

PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险评价*

Investment Risk Assessment of PPP Mode Residential Building Energy Efficiency Renovation Project

刘光凤, 罗巧巧, 周直

(重庆交通大学 经济与管理学院, 重庆 400074)

摘要: 针对 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险评价问题, 建立环境风险、合规性风险、管理风险、融资风险、建设风险和运营风险六个方面的投资风险评价指标体系, 采用层次分析法确定风险因素权重, 通过专家问卷调查获取风险等级评价矩阵, 运用集对势分析风险态势, 运用偏联系数理论预测风险发生趋势, 构建基于五元联系数的 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险评价模型, 并结合哈尔滨市 PPP 模式居住建筑节能改造项目进行实证分析。结果表明: 该评价模型能实现 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险静态评价与动态分析的有效结合, 为社会资本方投资风险管理提供参考。

关键词: PPP; 建筑节能改造; 集对分析; 风险评价

中图分类号: TU984.12

文献标志码: A

文章编号: 1005-8249(2024)05-0135-06

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2024.05.025

LIU Guangfeng, LUO Qiaoqiao, ZHOU Zhi

(School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: In view of the investment risk evaluation of PPP mode residential building energy-saving renovation project, an investment risk evaluation index system in six aspects of environment risk, compliance risk, management risk, financing risk, construction risk and operation risk was established, the weight of Risk factor was determined by the analytic hierarchy process, the risk rating evaluation matrix was obtained by expert questionnaire, the static risk situation was analyzed by the set pair potential, and the risk occurrence trend was analyzed by the partial coefficient theory, This paper constructs an investment risk evaluation model of PPP mode residential building energy-saving renovation project based on the five yuan connection number, and conducts an empirical analysis with a PPP residential building energy-saving renovation project in Harbin. The results show that this evaluation model can effectively combine static evaluation and dynamic analysis of investment risks in PPP mode residential building energy-saving renovation projects, providing reference for social capital to manage investment risks.

Keywords: PPP; building energy-saving renovation; set pair analysis; risk evaluation

0 引言

针对合同能源管理 (EMC) 模式下居住建筑节能改造项目存在的资金短缺、效益低下等问题, 引入市场化的 PPP 模式, 建立由政府、居民和社会资本等多方合作的模式可有效解决这些问题^[1]。但与其他项目相比, PPP 模式下的居住建筑节能改造项目产权分散、运作复杂、前期资金需求量大、投资回收期长等特点导致社会资本方面临的投资风险较大。

* 基金项目: 重庆市教育科学规划青年课题“重庆高校工程伦理教育的关键机制及对策研究”(K22YY207694)。

作者简介: 刘光凤 (1987—), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 工程管理、风险管理、招投标管理。

通信作者: 罗巧巧 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 工程项目管理和风险管理。

收稿日期: 2023-07-15

研究与应用

对风险的管理不当,轻则项目亏损,重则会造成项目停滞或失败,例如哈尔滨既有建筑一般性节能改造 PPP 项目^[2]。因此,有必要从社会资本方视角出发,对 PPP 模式下居住建筑节能改造项目进行投资风险管理研究。

基于建筑节能改造项目的高风险性,国内外学者在建筑节能改造项目风险方面进行了较多的研究。Berghorn 等^[3]提出了 EMC 模式下建筑节能改造项目初步风险框架,阐述了风险成因、关键风险及控制措施;陈为公等^[4]基于霍尔三维结构思想,构建由时间、风险类别、参与方三个维度组成的 EMC 模式下既有建筑节能改造项目风险识别体系;刘晓君等^[5]结合既有居住建筑节能改造特点建立项目风险评价体系,采用 ANP-Grey 法进行风险评价;LEE 等^[6]通过调查认为业主违约、能耗测量标准不确定和建设成本增加为建筑节能改造项目三大关键风险;Shang 等^[7]采用粗糙集理论识别出信用风险为合同能源管理项目的主要风险之一;李强年等^[8]利用结构方程模型量化 PPP 模式下既有公共建筑节能改造风险;陈立文等^[9]利用 FISM 模型构建出可视化合同能源管理项目风险层次结构;陈悦华等^[10]利用 GA-BP 神经网络模型进行建筑绿色改造风险评价,结果显示决策及设计阶段风险为关键风险;严辉等^[11]利用霍尔三维结构模型识别建筑节能改造风险,运用 ISM 对风险因素进行层次结构分析。现有文献对建筑节能改造项目的风险研究多集中于合同能源管理模式 (EMC) 以及建筑节能改造项目自身的风险,针对 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险的研究较少,尚未形成完整的投资风险管理体系。

