

博弈论在高速公路施工期环境影响评价中的应用

吴小萍^{1,2}, 储诚诚¹, 李月光¹, 武希涛¹, 谢帅帅¹

(1. 中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075; 2. 伦敦大学学院 交通研究中心, 英国 伦敦 WC1E 6BT)

摘要: 为克服环境影响评价中指标权重的确定过于主观或客观的片面性, 基于博弈论的组合赋权法建立了高速公路施工期环境影响评价模型。选取水环境、大气环境、声环境、水土保持和环境公众满意度等指标建立分层、分级的高速公路施工期环境影响评价指标体系。分别运用层次分析法(AHP)和熵值法对各评价指标进行主观和客观赋权, 运用博弈论分析两种赋权方法之间竞争又协调一致的关系, 以Nash均衡作为协调目标将博弈论引入综合评价的研究, 计算得到反映决策者意向与评价指标客观属性的综合权重。基于博弈论的组合赋权理论建立高速公路施工期环境影响评价模型, 以郴宁(郴州—宁远)高速公路为例进行计算, 验证模型的有效性。

关键词: 交通工程; 博弈论; Nash均衡; 组合赋权; 层次分析法; 熵值法; 环境影响评价

中图分类号: U41; X820.3

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.06.009

0 引言

近年来, 为了适应国民经济的发展, 我国的高速公路建设进入了高速发展的时期。高速公路的建设不仅对一个地区的社会、政治和经济有积极的影响, 同时也会给该地区带来污染。为了减少高速公路建设对环境造成的污染, 协调好环境、经济、人口之间的冲突及矛盾, 有必要在高速公路建设项目中引入环境影响评价。环境影响评价是环境保护决策的重要依据, 国内学者在环境影响评价方法的研究中做了大量工作。长安大学刘珊等结合层次分析法(AHP)与模糊综合评判法, 建立了基于改进的层次分析法(IAHP)的公路建设项目环境影响综合评价模型^[1]; 南京工业大学韩国志运用聚类理论与矩阵理论提出一种新的权重确定理论和方法, 充分考虑了环境本身特有的模糊性与关联性^[2]。在评价指标的权重确定方法中, 大多数研究内容只是单一地运用主观或客观的算法, 不能反映评价者的主观意向与各指标的客观属性对评价结果的综合影响。笔者将基于博弈论的组合赋权法应用于高速公路施工期环境影响评价, 建立了主观赋权与客观赋权相结合的博弈集

化模型, 并以郴宁高速公路为例进行了计算, 结果表明本模型具有较高的可靠性与稳定性。

1 高速公路施工期环境影响评价指标体系

高速公路施工期环境影响评价属于多目标、多层次的综合评价问题, 影响因素多。依据系统性原则、可比性原则、完整性和可操作性原则、定性定量相结合原则、突出为高速公路建设与环境管理服务的原则, 建立高速公路施工期环境影响评价指标体系如图1所示。

2 基于博弈论的组合赋权法

在环境影响评价中, 权重的计算方法影响着评价结果的可靠性。在传统的权重计算方法中, 有基于决策者对各评价指标主观重视程度的主观赋权法, 如层次分析法(AHP)、德尔菲法(Delphi)等; 也有基于各评价指标客观信息的客观赋权法, 如离差最大化方法、熵值法等。在主观赋权法中, 评价结果很大程度上由决策者的主观意向决定, 而客观赋权法虽然有较强的数理依据, 但没有考虑决策者的主观

收稿日期: 2012-06-11; 修订日期: 2012-08-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50878214, 50578160); 铁道部科技研究开发计划资助项目(2010Z001-C); 广西壮族自治区发展改革委项目(2011-02); 湖南省交通科技项目(200743)

作者简介: 吴小萍(1965-), 女, 广东丰顺人, 中南大学教授, 博士, 主要从事铁路绿色选线研究, E-mail: grace. x. p. wu@gmail.com.

