

文章编号: 1002-0268 (2007) 09-0155-04

公路交通环境不确定多属性综合评价模型

石良清

(交通部规划研究院, 北京 100029)

摘要: 公路作为带状构造物, 沿线不同路段的交通状况、地域环境等都有很大变化, 因此不同路段环境影响测评结果存在很大差异, 常用环境影响评价方法以全线测评均值作为综合评价依据, 致使各路段的差异性在综合评价中得不到体现。基于此, 本文从水环境、声环境、大气环境和土壤环境4个方面入手, 构建了公路环境影响综合评价指标体系, 根据不确定理论建立了不确定多属性公路交通环境综合评价模型, 该模型利用区间数的形式考虑公路沿线环境评价指标的变化范围, 从而更多的保留了公路沿线评价信息, 通过对天津市5条公路的环境评价分析表明, 该模型切实可行。

关键词: 环境工程; 综合评价; 不确定多属性; 环境; 评价指标体系

中图分类号: S731.8

文献标识码: A

Uncertainty Multi-attribute Highway Environment Comprehensive Evaluation Model

SHI Liang-qing

(Transport Planning and Research Institute, Beijing 100029, China)

Abstract: Highway is considered as a linear structure. The traffic conditions and environment are different at each section. Thus, the results of evaluation are very different. As the common methods, we usually use the mean evaluation value of the whole line as the final evaluation result. Such methods cannot display the difference of each highway section in environment evaluation. Therefore, an evaluation index system of highway environment based on water environment, sound environment, atmosphere environment and soil environment is built, and then a useful multi-attribute model is set up to evaluate the highway environment by using uncertainty theory. The model considers the ranges of evaluation indexes and it could reflect more evaluation information of each highway section. A case study proved its practicability.

Key words: environmental engineering; comprehensive evaluation; uncertain multi-attribute; environment; evaluation index system

0 引言

公路作为联结城镇、乡村的纽带, 遍布全国, 因而对环境的影响是全局性的, 不容忽视。为此交通部先后发布了《公路建设项目环境影响评价规范(试行)》(JTJ005-96)和《公路环境保护设计规范》(JTJ/T00698)。其目的就是结合公路沿线实际情况, 确定营运期的公路建设对周围水环境、生态土壤环境、大气环境、噪音环境等方面的影响。

近年来我国不少学者根据公路环境影响评价的实践, 对评价的范围、内容、指标体系和方法等方面开展了一些研究工作, 取得了一定成就^[1,2]。但由于我

国的公路环境评价工作刚刚起步, 在公路环境影响评价中, 目前大多仍采用定性分析的方法。文献中提出了采用组合矩阵法、改进图层叠置法、模糊综合评价法来进行评价, 这些评价方法较定性评价方法有很大进步, 但都有各自的缺点, 如可操作性不强等^[3]。公路作为带状构造物, 不同路段的自然环境、地域环境等都有很大变化, 因此不同路段的各项指标测评结果也存在一定差异, 而前述的所有评价方法均以公路全线测评均值作为评价依据, 不能考虑各路段的差异性, 不符合带状构造物评价的实际情况^[4,5]。基于此, 本文拟从构建公路环境影响评价指标体系入手, 建立相应的评价模型, 充分考虑地形、气候等方面的差异

收稿日期: 2007-07-18

作者简介: 石良清(1964-), 男, 河南鹿邑人, 高级工程师, 从事交通运输规划、建设与管理研究。(shilq@tpri.gov.cn)

性,从而更多的保留公路沿线评价信息。

1 公路环境影响综合评价指标体系

评价指标的选取是进行公路环境影响综合评价的前提,应选取那些在众多的生态因子中普遍存在、对环境有重大影响和能够量化的指标。由于地域、地形、气候、土壤、生物等差异,评价指标的选取不能千篇一律,必须结合当地的环境状况而定,并符合系统性、可比性和实用性的原则。图 1 为本次公路环境影响评价所选用指标体系,主要分析公路对声环境、水环境、大气环境、土壤环境等方面的影响^[6,7]。

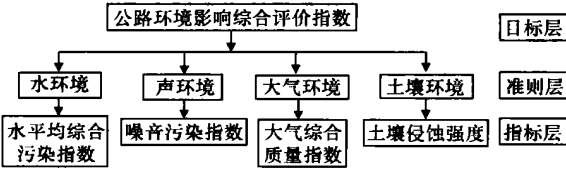


图 1 公路环境影响综合评价层次图

Fig 1 Highway environment influence comprehensive evaluation system

世界各国声环境、水环境、大气环境、土壤环境质量评价标准有所不同,表 1 为我国环境质量评价中常用的评价标准^[8],各指标都有相应计算方法。评价指标权重主要根据专家意见得出:先利用各专家评价结果用层次分析法确定其权重,然后综合考虑所有专家的评价结果,以 3σ 原则确定权重区间。

