

文章编号:1671-8879(2006)04-0063-05

# 既有桥梁技术状况评价及检算系数 $Z_1$ 的确定

宗雪梅<sup>1,2</sup>, 胡大琳<sup>1</sup>, 郑 勇<sup>1</sup>

(1. 长安大学 桥梁与隧道陕西省重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 西安市市政设计研究院, 陕西 西安 710068)

**摘 要:** 基于模糊数学基本原理, 提出将模糊综合评价的理论应用于桥梁技术状况及旧桥承载力检算系数  $Z_1$  的定量评定。对于桥梁技术状况的评定, 依据各构件的破损状况采用专家打分法来确定其评分, 并由桥梁各构件的相对重要性给出评判权重, 从而得出桥梁技术状况以评分值表示的评判结果; 对旧桥承载力检算系数  $Z_1$  的评定, 从主要受力构件或者权重较大的构件出发, 建立由裂缝宽度、钢筋锈蚀率和混凝土截面损失系数等影响因素为评价指标的评价集, 得出以百分制表示的  $Z_1$  的确切取值。

**关键词:** 桥梁工程; 既有桥梁; 承载力; 检算系数; 多级综合评判; 模糊理论

**中图分类号:** U446 **文献标识码:** A

## Evaluation of technical state for existed bridge and determination of checking coefficient $Z_1$

ZONG Xue-mei<sup>1,2</sup>, HU Da-lin<sup>1</sup>, ZHENG Yong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Bridge and Tunnel of Shaanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Xi'an Municipal Engineering Design and Research Institute, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

**Abstract:** This paper evaluates the conditions of bridges quality comprehensively based on fuzzy mathematics. The theory of fuzzy multi-synthetic evaluation is used for the assessment of existed bridge technical state, and the determination of checking coefficient  $Z_1$ . The deterioration state rank of bridge members is marked by experts, and the evaluation weight is determined according to relative importance of structure members, then the final result of bridge technical state is expressed quantitatively by scores. This paper also puts forward the fuzzy comprehensive evaluation method to determine the checking coefficient  $Z_1$  of carrying capacity for existed bridges, forms evaluating sets with evaluation indices that are consisted by influencing factors such as cracks, rusting ratio of reinforced bars, etc, and gets the exact score for main parts or parts of greater weight. 6 tabs, 5 figs, 7 refs.

**Key words:** bridge engineering; existed bridge; load capacity; checking coefficient; multi-synthetic evaluation; fuzzy theory

## 0 引 言

桥梁的评价一般从两方面入手: 对桥梁技术状

况的评价, 主要是通过现场的检查及必要检测, 对现有桥梁的缺损状况进行描述, 从而对桥梁的技术状况进行定性评价<sup>[1]</sup>; 对桥梁承载能力的评价, 传统的

收稿日期: 2005-08-15

基金项目: 科技部中国-南非科技交流基金项目(01-503J)

作者简介: 宗雪梅(1978-), 女, 陕西定边人, 长安大学博士研究生, 西安市市政设计研究院工程师。



方法是从结构的强度、刚度、稳定性、裂缝等方面,进行调查、检测并结合检算,对桥梁的承载能力及其使用条件进行综合评定<sup>[2]</sup>。

本文提出对桥梁缺损状况进行模糊综合评判的方法,主要是根据桥梁各构件或部分结构的缺损状况采用专家打分法进行评分,然后依据其相对重要性给定权重,建立模糊评判集进行评判,最终得出整个桥梁的评分值,即为定量的评判结果;对桥梁承载能力模糊评判是基于文献[2],以旧桥检算系数  $Z_1$  为评判对象,建立由混凝土裂缝、钢筋锈蚀率等影响因素为指标的模糊评价集,最终得出  $Z_1$  的确切取值,作为定量的评判结果。

## 1 桥梁结构技术状况模糊综合评价

### 1.1 综合评价体系的建立

对既有桥梁技术状况的综合评判问题可以用多级模糊综合评判法解决。

#### 1.1.1 建立因素集

将影响桥梁技术状况的各因素用因素集  $U$  描述, $U$  中因素按其性质分为  $m$  类,即  $U$  中有  $m$  个子集

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\} \quad (1)$$

设每个子集包括  $n$  个因素: $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in}\}$ ,其中  $u_{ij}$  为第  $i$  个因素子集中的第  $j$  个因素。在本文的评判中,因素集取为  $U = \{\text{上部结构}, \text{下部结构}, \text{附属工程}, \text{其他}\}$ ,建立因素集及其子集的基本层次模型如图 1 ~ 图 4 所示。

