

# 滑坡灾害治理方案的多属性决策方法研究

## Study on multi-attribute decision method for treatment of landslide hazard

谢全敏, 夏元友

(武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 滑坡灾害治理工程是一个复杂系统工程, 治理方案的决策受到技术、经济、环境以及风险等许多因素的影响, 不同专家决策者对治理方案有明显的偏好, 且属性权重信息不能完全确知。为了处理这样的不完全信息和偏好决策问题, 提出了一种基于相似度的对方案有偏好的三角模糊数型多属性决策方法。该方法首先建立一个线性规划模型, 通过求解该模型获得属性权重, 然后, 采用三角模糊数来建立判断矩阵, 对滑坡灾害治理方案进行优化决策。最后, 以三峡库区榨坊坪滑坡灾害的治理决策为实例, 详细讨论了该方法的应用。

**关键词:** 滑坡灾害; 治理方案; 不完全信息; 三角模糊数; 多属性决策

中图分类号: TU 432

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)05-0623-04

**作者简介:** 谢全敏(1968-), 男, 四川人, 博士, 1990 年于武汉科技大学大学毕业, 副研究员, 从事岩土工程方面的教学科研工作。

XIE Quan-min, XIA Yuan-you

(Institute of Civil Engineering & Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The treatment of landslide hazard is a complex systems engineering. The selection of its treatment schemes is depended on many factors such as technology, economics, environment, and risk. Policymakers have preference information on alternatives, and the attribute weight information is incomplete. To cope with such decision-making question with incomplete and preference information, a similarity degree-based method for triangular fuzzy number multi-attribute with preference information on alternatives is proposed. By using this method, a linear programming model is established firstly, and the attribute weights are derived by solving this model, then, based on a possibility degree formula for comparing two triangular fuzzy numbers and a formula for priorities of complementary judgment matrix, a priority method for alternatives is presented. Finally, the method is applied to the decision-making of Zhafangping landslide in the Three Gorge reservoir area, and a good result is gained, which shows that the method is feasible and effective.

**Key words:** landslide hazard; treatment scheme; incomplete information; triangular fuzzy number; multi-attribute decision making

### 0 引言\*

滑坡灾害治理方法的优劣将直接影响到整个滑坡治理的成败。在实际工程中, 往往同时有多个治理方案供选择, 这时就有必要对它们进行评价, 从中选出较满意的方案来。由于滑坡灾害的特殊性和复杂性, 治理方案的决策受到技术、经济、环境以及风险等多个因素的制约, 所以, 可以把滑坡灾害治理方案的选择归结为一个多属性决策问题<sup>[1, 14, 15]</sup>。目前, 关于属性权重信息完全确知的多属性决策的理论与方法已较为完善, 在滑坡治理决策研究中已取得了一些研究成果<sup>[3~13]</sup>。但对于属性权重信息或只有部分权重信息的多属性决策问题的决策方法在滑坡灾害治理决策中的研究成果还未见报道。滑坡治理决策过程中, 由于所要考虑的指标(属性)错综复杂, 有些指标很难精确化, 通常不能提供这些指标的准确值, 但不同专家对方案有偏好, 所以, 滑坡灾害治理方案的选择应是一个对方案有偏好的属性权重信息不能完全确知的多属性决策问题<sup>[1]</sup>。为了处理这种决策问题, 提出了一种基于相似度的对

方案有偏好的三角模糊数型多属性决策方法。该方法首先建立一个线性规划模型, 通过求解该模型获得属性权重, 然后, 基于三角模糊数两两比较的可能度公式及互补判断矩阵的排序公式<sup>[2]</sup>, 对滑坡灾害治理方案进行优化决策。最后, 以三峡库区榨坊坪滑坡灾害的治理为实例, 详细讨论了该方法的应用。

### 1 多属性决策方法

定义 1 若  $a = (a^L, a^M, a^U)$ , 其中  $0 < a^L \leq a^M \leq a^U$ , 称  $a$  为一个三角模糊数, 其特征函数(隶属函数)可表示为

$$\mu_a(x) = \begin{cases} (x - a^L)/(a^M - a^L), & a^L \leq x \leq a^M, \\ (x - a^U)/(a^M - a^U), & a^M \leq x \leq a^U, \\ 0, & \text{其它。} \end{cases}$$

定义 2 设三角模糊数  $a = (a^L, a^M, a^U)$ ,  $b = (b^L, b^M, b^U)$  称

\* 基金项目: 武汉市晨光计划基金资助项目(20005004036)  
收稿日期: 2004-01-12

$$s(a, b) = \frac{a^L b^L + a^M b^M + a^U b^U}{\max((a^L)^2 + (a^M)^2 + (a^U)^2, (b^L)^2 + (b^M)^2 + (b^U)^2)} \quad (1)$$

为  $a, b$  的相似度, 显然,  $s(a, b)$  越大, 则三角模糊数  $a, b$  相似的程度越大. 当  $s(a, b) = 1$ , 有  $a = b$ 。

为方便起见, 先给出下列有关三角模糊数的两种运算。

设  $a = (a^L, a^M, a^U), b = (b^L, b^M, b^U)$  则

$$(1) a + b = (a^L + b^L, a^M + b^M, a^U + b^U),$$

$$(2) \frac{1}{a} = \left( \frac{1}{a^U}, \frac{1}{a^M}, \frac{1}{a^L} \right).$$

定义3 设  $a = (a^L, a^M, a^U), b = (b^L, b^M, b^U)$ , 则称

$$P(a \geq b) = \lambda \frac{\min\{a^M - a^L + b^M - b^L, \max(a^M - b^L, 0)\}}{a^M - a^L + b^M - b^L} +$$

$$(1 - \lambda) \frac{\max\{a^U - a^M + b^U - b^M, \max(a^U - b^M, 0)\}}{a^U - a^M + b^U - b^M} \quad (2)$$

为  $a \geq b$  的可能度。注:  $\lambda$  值的选择取决于决策者的风险度。当  $\lambda > 0.5$  时, 称决策者是追求风险的; 当  $\lambda = 0.5$  时, 称决策者是风险中立的; 当  $\lambda < 0.5$  时, 称决策者是厌恶风险的, 特别地 ①当  $\lambda = 1$  时, 称  $p(a \geq b)$  为  $a \geq b$  的悲观可能度; ②当  $\lambda = 0$  时, 称  $p(a \geq b)$  为  $a \geq b$  的乐观可能度。

对于上述可能度定义, 易证下列结论均成立。

定理1 设  $a = (a^L, a^M, a^U), b = (b^L, b^M, b^U)$ , 则

①  $0 \leq p(a \geq b) \leq 1, 0 \leq p(b \geq a) \leq 1$ ; ②若  $b_u \leq a_l$ , 则  $p(a \geq b) = 1$ 。类似地, 若  $a_u \leq b_l$ , 则,  $p(b \geq a) = 1$ ; ③若  $a_u \leq b_l$ , 则  $p(a \geq b) = 0$ 。类似地,  $b_u \leq a_l$ , 则,  $p(b \geq a) = 0$ ; ④  $p(a \geq a) = \frac{1}{2}$ ; ⑤  $p(a \geq b) + p(b \geq a) = 1$ 。

设  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$  为多属性决策问题的方案集合,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  为属性集,  $w = \{w^1, w^2, \dots, w^m\}^T$  为属性的权重向量,  $G$  为已知的部分权重信息确定的属性可能权重集合, 特别地, 若  $G$  为空集, 则表示方案的属性权重信息是完全未知的, 决策者对方案  $F_j \in F$  有一定的主观偏好, 设主观偏好值为三角模糊数  $v_i$  (这里  $v_i = (v_j^L, v_j^M, v_j^U), 0 \leq v_j^L \leq v_j^M \leq v_j^U \leq 1$ , 主观偏好可由决策者自己给定, 或用其它决策方法)。对于方案  $F_j \in F$ , 按第  $i$  个属性  $x_i$  进行测度, 得到  $F_j$  关于  $x_i$  的属性值为三角模糊数  $a_{ij}$  (这里  $a_{ij} = (a_{ij}^L, a_{ij}^M, a_{ij}^U)$ ), 从而构成模糊决策矩阵  $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 。

最常见的属性类型有效益型属性、成本型属性。效益型属性是指属性值越大越好的属性; 成本型属性是指属性值越小越好的属性。设  $I_i (i = 1, 2)$  分别表示效益型、成本型的下标集, 且令  $M = \{1, 2, \dots, m\}, N =$

$\{1, 2, \dots, n\}$ 。为了消除不同物理量纲对决策结果的影响, 我们给出下列规范模糊决策矩阵的计算公式, 运用它们将模糊决策矩阵  $A = (a_{ij})_{m \times n}$  转变为规范化矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ , 其中  $r_{ij} = (r_{ij}^L, r_{ij}^M, r_{ij}^U)$ , 且

$$r_{ij} = a_{ij} / \|a_i\|, i \in I_1, j \in N \quad (3)$$

$$r_{ij} = (1/a_{ij}) / \|1/a_i\|, i \in I_2, j \in N \quad (4)$$

$$\|a_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}, \|1/a_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (1/a_{ij})^2}$$

根据三角模糊数的运算法则, 把式(3)和式(4)写为

$$\begin{cases} r_{ij}^L = a_{ij}^L / \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij}^U)^2}, \\ r_{ij}^M = a_{ij}^M / \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij}^M)^2}, i \in I_1, j \in N, \\ r_{ij}^U = a_{ij}^U / \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij}^L)^2}, \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} r_{ij}^L = (1/a_{ij}^L) / \sqrt{\sum_{j=1}^n (1/a_{ij}^U)^2}, \\ r_{ij}^M = (1/a_{ij}^M) / \sqrt{\sum_{j=1}^n (1/a_{ij}^M)^2}, i \in I_1, j \in N, \\ r_{ij}^U = (1/a_{ij}^U) / \sqrt{\sum_{j=1}^n (1/a_{ij}^L)^2}. \end{cases} \quad (6)$$

这里的属性值  $r_{ij}$  可以看成决策者在属性  $x_i$  下对方案  $F_i$  的客观偏好值。

由于种种条件的制约, 决策者的主观偏好与客观偏好之间往往存在着一定的偏差, 为了使决策具有合理性, 属性权重向量  $w$  的选择应使决策者的主观偏好值与客观偏好值(属性值)的总偏差最小。考虑到规范化决策矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$  中的元素及决策者的主观偏好值均是以三角模糊数形式给出的, 利用定义2所给出的三角模糊比较的相似度概念, 建立下列单目标优化模型。

$$(SOM) \max F(w) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s(r_{ij}, v_j) w_i,$$

$$s.t. w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T \in H, w_i \geq 0, \sum_{i=1}^m w_i = 1.$$

式中  $s(r_{ij}, v_j)$  由式(1)获得, 它表示第  $i$  属性下决策者对第  $j$  个方案的主观偏好值  $v_j$  与相应的客观偏好值(属性值)  $r_{ij}$  之间的相似度,  $w_i$  为第  $i$  属性的权重, 单目标函数  $F(w)$  表示在所有属性下决策者的主观偏好值与客观偏好值(属性值)之间的总相似程度。解此线性规划模型, 将得到最优属性权重向量  $w$ 。

在求出属性的最优权重向量  $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$  之后, 还需算出各方案的综合属性值

$$z_j = \sum_{i=1}^m r_{ij} w_i, j \in N. \quad (7)$$

由于  $z_i (j \in N)$  仍是三角模糊数, 不便于直接对方案进行排序, 因此, 可利用三角模糊数比较的可能度公式(2), 算出三角模糊数  $z_j (j \in N)$  之间的可能度, 并建立可能度矩阵, 其中  $p_{ij} = P(z_i \geq z_j)$ , 利用模糊互补判断矩阵排序向量  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$  的计算公式

$$\omega_i = \left( \sum_{j=1}^n p_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right) / n(n-1), i \in N, \quad (8)$$

求得可能度矩阵  $P$  的排序向量  $\omega$ , 根据矩阵  $\omega$  就可以对治理方案进行优化决策。

## 2 工程实例分析

### 2.1 滑坡概况

三峡库区榨坊坪滑坡位于湖北省巴东县白土坡小区前缘临长江边, 滑坡平面形态为半圆形, 剖面上呈阶梯状, 其前缘呈向北凸出弧形展布宽度 500 m, 中部宽度 450 m, 后缘宽度 350 m, 滑坡斜长约 430 m, 滑坡面积为  $18.63 \text{ m} \times 104 \text{ m}$ , 体积  $559.0 \times 104 \text{ m}^3$ 。滑坡前缘高程 67~ 87 m, 后缘高程 280~ 306 m, 平面呈扇形, 剖面形态为折线型, 滑坡至少经过两次大规模变形, 形成深浅两个滑带, 滑体厚度 25~ 30 m, 该滑坡为岩质滑坡, 其工程地质剖面示意图见图 1。

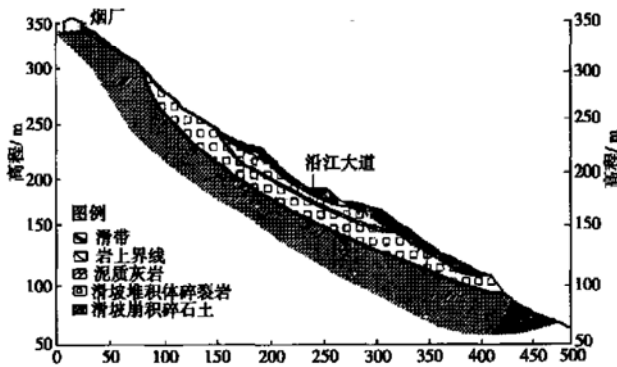


图 1 滑坡工程地质与治理工程布置剖面示意图

Fig. 1 The cross section of engineering geology and treatment project of Zhafangping landslide

滑坡体上有 460 m 长的沿江大道, 滑坡后缘有一卷烟厂(固定资产 1.2 亿, 年产值 1.8 亿, 职工 1144 人)和城区中环路及居民; 滑坡损失估计直接经济损失为 1.75 亿元左右; 地层岩性: 三迭系中统巴东组及第四系; 滑坡体岩性: 碎石土、碎裂岩、散裂岩; 成因类型: 崩滑堆积、残坡积-崩坡积、滑坡堆积; 区域构造特征: 滑坡处于轴向近东西的官司渡口复向斜的东端北翼近核部; 滑坡坡角:  $30^\circ \sim 40^\circ$ , 局部  $60^\circ$ ; 滑坡前缘临江陡 ( $35^\circ \sim 50^\circ$ ); 滑移软弱带: 碎石土、土厚 0.30~ 0.97 m, 滑带坡角  $25^\circ \sim 35^\circ$ , 滑带遇水软化泥化; 滑床岩性: 巴东组第二段下亚段泥灰岩、泥质灰岩、灰岩; 岩层倾向: 逆坡向; 边坡结构: 上为崩堆积碎石土, 下伏基岩; 边坡

体透水性较强, 基岩透水性较差; 滑面在上部出露, 剪出口出露; 地下水为孔隙-裂隙水; 无人为工程活动; 滑坡变形特征: 近期坡内小型滑坡变(9 处); 斜坡蠕变中的构筑物拉裂变形(7 处); 滑坡区降雨: 充沛、集中、强度高; 库水位: 最高水位 175 m; 枯水位 145 m; 库岸再造强烈; 治理目标: 长期稳定, 不允许失稳。

### 2.2 滑坡治理决策分析

根据榨坊坪滑坡灾害特点, 在咨询多个专家和管理部 门基础上, 初步拟定三峡库区榨坊坪滑坡灾害治理方案有 5 个: 削方减载压脚+浆砌石护坡+排水(F1)、局部清方+悬臂抗滑桩+排水(F2)、悬臂抗滑桩+格构护坡+排水(F3)、锚拉抗滑桩+格构护坡+排水(F4)、格构护坡+排水+监测预警(F5)。对滑坡灾害治理方案的选择, 作为管理部门, 则希望投资越少的方案越好; 作为专家一般倾向选择自己偏好的治理方案。为了对三峡库区榨坊坪滑坡灾害治理方案作出科学合理的决策, 首先选取了 6 项评价指标(属性): 投资( $x_1$ )、治理效果( $x_2$ )、施工可行性( $x_3$ )、工程有效期( $x_4$ )、工程对环境影响( $x_5$ )和工程风险( $x_6$ )。然后咨询了 10 位专家, 对各个属性分别打分, 由于每位专家给出的属性值并不完全相同, 因此经过统计处理后的每个治理方案在各指标下的属性值以区间数形式给出。每个治理方案在各指标下的具体属性值见表 1。

已知各项属性的权重信息为  $G = \{0.18 \leq w_1 \leq 0.20, 0.05 \leq w_2 \leq 0.10, 0.15 \leq w_3 \leq 0.20, 0.10 \leq w_4 \leq 0.20, 0.16 \leq w_5 \leq 0.20, 0.19 \leq w_6 \leq 0.30\}$ 。

首先根据表 1 的数据建立模糊决策矩阵  $A$ , 然后将  $A$  转化为规范化决策矩阵  $R$ 。设专家对 5 个备选治理方案  $F_j (j = 1, 2, 3, 4, 5)$  的主观偏好值分别为

$$\begin{aligned} v_1 &= [0.40, 0.45, 0.55] & v_2 &= [0.35, 0.40, 0.50] \\ v_3 &= [0.40, 0.50, 0.60] & v_4 &= [0.35, 0.40, 0.45] \\ v_5 &= [0.30, 0.35, 0.40] \end{aligned}$$

利用式(1)计算客观偏好属性值与主观偏好属性值之间的相似度(见表 2)。

利用目标优化模型 SOM 建立如下模型

$$\begin{aligned} \max F(w) &= 4.442w_1 + 4.488w_2 + 4.502w_3 + 4.508w_4 \\ &+ 4.488w_5 + 4.498w_6, \\ \text{s.t.} \quad &0.18 \leq w_1 \leq 0.20, 0.05 \leq w_2 \leq 0.10, \\ &0.15 \leq w_3 \leq 0.20, 0.10 \leq w_4 \leq 0.20, \\ &0.16 \leq w_5 \leq 0.20, 0.19 \leq w_6 \leq 0.30, \\ &w_i \geq 0, \sum w_i = 1. \end{aligned}$$

求得属性权重向量  $\omega = (0.19, 0.18, 0.22, 0.25, 0.10, 0.06)^T$ 。

表1 每个治理方案在各指标下的具体属性值

Table 1 The attribute values of different treatment scheme under different index

指标	F1	F2	F3	F4	F5
$x_1$	[0.92, 0.93, 0.96]	[0.91, 0.92, 0.94]	[0.85, 0.87, 0.90]	[0.90, 0.93, 0.95]	[0.95, 0.97, 0.99]
$x_2$	[0.87, 0.90, 0.94]	[0.86, 0.89, 0.92]	[0.90, 0.92, 0.96]	[0.94, 0.97, 0.98]	[0.90, 0.91, 0.92]
$X_3$	[0.85, 0.88, 0.90]	[0.91, 0.94, 0.97]	[0.90, 0.95, 0.97]	[0.90, 0.92, 0.95]	[0.91, 0.94, 0.95]
$X_4$	[0.85, 0.87, 0.90]	[0.88, 0.91, 0.95]	[0.86, 0.89, 0.95]	[0.90, 0.95, 0.99]	[0.80, 0.85, 0.90]
$X_5$	[0.91, 0.93, 0.95]	[0.84, 0.86, 0.90]	[0.90, 0.92, 0.95]	[0.89, 0.90, 0.93]	[0.90, 0.92, 0.95]
$X_6$	[0.86, 0.89, 0.93]	[0.91, 0.94, 0.96]	[0.91, 0.93, 0.95]	[0.90, 0.92, 0.95]	[0.93, 0.96, 0.99]

表2 客观偏好属性值与主观偏好属性值之间的相似度

Table 2 The similarity degree between the objective and the subjective attribute values

	$s(r_{i1}, v_1)$	$s(r_{i2}, v_2)$	$s(r_{i3}, v_3)$	$s(r_{i4}, v_4)$	$s(r_{i5}, v_5)$
$x_1$	0.815	0.988	0.926	0.898	0.768
$x_2$	0.869	0.995	0.939	0.871	0.811
$x_3$	0.855	0.995	0.988	0.840	0.825
$x_4$	0.941	0.996	0.969	0.836	0.798
$x_5$	0.855	0.985	0.927	0.886	0.818
$x_6$	0.828	0.995	0.996	0.858	0.819

利用式(7)求得治理方案的综合属性值(三角模糊数)为

$$z_1 = (0.379, 0.408, 0.433), z_2 = (0.388, 0.411, 0.431),$$

$$z_3 = (0.381, 0.405, 0.439), z_4 = (0.389, 0.409, 0.429),$$

$$z_5 = (0.383, 0.398, 0.428)。$$

利用式(2)求得  $z_j (j = 1, 2, 3, 4, 5)$  两两比较的可能度矩阵(取  $\lambda = 0.5$ )为

$$P = \begin{pmatrix} 0.465 & 0.379 & 0.425 & 0.378 & 0.501 \\ 0.583 & 0.505 & 0.537 & 0.500 & 0.621 \\ 0.580 & 0.500 & 0.535 & 0.495 & 0.620 \\ 0.501 & 0.419 & 0.459 & 0.418 & 0.535 \\ 0.541 & 0.465 & 0.501 & 0.462 & 0.575 \end{pmatrix}。$$

最后利用式(8)求得可能度矩阵  $P$  的排序向量  $\omega = (0.073, 0.111, 0.121, 0.173, 0.052)^T$ , 由此可知五个备选治理方案的从优到劣的排序为  $F4 > F3 > F2 > F1 > F5$ 。所以三峡库区榨坊坪滑坡灾害治理采用方案  $F4$  最优, 即锚拉抗滑桩+ 格构护坡+ 排水为最佳治理方案。此方案已通过专家组的评审, 并已实施, 效果良好。其治理工程布置示意图见图1。

### 3 结 语

滑坡灾害治理方案的决策是一个十分复杂的系统工程问题, 其决策理论方法的研究才刚起步, 还有许多问题需要进行深入探索。本文提出了一种基于相似度的对方案有偏好的三角模糊数型多属性决策方法。该方法解决了滑坡灾害治理方案相关信息不完全和决策偏好问题, 使决策结果更合理和可靠。

### 参考文献:

- [1] 徐泽水. 一种基于方案满意度的不确定多属性决策方法[J]. 系统工程, 2001, 3: 55- 58.
- [2] 扬松林. 工程模糊论方法及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [3] 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.
- [4] 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, (Supp. 1): 1065- 1069.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 夏元友, 朱瑞赓. 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.
- [8] 谢全敏, 夏元友, 朱瑞赓. 模糊综合评判模型在板岩山危岩滑坡体治理中的应用[J]. 化工矿物与加工, 2001, 30(7): 18- 20.
- [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. 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.
- [11] 谢全敏, 夏元友. 边坡治理决策的改进层次结构模型及其应用[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(1): 86- 88.
- [12] 谢全敏, 夏元友. 边坡治理多层次多目标优化决策方法研究[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(10): 21- 24.
- [13] XIE Q M, XIA Y Y. An improved hierarchy decision making model for the treatment of rock mass slope[A]. Proc. of the 2nd Int. Conf. on New Development in Rock Mechanics & Rock Engineering[C]. American Rinton Press, 2002. 445- 448.
- [14] Ahn B S, Park K S, Han C H, et al. Multi- attribute decision aid under incomplete information and hierarchical structure[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 125(2): 431- 439.
- [15] Kim Y M, Kim J H, Kim S H. Use of multi- attribute decision analysis for designing operations system framework in telecommunications management network[J]. Computers and Operations, 2000, 27(12): 1375- 1388.