

文章编号: 1002-0268 (2010) 09-0067-04

层次分析变权综合桥梁耐久性评估方法研究

侯福金¹, 卢 键², 李 军²

(1. 山东高速青岛公路有限公司, 山东 青岛 266061; 2. 上海巨一科技发展有限公司, 上海 200031)

摘要: 针对如何在耐久性评估中更为科学的处理信息的不完整和不确定性, 提出了基于层次分析法的变权综合评估法的桥梁耐久性评估方法。首先介绍了层次分析法的思路、特点和步骤, 用层次分析法将影响桥梁评估的各种因素条理化、层次化, 从而建立多层次的指标体系, 解决了桥梁耐久性评估影响因素众多、处理困难的问题; 然后阐述了常权综合评估法和变权综合评估法, 在两者优缺点比较的基础上, 提出了基于层次分析法为基础的变权综合评估法。本文建立了变权综合桥梁耐久性评估的方法和程序, 并给出了桥梁耐久性评估模型流程图, 使得理解上更加形象。

关键词: 层次分析法; 变权综合评估; 耐久性评估

中图分类号: U441⁺. 4

文献标识码: A

Research on Variable Weight Synthesizing Evaluation Method to Bridge Durability

HOU Fujin¹, LU Jian², LI Jun²

(1. Qingdao Highway Co., Ltd., Shandong Hi-Speed Group Qingdao Shandong 266061 China

2. Shanghai Juyee Science & Technology Development Co., Ltd., Shanghai 200031 China)

Abstract: In order to deal with the information integrity and nondeterminacy, an evaluation approach of bridge durability based on variable weight synthesizing evaluation method (VWSEM) was presented. First, the idea, characteristics and application stage of analytic hierarchy process technique, which will affect the logical structure of the bridge evaluation, were presented to build up the evaluation standard hierarchically and solve numerous problems encountered in the bridge durability evaluation. Then, constant weight synthesizing evaluation method (CWSEM) and VWSEM were described, and on the basis of the comparison of these two methods, VWSEM based on the analytic hierarchy process technique was derived. VWSEM for the bridge's durability and corresponding procedure were designed, and the flow chart of the evaluation model was also illustrated, which makes the approach more understandable.

Key words:

0 引言

桥梁工程是公路交通网的重要组成部分, 而钢筋混凝土桥梁在运营过程中, 不可避免的会出现各种损伤, 损伤的出现降低了桥梁的耐久性, 影响结构的安全性和正常使用性。为了确保大桥的正常使用和运营安全, 有必要对大跨度桥梁进行科学的评估, 及时掌控桥梁健康状态的变化, 确定其耐久性等级, 并由此确定其相应的养护策略。桥梁状况评

估是任何桥梁管理系统的基点, 其有用性和精确性取决于有效地桥梁检测工作。通常是基于检测者的个人经验并遵循有关指南, 如美国的公路桥梁检测培训指南^[1], 而国内尚未有正式的桥梁评估规范出版。

目前桥梁的耐久性综合评判有多指标分级加权评定法、灰色综合评判法、模糊综合评判法。多指标分级加权评定法评定的结果很大程度上取决于检测者的经验和主观判断; 灰色综合评判法的理论基

收稿日期: 2010-08-18

作者简介: 侯福金 (1973-), 男, 高级工程师, 研究方向为桥梁工程。(humeijen@163.com)

础（灰色关联度）本身还不成熟，其几何形状相似性的表达方式还不完善。模糊综合评判法反应了各因素的关联性、随机性强的特点，但各因素分级的含义不够明确。目前应用较多的是层次分析法，层次分析法（AHP法）可将影响桥梁工作状态的各因素调理化和层次化，把对某个状态影响程度相近或比较紧密的因素放在一起，形成一个层，建立多层的层次关系模型，通过加权综合的方法可由底层指标得到上层指标的状态，逐层综合，得到整个桥梁的状态，而将变权原理应用到综合评估中，可解决由于某些因素影响权重较小，在总体结果中不明显，但可能会影响整个桥梁的状态的问题，应用这种方法可使评估结果更加合理。常权综合评估由于其理论简单，思路清晰而受到广泛的运用，但在桥梁状况或其它评估中，往往要考虑到评估的均衡性，例如，在对某桥的评估中，上部结构、下部结构和桥面系统的权重分别为 0.7 0.2 0.1 我们为该桥评分分别为 90 90 0 总体评定结果为 81分，桥面系统已经无法使用了，这一点没有在总体评定中体现出来，常权综合评估的缺陷就显示出来了，为了能够较全面地反映结构的各部分的状况，变权综合原理是一种较好的方法，它能反映综合决策中各状态的均衡性。为了能够较全面地反映结构的各部分的健康状况，变权综合原理是一种较好的方法，它能反映综合决策中各状态的均衡性。

