

文章编号: 2095-5456(2020)05-0416-07

基于 DEMATEL-ISM 的绿色建筑成本控制影响因素

王连月, 曲晓伟, 李丁丁, 曲荣荣

(青岛理工大学 管理工程学院, 山东 青岛 266520)

摘 要: 以绿色建筑为研究主体, 通过关键词频次总结法提取影响绿色建筑成本的因素, 利用 DEMATEL-ISM 构建影响因素关系模型, 得出关键因素, 剖析影响因素之间的逻辑关系, 依据分析成果给出绿色建筑成本控制的相关建议。结果表明, 施工技术、材料成本、施工水准和废料再利用为直接性因素, 成本控制意识、成本管理水平、设计方案、绿色建筑标准、可行性研究和客户的环保觉悟为间接因素, 政策法规为基础性因素。

关键词: 绿色建筑; 成本控制; DEMATEL-ISM; 影响因素; 可达矩阵

中图分类号: TU723.3 **文献标志码:** A

DOI: 10.16103/j.cnki.21-1583/n.2020.05.010

建筑业的飞速发展改善了生活环境, 但施工过程中过度的能源消耗和污染问题不仅加重了人们的经济负担, 而且对环境也产生巨大的影响。据统计, 人类从自然界获得的 50% 的原材料被用于建筑设施的建设, 人类生产活动产生的垃圾中有 40% 为建筑垃圾^[1]。根据 2018 年中国建筑能耗研究报告统计, 我国建筑在能耗数据量化方面存在明显的缺陷, 2016 年我国建筑总能耗为 8.99 亿 t 标准煤, 占全国能源消耗总量的 20.62%, 建筑总能耗呈现持续增长的趋势。建筑二氧化碳排放量达到 19.6 亿 t^[2], 钢材的消耗量占全国用钢量的 60.4%。绿色建筑是建筑业发展的必然选择。

Ulubeyli 等^[3]通过 PESTLE(政治、经济、社会、技术、法律和环境)框架, 提出了以模糊综合评价为中心的绿色建筑宏观环境评价的模糊模型, 结果表明整体宏观条件对绿色建筑的影响从中到高, 其中技术因素是最有效的群体, 其次分别为环境、经济、法律、政治和社会因素。Ruan 等^[4]找出了 47 个影响绿色建筑成本的因素, 通过建立模糊因素分析模型, 计算模型中的模糊特征值、模糊相关系数和因子负荷矩阵, 提取出 8 个公共因子, 即居住特征因子、社会期望因子、经验与能力因子、技术与物质因素、政策因子、意识因子、参与者关系因素和项目资金因素, 结果发现, 技术与物质因素影响最大。马晓国^[5]通过实物期权法识别、计量

和评价绿色建筑增量成本效益, 对比增量现金流与增量费用流, 提出政府应采取相应的税收激励政策来促进绿色建筑的推广。曹申等^[6]通过绿色建筑项目全生命周期成本分析模型剖析各要素的影响, 得出延长机械设备的使用寿命、控制管理的成本都能有效实现成本控制。何向彤^[7]利用主成分分析法分析了 24 个与绿色建筑成本控制有关联的因素, 并通过蒙特卡洛模拟和模糊识别法构造绿色建筑成本估算模型。薛凡等^[8]采用半结构问卷来收集影响绿色建筑增量成本的各因素数据, 构建影响因素体系, 得出项目理念、节能、室内环境、相关政策为重要的影响因素。

目前对于绿色建筑方面的研究多集中于全生命周期成本效益上^[9], 对成本控制影响因素的研究较少, 且研究方法局限于主成分分析法、支持向量机、作业成本法等, 方法单一, 在科学严谨性、应用可行性方面存在很多的问题。本文借助 DEMATEL 和 ISM 各自的优势来构建模型, 筛选出影响绿色建筑成本的关键因素并得到因素间的相互关系, 期望为绿色建筑的成本控制工作提供积极的策略。

1 绿色建筑成本控制影响因素

绿色建筑成本受项目全生命周期行为、项目内外环境等多方面的影响^[10]。由于条件限制, 不

收稿日期: 2020-04-10

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(ZR2019PG007); “十三五”山东省高等学校人文社会科学研究平台项目(71471094)。

作者简介: 王连月(1977-), 女, 辽宁葫芦岛人, 副教授。

能总结所有学者们的看法,本文采用关键词频次总结法,分析相关文献 102 篇,选取了频次不低于

6 次的关键词,组成 20 个绿色建筑成本控制的影 响因素,如表 1 所示.

