

The Study on Risk Management of PPP Construction Project Based on ANP-FCE Model

Guozhi Wang, Yuqing Tian

School of Civil Engineering and Communication, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

Email: wangguozhi@yeah.net, 823946245@qq.com

Received: Aug. 25th, 2017; accepted: Sep. 8th, 2017; published: Sep. 14th, 2017

Abstract

Through the method of ANP, this paper combines the real example to make the analysis of the interaction between the risk factors, and calculates the weight of risk elements in the network layer; this paper also identifies the project risk level which is measured by the fuzzy comprehensive evaluation method (FCE), and identifies the important risk factors and timely takes measures to control the risk of PPP construction project.

Keywords

PPP, Risk Management, Analytic Network Process, Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

基于ANP-FCE模型的PPP建设项目风险管理研究

王国志, 田雨晴

华北水利水电大学土木与交通学院, 河南 郑州

Email: wangguozhi@yeah.net, 823946245@qq.com

收稿日期: 2017年8月25日; 录用日期: 2017年9月8日; 发布日期: 2017年9月14日

摘要

通过网络分析法(ANP)结合实例进行风险因子之间相互影响的分析, 计算网络层风险元素权重, 结合模糊综

合评价法(FCE)确定项目风险等级, 识别重要的风险因素, 及时采取有效措施, 对PPP建设项目进行风险控制。

关键词

PPP, 风险管理, 网络分析法, 模糊综合评价法

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

PPP (Public-Private-Partnership)模式, 作为政府和社会资本合作的新型项目运作模式, 风险因素之间的相互作用更加复杂多样化, 进行风险管理评价确定最大风险因素显得尤为重要。近年来, 王守清[1]深入研究了 PPP 项目的风险分担; 曾维健[2]基于动力学的原理与方法, 分析了 PPP 项目风险要素之间的相互影响关系; 孙晔[3]基于解释结构模型法、网络分析法和灰色聚类分析法对 PPP 模式城市轨道交通项目的风险因素进行了风险评价研究; 翟永威[4]通过构建 PPP 项目单一与非单一的分担风险模型对特许协议谈判阶段的风险分担进行了深入研究。论文采用网络分析法(Alytic Network Process, ANP)与模糊综合评价法(Fuzzy Comprehensive Evaluation, FCE)结合实例来评价各种风险元素之间的相互作用对 PPP 建设项目的影晌程度, 确立风险等级和重要的风险因子, 为项目制定风险应对策略提供依据。

2. PPP 建设项目评价模型的建立

2.1. 建立 PPP 项目风险网络结构

网络分析法(ANP)是 Thomas L. Saaty 教授 1996 年在层次分析法(Alytic Hierarchy Process, AHP)基础上较为系统的提出的一种解决各个元素相互反馈和支配作用的一种新方法。运用 AHP 方法建立的分析模型只考虑了上层元素对下层元素的支配作用, 且同一层次中的元素认为是彼此独立的关系, ANP 法则引入实际系统中不同层次的子系统各个元素间相互作用影响的原理来解决问题[5]。通过分析生产实践中的重要因素, 利用 ANP 原理来建立 PPP 项目风险评价体系, 见图 1。

2.2. ANP 算法

(1) 判断矩阵

以控制层元素 $E_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 为准则, 元素组中的 $E_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 为次准则, 根据 Saaty 提出的 9 级标度(见表 1)来量化判断影响层元素间的优势度, 记作 a_{ij} 。已控制层各个元素 E_i 为准则对目标 G 的影响程度构造判断矩阵(见表 2), 网络层间元素间的互相作用构造判断矩阵同理可得[6] [7]。

构造完成判断矩阵要对其整体性进行一致性检验, 整体性指标 $CI \leq 0.1, CR \leq 0.1$ 应同时满足条件:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^m \frac{(UW)_i}{(nW_i)} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值, n 为元素个数; RI 为平均一致性指标(见表 3); U 为各个评分值, W_i