赵克勤提出的集对分析 (SPA) 理论在工程项目风险评价领域应用效益较好^[12-14],它改进了传统风险评价方法不能同时考虑系统确定性与不确定性的缺陷。其中,基于五元联系数所构建的风险评价模型在进行风险评价的基础上,还能对风险发展趋势进行动态预测^[15]。因此,通过建立基于五元联系数的投资风险评价模型,对投资风险进行综合评价并预测其发展趋势,为社会资本参与居住建筑节能改造项目投资风险管理研究提供参考。

1 理论基础

集对分析理论 (SPA) 综合考虑了对象指标集与

评价集的同一度、差异度和对立度三个方面,以联系度来处理信息模糊和不确定问题。

1.1 五元联系数

集对中的联系数 u 表示为:

$$u = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

式中: N 为集对特性数; S 为共有特性数; F 为差异特性数; P 为对立特性数。令 $a = S/N$ 为同一度, $b = F/N$ 为差异度, $c = P/N$ 为对立度,可简写为

$$u = a + bi + cj \quad (2)$$

对 b 项差异度进行拓展可得到四元联系数:

$$u = a + bi + cj + dk \quad (3)$$

式中: a 为同一度,系数为 1; b 、 c 为差异度; i 、 j 为差异度系数且 $i, j \in [-1, 1]$; d 为对立度; k 为对立度系数, k 为 -1 。

依此类推,拓展后的五元联系数为^[16]:

$$u = a + bi + cj + dk + el \quad (4)$$

式中: a 为同一度,系数为 1; b 、 c 、 d 为差异度, i 、 j 、 k 为差异度系数且 $i, j, k \in [-1, 1]$; e 为对立度, l 为对立度系数, l 为 -1 。各联系分量 $a, b, c, d, e \in [0, 1]$, 且满足 $a + b + c + d + e = 1$, 优先次序为 $a > b > c > d > e$ 。

1.2 五元联系数的偏联系数

联系数的伴随函数称为偏联系数,偏联系数在刻画对象指标集与评价集同异反联系状态的基础上,还可以刻画这种联系状态的发展趋势。五元联系数各阶偏联系数如下:

一阶偏联系数:

$$\partial u = \partial a + i\partial b + j\partial c + k\partial d \quad (5)$$

式中: $\partial a = \frac{a}{a+b}$, $\partial b = \frac{b}{b+c}$, $\partial c = \frac{c}{c+e}$, $\partial d = \frac{d}{d+e}$ 。

二阶偏联系数:

$$\partial^2 u = \partial(\partial u) = \partial^2 a + i\partial^2 b + j\partial^2 c \quad (6)$$

式中: $\partial^2 a = \frac{\partial a}{\partial a + \partial b}$, $\partial^2 b = \frac{\partial b}{\partial b + \partial c}$, $\partial^2 c = \frac{\partial c}{\partial c + \partial d}$ 。

三阶偏联系数:

$$\partial^3 u = \partial^2(\partial u) = \partial^3 a + i\partial^3 b \quad (7)$$

式中: $\partial^3 a = \frac{\partial^2 a}{\partial^2 a + \partial^2 b}$, $\partial^3 b = \frac{\partial^2 b}{\partial^2 b + \partial^2 c}$ 。

四阶偏联系数:

$$\partial^4 u = \partial^3(\partial u) = \partial^4 a \quad (8)$$

式中: $\partial^4 a = \frac{\partial^3 a}{\partial^3 a + \partial^3 b}$ 。

2 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险评价模型构建

2.1 评价指标体系建立

PPP 模式下居住建筑节能改造项目在我国目前尚未得到广泛应用, 通过参考财政部于 2014 年发布的《关于印发政府和社会资本合作模式操作指南(试行)的通知》这一政策文件与实际工程案例, 并结合其他文献资料^[17-18], 总结出其投资模式, 如图 1 所示。

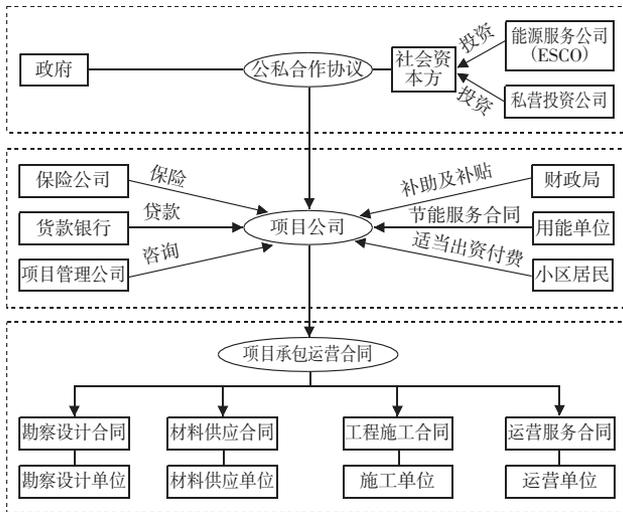


图 1 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资模式

Fig. 1 Investment model of residential building energy-saving renovation project under PPP mode

