

PPP 模式下既有公共建筑节能改造项目风险研究

李强年, 徐弘毅, 牛昌林

(兰州理工大学 土木工程学院, 兰州 730000)

摘要: 面对建筑业高能耗与可持续发展要求的冲突, 国家大力推动既有建筑的节能改造。目前, 对既有公共建筑进行节能改造的项目主要以政府为主导, 政府承担了节能改造过程中的各种风险和主要的资金压力, 而采用 PPP 模式可以有效地解决这一问题。通过梳理文献来构建 PPP 模式下既有公共建筑节能改造项目风险指标体系, 并通过问卷调查收集数据, 应用基于结构方程模型(Structural Equation Model, SEM)的既有公共建筑节能改造项目的风险研究, 分析得到 17 个主要的风险因素, 对风险因素进行量化和排序, 得到风险权重较大的关键风险因素, 针对关键风险因素制定出应对管控措施, 为决策者提供科学合理的参考依据。

关键词: 节能改造; 结构方程模型(SEM); PPP; 风险评价

中图分类号: TU242; F206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2020)11-0140-07

Risks of Energy-saving Reconstruction Projects of Existing Public Buildings under PPP Mode

LI Qiang-nian, XU Hong-yi, NIU Chang-lin

(School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Facing the conflict between high energy consumption and sustainable development requirements of the construction industry, the state vigorously promotes the energy-saving retrofitting of existing buildings. At present, the projects for energy-saving retrofitting of existing public buildings are mainly government-led, and the government undertake various risks and major funding pressures in energy-saving retrofit, which can be effectively solved by adopting the PPP model by combing the literature. The risk index system is built for energy-saving retrofit of existing public buildings under the PPP mode, collecting data through questionnaire surveys. Applying a Structural Equation Model (SEM) based risk research and analysis of existing public building's energy-saving retrofitting projects, 17 major risk factors are obtained, the risk factors are quantified and ranked, and the key risk factors with larger risk weights are obtained. The countermeasures for the key risk factors are formulated to provide scientific and reasonable reference for decision makers.

Keywords: energy saving retrofit; Structural Equation Model(SEM); PPP; risk assessment

0 引言

自 20 世纪以来, 全球能源消耗速度加快, 自然资源不断减少, 油价上涨以及影响全球环境的其他因素给可持续发展带来了压力。与此同时, 与全球变暖和碳排放有关的问题使可持续发展成为一个值得关注的优先领域, 其中建筑物每年不断上涨的碳排放量和能源消耗量逐渐受到大部分国家的重视。我国 2001 年建筑总能耗为 3.9 亿 tce, 到 2017 年已达到

9.63 亿 tce, 约占全国能源消费总量的 21%, 因此推动绿色建筑的普及和对既有建筑的节能改造对于实现我国建筑业绿色发展至关重要。改革开放以来, 国家大力推进基础设施建设, 现存的建筑中公共建筑占了很大的比重, 2017 年全国公共建筑面积约为 123 亿 m^3 , 占到已竣工建筑面积的五分之一, 但总能耗却达到建筑总能耗的四分之一。随着公共建筑规模的增长及平均能耗强度的增长, 公共建筑的能耗已经成为中国建筑能耗中所占比例最大的一部分^[1]。我

收稿日期: 2019-12-10; 修回日期: 2020-11-15

国要实现节能减排的战略目标,对公共建筑的节能改造势在必行。

目前我国既有公共建筑被广泛采用的节能改造模式为合同能源管理模式(EPC),其本质是由节能服务公司(ESCO)负责节能改造项目全过程,以项目改造后减少的能源费用为收益。从表面上看这种方式是一种多方共赢的合作模式,但实际应用过程中仍存在很多问题。导致该类项目难以顺利实施的主要原因是项目融资问题。EPC节能模式项目前期投资成本较高,而项目的现金流量的回收主要是项目未来的节能收益部分,所以该类项目投资回收期比较长,ESCO依靠自身融资难以支持项目改造完成至投产;另一方面,虽然政府会予以补贴支持,但仅依赖公共财政改造的运营模式无法长期支撑既有建筑节能改造的顺利进行^[2]。我国近年来在绿色节能领域的建设已大面积展开,但在既有建筑节能改造领域还处于摸索阶段,同时也还未形成适合我国国情的融资模式,因此有必要推行符合中国发展的投融资运营模式。PPP模式对于解决公共建筑节能改造项目的融资问题提供了新思路。但是,PPP模式下的既有公共建筑节能改造项目具有一定的风险。一方面,PPP模式下既有公共建筑节能改造项目的融资过程中存在融资主体匮乏、出资比例不确定等影响项目正常开展的投资风险因素;另一方面,在项目实施过程中存在对风险因素辨识不清及控制失效等问题,导致不能保障项目收益或节能效果不达标,从而影响参与方的积极性,影响既有公共建筑节能改造项目的顺利实施,因此有必要对PPP模式下的既有公共建筑节能改造项目进行风险研究。

