

基于模糊层次分析方法大型桥梁工程项目风险评估

陈 军¹, 张德明¹, 蔺亚虎²

(1. 同济大学 桥梁工程系, 上海 200092; 2. 北京铁城建设监理有限责任公司, 北京 100855)

摘要:大型桥梁工程规划、施工、运营期间面临众多不确定性因素影响,初步对工程项目进行风险识别,构建大型桥梁工程项目的风险评价指标体系,在传统层次分析法中引入模糊数学理论,建立了桥梁工程项目风险模糊层次分析模型,并将此模型在一座特大桥项目中运用,验证了这种风险评估方法的有效性和实用性。

关键词:风险评估;风险评价指标体系;模糊层次分析法;模糊综合评价;桥梁工程

中图分类号:U447 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2010)03-0029-05

随着经济的快速健康发展,我国桥梁建设突飞猛进。桥梁建设规模日趋扩大,技术工艺日趋复杂,项目所处社会经济环境日益多变。大批桥梁工程相继建成的同时,工程风险事故也屡屡发生,对大型桥梁进行风险评估已是项目得以顺利进行的重要保障。由于桥梁风险客观存在及其复杂多变性,并且这些风险因素边界属性不分明,如噪音污染因素很大、较大等这些模糊的概念,导致评判体系中出现较多人为干扰因素,使得最终的评价结果失真。传统许多方法都只能单独从定性或者定量方面对风险进行分析,本文采用的模糊层次分析法(FAHP)是一种定性与定量相结合的系统方法,对于这类模糊概念能够较好的进行综合评价,在项目建设初期,缺少足够准确可靠的工程原始数据时,本方法不失为一个行之有效的风险评估方法,且该方法简单易行、容易掌握,对于多因素、多层次的复杂问题评判效果较为理想。

1 大型桥梁工程项目风险识别^[1]

桥梁工程项目的风险识别是指对桥梁工程项目建设中可能产生风险的因素所进行的细化和归类工作,按照不同的角度和阶段可以将桥梁工程项目的风险进行不同分类,一般将桥梁建设总周期风险可分为:工程场地及河势变化风险、工程地质勘察的准确度和可靠性风险、工程准备期社会风险、桥梁施工期风险、生态环境影响风险、桥梁运营期风险、桥梁建设运营期船撞风险等。

(1)工程场地及河势变化风险。新建桥梁所处河段水文气象变化和近期及将来河床演变对桥梁工程项目所产生的风险。具体的风险源有:桥址处河床冲淤变化、水位变化、流速分布变化引起的风险、岩溶地质造成钻孔灌注桩的漏浆、塌孔、岩溶地质造成钢套箱以及基坑水位降不下去、岩溶地下连通水由于降水过度流失而引起局部地表塌陷。

(2)工程地质勘察的准确度和可靠性风险。桥位处因工程地质不明朗引起的桥梁风险。具体风险源有:土体的空间变异性、试验方法的不确定性、计算公式的不确定性、土体特性参数的统计误差。

(3)工程准备期社会风险。工程项目的社会风险评价属于工程项目社会影响评价的范畴。社会评价是识别、监测和评估项目的各种社会影响,促进项目相关利益者的有效参与,优化建设实施方案,规避投资项目社会风险的重要工具和手段。工程项目社会影响评价的主要内容:社会影响分析、项目与所在地之间互适性分析、社会风险分析。

(4)桥梁施工期风险。桥梁在施工建造期间可能面临的来自各方面的风险因素。具体风险有:桥梁下部结构施工风险;主桥上部结构施工风险;引桥上部结构施工风险。

收稿日期:2009-11-27

作者简介:陈军 男 1983年出生 硕士研究生

(5)生态环境影响风险。新建桥梁必将会加大其所处地段资源的开发及两岸的土地开发强度,应该对这些潜在开发活动的累积环境影响进行系统、全面、综合的评估。具体风险分为:施工期土地的大量占用、空气环境影响、声环境影响、水环境影响;运营期空气环境影响、声环境影响、水环境影响、航运环境影响、对自然风景的影响。

