

基于FAHP改进风险矩阵的海外工业园项目 风险研究

刘 畅

上海工程技术大学, 上海

收稿日期: 2022年8月7日; 录用日期: 2022年8月29日; 发布日期: 2022年9月13日

摘 要

海外工业园项目风险来源众多, 其风险评估工作综合复杂, 风险矩阵应用广泛, 但缺点明显。文章为消除传统风险矩阵在评估过程中的不稳定性, 采用Borda数和FAHP法对风险矩阵进行优化, 以风险等级和各项风险事件的权重作为依据来对海外工业园区各项风险事件进行评估。文章以某中哈跨境工业园区项目为例, 对建立的风险评估模型进行实证研究, 研究表明: 该工业园区整体风险水平为3.1633, 风险水平一般, 在识别的23项风险事件中, 传染性疫情、通货膨胀为最重要的两项风险事件。实证研究结果验证了模型的可行性与有效性。

关键词

风险矩阵, FAHP法, 风险评估

Risk Research of Overseas Industrial Park Projects Based on FAHP Improvement Risk Matrix

Chang Liu

Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Aug. 7th, 2022; accepted: Aug. 29th, 2022; published: Sep. 13th, 2022

Abstract

There are many risk sources in overseas industrial park projects, and the risk assessment is com-

plex. The risk matrix is widely used, but it has obvious shortcomings. In order to eliminate the instability of the traditional risk matrix in the evaluation process, this paper uses the Borda number and FAHP method to optimize the risk matrix, and evaluates the risk events of overseas industrial parks based on the risk level and the weight of each risk event. Taking a Sino-Kazakhstan cross-border industrial park project as an example, this paper conducts an empirical study on the established risk assessment model. The research results show that the overall risk level of the industrial park is 3.1633, and the risk level is general. Sexual epidemics and inflation are the two most important risk events. The empirical research results verify the feasibility and effectiveness of the model.

Keywords

Risk Matrix, FAHP, Risk Assessment

Copyright © 2022 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

当前,我国经济正处在产能过剩,资源能源短缺的发展阶段,为了将大量国内企业的产能转移,海外工业园因可大幅提高对外投资项目的成功率和生存质量,便成为了最重要的载体。海外工业园项目具有周期长、投入大、环境复杂的特点,且因项目全周期都在境外完成,风险评估便显得尤为重要。

风险矩阵法应用广泛,但该方法评估风险等级有限,对于复杂、风险事件较多的项目,风险结的产生不可避免,由于风险矩阵评估结果的不稳定性,需要对该风险评估方法进行优化。李忠明等提出采用 Borda 法来消除风险结[1];阮欣、沈楸等提出了基于风险矩阵和 Borda 数建立判断矩阵的 AHP 法[2] [3];张吉军认为应对多风险事件的评估目标,模糊层次分析法更具优越性[4]。陈跃等提出了综合运用德尔菲法模糊层次分析法与风险矩阵法的评价方法[5]。结合上述文献,文章结合 Borda 数和 FAHP 模型对风险矩阵模型进行优化。

文章通过文献分析结合项目资料调查,建立初步风险清单,以风险矩阵模型识别风险概率和影响等级,并计算出各项等级的 Borda 数,以 Borda 数作为模糊层次分析法权重矩阵的赋值依据,创建模糊一致性矩阵,得到所有风险事件权重的层次总排序,并以风险权重为依据对风险事件进行评估,为海外工业园项目的风险管理提供建议。文章通过 Borda 序数与 FAHP 法,对传统的风险矩阵模型进行优化,并将其运用在复杂的海外工业园项目的风险评估进程当中,在丰富海外工业园这类项目的风险评价方法的同时,也可以提供更加准确、科学的风险评估结果。

2. 风险评估模型

2.1. 风险因素识别

风险识别是风险评估的前提,风险因素识别的准确性,对风险评估结果有重大的影响。自“一带一路”以来,海外工业园区项目较多、案例丰富,文章基于文献查阅以及参考往年项目资料,建立初步风险清单,经问卷调查和专家访问,筛选出海外工业园区项目的主要 7 类风险来源以及 23 项主要风险事件 [6] [7] 如表 1 所示:

