

绿色建筑增量成本的影响因素研究 ——基于灰色加权关联度模型

赵维树, 夏思寒, 章蓓蓓

(安徽建筑大学 经济与管理学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 目前绿色建筑在我国已经进入黄金发展期, 而增量成本过高是制约绿色建筑进一步发展的主要原因。利用灰色关联分析法和AHP层次分析法相结合构建灰色加权关联度模型, 对增量成本影响因素进行分析, 提取出碳减排技术水平、地域因素、政府激励政策这三个主要影响因素, 并在此基础上提出控制绿色建筑增量成本的对策, 为绿色建筑的发展提供一定的理论依据。

关键词: 绿色建筑; 增量成本; 灰色关联分析法; AHP层次分析法

中图分类号: TU201.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-9617(2020)02-0047-06

近年来, 由于全球环境污染和能源消耗的加剧, 世界各国陆续开始推广可持续发展的绿色建筑产业。我国自上个世纪90年代开始初步进入绿色建筑的探索阶段, 经过一段时间的摸索与研究, 如今已进入发展的黄金时期。截止至2016年底, 我国绿色建筑的建设面积累计超过8亿平方米^[1], 但相比于我国总建筑面积而言还不是很高。绿色建筑的发展受到诸多因素的限制, 其中很大的一个限制因素就是绿色建筑的增量成本, 增量成本较高导致很多开发商不愿投资绿色建筑产业。

随着绿色建筑的发展, 针对绿色建筑增量成本的学术研究也取得了一定的成果。例如, 柴径阳、黄蓓佳等对绿色建筑增量成本的构成进行分解, 初步分析了区域差异对其造成的影响如何, 得出区域绿色建筑技术选用和补贴政策的差异是影响绿色

建筑增量成本的主要因素^[2]; 王荆等从绿色建筑影响主体的角度, 构建政府、企业、消费者的演化博弈模型, 得出三者之间相互影响、相互制约从而影响增量成本的结论^[3]; 杨守昆等采用模糊聚类法和WLSM-熵权法相结合的方法, 从经济、政策、社会、技术、管理等方面对影响绿色建筑发展的因素进行了系统地分析, 得出激励性政策完善程度、政策执行力、消费需求、绿色建筑技术成果转化应用等因素对增量成本起主要影响作用的结论^[4]。

从文献研究中可以看出, 目前绝大多数研究的重心还是放在绿色建筑增量成本的组成成分和其影响因素的定性分析上, 定量分析有所缺乏, 并且没有从其中找出影响程度较大的、可说明性较强的影响因素, 因此也无法有针对性的做出对增量成本进行控制的对策。因此, 本文在前人的研究基础

收稿日期: 2019-12-23

基金项目: 重大工程社会责任全生命周期动态评价及治理研究(SK2019ZD51)

作者简介: 赵维树(1963-), 男, 安徽六安人, 副教授。

上,选取若干个影响因素指标,将灰色关联分析法和AHP层次分析法相结合构建灰色加权关联度模型,对影响因素进行定量分析,得出对增量成本影响程度较大的影响因素,并针对其制定相应的控制对策。

一、影响因素指标选取

从经济学的角度上出发,绿色建筑增量成本就是绿色建筑项目总成本和普通建筑项目总成本之间的差值^[5]。具体而言,绿色建筑增量成本是在原本的建筑基础上采用先进绿色的技术、方案、管理手段等进行绿色建筑建造所增加的成本。影响绿色建筑增量成本的因素非常多,对每一个影响因素逐个分析并不实际,因此本文在文献分析研究的基础上,选取以下8个影响因素作为模型分析指标:

(1)节材技术措施(X1):我国的传统建筑多是采用现浇方法现场制作构配件,回收拆除阶段建筑材料的回收利用率低,并且伴随着大量建筑垃圾的产生。相较而言,在绿色建筑中,使用环保绿色的建筑材料、工厂加工可循环利用构配件的技术措施,能够大大提升建筑材料的回收利用率并减少产生建筑垃圾,从而能够抵消其相对于传统建筑较高的前期成本。

