

基于改进模糊层次分析法的复合式路面 反射裂缝病害修补技术评价

张 驰¹, 周博闻¹, 于会江²

(1. 长安大学教育部特殊地区公路工程重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 河南越秀交通基建有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 目前国内外对于复合式路面反射裂缝一类病害的修补技术较多, 但是在具体情况下如何指导技术人员进行养护决策尚未有好的解决方法. 因此, 在考虑费用、寿命、效率等因素的情况下对这些修补技术进行客观科学的综合评价就尤为重要. 现有修补技术评价方法存在着主观性较强、指标设计不合理和模型过于复杂等问题, 导致方法适用性不高、评价结果准确性较差. 综合考虑经济效益和用户体验两方面的 6 个指标, 在层次分析法构建的评价体系框架内, 结合模糊数学、统计学法和熵权法依托 6 个指标对三种反射裂缝病害修补技术进行了优选评价, 得到了最佳的修补方案.

关键词: 道路工程; 复合式路面; 反射裂缝; 修补技术; 改进层次分析法; 熵权法; 模糊数学

中图分类号: U418.6+2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)01-0064-07

反射裂缝病害是目前复合式路面中一种严重的病害形式, 破坏面积较大, 影响因素也极为复杂. 国内外目前针对这一类病害的修补技术较多, 但是却缺少一种能够客观平衡费用、寿命以及用户体验等因素对修补技术的影响, 从而在一定程度指导技术人员在对应条件下进行快速养护决策的综合评价方法.

目前, 国内外针对养护方案评价的研究较少, 比较有代表性的有: 张生瑞, 周伟^[1]在高速公路建设有关理论和方法的基础上, 结合各种定性、定量指标及其属性值的量化方法, 构建了用于公路建设的神经网络综合评价方法, 结果具有通用性, 为公路建设项目的决策提供了有力的支持, 但是神经网络法的实用性一直未被认可, 结果可靠性还需验证; 张志霞, 陈永峰等^[2]针对公路交通网多层次、多属性的特点, 提出了基于综合层次评价分析法和模糊数学的层次模糊决策模型, 以层次分析法来建立评价体系的整体架构, 以模糊数学来量化定性指标, 最终达到优化公路交通网经济效益的目的, 但是 AHP 法的权重求取, 主观性较强, 所得结果与主观选择有较大联系; 朱辉, 李沛才等^[3]以吉林省 2002 年公路网的综合评价为例, 应用灰色关联度分析, 探讨了两种不同评价尺度的公路网现状综合评价体系具体情况, 并界定了两种方案的应用条件, 但是灰色关联度分析法主观性较强, 所得结果可能因为评价指标选择的不一样而有较大差别; 许宏科等^[4]从设备状况、管理体制和运营效果三个方面入手, 选择 23 项对高速公路运营影响较大的因素作为评价指标, 在层次分析法和模糊数学理论的基础上建立了高速公路隧道运营管理模糊综合评价模型, 但是文章选择的指标过多, 影响区域交叉, 会产生干扰, 且在 AHP 这种相对主观的赋权方法下, 结果不确定性较大; 丛卓红, 郑南翔等^[5]选择了 11 个路用性能指标, 采用熵权法赋值, 结合灰色聚类分析和主成分分析综合形成既反映全体指标信息又体现指标差异性的综合指标, 对 5 种材料进行评价, 并通过四川广巴高速公路的实测数据进行检验, 但在进行指标剔除和结合后所得结果可能产生较大变化, 准确性尚需更多数据验证.

综上所述, 目前关于复合式路面反射裂缝病害修补技术评价的研究尚未有一个明确的方向. 有的作者采用了神经网络法进行综合评价, 但神经网络法的可行性在业内一直受到质疑, 结果准确性难以保证; 有的作者全面考虑了各方面的指标, 但是指标过多, 算法过于复杂, 导致难以在日常的养护技术综合评价中广泛使用; 更多的作者^[6-7]则是采用层次分析法和模糊数学法来构建评价体系, 但是 AHP 法的权重赋值主观性较强, 所得结果受使用者喜好影响较大. 虽然对于修补技术的综合评价已经有了一些研究成果, 但是在指标的选择上, 方法应用上还存在问题.

