

基于改进的AHP和信息熵的路桥工程投标决策及风险评估

孔迪娜, 唐碧秋

桂林电子科技大学建筑与交通工程学院, 广西 桂林
Email: 1581982591@qq.com

收稿日期: 2021年3月25日; 录用日期: 2021年4月9日; 发布日期: 2021年4月21日

摘要

针对路桥工程招投标阶段, 项目风险评估是交通建筑企业进行投标决策的重要依据。结合交通行业建设市场的实际状况, 分析影响路桥工程投标决策的风险因素, 并形成投标风险评估指标体系。同时考虑到风险因素的多样性、关联性、不确定性以及动态性等特点, 运用模糊数学原理, 提出了一种基于改进的三标度模糊层次分析与信息熵相结合的风险评估方法, 并用于计算风险因素的综合权重。将以往模糊评判中基于最大隶属度原则来确定风险等级归属改为评分机制, 把综合权重转化为风险分数值, 从而确定风险等级并指导投标决策。将该评估方法结合实例分析, 结果表明: 获取的综合权重方法具有较高的可行性和可靠性, 能够较真实的反应投标阶段的风险水平。此方法可为建筑企业在实际路桥工程投标决策时提供科学合理的风险评估依据, 具有一定的参考价值与指导意义。

关键词

路桥工程, 投标决策, 风险因素, 改进的模糊层次分析, 信息熵, 风险评估

Bidding Decision and Risk Assessment of Road and Bridge Project Based on Improved AHP and Information Entropy

Dina Kong, Biqu Tang

School of Architecture and Transportation Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi
Email: 1581982591@qq.com

Received: Mar. 25th, 2021; accepted: Apr. 9th, 2021; published: Apr. 21st, 2021

Abstract

For the bidding stage of road and bridge projects, project risk assessment is an important basis for traffic construction enterprises to make bidding decisions and choices. Combined with the actual situation of the construction market of the transportation industry, the risk factors affecting the bidding decision of road and bridge projects are analyzed, and the bidding risk evaluation index system is formed. At the same time, considering the diversity, relevance, uncertainty and dynamics of risk factors, using the principle of fuzzy mathematics, a risk assessment method based on improved three-scale fuzzy analytic hierarchy process and information entropy is proposed, and it is used to calculate the comprehensive weight of risk factors. The grade attribution of risk determined by the principle of maximum membership degree in the past fuzzy evaluation was changed to the scoring mechanism. The comprehensive weight is transformed into the score of the risk, so as to determine the risk level and guide the bidding decision. The evaluation method is combined with an example analysis, and the results show that the comprehensive weight method has high feasibility and reliability, and can truly reflect the risk level of the bidding stage. This method can provide scientific and reasonable risk assessment basis for construction enterprises in actual road and bridge project bidding decision-making, and has a certain reference value and guiding significance.

Keywords

Road and Bridge Engineering, Bidding Decision, Risk Factors, Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Information Entropy, Risk Assessment

Copyright © 2021 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

在交通运输工程行业的竞争性投标中, 投标决策是一个充满不确定性的复杂决策过程。作为建筑企业的投标决策者, 需对影响工程项目中标的各种风险因素进行分析[1]。而现代路桥工程规模越来越大, 技术要求不断提高, 工程建设涉及单位愈多, 协作关系更复杂, 不确定性因素众多, 所以在路桥工程招标中施工企业是否参与投标, 怎样的投标策略, 企业如何根据各种风险因素确定合理的投标报价, 是企业能否获得路桥工程承包权, 能否获得高额利润等的首要战略决策。建筑企业在投标新的路桥工程过程中, 需进行两个方面决策, 一是从建筑市场诸多招标工程中选择适宜本企业投标的路桥工程; 二是再对特定路桥工程投标时做出合理的报价策略选择。在此过程中, 路桥工程的风险大小是建筑企业投标决策的重要依据。因此, 对于路桥工程的投标, 进行标前的风险分析与风险评价显得尤为重要。