(2)节水技术措施(X2):我国地广人多,水资源总量虽多,但人均用水量却远低于世界其他各国人均用水量的平均水平。而相较于传统建筑,绿色建筑可以采用滴灌渗透、中水回用系统和节水器具等技术措施节约用水,使水资源能够得到充分利用,有助于建设现场水环境的良性循环。

(3)节能技术措施(X3):随着全球变暖现象的不断加剧,全国各地城市建筑的能源消耗不断增多^[6]。而绿色建筑能够采用先进的围护结构、照明系统和高效能设备以及利用新兴可再生能源来减少能源消耗,提高能源使用效率,从而在这方面有效地控制绿色建筑增量成本的增加。

(4)地域因素(X4):随着我国相关政策的不

断出台,越来越多的城市走上了发展绿色建筑的道路。然而由于各地经济发展水平参差不齐,绿色建筑发展理念并不一致,导致各地的绿色建筑增量成本相差较大。往往在经济发达的地区,其绿色建筑数量多,绿色建筑增量成本反而低,反之亦然。

(5)运营管理因素(X5):作为《绿色建筑评价标准》的评价标准之一,运营管理水平的高低对绿色建筑增量成本的高低会产生较大影响。在绿色建筑建造过程和运营过程中,对室内环境、设备机组等进行严密监控,并对产生的问题及时做出相应的处理措施,将会大大降低绿色建筑增量成本。

(6)设计阶段开展时间(X6):建设项目在设计阶段能够确定建设过程中所需的建筑材料、相应的技术措施以及技术设备等。在绿色建筑建设过程中,设计阶段开展时间越早,就越能够充分考虑建筑物的造型布局、采光通风等特殊要求。如果设计阶段开展时间较迟,后期则不得不另外安装一些技术装置来满足绿色建筑的要求,增量成本将会大大增加。

(7)碳减排技术水平(X7):发展绿色低碳建筑是我国的长期发展战略,是大势所趋。而大量研究表明,随着建筑碳排放量的减少,绿色建筑增量成本会增加,两者成反比关系^[7]。因此碳减排技术水平的提升是影响绿色建筑增量成本上升幅度的一大影响因素。

(8)政府激励政策(X8):近年来,各方政府陆续出台了多项推动绿色建筑发展的激励政策,助力我国各地绿色建筑数量呈井喷式增长。其中一些优惠政策的施行在一定程度上使绿色建筑增量成本有所降低。

二、建立灰色加权关联度模型

对绿色建筑增量成本的变化而言,各影响因素之间的关系虽不明确,但也不是独立存在的,其本质是一种灰色关系,而灰色关联分析法具有良好的稳定性,能够对各影响因素与绿色建筑增量成本的

关联程度和次序进行分析和排序,从而得出各影响因素的关联系数排序。但一般情况下在进行灰色关联分析时对影响因素权重是等权划分的,因此如果不考虑各影响因素的重要性差异,可能会导致较大误差的产生。为了提高分析的准确性和客观性,本文采用AHP层次分析法确定各影响因素权重,将灰色关联系数和各影响因素权重结合起来建立灰色加权关联度模型进行影响因素的分析和排序。

1. 确定评价对象和标准

根据上文选取的8个影响因素指标,在绿色建筑增量成本影响因素分析中,设参考序列为 $X_0 = \{X_0(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,比较序列分别为节材技术措施 $X_1 = \{X_1(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,节水技术措施 $X_2 = \{X_2(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,节能技术措施 $X_3 = \{X_3(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,地域因素 $X_4 = \{X_4(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,运营管理因素 $X_5 = \{X_5(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,设计阶段开展时间 $X_6 = \{X_6(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,碳减排技术水平 $X_7 = \{X_7(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,政府激励政策 $X_8 = \{X_8(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$ 。

2. 计算关联系数

关联系数计算如下式:

$$\xi_i(k) =$$

$$\frac{\min_{i,k} |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_{i,k} |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_{i,k} |X_0(k) - X_i(k)|}$$