表 1 公路环境评价标准

Tab 1 Divided of single index value of highway environment

指标	I_1 声环境	I_2 水环境	I_3 大气环境	I_4 土壤环境
评价指数	噪声污染指数 P_n	平均综合污染指数	大气综合质量指数	土壤侵蚀强度
权重	0.17~0.31	0.13~0.25	0.20~0.38	0.20~0.36

2 公路环境影响不确定多属性评价模型

为了能充分反映公路沿线环境评价指标的变化,模型对各路段评价指标进行了统计分析,并按照 3σ 原则给出该条公路各项指标的综合测评区间。

对于属性权重及评价矩阵元素以区间数方式给出的不确定多属性公路环境影响评价问题,可以描述为以下形式。

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为待评价的公路集合。

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 为环境影响评价属性集,属性类型可以分为效益型属性与成本型属性。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。

$w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ 为属性的权重向量,其中, w_i

$\in [w_i^L, w_i^U], \sum_{i=1}^m w_i^L \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i^U \geq 1, w_i^L, w_i^U > 0,$

$\sum_{i=1}^m w_i = 1$, 对于公路 $x_j \in X$, 按第 i 个属性 u_i 进行测度,得到 x_j 关于 u_i 的属性值为区间数 a_{ij} (这里 $a_{ij} = [a_{ij}^L, a_{ij}^U]$), 从而构成区间形式属性评价矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 。

为了消除不同物理量纲对评价结果的影响,根据区间数运算法则,利用式(1)、式(2)把矩阵 A 规范化,将评价矩阵转变为规范化矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 其中 $r_{ij} = [r_{ij}^L, r_{ij}^U]$ 。

$$r_{ij}^L = \frac{a_{ij}^L}{\sqrt[n]{\sum_{j=1}^n (a_{ij}^U)^2}}, r_{ij}^U = \frac{a_{ij}^U}{\sqrt[n]{\sum_{j=1}^n (a_{ij}^L)^2}},$$
$$i \in I_1, j \in (1, 2, \dots, n), \tag{1}$$

$$r_{ij}^L = \frac{\frac{1}{a_{ij}^U}}{\sqrt[n]{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{a_{ij}^L}\right)^2}}, r_{ij}^U = \frac{\frac{1}{a_{ij}^L}}{\sqrt[n]{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{a_{ij}^U}\right)^2}},$$
$$i \in I_2, j \in (1, 2, \dots, n), \tag{2}$$

其中,式(1)用于规范化效益型属性, I_1 为效益型属性下标集合;式(2)用于规范化成本型属性, I_2 为成本型属性下标集合。

对属性权重(区间数)及综合属性(区间数)进行优化可采用以下两个最优化模型:

$$\min z' = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij}^L w_i, \tag{3}$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} w_i^L \leq w_i \leq w_i^U, \\ \sum_i w_i = 1, \end{cases} \quad i \in (1, 2, \dots, m) \tag{4}$$

式(3)、式(4)的最优解设为: $w' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n)^T$ 和 $w'' = (w''_1, w''_2, \dots, w''_n)^T$, 则公路 j 的环境影响综合属性值 z_j (其中 $z_j = [z_j^L, z_j^U]$) 可由式(5)求得:

$$z_j^L = \sum_{i=1}^m r_{ij}^L w'_i, z_j^U = \sum_{i=1}^m r_{ij}^U w''_i. \tag{5}$$

由于 w', w'' 的不同,可能存在 $z_j^L \leq z_j^U$ 的情况,即 z_j (区间数)不存在。为了避免这种情况,可将式(3)、式(4)等价转化为一个单目标最优化模型,同时可减少计算量。

$$\max z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij}^U - r_{ij}^L) w_i,$$
$$\text{s. t.} \begin{cases} w_i^L \leq w_i \leq w_i^U, \\ \sum_i w_i = 1, \end{cases} \quad i \in (1, 2, \dots, m). \tag{6}$$

设式(6)的最优解为 w ,则公路 j 的综合属性值 z_j 可由式(7)求得:

$$z_j^L = \sum_{i=1}^m r_{ij}^L w_i, z_j^U = \sum_{i=1}^m r_{ij}^U w_i \circ \tag{7}$$

上述模型所得公路环境评价综合属性值 z_j (其中 $z_j = [z_j^L, z_j^U]$)为区间形式,为了便于进行环境影响评价,本文引入了区间可能度的概念,依据可能度来对公路环境进行评价^[9,10]。

