
Study on Bridge Aging Based on Analytic Hierarchy Process

Jun Yang¹, Hong Liang^{1,*}, Jian Tian², Qiaoling Tang¹

¹School of Information Science & Engineering, Yunnan University, Kunming, China

²Kunming Bridge Tunnel Management Co., Ltd, Kunming, China

Email address:

1208456886@qq.com (Jun Yang), ynliangh@126.com (Hong Liang)

To cite this article:

Jun Yang, Hong Liang, Jian Tian, Qiaoling Tang. Study on Bridge Aging Based on Analytic Hierarchy Process. *Science Discovery*. Vol. 6, No. 3, 2018, pp. 184-188. doi: 10.11648/j.sd.20180603.17

Received: March 31, 2018; **Accepted:** June 19, 2018; **Published:** June 26, 2018

Abstract: Aiming at the problems and needs of bridge detection and evaluation, based on AHP, this paper designs and establishes multi-level evaluation model and index system for bridge aging assessment. The judgement matrix of each class objective in index system is constructed, and determine the weight of the indicator based on the judgment matrix. Design expert scoring system and establish fuzzy membership matrix for bridge evaluation based on fuzzy comprehensive evaluation method. Then evaluate the degree of aging and calculate the overall score of the bridge according to the weights and membership matrix, so as to determine the health level of the bridge, and provide decision-making basis for the relevant departments to take bridge maintenance measures.

Keywords: Bridge Aging, Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Comprehensive Evaluation

基于层次分析法的桥梁老化评估研究

杨军¹, 梁虹^{1,*}, 田健², 唐巧玲¹

¹信息学院, 云南大学, 昆明, 中国

²昆明桥隧管理有限公司, 昆明, 中国

邮箱

1208456886@qq.com (杨军), ynliangh@126.com (梁虹)

摘要: 本文针对桥梁检测评估中存在的问题和需求, 基于层次分析法, 设计并建立桥梁老化评估多层次模型和指标体系。构建指标体系中各阶层目标的判断矩阵, 并根据判断矩阵确定指标的权重。基于模糊综合评价法, 设计专家打分表, 建立桥梁评估模糊隶属度矩阵, 再结合权重与隶属度矩阵对桥梁老化程度进行评估, 计算出桥梁的总体评分, 以此来确定其健康程度, 为相关部门采取桥梁养护措施提供决策依据。

关键词: 桥梁老化, 层次分析法, 模糊综合评价

1. 引言

桥梁作为交通系统必不可少的一环, 长久以来都是相关部门检测和养护维修的重中之重。既有桥梁随着结构的自然老化和损伤积累, 也因为车辆荷载的增加和养护维修的欠缺

等不利因素的影响, 导致桥梁承载能力和耐久性能不断下降, 甚至影响到运营的安全, 危及群众生命和国家财产安全。因此, 桥梁老化及其带来的风险必须得到科学的评估和预警。对既有桥梁健康程度进行准确合理的评估, 是桥梁维修、加固的重要的前期工作, 对延长桥梁的使用寿命、减少桥梁维

修替换的高额费用具有积极地正面作用。层次分析法在桥梁老化领域的运用，最大限度地减少人为因素对结果的影响，为有关部门进行梁桥的进一步养护、维修提供有效的依据。

2. 评估指标体系与评估模型

2.1. 评估指标体系

此桥梁老化评估系统的评估体系由层次分析法和模糊综合评价法组成，先由层次分析法确定评估所需指标权重，再结合模糊综合评价法计算评估结果。

2.2. 评估模型

根据中华人民共和国交通部发布的《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)，得到桥梁老化评估所需指标，并依据层次分析法的原理，建立评估模型，如图1所示。此模型主要由桥梁的上部结构、下部结构、桥面设施、附属构造物四个大类组成，每个大类又分别由若干个小类组成。最终确定桥梁老化程度的评估指标有17个。

