

# 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

陈美华, 李杰

(福建工程学院 管理学院, 福建 福州 350118)

**摘要:** 通过问卷调查对福州地铁 1 号线施工风险因素进行识别, 从外界环境、施工管理、施工技术、施工人员 4 个方面建立地铁施工风险评价指标体系。采用有序加权平均算法 (OWA 算法) 求解评价指标的权重, 通过计算各级风险评价指标的数学期望值法对地铁施工风险进行评价。最后根据各级风险评价指标的数学期望值排查主要风险因素, 提出加强地铁施工风险管控的措施。

**关键词:** 地铁; 施工风险; 风险评价; OWA 算法; 数学期望值

**中图分类号:** U231.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-4348(2016)04-0398-05

### Construction risk evaluation for subway construction projects: Taking Fuzhou subway line 1 as an example

Chen Meihua, Li Jie

(School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** Questionnaires investigation was conducted to identify the risk factors of Fuzhou subway line 1. An index system of subway construction risk evaluation was established from the four aspects of external environment, construction management, construction technology and construction personnel. Ordered weight average (OWA) algorithm was used to resolve the weight of evaluation indexes. The mathematical expectation method of calculating risk evaluation indexes was adopted to evaluate the subway construction risks. Finally, the main risk factors were determined via the mathematical expectation method of calculating risk assessment indicators. Approaches to strengthen the risk management and control of the subway construction were proposed.

**Keywords:** subway; construction risk; risk evaluation; ordered weight average (OWA) algorithm; mathematical expectation value

地铁建设工程不确定因素多、工期长、难度大、风险高, 导致近年来全国各地地铁建设施工过程中事故频发<sup>[1-2]</sup>, 如地面坍塌、建筑物下沉、地下管线遭破坏、人员伤亡等, 造成了不可挽回的损失, 并在社会上产生恶劣影响。应用科学的方法对地铁施工风险进行管理, 有利于减少地铁施工

安全事故的发生, 提高地铁建设项目的风险管理水平。自 20 世纪 70 年代以来, 地下工程的风险管理及应用研究逐渐受到广泛关注, 日益成为各级政府规划部门和施工单位高度重视的一项工作。

地铁施工风险管理要求地铁施工相关单位在风险因素识别的基础上, 及早发现风险并采用恰当

的方法评价地铁施工过程中潜在的风险因素对整个系统的综合影响;然后根据风险评价的结果有针对性地提出地铁施工风险控制与管理的措施,进而达到提高风险管理能力的目的。首先构建地铁施工风险评价指标体系,采用有序加权平均算法(ordered weight algorithm,OWA 算法)求解指标的权重,然后采用问卷调查计算评价指标的数学期望值,从而对地铁施工风险程度进行评价,以期为提高地铁施工风险管理水平提供理论依据。

## 1 地铁施工风险评价指标体系构建

### 1.1 地铁施工的风险识别

地铁建设项目施工风险评价的首要工作是风险识别,通过风险识别将地铁建设项目施工过程中潜在的各种风险因素识别出来。

本文在查阅相关参考文献<sup>[3-6]</sup>的基础上,分析了国内外地铁施工各种安全事故发生的原因,并结合福州市地铁建设指挥部专家的意见,选用问卷调查法对地铁建设项目施工风险进行识别。具体操作步骤是:(1)根据历史数据和经验制作《地铁建设项目施工初始风险清单表》,清单表中预选了 40 个可能发生风险的因素指标。(2)向福州地铁 1 号线技术骨干和专家发放上述初始风险清单表,一共发放问卷 50 份,回收有效问卷 38 份。(3)统计调查结果中各个风险因素指标的票数,识别出票数排在前 20 个的风险因素,最终得到地铁施工风险因素识别清单表(表 1)。

表 1 地铁施工风险因素识别清单表  
Tab.1 Identification list of subway construction risk factors

序号	风险因素	序号	风险因素
1	安全管理制度风险	11	止水措施
2	管理人员能力风险	12	爆破
3	施工组织风险	13	噪音和空气污染
4	地下管线	14	施工人员操作规范程度
5	周边建筑物	15	施工人员熟练程度
6	地质条件	16	施工人员安全意识
7	地下文物保护	17	气象条件
8	地下水	18	异常荷载
9	安全教育及培训	19	支护
10	周边交通状况	20	降排水措施

### 1.2 地铁施工风险评价指标选取

由于地铁建设项目施工风险识别必须遵循全面性原则,因此得到的风险因素数量较多、结构复杂。这些因素不可能全部罗列,为了降低风险评价的成本,需要从地铁施工风险因素清单表中选取比较重要的风险因素作为地铁施工风险评价指标。