定义:设 $a = [a^L, a^U], b = [b^L, b^U]$,且记 $L(a) = a^U - a^L, L(b) = b^U - b^L$,则称:

$$p(a \geqslant b) = \frac{\max(0, L(a) + L(b) - \max(0, b^U - a^L))}{L(a) + L(b)} \tag{8}$$

为 $a \geqslant b$ 的可能度,在此定义下可能度 $p(a \geqslant b)$ 具有下述性质:

- (1)若 $p(a \geqslant b) = p(b \geqslant a)$,则 $p(a \geqslant b) = p(b \geqslant a) = 1/2$;
- (2) $p(a \geqslant b) + p(b \geqslant a) = 1$;
- (3)若 $a^U \leqslant b^L$,则 $p(a \geqslant b) = 0$;若 $a^L \geqslant b^U$,则 $p(a \geqslant b) = 1$;
- (4)对于3个区间数 a, b, c ,若 $a \geqslant b$,则 $p(a \geqslant c) \geqslant p(b \geqslant c)$ 。

利用公式(8)可对公路环境的综合属性值 $z_j = [z_j^L, z_j^U]$ 两两进行比较,建立可能度矩阵 $P = (p_{ij})_{n \times n}$ (其中, $p_{ij} = p(z_i \geqslant z_j)$)。由性质(2)可知,矩阵 P 是一个互补判断矩阵,可利用文献[8]中给出的一个简洁的互补判断矩阵评价公式

$$\omega_i = \frac{1}{n(n-1)} \left[\sum_{j=1}^n p_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right], i \in (1, 2, \dots, n) \tag{9}$$

进行求解,得到可能度矩阵 P 的评价向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$,并按其分量大小对公路环境进行评价,即得到最佳评价结果。

3 模型应用

以天津市5条公路的环境评价为例,实测数据如表2所示,其中 I_i^L 为第 i 个环境测评指标下限, I_i^U 为第 i 个环境测评指标上限,表中数值根据沿线各指标实测结果差异以3 σ 原则确定。

利用式(1)和式(2)对上述矩阵进行规范化,得规范矩阵 R 如表3。

表2 天津市5条公路的环境实测数据计算结果

Tab 2 Investigation data from five highways in Tianjin

测点 x_i	I_1 声环境 噪音污染指数		I_2 水环境平 均综合污染 指数		I_3 大气环境 大气综合 质量指数		I_4 土壤环境土 壤侵蚀强度	
	I_1^L	I_1^U	I_2^L	I_2^U	I_3^L	I_3^U	I_4^L	I_4^U
x_1 (杨北公路)	0.61	0.91	0.36	0.54	0.71	1.07	3.94	5.90
x_2 (津围公路)	0.60	0.90	0.37	0.55	0.74	1.10	3.58	5.36
x_3 (津汉公路)	0.53	0.79	0.43	0.65	0.27	0.41	1.14	1.70
x_4 (津岐公路)	0.54	0.82	0.76	1.14	0.67	1.01	3.42	5.14
x_5 (津塘公路)	0.53	0.79	0.36	0.54	0.78	1.16	1.19	1.79

表3 环境评价矩阵的规范化矩阵

Tab 3 Normalization decision matrix

I_j	I_1^L	I_1^U	I_2^L	I_2^U	I_3^L	I_3^U	I_4^L	I_4^U
x_1	0.274	0.616	0.339	0.762	0.203	0.457	0.130	0.292
x_2	0.277	0.624	0.331	0.745	0.197	0.443	0.143	0.321
x_3	0.315	0.709	0.282	0.635	0.532	1.197	0.449	1.011
x_4	0.306	0.689	0.160	0.361	0.215	0.485	0.149	0.335
x_5	0.315	0.709	0.339	0.762	0.187	0.420	0.428	0.963

将规范矩阵 R 和 W 代入优化模型式(6)得: $z = 0.683\ 6, W = (0.238, 0.187, 0.292, 0.283)^T$ 。

将优化属性权重 W 代入式(7),得综合属性值: $Z^L = (0.145, 0.143, 0.126, 0.129, 0.126), Z^U = (0.217, 0.214, 0.188, 0.194, 0.188)$ 。

为了对比分析各条公路环境影响,先利用式(8)两两比较综合属性值,得可能度矩阵 P 如下:

$$P = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.517 & 0.676 & 0.639 & 0.676 \\ 0.483 & 0.500 & 0.660 & 0.622 & 0.660 \\ 0.324 & 0.340 & 0.500 & 0.463 & 0.500 \\ 0.361 & 0.378 & 0.537 & 0.500 & 0.537 \\ 0.324 & 0.340 & 0.500 & 0.463 & 0.500 \end{bmatrix}$$

