

# 基于 Fuzzy—ANP 的高速公路 PPP 项目 投标联合体风险分担研究

高幸, 雷争艳

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 从高速公路公私合营(PPP)项目投标联合体的角度出发,以风险的有效控制为目标,建立了联合体风险分担影响因素体系;运用模糊网络分析法(Fuzzy—ANP)建立了投标联合体风险分担模型,并运用基于模糊 WINGS(加权影响情景下的非线性测度体系)视角构造加权矩阵的方法构造 ANP 加权矩阵;最后通过实例得到了投标联合体对某一特定风险的最优分担比例,论证了该方法的可行性及合理性。

**关键词:** 工程管理;高速公路;公私合营(PPP);投标联合体;风险分担;模糊网络分析法(Fuzzy—ANP)

中图分类号:U415.2

文献标志码:A

文章编号:1671—2668(2017)01—0201—06

PPP(Public—Private—Partnership,公私合营)模式是指政府、商业性及公益性组织基于特定的公共基础设施项目所形成的互赢化合作形式,目前多应用于自然资源开发、基础设施建设及公用事业项目。高速公路被界定为准公共产品,具有公益性和市场性,能鼓励私营部门参与其建设,故采用 PPP 模式是可行的。此外,中国相关法律体系在不断丰富和完善,给 PPP 模式在高速公路上的应用提供了可靠的法律保障。

由于 PPP 模式参与主体多元化,组织形式较复杂,管理协调难度大,风险识别难且风险分担机制要求高,容易发生利益纠纷等问题,如何合理地进行风险分担对促进 PPP 项目成功实施尤为重要。

## 1 PPP 模式下投标联合体风险分析

### 1.1 投标联合体

高速公路 PPP 项目具有投资规模大、建设及运营周期长等特点,单个组织承揽工程任务难以实现。为保证 PPP 项目的成功实施,私营部门组合各方资源优势,通过契约的方式联合其他单位组建投标联合体,以联合体的名义与政府签订联合体承包合同,共同承接高速公路 PPP 工程项目。

### 1.2 PPP 模式下投标联合体风险识别

风险识别是对项目本身可能存在的影响项目实施的风险事件进行归类整理。以往的研究从不同层面将风险分类,如张晨将 PPP 项目风险分为主体风

险、客体风险及环境风险,柯永建将中国 PPP 项目风险因素分为国家级、市场级和项目级,Bing Li 等将 PPP 项目风险分为宏观、中观及微观三个层面。该文从高速公路项目生命周期出发归纳 PPP 模式下高速公路投标联合体在项目建设过程中可能存在的风险因素,结果见表 1。

表 1 PPP 模式下高速公路投标联合体风险因素

建设阶段	风险分类	风险因素
投标阶段	报价风险	报价决策失误、报价条件欠准确等
	合同风险	合同文件欠完备、关键条款欠合理
	技术风险	设计能力不足、技术力量较弱等
设计阶段	管理风险	管理协调能力较差、各阶段衔接不完备等
采购阶段	供应商风险	供应商信誉、原材料及设备质量等
	运输风险	交通事故风险、不可抗力风险等
施工阶段	施工风险	施工技术和方案欠完备、施工安全措施不当等
	自然风险	地质气候条件、施工环境等
竣工验收阶段	完工风险	工程质量不达标、工期延误、成本超支等
运营阶段	经营风险	管理团队混乱、运营成本超支等
	市场风险	市场价格、市场竞争、市场供求等

采用德尔菲调研方法,对风险发生概率及风险发生所带来的后果进行评估,识别影响 PPP 项目实

施的重要风险因素。下面就运营成本超支这一风险因素分析其在投标联合体中的分担比例。

### 1.3 PPP模式下投标联合体风险分担影响因素

在项目联合体风险分担过程中,正确识别并提取影响风险分担的因素是风险得以合理分担的前提。目前学术界比较公认的风险分担原则有风险由最有控制力的一方承担、承担风险有上限、承担风险程度与收益相匹配及承担风险的意愿。以此为前提,根据公路工程联合体运作方式,从项目联合体的角度建立投标联合体风险分担影响因素体系(见表2)。

