

边坡治理决策的改进层次结构模型及其应用

Improved hierarchy model of treatment decision of slope and its application

谢全敏, 夏元友

(武汉理工大学 岩土与环境工程研究所, 湖北 武汉 430070)

摘要: 边坡治理决策是一个多目标多层次的决策问题, 而常规的层次分析法需要进行一致性检验, 为此利用最优传递矩阵对常规的层次分析法进行改进, 建立了边坡治理决策的改进层次分析法, 该方法求得的判断矩阵自然满足一致性要求, 不需要进行一致性检验。以板岩山危岩边坡体治理为例, 详细地分析了该方法的应用。

关键词: 边坡治理; 最优传递矩阵; 层次分析法; 多目标决策

中图分类号: P 642. 2

文献标识码: A

文章编号: 1000- 4548(2002) 01- 0086- 03

作者简介: 谢全敏(1968-), 男, 四川人, 1993年于武汉工业大学岩土工程专业获硕士学位, 现为武汉理工大学结构工程专业博士生, 主要从事岩土工程方面的教学和科研工作。

XIE Quarmin, XIA Yuan you

(Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The decision of treatment schemes of slopes is a comprehensive judgement with multi-objective and multi-hierarchy. The traditional Analytic Hierarchy Process(AHP) needs the identity test. In this paper, the traditional AHP is improved by means of optimal transfer matrix, and the improved AHP of treatment decision schemes of slopes is set up. The judgement matrix obtained by this method can naturally meet the requirement of identity, so the identity test is not needed. At last, the method is applied to the treatment of a critical rock slope, and its application is discussed in detail.

Key words: treatment of slopes; optimal transfer matrix; Analytic Hierarchy Process; multi-objective decision

1 引言*

边坡治理决策是一个多目标多层次的综合评判问题^[1,2], 对边坡治理方案的定性与定量评判是边坡治理决策的关键之一。T. L. Satty 提出的层次分析法是把定性与定量融合得较好的一种方法, 它对于解决多层次多目标的边坡治理决策系统优化问题行之有效, 具有高度逻辑性、灵活性及简洁性等特点^[3-5]。它的基本原理是将评价因素两两比较相对重要性, 然后进行排序。由于人为判断的片面性, 两两比较的结果不一定具有客观一致性, 因此通常需要一致性检验, 若不能通过检验, 常规的做法是凭着大致的估计来调整判断矩阵, 它虽行之有效, 但毕竟带有主观性和盲目性, 有时需要经过多次调整才能通过一致性检验^[6,7]。为此本文利用最优传递矩阵^[8]对常规的层次分析法进行改进, 使之自然满足一致性要求, 不需要进行一致性检验。并以板岩山危岩边坡体治理为实例^[7,9-12], 详细地讨论了改进层次分析方法在边坡治理多层次多目标决策中的应用。

2 改进的层次分析原理与模型

设实数矩阵 $A = [a_{ij}]$, $B = [b_{ij}]$, $C = [c_{ij}] \in R^{n \times n}$ 。

定义 1 若 $a_{ij} = 1/a_{ji}$, 则称 A 为互反矩阵; 若 $b_{ij} = -b_{ji}$, 则称 B 为反对称矩阵。

定义 2 若 A 是互反矩阵, 且有 $a_{ij} = a_{ik}/a_{jk}$, 则称

A 是一致的; 若 B 是反对称矩阵, 且有 $b_{ij} = b_{ik} + b_{kj}$, 则称 B 是传递的。

定义 3 若存在传递矩阵 C , 且使 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij} - b_{ij})^2$ 最小, 则称 C 是 B 的最优传递矩阵。

定理 1 若 B 是反对称阵, 则 B 的最优传递矩阵 C 应满足 $c_{ij} = \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk})/n$ 。

定理 2 若 A 是互反矩阵, $B = \lg A$, C 是 B 的最优传递矩阵, 那么, 矩阵 $A^* = 10^C$ 是 A 的一个拟最优传递矩阵, 并且它是一致的。

