

基于 IFS 与 TOPSIS 的城市基础设施 PPP 项目融资风险评价

赵 辉, 屈微璐, 邱玮婷, 董 骅

(青岛理工大学 管理学院, 山东 青岛 266520)

摘 要: 针对 PPP 模式下城市基础设施项目融资风险评价问题,提出了运用直觉模糊集(IFS)与逼近理想解法(TOPSIS)相结合的城市基础设施项目融资风险评价方法。首先应用直觉模糊思想构建城市基础设施 PPP 项目的融资风险评价指标集,以保证评价指标对于项目信息表达的完整性;然后结合 TOPSIS 法确定方案贴近度,对各方案进行排序以筛选出最优方案;最后应用该方法对某市的 5 处公共地下车库项目融资风险进行评价。实证研究表明:该风险评价实现了“客观性”“全面性”和“适用性”,是科学合理的,对于 PPP 模式下的城市基础设施项目融资风险评价能够提供一定的帮助。

关键词: 城市基础设施项目; 融资风险; 直觉模糊集; TOPSIS 法; 城市公共地下车库

中图分类号: F282 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0985(2018)02-0066-06

DOI:10.13579/j.cnki.2095-0985.2018.02.010

Financing Risk Evaluation of Urban Infrastructure Project Based on PPP Mode Based on IFS and TOPSIS Method

ZHAO Hui, QU Wei-lu, QIU Wei-ting, DONG Hua

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

Abstract: In order to evaluate the financing risk of urban infrastructure project based on PPP mode, putting forward the method of intuitionistic fuzzy sets(IFS) and TOPSIS. Firstly, building financing risk evaluation index set of urban infrastructure project based on PPP mode with the application of intuitionistic fuzzy ideas, to ensure the integrity of the evaluation index information. Then determining the solution degree combined with TOPSIS method, and sorting the solutions for the best option screening. Finally applying the method to evaluate the financing risk of five public underground garage of a city. The empirical study shows that the risk assessment implements “objectivity” “comprehensive” and “suitability”. The model is scientific and reasonable, and it can offer help to the urban infrastructure project based on PPP mode of financing risk evaluation research.

Key words: urban infrastructure project; financing risk; IFS; TOPSIS; urban public underground garage

随着我国城镇化进程的不断推进,对于城市基础设施的要求也越来越高。而城市基础设施的建设对于资金量的需求是巨大的,为了解决这一问题,十八届三中全会曾提出允许社会资本通过特许经营等方式参与城市基础设施投资与运营,在这种模式下城市基础设施项目的投融资结构较为繁琐,融资风险因素较多,具有阶段性、复杂性、风险周期长以及参与方众多等特点^[1-3],其涉及

项目的工期、成本、质量以及运营收益等多个方面,风险发生的概率以及造成的损失大小具有很大的不确定性^[3-4],融资风险影响结果较为严重,使得融资风险对于项目的顺利与否起到了举足轻重的作用。因此对 PPP(Public-Private-Partnership)模式下的城市基础设施项目进行融资风险评价研究对我国当前城市基础设施的建设有着非常重要的现实意义。

收稿日期: 2017-04-27 修回日期: 2017-06-15

作者简介: 赵 辉(1978-),男,山东兰陵人,博士,副教授,研究方向为工程项目投融资决策(Email: Zhaohui43@126.com)

通讯作者: 屈微璐(1994-),女,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为工程项目投融资决策(Email: 1137429111@qq.com)

基金项目: 国家自然科学基金(71471094)