Table 1. Risk list of overseas industrial parks**表 1.** 海外工业园区风险清单

风险来源	风险事件
M ₁ -政治风险	M ₁₁ -所在国政局不稳定
	M ₁₂ -政治决议不透明
	M ₁₃ -颁布限制性政策
M ₂ -经济风险	M ₂₁ -利率/税率变动
	M ₂₂ -汇率/通货膨胀
M ₃ -自然风险	M ₃₁ -气象条件
	M ₃₂ -传染性疫情
	M ₃₃ -地质灾害
M ₄ -财务风险	M ₄₁ -融资不利
	M ₄₂ -投资增资不到位
	M ₄₃ -成本控制不力
M ₅ -设计风险	M ₅₁ -设计失误, 缺陷
	M ₅₂ -设计变更
	M ₅₃ -设计审批拖延
	M ₅₄ -设计优化不足
M ₆ -采购风险	M ₆₁ -市场价格波动
	M ₆₂ -市场供应不足
	M ₆₃ -材料质量问题
M ₇ -施工风险	M ₆₄ -物流能力欠缺
	M ₇₁ -工程质量不达标
	M ₇₂ -工程进度拖延
	M ₇₃ -工程量变更
	M ₇₄ -安全措施不充分

海外工业园区
风险识别

2.2. 风险矩阵法

风险矩阵法是一种定性定量相结合的方法, 该方法以风险事件的概率等级 P 和影响等级 I 确立风险等级 R , 风险等级是关于 I 和 P 的二元函数。具体表示为:

$$R = F(I * P)$$

风险事件概率以及影响等级具体划分及具体说明如表 2, 表 3 所示:

Table 2. Distribution table of the probability grade of Risk events**表 2.** 风险事件概率等级分布表

概率等级	概率等级说明	概率范围
1	几乎不发生	(0~0.2]
2	较小可能发生	(0.2~0.4]

Continued

3	有可能发生	(0.4~0.6]
4	较大可能发生	(0.6~0.8]
5	极有可能发生	(0.8~1]

Table 3. Distribution table of the impact level of Risk events**表 3.** 风险事件影响等级分布表

影响等级	等级说明
一	项目所受影响可忽略
二	项目所受影响微弱
三	项目所受影响可控
四	项目所受影响不可控
五	项目中止或者失败

确定风险事件的概率和影响等级后建立风险等级对照表得到量化风险等级 d_i ，见表 4，表 5：

Table 4. Risk level quantification comparison table**表 4.** 风险等级量化对照表

低风险	较低风险	一般风险	较高风险	高风险
1	2	3	4	5

Table 5. Risk level comparison table**表 5.** 风险等级对照表

风险概率等级	风险影响等级				
	一	二	三	四	五
I	1	1	1	2	3
II	1	1	2	3	3
III	1	1	3	3	4
IV	1	2	3	4	5
V	2	3	4	5	5

2.3. Borda 数

Borda 数是一种相对数，Borda 数的大小代表该项事件在的重要性程度，由式(1)、式(2)计算各个事件的概率序值 R_{i1} 及影响序值 R_{i2} ，以式(3)得出各个风险事件的 Borda 数。

Borda 数 b_i 的计算公式如下：

$$R_{i1} = K_i + (1 + D_i) / 2 \quad (1)$$

$$R_{i2} = Y_i + (1 + T_i) / 2 \quad (2)$$

$$b_i = (N - R_{i1}) + (N - R_{i2}) \quad (3)$$

其中： N 为风险事件的总数； K_i 、 Y_i 分别是概率等级与影响等级比 M_i 等级更高的事件的个数； D_i 、 T_i 分别是概率等级与影响等级与 M_i 等级相同的事件的个数。

2.4. 模糊层次分析法(FAHP 法)

模糊层次分析法是一种综合模糊法和层次分析法的定性与定量结合的评价方法。模糊层次分析法进行模糊矩阵的一致性检验的标准，较层次分析法检验判断矩阵一致性的“ $CR < 0.1$ ”的标准更加科学[4]。用模糊层次分析法确定风险事件的权重步骤如下：