根据 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资模式及建设程序, 可将 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险划分为公私合作协议区风险、项目公司区风险、项目承包运营区风险三个主要风险区域, 并结合相关风险研究文献^[8,19-22], 建立投资风险评价指标体系, 见表 1。

2.2 项目投资风险同异反评价模型构建

将 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险等级划分为低风险(I级)、较低风险(II级)、中等风险(III级)、较高风险(IV级)和高风险(V级), 采用层次分析法(AHP)确定风险因素权重, 根据专家打分结合公式 $u_{rs} = z_{rs}/z$ 得到同异反评价矩阵, 其中 z_{rs} 表示选择风险因素 r 属于 s 级风险的专

家人数, z 表示参评专家总人数, 构建同异反模型如下:

表 1 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险评价指标体系
Table 1 Investment risk evaluation index system of residential building energy-saving renovation project under PPP mode

风险类型	一级风险指标	二级风险指标
公私合作协议区风险	环境风险 A1	利率变动风险 A11
		通货膨胀风险 A12
		政策风险 A13
		政府信用风险 A14
		法律风险 A15
		自然环境风险 A16
项目公司区风险	合规性风险 A2	物有所值评价风险 A21
		财政承受能力评价风险 A22
		风险分担不合理 A31
项目承包运营区风险	管理风险 A3	收益分配机制不完善 A32
		缺乏满足条件融资主体 A33
		出资比例变化风险 A34
		能源价格波动风险 A41
		资金回收风险 A42
项目承包运营区风险	融资风险 A4	融资成本风险 A43
		担保机制不完善 A44
		改造技术先进性风险 A51
		设计变更风险 A52
项目承包运营区风险	建设风险 A5	改造方案适宜性风险 A53
		新产品、技术应用风险 A54
		不可抗力 A55
		工期与质量风险 A56
		运营风险 A6
		节能量与预期不符 A62
		业主节能意识不足 A63

$$u = (w_1, w_2, \dots, w_v) \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{15} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{25} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{v1} & u_{v2} & \dots & u_{v5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ i \\ j \\ k \\ l \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$= \sum_{r=1}^v w_r u_{r,1} + \sum_{r=1}^v w_r u_{r,2} i + \sum_{r=1}^v w_r u_{r,3} j + \sum_{r=1}^v w_r u_{r,4} k + \sum_{r=1}^v w_r u_{r,5} l$$

式中: $\{u_1, u_2, \dots, u_v\}$ 为风险因素集; $\{w_1, w_2, \dots, w_v\}$ 为风险因素权重向量矩阵; $[1, i, j, k, l]^T$ 为同异反系数矩阵。统一度联系分量 $a = \sum_{r=1}^v w_r u_{r,1}$, 刻画低风险; $b = \sum_{r=1}^v w_r u_{r,2}$ 为差异度偏同联系分量, 刻画较低风险; $c = \sum_{r=1}^v w_r u_{r,3}$ 为

研究与应用

差异度居中联系分量, 刻画中等风险; $d = \sum_{r=1}^v w_r u_{r,4}$ 为差异度偏反联系分量, 刻画较高风险; $e = \sum_{r=1}^v w_r u_{r,5}$ 为对立度联系分量, 刻画高风险。

2.3 集对势分析

在多元联系数, 同一度和对立度比值定义为集对势, 计为 $shi(H)$ 。

运用五元联系数的集对势对 PPP 模式下建筑节能改造项目投资风险进行态势分析。在风险评价中, 通常以低风险为参照标准。五元联系数 $u = a + bi + cj + dk + el$ 中, 同一度 a 和对立度 e 的比值 $shi(H) = a/e$ 定义为五元联系数集对势。若集对势大于 1, 表示两集合同势, 意味着系统实际风险与低风险这一理想状态具有同一趋势, 即系统风险为低风险; 集对势等于 1, 表示两集合均势, 意味着系统实际风险与低风险这一理想状态“势均力敌”, 即系统风险为中等风险; 集对势小于 1, 表示两集合反势, 意味着系统实际风险与低风险这一理想状态具有对立趋势, 即系统风险为高风险。

