

基于风险链和模糊影响图的风险定性评估方法

——以某海外 EPC 电力工程为例

全吉^{1,2}, 黄剑眉², 张水波³, 曾祥育²

(1. 武汉理工大学 管理学院, 武汉 430070; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;
3. 天津大学 管理与经济学部, 天津 300072)

摘要: 海外 EPC 工程, 影响总承包商费用的风险源很多, 风险之间的作用关系也比较复杂, 并且由于客观评估数据的缺乏, 项目整体风险水平的评估是一个较为困难的问题。通过构建海外 EPC 电力工程总承包项目的风险链和风险地图, 将所有的风险都统一成费用进行分析, 并采用模糊影响图理论对其进行模糊推理和综合评价。评估的过程只需要评估人员对风险及其关系做出定性判断, 此方法具有需要的数据量小、直观和易于理解等优点, 适用于项目的投标阶段对风险金进行快速估计。

关键词: 风险评估; 风险链; 模糊影响图; 风险金

中图分类号: TM611

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)01-0063-07

Method of Risk Qualitative Assessment Based on Risk Chain and Fuzzy Influence Diagrams —A Case Study of an Overseas EPC Electric Power Project

QUAN Ji^{1,2}, HUANG Jianmei², ZHANG Shuib³, ZENG Xiangyu²

(1. School of Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;
2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute, Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
3. Department of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: For overseas EPC projects, there are great many risk sources that will impact the cost of the main contractor. Because the interaction between these risks is complex, and also the lack of objective assessment data, risk assessment of the overall project is a difficult problem. By building risk chain and maps of the overseas EPC electric power project, all risk assessment are unified into analysis of cost, this article uses the fuzzy influence diagram theory for risk fuzzy reasoning and comprehensive evaluation of the project. The whole process only requires evaluators to make qualitative judgments to assess the risks and their relationships. This method has advantages that only requires a small amount of data, intuitive and easy to understand, etc., applicable for quick estimates of the project risk premium in the project bidding stage.

Key words: risk assessment; risk chain; fuzzy influence diagram; risk premium

风险评估包括风险的估计和评价, 估计是建立在有效识别工程风险的基础上, 对已确认的风险, 根据其特点, 通过定性和定量分析方法估计其发生的可能性和破坏程度的大小。评价是通过一定的模

型对工程的风险水平进行整体评价。工程的风险取决于各单项风险的组合。对于国际工程, 工程的整体风险是工程公司做出是否参与某项目投标以及决定风险金和投标报价的重要参考依据。

目前, 在风险的评估方面已有了若干可参考模型。如 Wang S. Q. 等^[1]将国际工程的风险分成了国家、市场和项目三个层级, 采用问卷调查的方法对识别出的 28 个主要风险因素进行了评级, 针对每一个风险对其应对措施的有效性进行了评估, 提出了风险识别和管理的“外星人眼”(Alien Eye)模型。

收稿日期: 2015-08-15

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2015VI012); 国家自然科学基金资助项目(71501149)

作者简介: 全吉(1983), 男, 湖北襄阳人, 副教授, 博士, 主要从事工程项目管理和风险管理相关的研究工作(e-mail) quanji123@163.com。

Dikmen 和 Birgonul^[2] 提出了一套采用层次分析法来判定国际工程风险和机会等级的方法, 提出了一种针对国际建设工程的风险分解结构和影响建设公司管理风险能力的要素清单, 并根据机会和风险等级来对要选择的工程进行排序。Dikmen 等人^[3] 提出了集成工期和成本的影响网络模型来对风险进行评估, 在此模型中加入了情景分析的特征, 可用蒙特卡洛实现各种情形, 他们开发了一套基于网络的工具用于计算风险对工期和成本的影响。在风险评估结果对于投标报价的影响方面, Laryea 和 Hughes^[4] 研究了投标阶段风险水平对于投标价格的影响, 以及如何对风险进行定价的问题。Sonmez 等^[5] 通过大量工程数据采用关联和回归分析的方法分析了投标阶段国际建设工程项目的风险对成本的影响。