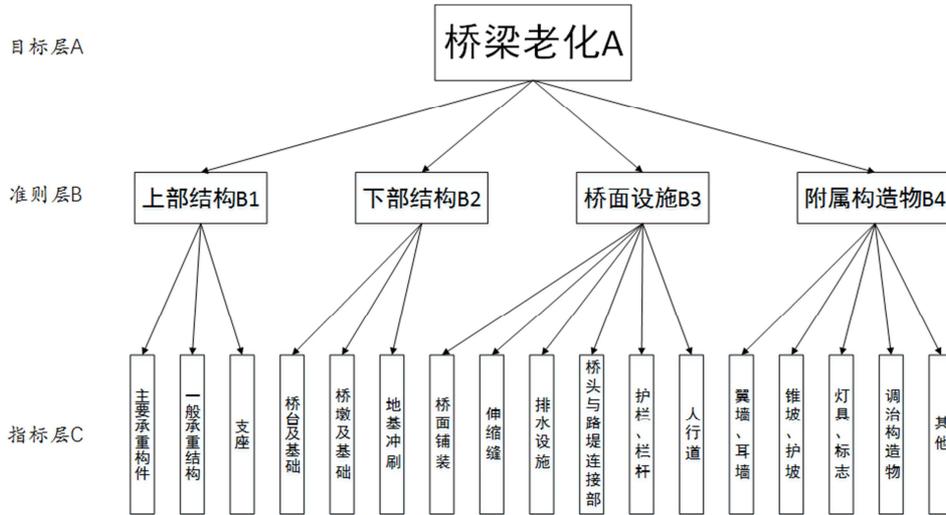


图1 桥梁老化评估系统模型。

3. 层次分析法和模糊综合评价法

3.1. 层次分析法简介

层次分析法(The Analytical Hierarchy Process, 简称AHP)将与决策有关的内容进行分层,主要包括目标层、中间的准则层、最终的方案层等,再利用定性与定量相结合的方法进行决策。其基本步骤可用以下流程图说明:

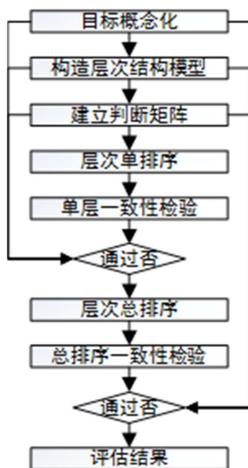


图2 层次分析法流程图。

3.2. 模糊综合评价法简介

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰,系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决。可用以下流程图说明:

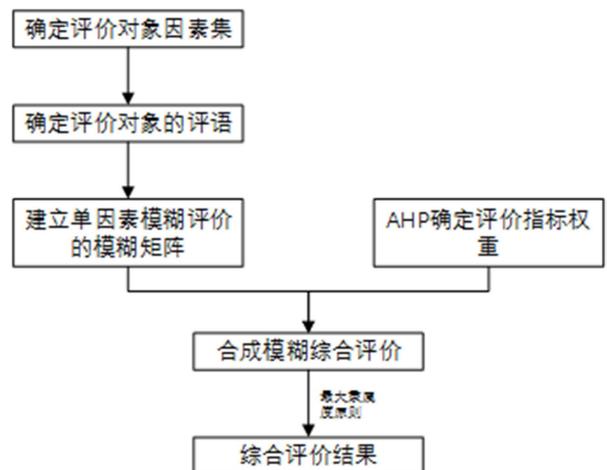


图3 模糊综合评价流程图。

4. 桥梁老化评估的具体实现

4.1. 构建判断矩阵并计算权重

根据图1的桥梁老化评估系统模型，构建判断矩阵。根据专家经验和相关资料确定判断矩阵的元素值。根据图1，共需五个判断矩阵。

建立判断矩阵后，求出其最大特征根及对应的特征向量，再将其特征向量归一化处理，即得到各因素在该层次下的权重值。判断矩阵及其最大特征根 λ_{max} 、各元素权重如下表：

表1 桥梁老化程度准则下的判断矩阵。

桥梁老化程度A	上部结构	下部结构	桥面设施	附属构造物	权重W
上部结构	1	1/2	3	4	0.2844
下部结构	2	1	5	8	0.5458
桥面设施	1/3	1/5	1	1	0.0929
附属构造物	1/4	1/8	1	1	0.0769
$\lambda_{max} = 4.0211$					

表4 桥面设施准则下的判断矩阵。

桥面设施B	桥面铺装	伸缩缝	排水设施	桥头与路堤连接部	护栏、栏杆	人行道	权重W
桥面铺装	1	1/3	1	1/3	1	1	0.1
伸缩缝	3	1	3	1	3	3	0.3
排水设施	1	1/3	1	1/3	1	1	0.1
桥头与路堤连接部	3	1	3	1	3	3	0.3
护栏、栏杆	1	1/3	1	1/3	1	1	0.1
人行道	1	1/3	1	1/3	1	1	0.1
$\lambda_{max} = 6.0000$							