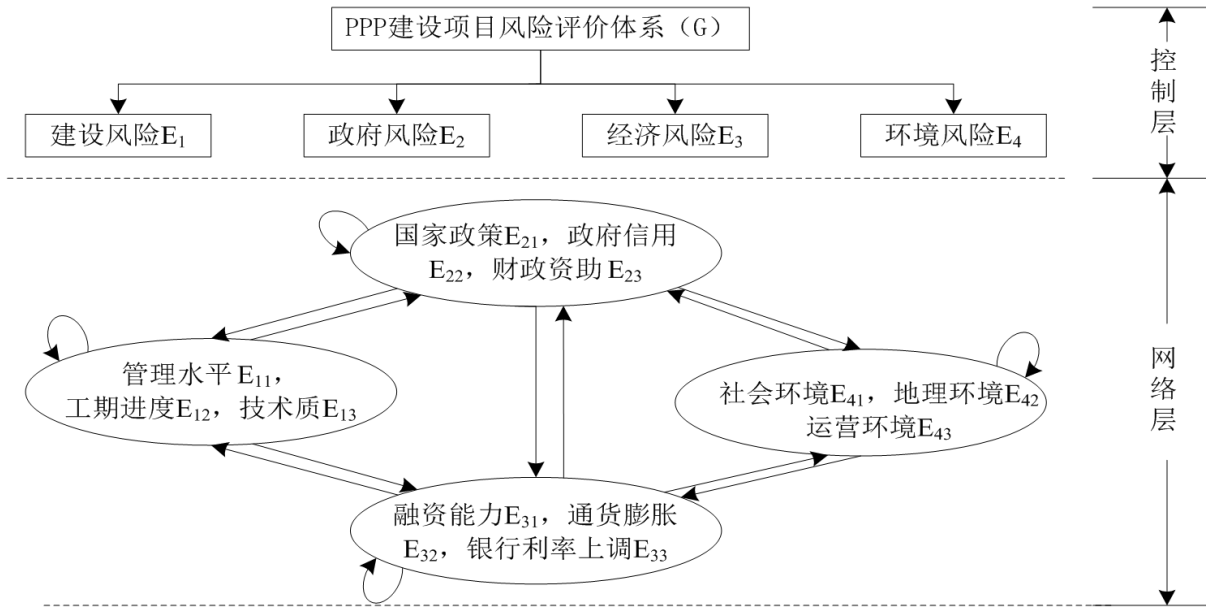


Figure 1. The risk assessment structure chart of the PPP construction project
图 1. PPP 建设项目风险评价体系结构图

Table 1. The definition table of the judgment scale
表 1. 判断标度定义表

| 标度 | 重要性描述 |
|---------|--|
| 1 | <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, 同等重要 |
| 3 | <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, 稍微重要 |
| 5 | <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, 明显重要 |
| 7 | <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, 强烈重要 |
| 9 | <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, 极端重要 |
| 2、4、6、8 | 介于上述各值之间 |
| 倒数 | <i>i</i> / <i>j</i> 相比或 <i>j</i> / <i>i</i> 相比 |

Table 2. The judgment matrix
表 2. 判断矩阵

| G | E_1 | E_2 | $E_3 \dots E_m$ | 特征向量 |
|-------|----------|----------|-----------------------|-------|
| E_1 | a_{11} | a_{12} | $a_{13} \dots a_{1m}$ | W_1 |
| E_2 | a_{21} | a_{22} | $a_{23} \dots a_{2m}$ | W_2 |
| E_3 | a_{31} | a_{32} | $a_{33} \dots a_{3m}$ | W_3 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| E_m | a_{m1} | a_{m2} | $a_{m3} \dots a_{mm}$ | W_m |

Table 3. The mean consistency index
表 3. 平均一致性指标

| <i>n</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>RI</i> | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.46 |

运用 MATLAB 软件进行计算。

(2) 超矩阵与加权超矩阵

以控制元素 E_i 为准则, 以 E_j 中元素 $E_{jl} (l=1, 2, \dots, n_j)$ 为次准则, 将网络层中元素按其影响程度构造判断矩阵:

| E_{jl} | $E_{i1}, E_{i2}, \dots, E_{in_i}$ | 归一化特征向量 |
|------------|-----------------------------------|------------------|
| E_{i1} | ... | $W_{i1}^{(j)}$ |
| E_{i2} | ... | $W_{i2}^{(j)}$ |
| ... | ... | ... |
| E_{in_i} | ... | $W_{in_i}^{(j)}$ |

根据特征法得到排序向量 $(W_{i1}^{(j)}, W_{i2}^{(j)}, \dots, W_{in_i}^{(j)})^T$, 记作 W_{ij} 。归一化特征向量计算得到的结果之和应为 1。以控制层为准则, 将各次级指标进行量化比较得到权矩阵, 记作 A 。

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j1)} & W_{i1}^{(j2)} & \dots & W_{i1}^{(jn_j)} \\ W_{i2}^{(j1)} & W_{i2}^{(j2)} & \dots & W_{i2}^{(jn_j)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{in_i}^{(j1)} & W_{in_i}^{(j2)} & \dots & W_{in_i}^{(jn_j)} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{11} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix}$$

