

基于合作的工程项目风险动态模糊评价

高云莉^{*1,2}, 李宏男¹, 张国军¹

(1. 大连理工大学 土木工程学院, 辽宁 大连 116024;
2. 大连民族学院 土木建筑工程学院, 辽宁 大连 116600)

摘要: 工程项目风险产生的主要来源是工程项目信息的不完全性和不确定性. 在项目管理过程中, 项目参与方合作性的好坏直接影响信息的交流, 从而对工程项目的风险产生影响. 在传统风险评价模型的基础上, 建立了基于合作的工程项目风险动态模糊评价模型, 确定了项目合作性评价指标的层次结构; 利用修正模糊 AHP 方法确定了各个指标的权重, 并利用模糊推理方法, 对工程项目风险进行了定量研究. 这种方法考虑了项目参与方的合作性对工程项目风险大小的影响及项目风险随时间变化的动态性, 从而使得风险的评价更合理.

关键词: 工程项目; 风险分析; 合作; 动态性; 模糊评价

中图分类号: TU72 **文献标志码:** A

0 引言

项目管理过程中, 项目参与方的友好合作能够加强信息交流, 减少信息的不确定性^[1]. 通过项目参与方的合作更好地实现项目目标, 使各方共赢的思想最早源于美国, 目前已经应用在北美、欧洲和澳洲等地, 已经有十余年的历史, 并在实践中得到检验和应用^[2]. 我国学者也已经认识到工程项目参与方的合作能够帮助各方更快、更多地获得和处理项目信息以支持决策, 从而减少项目实施中的风险^[3]. 但对于项目参与方的合作性对风险的影响程度尚缺乏定量化研究, 本文在这方面进行探索和尝试.

工程项目在实施的过程中, 需要经过从项目构思、批准立项、设计、施工、交付使用到项目结束等几个阶段. 建设项目进行过程中, 在各个阶段, 风险量都是不同的, 是时时变化着的, 并且会对建设项目有非常大的影响. 因此, 建设项目的风险分析也应是动态的、时时更新的^[4].

工程项目风险评价是在风险辨识的基础上, 把风险发生的可能性、发生的后果及其他因素综合起来考虑以衡量风险大小的方法. 本文从业主

方的角度, 将项目各方合作性及风险的动态性引入风险评价模型, 以期对工程项目风险的定量研究提供一种新思路.

1 项目各方合作与风险管理的关系

工程项目的实施离不开一些不同的组织, 这些组织包括业主、设计单位、承包商、监理单位、供应商和运营单位等. 如果各组织间缺乏合作, 将导致决定项目品质和目标实现的各个组织资源难以充分整合. 更进一步地, 如果项目组织之间的利益目标发生抵触, 那么, 在项目实施过程中, 项目参与方彼此缺少信任, 信息交流不畅甚至故意隐瞒或提供虚假信息, 将使项目实施风险不可避免地增加.

在项目实施的不同阶段, 合作关系可以为项目参与各方树立合作共赢的风险管理指导思想, 有助于项目参与各方提高项目风险的评估、决策和风险管理水平.

项目决策阶段, 合作可以帮助业主与政府、社会、经济、人口、环境、金融机构和咨询设计机构建立和谐共赢的关系, 充分考虑到各方面利益, 各方面也能够提供信息及其他资源的支持, 使项目能

收稿日期: 2007-10-02; 修回日期: 2009-05-10.

基金项目: 辽宁省教育厅科学研究资助项目(2009B054).

作者简介: 高云莉*(1971-), 女, 博士, 副教授, E-mail: yunligao@163.com; 李宏男(1957-), 男, 教授, 博士生导师.

够充分考虑各种风险,实行科学决策.在项目的实施和运行阶段,业主、承包商、设计、监理、材料供应商和政府,同样需要通过合作集成各种资源,共同管理各项风险,以实现各方共赢的结果.由于项目风险通常要由不同组织共同管理和分担,各方不仅要充分了解本身的风险,也需要了解其他方在同一风险中的作用、位置和资源配置,才能制定兼顾各方利益的合作型对策,合理地处置风险^[3].

2 影响项目合作的评价指标

文献[1、2、5]提出了影响项目各方合作性的各种因素,考虑到我国工程项目的实际情况及项目合作性评价的可操作性,本文根据澳大利亚新南威尔士建筑业生产力皇家委员会使用的 10 要素合作评价指标^[5],综合了文献[1、5]所确定的项目合作影响因素,建立了项目合作性评价指标的层次分析图,如图 1 所示.

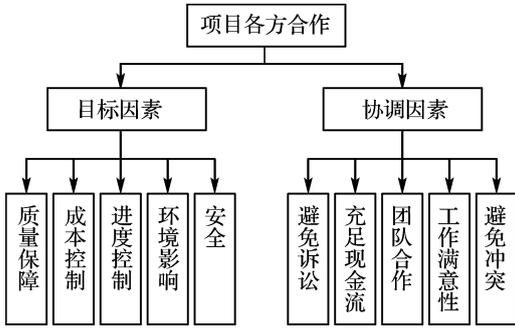


图 1 项目合作的评价指标

Fig. 1 The evaluation index of the collaboration among project parties

3 基于合作的工程项目风险动态模糊评价

3.1 工程项目风险度量

传统的工程项目风险度量^[6]通常用风险发生的可能性 R_l (risk likelihood) 及风险带来的损失 R_s (risk severity) 两个参数来衡量. 风险量 R_m 作为衡量风险大小的特征量,用式(1)表示:

$$R_m = f(R_l, R_s) \quad (1)$$

在上述模型的基础上,一方面考虑工程项目风险随时间变化的动态性,另一方面考虑项目参与方的合作程度 R_c (risk collaboration) 对风险的影响,构造基于合作的工程项目风险动态度量模型,如式(2)所示.

$$R_m = f(R_l, R_s, R_c, t) \quad (2)$$

式中: t 表示工程项目的某个阶段.

工程项目全过程的风险可以表示成工程项目全寿命周期的各个阶段风险量的集合,用 $R_m = \{R_m^1, R_m^2, \dots, R_m^t\}$ 表示.

3.2 基于合作的工程项目风险动态模糊评价模型

风险发生的可能性、严重性及项目参与各方合作性的评估均需领域专家进行判断.同时,风险评价推理规则也需要专家根据经验给出.因此,进行风险评价之前,需要成立风险评价小组来完成风险评价的工作.基于合作的工程项目风险动态模糊评价模型见图 2.

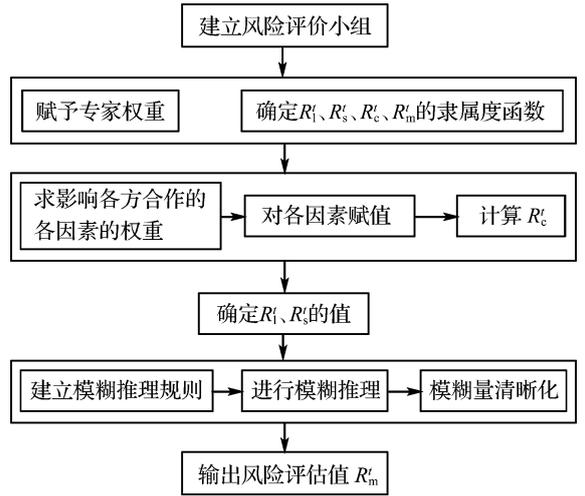
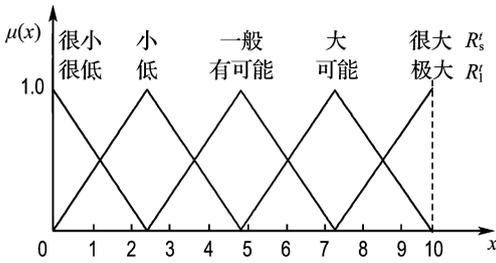
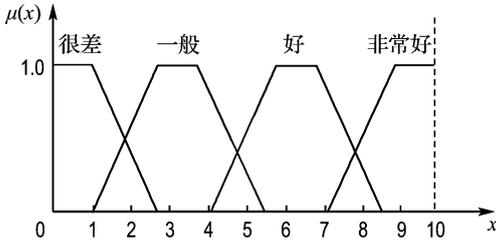
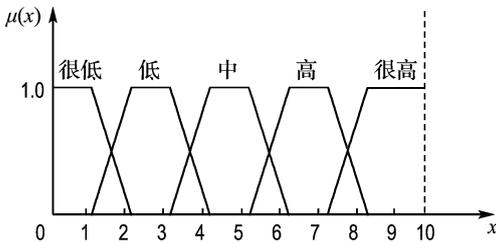


图 2 基于合作的工程项目风险动态模糊评价模型

Fig. 2 The dynamic fuzzy evaluation model of construction project risk based on collaboration

3.2.1 第 t 阶段 $R_l^t, R_s^t, R_c^t, R_m^t$ 的模糊表示 对某一具体的工程项目来说,在工程项目的不同阶段,风险的表现形式及严重程度均会不同.

可以假定在工程项目的第 t 阶段,风险事件发生的可能性 R_l^t 用模糊集{很低,低,有可能,可能,极大}来表示;风险事件发生的严重性 R_s^t 用模糊集{很小,小,一般,大,很大}来表示,可以选择三角函数作为隶属度函数,如图 3 所示;项目参与方合作性 R_c^t 用模糊集{很差,一般,好,非常好}来表示,可以选择梯形函数作为隶属度函数,如图 4 所示;风险量 R_m^t 用模糊集{很低,低,中,高,很高}来表示,如图 5 所示.

图3 R'_1, R'_s 隶属度函数Fig. 3 The membership function of R'_1 and R'_s 图4 R'_c 隶属度函数Fig. 4 The membership function of R'_c 图5 R'_m 隶属度函数Fig. 5 The membership function of R'_m

3.2.2 梯形模糊数 专家的意见或者主观判断可能是语言变量,也可能给出一个变化区间,或者一个 $[0,10]$ 的任一数值.为了解决描述变量不统一的问题,设计一个梯形模糊数,将这些变量统一用标准梯形模糊数表示.

定义1 记 $F(\mathbf{R})$ 为 \mathbf{R} 上的全体模糊集,称 M 为梯形模糊数,如果 M 的隶属度函数为 $\mu(M): \mathbf{R} \rightarrow [0,1]$ 表示为

$$\mu_M(x) = \begin{cases} (x - a_1)/(a_m - a_1); & x \in [a_1, a_m] \\ 1; & x \in [a_m, a_n] \\ (a_u - x)/(a_u - a_n); & x \in [a_n, a_u] \\ 0; & \text{其他} \end{cases}$$

式中: $a_1 \leq a_m \leq a_n \leq a_u$, 梯形模糊数记为 $M(a_1, a_m, a_n, a_u)$. 当 $a_1 = a_m = a_n = a_u$ 时,它表示一个数值;当 $a_1 = a_m$ 或 $a_n = a_u$ 时,它表示一个区间;当 $a_m = a_n$ 时,它表示一个三角模糊数.

根据梯形模糊数的定义,可以将语言变量、区间变量、三角模糊数和实数转换成梯形模糊数,实现描述变量的统一.如专家给出语言变量,风险可能性为有可能,可转换成梯形模糊数(2.5, 5.0, 5.0, 7.5);如给出一个区间变量,风险可能性在 $[5,7]$,可转换成梯形模糊数(5, 5, 7, 7);如给定一个数值4,可转换成梯形模糊数(4, 4, 4, 4).

3.2.3 梯形模糊数的大小比较^[7] 如果 $M_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$, $M_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ 是两个梯形模糊数,则 $M_1 \geq M_2$ 的可能性程度为

$$V(M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1; & c_1 \geq b_2 \\ \frac{d_1 - a_2}{(d_1 - c_1) + (b_2 - a_2)}; & c_1 \leq b_2, d_1 \geq a_2 \\ 0; & d_1 \leq a_2 \end{cases} \quad (3)$$

3.2.4 利用修正模糊AHP方法确定工程项目合作性各个指标的权重

步骤1 建立工程项目合作性指标的层次结构,如图1所示.

步骤2 对指标进行两两比较.专家对项目合作性的10要素指标进行两两比较,与传统AHP方法采用1~9标度法所不同的是,专家可以给出比较值区间或者某一比较值,然后将比较值转换成梯形模糊数 M_{ij} .数值“0”表示专家不能做出判断,转换成梯形模糊数为 $[0,0,0,0]$.

$$M_{ij}^* = \frac{M_{ij1} \otimes c_1 \oplus M_{ij2} \otimes c_2 \oplus \cdots \oplus M_{ijm} \otimes c_m}{1 - \sum_{k=1}^r c_k} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中: M_{ij}^* 为第 i 个指标与第 j 个指标的比较值; $M_{ij1}, M_{ij2}, \dots, M_{ijm}$ 分别为 m 个专家给出的第 i 个指标与第 j 个指标的比较值; c_1, c_2, \dots, c_m 分别为 m 个专家的权重,根据专家的经验 and 背景确定. r 为给出“0”值专家的个数, c_k 为给出“0”值的专家权重, $k = 1, 2, \dots, r$, 即去掉不能做出判断的专家权重.

步骤3 构造判断矩阵,根据下式

$$\omega_i = \sum_{j=1}^n M_{ij}^* \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}^* \right)^{-1} \quad (5)$$

求出模糊权重 ω_i .

步骤4 根据 $\omega_i > \omega_j$ 的可能性程度,利用式(3)和(6)将模糊数转化为普通实数.

$$W_i = \min V(\omega_i \geq \omega_j); \quad i \neq j, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

3.2.5 工程项目参与方合作性 R'_c 的确定 在项目的不同阶段,项目各方的合作程度不同,影响项目合作性指标的权重也是动态变化的,可表示为 $\{W'_1, W'_2, \dots, W'_n\}$,由专家根据第 t 阶段项目各方的合作情况和 R'_c 的隶属度函数曲线对工程项目合作性进行估计,确定项目合作性的估计值 S'_{ij} ,则

$$R'_c = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S'_{ij} W'_i c_j; \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式中: S'_{ij} 表示第 j 个专家对项目合作性评价的第 i 个指标的估计值,转换成梯形模糊数来表示; W'_i 为反映工程项目合作性第 i 个指标的权重; c_j 为第 j 个专家的权重.

3.2.6 确定第 t 阶段 R'_i 和 R'_s 的评价值 工程项目风险发生的可能性和风险损失可由专家根据经验进行估计,转换成梯形模糊数来表示.项目风险的 R'_i 和 R'_s 的值由式(8)、(9)确定.

$$R'_i = R'_{i1} \otimes c_1 \oplus R'_{i2} \otimes c_2 \oplus \dots \oplus R'_{ij} \otimes c_j; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$R'_s = R'_{s1} \otimes c_1 \oplus R'_{s2} \otimes c_2 \oplus \dots \oplus R'_{sj} \otimes c_j; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

式中: $R'_{i1}, R'_{i2}, \dots, R'_{ij}$ 表示 j 个专家给出的项目风险发生可能性的估计值; $R'_{s1}, R'_{s2}, \dots, R'_{sj}$ 表示 j 个专家给出的项目风险发生严重程度的估计值; c_j 为第 j 个专家的权重,根据专家的经验背景确定.

3.2.7 模糊推理 风险量 R'_m 由 R'_i, R'_s, R'_c 根据模糊推理规则来确定.

建立第 k 条模糊推理规则 R^k 为

if x_1 是 $\mu^k_{r1}(x_1)$, x_2 是 $\mu^k_{rs}(x_2)$, x_3 是 $\mu^k_{rc}(x_3)$, then y 是 $\mu^k_{rm}(y)$.

其中 $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, x_3 \in X_3, y \in U; X_1, X_2, X_3, U$ 分别为 R'_i, R'_s, R'_c, R'_m 的论域; $\mu^k_{r1}(x_1), \mu^k_{rs}(x_2), \mu^k_{rc}(x_3), \mu^k_{rm}(y)$ 分别为 x_1, x_2, x_3, y 的隶属度.

根据 Mamdani 模糊推理方法,则

$$\mu_{R^k}(\chi, y) = \mu^k_{r1}(x_1) \wedge \mu^k_{rs}(x_2) \wedge \mu^k_{rc}(x_3) \wedge \mu^k_{rm}(y) \quad (10)$$

$$\mu_{rm}(\chi, y) = \bigvee_1^k \mu_{R^k}(\chi, y) \quad (11)$$

其中 $\chi \in X_1 \times X_2 \times X_3$.

去模糊化后

$$R'_m = y = \sum_{i=1}^q y_i \mu_{rm}(y_i) / \sum_{i=1}^q \mu_{rm}(y_i) \quad (12)$$

3.3 全过程的风险集合

工程项目每一阶段的 R'_m 求出后,全过程的风

险集合为 $\{R'_m, R'_m, \dots, R'_m\}$, t 为工程项目阶段数.

4 应用举例

采用上述基于合作的工程项目风险动态模糊评价模型对某工程项目施工阶段的工期风险进行评价.业主方由 5 位专家 $E_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 对工期风险可能性和风险发生的严重程度进行了估计,估计结果见表 1,根据 5 位专家的经历和背景,分别赋予权重 $\{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ 为 $\{0.20, 0.20, 0.20, 0.25, 0.15\}$.

表 1 某体育馆项目工期风险的 R_i 和 R_s 值
Tab.1 The estimate value of R_i and R_s for the gymnasium project

专家	R_i	梯形模糊数	R_s	梯形模糊数
E_1	5	(5,5,5,5)	5	(5,5,5,5)
E_2	[5,7]	(5,5,7,7)	6	(6,6,6,6)
E_3	有可能	(2,5,5,7,5)	严重	(5,7,5,7,5,10)
E_4	[6,8]	(6,6,8,8)	[5,7]	(5,5,7,7)
E_5	8	(8,8,8,8)	4	(4,4,4,4)

根据影响项目合作性的评价指标,利用如 3.2.4 所述的修正模糊 AHP 方法确定各指标权重,请专家对项目参与方的合作性进行了估计,结果见表 2.

表 2 某体育馆项目参与方合作性指标评估值
Tab.2 The value of collaboration factors for the gymnasium project

指标	权重	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
质量保障	0.18	6	一般	5	5	6
成本控制	0.15	5	非常好	[5,7]	6	6
进度控制	0.15	4	好	5	5	3
环境影响	0.09	6	一般	7	5	5
安全	0.12	6	好	[5,7]	4	4
避免冲突	0.10	4	一般	3	4	3
避免诉讼	0.05	3	一般	4	4	7
充足现金流	0.07	4	一般	3	4	6
团队合作	0.05	7	好	6	5	7
工作满意度	0.04	8	好	7	7	5

根据式(7)~(9)确定工期风险的可能性、严重性及项目参与方的合作性分别为

$$R_i = (5.2, 5.7, 6.6, 7.1)$$

$$R_s = (5.05, 5.55, 6.05, 6.55)$$

$$R_c = (4.59, 4.99, 5.30, 5.64)$$

$$\mu_{r1} = \{(有可能, 0.77), (可能, 0.70)\}$$

$$\mu_{rs} = \{(一般, 0.82), (大, 0.52)\}$$

$$\mu_{rc} = \{(一般, 0.59), (好, 0.70)\}$$

根据表 3 所示推理规则和式(10)~(12),求得

$$R_m = 5.74$$

其中 $\mu_m = \{(高, 0.74), (中, 0.26)\}$.

表3 模糊推理规则

Tab.3 The fuzzy reasoning rules

R_1	R_s	R_c	
		一般 (0.59)	好 (0.70)
有可能 (0.77)	一般 (0.82)	中 (0.59)	低 (0.70)
	大 (0.52)	高 (0.52)	中 (0.52)
可能 (0.70)	一般 (0.82)	高 (0.59)	中 (0.70)
	大 (0.52)	很高 (0.52)	高 (0.52)

通过评价可以看出,该项目施工阶段的工期风险属于高风险.因此,在项目实施过程中,项目业主对工期风险应予以足够的重视,注意加强信息沟通与交流,保证项目的工期.

5 结语

在工程项目风险评价中首次考虑了项目参与方合作性对风险的定量影响,同时考虑了项目风险的动态性,给出了工程项目风险动态模糊评价方法.这种方法有助于业主重视项目实施过程中的沟通与协作,时时关注风险的变化,及时采取有效的措施控制风险.

Dynamic fuzzy evaluation of construction project risk based on collaboration

GAO Yun-li^{*1,2}, LI Hong-nan¹, ZHANG Guo-jun¹

(1. School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. College of Civil Engineering & Architecture, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China)

Abstract: The incompleteness and uncertainty of information can raise construction project risk. In the process of project management, the collaboration among project parties affects the information communication and impacts on project risk. Based on traditional risk evaluation model, the dynamic fuzzy evaluation model of construction project risk is proposed based on collaboration. The hierarchy of the collaboration evaluation index among project parties is presented, and the weight of every index is calculated by modified fuzzy AHP. The quantitative research on project risk is conducted by fuzzy reasoning method. This risk evaluation method is more reasonable because of considering the influence of collaboration among the parties on project risk and the dynamic character of project risk changing with time.

Key words: construction project; risk analysis; collaboration; dynamic; fuzzy evaluation

参考文献:

- [1] TANG W Z, DUFFIELD C F, YOUNG D M. Partnering mechanism in construction: an empirical study on the Chinese construction industry [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2006, **132**(3):217-229
- [2] CHENG E W L, LI H. Construction partnering process and associated critical success factors: quantitative investigation [J]. *Journal of Management in Engineering*, 2002, **18**(4):194-202
- [3] 唐文哲, 强茂山, 陆佑楣, 等. 基于伙伴关系的项目风险管理研究[J]. 水利发电, 2006, **32**(7):1-4
- [4] 孙成双, 王要武. 建设项目动态风险分析方法研究[J]. 土木工程学报, 2003, **36**(3):41-44
- [5] 何晓晴. 工程项目成功合作及其管理指标体系的构建与研究[D]. 长沙:湖南大学, 2006
- [6] 王卓甫. 工程项目风险管理(理论方法与应用)[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003
- [7] 潘英帅. 基于模糊博弈论的合作供应链优化配置方法[D]. 杭州:浙江大学, 2006
- [8] DIKMEN I, BIRGONUL M T, HAN S. Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects [J]. *International Journal of Project Management*, 2007, **25**(5):494-505
- [9] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004