

文章编号: 2095-0365(2018)02-0034-07

新兴城市地铁施工风险评估研究

孟楠¹, 张新宁¹, 段晓晨¹, 毕岳²

(1. 石家庄铁道大学 经济管理学院 河北 石家庄 050043;

2. 中铁十六局集团第二工程有限公司 天津 300162)

摘 要: 目前我国新兴城市逐渐开始建设地铁,其施工风险管理与评价日渐重要。地铁施工风险评估需找出关键因素,建立评价指标体系并选用科学合理的方法进行评价。本文将基于三角模糊数的层析分析法和模糊综合评价法相结合,保证评估的准确性。构建风险管理评估模型后,运用石家庄地铁工程对所建模型在风险管理中的可行性进行验证,并分析该工程项目的风险管理情况。针对评估结果,给出提高地铁项目风险管理的对策,以提高地铁工程项目风险管理的整体水平。

关键词: 地铁工程; 风险评估; 三角模糊数; 层次分析法; 模糊综合评价法

中图分类号: G304 **文献标识码:** A **DOI:** 10.13319/j.cnki.sjztdxxbskb.2018.02.06

21世纪以来,我国经济建设快速发展。地铁作为一种快捷和环保的交通工具,逐渐开始在各大中城市兴建。在我国社会经济健康发展的背景下,我国地下交通发展取得了很大的进步,地铁建设正进入稳步、快速和有序的发展阶段^[1]。地铁建设具有投资规模大、技术难度高、周边环境复杂等特点,加上全国地铁建设中安全事故频发,以及新兴城市在地铁建设方面缺乏经验,使得地铁施工过程中发生事故的风险大。因此,应对地铁工程施工的风险因素进行评价,尽早识别施工中存在的风险问题,并采取相应的措施。新兴城市如何在地铁工程建设过程中加强安全管理,有针对性地提出防范措施,对我国地铁安全管理具有重要意义,成为地铁风险管理的关键内容^[2]。

国内很多学者做了相关研究。周德红等利用模糊层次分析法找出地铁施工中导致事故的主要风险因素^[3];刘维庆等对城市轨道交通PPP项目

的风险进行了评价^[4];谷昀运用层次分析法确定各指标权重,以模糊综合评判法为基础建立评价模型,并使用该模型评估了北京地铁14号线03标段的风险水平^[5];张进、马斌、王可娜识别地铁施工风险因素后,采用层次分析法计算各指标权重并构建梯形隶属函数,研究了地铁建设过程中的风险管控能力^[6]。但目前我国在地铁施工风险评估方面仍需深入的探讨和研究。本文通过分析地铁施工过程中的风险因素,建立评价指标体系,并利用三角模糊数对层次分析法的计算进行改进,计算出该指标体系中各指标的权重,并通过模糊综合评价法^[7]对石家庄地铁施工的风险管理水平进行评价。

一、构建施工风险评估指标体系

(一) 施工风险评价指标的选取原则

由于地铁施工周边环境复杂,为确保工程施工安全,施工中应全面考虑所有风险因素。

收稿日期: 2018-01-05

基金项目: 石家庄铁道大学十二五教育科学规划重点课题(Z201405)

作者简介: 孟楠(1992-),女,硕士研究生,研究方向: 工程经济与造价管理。

本文信息: 孟楠,张新宁,段晓晨,等. 新兴城市地铁施工风险评估研究[J]. 石家庄铁道大学学报: 社会科学版, 2018, 12(2): 34-40.