式中 $k = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, 8, \rho$ 为分辨系数,通常取0.5或1为宜。

3. 基于层次分析法的影响因素权重确定

在进行灰色关联分析的时候,一般采用对关联系数求平均值的方法得出各影响因素指标的关联度大小排序。但由于本文选取的各影响因素指标在绿色建筑中所起的作用不同,用平均值的方法会对最终关联度的大小产生影响,因此本文采用AHP层次分析法分析确定各影响因素权重。

(1)构建成对比较矩阵。成对比较矩阵为 $B = (b_{kj})_{n \times n}$,其中 b_{kj} 为第 k 项与第 j 项的影响因素重要度比值,表示各影响因素对绿色建筑增量成本影响程度的大小,采用1~9比例标度法进行表示。

(2)计算影响因素权重。首先将成对比较矩阵各行的重要度比值进行求和计算,得到各行的重要度比值之和为 $\overline{wk} = \sum_{j=1}^n (b_{kj} / \sum_{k=1}^n b_{kj})$ 。($kj = 1, 2, \dots, n$),接着对每一个影响因素重要度比值进行归一化处理,从而得到各影响因素权重为 $w_k = \overline{wk} / \sum_{k=1}^n \overline{wk}$, ($k = 1, 2, \dots, n$)。

(3)对成对比较矩阵进行一致性的检验。根据公式 $Bw = \lambda_{\max} w$,求出成对比较矩阵的最大特征值为 $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{B_{jw}}{w_j}$,其中 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

由于成对比较矩阵中的重要度比值多为经验数据,因此为了确保最终结果准确,需要对成对比较矩阵进行一致性的检验。一致性检验的比率为 $CR = \frac{CI}{RI}$,其中一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, RI 为对应阶数的平均随机一致性指标,其取值可通过查询表格取得。当 $CR < 0.1$ 时,认为成对比较矩阵的不一致程度在可容许的范围之内,否则应重新构造成对比较矩阵,对各影响因素重要度比值加以调整^[7]。

4. 灰色加权关联度模型建立

灰色加权关联度为 $ri = \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \cdot w_k$,根据 ri 数值大小对各影响因素进行排序, ri 数值越大说明该因素对绿色建筑增量成本影响越大。

三、算例分析

1. 绿色建筑增量成本影响因素关联系数计算

本文邀请了8位从事绿色建筑领域相关研究的研究人员以及就职于绿色建筑企业的技术人员和施工人员,对上文所选取的8个影响因素比较序列进行经验打分,并将各序列打分结果汇总成表

格。本文将分数级别划分为对增量成本大(5分)、 级别。对于参考数列,一律打5分。打分结果如表较大(4分)、中等(3分)、较小(2分)、小(1分)五个 1所示:

表1 绿色建筑增量成本影响因素指标评价数据

影响因素指标	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
X0	5	5	5	5	5	5	5	5
X1	4	3	3	4	4	2	1	4
X2	4	1	2	3	4	3	4	4
X3	3	2	4	4	4	5	4	2
X4	3	4	2	5	3	2	4	4
X5	4	4	3	1	3	4	1	5
X6	3	1	5	3	4	2	2	2
X7	3	5	4	4	2	3	5	3
X8	4	3	1	4	3	2	5	4

令分辨系数 ρ 为0.5,通过公式计算出的各影响 因素关联系数如表2所示:

表2 影响因素关联系数计算

影响因素指标	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
X1	0.67	0.5	0.5	0.67	0.67	0.4	0.33	0.67
X2	0.67	0.33	0.4	0.5	0.67	0.5	0.67	0.67
X3	0.5	0.4	0.67	0.67	0.67	1	0.67	0.4
X4	0.5	0.67	0.4	1	0.5	0.4	0.67	0.67
X5	0.67	0.67	0.5	0.33	0.5	0.67	0.33	1
X6	0.5	0.33	1	0.5	0.67	0.4	0.4	0.4
X7	0.5	1	0.67	0.67	0.4	0.5	1	0.5
X8	0.67	0.5	0.33	0.67	0.5	0.4	1	0.67

