

基于模糊综合评判法的桥梁监管评价体系研究

谭长建

(上海建科院上海市工程结构新技术重点实验室, 上海 200023)

摘要:桥梁监管是一项较为复杂的综合性工作,其影响因素十分复杂。桥梁监管评价过程中存在大量的随机性和模糊性,很难找出多为状态函数之间的函数映射关系。对这样复杂的非线性大系统问题,采用模糊数学方法,把定性描述转化为定量的数学语言,对桥梁的监管系统的各个因素进行全面综合评判,建立合理的评价体系,为桥梁施工过程的安全管理和事故防治提供了依据。

关键词:桥梁监管;模糊综合评判法;层次分析法;评价指标;三级评判

中图分类号:U442

文献标识码:A

引言

桥梁监管是一项较为复杂的综合性工作,其影响因素十分复杂,对桥梁监管系统的综合评价是加强桥梁施工和安全管理的重要研究内容。

常用的系统评价方法有模糊综合评判法、层次分析法等。模糊综合评判法在进行系统安全评价时,使用的评语常带有模糊性,影响各指标的权重具有举足轻重的地位,但是模糊评价中各因素的权重通常是专家根据经验给出,难免带有主观性,影响了评判的结果。层次分析法是一种定量和定性相结合,将人的主观判断用数量形式表达和处理的方法,尽量减少个人主观臆断所带来的弊端,使评价结果更可信^[1]。目前,该方法已从最初应用到经济管理拓展到工程科学、生命科学和教学管理等领域^[2-6]。

本文将结合层次分析法和模糊综合评判法,建立桥梁监管系统的综合评价体系。该评价体系能够较全面地考虑桥梁监管中的各种影响因素,方法简单,层次分明,易于程序化,可作为桥梁施工过程中的安全管理和事故防治提供依据。

1 模糊综合评判法

1.1 层次分析法

在模糊综合评判过程中,对一个复杂问题的思维、

判断、决策过程大体一致,通常决策者会关注主要影响因素(一级指标)的权重,然后再比较各个主要因素中的次要因素(二级指标)的权重,最后,将两个层次的比较判断综合,最终做出决策。这就必须用到层次分析法,即 AHP 法。该方法一般分为四个步骤:

(1) 建立层次结构模型

最上层为目标层,通常只有 1 个因素,最下层通常为方案或对象层,中间可以有一个或几个层次,通常为准则或指标层。

(2) 构造对比矩阵

从层次结构模型的第 2 层开始,对于从属于(或影响)上一层每个因素的同一层诸因素,用判断法和 1-9 比较尺度构造判断阵,直到最下层。比较第 i 个元素与第 j 个元素相对上一层某个因素的重要性时,使用数量化的相对权重 a_{ij} 来描述。设共有 n 个元素参与比较,则 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 称为判断矩阵。

(3) 计算权向量并做一致性检验

对于每一个判断阵计算最大特征根及对应特征向量,利用一致性指标、随机一致性指标和一致性比率做一致性检验。若检验通过,特征向量(归一化后)即为权向量;若不通过,需重新构造判断阵。

(4) 计算组合权向量并做组合一致性检验

计算最下层对目标的组合权向量,并根据公式做组

收稿日期:2012-04-18

作者简介:谭长建(1979-),男,山东苍山人,工程师,博士,主要从事桥梁结构动力学及结构评价体系方面的研究,(E-mail) tan-changjian1979@163.com

合一致性检验,若检验通过,则可按照组合权向量表示的结果进行决策,否则需要重新考虑模型或重新构造那些一致性比率较大的判断阵。

1.2 模糊综合评判法

(1) 确定因素(指标)集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 被评判的对象由各因素组成的集合;

(2) 确定评判(评语)集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$;

(3) 进行单因素判读,得到隶属度向量 $r_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$, 形成评判矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} = (r_{ij})_{n \times m} \quad (1)$$

R 中行表示评价模型中的影响因素,列为评语集中的元素;

(4) 确定因素集权重向量,对评判集可数值化或归一化;