但考虑到风险管理成本,所以应按照一定原则选择出比较重要的因素或指标,须遵循的原则有:

(1) 全面性原则。风险评价需在熟悉施工进度情况基础上,借鉴类似工程的施工风险管理经验,把影响施工安全的主要风险因素加以考虑,做到全面反映又突出重点,避免仅依据少量指标而使风险管理效率低下的状况。

(2) 代表性原则。施工风险管理评价指标应具有代表性,在地铁施工的不同阶段区别管理重点,降低评价过程的复杂度。风险管理人员应根据特定地铁项目的具体施工情况和特点,选择比较典型的风险因素和指标,制定适合本工程的风险评价体系。

(3) 可行性原则。在地铁施工风险管理中,构建风险评价指标体系的目的是为了实施。因此,制定的风险评价体系必须是切实可行的,也就是选择的指标应通俗易懂,便于风险管理人员对其进行定性或定量描述与评价^[5]。

(二) 施工风险评价指标体系的建立

在影响地铁顺利施工风险因素研究方面,于全胜以石家庄地铁1号线为例,运用模糊评价方法进行了探讨^[2];陈美华、李杰构建了地铁施工风险管理评价指标体系^[8]。地铁施工风险评价是一项综合性指标,反映的是施工过程中外界和项目本身可能存在的风险,涉及多个指标的分类与评判。新兴城市在构建城市交通系统时,地铁以其大容量、集约型发挥了作用。因此在地铁施工过程中应努力建设“绿色地铁”,尽可能降低对地铁建设周边环境的污染^[9-10]。此外,由于新兴城市多为首次修建地铁,施工企业缺少该地区以往类似工程的施工数据与资料,更多依赖于地质勘测,增加了施工的风险与难度。地铁建设周期长的特点会给交通带来一定影响,这都要求地铁施工相关人员加以考虑。本文在查阅相关资料基础上,结合新兴城市与地铁施工风险有关的特点,形成5个一级指标17个二级指标建立地铁施工风险评价指标体系^[8],如表1所示。

表1 地铁施工风险管理评价指标体系

一级指标	二级指标
外界环境	社会人文环境 周边交通 地下管线、建筑物地基等干扰 气象条件
施工管理	“绿色”施工 施工组织与安全管理 地质条件
技术风险	基坑开挖支护技术风险 安全专项方案风险 变形监控风险
特殊风险	起重吊装风险 高耸设备风险 临时工程风险 脚手架风险
施工人员	安全意识 熟练程度 规范程度

二、地铁施工风险评估模型构建

(一) 基于三角模糊数 AHP 的地铁施工风险评估模型

Zadeh 在 1965 年提出 Dev 模糊集的概念,三角模糊数常被用来解决不确定环境下的问题,可应用在成本管理、绩效评价、质量管理等。首先给出三角模糊数的定义^[7]。

若模糊数 A 由 (a, b, c) 决定,且隶属函数为

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & x \in [a, b) \\ \frac{c-x}{c-b} & x \in [b, c) \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (1)$$

则称 A 为三角模糊数,记作 $A = (a, b, c)$,若 $a = b = c$ 时, A 为一个精确数。

(2) 建立基于三角模糊数的判断矩阵

相关专家依据表1和表2,按照三角模糊数对各指标进行两两比较打分。

表2 x_i 比 x_j 强(重要)的程度

x_i/x_j	绝对弱	很弱	弱强	稍弱	相同
a_{ij}	1	2	3	4	5
x_i/x_j	稍强	强	很强	绝对强	
a_{ij}	6	7	8	9	

通过对风险因素的两两比较,专家给出三角模糊数判断矩阵 $R = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})_{n \times n}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。其中专家对指标 i 和指标 j 比较结果的最小值,最可能值,最大值,分别用 a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} 表示。

(3) 排序方法^[11]。设三角模糊数 $A_1 = (a_1, b_1, c_1)$, $A_2 = (a_2, b_2, c_2)$ 则称

$$V(A_1 \geq A_2) = \begin{cases} \frac{a_2 - c_1}{(b_1 - c_1) - (b_2 - a_2)}, & b_1 < b_2 \\ 1, & b_1 \geq b_2 \end{cases} \quad (2)$$

为 $A_1 \geq A_2$ 的可能度。

由可能度的定义给出三角模糊判断矩阵的排序方法。

假设有 n 个三角模糊数构成的集合为

$\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 则 $A_1 \geq A_2, A_3, \dots, A_n$ 的可能度为 $V\{A_1, A_2, \dots, A_n\} = \min\{V(A_1 \geq A_2), V(A_1 \geq A_3), \dots, V(A_1 \geq A_n)\}$ (3)