2. 确定影响因素指标权重

同样邀请上述8位专家对评价指标的重要性采用1~9比例标度法进行相互比较,得到各影响因素重要度比值,从而构建成对比较矩阵B如下所示:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} \\ 3 & 1 & 2 & \frac{1}{4} & 2 & 3 & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} \\ 5 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{5} & 2 & 4 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} \\ 5 & 4 & 5 & 1 & 3 & 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 4 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & 3 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 2 & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 3 & 4 & 2 & 2 & 2 & 3 & 1 & \frac{1}{2} \\ 4 & 3 & 3 & 2 & 3 & 5 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

求得各影响因素指标的权重向量为:

$$w = (0.0349 \ 0.0989 \ 0.1052 \ 0.1919 \ 0.0895 \ 0.0476 \\ 0.1832 \ 0.2488)$$

对成对比较矩阵进行一致性检验。由计算可得,一次性指标 $CI = 0.1377$ 。平均随机一致性指标 RI 的取值需查表获得,如表3所示:

表3 平均随机一致性指标取值

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.52

由上表可得 $RI=1.41$ 。通过公式计算可得,一致性比率 $CR = 0.097 < 0.1$ 。因此该成对比较矩阵的不一致性在可容许范围之内,能够确保结果的准确性。

3. 灰色加权关联度计算

由上述公式计算出各影响因素的灰色加权关联度为:

$$R = (0.5601 \ 0.5672 \ 0.5859 \ 0.6709 \ 0.5915 \ 0.503 \\ 0.6826 \ 0.6498)$$

通过对影响因素指标灰色加权关联度进行计算之后得出: $r_7 > r_4 > r_8 > r_5 > r_3 > r_2 > r_1 > r_6$, 对应的各影响因素的影响程度由大到小排列顺序应当为:碳减排技术水平、地域因素、政府激励政策、运营管理因素、节能技术措施、节水技术措施、节材技术措施、设计阶段开展时间。

四、控制绿色建筑增量成本的对策

从上述各影响因素的灰色加权关联度中可以看出,碳减排技术水平、地域因素、政府激励政策的影响程度相对较大。因此对这三个影响因素有针对性制定控制绿色建筑增量成本的对策。

1. 提高碳减排技术水平

我国建筑业由于原材料消耗多,能源消耗量大,产生的扬尘和建筑垃圾多,其二氧化碳排放量占社会总排放量的30%~40%左右^[8]。而绿色建筑所采用的建筑材料和技术设备具有环保绿色、低碳循环的特性,因此发展绿色建筑已经成为降低社会碳排放量的主力军。

为了避免建筑碳排放造成损失而产生的控制成本即为基于碳排放量角度的绿色建筑增量成本^[9]。从研究中可以得出,随着碳减排水平的提升,绿色建筑增量成本会随之增加。为了控制这部分的增量成本,需要进一步提高碳减排技术的水平。如鼓励推广使用工厂化生产的方式生产新型节能墙体、新型屋面保温材料等建筑材料,运用装配式施工的方式进行预制构件的加工、安装等,同时进一步研究提高碳减排技术水平的先进手段,以加强绿色建筑增量成本的控制。

2. 因地制宜引入先进技术

我国各个地区经济发展水平、绿色建筑理念差异较大,导致我国各个地区绿色建筑发展不均衡,绿色建筑增量成本相差较大。如东部地区相比于西北地区,绿色建筑发展快,建筑数量多,对于绿色

建筑的投入成本也较高,其增量成本反而较低^[10]。为了降低地域因素对绿色建筑增量成本的影响,应采用因地制宜的方法控制增量成本,利用各地区优势制定适合本地区的建造方法。如西北地区日照时间长,可以利用光伏创新发电技术对充足的光照能源进行充分利用,达到节能环保的要求,并能够有效降低建筑增量成本。对于夏季日照强烈的南方地区,将可调节式外遮阳技术引入各户,能够阻止大部分辐射热进入室内,使室内温度在正午时无遮阳状态下降低6℃以上,减少室内制冷能耗,有效控制绿色建筑增量成本。