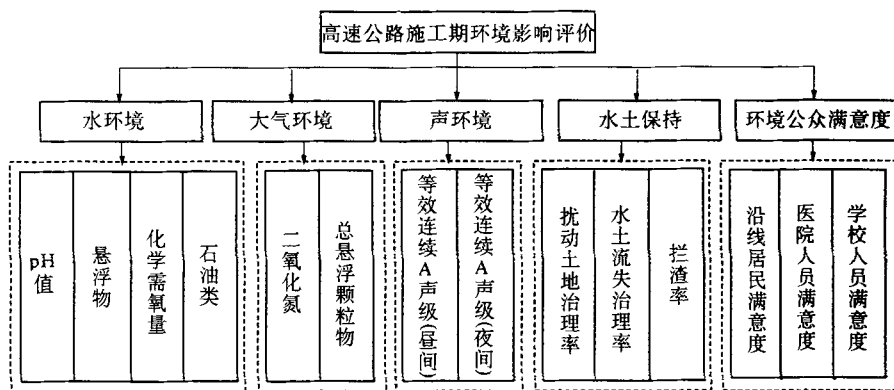


图1 高速公路施工期环境影响评价指标体系

Fig.1 The assessment index system for the environmental impact assessment in construction phase of expressway

意向,两类方法均难以避免片面性。

基于博弈论的组合赋权法,即运用博弈论的方法研究主观、客观赋权法之间在冲突中协调一致的关系,并寻求二者之间的均衡结果,能够兼顾主客观权重,可以全面地考察各指标之间的相互关系。其实现方法为:分别运用层次分析法(AHP)和熵值法对各指标进行主观和客观赋权,以Nash均衡作为协调目标将博弈论引入综合评价的研究,计算得到反映决策者意向与评价指标客观属性的综合权重^[3]。

2.1 基于层次分析法(AHP)的主观赋权法

层次分析法(AHP)是美国运筹学家T. L. Saaty教授于20世纪70年代初提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法^[4]。

2.1.1 确定评价因素集

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}. \quad (1)$$

U 代表综合评价中各评判因素所组成的集合,其包含 n 个评价指标。以高速公路施工期环境影响程度作为评价对象,考虑声环境、水土保持、水环境、公众满意度、大气环境等5个方面因素为评价的一级系统,建立高速公路施工期环境影响评价因素集 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$;5个一级系统又可以分别划分为二级子系统,即 $u_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}\}$, $u_2 = \{u_{21}, u_{22}\}$, $u_3 = \{u_{31}, u_{32}\}$, $u_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}\}$, $u_5 = \{u_{51}, u_{52}, u_{53}\}$,从而构成高速公路施工期环境影响评价的因素集合。

2.1.2 构造判断矩阵

依据T. L. Saaty教授提出的互反性1~9标度法^[4],构造相对重要性判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。

2.1.3 判断矩阵的一致性

分别计算判断矩阵的特征值 λ_{\max} 、特征向量 w (即权重向量)、一致性指标 $CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$ 和

平均随机变量指标 RI ,当随机一致性比率 $CR = \frac{CI}{RI} < 0.1$ 时,即认为层次分析排序的结果满足一致性,赋权是合理的^[5]。

2.2 基于熵值法的客观赋权法

作为不确定性的度量,熵能够反应指标向决策者提供的有用信息量,可直接根据指标值构成的矩阵来计算权重。

2.2.1 根据熵的定义确定指标 j 的熵值

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}. \quad (2)$$

式中: $p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, n$, $k = \frac{1}{\ln m}$, $H_j \in [0, 1]$,当 $p_{ij} = 0$ 时, $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

2.2.2 计算指标 j 的熵权

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^n (1 - H_j)} = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}. \quad (3)$$

式中: $j = 1, 2, \dots, n$, $\omega_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 。

