

文章编号:1671-8879(2011)05-0028-05

基于复合模糊物元方法的机场道面性能评估

颜祥程¹, 陆春奇², 翁兴中¹, 李清浩¹, 苏建康¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 济南军区 第七空防工程处, 江苏 徐州 221005)

摘 要:针对目前机场道面性能评估方法中存在主观影响因素过多、权重不确定性等问题,提出了一种基于复合模糊物元分析理论的机场道面性能综合评估方法。首先选取机场道面承载力、道面损坏状况、摩擦因数、平整度等为主要评估指标,根据各项指标评估标准建立复合模糊物元模型,然后利用熵方法与层次分析法综合确定各评估指标的权重,最后进行关联分析,根据最大关联度原则,确定机场道面的使用性能等级。研究结果表明:该方法可以综合考虑专家的知识、经验等主观因素和客观测量精度等信息的影响,是一种有效的方法;运用该方法对某机场道面进行评估,评估结果与实际情况符合较好。

关键词:道路工程;机场道面;模糊物元;性能评估;权重

中图分类号:U416. 216; V351. 11 **文献标志码:**A

Evaluation of airport pavement performance based on fuzzy complex matter element method

YAN Xiang-cheng¹, LU Chun-qi², WENG Xing-zhong¹, LI Qing-hao¹, SU Jian-kang¹

(1. School of Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, Shaanxi, China;

2. Department Seventh Airforce Engineering, Jinan Military Region, Xuzhou 221005, Jiangsu, China)

Abstract: There are more subjective factors and their weights can not be accurately decided in current evaluation of airport pavement performance. A systematic pavement performance evaluation model was established based on fuzzy complex matter element method. Firstly, the indices for evaluation, such as pavement bearing capability, pavement condition index, friction coefficient and roughness performance, were chosen to evaluate the airport pavement performance, and the fuzzy complex matter element was established according to each index criterion. Secondly, the synthesis weight of each evaluation index was determined using entropy method and analytic hierarchy process method. Finally, to relevancy analysis, the relevancy degree fuzzy complex matter element was determined, and the degree of the airport pavement service performance can be determined according to the largest relevancy degree principle. This evaluation method can be not only capable in considering subjective factors based on experts and experience, but also capable in considering the precision of objective information from the actual measuring reasonably. An airport pavement performance was evaluated using this method, and the evaluation result agrees well with the actual pavement condition. 6 tabs, 1 fig, 12 refs.

Key words: road engineering; airport pavement; fuzzy matter element; performance evaluation; weight

收稿日期:2010-12-10

基金项目:军队科研基金项目(KJYZ0909, 总 990713)

作者简介:颜祥程(1984-),男,湖南衡山人,工学博士研究生,E-mail: yxc307@126.com。

0 引言

机场道面评估是道面调查和管理的重要技术依据,许多机场由于使用年限已久,道面损坏严重,需要在科学评估的基础上有针对性的对机场道面的保养、维修和盖被作出合理的决策;不少新建机场的管理也需要以道面评估体系为依据,对机场道面进行定期的调查和评估。因此,采用科学、合理的机场道面评估方法,对于提高机场道面评估技术和管理水平具有重要的意义^[1]。欧美国家从 20 世纪 70 年代就开始研究机场道面评估技术,1972 年美国军方在 Wright-Patterson 空军基地成立了世界上第 1 个机场道面评估小组;USACERL 于 1981 年提出道面状况指数 PCI 和一整套相关的调查、分析和评估方法,并在此基础上开发了世界上第 1 套机场道面管理系统;DYNATEST 公司采用 PCI 调查数据、落锤式弯沉仪 FWD 测试数据、道面抗滑性能以及平整度数据综合评估道面状况。中国对机场道面评估的研究起步较晚,1995 年同济大学以上海机场为依托开展了机场道面评估方面的理论研究^[2-3];2002 年,上海浦东国际机场与同济大学合作,研发了一套针对浦东机场的机场道面管理信息系统^[4]。但中国仍没有形成一套适用性很强的机场道面评估系统,评估指标和评价模型的系统性也不强,因此,研究机场道面性能的评估方法具有重要的意义^[5]。本文将复合模糊物元分析理论应用到机场道面的性能评估中,利用熵方法与层次分析法确定各评估指标的权重,科学全面考虑了各种主、客观信息,减少了评估过程中主观因素的影响,使评估结果能更加反映客观情况,提高了评估的精度。

