

# 城市轨道交通建设项目规划方案风险评估方法

梁青槐 李 朴 徐田坤

(北京交通大学土木建筑工程学院 北京 100044)

**摘 要** 分析城市轨道交通规划方案存在的风险因素及其对建设阶段、运营阶段可能产生的风险,构建城市轨道交通建设项目规划方案的评价指标体系,并采用定性与定量相结合的多因素决策方法,建立基于模糊层次分析方法的城市轨道交通建设项目规划方案风险评估模型。对北京市新规划 R1 线进行实证分析,得出该线路风险等级较高的结论,为下一步如何做好 R1 线规划设计、建设、运营等工作提供借鉴。

**关键词** 轨道交通;建设项目;模糊层次分析法;风险

**中图分类号** U231 **文献标志码** A

**文章编号** 1672-6073(2013)01-0016-03

城市轨道交通建设项目是一个涉及多专业、多学科、多工种的复杂系统工程,工程建设边界条件复杂,建设周期长,各种可预见和不可预见的风险因素繁杂且相互交叉,并在规划、设计、施工、运营各环节具有风险传递累积的特性,前期规划、设计考虑不充分而埋下隐患,导致后期施工、运营存在不可补救的安全风险,比如:前期规划未充分考虑地下文物因素,导致后期施工难度大、风险高,甚至无法进行正常施工;前期客流预测明显低于实际值,导致后期运营客流冲击压力大,不但给运营安全带来了巨大隐患,也大大降低了运营效率。如果在前期规划阶段能够充分考虑这些隐性的安全风险因素,并采取一定的安全控制措施,就可以大大降低后期建设和运营阶段的风险等级。因此,在方案规划阶段进行风险控制是规避风险的源头,做好规划方案风险分析能在最大程度上规避风险,保障城市轨道交通建设项目的顺利实施。

收稿日期: 2012-06-06

作者简介: 梁青槐,男,教授,博士生导师,从事城市轨道交通研究工作, puleebj@sina.com

城市轨道交通建设项目规划方案风险评估具有风险因素众多,各风险因素之间相互交织、错综复杂,且很多风险因素不能量化等特点,而模糊层次分析法能够将复杂系统的指标因素层次化、数量化,降低主观因素对评判结果的影响,实现定量分析和定性判断的有机结合,能有效解决评估判断的模糊性和不确定性问题。因此,采用模糊层次分析法对城市轨道交通建设项目规划方案的风险进行评估,能够全面、细致、真实地反映规划方案阶段风险因素所处的安全状态。

## 1 安全风险评估的指标体系

城市轨道交通建设项目风险评估分为规划阶段、建设阶段、运营阶段,在规划阶段,对规划、建设、运营各阶段的风险因素进行辨识,并提出风险评估的指标体系。

规划阶段的风险影响因素较多,主要包括客流预测风险、建设时序风险、沿线土地规划控制风险、投融资风险、线网调整风险、地质灾害风险、环境影响风险、换乘站规划预留风险。其中客流风险主要考虑根据各条线路的实际情况判断客流预测是否准确、是否留有容量等风险;建设时序风险主要考虑线路建设的时机是否恰当,从全网的角度看线路建设的顺序是否科学合理,以及分段建设运营是否可行等风险;沿线土地规划控制风险主要考虑线路沿线的土地是否已规划、用地属性是否确定、以后改动的风险有多大以及沿线土地是否进行了一体化开发等风险;投融资风险主要考虑各个时期投资估算指标是否恰当、投融资方案是否可行以及投资估算是否准确等风险;线网调整风险主要考虑由于政策变动、城市规划变动而引起线网变动的风险,远景线网调整而引起的线位、站位变动等风险;地质灾害风险主要考虑线路沿线地震断裂带、地裂缝、江河等灾害多发区给线路建设及运营带来的风险;环境影响风险主要考虑线路经过文物保护区、水资源保护区给建

设带来的风险,建设及运营阶段产生的噪声、振动、电磁辐射等对周围居民生活、建筑物等方面造成的风险;换乘站规划预留风险主要考虑新线是否给既有线路换乘、联合开发建筑物等预留工程接口,是否为周边的商场、居民区等留有出入口,以及通道换乘等风险。

建设阶段的风险主要包括土建施工综合风险、资金运作与管理风险、外部条件风险。其中土建施工综合风险主要考虑施工工法、施工工期、敷设方式、交通组织、穿越既有建筑工程或河流等风险;资金运作与管理风险主要考虑设计预算及资金是否充足并及时到位、投标阶段资金使用以及物价水平上涨等风险;外部条件风险主要考虑征地拆迁过程中的建筑拆除、人员安置和社会影响、动拆迁对项目总体的影响以及外部市政配套设施落实等风险。