(1) 建立模糊互补判断矩阵：

参照 Borda 数以九标度法从进行取值，得到模糊互补判断矩阵。

(2) 广义一致性变换：

对模糊互补矩阵 A 进行广义一致性变换：对模糊互补矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 按行求和，记为： $r_i = \sum a_{ik}$ ， $i \in N$ ，令：

$$r_{ij} = \alpha(r_i - r_j) / 2(n-1) + 0.5, \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (5)$$

基于此变换建立的矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 满足一致性条件： $r_{ik} - r_{jk} + 0.5 = r_{ij}$ [8]

(3) 单层次排序

单层次权重向量 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 的计算方法：

$$w_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{n\alpha} \sum_{k=1}^n a_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中： a_{ij} 为模糊一致矩阵中的元素， a 为 $\geq (n-1)/2$ 的参数

由式(5)、(6)计算出权重向量 $w_i = (w_1, w_2, \dots, w_i)$ ， $i = 1, 2, \dots, 7$

(4) 层次总排序

计算个指标层以及准则层对于上一层级的权重参数后，计算指标层风险事件对于目标层的权重，并由高到低进行排序，层次总排序向量即为：

$$w = w_i * w_{ij} = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (7)$$

其中： $\sum_{i=0}^n w_i = 1$

n 为风险事件的个数。

以量化后的风险等级结合该风险事件的权重可以用于评价项目的总体风险水平。

3. 实例研究

3.1. 项目概况

哈萨克斯坦某工业园项目由国内某有限公司与哈萨克斯坦企业合作建设，该项目位于哈萨克斯坦阿拉木图州东门经济特区，工业园建设总用地面积为 1000 公顷，分期开发，按入园企业的实际情况，逐步完善基础设施。初步规划为行政服务区、电子工业园、自由贸易区、食品工业园、装备制造工业园、油气工业园、有色金属工业园等功能区。规划总建筑面积 5393958 平方米。项目总投资 14.8 亿元人民币。本项目毗邻我国新建霍尔果斯口岸，距离中国霍尔果斯口岸仅三千里，欧亚大陆桥连云港至鹿特丹铁路从工业园穿过，是中国进入中亚的首站，建设条件较好，具有产能合作的战略价值。

3.2. 中哈工业园风险评估模型构建

参照表 2~4，建立风险矩阵模型，如表 6 所示：

Table 6. China-Kazakhstan industrial park risk matrix model

表 6. 中哈工业园区风险矩阵模型

事件	影响等级	概率等级	风险等级	事件	影响等级	概率等级	风险等级	事件	影响等级	概率等级	风险等级
M ₁₁	三	1	1	M ₄₁	五	2	3	M ₆₂	四	3	3
M ₁₂	二	3	1	M ₄₂	三	2	2	M ₆₃	四	2	3
M ₁₃	三	4	3	M ₄₃	五	3	4	M ₆₄	二	5	3
M ₂₁	四	4	4	M ₅₁	四	3	3	M ₇₁	五	3	4
M ₂₂	四	5	5	M ₅₂	三	4	3	M ₇₂	三	3	2
M ₃₁	二	5	3	M ₅₃	三	3	2	M ₇₃	三	4	3
M ₃₂	四	4	4	M ₅₄	二	3	2	M ₇₄	四	1	2
M ₃₃	五	1	3	M ₆₁	四	4	4				

按照风险矩阵法的评估结果识别出：低风险事件 2，较低风险事件 5，一般风险事件 10，较高风险事件 5，高风险事件 1。

3.3. 风险矩阵模型的优化

大量风险结的存在，造成了风险评估的不稳定性，因此需要对该评估方法进行优化，包含以下步骤：

3.3.1. Borda 数

以事件“M₁₁-所在国政局不稳定”为例：其影响等级为三，概率等级为 1，由式(1)，(2)求出影响和概率各个等级的 Borda 数，由式(3)得： $B_{11} = [23 - (12 + 7/2)] + [23 - (20 + 3/2)] = 7.5 + 1.5 = 9$ ，事件 M₁₁ 的 Borda 数为 9，同理求出剩余事件的 Borda 数见表 7：