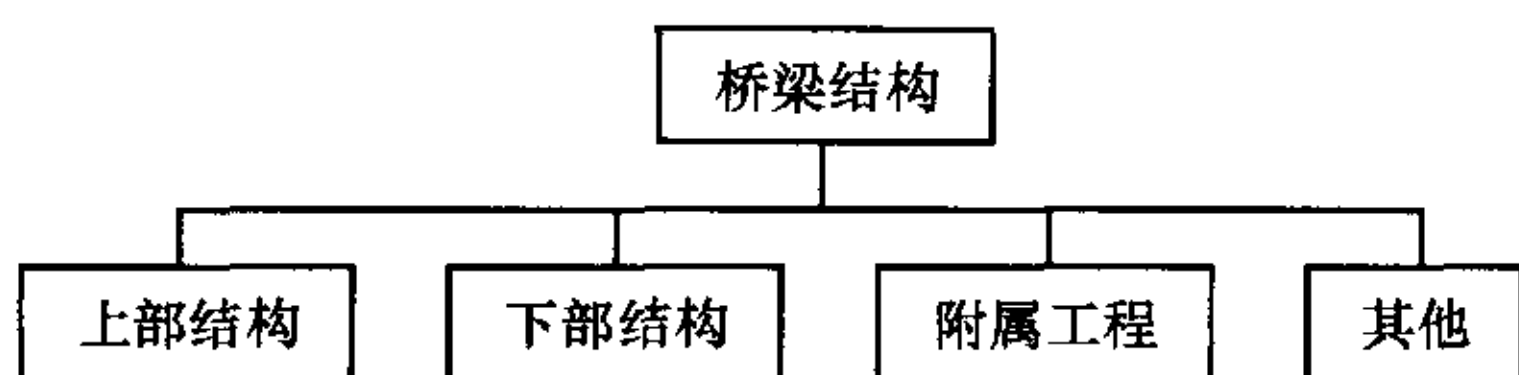


图 1 因素集模型图

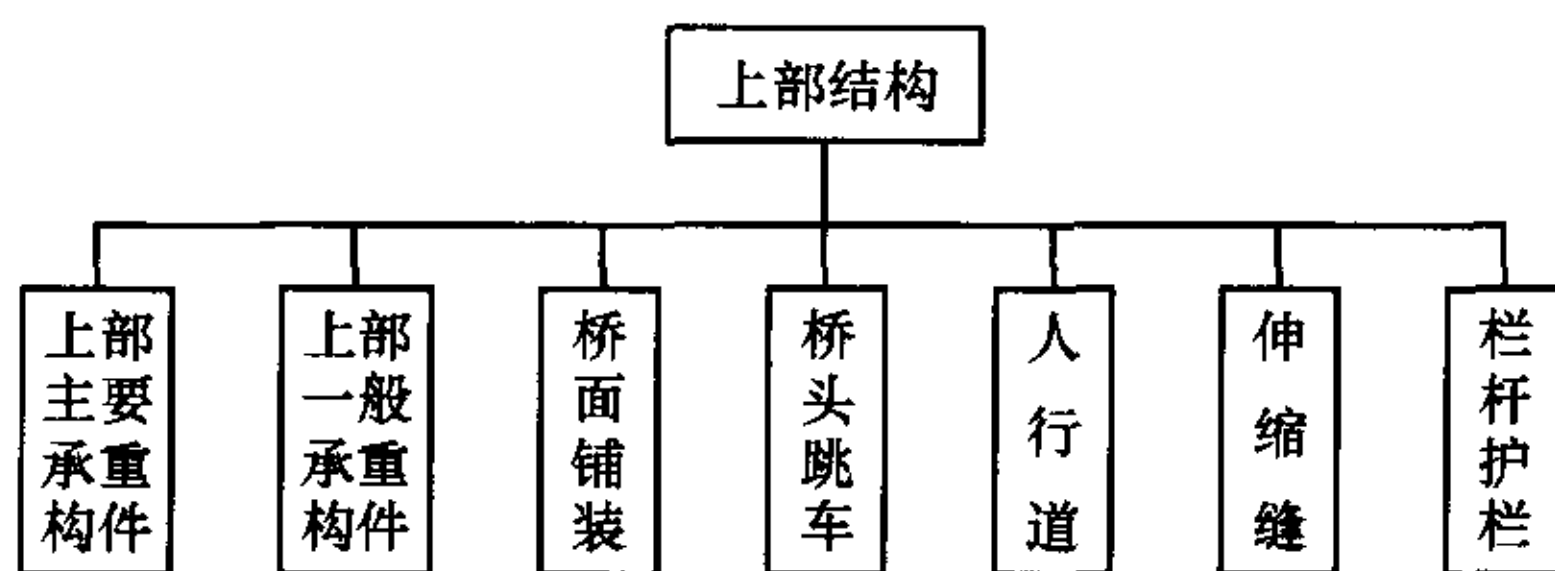


图 2 子集一模型图

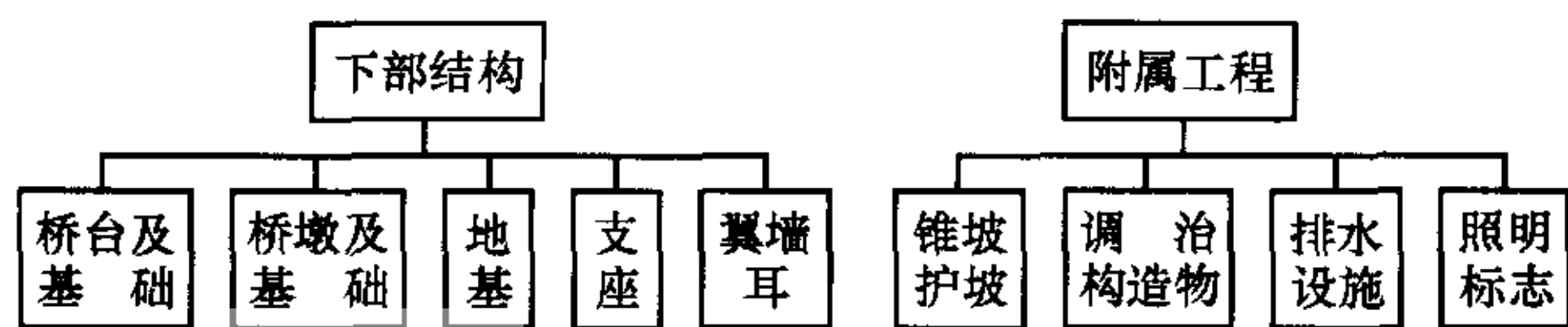


图 3 子集二模型图

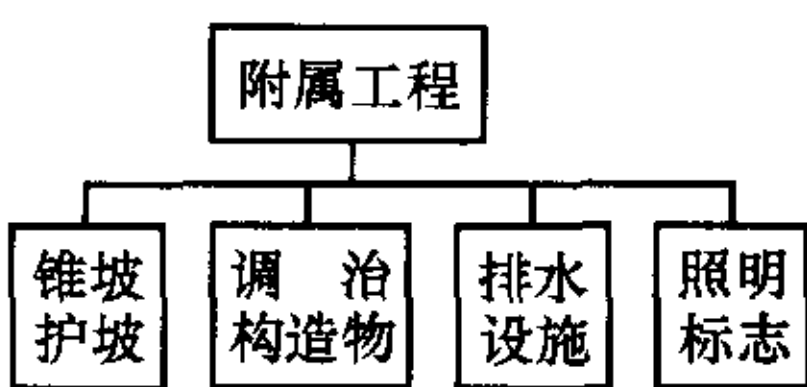


图 4 子集三模型图

#### 1.1.2 建立评判集

对于每个因素集,根据结构性质和损坏程度的

不同,分为四类。采用文献[1]中对技术状况评定的分类描述,Ⅰ类:技术状况为完好与良好状态;Ⅱ类:较好状态;Ⅲ类:较差;Ⅳ类:坏的和危险状态。将评判集取为: $V = \{100, 88, 60, 40, 0\}$ 。对各子因素所对应的分项工程进行现场检测评分,或汇总检测结果由专家给出打分。

### 1.2 建立评判模型

设所要评价的因素集为  $X^T = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ;评价集为  $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$ ,评判矩阵  $R$  是评价对象在因素集  $X^T$  上关于评价集  $Y$  的特性指标,称为隶属度。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & r_{n4} & r_{n5} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $n$  为评价指标因素集中分项工程的项目数; $r_{ij}$  为第  $i$  个因素相对于第  $j$  个评价集的隶属度(或隶属函数),故  $r_{ij} \in [0, 1]$ 。