目前, 国内外学者对工程项目投标决策的风险分析与评价, 主要集中在层次分析法(AHP)、人工神经网络法(ANN)、模糊评价法(FA)、专家系统(ES)、事例推理法(CBR)等方法的研究[2]。Seydel 等[3]提出了基于 AHP 的确定多风险因素投标报价的方法并给出了具体步骤。任玉珑等[4]将支持向量机(SVM)方法应用到投标报高率的确定过程之中, 引入粒子群优化算法(PSO)来实现对 SVM 学习参数值的优化确定。Hegazy 和 Moselhi 在考虑了影响报价的诸多因素的基础上, 确定了各个因素的权重, 建立了一个多因素确定公路项目投标报价的 ANN 模型[5]。Li H. [6]利用 ANN 构建了估价模型并测试了其精确性。Fayek [7]

运用 FA 方法, 研究了多因素投标报价的决策问题。刘尔烈等[8]提出了基于模糊逻辑的工程投标决策方法, 而张朝勇等[9]结合我国当前建设市场现状, 提出了一种基于 Choquet 模糊积分的新的工程投标多风险因素综合决策算法。Li H.等[10]结合人工神经网络给出了一种全新的工程项目投标决策专家系统。加拿大 Anaheim Technologies 公司开发了一套商用专家系统来确定多风险因素的最优投标报价[11], 同时我国清华大学土木工程系也已研制出了国际工程投标报价的专家系统。杨兰蓉等[12]在分析并量化了影响工程项目的投标报高率的基础上, 提出了基于事例推理的报高率确定模型, 以辅助投标者进行投标报价决策。Irem Dikmen [13]等通过对 95 个事例研究, 得出一个基于事例推理模型用来评价工程投标的风险, 并且通过实例进行了验证。然而, 多风险因素条件下的投标决策方法已不仅仅限于以上的某种单独方法, 而是呈现出对几种方法进行集成的趋势[2]。Salotti [14]就整合了事例推理法、神经网络等方法建立了风险评价模型。许志端等[15]将事例推理和专家系统结合起来, 提出一种基于事例推理的 DB 模式设计专家系统的体系结构。温国锋[16]基于理想化与主客观相结合的思想和方法, 将模糊集理论、粗集理论相融合, 建立了工程项目风险评价的 Fuzzy-Rough-TOPSIS 模型, 提出了一种确定风险评价指标综合权重的方法。

上述国内外研究方法及结果表明, 对工程项目投标决策的风险分析与评价需要较多的历史数据。但针对我国交通行业目前建设企业信息化程度较低等情况, 很难找到较长且充分的历史数据以供投标决策分析。模糊数学为这一问题提供了较好的解决方式, 可被应用于评价指标间具有相关的情况, 适合处理主观价值判断的评价问题[17], 可以在较少历史数据的基础上, 由专家给出相应指标的模糊分布, 实践中亦易于操作。鉴于此, 本文根据我国交通行业建设市场的现状, 通过文献调研、现场调查及咨询招投标代理机构等方式, 找出影响路桥工程投标决策的风险因素, 提出一个基于改进的 AHP 和信息熵的路桥工程投标决策模糊风险评估模型, 并制定风险评估细则。最后以路桥工程实体案例, 给出风险评估算法的详细步骤并验证了模型的可靠性和可行性, 为交通行业的路桥施工企业在缺乏充分历史数据的情况下提供一种投标决策的新思路。

2. 影响路桥工程投标决策的风险因素分析

路桥工程项目招投标过程中, 存在多方面的风险源, 通过文献调研、专家调查、问卷调查和咨询投标企业专业人士等方式, 通过识别分析投标风险因素, 最终建立投标风险清单。基于投标风险因素的分析, 本文选取项目因素、企业因素、环境因素、竞争因素作为一级投标风险因素指标, 在一级指标的基础上考虑到代表性、安全性及整体性原则, 将一级指标进行细化后选取 16 项典型的二级指标, 共同构建成为投标风险评估指标体系, 如图 1 所示。