目前,针对PPP模式下的既有公共建筑节能改造项目的风险研究较少,现有研究主要围绕既有建筑节能改造项目本身存在的风险展开。Lee等人认为EPC项目存在收益不确定、投资回收期较长、还款能力模糊等风险,风险管理是弱化这些风险的有效途径,指出了风险管理研究对于EPC项目的重要性^[3]。Baek等人发现EPC过程中存在监管、经济、知识和社会四方障碍,风险评估无法避免这些风险,可以通过风险共担提高项目风险管理效率,为EPC模式的风险管理研究提供了新的研究切入点^[4]。王莹等人使用模糊推理系统的故障模式和影响分析方法(Fuzzy-FMEA)对既有建筑绿色改造项目进行风险识别和评价,并对风险因素进行权重计算和排序,列出关键风险清单,为既有公共建筑的风险因素选取提供了一定的参考^[5]。尚伶等人运用系统动力学原理对既有建筑节能改造项目中基于ESCO的投资风险反馈系统进行

了系统性分析,反映出运用系统性的思想对风险管理进行研究的重要性^[6]。陶凯等人使用ISM构建了既有建筑节能改造项目的风险层次结构模型并使用AHP定量分析了不同层级风险之间的相对权重,为EPC模式下既有公共建筑节能改造项目的风险评价提供了有效可行的研究思路^[7]。赵延军等人通过对住宅小区节能改造项目建立风险集合和风险控制库来构建控制对策后风险评价模型,为既有公共建筑节能改造项目的风险评价提供了一种新方法^[8]。刘晓君等人采用ANP-Grey对合同能源管理模式下的既有建筑节能改造项目进行风险评价,对合同能源管理下既有公共建筑的风险评价提供了研究参考^[9]。可以看出有文献多侧重于对既有建筑节能改造项目的风险研究或EPC模式下既有建筑节能改造项目的风险研究,而PPP模式下既有公共建筑节能改造项目的风险研究较少,因此,本文采用结构方程模型(Structural Equation Model,SEM)对PPP模式下既有公共建筑节能改造项目进行风险研究。由于PPP模式下的既有建筑节能改造项目的风险因素主要表现为社会因素和人为因素,难以进行量化,SEM可以通过为风险因素设定多个观测变量来达到对变量估计的目的;此外,在构建模型的过程中,变量难免存在测量误差,传统方法对测量得到的变量直接纳入模型,而SEM则会将变量及其测量误差共同纳入模型,使构建出的模型可信度更高。基于以上原因,本文选择采用SEM对PPP模式下的既有建筑节能改造项目进行风险评价。

首先,通过梳理文献,筛选出PPP模式下既有公共建筑节能改造项目的风险因素,针对风险因素设计调查问卷,得到建立模型所需的观测数据;其次,应用SEM分别构建PPP模式下既有公共建筑节能改造项目的一阶风险因子模型和二阶风险因子模型,对模型进行分析后,得到对项目风险解释性较好的主要风险因素;最后,对主要的风险因素进行量化排序,得到关键风险因素,制定出相应的管控措施及建议,为决策者提供参考。

1 风险指标体系构建

与传统建筑工程项目相比,PPP模式下的既有公共建筑节能改造项目尚未得到广泛的应用,在项目实施过程的不同阶段,可能出现各参与方的职责分配不明确的现象,使得与参与方相关的各个风险因素难以明确地按实施阶段划分。因此考虑以项目管理过程中的管理重点为依据,按风险产生的根源将风险因素主要划分为5个方面,即客观环境、技术因素、参与方因素、材料设备、管理因素,作为本次风险评价中风险

指标体系的一级指标。

风险因素识别采用文献查阅总结的方式。由于以 PPP 模式下既有建筑节能改造项目为对象的风险研究较少,本文主要对既有公共建筑节能改造项目中存在的风险和 PPP 模式应用过程中存在的风险进行综合,归纳出 PPP 模式下既有公共建筑节能改造项目可能存在的风险因素。以“节能改造风险”、“绿色改造风险”、“改造项目风险”、“PPP 项目风险”为关键词进行文献搜索,筛选得出在文献中被采用 2 次以上的 20 个风险因素^[10-16],作为风险指标体系的二级指标。对 20 个二级指标进行归类,分别划入不同的一级指标之下,并进行编号,见表 1。