(6)桥梁运营期风险。桥梁运营阶段会遇到很多不确定性因素影响而造成的风险。一般包括:恶劣天气引起的风险、环境因素引起风险、桥梁养护管理成本风险、交通事故引起风险。

(7)桥梁建设运营期船撞风险。在通航河道中,新建桥梁改变了船舶的通航条件,由于种种因素导致船舶撞击桥梁引发的风险。风险源包括:人员失误、机械故障、恶劣的自然环境等。

2 大型桥梁工程项目风险评价指标体系

桥梁工程建设属于交通基础设施建设领域,桥梁工程项目风险评价指标体系,是指在对这一系统进行风险评价过程中,根据一定的原则和要求制定的、旨在反映被评价对象的风险水平、风险严重程度等描述特征的所有标准、指标或准则的统称。

目前风险评价指标的确定方法主要有:ALARP 原则、FN 曲线、PLL 值、风险矩阵法等方法^[2]。大型桥梁工程项目建设初期,往往受到资料收集不完整或技术不成熟的限制,其风险量化一般很难,且花费的时间和精力较多。作者引进风险矩阵(Risk Matrix, RM),将决定风险的两大变量(可能性与后果)采用相对的方法,大致分成多个不同的等级,表 1 即是一个典型的的风险评价矩阵。

表 1 风险评价矩阵^[3]

风险发生概率	事故损失				
	可忽略的	需考虑的	严重的	非常严重	灾难性
$P < 0.0003$	I 级	I 级	II 级	II 级	III 级
$0.0003 \leq P < 0.003$	I 级	II 级	II 级	III 级	III 级
$0.003 \leq P < 0.03$	II 级	II 级	III 级	III 级	IV 级
$0.03 \leq P < 0.3$	II 级	III 级	III 级	IV 级	IV 级
$P \geq 0.3$	III 级	III 级	IV 级	IV 级	IV 级

本文研究采用风险评价矩阵,作为风险评价指标体系标准。

3 模糊层次分析模型

3.1 单一层次分析模型

建立模糊层次分析模型可以分以下 5 个步骤进行^[4]:

(1)确定评语集并且赋值。评语集是由各种可能做出风险评价结果组成的集合,用 V 表示

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_n) \quad (1)$$

式中, $V_n (n = 1, 2, \dots, m)$ 表示不同的风险等级,一般将桥梁工程项目风险分为 5 个等级,即 $m = 5$, $V = \{\text{高风险, 较高风险, 一般风险, 较低风险, 低风险}\}$ 。

(2)建立风险因素集。因素集是评价指标集,用 U 表示

$$U = (U_1, U_2, \dots, U_n) \quad (2)$$

式中, $U_n (n = 1, 2, \dots, m)$ 表示评价指标, m 为评价指标的个数。

(3)建立模糊关系矩阵,即建立从 U 到 V 的模糊关系 R ,对单因素进行评价。首先让每位专家对第 j 方案的第 i 指标给出评价,再计算 r_{ij}

$$r_{ij} = N_{ij} / \sum M \quad (3)$$

式中, r_{ij} 表示第 j 方案的第 i 指标相应的权重; N_{ij} 表示把第 j 方案的第 i 指标归为同一风险档次的专家人数; $\sum N$ 表示专家的总数。

由式(3)得出模糊关系矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2j} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{ij} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(4)建立权重集。风险评价中,权重确定对风险评价的结果影响很大,相同的风险因素,如果取不同的权重,那么最终的评判结果将会不一样,权重一般根据具体的问题主观确定,本文采用模糊层次分析法确定各指标权重,即

$$A = (a_1, a_2, \cdots, a_n) \quad (5)$$

式中, $a_1, a_2, \cdots, a_n$ 分别为对应评价指标 $U_1, U_2, \cdots, U_n$ 的权重。

(5)模糊综合评判。采用模糊综合算法进行模糊层次分析,考虑多因素下的权重分配,则模糊层次分析模型为

$$B = A \times R \quad (6)$$

$$B = (a_1, a_2, \cdots, a_n) \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \cdots, b_m) \quad (7)$$

b_i 的计算方法有两种,加权平均法和主要因素突出型。

加权平均法。按普通矩阵乘法的形式来运算,即

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \quad (8)$$

式中, $j = 1, 2, \cdots, m$, 且 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ 。

