

基于模糊数学的地铁建设项目施工风险评价

——以 F 市某地铁项目为例

杨 苏^{a,b}, 霍巧芬^a

(安徽建筑大学 a. 经济与管理学院; b. 安徽省建筑经济与房地产管理研究中心, 合肥 230000)

摘要:通过文献研究法,从环境因素、施工管理、施工技术、施工人员 4 个方面选取 15 个风险指标建立 F 市某地铁建设项目施工风险评价指标体系,利用 OWA 算法确定评价体系中各级指标的权重,同时结合模糊理论和数学期望值法,构建地铁建设项目施工风险评价模型,通过模糊评价识别出主要风险因素,由此提出防范措施,以加强对地铁施工的风险管理。

关键词:地铁建设项目;风险评价;OWA 算法;模糊集合;数学期望值法

中图分类号:C931.2;U231.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2020)03-0090-06
DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2020.03.018

Risk Assessment of Metro Construction Project Based on Fuzzy Mathematics: With Metro Project in City F as an Example

YANG Su^{a,b}, HUO Qiao-fen^a

(a. School of Economics and Management; b. Research Center of Anhui Construction Economy and Real Estate Administration, Anhui Jianzhu University, Hefei 230000, China)

Abstract: With the literature research, risk evaluation index system in the metro construction project of city F is established, where fifteen risk indices from four aspects of environmental factors, construction management, construction technology, construction personnel are selected. OWA algorithm is used to determine the index weight at all levels in the system. Additionally, the fuzzy theory and the method of mathematical expectation value are applied to build a project risk assessment model, where the main risk factors in the construction are identified through fuzzy evaluation. Based on the above principle, the precautions are proposed to improve the risk management of metro construction.

Key Words: metro construction project; risk evaluation; OWA algorithm; fuzzy set; method of mathematical expectation value

0 引言

城市地铁大多在地下运行,可以有效减少地面拥堵,因此近年来在我国大城市地铁得到

了迅猛发展。城市地铁一般位于城市人口密集区,具有工程结构复杂、施工难度系数大以及潜在风险种类多等特点^[1]。在施工过程中,若风

基金项目:2017 年安徽高校优秀中青年骨干人才国内外访学研修项目(gxfxZD2016127);安徽建筑大学经济与房地产管理研究中心开放课题(K18004)

作者简介:杨苏(1981—),女,安徽芜湖人,副教授,博士,主要从事建筑经济与管理研究。

险控制环节做得不到位,就会带来很多的安全问题。近年来全国各地地铁建设施工过程中事故频发,造成了不可挽回的损失,并在社会上产生了恶劣的影响,因此对地铁施工进行风险管理和控制是非常必要和紧迫的。

地下结构风险研究是从20世纪50年代末开始的,直到70年代后才取得重大突破。美国的Einstein H. H.^[2]最先提出了地下隧道工程风险分析的特点和所遵循的理念。Duddeck H.^[3]在风险评估方面提出了多项意见,其中涵盖对国际隧道工程协会就合同风险分担的建议。Smith R. J.^[4]在分析了地下工程中的内在风险之后,提出了风险分配的理念和原则,并且在此基础上提出了一套具有8个阶段的风险分配流程。Choi H. H.^[5]等人在分析了地铁建设项目的风险评估方法之后,提出了一套标准化的风险评价程序。相较于国外,我国在风险管理领域的研究起步较晚,于20世纪中期才开始进行。1987年,清华大学郭仲伟教授编著的《风险分析与决策》一书出版,标志着我国风险管理研究进入了新纪元,自此越来越多的专家学者开始重视这个研究领域,风险管理逐渐成为我国学术界的重点研究对象。

本文以F市某地铁项目为评价对象,列举出对整个工程项目可能造成影响的各类风险因素,构建地铁建设项目施工风险评价指标体系,利用OWA算法^[6-8]确定指标体系中各级指标的权重,结合模糊集合计算数学期望值^[9-10],根据期望值的大小来评定地铁施工风险等级,并将此作为地铁建设项目施工风险管理的理论依据,提出相应的风险管理控制措施。