表 1 绿色建筑成本控制影响因素及频数
Table 1 Influencing factors of green building cost control and their frequencies

影 响 因 素			影 响 因 素		
符号	名 称	频数	符号	名 称	频数
A ₁	施工技术	21	A ₁₁	可行性研究	6
A ₂	成本控制意识	6	A ₁₂	客户的环保觉悟	8
A ₃	成本管理水平	10	A ₁₃	节水技术	19
A ₄	政策法规	17	A ₁₄	节材技术	17
A ₅	设计方案	14	A ₁₅	节地技术	15
A ₆	材料成本	15	A ₁₆	节能技术	23
A ₇	施工水准	6	A ₁₇	绿色施工监管力度	8
A ₈	地域因素	15	A ₁₈	工程变更和索赔	7
A ₉	项目定位	7	A ₁₉	废料再利用	9
A ₁₀	绿色建筑标准	11	A ₂₀	室内环境	6

2 计算与分析

2.1 模型简介

决策实验室分析法 (DEMATEL) 专门用于分析复杂要素之间的影响关系^[11],通过运用图论与矩阵进行系统要素分析^[12],构建直接影响矩阵,计算要素之间的影响度与被影响度、中心度与原因度,能够减少系统要素的构成,简化要素之间的关联,但难以分析大的复杂系统.

解释结构模型 (ISM) 中系统可以被划分成不同的模块,通过建立可达矩阵整理出各要素的多层递阶结构图,结合 MATLAB,能对影响因素之间的相互关系以及因素对系统的影响进行处理^[13],适用于关系复杂且变量多的系统分析,但

无法知道要素的影响大小.

将 2 种方法结合,实现互补,既能将复杂系统的层次进行清楚地划分,又能够筛选出关键的影响因素,提高效率及可行性.

2.2 数据分析

2.2.1 直接影响矩阵的确定

基于表 1 中 20 个影响因素编制问卷,进行调查统计.其中受调研对象包括建设单位 10 人,设计单位 8 人,施工单位 12 人,监理单位 5 人,高校研究绿色建筑相关领域的教师 10 人.根据算数平均法计算,对计算结果进行四舍五入,得到直接影响矩阵 B^d . $a_{ij} = 0, 1, 2, 3$, 依次表示影响程度为无影响、弱相关、中等相关、强相关.

$$B^d = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 3 & 3 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 3 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 2 & 3 & 1 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & 2 & 3 & 3 & 1 & 2 & 1 & 1 & 0 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & 2 & 3 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 0 & 0 & 3 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 2 & 0 & 2 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 & 0 & 3 & 2 & 3 & 2 & 0 & 0 & 3 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 0 & 2 & 0 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 3 & 2 \\ 0 & 2 & 2 & 0 & 3 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 3 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 3 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 3 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 3 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.2.2 计算各因素的影响度 T_p 与被影响度 T_q

将 B^d 中各个因素除以行和的最大值即可得到规范化直接影响矩阵 B , 见式(1). 运用式(2)求出综合影响矩阵 T , 依据矩阵 T 中的值 t_{ij} 确定各个影响因素的影响度 T_p 和被影响度 T_q , 其中 t_{ij} 表示因素 i 和 j 的间接影响关系^[14].

$$B = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} B^d; \tag{1}$$

$$T = \lim_{n \rightarrow \infty} (B + B^2 + \dots + B^n) = B(I - B)^{-1}; \tag{2}$$

$$T_p(i) = \sum_{j=1}^n t_{ij} (i = 1, 2, \dots, n); \tag{3}$$

$$T_q(i) = \sum_{j=1}^n t_{ji} (i = 1, 2, \dots, n). \tag{4}$$

2.2.3 计算各因素的中心度与原因度

因素 A_i 所对应的行和与列和相加即为 A_i 的中心度 T_i , 二者相减即为其原因度 R_i , 见式(5)、式(6). 中心度数值的大小反映了该因素对其他因素的影响程度. 原因度为正值表明该因素对其余因素的影响大于反向的影响; 原因度为负值, 则为结果因素, 表明该因素对其他因素的影响小于反向的影响, 结果见表 2.

