

# 基于行为博弈的特大型工程项目 复杂风险组合性均衡评价

高武<sup>1,2</sup>, 洪开荣<sup>1</sup>

(1. 中南大学商学院 长沙 410083; 2. 湖南城市学院 城市管理学院, 湖南 益阳 413000)

**[摘要]** 基于行为博弈理论, 构建了特大型工程项目复杂风险组合性均衡评价模型。在项目风险评价中, 不仅综合考虑了风险发生的可能性和价值影响, 还嵌入了项目关联主体的价值偏好和动态博弈因素, 从而使项目复杂风险评价具有更为合理的主体行为基础。文章首先从博弈视角分析了特大型工程项目复杂风险评价的特殊性, 其次运用模糊层次法、行为实验方法设计指标体系和参数, 最后对模型进行算例分析, 得出项目分类风险和组合性风险指数。可为特大型工程项目复杂风险动态评价和监控提供实用的分析工具。

**[关键词]** 特大型工程项目; 复杂风险演化; 动态模糊评价; 行为博弈; 价值偏好

**[中图分类号]** F424.6

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-6973(2014)05-0073-05

## 一、引言

风险是未来损失或收益偏离预期的不确定性。特大型工程项目对社会、经济和环境生态影响巨大, 具有规模大、工期长、不可控因素多、结构复杂和多方参与等特征。<sup>[1]</sup> 相对于一般工程项目而言其风险更复杂。特大型工程项目复杂风险的特殊性不仅体现在风险影响的巨大性、风险来源和结构的复杂性、风险之间的相互关联性和互动性、风险的多阶段动态演化性,<sup>[2]</sup> 而且与项目关联主体的行为博弈高度相关。在特大型工程项目的策划、设计、建设和运营阶段, 一些风险随项目的推进而出现, 另一些风险随项目的推进而消失, 一些风险由次要风险转变成主要风险, 一些风险由主要风险转变成次要风险, 风险之间的组合形式和互动关系也会发生新的变化。<sup>[3]</sup>

如果不考虑项目关联主体的博弈互动因素, 项目复杂风险评估模型的构建可以基于系统动力学、计算机仿真技术、模糊层次分析法、动态因子分析法、BP神经网络、灰色聚类—网络分析法等理论和

方法。<sup>[4-8]</sup> 一般性研究思路是: 首先按项目生命周期、风险来源、风险属性等标准可对关键风险因素进行识别和分类, 然后利用解释结构模型或层次分析法建立风险指标体系;<sup>[9-10]</sup> 再根据风险发生的概率、损失度、可管理性等维度对风险的重要性和敏感性进行分析, 并结合专家打分法、模糊评价等方法进行赋权; 最后建立风险静态或动态评估模型评价各种风险,<sup>[11]</sup> 为风险监测和预警提供依据。

然而, 特大型工程项目复杂风险的形成和演化主要是项目关联主体之间多阶段动态博弈的结果。因此, 只有从行为博弈的视角才能准确分析特大型工程项目区别于一般性工程项目复杂风险的特殊性; 只有将所有项目主体的价值偏好和策略互动特征反映到项目风险评估中, 才可以更加科学地动态评估项目复杂风险。

将博弈论引入特大型项目评价的研究方法, 可参考洪开荣(2012)提出的特大型工程项目可持续均衡评价模型,<sup>[13]</sup> 还有 Tversky 和 Kahneman(1991)及 Hyndman(2010)的价值函数构建方式, 同时借鉴 Kroll 和 Davidovitz(2003)关于不公平规避

**[收稿日期]** 2013-09-17

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(70871122); 中南大学 2013 年博士生创新基金项目(2013zzts005)