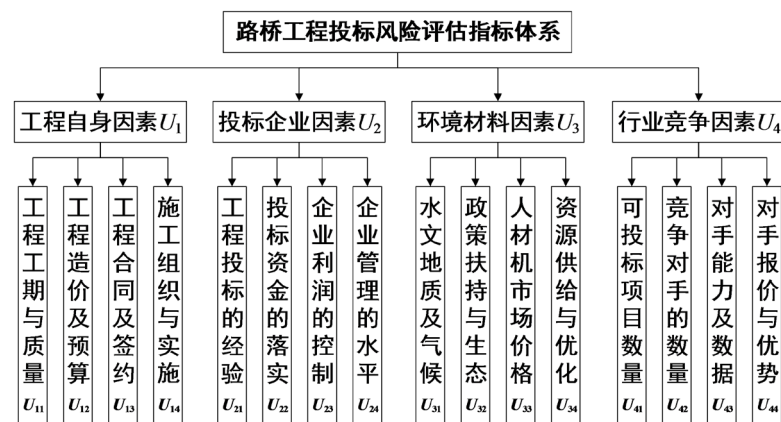


Figure 1. Risk evaluation index system of road and bridge engineering bidding
图 1. 路桥工程投标风险评估指标体系

3. 路桥工程风险评估模型构建

3.1. 评估方法的介绍

层次分析法是一种复杂的决策分析方法, 具有多因素、多目标的特点, 通过构造判断矩阵得出影响系统风险因素的主观权重, 再进行各个主观权重排序。该方法将多因素问题进行分类, 并找出每一类因素所具有的共性及关联性, 使其变的条理清晰。

相对于传统层次分析法, 改进的模糊层析分析法采用“三标度法”[18]替代传统的“九标度法”作为指标层的判定原则。这不仅有效的提高了各准则层判断结果的客观性, 同时也规避了一致性检验的重复性, 提高迭代收敛速度, 是目前解决多目标决策问题较为准确的方法。

3.2. 改进的三标度模糊层次分析法的步骤

改进的三标度模糊层次分析法主要源于, 一是采用“三标度法”替代传统的“九标度法”计算矩阵的权重, 能够使专家较为容易地对两两因素的相对重要性做出决策。二是在尊重系统存在不确定性的基础上构建模糊判断矩阵, 将模糊矩阵改为优先矩阵进行判断。改进后的方法简洁明了, 且符合判断思维, 具体分析步骤如表 1 所示。

Table 1. The steps of improved three-scale fuzzy analytic hierarchy process
表 1. 改进的三标度模糊层次分析法的步骤

步骤序号	模型名称	模型公式	公式序号	模型特点
1	模糊判断矩阵 $F = (f_{ij})_{n \times n}$	$f_{ij} = \begin{cases} 0, & C(i) < C(j); \\ 0.5, & C(i) = C(j); \\ 1, & C(i) > C(j); \end{cases}$	(1)	0, 代表第 i 行因素重要程度低于第 j 列, 0.5, 代表第 i 行因素等于第 j 列, 1, 代表第 i 行因素优于第 j 列。 n , 表示元素个数。
2	模糊判断一致性矩阵 $Q = (q_{ij})_{n \times n}$	$q_{ij} = \frac{q_i - q_j}{2n} + 0.5$	(2)	$q_i = \sum_{j=1}^n f_{ij}$ 表示对模糊判断矩阵 F 中各行求和
3	权重向量矩阵 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$	$l_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} - 0.5$	(3)	l_i 表示因素 i 相对于上层目标的重要性, w_i 表示将 l_i 归一化得到各因素的权重。
		$\sum_{i=1}^n l_i = \frac{n(n-1)}{2}$	(4)	
		$w_i = \frac{l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$	(5)	
4	主观权重 $W = wv^T$	$W = wv^T = (w_1, w_2, \dots, w_n)$	(6)	w 为中间层相对于最顶层的权重向量, v 为最底层在第 2 层影响下的权重向量, m 代表底层因素的个数。

3.3. 熵权法与客观权重向量的确立

在交通运输工程招投标阶段, 由于风险来源的多方面性和风险评估的不确定性, 将使定性化和定量化的风险评估工作面临诸多困难。信息熵的出现及在既有领域范围的成功应用, 给投标风险评估工作迎来了新的契机。根据信息熵的思想, 从较多指标中获得信息量的多少是投标决策的关键因素。将信息熵应用于路桥工程招投标阶段的风险评估中, 易于充分运用各风险因素指标信息, 使评价结果更加真实准确, 具体确立步骤及计算公式如表 2 所示。