本文将层次分析法和变权综合评估方法相结合，提出基于层次分析法的变权综合评估方法。该方法以层次分析法为基础，将各因素层次化，根据层次分析方法确定初始权重，根据实际评分值利用变权模式确定变权重。

1 层次分析法

1.1 层次分析法的概念

层次分析法（AHP法）可将影响桥梁工作状态的各因素调理化和层次化，把对某个状态影响程度相近或比较紧密的因素放在一起，形成一个层，建立多层的层次关系模型，通过加权综合的方法可由底层指标得到上层指标的状态，逐层综合，得到整个桥梁的状态，而将变权原理应用到综合评估中，可解决由于某些因素影响权重较小，在总体结果中不明显，但可能会影响整个桥梁的状态的问题，应用这种方法可使评估结果更加合理。

1.2 层次分析法的基本方法和步骤

1.2.1 建立层次分析模型

将复杂问题分解成一个一个的元素，这些元素性质等相近的属于同一个组，这样把一个复杂的问题分解成不同的层次。同一层的元素作为准则，对下一层次的某些元素起支配作用，同时也受到上一层元素的支配。这样就建立了多层的层次关系模型。它一般由目标层，标准层，指标层等组成。

1.2.2 构造比较判断矩阵

对于所有底层评价指标，按检测数据类型可划分为三类：

- （1）仅有对桥梁构件的状态描述或简单的等级划分，而没有数值结果（例如混凝土中钢筋锈蚀、钢构件锈蚀等）；
- （2）检测结果为一个数值（例如混凝土强度等）；
- （3）检测结果为一数据序列（如主梁应力、主梁挠度和斜拉索索力等）。

对第一类指标，根据等级确定其评价价值范围，中间结果由检测人员根据实际情况确定；对于第二类指标，可采用线性或非线性无量纲化模型进行处理，在桥梁评估管理系统中，根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》将桥梁技术状况评定分为五类：

- （1）良好状态 只需日常保养即可；
- （2）较好状态 只需日常小修保养即可保证结构完好；
- （3）较差状态 需要用中修方法来维护和恢复使用质量；
- （4）结构质量状况为坏的状态需大修才能符合要求；
- （5）结构质量状况为危险状态。

按照此分类，对于第一、二类底层指标采用直接打分的方法进行评定（见表 1，对于第三类指标，检测结果为一数据序列，由于各测点检测数据的标准值各不相同，不能直接使用检测数据来进行评价，因此，需经过适当的线性或非线性无量纲化处理，使各测点处的检测结果具有可比性。

表 1 各技术标准含义

Tab.1 Meanings of technical criteria

项目	一级	二级	三级	四级	五级
评价值 /分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

分析各影响因素之间的关系，建立递阶层次结构，层次中的各影响因素称为指标，由于层次数与问题的复杂程度和所需要分析的详尽程度有关，故

每一层次中的影响因素数量一般不超过 9 个, 因为过多的影响因素会给两两比较判断带来困难, 对于斜拉桥结构, 影响其质量和使用功能的主要结构为: 索塔、斜拉索、主梁、墩台基础和附属设施等, 对各分部结构再进行仔细划分, 即按照层次分析法的基本思想, 可得到递阶层次结构。

首先, 对于同一层次上的各因素, 按其优良程度或重要程度划分成若干等级, 赋以量化值; 其次建立判断矩阵, 且矩阵要符合完全一致性条件的要求。在同一层次上的各元素, 按其优良程度或重要程度划分为若干等级, 赋以量化值。一般可采用 5 级定量法, 相应的赋值是 1、3、5、7、9 表示一个因素对另一个因素的重要程度, 数字越大表明越重要 (1 表示两个因素同等重要)。相反, 如果要表示一个因素比另一个因素次要, 则定量赋值可取为上述 1、3、5、7、9 的倒数。如果有些问题的分级可由较高的精确度, 则认为上述 5 级定量法不足以描述清楚, 则可用 2、4、6、8 四个数值进行内插, 成为 9 级定量法。在有的场合, 甚至可以采用 1~9 之间的任意实数进行内插, 青岛海湾大桥即采用 1~9 标度计算权重, 1~9 标度的含义见表 2。