对于 PPP 模式下城市基础设施项目融资风险的评价,国内外均进行了相应的研究分析。国外方面,Fischer 等^[1]对 PPP 项目的风险管理建立了比较完整的体系; Xu Yelin 等^[2]运用模糊评估方法建立了 PPP 项目的融资风险评价模型; Grimsey 等^[3]对基础设施应用 PPP 模式的风险作出了研究。国内方面,张萍等^[4]运用模糊综合评价方法对城市基础设施 PPP 模式下融资风险的三个特征进行了分析; 莫吕群等^[5]运用层次分析法并结合实际案例甄别出了城市基础设施 PPP 项目融资中的重要风险影响因素; 孙荣霞^[6]利用霍尔三维结构从三个维度分别对基础设施 PPP 项目的融资风险进行了研究; 李公祥等^[7]提出了针对不同类型的城市基础设施项目应选择不同结构的 PPP 模式; 陈波等^[8]通过建立线性规划模型提出了 PPP 项目融资风险分配的新方法; 王雪青等^[9]运用模糊数学方法对高速公路 PPP 项目的融资风险进行了分析。现有的关于融资风险的定性研究大都集中在较为广泛的 PPP 项目上,而针对 PPP 模式下城市基础设施项目的融资风险大多为定性研究。本文总结了各文献所提出的融资风险因素,针对复杂的风险指标体系,为了改善以往文献中对于指标评价准确性的缺失问题,利用直觉模糊集来表示风险因素的模糊性与不确定性,构建评价矩阵,以便更加充分地获得评价专家与评价指标的信息,并且将直觉模糊集与逼近理想解的排序法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS) 结合起来,试图构建城市基础设施 PPP 项目融资风险评价模型,对 PPP 模式下城市基础设施项目的融资风险进行客观全面的评价,以保证我国城市基础设施的稳定发展。

1 城市基础设施 PPP 项目融资风险评价指标体系

PPP 项目融资是一个专业性强、涉及范围广且较为复杂的系统过程,从立项一直到投入使用过程中,参与方众多,融资结构相对复杂,将 PPP 模式应用到城市基础设施中是一大创新性挑战。PPP 项目融资本身具有的风险性,结合城市基础设施固有的长期性以及公众性,极易可能产生未预料到的后果,若想避免风险的发生,首先需要了解其形成机制(图 1),来自于内外部风险影响因素从不同的方面构成了该项目的风险事件,以致于造成诸如成本增加、工期延长、质量下降以及

收益变化等后果。

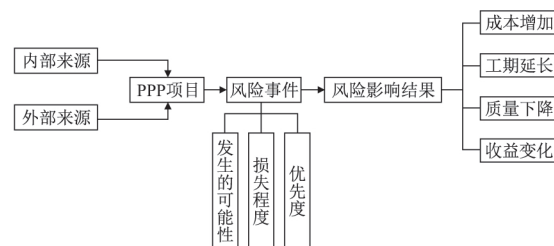


图1 项目融资风险形成机制

根据 PPP 项目融资的风险形成机制,每个项目由于其所处的内部、外部环境不同,造成了各种不可预估的融资风险。本文主要通过总结国内外文献对于基础设施 PPP 项目融资风险的识别研究^[5-12],以我国城市基础设施所独有的特点为基础,结合全面性及科学性、适用性与可量化以及系统性和逻辑性原则,从多个角度进行分析建立了具有动态性以及全面性的风险评价指标体系,如表 1 所示。

表1 城市基础设施 PPP 项目融资风险

风险	风险细分
政治风险	政府稳定性 C_1 、政府信用度 C_2 、 政府担保力度 C_3 、政府政策稳定性 C_4
社会风险	环境风险 C_5 、 公众反对 C_6
法律风险	法律完善程度 C_7 、 法律变更 C_8
金融风险	通货膨胀 C_9 、利率降低 C_{10} 、 汇率降低 C_{11} 、融资可获得性 C_{12}
建设风险	项目延误 C_{13} 、 建设成本超支 C_{14}
运营风险	市场需求量降低 C_{15} 、 产品/服务价格变动 C_{16}

2 基于 IFS 与 TOPSIS 的城市基础设施 PPP 项目融资风险评价

由表 1 可知,PPP 模式下的城市基础设施项目在融资风险方面有众多的影响因素,且这些指标涵盖范围较为广泛。在融资风险评价中,由于各专家在专业方面的局限性,若仅仅依靠专家对于影响指标的主观判断则缺乏一定的准确性,并且在方案的选择过程中也具有较大的主观性。对此,Atanassov^[13]曾提出了直觉模糊集的思想可在一定程度上保证指标参数确定的完整性; Hwang 等^[14]提出的 TOPSIS 法可根据综合评价指数对方案进行客观排序以选择最优方案。本文通过引入直觉模糊集(Intuitionistic Fuzzy Sets, IFS) 来表示