表2 PPP模式下投标联合体风险分担影响因素体系

一级影响因素	二级影响因素
风险控制能力 $U_1$	风险认知度 $u_{11}$
	风险管理经验 $u_{12}$
	风险管理技术 $u_{13}$
风险分担机制 $U_2$	项目公司风险分担机制 $u_{21}$
	主导者风险分担机制 $u_{22}$
	风险分担激励机制 $u_{23}$
	风险分担动态调整 $u_{24}$
联合体合作机制 $U_3$	个体项目参与度 $u_{31}$
	合作理念 $u_{32}$
	责权利的分配 $u_{33}$
风险属性 $U_4$	风险来源 $u_{41}$
	风险类型 $u_{42}$
	承担风险的收益 $u_{43}$
风险控制成本 $U_5$	承担风险的损失 $u_{44}$
	直接成本 $u_{51}$
	间接成本 $u_{52}$
个体承担风险的意愿 $U_6$	机会成本 $u_{53}$
	风险喜好程度 $u_{61}$
	动机影响程度 $u_{62}$
	风险承担能力 $u_{63}$

## 2 模型的构建

### 2.1 模型方法的选择

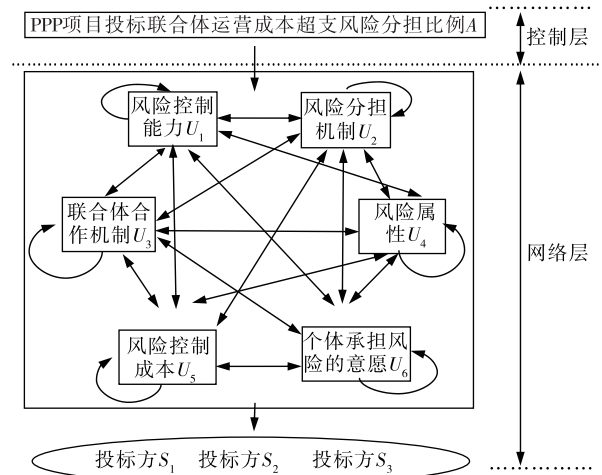
目前用于解决风险分担问题的方法分为定性和定量两类。定性方法主要通过以往项目的归纳分析,确定各类风险在各合作方之间公平合理的分担比例。定量方法通过建立模型定量计算风险因素在

各合作方的分担比例,是近年来国内外研究热点。

PPP项目结构复杂,风险因素多且相互关联。与层次分析法相比,网络分析法的层次结构更灵活,其考虑了各指标及各层级之间的相互关联关系,故采用模糊网络分析法[Fuzzy-ANP(Analytic Network Process)]构造投标联合体风险分担模型。

### 2.2 模型的构建

在已建立的投标联合体风险分担影响因素体系的基础上,参照网络分析法模型构建思路,建立PPP项目投标联合体风险分担模型(见图1)。



各影响因素之间的双向箭头表示两个因素集中的因素相互影响,因素集上方的环形箭头表示因素集内部因素之间的相互依存关系。

图1 PPP项目投标联合体风险分担模型

模型第一层为控制层,包括决策目标,即运营成本超支在投标联合体中的分担比例;第二层为网络层,包括6个因素集和3种方案集。因素集即运营成本超支在投标联合体中的分担比例的一级影响因素,用 $U_i (i=1,2,3,4,5,6)$ 表示。方案集为运营成本超支在投标联合体中的分担方案,即潜在的承担方,用 $S$ 表示, $S=(S_1, S_2, S_3)$ 。

### 2.3 模型的求解

#### 2.3.1 确定风险因素集和评语集

根据表1建立风险因素集,一级风险因素集为:  
 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6\} = \{\text{风险控制能力, 风险分担机制, 联合体合作机制, 风险属性, 风险控制成本, 个体承担风险的意愿}\}$

二级风险因素集为:

$U_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}\} = \{\text{风险认知度, 风险管理经验, 风险管理技术}\}$

$U_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}\} = \{\text{项目公司风险分担}$

理念,主导者风险分担理念,风险分担激励机制,风险分担动态调整}

$U_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\} = \{\text{个体项目参与度, 合作理念, 责权利的分配}\}$

$U_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}, u_{44}\} = \{\text{风险来源, 风险类型, 承担风险的收益, 承担风险的损失}\}$