(5) 计算综合评判(综合隶属度向量):对于权重 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, 计算:

$$B = A \circ R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (2)$$

(6) 根据最大隶属度原则做出评判,或计算综合评判值:

$$b_{\max} = \max(b_i), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

最大隶属度法仅考虑了最大评判指标 b_{\max} 的贡献,而加权平均法则考虑了所有的评判指标的贡献。

2 基于模糊综合评判法的桥梁监管评估体系

2.1 建立评判对象因素集

桥梁监管系统涉及的因素众多,为避免单极评价的缺点而又不至于过于复杂,这里建立三级模糊评判法进行模糊综合评判。评价指标体系结构包括1个目标层,6个一级评价指标,21个二级评价指标,20个三级评价指标。总评价因素包括人员、机械、材料、工法、环境、质量检查和反馈,依此可建立总评价因素集:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\} \\ = \{\text{人员, 机械, 材料, 工法, 环境, 质量检查和反馈}\}$$

进而建立人员评价因素集:

$$U_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}\} \\ = \{\text{施工单位, 设计单位, 监理单位, 监控单位}\}$$

$$U_{11} = \{u_{111}, u_{112}, u_{113}\} \\ = \{\text{项目经理, 总工程师, 技术人员}\}$$

$$U_{12} = \{u_{121}, u_{122}, u_{123}\} = \{\text{项目负责人, 设计代表}\}$$

$$U_{13} = \{u_{131}, u_{132}, u_{133}\} \\ = \{\text{总监理工程师, 监理工程师, 监理员}\}$$

$$U_{14} = \{u_{141}, u_{142}, u_{143}\} \\ = \{\text{项目负责人, 技术负责人, 监控技术人员}\}$$

建立机械评价因素集:

$$U_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}\} \\ = \{\text{主要机械, 次要机械, 机械定期标定}\}$$

建立材料评价因素集:

$$U_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\} \\ = \{\text{混凝土, 预应力筋, 产品检验证明}\}$$

建立工法评价因素集:

$$U_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}, u_{44}\} \\ = \{\text{施工单位, 设计单位, 监理单位, 监控单位}\}$$

$$U_{41} = \{u_{411}, u_{412}, u_{413}\} \\ = \{\text{上部结构, 下部结构, 预应力张拉}\}$$

$$U_{43} = \{u_{431}, u_{432}, u_{433}\} \\ = \{\text{上部结构, 下部结构, 预应力张拉}\}$$

$$U_{44} = \{u_{441}, u_{442}, u_{443}\} \\ = \{\text{应力监控, 线形监控, 温度监控}\}$$

建立环境评价因素集:

$$U_5 = \{u_{51}, u_{52}\} = \{\text{自然环境因素, 安全设备措施}\}$$

建立质量检查和反馈评价因素集:

$$U_6 = \{u_{61}, u_{62}, u_{63}, u_{64}\} \\ = \{\text{施工单位, 设计单位, 监理单位, 质检部门}\}$$

2.2 桥梁监管系统评语集

确定评语集合 $V = \{\text{优秀, 良好, 中等, 不合格}\}$

经专家讨论确定 100 ~ 90 分为优秀, 89 ~ 75 为良好, 74 ~ 60 为中等, 59 ~ 0 为不合格。

利用中值归一法获得相应等级的分值向量:

$$H = (h_1, h_2, h_3, h_4) = \{95, 82, 67, 29.5\} \quad (4)$$

用每个等级的平均值来代表该等级比较符合实际,误差较小,由于最高分只能达到 95 分,可进行归一化:

$$H = \{100, 86, 71, 31\} \quad (5)$$

2.3 评价指标及权重的确定

根据专家讨论和相关参考文献,桥梁监管系统的一级评价指标为人员,机械,材料,工法,环境,质量检查和反馈。将 6 个因素两两进行比较,得到各个指标的分值:

由表 1 可得评判矩阵 U :

表 1 一级指标评判矩阵

指标	人员	机械	材料	工法	环境	质量检查和反馈
人员	1	5	5	3	7	5
机械	1/5	1	1	1/3	3	1
材料	1/5	1	1	1/3	3	1
工法	1/3	3	3	1	5	3
环境	1/7	1/3	1/3	1/5	1	1/3
质量检查和反馈	1/5	1	1	1/3	3	1
精度指标	$\lambda_{max} = 5.07, CI = 0.025, RI = 1.26, CR = 0.02 < 0.1$					