1 模糊物元评价模型

1.1 模糊物元和复合物元

给定事物的名称 N ,它关于特征 C 的量值为 V ,以有序三元 $R = (N, C, V)$ 组作为描述事物的基本元,简称为物元^[6-7]。如果量值 V 具有模糊性,便称为模糊物元。如果 m 个事物的 n 维物元组合在一起,就构成 m 个事物 n 维复合物元 R_{nm} ,将 R_{nm} 的量值改为模糊物元量值,称为 m 个事物的 n 维复合模糊物元,记作 \bar{R}_{nm}

$$\bar{R}_{nm} = \begin{bmatrix} M_1 & \cdots & M_m \\ C_1 & \mu_{11} & \cdots & \mu_{m1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & \mu_{1n} & \cdots & \mu_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: M_i 为第 i 个事物, $i = 1, 2, \cdots, m$; C_j 为第 j 项特征, $j = 1, 2, \cdots, n$; μ_{ij} 为第 i 个事物第 j 项特征对应的模糊量值,即隶属度。

1.2 隶属函数

研究表明,分类参数的实测值具有离散性,当观察次数足够多时,可近似认为观测数据对同一类别的隶属函数为正态型函数 $\mu(x)$

$$\mu(x) = \exp \left[- \left(\frac{x-p}{q} \right)^2 \right] \quad (2)$$

式中: $p = \frac{a+b}{2}$; $q = \frac{|a-b|}{1.665}$; a, b 分别为相应参数的上、下边界值; x 为自变量。

1.3 关联变换

关联系数与隶属度的相互转换称为关联变换。因为关联函数与隶属度等价,所以关联系数可以由隶属函数值(即隶属度)加以确定,从而有

$$k_{ij} = \mu_{ij} \quad (i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n) \quad (3)$$

式中: k_{ij} 为第 j 个评价方案第 i 项指标的关联系数。

1.4 建立关联系数复合模糊物元

根据关联变换,将式(1)中的隶属度转换成相应的关联系数,从而建立关联系数复合模糊物元,记作 \bar{R}_k

$$\bar{R}_k = \begin{bmatrix} M_1 & \cdots & M_m \\ C_1 & k_{11} & \cdots & k_{m1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & k_{1n} & \cdots & k_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

1.5 确定权重

权重是反映评估指标对机场道面性能影响程度的量。机场道面性能评估不仅要考虑专家的知识、经验等主观因素的影响,还要考虑实际测量数据精确度等客观因素的影响。熵方法确定权重是一种客观赋权法,层次分析法则受人的主观判断、选择影响较大,为了更客观全面的反映问题的实际情况,本文采用熵方法和层次分析法来综合考虑各评估指标的权重^[8-9]。

设客观权重由熵方法计算结果为 W'_i ,主观权重由层次分析法计算结果为 W''_i ,则最终确定的综合权重 W_i 为

$$W_i = \frac{W'_i W''_i}{\sum_{i=1}^n W'_i W''_i} \quad (5)$$

1.6 关联分析

采用先乘后加的运算模式^[10]。设 R 表示 m 个关联度所组成的关联度复合模糊物元,则

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_W \bar{\mathbf{R}}_k = \begin{bmatrix} M_1 & \cdots & M_m \\ K_j & K_1 & \cdots & K_m \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: $K_j = \sum_{i=1}^n W_i k_{ij}$; \mathbf{R}_W 为各评估指标权重复合物元。

根据最大关联度原则: $K^* = \max(K_1, K_2, \cdots, K_m)$, 即可以确定机场道面使用性能等级。

2 机场道面性能评估实例分析

现行的《军用机场水泥混凝土道面使用质量评定标准》中所用的评估指标, 包括道面损坏状况 (PCI, 其值用 I_{PCI} 表示)、断板率 (DBL, 其值用 I_{DBL} 表示)、平整度 (IRI, 其值用 I_{IRI} 表示)、道面承载力