运用趋势联系数对风险发展趋势进行分析。风险四元趋势联系数 $u = a + bi + cj + dk$ 中, 集对势 $shi(H) = a/d$; 三元趋势联系数中 $u = a + bi + cj$, 集对势 $shi(H) = a/c$; 二元趋势联系数 $u = a + bi$ 为同异联系数, 集对势 $shi(H) = a/b$ 。由于篇幅限制, 仅列出与本文有关的集对势等级见表 2, 完整五元联系数态势表见文献 [23]。

表 2 五元联系数态势表

Table 2 Five-element linkages situation

势级	联系数间关系	势区	势级	联系数间关系	势区
3	$a > e, a > b, b > c, c > d, d < e$	同势	78	$a = e, a > b, b < c, c > d, d < e$	均势
6	$a > e, a > b, b > c, c = d, d < e$	同势	116	$a = e, a < b, b < c, c < d, d > e$	均势
7	$a > e, a > b, b > c, c < d, d > e$	同势	129	$a < e, a > b, b < c, c > d, d < e$	反势
8	$a > e, a > b, b > c, c < d, d = e$	同势	140	$a < e, a = b, b > c, c < d, d < e$	反势
19	$a > e, a > b, b < c, c > d, d > e$	同势	156	$a < e, a < b, b > c, c < d, d = e$	反势
20	$a > e, a > b, b < c, c > d, d = e$	同势	157	$a < e, a < b, b > c, c > d, d < e$	反势
21	$a > e, a > b, b < c, c > d, d < e$	同势	161	$a < e, a < b, b > c, c < d, d > e$	反势
26	$a > e, a > b, b < c, c < d, d = e$	同势	163	$a < e, a < b, b > c, c < d, d < e$	反势
45	$a > e, a = b, b < c, c = d, d > e$	同势	166	$a < e, a < b, b = c, c > d, d < e$	反势
49	$a > e, a < b, b > c, c > d, d < e$	同势	175	$a < e, a < b, b < c, c > d, d < e$	反势
62	$a > e, a < b, b < c, c > d, d = e$	同势	179	$a < e, a < b, b < c, c < d, d > e$	反势

3 案例分析

黑龙江省哈尔滨市于 2015 开始在南岗区、香坊区等区域进行老旧住宅节能改造, 改造内容主要包

括建筑维护结构改造和供热采暖改造。项目运作模式为: 社会资本与供能单位签定合同能源管理合同落实项目, 由能源服务公司 (ESCO) 负责项目融资、建设、运营和维护一体化。哈尔滨市政府通过公开招标方式选择合作伙伴实施项目, 运营阶段对项目给予补贴^[24]。

邀请 25 位相关领域专家进行问卷调查, 采用李克特量表法对哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险因素进行打分, 构建风险等级评价同异反矩阵, 采用层次分析法计算各风险因素权重。运用集对势与偏联系数理论对各风险因素进行分析, 根据专家打分结果结合式 (9) 计算五元联系数, 判定风险因素态势, 结合式 (5) ~ 式 (8) 计算各阶偏联系数, 分析风险因素发展趋势, 得到哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险联系数计算表, 见表 3。由表可知:

(1) 综合后五元趋势联系数为 $u = 0.17 + 0.22i + 0.16j + 0.23k + 0.22l$, 其联系势 $shi(H) = 0.17/0.22 = 0.77$, 查表 2 可知为反势 161 级, 风险较高。其中环境风险为同势 49 级, 合规性风险为同势 7 级, 管理风险为反势 161 级, 融资风险为同势 62 级, 建设风险为反势 175 级, 运营风险为反势 163 级。在环境风险中, 利率变动风险、通货膨胀风险、政策风险、政府信用风险、法律风险为同势, 自然环境风险为反势; 在合规性风险中, 物有所值评价风险和财政承受能力评价风险为同势; 在管理风险中, 风险分担不合理和出资比例变化风险为同势, 收益分配机制不完善和缺乏满足条件融资主体为反势; 在融资风险中, 能源价格波动风险和融资成本风险为同势, 资金回收风险和担保机制不完善为反势; 在建设风险中, 改造方案适宜性风险和新产品、技术应用风险为同势, 改造技术先进性风险、设计变更风险、工期与质量风险为反势, 不可抗力为均势; 在运营风险中, 业主节能意识不足为均势, 能耗测量风险和节能量与预期不符为反势。

(2) 综合后四元趋势联系数为 $u = 0.44 + 0.57i + 0.42j + 0.51k$, 其联系势 $shi(H) = 0.44/0.51 = 0.86$, 处于反势, 表明哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险具有一阶上升趋势。其中环境风险、合规性风险、建设风险和运营风险为同势, 管理风

险和融资风险为反势。

(3) 综合后三元趋势系数为 $u = 0.43 + 0.58i + 0.45j$, 其 $shi(H) = 0.43/0.45 = 0.95$, 处于反势, 表明哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险具有二阶稳定趋势。其中合规性风险和管理风险为同势, 环境风险、建设风险、融资风险和运营风险处于反势。