本文从经济效益和用户体验两个方面着手, 选择了 6 个具有针对性的评价指标, 通过专家打分和标准

收稿日期: 2013-01-15

修改稿日期: 2014-01-20

基金项目: 教育部博士点基金新教师项目(20120205120013); 陕西省自然科学基金项目(2012JQ7001); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013G2211005&CHD2011JC048); 长江学者和创新团队发展计划资助 IRT1050

作者简介: 张驰 (1981-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事道路与铁道工程方面的研究. E-mail: zhangchi@chd.edu.cn

化处理讲个指标进行量化处理,在层次分析法所构建的评价体系框架内,结合模糊数学、熵权法和统计学法对3种反射裂缝病害修补技术进行了评价和结果分析.文章的意义在于提供了一种主客观结合的相对简单实用的科学的病害成因评价方法,并对几种反射裂缝病害的修补技术进行了优选.

1 反射裂缝病害修补技术

目前国内外对于反射裂缝这一类病害的修补技术较多,主要有灌缝、铣刨补强、就地热再生、应力吸收层等^[8-9],但修补效果均不理想.研究人员在实际项目的基础上提出一种新的ACE材料修补技术,其是以新型的ACE高弹性抗裂材料为基础所进行的反射裂缝病害修补技术.因此,本文选用ACE材料修补技术和灌缝,铣刨补强两种最为常用的修补技术作为评价对象.

反射裂缝病害的养护决策需要考虑多方面的因素的影响.其中,最基础的既是经济效益因素,如材料费用、人工费、机械台班费、预期寿命等,这些因素决定了养护工作的成本效益,是核心的影响因素;然后,由于复合式路面结构的应用对象基本为高速公路,而反射裂缝病害的修补就影响到整个高速公路驾驶员的行驶体验,包括封道对车辆行驶速率带来的影响和修补后路面行驶舒适度等问题,这些因素决定了整个路段的用户体验,对路段的服务水平影响较大.在实际修补中,必须加强关键工艺的控制,结合不同施工条件采取适宜的反射裂缝病害修补技术,提高修补质量,延长预期寿命,实现维修的效益成本比最优化.

本文针对我国公路沥青路面的特点,从上述两方面因素中选取了部分因素作为评价指标,以层次分析为基础建立了改进模糊层次评价法,结合经验评价法对几种修补技术进行了优选.

2 改进模糊层次分析法

本文的改进模糊层次分析法是将层次分析法和模糊数学结合起来,通过层次分析法建立整体的评价体系架构,运用统计学和专家打分方法确定定性指标的特征值并进行规范化,采用熵权法来代替常规的AHP法确定各指标权重,在此基础上依据模糊评判理论进行评价,然后根据隶属度来对不同的方案进行排序优选.

2.1 模糊数据集

1) 指标集 Z 和单指标特征量矩阵 T 的确定^[10].指标集为 $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$, m 个评价指标组成 n 个方案的评价集,每一评价指标对 n 个方案的评价可用指标特征量表示:

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} & \cdots & t_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 Z_{ij} ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$)为第 j 个方案的第 i 个评价因素的指标特征值.

2) 指标特征量和隶属度矩阵的确定.定性指标采用统计学方法,由每位专家对第 j 方案第 i 个评价指标给出评价区间 $[a_k, b_k]$ (k 为专家数, $k=1,2,\dots$),计算出第 j 方案第 i 个指标的统计评价价值:

$$x_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n n(b_k^2 - a_k^2) / \sum_{k=1}^n (b_k - a_k) \quad (2)$$

定量指标如工程造价等采用实际指标物理量,各评价指标的特征量 x_{ij} 确定后,可计算计算单指标对于优化的隶属度,不过对于不同性质的指标,处理方法也有不同.

2.2 熵权法求权重

熵权法是根据各指标所含信息的效用价值来确定该指标的权重^[11].在有 m 个指标, n 个方案的评估问题中,形成原始数据矩阵 $(y_i(j))_{m \times n}$.熵权法权重的计算步骤如下.

1) 原始数据矩阵标准化处理.标准化处理后得到标准化矩阵 $(r_i(j))_{m \times n}$, $r \in [0,1]$,其中对大者为优的指标有:

$$r_i(j) = \frac{y_i(j) - \min[y_i(j)]}{\max[y_i(j)] - \min[y_i(j)]} \quad (3)$$

对小者为优的指标有:

$$r_i(j) = \frac{\max[y_i(j)] - y_i(j)}{\max[y_i(j)] - \min[y_i(j)]} \quad (4)$$

式中: $\max[y_i(j)]$ 、 $\min[y_i(j)]$ 分别为第 i 行的最大值与最小值; $b_i(j)$ 为标准化后的评价指标.