Table 7. Borda number distribution of risk events

表 7. 风险事件的 Borda 数分布

事件	Borda 数	事件	Borda 数	事件	Borda 数
M ₁₁	8.5	M ₄₁	25.5	M ₆₂	25
M ₁₂	12	M ₄₂	12	M ₆₃	19.5
M ₁₃	24.5	M ₄₃	31	M ₆₄	23.5
M ₂₁	32	M ₅₁	25	M ₇₁	31
M ₂₂	36.5	M ₅₂	24.5	M ₇₂	17.5
M ₃₁	23.5	M ₅₃	17.5	M ₇₃	24.5
M ₃₂	32	M ₅₄	12	M ₇₄	16.5
M ₃₃	22.5	M ₆₁	32		

3.3.2. 准则层权重分布

基于上表提供的各类风险事件的 Borda 数，构建准则层模糊互补矩阵见表 8：

Table 8. Fuzzy complementary matrix of criterion layer
表 8. 准则层模糊互补矩阵

	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
M ₁	0.5	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2
M ₂	0.7	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3
M ₃	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4
M ₄	0.7	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3
M ₅	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3
M ₆	0.9	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.4
M ₇	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5

由式(5)将模糊互补矩阵经广义一致性变换得到模糊一致性矩阵见表 9:

Table 9. Model consistency matrix for criterion layer
表 9. 准则层模型一致性矩阵

	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
M ₁	0.5	0.433	0.333	0.433	0.342	0.283	0.267
M ₂	0.567	0.5	0.4	0.5	0.408	0.35	0.333
M ₃	0.667	0.6	0.5	0.6	0.508	0.45	0.433
M ₄	0.567	0.5	0.4	0.5	0.408	0.35	0.333
M ₅	0.658	0.592	0.492	0.592	0.5	0.408	0.425
M ₆	0.717	0.65	0.55	0.65	0.592	0.5	0.483
M ₇	0.733	0.67	0.567	0.67	0.575	0.517	0.5

对于上表得出的模糊一致性判断矩阵, 文章以式(6)计算其权重向量, 因当前矩阵阶数较大, a 取 $(n-1)/2$, 得到准则层的权重分布为 $w = (0.100, 0.122, 0.155, 0.122, 0.151, 0.173, 0.178)$ 。

3.3.3. 指标层权重分布

(2) 指标层: 依表 5 建立模糊互补判断矩阵

M₁-政治风险

依据表 5 确定模糊互补判断矩阵, 并由式(5) (6)得得到模糊一致性判断矩阵以及权重向量, 见表 10:

Table 10. Judgment matrix and weight distribution of political risk indicator layer
表 10. 中哈工业园区政治风险指标层判断矩阵与权重分布

M ₁	M ₁₁	M ₁₂	M ₁₃	w ₁
M ₁₁	0.5	0.425	0.2	0.209
M ₁₂	0.575	0.5	0.275	0.283
M ₁₃	0.8	0.725	0.5	0.508

由式(6)得 $w_1 = (0.209, 0.283, 0.508)^T$

同理可得剩余风险来源风险事件的权重向量如下：

$$w_2 = (0.45, 0.55)^T$$

$$w_3 = (0.308, 0.433, 0.59)^T$$

$$w_4 = (0.358, 0.159, 0.483)^T$$

$$w_5 = (0.317, 0.294, 0.228, 0.161)^T$$

$$w_6 = (0.328, 0.261, 0.183, 0.228)^T$$

$$w_7 = (0.399, 0.206, 0.272, 0.183)^T$$

3.3.4. 层次总排序

由式(7)得到总排序向量 $w = w_i * w_{ij} = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{74})^T$ ，见表 11：

Table 11. Hierarchical overall ranking of risk events in China-Kazakhstan Industrial Park