设  $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ ,表示评价集  $Y$  对因素集  $X^T$  的权分配模糊向量,其中  $a_i$  表示  $X^T$  中第  $i$  个因

素的权重,且  $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。建立一级综合评价数学模型, $B = A \cdot R$ ,这里“ $\cdot$ ”可以理解是一种模糊算子,并将矩阵  $B$  作归一化处理得: $B^* = \left\{ \frac{b_1}{b^*}, \frac{b_2}{b^*}, \frac{b_3}{b^*}, \frac{b_4}{b^*}, \frac{b_5}{b^*} \right\}$ ,且  $b^* = \sum_{i=1}^5 b_i$ 。

### 1.3 隶属度及权重的确定

确定隶属度的方法有很多,本文采用偏小型的半梯形分布法。

设  $v_j$  与  $v_{j+1}$  为相邻两级的分级标准,且  $v_j > v_{j+1}$ ,则  $v_j$  级的隶属函数即可确定为

$$r(x) = \begin{cases} (x - v_{j+1}) / (v_j - v_{j+1}) & v_{j+1} \leq x \leq v_j \\ 0 & x < v_{j+1}, x > v_j \end{cases} \quad (3)$$

而  $v_{j+1}$  级的隶属函数为

$$r(x) = \begin{cases} (v_j - x) / (v_j - v_{j+1}) & v_{j+1} \leq x \leq v_j \\ 0 & x < v_{j+1}, x > v_j \end{cases} \quad (4)$$