运营阶段的风险主要包括运能风险、安全防护风险、疏散能力风险、经营风险。其中运能风险主要考虑城市规划实现、政策、城市化进程、建设进度等造成线路设备实际富余运能与客流预测的匹配风险;安全防护风险主要考虑线路处于郊外带来的安全风险,穿过商业区、办公区、核心区、敏感区等区域带来的风险,与繁忙线路换乘带来的风险,以及人员、设备设施等配备不足带来的风险等;疏散能力风险主要考虑线路是否为断头线、大运量换乘小运量、是否设置疏散通道及联络线等风险;经营风险主要考虑客流预测是否准确、票价票制设置、经营收入还贷、财务管理、运营成本控制等风险。

根据上述综合分析,建立城市轨道交通建设项目规划方案风险评估的指标体系,如图 1 所示。

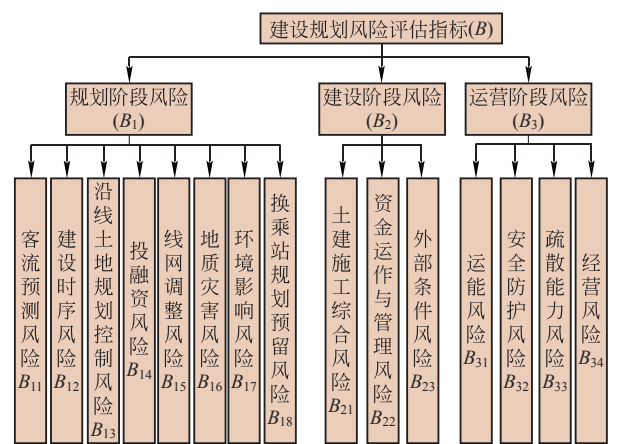


图 1 建设规划风险评估指标

2 基于模糊层次分析法的安全风险评估模型

模糊层次分析法将所研究对象进行层次划分,建立由上到下、由简至繁的上下关联的层级结构,一般分

为 3 级,同时确定各层级指标两两重要度比较值矩阵,然后根据风险等级划定各等级风险的取值区间,并由此确定各层级指标的权重,最后由下至上进行合成运算,得到风险评估的结论。

2.1 层次递阶结构模型

根据城市轨道交通建设项目规划方案风险评估指标体系,构建如图 1 所示的层次递阶结构模型。该模型共包括 3 个层级,最高层为目标决策层(B),依次是准则层(B<sub>1</sub>)和子准则层(B<sub>11</sub>),其中目标决策层是指所需要研究的对象,即建设规划风险评估指标;准则层元素既受到目标决策层支配,同时也支配子准则层元素,本文中准则层元素是指规划阶段、建设阶段、运营阶段这 3 个阶段;子准则层是指各阶段的具体风险影响因素。

2.2 确定因素权重

结合层次分析结构模型确定的上下层次间隶属关系,以专家经验性判断结果为基础,构造各层次元素模糊风险判断矩阵,其中模糊一致矩阵的赋值参照表 1,进而可算得各层元素的权重值  $w_i^{[2]}$ ,有

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

式中:n 为 r 的阶数,α 是人们主观程度对感知对象差异度的度量,取 α = (n - 1)/2。

表 1 因素比较标度值含义<sup>[3]</sup>

标度	定义	说明
0.5	同等重要	两个元素相比较,同等重要
0.6	稍微重要	两个元素相比较,一个元素比另一个元素稍微重要
0.7	明显重要	两个元素相比较,一个元素比另一个元素明显重要
0.8	重要得多	两个元素相比较,一个元素比另一个元素重要得多
0.9	极端重要	两个元素相比较,一个元素比另一个元素极端重要
0.1,0.2,0.3,0.4	反比较	若元素 $C_i$ 与元素 $C_j$ 相比较得到判断矩阵 $r_{ij}$ ,则元素 $C_j$ 和元素 $C_i$ 相比较得到判断矩阵为 $r_{ji} = 1 - r_{ij}$

2.3 建立评语集

评语集是指针对研究对象各种可能情况做出的评判结果的集合。根据建设规划风险中各指标的相对重要程度,结合各专家经验,构建了规划风险评语集  $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$ ,其中  $V_1$  表示较低风险, $V_1 = 1 \sim 2$ ;  $V_2$  表示中等风险, $V_2 = 2 \sim 3$ ;  $V_3$  表示较高风险, $V_3 = 3 \sim 4$ ;

$V_4$  表示严重风险,  $V_4 = 4 \sim 5$ 。

2.4 模糊综合评价

结合风险等级评语矩阵以及目标决策层权重,可得到目标决策层风险模糊综合判断矩阵  $B$ 。利用评价向量  $B$  的分量形成权数,对各个评语等级的得分进行加权平均得到总评分,  $b = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ , 则  $B = \sum_{i=1}^m b_i V_i / \sum_{i=1}^m b_i$ , 将  $B$  的取值与评语集  $V$  中赋值相对比,即可确定轨道交通建设项目规划风险等级。

