

文章编号:1671-8879(2006)06-0006-06

地基处理方案优选的可拓层次分析法

彭小云^{1,2}, 宫治国³, 折学森¹, 姜盈霓²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 武警工程学院
建筑工程系, 陕西 西安 710086; 3. 中国建筑第八工程局 工业设备安装公司, 江苏 南京 210046)

摘要:地基处理方案优选是一个非常重要的环节,对方案优选常用的传统层次分析法(AHP)中引入可拓学的基本理论,将判断矩阵权重向量的求解与一致性检验有机结合,有效避免了传统层次分析法中的大量试算工作,同时,考虑了人们判断的模糊性和多位决策者的实践经验。通过地基处理方案优选的实际应用,表明可拓层次分析法结论符合工程实际,且概念清晰,易于掌握。

关键词:道路工程;地基处理;方案优选;层次分析法;可拓学

中图分类号:U416.1; O224 文献标识码:A

Extent AHP method in schemes choosing of foundation treatment

PENG Xiao-yun^{1,2}, GONG Zhi-guo³, SHE Xue-sen¹, JIANG Ying-ni²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Department of Constrution Engineering, Engineering College of Armed Police Force, Xi'an 710086, Shaanxi, China; 3. Installation Company of Industrial Equipment, China Construction Eighth Engineering Division, Nanjing 210046, Jiangsu, China)

Abstract: How to choose the treatment schemes of foundation is an important step in engineering projects. The AHP method is usually used in the schemes choosing of foundation treatment. Some extension set theory is introduced in AHP method to avoid a great deal of trail calculation. In extend AHP method, the weight elements solution of judgment matrix is combined with consistency check organically, the fuzziness of people's judgment and engineering experience of many experts are taken into account. The application results show that this method has a good accordance with the reality, it is clear in conception and easy to put into practice. 7 tabs, 1 fig, 6 refs.

Key words: road engineering; foundation treatment; schemes choosing; analytic hierarchy process method; extension sets theory

0 引言

工程建设中,地基处理方案优选是一个非常重要的环节。层次分析法作为一种较为常用的方案优选方法,可以很好地避免人们主观判断的不良影响。

该方法非常重要的一个环节是进行判断矩阵一致性检验,以免出现 A 比 B 重要, B 比 C 重要, 而 C 比 A 重要的矛盾结论。若一致性检验不满足要求,则不能据此得出各比较方案之间的客观排序,要重新构造判断矩阵并计算相应权重向量,直至一致性检验

收稿日期:2005-09-25

基金项目:陕西省交通科技项目(03-18K)

作者简介:彭小云(1975-),女,山西长治人,武警工程学院讲师,长安大学博士研究生。

满足为止。而且在进行判断矩阵构造时,传统层次分析法没有考虑人们判断的模糊性。例如,甲乙两个方案相比时,经常会认为甲方案比乙方案重要的程度在 5.5~6.5 之间,而不是整数(例如“6”)。使本来模糊的量明显化,或者变成没有弹性的硬指标。

为了解决上述问题,前人做了许多有益的研究,如引进模糊数学、灰色理论以及神经网络等^[1-3],但均未完全解决上述问题,而且上述理论对一般研究人员较难掌握,不利于方法的进一步改进和推广。本文引入可拓区间数的概念,将权重向量求解与矩阵一致性检验结合进行。并考虑人们判断的模糊性和多位决策者的实践经验。通过具体应用证明该方法概念清晰,简单实用。

1 可拓区间数的相关概念

1.1 可拓区间数与可拓区间数矩阵

定义 1 记 $E(U)$ 为给定论域 U 上的全体可拓集合,设 $a = \langle a^-, a^+ \rangle \in E(U)$, 则 u 关于 a 的简单关联函数 $K_a(u)$ 表示为

$$K_a(u) = \begin{cases} \frac{2(u-a^-)}{a^+ - a^-}, & u \leq \frac{a^- + a^+}{2} \\ \frac{2(a^+ - u)}{a^+ - a^-}, & u \geq \frac{a^- + a^+}{2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $a = \langle a^-, a^+ \rangle = \{x | 0 < a^- < x < a^+\}$ 称为可拓区间数。符号 $\langle a^-, a^+ \rangle$ 可以包含端点 a^- 或 a^+ , 也可以不包含端点 a^- 或 a^+ 。