由于在风险分析的过程中, 许多风险因素的评价很难用经典数学来进行表述和运算, 模糊数学的方法被引入。如 Dikmen 等人^[6] 提出了国际建设工程中的一种模糊风险评价法, 并开发了配套的软件工具, 该工具采用模糊综合评价法估算成本超支的风险等级。Idrus 等人^[7] 从承包商的角度, 提出了一套用于估算风险费用的风险分析与模糊专家系统, 并用马来西亚的建筑和基础设施建设工程项目验证了此系统的有效性。影响图作为一种决策分析的新方法, 由于其能很好的描述风险之间的作用关系, 逐渐被应用到风险的评估过程中。将模糊数学和影响图的分析技术结合起来, 由此出现了模糊影响图的风险评估方法^[8]。如: 林盛等人^[9] 和余建星等人^[10] 利用模糊影响图方法分别对管道工程和海洋工程项目的风险进行了评估。

本文尝试利用模糊影响图的方法对国际 EPC 工程的风险进行评估, 与前人构建的局部影响图不同的是, 本文评估的基础是作者前期研究中已经构建好的项目的风险链和风险地图^[11]。评估的过程只需要评估人员对风险及其关系做出定性判断, 具有需要的数据量小、直观和易于理解等优点, 适用于项目的投标阶段对风险金进行快速估计。

1 风险链和风险地图的构造

本文不对项目的风险链和风险地图的构造过程进行重述, 有兴趣的读者可参见文献^[11]。本文将直接采用此文中所构建的某海外 EPC 电力工程的风险地图, 如图 1 所示。

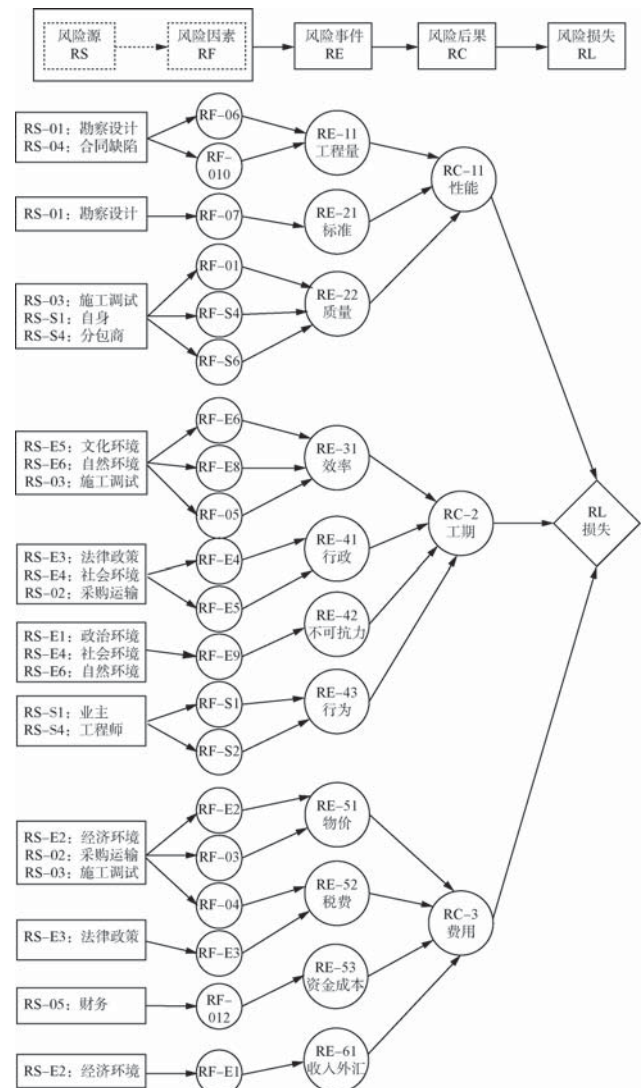


图 1 某海外 EPC 电力工程的风险地图

Fig. 1 Risk Map of An Overseas EPC Power Project

2 基于模糊影响图的风险评估过程

2.1 定义语言变量的模糊集

根据此工程的实际及投标人员对模糊词汇的理解, 经过反复讨论, 确定各语言变量的模糊集如下:

2.1.1 状态模糊集

$$\text{大} = \left\{ \frac{\text{大}}{1.0}, \frac{\text{中}}{0.0}, \frac{\text{小}}{0.0} \right\}, \text{中} = \left\{ \frac{\text{大}}{0.0}, \frac{\text{中}}{1.0}, \frac{\text{小}}{0.0} \right\},$$

$$\text{小} = \left\{ \frac{\text{大}}{0.0}, \frac{\text{中}}{0.0}, \frac{\text{小}}{1.0} \right\};$$

$$\text{很多} = \left\{ \frac{7\%}{0.5}, \frac{9\%}{0.8}, \frac{11\%}{1.0} \right\}, \text{较多} = \left\{ \frac{3\%}{0.5}, \frac{5\%}{1.0}, \frac{7\%}{0.5} \right\},$$

$$\text{较少} = \left\{ \frac{1\%}{1.0}, \frac{3\%}{0.5} \right\}。$$

2.1.2 频率模糊集

$$\begin{aligned} \text{高} &= \left\{ \frac{0.7}{0.5}, \frac{0.8}{0.7}, \frac{0.9}{0.9}, \frac{1.0}{1.0} \right\}, \\ \text{中} &= \left\{ \frac{0.3}{0.2}, \frac{0.4}{0.8}, \frac{0.5}{1.0}, \frac{0.6}{0.8}, \frac{0.7}{0.2} \right\}, \\ \text{低} &= \left\{ \frac{0}{1.0}, \frac{0.1}{0.9}, \frac{0.2}{0.7}, \frac{0.3}{0.5} \right\}. \end{aligned}$$

2.2 评估独立结点的状态频率及结点间模糊关系

对于风险地图中的每一条风险链, 将风险因素结点作为评估的初始独立结点, 根据导致其产生的风险源情况对其进行分析, 采用 2.1 节中定义的文字语言定性评估各种可能状态出现的频率。对于此

海外 EPC 工程, 在投标阶段, 通过投标团队(对存在的风险较为熟悉的多人)对各风险因素可能状态频率的判断, 并选择比例最大的结果作为最终结果, 得到评估结果如表 1 所示。另外, 还需要定性评估风险因素结点到风险事件结点, 风险事件结点到风险后果结点, 以及风险后果结点到风险损失结点的之间的模糊关系, 评估结果如表 2 所示。

2.3 计算各结点的频率矩阵及风险损失结点变动的概率

按如下步骤进行计算, 虽然计算本身具有一定的繁琐性, 但是, 当算法得到程序化后, 其难点就

表 1 风险因素结点状态频率对照表
Table 1 Status Frequency Table of Risk Factor Nodes

结点编号	结点名称	可能状态	出现频率	结点编号	结点名称	可能状态	出现频率
RF-O6	水文地质条件的不利变化	大	低	RF-E5	政府行为的不利变化	大	低
		中	高			中	中
		小	中			小	高
RF-O10	工程范围的不利变化	大	低	RF-E9	未预见的国际国内政治形势(战争、敌对行动、叛乱、社会动荡、恐怖主义等)	大	低
		中	中			中	中
		小	高			小	高
RF-O7	设计标准和方案的不利变化	大	中	RF-S1	业主态度(行为)的	大	低
		中	高			中	中
		小	低			小	高
RF-O1	可获取原材料的不利变化	大	低	RF-S2	工程师态度(行为)的	大	低
		中	中			中	高
		小	高			小	中
RF-S4	分包商行为的不利变化	大	低	RF-E2	物价的不利变化	大	低
		中	高			中	高
		小	中			小	中
RF-S6	自身绩效的不利变化	大	低	RF-O3	可获取设备的不利变化	大	低
		中	中			中	中
		小	高			小	高
RF-E6	气候条件的不利变化	大	低	RF-O4	可获取分包商的不利变化	大	低
		中	高			中	高
		小	中			小	中
RF-E8	文化沟通的不利变化	大	低	RF-E3	税率的不利变化	大	低
		中	中			中	中
		小	高			小	高
		中	高	大	低		
		小	中	中	中		
RF-E4	法律和政策的不利变化	大	低	RF-O12	资金来源的不利变化	大	低
		中	中			中	中
		小	高			小	高
RF-E1	汇率的不利变化	大	高	RF-E1	汇率的不利变化	大	高
		中	中			中	中
		小	低			小	低