步骤一, 计算三角模糊判断矩阵的行和并归一化, 求出三角模糊数的权重向量:

$$w_i = \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \right] \quad (4)$$

步骤二, 对三角模糊数 w_i 进行两两比较, 利用可能度公式, 求得相应的可能度: 即 $V(w_i > w_j)$ $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$ 。从而得到可能度矩阵

$$P = (p_{ij})_{n \times n} \quad (5)$$

步骤三, 利用公式

$$w_i = \frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^n p_{ij} + 1 - \frac{n}{2} \right] \quad i=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

得到可能度矩阵 P 的排序向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 归一化处理后得到权重排序, w_i 越大, 相应的指标越重要。

(二) 地铁施工风险管理效果模糊综合评价模型

1. 方法介绍

由于在对地铁施工风险管理进行评价时具有较大的模糊性, 宜使用模糊综合评价方法。模糊综合评价法主要被用来综合评判多个因素对评判事物隶属度的等级状况, 利用模糊变换和模糊关系综合的原理综合各个指标, 进而对评价对象作出总体评价。目前被广泛用于建筑风险和成本评价、生态安全评判、煤矿安全评价等领域中。

模糊综合评价法包含的主要因素有^[12]:

评价因素域 U : 代表综合评价中各级的评价指标体系, 即所有评价因素的集合, 包括准则性指标及具体评价指标。

评语集 V : 也叫评语等级域, 指的是对各项指标好坏的评价结果, 可以采用定量或定性评价, 一般为一个区间, 比如优、良、中、差等评语或 90、80、70、60、50 以下这样的范围。

模糊综合评价矩阵 R : 它表示单个因素的评价, 将多个因素评价结果综合以后得到模糊关系矩阵 R 。

除上述三个因素外, 还有评价因素权向量 A 、模糊算子和评价结果向量 B 。

2. 模型构建

通过构建的评价指标体系, 确定各层评价指标的权重分配向量 W , 每一级指标的权重之和应为 1。

评语集为 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$, 评级等级的个数不宜过多或过少, 通常大于 4 并且不超过 9, 在此将其用定量指标来表示, 即 $V = \{5, 4, 3, 2, 1\}$, 分别代表“好”, “较好”, “一般”, “差”, “很差”5 个等级的表达, 该评语集在一定程度上可以反映评价的模糊性。

构建模糊综合评价矩阵 R 。从单个因素的评价结果出发, 确定评价对象备择集元素的隶属程度, 可得到单因素评价矩阵, 即模糊综合评价矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & \vdots & r_{3n} \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, 第 i 行元素代表被评价指标对评价集中该等级指标的隶属度; 第 j 列元素代表被评价指标所取的评语集中第 j 个等级的程度描述。 r_{ij} 的模糊计算方法为

$$r_{ij} = f_{ij} / \sum_{j=1}^n f_{ij} \quad (8)$$

式中, r_{ij} 表示第 i 个元素被评价委员评价到第 j 个等级 V_j 的百分比。

考虑权重以后, 对各指标因素进行模糊关系的变换, 可得到一级模糊综合评价集:

$$B_s = W_s \cdot R_s = [w_{s1}, w_{s2}, \dots, w_{sn}] \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{np} \end{bmatrix} = [b_{s1}, b_{s2}, \dots, b_{sn}] \quad (9)$$

($S=1, 2, \dots, m$) 表示评价指标体系中第 s 个元素的综合模糊评价。根据隶属度, 可知 b_{sj} 的取值范围为 [最坏评价结果, 最佳评价结果]。

综合评价具体的指标因素,由 B_1, B_2, B_m 得到因素层 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 的单因素评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