当 $a^- = a^+$ 时,可拓区间数 a 即为普通的正实数。当且仅当 $a^- = b^-$, $a^+ = b^+$, 两个可拓区间数 $a = \langle a^-, a^+ \rangle$ 和 $b = \langle b^-, b^+ \rangle$ 是相等的,记为 $a = b$ 。

定理 1 设 $a = \langle a^-, a^+ \rangle$, $b = \langle b^-, b^+ \rangle$ 为两个可拓区间数,可拓区间数的运算法则为

$$(1) a \oplus b = \langle a^-, a^+ \rangle \oplus \langle b^-, b^+ \rangle = \langle a^- + b^-, a^+ + b^+ \rangle;$$

$$(2) a \otimes b = \langle a^-, a^+ \rangle \otimes \langle b^-, b^+ \rangle = \langle a^- b^-, a^+ b^+ \rangle;$$

$$(3) \forall \lambda \in R^+, \lambda a = \lambda \langle a^-, a^+ \rangle = \langle \lambda a^-, \lambda a^+ \rangle;$$

$$(4) 1/a = \langle 1/a^-, 1/a^+ \rangle。$$

定义 2 设 $a = \langle a^-, a^+ \rangle$, $b = \langle b^-, b^+ \rangle$ 为两个可拓区间数, $a \geq b$ 的可能性程度被定义为

$$V(a \geq b) = \sup_{u \geq v} (K_a(u) \wedge K_b(v)) \quad (2)$$

定理 2 设 $a = \langle a^-, a^+ \rangle$, $b = \langle b^-, b^+ \rangle$ 为两个可拓区间数,则 $V(a \geq b)$ 由下式计算

$$V(a \geq b) = \frac{2(a^+ - b^-)}{(b^+ - b^-) + (a^+ - a^-)} \quad (3)$$

当 $b^- < a^+$ 时, $V(a \geq b)$ 为正值,表示 $a \geq b$ 的可能性程度;而当 $b^- > a^+$ 时, $V(a \geq b)$ 为负值,表示 $a \geq b$ 的不可能程度;当 $b^- = a^+$ 时, $V(a \geq b) = 0$ 。

定义 3 以可拓区间数为元素的向量和矩阵,分别称为可拓区间数向量和可拓区间数矩阵,其运算按通常数字矩阵或向量的运算定义。

设 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 为可拓区间数矩阵,即 $a_{ij} = \langle a_{ij}^-, a_{ij}^+ \rangle$, 记 $A^- = [a_{ij}^-]_{n \times n}$, $A^+ = [a_{ij}^+]_{n \times n}$, 并记 $A = \langle A^-, A^+ \rangle$ 。同样对可拓区间数向量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, $x_i = \langle x_i^-, x_i^+ \rangle$, 记 $x^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-)^T$, $x^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+)^T$, 并记 $x = \langle x^-, x^+ \rangle$ 。

定义 4 设 A 为一可拓区间数矩阵, λ 是一可拓区间数,如果存在一个可拓区间数向量 x , 使得关系式 $Ax = \lambda x$ 成立,则称 λ 为 A 的一个特征值, x 为 A 对应于 λ 的一个特征向量。

由可拓区间数相等的定义得:

定理 3 如果 $Ax = \lambda x$, 则 $A^- x^- = \lambda^- x^-$, $A^+ x^+ = \lambda^+ x^+$ 。

定理 4 设可拓区间数矩阵 $A = \langle A^-, A^+ \rangle$, 如果 λ^- , λ^+ 分别是 A^- , A^+ 的最大特征值,则

(1) $\lambda = \langle \lambda^-, \lambda^+ \rangle$ 为 A 的特征值;

(2) $X = \langle kx^-, mx^+ \rangle$ 是 A 对应于 λ 的全体特征向量,其中: x^- , x^+ 分别为 A^- , A^+ 对应于 λ^- , λ^+ 的任一正特征向量; k, m 是满足 $0 < kx^- \leq mx^+$ 的全体正实数^[4]。

1.2 可拓区间数判断矩阵及其一致性

定义 5 如果 $\forall i, j = 1, 2, \dots, n$, 均有

$$(1) a_{ij} = \langle a_{ij}^-, a_{ij}^+ \rangle, \text{ 且 } 1/9 \leq a_{ij}^- \leq a_{ij}^+ \leq 9;$$

$$(2) a_{ij} = 1/a_{ji}。$$

则称 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 为可拓区间数判断矩阵。

设 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 为一可拓区间数判断矩阵, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 为相应于 A 的可拓区间数权重向量,如果 a_{ij} 客观地反映了 w_i 与 w_j 的比值,而不是一种近似,那么应有 $a_{ij} = w_i/w_j$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), 此时容易知道等式 $a_{ij}a_{jk} = a_{ji}a_{ik}$ 对任意的 $i, j, k = 1, 2, \dots, n$ 均成立。