主要因素决定型。按最大—最小法则来算,即

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \quad (j = 1, 2, \cdots, m) \quad (9a)$$

$$\text{也就是} \quad b_j = \max \{ \min(a_1, r_{1j}), \min(a_2, r_{2j}), \cdots, \min(a_n, r_{nj}) \} \quad (9b)$$

将结果 B 作归一化处理,即

$$b_j' = b_j / \sum_{j=1}^m b_j \quad (j = 1, 2, \cdots, m) \quad (10)$$

3.2 多层次分析模型

在实际复杂的系统中,需要考虑的因素很多,因素还需要划分若干层次,形成评判树状结构,对各层次的因素划分评价等级,各层次划分的评判等级数目应相同,上一层次与下一层次的评判等级要有单一的对对应关系,以便数学处理运算,并确定各因素的隶属函数,求的各层次的模糊矩阵。评判顺序为:首先进行最低层次的模糊综合评判,然后由最低层次的评判结果构成上一层次的模糊矩阵,再进行上一层次的模糊综合,按照此方法自底而上逐层进行模糊综合评判,可得到系统总体的综合评价结果。具体实施步骤是:

(1)把因素集 U 分为几个子集,记 $U = \{U_1, U_2, \cdots, U_n\}$ ($i = 1, 2, \cdots, n$), 其中 U_i 中有 k_i 个因素, U 中有 $\sum_{i=1}^n k_i$ 个因素。

(2)对每个 U_i 的 k_i 个因素进行综合评判。设 U_i 的各因素权重分配为 A_i , U_i 的模糊评判矩阵为 R_i 则由单一层次分析模型得到 $B_i = A_i \cdot R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \cdots, b_{im})$ ($i = 1, 2, \cdots, n$)。

(3) $U = \{U_1, U_2, \cdots, U_n\}$ 中 U_i 的综合评判结果 B_i 看作是 U 中的几个单因素评判,设新权重分配为 A , 则总的模糊评判矩阵为

$$R = [B_1 \quad B_2 \quad \cdots \quad B_n]^T = (b_{ij})_{n \times m} \quad (11)$$

则经过模糊合成运算 $B_i = A_i \cdot R_i$, 它既是 $U_1, U_2, \dots, U_n$ 综合评判结果, 也是 U 中所有因素的综合评判结果。系统总的评判结果为

$$B = A \cdot R = (A_1, A_2, \dots, A_n) \cdot [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_n]^T \quad (12)$$

将评价结果 B 进行具体量化, 作为最终的风险评价数值, 用 W 表示

$$W = B \times V^T \quad (13)$$

最终的评价结果 W 值的大小说明了工程项目风险程度的高低, 一般将 $0 \sim 0.2$ 化为 1 级, $0.2 \sim 0.4$ 化为 2 级, $0.4 \sim 0.6$ 化为 3 级, $0.6 \sim 0.8$ 化为 4 级, $0.8 \sim 1.0$ 化为 5 级。计算出风险值, 查《公路桥隧工程安全风险估文件汇编》安全风险水平等级矩阵表, 可以得出工程安全风险水平等级, 不同等级的安全风险需采用不同的安全风险控制对策与处置措施。

4 桥梁工程项目风险评价实例验证

规划武汉市某跨江大桥, 采用城市桥梁一级设计标准, 设计时速为 60 km/h, 双向八车道, 最大纵坡, 一般不超过 4.5%, 困难条件下不超过 5%; 道路最小平曲线半径, 不设超高最小半径为 600 m, 不设缓和曲线最小半径为 1 000 m; 竖曲线最小半径, 凸形竖曲线最小半径为 1 800 m, 凹形竖曲线最小半径为 1 500 m; 地震基本烈度, 基本烈度为 VI 度, 设计地震加速度峰值为 0.05g, 设防烈度为 VII 度。

