确定

为了将装配式建筑可持续发展的评价进行量化处理,研究将评价标准划分为 5 个等级,分别为优秀、良好、合格、差、极差。根据指标评价体系可知其评价指标众多,评价结果易受指标主观赋权的影响。所以,本文运用以组合数为基础的加权平均运算 C-OWA,以减少专家主观偏好所引起的负面影响。但是使用该方法所得到的指标权重与位置有较大关系,这使得结果准确性降低,熵权法弥补了这一缺陷。所以,本文综合 C-OWA 算子和熵权法来计算权重,方法如下:

(1) 邀请行业 n 个专家对同一阶段所包含的指标的影响度评分,指标 C 的数据集为 $(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$, 把这一数据集从大到小的依次重新排列,并从 0 开始标号得到 $b_0 \geq b_1 \geq b_2 \geq \dots \geq b_j \geq \dots \geq b_n$, 即: $(b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$ 。

(2) 计算 b_j 的加权向量为:

$$w_{j+1} = \frac{C_{n-1}^j}{\sum_{k=0}^{n-1} C_{n-1}^k} = \frac{C_{n-1}^j}{2^{n-1}}, j = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (1)$$

式中, C_{n-1}^j 表示从 $n-1$ 个数据中取出 j 个数据的组合数。

(3) 确定绝对权重,可表示为:

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot b_j, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

(4) 计算相对权重,可表示为:

$$\alpha_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^m \bar{w}_i}, i=1,2,3,\dots,m \quad (3)$$

(5) 将 n 个专家的评分结果构造成 $R = (r_{xi})_{mn}$, 其中 r_{xi} 表示第 x 个专家对第 i 个指标的评分。将 R 矩阵标准化处理后得 $R' = (r'_{xi})_{mn}$;

(6) 计算第 i 个指标的熵值 e_i 为:

$$e_i = -k \sum_{x=1}^n P_{xi} \cdot \ln(P_{xi}) \quad (4)$$

式中 $P_{xi} = \frac{r_{xi}}{\sum_{x=1}^n r_{xi}}, k = \frac{1}{\ln n}$, $\ln$ 为自然对数, 且

$0 \leq e_i \leq 1$ 。

(7) 计算第 i 个指标的熵权 β_i 为:

$$\beta_i = \frac{1-e_i}{\sum_{i=1}^m (1-e_i)} \quad (5)$$

(8) 结合 C-OWA 算子和熵权法, 计算综合权重为:

$$\lambda_i = \frac{\alpha_i \beta_i}{\sum_{i=1}^m \alpha_i \beta_i} \quad (6)$$

3.3 评价标准云和评价综合云

结合上面的评价标准, 构建一个评价域并分成多个区间, 第 i 个区间的阈值 $[x_i^{\min}, x_i^{\max}]$, 其相应的评价标准云的数据特征值为 (E_{xi}, E_{Ni}, H_{Ei}) 。

$$E_{xi} = (x_i^{\max} + x_i^{\min}) / 2, E_{Ni} = (x_i^{\max} - x_i^{\min}) / 2\sqrt{2\ln 2}, H_{Ei} = k \quad (7)$$

邀请 m 个专家对 n 项指标打分 $D_i = (d_{i1}, d_{i1}, \dots, d_{ij}, \dots, d_{in})$, 其 $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$, 结合下式计算得到所有指标的评价云, 其中第 j 个指标的评价云为 $C_j = (E_{xj}, E_{nj}, H_{ej})$ 。

$$E_{xj} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_{ij}, E_{nj} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |d_{ij} - E_{xj}|, H_{ej} = \sqrt{S_j^2 - E_{nj}^2}, j=1, \dots, n \quad (8)$$

$$E_X = \sum_{j=1}^n (E_{xj} \cdot \gamma_j), E_N = \sqrt{\sum_{j=1}^n (E_{nj} \cdot \gamma_j)}, H_E = \sum_{j=1}^n (H_{ej} \cdot \gamma_j) \quad (9)$$