定义 6 设 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 为一个可拓区间数矩阵,如果对任意的 $i, j, k = 1, 2, \dots, n$ 均有

$$a_{ij} = 1/a_{ji}, a_{ij}a_{jk} = a_{ji}a_{ik} \quad (4)$$

则称 A 为一致性可拓区间数矩阵,称(4)式为一致性条件^[5]。

显然,当 $a_{ij}^- = a_{ij}^+$ 时,一致性可拓区间数矩阵即为通常的一致性矩阵。

定理 5 设 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 为一致性可拓区间数判

断矩阵, x^- 、 x^+ 分别为 A^- 、 A^+ 属于其最大特征值的具有正分量的归一化特征向量, 则

$$w_s = \langle kx_s^-, mx_s^+ \rangle \tag{5}$$

$$w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$$

满足 $a_{ij} = w_i/w_j$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 的充分必要条件是

$$\frac{k}{m} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^+}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^-}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^-} \right)}$$

考虑到 k/m 的具体表达式及权重向量的左右端点的对称性, 可取

$$k = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_k} \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} a_{ij}^+}}{\sum_{j=1}^{n_k} \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} a_{ij}^-}}}, m = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_k} \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} a_{ij}^-}}{\sum_{j=1}^{n_k} \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} a_{ij}^+}}} \tag{6}$$

2 可拓层次分析法

2.1 建立层次结构模型

层次结构模型的建立是指通过对所考虑问题的深入分析, 将其所包含的因素划分成不同层次, 通常包括目标层、准则层、指标层和方案层, 然后用框图形式说明层次的递阶结构与因素的从属关系。具体步骤与传统层次分析法相同。

2.2 构造可拓判断矩阵

建立了层次结构模型之后, 针对第 $k-1$ 层的某一个(例如第 h 个)因素或准则, 将第 k 层与之有关的全部 n 个因素, 通过两两比较, 利用可拓区间数定量表示它们的相对优劣程度(或重要程度), 从而构造一个可拓区间数判断矩阵 A 。 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 中的元素 $a_{ij} = \langle a_{ij}^-, a_{ij}^+ \rangle$ 是一个可拓区间数, 取值标准同常规层次分析法所采用的 Saaty T J 标准一样。

可拓判断矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 为正互反矩阵, 即

$$a_{ii} = 1, a_{ji} = a_{ij}^{-1} = \left\langle \frac{1}{a_{ij}^+}, \frac{1}{a_{ij}^-} \right\rangle$$

2.3 计算综合可拓判断矩阵和权重向量

设共有 T 位决策者参与可拓判断矩阵的构造, $A_t^k = [a_{ij}^t]_{n \times n}$ 表示第 t 位 ($t = 1, 2, \dots, T$) 决策者给出的第 k 层全体因素对第 $k-1$ 层的某个因素的可拓判断矩阵, 其中 $a_{ij}^t = \langle a_{ij}^{-t}, a_{ij}^{+t} \rangle$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), 则第 k 层全体因素对第 $k-1$ 层次的某个因素的综合可拓判断矩阵为

$$A^k = [a_{ij}^k]_{n \times n}$$
$$a_{ij}^k = \langle a_{ij}^{-k}, a_{ij}^{+k} \rangle = \left\langle \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T a_{ij}^{-t}, \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T a_{ij}^{+t} \right\rangle \tag{7}$$

对上述第 k 层综合可拓区间数判断矩阵 $A =$

$\langle A^-, A^+ \rangle$, $A^- = [a_{ij}^-]_{n \times n}$, $A^+ = [a_{ij}^+]_{n \times n}$ 。 求其满足一致性条件的权重向量的步骤为:

(1) 求 A^- 、 A^+ 的最大特征值所对应的具有正分量的归一化特征向量 x^-, x^+ ;

(2) 由 $A^- = [a_{ij}^-]_{n \times n}$, $A^+ = [a_{ij}^+]_{n \times n}$, 根据式(6)计算 k, m ;