**[作者简介]** 高武(1974—), 湖南益阳人, 湖南城市学院副教授, 中南大学博士研究生, 研究方向: 特大型工程项目评价与房地产经济研究;

洪开荣(1964—), 四川宜宾人, 中南大学商学院教授, 博士生导师, 研究方向: 可持续均衡评价与博弈论应用研究。

与风险偏好的相关性研究思路,建立起包含项目关联主体信念和策略行为互动的特大型工程项目复杂风险的“组合性均衡评估模型”<sup>[14]</sup>,使各种风险可以在同一评价基准上进行相互对照,项目复杂风险评估才具有更为合理的主体理性行为基础。

二、特大型工程项目关联主体的行为博弈分析

特大型工程项目复杂风险的评价必须基于项目关联主体的风险规避偏好和行为博弈分析,因为主体价值偏好差异及行为策略互动会使项目风险演化具有高度的复杂性,项目风险发生的可能性和重要性会随关联主体的价值观念和行为策略的改变而不断变化。

1. 关联主体的风险规避偏好和公平偏好分析

特大型工程项目的主要关联主体有政府、代建商、监理方、运营商、社会公众等,项目主体各有其特殊的风险规避偏好,通常而言,政府更多关注项目的社会和政治风险,代建商侧重于项目的经济风险,设计方和监理方重视项目的技术风险,运营商主要关注项目的管理风险,而社会公众(代表自己和子孙后代)对环境生态风险尤为敏感。基于拉宾(Rabin, 1993)的“公平均衡”理论,特大型工程项目关联主体不仅会关心自己面临的个性化风险,而且在乎互动公平,可构建项目关联主体的风险规避效用函数如下:

$$U_i(a_i, b_i, c_i) = \pi_i(a_i, b_i) + \alpha f_2(b_2, c_2) + \alpha f_2(b_2, c_2) \cdot f_1(a_1, b_2) \quad (1)$$

等式左边第一项代表项目主体个性化风险规避行为带来的效用,第二项代表他们是否受善待,第三项代表他们所期望得到的善待和自己对别人的善待的乘积, $\alpha$ 表示风险规避偏好与公平偏好之间的效用比。

2. 关联主体的策略互动分析

各项目主体在特大型工程项目生命周期中存在多阶段动态博弈,其决策行为相互影响,风险和收益相互依存。为简化起见,以两主体博弈为例,均衡结果如下图1所示:

		合作	主体 2	不合作
主体 1	合作	(2, 2)	(15, 1)	
	不合作	(1, 15)	(10, 10)	

图 1 特大型工程项目主体风险规避博弈矩阵  
Fig. 1 Super-huge type project main risk aversion game matrix

如果项目主体都怀有互惠思想共同控制和管理风险,此时项目总体风险最小。如果项目主体 1

在某一博弈回合中(非最后回合),采取了“不友善的行为”,那么他虽可暂时得到 15 个单位的收益,比双方合作情况下多;但在下一回合中,主体 2 很可能启用报复手段,使均衡结果变为(不合作,不合作),双方的风险比合作时要大得多,而且如果不能重建信任,这种“囚徒困境”还会继续下去。因此,从公平博弈的视角评价特大型工程项目复杂风险更符合实际。

三、特大型工程项目复杂风险组合性均衡评估模型的构建

组合性均衡风险评估模型是最大特点是“组合性+动态性+模糊性”,是从主体行为博弈和项目风险动态演化的交互视角来评估特大型工程项目复杂风险。

1. 项目复杂风险评价指标体系的构建

在结合科学性、现实性、系统性和可操作性的基础上,构建特大型工程项目风险评价指标体系如下表 1 所示:

表 1 特大型工程项目风险评价指标体系  
Tab. 1 Super-huge type project risk evaluation index system