表 1 PPP 模式下既有公共建筑节能改造项目风险因素识别清单
Table 1 Risk factor identification checklist for existing public building's energy efficiency reconstruction projects under PPP mode

| 一级指标 | 编号 | 二级指标 |
|-----------|-----|-----------------|
| 客观环境(OE) | OE1 | 相关规范不完善 |
| | OE2 | 相关法规政策及税率变动 |
| | OE3 | 缺少与节能改造相关的保险产品 |
| | OE4 | 缺乏标准的节能认证评价测试方法 |
| | OE5 | 不可抗力 |
| | OE6 | 政府信用 |
| 技术因素(HT) | HT1 | 缺乏专业的管理人员和技术人员 |
| | HT2 | 可借鉴的技术案例少 |
| | HT3 | 核心技术掌握不成熟 |
| 参与方因素(PF) | PF1 | 利益主体责任分担不清 |
| | PF2 | 缺少满足条件的融资主体 |
| | PF3 | 对节能改造认识程度的差异 |
| 材料设备(ME) | ME1 | 材料设备性能不稳定 |
| | ME2 | 缺乏满足要求的新产品 |
| | ME3 | 材料质量不过关 |
| 管理因素(PM) | PM1 | 出资比例不确定 |
| | PM2 | 收益分配机制不完善 |
| | PM3 | 预期收益不达标 |
| | PM4 | 对节能改造建筑维护不到位 |
| | PM5 | 人为原因造成的审批延误 |

2 数据收集及分析

2.1 数据收集

问卷的设计采用李克特五级量表法,以 20 个风险因素对项目成功实现的影响程度为调查内容。调查方式主要为网络调查,即通过电子邮件发放和网络问卷调查的方式,调查对象为开展过和正在开展节能改造项目的施工企业、设计单位和政府相关部门,共计发放 250 份,回收 223 份。对回收的问卷进行筛选,主要去掉同一选项选择重复率大于或等于 80% 的问卷,筛选后得到 199 份有效问卷。

2.2 信效度检验

在收集到数据的基础上需要对问卷数据进行信度和效度的检验,以确定量表中的数据是否适合进行验证分析。本文主要采用 SPSS Statistics 25 软件对问卷整体的信度和效度进行检验。

问卷信度的检验指标采用克隆巴赫系数。一般认为克隆巴赫 Alpha 大于 0.8 即为信度良好。检验显示克隆巴赫 Alpha 值为 0.879,说明问卷信度良好,可以进行效度分析。

问卷的效度检验以 KMO 和巴特利特球形度检验指数为指标。当 KMO 大于 0.6 且巴特利特球形度检验的显著性水平 P 小于 0.05 即认为达到效度标准。检验显示 KMO 为 0.825,显著性水平 P 小于 0.05,表示因素之间存在一定的关联,说明问卷整体的效度很好,适合进一步的分析。

3 结构方程建模及分析

结构方程模型主要分为测量模型和结构模型两部分。在使用结构方程模型进行风险评价时,需要先对测量模型进行评价分析,再根据测量模型的分析结果决定是否进行结构模型评价,即先后对模型进行一阶验证性分析和二阶验证性分析^[17]。具体的验证性分析过程主要包括建立模型、参数估计、模型评价、模型修正 4 个基本过程。①建立模型:在研究正式开始之前,对潜变量之间的关系进行假设,建立假设模型。②参数估计:采用一定的估计方法通过对观测变量的调查数据进行计算,分析基于假设模型的各变量之间的关系,包括一阶因素分析和二阶因素分析。SEM 中可供使用的估计方法有最大似然估计法、最小二乘法、加权最小二乘法等,常用的是最大似然估计法和最小二乘法。③模型评价:采用一定的指标对模型的适配性进行评价。每种指标对应的接受范围不同,如果出现模型适配度指标不合适的情况,说明构建的模型对数据的拟合程度不好,需要进行修正。④模型修正:通过对先前假设的模型进行修改或调整,使各适配度指标满足要求的一个过程,当所有适配度指标都处于可接受范围内,则认为模型构建完成。在开始构建模型之前首先要确定对模型进行评价的指标依据,模型评价过程中需要根据已确定的指标来判断模型的有效性,即是否需要对模型进行修正。