(N)、接缝传荷能力 (K_j) 和抗滑性能 (SFC, 其值用 I_{SFC} 表示) 等。PCI 由道面的各种损坏类型及其严重程度和损坏密度来确定; DBL 按照裂缝种类和严重程度, 采用不同的权系数进行修正后确定; IRI 采用 3 m 直尺法测定; N 采用钻芯取样的方式进行劈裂试验确定; K_j 通过弯沉测试确定; SFC 采用摆式摩擦仪测定。

对某机场水泥混凝土道面的使用状况进行原始资料搜集, 通过计算分析获得该机场道面使用性能指标变化情况, 根据规范和工程鉴定中积累的实践经验, 可以得到机场道面使用性能评价指标的评估标准, 见表 1^[11-12]。

表 1 机场道面性能评估指标、评估标准及实测值

目标	评估项目	评估指标	评估等级				实测值
			优	良	中	差	
机场道面性能	结构性 功能性	N	0.98	0.95 ~ 0.98	0.85 ~ 0.95	0.85	0.967
		K_j	0.75	0.75 ~ 0.50	0.50 ~ 0.30	0.30	0.738
		I_{PCI}	85.00	70.00 ~ 85.00	55.00 ~ 70.00	55.00	70.200
		I_{DBL}	0 ~ 0.01	0.01 ~ 0.05	0.05 ~ 0.10	0.10	0.046
		I_{SFC}	0.50	0.40 ~ 0.50	0.30 ~ 0.40	0.30	0.530
		I_{IRI}/mm	0 ~ 2.00	2.00 ~ 4.00	4.00 ~ 6.00	6.00 ~ 20.00	4.430

2.1 机场道面性能评估的物元模型

根据机场道面各评估指标的等级标准, 结合道面的实际测量值, 采用式 (2) 计算各评估指标的隶属度, 结果见表 2。

表 2 各评估指标的隶属度 μ_{ij}

评估指标	优	良	中	差
N	0.025 6	0.987 8	0.288 1	0.323 9
K_j	0.435 0	0.567 6	0.000 4	0.000 0
I_{PCI}	0.002 2	0.518 6	0.481 7	0.188 1
I_{DBL}	0.000 0	0.641 8	0.393 5	0.419 2
I_{SFC}	0.584 7	0.169 6	0.000 1	0.011 7
I_{IRI}/mm	0.000 3	0.242 4	0.798 4	0.353 9

根据关联变换, 可构造出机场道面性能评估的关联系数复合模糊物元

$$\bar{\mathbf{R}}_k = \begin{bmatrix} & \text{优} & \text{良} & \text{中} & \text{差} \\ N & 0.025\ 6 & 0.987\ 8 & 0.288\ 1 & 0.323\ 9 \\ K_j & 0.435\ 0 & 0.567\ 6 & 0.000\ 4 & 0.000\ 0 \\ I_{\text{PCI}} & 0.002\ 2 & 0.518\ 6 & 0.481\ 7 & 0.188\ 1 \\ I_{\text{DBL}} & 0.000\ 0 & 0.641\ 8 & 0.393\ 5 & 0.419\ 2 \\ I_{\text{SFC}} & 0.584\ 7 & 0.169\ 6 & 0.000\ 1 & 0.011\ 7 \\ I_{\text{IRI}} & 0.000\ 3 & 0.242\ 4 & 0.798\ 4 & 0.353\ 9 \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.2 评估指标权重的计算

2.2.1 熵方法计算评估指标的权重

(1) 根据机场道面各评估指标的隶属度, 计算各评估指标的特征比重 y_{ij} , 计算结果见表 3, 其中

$$y_{ij} = \mu_{ij} / \sum_{j=1}^n \mu_{ij}。$$

表 3 各评估指标的特征比重 y_{ij}

评估指标	优	良	中	差
N	0.015 8	0.607 7	0.177 2	0.199 3
K_j	0.433 7	0.565 9	0.000 4	0.000 0
I_{PCI}	0.001 8	0.435 6	0.404 6	0.158 0
I_{DBL}	0.000 0	0.441 3	0.270 5	0.288 2
I_{SFC}	0.763 2	0.221 4	0.000 1	0.015 3
I_{IRI}	0.000 2	0.173 8	0.572 3	0.253 7