评价因素的权重是各因素对评价对象影响大小的数量表示,可以采用隶属度归一化法及贴近原则法确定评价权重,如采用隶属度归一化法,取第  $i$  个因素集的第  $j$  个子因素,对该因素的隶属度  $r_{ij}$  作归一化处理后的值,作为该等级的权重,即  $a_{ij} =$



$r_{ij} / \sum_{i=1}^n r_{ij}$ , 而且可以形成由  $a_{ij}$  权重矩阵来表示。

#### 1.4 综合评判

将一级评判所得的结果  $B^*$  视作进行综合评判的评判矩阵  $R$ , 与以上步骤相同, 确定出二级评判中的权重, 进行第二级综合评判, 则

$$B = A \cdot R = A \cdot \begin{bmatrix} B_1^* \\ B_2^* \\ B_3^* \\ B_4^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \cdot B_1^* \\ A_2 \cdot B_2^* \\ A_3 \cdot B_3^* \\ A_4 \cdot B_4^* \end{bmatrix} \quad (5)$$

最后, 根据评价集  $V$  的初赋值, 给出评价的总分为

$$P = V \cdot B^T \quad (6)$$

## 2 旧桥检算系数 $Z_1$ 取值的模糊综合评定

本文运用模糊评判原理, 对检算系数  $Z_1$  进行模糊综合取值。对  $Z_1$  系数的评价取值, 涉及到对桥梁结构许多构件的评价, 本文将从主要受力构件或者权重较大的构件出发, 侧重于4个影响因素, 综合各构件材料的质量状况, 由专门的技术人员给出一个总体打分, 各构件不再独立进行一级综合评判。建立评判因素层次模型, 如图5所示。