$$T_i = T_p(i) + T_q(i); \tag{5}$$

$$R_i = T_p(i) - T_q(i). \tag{6}$$

原因度大于 0, 即为原因因素, 原因度小于 0 则为结果因素, 因此由表 2 可知, 影响绿色建筑成本控制的因素中 $A_4, A_8, A_{10}, A_3, A_9, A_{12}, A_2, A_5$ 为原因因素, $A_1, A_6, A_7, A_{11}, A_{13}, A_{14}, A_{16}, A_{15}, A_{17}, A_{18}, A_{19}, A_{20}$ 为结果因素.

2.2.4 关键因素的选定

原因度体现了各个因素之间的相关程度, 原因度越大表明它对其他因素的影响程度越大, 原因因素为影响系统的关键因素, 因此可选取 A_4 ,

表 2 绿色建筑成本控制影响因素的 DEMATEL 参数
Table 2 DEMATEL parameters of influencing factors of green building cost control

A_i	T_p	T_q	T_i	R_i
A ₁	3.13	5.17	8.30	-2.040
A ₂	4.44	3.67	8.11	0.770
A ₃	4.84	3.16	8.00	1.680
A ₄	4.14	0.67	4.81	3.470
A ₅	3.72	3.65	7.37	0.070
A ₆	2.73	6.11	8.84	-3.380
A ₇	2.41	5.00	7.41	-2.590
A ₈	5.15	1.98	7.13	3.170
A ₉	5.06	3.51	8.57	1.550
A ₁₀	4.86	2.42	7.28	2.440
A ₁₁	3.55	3.62	7.17	-0.070
A ₁₂	1.47	0.59	2.06	0.880
A ₁₃	2.75	3.12	5.87	-0.370
A ₁₄	2.87	3.12	5.99	-0.250
A ₁₅	2.87	3.12	5.99	-0.250
A ₁₆	3.12	3.12	6.24	-0.002
A ₁₇	2.88	2.92	5.80	-0.040
A ₁₈	2.40	3.51	5.91	-1.110
A ₁₉	2.46	4.89	7.35	-2.430
A ₂₀	1.71	3.21	4.92	-1.500

$A_8, A_{10}, A_3, A_9, A_{12}, A_2, A_5$ 为关键因素.

中心度可以判断影响因素的重要性, 表 2 中因素的中心度由大到小依次为 $A_6, A_9, A_1, A_2, A_3, A_7, A_5, A_{19}, A_{10}, A_{11}, A_8, A_{16}, A_{14}, A_{15}, A_{18}, A_{13}, A_{17}, A_{20}, A_4, A_{12}$. 中心度越大表明该因素越重要, 通过图 1 能够清晰看出中心度的变化幅度, 直观地看出各因素之间的差别, 据此选取中心度大于 7 的因素 $A_6, A_9, A_1, A_2, A_3, A_7, A_5, A_{19}, A_{10}, A_{11}, A_8$ 为关键因素.

将由原因度和中心度筛选出的关键因素合并即为最终的关键影响因素, 包括 $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}, A_{12}, A_{19}$. 整合关键因素得出关键因素矩阵 H .