在选取地铁施工风险评价指标时,遵循如下原则:(1)代表性原则。由于影响地铁施工的风险因素较多,为了降低风险,评价的复杂度风险评价指标需选择具有代表性和典型性的风险指标。(2)完备性原则。地铁施工具有工期长、难度大、环境复杂多变、不确定性因素多等特点,导致地铁施工风险因素繁多。在深入了解具体地铁工程建设情况的基础上,确保选取的指标必须满足全面综合地反映地铁项目施工的整体风险特征的要求。(3)可操作性原则。确定地铁施工评价指标的目的是为了能够对施工风险程度进行评价,如果所选取的指标无法定量表示或者无法定性描述,那么施工风险评价不具有可操作性,因此问卷调查表中所选取的指标应当通俗易懂,便于专家对指标的风险程度进行定量表示或者定性描述。在这个指标选取的原则下,最终从施工风险因素识别清单表中综合筛选出 14 个风险因素作为地铁施工风险评价指标。

### 1.3 地铁施工风险评价指标体系设立

本文从地铁施工安全事故发生原因的角度出发,对选取出来的 14 个风险指标进行二次分类。将 14 个地铁建设项目施工风险指标分为外界环境风险和项目自身风险两大类,其中项目自身风险又可以划分成施工管理风险、施工技术风险、施工人员风险三类。

#### 1) 外界环境

外界环境风险在很大程度上影响着地铁施工风险发生的概率,地铁施工常见的外界环境风险包括地下管线爆裂、周边建筑物地基下沉、地质滑坡、流砂现象、涌水等。特别是恶劣气候与极端气象,如台风、雷电、暴雨、暴雪、洪水、地震等对地铁施工的威胁巨大,容易引发重大安全事故。概括地说,外界环境风险主要包括地下管线、周边建筑物、地质条件、地下水、气象条件等方面的风险。

#### 2) 施工管理

施工管理是施工安全的保障,地铁施工过程

中经常由于安全管理制度不完善、不严格执行技术标准、不严格遵守施工管理规定、施工组织混乱、管理人员能力低下等原因致使重大事故发生。因此施工管理风险主要包括安全管理制度、施工组织、管理人员能力等方面的风险。

3) 施工技术

地铁施工大部分是地下作业,常见的施工技术风险有地铁施工在浅埋或者软弱地层施工进行支护时失稳引发坍塌、施工降水不当可能造成地面不均匀沉降、排水不畅引发渗水事件、爆破的冲击力导致周边建筑物开裂等。总的来说,施工技术风险主要包括支护、降排水、爆破等方面的风险。

4) 施工人员

施工人员是工程建设的实施者,施工人员的行为与态度直接决定了工程施工质量和发生安全事故的概率。施工人员常见的风险有工人违反施工纪律、没有严格遵守施工规程违规操作、操作不熟练、安全意识淡薄等。可见,施工人员风险主要包括施工人员的施工要求、熟练程度、安全意识等方面的风险。

根据以上分类的结果最终构建了一个包括外界环境、施工管理、施工技术、施工人员 4 个一级评价指标,14 个二级评价指标的风险评价指标体系(表 2)。

表 2 地铁建设项目施工风险评价指标体系

Tab.2 Risk evaluation index system of subway construction projects

一级指标	二级指标
外界环境	地下管线
	周边建筑物
	地质条件
	地下水
	气象条件
施工管理	安全管理制度
	施工组织
	管理人员能力
施工技术	支护
	降排水
	爆破
施工人员	规范程度
	熟练程度
	安全意识

2 地铁施工风险评价

本文以福州地铁 1 号线为例,简述采用 OWA 算法赋权和计算评价指标的数学期望法对地铁施工风险进行分析与评价的过程。

2.1 福州地铁 1 号线工程简介

根据福州市政府城市地铁建设规划,福州将建设 9 条线路,总长约 338 km,共设 215 座车站,其中有 26 座是换乘站。福州地铁 1 号线作为福州市地铁交通的核心线路,同时也是福州市南北发展主轴,总长约 30 km,共分两期建设,北起新店秀峰路,南至东部新城,其中敞开段约 0.65 km,地下约 24.55 km,高架线约 4.0 km。全线共设 24 个车站,平均每站间距 1.237 km。