$U_5 = \{u_{51}, u_{52}, u_{53}\} = \{\text{直接成本, 间接成本, 机会成本}\}$

$U_6 = \{u_{61}, u_{62}, u_{63}\} = \{\text{风险喜好程度, 动机影响程度, 风险承担能力}\}$

评语集是专家评审人对各指标所给出的一种语言的集合。该模型将评语分为5个等级,即:

$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{无影响, 影响极小, 影响较小, 影响较大, 影响极大}\}$

### 2.3.2 确定模糊判断矩阵

邀请专家采用表3所示模糊语言标度值进行判断,构造 $U_1 \sim U_6$ 模糊直接影响矩阵 $Q^k$ 。

表3 模糊语言标度

语言表述	三角模糊数
无影响	(0.00, 0.00, 0.25)
影响极小	(0.00, 0.25, 0.50)
影响较小	(0.25, 0.50, 0.75)
影响较大	(0.50, 0.75, 1.00)
影响极大	(0.75, 1.00, 1.00)

$$Q^k = \begin{bmatrix} q_{11}^k & q_{12}^k & \cdots & q_{16}^k \\ q_{21}^k & q_{22}^k & \cdots & q_{26}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{61}^k & q_{62}^k & \cdots & q_{66}^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $q_{ij}^k$ 为第 $k$ 位专家给出的因素集 $i$ 对因素集 $j$ 的影响程度,用三角模糊数表示,记为 $q_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, r_{ij}^k); k=1, 2, \dots, n; n$ 为所邀请专家人数。

### 2.3.3 去模糊化

将式(1)解模糊化,得出集成各专家意见的直接影响矩阵 $V$ 。解模糊化步骤如下:

(1) 按式(2)~(4)进行初始数据归一化。

$$yl_{ij}^k = \frac{l_{ij}^k - \min l_{ij}}{\Delta_{\min}^{\max}} \quad (2)$$

$$ym_{ij}^k = \frac{m_{ij}^k - \min l_{ij}}{\Delta_{\min}^{\max}} \quad (3)$$

$$yr_{ij}^k = \frac{r_{ij}^k - \min l_{ij}}{\Delta_{\min}^{\max}} \quad (4)$$

式中: $\Delta_{\min}^{\max} = \max r_{ij} - \min l_{ij}$ 。

(2) 按下式进行上下边界值( $ls, rs$ )归一化。

$$yls_{ij}^k = \frac{ym_{ij}^k}{1 + ym_{ij}^k - yl_{ij}^k} \quad (5)$$

$$yrs_{ij}^k = \frac{yr_{ij}^k}{1 + yr_{ij}^k - ym_{ij}^k} \quad (6)$$

(3) 按式(7)计算总的归一化点估计值。

$$y_{ij}^k = \frac{yls_{ij}^k (1 - yls_{ij}^k) + (yrs_{ij}^k)^2}{1 - yls_{ij}^k + yrs_{ij}^k} \quad (7)$$

(4) 按式(8)求解专家 $k$ 的点估计值。

$$v_{ij}^k = \min l_{ij} + y_{ij}^k \Delta_{\min}^{\max} \quad (8)$$

(5) 按式(9)计算各专家点估计的均值。

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^k v_{ij}^k}{k} \quad (9)$$

通过上述计算,得到集成影响矩阵 $V$ :

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{16} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{26} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{61} & v_{62} & \cdots & v_{66} \end{bmatrix} \quad (10)$$

对式(10)进行规范化处理,得规范化矩阵 $V'$ :

$$V' = \begin{bmatrix} v_{11}/\lambda & v_{12}/\lambda & \cdots & v_{16}/\lambda \\ v_{21}/\lambda & v_{22}/\lambda & \cdots & v_{26}/\lambda \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{61}/\lambda & v_{62}/\lambda & \cdots & v_{66}/\lambda \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中: $\lambda = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 v_{ij}$ 。

按式(12)计算 $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6$ 之间的综合影响矩阵 $M'$ 。

$$M' = [M_{ij}]_{N \times N} = V' + (V')^2 + \cdots + (V')^\infty \approx (V') \cdot (1 - V')^{-1} \quad (12)$$