3.1 模型适配度指标选取

使用结构方程模型进行建模前,需要对上文中提炼出的风险因素以及风险因素与潜变量之间的相关性作进一步验证。根据已有的相关研究选取 8 个评价指标。卡方值 χ^2 、自由度 df 、 χ^2/df 、显著性水平 P 、适配度指标(Goodness-of-fit, GFI)、调整后适配度指标

(Adjusted Goodness-of-fit , AGFI)、比较拟合指标 (Comparative Fit Index ,CFI)、渐近误差均方根(Root Mean Square Error Approximation ,RMSEA) ,并通过总结相关文献给出以上指标的可接受范围 ,见表 2。

表 2 模型适配度指标及可接受范围
Table 2 Model fitness index and acceptable range

| 指标 | 允许范围 |
|-------------|----------------------------|
| χ^2 | 越小越好 |
| P 值 | $P > 0.05$ |
| χ^2/df | 1~3(严谨) 3~5(可接受) |
| GFI | >0.90 良好 |
| AGFI | >0.90 良好 |
| CFI | >0.90 良好 |
| RMSEA | <0.08(可以接受) <0.05(良好) |

以上配适度指标中 ,要求小于 0.05 的指标满足要求时为理想值 ,若处于 0.05~0.08 之间则认为可以接受;要求大于 0.9 的指标满足要求时为理想值 ,若只大于 0.8 认为可以接受。

在建立模型时 ,若以上指标不满足要求的接受范围 ,需要对模型进行修正。具体做法是运行模型后 ,查看模型的 M. I. 值 ,寻找 M. I. 值最大的参数进行修正。同一模型可能需要多次修正 ,每次只观察 M. I. 值最大的一个参数 ,若同时存在多个 M. I. 值较大的参数 ,只能选择其中一个参数进行修正。被修正的参数一般被认为与所在构面其他的参数不具有良好的一致性 ,存在较大差异。

3.2 一阶验证性因素分析

根据表 1 中识别的风险因素清单进行结构方程建模 ,其中 20 个经提取的二级指标为观测变量 ,客观环境、技术因素、参与方、材料设备、管理因素 5 个一级指标为潜变量 ,构建出 SEM 假设模型。

3.2.1 单因子模型验证分析

单因子模型验证分析需要依次对 5 个潜变量与其观测变量的模型配适度进行分析验证 ,以客观环境这一方面的风险因素为例进行说明。环境因素下共有 6 个观测变量 ,初始模型及配适度指标如图 1(a) 所示。由图可看出 χ^2/df (卡方/自由度)、RMSEA 不符合接受范围 ,因此需要对该模型进行修正。以 M. I. 值为依据 ,依次删去 OE4、OE6 两个风险因素 ,修正后的模型如图 1(b) 所示 ,各项指标都符合接受范围。同理 ,依次对另外 4 个风险类别的单因子模型进行修正 ,删去 PM5。根据最终修正好的环境因素测量模型可以看出 ,在环境因素中 ,对项目影响较大的风险因素为 OE2 ,即相关法规政策及税率变动。

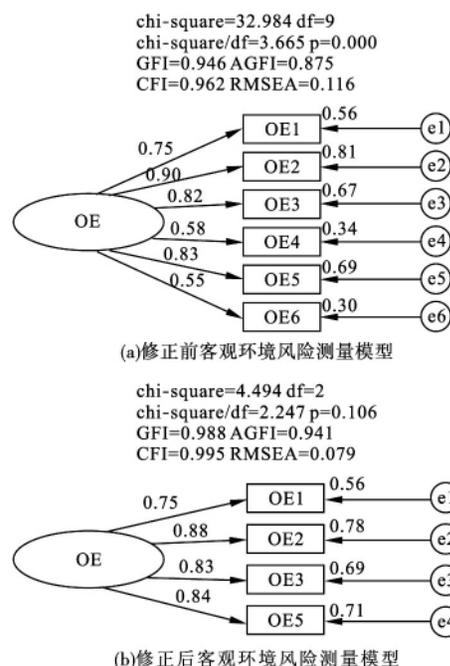


图 1 客观环境风险测量模型

Fig. 1 Objective environmental risk measurement model

3.2.2 收敛效率与区别效率分析

组成信度 (CR) 指构面内因素之间的组合信度 , 检验的是同一个构面内因素之间的综合信度 , 组合信度要求同一个构面内的因素必须具有良好的相关性 , 当 CR 大于 0.7 认为该构面具有足够的内部一致性;收敛效率 (AVE) 是指同一构面内因素的收敛性 , 即同一构面内因素对该构面的表达是否具有整体的一致性 , 当 AVE 大于 0.5 时可以认为不同构面之间的收敛效率良好;标准化因素负荷量 (Std) 一般大于 0.6 表示符合研究标准;题目信度 (SMC) 大于 0.36 表示题目具有足够的信度 , 分析结果见表 3。