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 5 & 3 & 7 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1/3 & 3 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1/3 & 3 & 1 \\ 1/3 & 3 & 3 & 1 & 5 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1/3 & 3 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

方程(4)的最大特征值对应的特征向量为:

$$U = (0.456, 0.092, 0.092, 0.229, 0.039, 0.092)^T \quad (7)$$

计算判断矩阵偏离的一致性指标 ($n = 6$):

$$CI = \frac{\lambda_{max}(U) - n}{n - 1} = \frac{6.1247 - 6}{6 - 1} = 0.025 \quad (8)$$

其中, $\lambda_{max}(A)$ 是矩阵 U 的最大特征值, n 为矩阵 U 的维数。

通过查表可得 $RI = 1.26$, 计算随机一致性比率:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.025}{1.26} = 0.02 < 0.1 \quad (9)$$

评判矩阵满足精度要求, 即评判矩阵 U 的一致性合理的。

按照建立的评价因素集, 依次对二级指标和三级指标计算权重系数, 最终结果见表 2。

2.4C 模糊综合评判矩阵的建立

为了建立评判矩阵, 模拟邀请 10 位相关专家, 对三级指标分别进行单因素评价, 形成评价表, 见表 3。

将所有评价结果进行汇总后见表 4。

将各项评判专家个数除以专家总人数即得对应于施工单位的模糊综合评判矩阵:

$$R_{11} = \begin{pmatrix} R_{111} \\ R_{112} \\ R_{113} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

依次方法得到其它因素的模糊综合评判矩阵:

$$R_{12} = \begin{pmatrix} R_{121} \\ R_{122} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

表 2 桥梁监管系统各项指标权重系数汇总

评价目标	一级指标层权重	二级指标层权重	三级指标层权重
桥梁 监管 系统	U_1	0.456	U_{111} 0.188
			U_{112} 0.731
			U_{113} 0.081
			U_{121} 0.667
			U_{122} 0.333
			U_{131} 0.637
	U_2	0.092	U_{132} 0.258
			U_{133} 0.105
			U_{141} 0.429
			U_{142} 0.142
			U_{143} 0.429
			U_{21} 0.714
	U_3	0.092	U_{22} 0.143
			U_{23} 0.143
U_{31} 0.25			
U_{32} 0.25			
U_{33} 0.25			
U_{34} 0.25			
U_4	0.229	U_{411} 0.333	
		U_{412} 0.333	
		U_{413} 0.333	
		U_{42} 0.095	
		U_{431} 0.333	
		U_{432} 0.333	
U_5	0.039	U_{433} 0.333	
		U_{441} 0.333	
		U_{442} 0.333	
		U_{443} 0.333	
		U_{51} 0.125	
		U_{52} 0.875	
U_6	0.092	U_{61} 0.067	
		U_{62} 0.067	
		U_{63} 0.283	
		U_{64} 0.583	
		U_{65} 0.067	
		U_{66} 0.067	

$$R_{13} = \begin{pmatrix} R_{131} \\ R_{132} \\ R_{133} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$R_{14} = \begin{pmatrix} R_{141} \\ R_{142} \\ R_{143} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$R_{41} = \begin{pmatrix} R_{411} \\ R_{412} \\ R_{413} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$R_{43} = \begin{pmatrix} R_{431} \\ R_{432} \\ R_{433} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$R_{44} = \begin{pmatrix} R_{441} \\ R_{442} \\ R_{443} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

表3 三级指标施工单位(人员)评价表

目/等级	优秀	良好	中等	较差
项目经理	√			
总工程师	√			
技术人员	√			

表4 三级指标施工单位(人员)评价汇总表

项目/等级	优秀	良好	中等	较差
项目经理	9	1		
总工程师	9	1		
技术人员	9	1		
专家总人数	10			

与三级指标评价类似,建立表格由专家进行二级指标评价。需要说明的是有三级指标的,不需要进行二级指标评价,三级指标将通过模糊评估生成相应的模糊综合评判矩阵:

$$R_2 = \begin{pmatrix} R_{21} \\ R_{22} \\ R_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} R_{31} \\ R_{32} \\ R_{33} \\ R_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$R_5 = \begin{pmatrix} R_{51} \\ R_{52} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$R_6 = \begin{pmatrix} R_{61} \\ R_{62} \\ R_{63} \\ R_{64} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