3. 完善绿色建筑相关激励政策

为了加快促进我国绿色建筑的发展,需要优化绿色建筑的运行机制,改善绿色建筑的发展环境,完善绿色建筑相关的激励政策^[11]。我国绿色建筑相关的激励政策可以考虑借鉴他国绿色建筑激励政策,针对不同的主体采用不同的激励政策。对于开发商,政府除了给予一定的补贴以外,还可基于星级给予一定的容积率奖励或者进行建筑面积补偿;对于建设单位、监理单位等企业,可以将参与绿色建筑建设作为工程评优的标准之一;对于材料供应商,政府可以给予技术上和经济上的补贴,促进其生产技术的提高;政府还可通过出台降低税收的优惠政策,提高各参与方的积极性,以达到控制绿色建筑增量成本的目的。

五、结 语

相比于传统建筑而言,绿色建筑有着低碳环保、节能降耗、可持续发展等优点,但绿色建筑增量成本较高是阻碍绿色成本快速发展的重要因素。本文利用灰色关联分析法和AHP层次分析法相结合建立灰色加权关联度模型的方法,对影响绿色建筑增量成本的因素进行分析排序,得出影响程度较大的因素分别为:碳减排技术水平、地域因素、政府激励政策,并且对各影响因素提出相应的控制对策。期望能够使项目各参与方对绿色建筑增量成

本有更加全面的认识和了解,同时,希望能够为今后进一步研究绿色建筑增量成本提供参考。

参考文献

- [1] 翟博文,陈辉林,马丽丽.绿色建筑增量成本可视化设计与应用研究[J].建筑经济,2019,40(4):87-92.
- [2] 柴径阳,黄蓓佳.绿色建筑增量成本构成及其影响因素研究[J].建筑经济,2015,36(05):91-95.
- [3] 王 荆.绿色建筑发展的影响主体博弈及策略研究[D].重庆:重庆大学,2017.
- [4] 杨守昆.沈阳市绿色建筑发展影响因素分析与识别[D].沈阳:沈阳建筑大学,2015.
- [5] 马晓国.基于实物期权的绿色建筑增量成本效益评价[J].技术经济与管理研究,2015(5):17-20.
- [6] 刘 龙,郭 建,王 坤.辽宁省生态经济环境发展影响因素分析[J].沈阳工程学院学报(社会科学版),2018,14(04):508-513.
- [7] 黄水燕.基于 AHP-熵权法的绿色建筑技术经济性评价研究[D].赣州:江西理工大学,2017.
- [8] 任 燕.碳减排视角下的绿色建筑成本效益评价研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [9] 庄英东.碳排放权交易价格的影响因素分析——以国内五个代表性开放试点为例[J].沈阳工程学院学报(社会科学版),2018,14(03):349-357.
- [10] 郑晓云,杨 婷.绿色建筑增量成本全过程控制研究[J].工程管理学报,2014,28(5):12-16.
- [11] 高 山.绿色商品住宅经济激励问题研究[D].南京:南京工业大学,2014.
- [12] 钱 征.低碳建筑全生命周期的成本效益研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2015.

Research on the Influencing Factors of Incremental Cost of Green Building ——Based on Grey Weighted Relevance Model

ZHAO Wei-shu, XIA Si-han, ZHANG Bei-bei

(College of Economics and Management, Anhui Jianzhou University, Hefei230601, China)

Abstract: At present, green building has entered the golden period of development in China, and the high incremental cost is an important reason for restricting the further development of green building. The grey weighted relational degree model is formed by the method of grey relational analysis and AHP analytic hierarchy process, accordingly analyzes the factors affecting incremental cost, and extracts the three main factors of carbon emission reduction technology level, regional factors and government incentive policy. On this basis, the Countermeasures of controlling incremental cost of green buildings are put forward, which provides a theoretical basis for the development of green buildings.

Keywords: green building; incremental cost; grey relational analysis; AHP analytic hierarchy process

(责任编辑 伊人凤 校对 祁 刚)