(3) 求出权重向量 $S^k = (S_1^k, S_2^k, \dots, S_n^k)^T = \langle kx^-, mx^+ \rangle$ 。

2.4 层次单排序

根据定理 2 计算 $V(S_i^k \geq S_j^k)$ ($i = 1, 2, \dots, n$; $i \neq j$), 如果 $\forall i = 1, 2, \dots, n; i \neq j, V(S_i^k \geq S_j^k) \geq 0$, 则

$$P_{jh}^k = 1, P_{ih}^k = V(S_i^k \geq S_j^k) \tag{8}$$

其中, P_{ih}^k 表示第 k 层的第 i 个因素对第 $k-1$ 层的第 h 个因素的单排序, 经归一化后得到

$$P_h^k = (p_{1h}^k, p_{2h}^k, \dots, p_{nh}^k)^T$$

表示第 k 层所有因素对第 $k-1$ 层的第 h 个因素的单排序权重向量。

在求出所有 P_h^k 之后, 进行层次总排序。方法同常规层次分析法。

3 实例分析

3.1 可拓层次分析

根据文献[3]提供的研究方法且有明确结论的地基处理方案, 进行可拓层次优化分析, 可选地基处理方案为真空预压法(方案一)、塑料带排水堆载预压法(方案二)和水泥深层搅拌法(方案三)。

建立如图 1 所示层次分析模型。

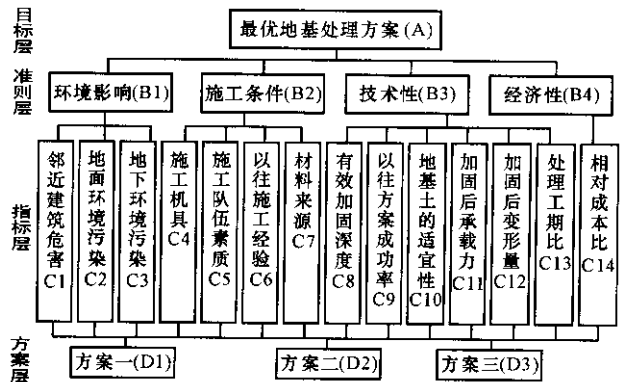


图 1 最优地基处理方案层次分析模型

共有两位决策者参与各级综合可拓区间数判断矩阵的构造。他们关于各层的可拓区间数判断矩阵根据各项指标两两比较而得, 分别见表 1~表 5。限于篇幅, 表 5 为部分指标层对方案层的可拓区间数判断矩阵。利用式(7)求得各层综合可拓区间数

判断矩阵。根据综合可拓区间数判断矩阵的满足一致性条件的权重向量的求解步骤,依据式(5)、式(6)求得相应权重向量,再根据式(8)求得各层因素间的层次单排序。计算结果见表 1~表 5,最后进行层次总排序(表 6)。

表 1 两个决策者关于准则层对目标层的可拓区间数判断矩阵及排序

A	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	层次单排序
B1	⟨1,1⟩	⟨2.5,3.5⟩	⟨0.238,0.313⟩	⟨0.294,0.333⟩	⟨1,1⟩	⟨2.5,3.5⟩	⟨0.208,0.263⟩	⟨0.294,0.333⟩	0.142
B2	⟨0.286,0.4⟩	⟨1,1⟩	⟨0.182,0.2⟩	⟨0.27,0.294⟩	⟨0.286,0.4⟩	⟨1,1⟩	⟨0.182,0.2⟩	⟨0.27,0.294⟩	0.013
B3	⟨3.2,4.2⟩	⟨5.0,5.5⟩	⟨1,1⟩	⟨1,1.5⟩	⟨3.8,4.8⟩	⟨5.0,5.5⟩	⟨1,1⟩	⟨2,2.5⟩	0.307
B4	⟨3.0,3.4⟩	⟨3.4,3.7⟩	⟨0.667,1⟩	⟨1,1⟩	⟨3.0,3.4⟩	⟨3.4,3.7⟩	⟨0.4,0.5⟩	⟨1,1⟩	0.538

表 2 两个决策者关于环境影响准则 B1 对指标层的可拓区间数判断矩阵及排序

B1	C1	C2	C3	C1	C2	C3	层次单排序
C1	⟨1,1⟩	⟨2.5,2.7⟩	⟨2.8,3.2⟩	⟨1,1⟩	⟨2.5,2.7⟩	⟨3.6,3.8⟩	0.871
C2	⟨0.37,0.4⟩	⟨1,1⟩	⟨1.3,1.6⟩	⟨0.37,0.4⟩	⟨1,1⟩	⟨1.3,1.6⟩	0.113
C3	⟨0.313,0.357⟩	⟨0.625,0.769⟩	⟨1,1⟩	⟨0.263,0.278⟩	⟨0.625,0.769⟩	⟨1,1⟩	0.016