1 地铁施工风险评价指标体系

1.1 风险评价指标选定原则

地铁建设项目施工风险评价指标选定应遵循如下原则^[11]:(1)典型性原则。要保证评价指标具有一定的典型代表性,地铁施工的风险因素多、杂,这些因素不可能全部列举出来,所以评价指标要尽可能选取具有代表性的风险指标。(2)综合性原则。选择的评价指标要尽可能体现综合性,需全面深入了解整个地铁工程

建设项目,以求所选的指标能全面综合地反映整体项目工程的风险特征要求。(3)定性指标与定量指标相结合的原则。选取指标时还要考虑所选定的指标是否能够量化处理,以便于进行数学计算和分析。

1.2 风险评价指标体系的确立

通过文献研究法^[12-14],总结出历年在我国各地发生的地铁施工事故中环境因素、施工管理、施工技术、施工人员是主要的施工风险类型,因此,将这4个施工风险类型作为一级指标,并细分为15个风险因素,作为二级指标,建立地铁建设项目施工风险评价指标体系,如表1所示。

表1 地铁建设项目施工风险评价指标体系

一级指标	二级指标
环境因素 B_1	地质条件 C_{11}
	地下管线 C_{12}
	周边建筑环境 C_{13}
	气候条件 C_{14}
	施工现场环境 C_{15}
施工人员 B_2	工作态度 C_{21}
	安全意识 C_{22}
	工作技能 C_{23}
施工管理 B_3	安全管理制度 C_{31}
	施工组织 C_{32}
	管理人员能力 C_{33}
	安全检查及监测 C_{34}
施工技术 B_4	降排水情况 C_{41}
	爆破 C_{42}
	支护 C_{43}

1.3 风险因素分析

1.3.1 环境因素

外界环境处于不确定的动态变化之中,所以其对地铁施工造成的影响是不确定的。常见的环境因素主要包括:地质条件,如地质灾害以及岩土体情况不稳定等;地下管线,如燃气、污水管线较多、分布错综复杂等;气候条件,如遇风力过大或降雨量过多等恶劣天气;施工现场环境,如照明不良、现场安全防护不达标、设备器材摆放杂乱无章等;周边建筑环境,如地铁临近建筑物地基、临近江河道路桥梁等。

1.3.2 施工人员

施工人员是工程项目的实施者,在施工过程中起着至关重要的作用。常见的施工人员风险因素主要包括工作态度、安全意识、工作技能,比如施工人员注意力不集中、酒后作业、存在侥幸心理冒险作业、精神状态不佳、安全意识薄弱、缺乏应变能力、不遵守安全操作、无证上岗、技术不熟练、经验不足、操作失误等。

1.3.3 施工管理

常见的施工管理风险因素包括安全管理制度、施工组织、管理人员能力、安全检查及监测,比如存在安全管理制度不合理、安全责任落实情况不到位、施工组织混乱、管理人员能力低下、现场没有有效进行检查及监督、作业人员施工质量与安全检查不到位等方面的风险。

1.3.4 施工技术

常见的施工技术风险主要包括降排水情况、爆破、支护等,比如,防排水工艺质量没有保障,导致发生渗水事件;地铁隧道爆破导致周边近建筑物裂开或损毁;支护措施不到位发生塌方等。

2 地铁建设项目施工风险评价模型

2.1 风险评价指标权重的确定

权重的确定是决策过程中重要的环节之一,目前关于权重确定的方法有很多,常用的赋权方法有层次分析法(AHP)、专家打分法、二项系数法以及熵权法等,但此类方法的评价结果往往具有较强的主观随意性。Yager 提出的 OWA 算子赋权方法(次序权重平均法)是一种可以动态选择决策风险的方法,它的显著特点是首先对所给的数据信息按照从大到小的顺序进行重新排序,然后再对新的数据序列进行集结,可以结合准则权重和次序权重来进行综合评价。本文采用 OWA 法来确定 F 市某地铁项目施工风险评价指标的权重。