各融资风险指标对于该 PPP 项目影响的隶属度与非隶属度,再利用得分函数建立求解指标最优权重的线性模型,结合 TOPSIS 决策方法得出综合评价指数,在一定程度上避免了主观误差,能够从更加全面的角度对评价体系作出分析。具体的基于 IFS 与 TOPSIS 的城市基础设施 PPP 项目融资风险评价模型框架如图 2 所示。

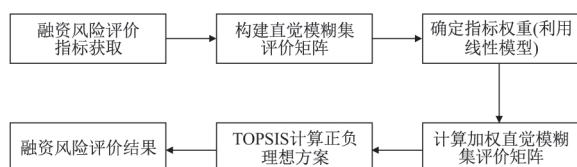


图 2 城市基础设施 PPP 项目融资风险评价模型

2.1 IFS 与 TOPSIS 的基本理论

2.1.1 直觉模糊集(IFS)

自美国控制论专家 Zadeh^[8]于 1965 年提出模糊集理论以来,该理论便被逐渐应用到了国民经济的各个领域之中。模糊集的核心思想是把取值仅为 1 或 0 的特征函数扩展到可在单位闭区间 $[0,1]$ 中任意取值的隶属函数,而该隶属函数表达信息较为单一。之后保加利亚学者 Atanassov^[9]便对 Zadeh 的模糊集进行了拓展,提出了直觉模糊集的概念,该理论同时考虑到了隶属度、非隶属度和犹豫度这三个方面的信息,很大程度上缓解了模糊集中指标参数确定的问题。

定义 1^[9]: 对于一个论域 X , 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为非空有限集, 则将 $A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle | x \in X \}$ 定义为论域 X 上的一个直觉模糊集, 其中 $\mu_A(x)$ 和 $\nu_A(x)$ 称为 A 的隶属度函数和非隶属度函数, $\mu_A(x) \in (0,1)$, $\nu_A(x) \in (0,1)$ 则各自代表了元素 x 属于 A 的隶属度和非隶属度, 并且对于 $x \in X$ 同时满足条件 $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ 。

定义 2^[9]: 对于论域 X 上的任一直觉模糊集, 称 $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$, $x \in X$ 为元素 x 属于集合 A 的犹豫度或不确定度, 即对于元素 x 是否属于集合 A 的犹豫程度的一种度量, 易知 $0 \leq \pi_A(x) \leq 1, x \in X$, 且 $\pi_A(x)$ 越小, 元素 x 相对于集合 A 的未知信息就越少, 则决策者对于自己做出的判断就越肯定。

2.1.2 TOPSIS 法

在理想解以及权重已知的情况下, 运用 TOPSIS 算子来解决多属性决策问题可以保证方案选择的客观性。Hwang 等^[1]于 1981 年提出的 TOPSIS 法, 又称为逼近理想解的排序方法, 它通过计算方案集中各方案与理想解和负理想解的距

离给方案集中各方案进行排序, 即靠近理想解又远离负理想解的方案为最佳方案。具体思路如图 3 所示。图 3 表示两个属性的决策问题, f_1 和 f_2 为加权的规范化属性, 方案集 X 中的六个方案 $x_1 \sim x_6$ 的加权规范属性值如图中位置所示, x^+ 和 x^- 分别表示理想解与负理想解, 其中 x_4, x_5 到理想解的距离最近且相同, x_4 距离负理想解比 x_5 远, 由此可判断方案优劣。