表 2 1~9 标度的含义

Tab 2 Meaning of 1~9 scale

标度	含义
1	两个因素相比, 具有同样重要性
3	两个因素相比, 前者比后者稍重要
5	两个因素相比, 前者比后者明显重要
7	两个因素相比, 前者比后者强烈重要
9	两个因素相比, 前者比后者极端重要
2 4 6 8	表示上述相邻判断的中间值

1.2.3 一致性检验

利用判断矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}$ 对应的特征向量 W , 按以下步骤对判断矩阵进行一致性检验:

1) 计算一致性指标 $C.I.$ 。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

式中, n 为判断矩阵的行数或列数。

2) 查找相应的平均随机一致性指标 $R.I.$ 。

表 3 给出了 1~10 阶正互反矩阵计算 1 000 次得到的平均随机一致性指标 $R.I.$ 的数值。

表 3 平均随机一致性指标 $R.I.$

Tab 3 $R.I$ index for average random compatability

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R.I$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

3) 计算一致性比例 $C.R.$ 。

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

当 $C.R. < 0.1$ 时, 认为该判断矩阵的一致性是可以接受的, 即可将特征向量 W 作为因素加权向量 A 。

首先, 对于同一层次上的各因素, 按其优良程度或重要程度划分成若干等级, 赋以量化值; 其次建立判断矩阵, 且矩阵要符合完全一致性条件的要求, 这部分权重的确定方法在青岛海湾大桥的评估和预警中已经给出了详细数值。

2 变权综合评估

2.1 常权综合评估

按照通常的常权综合模式进行综合评估, 评价结果为:

$$V_0 = \sum_{j=1}^m \omega_j^{(0)} x_j$$

常权综合评估结果中不能明显地表现某一评价指标出现评价值为“差”或“极差”的情况, 从而可能引起对桥梁某些损伤和病害的忽视, 或是造成评估结果的不准确。

2.2 变权综合评估

在综合评估过程中, 各评估因素的权重既可以改变, 也可以不改变, 对于桥梁整体使用功能而言, 由于影响因素众多, 当个别构件出现严重缺陷时, 最终评价结果也不会出现太大的变化, 所以为了反映出整体结构的真实状况, 应采用变权综合的方法对各评价指标权值进行适当调整。

变权综合模式为:

$$V(x_1, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^m \omega_j^{(0)} x_j^\alpha / \sum_{k=1}^m \omega_k^{(0)} x_k^{\alpha-1},$$

$$0 < \alpha \leq 1$$

式中, $\omega_j^{(0)}$ 为第 j 个指标的权重; x_j 为第 j 个指标的评价值; α 为参数, 一般来讲, 评判者较保守的情况下, $\alpha < 1/2$ 即对诸因素的均衡问题考虑较多; 评判者较开明的情况下, $\alpha > 1/2$ 即比较容忍某方面的缺陷; 均衡系数 $\alpha = 1$ 时, 即为等同于常权综合模式, 大量工程实践经验表明 $\alpha = 0.2$ 便可以适用于一般工程情况。

变权综合法比常权综合法更能反映出个别构件的状态变化对总体评估结果的影响, 取值则反映了对均衡性的要求, 对桥梁中的局部缺陷容忍程度越小, 其取值越小。

3 基于层次分析法的变权综合评估方法

以层次分析法为基础, 变权综合桥梁耐久性评

估的方法和程序如下:

(1) 首先确定桥梁的关键结构, 即找到桥梁评估的关键结构, 并通过判断矩阵得出各个关键结构的权重, 例如上部关键结构 (斜拉索系统、主塔、主梁或者悬索系统) 部位, 下部关键系统 (桥墩和基础等), 其次是附属系统 (支座、护栏、桥面铺装和伸缩缝等);