表 11. 中哈工业园区风险事件层次总排序

风险事件	风险等级	Borda 序数	风险权重	权重排名
M ₁₁	1	8.5	0.021	22
M ₁₂	1	12	0.028	20
M ₁₃	3	24.5	0.051	7
M ₂₁	4	32	0.055	6
M ₂₂	5	36.5	0.0671	2
M ₃₁	3	23.5	0.04774	10
M ₃₂	4	32	0.06711	1
M ₃₃	3	22.5	0.04	14
M ₄₁	3	25.5	0.043	13
M ₄₂	2	12	0.02	23
M ₄₃	4	31	0.059	4
M ₅₁	3	25	0.04787	9
M ₅₂	3	24.5	0.044	12
M ₅₃	2	17.5	0.034	17
M ₅₄	1	12	0.024	21
M ₆₁	4	32	0.057	5
M ₆₂	3	25	0.0451	11
M ₆₃	3	19.5	0.032	19
M ₆₄	3	23.5	0.039	15
M ₇₁	4	31	0.06	3
M ₇₂	2	17.5	0.037	16
M ₇₃	3	24.5	0.04841	8
M ₇₄	2	16.5	0.033	18

3.4. 结论

本章通过基于 Borda 数与 FAHP 法优化的风险矩阵模型,得到了本例中哈工业园区项目的各类风险事件的权重分布,按照权重的指数的大小对整个系统进行各类风险事件的重要性排列,见表 11。风险评估结果表明:该工业园项目的风险事件中重要性最高的是传染性疫情,其风险权重达到了 0.06711,其次是汇率/通货膨胀,其风险权重为 0.0671,重要性最低的是增资不到位,次低的是所在国政局不稳定。

通过文章建立的优化模型中风险权重 w_i 以及风险等级 d_i 可以得到中哈工业园区的整体风险等级为 3.1633,整体风险等级为“一般”。

4. 结语

文章采用 FAHP 法,对风险矩阵进行优化,通过风险权重系数,来量化已识别的各项风险事件的重要性等级,并对其进行排名,可以有效的消除风险结,避免风险评价结果过于笼统。并可以直观具体地为建设单位的项目管理人员提供风险把控工作的方向重点,有助于其针对性采取风险规避的措施。

在进行模型优化的过程中,文章引入的 Borda 数,为建立 FAHP 法的判断矩阵的取值提供合理依据。在同样是采用九标度进行取值的基础上,文章采用的优化模型,可以规避取值时人为的主观因素导致的一致性检验不通过的问题,所建立的判断矩阵更具准确性,可以为项目的可行性研究,以及现场管理,提供在风险层面的数据支撑。

文章采用 Borda 数与 FAHP 模型对风险矩阵进行优化,通过建立定性与定量结合的综合风险评估模型,形成海外工业园区的风险评估体系,以过中哈工业园项目的实例研究结果,对比该项目的可行性研究报告中的结论,文章得到的整体风险等级以及各项风险事件的重要性分布,相较于传统的定性分析的结果,更具准确与科学性,文章的所提供风险矩阵优化模型,可以作为我国海外工业园项目进行风险评估的有效工具。

以风险矩阵和风险权重为基础的风险评估体系更具有灵活性,可以随着时间、地点的变动进行动态调整。以时间的推移,伴随各种技术壁垒的突破,以及国际局势的变化,海外工业园区的各类风险事件的重要性也会不断改变,风险评估模型亦需要不断完善。

参考文献

- [1] 李忠民,魏一鸣,汤淑春,陈健. 风险矩阵法在武器装备采办风险评估中的运用[J]. 中国工程科学, 2006(6): 95-99.
- [2] 阮欣,尹志逸,陈艾荣. 风险矩阵评估方法研究与工程应用综述[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2013, 41(3): 381-385.
- [3] 沈楸,康爱红,顾万,茅荃,张兴明,钱立峰. 混凝土板梁桥典型病害风险矩阵评估及养护策略研究[J]. 公路, 2020, 65(7): 298-303.
- [4] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP) [J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.
- [5] 陈跃,杨宝臣. 基于模糊风险评价的 EPC 项目投标决策研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2011, 11(4): 72-77.
- [6] 张利波,王腾飞,唐文哲,尤日淳,张焱. 国际工程 EPC 项目风险管理实证研究[J]. 项目管理技术, 2018, 16(9): 25-29.
- [7] 谭畅. “一带一路”战略下中国企业海外投资风险及对策[J]. 中国流通经济, 2015(7): 114-118.
- [8] 周兴慧,张吉军. 模糊互补矩阵的广义一致性变换及其性质研究[J]. 运筹与管理, 2012, 21(2): 100-105.