通常的层次分析法中, 由标度法构造的判断矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 具有以下特点: $a_{ij} > 0$; $a_{ij} = 1/a_{ji}$; $a_{ii} = 1$ 。显然, A 是互反对称矩阵, 构造矩阵 $A^* = 10^{C_{ij}}$, 其中 $c_{ij} = \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk})/n$ 。

由定理 2 知, 矩阵 A^* 是 A 的拟最优传递阵, 并且它是一致的。所以, 由 A^* 就可直接求出权重值(A^* 的特征值), 不必进行一致性检验。求 A^* 的特征值时采用方根法, 首先是因为矩阵本身有相当的误差, 故求其特征向量时不需要追求很高的精度, 其次方根法实际上是以超几何平均法求权重值, 可以在一定范围内使拟最优传递阵 A^* 的特征值更接近最优传递阵的特征值。

* 基金项目: 武汉市晨光计划基金资助项目(20005004036); 教育部
高校青年骨干教师资助项目

收稿日期: 2001- 05- 10

3 边坡治理决策的改进层次分析方法

3.1 确定评价指标的权重矩阵 $W^{(p)}$

设边坡治理决策问题有 m 个评价指标, 有 r 个专家参加评估, 则边坡治理决策问题的评价指标集为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, 专家集为 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_r\}$ ($m, r \geq 1$)。由 S 中各专家对 X 中的各指标权重进行综合评估, 评估采用两两比较的方法, 专家集 S 中任意一个专家 S_k 对 x_i 和 x_j 互相比, 构造比较矩阵 $D^{(k)} = [d_{ij}^{(k)}]_{m \times m}$, 其中

$$d_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 2 & (x_i \text{ 比 } x_j \text{ 重要}) \\ 1 & (x_i \text{ 与 } x_j \text{ 同样重要}) \\ 0 & (x_i \text{ 没有 } x_j \text{ 重要}) \end{cases}$$

且有 $d_{ii}^{(k)} = 1$, 即目标 X_i 与自身比较, 其重要性相同。

然后利用重要程度排序构造判断矩阵 $A^{(k)} =$

$$[a_{ij}^{(k)}]_{m \times m}, \text{ 其中 } a_{ij}^{(k)} = \begin{cases} r_i^{(k)} - r_j^{(k)} & (r_i > r_j) \\ 1 & (r_i = r_j) \\ [r_j^{(k)} - r_i^{(k)}]^{-1} & (r_i < r_j) \end{cases}, r_i^{(k)}$$

$= \sum_{l=1}^m d_{il}^{(k)}, (i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, r)$ 。显然 $A^{(k)}$ 是互反阵, $B^{(k)} = \lg A^{(k)} = [\lg a_{ij}^{(k)}]_{m \times m}$ 是反对称阵。若以 α_i 表示专家评价的总体标准差, 则有: $\alpha_i =$

$$\sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{l=1}^r [b_{ij}^{(l)} - \frac{1}{r} \sum_{l=1}^r b_{ij}^{(l)}]^2}.$$

根据 α_{ij} 的计算结果, 可有以下两种情形:

(1) 若 α_{ij} 均小于 1, 可认为专家组的意见较统一, 此时用专家判断值的算术平均作为群组判断的结果, 即得 $B = [b_{ij}]_{m \times m}$, 其中 $b_{ij} = \frac{1}{r} \sum_{l=1}^r b_{ij}^{(l)}, (i, j = 1, 2, \dots, m)$ 。它不一定具有一致性, 因此应用改进的层次分析方法构造矩阵: $A^* = [a^*]_{m \times m}$, 其中 $a^* = 10^{c_{ij}} = 10^{\frac{1}{r} \sum_{l=1}^r (b_{il} - b_{jl})}$ 。

由定理 2 可知 A^* 是 $A(A^{(k)})$ 的平均矩阵) 的最优传递矩阵, 并且它是一致的。由方根法求得 A^* 的最大特征值对应的向量即为指标的权重 $\bar{w} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_m)$, 归一化后得标准权重 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, 其中 $w_i = \bar{w}_i / \sum_{k=1}^m \bar{w}_k$, 它即是各指标的标准权重。

(2) 若 α_{ij} 大于 1, 则表明专家组的意见分歧较大, 此时不能用各专家判断值的算术平均作为群组判断的结果, 可用最优传递矩阵计算。即求得使 $J = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^r [b_{ij} - b_{ij}^{(l)}]^2$ 最小的最优传递矩阵为 $B = [b_{ij}]_{m \times m}$, 其中 $b_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^r \sum_{t=1}^m [b_{it}^{(l)} - b_{jt}^{(l)}]^2, (i, j = 1, 2, \dots, m)$ 。令 $C = [a_{ij}^{b_{ij}}]_{m \times m} = [c_{ij}]_{m \times m}$ 。其中, a 是相邻级评语的客观

重要比率, 可取 1.1~1.3。矩阵 C 就是所求的群组比较判断矩阵, 它是一致的, 可参照 (1) 求出指标的权重。

用上述方法求得各评价指标对上一层的权重后, 再由层次总排序即可求出最底层对第一层的权重, 归一化后即得评价指标的标准权重 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ 。

假定某边坡存在 p 个可能的治理方案, 组成集合 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_p\}$ 。对于第 h 个方案的评价指标的标准权重可由前述的方法求得, 有 $w^{(h)} = (w_1^{(h)}, w_2^{(h)}, \dots, w_m^{(h)})$, 则对于 p 个方案构成的指标权重矩阵为 $W^{(p)} = [w_i^{(h)}]_{p \times m}, (i = 1, 2, \dots, m; h = 1, 2, \dots, p)$ 。

3.2 确定评价指标的特征矩阵 $T^{(p)}$

对于有 m 个评价指标的 p 个治理方案, 个体评价指标的属性值可表示为 $X^i = [x_{ih}^i]_{m \times p}$ 。边坡治理方案的评判涉及到定量和定性指标, 对于定量和定性指标采取如下处理方法^[1]:

(1) 定量指标的规范化

对于越大越好和越小越好的指标, 分别令 $y_{ih} = x_{ih}^i / \max_{1 \leq h \leq p} \{x_{ih}^i\}$, $y_{ih} = (\max_{1 \leq h \leq p} x_{ih}^i - x_{ih}^i) / (\max_{1 \leq h \leq p} x_{ih}^i - \min_{1 \leq h \leq p} x_{ih}^i)$ 。

(2) 定性指标的规范化

定性指标的规范化采用语言变量化评分法, 按照优、良、中、差和很差等来评价治理方案的某一指标的特征值, 如果治理方案的某一指标的评语集合可表示为 $R_i = (r_1, r_2, \dots, r_q)$ (分 q 级), 若按线性等差赋值, 则评语集合的量化等级矩阵 $C_i = [1, \frac{n-2}{n-1}, \frac{n-3}{n-1}, \dots, 0]$ 。这样, 当个体评价者给定性指标 x_{ih}^i 的评语为 $r_i \in R_i$, 则该指标的规范化特征值为 $y_{ih} = \frac{n-i}{n-1}, (n = 1, 2, \dots, q; i = 1, 2, \dots, m)$ 。

(3) 评价指标特征矩阵

由指标规范后可得评价指标的特征矩阵 $T^{(p)}$ 为 $T^{(p)} = [y_{ih}^i]_{m \times p}, (i = 1, 2, \dots, m; h = 1, 2, \dots, p)$ 。

3.3 边坡治理方案的评价矩阵 Z

对于有 m 个评价指标的 p 个治理方案的决策评价矩阵 $Z = W^{(p)} \times T^{(p)} = [z_{ih}]_{1 \times p}$ 。根据评价矩阵 Z 就可以方便地确定出边坡的最优治理方案。

4 工程实例应用

板岩山危岩边坡体临空面是陡崖或陡坡, 陡坡以下是滑坡体、工厂、学校及居民, 环境复杂。自 50 年代以来, 已发生不同规模的地质灾害, 对工厂和居民构成了严重威胁, 为此国家和地方政府决定治理该危岩边坡体。在地质勘探与稳定性分析的基础上, 提出了削

方减载法(F_1)、疏干排水法(F_2)、柔性网络锁固法(F_3)、拦石坝法(F_4)和抗滑挡墙法(F_5)等五种可能的治理方案。为了确定适合该危岩边坡体的较好的治理方案,经分析选择以下指标为衡量治理方案优劣标准:总投资(x_1)、年维护费(x_2)、治理效果(x_3)、施工难易度(x_4)、建设周期(x_5)、风险性(x_6)、工程有效期(x_7)、环境影响(x_8)。下面就削方减载法(F_1)进行分析:

根据 $r(r=10)$ 位专家 $S=(s_1, s_2, \dots, s_{10})$ 对削方减载法评价指标的权重用三标度法做出的评价,得到比较矩阵 $D^{(1)}$ 和重要程度排序指数 $r_i^{(1)}$,利用 $r_i^{(1)}$ 可得判断矩阵 $A^{(1)}$,由 $B^{(1)}=\lg A^{(1)}$ 得反对称阵 $B^{(1)}$ 。经计算总体标准差 σ_{ij} 均小于 1,所以评价专家组的意见比较集中,于是可计算出反对称阵 $B^{(k)}$ 的平均阵 B 。由 B 可得拟最优传递矩阵 A^* ,用方根法求得 A^* 的特征向量为 $w^{(1)}=(1.149 \ 0.085 \ 1.473 \ 0.536 \ 0.532 \ 1.746 \ 1.329 \ 0.029)$,归一化后得削方减载法(F_1)评价指标权重 $W^{(1)}=(0.17 \ 0.01 \ 0.21 \ 0.08 \ 0.08 \ 0.25 \ 0.19 \ 0.01)$ 。同样可求得其余方案的评价指标权重分别为

$W^{(2)}=(0.19 \ 0.25 \ 0.11 \ 0.04 \ 0.14 \ 0.11 \ 0.04 \ 0.12)$,

$W^{(3)}=(0.16 \ 0.20 \ 0.08 \ 0.19 \ 0.14 \ 0.12 \ 0.09 \ 0.02)$,

$W^{(4)}=(0.20 \ 0.21 \ 0.06 \ 0.08 \ 0.08 \ 0.19 \ 0.11 \ 0.07)$,

$W^{(5)}=(0.23 \ 0.21 \ 0.10 \ 0.07 \ 0.11 \ 0.13 \ 0.04 \ 0.11)$ 。

于是可得到危岩边坡体治理方案评价指标权重矩阵为

$$W^{(5)} = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.01 & 0.21 & 0.08 & 0.08 & 0.25 & 0.19 & 0.01 \\ 0.19 & 0.25 & 0.11 & 0.04 & 0.14 & 0.11 & 0.04 & 0.12 \\ 0.16 & 0.20 & 0.08 & 0.19 & 0.14 & 0.12 & 0.09 & 0.02 \\ 0.20 & 0.21 & 0.06 & 0.08 & 0.08 & 0.19 & 0.11 & 0.07 \\ 0.23 & 0.21 & 0.10 & 0.07 & 0.11 & 0.13 & 0.04 & 0.11 \end{bmatrix}。$$

经专家量化与经整理规范化后的危岩边坡体治理方案的评价指标特征矩阵为

$$T^{(5)} = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.50 & 0.25 & 0.75 & 0.25 \\ 0.25 & 0.00 & 0.75 & 0.00 & 0.75 \\ 0.75 & 0.75 & 0.75 & 0.50 & 0.50 \\ 0.25 & 0.25 & 0.50 & 0.25 & 0.50 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.50 & 0.50 & 0.75 & 0.50 & 0.75 \\ 0.75 & 0.75 & 1.00 & 0.75 & 1.00 \\ 0.75 & 0.75 & 0.25 & 0.75 & 0.25 \end{bmatrix}$$

于是可得到危岩边坡体治理方案的决策评价矩阵为

$$Z = W^{(p)} \times T^{(p)} = (0.65 \ 0.52 \ 0.62 \ 0.49 \ 0.58)$$

根据评价矩阵 Z ,该危岩边坡体治理采用削方减载法(F_1)和柔性网络锁固法(F_3)为两种较理想的选择方案。但根据地质资料和现场实际情况可知:板岩山危岩边坡体的松动岩体厚度较大,岩层薄且倾角小,危岩

边坡体前沿陡壁高度一般为 20~50 m,陡坎下一般为经受扰动或滑动的松动岩体。所以,对于这种情形,柔性网络锁固技术虽被广泛用于加固岩土体,但一方面由于该危岩边坡体可能产生崩滑的松动岩体厚度一般均大于目前有效加固深度,锚固效果达不到预期的要求,同时因岩层薄倾角小,杆锚索将与岩层面近于平行,不利于发挥锚固效果,更重要的是在具有潜在崩塌或滑移危险可能、壁面陡和陡坎下部施工条件不利情况下,施工难度是巨大的,因此,板岩山危岩边坡体治理采用削方减载法(F_1)为主和辅之以坡面整形防渗的方案为最优。

5 结 语

由于边坡系统的复杂性和人们认识的多样性,人们对边坡稳定性作出的评价不可能完全一致。本文利用最优传递矩阵对常规的层次分析法进行改进,建立了边坡治理决策的改进的层次分析法。该方法经过变换,得到一个自然满足一致性要求的判断矩阵,相当于设置了一个调节器,调整人们对认识边坡系统的一致性,与常规的层次分析法比较,它具有迅速、有效、简单明了等优点。该方法也适用其它边坡工程治理方案的决策。

参考文献:

- [1] 夏元友,朱瑞赓.不稳定边坡治理方案的多层次模糊群决策[J].自然灾害学报,1998,8(1):88-91.
- [2] 夏元友,朱瑞赓.岩质边坡稳定性多人多层次模糊综合评价系统研究[J].工程地质学报,1999,7(1):88-91.
- [3] 许树柏.层次分析原理[M].天津:天津大学出版社,1988.
- [4] Zahedi F. The analytic hierarchy process—A survey of the method and its application[J]. INTERACES, 1986, 16(4):18-27.
- [5] Hark P T. Special issue on AHP[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 1986, 20(6):57-65.
- [6] 夏元友.用层次分析法优选边坡治理方案[J].中国地质灾害与防治学报,1997,8(3):1-6.
- [7] 谢全敏,夏元友.边坡治理方案评判体系的层次结构模型及应用[J].岩石力学与工程学报,2001,(增刊):1065-1069.
- [8] 潘 吟,吴望名.反对称阵的最优传递阵[J].系统工程理论与实践,1988,8(2):44-50.
- [9] 谢全敏,刘 雄.危岩体柔性网络锁固治理研究[J].岩石力学与工程学报,2000,19(5):640-642.
- [10] 夏元友,朱瑞赓.病害边坡治理方案选择的智能辅助决策系统[J].岩石力学与工程学报,1998,17(4):453-458.
- [11] 夏元友,朱瑞赓.黄石市板岩山地质灾害防治工程决策分析[J].岩石力学与工程学报,2000,19(4):498-500.
- [12] Xie Quanmin, Zhu Ruigeng. Grey classification for evaluating the stability of dangerous rock-block masses[J]. Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition, 2000, 15(1):73-77.