表 3 两个决策者关于施工条件准则 B2 对指标层的可拓区间数判断矩阵及排序

B2	C4	C5	C6	C7	C4	C5	C6	C7	层次单排序
C4	⟨1,1⟩	⟨0.5,0.667⟩	⟨3.3,3.8⟩	⟨2,2.1⟩	⟨1,1⟩	⟨0.333,0.4⟩	⟨3.7,4.2⟩	⟨2.2,2.7⟩	0.401
C5	⟨1.5,2⟩	⟨1,1⟩	⟨4.5,5⟩	⟨3.4,3.8⟩	⟨2.5,3⟩	⟨1,1⟩	⟨4.5,5⟩	⟨3.4,3.8⟩	0.403
C6	⟨0.263,0.303⟩	⟨0.2,0.222⟩	⟨1,1⟩	⟨0.455,0.556⟩	⟨0.238,0.27⟩	⟨0.2,0.222⟩	⟨1,1⟩	⟨0.455,0.556⟩	0.014
C7	⟨0.476,0.5⟩	⟨0.263,0.294⟩	⟨1.8,2.2⟩	⟨1,1⟩	⟨0.37,0.455⟩	⟨0.263,0.294⟩	⟨1.8,2.2⟩	⟨1,1⟩	0.183

表 4 两个决策者关于技术性准则 B3 对指标层的可拓区间数判断矩阵及排序

B3	C8	C9	C10	C11	C12	C13	
C8	⟨1,1⟩	⟨2.6,3⟩	⟨2,2.4⟩	⟨0.222,0.25⟩	⟨0.222,0.25⟩	⟨0.233,0.25⟩	
C9	⟨0.333,0.385⟩	⟨1,1⟩	⟨0.385,0.435⟩	⟨0.185,0.2⟩	⟨0.185,0.2⟩	⟨0.222,0.25⟩	
C10	⟨0.417,0.5⟩	⟨2.3,2.6⟩	⟨1,1⟩	⟨0.2,0.222⟩	⟨0.2,0.222⟩	⟨0.227,0.238⟩	
C11	⟨4,4.5⟩	⟨5,5.4⟩	⟨4.5,5⟩	⟨1,1⟩	⟨1,1.2⟩	⟨1.5,1.9⟩	
C12	⟨4,4.5⟩	⟨5,5.4⟩	⟨4.5,5⟩	⟨0.833,1⟩	⟨1,1⟩	⟨1.0,1.2⟩	
C13	⟨4,4.3⟩	⟨4,4.5⟩	⟨4.2,4.4⟩	⟨0.526,0.667⟩	⟨0.833,1⟩	⟨1,1⟩	
B3	C8	C9	C10	C11	C12	C13	层次单排序
C8	⟨1,1⟩	⟨2.6,3⟩	⟨2,2.4⟩	⟨0.182,0.2⟩	⟨0.182,0.2⟩	⟨0.213,0.227⟩	0.131
C9	⟨0.333,0.385⟩	⟨1,1⟩	⟨0.385,0.435⟩	⟨0.167,0.161⟩	⟨0.167,0.161⟩	⟨0.182,0.2⟩	0.008
C10	⟨0.417,0.5⟩	⟨2.3,2.6⟩	⟨1,1⟩	⟨0.167,0.182⟩	⟨0.167,0.182⟩	⟨0.208,0.217⟩	0.109
C11	⟨5,5.5⟩	⟨6,6.2⟩	⟨5.5,6⟩	⟨1,1⟩	⟨1,1.2⟩	⟨1.5,1.9⟩	0.212
C12	⟨5,5.5⟩	⟨6,6.2⟩	⟨5.5,6⟩	⟨0.833,1⟩	⟨1,1⟩	⟨1.0,1.2⟩	0.262
C13	⟨4.4,4.7⟩	⟨5,5.5⟩	⟨4.6,4.8⟩	⟨0.526,0.667⟩	⟨0.833,1⟩	⟨1,1⟩	0.277