可以看出,只要给出指标体系中最低一级的单因素评价矩阵,再得到各层次所占的权重,就能求得任一层次中的任何评价结果,以及最终的综合评价结果。

分析结果,得出结论。可以根据某一标准将评价结果量化,统计、汇总所有评委的评价数据,得出各评价指标的评价结果。在该方法中,用评委评价的占各等级的人数来表示,之后,利用模糊加权计算,最终判断地铁施工风险管理的等级。

三、石家庄地铁施工风险管理评估

(一) 工程概况

石家庄市地铁建设主干线和辅助线均为3条,建成后长度总和达到241.7公里,形成支持经济和社会发展的交通网主骨架。石家庄地铁1号线车站和2号线车站穿越的地质主要是黄土状粉质黏土层、黄土粉状土和砂层,地下水位较高。目前,1号线、3号线已部分通车,全部为地下敷设,到2020年将建成轨道交通1、2、3号线一期工程,能够缓解城内部中长距离的交通压力,还将带动正定新区等重点地区的经济增长,促进石家庄多层次交通网络的形成与城市的快速发展。

(二) 石家庄地铁施工风险管理评价

邀请20名地铁施工风险评价方面的专家和施工企业的管理人员,由他们根据建立的评价指标体系并构造各层次的模糊判断矩阵,在此以一级指标为例,判断矩阵如表3所示。

表3 一级指标三角模糊判断矩阵

A	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	(5 5 5)	(5 6 7)	(6 6 7)	(6 7 8)	(2 3 4)
A_2	(3 4 5)	(5 5 5)	(4 4 6)	(3 4 4)	(3 3 4)
A_3	(3 4 4)	(4 6 6)	(5 5 5)	(3 4 5)	(3 4 5)
A_4	(4 5 6)	(4 4 5)	(5 6 7)	(5 5 5)	(2 3 4)
A_5	(5 6 8)	(7 7 8)	(7 8 8)	(6 7 8)	(5 5 5)

计算得出三角模糊数的权重向量:

$$w_1 = (0.167 \ 0.218 \ 0.282)$$

$$w_2 = (0.125 \ 0.161 \ 0.218)$$

$$w_3 = (0.125 \ 0.169 \ 0.227)$$

$$w_4 = (0.139 \ 0.185 \ 0.245)$$

$$w_5 = (0.208 \ 0.266 \ 0.336)$$

对三角模糊数两两比较,得到相应的可能度矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0.603 \\ 0.477 & 1 & 0.920 & 0.766 & 0.086 \\ 0.566 & 1 & 1 & 0.846 & 0.164 \\ 0.710 & 1 & 1 & 1 & 0.315 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

可能度矩阵 P 的排序向量为 $w = (0.621, 0.350, 0.413, 0.505, 0.7)^T$,归一化后得到一级指标中外环境、施工管理、技术风险、特殊风险、施工人员的权重为 $w_1 = (0.240, 0.135, 0.160, 0.195, 0.27)^T$ 。

对二级指标也分别按照上述方法进行计算,得到外界环境中社会人文环境、周边交通、地下管线、建筑物地基等干扰、气象条件的三角模糊判断矩阵如表4所示:

表4 一级指标外界环境下各指标三角模糊判断矩阵

A_1	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}
A_{11}	(5 5 5)	(5 6 8)	(3 5 6)	(5 6 7)
A_{12}	(4 5 6)	(5 5 5)	(3 4 6)	(2 3 4)
A_{13}	(2 3 4)	(3 5 6)	(5 5 5)	(3 4 5)
A_{14}	(4 6 7)	(4 5 7)	(4 6 6)	(5 5 5)