2.3 基于博弈论的权重集化模型

基于博弈论的权重集化模型的思想是在不同权重之间寻找一致或妥协,极小化可能的权重与各基本权重之间的偏差,以减少主观片面性和提高指标赋权的科学性。

用 L 种方法对指标分别赋权,得到权重集 $w_k = [w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kn}]$,其中, $k = 1, 2, \dots, L$ 。进而构造一个基本权重向量集 $\{w_1, w_2, \dots, w_L\}$ 。记 L 个权重向量的任意线性组合为:

$$w = \sum_{k=1}^L \alpha_k w_k^T, \quad (4)$$

式中: α_k 为线性组合系数; w 为基于基本权重的

一种可能权重向量. 它的全体 $\{w \mid w = \sum_{k=1}^L \alpha_k w_k^T, \alpha_k > 0\}$ 表示可能的权重向量集. 该向量集是运用博弈论的方法对基本权重向量进行交叉、融合的结果. 利用可能权重向量, 可以选择得到最满意的权重向量 w^* . 在选择的过程中, 应基于使 w 与各 w_k 的离差极小化的目标对线性组合系数 α_k 进行优化, 推导出对策模型为

$$\min \left\| \sum_{j=1}^L \alpha_j w_j^T - w_i^T \right\|. \quad (5)$$

式中: $i=1, 2, \dots, L$.

由矩阵的微分性质可得对策模型的最优化一阶导数条件为

$$\sum_{j=1}^L \alpha_j w_j w_j^T = w_i w_i^T. \quad (6)$$

式中: $i=1, 2, \dots, L$.

式(6)对应的线性方程组的矩阵形式为:

$$\begin{bmatrix} w_1 \cdot w_1^T & w_1 \cdot w_2^T & \cdots & w_1 \cdot w_L^T \\ w_2 \cdot w_1^T & w_2 \cdot w_2^T & \cdots & w_2 \cdot w_L^T \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_L \cdot w_1^T & w_L \cdot w_2^T & \cdots & w_L \cdot w_L^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \cdots \\ \alpha_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \cdot w_1^T \\ w_2 \cdot w_2^T \\ \cdots \\ w_L \cdot w_L^T \end{bmatrix}. \quad (7)$$

通过对式(7)的计算便可得到基于博弈论的权重集化模型的结果, 即综合权重^[6].

3 基于博弈论的高速公路施工期环境影响评价模型

在笔者建立的高速公路施工期环境影响评价指标体系中, 各评价指标单位不同, 评价之前需对指标值进行归一化处理. 指标可以按极大型、极小型和区间型(分别代表“指标值越大越好”、“指标值越小越好”、“指标值落到某个固定区间为佳”)三类指标进行处理. 其中水环境中的 pH 值为区间型指标(pH 应介于 6 和 9 之间^[7]); 声环境中的等效连续 A 声级, 大气环境中的总悬浮颗粒物、二氧化氮, 水环境中的悬浮物、化学需氧量、石油类为极小型指标; 其余为极大型指标(公众满意度以问卷调查的形式转化极大型的定量指标^[8]). 这三类指标的归一化分别按式(8)~式

(12)^[9]进行.

当 $x_{ij} < x_{jmin}$ 时:

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{jmin} - x_{ij}}{\max\{x_{jmin} - \min_j x_{ij}, \max_j x_{ij} - x_{jmax}\}}; \quad (8)$$

当 $x_{ij} > x_{jmax}$ 时:

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_{jmax}}{\max\{x_{jmin} - \min_j x_{ij}, \max_j x_{ij} - x_{jmax}\}}; \quad (9)$$

当 $x_{ij} \in [x_{jmin}, x_{jmax}]$ 时:

$$r_{ij} = 1. \quad (10)$$

极小型指标:

$$r_{ij} = \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}}; \quad (11)$$

极大型指标:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}}. \quad (12)$$

式中: $[x_{jmin}, x_{jmax}]$ 为被评价指标值的最佳取值区间; $\max_j x_{ij}$ 、 $\min_j x_{ij}$ 分别为被评价指标值中的最大值和最小值.