式中 $S_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (d_{ij} - E_{xj})^2$ 。按照上述公式

将综合权重 γ_j 对评价指标 $C_j = (E_{xj}, E_{nj}, H_{ej})$ 进行

加权, 即可得到装配式建筑可持续发展综合评价云 $C = (E_X, E_N, H_E)$ 。

3.4 计算相似度并确定评价等级

运用 MATLAB 软件, 通过上述公式计算评价综合云 $C = (E_X, E_N, H_E)$ 与各等级的标准云 $cloud_i = (E_{xi}, E_{ni}, H_{ei})$ 之间的云相似度 δ_i , 相似度越大则意味着该装配式建筑可持续发展评价与该评价等级越接近, 反之则隶属度越低。

4 实证分析

4.1 工程概况

实证分析所选项目是青岛开发区一所小学, 这是青岛第一座组合式公共建筑, 主要为教学楼和体育馆, 教学楼 20 084.61 m², 体育馆 27 863.62 m²。土地面积 36 721.50 m², 总建设时间为 300 天。建筑的整体装配式比率为 34%, 装配式比率为 43%。^[11]

4.2 确定评价标准并计算评价标准云

结合该教学项目的实际开展情况, 将该项目的可持续发展评价等级标准划分确定为 5 个基本等级, 分别为优、良、一般、差、极差, 设定五个评分等级阈值均值为 [0, 10]。吕辉军^[12]认为逆向云函数发生器的计算准确度与 x 和 he 的绝对值误差有着密切的相互关系, 如果设为 $en/he > 10$, ex 的绝对误差大约为 0.01 以下, en/he 的相对误差大约为 2% 以下, he 的相对误差为 10% 以下, 认为 0.04 是可以满足要求的。根据公式 (7), 可得到评价等级的云模型的特征参数, 如表 2 评价等级及对应云模型所示。

表 2 评价等级及对应云模型

等级划分	区间划分	云模型
优	[9, 10]	(9.5, 0.425, 0.04)
良	[7, 9]	(8.0, 0.849, 0.04)
一般	[5, 7]	(6.0, 0.849, 0.04)
差	[3, 5]	(4.0, 0.849, 0.04)
极差	[0, 3]	(1.5, 1.274, 0.04)

4.3 计算综合权重和综合评价云

从专家库中选取 15 名专家进行评价, 专家均具有建筑领域丰富的专业知识, 对装配式建筑有深层次研究和类似评估经验, 对评价体系的各项指标进行打分, 并结合相关项目的数据计算各项指标的