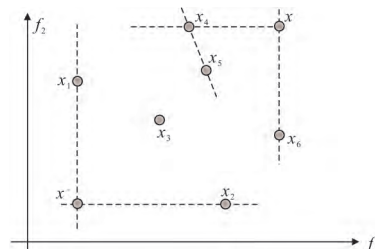


图 3 理想解与负理想解示意

2.2 基于 IFS 与 TOPSIS 的城市基础设施 PPP 项目融资风险评价具体步骤

(1) 构建直觉模糊集评价矩阵

在信息不完全确定的模糊环境下, 每个专家均采用直接模糊集的形式对各项目的融资风险指标进行评价。设项目 A_i 的第 j 个指标的评价值为直觉模糊集 $\tilde{R}_{ij} = (\mu_{ij}', \nu_{ij}', \pi_{ij}')$, 由此可得到项目集 A 的直觉模糊集评价矩阵为:

$$P = \begin{pmatrix} (\mu_{11}', \nu_{11}', \pi_{11}') & (\mu_{12}', \nu_{12}', \pi_{12}') & \cdots & (\mu_{1n}', \nu_{1n}', \pi_{1n}') \\ (\mu_{21}', \nu_{21}', \pi_{21}') & (\mu_{22}', \nu_{22}', \pi_{22}') & \cdots & (\mu_{2n}', \nu_{2n}', \pi_{2n}') \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (\mu_{m1}', \nu_{m1}', \pi_{m1}') & (\mu_{m2}', \nu_{m2}', \pi_{m2}') & \cdots & (\mu_{mn}', \nu_{mn}', \pi_{mn}') \end{pmatrix}$$

式中: $0 \leq \mu_{ij}' \leq 1; 0 \leq \nu_{ij}' \leq 1; 0 \leq \mu_{ij}' + \nu_{ij}' \leq 1; \pi_{ij}' = 1 - \mu_{ij}' - \nu_{ij}'; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 求解最优权重

通常的指标权重是专家根据各项指标的相对重要性进行评分, 易受到专家主观性影响, 为了提高项目方案评价的准确性, 应用直觉模糊数的形式模拟人类大脑思维确定指标权重。设 μ_{ij}, ν_{ij} 分别为指标 C_j 对于项目 A_i 而言重要的隶属度与非隶属度, 根据直觉指数涵义, 指标 C_j 对于项目 A_i 的影响程度在闭区间 $[p_{ij}^-, p_{ij}^+] = [\mu_{ij}, \mu_{ij} + \pi_{ij}]$ 上。为了得到指标影响程度的最适度量值 p_{ij}^* , 利用得分函数 $S(a_{ij})$, 构建如下线性模型:

$$\begin{cases} \max \sum_{j=1}^m S(a_{ij}) p_{ij}^*, j = 1, 2, \dots, m \\ s.t. p_{ij}^- \leq p_{ij}^* \leq p_{ij}^+ \end{cases}$$

式中: $a_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$; $S(a_{ij}) = (\mu_{ij} - \nu_{ij}) + (\mu_{ij} - \nu_{ij}) \pi_{ij} = (\mu_{ij} - \nu_{ij}) (1 + \pi_{ij})$ 。

然后求解该模型的最优解向量(此处可利用单纯形法或 Matlab 软件), 所求得的最优解即评价指标对于项目 A_i 影响程度的最适度量值, $p_{ij}^* = (p_{i1}^*, p_{i2}^*, \dots, p_{im}^*)$, 归一化处理后可得到最优权重值 $W_{ij} = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im})$ 。其中 $w_{i1} = (A_i, \rho_1, \kappa_1)$, ρ, κ 分别代表指标对于模糊概念“重要性”的隶属度与非隶属度, $\rho_j \in [0, 1]$, $\kappa_j \in [0, 1]$ 。

(3) 计算加权直觉模糊集矩阵 Q

$$Q = \begin{pmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, \nu_{12}, \pi_{12}) & \dots & (\mu_{1n}, \nu_{1n}, \pi_{1n}) \\ (\mu_{21}, \nu_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, \nu_{22}, \pi_{22}) & \dots & (\mu_{2n}, \nu_{2n}, \pi_{2n}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (\mu_{m1}, \nu_{m1}, \pi_{m1}) & (\mu_{m2}, \nu_{m2}, \pi_{m2}) & \dots & (\mu_{mn}, \nu_{mn}, \pi_{mn}) \end{pmatrix}$$

