

# Research on PPP Project Risk Evaluation Based on Fuzzy Hierarchical Evaluation Process

Shuyi Liu<sup>1</sup>, Yun Li<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Science, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Department of Construction Equipment Engineering, Hunan Urban Construction College, Xiangtan Hunan  
Email: \*liyunliuji@163.com

Received: Apr. 7<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 29<sup>th</sup>, 2020; published: May 6<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

This paper analyses the risk factor system of PPP projects, establishes evaluation criteria and decision-making criteria, and combines fuzzy mathematical evaluation method with analytic hierarchy process to form the fuzzy hierarchical evaluation method (F-AHP). This paper uses the method of Fuzzy Hierarchical Assessment to make qualitative analysis and quantitative analysis of risk factors such as political policy risk, economic risk, environmental risk, project construction risk and management risk of PPP project. It accurately calculates the evaluation score of each risk factor evaluation index and the overall risk evaluation score in the case, and determines the size of the PPP project risk, provides the basis for risk decision-making of PPP project. Therefore, Fuzzy Hierarchical Evaluation method is an effective method for risk evaluation of PPP projects.

## Keywords

Fuzzy Hierarchical Evaluation Process, PPP Mode, Risk Assessment, Risk Factor, Analytic Hierarchy Process

---

# 基于模糊层次评价法的PPP项目风险评价研究

刘舒逸<sup>1</sup>, 李云<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>武汉理工大学理学院, 湖北 武汉

<sup>2</sup>湖南城建职业技术学院, 建筑设备工程系, 湖南 湘潭

Email: \*liyunliuji@163.com

\*通讯作者。

## 摘要

本文通过对PPP项目风险因素体系进行了分析, 建立了评价标准和决策准则, 将模糊数学评价法与层次分析法相结合形成了模糊层次评价法(F-AHP)。运用模糊层次评价法对PPP项目的政治政策风险、经济风险、环境风险、项目建设风险和管理风险等风险因素进行定性分析及定量分析研究, 准确地计算出案例中各风险因素评价指标的评价得分和总体风险评价得分, 并确定PPP项目风险大小, 为PPP项目的风险决策提供了依据。因此模糊层次评价法是对PPP项目进行风险评价行之有效的方法。

## 关键词

模糊层次评价法, PPP模式, 风险评价, 风险因素, 层次分析法

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

政府与私营企业合作完成的项目称之为模式项目[1] (Public-Private-Partnerships, 简称 PPP)。推广运用 PPP 模式, 实现多元化的可持续性城镇化建设资金保障, 将 PPP 模式视为未来投资建设模式的创新模式[2]。但是基础设施项目周期长、投资大、参与方多, 种种因素会导致此类项目的风险种类多, 而且风险相较于其他投资模式项目更难控制, 因而需要对项目进行科学的风险识别和评估。研究 PPP 模式下基础设施项目的风险管理, 建立风险管理概率模型, 从理论上构建 PPP 项目风险评价模型, 对 PPP 项目进行定性与定量的分析, 有助于基础设施 PPP 项目风险管理的系统化研究[3]。

## 2. 风险评价方法

### 2.1. 层次分析法

层次分析法 AHP (Analytic Hierarchy Process)由 Thomas L. Saaty 在 20 世纪 70 年代开发, 是一种基于数学和心理学的组织和分析复杂决策的结构化技术[4]。层次分析法首先是构建决策问题, 将问题的要素表示出来并进行量化处理, 然后将各要素与目标相结合制作出一个科学合理的框架, 有利于决策者作出对目标以及目标下各因素最为科学的处理方式[5]。层次分析法的基本使用步骤:

第一步建立层次结构模型, 将各个因素按照不同属性自上而下地分解成若干层次, 最上层为目标层, 最下层为方案或对象层, 中间可以有一个或几个层次, 通常为准则或指标层。

第二步构建成对比矩阵, 从层次结构模型的第 2 层开始, 用对比较法和 1~9 比较尺度构造成对比矩阵, 直到最下层, 计算最大特征根及对应特征向量, 利用一致性指标、随机一致性指标和一致性比率做一致性检验。