(4) 综合后二元趋势系数为 $u = 0.43 + 0.56i$, 其 $shi(H) = 0.43/0.56 = 0.78$, 处于反势, 表明哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险具有三阶上升趋势。其中环境风险、融资风险和建设风险为同势, 合规性风险、管理风险和运营风险为反势。

表 3 哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险联系系数计算表

Table 3 Calculation of the number of investment risk linkages for the PPP model residential building energy-saving renovation project in Harbin

评价对象	指标	权重	现状五元联系系数		发展趋势联系系数							
			低	态势	四元	态势	三元	态势	二元	态势	一元	态势
环境风险 A1 (0.089)	利率变动风险 A11	0.125	0.32 + 0.12i + 0.24j + 0.16k + 0.16l	同势	0.73 + 0.33i + 0.60j + 0.50k	同势	0.69 + 0.36i + 0.55j	同势	0.66 + 0.40i	同势	0.62	同势
	通货膨胀风险 A12	0.102	0.40 + 0.16i + 0.08j + 0.08k + 0.28l	同势	0.71 + 0.67i + 0.50j + 0.22k	同势	0.52 + 0.57i + 0.69j	反势	0.48 + 0.45i	同势	0.51	同势
	政策风险 A13	0.216	0.16 + 0.28i + 0.28j + 0.08k + 0.20l	反势	0.36 + 0.50i + 0.78j + 0.29k	同势	0.42 + 0.39i + 0.73j	反势	0.52 + 0.35i	同势	0.60	同势
	政府信用风险 A14	0.167	0.28 + 0.24i + 0.20j + 0.12k + 0.16l	同势	0.54 + 0.55i + 0.63j + 0.43k	同势	0.50 + 0.47i + 0.59j	反势	0.52 + 0.44i	同势	0.54	同势
	法律风险 A15	0.214	0.12 + 0.36i + 0.20j + 0.16k + 0.16l	反势	0.25 + 0.64i + 0.56j + 0.50k	反势	0.28 + 0.54i + 0.53j	反势	0.34 + 0.50i	反势	0.40	反势
	自然环境风险 A16	0.176	0.20 + 0.15i + 0.25j + 0.15k + 0.25l	反势	0.57 + 0.38i + 0.63j + 0.38k	同势	0.60 + 0.32i + 0.64j	同势	0.67 + 0.38i	同势	0.67	同势
	合计	1.000	0.22 + 0.23i + 0.22j + 0.13k + 0.20l	同势	0.49 + 0.52i + 0.63j + 0.39k	同势	0.48 + 0.45i + 0.62j	反势	0.52 + 0.42i	同势	0.55	同势
合规性风险 A2 (0.113)	物有所值评价风险 A21	0.53	0.28 + 0.20i + 0.12j + 0.20k + 0.20l	同势	0.58 + 0.63i + 0.38j + 0.50k	同势	0.48 + 0.63i + 0.43j	同势	0.44 + 0.59i	反势	0.42	反势
	财政承受能力评价风险 A22	0.47	0.24 + 0.16i + 0.12j + 0.28k + 0.20l	同势	0.60 + 0.57i + 0.30j + 0.58k	同势	0.51 + 0.66i + 0.34j	同势	0.44 + 0.66i	反势	0.40	反势
	合计	1.000	0.26 + 0.18i + 0.12j + 0.24k + 0.20l	同势	0.59 + 0.60i + 0.34j + 0.54k	同势	0.50 + 0.64i + 0.38j	同势	0.44 + 0.63i	反势	0.41	反势
管理风险 A3 (0.314)	风险分担不合理 A31	0.200	0.20 + 0.28i + 0.24j + 0.12k + 0.16l	同势	0.42 + 0.54i + 0.67j + 0.43k	反势	0.44 + 0.45i + 0.61j	反势	0.49 + 0.42i	同势	0.54	同势
	收益分配机制不完善 A32	0.394	0.08 + 0.20i + 0.12j + 0.36k + 0.24l	反势	0.29 + 0.63i + 0.25j + 0.60k	反势	0.31 + 0.71i + 0.29j	同势	0.31 + 0.71i	反势	0.30	反势
	缺乏满足条件融资主体 A33	0.235	0.08 + 0.24i + 0.12j + 0.36k + 0.20l	反势	0.25 + 0.67i + 0.25j + 0.64k	反势	0.27 + 0.73i + 0.28j	反势	0.27 + 0.72i	反势	0.27	反势
	出资比例变化风险 A34	0.171	0.32 + 0.28i + 0.04j + 0.20k + 0.16l	同势	0.53 + 0.88i + 0.17j + 0.56k	反势	0.38 + 0.84i + 0.23j	同势	0.31 + 0.78i	反势	0.28	反势