表5 附属构造物准则下的判断矩阵。

附属构造物B	翼墙、耳墙	锥坡、护坡	灯具、标志	调治构造物	其他	权重W
翼墙、耳墙	1	1	1	1/3	1	0.1429
锥坡、护坡	1	1	1	1/3	1	0.1429
灯具、标志	1	1	1	1/3	1	0.1429
调治构造物	3	3	3	1	3	0.4285
其他	1	1	1	1/3	1	0.1429
$\lambda_{max} = 5.0000$						

4.2. 一致性检验

一致性检验的目的是保证判断矩阵各元素之间比例符合逻辑，不至出现A比B重要，B比C重要，C比A重要的逻辑错误。

(1) 单一层次性检验

① 计算一致性指标CI (Consistency Index)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

② 查找平均随机一致性指标RI (Random Index)

表6 平均随机一致性指标。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.80	0.12	0.24	0.32	0.41	0.45	1.49

③ 计算一致性比例CR (Consistency Ratio)

表2 上部结构准则下的判断矩阵。

上部结构B	主要承重构件	一般承重构件	地基冲刷	权重W
主要承重构件	1	4	7	0.7153
一般承重构件	1/4	1	2	0.1869
地基冲刷	1/7	1/2	1	0.0978
$\lambda_{max} = 3.0020$				

表3 下部结构准则下的判断矩阵。

下部结构B	桥台及基础	桥墩及基础	地基冲刷	权重W
桥台及基础	1	1	3	0.4286
桥墩及基础	1	1	3	0.4286
地基冲刷	1/3	1/3	1	0.1428
$\lambda_{max} = 3.0000$				

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

当 $CR < 0.1$ 时，矩阵通过一致性检验，符合要求。反之不符合要求，要重建判断矩阵，直至通过一致性检验。

经计算，前述5个判断矩阵表1-表5的CR值分别为0.00879、0.0017、0、0、0。均通过一致性检验。

(2) 总排序一致性检验

为了保证不出现单一层次排序未出现较大偏差，而总排序却出现较大偏差，需要进行总排序一致性检验。

准则层B的总排序一致性检验与单一层次检验的CR值相同，即 $CR_b = 0.0879 < 0.1$ ，符合总排序一致性检验。

指标层C层的总排序一致性检验可用以下公式计算：

$$CR_c = \frac{b_1 * CI_1 + b_2 * CI_2 + b_3 * CI_3 + b_4 * CI_4}{b_1 * RI_1 + b_2 * RI_2 + b_3 * RI_3 + b_4 * RI_4}$$

其中 b_i ($i=1,2,3,4$) 为准则层B各元素 B_i ($i=1,2,3,4$) 的权重值, CI_i ($i=1,2,3,4$)、 RI_i ($i=1,2,3,4$) 分别为与 b_i 相对应的指标层C的单一层次排序CI与RI值。

经计算, $CR_c = 0.0006 < 0.1$ 符合总排序一致性检验。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

5. 综合评价

5.1. 综合评价基本步骤

(1) 确定评价对象的因素集

设被评判的事物有 m 个影响因素, 其组成的集合称为因素集 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$, X_i ($i=1,2,\dots,m$) 表示对评判事物有影响的第 i 个因素。

确定评价对象的评语集

设有 n 个比较有代表性的评语, 这些评语组成评语集 $V\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 表示不同层次的影响程度。

单因素评价, 确定模糊评价矩阵R

设 r_{ij} ($i=1,2,\dots,m$ $j=1,2,\dots,n$) 为因素 X_i ($i=1,2,\dots,m$) 对于评语集 $V\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 的隶属度, 表示因素集中第 i 个因素的评价等级为评语集中的第 j 个评语所占的权重。需要若干专家对因素 X_i ($i=1,2,\dots,m$) 作出评定。设专家人数为 L , 则每个因素会得到 L 个评语。设对因素 X_i ($i=1,2,\dots,m$) 作出评语 v_j ($j=1,2,\dots,n$) 的人数为 p_{ij} ($i=1,2,\dots,m$ $j=1,2,\dots,n$), 则 $r_{ij} = \frac{p_{ij}}{L}$ 。每一个因素的隶属度评价集作为行, 即可得到模糊评价矩阵。形式如下:

(4) 合成模糊综合评价集

由于已知因素的权重矢量 W 与模糊评价矩阵 R , 可以用 W 与 R 相乘来得到其所属上层元素的评价集, 可用 U 表示, 即 $U = W \cdot R = [U_1, U_2, \dots, U_n]$ 。实际上, U 也即为该元素对于评语集 $V\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 的隶属度。对于同一层次中的模糊综合评价集 U , 能够将其作为行, 组合成其所属层次元素的模糊综合评价矩阵 R , 形如下式:

$$R = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

如此一来, 便可一层一层向上计算, 直至得到最终目标层对评语集 $V\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 的隶属度。

(5) 综合评价

由上述可知, 最终能够得到目标层对评语集 $V\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 的隶属度是一个矢量。有两种方法评估目标层, 分别为最大隶属度法和加权平均数法。最大隶属度法, 就是取占评价权重最大的评语作为最终的评语。加权平均数法, 就是为每个评语赋予不同的具体的值, 再求加权平均值, 最终得到的值对应的评语即为最终评语。

5.2. 桥梁老化评估具体实现

桥梁老化程度评语可分为五个等级, 最终评估采用加权平均法, 如下表所示:

表7 桥梁老化状态评语及描述。

评语	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅
描述	基本良好	轻微老化	中度老化	较严重老化	严重老化
得分	100	70	50	30	0
评判区间	80-100	60-80	40-60	20-40	0-20

本文以从相关部门取得的, 昆明市小菜园立交桥某次检查数据为依据, 对其老化程度进行科学评估。确定最终桥梁老化程度的指标有以下17个, 统计下表所示:

表8 指标隶属度模糊子集。

隶属度	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅
主要承重构件	0.7	0.3	0	0	0
一般承重构件	0.8	0.2	0	0	0
支座	0.5	0.4	0.1	0	0
桥台及基础	0.8	0.2	0	0	0
桥墩及基础	0.6	0.4	0	0	0
地基冲刷	0.9	0.1	0	0	0
桥面铺装	0.7	0.2	0.1	0	0
伸缩缝	0.7	0.3	0	0	0
排水设施	0.6	0.2	0.2	0	0
桥头与路堤连接部	0.5	0.5	0	0	0
护栏、栏杆	0.6	0.4	0	0	0
人行道	0.6	0.3	0.1	0	0
翼墙、耳墙	0.4	0.3	0.3	0	0
锥坡、护坡	0.5	0.5	0	0	0
灯具、标志	1.0	0	0	0	0
调治构造物	0.8	0.2	0	0	0
其他	0.8	0.1	0.1	0	0

利用上述各因素的隶属度, 经上述步骤计算, 最终可得到的目标层对评语集 $V\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 的隶属度为 $[0.7092, 0.2799, 0.0109, 0, 0]$, 按照表7给出的各评语分值, 进行加权平均最终得到小菜园立交桥老化程度评分为91.058, 属于基本良好。

6. 结论

本文运用层次分析法和模糊评价法实现对桥梁老化的量化评估, 使得桥梁评估相关工作更加直观、科学, 一定程度上克服人为因素对评价结果的影响。由于本文所实现的相关算法计算并不复杂, 完全可以在浏览器上完成全部运算, 所以能够运用前端语言和服务器端语言实现桥梁老化评估的可视化, 大大节省评估难度和评估时间, 只要输入所需数据, 便可做到随时随地进行评估, 大大提高效率。

参考文献

- [1] 李娅情. 城市排水泵站老化评估建模及可视化研究[D]. 云南大学, 2016。
- [2] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版); 2000, 4: 582-585, 590。
- [3] JTG_H11-2004. 公路桥涵养护规范[S]. 人民交通出版社, 2004。
- [4] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 陈俊羊, 赵俊峰. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 7:93-100。
- [5] 王帅帅, 武斌. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国科技博览, 2015(44):178-179。
- [6] 常建娥, 蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版; 2007, 29(1):153-156。
- [7] 叶培伦, 俞亚南. 应用层次分析法评判混凝土桥梁综合性能[J]. 华东公路, 2000(05)。
- [8] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2)。
- [9] 王海霞. 探寻混凝土桥梁预防性养护体系[J]. 科技风, 2015(09)。
- [10] 袁海庆, 杨燕, 范剑锋, 刘文龙. 模糊层次分析法在桥梁综合评估中的应用[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2005(06)。