第三步构造判断矩阵, 层次分析法的一个重要特点就是用两两重要性程度之比的形式表示出两个方案的相应重要性程度等级, 并按其重要性程度评定等级。

## 2.2. 模糊数学评价法

模糊数学法的数学模型的基础是确定模糊子集与隶属函数, 设  $U$  是论域, 称映射  $A(x):U \rightarrow [0,1]$ 。确定了  $U$  上的模糊子集  $A$ , 映射  $A(x)$  称为  $A$  的隶属函数, 它表示  $x$  对  $A$  的隶属程度。使  $A(x)=0.5$  的点  $x$  称为  $A$  的过渡点, 此点最具模糊性。当映射  $A(x)$  只取 0 或 1 时, 模糊子集  $A$  就是经典子集, 而  $A(x)$  就是它的特征函数。确定隶属函数常用的方法有三种分别是模糊统计方法、指派方法和借用已有的“客观”尺度[6]。具体步骤如下:

1) 建立影响评价对象因素集:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \quad (1)$$

因素就是需要进行判断的各个指标因素。

2) 建立评价集

$$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\} \quad (2)$$

建立单因素评判, 即建立一个从  $U$  到  $F(Y)$  的模糊映射。

$$f = U \rightarrow F(Y) \quad (3)$$

由  $f$  可以导出模糊关系  $R$ , 进而得到模糊关系矩阵  $R$ :

$$(R_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$R_{ij}$  表示第  $i$  个因素对第  $j$  判断的隶属度。

3) 建立权重集

一般地, 各评价因素对评价结果的影响是不一样的, 因此各因素前要加上一个权重系数, 记为:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (5)$$

式中  $a_i$  为对第  $i$  个因素的加权值, 一般规定:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (6)$$

4) 综合评价

设  $B$  表示对评价对象的模糊综合评价, 则

$$B = A \times R = (a_1, a_2, \dots, a_n) \times \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (7)$$

## 2.3. 模糊层次评价法

模糊层次评价法(F-AHP)是将模糊数学评价法与层次分析法相结合使用的一种分析方法, 结合层次分析法和模糊数学评价法中所含有的优点, 对项目进行合理的风险评价[7] [8]。本文先选择运用层次分析法将各项目风险因素进行定性分析, 再运用综合模糊数学方法将各项目风险因素进行量化, 进行一个定量分析, 保证了 PPP 项目的风险评估结果的可靠性。

### 3. 模糊层次评价法层级要素权重计算

#### 3.1. 建立比较判断矩阵

构建风险评价模型时, 第一步是将同一指标层的因素进行重要性比较, 确定各因素重要程度, 建立判断矩阵。准则层风险因素用  $Q_{ij}$  表示, 其隶属于目标层  $Q_i$ 。建立其矩阵见下式:

$$(Q_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \cdots & Q_{1m} \\ Q_{21} & Q_{22} & \cdots & Q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \cdots & Q_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

在层次分析法中, 对评判矩阵的元素重要程度进行量化处理, 以数字的形式形成量化矩阵, 本文采用 1~9 标度方法。见表 1 所示:

**Table 1.** The relative importance of judgement matrix and its meaning  
**表 1.** 判断矩阵相对重要度及其含义

标度	含义	标度	含义
1	两种因素等价	7	一个因素比另一个强烈重要
3	一个因素比另一个因素稍微重要	9	一个因素比另一个因素极端重要
5	一个因素比另一个比较重要	2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值

#### 3.2. 计算各层因素权重值

计算比较判断矩阵的权重向量值的方法:

1) 和法

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{Q_{ij}}{\sum_{k=1}^n Q_{kj}} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (9)$$

计算步骤如下: 将  $Q$  的每一列向量归一化; 归一化后按  $j$  相加; 乘以  $1/n$ , 得到权重向量。

2) 根法

将  $Q$  几何平均化后归一化首先, 将  $Q$  求积, 取  $1/n$  次方得到:

$$\bar{W}_i = n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (10)$$

再求权重, 见公式:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (11)$$

计算步骤如下: 将  $Q$  按  $j$  相乘; 各个分量取  $1/n$  次方; 归一化, 即为权重向量。

3) 最优传递矩阵法

计算判断矩阵的因素权重, 步骤如下:

第一步由  $\bar{W}_i = (T_i)^{1/n}$  ( $i=1, 2, 3, 4, 5$ ) 分别得到

$$\bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3, \bar{W}_4, \bar{W}_5 \quad (12)$$