	合计	1.000	0.15 + 0.24i + 0.13j + 0.28k + 0.20l	反势	0.38 + 0.65i + 0.31j + 0.59k	反势	0.37 + 0.67i + 0.35j	同势	0.35 + 0.66i	反势	0.35	反势
融资风险 A4 (0.107)	能源价格波动风险 A41	0.310	0.24 + 0.20i + 0.32j + 0.12k + 0.12l	同势	0.55 + 0.38i + 0.73j + 0.50k	同势	0.59 + 0.35i + 0.59j	均势	0.63 + 0.37i	同势	0.63	同势
	资金回收风险 A42	0.177	0.08 + 0.12i + 0.28j + 0.32k + 0.20l	反势	0.40 + 0.30i + 0.47j + 0.62k	反势	0.57 + 0.39i + 0.43j	同势	0.59 + 0.48i	同势	0.56	同势
	融资成本风险 A43	0.242	0.24 + 0.20i + 0.24j + 0.20k + 0.12l	同势	0.55 + 0.45i + 0.55j + 0.63k	反势	0.55 + 0.45i + 0.47j	同势	0.55 + 0.49i	同势	0.52	同势
	担保机制不完善 A44	0.271	0.16 + 0.28i + 0.12j + 0.16k + 0.28l	反势	0.36 + 0.70i + 0.43j + 0.36k	均势	0.34 + 0.62i + 0.54j	反势	0.36 + 0.53i	反势	0.40	反势
	合计	1.000	0.19 + 0.21i + 0.24j + 0.18k + 0.18l	同势	0.48 + 0.46i + 0.56j + 0.51k	反势	0.51 + 0.45i + 0.52j	反势	0.53 + 0.46i	同势	0.53	同势
建设风险 A5 (0.125)	改造技术先进性风险 A51	0.240	0.04 + 0.24i + 0.16j + 0.24k + 0.32l	反势	0.14 + 0.60i + 0.40j + 0.43k	反势	0.19 + 0.60i + 0.48j	反势	0.24 + 0.55i	反势	0.30	反势
	设计变更风险 A52	0.167	0.12 + 0.24i + 0.20j + 0.16k + 0.28l	反势	0.33 + 0.55i + 0.56j + 0.36k	反势	0.38 + 0.50i + 0.48j	反势	0.43 + 0.45i	反势	0.49	反势
	改造方案适宜性风险 A53	0.154	0.36 + 0.12i + 0.20j + 0.16k + 0.16l	同势	0.75 + 0.38i + 0.56j + 0.50k	同势	0.67 + 0.40i + 0.53j	同势	0.62 + 0.43i	同势	0.59	同势
	新产品、技术应用风险 A54	0.122	0.28 + 0.16i + 0.28j + 0.12k + 0.16l	同势	0.64 + 0.36i + 0.70j + 0.43k	同势	0.64 + 0.34i + 0.62j	同势	0.65 + 0.36i	同势	0.65	同势
	不可抗力 A55	0.110	0.12 + 0.20i + 0.24j + 0.32k + 0.12l	均势	0.38 + 0.45i + 0.43j + 0.73k	反势	0.45 + 0.51i + 0.37j	同势	0.47 + 0.58i	反势	0.45	反势
	工期与质量风险 A56	0.207	0.20 + 0.16i + 0.20j + 0.16k + 0.28l	反势	0.56 + 0.44i + 0.56j + 0.36k	同势	0.56 + 0.44i + 0.60j	反势	0.56 + 0.42i	同势	0.57	同势
	合计	1.000	0.18 + 0.19i + 0.20j + 0.19k + 0.24l	反势	0.48 + 0.48i + 0.52j + 0.45k	同势	0.50 + 0.48i + 0.54j	反势	0.51 + 0.47i	同势	0.52	同势
运营风险 A6 (0.252)	能耗测量风险 A61	0.416	0.08 + 0.32i + 0.08j + 0.20k + 0.32l	反势	0.20 + 0.80i + 0.29j + 0.38k	反势	0.20 + 0.74i + 0.43j	反势	0.21 + 0.63i	反势	0.25	反势
	节能量与预期不符 A62	0.321	0.12 + 0.16i + 0.12j + 0.32k + 0.28l	反势	0.43 + 0.57i + 0.27j + 0.53k	反势	0.43 + 0.68i + 0.34j	同势	0.39 + 0.67i	反势	0.37	反势
	业主节能意识不足 A63	0.263	0.20 + 0.12i + 0.32j + 0.16k + 0.20l	均势	0.63 + 0.27i + 0.67j + 0.44k	同势	0.70 + 0.29i + 0.60j	同势	0.71 + 0.33i	同势	0.68	同势
	合计	1.000	0.12 + 0.22i + 0.15j + 0.23k + 0.28l	反势	0.37 + 0.58i + 0.41j + 0.45k	同势	0.39 + 0.59i + 0.47j	反势	0.40 + 0.55i	反势	0.42	反势
	总计	1.000	0.17 + 0.22i + 0.16j + 0.23k + 0.22l	反势	0.44 + 0.57i + 0.42j + 0.51k	反势	0.43 + 0.58i + 0.45j	均势	0.43 + 0.56i	反势	0.43	反势