Table 2. Entropy weight method and calculation of objective weight vector**表 2.** 熵权法与客观权重向量的计算

步骤序号	模型名称	模型公式	公示序号	模型特点
5	指标比重 P_{ij}	$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}$	(7)	当 $p_{ij} = 0$ 时, $\ln p_{ij} = 0$, $k = 1/\ln n$, n 表示评价指标的个数。
6	熵向量 H	$H = -k \sum_{j=1}^m (p_{ij} \cdot \ln p_{ij})$	(8)	p_{ij} 为单因素判断矩阵中的元素 r_{ij} 按列进行归一化处理后的值。
7	客观熵权向量 W_H	$w_H = \frac{1 - h_i}{\sum_{i=1}^m (1 - h_i)}$	(9)	h_i 表示熵向量 H 中第 i 种因素的指标权重。

3.4. 熵权法与客观权重向量的确立

在投标决策实体案例应用中不仅需要借鉴专家学者的意见, 也需要与客观实体风险数据相结合, 因此应采用将主观权重 W 与客观权重 W_H 相结合的方式, 继而得出综合权重 T 。综合权重 T 计算公式如下:

$$t_i = \frac{w \times w_H}{\sum_{i=1}^m w \times w_H} \quad (10)$$

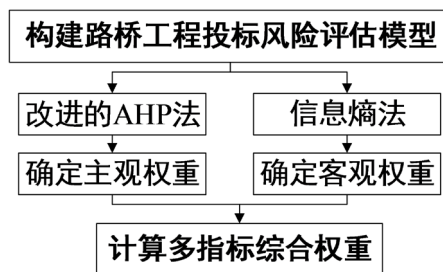
则综合权重 $T = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_i)$

令: $B_i = T_i \circ R_i$, 即:

$$(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n) = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) \circ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (11)$$

其中: B 表示为评判结果矩阵; R 表示为综合模糊评判矩阵; “ \circ ” 代表模糊运算符号, 本文为矩阵乘法运算。

综上所述, 路桥工程项目投标阶段风险评估流程, 如图 2 所示。

**Figure 2.** Comprehensive risk assessment process in bidding stage of road and bridge project**图 2.** 路桥工程项目投标阶段风险综合评估流程

4. 实例分析

4.1. 工程概况

某高速公路工程路桥施工标段, 依据国家法规及工程特点招标单位选取公开招标、综合评标的方式,

某投标单位根据招标公告以及投标实体概况依法参加投标, 同时也预测了影响中标和利润的风险因素。采用问卷调查、文献调研等方式获取风险源, 通过问卷调查的方式邀请业内 10 余专家进行工程风险指标的赋分, 有效问卷回收 10 份, 风险评估一级指标从项目自身、投标企业、环境材料和行业竞争四个方面构建, 如表 3 所示。

Table 3. Bid risk evaluation index system

表 3. 投标风险评价指标体系

项目自身因素	投标企业因素	环境材料因素	行业竞争因素
① 项目工期与质量要求	① 工程投标的经验	① 水文地质与气候	① 可投标项目数量
② 工程造价与预算控制	② 投标资金的落实	② 政策扶持与生态	② 竞争对手的数量
③ 工程合同及签约模式	③ 企业利润的控制	③ 人才机市场价格	③ 对手能力及数据
④ 施工组织设计及施工	④ 企业管理的水平	④ 资源供给与优化	④ 对手报价与优劣

表 3 为层次鲜明的风险评价指标体系, 第一层为目标层、中间层为准则层、底层为指标层。本文选取路桥工程投标风险评估指标体系作为目标层, 将影响路桥工程投标的四个方面风险因素作为准则层, 又将准则层列出的子因素作为具体的指标层, 逐步构建投标风险评价体系。