表 3 中在参数显著性估计下显著性水平 P 的符号输出表示非标准化下的参数估计值都具有显著性;因素负荷量基本符合标准;题目信度均大于 0.36 说明题目信度符合要求;组成信度基本符合要求 , 只有技术因素这一方面的组成信度为 0.672 , 虽未大于 0.7 , 但接近于 0.7 , 依据统计学的相对性标准说明基本符合要求;同理 , 也认为收敛效率符合研究标准。

区别效率主要以表 4 中斜对角线上的数据与其纵向、横向数据是否存在差异作为判别标准 , 通过观察可知存在区别效率 , 见表 4。

3.2.3 一阶 CFA 模型分析

分别对单因子模型进行修正并分析验证后 , 将各单因子测量模型进行整合 , 构建成为一阶测量模型。对各潜变量之间进行连线表示其相互关系 , 见图 2。其中 χ^2/df (卡方/自由度) 为 2.436 , 在 1~3 之间 , 处于可接受范围;显著性水平 P 小于 0.05 符合要

表 3 收敛效度分析

Table 3 Convergence validity analysis

| 构面 | 题目 | 参数显著性估计 | | | | 因素负荷量 Std | 题目信度 SMC | 组成信度 CR | 收敛效度 AVE |
|----|-----|---------|-------|---------|-----|-----------|----------|---------|----------|
| | | Unstd | S. E. | t-value | P | | | | |
| OE | OE1 | 1.000 | | | | 0.748 | 0.560 | 0.929 | 0.724 |
| | OE2 | 0.792 | 0.064 | 12.451 | *** | 0.884 | 0.781 | | |
| | OE3 | 0.519 | 0.044 | 11.770 | *** | 0.833 | 0.694 | | |
| | OE5 | 0.645 | 0.054 | 11.881 | *** | 0.841 | 0.707 | | |
| HT | HT1 | 1.000 | | | | 0.638 | 0.407 | 0.672 | 0.415 |
| | HT2 | 0.712 | 0.035 | 20.210 | *** | 0.725 | 0.526 | | |
| | HT3 | 0.752 | 0.036 | 20.781 | *** | 0.711 | 0.506 | | |
| PF | PF1 | 1.000 | | | | 0.799 | 0.638 | 0.893 | 0.736 |
| | PF2 | 1.046 | 0.077 | 13.665 | *** | 0.898 | 0.806 | | |
| | PF3 | 1.401 | 0.104 | 13.471 | *** | 0.873 | 0.762 | | |
| PM | PM1 | 1.000 | | | | 0.619 | 0.383 | 0.820 | 0.537 |
| | PM2 | 1.197 | 0.140 | 8.551 | *** | 0.838 | 0.702 | | |
| | PM3 | 1.717 | 0.202 | 8.494 | *** | 0.817 | 0.667 | | |
| | PM4 | 1.063 | 0.148 | 7.170 | *** | 0.629 | 0.396 | | |
| ME | ME1 | 1.000 | | | | 0.569 | 0.324 | 0.772 | 0.538 |
| | ME2 | 1.113 | 0.157 | 7.088 | *** | 0.740 | 0.548 | | |
| | ME3 | 1.765 | 0.265 | 6.662 | *** | 0.861 | 0.741 | | |

表 4 区别效度分析

Table 4 Discriminant validity analysis

| 构面 | AVE | A | F | G | C | B |
|----|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A | 0.724 | 0.851 | | | | |
| F | 0.537 | 0.401 | 0.733 | | | |
| G | 0.538 | 0.306 | 0.431 | 0.733 | | |
| C | 0.736 | 0.451 | 0.399 | 0.466 | 0.858 | |
| B | 0.415 | 0.630 | 0.422 | 0.514 | 0.407 | 0.644 |

求; GFI 为 0.870 ,大于 0.8 ,表示可以接受; AGFI 为 0.818 ,可以接受; CFI 为 0.906 ,大于 0.9 ,认为达到理想标准; RMSEM 为 0.085 接近 0.08 ,认为可以接受,见图 2。由此可见,一阶测量模型的整体适配度良好。