表 2 风险结点之间的模糊关系
Table 2 Fuzzy Relationship between Risk Nodes

结点关系	关系描述	结点关系	关系描述
RF-O6 → RE-11	RF-O6 为大中小, 分别对应 RE-11 增加很多、增加较多、增加较少	RF-E3 → RE-52	RF-E3 为大中小, 分别对应 RE-52 增加很多、增加较多、增加较少
RF-O10 → RE-11	RF-O10 为大中小, 分别对应 RE-11 增加很多、增加较多、增加较少	RF-O12 → RE-53	RF-O12 为大中小, 分别对应 RE-53 增加很多、增加较多、增加较少
RF-O7 → RE-21	RF-O7 为大中小, 分别对应 RE-21 提高很多、提高较多、提高较少	RF-E1 → RE-61	RF-E1 为大中小, 分别对应 RE-61 贬值很多、贬值较多、贬值较少
RF-O1 → RE-22	RF-O1 为大中小, 分别对应 RE-22 下降很多、下降较多、下降较少	RE-11 → RC-1	RE-11 增加很多、较多、较少, 分别对应 RC-1 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-S4 → RE-22	RF-S4 为大中小, 分别对应 RE-22 下降很多、下降较多、下降较少	RE-21 → RC-1	RE-21 提高很多、较多、较少, 分别对应 RC-1 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-S6 → RE-22	RF-S6 为大中小, 分别对应 RE-22 下降很多、下降较多、下降较少	RE-22 → RC-1	RE-22 下降很多、较多、较少, 分别对应 RC-1 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-E6 → RE-31	RF-E6 为大中小, 分别对应 RE-31 降低很多、降低较多、降低较少	RE-31 → RC-2	RE-31 降低很多、较多、较少, 分别对应 RC-2 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-E8 → RE-31	RF-E8 为大中小, 分别对应 RE-31 降低很多、降低较多、降低较少	RE-41 → RC-2	RE-41 延误很多、较多、较少, 分别对应 RC-2 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-O5 → RE-31	RF-O5 为大中小, 分别对应 RE-31 降低很多、降低较多、降低较少	RE-42 → RC-2	RE-42 延误很多、较多、较少, 分别对应 RC-2 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-E4 → RE-41	RF-E4 为大中小, 分别对应 RE-41 延误很多、延误较多、延误较少	RE-43 → RC-2	RE-43 延误很多、较多、较少, 分别对应 RC-2 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-E5 → RE-41	RF-E5 为大中小, 分别对应 RE-41 延误很多、延误较多、延误较少	RE-51 → RC-3	RE-51 上涨很多、较多、较少, 分别对应 RC-3 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-E9 → RE-42	RF-E9 为大中小, 分别对应 RE-42 延误很多、延误较多、延误较少	RE-52 → RC-3	RE-52 增加很多、较多、较少, 分别对应 RC-3 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-S1 → RE-43	RF-S1 为大中小, 分别对应 RE-43 延误很多、延误较多、延误较少	RE-53 → RC-3	RE-53 增加很多、较多、较少, 分别对应 RC-3 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-S2 → RE-43	RF-S2 为大中小, 分别对应 RE-43 延误很多、延误较多、延误较少	RE-61 → RC-3	RE-61 增加很多、较多、较少, 分别对应 RC-3 费用增加很多、增加较多、增加较少
RF-E2 → RE-51	RF-E2 为大中小, 分别对应 RE-51 上涨很多、上涨较多、上涨较少	RC-1 → RL	RC-1 费用增加很多、较多、较少, 分别对应 RL 费用损失很大、损失较大、损失较小
RF-O3 → RE-51	RF-O3 为大中小, 分别对应 RE-51 上涨很多、上涨较多、上涨较少	RC-2 → RL	RC-2 费用增加很多、较多、较少, 分别对应 RL 费用损失很大、损失较大、损失较小
RF-O4 → RE-51	RF-O4 为大中小, 分别对应 RE-51 上涨很多、上涨较多、上涨较少	RC-3 → RL	RC-3 费用增加很多、较多、较少, 分别对应 RL 费用损失很大、损失较大、损失较小

不在与计算, 而在于风险链和影响关系的构造以及对初始结点的频率和结点间模糊关系的评估本身。

Step 1: 计算风险因素结点的频率矩阵。如:

$$F_{RF-O6} = (\text{低} \times \text{大}) \cup (\text{高} \times \text{中}) \cup (\text{中} \times \text{小})$$

$$= \begin{bmatrix} & \text{大} & \text{中} & \text{小} \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.1 & 0.9 & 0.0 & 0.0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.0 & 0.2 \\ 0.4 & 0.0 & 0.0 & 0.8 \\ 0.5 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \\ 0.6 & 0.0 & 0.0 & 0.8 \\ 0.7 & 0.0 & 0.5 & 0.2 \\ 0.8 & 0.0 & 0.7 & 0.0 \\ 0.9 & 0.0 & 0.9 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