通过 $B_{ij} = U_{ij} \circ R_{ij}$ 计算人员和工法的模糊关系矩阵 R_1 和 R_4 :

$$R_1 = \begin{pmatrix} B_{11} \\ B_{12} \\ B_{13} \\ B_{14} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.785 & 0.215 & 0 & 0 \\ 0.943 & 0.057 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$R_4 = \begin{pmatrix} B_{41} \\ B_{42} \\ B_{43} \\ B_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.932 & 0.068 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (22)$$

利用公式 $B_j = U_j \circ R_j$ 对人员、机械、材料、工法、环境、质量检查和反馈进行二级模糊评估可得:

$$R = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.915 & 0.085 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.95 & 0.05 & 0 & 0 \\ 0.937 & 0.063 & 0 & 0 \\ 0.513 & 0.461 & 0.013 & 0.013 \\ 0.891 & 0.109 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (23)$$

2.5 评判结果

利用一级指标权重和模糊关系矩阵 R 进行综合评估:

$$B = U \circ R = (0.895 \quad 0.104 \quad 0.0005 \quad 0.0005) \quad (24)$$

根据最大隶属原则,最大值 $b_{max} = \max(b_i) = 0.895$ 位于第一列,对应的评判结果为优秀。

将二级评判结果视为权重向量,按照加权平均法,综合评价结果为:

$$M = B \circ H^T = (0.895 \quad 0.104 \quad 0.0005 \quad 0.0005) \begin{pmatrix} 100 \\ 86 \\ 71 \\ 31 \end{pmatrix} = 98.5 \quad (25)$$

根据方程(5)可知对应的评判结果为优秀。

最大隶属度法仅考虑了最大评判指标的贡献,综合评判法则考虑了所有评价指标的贡献。因此,取后者的结果更为合理。因此,该桥梁建设资质评估结果可定为优秀。

3 结束语

桥梁监管是一项较为复杂的综合性工作,其影响因素十分复杂。采用模糊数学方法,建立了桥梁监管的模糊综合评价系统。该系统可全面考虑桥梁监管系统中的各种影响因素,将定性的主观评测和数学定量分析合理地结合起来,既能够充分体现评价因素和评价过程的模糊性,又能够最大程度上减少专家个人主观性所带来的弊端,能够更好地对桥梁的监管系统的各个因素进行全面综合评判,建立合理的评价体系,为桥梁施工过程的安全管理和事故防治提供依据。

参考文献:

- [1] 郭社锋,高德彬,敬麒麟.模糊综合评判法在西部地区高速公路施工现场安全评判中的应用[J].中国安全生产科学技术,2011,7(6):43-48.
- [2] 宇霞.基于模糊综合评判法的建筑质量与经济效益评价研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2003.
- [3] 贺颖.基于模糊综合评判理论的天然气输气管道的环境风险评价[D].成都:西南交通大学,2006.
- [4] 张晓平.模糊综合评判理论与应用研究进展[J].山东建筑工程学院学报[J].2003,18(4):90-93.
- [5] 武喜.基于模糊综合评价法的公路路线方案比选[J].四川理工学院学报:自然科学版,2011,24(4):376-379.
- [6] 李海凌,刘克剑,李芊.模糊综合评价在工程项目风险评价中的应用研究[J].西华大学学报:自然科学版,2005,24(6):78-80.

Study on Appraisal System for Bridge Supervision Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

TAN Chang-jian

(Shanghai Key Laboratory of New Technology Research on Engineering Structure, SRIBS, Shanghai 200032, China)

Abstract: Bridge supervision is a complex and comprehensive task, which has very complex influencing factors. It is difficult to find a function mapping relation among multi-dimensional functions due to a large amount of randomness and fuzziness occurring during the process of bridge supervision assessment. For so complex and nonlinear large scale system issue, a reasonable evaluation system is established to evaluate comprehensively each factor of bridge supervision system by the fuzzy mathematics method transferring qualitative description to quantitative mathematics language. This model can provide a general reference for the safety management and accident prevention of bridge construction.

Key words: bridge supervision; fuzzy comprehensive evaluation method; analytic hierarchy process; evaluation index; three-level evaluation