结构方程模型又分为测量模型和结构模型,测量模型估计的是潜变量与其观测变量之间的影响关系,结构模型估计的是潜变量之间的关系。对以下结构模型中的标准化路径系数进行分析,其中 OE 与 HT 的关系最为密切,其次是 OE 与 PM,即客观环境与技术因素之间有较强的影响关系,与管理因素之间也有一定的影响关系。这表明潜变量之间存在着一定的相关性,可以考虑建立二阶结构模型进行进一步的分析。

3.3 二阶验证性因素分析

进行二阶 CFA 分析是由于潜变量之间存在一定的相关性,可以推测出存在一个更高阶的变量,各潜变量对其共同产生影响。将这一高阶潜在变量命名为 PPP 模式下既有建筑节能改造项目的计划目标,在模型中表示为 Project。

首先,对结构模型的 SMC 进行分析。由于测量模型与结构模型的估计方式不同,观测变量和潜变量

chi-square=265.531 df=109
chi-square/df=2.436 p=0.000
GFI=0.870 AGFI=0.818
CFI=0.906 RMSEA=0.085

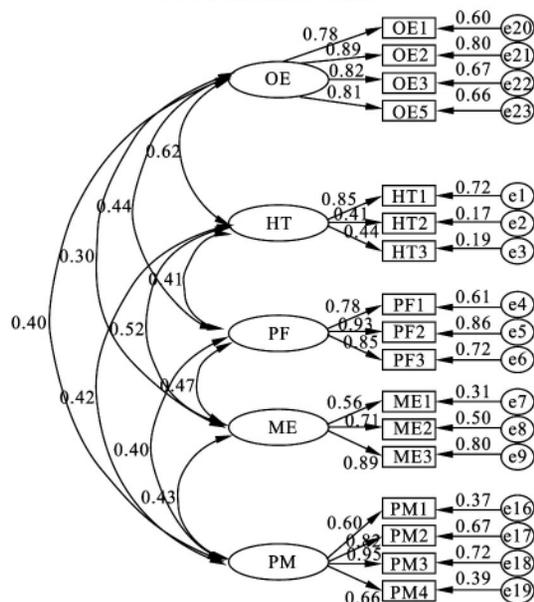


图 2 PPP 模式下既有公共建筑节能改造项目风险一阶模型

Fig. 2 First-order model of risk of existing public building's energy-saving reconstruction projects under PPP mode

的 SMC 评价标准也存在区别,前面对测量模型中观测变量的 SMC 已经作了分析,这里将对结构模型的 SMC 进行分析说明。在结构模型中认为当 $0.19 < SMC < 0.33$,自变量的解释能力较差;当 $0.33 < SMC < 0.67$,自变量的解释能力可以接受;当 $SMC \geq 0.67$,自变量的解释能力处于理想水平。由图 3 可知结构模型中潜变量的 SMC 均大于 0.33,可以接受。

其次,对二阶 CFA 模型进行适配度分析。chi-square/df(卡方/自由度)为 2.468,在 1~3 之间,处于可接受范围;显著性水平 P 小于 0.05 符合要求;GFI 为 0.866,大于 0.8 表示可以接受;同理 AGFI 为 0.820,可以接受;CFI 为 0.899,大于 0.8 且接近于 0.9,认为满足要求;RMSEM 为 0.086,接近 0.08,认为可以接受。由此可见,二阶测量模型的整体适配度良好,见图 3。

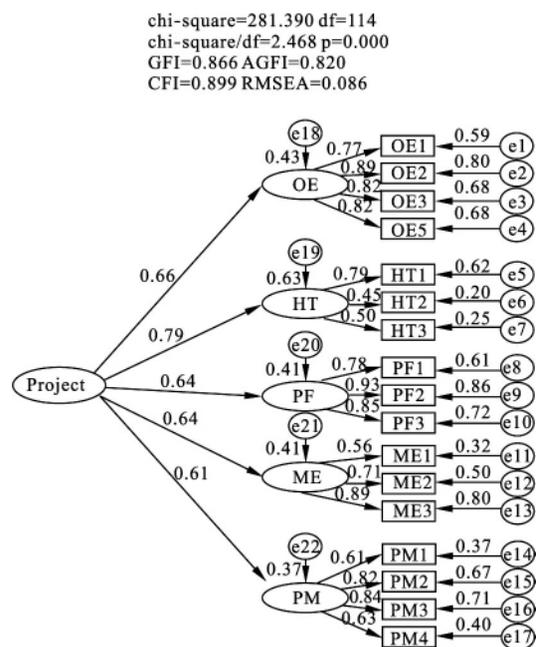


图 3 PPP 模式下既有公共建筑节能改造项目风险二阶模型

Fig. 3 Second-order risk model of existing public building's energy-saving reconstruction projects under PPP mode