2.1.1 决策数据集结

以向量的形式表示评价指标所给出的决策数据,并记向量 $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, 对向量 a 的分量重新排列,按从大到小的顺序得到向量 $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 。

2.1.2 权重向量的确定

对向量 b 的每一个分量进行赋权,运用组合数的方法进行计算,向量 b 的权重向量记为 $\partial = (\partial_1, \partial_2, \dots, \partial_n)$, 其中,第 j 个分量为:

$$\partial_j = \frac{C_{n-1}^{j-1}}{2^{n-1}}, j=1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

通过权重向量 ∂ 对向量 b 加权,求出评价指标的绝对权重值 w_i :

$$w_i = \sum_{j=1}^n \partial_j b_j, \quad (2)$$

其中, $\partial \in [0, 1], j = 1, 2, \dots, n$ 。

计算评价指标的实际权重值 w_j :

$$w_j = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

2.2 模糊集合与数学期望值

2.2.1 评估因素集的建立

评估因素集向量 $B = [B_1, B_2, \dots, B_n]^T$, 其中, $B_i = [b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ij}]^T (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 。

2.2.2 评估等级的确定

依据风险评价体系中定性和定量因素的性质,综合考虑后确定风险评估等级。将其划分为 5 个等级,即 $[v_1, v_2], [v_2, v_3], [v_3, v_4], [v_4, v_5], [v_5, 0]$, 分别代表高、较高、中等、较低、低 5 个风险等级。

2.2.3 模糊集合的获取

采用专家打分法获取模糊集合。依据上述地铁施工风险评价指标体系制定风险评价表,发放给 F 市某地铁项目的专家以及技术骨干。专家们根据对该建设项目施工风险的了解和以往经验对各指标的风险程度进行打分(总分记为 10 分)。设评估对象为二级指标中的要素 $C_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n)$, 评估集中第 $k (k \in [1, N])$ 个元素的隶属度为 r_{ijk} , 由此可以构建由二级指标单因素组成的模糊集矩阵 A_{ijk} 。

2.2.4 数学期望值的计算

数学期望计算公式为:

$$E_i = (a_{ij1}v_1 + a_{ij2}v_2 + \dots + a_{ijk}v_k)/N, \quad (4)$$

其中 a_{ijk} 是对 C_{ij} 给出评价结果(v_s)的专家人数, N 为专家总人数。

根据公式(4)得到 C_i 的相应分向量为:

$$E = [E_1, E_2, \dots, E_i]^T。$$

3 实证分析

邀请 5 位专家采用十分制对 F 市某地铁项目各级指标进行权重评分,运用 OWA 算法进行计算,求得各级指标的权重,并结合模糊集合计算数学期望值,求得综合风险评价结果。

3.1 OWA 法确定权重

因篇幅所限,以一级指标为例,5 位相关专家采用十分制打分,如表 2 所示。

表 2 权重评分决策数据

指标	评价者 1	评价者 2	评价者 3	评价者 4	评价者 5
B_1	9	8.5	9	9	8.5
B_2	8.5	8	8	8.5	8
B_3	9.5	9.5	9	10	9.5
B_4	9.5	9	9	8.5	8.5

以指标 B_1 的权重计算为例,首先对决策数据按照从大到小的顺序进行排序得到(9,9,9,8.5,8.5)。评价者的个数 $n=5$,则由公式(1)求得赋权向量 $\partial_j = (0.06, 0.25, 0.38, 0.25, 0.06)$,则 B_1 的权重为:

$$w_1 = \sum_{j=1}^n \partial_j b_1 = (0.0625, 0.25, 0.375,$$

$$0.25, 0.0625) \begin{bmatrix} 9 \\ 9 \\ 9 \\ 8.5 \\ 8.5 \end{bmatrix} = 8.78。$$

