

基于物元模型的沥青路面预养护对策选择

官盛飞, 凌建明, 赵鸿铎, 高镇都

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 预养护对策选择是一个多属性决策问题, 但由于缺乏信息, 决策往往由专家主观判定, 结果依赖于专家的工程经验. 在全面分析公路沥青路面预养护决策影响因素的基础上, 建立了系统的评价指标体系, 并运用层次分析法确定了各个指标的权重, 通过专家打分来量化不同预养护对策的各个评价指标, 采用物元分析方法对不同预养护方案进行综合排序, 从而确定最佳预养护措施. 该模型克服了传统决策方法中存在的主观因素过多、权重不确定等问题. 结合上海市 A20 公路预养护工程进行的实例研究证明了模型的合理性与有效性. 研究成果可为沥青路面预养护决策提供科学的依据.

关键词: 道路工程; 物元分析; 沥青路面; 路面养护

中图分类号: U418.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2007)05-0073-05

Matter Element Model for PPM Treatment Selection of Highway Asphalt Pavement

GUAN Sheng-fei, LIN Jian-ming, ZHAO Hong-duo, GAO Zhen-du

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Education Ministry, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract Pavement preventive maintenance treatment selection is a problem of multi-attribute decision-making. However, the decision-making is often a subjective judgment due to lack of information. The index system for evaluating pavement preventive maintenance treatment has been established based on the comprehensive analysis of factors affecting the decision-making. Each evaluation indicator has assigned a decimal weighing factor between 0 and 1 by employing the analytic hierarchy process. After quantification of each evaluation indicator for different treatments, the optimal preventive maintenance treatment is selected by the aid of the synthetic order of scenarios which is determined by the matter-element analysis. The decision-making model has overcome the defect of including over many subjective factors and inaccurately weighing them in the traditional method. Combined with the project of pavement preventive maintenance for A20 highway in Shanghai, a case study has been done and the rationality and availability of the model has also been demonstrated. The result provides decision makers with a scientific support in their decision-making.

Key words highway engineering; matter element analysis; asphalt pavement; pavement maintenance

0 引言

路面养护可分为 2 种: 预防性养护和纠正性养护^[1]. 其中, 预防性养护 (Pavement Preventive Maintenance, 简称 PPM) 是指在路面状况良好的情况下, 对现有道路系统进行有计划的、基于费用效益分析的一种养护策略, 它在不提高路面结构承载能力的前提下, 可有效延迟路面损坏, 维持或改善路面现有通车条件, 达到推迟路面大修、延长使用寿命等目的^[2].

收稿日期: 2007-06-07. 基金项目: 上海市市政管理局科技发展基金项目 (项目编号: 2003-1-21).

第一作者简介: 官盛飞 (1982-), 男, 博士研究生. 主要研究方向: 路基工程与路面养护.

E-mail: guanshengfe@126.com

预养护计划的成功实施取决于 2 个方面,即预养护对策的选择和确定其实施时机.预养护对策的选择涉及到路况、经济和环境等各方面的影响因素,因而是一个多属性、多目标的复杂问题.

国外的预养护对策选择方法,主要是建立在现代决策理论,如决策树、决策矩阵的基础上,并通过计算机来辅助完成决策过程^[3,4].

目前预养护技术在国内的研究和应用还处于起步阶段,预养护对策选择的关键技术还没有得到有效解决.国内虽然已经开始使用预养护措施,但由于缺乏一套科学、有效的预养护对策选择方法,仅凭经验来选择预养护措施,这就大大影响了措施选择的合理性,降低了预养护的效果,限制了预养护技术的推广应用.

近年来发展起来的物元分析理论(Matter Element Analysis)采用形式化的工具,从定性和定量的角度去研究解决矛盾问题的规律和方法,并已在许多领域内得到成功应用^[5].这为预养护对策选择提供了一种新的方法.

本文针对我国公路沥青路面的特点,结合国内常用的预养护措施,以物元分析方法为基础,建立了预养护对策选择的物元模型,并通过工程实践验证了模型的正确性.该模型可为预养护对策选择提供一种科学、有效的决策方法.

1 预养护对策与评价指标

1.1 预养护对策^[6]

预养护对策是预养护计划实施的手段,更是预养护对策选择和确定的对象.

目前,我国常用的沥青路面预养护措施主要有稀浆封层、微表处、碎石封层、复合封层、薄热拌沥青混凝土加铺层(THMO)、灌缝或封缝、雾状封层和沥青再生剂等 8 种.它们构成了预养护对策选择的方案集.