大型桥梁工程建设风险涉及到很多的方面, 是个多层次复杂的综合问题, 本文采用模糊层次分析方法对其风险大小进行评价, 项目工程可行性阶段, 由于缺少足够类似工程经验, 我们采用专家调查的方式来对工程可能面临的风险进行定性判别, 然后根据专家打分比例确定风险因素隶属度大小。专家范围集中在桥梁工程领域方面的具有副高及其以上职称的学者, 专家人数为 30 人。

本案例以桥梁主桥上部结构为研究对象, 对其施工期风险进行模糊综合评估。

(1) 确定评语集并赋值。评语集为 $V = (V_1, V_2, V_3, V_4, V_5) = \{\text{高风险, 较高风险, 一般风险, 较低风险, 低风险}\} = (0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1)$ 。

(2) 确定因素集。因素集为 $U = (U_1, U_2, U_3, U_4) = \{\text{多塔悬索桥施工质量, 多塔悬索桥施工线形, 多塔悬索桥施工方法的可行性, 多塔悬索桥施工安全性}\}$ 。子因素集为 $U_1 = (U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16}) = \{\text{锚碇施工质量, 主塔施工质量, 主缆施工质量, 吊索施工质量, 加劲梁施工质量, 桥面铺装施工质量}\}$; $U_2 = (U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25}, U_{26}) = \{\text{锚碇沉降, 主塔塔身施工线形, 主缆索股施工线形, 吊索施工线形, 加劲梁施工线形}\}$; $U_3 = (U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}, U_{35}, U_{36}) = \{\text{锚碇施工方法, 主塔施工方法, 主缆索股架设方法, 吊索施工方法, 加劲梁吊装方法, 桥面铺装施工工艺}\}$; $U_4 = (U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44}, U_{45}, U_{46}) = \{\text{锚碇施工安全性, 主塔施工安全性, 主缆施工安全性, 吊索施工安全性, 加劲梁施工安全性, 桥面铺装施工安全性}\}$ 。

(3) 确定指标权重。运用模糊层次分析法确定中间层各因素相对于目标层权重, 计算结果 $A_0 = [A_1 \ A_2 \ A_3 \ A_4] = (0.147 \ 8 \ 0.284 \ 1 \ 0.352 \ 2 \ 0.215 \ 9)$, 其中 A_1, A_2, A_3, A_4 分别为 U_1, U_2, U_3, U_4 的相对权重。

同样运用模糊层次分析方法得到指标层各元素相对于中间层指标的权重

$A_1 = (0.181 \ 4 \ 0.210 \ 8 \ 0.181 \ 4 \ 0.122 \ 5 \ 0.210 \ 8 \ 0.093 \ 1), A_2 = (0.287 \ 4 \ 0.2 \ 0.243 \ 7 \ 0.112 \ 6 \ 0.156 \ 3), A_3 = (0.226 \ 6 \ 0.226 \ 6 \ 0.151 \ 7 \ 0.091 \ 7 \ 0.151 \ 7 \ 0.151 \ 7), A_4 = (0.212 \ 3 \ 0.242 \ 7 \ 0.181 \ 9 \ 0.090 \ 7 \ 0.151 \ 5 \ 0.121 \ 1)$ 。

(4) 模糊层次综合评价。根据所建立的层次分析模型, 计算各因素集的一级评价模型, 根据式(6), 计算得出 $B_1 = [0.180 \ 9 \ 0.210 \ 2 \ 0.199 \ 4 \ 0.210 \ 2 \ 0.199 \ 4], B_2 = [0.200 \ 5 \ 0.218 \ 7 \ 0.261 \ 9 \ 0.182 \ 2 \ 0.136 \ 7], B_3 = [0.221 \ 0 \ 0.250 \ 4 \ 0.250 \ 4 \ 0.167 \ 6 \ 0.110 \ 5], B_4 = [0.257 \ 2 \ 0.283 \ 7 \ 0.283 \ 7 \ 0.116 \ 9 \ 0.058 \ 0]$ 。