假如网络层中两两因素不受影响, 则对应的 $W_{ij} = 0$, 将 W_{ij} 矩阵进行整理得到的矩阵记为 $w_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, m)$, 得到矩阵将超矩阵 W 的元素加权, 得到加权超矩阵 w^* , $w^* = a_{ij} \cdot w_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, m)$, 计算得到的加权超矩阵每列和应为 1。当加权超矩阵 w^* 中元素 E_i 对 E_j 进一步优化, 得到第二优势度, 用 $w^\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} w^k$ 表示。当 $w^\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} w^k$ 存在时, w^∞ 称为极限超矩阵。王莲芬[8]已经做出推论, 当循环系统某一层内部依存时, 其极限超矩阵存在且其每一列均为特征值 1 对应的归一化特征向量。

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mm} \end{bmatrix}, \quad w^* = \begin{bmatrix} a_{11}W_{11} & a_{12}W_{12} & \dots & a_{1m}W_{1m} \\ a_{21}W_{21} & a_{22}W_{22} & \dots & a_{2m}W_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}W_{m1} & a_{m2}W_{m2} & \dots & a_{mm}W_{mm} \end{bmatrix}$$

2.3. 构建模糊综合评价矩阵

选定 f 位专家组成的小组对网络层影响元素进行评定, $p_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, 4)$ 是专家赞成 $E_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, m)$ 为 $V_n (n=1, 2, \dots, 4)$ 评价的总人数, 其中 V_n 设置四个等级, 一级风险最大, 四级风险最小。对网络层中所有元素进行评价(见表 4)。

设公式 $r_{ij} = p_{ij}/f (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, 4)$ 得到模糊综合评价矩阵, 记作 R 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & r_{m4} \end{bmatrix}$$

根据模糊综合评价公式 $B = W \cdot R$ (W 为合成权重), 对模糊综合评价矩阵及评价体系的权重合成,

进一步得到 PPP 项目总目标 G 的模糊评价等级[9]。

3. ANP-FCE 算法在 PPP 项目中的应用实例

河南省为加快两市经济互通, 计划筹建一条连接两市的高速公路, 特向社会筹资建设该项目, 并且承诺签署特许协议, 允诺对方享有 30 年的运营使用权。甲公司为上市企业, 欲投资此项目。通过向 10 位专家的咨询, 现结合 ANP-FCE 算法对项目风险进行评估。

(1) 控制层判断矩阵及权重向量

根据表 1 判断标度对控制层元素进行比较量化(见表 5), 用 MATLAB 软件计算向量权重, 并进行一致性检验。

(2) 网络层判断矩阵及权重向量

首先以控制层为准则, 同一组的各次级指标进行量化比较, 建立风险 E_1 为准则的网络层判断矩阵(见表 6), 再以 E_i 各次级指标为准则对 E_j 中各次级元素进行量化比较(见表 7)。通过网络层构造的判断矩阵, 整理成未加权的超矩阵(见表 8), 对未加权的超矩阵进行加权得到加权超矩阵(见表 9)。

利用 MATLAB 软件将超矩阵进行极限处理, 得到极限超矩阵, 各阶段指标相对权重 $W = (0.150, 0.067, 0.043, 0.096, 0.093, 0.051, 0.100, 0.071, 0.068, 0.151, 0.058, 0.052)^T$ 。通过权重可知重点风险元素为管理水平和社环境两项。

Table 4. The evaluation indicator table
表 4. 指标评价统计表

| 指标 | V_1 (一级) | V_2 (二级) | V_3 (三级) | V_4 (四级) |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| E_{11} | P_{11} | P_{12} | P_{13} | P_{14} |
| E_{12} | P_{21} | P_{22} | P_{23} | P_{24} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| E_j | P_{m1} | P_{m2} | P_{m3} | P_{m4} |

Table 5. The judgment matrix and weight vector in the control layer
表 5. 控制层判断矩阵及权重向量

| G | E_1 | E_2 | E_3 | E_4 | W |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E_1 | 1 | 6 | 4 | 5 | 0.591 |
| E_2 | 1/6 | 1 | 1/5 | 1/2 | 0.063 |
| E_3 | 1/4 | 5 | 1 | 3 | 0.244 |
| E_4 | 1/5 | 2 | 1/3 | 1 | 0.103 |