1.2 指标的选取

最佳预养护对策是指在现有的路面状况下,以较少的经济投入、较低的交通干扰和环境影响来获取最佳的路面使用性能,并最大程度地延长路面的使用寿命.因此对预养护对策的评价,需要从经济、技术和环境影响 3 个方面来进行.在此基础上,通过对影响因素的进一步细化,以建立完整、全面的预养护对策评价指标体系,其结果如表 1 所示.

表 1 预养护对策评价指标体系

Tab 1 Index System for Evaluating Pavement Preventive Maintenance Treatment

代码	经济指标		技术指标					环境影响指标				
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}	B_{12}
指标	使用 寿命	单位 费用	路面 状况	公路 等级	交通 量	材料 来源	施工 质量	交通 干扰	行驶 质量	路面 抗滑	路面 噪音	路面 美观
权重	0.03	0.08	0.27	0.04	0.03	0.09	0.16	0.02	0.11	0.12	0.05	0.02

1.3 指标的权重

指标权重在评价中是至关重要的,它反映了各个因素在评估过程中所占有的地位或所起的作用,它直接影响到评价的结果.权重可凭经验给出,但由于受主观影响较大,无法准确反映实际情况,评判结果可能“失真”.实际中也常采用其它确定权重的方法,如专家打分法、层次分析法(AHP)^[7,8]、频数统计法等.本文即采用层次分析法来确定各评价指标的权重,其结果如表 1 所示.

1.4 指标的量化

在所确定的预养护对策评价指标体系中,选取 B_1 使用寿命和 B_2 单位费用作为定量指标,而其他指标则按定性指标来处理.

由于在评价指标体系中同时包含定性指标与定量指标,因而在构造待评物元时需要按指标类型进行规范化处理,将评价指标的特征值变换到 $[0, 1]$ 区间上^[9].对定量与定性指标需要分别采用不同的方法进行

不失一般性, 假设公路预养护对策有 m 个评价指标, 组成的评价指标集为 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$; 有 n 个对策方案, 组成方案集合 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$; x_{ij} 为 D_j 方案 B_i 指标的量化结果, a_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) 为相应指标的规范化处理结果.

1.4.1 定量指标的规范化^[9]

对于定量指标, 又可分为效益型 (越大越好) 指标和成本型 (越小越好) 指标 2 类, 对它们的处理方法也有所不同.

若 $B_i \in B$ 为效益型指标, 则相应的规范化结果为

$$a_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\}}{\max_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\} - \min_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\}} \quad (1)$$

($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)

若 $B_i \in B$ 为成本型指标, 则相应的规范化结果为

$$a_{ij} = \frac{\max_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\} - x_{ij}}{\max_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\} - \min_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\}} \quad (2)$$

($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)

1.4.2 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、次和差来评价预养护对策某一项指标的特性, 并确定相应等级的规范分值. 为避免个体判断的失误, 可以采用专家咨询、群体决策的方法, 综合确定预养护对策各个定性指标的规范化分值 a_{ij} .

2 预养护对策选择的物元模型

2.1 物元基本概念^[10]

给定事物的名称 N , 它关于特征 C 的量值为 X , 以有序三元组 $R = (N, C, X)$ 作为描述事物的基本元, 简称为物元, 同时把事物的名称、特征和量值称为物元三要素. 一个事物有多个特征, 如事物 N 以 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n 和相应的量值 X_1, X_2, \dots, X_n 表述, 则其物元如 (3) 式所示.

$$R = \begin{pmatrix} N & C_1 & X_1 \\ & C_2 & X_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

这时称 R 为 n 维物元, 简记为 $R = (N, C, X)$.

2.2 预养护对策物元

在 1.2 节中所确立的评价指标体系就构成了预养护对策物元的特征 C_1, C_2, \dots, C_{12} 对每一个预养护对策分别按上述评价指标进行评定, 并给出相应的规范化结果 a_i ($i = 1, 2, \dots, 12$). 单指标评价的性能越好, 其规范化的结果也越大. 上述 12 个评价指标就构成了一个 12 维的预养护对策物元 R , 见式 (4).