第二步由公式(4)对 $\bar{w}_i$ 归一化, 求出 $W$ , 即指标要素权重。

$$W = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^5 \bar{w}_i} \quad (i=1,2,3,4,5) \quad (13)$$

### 3.3. 判断矩阵的一致性检验

本文为保证方法的适用性以及确保各所得权重均符合逻辑性以及合理性, 在此对判断矩阵进行一致性检验, 当判断矩阵满足:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (14)$$

表明判断矩阵符合一致性检验。其中,  $CI$  为一致性指标,

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (15)$$

式中 $\lambda_{\max}$ 是判断矩阵的最大特征根, 根据(7)式计算:  $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(UW)_i}{nW_i}$  (式中 $UW_i$ 为向量 $UW$ 的第 $i$ 个元素)。

$RI$ 为平均随机一致指标,  $RI$ 值查表2:

**Table 2.** The value of average stochastic consistency index corresponding to the order of matrix

**表 2.** 矩阵阶数对应的平均随机一致指标数值

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

## 4. 因素评价尺度集

### 4.1. 一级模糊综合评价

确定各风险权重后, 建立一个评价等级集如下:

评价等级集 $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ , 其中,  $Y_j (j=1,2,\dots,m)$ 为可能评判结果。确定评价等级集为:

$$Y = \{\text{很小, 较小, 中等, 较大, 较大, 很大}\} = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}。$$

模糊数学法中将因素量化分析一般会在模糊语言 $[0,1]$ 之间取值。可以得出评价等级集的标准隶属度 $V = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$ 。再利用评价等级集对各指标层的风险因素指标进行评价, 得到一级模糊综合评价矩阵:

$$(R_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdots & R_{nm} \end{bmatrix} \quad (16)$$

式中,  $R_{ij} = \frac{\text{做出第}i\text{级评价登记的人数}}{\text{全部评测人员}}$ 。

### 4.2. 二级模糊综合评价

根据公式 $B_i = U_i \times R_i$ 二级模糊综合评判是对各指标子集的所有指标进行评判, 得到准则层的各指标的评价等级。

### 4.3. 三级模糊综合评价

根据公式  $B = W \times P$ ，在准则层之间进行的三级模糊综合评判，然后目标层  $U$  的综合隶属度为： $G = B \times V^T$ ，再对照评价集  $Y$ ，确定目标层  $U$  的风险等级。

## 5. 案例应用

### 5.1. 项目概况

肇庆市端州区桥北路(含立交)、端州路(含工农路立交)、天宁路等道路改造工程 PPP 项目。项目包含桥北路(大桥路)新建工程、桥北路(含立交)改造工程、风华路改造工程、文德路改造工程、天宁北路及天宁南路改造工程、端州路改造工程、工农路交叉口立体交通工程，共七个子项。

### 5.2. 风险评价过程

按照风险因素评价体系表 10 对各层级风险指标进行风险指标权重计算。

1) 构建风险要素指标集

一级风险因素指标集：

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\} = \{\text{政治政策风险, 经济风险, 环境风险, 项目建设风险, 管理风险}\}$$

二级风险因素指标集：

$$U_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}\}; U_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}\}; U_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\};$$

$$U_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}, u_{44}, u_{45}, u_{46}, u_{47}\}; U_5 = \{u_{51}, u_{52}, u_{53}\}$$

2) 建立各层级风险因素两两对比的判断矩阵

通过专家对风险要素的评分，比较同一层风险要素之间的相互重要性，评分需通过多次问卷调查并取各专家评分的平均值，按照层次分析法来构建各层级风险因素的判断矩阵  $A$ ，以此计算各层次风险因素指标权重。第一级风险因素判断矩阵表 3 如下：

**Table 3.** Risk factor judgement matrix

**表 3.** 风险因素判断矩阵表

$A$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$W$
$U_1$	1	1/2	2	6	3	0.265
$U_2$	2	1	3	7	4	0.418
$U_3$	1/2	1/3	1	5	2	0.167
$U_4$	1/6	1/7	1/5	1	1/4	0.041
$U_5$	1/3	1/4	1/2	4	1	0.108

表中  $W$  即为指标要素权重，通过公式  $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(UW)_i}{nW_i}$ ，可求得矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max} = 5.1234$ ，为了保证思维的一致性以确保决策的科学可靠，对矩阵的一致性指标  $CI$  进行检验，其计算结果为  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0308$ ，为衡量  $CI$  的大小，再引入随机一致性指标  $RI$ ， $RI$  值查表 4 如下：