进行模糊评判的顺序是先从指标层的各个子风险因素进行评分分析, 依次向准则层和目标层进行评判, 最终确定整个投标决策的风险等级。

4.2. 风险评语集

将评分专家对风险指标评判标准用集合形式表示为评语集 $Y = [Y_1, \dots, Y_n]$, 评判结果分别用“差”、“一般”、“较好”和“好”四个等级表示投标决策的状态, 并由低到高进行顺序排列。等级划分参考国家标准 GB/T27921-2011《风险管理, 风险评估技术》[19] [20] [21] [22] [23]采用百分制形式, 取四级梯形隶属度, 各等级相应的分数区间和分数中值如表 4 所示。

Table 4. Bidding risk evaluation index system

表 4. 投标风险评价指标体系

等级	分数区间	分数中值
差	60~70	65
一般	70~80	75
较好	80~90	85
好	90~100	95

5. 建立模糊评判矩阵

5.1. 主观模糊评判矩阵

根据图 1 中的风险评估指标体系、专家评定意见及相关文献[24], 得出各准则层风险因素之间的重要关系: 行业竞争因素 > 投标企业因素 > 环境材料因素 > 工程自身因素, 运用三标度法, 按式(1)构造模糊判断矩阵 U , 如表 5 所示。

Table 5. Three-scale method to determine the fuzzy evaluation matrix
表 5. 三标度法确定模糊评判矩阵

U_{ij}	U_1	U_2	U_3	U_4
U_1	0.5	0	0	0
U_2	1	0.5	1	0
U_3	1	0	0.5	0
U_4	1	1	1	0.5

将表 5 矩阵各行元素求和得: $q_1 = 0.5$, $q_2 = 2.5$, $q_3 = 1.5$, $q_4 = 3.5$, 由公式(2)得模糊判断一致性矩阵 Q :

$$Q = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/4 & 3/8 & 1/8 \\ 3/4 & 1/2 & 5/8 & 3/8 \\ 5/8 & 3/8 & 1/2 & 3/4 \\ 7/8 & 5/8 & 3/4 & 1/2 \end{bmatrix}$$

矩阵 Q 不需校验一致性, 由公式(3)~(5)计算出各准则层相对于上层目标层的权重向量 w :

$$w = (0.125, 0.292, 0.292, 0.375)$$

同理, 分别计算出各指标层因素相对于各准则层的模糊一致矩阵, 依据路桥项目的详细概况及专家评分意见, 通过文献调研、访问专家学者得到指标层的优先顺序如下:

- 1) 工程自身因素: $U_{12} > U_{11} > U_{14} > U_{13}$; 2) 投标企业因素: $U_{22} > U_{24} > U_{23} > U_{21}$
- 3) 环境材料因素: $U_{31} > U_{33} > U_{34} > U_{32}$; 4) 行业竞争因素: $U_{41} > U_{42} > U_{44} > U_{43}$

因篇幅限制, 不再详细列出指标层各因素模糊矩阵的计算, 直接列出指标层各因素的权重 v :

$$v_1 = (0.292, 0.375, 0.125, 0.208); \quad v_2 = (0.125, 0.375, 0.208, 0.292)$$

$$v_3 = (0.375, 0.125, 0.292, 0.208); \quad v_4 = (0.375, 0.292, 0.125, 0.208)$$

将矩阵 v_1, v_2, v_3, v_4 改写成矩阵 $v = [v_1, v_2, v_3, v_4]^T$ 则:

$$v^T = \begin{bmatrix} 0.292 & 0.125 & 0.375 & 0.375 \\ 0.375 & 0.375 & 0.125 & 0.292 \\ 0.125 & 0.208 & 0.292 & 0.125 \\ 0.208 & 0.292 & 0.208 & 0.208 \end{bmatrix}$$

依据公式(6)计算出主观综合权重, 即指标层较目标层的权重 W :

$$W = wv^T = (0.2605, 0.2954, 0.2466, 0.2466)$$

5.2. 客观模糊综合权重

设模糊评判矩阵为 R , 表示模糊矩阵中第 i 个元素相对于第 j 个元素的重要度, 依据各等级参与评估的专家人数与专家总人数之比, 设本次参与打分的专家为 9 人, 各影响因素下打分专家评判人数如表 6 所示。