### 2.3.4 构造加权矩阵

令 $x_i = \sum_{j=1}^6 M_{ij} (i=1, 2, \dots, 6)$ ,将综合影响矩阵 $M'$ 进一步规范化,得到矩阵 $M''$ :

$$M'' = \begin{bmatrix} M'_{11}/x_1 & M'_{12}/x_1 & \cdots & M'_{16}/x_1 \\ M'_{21}/x_2 & M'_{22}/x_2 & \cdots & M'_{26}/x_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M'_{61}/x_6 & M'_{62}/x_6 & \cdots & M'_{66}/x_6 \end{bmatrix}$$

加权矩阵为:

$$M_0 = M''^T$$

### 2.3.5 风险分担比例的确定

利用MATLAB软件计算极限矩阵 $M^\infty$ ,得出

各二级风险影响因素相应的极限排序权重。按照上述方法构造  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  之间的判断矩阵, 计算各二级风险影响因素下各投标方的相对权重, 再利用加权和法进行权重信息综合集成, 得到风险分担比例。

### 3 实例论证

某大型高速公路 PPP 项目工程投标联合体由三家具有相应资质的单位  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  组成, 其中作为联合体主办方的  $S_3$  的综合实力较强,  $S_2$  的综合实力次之,  $S_1$  的综合实力较弱但与  $S_2$ 、 $S_3$  相比其风险偏好系数较高。现针对运营成本超支风险分担, 邀请 20 位从事高速公路行业数年, 且具有一定 PPP 项目经验的专家构造影响因素的模糊判断矩阵, 依据

上述投标联合体风险分担模型, 借助 EXCEL、MATLAB 等软件求解运营成本超支在投标联合体中的最优分担比例。

#### 3.1 构造加权矩阵

##### 3.1.1 确定一级影响因素加权矩阵

邀请 20 位专家按照上文加权矩阵构造方法构造因素集  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$ 、 $U_5$ 、 $U_6$  之间的初始模糊直接影响矩阵  $Q^k$  ( $k=1, 2, \dots, 20$ )。  $Q^1$  为第一位专家的初始模糊直接影响矩阵。

同理, 可得出其他 19 位专家对因素集  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$ 、 $U_5$ 、 $U_6$  的初始模糊直接影响矩阵。按上述方法进行去模糊化处理, 得到 20 位专家关于因素集  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$ 、 $U_5$ 、 $U_6$  之间的加权矩阵  $M_1$ 。

$$Q^1 = \begin{bmatrix} (0.00, 0.00, 0.25) & (0.25, 0.50, 0.75) & (0.00, 0.25, 0.50) & (0.00, 0.00, 0.25) & (0.75, 1.00, 1.00) & (0.50, 0.75, 1.00) \\ (0.00, 0.25, 0.50) & (0.00, 0.00, 0.25) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.00, 0.25, 0.50) & (0.00, 0.25, 0.50) & (0.00, 0.25, 0.50) \\ (0.00, 0.25, 0.50) & (0.25, 0.50, 0.75) & (0.00, 0.00, 0.25) & (0.00, 0.25, 0.50) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.50, 0.75, 1.00) \\ (0.00, 0.25, 0.50) & (0.25, 0.50, 0.75) & (0.00, 0.00, 0.25) & (0.00, 0.00, 0.25) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.50, 0.75, 1.00) \\ (0.75, 1.00, 1.00) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.00, 0.25, 0.50) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.00, 0.00, 0.25) & (0.50, 0.75, 1.00) \\ (0.50, 0.75, 1.00) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.50, 0.75, 1.00) & (0.00, 0.00, 0.25) \end{bmatrix}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0.139 & 0.085 & 0.114 & 0.095 & 0.355 & 0.259 \\ 0.070 & 0.124 & 0.194 & 0.126 & 0.132 & 0.099 \\ 0.088 & 0.097 & 0.126 & 0.132 & 0.121 & 0.150 \\ 0.041 & 0.080 & 0.111 & 0.129 & 0.141 & 0.211 \\ 0.318 & 0.352 & 0.194 & 0.164 & 0.128 & 0.209 \\ 0.254 & 0.262 & 0.261 & 0.354 & 0.123 & 0.072 \end{bmatrix}$$

##### 3.1.2 确定二级影响因素加权矩阵

按照上述矩阵构造方法, 请专家进行因素之间的两两比较判断, 得出如下反映上述实例问题的加权矩阵  $M_2$  :