3 实例分析

运用城市轨道交通项目规划方案风险评估指标体系及模糊层次分析方法,对北京市新规划的 R1 线规划方案进行风险评估。R1 线为贯通北京市东西向的快线,西起门头沟,东至通州新城,旨在建立新城与中心城之间的快速通道,为乘客在中心城区的主要集散点提供方便的换乘条件。R1 线主线线路长度约 54.9 km,共设 19 座车站,换乘站 17 座,其中一期工程线路西起国贸,东延进入通州核心区后下穿北运河和京哈高速,后沿潞苑南大街、京榆旧线至宋庄终点。

3.1 准则层综合评价

各专家根据 R1 线实际情况,结合风险等级评语集,对各具体风险因素进行打分。对各专家给出的各风险因素评语分值进行平均加权统计,可得到子准则层风险因素情况(见图 2),并可得到风险等级评语矩阵  $S$ 。运用层次分析法分别计算准则层、子准则层权重,然后将子准则层的权重向量  $W$  与风险等级评语矩阵  $S$  进行合成运算,即可得到准则层风险模糊综合判断矩阵  $B = W \cdot S$ ,具体计算过程如下。

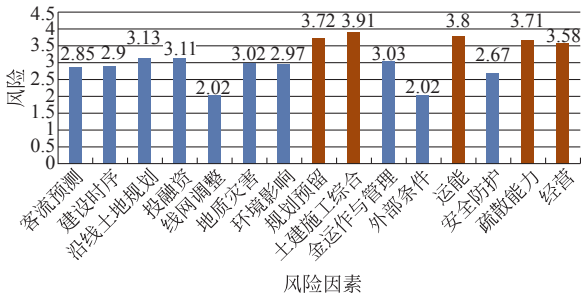


图 2 R1 线各风险因素风险值

1) 规划阶段( $B_1$ )的模糊综合判断矩阵  
 $W = [0.190\ 2 \quad 0.186\ 4 \quad 0.160\ 8 \quad 0.132\ 5 \quad 0.108\ 5 \quad 0.06\ 5 \quad 0.120\ 1 \quad 0.036\ 5]$   
 $S = [2.85 \quad 2.9 \quad 3.13 \quad 3.11 \quad 2.02 \quad 2.08 \quad 2.97 \quad 3.1]^T$   
计算得出  $B_1 = W \cdot S = 2.822$

2) 建设阶段( $B_2$ )的模糊综合判断矩阵

$$W = [0.713\ 1 \quad 0.206 \quad 0.080\ 9] \\ S = [4.01 \quad 3.03 \quad 2.02]^T$$

计算得出  $B_2 = W \cdot S = 3.646\ 8$

3) 运营阶段( $B_3$ )的模糊综合判断矩阵

$$W = [0.512\ 3 \quad 0.093\ 7 \quad 0.196 \quad 0.198] \\ S = [4.1 \quad 3.87 \quad 4.11 \quad 2.98]^T$$

计算得出  $B_3 = W \cdot S = 3.858\ 5$

从图 2 中可以看出,R1 线有 9 类风险因素属于较高风险等级,其中规划预留、土建综合施工、运能、疏散能力及经营这 5 类风险等级最高。在规划、建设、运营阶段,针对这几类风险需要采取有效应对措施,以降低其安全风险影响。根据准则层各风险模糊矩阵计算结果,可以发现 R1 线在规划阶段风险属于中等风险级别,而建设、运营阶段风险属于较高风险等级。

3.2 目标决策层综合评价

将前部分计算所得准则层的权重向量  $W$ ,与目标决策层风险矩阵  $R$  进行合成运算,即  $B = W \cdot R$ 。根据目标决策层计算结果,可得目标决策层风险矩阵  $R = [2.822 \quad 3.646\ 8 \quad 3.858\ 5]^T$ ,准则层权重矩阵  $W = [0.45 \quad 0.35 \quad 0.2]$ ,计算得出  $B = W \cdot R = 3.318$ ,这说明北京地铁 R1 线风险总目标综合评价属于较高风险等级。

从整体安全风险评估结果来看,虽然 R1 线规划阶段充分考虑了各种潜在的安全风险影响因素,规避了一些风险影响,但是由于 R1 线沿线条件限制,比如需要穿越多条铁路既有有线及地铁线路,并下穿多条河流,建设施工风险很大;R1 线与地铁 1 号线具有相同交通走廊,两线客流量均非常大,运能风险较高,因此在项目规划时,该线在建设、运营阶段的潜在风险很高,则在实际建设、运营阶段,需要采取有效应对措施,比如加强前期施工方案对比优化、加强施工实时监测、使用 A 型车大编组提高运能等,以减小安全风险影响。

4 结语

结合北京市轨道交通建设工程特点,提出从规划阶段入手,充分考虑规划阶段对建设、运营阶段可能造成的风险因素,构建了贯穿项目全周期安全风险评估指标体系,实现了各阶段风险管理体系的良好衔接。利用模糊层次分析法,建立了风险因素层次递阶结构模型,并以北京市新规划 R1 线为例

(下转第 28 页)