准则层	一级指标	二级指标
特大型工程项目组合性风险(TR)	技术风险 (TR)	设计的可靠性与可行性(r <sub>11</sub> )
		勘测的准确性(r <sub>12</sub> )
		施工技术难度与工期(r <sub>13</sub> )
		设备出现故障的不确定性(r <sub>14</sub> )
		施工质量风险(r <sub>15</sub> )
	管理风险 (MR)	合同风险(r <sub>21</sub> )
		材料风险(r <sub>22</sub> )
		项目管理人员的能力及稳定性(r <sub>23</sub> )
		施工人员的素质(r <sub>24</sub> )
		运营风险(r <sub>25</sub> )
	经济风险 (ER)	利率波动风险(r <sub>31</sub> )
		资金供应的不确定性(r <sub>32</sub> )
		资金需求的不确定性(r <sub>33</sub> )
		通货膨胀风险(r <sub>34</sub> )
		市场风险(r <sub>35</sub> )
	自然环境风险 (NR)	不良地质风险(r <sub>41</sub> )
		持续恶劣天气(r <sub>42</sub> )
		地震、洪涝风险(r <sub>43</sub> )
		风沙侵袭风险(r <sub>44</sub> )
		能源供应的不确定性(r <sub>45</sub> )
	社会和政治风险(SR)	法规可能的限制(r <sub>51</sub> )
		政策变动风险(r <sub>52</sub> )
		地方的协作、配合和支持(r <sub>53</sub> )
		战争、暴力等不可控因素(r <sub>54</sub> )
		所在地的治安情况(r <sub>55</sub> )

## 2. 项目复杂风险评价指标权重的设计

为客观、均衡地反映特大型工程项目关联主体不同的价值偏好,本文采用行为实验方法确定项目风险指标权重。选取中南大学商学院 60 名本科生作为试验对象,分别代表政府、代建商、运营商、监理方、设计方、社会公众等主要项目关联主体,让其在不能相互交流的环境中,对特大型工程项目各种风险要素的重要性进行独立判断,如参与者对某一指标的赋权与他人的一致性程度较高,这些参与者就能得到大约 50 元的奖励,目的是鼓励参与者尽量站在客观、公正的视角给指标赋权;然后互换角色,经过 3 轮实验,得到所有风险指标的加权平均权重  $\overline{w_i}$ 。

## 3. 特大型工程项目复杂风险组合性均衡评价的基础模型

步骤 1 项目二级风险指标发生概率的模糊评价

采用专家模糊评价得出项目二级风险指标  $r_{ij}$  发生的可能性  $p_{ij}$ 。

步骤 2 项目二级风险指标价值影响的模糊评价

设某一风险对特大型工程项目经济价值影响为  $v_1$ ,对项目环境生态价值影响为  $v_2$ ,对项目社会

价值影响为  $v_3$ ,那么该风险的组合性价值影响则为

$$V_{xj} = \sum_{i=1}^3 w_i \cdot v_i。$$

步骤 3 项目二级风险指标的综合模糊评价

二级风险评价由可能性和价值影响两个维度组成,计算公式如下:

$$KR = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m p_i \cdot \overline{V_i}} \quad (2)$$

步骤 4 项目分类风险的综合模糊评价

项目的技术、管理、经济、自然环境、社会和政治分类风险是由二级风险指标加权计算而成的,计算公式如下:

$$CR(TR, MR, ER, NR, SR) =$$

$$\sum_{i=1}^n W_i \times \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m p_i \cdot \overline{V_i}} \quad (3)$$

步骤 5 项目风险的组合性静态模糊评价

项目组合性风险是由技术、管理、经济、自然环境、社会和政治五大类风险组合而成,计算公式如下:

$$CTP = \sum_{i=1}^n W_i \times CR_i \times \lambda \quad (4)$$

式中,  $\lambda$  为分类风险的协调性参数,如果分类风险之间的协调性较差(方差大),则  $\lambda > 1$ ;协调性一般则  $\lambda = 1$ ;协调性好则  $\lambda < 1$ 。

表 2 协调度等级的划分

Tab. 2 The divide of coordination degree

协调等级	优质协调	良好协调	中级协调	初级协调	勉强协调	濒临失调	严重失调
协调度	1.21—1.3	1.11—1.2	1.0—1.1	1	0.9—0.99	0.8—0.89	0.7—0.79