2) 定义第 i 个指标的熵值为:

$$H_i = \sum_{j=1}^n f_i(j) - \ln[f_i(j)] / \ln(n) \quad (5)$$

$$f_i(j) = r_i(j) / \sum_{j=1}^n r_i(j) \quad (6)$$

当 $f_i(j)$ 为 0 时, 令 $f_i(j) \ln[f_i(j)]$ 为 0.

3) 定义第 i 个指标的熵权为:

$$W_i = \frac{1 - H_i}{\sum_{j=1}^m (1 - H_i)} \quad (7)$$

得到权重总排序 $W = [W_1, W_2, W_3, W_4, \dots]$.

2.3 方案的优选标准确定

确定较优方案, 首先要确定优选标准, 一般先确定最佳方案和最差方案, 某方案与最佳方案和最差方案之间的差异度 d_j, d'_j 可由下式计算:

$$d_j \equiv \sum_{i=1}^m W_i (r_{ij} - r_j)^2, d'_j = \sum_{i=1}^m W_i (r_{ij} - r_j)^2, j = 1, 2, \dots, n, r_j = \max\{r_{kj}\}, r_j = 1 - r_j \quad (8)$$

$0 \leq C_j \leq 1$, C_j 越接近 1, 则相应的方案优选程度越高, 根据 C_j 大小, 可求得优选方案.

3 反射裂缝修补技术评价

3.1 指标体系

本文在系统工程学和层次分析的基础上, 将整个体系划分为四个层次, 即方案层 (A)、准则层 (B)、指标层 (Z) 和目标层 (X), 同时在分析在进行养护作业时和整个寿命期内各种可能的影响因素后, 将不同因素划分为不同的区块, 本文主要分为经济指标和用户体指标两块, 图 1 既是本文层次的递阶结构与因素的从属关系图. 其中准则层上面已经提到, 选择经济效益指标 (B_1) 和用户体指标 (B_2) 两个方面; 指标层中, 对应经济效益指标考虑费用 (Z_1)、寿命 (Z_2); 对应用户体指标则考虑管制车道 (Z_3)、管制长度 (Z_4)、行驶质量 (Z_5)、维修效率 (Z_6).

为了方便于模型计算, 首先需要假定本文模型的应用前提.

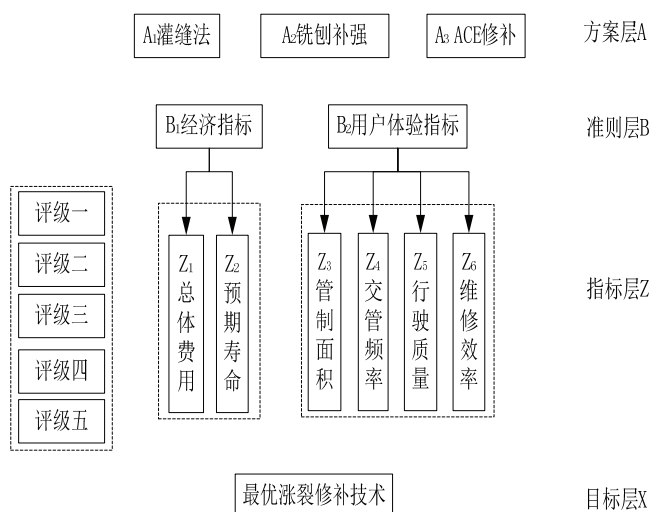


图 1 评价体系建立示意图

Fig.1 Schematic diagram of establishment of evaluation system

表1 模型假设^[12-13]
Tab.1 Model Assumption

变量	描述
工资	假定所有工人的工资为120元/d
工作时间	假设一天的工作时间为8 h
材料费	由于三种措施使用的材料不一致，因此具体费用根据厂家报价确定
修补病害状况	假设施工对象均为面积为8×0.5 (m ²)，深度为6 mm的反射裂缝病害
交通控制长度	交通控制设备包括车辆和所有需要的标志，在本模型中假设成本为30元/d
定性指标分级	对本文所有的定性指标均设定为5个等级进行打分，即0~5
指标评级量化	所有的指标均分为5个评价等级