**Table 4.**  $RI$  value table

**表 4.**  $RI$  值表

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

通过公式  $CR = CI/RI = 0.0275$ ,  $CR$  即为判断矩阵的随机一致性比率, 当  $CR < 0.1$  时, 则判定为具有满意一致性。按照同样的方式可以建立指标层的各风险因素判断矩阵表 5~9, 分别用  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_5$  表示:

**Table 5.** Calculator for political policy risk indicator  $A_1$   
**表 5.** 政治政策风险指标  $A_1$  计算表

$A_1$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$W$
$U_1$	1	1	1/3	0.200
$U_2$	1	1	1/3	0.200
$U_3$	3	3	1	0.600

通过计算可得此矩阵  $\lambda_{\max} = 3$ ,  $CI = 0$ ,  $CR = 0$ , 符合判断矩阵一致性要求。政治政策风险, 主要是政府对于项目特许经营权政策变动的风险以及国家对于行业政策变动的风险。肇庆市端州区桥北路(含立交)、端州路(含工农路立交)、天宁路等道路改造工程项目的政策变动主要会体现在政府对于城区的规划产生变动。

**Table 6.** Calculating table for economic risk indicator  $A_2$   
**表 6.** 经济风险指标  $A_2$  计算表

$A_2$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$W$
$U_1$	1	3	1	1/5	0.154
$U_2$	1/3	1	1/3	1/7	0.064
$U_3$	1	3	1	1/5	0.154
$U_4$	5	7	5	1	0.628

通过计算可得此矩阵  $\lambda_{\max} = 4.0738$ ,  $CI = 0.0246$ ,  $CR = 0.0276$ , 符合判断矩阵一致性要求。经济风险主要包括通货膨胀, 汇率, 利率以及融资环境。

**Table 7.** Calculation table for environmental risk indicator  $A_3$   
**表 7.** 环境风险指标  $A_3$  计算表

$A_3$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$W$
$U_1$	1	2	3	0.539
$U_2$	1/2	1	2	0.297
$U_3$	1/3	1/2	1	0.164

通过计算可得此矩阵  $\lambda_{\max} = 3.0092$ ,  $CI = 0.0046$ ,  $CR = 0.0088$ , 符合判断矩阵一致性要求。环境风险包括环保风险、地质气候条件风险及不可抗力风险, 环保问题关系重大, 社会对于环保的重视程度越来越高。

**Table 8.**  $A_4$  Calculation form of project construction risk index  
**表 8.** 项目建设风险指标  $A_4$  计算表

$A_4$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$	$U_7$	$W$
$U_1$	1	1/3	1/2	5	1/4	3	2	0.107
$U_2$	3	1	2	7	1/2	5	4	0.235
$U_3$	2	1/2	1	2	1/3	4	3	0.138
$U_4$	1/5	1/7	1/2	1	1/9	1/2	1/3	0.034
$U_5$	4	2	3	9	1	8	7	0.380
$U_6$	1/3	1/5	1/4	2	1/8	1	1/2	0.043
$U_7$	1/2	1/4	1/3	3	1/7	2	1	0.064

通过计算可得此矩阵  $\lambda_{\max} = 7.2810$ ,  $CI = 0.0468$ ,  $CR = 0.0344$ , 符合判断矩阵一致性要求。项目建设风险贯穿于项目设计、施工、运营阶段。

**Table 9.** Management risk indicator  $A_5$  worksheet  
**表 9.** 管理风险指标  $A_5$  计算表

$A_5$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$W$
$U_1$	1	1/3	2	0.230
$U_2$	3	1	5	0.648
$U_3$	1/2	1/5	1	0.122

通过计算可得此矩阵  $\lambda_{\max} = 3.0036$ ,  $CI = 0.0018$ ,  $CR = 0.0035$ , 符合判断矩阵一致性要求。管理风险主要包括合作障碍风险, 权责分配不当风险以及人事风险。

3) 风险模糊综合评价及建立评语集

① 建立评价因素及评语集合

通过问卷调查的形式对项目风险进行了评估得表 10 如下:

**Table 10.** Risk assessment form  
**表 10.** 风险评估表

目标层	风险因素一级指标	二级指标	低	较低	中等	较高	高
PPP 模式下基础设施项目投资方风险因素指标构成 $Q$	政治政策风险 $Q_1$	法律环境 $Q_{11}$	0	0.41	0.49	0.1	0
		政治决策失误 $Q_{12}$	0	0.14	0.19	0.31	0.36
		政府信用 $Q_{13}$	0	0.14	0.19	0.31	0.36
	经济风险 $Q_2$	通货膨胀 $Q_{21}$	0	0.12	0.49	0.20	0.19
		外汇风险 $Q_{22}$	0.20	0.20	0.20	0.30	0.10
		利率风险 $Q_{23}$	0.16	0.29	0.20	0.23	0.12
		融资环境 $Q_{24}$	0	0	0.40	0.60	0
	环境风险 $Q_3$	环保问题 $Q_{31}$	0	0	0	0.50	0.50
		地质气候 $Q_{32}$	0.20	0.31	0.32	0.17	0
		不可抗力风险 $Q_{33}$	0.16	0.35	0.29	0.20	0
	项目建设风险 $Q_4$	设计问题 $Q_{41}$	0.29	0.30	0.22	0.10	0.09
		融资可行性 $Q_{42}$	0	0.21	0.47	0.32	0
		施工风险 $Q_{43}$	0	0.20	0.40	0.30	0.10
		合同变更 $Q_{44}$	0	0.10	0.21	0.28	0.41
		工程质量 $Q_{45}$	0	0	0.29	0.24	0.47
管理风险 $Q_5$	运营维护成本 $Q_{46}$	0	0.10	0.20	0.30	0.40	
	运营收入 $Q_{47}$	0	0.11	0.22	0.30	0.36	
	合作障碍风险 $Q_{51}$	0.40	0.40	0.20	0	0	
管理风险 $Q_5$	责权分配不当风险 $Q_{52}$	0.40	0.30	0.30	0	0	
	人事风险 $Q_{53}$	0.20	0.40	0.13	0.27	0	



## ② 确定评价隶属矩阵

通过表 10 可得:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.41 & 0.49 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.14 & 0.19 & 0.31 & 0.36 \\ 0 & 0.14 & 0.19 & 0.31 & 0.36 \end{bmatrix}; R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.12 & 0.49 & 0.20 & 0.19 \\ 0.20 & 0.20 & 0.20 & 0.30 & 0.10 \\ 0.16 & 0.29 & 0.20 & 0.23 & 0.12 \\ 0 & 0 & 0.40 & 0.60 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.50 & 0.50 \\ 0.20 & 0.31 & 0.32 & 0.17 & 0 \\ 0.16 & 0.35 & 0.29 & 0.20 & 0 \end{bmatrix}; R_4 = \begin{bmatrix} 0.29 & 0.30 & 0.22 & 0.10 & 0.09 \\ 0 & 0.21 & 0.47 & 0.32 & 0 \\ 0 & 0.20 & 0.40 & 0.30 & 0.10 \\ 0 & 0.10 & 0.21 & 0.28 & 0.41 \\ 0 & 0 & 0.29 & 0.24 & 0.47 \\ 0 & 0.10 & 0.20 & 0.30 & 0.40 \\ 0 & 0.11 & 0.22 & 0.30 & 0.36 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.40 & 0.40 & 0.20 & 0 & 0 \\ 0.40 & 0.30 & 0.30 & 0 & 0 \\ 0.20 & 0.40 & 0.13 & 0.27 & 0 \end{bmatrix}$$

## ③ 各二级指标因素权重集为

$A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$ ,  $a_{ij}$  ( $j=1, 2, 3, \dots, n$ ) 是第二层次中决定因素  $X_i$  中第  $j$  个因素  $X_{ij}$  的权数, 且满足:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} = 1, \quad j = (1, 2, 3, \dots, n)。$$