(5) 综合后一元趋势系数为 $u = 0.43$, $a/(a+b) < 0.5$, 即 $a < b$ 。表明哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险的同势小于不确定势, 风险具有四阶上升趋势。其中环境风险、融资风险

和建设风险为同势, 合规性风险、管理风险和运营风险为反势。

综上所述, 哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险指标体系 6 个一级风险指标中, 管理风

研究与应用

险、建设风险和运营风险为反势，其余风险皆为同势。二级风险指标中，11个指标为同势，12个指标为反势，2个指标为均势。从风险态势来看，反势在系统中占主要地位，评价认为项目总体投资风险位于风险较高的区域。从风险发生趋势来看，该项目投资风险具有二阶稳定趋势，其余各阶均为上升趋势，表明该项目投资风险系统趋向恶化。虽然总体上项目投资风险处于一阶上升趋势，但其中也存在具有下降趋势的因素，如环境风险；同理，环境风险具有一阶下降趋势，但其中也存在具有上升趋势的因素，如法律风险，这体现出哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险呈现动态发展的趋势。

通过分析哈尔滨 PPP 模式居住建筑节能改造项目投资风险态势和发展趋势可知，在风险管理过程中投资方应更加关注处于反势的风险。从该项目具体风险指标来看，收益分配机制不完善、缺乏满足条件的融资主体、改造技术先进性风险、能耗测量风险等风险因素为反势，位于高风险区域，管理者应密切关注这些风险，并采取有效风险控制手段。结合工程实际，该项目在实施中出现了各方利益分配冲突、小区业主不愿意出资、节能计量缺乏标准等问题，项目整体投资风险高，与评价结果基本一致。

4 结论

(1) 依据工程实际案例、相关政策文件和文献，总结出 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资模式，并以此为基础建立投资风险评价指标体系，为其风险评价奠定基础。

(2) 构建基于五元联系数的投资风险评价模型，运用五元联系数与集对势分析得到项目投资风险评价结果，明确各风险因素态势，确定整体投资风险等级及项目运作中需投资者重点关注的风险因素。同时，运用偏联系数理论预测风险发生趋势，为后续风险管理提供依据。

(3) 以哈尔滨市 PPP 模式居住建筑节能改造项目为工程实例进行分析，该评价模型确定其投资风险为高风险等级，与项目实际情况相符，验证了模型的可行性，为 PPP 模式下居住建筑节能改造项目投资风险评价与预测提供了有效手段，拓宽了后续研究的方法与路径。