#### 3.2 构造加权超矩阵

联立  $M_1$  和  $M_2$ , 构造加权超矩阵  $M$ 。

$$M_2 = \begin{bmatrix} 0.200 & 0.210 & 0.257 & 0.229 & 0.198 & 0.216 & 0.210 & 0.234 & 0.250 & 0.200 & 0.203 & 0.248 & 0.204 & 0.244 & 0.282 & 0.285 & 0.222 & 0.297 & 0.285 & 0.281 \\ 0.253 & 0.240 & 0.293 & 0.294 & 0.268 & 0.300 & 0.281 & 0.265 & 0.256 & 0.300 & 0.329 & 0.301 & 0.365 & 0.335 & 0.275 & 0.271 & 0.332 & 0.284 & 0.244 & 0.292 \\ 0.547 & 0.550 & 0.450 & 0.477 & 0.534 & 0.484 & 0.509 & 0.501 & 0.494 & 0.500 & 0.468 & 0.451 & 0.431 & 0.421 & 0.443 & 0.444 & 0.446 & 0.419 & 0.471 & 0.427 \\ 0.117 & 0.096 & 0.103 & 0.200 & 0.167 & 0.113 & 0.156 & 0.154 & 0.158 & 0.173 & 0.159 & 0.158 & 0.172 & 0.167 & 0.183 & 0.093 & 0.096 & 0.083 & 0.068 & 0.062 \\ 0.284 & 0.324 & 0.388 & 0.300 & 0.300 & 0.332 & 0.286 & 0.315 & 0.268 & 0.233 & 0.305 & 0.268 & 0.275 & 0.317 & 0.250 & 0.305 & 0.324 & 0.308 & 0.301 & 0.292 \\ 0.368 & 0.358 & 0.293 & 0.300 & 0.357 & 0.400 & 0.358 & 0.296 & 0.349 & 0.382 & 0.375 & 0.349 & 0.357 & 0.302 & 0.367 & 0.337 & 0.358 & 0.393 & 0.382 & 0.405 \\ 0.231 & 0.222 & 0.216 & 0.200 & 0.276 & 0.155 & 0.200 & 0.235 & 0.225 & 0.212 & 0.161 & 0.225 & 0.196 & 0.214 & 0.200 & 0.265 & 0.222 & 0.216 & 0.249 & 0.241 \\ 0.356 & 0.334 & 0.328 & 0.364 & 0.343 & 0.323 & 0.320 & 0.300 & 0.340 & 0.310 & 0.318 & 0.310 & 0.309 & 0.387 & 0.389 & 0.385 & 0.400 & 0.410 & 0.398 & 0.385 \\ 0.320 & 0.355 & 0.312 & 0.339 & 0.371 & 0.357 & 0.308 & 0.348 & 0.300 & 0.290 & 0.313 & 0.344 & 0.394 & 0.339 & 0.287 & 0.371 & 0.300 & 0.281 & 0.268 & 0.345 \\ 0.324 & 0.311 & 0.360 & 0.297 & 0.286 & 0.320 & 0.372 & 0.352 & 0.360 & 0.400 & 0.369 & 0.346 & 0.297 & 0.274 & 0.324 & 0.244 & 0.300 & 0.309 & 0.334 & 0.270 \\ 0.281 & 0.249 & 0.278 & 0.310 & 0.284 & 0.224 & 0.249 & 0.219 & 0.257 & 0.266 & 0.300 & 0.280 & 0.207 & 0.282 & 0.261 & 0.255 & 0.273 & 0.292 & 0.260 & 0.324 \\ 0.213 & 0.250 & 0.237 & 0.220 & 0.271 & 0.255 & 0.309 & 0.233 & 0.284 & 0.258 & 0.276 & 0.300 & 0.254 & 0.246 & 0.263 & 0.248 & 0.199 & 0.274 & 0.310 & 0.256 \\ 0.185 & 0.183 & 0.173 & 0.170 & 0.159 & 0.162 & 0.158 & 0.161 & 0.169 & 0.180 & 0.181 & 0.117 & 0.200 & 0.172 & 0.173 & 0.165 & 0.175 & 0.105 & 0.103 & 0.104 \\ 0.321 & 0.318 & 0.312 & 0.300 & 0.285 & 0.359 & 0.284 & 0.387 & 0.290 & 0.296 & 0.243 & 0.250 & 0.239 & 0.300 & 0.303 & 0.332 & 0.353 & 0.329 & 0.327 & 0.316 \\ 0.342 & 0.358 & 0.410 & 0.402 & 0.380 & 0.390 & 0.409 & 0.385 & 0.377 & 0.342 & 0.410 & 0.398 & 0.397 & 0.381 & 0.400 & 0.362 & 0.370 & 0.375 & 0.366 & 0.366 \\ 0.324 & 0.312 & 0.244 & 0.282 & 0.296 & 0.256 & 0.294 & 0.245 & 0.264 & 0.225 & 0.281 & 0.268 & 0.319 & 0.327 & 0.343 & 0.300 & 0.330 & 0.291 & 0.271 & 0.323 \\ 0.334 & 0.330 & 0.346 & 0.316 & 0.324 & 0.354 & 0.297 & 0.370 & 0.359 & 0.333 & 0.309 & 0.334 & 0.284 & 0.292 & 0.257 & 0.338 & 0.300 & 0.334 & 0.363 & 0.311 \\ 0.364 & 0.320 & 0.406 & 0.343 & 0.369 & 0.410 & 0.389 & 0.396 & 0.381 & 0.397 & 0.387 & 0.359 & 0.338 & 0.398 & 0.385 & 0.374 & 0.378 & 0.400 & 0.377 & 0.398 \\ 0.339 & 0.408 & 0.333 & 0.371 & 0.355 & 0.281 & 0.287 & 0.353 & 0.327 & 0.319 & 0.339 & 0.389 & 0.323 & 0.268 & 0.371 & 0.343 & 0.288 & 0.355 & 0.300 & 0.302 \\ 0.297 & 0.272 & 0.261 & 0.286 & 0.276 & 0.309 & 0.324 & 0.251 & 0.292 & 0.284 & 0.274 & 0.252 & 0.339 & 0.334 & 0.244 & 0.283 & 0.334 & 0.245 & 0.323 & 0.300 \end{bmatrix}$$