式中: $(\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij}) = (\mu_{ij}' \rho_j, \nu_{ij}' \kappa_j - \nu_{ij}' \kappa_j, 1 - \mu_{ij}' \rho_j - \nu_{ij}' \kappa_j)$; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。

(4) 计算各项目到正负理想解的距离

设直觉模糊集的正理想解 X^+ 和负理想解 X^- 分别为: $X^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+)$, $X^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-)$, 其中, $x_j^+ = (1, 0, 0)$, $x_j^- = (0, 1, 0)$ 。

项目 A_i 到直觉模糊集正负理想解的距离分别为:

$$d_i^+ = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n [(\mu_{ij} - \mu_j^+)^2 + (\nu_{ij} - \nu_j^+)^2 + (\pi_{ij} - \pi_j^+)^2]},$$

$$d_i^- = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n [(\mu_{ij} - \mu_j^-)^2 + (\nu_{ij} - \nu_j^-)^2 + (\pi_{ij} - \pi_j^-)^2]}。$$

(5) 计算各项目与正负理想方案的贴近度

各项目与正负理想方案的贴近度 C_i 为: $C_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-)$, $i = 1, 2, \dots, m$, 按 C_i 由大到小排列方案的优劣次序, 选出与正理想解最贴近的项目。

$$w = \begin{pmatrix} 0.026 & 0.130 & 0.039 & 0.122 & 0.034 & 0.135 & 0.022 & 0.024 & 0.025 & 0.152 & 0.054 & 0.051 & 0.026 & 0.028 & 0.121 & 0.011 \\ 0.056 & 0.100 & 0.051 & 0.102 & 0.054 & 0.122 & 0.035 & 0.034 & 0.015 & 0.122 & 0.084 & 0.039 & 0.116 & 0.018 & 0.011 & 0.021 \\ 0.039 & 0.090 & 0.026 & 0.092 & 0.065 & 0.104 & 0.054 & 0.022 & 0.042 & 0.135 & 0.031 & 0.068 & 0.066 & 0.041 & 0.091 & 0.034 \\ 0.034 & 0.104 & 0.041 & 0.062 & 0.055 & 0.091 & 0.064 & 0.021 & 0.031 & 0.101 & 0.065 & 0.098 & 0.046 & 0.026 & 0.122 & 0.039 \\ 0.023 & 0.111 & 0.051 & 0.135 & 0.035 & 0.126 & 0.034 & 0.049 & 0.037 & 0.140 & 0.049 & 0.012 & 0.051 & 0.020 & 0.104 & 0.023 \end{pmatrix}$$

集成后的权重为: $w^T = (0.036, 0.107, 0.042, 0.103, 0.049, 0.116, 0.042, 0.030, 0.030, 0.130, 0.057, 0.054, 0.061, 0.027, 0.090, 0.026)$

直觉模糊形式下的权重为:

3 实证应用

为了缓解城市用地紧张, 交通拥堵的现状, 某人口大省计划引进 PPP 模式修建 5 处公共地下车库, 为了有效地分析这 5 处城市公共地下车库的融资风险状况, 现运用 IFS 与 TOPSIS 相结合的方法对这 5 处地下车库 PPP 项目融资风险进行评价。由于城市公共地下车库对于开发规模、地区选址以及服务半径等都有着较高的要求^[20, 21], 本文请专职于城市基础设施、PPP 项目的投融资专家、项目经理以及政府官员等 10 人组成专家组, 采用直觉模糊数的形式对表 1 所示的 16 个风险指标进行打分。

(1) 直觉模糊集评价矩阵 P 如下:

$$P^T = \begin{pmatrix} (0.6, 0.1, 0.3) & (0.3, 0.2, 0.5) & (0.7, 0.2, 0.1) & (0.6, 0.3, 0.1) & (0.6, 0.2, 0.2) \\ (0.3, 0.1, 0.6) & (0.6, 0.1, 0.3) & (0.4, 0.2, 0.4) & (0.2, 0.3, 0.5) & (0.6, 0.3, 0.1) \\ (0.1, 0.4, 0.5) & (0.4, 0.4, 0.2) & (0.4, 0.3, 0.3) & (0.3, 0.5, 0.2) & (0.7, 0.2, 0.1) \\ (0.7, 0.2, 0.1) & (0.5, 0.2, 0.3) & (0.4, 0.4, 0.2) & (0.6, 0.3, 0.1) & (0.4, 0.3, 0.3) \\ (0.4, 0.2, 0.4) & (0.4, 0.4, 0.2) & (0.4, 0.1, 0.5) & (0.7, 0.2, 0.1) & (0.3, 0.4, 0.3) \\ (0.4, 0.3, 0.3) & (0.4, 0.1, 0.5) & (0.3, 0.5, 0.2) & (0.4, 0.4, 0.2) & (0.5, 0.2, 0.3) \\ (0.3, 0.4, 0.3) & (0.3, 0.5, 0.2) & (0.5, 0.2, 0.3) & (0.3, 0.4, 0.3) & (0.6, 0.3, 0.1) \\ (0.6, 0.2, 0.2) & (0.2, 0.2, 0.6) & (0.6, 0.3, 0.1) & (0.4, 0.1, 0.5) & (0.7, 0.2, 0.1) \\ (0.6, 0.3, 0.1) & (0.7, 0.2, 0.1) & (0.2, 0.3, 0.5) & (0.3, 0.5, 0.2) & (0.4, 0.2, 0.4) \\ (0.7, 0.2, 0.1) & (0.6, 0.2, 0.1) & (0.3, 0.5, 0.2) & (0.5, 0.2, 0.3) & (0.4, 0.4, 0.2) \\ (0.4, 0.4, 0.2) & (0.5, 0.3, 0.2) & (0.6, 0.1, 0.3) & (0.7, 0.2, 0.1) & (0.4, 0.1, 0.5) \\ (0.4, 0.1, 0.5) & (0.4, 0.1, 0.5) & (0.3, 0.1, 0.6) & (0.4, 0.2, 0.4) & (0.3, 0.5, 0.2) \\ (0.3, 0.5, 0.2) & (0.7, 0.1, 0.2) & (0.7, 0.2, 0.1) & (0.4, 0.3, 0.3) & (0.2, 0.3, 0.5) \\ (0.5, 0.2, 0.3) & (0.4, 0.1, 0.5) & (0.4, 0.2, 0.4) & (0.3, 0.4, 0.3) & (0.3, 0.5, 0.2) \\ (0.6, 0.3, 0.1) & (0.3, 0.5, 0.2) & (0.4, 0.3, 0.3) & (0.5, 0.2, 0.3) & (0.6, 0.3, 0.1) \\ (0.2, 0.3, 0.5) & (0.6, 0.2, 0.2) & (0.3, 0.1, 0.6) & (0.6, 0.2, 0.2) & (0.2, 0.3, 0.5) \end{pmatrix}$$

(2) 确定各指标组合权重向量

借助 MATLAB 工具, 利用上述线性模型, 以获得各指标的权重:

$$w^{nT} = \begin{bmatrix} (0.036, 0.421, 0.543) \\ (0.107, 0.453, 0.440) \\ (0.042, 0.368, 0.590) \\ (0.103, 0.542, 0.355) \\ (0.049, 0.497, 0.454) \\ (0.116, 0.623, 0.261) \\ (0.042, 0.473, 0.485) \\ (0.030, 0.368, 0.602) \\ (0.030, 0.537, 0.433) \\ (0.130, 0.627, 0.243) \\ (0.057, 0.596, 0.347) \\ (0.054, 0.485, 0.461) \\ (0.061, 0.502, 0.437) \\ (0.027, 0.497, 0.476) \\ (0.090, 0.526, 0.584) \\ (0.026, 0.491, 0.483) \end{bmatrix}$$