(2) 对每一关键结构找出其关键构件, 并通过判断矩阵得出各个关键构件的权重, 例如对于斜拉索系统为主塔和斜拉索, 对于悬索系统为主缆、吊杆和索夹等。

(3) 对每一个具体构件找到其评估其特征的关键指标, 评估指标尽量满足完全性原则, 并通过判断矩阵得出各个关键指标的权重, 根据桥梁实际运

营管理过程中的外观现象或者数据检测进行评分, 例如海上钢筋混凝土结构中, 混凝土质量包括: 氯离子含量、钢筋自然点位、混凝土碳化深度、混凝土表观缺损和混凝土强度。评估的各项指标要参照《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004) 和《公路桥梁承载能力检测评定规程》中的各项要求, 附属设施可参考《城市桥梁养护规范》, 并结合斜拉桥和悬索桥自身的结构特点制定合理的评定体系, 且指标之间尽量满足独立性。

(4) 在计算桥梁整体的耐久性时, 是从指标层逐步向目标层计算, 指标层的计算采取权重乘以评分值, 同时应用变权综合模式, 最后得出桥梁的整体耐久性评价结果。运用变权原理进行综合评估, 耐久性评估模型流程图如图 1 所示。

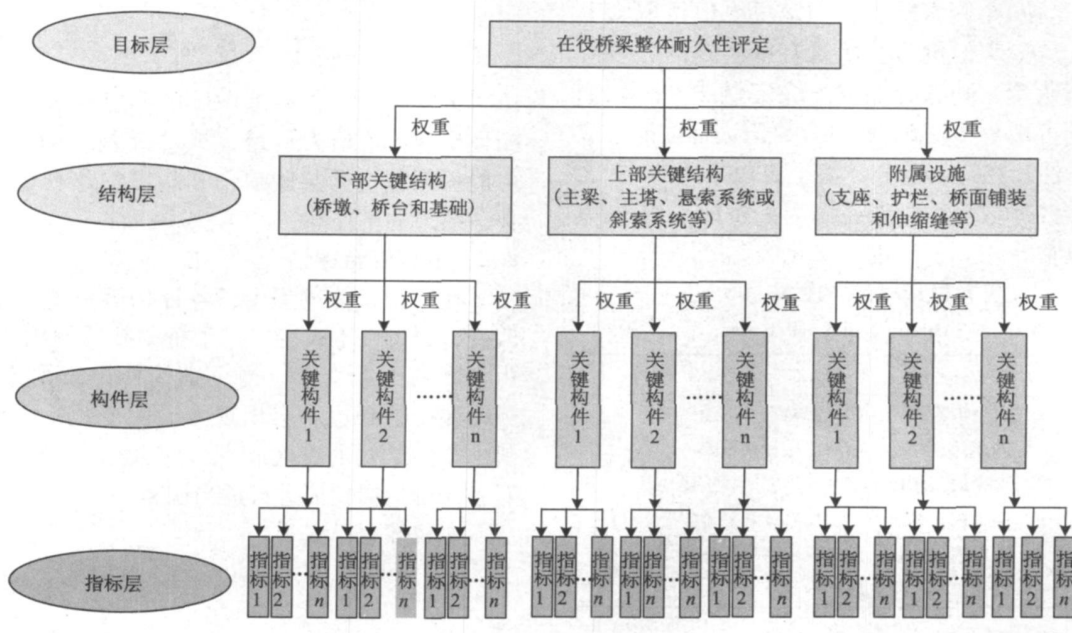


图 1 桥梁耐久性评估流程图

Fig 1 Flow chart of bridge durability evaluation

4 结论

混凝土的碳化和钢筋锈蚀的影响因素具有高度复杂性、不确定性和未确知性, 这一复杂系统有开放性的处在复杂的环境中^[3]。以层次分析法为基础建立结构的耐久性评估模型; 并根据耐久性影响因素建立评价指标。建立影响因素对比矩阵, 确定耐久性指标权重, 较好的解决了不同桥梁由于各指标损伤程度不同而在评估时采用不同权重的问题。将层次分析法与变权综合评估法相结合, 更能反映出个别构件的状态变化对总体评估结果的影响, 取值则反映了对均衡性的要求。

参考文献:

References

- [1] U S Department of Transportation Federal Highway Administration Bridge Inspectors Training Manual 90 [R]. Washington D. C.: United States Department of Transportation 1991.
- [2] 张喜德, 韦树英, 彭修宁. 运用复杂性科学的思维方式研究钢筋混凝土耐久性 [J]. 工业建筑, 2003 33 (4): 59—62.
ZHANG Xide WEI Shuying PENG Xiuning Applying the Thinking Mode of Complexity Science to Research on the Durability of Reinforced Concrete [J]. Industrial Construction 2003 33 (4): 59—62