用式(9)计算可能度矩阵 P 排序向量: $\omega = (0.225, 0.221, 0.181, 0.191, 0.181)^T$ 。

依据可能度矩阵 P 可知各公路环境的优劣依次为: $x_3 > x_5 > x_4 > x_2 > x_1$,即:津汉公路>津塘公路>津岐公路>津围公路>杨北公路。

4 结束语

公路作为带状构造物,其特殊性决定不同路段的各项环境测评结果都存在很大差异,如何在公路环境影响评价中综合考虑不同路段差异是一个难题。本文从公路沿线地域、地形、气候、土壤等差异性入手,建立了公路环境影响综合评价指标体系,构造了不确定多属性公路交通环境综合评价模型,实例验证表明,该模型具有较强的实用性和可操作性。

参考文献:

[1] 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.
- [2] 冯基学, 张玉芬. 公路建设项目声环境影响评价指标 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2002, 22 (1): 24- 27.
- [3] 董常晖, 徐燕. 公路工程环境影响评价的研究进展 [J]. 交通环保, 2004 (1): 45- 49.
- [4] 李修刚, 肖为周. 一种基于 GIS 的公路环境影响综合评价方法 [J]. 东南大学学报, 1998, 28 (3): 93- 97.
- [5] 王博. 公路施工项目的环境管理与评价 [J]. 公路, 2002 (11): 29- 31.
- [6] 周剑. 高速公路建设生态环境影响评价指标体系研究 [J]. 企业开发技术, 2006 (5): 83- 88.
- [7] 徐宪立, 耿红, 张科利, 等. 西部地区高速公路发展规划生态环境影响评价- 指标体系构建及评价方法探讨 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (7): 154- 157.
- [8] 张玉芬. 交通运输与环境保护 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003: 30- 45.
- [9] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法 [J]. 系统工程学报, 2001, 16 (4): 311- 314.
- [10] 达庆利, 徐泽水. 不确定多属性决策的单目标最优化模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2002, 17 (1): 50- 55.

(上接第 148 页)

- [3] CAMPBELL A M, SAVELSBERGH. A Decomposition Approach for the Inventory- Routing Problem [J]. Transportation Science, 2004, 38 (4): 488- 502.
- [4] 刘立辉, 钱燕云. 一对多配送网络中 ITIO 问题的建模与算法研究 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (10): 136- 141.
- [5] CHIOU S W. Integrating the Inventory Management and Vehicle Routing Problems for Congested Urban Logistics Network [J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005, 6: 3 038 - 3 051.
- [6] SHEN Z J, COULLARD C, DASKIN M. A Joint Location- Inventory Model [J]. Transportation Science, 2003, 37 (1): 40- 55.
- [7] SHU J, TEO C P, SHEN Z J. Stochastic Transportation- Inventory Network Design Problem [J]. Operation Research, 2005, 53 (1) 48 - 60.
- [8] SHEN Z J, QI L. Incorporating Inventory and Routing Costs in Strategic Location Models [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 179 (2): 372- 389.
- [9] AXSATER S. Using the Deterministic EOQ Formula in Stochastic Inventory Control [J]. Management Science, 1996, 42 (6): 830- 834.
- [10] DE BOER, KROESE P T D P, MANNOR S, *et al.* A Tutorial on the Cross-Entropy Method [J]. Annals of Operations Research, 2005, 134 (1): 19- 67.
- [11] 姜山佐, 史忠科. 基于交叉熵法解决随机用户和需求车辆路径问题 [J]. 控制与决策, 2007, 22 (1): 7- 11.
- [12] NAGY SAIHI. Heuristic Algorithms for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries [J]. European Journal of Operational Research, 2005, 162 (1): 126- 141.

《公路交通科技》2008 年征订启事

《公路交通科技》杂志创刊于 1984 年, 为中华人民共和国交通部主管、交通部公路科学研究院主办的中央一级学术性期刊, 国内外公开发行, 大 16 开本, 为全国中文核心期刊。本刊主要刊登公路交通运输及其相关、相邻学科的学术论文, 主要栏目有: 道路工程、桥梁工程、智能运输系统与交通工程、汽车工程、环境工程以及运输经济等。本刊的读者对象为各大专院校的师生, 从事公路交通运输的科研人员、工程技术人员及管理人员。

国内邮发代号: 2-480, 每册定价 12 元, 全年 12 期共计 144 元。

读者也可通过邮局或银行汇款至编辑部直接订阅。

地 址: 北京市西土城路 8 号

邮 编: 100088

收款单位: 《公路交通科技》编辑部

开 户 行: 工商银行北京北太平庄支行

帐 号: 0200010009014418686

户 名: 交通部公路科学研究所

电 话: (010) 62079198 转 814、804

传 真: 010- 62058207

联 系 人: 王老师 杨老师

电子信箱: editor@rioh.cn