M =

0.028	0.029	0.036	0.019	0.017	0.018	0.018	0.027	0.029	0.023	0.019	0.024	0.019	0.023	0.100	0.101	0.079	0.077	0.074	0.073
0.035	0.033	0.041	0.025	0.023	0.026	0.024	0.030	0.029	0.034	0.031	0.029	0.035	0.032	0.098	0.096	0.118	0.074	0.063	0.076
0.076	0.076	0.063	0.041	0.045	0.041	0.043	0.057	0.056	0.057	0.045	0.043	0.041	0.040	0.157	0.158	0.158	0.109	0.122	0.111
0.082	0.067	0.072	0.025	0.021	0.014	0.019	0.030	0.031	0.034	0.021	0.020	0.020	0.021	0.024	0.012	0.013	0.009	0.007	0.006
0.199	0.227	0.272	0.037	0.037	0.041	0.035	0.061	0.052	0.046	0.038	0.034	0.034	0.040	0.033	0.040	0.043	0.030	0.030	0.029
0.258	0.251	0.205	0.037	0.044	0.050	0.044	0.057	0.068	0.074	0.047	0.043	0.045	0.039	0.048	0.045	0.047	0.039	0.038	0.041
0.162	0.155	0.151	0.025	0.034	0.019	0.025	0.045	0.044	0.041	0.021	0.028	0.025	0.027	0.026	0.035	0.029	0.021	0.025	0.024
0.031	0.029	0.029	0.035	0.033	0.031	0.031	0.040	0.038	0.042	0.045	0.042	0.041	0.051	0.047	0.047	0.048	0.062	0.060	0.058
0.028	0.031	0.028	0.033	0.036	0.034	0.030	0.039	0.044	0.038	0.041	0.045	0.052	0.045	0.034	0.045	0.036	0.042	0.040	0.52
0.029	0.027	0.032	0.029	0.028	0.031	0.036	0.047	0.044	0.045	0.049	0.046	0.039	0.036	0.039	0.030	0.036	0.046	0.050	0.046
0.012	0.010	0.011	0.025	0.025	0.018	0.020	0.024	0.029	0.030	0.039	0.036	0.027	0.036	0.037	0.036	0.038	0.062	0.055	0.068
0.009	0.010	0.010	0.018	0.018	0.020	0.025	0.026	0.032	0.029	0.036	0.039	0.033	0.032	0.037	0.036	0.028	0.059	0.065	0.054
0.008	0.008	0.007	0.014	0.015	0.013	0.013	0.018	0.019	0.020	0.024	0.016	0.026	0.022	0.024	0.023	0.025	0.022	0.022	0.022
0.013	0.013	0.013	0.024	0.024	0.029	0.023	0.043	0.032	0.033	0.031	0.032	0.031	0.039	0.043	0.047	0.050	0.069	0.069	0.067
0.109	0.114	0.130	0.142	0.142	0.134	0.144	0.075	0.074	0.066	0.067	0.065	0.065	0.062	0.051	0.046	0.047	0.078	0.076	0.076
0.103	0.099	0.078	0.099	0.099	0.104	0.102	0.048	0.51	0.044	0.046	0.044	0.052	0.054	0.044	0.038	0.042	0.061	0.057	0.068
0.106	0.105	0.110	0.111	0.111	0.114	0.105	0.072	0.070	0.065	0.054	0.055	0.048	0.048	0.033	0.043	0.038	0.070	0.078	0.065
0.092	0.081	0.103	0.090	0.090	0.097	0.102	0.103	0.099	0.103	0.137	0.127	0.120	0.141	0.047	0.046	0.046	0.029	0.027	0.029
0.086	0.104	0.084	0.097	0.097	0.093	0.075	0.092	0.085	0.083	0.120	0.132	0.113	0.095	0.046	0.042	0.035	0.026	0.022	0.022
0.075	0.069	0.066	0.075	0.075	0.072	0.084	0.066	0.076	0.074	0.097	0.089	0.120	0.118	0.030	0.035	0.041	0.017	0.023	0.022