通过对评价指标的归一化处理, 得到归一化矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$.

利用基于博弈论的组合赋权法计算得到的综

合权重 $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_m)^T (w_i > 0, \sum_{i=1}^m w_i = 1)$, 建立基于博弈论的高速公路施工期环境影响评价模型:

$$z_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \cdot w_j. \quad (13)$$

式中, $i=1, 2, \dots, n$.

4 实例分析

以郴宁(郴州—宁远)高速公路为例, 证明笔者所建立的基于博弈论的高速公路施工期环境影响评价模型的稳定性与可靠性.

郴宁高速公路是厦蓉(厦门—成都)高速公路在湖南省境内三个建设项目的第二段, 项目起终点分别位于郴州市苏仙区和永州市蓝山县境内, 全长 104.25 km.

笔者以居民聚居区——郴宁高速公路里程桩号为 K133+165 的保和乡严塘王家为环境敏感点进行施工期环境影响评价. 表 1 为 2010 年 3 月、6 月和 8 月的环境监测和调查数据.

5 结语

建立基于博弈论的高速公路施工期环境影响评价模型,实现了指标的主观、客观赋权的集化统一;同时考虑了决策者的意向和评价指标的客观属性,避免了由单一的主观或客观赋权带来的片面性.结合郴宁高速公路的实例,证明了本模型的科学性与有效性.

高速公路属于线状工程,沿线有众多生态敏感区,如风景区、水源区、居民聚集区等,笔者仅以居民聚集区为例进行了讨论.在实际应用中,可以根据实际情况选择不同类型的环境敏感点进行评价,为高速公路施工期环境影响评价提供更全面的结果.

参考文献:

- [1] 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,2007,27(1): 80-83.
- [2] 韩国志,傅大放.公路建设项目环境影响综合评价中权重的聚类矩阵特征向量法确定[J].公路交通科技,2004,21(5):158-160.
- [3] 安东尼·凯利.决策中的博弈论[M].李志斌,殷献民,译.北京:北京大学出版社,2007.
- [4] SAATY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: Mc Graw-Hill, 1980.
- [5] 刘铮,吴小萍,杨立国.层次分析法及消去与选择转换法在铁路环评中的应用[J].郑州大学学报:工版,2007,28(3):56-60.
- [6] 黄振芳,刘昌明.基于博弈论综合权重模糊优选模型在地下水环境风险评价中的应用[J].水文,2010,30(4):13-35.
- [7] GB 3838—2002,地表水环境质量标准[S].
- [8] 宋国君.城市环境保护满意度及案例分析[J].环境污染与治理,2009,31(2):81-86.
- [9] 张立军,袁能文.线性综合评价模型中指标标准化方法的比较与选择[J].统计与信息论坛,2010,25(8):10-15.

Game Theory for Environmental Impact Assessment in Construction Phase of Expressway

WU Xiao-ping^{1,2}, CHU Cheng-cheng¹, LI Yue-guang¹, WU Xi-tao¹, XIE Shuai-shuai¹

(1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China; 2. Centre for Transport Studies, University College London, WC1E 6BT, UK)

Abstract: The model of environmental impact assessment in construction phase of expressway on the basis of game theory was established in this paper. Water environment, atmospheric environment, sound environment, conservation of soil and water, public satisfaction towards environment were used to establish the assessment index system for the environmental impact assessment in construction phase of expressway. The analytic hierarchy process and entropy method were adopted to calculate the subjective and objective weight, respectively. Then the aggregate model based on the game theory was adopted to calculate the comprehensive weight, which took both subjective and objective weight into account. The model of the environment impact assessment in construction phase of freeway was established on the basis of assessment index system and comprehensive weight. The model was applied to assess the environment impact in Chen-Ning Expressway to prove its validity and reliability.

Key words: traffic engineering; game theory; Nash equilibrium; comprehensive weight; analytic hierarchy process; entropy method; environmental impact assessment