2.2 利用 OWA 算法确定各级评价指标的权重

地铁施工风险评价指标权重的确定方法主要有主观赋权法、熵权法、OWA 法等,本文采用 OWA 法<sup>[7]</sup>来确定福州地铁 1 号线施工风险评价指标的权重,下面以确定 4 个一级指标权重为例阐述具体的操作过程:

(1)福州市城市地铁有限责任公司组织 5 名行内专家分别对福州地铁 1 号线外界环境在施工风险评价中的重要性进行打分(分值在 0~10 之间),将 5 名专家给的分值写成向量的形式并记为向量  $a=(a_1,a_2,a_3,a_4,a_5)$ ,对向量  $a$  的分量从大到小重新排序得向量  $b=(b_1,b_2,b_3,b_4,b_5)$ 。

(2)利用组合数给向量  $b$  的每个分量进行赋权,记向量  $b$  的权重向量为  $d=(d_1,d_2,d_3,d_4,d_5)$

其中,第  $i$  个分量为: $d_i=\frac{C_4^{i-1}}{2^4},i=1,2,\cdots,5$ 。

(3)通过权重向量  $d$  对向量  $b$  加权,得外界环境这个指标的权重分量: $v_1=\sum_{i=1}^5 d_i b_i$ 。同理可计算得其他 3 个权重分量的向量  $v$ 。

(4)最后将向量  $v$  归一化得一级指标权重向量  $w$ 。

利用该方法计算出一级指标权重向量为  $w=(0.25,0.28,0.26,0.21)$ ;同理可计算得二级指标权重向量分别为  $w_1=(0.18,0.22,0.20,0.19,0.21)$ , $w_2=(0.28,0.39,0.33)$ , $w_3=(0.35,0.36,0.29)$ , $w_4=(0.38,0.31,0.31)$ 。

2.3 地铁施工风险评价

地铁施工风险评价指标体系中的大部分指标

是定性指标,如地下管线等。对这类指标的风险程度进行评价时,主要通过向专家发放问卷调查表进行打分将定性指标转化为定量指标。根据上述地铁建设项目施工风险评价指标体系制定风险评价表;向福州地铁 1 号线技术骨干和专家发放评价表,专家们根据经验和资料对风险指标的风险程度进行打分(总分 10 分);管理人员及时收回评价表进行汇总并计算各个风险评价指标的数学期望值,从而获得风险程度的量化数值。

地铁施工风险评价是根据安全性要求和所能掌握的安全信息对系统可能存在的危险进行风险程度评价,因此专家对地铁施工风险进行评价时应该考虑风险可能发生的概率及严重程度。地铁施工风险程度分为 5 个等级:低风险(0~2 分),较低风险(2~4 分),中等风险(4~6 分),较高风险(6~8 分),高风险(8~10 分)。我们向 50 位福州地铁 1 号线技术骨干和专家发放问卷调查表,

专家根据福州地铁 1 号线工程所有的数据及资料,对照风险评价指标体系分别对各个指标的风险程度进行打分。比如专家 A 认为地下管线的风险程度大小应该处于低风险,那么这个指标的分值应该是 0~2 分之间,其余以此类推。然后计算问卷调查表中各个风险指标评价的数学期望值如表 3 所示。显然某一个评价指标数学期望值越大,说明该指标的风险程度越大;反之数学期望值越小,说明该指标的风险程度越小。

根据 2.2 计算出各级评价指标的权重,然后把每个二级风险评价指标的权重乘上相应的数学期望值,就得到这个指标的加权数学期望值。各个一级指标下的所有二级指标数学期望值加权之和称为一级指标数学期望值;所有一级指标的数学期望值加权之和称为总数学期望值。最终的计算结果见表 4。

表 3 福州地铁 1 号线施工风险评价指标的数学期望值

Tab.3 The mathematical expectation value of construction risk assessment indicators for Fuzhou subway line 1				
一级指标	二级指标	二级指标权重	数学期望值	加权数学期望值
外界环境	地下管线	0.18	9.02	7.12
	周边建筑物	0.22	5.89	
	地质条件	0.2	5.45	
	地下水	0.19	6.76	
	气象条件	0.21	8.64	
施工管理	安全管理制度	0.28	4.23	5.04
	施工组织	0.39	3.74	
	管理人员能力	0.33	7.26	
施工技术	支护	0.35	7.79	6.81
	降排水	0.36	8.67	
	爆破	0.29	3.31	
施工人员	规范程度	0.38	4.54	5.90
	熟练程度	0.31	6.39	
	安全意识	0.31	7.09	

表 4 数学期望值计算表

Tab.4 Mathematical expectation value calculation

一级指标	外界环境	施工管理	施工技术	施工人员
一级指标权重	0.25	0.28	0.26	0.21
一级指标数学期望值	7.12	5.04	6.81	5.90
总数学期望值	6.20			