当有 n 个预养护对策方案时, 把各个方案的 12 维物元组合在一起, 就形成 n 个对策方案的 12 维复合物元 R_n , 如式 (5).

$$R = \begin{pmatrix} D \\ C_1 & a_1 \\ C_2 & a_2 \\ \vdots & \vdots \\ C_{12} & a_{12} \end{pmatrix} \quad (4) \quad R_n = \begin{pmatrix} D_1 & D_2 & \dots & D_n \\ C_1 & a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ C_2 & a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{12} & a_{12,1} & a_{12,2} & \dots & a_{12,n} \end{pmatrix} \quad (5) \quad R_0 = \begin{pmatrix} D_0 \\ C_1 & a_{1,0} \\ C_2 & a_{2,0} \\ \vdots & \vdots \\ C_{12} & a_{12,0} \end{pmatrix} \quad (6)$$

2.3 最佳预养护对策物元

按照越大越优的相对优化原则,从 n 个预养护对策方案的 12 维复合物元中,选定各特征指标的最大值组成新的预养护对策 12 维物元,称其为最佳预养护对策物元 R_0 ,如式 (6).

2.4 关联系数复合物元

根据所建立的预养护对策 12 维复合物元,构造相应的关联系数 12 维复合物元 R_{Ln} ,如式 (7).

$$R_{Ln} = \begin{pmatrix} D_1 & D_2 & \cdots & D_n \\ C_1 & L_{1,1} & L_{1,2} & \cdots & L_{1,n} \\ C_2 & L_{2,1} & L_{2,2} & \cdots & L_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ C_{12} & L_{12,1} & L_{12,2} & \cdots & L_{12,n} \end{pmatrix} \quad (7)$$

式中: L_{ij} 为第 j 个预养护对策方案与最佳对策方案的第 i 项评价指标的关联系数,可按式 (8) 计算^[11]:

$$L_{ij} = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \rho \Delta_{\max}} \quad (8)$$

$$(i = 1, 2, \dots, 12; j = 1, 2, \dots, n)$$

式中: Δ_{ij} 为最佳预养护对策第 i 项评价指标与第 j 个预养护对策相应指标特征量值之间的绝对差值,即 $\Delta_{ij} = |a_{i0} - a_{ij}|$;

Δ_{\min} 、 Δ_{\max} 为分别为物元特征量值绝对差值 Δ_{ij} 的最小值和最大值,即 $\Delta_{\min} = \min\{\Delta_{ij}\}$, $\Delta_{\max} = \max\{\Delta_{ij}\}$, ($i = 1, 2, \dots, 12; j = 1, 2, \dots, n$);

ρ 为分辨系数,一般取 0.5

2.5 综合关联度复合物元

关联系数仅仅反映不同的预养护对策与最佳方案在某一项评价指标上的关联程度,而不能反映该预养护对策在整体上与最佳方案之间的关联程度.为此,需要将各个评价指标的关联系数按照其相对重要性进行加权平均,以获得预养护对策的综合关联度复合物元 RD_{Ln} ,如式 (9) 所示^[11].

$$RD_{Ln} = W \times R_{Ln} = \begin{pmatrix} D_1 & D_2 & \cdots & D_n \\ L_{0j} & L_{01} = \sum_{i=1}^{12} W_i L_{i,1} & L_{02} = \sum_{i=1}^{12} W_i L_{i,2} & \cdots & L_{0n} = \sum_{i=1}^{12} W_i L_{i,n} \end{pmatrix} \quad (9)$$

式中: L_{0j} 为综合关联度,即各个预养护对策与最佳方案关联性大小的综合度量 ($j = 1, 2, \dots, n$);

W 为评价指标的权重向量,按表 1 取值.

按照 RD_{Ln} 中关联度进行排序,可以明显的区分各个预养护对策的优劣.关联度最大的预养护对策便是最佳方案.

3 实例分析

3.1 工程概况

上海市外环线 (A20) 是上海的交通主干道,为双向 8 车道高速公路,年平均日交通量 (AADT) 高达 140 000 辆/d 且以重型车辆和集装箱卡车居多.本研究依托的试验路段位于桩号为 K34+600~K35+300 处.2004 年 10 月对该路段进行路况调查,路面强度系数 SS1 路面状况指数 PCI 和行驶质量指数 RQI 分别为 0.87、89.9 和 9.8.路面主要出现轻微松散和老化,并具有少量细小裂缝和 5~15 mm 深的车辙,路面总体状况良好.

3.2 预养护对策选择

根据已经确定的预养护对策评价指标及其量化方法,同时结合上海市公路预养护工程经验,采用专家打分法来确定 8 种常用预养护措施各项评价指标的取值,并对其进行规范化处理,最终结果如表 2 所示.