得到其权重为: $w_{21} = (0.286, 0.217, 0.211, 0.286)^T$

同理得到施工管理中“绿色”施工、施工组织与安全管理、地质条件的权重为

$$w_{22} = (0.307, 0.355, 0.338)^T$$

技术风险中基坑开挖支护技术风险、安全专项方案风险、变形监控风险的权重为

$$w_{23} = (0.393, 0.345, 0.261)^T$$

特殊风险中起重吊装风险、高耸设备风险、临时工程风险、脚手架风险的权重为

$$w_{24} = (0.269, 0.234, 0.222, 0.275)^T$$

施工人员中安全意识、熟练程度、规范程度的权重为

$$w_{25} = (0.406, 0.258, 0.336)^T$$

根据上述计算结果,对一级指标和二级指标进行加权平均计算,得到的结果如表5所示。

表5 各指标综合权重

二级 指标	指标及其权重					二级指标 相对一级 指标权重		二级指标 相对一级 指标权重
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5			
	0.240	0.135	0.160	0.195	0.270			
A_{11}	0.286					0.069		
A_{12}	0.217					0.052		
A_{13}	0.211					0.051		
A_{14}	0.286					0.069		
A_{21}		0.307				0.041		
A_{22}		0.355				0.048		
A_{23}		0.338				0.046		
A_{31}			0.393			0.063		
A_{32}			0.345			0.055		
A_{33}			0.261					0.042
A_{41}				0.269				0.052
A_{42}				0.234				0.046
A_{43}				0.222				0.043
A_{44}				0.275				0.054
A_{51}					0.406			0.110
A_{52}					0.258			0.070
A_{53}					0.336			0.091

以上一节计算得到的各指标综合权重为基础,选取公司调查对象和施工成本评价方面的专

家共20名作为评价委员,统计、汇总他们的评价结果,如表6所示。

表6 一级指标三角模糊判断矩阵

因素集	权重	子因素集	权重	评价结果				
				好	较好	一般	差	很差
外界环境	0.240	社会人文环境	0.286	2	4	8	5	1
		周边交通	0.217	1	5	9	4	1
		地下管线、建筑物地基等干扰	0.211	0	5	7	6	2
		气象条件	0.286	3	2	6	5	4
施工管理	0.135	“绿色”施工	0.307	2	3	12	2	1
		施工组织与安全管理	0.355	1	5	8	5	1
		地质条件	0.338	2	3	9	4	2
技术风险	0.160	基坑开挖支护技术风险	0.393	1	5	8	4	2
		安全专项方案风险	0.345	3	3	10	3	1
		变形监控风险	0.261	2	3	9	3	3
特殊风险	0.195	起重吊装风险	0.269	0	5	9	5	1
		高耸设备风险	0.234	2	4	7	5	2
		临时工程风险	0.222	1	6	8	4	1
		脚手架风险	0.275	1	3	8	5	3
施工人员	0.270	安全意识	0.406	0	2	11	4	3
		熟练程度	0.258	1	5	10	2	2
		规范程度	0.336	2	4	6	6	2

采用同样的方法计算各二级指标因素评价结果,汇总后如表7所示。

类似地,可以计算得到施工管理、技术风险、特殊风险和施工人员风险管理评价结果,如表8至表11所示。

表7 地铁施工外界环境管理模糊综合评价结果

指标	评价结果				
	好	较好	一般	差	很差
隶属度	0.082 4	0.192 8	0.371 7	0.249 7	0.103 4

表8 地铁施工管理风险模糊综合评价结果

指标	评价结果				
	好	较好	一般	差	很差
隶属度	0.082 3	0.185 5	0.478 3	0.187 0	0.066 9

表9 地铁施工技术风险管理模糊综合评价结果

指标	评价结果				
	好	较好	一般	差	很差
隶属度	0.097 5	0.189 2	0.447 1	0.169 5	0.095 7

表10 地铁施工特殊风险管理模糊综合评价结果

指标	评价结果				
	好	较好	一般	差	很差
隶属度	0.048 3	0.221 9	0.401 7	0.238 9	0.089 2

表11 地铁施工人员风险管理模糊综合评价结果

指标	评价结果				
	好	较好	一般	差	很差
隶属度	0.046 5	0.172 3	0.453 1	0.207 8	0.120 3

由上表可看出,在外界环境管理中,评价结果为“一般”的评价值最大,达到了0.371 7。20名评委认为施工企业对该工程项目的外界环境风险管理效果总体一般。约有10%的评委对该项目外界环境风险的管理极大不满。在施工管理评价中,最大值也出现在“一般”这一等级中,值为0.478 3,表明评委总体认为该方面成本管理效果“一般”。在评价中,安全意识这一指标评价结果为好的为0,有3个专家认为“很差”,且施工人员风险管理中模糊综合评价结果达到了12%,其次是外界环境和技术风险这两个指标,“很差”这一评价结果所占比例分别为10.34%和9.57%。在其他一级指标评价中,最大值同样在“一般”这个等级中,与总体评价结果相似,可认为该工程项目成本评价结果总体“一般”。