步骤 6 项目风险的组合性动态模糊评价

在风险静态评估的基础上,输入时间和空间变量,计算出不同时点和分项工程的风险,从而刻画出特大型工程项目的技术风险、管理风险、经济、自然环境风险、社会政治风险以及组合性风险在时间(T)、空间(P)和价值(V)三个维度的动态变化图。再根据风险严重程度,将风险划分为五个区间:(0, 0.2)、(0.2, 0.4)、(0.4, 0.6)、(0.6, 0.8)、(0.8, 1),分别代表低风险、较低风险、警戒级、危险级、高度危险级。

步骤 7 项目复杂风险的指数化表示

在计算得出项目分类风险和组合性风险之后,以  $t_0$  期为基准点,  $t_i$  期风险相对于  $t_0$  期风险的百分比作为每期的风险指数  $RI_i = \frac{r_{t_i}}{r_{t_0}}$ ,可以直观反映各种项目风险相对于初始期的变化情况,如果  $RI_i > 1$ ,说明风险在变大,反之亦然。

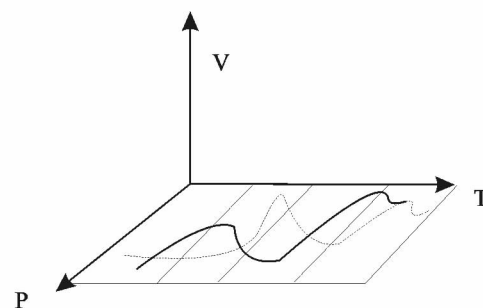


图 2 项目复杂风险的三维动态变化仿真

Fig. 2 3D dynamic simulation of complex risk of project

## 四、特大型工程项目复杂风险组合性均衡评价模型的算例分析

为说明和验证本文提出的项目复杂风险组合性动态模糊评价模型在实际应用中的有效性,现选取某特大型水电工程项目 A 不同阶段的风险数据进行计算,以分析项目复杂风险的变化规律。

### 1. A 项目二级风险指标发生概率的模糊评价

从政府、承包商、监理方、设计方、材料供应商等主要项目相关主体选取 30 名专家,有 6 人认为 r11 很非常有可能发生( $p=0.9$ ),6 人认为有较高的可能性发生( $p=0.7$ ),9 人认为有中等可能性发生( $p=0.5$ ),3 人认为只有较低可能性发生( $p=0.3$ ),另外 6 人认为只有非常低的可能性发生( $p=0.1$ ),那么  $r_{11}=\frac{6}{30}\times 0.9+\frac{6}{30}\times 0.7+\frac{9}{30}\times 0.5+\frac{3}{30}\times 0.3+\frac{6}{30}\times 0.1=0.52$ ,同理算出  $r_{12},r_{13},r_{13}\cdots\cdots$ ,因此得到所有二级风险指标发生的概率矩阵。

$$P_{r_{ij}}=\begin{bmatrix} 0.52,0.33,0.42,0.30,0.60 \\ 0.20,0.40,0.90,0.60,0.32 \\ 0.35,0.25,0.30,0.65,0.75 \\ 0.12,0.17,0.26,0.37,0.25 \\ 0.15,0.12,0.23,0.23,0.26 \end{bmatrix}.$$

### 2. A 项目二级风险指标的价值影响评价

根据历史数据分析每项风险对项目价值的影响,得到

$$V_{r_{ij}}=\begin{bmatrix} 0.32,0.23,0.42,0.30,0.40 \\ 0.23,0.40,0.89,0.62,0.33 \\ 0.35,0.25,0.35,0.65,0.33 \\ 0.35,0.23,0.36,0.24,0.28 \end{bmatrix}$$