下面分别对各风险因素进行综合评价并归一化处理得:

$$C_1 = A_1 * R_1 = (0.2, 0.2, 0.6) * R_1 = (0, 0.194, 0.25, 0.268, 0.288)$$

$$C_2 = A_2 * R_2 = (0.154, 0.064, 0.154, 0.628) * R_2 = (0.03744, 0.07594, 0.37026, 0.46222, 0.05414)$$

$$C_3 = A_3 * R_3 = (0.539, 0.297, 0.164) * R_3 = (0.08564, 0.14947, 0.1426, 0.35279, 0.2695)$$

$$C_4 = A_4 * R_4 = (0.107, 0.235, 0.138, 0.034, 0.380, 0.043, 0.064) * R_4 \\ = (0.03103, 0.12379, 0.32921, 0.26012, 0.25621)$$

$$C_5 = A_5 * R_5 = (0.230, 0.648, 0.122) * R_5 = (0.3756, 0.3352, 0.25626, 0.03294, 0)$$

## ④ 确定三级模糊矩阵

由  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  可得综合模糊评价矩阵

$$C = (C_1, C_2, C_3, C_4, C_5)^T = \begin{bmatrix} 0 & 0.194 & 0.25 & 0.268 & 0.288 \\ 0.03744 & 0.07549 & 0.37026 & 0.46222 & 0.05414 \\ 0.08564 & 0.14947 & 0.1426 & 0.35279 & 0.2695 \\ 0.03103 & 0.12379 & 0.32921 & 0.26012 & 0.25621 \\ 0.3756 & 0.3352 & 0.25626 & 0.03294 & 0 \end{bmatrix}$$

由上文可知一级风险因素指标权重集为

$$W = (0.265, 0.418, 0.167, 0.041, 0.108)。因此$$

$$P = W * C = (0.03799, 0.1492, 0.286, 0.36938, 0.15446)$$

根据所设定的评价等级集:

$$Y = \{\text{很小, 较小, 中等, 较大, 较大, 很大}\} = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$$

可算得最终总体风险评价得分:

$$Q = P * Y^T = (0.03799, 0.1492, 0.286, 0.36938, 0.15446) \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.5 \\ 0.7 \\ 0.9 \end{pmatrix} = 0.5891。$$

### 5.3. 结果分析

本项目所有一级指标风险因素得分分别为: 政治政策风险: 0.63; 经济风险: 0.58; 环境风险: 0.61; 项目建设风险: 0.62; 管理风险: 0.29。通过各风险因素指标得分可以得出政治政策风险对此项目的影响相对较高, 其次分别为项目建设风险、环境风险、经济风险及管理风险。最终总体风险评价得分为 0.5891 小于 0.7, 因此判定本项目的整体风险适中。

## 6. 结论

1) 模糊层次评价法结合了层次分析法与模糊数学评价法, 将定性分析与定量分析相结合是 PPP 模式下基础设施项目投资方进行风险管理的一种风险评价方法。

2) PPP 项目风险评价贯穿于项目的全生命周期, 在项目的不同阶段都会遇到不同种类的风险, 而且项目主要风险会随之项目进度的变化而发生改变, 模糊数学综合评价法是从定性到定量的研究思路, 保证了 PPP 项目的风险评估结果的可靠性。

## 基金项目

湖南省社科基金资助项目(18YBJ29); 湖南省教育科学“十三五”规划课题资助项目(XJK19CZY056); 湖南城建职业技术学院科学研究项目(19KTZD03)。

## 参考文献

- [1] 孙振正. PPP 模式下基础设施项目融资风险管理研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东理工大学, 2010: 35-38.
- [2] 张晨. PPP 项目风险分担: 发达国家与发展中国家的比较分析[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2013: 60-63.
- [3] 欧宗奇. PPP 模式下城市基础设施项目投资方风险评价研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽建筑大学, 2016: 43-47.
- [4] Chapman, C.B. and Cooper, D.F. (1987) Risk Analysis for Large Projects: Models, Methods and Cases. John Wiley & Sons.
- [5] Hastak, M. and Shaked, A. (2000) ICRAM-1: Model for International Construction Risk Assessment. *Journal of Management in Engineering*, **16**, 59-69. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2000\)16:1\(59\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2000)16:1(59))
- [6] PPIAF (2016) The APMG Public-Private Partnership (PPP) Certification Guide. The World Bank Group, 74-80.
- [7] Fischer, K., Leidel, K., Riemann, A. and Alfen, H.W. (2010) An Integrated Risk Management System (IRMS) for PPP Projects. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 45-47.
- [8] Jin, X.H., Zhang, G.M. and Yang, R.J. (2012) Factor Analysis of Partners' Commitment to Risk Management in Public-Private Partnership Projects. *Construction Innovation: Information, Process, Management*, 43-46.