利用 MATLAB 软件进一步计算出极限超矩阵  $M^\infty$ ,从而得出各二级风险影响因素相应的极限排序权重。分别以各二级风险影响因素为控制准则,

对投标方  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  进行两两对比,构造出  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  之间的判断矩阵,进而计算出各二级风险影响因素下各投标方的相对权重(见表 4)。

表 4    运营成本超支风险中二级风险影响因素权重、投标方权重及综合排序值

二级影 响因素	权重	各投标方权重			二级影 响因素	权重	各投标方权重		
		$S_1$	$S_2$	$S_3$			$S_1$	$S_2$	$S_3$
$u_{11}$	0.028	0.246	0.330	0.424	$u_{41}$	0.059	0.298	0.312	0.390
$u_{12}$	0.067	0.252	0.345	0.403	$u_{42}$	0.027	0.333	0.342	0.325
$u_{13}$	0.097	0.251	0.322	0.427	$u_{43}$	0.020	0.212	0.272	0.516
$u_{21}$	0.017	0.385	0.274	0.341	$u_{44}$	0.131	0.196	0.361	0.443
$u_{22}$	0.022	0.298	0.354	0.348	$u_{51}$	0.096	0.391	0.352	0.257
$u_{23}$	0.125	0.253	0.386	0.361	$u_{52}$	0.038	0.358	0.334	0.308
$u_{24}$	0.029	0.288	0.469	0.243	$u_{53}$	0.012	0.104	0.231	0.665
$u_{31}$	0.016	0.293	0.332	0.375	$u_{61}$	0.096	0.408	0.352	0.240
$u_{32}$	0.014	0.318	0.332	0.350	$u_{62}$	0.017	0.455	0.252	0.293
$u_{33}$	0.047	0.323	0.332	0.345	$u_{63}$	0.042	0.273	0.316	0.411

最后利用加权和法进行权重信息综合集成。由表 4 可得出投标方  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  对运营成本超支风险的分担比例分别为 0.293、0.344、0.363。

由表 4 可知:对联合体投标风险分担比例影响最大的 5 个因素分别为承担风险的损失  $u_{44}$ 、风险分担激励机制  $u_{23}$ 、风险管理技术  $u_{13}$ 、风险控制直接成本  $u_{51}$  及风险喜好程度  $u_{61}$ 。说明:1) 在合理的风险分担激励机制下,风险应对能力较强及风险承担意愿较高的联合体参与方更倾向于承担风险。2) 作为联合体主办方的  $S_3$  的综合实力较强,本应承担更多的风险,但其风险偏好程度低,又具有风险分担主导权,故其风险分担比例仅稍高于  $S_2$ 。3)  $S_1$  的风险分担比例较其风险应对能力及项目参与度偏高,原因在于  $S_1$  有较高的风险承担意愿。