组合权重。将专家对各指标的评估结果带入公式(8),计算出各指数的指数云,计算结果如表 3 各指标权重和指标云所示。

表 3 指标权重和指标云

指标	C-OWA 算子	熵权法	综合权重	指标云
F11	0.0254	0.016	0.0147	(7.13,1.802,0.742)
F12	0.0242	0.036	0.0313	(7.60,1.825,0.888)
F13	0.0269	0.021	0.0203	(7.00,1.611,0.771)
F14	0.0298	0.006	0.0067	(7.93,0.859,0.573)
F15	0.0273	0.025	0.0243	(7.27,1.360,0.705)
F16	0.0306	0.020	0.0223	(8.00,1.611,0.407)
F17	0.0226	0.050	0.0408	(6.87,2.136,0.661)
F18	0.0248	0.012	0.0111	(6.80,1.503,0.812)
F19	0.0316	0.003	0.0034	(7.73,0.620,0.332)
F21	0.0309	0.045	0.0501	(6.93,2.601,1.061)
F22	0.0294	0.015	0.0163	(7.47,1.837,0.907)
F23	0.0271	0.046	0.0451	(6.13,2.004,0.499)
F24	0.0247	0.040	0.0361	(6.00,1.790,0.893)
F25	0.0297	0.021	0.0223	(6.93,1.885,0.879)
F26	0.0279	0.022	0.0224	(6.80,1.933,0.996)
F27	0.0264	0.025	0.0238	(6.40,1.790,0.481)
F31	0.0280	0.068	0.0685	(7.07,3.293,1.532)
F32	0.0275	0.025	0.0244	(6.80,2.004,0.839)
F33	0.0258	0.063	0.0586	(5.73,2.577,1.002)
F34	0.0285	0.022	0.0227	(6.93,1.909,0.929)
F35	0.0278	0.031	0.0308	(6.53,2.195,1.060)
F36	0.0258	0.026	0.0245	(6.40,2.004,1.023)
F37	0.0250	0.041	0.0374	(6.27,1.957,0.817)
F38	0.0296	0.033	0.0357	(6.80,2.076,0.651)
F39	0.0334	0.049	0.0598	(6.80,2.434,0.569)
F41	0.0297	0.024	0.0261	(6.93,2.052,0.927)
F42	0.0287	0.016	0.0162	(7.07,1.694,0.813)
F43	0.0300	0.020	0.0212	(6.93,1.861,0.827)
F44	0.0268	0.016	0.0153	(6.40,1.432,0.470)
F45	0.0268	0.015	0.0148	(6.53,1.408,0.033)
F46	0.0291	0.051	0.0535	(6.27,2.219,0.377)
F51	0.0284	0.042	0.0434	(6.67,2.386,0.861)
F52	0.0293	0.016	0.0169	(6.93,1.694,0.813)
F53	0.0280	0.008	0.0076	(6.80,1.289,0.795)
F54	0.0283	0.021	0.0213	(6.67,1.790,0.732)
F55	0.0241	0.012	0.0100	(6.53,1.312,0.559)

将各指标的评价云与组合权重代入(9),可得到该项目的综合云 $C=(6.721,1.447,0.8096)$,其云图如图 1 所示。通过云图可以较为清晰地看出该教学项目的可持续发展的评价介于一般与良好之间,为了进一步确定该教学项目的可持续发展程度,还需要结合相似度进行验证。

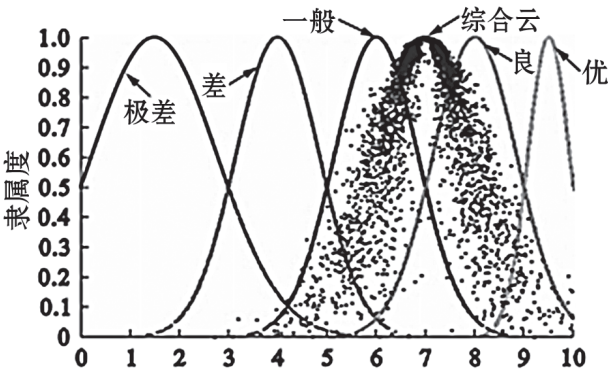


图 1 评价综合云图

4.4 计算相似度并确定评价等级

对综合云 $C=(6.721,1.447,0.8096)$ 和 5 个标准云间的相似度进行计算和评价。通过计算可以发现综合云 C 与标准云 $Cloud_3$ 最相似,所以项目可持续发展的评价等级为一般。

5 结论

本文从生命周期的各阶段入手,对比各种方法,最后采用 C-OWA 算子和熵值法来求得组合权重,使用云模型对装配式建筑可持续发展进行综合评价,这样能够较快发现各阶段的问题并提出解决办法。C-OWA 算子和熵值法的共同使用减小了极端情况对于权重的影响,同时两种方法相互弥补,从而使得权重更加准确。模型的选择对于评价也尤为重要,通过多方面,多方位的对比,本文选用云模型,该模型较好解决了不确定性这一问题,使得从定性评价转变为定量评价的成为可能,为今后装配式建筑可持续发展评价提供了借鉴。最后,将模型运用于实际项目,通过对青岛开发区一所小学的综合评价,证明了文中的模型是可以准确评估其可持续发展能力水平,为装配式建筑行业健康、稳定、协调、可持续发展提供了一定的借鉴。