注: $\lambda_{max} = 4.161, CI = 0.054 < 0.1; RI = 0.06 < 0.1$, 判断矩阵通过一致性检验。

Table 6. The judgment matrix for the construction risk E_1
表 6. 建设风险 E_1 判断矩阵

| E_1 | E_{11} | E_{12} | E_{13} | W |
|----------|----------|----------|----------|-------|
| E_{11} | 1 | 4 | 3 | 0.625 |
| E_{12} | 1/4 | 1 | 1/2 | 0.137 |
| E_{13} | 1/3 | 2 | 1 | 0.239 |

注: $\lambda_{max} = 3.018, CI = 0.009 < 0.1; RI = 0.016 < 0.1$ 判断矩阵通过一致性检验。

Table 7. The network layer judgment matrix for the management level E_{11}
表 7. 管理水平 E_{11} 网络层判断矩阵

| E_{11} | E_{12} | E_{13} | W |
|----------|----------|----------|------|
| E_{12} | 1 | 1/3 | 0.25 |
| E_{13} | 3 | 1 | 0.75 |

注: $\lambda_{\max} = 3.018, CI = 0 < 0.1; RI = 0 < 0.1$ 满足条件。

Table 8. The unweighted super matrix
表 8. 未加权超矩阵

| 权重 | E_{11} | E_{12} | E_{13} | E_{21} | E_{22} | E_{23} | E_{31} | E_{32} | E_{33} | E_{41} | E_{42} | E_{43} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| E_{11} | 0.000 | 0.750 | 0.833 | 0.800 | 0.750 | 0.250 | 0.750 | 0.500 | 1.000 | 0.540 | 0.297 | 0.800 |
| E_{12} | 0.250 | 0.000 | 0.167 | 0.200 | 0.250 | 0.750 | 0.250 | 0.500 | 0.000 | 0.297 | 0.540 | 0.000 |
| E_{13} | 0.750 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.163 | 0.163 | 0.200 |
| E_{21} | 0.637 | 0.760 | 0.000 | 0.000 | 0.333 | 0.200 | 0.540 | 0.333 | 0.550 | 0.208 | 0.250 | 0.648 |
| E_{22} | 0.258 | 0.144 | 0.000 | 0.750 | 0.000 | 0.800 | 0.163 | 0.333 | 0.210 | 0.661 | 0.750 | 0.230 |
| E_{23} | 0.105 | 0.096 | 0.000 | 0.250 | 0.667 | 0.000 | 0.297 | 0.333 | 0.240 | 0.131 | 0.000 | 0.122 |
| E_{31} | 0.731 | 0.632 | 0.000 | 0.238 | 0.595 | 0.637 | 0.000 | 0.500 | 0.800 | 0.258 | 0.163 | 0.000 |
| E_{32} | 0.188 | 0.211 | 0.000 | 0.137 | 0.128 | 0.258 | 0.250 | 0.000 | 0.200 | 0.637 | 0.540 | 0.750 |
| E_{33} | 0.081 | 0.158 | 0.000 | 0.625 | 0.276 | 0.105 | 0.750 | 0.500 | 0.000 | 0.105 | 0.297 | 0.250 |
| E_{41} | 0.674 | 0.652 | 0.637 | 0.547 | 0.687 | 0.750 | 0.800 | 0.637 | 0.594 | 0.000 | 0.750 | 0.750 |
| E_{42} | 0.101 | 0.217 | 0.258 | 0.109 | 0.186 | 0.000 | 0.200 | 0.105 | 0.157 | 0.667 | 0.000 | 0.250 |
| E_{43} | 0.226 | 0.130 | 0.105 | 0.345 | 0.127 | 0.250 | 0.000 | 0.258 | 0.249 | 0.333 | 0.250 | 0.000 |