表 2 评价指标评分结果
Tab 2 Appraisal result of indices

评价指标	对 策							
	稀浆封层 D_1	微表处 D_2	碎石封层 D_3	复合封层 D_4	THMO D_5	灌缝或封缝 D_6	雾状封层 D_7	沥青再生剂 D_8
B_1	0.60	1.00	0.60	1.00	1.00	0.00	0.00	0.60
B_2	0.80	0.72	0.82	0.47	0.00	0.95	1.00	0.68
B_3	0.83	0.87	0.82	0.86	0.93	0.71	0.80	0.76
B_4	0.56	0.89	0.62	0.59	0.76	0.52	0.59	0.93
B_5	0.52	0.91	0.49	0.50	0.68	0.50	0.55	0.88
B_6	0.91	0.90	0.78	0.84	0.86	0.90	0.93	0.60
B_7	0.78	0.72	0.56	0.73	0.76	0.92	0.82	0.84
B_8	0.41	0.37	0.43	0.38	0.26	0.71	0.44	0.47
B_9	0.87	0.90	0.81	0.88	0.88	0.58	0.78	0.85
B_{10}	0.82	0.85	0.86	0.82	0.86	0.57	0.26	0.79
B_{11}	0.61	0.64	0.39	0.63	0.60	0.52	0.59	0.81
B_{12}	0.84	0.87	0.65	0.81	0.88	0.32	0.87	0.85

根据表 2 建立 8 个预养护对策的 12 维复合物元 R_8 以及与此相应的最佳预养护方案 12 维物元 R_0 。在此基础上, 通过计算得到 8 个预养护对策的关联系数物元 R_{L_8} , 其中 $\Delta_{\min} = 0$, $\Delta_{\max} = 1$, $\rho = 0.5$

采用表 1 中所确定的各个评价指标权重, 按式 (9) 计算可得 8 个预养护对策与最佳预养护方案之间的综合关联度复合物元 RD_{L_8} , 结果如式 (10) 所示。

$$RD_{L_8} = W \times R_{L_8} = \begin{pmatrix} D_1 & D_2 & D_3 & D_4 & D_5 & D_6 & D_7 & D_8 \\ L_{0j} & 0.83 & 0.89 & 0.77 & 0.82 & 0.87 & 0.76 & 0.78 & 0.82 \end{pmatrix} \quad (10)$$

由综合关联度复合物元 RD_{L_8} 可以看出, D_2 的综合关联度 L_{0_2} 最大, 因此微表处为该项目的最佳预养护对策。

根据分析结果, 选用微表处方案, 对路段实施预养护。对路面的连续跟踪监测表明, 该预养护措施有效治理了原有路面的病害, 改善了路面的行驶质量, 增强了路面的抗滑性能。由此充分证明了该预养护措施的合理性与有效性, 同时也验证了该决策模型的正确性和可行性。

4 结 语

1) 本文在综合考虑沥青路面预养护对策技术、经济和环境等影响因素的基础上, 构建了系统的评价指标体系, 并采用层次分析法确定了各个指标的权重取值。

2) 采用专家打分法对不同预养护对策的评价指标进行量化, 同时通过引入物元分析方法, 建立了沥青路面预养护对策选择的物元模型。该模型以预养护对策关联度的大小来进行方案优劣排序, 得出准确、直观的评价结果。通过对上海市 A20 公路预养护对策选择的实例研究, 证明了模型的正确性与有效性。

3) 所建立的决策模型通过对指标的量化而具有较高的精度, 同时它又拥有简单明了、易于操作的特点, 因而是一种科学、有效的预养护对策选择方法。通过对评价指标的扩展与完善, 该决策模型同样可以应用于水泥混凝土路面的预养护对策选择中。

参考文献:

- [1] 董瑞琨, 孙立军. 路面维护及预防性养护效益分析 [J]. 公路, 2004(3): 121-125.
- [2] Insights into Pavement Preservation [R]. Washington, U. S. Federal Highway Administration, April 2003.