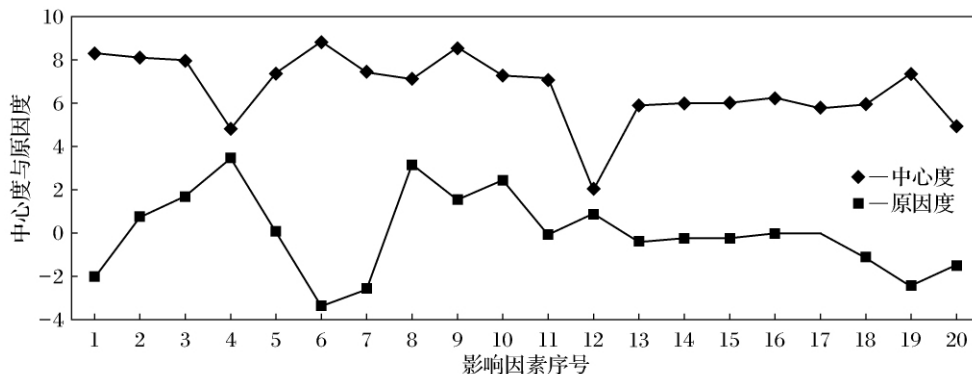


图 1 影响因素中心度与原因度曲线
Fig.1 Curve of influence factor centrality and cause degree

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 3 & 3 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 3 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 3 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & 2 & 3 & 3 & 1 & 2 & 1 & 1 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & 2 & 3 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 2 & 0 & 0 & 3 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ 3 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 3 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 2 & 0 & 2 & 2 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 & 0 & 3 & 2 & 3 & 2 & 0 & 0 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 0 & 2 & 0 & 2 & 1 & 3 \\ 0 & 2 & 2 & 0 & 3 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 3 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

2.2.5 建立邻接矩阵

将 DEMATEL 中的直接影响矩阵转化成 ISM 方法中的邻接矩阵 W , 矩阵中的 a_{ij} 表示 A_i 到 A_j 的影响关系, 将大于等于 3 的因素设为 1, 小于 3 的因素设为 0, 以此来简化系统关系结构.

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

2.2.6 建立可达矩阵

通过布尔代数计算规则求得可达矩阵 $M^{[15]}$.

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

2.2.7 区域及级位划分

以 M 为基础, 将影响因素分成可达集 $R(A_i)$ 、先行集 $O(A_i)$ 和交集 $N(A_i)$. $R(A_i)$ 表示 A_i 可以对其他因素产生影响, $O(A_i)$ 表示其余因素对 A_i 产生影响. 结果见表 3 与表 4.

当 $R(A_i) \cap O(A_i) = R(A_i)$, 可得矩阵的最高级因素集 L_1 , 即从其他因素可以达到该影响因素, 而从该影响因素无法到达其他因素. 按照式 (7) 从原来的 M 中删掉 L_1 中影响因素对应的行与列, 对得到的新的矩阵进行同样操作, 找到新矩阵中的最高级影响因素集 L_2 , 以此类推, 将影响因素划分到不同的级别当中.

$$L_i = \{M_j | M_j \in M - L_0 - L_1 - \dots - L_{i-1}, R(A_i) = O(A_i)\}. \tag{7}$$

表 3 区域划分
Table 3 Regional division

i	$R(A_i)$	$O(A_i)$	$N(A_i)$
1	1, 6, 7, 19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19	1, 6, 7, 19
2	1, 2, 6, 7, 19	2, 4, 9, 10, 12	2
3	1, 3, 6, 7, 19	3, 4, 9, 12	3
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 19	4	4
5	1, 5, 6, 7, 19	4, 5, 8, 9, 11, 12	5
6	1, 6, 7, 19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19	1, 6, 7, 19
7	1, 6, 7, 19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19	1, 6, 7, 19
8	1, 5, 6, 7, 8, 11, 19	8	8
9	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 19	4, 9, 12	9
10	1, 2, 6, 7, 10, 19	10	10
11	1, 5, 6, 7, 11, 19	4, 8, 9, 11, 12	11
12	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 19	4, 12	12
19	1, 6, 7, 19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19	1, 6, 7, 19

2.2.8 骨架矩阵

1) 初级骨架矩阵.

处于同级别区域相互影响的因素在可达矩阵

中相应的行值与列值完全相同, 具有相同的系, 可以相互替换, 只需保留一个因素作为代表. 因此, 根据表 4, 提取初级骨架矩阵时各级别因素只

选取一个来缩减矩阵,得初级骨架矩阵 M_1 .