Table 6. Expert evaluation statistics
表 6. 专家评判统计

影响因素	好	较好	一般	差
U_{11}	5	3	1	0
U_{12}	3	5	0	1

Continued

U_{13}	2	4	3	0
U_{14}	6	2	1	0
U_{21}	5	4	0	0
U_{22}	2	4	2	1
U_{23}	2	5	2	0
U_{24}	6	2	1	0
U_{31}	4	5	0	0
U_{32}	2	4	3	0
U_{33}	3	5	1	0
U_{34}	5	4	0	0
U_{41}	6	3	0	0
U_{42}	4	5	0	0
U_{43}	7	2	0	0
U_{44}	2	3	3	1

由表 6 可得模糊权重矩阵 R :

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \begin{bmatrix} 0.556 & 0.333 & 0.111 & 0 \\ 0.333 & 0.556 & 0 & 0.111 \\ 0.222 & 0.444 & 0.333 & 0 \\ 0.667 & 0.222 & 0.111 & 0 \end{bmatrix}; & R_2 &= \begin{bmatrix} 0.556 & 0.444 & 0 & 0 \\ 0.222 & 0.444 & 0.222 & 0.111 \\ 0.222 & 0.556 & 0.222 & 0 \\ 0.667 & 0.222 & 0.111 & 0 \end{bmatrix}; \\
 R_3 &= \begin{bmatrix} 0.444 & 0.556 & 0 & 0 \\ 0.222 & 0.444 & 0.333 & 0 \\ 0.333 & 0.556 & 0.111 & 0 \\ 0.556 & 0.444 & 0 & 0 \end{bmatrix}; & R_4 &= \begin{bmatrix} 0.667 & 0.333 & 0 & 0 \\ 0.444 & 0.556 & 0 & 0 \\ 0.778 & 0.222 & 0 & 0 \\ 0.222 & 0.333 & 0.333 & 0.111 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

再由公式(8)和(9)计算出熵向量 H 及对应的客观熵权向量 W_H 如下:

$$H_1 = (0.675, 0.675, 0.765, 0.612); \quad H_2 = (0.495, 0.918, 0.717, 0.612)$$

$$H_3 = (0.495, 0.765, 0.675, 0.495); \quad H_4 = (0.459, 0.495, 0.382, 0.945)$$

$$W_{H1} = (0.255, 0.255, 0.185, 0.305); \quad W_{H2} = (0.401, 0.065, 0.225, 0.308)$$

$$W_{H3} = (0.322, 0.150, 0.207, 0.322); \quad W_{H4} = (0.315, 0.294, 0.360, 0.032)$$

5.3. 综合权重

由式(10)可计算出图 1 中准则层的综合权重向量 T :

$$T_1 = (0.290, 0.373, 0.090, 0.247); \quad T_2 = (0.237, 0.115, 0.222, 0.426)$$

$$T_3 = (0.452, 0.070, 0.226, 0.251); \quad T_4 = (0.462, 0.336, 0.176, 0.026)$$

由式(11)得准则层评判结果矩阵 B :

$$B_1 = (0.470, 0.399, 0.090, 0.041); \quad B_2 = (0.491, 0.374, 0.122, 0.013)$$

$$B_3 = (0.431, 0.519, 0.048, 0); \quad B_4 = (0.600, 0.388, 0.009, 0.003)$$

进而得到准则层的模糊评判矩阵 R^* :

$$R^* = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.470 & 0.399 & 0.090 & 0.041 \\ 0.491 & 0.374 & 0.122 & 0.013 \\ 0.431 & 0.519 & 0.048 & 0 \\ 0.600 & 0.388 & 0.009 & 0.003 \end{bmatrix}$$