根据上述福州地铁1号线风险评价的结果可以看出:福州地铁1号线总体施工风险总数学期望值为6.20,处于“较高风险”等级,需要有针对性地进行风险管控。本文将数学期望值比较大的两个因素指标称为主要风险因素。福州地铁1号线施工风险评价的结果显示一级指标中主要风险因素是外界环境和施工技术两个指标。其中,外界环境中二级主要风险因素是地下管线和气象条件这两个指标;施工技术中二级主要风险因素是支护和降排水等指标。

## 2.4 地铁施工主要风险因素控制措施分析

根据上述福州地铁1号线施工风险评价分析,针对数学期望值比较大的主要风险因素,采取下列措施以规避和控制施工风险。

### 1) 安排专职安全员,实行全过程动态监测

福州地铁1号线特有的富含水的碎卵砾石和残积土层地质,特别是下穿闽江段具有全断面硬岩、软硬交界面和江底中砂层三种地质,决定了福州地铁1号线施工风险高、难度大,而且风险处于不断的变化与发展中。这就要求监控工作贯穿施工全过程,对监测的数据实时处理并及时反馈,及时对风险进行动态分析。福州市城市地铁有限责任公司应当安排专职安全员负责定期动态监测评价结果。安全员应当密切关注风险评价指标的数学期望值,一旦数学期望值偏高,施工单位应当及时根据评价结果调整施工方案、优化设计、采取措施,保证施工顺利完成。

### 2) 主要风险因素应对措施

施工单位采取措施时要重点突出主要风险因素,加以重点防范。福州地铁1号线施工过程中将地下管线、气象条件、支护、降排水4个指标作

为主要风险因素加以重点控制,制定详细应对措施:(1)地下管线措施:及时向有关产权单位汇报和沟通;配合相关产权单位进行维修处理;适当增加维修设备。(2)气象条件措施:及时掌握天气信息;根据季节特征制定防水灾、防风灾、防地震等措施;通过购买工程保险将不可预测的风险转移给保险公司。(3)支护措施:加强施工人员的安全施工意识;严格按照设计要求施工;做到及时支护和衬砌等。(4)降排水措施:及时掌握气象条件、落实降水措施,保证排水畅通。

### 3) 优化工程保险的风险管理模式

福州地铁1号线转移施工风险的手段之一是通过购买工程保险来转移工程风险,但是在实际工作中由于缺乏工程、经济、管理等交叉专业技术的支持,保险公司对地铁施工风险管理处于被动状态。为了克服保险公司被动地参与地铁施工风险管理的现状,福州地铁1号线运用全委托风险管理模式<sup>[8]</sup>来优化地铁施工风险管理。该模式是保险公司参与风险管理,形成以监理单位为主体,保险经纪人、地铁公司与保险公司共同参与的风险管理全委托模式。通过优化施工风险管理模式,地铁公司可以实现施工风险的合理规避,而保险公司在降低事故发生概率的同时能够获得丰厚的保险收益。

总之,在地铁施工过程中施工管理人员应该增强风险意识,加强日常安全管理与控制,定期对施工潜在的风险因素进行监测,可采用所介绍的OWA算法和计算风险指标的数学期望值法对地铁建设项目施工风险程度进行评价,及时发现主要风险因素,从而运用确实有效的措施防范风险事故的发生。

## 参考文献:

- [1] 赵金先,刘敏,李帆,等.基于粗糙集-属性综合评价的钻爆法地铁车站工程施工安全管理研究[J].安全与环境工程,2015,9(5):113-117.
- [2] 李聪,陈建宏,杨珊,等.五元联系数在地铁施工风险综合评价中的应用[J].中国安全科学学报,2015,10(10):21-26.
- [3] 陈帆,谢洪涛.基于粗糙集和RBF神经网络的地铁施工安全风险评估[J].安全与环境学报,2013,8(4):232-235.
- [4] 吴贤国,陈跃庆,张立茂,等.地铁工程施工安全监控预警管理及评价标准研究[J].铁道工程学报,2013,5(5):107-111.
- [5] 张国军,李宏男.大连地铁隧道施工风险评估[J].铁道建筑,2012(10):47-49.
- [6] 李洁,邹小伟.地铁工程风险评价[J].建筑经济,2009(5):71-74.
- [7] 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.
- [8] 李杰.地铁建设项目风险管理全委托模式的研究[J].保险研究,2011(12):40-44.