根据模糊评价的计算步骤,可得各具体指标构成的模糊矩阵 R_u 。

$$R_u = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.25 & 0.05 \\ 0.05 & 0.25 & 0.45 & 0.2 & 0.05 \\ 0 & 0.25 & 0.35 & 0.3 & 0.1 \\ 0.15 & 0.1 & 0.3 & 0.25 & 0.2 \\ 0.1 & 0.15 & 0.6 & 0.1 & 0.05 \\ 0.05 & 0.25 & 0.4 & 0.25 & 0.05 \\ 0.1 & 0.15 & 0.45 & 0.2 & 0.1 \\ 0.05 & 0.25 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.15 & 0.15 & 0.5 & 0.15 & 0.05 \\ 0.1 & 0.15 & 0.45 & 0.15 & 0.15 \\ 0 & 0.25 & 0.45 & 0.25 & 0.05 \\ 0.1 & 0.2 & 0.35 & 0.25 & 0.1 \\ 0.05 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.05 \\ 0.05 & 0.15 & 0.4 & 0.25 & 0.15 \\ 0 & 0.1 & 0.55 & 0.2 & 0.15 \\ 0.05 & 0.25 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix}$$

采用加权平均的方法进行矩阵 R_u 的模糊计算,可得到项目成本管理评价效果的向量 $B_u = W_u \times R_u$ 。

$$B_u = \begin{bmatrix} 0.069 \\ 0.052 \\ 0.051 \\ 0.069 \\ 0.041 \\ 0.048 \\ 0.046 \\ 0.063 \\ 0.055 \\ 0.042 \\ 0.052 \\ 0.046 \\ 0.043 \\ 0.054 \\ 0.110 \\ 0.070 \\ 0.091 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.25 & 0.05 \\ 0.05 & 0.25 & 0.45 & 0.2 & 0.05 \\ 0 & 0.25 & 0.35 & 0.3 & 0.1 \\ 0.15 & 0.1 & 0.3 & 0.25 & 0.2 \\ 0.1 & 0.15 & 0.6 & 0.1 & 0.05 \\ 0.05 & 0.25 & 0.4 & 0.25 & 0.05 \\ 0.1 & 0.15 & 0.45 & 0.2 & 0.1 \\ 0.05 & 0.25 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.15 & 0.15 & 0.5 & 0.15 & 0.05 \\ 0.1 & 0.15 & 0.45 & 0.15 & 0.15 \\ 0 & 0.25 & 0.45 & 0.25 & 0.05 \\ 0.1 & 0.2 & 0.35 & 0.25 & 0.1 \\ 0.05 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.05 \\ 0.05 & 0.15 & 0.4 & 0.25 & 0.15 \\ 0 & 0.1 & 0.55 & 0.2 & 0.15 \\ 0.05 & 0.25 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix}$$

(三) 该项目施工风险管理对策

施工企业在地铁施工风险管理方面还存在较大的进步和完善的空间,企业应提高项目施工风险的管理效果^[13],可采取以下保障措施:

1. 增强施工风险管理意识

在工程项目的建设过程中,企业和施工人员必须建立风险意识,以指导风险管理活动。这对于保证项目安全具有重要意义。而且由“海恩法则”揭示的原理可知,任何安全事故都是由许多小因素导致的,而在实际管理中,是可以通过采取风险管理措施加以预防的。