同理可计算出 w_2 至 w_4 ,依次为 8.25,9.44,8.91。

归一化后的一级指标权重向量为 $\bar{w}_0 = (0.25, 0.23, 0.27, 0.25)$ 。

各二级指标权重向量的计算与一级指标的计算过程相同,计算结果如下:

$$\bar{w}_1 = (0.19, 0.20, 0.22, 0.18, 0.21),$$

$$\bar{w}_2 = (0.32, 0.32, 0.36),$$

$$\bar{w}_3 = (0.22, 0.30, 0.25, 0.23),$$

$$\bar{w}_4 = (0.35, 0.28, 0.37)。$$

3.2 模糊理论结合数学期望进行风险评价

利用该建设项目风险评价二级指标的权重和期望值来计算一级指标的期望值,在模糊集矩阵中将二级指标的评估值划分为 5 个等级,令 v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 分别为 10,8,6,4,2,则 [10,8][8,6][6,4][4,2][2,0] 分别表示高风险、较高风险、中等风险、较低风险、低风险。选取 20 名专家对各二级指标进行评估,结果如表 3 所示。

表 3 F 市某地铁项目施工风险评价结果

指标						评价结果				
一级指标			二级指标			高	较高	中等	较低	低
指标编号	权重	期望	指标编号	权重	期望	风险	风险	风险	风险	风险
B_1	0.25	7.56	C_{11}	0.19	9.3	14	5	1		
			C_{12}	0.20	6.2		7	8	5	
			C_{13}	0.22	8.5	9	8	2	1	
			C_{14}	0.18	6.4	1	8	6	4	1
			C_{15}	0.21	7.3	5	7	4	4	
B_2	0.23	4.86	C_{21}	0.32	3.4			4	6	10
			C_{22}	0.32	5.6		5	8	5	2
			C_{23}	0.36	5.5		5	7	6	2
B_3	0.27	5.19	C_{31}	0.22	4.2			7	8	5
			C_{32}	0.30	4.6		1	7	9	3
			C_{33}	0.25	5.3		3	8	7	2
			C_{34}	0.23	6.8	3	6	7	4	
B_4	0.25	7.04	C_{41}	0.35	8.4	8	9	2	1	
			C_{42}	0.28	3			1	8	11
			C_{43}	0.37	8.8	10	8	2		

经公式(4) 计算, F 市某地铁项目施工风险总数学期望值为 6. 17, 根据风险划分标准可知该项目处于“较高风险”级别, 对此, 施工管理人员要及时制定改进措施来防范风险的发生。将风险指标按数学期望值由高到低排序, 排在前两位的定为主要风险因素, 则 F 市某地铁项目施工一级风险指标中主要风险因素为环境因素和施工技术, 其中, 地质条件和周边建筑环境是环境因素二级指标中的主要风险因素, 支护和降排水情况是施工技术二级指标中的主要风险因素。

3.3 地铁建设项目施工主要风险因素控制措施

针对 F 市某地铁项目施工过程中地质条件、周边建筑环境、降排水情况、支护 4 个主要风险因素应加以重点防范, 制定详细的控制措施。

地质条件措施:在进行地铁基坑开挖工程时, 不仅应注意基坑侧壁的岩土材料复杂性, 而且对其他各种偶然因素的作用也要进行全过程动态监测。基坑在支护时应针对其特性采用“短开挖、快封闭、强措施、防渗入、留基土”施工方法, 尽可能地减少膨胀土的危害。

周边建筑环境措施:在基坑开挖的过程中, 应运用土的时空效应原理, 即在基坑内土方开挖后, 利用土体变形在时间上和空间上的滞后性, 及时架设支撑和预加轴力来平衡围护内外土的压力差, 防止围护变形和周边建筑物沉降, 以保障周围建筑物的安全, 同时也要保障市政管线设施的正常使用。

支护措施:基坑支护施工管理是一项复杂而且重要的管理工作, 首先要加强对施工人员的管理, 严格按照施工工艺顺序及技术要求进行施工, 在基坑开挖的过程中, 要及时进行动态监测来获得支护结构和土体变化的动态, 以便及时调整施工方案。

降排水情况措施:及时记录气候条件, 防止下雨天雨水浸入, 定期进行水位观察, 加强对基坑周围地表沉降以及建筑物的位移监测, 实施信息化施工管理, 及时上报监测数据, 严格控制