参考文献

- [1] 石振武,王金茹.绿色供应链视角下装配式建筑可持续性评价研究[J].工程管理学报,2020,34(2):32-37.
- [2] 齐宝库,朱娅,范伟阳.装配式建筑全寿命周期风险因素识别方法[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2016,18(3):257-261.
- [3] 刘喆,刘娜,周瑞,等.基于 SEM 的装配式建筑设计阶段风险研究[J].工程管理学报,2019,33(5):40-44.
- [4] 徐雨濛.我国装配式建筑的可持续性发展研究[D].武汉:武汉工程大学,2015.
- [5] 郑玉婷.装配式建筑可持续发展评价研究——以恒盛大厦为例[D].西安:西安建筑科技大学,2018.
- [6] 杨苏,江影影.基于全寿命周期理论的装配式建筑绿色度评价[J].安徽工程大学学报,2020,35(1):85-94.
- [7] 李德毅,杜鹁.不确定性人工智能[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [8] Zhang S L.A model for evaluating computer network security systems with 2-tuple linguistic information[J]. Computers & Mathematics With Applications,2011,62(4):1916-1922.
- [9] 韩二东.不确定语言及直觉模糊信息的多属性群决策方法研究[D].西安:西北工业大学,2016.
- [10] 司艳杰,魏法杰.基于直觉模糊优选模型的混合型多属性决策[J].系统工程与电子技术,2009,31(12):2893-2897.
- [11] 王志强,张樵民,吕云翔.基于云模型的装配式混凝土建筑施工质量综合评价[J].混凝土,2020(3):138-141,145.
- [12] 吕辉军,王晔,李德毅,等.逆向云在定性评价中的应用[J].计算机学报,2003,26(8):1009-1014.
- [13] Guerra Santin O.Environmental assessment of construction trends in Mexico:towards sustainable building?[J]. Structural Survey,2009,27(5):361-371.
- [14] 刘喆,刘娜,董坤,等.装配式建筑一体化发展问题研究[J].智能建筑与智慧城市,2019(11):122-124.
- [15] 赵为民,古小英,张超,等.装配式建筑评价方法对比研究[J].施工技术,2018,47(12):10-16.
- [16] 赵金先,李龙,刘敏.基于 OWA 算子赋权的地铁工程项目管理绩效灰色评价[J].建筑经济,2014,35(9):125-129.
- [17] 苟志远,张丽敏,徐瑛莲,等.基于组合赋权云模型的装配式建筑安全风险评价[J].数学的实践与认识,2020,50(7):302-310.
- [18] 张逢雨,谢俊燕.基于云模型的装配式建筑供应链风险评价[J].智能建筑与智慧城市,2020(3):123-124.
- [19] 刘子琦,张云宁,欧阳红祥,等.基于云物元理论的装配式建筑供应链可持续性评价[J].土木工程与管理学报,2020,37(3):109-115,122.
- [20] 任晓宇,周亚萍,郭树荣.全生命周期视角下装配式建筑可持续发展评价体系研究[J].建筑经济,2019,40(9):95-99.
- [21] 高德生,张云宁,欧阳红祥,等.供应链管理视角下装配式建筑可持续发展分析[J].工程管理学报,2019,33(4):15-20.
- [22] 回慧娴,金海,刘广平.基于灰色聚类方法的我国装配式建筑发展评价研究[J].工程管理学报,2019,33(4):26-31.
- [23] 陈丹丹.装配式建筑产业链形成及影响因素研究[D].长春:吉林建筑大学,2019.
- [24] 李德智,李欣.基于解释结构模型的装配式建筑驱动因素研究[J].建筑经济,2019,40(1):87-91.
- [25] 安建良.装配式建筑可持续发展影响因素分析[J].山西建筑,2018,44(21):15-16.