表 5 两个决策者关于指标层对方案层的可拓区间数判断矩阵及排序

C1	D1	D2	D3	D1	D2	D3	层次单排序
D1	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1.2,1.3 \rangle$	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1.2,1.3 \rangle$	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	0.263
D2	$\langle 0.769,0.833 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.385,0.417 \rangle$	$\langle 0.769,0.833 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.333,0.385 \rangle$	0.035
D3	$\langle 2,2.5 \rangle$	$\langle 2.4,2.6 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 2,2.5 \rangle$	$\langle 2.6,3 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	0.703
C2	D1	D2	D3	D1	D2	D3	层次单排序
D1	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1.2,1.5 \rangle$	$\langle 1,1.5 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1.2,1.5 \rangle$	$\langle 2,2.5 \rangle$	0.580
D2	$\langle 0.667,0.833 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1,1.4 \rangle$	$\langle 0.667,0.833 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1.4,1.8 \rangle$	0.341
D3	$\langle 0.667,1 \rangle$	$\langle 0.714,1 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 0.556,0.714 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	0.078
C3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	层次单排序
D1	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.2,0.238 \rangle$	$\langle 0.357,0.4 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.167,0.2 \rangle$	$\langle 0.278,0.323 \rangle$	0.049
D2	$\langle 4.2,5.0 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 5,6 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.286,0.333 \rangle$	0.466
D3	$\langle 2.5,2.8 \rangle$	$\langle 2,2.5 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 3.1,3.6 \rangle$	$\langle 3,3.5 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	0.485
C4	D1	D2	D3	D1	D2	D3	层次单排序
D1	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.417,0.5 \rangle$	$\langle 0.667,0.833 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.313,0.417 \rangle$	$\langle 0.667,0.833 \rangle$	0.048
D2	$\langle 2,2.4 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 2.4,3.2 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.286,0.333 \rangle$	0.277
D3	$\langle 1.2,1.5 \rangle$	$\langle 2,2.5 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1.2,1.5 \rangle$	$\langle 3,3.5 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	0.674
C5	D1	D2	D3	D1	D2	D3	层次单排序
D1	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1.2,1.4 \rangle$	$\langle 2.4,2.6 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 1.2,1.4 \rangle$	$\langle 2.6,3.0 \rangle$	0.548
D2	$\langle 0.714,0.833 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 2.0,2.4 \rangle$	$\langle 0.714,0.833 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 2.4,2.6 \rangle$	0.431
D3	$\langle 0.385,0.417 \rangle$	$\langle 0.417,0.5 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	$\langle 0.333,0.385 \rangle$	$\langle 0.385,0.417 \rangle$	$\langle 1,1 \rangle$	0.021

表 6 层次总排序

目标层	准则层	指标层	方案层		
			方案一(D1)	方案二(D2)	方案三(D3)
A	B1(0.142)	C1(0.871)	0.263	0.035	0.703
		C2(0.113)	0.580	0.341	0.078
		C3(0.016)	0.049	0.466	0.485
	B2(0.013)	C4(0.401)	0.048	0.277	0.674
		C5(0.403)	0.548	0.431	0.021
		C6(0.014)	0.039	0.776	0.185
		C7(0.183)	0.126	0.098	0.776
	B3(0.307)	C8(0.131)	0.164	0.030	0.806
		C9(0.008)	0.118	0.022	0.860
		C10(0.109)	0.197	0.040	0.763
		C11(0.212)	0.166	0.037	0.797
		C12(0.262)	0.146	0.034	0.820
		C13(0.277)	0.016	0.515	0.469
	B4(0.538)	C14(1.000)	0.492	0.488	0.020
方案总排序			0.347	0.329	0.322

计算结果表明,3 个处理方案的优劣排序为: D1 为 0.347,D2 为 0.329,D3 为 0.322。所以最佳地基处理方案是 D1,即真空预压法。此结果与文献[3]结论一致。

3.2 可拓区间数判断矩阵权重向量的一致性检验

按常规层次分析法,检验各可拓区间数判断矩阵权重向量的一致性,以检验所建立的可拓区间数矩阵是否满足层次分析法对一致性的要求。按下式计算一致性比率^[6]

$$[CR]=[CI]/[RI], [CI]=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$$

(9)