降水对基坑的影响。

4 结语

在构建地铁施工项目风险评价模型分析地铁施工的风险时, 专家给出的决策数据极端值可能会对风险因素权重的确定带来不利影响, 利用 OWA 算法可以在一定范围内削弱这种影响, 使确定的指标权重相对合理。地铁施工风险的各评价指标多具有一定的模糊性, 基于模糊数学的地铁施工风险评价能够对地铁施工风险进行量化, 得到具体的地铁施工风险数学期望值, 按照此值的大小可以判断风险的高低, 从而及时采取有效预防措施来控制风险事故的发生。本研究采用的方法对地铁施工风险评价具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 刘戈, 李峰. 基于三角模糊数的地铁施工风险评价研究[J]. 建筑经济, 2011(S1): 223 - 226.
- [2] EINSTEIN H H. Risk and risk analysis in rock engineering[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1996, 11(2): 141 - 155.
- [3] DUDDECK H. Risk assessment and risk sharing in tunnelling[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1987, 2(3): 351 - 357.
- [4] SMITH R J. Risk management for underground projects: cost-saving techniques and practices for owners[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1992, 7(2): 109 - 117.
- [5] CHOI H H, CHO H N, SEO J W. Risk assessment methodology for underground construction projects[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2004, 130(2): 258 - 272.
- [6] 赵金先, 李龙, 刘敏. 基于 OWA 算子赋权的地铁工程项目管理绩效灰色评价[J]. 建筑经济, 2014, 35(9): 125 - 129.

- [7] 陈为公,张胜昔,王会会. 基于 PCA-C-OWA 算子赋权的钢筋混凝土施工质量灰色聚类评价[J]. 土木工程与管理学报, 2016,33(1):1-6.
- [8] 王煜,徐泽水. OWA 算子赋权新方法[J]. 数学的实践与认识,2008(3):51-61.
- [9] 张奔. 基于层次分析模糊集合数学期望值的煤矿应急能力评估[J]. 现代矿业,2015, 31(12):175-177.
- [10] 陈守煜. 工程可变模糊集理论与模型——模糊水文水资源学数学基础[J]. 大连理工大学学报,2005(2):308-312.
- [11] 吴贤国,丁保军,张立茂,等. 基于贝叶斯网络的地铁施工风险管理研究[J]. 中国安全科学学报,2014,24(1):84-89.
- [12] 应国柱,汪鹏程,朱大勇,等. 基于模糊综合评价模型的地铁施工风险评估[J]. 地下空间与工程学报,2016,12(2):539-545.
- [13] 贺爱群. 地铁施工重大危险源评估与识别研究[D]. 长沙:中南大学,2010.
- [14] 贾卓. 沈阳地铁施工事故评价与综合对策研究[D]. 沈阳:东北大学,2011.

(责任编辑:李秀荣)

(上接第 76 页)凝沉淀池+UASB+生物接触氧化池+MBR+RO 工艺处理城市生活垃圾焚烧电厂渗滤液,出水水质低于排放标准。

表 1 出水效果 mg/L

构筑物	COD	BOD ₅	SS
进水	57 600	27 648	1 639
筛网	57 600	27 648	1 475
混凝沉淀池	46 157	22 118	885
UASB	13 847	6 635	796
生物接触氧化池+MBR	692	132	7.86
RO	69	13	≤5

5 效益分析

考虑电费、污水处理工作人员费用、维修费、污泥处理处置费等,实际废水处理的总成本为 25.8 元/m³。

6 结论

工程运行效果表明,在设计负荷范围内,处理设施运行稳定。采用物化法与生化法相结合的工艺技术可实现城市生活垃圾焚烧电厂渗滤液中主要污染物的去除,各处理构筑物对渗滤液中有机污染物的处理效果均能达到预期设计要求。

参考文献:

- [1] 谢志生. 某生活垃圾焚烧厂渗滤液处理工程案例[J]. 化工设计通讯,2019,45(5):237.
- [2] 李红莲. 生活垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工程实例[J]. 工业用水与废水,2013,44(5):68-70.

(责任编辑:李秀荣)