3.2 方案层个体评价指标的量化

指标层的六个影响因素指标中，总体费用（Z₁）、使用寿命（Z₂）、维修时间（Z₆）三个指标作为定量指标，剩下的管制车道（Z₃）、管制长度（Z₄）、行驶质量（Z₅）三个指标即为定性指标。首先通过文献回顾和相关的定额确定三个定量指标的取值，其中费用指标的具体取值通过公示（10）可计算得到。

- (1)材料费用= (yuan/t) ×n(t/m³)；(2) 设备费用=[设备 1 (yuan/d) +设备 2 (yuan/d)]×time/8 h；
(3) 人工费用= (Number×劳动费用×d) ×time/8 h。

其他的费用均按照总单价乘具体的天数计算。三个定量指标取值如下：

表2 定量指标取值
Tab.2 The value of quantitative indicators

定量指标	单位费用Z ₁ (元/块)	平均使用寿命Z ₂ (月)	平均维修效率Z ₆ (小时)
A ₁	604	2	0.5
A ₂	2 695.52	5	3
A ₃	8 575	36	4

对于指标Z₂采用式（3）的方法进行标准化；而指标Z₁、Z₆则按照式（4）的方法来进行标准化。三种定量指标标准化的结果如表3。

对于定性指标的取值，则首先需要对其进行打分，具体依据则是本文根据三种定性指标的特性结合文献分别划分的五个等级的打分标准，如表4所示。根据专家给出的评分区间，由式（2）计算指标的特征量x_{ij}。再由专家给出定性指标的评分区间，对于Z₃，封闭车道的数量或宽度越窄，分值越高；对于Z₄，施工区的长度越短，分值越低；对于Z₅，行车舒适度和目测美观度越高，分值越高。

表3 定量指标标准化结果
Tab.3 Results of standardized quantitative indicators

定量指标	单位费用Z ₁	使用寿命Z ₂	维修效率Z ₆
A ₁	1	0	1
A ₂	0.738	0.09	0.286
A ₃	0	1	0

表 4 定性指标量化评分^[14]
Tab.4 Quantified rating of qualitative Indicators

定性指标	评分一（5）	评分二（4）	评分三（3）	评分四（2）	评分五（1）
Z ₃	不封闭	单条车道 20 m施工区	单车道 40 m施工区	双车道 80 m施工区	双车道 100 m施 工区
Z ₄	<1次/年	1~2次/年	2~3次/年	3~4次/年	>4次/年
Z ₅	RQI>90 光滑不透水	RQI（90-80） 光滑不透水	RQI（80-70） 有裸露石子	RQI（70-60） 有裸露石子	RQI<60

表5 定性指标量化结果
Tab.5 Quantitative results of the qualitative indicators

定性指标	管制面积 Z ₃	管制频 率Z ₄	行驶质 量Z ₅
A ₁	3	1	1
A ₂	1	3	4
A ₃	1	5	5

将专家的评分区间通过式（1）来进行量化得到x_{ij}，见表5。由于量化以后的指标分值都是越高越好，所以使用式（3）对定性指标进行标准化，得到了表6所示结果。

表6 定性指标标准化结果
Tab.6 Results of the standardized qualitative indicators

定性指标	管制面积 Z_3	管制频率 Z_4	行驶质量 Z_5
A_1	1	0	0
A_2	0	0.5	0.75
A_3	0	1	1

所有修补技术对应指标的隶属度矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.738 & 0 \\ 0 & 0.09 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0.75 & 1 \\ 1 & 0.286 & 0 \end{bmatrix}$$

3.3 指标权重赋值

本文通过公式 (5)、(6)、(7) 将6个指标进行科学的权重赋值, 所得结果如表7所示, 其中由于管制面积方面, 铣刨补强和ACE修补技术基本一致, 导致管制面积 Z_3 的权重值为0. 所得数据是通过对大量文献资料的分析、理论计算后确定的, 但是在应用中会根据具体的取值而有所变化.

表7 各指标权重
Tab.7 Index weight

指标	单位费用 Z_1	使用寿命 Z_2	管制面积 Z_3	管制频率 Z_4	行驶质量 Z_5	维修效率 Z_6
权重值	0.24	0.10	0	0.23	0.24	0.19

3.4 修补技术的综合排序

根据权重与式 (8) 得到方案的差异度值, 如表8所示.

最后, 由式 (9) 得到3种反射裂缝病害修补技术的优选程度值如图2所示.