况下, 交通产生和交通吸引明显增加. 这种变化的原因是随着行政中心和科研中心的进一步完善, 提供更多就业和就学岗位的同时, 也会吸引更多的人搬到这里居住. 在同一个城市中, 交通吸引的总量是一定的, 由于比邻的交通小区 1 和交通小区 2 吸引了交通小区 3 的一部分交通出行, 在考虑了区位优势的影响后, 交通小区 3 的交通吸引有所下降, 这是与城市发展规律相吻合, 也体现了竞争吸引的原理. 同时, 随着经济的发展, 交通小区 10 作为中心商业区的地位进一步加强, 导致了交通小区 10 的交通吸引明显大于交通产生, 这与城市的总体发展战略规划一致的. 综上所述, 算法的计算结果是具有很强的合理性的.

4 结语

土地利用是出行活动生成的主要决定因素之一, 一般来说, 不同土地利用布局、性质和强度, 会对应着不同的交通出行量. 由于中小城市正处于经济发展的高速时期, 其土地利用变化较大, 论文引入交通区位优势对中小城市交通出行生成预测, 该方法的预测结果是和城市总体战略规划相吻合的.

参考文献:

- [1] 玉溪市主城区城市交通管理规划 [Z].
- [2] 吴家友, 刘术红. 基于区位优势的新城区总体交通需求预测模型探讨 [J]. 重庆交通学院学报, 2003 22(4): 93-95
- [3] 刘洪丽. 城市居民出行生成预测方法研究 [D]. 天津: 河海大学, 2006
- [4] John S Miller, Lester A Hoej, Akopal Goswami, et al. Assessing the utility of private information in transportation planning studies: A case study of trip generation analysis [R], 2006
- [5] 邵春福. 交通规划原理 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004

(上接第 77 页)

- [3] Hicks R G, Moulthrop J S, Daleiden J. Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavements [J], Transportation Research Record, Issue 1999(1680): 1-12
- [4] Pannapa H, erabat, Praput Songchitruksa. A Decision Support System for Flexible Pavement Treatment Selection [J], Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2003(18): 147-160
- [5] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程研究 [J]. 中国工程科学, 2000, 2(12): 90-96
- [6] 朱建东, 凌建明. 公路沥青混凝土路面预防性养护技术研究 [R]. 同济大学, 2005
- [7] 许树柏. 实用决策方法: 层次分析法原理 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1988
- [8] 冯仲仁, 朱瑞赓. 高速公路软基处理方案的多层次模糊决策 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(6): 915-918
- [9] 夏元友, 朱瑞赓. 不稳定边坡治理方案的多层次模糊综合群决策 [J]. 自然灾害学报, 1998, 7(1): 60-65
- [10] 蔡文. 物元模型及其应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1999
- [11] 陈远祥, 刘方强. 高速公路路线方案优选模型及其应用 [J]. 中南公路工程, 2004, 29(1): 70-72

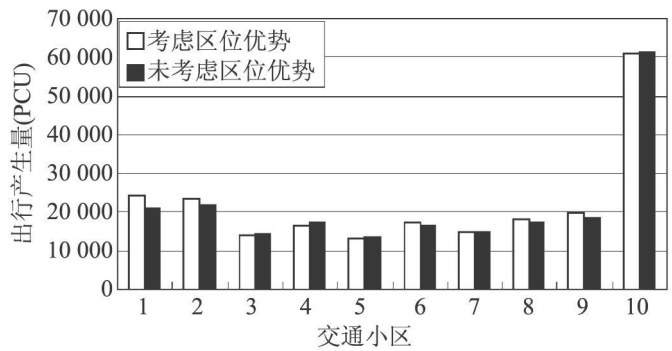


图1 2020年玉溪市出行产生对比图
Fig.1 Contrasting chart of trip generation for Yuxi in 2020

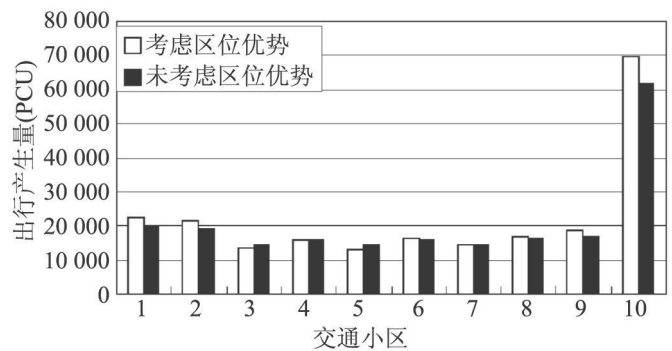


图2 2020年玉溪市出行吸引对比图
Fig.2 Contrasting chart of trip attraction for Yuxi in 2020