表 4 级位划分
Table 4 Rank division

i	$R(A_i)$	$O(A_i)$	$N(A_i)$	L_i
1	1, 6, 7, 19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19	1, 6, 7, 19	1, 6, 7, 19
6	1, 6, 7, 19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19	1, 6, 7, 19	
7	1, 6, 7, 19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19	1, 6, 7, 19	
19	1, 6, 7, 19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19	1, 6, 7, 19	
2	2	2, 4, 9, 10, 12	2	2, 3, 5
3	3	3, 4, 9, 12	3	
5	5	4, 5, 8, 9, 11, 12	5	
10	10	10	10	10, 11
11	11	4, 8, 9, 11, 12	11	
8	8	8	8	8, 9
9	9	4, 9, 12	9	
12	12	4, 12	12	12
4	4	4	4	4

$$M_1 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_{10} & A_8 & A_{12} & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_{10} \\ A_8 \\ A_{12} \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

2) 二次简化矩阵.

下一级只对上一级有影响,因此对跨级产生影响的因素将其由 1 改为 0,构建新矩阵 M_2 .

$$M_2 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_{10} & A_8 & A_{12} & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_{10} \\ A_8 \\ A_{12} \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

3) 最终矩阵.

将二次简化得到的矩阵减去单位矩阵,即可得到最终可达矩阵 M_3 .

$$M_3 = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_{10} & A_8 & A_{12} & A_4 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_{10} \\ A_8 \\ A_{12} \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

2.2.9 得出多级递阶图

在得到的最终矩阵中,0 表示因素无联系,1 代表因素间有影响,由此得出的绿色建筑成本控制影响因素之间的影响关系见图 2.

2.2.10 模型结果分析

通过 DEMATEL-ISM 模型得到绿色建筑成本控制影响因素多级递阶图,分析如下.

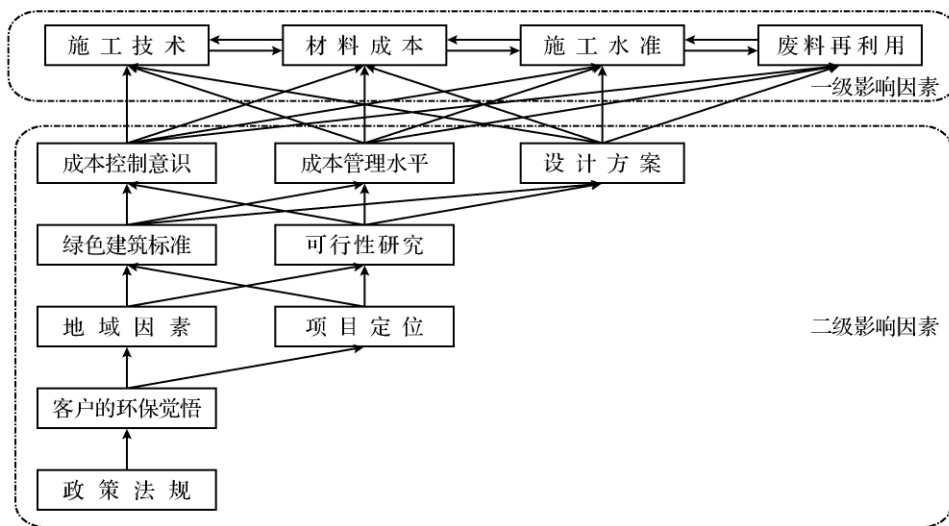


图 2 绿色建筑成本控制影响因素多级递阶图

Fig.2 Multi level hierarchical chart of influencing factors of green building cost control

1) 绿色建筑成本控制影响因素分为 2 个级别,施工技术、材料成本、施工水准、废料再利用为一级影响因素,为最直接影响因素;其余因素为二级影响因素;其内部会相互影响,且会影响一级影响因素。

2) 政策法规处于最底层,中心度为 4.81,为基础性因素,表明政策法规是制约我国绿色建筑发展的最根本因素。政府应不断补充绿色建筑评价标准,为绿色建筑各项技术的开发提供资金支持。