通过本文构造的改进模糊层次评价模型, 得到了三种反射裂缝病害修补技术的优选关系如图2所示为 $A_3>A_2>A_1$, 表明在综合考虑经济、寿命、用户体验等多方面因素下, ACE材料修补技术是目前处置反射裂缝病害

表8 三种技术的差异度取值情况
Tab.8 The difference of each project

差异度	$j=1$	$j=2$	$j=3$
d_j	0.095	0.017	0.072
d'_j	0.072	0.021	0.095

最优的方案. 不过, 考虑指标的差异会对结果产生一定的影响, 在本文的构架中只考虑了两个经济效益指标和四个用户体验指标, 得到的结果中ACE材料修补技术优势并不明显, 但是如果增加经济性指标数量也许会对结果产生影响. 因此, 各地区可依据自身特点, 充分论证指标的合理性, 从而获得相对更科学的结果. 另外, 当反射裂缝病害处于极为严重的后期碎裂状态时, 常规的灌缝和修补基本处于即修既补的状态, ACE材料修补则是唯一的选择方案.

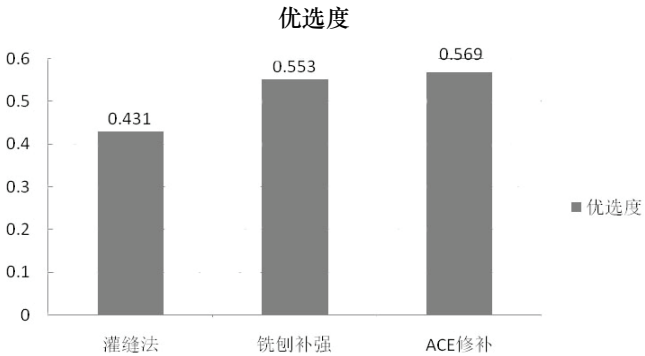


图2 三种技术的优选程度
Fig.2 Optimum of three kinds of technologies

4 结论

(1)综合考虑修补技术的经济效益和用户体验两大方面的因素, 通过6个指标全面的表征了这两个方面因素的要求, 以此为基础采用模糊数学法和层次分析法构建整个复合式路面反射裂缝病害修补技术评价体系框架.

(2)应用统计学及专家打分的方法量化定性指标, 创新性的通过熵权法替代了原有的AHP法来为各指标

进行权重赋值,极大的减少了主观因素对于结果的影响,通过科学客观的方法解决了反射裂缝病害修补技术优选的问题。

(3)本文应用改进的模糊层次法对三种反射裂缝病害修补技术进行评价,得到了ACE材料修补技术是在诸多因素综合作用下最优的复合式路面反射裂缝病害修补技术,这与经济效益评价所得结果一致,表明其合理可行,同时该方法具有较强的普适性,可以推广到其他领域的方案评价中。