参 考 文 献

- [1] YANG X, ZHANG J, SHEN G Q, et al. Incentives for green retrofits: An evolutionary game analysis on Public - Private - Partnership reconstruction of buildings [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 232: 1076-1092.
- [2] 叶苏东. PPP 模式中社会资本方的风险管理框架 [J]. 北京交通大学学报 (社会科学版), 2022, 21 (3): 102-109.
- [3] BERGHORN G H, SYAL M G M. Risk framework for energy performance contracting building retrofits [J]. Journal of Green Building, 2016, 11 (2): 93-115.
- [4] 陈为公, 程淮, 张悦, 等. EPC 模式下既有建筑节能改造项目风险初步分担研究 [J]. 资源开发与市场, 2021, 37 (10): 1166-1173.
- [5] 刘晓君, 王斌, 白春泥. 基于 ANP-Grey 既有居住建筑节能改造项目合同能源管理风险评价 [J]. 施工技术, 2016, 45 (4): 56-61.
- [6] LEE P, LAM P T, LEE W L. Risks in Energy Performance Contracting (EPC) projects [J]. Energy and Buildings, 2015, 92: 116-127.
- [7] SHANG T C, SUN X T, LIU P H, et al. Cracking the Achilles' heel of energy performance contracting projects: the credit risk identification method for clients [J]. International Journal of Green Energy, 2020, 17 (3): 196-207.
- [8] 李强年, 徐弘毅, 牛昌林. PPP 模式下既有公共建筑节能改造项目风险研究 [J]. 建筑节能, 2020, 48 (11): 140-146.
- [9] 陈立文, 李雪静, 王臻. 基于 FISM 的既有公共建筑节能改造项目风险层次结构及传导路径研究 [J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38 (4): 155-162.
- [10] 陈悦华, 张锐琪, 李晓. 基于 GA-BP 神经网络的中国既有建筑绿色改造风险评价研究 [J]. 湖北农业科学, 2020, 59 (8): 199-205.
- [11] 严斌, 袁辉. 基于 BP-WINGS-ISM 的既有建筑节能改造风险因素研究 [J]. 项目管理技术, 2023, 21 (10): 23-28.
- [12] 高攀, 李丝蔓, 赵旭, 等. 五元联系数在大中型水库船桥碰撞风险评价中的应用—以三峡库区为例 [J]. 安全与环境学报, 2023, 23 (10): 3419-3428.
- [13] 臧成君, 瞿园, 高旭. 基于风险管控的煤矿安全绩效评估方法 [J]. 中国安全科学学报, 2022, 32 (增刊1): 29-33.
- [14] 李继清, 姜良勇, 张鹏, 等. 基于改进五元联系数集对势排序法的长江上游洪水遭遇分析 [J]. 中国农村水利水电, 2023, 4: 90-96.
- [15] 胡庆国, 田学泽, 何忠明. 基于五元联系数集对分析模型绿色建筑施工安全风险评价 [J]. 安全与环境学报, 2021, 31 (6): 1880-1888.
- [16] 李聪, 陈建宏. 联系数的物元模型在建筑安全评价及预测中的应用 [J]. 安全与环境学报, 2016, 16 (2): 71-75.

- [17] 王蕾, 桑培东. 老旧小区节能改造项目 EMC-PPP 模式应用研究 [J]. 项目管理技术, 2019, 17 (1): 65-69.
- [18] 王磊. EMC-PPP 模式在老旧小区节能改造工程中的应用 [J]. 建筑经济, 2022, 43 (5): 57-62.
- [19] 元霞, 柯永建, 王守清. 基于案例的中国 PPP 项目的主要风险因素分析 [J]. 中国软科学, 2009, 5: 107-113.
- [20] 赵延军, 刘晓君, 赵琰. 住宅小区节能改造项目风险的控制与评价 [J]. 西北大学学报 (自然科学版), 2014, 44 (2): 306-310.
- [21] 蒋明辉, 何夏萱, 彭一林等. 老旧小区改造 PPP 项目全过程风险识别研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44 (1): 37-44.
- [22] 高华, 孙琳镒. PPP 项目投资风险等级评价研究 [J]. 建筑经济, 2019, 40 (7): 21-27.
- [23] 王国平, 杨洁, 王洪光. 五元联系数在地表水环境质量评价中的应用 [J]. 安全与环境学报, 2006, 6 (6): 21-24.
- [24] 中国 PPP 服务平台. 黑龙江省哈尔滨市既有建筑一般性节能改造 PPP 项目 [EB/OL]. http://www.chinapp.cn/projectcenter/projectdetailfinance_9574.

欢迎订阅 2025 年《新型建筑材料》月刊

邮发代号：32-57

- 中国科技核心期刊
- 中国期刊方阵“双效期刊”
- RCCSE 中国核心学术期刊
- 美国 EBSCO 数据库全文收录
- CACJ 中国应用型核心期刊
- 中国科技论文统计源期刊
- 全国建材优秀期刊
- “世界期刊影响力指数 (WJCI) 报告”入编期刊
- 全国建材系列期刊
- 中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊
- 浙江省及华东地区优秀期刊

主要栏目及内容：新型墙体材料、建筑石膏与胶凝材料、防水屋面材料、装饰装修材料、化学建材、保温材料与建筑节能、混凝土与制品、海绵城市、绿色建筑与绿色建材、理论研究与发展综述，以及国家产业政策等。

1974 年创刊，由中国新型建材设计研究院主办，中国建筑材料科学研究总院主管。刊号：CN 33-1078/TU，ISSN 1001-702X。大 16 开，进口纸胶印 160 页。国内外公开发行。

定价：每期 8.00 元，全年 12 期共 96.00 元（含邮费）。

各地邮局及本刊均可办理订阅手续。

另有历年合订本发行。

本刊承接广告，欢迎联系。

地址：310022 杭州市拱墅区华中路 208 号

电话：0571-85175100, 85062600, 85066556

<http://www.china-nbm.cn>

E-mail: nbm999@163.com



欢迎关注本刊微信公众号