3) 处于最顶层的影响因素包括施工技术、材料成本、施工水准以及废料再利用,原因度均为负值,为结果因素,容易受到其他影响因素的影响,其中材料成本的中心度为最高值 8.84,表明其受其他因素的影响最大,是绿色建筑成本控制过程中最重要、需首要考虑的因素,因此在施工过程中需格外重视。绿色施工技术需要在绿色建筑设计、施工以及后期的维护阶段都将环境问题考虑其中,在施工阶段会涉及到节地、节水、节材、节能等对成本有较大影响的环节,需将施工资源达到最大利用程度,但若盲目使用价格高却不合适的技术,就会导致成本的大幅度增加。达到标准化技术的创新对施工效率及成本管理有很大的促进作用。对废弃物进行加工改造,在拆除阶段,木材、混凝土、钢筋等均可以回收用于其他项目,不仅能够变废为宝,节约成本,还能减少其对环境的污染。

4) 位于顶层与底层之间的为间接影响因素,其中可行性研究为结果影响因素,成本控制意识、成本管理水平、设计方案、绿色建筑标准、地域因素、项目定位、客户的环保觉悟均为原因因素。项目的定位不同,成本的增加量会有很大的变化。可行性研究以及设计方案体现了通过合理的预测与分析来选择最佳的建设方案,减少后期变更所导致的成本的增加,使施工过程能够按计划进行。在建设项目投资决策前,需对建设地区水质、地形、气候状况、自然资源、法律法规等进行充分的调研,对经济效益、投资状况、技术条件、成本效益等进行合理的预测与分析。成本控制意识和成本管理水平体现了管理者在绿色建筑成本控制过程中的主导作用。绿色建筑标准是建设单位进行项目建设的参考,在绿色建筑全寿命周期过程中,工作人员可依据相应的规范采取不同的应对措施促进项目的实施。客户的环保觉悟体现了消费者在环保节能方面的收益,与普通建筑相比,绿色建筑在能源费用方面占有很大的优势,且舒适度更强,绿色建筑需求量的提高会促进建设单位对绿色建筑

的开发,建设单位通过控制成本,降低费用,从而获得最大利益。

5) 间接影响因素通过直接因素影响绿色建筑的成本控制,客户的环保觉悟对地域因素和项目定位均有影响,第二、三、四层因素对绿色建筑成本控制的影响路径有 2 条,其中第 1 条路线为地域因素和项目定位影响绿色建筑标准,进而影响成本控制意识、成本管理水平和设计方案,再经由首层直接影响因素作用于绿色建筑成本控制;第 2 条作用路径为项目定位和地域因素共同影响绿色建筑投资决策阶段的可行性研究,进而影响成本控制意识、成本管理水平和设计方案,通过表层因素直接影响绿色建筑的成本控制。

6) 顶层的直接影响因素之间关系复杂,一旦其中某一因素没有得到较好的控制,会在其余因素间迅速互相传递,因此通过对顶层的关键影响因素进行合理的控制是控制绿色建筑成本的关键。

3 结 论

通过 DEMATEL 对 20 项影响因素进行排序,筛选出主要影响因素包括:施工技术、成本控制意识、材料成本,成本管理水平、政策法规、设计方案、地域因素、项目定位、绿色建筑标准、可行性研究、施工水准、客户的环保觉悟、废料再利用。

在此基础上利用 ISM 模型得出绿色建筑成本控制影响因素多级递阶图,将影响因素划分为 5 个层次,并将影响因素依据其对绿色建筑成本控制的影响程度划分为 2 个级别。通过分析可以得知政策法规为影响绿色建筑成本控制的最本质的影响因素,会对其他因素产生直接或间接的影响。绿色建筑标准与可行性研究是较深层次的影响因素。成本控制意识、成本管理水平、设计方案既会受到绿色建筑标准与可行性研究的影响,又会影响施工技术、材料成本、施工水准和废料再利用。施工技术、材料成本、施工水准和废料再利用为直接影响因素,对成本产生直接影响,因素之间也会产生相互影响。

参考文献:

- [1] 刘春生. 城市中推广绿色节能建筑浅探[J]. 市场周刊, 2010(12):62-63.
LIU C S. On the promotion of green energy-saving buildings in cities[J]. Market Weekly, 2010(12):62-63.
- [2] 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.