综上所述,投标联合体风险最优分担比例是以风险有效控制为前提的,同时兼顾风险承担意愿、联合体运作机制及责权利的分配等因素对风险分担的影响。

#### 4 结语

该文在总结国内外相关研究成果的基础上,建立了 PPP 项目投标联合体风险分担影响因素体系。以风险的有效控制为目标,结合风险分担原则,运用 Fuzzy-ANP 对某大型高速公路 PPP 项目工程投标联合体关于运营成本超支这一特定风险的分担比例进行了分析,结果表明风险分担 Fuzzy-ANP 模型所得风险分担比例可实现风险的有效控制,同时充分考虑了参与方的风险承担意愿、联合体运作机制及责权利的分配等因素对风险分担的影响。

通过对高速公路投标联合体风险分担的定量分析,明确联合体参与方承担的风险比例,有助于明确各参与方的责任、权利和义务,实现项目风险的合理分担和防控。

#### 参考文献:

- [1] 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].天津:天津大学,2014.
- [2] 柯永建.中国 PPP 项目风险公平分担[D].北京:清华大学,2010.
- [3] Bing Li, Zhaoming Ren. Bayesian technique framework for allocating demand risk between the public and private sector in PPP projects[A]. 6th International Conference on Service Systems and Service Management

[C].2009.

- [4] 俞素平.公路工程设计施工总承包项目投标风险评价[J].中外公路,2010,30(1).
- [5] 姜昀彤.利益攸关方个体视角下公私合作基础设施项目风险分担研究[D].青岛:青岛理工大学,2014.
- [6] 田莹.PPP 模式下准经营性基础设施项目的风险分担研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [7] 何涛.基于 PPP 模式的交通基础设施项目风险分担合理化研究[D].天津:天津大学,2011.
- [8] 周和平,陈炳泉,许叶林.公私合营(PPP)基础设施项目风险再分担研究[J].工程管理学报,2014,28(3).
- [9] 孙永河,李春好,谢晖,等.模糊 WINGS 视角下的 ANP 加权矩阵新构造方法[J].计算机工程与应用,2014(12).
- [10] 吕超.基于模糊网络分析法的铁路设计项目风险评估研究[D].成都:西南交通大学,2010.
- [11] 王晓强,张坤生,赵冬梅,等.国内 EPC 工程项目联营体总承包商风险因素研究[J].工程管理学报,2012,26(1).
- [12] 张玮,张卫东.基于网络层次分析法(ANP)的 PPP 项目风险评价研究[J].项目管理技术,2012(10).
- [13] Wei-Wen Wu. Segmenting critical factors for successful knowledge management implementation using the fuzzy DEMATEL method[J]. Applied Soft Computing, 2012, 12(1).
- [14] Xia Qi, Chao Yi, Jie Li. The improvement measures of the Chinese PPP project decision-making system compared with Australia[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 501~504.

收稿日期:2016-07-22

\*\*\*\*\*  
(上接第 148 页)

装索夹、吊杆→由跨中向两侧对称安装主桁架节段,并采用钢板焊接的方式将主桁架临时连接(临时连接只起抗剪作用,不传递轴力和弯矩)→安装桥面系、栏杆等附属设施→恒载加载完毕后,将主桁架节段焊接形成整体,最后拧紧索鞍盖上的高强螺栓。

#### 4 结语

人行悬索桥具有造型优美、施工方便等特点,在交通运输不便的山区,人行悬索桥能较好地适应山谷、河谷的跨越能力。该文论述了某风景区人行悬索桥结构形式的拟定过程,介绍了桥梁总体布置及施工方案,对同类桥梁设计具有一定参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 江名宝,赵军军.某风景区人行悬索桥设计构思[J].科技创新与应用,2014(9).
- [2] 冯江.会东县参鱼河景观人行悬索桥设计[J].城市道桥与防洪,2014(9).
- [3] 张志国,张庆芳,靳明君.某人行悬索桥的设计与构思[J].国防交通工程与技术,2003,1(4).
- [4] 施大震.一座景观索桥的设计与施工[J].桥梁建设,2003(5).
- [5] 陈何峰.某景观人行桥的结构设计及计算分析[J].城市道桥与防洪,2013(7).

收稿日期:2016-07-20