### 3. A 项目二级风险发生概率和价值影响的综合模糊评价

$$KR_{ij}=\sqrt{P_{ij}\cdot V_{ij}}$$

表 3 A 项目不同时间各类风险的绝对值和相对值(指数)

Tab.3 Absolute value and relative value (index) of A project in different times and different risks

	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
TR	0.4(100%)	0.5(125%)	0.42(105%)	0.6(150%)	0.3(75%)	0.20(50%)
MR	0.46(100%)	0.68(170%)	0.38(83%)	0.34(85%)	0.28(61%)	0.19(41%)
ER	0.39(100%)	0.45(115%)	0.65(167%)	0.30(77%)	0.31(79%)	0.17(44%)
NR	0.26(100%)	0.35(135%)	0.48(185%)	0.81(312%)	0.16(62%)	0.15(58%)
SR	0.28(100%)	0.25(89%)	0.45(160%)	0.26(93%)	0.24(86%)	0.13(46%)
CTR	0.37(100%)	0.41(111%)	0.48(130%)	0.46(124%)	0.25(68%)	0.16(43%)

### 6. A 项目复杂风险的动态模糊评价及指数化

将 A 项目生命周期划分为策划( $t_0$ )、论证( $t_1$ )、立项( $t_2$ )、设计( $t_3$ )、建设( $t_4$ )、运营( $t_5$ )五个阶段,分别计算 A 项目在不同时间点的分类风险和总风险的绝对值和相对值(风险指数),如下表 2 所示:

从上表可看出:TR 在第  $t_3$  期达到 0.6,MR 在第 1 期达到 0.68,ER 在第  $t_2$  期达到 0.65,NR 在第  $t_3$  期达到 0.81,都超出风险警戒值,部分指标达

$$=\begin{bmatrix} 0.45,0.32,0.42,0.30,0.49 \\ 0.22,0.40,0.90,0.61,0.33 \\ 0.35,0.25,0.32,0.65,0.75 \\ 0.19,0.21,0.40,0.52,0.25 \\ 0.23,0.17,0.29,0.23,0.27 \end{bmatrix}$$

### 4. A 项目分类风险的模糊评价

采用行为经济学实验方法得到二级风险指标权重矩阵:

$$W_{ij}=\begin{bmatrix} 0.30,0.25,0.20,0.12,0.13 \\ 0.31,0.29,0.20,0.10,0.10 \\ 0.48,0.22,0.10,0.10,0.10 \\ 0.42,0.26,0.12,0.11,0.09 \\ 0.40,0.30,0.10,0.11,0.09 \end{bmatrix}$$

再分别计算出 A 项目各分类风险的绝对值:

$$TR=0.4,MR=0.46,ER=0.395,NR=0.26,$$

$$SR=0.28$$

### 5. A 项目组合性风险的静态模糊评价

通过行为实验得到分类风险的权重集为:

$$W_{T,M,E,N,S}=(0.17,0.12,0.18,0.23,0.3),$$

A 项目在  $t_0$  时点的组合性风险为:

$$\begin{aligned} CTR(t_0) &= \sum_{i=1}^n W_i \times CR_i \times \lambda \\ &= W_{T,M,E,N,S} = (0.17,0.12,0.18,0.23,0.3) \\ &\odot (0.40,0.46,0.395,0.26,0.28) \times 1 = 0.37 \end{aligned}$$

这说明 A 项目组合性风险在项目开始的  $t_0$  时点处在相对安全的范围内,但管理风险达到了警戒水平,须要启动风险应对措施。

到了危险级,项目关联主体应重点监控这些风险并采取相应措施;这些高危风险在下一期都下降到了安全范围内,说明措施是有效的。

## 五、结论与展望

本文将行为博弈理论和一般项目风险评价理论结合起来,对特大型工程项目复杂风险进行组合性均衡评价,研究表明:

特大型工程项目复杂风险的评价与项目关联主体价值偏好和行为博弈高度相关,主体价值观念决定了风险的重要性,主体之间的策略行为互动决定了风险的演化、组合特征。

特大型工程项目主体同时具有风险规避偏好和公平偏好,对大多数主体而言,经济风险不是最重要的,而自然环境风险以及社会和政治风险才是难以承受的风险。

组合性风险的大小不仅与分类风险的绝对值及其权重有关,而且与它们之间的协调性有关。

综上所述,特大型工程项目复杂风险组合性均衡评价模型可为项目主体有效监测和管理复杂风险提供有效的分析工具。为使风险评估更为准确合理,接下来的工作还包括对特大型工程项目复杂风险演化进行仿真分析,建立项目复杂风险的动态监测模平台以及对项目主体价值偏好和行为博弈进行更为详细的实验。

## 参考文献

- [1] 王元明,徐大海.大型公共项目风险结构分析[J].北京理工大学学报(社会科学版),2012(5):84-88.
- [2] 梁展凡,袁泽沛.基于复杂系统理论的项目群互动风险及机理研究[J].经济问题,2010(10):62-65.
- [3] 姚波等.我国公共建设投资与建设中的风险识别与控制[J].中国软科学,2006(10):89-95.
- [4] 杨亚军,孙建华.基于模糊综合评价模型的项目风险评估[J].统计与决策,2009(22):62-64.
- [5] 项勇,张仕廉.基于灰色聚类—网络分析法的工程项目风险评估[J].统计与决策,2012(1):91-93.
- [6] 张国政.基于神经网络的风险投资风险预警研究[J].科技管理研究,2006(10):182-184.
- [7] Yelin Xu, John F. Y. Yeung. Developing a Risk Assessment Model for PPP Project in China—a Fuzzy Synthetic Evaluation Approach [J]. *Automation in Construction*, 19(2010): 929-943.
- [8] WANG Qi-fan, NING Xiao-qian, YOU Jiong. Advantages of System Dynamics Approach in Managing Project Risk Dynamics[J]. 复旦学报(自然科学版), 2005(2): 201-206.
- [9] 李晓宇,张明玉,张凯.工程项目风险评价体系研究[J].科技进步与对策,2005(6):43-44.
- [10] 杨建平,杜端甫.重大工程项目风险管理中的综合集成方法[J].中国管理科学,1996(4):24-28.
- [11] 董慧群等.代建制项目风险预警系统的构建[J].信息科学,2009(52):35-36.
- [12] 徐小燕,孙红梅.基于模糊综合评价法的项目风险评估研究[J].财会通讯,2012(3):15-16.
- [13] 洪开荣.可持续均衡评价理论[M].北京:经济科学出版社,2012.
- [14] 洪开荣.特大型工程项目的可持续均衡评价[J].社会科学辑刊,2009(3):90-93.

(责任编辑:程晓芝)

## Dynamic and Blurry Evaluation of Complex Risk about Super-huge Type Project Based on Behavioral Game Theory

GAO Wu<sup>1,2</sup>, HONG Kai-rong

(1. Business School, Central South University, Changsha 410083; 2. Department of City Management, Hunan City University, Yiyang, Hunan 413000)

**Abstract:** This paper emphasis that to evaluate the complex risk about super-huge type project, we should not only think about the probability and valuable influence of risk, but also put in factors of the main body's value preference and dynamic game playing. Thus method makes the evaluation has more rational behavioral base. Firstly, this paper analyses the characteristic of the risk evaluation and game-playing feature in the process of risk development. Secondly, it builds evaluation index system and the dynamic and blurry evaluation model for the risks. Thirdly, it tests and amends the important parameters using testing methods of behavior economics. Lastly, it uses this model to counts four main kind of risks index for a representative project. It can provide a useful and simple tool for complex risk evaluation and public communication of the super-huge type project.

**Key words:** the super-huge type project; evolution of complex risk; dynamic and blurry evaluation; behavioral game-playing; value preference