2. 做好对外界环境的监控

由于地铁是在地下施工,施工临近已有地下管线,施工过程中应做好地质管线等的监测,当出现与勘察设计不相符的情况时,及时采取应对措施。此外,地上施工条件,如气象条件、交通、环保措施等也会影响工程的施工,所以收集以往气候资料,关注天气变化也是施工风险管理的组成部分。

3. 加强对技术风险的管理

施工组织和技术直接影响施工的安全,在施工前要制定合理的施工安排,选用合适的施工机

械和设备,在基坑开挖后,要做好其支护,避免塌方等危险的发生。虽在施工中加强了对风险的管理,但仍要制定切实可行的安全专项管理方案,为施工的安全提供保证。

四、结语

本文在介绍地铁施工风险指标选取原则,建

立风险管理评价指标体系后,利用三角模糊数对传统层次分析法进行改进,用其确定评价指标体系中各指标因素的权重,通过综合模糊评价法对地铁项目风险的管理效果进行评价,最后用石家庄地铁工程项目分析验证该模型的可行性,针对风险管理评价结果和等级,提出加强施工企业在项目建设过程中提高风险管理效果的保障措施。

参考文献:

- [1]陈超峰,段晓晨,胡天明,等.基于物元可拓模型的铁路工程施工质量风险分析[J].石家庄铁道大学学报:社会科学版,2017,11(4):9-15.
- [2]于全胜.地铁车站施工风险模糊综合评价[J].中国科技信息,2015(6):96-98.
- [3]周德红,高黎颖,张飞,等.基于模糊层次分析法的地铁施工风险评估[J].价值工程,2015(1):106-107.
- [4]刘维庆,赵雅云,孙赫梓.地铁盾构施工风险事故树分析——以地面沉降事故为例[J].石家庄铁道大学学报:社会科学版,2016,10(1):21-25.
- [5]谷昀.基于模糊综合评判法的地铁施工风险评估研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2013.
- [6]张进,马斌,王可娜.基于模糊层次分析法的隧道钻爆法施工风险评估[J].东莞理工学院学报,2017,24(1):74-80.
- [7]魏丹.基于三角模糊数层次分析法的地铁施工风险评估指标体系研究[J].建筑安全,2017(2):17-19.
- [8]陈美华,李杰.地铁建设项目施工风险评价研究——以福州地铁1号线项目为例[J].福建工程学院学报,2016,14(4):398-402.
- [9]雷海燕,洪再生.基于可持续发展的新兴港口城市交通规划研究——以黄骅市为例[J].天津城市建设学院学报,2012,18(3):179-182.
- [10]黑立暖.河北省绿色地铁评价体系构建与应用研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2015.
- [11]姜艳萍,樊治平.三角模糊数互补判断矩阵排序的一种实用方法[J].系统工程,2002,20(2):89-92.
- [12]石玉峰.电力施工项目成本管理与控制模型研究[D].北京:华北电力大学,2013.
- [13]张雪峰,王延兵,陈英鹏,等.浅埋小净距隧道下穿多股铁路的风险分析及对策[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2015,28(3):49-55.

Study on the Subway Construction Risk Assessment in Emerging Cities

Meng Nan¹, Zhang Xinning¹, Duan Xiaochen¹, Bi Yue²

(1. School of Economics and Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. The 2nd Engineering Co., Ltd of China Railway 16th Construction Bureau., Ltd, Tianjin 300162, China)

Abstract: Currently, China's emerging cities gradually begin to build the subway, so the construction risk management and evaluation is becoming more and more important. Key factors needs to be identified to establish evaluation index system, and scientific and reasonable method should be adopted in subway construction risk assessment. This paper combines the analytic hierarchy process (AHP) based on the triangular fuzzy number and fuzzy comprehensive evaluation method to ensure the accuracy of the evaluation. After constructing the risk management evaluation model, the feasibility of the model in risk management is verified by using Shijiazhuang subway project, and the risk management of the project is analyzed. According to the evaluation results, the countermeasures are given to improve the risk management of subway projects, so as to improve the overall level of risk management of subway projects.

Key words: subway project; risk assessment; triangular fuzzy number; analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation method