

基于主客观赋权法的山区高速公路边坡防护决策与生态环境

刘 霁^{1,2}, 陈建宏¹, 李 云², 周智勇¹

- (1. 中南大学 资源与安全工程学院, 湖南 长沙, 410083;
2. 湖南城市学院 土木工程学院, 湖南 益阳, 413000)

摘 要: 针对山区高速公路建设导致原生植被和动物栖息地破坏、水土流失以及局部环境恶化等系列生态环境问题, 对山区高速公路边坡防护决策与生态环境进行研究。采用综合主观赋权法和客观赋权法后的主客观赋权法进行理论分析, 对分目标值构成矩阵和定性指标进行规格化处理, 并对主客观赋权法数学模型进行理论求解; 利用均衡度变权创建山区高速公路边坡防护方案决策的主客观赋权综合评价模型; 建立边坡防护方案综合评价指标体系, 对山区常张高速公路张家界段进行实证研究。研究表明: 从生态环境评价角度用主客观赋权法综合评价法得出三维网植草防护为最优方案, 因此, 采用主客观赋权综合评价法对边坡防护方案决策和保护生态环境是合理的、可行的。

关键词: 主客观赋权法; 边坡防护; 评价模型; 生态环境; 评价指标

中图分类号: X45

文献标识码: A

文章编号: 1672-7207(2009)04-1059-07

Slope protective decision and ecological environment research of expressway in mountainous area based on objective and subjective weighting method

LIU Ji^{1,2}, CHEN Jian-hong¹, LI Yun², ZHOU Zhi-yong¹

- (1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;
2. College of Civil Engineering, Hunan City University, Yiyang 413000, China)

Abstract: In order to solve the eco-environmental problems such as the damage of original vegetation and animal's habitat, soil erosion and local environmental deterioration caused by the constructions of expressway in mountainous area, mountainous expressway slope protection and ecological environment protection were studied. Subjective and objective evaluation method was introduced which was integrated with subjective weight method and objective weight method; divisional target value matrix and qualitative index were standardized on the basis of subjective and objective evaluation analysis, and the mathematical model was established; subjective and objective evaluation model was established for the decision of mountainous expressway slope protection project by variable weight of equilibrium degree; the index system of slope protective decision of expressway in mountainous area was built. In addition, empirical research about section of Zhangjiajie of Changde-Zhangjiajie expressway was carried out. Planting grasses protection in three-dimensional network was decided as the optimal scheme by subjective and objective evaluation method from ecological environment evaluation view. The results show that it is reasonable and feasible to use subjective and objective evaluation method to make the decision on the general slope protection and protect the ecological environment.

Key words: objective and subjective weighting method; slope protection; evaluation model; ecological environment; evaluation index

收稿日期: 2008-10-15; 修回日期: 2009-01-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50774092); 全国优秀博士学位论文专项基金资助项目(200449)

通信作者: 刘 霁(1974-), 男, 湖南常德人, 博士研究生, 副教授, 从事资源与环境经济学研究; 电话: 13017373141; E-mail: liyunliuji@163.com

修建山区高速公路是以破坏生态环境为代价的建设工程。在修建过程中形成大的挖填方,引起岩土体移动、变形和破坏,诱发各种地质灾害。据典型调查分析,公路在营运期间因各种地质灾害不仅造成交通中断和维护困难,而且严重降低了公路的运行效率^[1]。由于山区地形和地貌复杂,生态环境脆弱,山区高速公路建设中开挖路堑、镇筑路堤,会导致原生植被和动物栖息地破坏、水土流失,以及局部环境恶化等一系列生态环境问题,对自然环境的破坏面大。以往由于人们对路基边坡防护方案的认识不足,边坡防护方案设计不合理,致使山区高速公路边坡在施工后出现失稳破坏,与周围景观不协调,严重破坏生态环境。在综合治理与防护时,注意保护环境和创造环境,采用适当的绿化防护方法来进行,使公路具有安全、舒适、美观、与环境协调等特点。山区边坡防护方案应遵循安全性、恢复自然生态和景观与绿化设计的原则,防护技术上将植物防护与工程防护技术有机结合起来,实现共同防护的方法,通常采用:a. 三维植被网结合植被护坡技术、它是最近几年发展起来的一种边坡防护技术,在我国山区已被广泛应用,正在向内陆地区推进^[2]; b. 六角空心砖结合植草护坡技术,用于土质边坡、弧风化岩体和岩体破碎段落,适用于高度一般不超过 20 m 的边坡;c. 框格结构结合植草护坡技术,用混凝土、浆砌片块石、卵石等材料做骨架,框格内宜采用植物防护或其他辅助防护措施。选取路基边坡防护方案,使其即能满足公路工程技术标准,又能美化、保护生态环境、丰富高速公路景观成为一项十分重要的研究课题。

在此,本文作者以常张高速公路为例,对山区高速公路路基边坡综合治理与生态环境保护之间的关系进行研究。

1 坡综合防护方案选择的步骤

山区高速公路路基边坡综合治理方案不仅可以稳定边坡,而且可以迅速恢复由于施工破坏的植被,使边坡与周围环境相协调,从而减小公路建设对生态环境的影响,保证生态环境的可持续发展。应用系统工程方法,建立系统数学模型,通过系统分析,给决策者提供可靠决策信息,以便做出科学决策。边坡综合治理方案按图 1 所示步骤进行^[3]。

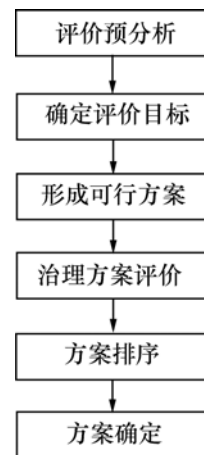


图 1 路基边坡综合防护方案选择的步骤

Fig.1 Steps of choice about subgrade slope comprehensive protective scheme

2 边坡综合防护方案的环境评价方法

在公路环境评价过程中,目前已形成的公路生态环境建设技术有土地复垦技术、生物环境工程技术和路域景观恢复工程技术等^[4]。国内的研究大都着重于从不同侧面分析公路建设的环境问题,如张艳杰等^[5]给出了公路生态环境影响评价的几种定量分析方法;陈红等^[6]结合道路环境特点分析了绕城高速公路的环境绿化及环保设计。近年来,加强了公路规划设计阶段对环境保护问题,如刘珊等^[7]对高速公路建设与生态环境协调发展进行了研究;陈毕新等^[8]将环境价值的损失值纳入公路建设总成本,并通过数学模型寻求公路建设的最优方案;杨彩侠^[9]在公路设计中引入环境影响因子,根据环境影响后果采用灰色关联模型对公路设计方案进行优选;陈红等^[10]建立了高速公路生态系统评价指标体系框架模型。在有限方案多目标决策方法的生态环境评价中,各分目标的权重的确定是一个重要问题。目前,确定权重的方法有多种,这里采用主客观赋权法。这是一种基于理想点的加权平方欧氏最小距离法,既考虑了主观价值,又吸取了客观权重确定的优点^[11-13]。该方法选用同类问题中综合评价价值已被公认为合理的方案作为参考点(称为基点),若没有现成的参照方案,则也可在待选的方案中任选 1 个作为基点,或人为创造 1 个基点方案,由专家组给出个合适的综合评价价值,利用文中算法即可计算各分目标的权重。

2.1 主客观赋权法理论分析

设待选的方案或评价对象为 n 个,影响综合评价价值

的分目标为 m 个。用 x_{ij} 表示方案(对象) j 的第 i 个分目标值, 则 n 个方案 m 个分目标值构成矩阵 $(x_{ij})_{m \times n}$ 。

2.1.1 分目标值构成矩阵规格化

a. 定量指标规格化。指标一般有 4 种类型: 效益型、成本型、固定型和区间型。它们的规格化如下。

效益型:

$$r_{ij} = \begin{cases} (x_{ij} - x_{i\min}) / (x_{i\max} - x_{i\min}), & \text{当 } x_{i\max} \neq x_{i\min} \text{ 时;} \\ 1, & \text{当 } x_{i\max} = x_{i\min} \text{ 时。} \end{cases} \quad (1)$$

成本型:

$$r_{ij} = \begin{cases} (x_{i\max} - x_{ij}) / (x_{i\max} - x_{i\min}), & \text{当 } x_{i\max} \neq x_{i\min} \text{ 时;} \\ 1, & \text{当 } x_{i\max} = x_{i\min} \text{ 时。} \end{cases} \quad (2)$$

固定型:

当 $x_{ij} = x_i^*$ 时, 综合评价价值最高, 则

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 - |x_{ij} - x_i^*| / \Delta_i, & \text{当 } x_{ij} \neq x_i^* \text{ 时;} \\ 1, & \text{当 } x_{ij} = x_i^* \text{ 时。} \end{cases} \quad (3)$$

区间型:

当 $x_{ij} \in [d_i, d^i]$ 时, 综合评价价值最高, 则

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 - (d_i - x_{ij}) / \delta_i, & \text{当 } x_{ij} < d_i \text{ 时;} \\ 1, & \text{当 } x_{ij} \in [d_i, d^i] \text{ 时;} \\ 1 - (x_{ij} - d^i) / \delta_i, & \text{当 } x_{ij} > d^i \text{ 时。} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $x_{i\max} = \max_{j \in \Omega} \{x_{ij}\}$; $x_{i\min} = \min_{j \in \Omega} \{x_{ij}\}$; $\Delta_i = \max_{j \in \Omega} |x_{ij} - x_j^*|$; $\delta_i = \max\{d_i - x_{i\min}, x_{i\max} - d^i\}$; $i = \{1, 2, \dots, m\}$; $\Omega \in \{1, 2, \dots, n\} \cup \{j^*\}$ 。

b. 定性指标规格化。定性指标的规格化采用语言变量化评分法, 按照优、良、中、差和很差来评价方案某一指标的特征值。若方案的某一指标的评语集合可表示为 $V_i = (v_1, v_2, \dots, v_q)$ (分 q 级), 按线性等差赋值, 则评语集合的量化等级矩为:

$$C_i = \left[1, \frac{n-2}{n-1}, \frac{n-3}{n-1}, \dots, 0 \right] \quad (5)$$

这样, 个体评判者给 x_{ij} 指标的评语 $v_i \in V_i$, 则该指标的规范化特征值为 $r_i = \frac{n-i}{n-1}$ (其中: $n=1, 2, \dots, q$; $i=1, 2, \dots, m$)。

2.1.2 主客观赋权法数学模型

设 m 个分目标的权重向量为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 。

选择方案 j 为基点, 基点方案的各分目标值为 $(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$, 规格化值为 $(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})^T$, 其综合评价价值为 $E_j^* (0 \leq E_j^* \leq 1)$ 。建立多目标规划模型:

$$\begin{aligned} \min f(w) &= \sum_{j=1}^n f_j(w) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_i^2 [(1-r_{ij})^2 + r_{ij}^2] \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \sum_{i=1}^m w_i = 1, \\ \sum_{i=1}^m w_i r_{ip}^* = E_p^*, p \in (p_1, p_2, \dots, p_n), \\ w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m. \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

2.1.3 主客观赋权法数学模型求解

规划式(6)仍为凸规划, 其拉格朗日函数为:

$$\begin{aligned} L(w, \lambda) &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_i^2 [(1-r_{ij})^2 + r_{ij}^2] - \\ & \lambda_1 \left(\sum_{i=1}^m w_i - 1 \right) - \lambda_2 \left(\sum_{i=1}^m w_i r_{ij}^* - E_j^* \right) \\ \begin{cases} \frac{\partial L}{\partial w_i} = 2w_i \sum_{j=1}^n [(1-r_{ij})^2 + r_{ij}^2] - \lambda_1 - \lambda_2 r_{ij}^* = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = \sum_{i=1}^m w_i - 1 = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}^* - E_j^* = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

其中: $i=1, 2, \dots, m$ 。方程组(7)的系数行列式为:

$$\begin{aligned} d &= \begin{vmatrix} 2u_1 & 0 & \dots & 0 & -1 & -r_{1f}^* \\ 0 & 2u_2 & \dots & 0 & -1 & -r_{2f}^* \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 2u_m & -1 & -r_{mf}^* \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ r_{1f}^* & r_{2f}^* & \dots & r_{mf}^* & 0 & 0 \end{vmatrix} = \\ & 2^{m-2} \left(\prod_{i=1}^m u_i \right) \left[\left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{u_i} \right) \left(\sum_{i=1}^m \frac{r_{ij}^{*2}}{u_i} \right) - \left(\sum_{i=1}^m \frac{r_{ij}^*}{u_i} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (8)$$

式中: $u_i = \sum_{j=1}^n [(1-r_{ij})^2 + r_{ij}^2]$ 。当 $(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj}) = (c, c, \dots, c)^T$ 时, 据许瓦尔兹不等式, $d > 0$; 并且因 $u_i >$

0, 有 $d > 0$, 故方程组(7)解惟一, 式中 $c \in [0, 1]$, 为常数。方程组(7)的解为:

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^m \left[\frac{1}{u_k} (r_{kj}^* - r_{ij}^*) (r_{ij}^* - E_j^*) \right]}{u_i \left[\left(\sum_{k=1}^m \frac{1}{u_k} \right) \left(\sum_{k=1}^m \frac{r_{kj}^{*2}}{u_k} \right) - \left(\sum_{k=1}^m \frac{r_{ij}^*}{u_k} \right) \right]} \quad (9)$$

当 $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T \quad (0, 0, \dots, 0)^T$ 时, $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 为所求的权重。

$$w'_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (10)$$

综合评价值为:

$$E_j = \sum_{i=1}^m w'_i r_{ij} \quad (11)$$

其中 $j=1, 2, \dots, n$ 。 $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T \quad (0, 0, \dots, 0)^T$ 不成立, 说明 E_p^* 不合理, 需重新调整 E_p^* 。

2.2 均衡度变权

$M(R) = \sum_{i=1}^m w'_i r_{ij}$ 中, $\mathbf{W}' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_m)$ 为常权

向量, 决策向量 $\mathbf{R}_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})^T$ 没有反映决策者对于组态的偏好要求, 有时会导致决策不合理。考虑组态的偏好要求时^[14-15],

$$M(R_j) = b(R_j) \cdot \sum_{i=1}^m w'_i r_{ij} \quad (12)$$

式中: $b(R_j)$ 为均衡度。若 $d(R_j)$ 为差异度, 则

$$b(R_j) = \frac{1}{1 + d(R_j)}, \quad b(R_j) = 1 - d(R_j)。$$
 均衡度 $b(R_j)$ 常

见有 4 种构造方式。

构造 1:

$$d(R_j) = \bigvee_{i=1}^m r_{ij} - \bigwedge_{i=1}^m r_{ij}; \quad b_1(R_j) = 1 - d(R_j); \quad (13)$$

构造 2:

$$d(R_j) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(r_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij} \right)^2}; \quad b_2(R_j) = 1 - d(R_j); \quad (14)$$

构造 3:

$$b_3(R_j) = - \sum_{i=1}^m \frac{\left(r_{ij} / \sum_{k=1}^m r_{kj} \right) \ln \left[r_{ij} / \sum_{k=1}^m r_{kj} \right]}{\ln m}; \quad (15)$$

构造 4:

$$b_4(R_j) = \frac{1}{m} + \frac{2}{m} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \sum_{k=1}^{m-1} (m-k) r_{ij}。 \quad (16)$$

其中: $r_{1j} \ r_{2j} \ \dots \ r_{mj}; b_1 \ b_3 \ b_2 \ b_4$, 即 b_1 的均衡性最强, 不同组态的综合评价价值差别最大; b_3, b_2 和 b_4 的均衡性依次减弱。

2.3 边坡防护方案决策的主客观赋权综合评价模型

设有限可行的边坡防护方案集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$; 综合评判选取的指标集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 。

2.3.1 评判指标集

子集 U_i 上的评判指标 $u_{jk}^i \in U_i$ 对应于 l 个治理方案, 个体评判的指标属性值可表示为 $X^l = [x_{jk}^l]_{\max i}$ ($i=1, 2, \dots, s$)。评判指标体系包含定性与定量指标, 在构造评判矩阵时, 要将评判矩阵的属性值交换到 $[0, 1]$ 区间, 并按指标类型进行规范化处理。指标类型基本上可分为效益型指标和成本型指标。

2.3.2 指标权重的确定

在综合评价或优选中, 各分目标的权重确定是一个重要的问题, 它直接涉及技术、经济、生态环境等各方面指标在整体指标中占的比例。在此, 采用主客观赋权法确定权重。在每一类因素中, 根据各个因素的重要程度, 赋予每个因素相应的权数。设第 i 类中的第 j 个因素 u_{ij} ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$) 的权数为 a_{ij} , 则因素权重集为:

$$A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}); \quad i=1, 2, \dots, m。 \quad (17)$$

2.3.3 边坡防护方案综合排序

边坡防护方案的综合排序采用主客观赋权综合评价法进行对任一综合评价价值 E_p^* , 依次对所有方案 A_j ($j=1, 2, \dots, l$) 进行综合评判, 可获得指标子集 U_i ($i=1, 2, \dots, s$) 的指标特征矩阵:

$$\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n}。 \quad (18)$$

相应的权重为:

$$\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T。 \quad (19)$$

对权重进行归一化处理得:

$$w'_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (20)$$

则可得边坡防护方案的综合评判结果:

$$E_j = \sum_{i=1}^m w'_i r_{ij} ; j=1, 2, \dots, n_0 \quad (21)$$

为反映决策者对于组态的偏好, 应用均衡度变权进行综合比较:

$$M(r_j) = b(R_j) \cdot \sum_{i=1}^m w'_i r_{ij} \quad (22)$$

3 山区高速公路路基边坡防护方案评价指标体系

路基边坡防护方案的评判指标是指那些能反映防护方案性能的各方面评价指标^[10]。确定可行方案时, 结合国内边坡治理常用的工程方法及经验, 考虑边坡防护目标、边坡类型、边坡周围环境特征和边坡的地质特征圈。根据山区高速公路路基边坡工程的具体情况, 边坡治理防护方案综合评价指标体系^[1, 8, 16-17]如表1所示。

4 工程实例评价

4.1 工程项目概况

常张高速公路东起常德檀树坪, 与长常高速公路终点相接, 沿线穿越常德市、桃源县、慈利县、张家界市, 主线全长 160.68 km, 总投资为 68.7 亿元。根据张家界段公路的勘察资料, 此公路穿越不同地质地形地区, 有平原微丘区, 也有沟壑纵横、切割严重的山岭重丘区; 地表多为黄土、粉沙尘; 局部有玄武岩、石灰岩出露的喀斯特地貌; 春、夏季雨量集中, 因此, 排水防护极为重要。常张高速公路路域穿山越岭, 路基边坡破坏了原生态环境和生态景观, 为了恢复路域环境, 需对裸露路路基边坡进行综合治理和防护。

根据该公路的路线、路基型式、边坡高度等边坡防护设计参数, 结合地形地质、水文条件对山区段边坡防护型式进行综合评价。本工程推荐的边坡防护形式有: 喷播绿化防护, 三维网植草防护, 挡土墙防护, 格笼植物防护。

4.2 方案主客观赋权综合评价

首先假定一个基点方案, 该方案的各分目标值见表4, 其规格化值为 $(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{11j})$ 。经过研究, 取其综合评价值 $E_j^* = 0.35$ 。按照上述评价指标体系构建的原则构建评价体系, 并对各个因素指标值进行量化。

指标量化值见表2(其中, 0为成本型, 1为效益型); 然后, 按指标类型对指标量化值进行规格化; 再通过MATLAB软件进行计算, 结果为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.7823 & 0.9252 & 0.3061 & 0 & 1.0000 \\ 0 & 0.3333 & 0.6667 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0 & 0.6000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.6000 \\ 0 & 0.5714 & 1.0000 & 0.5714 & 1.0000 \\ 0 & 1.0000 & 0.5714 & 0.2857 & 0.5714 \\ 0.2857 & 0.5714 & 0.5714 & 1.0000 & 0 \\ 0.3000 & 0.8000 & 0.5000 & 0 & 1.0000 \\ 1.0000 & 0.2000 & 0.6000 & 0.6000 & 0 \\ 0.5714 & 1.0000 & 0.7143 & 0.2857 & 0 \\ 0.3333 & 0.7778 & 0.5556 & 0 & 1.0000 \\ 0.2857 & 0.7143 & 1.0000 & 0 & 0.7143 \end{bmatrix} \quad (23)$$

将规格化指标代入主客观权重模型进行计算并代入式(19)进行归一化, 得各分目标归一化权重: $w = [0.0905 \ 0.0813 \ 0.0832 \ 0.0837 \ 0.0968 \ 0.0908 \ 0.0865 \ 0.1204 \ 0.0928 \ 0.0879 \ 0.0861]$ 。对边坡防护方案进行综合评价时, 采用均衡度为 $b(R_j) =$

$$1 - d(R_j), \text{ 其中, } d(R_j) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(r_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij} \right)^2} \quad (24)$$

表1 山区高速公路路基边坡防护方案综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluative index system of expressway's subgrade slope protective scheme in mountainous area

经济比指标 U_1	社会性指标 U_2	环境影响指标 U_3	生态影响指标 U_4
-------------	-------------	--------------	--------------

材料费 U_{11}	施工难易度 U_{21}	净化空气 U_{31}	对生态系统的影响 U_{41}
维护难易度 U_{12}	技术可靠性 U_{22}	减少水土流失 U_{32}	
	治理效果 U_{23}	施工对环境的影响 U_{33}	
	稳定能力 U_{24}	绿化效益 U_{34}	

表 2 边坡防护方案评价指标及其量化值

Table 2 Evaluative indexes of slope protective scheme and its quantitative values

评价指标	主客观重点方案	喷播绿化防护 I	三维网植草防护 II	挡土墙防护 III	格笼植物防护 IV
材料费 $U_{11}/(\text{元}\cdot\text{m}^{-2})$	40	19	110	155	8
维护难易度 U_{12}	8	6	4	2	2
施工难易度 U_{21}	0.8	0.5	0.3	0.3	0.5
技术可靠性 U_{22}	0.1	0.5	0.8	0.5	0.8
治理效果 U_{23}	0.1	0.8	0.5	0.3	0.5
稳定能力 U_{24}	0.3	0.5	0.5	0.8	0.1
净化空气 U_{31}	0.3	0.8	0.5	0	1.0
减少水土流失 U_{32}	0.6	0.2	0.4	0.4	0.1
施工对环境的影响 U_{33}	0.5	0.2	0.4	0.7	0.9
绿化效益 U_{34}	0.3	0.7	0.5	0	0.9
对生态系统的影响 U_{41}	0.8	0.5	0.3	1.0	0.5

各方案综合评价值为: 0.507 0, 0.525 6, 0.255 5 和 0.349 6。由此可见: 4 种方案中, 三维网植草防护为最优方案, 其次分别为喷播绿化防护, 格笼植物防护和挡土墙防护。

5 结 论

a. 建立了山区高速公路路基边坡防护方案评价指标体系, 即 11 个指标。构建了主客观赋权法综合评价模型和均衡度变权公式:

$$M(R_j) = b(R_j) \cdot \sum_{i=1}^m w'_i r_{ij}。$$

b. 从生态环境评价角度用主客观赋权法综合评价模型分析常张高速公路路基边坡防护方案, 计算出喷播绿化防护、三维网植草防护、挡土墙防护和格笼植物防护 4 种防护技术的综合评价值分别为: 0.507 0, 0.525 6, 0.255 5 和 0.349 6, 得出三维网植草防护为最优方案, 这与本项目的实际情况相符合。

c. 从生态环境保护角度对山区高速公路路基边坡防护方案进行决策, 得出主客观赋权综合评价法是可行的和合理的。

参考文献:

[1] 陈向波, 陈静曦, 袁从华. 植被措施在膨胀土地区边坡整治中的应用[J]. 交通科技, 2005(1): 30-32.

CHEN Xiang-bo, CHEN Jing-xi, YUAN Cong-hua. Application of vegetation measure in slope treatment of swelling soil area[J]. Transportation Science & Technology, 2005(1): 30-32.

[2] 周长军. 三维植被网路基边坡二防护工艺[J]. 交通科技与经济, 2004, 21(1): 31-34.

ZHOU Chang-jun. On the construction technology for the slope-shield of 3-dhntention vegetation network subgrade[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2004, 21(1): 31-34.

[3] 刘金平. 边坡工程辅助决策系统及其在万梁高速公路中的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学交通与运输工程学院, 2006.

LIU Jin-ping. Slope project auxiliary decision system and its application research in Wanzhou-Liangping expressway[D]. Chongqing: School of Transportation Engineering and Traffic, Chongqing University, 2006.

[4] 林 瑛. 高速公路环境设计中景观与生态、文化的整合研究初探[J]. 江南大学学报: 人文社会科学版, 2006, 5(1): 124-128.

LIN Ying. The study of integration of landscape ecological environment and culture in the highway environmental design[J]. Journal of Southern Yangtze University: Humanities & Social Sciences, 2006, 5(1): 124-128.

[5] 张艳杰, 师利明. 试论公路建设中的环境问题与环境保护[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(11): 133-136.

ZHANG Yan-jie, SHI Li-ming. Discussion on environment problems and environmental protection of highway development[J]. Journal of Northwest Science-Technology University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2004, 32(11): 133-136.

[6] 陈 红, 梁立杰, 杨彩霞. 可持续发展的公路建设生态观[J].

- 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(1): 69-71.
CHEN Hong, LIANG Li-jie, YANG Cai-xia. Ecological view of sustainable development highway construction[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(1): 69-71.
- [7] 刘 珊, 姚 刚, 张 雯, 等. 公路建设项目环境影响的多级模糊综合评价[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 24(1): 80-83.
LIU Shan, YAO Gang, ZHANG Wen, et al. Fuzzy comprehensive assessment of highway construction project impacts on environment[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 24(1): 80-83.
- [8] 陈毕新, 陈小鸿. 公路建设工程的环境损失估算模式探讨[J]. 交通运输工程与信息学报, 2005, 3(4): 28-32.
CHENG Bi-xing, CHEN Xiao-hong. Estimation model of ecological loss in highway construction[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2005, 3(4): 28-32.
- [9] 杨彩侠. 生态公路设计理念与实现研究[D]. 西安: 长安大学交通与运输工程学院, 2007.
YANG Cai-xia. Ecological highway design concept and implementation research[D]. Xi'an: School of Transportation Engineering and Traffic, Changan University, 2007.
- [10] 陈 红, 魏风虎. 公路生态系统评价指标体系构建方法研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(4): 89-92.
CHEN Hong, WEI Feng-hu. Study of the way on indicator set of ecological assessment of highway[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(4): 89-92.
- [11] 王 昆, 宋海洲. 三种客观权重赋权法的比较分析[J]. 技术与管理研究, 2003(6): 48-49.
WANG Kun, SONG Hai-zhou. Comparative analysis of three subjective weighting method[J]. Technoeconomics & Management Research, 2003(6): 48-49.
- [12] 张 尧, 樊治平. 具有部分指标权重信息的语言多指标决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(12): 1826-1829.
ZHANG Yao, FAN Zhi-ping. Method for linguistic multiple attribute decision making with partial attribute weight information[J]. Systems Engineering and Electronics, 2006, 28(12): 1826-1829.
- [13] Inuiguchi M, Sakawa M. Possible and necessary efficiency in possibilistic multiobjective linear programming problems and possible efficiency test[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 79: 231-241.
- [14] 蔡前凤, 李洪兴. 均衡度与变权[J]. 系统工程理论与实践, 2001(10): 83-87.
CAI Qian-feng, LI Hong-xing. Balance degree and variable weigh[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2001(10): 83-87.
- [15] Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay J L. A model of consensus in group decision making under linguistic assessments[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 78: 73-87.
- [16] 刘朝晖. 公路线形与环境设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
LIU Zhao-hui. Highway alignment and environmental design[M]. Beijing: People's Traffic Press, 2002.
- [17] Westman W E. Ecology, impact assessment and environmental planning[M]. New York: John Wiley and Sons, 1985.