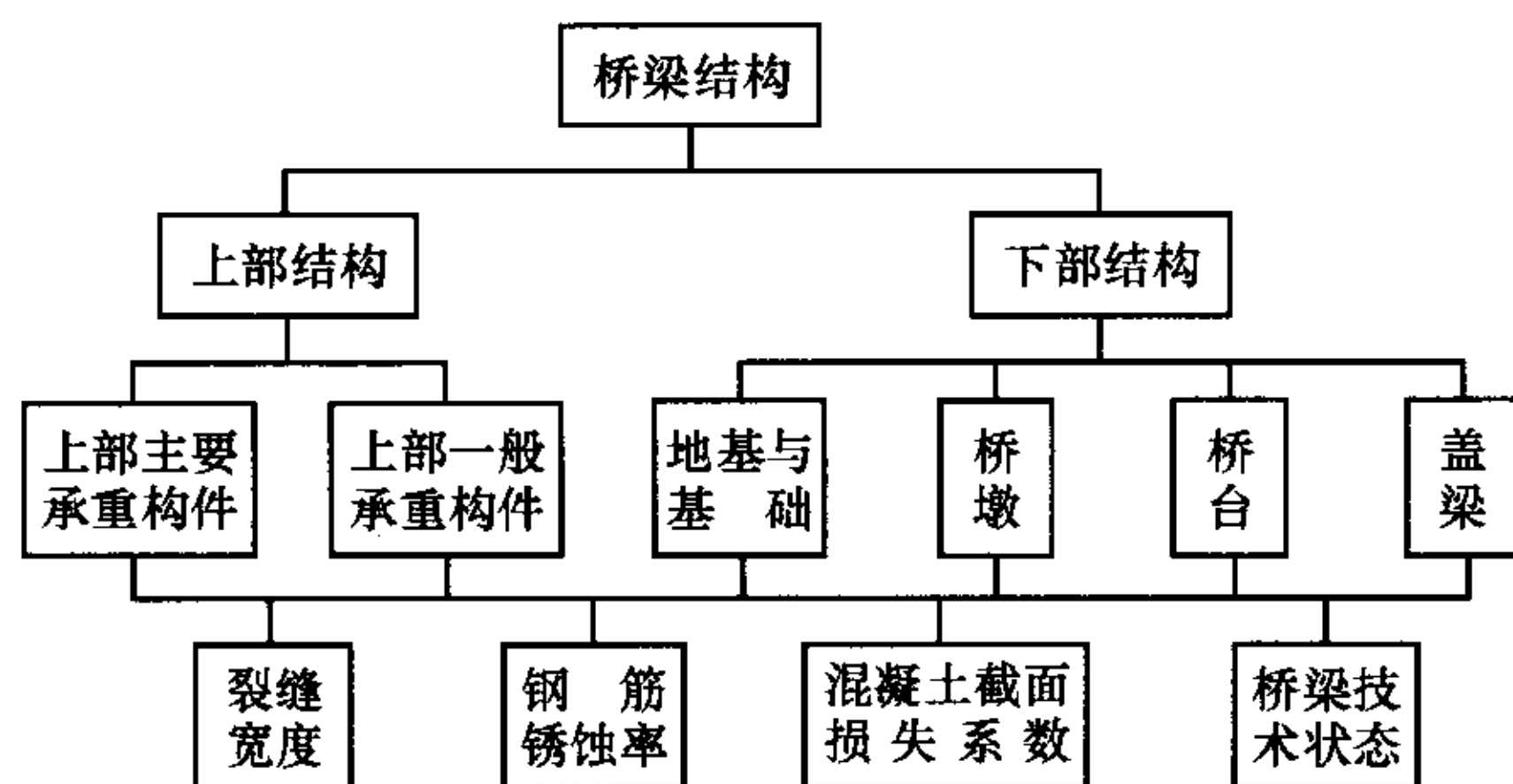


图5 因素层次模型图

### 2.1 建立评价指标

#### 2.1.1 因素集的建立

影响旧桥检算系数的取值因素很多(见图5), 可归纳为4个因素:

(1) 裂缝。对于受力裂缝来说, 特征值主要有: 裂缝长度、裂缝宽度、裂缝密度。鉴于在文献[2]中, 对  $Z_1$  取值时只考虑到裂缝宽度, 主要表现为最大裂缝宽度, 故用最大裂缝宽度作为一个评价指标。

(2) 钢筋锈蚀。这里主要指主钢筋而非构造筋的锈蚀情况。在桥梁设计中, 承载能力都留有充分的安全储备, 当旧桥有一定量的主筋锈蚀时, 安全储备降低, 为对钢筋锈蚀状况从定量上作出描述。本文用钢筋锈蚀率  $\eta_1$  来定量表示<sup>[5]</sup>

$$\eta_1 \% = (A_{g0} - A_{g1}) / A_{g0} \times 100 \% \quad (7)$$

其中:  $A_{g0}$  为钢筋锈蚀前构件某一截面主钢筋面积;  $A_{g1}$  为钢筋锈蚀后同一截面同一类主钢筋面积。

(3) 混凝土截面损失系数。随着运营条件及外界因素的影响, 混凝土表面出现一系列病害, 例如: 炭化、剥落等, 采用混凝土截面损失系数  $\eta_2$  作为评价指标

$$\eta_2 \% = (A_{s0} - A_{s1}) / A_{s0} \times 100 \% \quad (8)$$

式中:  $A_{s0}$  为混凝土损失前的构件面积;  $A_{s1}$  为混凝土损失后的构件面积。

(4) 桥梁技术状况。运用前面评判所得的数值, 作为桥梁技术状况指标, 记为  $P$ , 故构成的因素集为:  $U = \{u_1 = \text{裂缝宽度}(W), u_2 = \text{钢筋锈蚀率}(\eta_1), u_3 = \text{混凝土截面损失系数}(\eta_2), u_4 = \text{桥梁技术状况}(P)\}$ 。

对于每一个因素, 根据其性质和程度的不同, 对每一个因素的取值范围划分为不同的步长, 将各因素的步长集表示为

$$u_1 = \{< 0.1, 0.1 \sim 0.2, 0.2 \sim 0.3, 0.3 \sim 0.4, 0.4 \sim 0.5, > 0.5\}$$

$$u_2 = \{0, 0 \sim 0.02, 0.02 \sim 0.05, 0.05 \sim 0.10, 0.10 \sim 0.15, 0.15 \sim 0.20, > 0.20\}$$

$$u_3 = \{0, 0 \sim 0.05, 0.05 \sim 0.10, 0.10 \sim 0.15, 0.15 \sim 0.20, > 0.20\}$$

$$u_4 = \{100, 100 \sim 88, 88 \sim 60, 60 \sim 40, < 40\}$$

一般来说, 各因素步长间并无明确的界限, 都在其前后相邻两个步长之间处于某种模糊分布的状态。

#### 2.1.2 评价集的建立

参照文献[2]中对  $Z_1$  系数的取值范围, 将该区间离散化, 步长取为 0.05, 得评价集  $V = \{1.10, 1.05, 1.00, 0.95, 0.90, 0.85 \text{ 及以下}\}$ 。

#### 2.1.3 确定评判矩阵

若第  $i$  个因素的第  $j$  个步长区段对评价集中第  $k$  个元素的隶属度为  $r_{ik}^j$ , 则第  $i$  个因素的第  $j$  个步长区段的评判集为

$$R_i^j = \frac{r_{i1}^j}{(u_{ij}, v_1)} + \frac{r_{i2}^j}{(u_{ij}, v_2)} + \dots + \frac{r_{i6}^j}{(u_{ij}, v_6)} \quad (9)$$

式(9)简化为:  $R_i^j(r_{i1}^j, r_{i2}^j, \dots, r_{i9}^j) (i = 1, 2, \dots, 4; j = 1, 2, \dots, 5 \text{ 等, 随不同步长区段个数而不同})$ 。

