

丁加亮, 李松长, 喻鲲鹏, 等. 基于多级模糊综合理论的桥梁抗震安全性评价[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 22-24. [Ding Jialiang, Li Songchang, Yu Kunpeng, et al. Anti-seismic Assessment for Bridge Based on Multi-level Fuzzy Comprehensive Evaluation [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 22-24.]

基于多级模糊综合理论的桥梁抗震安全性评价^{*}

丁加亮, 李松长, 喻鲲鹏, 张海行

(中铁隧道集团三处有限公司, 广东 深圳 518000)

摘 要:在对影响桥梁抗震性能的因素进行分析的基础上, 选取了26项对桥梁抗震安全性影响较大的子因素作为评价指标, 从桥梁结构、基坑设计、维修养护、抗震设备和场地条件等5个方面, 建立了桥梁抗震多级模糊综合评价体系, 并对广州市某一特大桥抗震安全性的进行了分析。结果表明, 多级模糊综合理论评价方法的计算结果与实际桥梁服役情况相符合, 维修养护是此桥梁抗震安全性的薄弱环节, 多级模糊综合理论的评价方法为建筑及其他工程抗震防灾方面的提供参考和借鉴。

关键词:桥梁; 权重; 模糊评判; 抗震

中图分类号: U446.3; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)01-0022-03

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.01.005

随着我国交通运输事业的快速发展, 桥梁的建设取也取得了举世瞩目的成就, 截至2013年年底, 我国公路桥梁总量为731 021座, 共计39 106 440 m。随着地震灾害的频繁发生, 尤其是汶川8.0级地震使许多桥梁受到严重破坏。

已有许多学者对桥梁抗震安全性评价做了一些研究, 马亚丽^[1]等人采用多级模糊综合评判的方法建立了桥梁的健康评判模型, 分析了健康状况; 杨则英^[2]等人采用模糊综合评判和层次分析法建立了桥梁安全性评价模型, 分析桥梁的安全状况。刘沐宇^[3]等人采用多级模糊综合评价方法分析了桥梁生命周期环境影响; 孙颖^[4]等人采用模糊层次分析法建立震害评估模型, 预测在地震作用下桥梁可能出现的破坏情况。杨伟军^[5]等人采用云理论模型分析了桥梁施工安全风险; 陈江^[6-8], 张彬^[9]等人采用模糊数学综合评价的方法分析了山岭隧道抗震安全性, 并得出影响山岭隧道抗震的重要因素。本文通过建立多级模糊综合评判模型, 确定权重和隶属度, 从而得出一般桥梁抗震性能的评价方法, 并采用某桥梁实例的评价来加以说明。

1 建立综合评价体系

我国对桥梁制定了相关的抗震防灾规范, 依据《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/TB02-01-

2008), 针对全国各地地震发生、分布的特点, 运用模糊综合评价的方法, 从抗震设计、抗震设备、场地条件、桥梁结构和维修养护等5个方面对广州市某特大桥抗震安全性进行了定性评价^[6-8], 如表1所示。

1.1 建立影响因素集

将影响桥梁抗震安全性状况的各因素用因素集 A 表述, A 中因素按其不同性质划分为5类, 即 A 中有5个子集:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_5\}。 \quad (1)$$

设每个子集包括 n 个因素, 在本文的评判中, 因素集取为 $A = \{\text{抗震设计、抗震设备、场地条件、桥梁结构、维修养护}\}$, 建立因素集及其子集 A_n 的基本模型见表1^[8-9]。

1.2 评判集的建立

根据现场实际情况和借鉴国内外相关规范的规定, 把桥梁抗震安全性分为非常安全、安全、一般、较危险和危险5个等级, 向量表示为 $V = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$, 桥梁抗震安全性等级“非常安全”的得分范围为 $[100, 90]$, 等级“安全”的得分范围为 $(90, 75]$, 等级“一般”的得分范围为 $(75, 65]$, 等级“较危险”的得分范围为 $(65, 50]$, 等级“危险”的得分范围为 <50 ^[8-9]。

1.3 评价权重和隶属度的确定

采用模糊统计方法进行隶属度 r_{nm} 的确定。统计计算结果可表示为:

* 收稿日期: 2015-07-03

修回日期: 2015-09-07

基金项目: 中国中铁股份有限公司科技开发计划项目(2012-19)

作者简介: 丁加亮(1983-), 男, 江苏淮安人, 高级工程师, 主要从事土木工程方面的施工与管理工作。

E-mail: 981750161@qq.com

表1 广州市某桥梁抗震性能评价因素和处理结果

第1级		第2级						
因素	权重	子因素	权重	隶属度				
				很好	较好	中等	较差	很差
抗震设计	0.27	地震监控系统设计	0.45	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1
		给排水系统设计	0.23	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
		防灾报警系统设计	0.32	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1
抗震设备	0.16	地震监测设备	0.28	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2
		防灾报警设备	0.23	0.2	0.2	0.4	0.2	0.0
		给排水设备	0.16	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2
		地震救助设备	0.19	0.1	0.3	0.4	0.1	0.1
		应急照明设备	0.14	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3
场地条件	0.18	地形地貌	0.12	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2
		地层岩性	0.23	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2
		地基冲刷	0.24	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2
		风载作用	0.14	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3
		地震烈度	0.27	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1
桥梁结构	0.25	单跨跨径	0.13	0.3	0.2	0.3	0.2	0.0
		最大跨长比	0.08	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3
		桥梁线型	0.06	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1
		跨数	0.09	0.0	0.3	0.3	0.2	0.2
		结构体系	0.15	0.5	0.2	0.2	0.0	0.1
		伸缩缝	0.08	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2
		桥墩类型	0.10	0.2	0.3	0.2	0.3	0.0
		墩高	0.12	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1
		桥墩长细比	0.19	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1
维修养护	0.14	养护人员防震技能	0.27	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1
		规章制度	0.23	0.2	0.3	0.1	0.1	0.3
		地震疏散预案	0.21	0.1	0.4	0.2	0.1	0.2
		桥梁施工质量	0.29	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1

$$S_j = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

子因素权重系数和因素权重系数 A 由专家调查法进行确定。

1.4 多级模糊综合评判模型的建立

建立桥梁抗震安全性评价的数学计算模型^[9]:

$$B = A \cdot R = A \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \cdot S_1 \\ A_2 \cdot S_2 \\ A_3 \cdot S_3 \\ A_4 \cdot S_4 \\ A_5 \cdot S_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

最后根据桥梁抗震安全性等级 V 计算得出的总分为:

$$C = V \cdot B^T \quad (4)$$

2 实例评价

为了对桥梁的抗震安全性进行定量评价,本文对广州市某特大桥从抗震设计、抗震设备、场地条件、桥梁结构和维修养护等5个方面26子因素进行计算和分析。通过对桥梁方面相关专家和桥梁设计人员的统计分析处理,确定本实例的隶属度和权重系数。

$$A_1 = (0.45, 0.23, 0.32);$$

$$A_2 = (0.28, 0.23, 0.16, 0.19, 0.14);$$

$$A_3 = (0.12, 0.23, 0.24, 0.14, 0.27);$$

$$A_4 = (0.13, 0.08, 0.06, 0.09, 0.15, 0.08, 0.10);$$

$$A_5 = (0.27, 0.23, 0.21, 0.29);$$

$$A = (0.27, 0.16, 0.18, 0.25, 0.14);$$

$$S_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.1 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$S_3 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.2 \\ 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.3 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$S_4 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.3 \\ 0.2 & 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.0 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.0 & 0.1 \\ 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$S_5 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.3 \\ 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}。$$

一级模糊综合评价结果为:

表 2 桥梁抗震安全性评判标准划分

分数	[100, 90]	(90, 75]	(75, 65]	(65, 50]	<50
桥梁抗震安全性评价	非常安全	安全	一般	较危险	危险

表 3 广州市某桥梁抗震安全性评价的一级模糊综合评价计算结果

项目	权重	矩阵					分数
		非常安全	安全	一般	较危险	危险	
抗震设计	0.27	0.209	0.213	0.268	0.187	0.123	81.475
抗震设备	0.16	0.179	0.221	0.268	0.183	0.149	77.235
场地条件	0.18	0.237	0.153	0.253	0.170	0.187	79.845
桥梁结构	0.25	0.201	0.209	0.284	0.196	0.110	78.450
维修养护	0.14	0.179	0.265	0.289	0.077	0.167	73.780

$$B_1 = A_1 \cdot S_1 = (0.209, 0.213, 0.268, 0.187, 0.123);$$

$$B_2 = A_2 \cdot S_2 = (0.179, 0.221, 0.268, 0.183, 0.149);$$

$$B_3 = A_3 \cdot S_3 = (0.237, 0.153, 0.253, 0.170, 0.187);$$

$$B_4 = A_4 \cdot S_4 = (0.201, 0.209, 0.284, 0.196, 0.110);$$

$$B_5 = A_5 \cdot S_5 = (0.179, 0.265, 0.289, 0.077, 0.167)。$$

一级模糊综合评价矩阵可以表示为:

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.209 & 0.213 & 0.268 & 0.187 & 0.123 \\ 0.179 & 0.221 & 0.268 & 0.183 & 0.149 \\ 0.237 & 0.153 & 0.253 & 0.170 & 0.187 \\ 0.201 & 0.209 & 0.284 & 0.196 & 0.110 \\ 0.179 & 0.265 & 0.289 & 0.077 & 0.167 \end{bmatrix}。$$

桥梁抗震安全性的评价等级(见表2), 即 $V = (100, 90, 75, 65, 50)$, 则一级模糊综合评价计算模型为 $C_i = B_i \cdot V^T$, 如表3所示。

二级综合模糊评价计算结果:

$$B = A \cdot R = (0.203 \ 0 \ 0.209 \ 8 \ 0.272 \ 2 \ 0.170 \ 2 \ 0.141 \ 6)。$$

则模糊综合评判 C 为:

$$C = B \cdot V^T = 77.74。 \quad (5)$$

即该桥梁抗震安全性评判总分为 77.74, 抗震安全性等级为安全等级。

3 结论

(1)由表3可知, 从抗震设计、抗震设备、场地条件、桥梁结构等因素看, 该桥梁的抗震安全性等级达到了安全水平(分数大于75)。其中抗震设计的得分最高为81.475, 维修养护得分最低为77.235, 但是维修养护为73.780(分数小于75)只达到一般水平, 所以应加强桥梁的维修养护, 从

而进一步提高桥梁抗震能力和延长桥梁的使用寿命。

(2)采用多级模糊综合理论的评价方法对桥梁抗震安全性进行评价, 可以将各种影响桥梁抗震性因素包括在内。在本文实例中, 维修养护是一项影响桥梁抗震安全的主要因素。该多级模糊综合评价模型也可用于建筑及基坑等工程。

参考文献:

- [1] 马亚丽, 王东炜, 张爱林. 在役桥梁结构健康等级的多级模糊综合评判[J]. 北京工业大学学报, 2005, 31(1): 36-40.
- [2] 杨则英, 曲建波, 黄承逵. 基于模糊综合评判和层次分析法的桥梁安全性评估[J]. 天津大学学报, 2005, 38(12): 1063-1067.
- [3] 刘沐宇, 林驰, 高宏伟. 桥梁生命周期环境影响的多级模糊综合评价[J]. 土木工程学报, 2009, 42(1): 55-59.
- [4] 孙颖, 邢文杰, 游福科. 基于模糊层次分析法的公路梁式桥地震震害预测研究[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2013, 41(4): 776-882.
- [5] 杨伟军, 王鹏. 基于云标尺和最不利状态的桥梁施工风险评价方法研究[J]. 中外公路, 2013, 33(1): 89-93.
- [6] 陈江, 张彬, 李恒. 基于分层加权法的桥梁安全性评价[J]. 世界科技研究与发展, 2010, 32(2): 205-208.
- [7] 陈江, 喻甜香, 周恩海. 模糊综合评价在基坑类型选择中的应用[J]. 山西建筑, 2012, 34(4): 210-211.
- [8] 陈江. 草帽山隧道围岩变形与稳定性的研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2010: 74-79.
- [9] 张彬, 陈江, 谷志祥, 等. 基于多级模糊综合评判的隧道抗震安全性评价[J]. 世界科技研究与发展, 2012, 34(4): 576-578.

Anti-seismic Assessment for Bridge Based on Multi-level Fuzzy Comprehensive Evaluation

Ding Jialiang, Li Songchang, Yu Kunpeng and Zhang Haihang
(China Railway Tunnel Group SANCHU CO., LTD, Shenzhen 518000, China)

Abstract: Through the analysis of the factors which affect bridge anti-seismic, 26 sub-factors are selected, and evaluation index system is set up for bridge seismic from bridge structure, seismic design, repair maintenance, seismic equipment and site condition five aspects, a bridge seismic safety is analyzed in Guangzhou city. The results show that the conclusion of multi-level fuzzy comprehensive evaluation is consistent with the actual situation, and repair maintenance is the weakest link, multi-level fuzzy comprehensive evaluation method can provide reference for the prevention of building and other projects.

Key words: bridge; weight; fuzzy evaluation; anti-seismic