根据二阶验证性因素分析可知,客观环境因素中,对项目影响较大的因素为相关法规政策及税率变动;技术因素中对项目影响较大的风险因素为缺乏专业的管理人员和技术人员;参与方因素中对项目影响较大的风险因素为缺少满足条件的融资主体;材料设备因素中对项目影响较大的风险因素为材料质量不过关;管理因素中对项目影响较大的风险因素为预期收益不达标。由于各一级风险指标在项目实施过程中产生的影响程度不同,由此并不能确定出对项目影响较大的关键风险因素,因此需要结合一级风险指标的影响程度来对所有风险因素进行量化,进而确定出对项目实施具有较大影响的关键风险因素。

3.4 风险量化

为了更清晰地观察风险因素对项目的影响程度,对风险因素进行量化。具体做法是依据结构方程模型中各因素的标准化路径系数,计算出各个风险因素的权重。计算权重采用加权平均数法,识别出的 17 个主要风险因素的权重见表 5。

表 5 PPP 模式下既有公共建筑节能改造项目主要风险因素权重
 Table 5 Weighting of main risk factors of existing public building's energy-saving reconstruction projects under the PPP mode

| 潜变量 | 观测变量 | 总权重 | 总权重排名 |
|-----|------|---------|-------|
| OE | OE1 | 0.046 1 | 14 |
| | OE2 | 0.053 3 | 9 |
| | OE3 | 0.049 1 | 13 |
| | OE5 | 0.049 1 | 13 |
| | HT1 | 0.107 4 | 1 |
| HT | HT2 | 0.060 8 | 7 |
| | HT3 | 0.067 9 | 4 |
| | PF1 | 0.058 4 | 8 |
| PF | PF2 | 0.070 1 | 3 |
| | PF3 | 0.063 6 | 5 |
| | ME1 | 0.049 7 | 12 |
| ME | ME2 | 0.063 0 | 6 |
| | ME3 | 0.079 0 | 2 |
| | PM1 | 0.038 4 | 16 |
| PM | PM2 | 0.051 6 | 11 |
| | PM3 | 0.052 9 | 10 |
| | PM4 | 0.039 7 | 15 |

对风险因素进行量化后,可以看出各风险因素对项目成功实施的影响程度,并根据风险权重的大小对其进行排序,确定各风险因素对项目实施过程产生影响的优先级。风险权重大小表示风险因素对项目成功实施的影响程度,权重越大,表示该风险因素对项目的影响程度越大,本研究中将风险权重大于 0.7 的风险因素确定为关键风险因素,并针对关键风险因素提出相应的管控建议。

4 结论

既有公共建筑节能改造项目在采用 PPP 模式下各一级风险指标对项目的影响程度大小依次为:技术因素、客观环境、参与方因素、材料设备、管理因素,各一级风险指标对项目的影响表现为二级风险因素对项目的影响,且主要表现为风险权重较大的关键风险因素对项目的影响。关键风险因素按风险权重大小依次为:缺乏专业的管理人员和技术人员、材料质量不过关、缺少满足条件的融资主体。以下将分别针对各关键风险因素给出相应的管理措施,为决策者提供科学的参考建议。

(1) 缺乏专业的管理人员和技术人员:加大技术专业和管理人才的培养力度,同时根据工程具体情况对专业技术人才进行培训,综合提高从事节能改造项目的专业人才的技术水平和管理素养。

(2) 材料质量不过关:对材料质量不过关的风险规避,需要对材料生产、采购、运输、存放及施工等各个环节进行严格控制和管理,比如选择材料时严格按照要求进行选择,进场后对材料进行复检,施工过程中

指定专人严格监督,杜绝偷工减料、以次充优的行为;另外政府主导部门可以倡导科研机构研发满足不同需求的新产品、新材料及新技术,满足不同既有公共建筑节能改造项目的需求。

(3) 缺乏满足条件的融资主体:政府可以采取相关优惠政策,扩大融资主体的选择范围,吸引更多的社会主体参与到既有公共建筑的节能改造项目中来,政府还可以通过政策宣传、集中培训等方式统一参与方的认识,让参与各方对既有公共建筑的节能改造的相关政策和目标形成共识,达成一致。