显然, 等级评判集应是评价集上的模糊子集。以各步长区段内评判的隶属度为行, 即可形成等级评判矩阵。本次评判属于单因素评判, 故确定一个模糊关系  $R \in \mu_{n \times m}$ ,  $R$  为评判矩阵



$$R_i = \begin{pmatrix} R_i^1 \\ R_i^2 \\ R_i^3 \\ \vdots \\ R_i^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{i1}^1 & r_{i2}^1 & \cdots & r_{i6}^1 \\ r_{i1}^2 & r_{i2}^2 & \cdots & r_{i6}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1}^n & r_{i2}^n & \cdots & r_{i6}^n \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, 4$$

其中,  $r_{ik}^j$  表示第  $i$  个元素第  $j$  个步长区段对评价集中第  $k$  个元素的接受程度, 即隶属度,  $n$  值根据步长区段划分的不同而不同。

## 2.2 确定一级评价模型

各因素采用不同的权重, 用权重分配  $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  来表示, 且满足  $\sum_{i=1}^4 a_i = 1$ 。将  $A$  与评判矩阵  $R$  合成, 得:  $B = A \cdot R = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ , 矩阵  $B$  即是评价的数学模型。

## 2.3 隶属度及权重的确定

一般来说, 对于不同的因素, 其相应的等级评判矩阵是不同的, 但当两个影响因素影响评判对象取值趋势一致时, 相应的等级评判矩阵即可取成相同的, 例如: 混凝土截面损失率愈小,  $Z_1$  可取较大值; 钢筋损失率愈小,  $Z_1$  可取较大值等; 二者的变化趋势和取值都是一致的, 可取相同的等级评判矩阵。综合以上考虑, 确定各因素的隶属度及权重。

(1) 将各项影响因素采用专家咨询法来确定其隶属度。通过专家咨询和整理分析, 并参照文献[1-2, 5-6], 得出表 1~表 6 所示结果。

(2) 采用隶属函数来确定钢筋锈蚀率, 而混凝土损失系数主要用现场实际检测所得结果来计入。

表 1 梁桥最大裂缝宽度隶属度

裂缝宽度/mm	评判集					
	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	$\leq 0.85$
$<0.1$	1.0	0	0	0	0	0
$0.1 \sim 0.2$	0.8	0.2	0	0	0	0
$0.2 \sim 0.3$	0	0.6	0.2	0.2	0	0
$0.3 \sim 0.4$	0	0	0.6	0.2	0.2	0
$0.4 \sim 0.5$	0	0	0	0.2	0.8	0
$\geq 0.5$	0	0	0	0	0	1.0

表 2 梁桥最大裂缝宽度隶属度(预应力混凝土桥梁)

裂缝宽度/mm	评判集					
	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	$\leq 0.85$
0	1.0	0	0	0	0	0
$0 \sim 0.01$	—	0.75	0.25	0	0	0
$0.01 \sim 0.02$	0	0	0.75	0.25	0	0
$0.02 \sim 0.03$	0	0	0	0.75	0.25	0
$>0.03$	0	0	0	0	0	1.0

表 3 梁桥钢筋锈蚀率隶属度

钢筋锈蚀率/mm	评判集					
	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	$\leq 0.85$
0	1.0	0	0	0	0	0
$0 \sim 0.02$	0.2	0.8	0	0	0	0
$0.02 \sim 0.05$	0	0.2	0.6	0.2	0	0
$0.05 \sim 0.10$	0	0	0.2	0.6	0.2	0
$0.10 \sim 0.15$	0	0	0	0.2	0.6	0.2
$0.15 \sim 0.20$	0	0	0	0	0.2	0.8
$>0.20$	0	0	0	0	0	1.0

表 4 梁桥混凝土损失率隶属度

混凝土损失/%	评判集					
	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	$\leq 0.85$
0	1.0	0	0	0	0	0
$0 \sim 0.05$	0.2	0.6	0.2	0	0	0
$0.05 \sim 0.10$	0	0.2	0.6	0.2	0	0
$0.10 \sim 0.15$	0	0	0.2	0.6	0.2	0
$0.15 \sim 0.20$	0	0	0	0.2	0.8	0
$>0.20$	0	0	0	0	0	1.0

表 5 梁桥技术状况隶属度

技术状况指标	评判集					
	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	$\leq 0.85$
100	1.0	0	0	0	0	0
$100 \sim 88$	0.2	0.8	0	0	0	0
$88 \sim 60$	0	0.2	0.6	0.2	0	0
$60 \sim 40$	0	0	0.2	0.6	0.2	0
$<40$	0	0	0	0	0.8	0.2

(3) 权重的确定。权重的确定由上面所得的隶属度采用加权幂平均法, 即以所确定的评判矩阵  $R_i$  中的元素  $r_{ik}^j$  ( $i=1, 2, \dots, 4; k=1, 2, \dots, 6$ ) 的幂为权, 进行二次加权平均, 所得结果即为各自对应项的权重, 即有

$$a_i = (r_{ik}^j)^2 / \sum_{k=1}^6 (r_{ik}^j)^2$$

$$i = 1, 2, \dots, 4; j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

二次幂加权平均法考虑了所有的评判指标, 充分利用了模糊综合评判集  $B$  中的全部信息, 而且突出了占优势评判指标的作用, 比较合理客观。

## 2.4 确定检算系数值

### 2.4.1 综合评判法取值

由计算所得的权重集和隶属度, 利用前面建立起来的模型, 得出评判矩阵  $B = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ , 再由评判集  $V$  和评判矩阵合成而得  $Z_1$  的取值为