Table 9. The weighted super matrix
表 9. 加权超矩阵

| 权重 | E_{11} | E_{12} | E_{13} | E_{21} | E_{22} | E_{23} | E_{31} | E_{32} | E_{33} | E_{41} | E_{42} | E_{43} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| E_{11} | 0.000 | 0.188 | 0.417 | 0.200 | 0.188 | 0.063 | 0.188 | 0.125 | 0.250 | 0.135 | 0.074 | 0.200 |
| E_{12} | 0.062 | 0.000 | 0.083 | 0.050 | 0.063 | 0.188 | 0.063 | 0.125 | 0.000 | 0.074 | 0.135 | 0.000 |
| E_{13} | 0.188 | 0.063 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.041 | 0.041 | 0.050 |
| E_{21} | 0.159 | 0.190 | 0.000 | 0.000 | 0.083 | 0.050 | 0.135 | 0.083 | 0.137 | 0.052 | 0.063 | 0.162 |
| E_{22} | 0.065 | 0.036 | 0.000 | 0.188 | 0.000 | 0.200 | 0.041 | 0.833 | 0.052 | 0.165 | 0.188 | 0.057 |
| E_{23} | 0.026 | 0.024 | 0.000 | 0.063 | 0.167 | 0.000 | 0.074 | 0.083 | 0.060 | 0.033 | 0.000 | 0.031 |
| E_{31} | 0.183 | 0.158 | 0.000 | 0.060 | 0.149 | 0.159 | 0.000 | 0.125 | 0.200 | 0.065 | 0.041 | 0.000 |
| E_{32} | 0.047 | 0.053 | 0.000 | 0.034 | 0.032 | 0.065 | 0.063 | 0.000 | 0.050 | 0.159 | 0.135 | 0.188 |
| E_{33} | 0.020 | 0.039 | 0.000 | 0.156 | 0.069 | 0.026 | 0.188 | 0.125 | 0.000 | 0.026 | 0.074 | 0.063 |
| E_{41} | 0.168 | 0.163 | 0.318 | 0.137 | 0.171 | 0.188 | 0.200 | 0.159 | 0.148 | 0.000 | 0.188 | 0.188 |
| E_{42} | 0.025 | 0.054 | 0.129 | 0.027 | 0.047 | 0.000 | 0.050 | 0.026 | 0.039 | 0.167 | 0.000 | 0.063 |
| E_{43} | 0.056 | 0.033 | 0.052 | 0.086 | 0.032 | 0.063 | 0.000 | 0.065 | 0.062 | 0.083 | 0.063 | 0.000 |

(3) 模糊综合评价

由表 4, 专家进行指标投票, 得到对于四个控制层的模糊评价矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 \\ 0.2 & 0.1 & 0.4 & 0.3 \\ 0.0 & 0.0 & 0.4 & 0.6 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.1 & 0.2 & 0.7 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.8 \end{bmatrix}, R_4 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.5 \\ 0.0 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.0 & 0.4 & 0.3 & 0.3 \end{bmatrix}$$

根据模糊综合评价公式 $B = W \cdot R$, 得到的评价矩阵与控制层权重量化得 B^* :

$$B^* = (0.591 \ 0.063 \ 0.244 \ 0.103) \cdot \begin{bmatrix} 0.063 & 0.059 & 0.089 & 0.030 \\ 0.038 & 0.029 & 0.086 & 0.087 \\ 0.000 & 0.010 & 0.104 & 0.125 \\ 0.015 & 0.063 & 0.080 & 0.103 \end{bmatrix}$$

$B^* = (0.041, 0.046, 0.092, 0.064)$ 根据隶属度最大原则, 该例 PPP 项目风险评估级别为三级。

4. 结束语

网络分析法构建的 PPP 建设项目风险网络结构, 充分考虑实际项目中各层次风险元素相互作用的关系, 弥补了以往风险评价中同层次风险元素独立存在的问题。通过网络分析法结合模糊综合评价法, 确定的 PPP 建设项目风险等级以及重要的风险因子更具准备准确性和科学性, 为 PPP 建设项目制定相应的风险措施提供了可靠依据, 同时为 PPP 建设项目风险评价提供了新思路。

参考文献 (References)

- [1] 柯永建, 王守清, 陈炳泉. 基础设施 PPP 项目的风险分担[J]. 建筑经济, 2008(4): 31-35.
- [2] 曾维健. 基于系统动力学的西部地区 PPP 项目风险管理路径研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- [3] 孙晔. 基于 ISM-ANP-灰色聚类的 PPP 模式城市轨道交通项目风险评价研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2016.
- [4] 翟永威. PPP 项目风险分担模型研究[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 吉林大学, 2016.
- [5] Dubromelle, Y., Louati, T., Ounnar, F. and Pujo, P. (2010) AHP/ANP a Decision Making Service in PROSIS Model. *IFAC Proceedings Volumes*, **43**, 138-143. <https://doi.org/10.3182/20100701-2-PT-4011.00025>
- [6] Gölcük, İ. and Baykasoğlu, A. (2016) An Analysis of DEMATEL Approaches for Criteria Interaction Handling within ANP. *Expert Systems with Applications*, **46**. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.041>
- [7] 付冉冉. 基于 ANP 的 BIM 应用目标决策研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2014.
- [8] 王莲芬. 网络分析法(ANP)的理论与算法[J]. 系统工程理论与实践, 2001(3): 44-50.
- [9] 张臣. 基于模糊综合评价法的中国互联网企业融资风险评估[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2016.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org