式中: n 为指标的个数,即矩阵阶数。计算中 λ_{\max} 取 λ_{\max}^- 、 λ_{\max}^+ 的平均值。 $[RI]$ 取值: $n=1,2$ 时, $[RI]=0$; $n=3$ 时, $[RI]=0.58$; $n=4$ 时, $[RI]=0.9$; $n=5$ 时, $[RI]=1.12$; $n=6$ 时, $[RI]=1.24$ 。当 $[CR]<0.1$ 时,认为矩阵满足一致性要求。

计算结果见表 7。各矩阵权重向量的一致性比率 $[CR]$ 均小于 0.1,满足一致性要求。说明根据本文方法求解的可拓区间数判断矩阵的权重向量能自动满足一致性要求。

表 7 可拓区间数矩阵常规一致性检验

矩阵	A-B	B1-C	B2-C	B3-C	C1-D	C2-D	C3-D	C4-D	C5-D
n	4	3	4	6	3	3	3	3	3
λ	4.13	3.01	4.05	6.21	3.01	3.02	3.01	3.11	3.01
$[CI]$	0.043	0.003	0.017	0.041	0.003	0.009	0.007	0.06	0.003
$[RI]$	0.90	0.58	0.90	1.24	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
$[CR]$	0.05	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.097	0.01

4 结 语

- (1)将判断矩阵权重向量的求解与一致性检验有机结合,使判断矩阵能自动满足一致性要求,从而避免了传统层次分析法的大量试算工作。
- (2)以可拓区间数代替普通数值,可以更好的反映人们判断的模糊性。
- (3)构造判断矩阵时可以考虑多位决策者的实践经验,尽量减少判断的主观性对评价结果的影响。
- (4)工程实例表明,可拓层次分析法符合实际,概念清晰,易于掌握,是一种实用的方案优选方法。
- (5)在方法的进一步改进方面,考虑到参与构造判断矩阵的决策者实践水平参差不齐,可在式(7)中引入一定权重系数,使评价结果更符合实际。

参考文献:
References:

[1] 马荣国,李铁强,肖代全. 灰关联决策在公路建设项目方案比选中的应用[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2004,24(6):67-70.

MA Rong-guo , LI Tie-qiang, XIAO Dai-quan. Application of gray relational decision in highway items selection[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004,24(6):67-70.

[2] 曲大义,王 炜,邓 卫. 基于系统层次分析法的公路网规划项目建设序列论证[J]. 中国公路学报,2000,13(3):64-68.

QU Da-yi, WANG Wei, DENG Wei. Order of item in the process of highway network planning based on AHP[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000,13(3):64-68.

[3] 祝启坤,张小敏. 地基处理方案的模糊优化[J]. 水文地质工程地质,2002,29(5):40-42.

ZHU Qi-kun, ZHANG Xiao-min. Fuzzy optimization of foundations treatment scheme[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2002,29(5):40-42.

[4] 蔡 文,杨春燕,林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京:科学出版社,1997.

CAI Wen, YANG Chun-yan, LIN Wei-chu. Extend theory method in engineering [M]. Beijing: Science Press,1997.

[5] 高 洁,盛昭瀚. 可拓层次分析法研究[J]. 系统工程, 2002,20(5):6-11.

GAO Jie, SHENG Zhao-han. Research of extend AHP method[J]. System Engineering, 2002,20(5):6-11.

[6] 马立平. 层次分析法:现代统计分析方法的学与用(7) [J]. 北京统计,2000,(7):38-39.

MA Li-ping. Analytic hierarchy process: the modern statistical analysis method study and uses(7) [J]. Beijing Statistic, 2000,(7):38-39.



欢迎申请加入《中国交通学术期刊审稿专家库》

《中国交通学术期刊审稿专家库》是由《中国公路学报》、《交通运输工程学报》、《长安大学学报》等长安大学杂志社编辑出版的权威学术期刊共同构建的为审稿服务的专家数据库。目前面向交通行业(包括公路、桥梁、隧道、交通工程、汽车工程、经济管理、物流、铁路、航空、水运、工程机械等领域)邀请审稿专家。希望得到交通行业各位专家的大力支持!

申请条件:

凡具有正高职称或拥有博士学位且具有副高职称的专家均可申请加入该专家库。

申请办法:

- (1)登陆长安大学杂志社网站(<http://zjs.chd.edu.cn>),点击“审稿专家库”栏目即可进入《中国交通学术期刊审稿专家库》,然后在线填写专家登记表。
- (2)直接下载专家登记表(下载地址:<http://zjs.chd.edu.cn/sgzj.doc>),填写完毕之后发送至 E-mail: sgzjk@163.com。