表 6 桥梁各部件实测打分及权重记录表

分部工程	序号	分项工程	实测各项目打分	实测各项目权重( $\omega_i$ )
上部结构	1	上部主要承重构件	88	20
	2	上部一般承重构件	70	5
	3	桥面铺装	75	1
	4	桥头跳车	65	3
	5	人行道	70	1
	6	伸缩缝	60	3
	7	栏杆,护栏	75	1
下部结构	8	桥台及基础	68	23
	9	桥墩及基础	75	24
	10	地基冲刷	78	8
	11	支座	80	3
	12	翼墙,耳墙	75	1
附属工程	13	锥坡,护坡	65	1
	14	调治构造物	70	3
	15	排水设施	80	1
	16	照明标志	78	1
其他	17	其他	76	1

$$P = Z_1 = VB^T \tag{12}$$

2.4.2 加权平均法取值

根据模糊集合理论,当已知评判指标  $b_k(k = 1, 2, \dots, 6)$  后,检算系数便可由加权平均法确定,即以评判指标  $b_k$  对评价集中元素  $v_k(k = 1, 2, \dots, 6)$  进行加权平均,所得结果即为检算系数最终值

$$Z_1 = \sum_{i=1}^6 b_k^p v_k / \sum_{i=1}^6 b_k^p \tag{13}$$

其中,指数  $p$  一般取 1,2,建议取  $p = 2$ ,这既充分利用了  $\{b_k\} (k = 1, \dots, 6)$  中的全部信息,又突出了占优势评判指标的作用<sup>[3-4]</sup>。

3 应用实例

本文以西安市田王庄灞河桥检测所得资料为依据,采用模糊二级评判方法评定其技术状况。由专家在现场观测为灞河桥各组成构件打分,各分部工程及分项工程的权重采用文献[1]中提供的数值,列于表 5。

3.1 建立因素集

首先建立模糊综合评判因素集  $U = \{ \text{上部结构}(U_1), \text{下部结构}(U_2), \text{附属工程}(U_3), \text{其他}(U_4) \}$ ,再建立各因素的子集,现以  $U_1$  为例: $U_1 = \{ \text{上部主要承重构件}(u_{11}), \text{上部一般承重构件}(u_{12}), \text{桥面铺装}(u_{13}), \text{桥头跳车}(u_{14}), \text{人行道}(u_{15}), \text{伸缩缝}(u_{16}), \text{栏杆护栏}(u_{17}) \}$ 。

3.2 建立评价集

由专家给出各项目的打分情况,由表 1 所示,可以求得评价集  $V$ ,由各项目的打分情况组成,即: $V_1 = [ 88, 70, 75, 65, 70, 60, 75 ]$ 。

3.3 确定隶属矩阵

利用前文所确定的隶属函数,确定出各因素子集的隶属度,得隶属矩阵,这里依然以  $U_1$  为例,经过计算  $U_1$  的隶属矩阵为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5/14 & 9/14 & 0 & 0 \\ 0 & 15/28 & 13/28 & 0 & 0 \\ 0 & 5/28 & 23/28 & 0 & 0 \\ 0 & 5/14 & 9/14 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 15/28 & 13/28 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.4 建立一级评价模型

由表 1 得出因素  $U_1$  各子因素的权重矩阵为  $A_1 = [0.2, 0.05, 0.01, 0.03, 0.01, 0.03, 0.01]$ 。

建立一级评判模型为  $B_1 = A_1 \cdot R_1$ ,得: $B_1 = [0, 0.237, 0.103, 0, 0]$ ,将  $B_1$  作归一化处理,得: $B_1^* = [0, 0.697, 0.303, 0, 0]$ 。同理可以得出其他  $R_i$  与  $B_i^*$  矩阵,将各个  $B_i^*$  矩阵组合起来,作为二级评判矩阵  $R$ ,由计算得出

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0.697 & 0.303 & 0 & 0 \\ 0 & 0.463 & 0.537 & 0 & 0 \\ 0 & 0.030 & 0.720 & 0.167 & 0.083 \\ 0 & 0.570 & 0.430 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.5 建立二级评判模型

由表 1 查得因素集的权重矩阵为: $A = [0.34, 0.59, 0.06, 0.01]$ ,由: $B = A \cdot R$ ,得: $B = [0, 0.518, 0.467, 0.01, 0.005]$ 。

3.6 综合评判

由评价集  $V = [100, 88, 60, 40, 0]$ ,得出最后评分结果为: $P = V \cdot B^T = [100, 88, 60, 40, 0] \cdot [0, 0.518, 0.467, 0.01, 0.005]^T = 74.004$