在一级评价模型的基础上, 根据各因素集的权重, 计算主桥上部结构施工风险总的评价模型 $B = A \cdot R = [0.147 \ 8 \ 0.284 \ 1 \ 0.352 \ 2 \ 0.215 \ 9] \{B_1 \ B_2 \ B_3 \ B_4\}^T = [0.217 \ 1 \ 0.242 \ 6 \ 0.253 \ 3 \ 0.167 \ 1 \ 0.119 \ 8]$ 。

(5) 风险评价结果。按照评价集等级划分表,取各自区间范围的中间值对评价集 $V = (V_1, V_2, V_3, V_4, V_5) = \{\text{高风险, 较高风险, 一般风险, 较低风险, 低风险}\}$ 进行赋值, 计算得到主桥上部结构施工风险损失的综合评判 $P = V \cdot B^T = [0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9][0.217\ 1\ 0.242\ 6\ 0.253\ 3\ 0.167\ 1\ 0.119\ 8]^T = 0.446\ 0$ 。

由最终计算结果 $P = 0.446\ 0$ 可知,主桥上部结构总体风险介于 $0.4 \sim 0.6$ 之间,说明该项目风险程度为中度风险。通过模糊层次分析方法也计算得出各个风险因素权重的大小,对于权重影响较大的因素,管理人员可以重点防控,对于影响较小的因素,可以忽略不计,减少风险防控的成本。

5 结语

将模糊层次分析方法引入大型桥梁工程项目风险评估中,建立了模糊层次分析模型,该方法具有如下优点:

(1) 在项目建设初期,缺少足够可靠的原始数据和行之有效的施工方案时,通过专家调查表的方式,识别出项目可能遇到的风险因素,具有操作上的可行性和工程上的实用性;

(2) 该方法综合了模糊数学理论和层次分析法,是一种半定性半定量分析方法,克服了单纯定量方法计算量大,定性方法主观影响大,使主观的评估与客观规律尽量一致;

(3) 引进的模糊理论,能够很好的处理事物边界的不分明性,克服了传统分析方法对模糊边界不精确的判断所造成的误差影响。

这套方法在大型桥梁工程项目建设之初项目风险评估有其良好的适用性,但是各个平行影响因素之间的相互关联耦合还可以做进一步研究分析。

参 考 文 献

- [1] 同济大学. 武汉鹦鹉洲长江大桥风险分析研究总报告[R]. 上海:同济大学桥梁工程系, 2008.
- [2] 巩春领. 大跨度斜拉桥施工风险分析与对策研究[D]. 上海:同济大学土木工程学院, 2006.
- [3] 交通运输部办公厅. 公路桥隧工程安全风险评文件汇编[G]. 北京:中华人民共和国交通运输部, 2009.
- [4] 陈赞, 吴竹青, 刘君健. 基于模糊层次分析法的公路工程项目风险评价[J]. 长沙交通学院学报, 2008, 24(3): 44-48.
- [5] 冯伟林, 赖明勇. 高速公路经营主体行为风险综合评价[J]. 工业技术经济, 2006, 25(4): 88-90.
- [6] 张杰. 大跨度桥梁施工期风险分析方法研究[D]. 上海:同济大学土木工程学院, 2008.
- [7] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [8] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社, 1988.
- [9] 刘英富. 桥梁施工风险评估方法研究[D]. 西安:长安大学公路学院, 2005.

Risk Evaluation of Large Bridge Project Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Chen Jun¹, Zhang Deming¹, Lin Yahu²

(1. Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Beijing Railway Construction Management Corporation Limited, Beijing 100855, China)

Abstract: There are a number of uncertainties during the period of planning, construction and operation of large-scale bridge project. In this paper, project risks are preliminary identified, and large-scale bridge project risk evaluation index system is established. Fuzzy mathematics theory is applied in the traditional AHP, and fuzzy AHP risk analysis model of bridge engineering project is established for a bridge project to verify the validity and practicability of this risk assessment method.

Key words: risk assessment; risk evaluation index system; fuzzy analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation; bridge engineering