同理可得其它。

Step 2: 计算风险事件结点的所有紧前结点(风险因素结点)频率矩阵的联合。

$$F_{RE-11p} = F_{RF-O6} \cup F_{RF-O10} = \begin{bmatrix} & \text{大} & \text{中} & \text{小} \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.1 & 0.9 & 0.0 & 0.0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0.2 \\ 0.4 & 0.0 & 0.8 & 0.8 \\ 0.5 & 0.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.6 & 0.0 & 0.8 & 0.8 \\ 0.7 & 0.0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.8 & 0.0 & 0.7 & 0.7 \\ 0.9 & 0.0 & 0.9 & 0.9 \\ 1.0 & 0.0 & 1.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

同理可得其它。

Step 3: 计算风险因素结点到风险事件结点的关系矩阵。

$$R_{RF-O6 \rightarrow RE-11} = (\text{大} \times \text{增加很多}) \cup (\text{中} \times \text{增加较多}) \cup (\text{小} \times \text{增加较少})$$

$$= \begin{bmatrix} & 1\% & 3\% & 5\% & 7\% & 9\% & 11\% \\ \text{大} & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 1.0 \\ \text{中} & 0.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ \text{小} & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

同理可得其它。

Step 4: 计算风险事件结点与所有紧前风险因素结点模糊关系矩阵的联合。

$$R_{RE-11p} = R_{RF-O6 \rightarrow RE-11} \cup R_{RF-O10 \rightarrow RE-11}$$

$$= \begin{bmatrix} & 1\% & 3\% & 5\% & 7\% & 9\% & 11\% \\ \text{大} & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 1.0 \\ \text{中} & 0.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ \text{小} & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

同理可得其它。

Step 5: 计算风险事件结点的频率矩阵。

$$F_{RE-11} = F_{RE-11p} \circ R_{RE-11p} =$$

$$\begin{bmatrix} & 1\% & 3\% & 5\% & 7\% & 9\% & 11\% \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 1.0 \\ 0.1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 0.9 \\ 0.2 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.5 & 1.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.6 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.9 & 0.9 & 0.5 & 0.9 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 1.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

同理可得其它。计算出风险事件结点的频率矩阵, 其前面的风险因素结点即被释放。

Step 6: 计算风险后果结点的所有紧前结点(风险事件结点)频率矩阵的联合。

$$F_{RC-1p} = F_{RE-11} \cup F_{RE-21} \cup F_{RE-22} =$$

$$\begin{bmatrix} & 1\% & 3\% & 5\% & 7\% & 9\% & 11\% \\ 0.0 & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 1.0 \\ 0.1 & 0.9 & 0.5 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 0.9 \\ 0.2 & 0.7 & 0.5 & 0.0 & 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.3 & 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 0.5 & 1.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.8 & 1.0 \\ 0.6 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0.2 \\ 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.9 & 0.9 & 0.5 & 0.9 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 1.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

同理可得其它。

Step 7: 计算风险事件结点到风险后果结点的关系矩阵。

$$R_{RE-11 \rightarrow RC-1} = (\text{增加很多} \times \text{增加很多}) \cup (\text{增加很多}) \times (\text{增加很多}) \cup (\text{增加很少}) \times (\text{增加很少})$$

$$= \begin{bmatrix} & 1\% & 3\% & 5\% & 7\% & 9\% & 11\% \\ 1\% & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 3\% & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 5\% & 0.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 7\% & 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 9\% & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 11\% & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 1.0 \end{bmatrix}$$

同理可得其它。

Step 8: 计算风险后果结点与所有紧前风险事件结点模糊关系矩阵的联合。

$$R_{RC-1p} = R_{RE-11 \rightarrow RC-1} \cup R_{RE-21 \rightarrow RC-1} \cup R_{RE-22 \rightarrow RC-1}$$

$$= \begin{bmatrix} & 1\% & 3\% & 5\% & 7\% & 9\% & 11\% \\ 1\% & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 3\% & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 5\% & 0.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 7\% & 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 9\% & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 11\% & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.8 & 1.0 \end{bmatrix}$$

同理可得其它。

Step 9: 计算风险后果结点的频率矩阵。

$$F_{RC-1} = F_{RC-1P} \circ R_{RC-1P} =$$

	1%	3%	5%	7%	9%	11%
0.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0
0.1	0.9	0.5	0.5	0.5	0.8	0.9
0.2	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7
0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.4	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8
0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0.8	1.0
0.6	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8
0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.8	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5
0.9	0.9	0.5	0.9	0.5	0.5	0.5
1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5

同理可得其它。

计算出风险后果结点的频率矩阵，其前面的风险事件结点即被释放。

Step 10: 计算风险损失结点的所有紧前结点(风险后果结点)频率矩阵的联合。

$$F_{RLP} = F_{RC-1} \cup F_{RC-2} \cup F_{RC-3} =$$

	1%	3%	5%	7%	9%	11%
0.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0
0.1	0.9	0.5	0.5	0.5	0.8	0.9
0.2	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7
0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.4	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8
0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0.8	1.0
0.6	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8
0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.8	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7
0.9	0.9	0.5	0.9	0.5	0.8	0.9
1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	0.8	1.0

Step 11: 计算风险损失结点的频率矩阵。

$$F_{RL} = F_{RLP} \circ R_{RLP} =$$

	1%	3%	5%	7%	9%	11%
0.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0
0.1	0.9	0.5	0.5	0.5	0.8	0.9
0.2	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7
0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.4	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8
0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0.8	1.0
0.6	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8
0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.8	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7
0.9	0.9	0.5	0.9	0.5	0.8	0.9
1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	0.8	1.0

计算出风险损失结点的频率矩阵，其前面的风险后果结点即被释放。

Step 12: 计算风险损失结点变动的概率。

从矩阵 F_{RL} 中选取使本行的和与其所对应的频率的乘积在所有行中最大的一行，即

$$\left\{ \frac{1\%}{1.0}, \frac{3\%}{0.5}, \frac{5\%}{1.0}, \frac{7\%}{0.5}, \frac{9\%}{0.8}, \frac{11\%}{1.0} \right\}。$$

风险损失结点变动的概率为:

$$P(1\%, 3\%, 5\%, 7\%, 9\%, 11\%) = \frac{(1.0, 0.5, 1.0, 0.5, 0.8, 1.0)}{1.0 + 0.5 + 1.0 + 0.5 + 0.8 + 1.0}$$

$$= (0.2083, 0.1042, 0.2083, 0.1042, 0.1667, 0.2083)$$

Step 13: 计算风险损失的期望。

$$E(RL) = \frac{1 \times 1\% + 0.5 \times 3\% + 1 \times 5\% + 0.5 \times 7\% + 0.8 \times 9\% + 1 \times 11\%}{1.0 + 0.5 + 1.0 + 0.5 + 0.8 + 1.0} = 6.08\%$$

2.4 风险评估结果

根据风险损失的期望，就可以对投标阶段的风险金比例作出预测。对于此海外 EPC 工程，根据投标阶段构建的风险链和风险地图，以及对风险因素结点状态频率的评估和对风险因素、风险事件、风险后果以及风险损失结点之间模糊关系的评估，最终计算得到投标风险金的期望值大约为成本价的 6.08%。

3 结论

对于海外 EPC 发电工程项目，影响总承包商费用的风险源很多，风险之间的作用关系也比较复杂。在实际工程投标过程中，风险金的测算是一个非常困难的问题。本文基于风险链的风险识别和分析方法，通过构建风险链将所有风险都统一成费用进行分析，对于识别出的各条风险链而形成的项目的风险地图，采用模糊影响图理论对其进行模糊推理和综合评估。评估的过程只需要投标人员对风险及其关系的一些定性判断，易于理解，可操作性强。同时，由于是定性评估，且评估模型本身对问题作了一些简化，预测的结果只是一个理论上的值。在有更精细的定量分析数据的情况下，投标人员可采用定量分析模型来进行评估，具体模型和方法可关注作者后续的成果。

需要说明的是，测算的风险金比例作为投标阶段的风险评估结果，仅仅为投标团队提供工程建设相关的风险评估信息，决策者依据竞标此项目的激

烈程度和自身获取此项目的愿望值以及期望利润来综合评估此项目的标高金比例。如何选择标高金以及确定最终的投标报价, 涉及到决策者的偏好以及竞争对手的报价策略, 是一个更为复杂的博弈问题, 不属于本文的讨论范围。

参考文献:

- [1] WANG S Q, DULAIMI M F, AGURIA M Y. Risk Management Framework for Construction Projects in Developing Countries[J]. Construction Management and Economics, 2004, 22(3): 237-252.
- [2] DIKMEN I, BIRGONUL M T. An Analytic Hierarchy Process Based Model for Risk and Opportunity Assessment of International Construction Projects[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2006, 33(1): 58-68.
- [3] DIKMEN I, BIRGONUL M T, TAH J H M, et al. Web-based Risk Assessment Tool Using Integrated Duration-cost Influence Network Model[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2012, 138(9): 1023-1034.
- [4] LARYEA S, HUGHES W. How Contractors Price Risk in Bids: Theory and Practice[J]. Construction Management and Economics, 2008, 26(9): 911-924.
- [5] SONMEZ R, ERGIN A, BIRGONUL M T. Quantitative Methodology for Determination of Cost Contingency in International Projects[J]. Journal of Management in Engineering, 2007, 23(1): 35-39.
- [6] 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.
- [7] IDRUS A, NURUDDIN M Fadhil, ROHMAN M A. Development of Project Cost Contingency Estimation Model Using Risk Analysis and Fuzzy Expert System[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(3): 1501-1508.
- [8] 程铁信, 王平, 张伟波. 模糊影响图评价算法的探讨[J]. 系统工程学报, 2004, 19(2): 177-182.
CHENG Tiexin, WANG Ping, ZHANG Weibo. Investigation on Fuzzy Influence Diagrams Evaluation Algorithm[J]. Journal of Systems Engineering, 2004, 19(2): 177-182.
- [9] 林盛, 蔺炜莹. 利用模糊影响图方法进行管道风险评价[J]. 天津理工大学学报, 2005(6): 73-77.
LIN Sheng, LIN Weiyang. Pipeline Risk Assessment Using Fuzzy Influence Diagram Method[J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2005(6): 73-77.
- [10] 余建星, 孟博, 刘立名, 等. 模糊影响图在海洋工程项目风险分析中的应用[J]. 中国海上油气工程, 2002, 14(3): 38-41, 44.
YU Jianxing, MENG Bo, LIU Liming, et al. Application of Fuzzy Influence Diagram In Ocean Engineering Project Risk Analysis[J]. China Offshore Oil and Gas Engineering, 2002, 14(3): 38-41, 44.
- [11] 全吉, 黄剑眉, 张水波, 等. 基于风险链和风险地图的风险识别和分析方法[J]. 南方能源建设, 2014, 1(1): 92-96.
QUAN Ji, HUANG Jianmei, ZHANG Shuibao, et al. Method of Risk Identification and Analysis Based on Risk Chain and Maps[J]. Energy Engineering, 2014, 1(1): 92-96.

(责任编辑 郑文棠)

(上接第 62 页 Continued from Page 62)

参考文献:

- [1] 2013 年度电力勘测设计统计年报分析报告[R]. 北京: 中国电力规划设计协会, 2014.
The 2013 Electric Survey & Design Annual Statistical Analysis Report[R]. Beijing: China Electric Power Planning & Engineering Association, 2014.
- [2] 李晋芬. 设计院转型发展时期的战略思考[J]. 南方电网技术, 2013(2): 7-11.
LI Jinfen. Strategic Thinking of Design Institute During Transformation and Development[J]. Electric Power Survey & Design, 2013(2): 7-11.
- [3] 中央党校课题组. 中国新能源发展战略问题研究[J]. 经济研究参考, 2011(52): 2-19.
Research Group of The Central Party School. Research on China's New Energy Development Strategy Problem[J]. Review of Economic Research, 2011(52): 2-19.
- [4] 闫强, 王安建, 王高尚, 等. 我国新能源产业发展战略研究[J]. 商业时代, 2009(26): 105-107.
YAN Qiang, WANG Anjian, WANG Gaoshang, et al. Research on China's New Energy Industry Development Strategy[J]. Commercial Times, 2009(26): 105-107.
- [5] FRED R, David. 战略管理: 概念与案例[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012.
R Fred, David. Strategic Management: Concepts and Cases[M]. Beijing: Renmin University of China Press, 2012.
- [6] CHAN Kim W, MAUBORGNE R. 蓝海战略[M]. 北京: 商务印书出版社, 2010.
CHAN Kim W, MAUBORGNE R. Blue Ocean Strategy[M]. Beijing: The Commercial Press, 2010.

(责任编辑 高春萌)