4 结 语

(1)将模糊数学综合评判理论运用于既有桥梁结构的评价上,提出桥梁技术状况的模糊综合评判方法;并以西安市田王庄灞河桥为例进行验证;提出了旧桥检算系数  $Z_1$  模糊综合评判取值的方法,给出具体计算过程及公式,总结了各因素隶属度由专家打分法而得到的结果。

(下转 74 页)



## 参考文献:

## References:

- [1] JTJ 026.1-1999. 公路隧道通风照明设计规范[S].  
JTJ 026.1-1999. Specifications for design of ventilation and lighting of highway tunnel[S].
- [2] 陈伯时. 交流调速系统[M]. 北京:机械工业出版社, 1998.  
CHEN Bo-shi. Variable-frequency variable-voltage system[M]. Beijing: Machine Industry Press, 1998.
- [3] 吕康成. 公路隧道运营设施[M]. 北京:人民交通出版社, 1999.  
LÜ Kang-cheng. Highway tunnel running equipments [M]. Beijing: People's Communications Press, 1999.
- [4] 刘小强. 基于 PLC 现场网络的公路隧道通风监控系统[D]. 西安:长安大学, 2005.  
LIU Xiao-qiang. Highway tunnel ventilation monitor and control system based on PLC field network[D]. Xi'an: Chang'an University, 2005.
- [5] 李龙清, 吴奉亮, 周丽红. 基于浏览器/服务器(B/S)与客户机/服务器(C/S)模式的通风信息系统[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2004, 24(4):107-110.  
LI Long-qing, WU Feng-liang, ZHOU Li-hong. Ventilation information system based on browser/server

(B/S) and client/server (C/S) patters[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(4): 107-110.

- [6] 胡宇峰, 陆志良. 汽车隧道内气流及污染问题研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(4):109-113.  
HU Yu-feng, LU Zhi-liang. Ventilation and pollution characteristics of vehicle tunnel[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(4): 109-113.
- [7] 符策. 软件数字下变频器的算法[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(2):119-122.  
FU Ce. Algorithm of software digital down converter [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(2): 119-122.
- [8] 徐颖. 变频调速与节能[J]. 内蒙古农业大学学报, 2004, 25(2):127-129.  
XU Ying. Variable-frequency variable-voltage and energy saving[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2004, 25(2): 127-129.
- [9] 张光鹏. 公路隧道纵向通风的神经网络在线控制研究[J]. 现代隧道技术, 2004, 41(3):52-54.  
ZHANG Guang-peng. Study on the online control of the neural net of the longitudinal ventilation for highway tunnels[J]. Modern Tunnel Technology, 2004, 41(3): 52-54.

~~~~~  
(上接 67 页)

(2)模糊综合评判法对桥梁技术状况的评价比较客观、科学和合理,克服了以前简单的加权平均法及主观判断的缺陷,其结果有助于管理者做出合理的养护、维修、加固方案;为桥梁管理评价提供了理论依据,具有工程实用价值和广阔的开发前景。

## 参考文献:

## References:

- [1] JTG H11-2004. 公路桥涵养护规范[S].  
JTG H11-2004. Code for maintenance of highway bridges and culverts[S].
- [2] 公路旧桥承载能力鉴定方法[S]. 1988.  
Appraising method of carry capacity for highway existed bridge[S]. 1988.
- [3] 梁军, 江薇. 模糊综合评价方法改进及其在交通管理规划中的应用[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(4):68-72.  
LIANG Jun, JIANG Wei. An improvement on fuzzy comprehensive evaluation method and its use in urban traffic planning[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(4): 68-72.
- [4] 陈忠达. 刚性路面综合系数模糊综合评判[J]. 模糊系

统与数学, 1994, 8(增刊):67-70.

- CHEN Zhong-da. Fuzzy Comprehensive evaluation of comprehensive coefficient for rigid pavement[J]. Fuzzy System and Math, 1994, 8(Sup): 67-70.
- [5] 牟宗军. 旧有桥梁结构可靠度评定[D]. 西安:长安大学, 1999.  
MOU Zong-jun. Evaluation of reliability for existed bridge structure[D]. Xi'an: Chang'an University, 1999.
- [6] 郭红仙, 任宝双, 钱稼茹. 北京地区钢筋混凝土简支梁桥结构综合评估系统[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2002, 42(6):825-827.  
GUO Hong-xian, REN Bao-shuang, QIAN Jia-ru. Evaluation system for existing simply supported beam type reinforced concrete bridge structures in Beijing [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2002, 42(6): 825-827.
- [7] 吕颖钊, 贺拴海. 在役桥梁承载力模糊可靠性的马尔科夫预测[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2005, 25(4): 39-43.  
LÜ Ying-zhao, HE Shuan-hai. Prediction of Markov fuzzy reliability for exisiting bridge [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(4): 39-43.