- LIU J W, WANG J Y, ZHAO X C. Research on environmental impact and establishment of benchmarking of green building based on BIM[J]. Journal of Hunan University of Technology (Social Science Edition), 2019, 24(1):71-77.
- [3] ULUBEYLI S, KAZANCI O. Holistic sustainability assessment of green building industry in Turkey[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 202:197-212.
- [4] RUAN L F, GU C Q. Analysis of factors affecting green residential building costs based on fuzzy factor analysis model[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 178/179/180/181:12-19.
- [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.
- MA X G. Assessment of green building incremental cost effectiveness based on real options[J]. Technoeconomics & Management Research, 2015(5):17-20.
- [6] 曹申,董聪. 绿色建筑全生命周期成本效益评价[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012, 52(6):843-847.
- CAO S, DONG C. Life cycle cost benefit assessments for green buildings [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2012, 52(6):843-847.
- [7] 何向彤. 绿色建筑的全寿命周期成本估算[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2016, 47(3):455-459.
- HE X T. The cost estimation for eco-friendly buildings in life cycle[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2016, 47(3):456-459.
- [8] 薛凡,申玲,钱经. 绿色住宅建筑增量成本影响因素[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(1):194-200.
- XUE F, SHEN L, QIAN J. Influential factors of green residential building's incremental cost[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2019, 36(1):194-200.
- [9] 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.
- ZHAI B W, CHEN H L, MA L L. Research of visualization design and application on incremental cost of green building[J]. Construction Economy, 2019, 40(4):87-92.
- [10] 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(5):91-95.
- CHAI J Y, HUANG B J. Analysis of incremental cost composition of Chinese green buildings and its influencing factors[J]. Construction Economy, 2015, 36(5):91-95.
- [11] 李辉山,欧阳县. 基于 DEMATEL 的装配式建筑成本影响因素分析[J]. 工程管理学报, 2019, 33(1):34-38.
- LI H S, OUYANG T. Influence factors analysis of cost for prefabricated buildings based on DEMATEL method[J]. Journal of Engineering Management, 2019, 33(1):34-38.
- [12] 解涛瑞,余健俊,宋家仁. 基于关键成本影响因素分析的 BIM 应用推进对策[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(1):152-157.
- XIE T R, SHE J J, SONG J R. Countermeasure research on promoting BIM based on the analysis of key cost factors [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2018, 35(1):152-157.
- [13] 韩立红,孙建伟. 基于 ISM 模型的绿色建筑产业化影响因素分析[J]. 工程经济, 2016, 26(12):73-76.
- HAN L H, SUN J W. Analysis of influencing factors about green building industrialization based on ISM model [J]. Engineering Economy, 2016, 26(12):73-76.
- [14] 张开,梁迪,刘跃. 基于 Grey-DEMATEL 的农产品冷链物流影响因素分析[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2018, 30(5):420-424.
- ZHANG K, LIANG D, LIU Y. Analysis of affecting factors of agricultural products cold chain logistics based on grey-DEMATEL[J]. Journal of Shenyang University (Natural Science), 2018, 30(5):420-424.
- [15] 梁迪,钟彦恺,王记. ISM 模型在数控机床装配过程质量评价的运用[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2018, 30(5):409-413.
- LIANG D, ZHONG Y K, WANG J. Application of ISM in quality evaluation of CNC machine tool assembly process [J]. Journal of Shenyang University (Natural Science), 2018, 30(5):409-413.

Influencing Factors of Green Building Cost Control Based on DEMATEL-ISM

WANG Lianyue, QU Xiaowei, LI Dingding, QU Rongrong

(School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

Abstract: Taking the green building as the research subject, the factors influencing the cost of green building are extracted by the method of key words frequency summary. The relationship model of influencing factors is constructed by using DEMATEL-ISM, and the key factors are obtained, and the logical relationship between the influencing factors is analyzed. The relevant suggestions for the cost control of green building are given based on the analysis results. The results show that construction technology, material cost, construction level and waste recycling are direct factors, cost control awareness, cost management level, design scheme, green building standard, feasibility study and environmental awareness of customers are indirect factors, and policies and regulations are basic factors.

Key words: green building; cost control; DEMATEL-ISM; influence factor; reachability matrix

【责任编辑:赵 炬】