参考文献 References

- [1] 张生瑞,周伟.高速公路建设项目的神经网络综合评价方法研究[J].中国公路学报,2001,14(4):91-95.
ZHANG Shengrui, ZHOU Wei. Research on the comprehensive evaluation method of highway construction by neural network[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001,14(4):91-95.
- [2] 张志霞,陈永锋,邵必林.层次模糊决策模型在公路交通网综合评价中的应用[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2004,36(1):75-78.
ZHANG Zhixia, CHEN Yongfeng, SHAO Bilin. The use of level fuzzy decision model for the general evaluation of road traffic web[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. &Tech.: Natural Science Edition, 2004, 36(1):75-78.
- [3] 朱辉,李沛才,陈绍莹.公路网现状综合评价[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(5):79-82.
ZHU Hui, LI Peicai, CHEN Shaoying. Synthetic evaluation of highway network actuality[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(5):79-82.
- [4] 许宏科,王维敏,王世伟.高速公路隧道运营管理模糊综合评价[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2005,37(3):381-385.
XU Hongke, WANG Weimin, WANG Shiwei. Fuzzy evaluation on the operation management of highway tunnel [J]. J. Xi'an Univ. of Arch. &Tech: Natural Science Edition, 2005, 37(3):381-385.
- [5] 丛卓红,郑南翔,闫红光.半刚性基层材料路用性能综合评价方法[J].交通运输工程学报,2011,11(4):23-28.
CONG Zhuohong, ZHENG Nanxiang, YAN Hongguang. Comprehensive evaluation method of semi-rigid base mixture's pavement performance[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(4):23-28.
- [6] 武同乐,徐岳.公路旧桥加固效果综合评价方法[J].交通运输工程学报,2005,5(1):28-32.
WU Tongle, XU Yue. Comprehensive evaluation method of bridge strengthening effectiveness[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(1):28-32.
- [7] 巩航军,李百川.模糊综合评价法在道路运输企业安全评价中的应用[J].安全与环境学报,2006,6(3):54-57.
GONG Hangjun, LI Baichuan. Application of fuzzy comprehensive evaluation method in road transportation enterprises safety evaluation[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(3):54-57.
- [8] 马祥辉.复合式路面反射裂缝处置措施研究[D].济南:山东大学,2008.
MA Xianghui. Research on the Reflection Crack's Control Measures of Composite Road[D].Jinan: Shandong University, 2008.
- [9] 孙涛.复合式路面反射裂缝机理与防治措施研究[D].重庆:重庆交通大学,2009.
SUN Tao. Research on mechanism and anti-crack measure of reflection crack of composite pavement[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2009.
- [10] 杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2008.
DU Dong, Pang Qinghua, Wu Yan. Modern comprehensive assessment method and case selection [M]. Beijing: Tsinghua University Publishing House, 2008.
- [11] PRAKASH Prachee, YELLABOINA Sailu, RANJAN Aash, et al. Computational prediction and experimental verification of novel IdeR binding sites in the upstream of Mycobacterium tuberculosis open reading frames[J].Bioinformatics, 2005, 21(10):2161-2166.
- [12] 陕西省交通运输厅.陕西省公路养护工程预算定额[M].北京:人民交通出版社,2012.
Shaanxi Provincial Transport Department. Shaanxi highway maintenance engineering quota and budget[M]. Beijing: China Communications Press.
- [13] JTJ075.2-2001.公路沥青路面养护技术规范[S].北京:人民交通出版社,2001.
JTJ 075.2-2001. Technical Specifications for Maintenance of Highway Asphalt Pavement[S]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [14] JTG H20-2007.公路技术状况评定标准[S].北京:人民交通出版社,2007.
JTG H20-2007. Highway Performance Assessment Standards[S]. Beijing: China Communications Press, 2007.

Reflection cracks maintenance technology evaluation of composite pavement based on improved fuzzy hierarchical method

ZHANG Chi¹, ZHOU Bowen¹, YU Huijiang²

(1.Key Laboratory of Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2.Henan YUEXIU Transport Infrastructure Company Limited Xuchang 461000 China)

Abstract: There are many kinds of reflection cracks maintenance technologies at home and abroad, but there is not solutions for instructing the worker the conservation decisions. It is important the evaluate to these maintenance technologies based on cost, lifetime, efficiency and so on. There are some defects with the existing maintenance technology evaluation methods subjectivity, unreasonable index and other factors. This paper took into account six index for economic benefit and user experience, it evaluate the three kinds of maintenance technologies using the Fuzzy-mathematics, entropy method and statistics based on the frame structure form Analytic Hierarchy Process, and achieved a final result.

Key words: road engineering; composite pavement; reflection cracks; maintenance technology; improved analytic hierarchy process; entropy method; Fuzzy-mathematics

(本文编辑 吴海西)

(上接第 63 页)

- [13] YAGER R R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1988;18(1): 183-190.
- [14] HERRERA F, HERRERA-VIEDMA E, CHICLANA F. Multiperson decision-making based on multiplicative preference relations[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 129(2): 372-385.
- [15] 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(4): 311-314.
XU Zeshui. Algorithm for priority of fuzzy complementary judgement matrix[J]. Journal of Systems Engineering, 2001(4): 311-314.

Research on project delivery systems decision method based on FOWGA operator

LIU Xun¹, WANG Zhuofu²

(1. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Institute of Construction Project Management, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Appropriate transaction model is one of the key factors affecting a project success. This paper presents the fuzzy set theory. The judgment information loss can be reduced to a certain extent by using the fuzzy ordered weighted geometric averaging operator. Considering the characteristic of the operator that can improve the objectivity and fairness of group decision-making, this paper applies the operator into the decision methods of project delivery. Also, this paper proposes the method and procedure for the decision methods of project delivery and the mode selection method is demonstrated. Numeric examples are introduced to illustrate the application of the method, which has shown that the method can overcome the current drawback of subjectivity of the project delivery decision method, and reflect objectively the priority of the project delivery systems which help improve the efficiency of the group decision.

Key words: project delivery systems; OWA operator; triangular fuzzy number; decision method

(本文编辑 桂智刚)