(3) 计算加权直觉模糊评价矩阵 Q

$$Q^T = \begin{bmatrix} (0.002, 0.479, 0.499) & (0.011, 0.537, 0.452) & (0.025, 0.537, 0.438) & (0.022, 0.595, 0.383) & (0.022, 0.537, 0.441) \\ (0.032, 0.508, 0.460) & (0.064, 0.508, 0.428) & (0.043, 0.562, 0.395) & (0.021, 0.617, 0.362) & (0.064, 0.617, 0.319) \\ (0.004, 0.621, 0.375) & (0.017, 0.621, 0.362) & (0.017, 0.558, 0.425) & (0.013, 0.684, 0.303) & (0.029, 0.494, 0.471) \\ (0.072, 0.634, 0.294) & (0.052, 0.634, 0.314) & (0.041, 0.725, 0.234) & (0.062, 0.679, 0.259) & (0.041, 0.679, 0.280) \\ (0.020, 0.598, 0.382) & (0.020, 0.698, 0.282) & (0.020, 0.547, 0.433) & (0.034, 0.598, 0.368) & (0.015, 0.698, 0.287) \\ (0.046, 0.736, 0.218) & (0.046, 0.661, 0.293) & (0.035, 0.812, 0.153) & (0.046, 0.774, 0.180) & (0.058, 0.698, 0.244) \\ (0.013, 0.684, 0.303) & (0.013, 0.737, 0.250) & (0.021, 0.578, 0.401) & (0.013, 0.684, 0.303) & (0.025, 0.631, 0.344) \\ (0.018, 0.494, 0.488) & (0.006, 0.494, 0.550) & (0.018, 0.558, 0.424) & (0.012, 0.431, 0.557) & (0.021, 0.494, 0.485) \\ (0.018, 0.676, 0.306) & (0.021, 0.630, 0.160) & (0.006, 0.676, 0.318) & (0.009, 0.769, 0.222) & (0.012, 0.630, 0.358) \\ (0.091, 0.702, 0.207) & (0.078, 0.702, 0.220) & (0.039, 0.814, 0.147) & (0.065, 0.702, 0.233) & (0.052, 0.776, 0.172) \\ (0.023, 0.758, 0.219) & (0.029, 0.717, 0.254) & (0.034, 0.636, 0.330) & (0.040, 0.677, 0.283) & (0.023, 0.636, 0.341) \\ (0.022, 0.537, 0.441) & (0.022, 0.537, 0.441) & (0.016, 0.537, 0.447) & (0.022, 0.588, 0.390) & (0.016, 0.743, 0.241) \\ (0.019, 0.751, 0.230) & (0.043, 0.552, 0.405) & (0.043, 0.602, 0.355) & (0.024, 0.651, 0.325) & (0.012, 0.651, 0.337) \\ (0.014, 0.598, 0.388) & (0.011, 0.547, 0.442) & (0.011, 0.598, 0.391) & (0.008, 0.698, 0.294) & (0.008, 0.749, 0.243) \\ (0.054, 0.668, 0.278) & (0.027, 0.763, 0.210) & (0.036, 0.668, 0.296) & (0.045, 0.621, 0.334) & (0.054, 0.668, 0.278) \\ (0.005, 0.644, 0.351) & (0.016, 0.593, 0.391) & (0.008, 0.542, 0.450) & (0.016, 0.593, 0.391) & (0.005, 0.644, 0.351) \end{bmatrix}$$

(4) 构造直觉模糊集正理想方案与负理想方案

案(表2), 计算各项的综合评价指数(表3)。

表2 直觉模糊集的正理想解和负理想解

风险指标	X^+	X^-
C_1	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_2	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_3	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_4	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_5	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_6	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_7	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_8	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_9	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_{10}	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_{11}	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_{12}	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_{13}	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_{14}	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_{15}	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)
C_{16}	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)

表3 各项目到理想解的距离及其综合评价指数

项目	d_i^+	d_i^-	C_i
A_1	0.858	0.367	0.300
A_2	0.855	0.374	0.304
A_3	0.860	0.378	0.305
A_4	0.861	0.346	0.287
A_5	0.860	0.350	0.289

由表3可知, 各项目的优劣次序: $A_3 > A_2 > A_1 > A_5 > A_4$, 即第三处地下车库 A_3 融资风险相对较小, 比较适合该城市的规划发展。

4 结 语

本文在基于 IFS 与 TOPSIS 法的基础上, 对于 PPP 模式下的城市基础设施融资风险评价的研究主要解决了以下 3 个问题:

(1) 客观性。由于 PPP 模式下的城市基础设施

施项目融资风险的评价指标涉及多个学科领域,本文采用了直觉模糊集的形式来构建评价矩阵,然后用 TOPSIS 法进行排序,避免了专家由于专业知识限制而产生的评价主观性。

(2) 全面性。本文在遴选评价指标构建评价体系时,对现有的关于融资风险评价的文献做了大量总结,并结合 PPP 模式下城市基础设施项目融资的特点,从多个方面对评价指标进行了筛选。

(3) 适用性。本文创造了一种在模糊语言环境下,运用 TOPSIS 算子对设施项目进行排序的方法,并通过实证研究更好地说明了该评价方法对于 PPP 模式下城市基础设施项目融资风险评价的适用性。

“客观性”“全面性”和“适用性”的实现,使得基于 IFS 和 TOPSIS 法的城市基础设施 PPP 项目的风险评价更为科学合理,为政府将 PPP 模式应用于城市基础设施奠定了良好的基础。

参 考 文 献

- [1] 胡 丽, 张卫国, 叶晓甦. 基于 PPP 模式的城市基础设施融资风险识别研究 [J]. 甘肃社会科学, 2011, (1): 234-237.
- [2] 向鹏成, 宋贤萍. PPP 模式下城市基础设施融资风险评价 [J]. 工程管理学报, 2016, 30(1): 60-65.
- [3] 王慧莎. 基于 PPP 模式的城市基础设施项目融资风险研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [4] 王守清, 柯永建. 特许经营项目融资 (BOT、PFI 和 PPP) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [5] 王 哲. 城市公共基础设施 PPP 项目的融资模式研究 [J]. 当代经济, 2016, (13): 20-21.
- [6] 李凯风. 城镇基础设施建设 PPP 融资模式风险管理研究 [J]. 求索, 2016, (1): 109-113.
- [7] Fischer K, Leidel K, Riemann A, et al. An integrated risk management system (IRMS) for PPP projects [J]. Journal of Financial Management of Property and Construction, 2010, (15): 260-282.
- [8] Xu Y, Yeung J F Y, Chan A P C, et al. Developing a risk assessment model for PPP projects in China—A fuzzy synthetic evaluation approach [J]. Automation in Construction, 2010, 19 (7): 929-943.
- [9] Grimsey D, Lewis M K, Darrin. Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects [J]. International Journal of Project Management, 2002, 20(2): 107-118.
- [10] 张 萍, 刘 月. 城市基础设施 PPP 模式下融资风险水平度量研究 [J]. 工程管理学报, 2015, 29(2): 65-70.
- [11] 莫吕群, 陈振东, 郭霁月, 等. 基础设施 PPP 项目融资风险分析与案例研究 [J]. 工程管理学报, 2016, 30(5): 71-76.
- [12] 孙荣霞. 基于霍尔三维结构的公共基础设施 PPP 项目融资模式的风险研究 [J]. 经济经纬, 2010, (6): 142-146.
- [13] 李公祥, 尹贻林. 城市基础设施项目 PPP 模式的运作方式选择研究 [J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2011, 13(1): 50-58.
- [14] 陈 波, 徐成桂. PPP 融资模式的风险分配方法 [J]. 交通科技与经济, 2011, (1): 126-128.
- [15] 王雪青, 喻 刚, 王佳冰. 高速公路项目融资风险的动态灰色模糊评价 [J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(5): 81-85.
- [16] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [17] Hwang C L, Yoon K. Multiple Attributes Decision Making Methods and Application [M]. Berlin: Springer, 1981.
- [18] Zadeh L A. Fuzzy Sets [J]. Information Control, 1965, 8(3): 338-353.
- [19] 徐泽水. 直觉模糊信息集成理论及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [20] 马义飞. 地下车库争议与城市停车难解决方案 [J]. 建筑经济, 2008, (s1): 14-16.
- [21] 俞 泳, 卢济威. 广场地下车库与城市行为 [J]. 城市规划汇刊, 1998, (6): 46-48.