在研究过程中,由于数据来源的局限性,使得研究分析的结果不能很好地适用于所有采用PPP模式的既有建筑改造项目,在后续研究中将加以改进和深入。

参考文献:

- [1]清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告2019[M].北京:中国建筑工业出版社,2019:3-15.
- [2]古小东,夏斌.我国推行合同能源管理的问题与对策研究[J].企业经济,2012,31(3):149-152.
- [3]LEE P, LAM P T I, LEE W L. Risks in energy performance contracting (EPC) projects[J]. Energy and Buildings, 2015, 92: 116-127.
- [4]Cheong hoon Baek, Sang hoon Park. Policy measures to overcome barriers to energy renovation of existing buildings [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, 16(6): 3939-3947.
- [5]王莹, 窦蕾, 刘思彤. 基于改进 FMEA 的既有建筑绿色改造风险评估

价[J]. 生态经济, 2018, 34(1): 89-93.

- [6]尚伶, 郭汉丁, 马兴能. ESCO 节能改造项目投资风险动态反馈系统分析[J]. 科技进步与对策, 2013, 30(23): 141-146.
- [7]陶凯, 郭汉丁, 王毅林, 等. 建筑节能改造项目风险层次结构与关联机理[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2016, 41(4): 973-981.
- [8]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.
- [9]刘晓君, 王斌, 白春妮. 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.
- [10]黄桂林, 魏修路. 基于组合赋权法的 PPP 棚改项目风险评价[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(4): 40-46.
- [11]赵军凯, 张然, 刘茂林, 等. 既有建筑绿色化改造过程中难点分析及建议[J]. 应用能源技术, 2016, 4(8): 56-58.
- [12]江世英, 马春艳. 考虑零售商风险态度的绿色供应链契约协调模型[J]. 工业工程, 2015, 18(3): 30-35.
- [13]秦旋, 荆磊. 绿色建筑全寿命周期风险因素评估与分析: 基于问卷调查的探索[J]. 土木工程学报, 2013, 46(8): 123-135.
- [14]王敬敏, 刘端媚, 刘海南. EPC 模式下火电厂节能改造项目的风险识别研究[J]. 电力需求侧管理, 2011, 13(5): 21-24.
- [15]王勇, 赖苾宇, 刘成成, 等. 基于 SEM 的地铁施工安全风险评价研究[J]. 佳木斯大学学报: 自然科学版, 2019, 37(2): 175-179.
- [16]李梦梦, 赖苾宇, 陈秋兰, 等. 基于 SEM 的 BIM 技术应用风险评价[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学, 2018, 32(8): 206-212.
- [17]刘霁, 李云, 刘浪. 基于 SEM 的建筑施工企业 KPI 安全绩效评价[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(6): 123-128.

作者简介: 李强年(1970)男,甘肃平凉人,工业与民用建筑专业,硕士,硕士生导师,副教授,高级工程师,研究方向:工程项目管理、施工技术(450392674@qq.com)。

(上接第79页)

- [4]王海滨. 绿色生态建筑视域下城市地下空间开发利用[J]. 城市住宅, 2019, 26(4): 20-22.
- [5]周俊青. 地下空间节能关键技术研究[J]. 安徽建筑, 2019, 26(4): 188-189.
- [6]夏才初, 曹诗定, 王伟. 能源地下工程的概念、应用与前景展望[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(3): 419-424.
- [7]曾旭东, 葛贵诚. 地铁站节能设计初探——第五届全国大学生节能减排竞赛参赛作品简介[J]. 室内设计, 2013, 28(1): 66-70.
- [8]王国富, 刘海东, 潘雷. 可调通风型站台门系统在济南地铁中的适用性研究[J]. 都市轨道交通, 2016, 29(5): 99-103.

- [9]胡映东, 赵晨. 绿色地铁站建筑设计初探[J]. 建筑科学, 2014, 30(6): 132-138.
- [10]朱大明. 城市地下空间开发利用的绿色生态建筑对策[J]. 地下空间, 2003, 4(2): 186-190.
- [11]董靓. 地铁车站的绿色设计原则与技术要点[C]//中国交通土建工程学术论文集(2006) 2006-05, 成都: 西南交通大学出版社, 2006: 69-72.

作者简介: 赵鹏飞(1975)男,山东聊城人,毕业于天津大学,建筑学专业,博士研究生,副教授,研究方向为绿色人居环境(ztj13863362420@163.com)。