再由式(8)和(9)求得评判矩阵的客观权重, 并与指标层相对于目标层各因素的主观权重 W 构成目标层的综合权重 T^* :

$$T^* = (0.172, 0.219, 0.275, 0.334)$$

由式(11)得总的评价结果矩阵 B^* : $B^* = T^* \circ R^* = (0.507, 0.423, 0.058, 0.011)$

5.4. 评分机制

传统模糊评价是基于最大隶属度进行评判, 取综合评价结果中最大值对应的评语等级, 作为判断风险因素的优劣势[25]。但传统最大隶属度存在等级归属不严格和隶属度失效等问题, 比如综合评价矩阵 B^* 中 0.507 比 0.423 仅大了 0.084, 若按最大隶属度原则判断该矩阵评语等级可归属于一般也可归属于差, 这种情况在决策中是不允许出现的。此外, 综合评判矩阵中的值只隶属于评语集中的程度, 表示事物的不确定性, 而不是等级归属。

本文通过评分法将确定的隶属度值转化成分数值, 克服了等级归属的不严格, 依据计算的分数值判断该路桥项目的评价等级。首先取表 2 的分数中值建立中值矩阵 X , 再将 B^* 与矩阵 X 相乘得路桥项目的最终评分为 Y :

$$Y = B^* X^T = (0.507, 0.423, 0.058, 0.011) \cdot (95, 85, 75, 65)^T = 89.185$$

从评分结果可知, 该项目处于“较好”等级, 投标决策风险整体稳定。另外, 亦可得各准则层因素评分结果:

$$U_1 = B_1 X^T = (0.470, 0.399, 0.090, 0.041) \cdot (95, 85, 75, 65)^T = 87.98$$

$$U_2 = B_2 X^T = (0.491, 0.374, 0.122, 0.013) \cdot (95, 85, 75, 65)^T = 88.43$$

$$U_3 = B_3 X^T = (0.431, 0.519, 0.048, 0) \cdot (95, 85, 75, 65)^T = 88.66$$

$$U_4 = B_4 X^T = (0.600, 0.388, 0.009, 0.003) \cdot (95, 85, 75, 65)^T = 90.85$$

从准则层的评分结果来看, 项目自身、投标企业、环境材料均处于“较好”等级, 且行业竞争处于“好”的等级。这表明该路桥项目投标决策风险受各项因素影响较小, 获取的综合权重方法验证了风险评估模型的可靠性与可行性, 能够真实的反应投标阶段的风险等级。同时为建筑企业在投标决策和风险评估中提供一种简单方便、行之有效的新思路。

6. 结论

本文基于改进的 AHP 和熵权法对路桥工程项目投标决策及风险评估方法进行了研究, 着重探讨影响投标决策的主要风险因素、风险评估模型构建以及风险等级的评分机制, 并提出了简易的风险评估模型。主要结论归纳如下:

1) 改进的三标度模糊层次分析法不仅计算简便, 而且采用综合权重较为科学地反应了风险水平。该方法避免了一致性检验的繁琐, 也克服了在投标决策时仅考虑主观评价的缺陷。

2) 依据风险评估流程以实体案例详细分析了所构建的风险评估模型, 验证了改进的三标度模糊层次分析法与熵权法相结合在风险评估中的可行性, 评价因素的选取及赋值可根据交通行业路桥工程现场实际情况进行改变, 此方法具有一定的工程实际应用价值。

3) 在路桥工程风险评估中面临众多模糊和不确定的风险因素, 采用改进的三标度模糊层次分析法与熵权法相结合可以有效处理这类模糊问题。目标层和准则层的评分结果在一定程度上受评价集分数值的影响, 本文评价集分数值选取的平均值过于保守, 对模糊因素的多样性、随机性考虑不足, 在后续研究中仍需进一步改进。

参考文献

- [1] 张朝勇, 王卓甫. 基于熵权的 Fuzzy-AHP 法的水电工程投标风险决策[J]. 水利水电技术, 2007, 38(6): 84-87.
- [2] 黎建强, 詹文杰, 张金隆, 汪寿阳. 多风险因素的投标报价决策方法[J]. 运筹与管理, 2002, 11(1): 1-10.
- [3] Seydel, J. and Olson, D.L. (1990) Bids Considering Multiple Criteria. *Journal of Construction Engineering and Management*, **116**, 609-622. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1990\)116:4\(609\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1990)116:4(609))
- [4] 任玉珑, 唐道鸿. 投标报价中报高率确定的支持向量机方法研究[J]. 科技管理研究, 2006, 26(11): 237-241.
- [5] Hegazy, T. and Moselhi, O. (1994) Analogy-Based Solution to Markup Estimation Problem. *Journal of Computer in Civil Engineering*, **8**, 72-87. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1994\)8:1\(72\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1994)8:1(72))
- [6] Li, H. (1996) Neural Network Models for Intelligent Support for Markup Estimation. *Journal of Construction Engineering and Management*, **3**, 69-81. <https://doi.org/10.1108/eb021023>
- [7] Fayek, A. (1998) Competitive Bidding Strategy Model and Software System for Bid Preparation. *Journal of Construction Engineering and Management*, **124**, 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:1(1))
- [8] 刘尔烈, 王健, 骆刚. 基于模糊逻辑的工程投标决策方法[J]. 土木工程学报, 2003, 36(3): 57-63.
- [9] 张朝勇, 王卓甫, 邢会歌. 基于 Choquet 模糊积分的工程投标风险评估方法[J]. 土木工程学报, 2007, 40(10): 98-104.
- [10] Li, H. and Love, P.E.D. (1999) Combining Rule Based Expert Systems and Artificial Neural Networks for Markup Estimation. *Construction Management and Economics*, **17**, 169-176. <https://doi.org/10.1080/014461999371664>
- [11] Lund, A., Gorden, N. and Altounian, A. (1989) Anaheim Bid User's Guide. Anaheim Technologies, Inc., Montreal.
- [12] 杨兰蓉. 基于事例推理的报高率确定决策模型及其支持系统的研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2000.
- [13] Dikmen, I., Talat Birgonul, M. and Kemal Gur, A. (2007) A Case-Based Decision Support Tool for Bid Mark-Up Estimation of International Construction Projects. *Automation in Construction*, **17**, 30-44. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.02.009>
- [14] Jo, H. and Han, I. (1996) Integration of Case-Based Forecasting, Neural Network, and Discriminant Analysis for Bankrupt Prediction. *Expert System with Application*, **11**, 415-422. [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(96\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(96)00056-5)
- [15] 许志端, 杨兰蓉, 张金隆. 一种基于事例推理的数据库模式设计专家系统的体系结构[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2000, 39(5): 599-595.
- [16] 温国锋, 陈立文, 李宏艳. 基于 Fuzzy-Rough-TOPSIS 的工程项目投标风险评价模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(23): 65-74.
- [17] 毕克新, 孙金花, 张铁柱, 冯英俊. 基于模糊积分的区域中小企业技术创新测度与评价[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(2): 41-61.
- [18] 朱德馨, 刘宏昭. 基于改进的模糊层次分析法的电主轴可靠性分配[J]. 中国机械工程, 2011, 22(24): 2923-2927.
- [19] 杨丁颖, 黄健陵. 铁路工程项目风险管理体系的构建与运行[J]. 铁道科学与工程学报, 2015, 12(6): 1513-1519.
- [20] 曾鸣, 陈英杰, 胡献忠, 董达鹏. 基于多层次模糊综合评价法的我国智能电网风险评价[J]. 华东电力, 2011, 29(4): 535-539.
- [21] 付沙, 宋丹. 基于 AHP 和模糊综合评判的信息安全风险评价方法[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31(6): 207-210.
- [22] 刘换, 赵刚. 基于多层次模糊综合评判及熵权理论的实用风险评估[C]//中国信息安全测评中心. 第五届信息安全漏洞分析与风险评估大会论文集: 2012 年卷. 2012: 262-276.
- [23] 贾进章, 董晓雷. 基于模糊综合评价-集值统计法的煤矿外因火灾危险性分析[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(2):

11-14.

- [24] 江婷, 周洪文, 张伟. 基于熵值法的地铁运营系统风险评估[J]. 中国水运(下半月), 2015, 15(7): 53-56.
- [25] Dai, C.Q. and Zhao, Z.H. (2015) Fuzzy Comprehensive Evaluation Model for Construction Risk Analysis in Urban Subway. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, **6**, Article ID: 1550024. <https://doi.org/10.1142/S1793962315500245>