(2) 确定指标 j 的熵 e_i 与熵权 W'_i , 计算结果见下页表 4。表中 $k = \frac{1}{\ln(m)} = 0.721\ 4$, 且当 $y_{ij} = 0$ 时, $y_{ij} \ln(y_{ij}) = 0$, $h_i = 1 - e_i$ 为差异性系数, h_i 越大, 则越应重视该项指标的作用。

2.2.2 层次分析法计算评估指标的权重

(1) 建立机场道面性能评估的层次分析模型, 如下页图 1 所示。

表 4 各评估指标的熵权重

评估指标	$e_i = -k \sum_{j=1}^m [y_{ij} \ln(y_{ij})]$	$h_i = 1 - e_i$	$W'_i = \frac{h_i}{\sum_{i=1}^m h_i}$
N	0.718 7	0.281 3	0.132 1
K_j	0.496 0	0.504 0	0.236 8
I_{PCI}	0.743 8	0.256 2	0.120 3
I_{DBL}	0.774 2	0.225 8	0.106 1
I_{SFC}	0.436 4	0.563 6	0.264 8
I_{IRI}	0.702 1	0.297 9	0.139 9

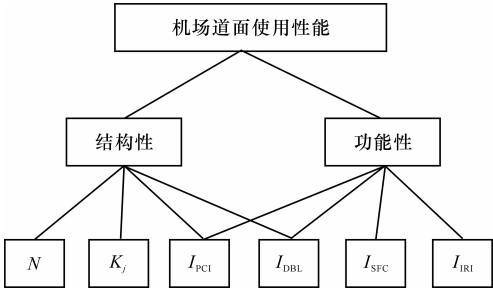


图 1 机场道面性能评估的层次分析模型

(2) 构造判断矩阵,计算各层的权重向量。在图 1 中,首先构造结构性和功能性对机场道面使用性能的判断矩阵,结构性比功能性稍弱些,构成的判断矩阵及计算结果见表 5。表中: λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值; C_1 为一致性指标; C_R 为一致性率; R_1 为自

$$R_W = \begin{bmatrix} & N & K_j & I_{\text{PCI}} \\ W & 0.160\ 9 & 0.094\ 7 & 0.333\ 8 \end{bmatrix}$$

2.3 计算关联度复合模糊物元

将机场道面性能各评估指标权重复合物元和关联系数复合模糊物元进行关联分析,可以得到机场道面性能评估的关联度复合模糊物元

$$R = R_W \bar{R}_k =$$

$$\begin{bmatrix} & \text{优} & \text{良} & \text{中} & \text{差} \\ K_j & 0.177\ 5 & 0.495\ 7 & 0.328\ 4 & 0.187\ 7 \end{bmatrix} \quad (9)$$

由式(9)可知,“良”的关联度最大,为 0.495 7,“中”的关联度为第二大,其值为 0.328 4,根据最大关联原则,可以判断机场道面性能为良好级别,且偏向于中等级别方向。根据复合模糊物元评估结果,需要加强对该机场道面的日常性养护管理,同时对破损严重的部位进行局部加强,这与实际情况符合较好。

3 结 语

(1)根据影响机场道面状况的承载力指标、道面状态指标、摩擦因数等主要指标,利用模糊物元分析

由度,可由随机一致性指标表查出。

表 5 中间层因素权重大小判断矩阵

机场道面使用性能	结构性	功能性	权重	$\lambda_{\max} = 2 \quad C_1 = 0$ $R_1 = 0 \quad C_R = 0$
结构性	1	1/2	0.333 3	
功能性	2	1	0.666 7	

同理,可得到方案层各个评估指标下的判断矩阵及权重大小,其中 N 、 K_j 、 I_{PCI} 、 I_{DBL} 对结构性; I_{PCI} 、 I_{DBL} 、 I_{SFC} 、 I_{IRI} 对功能性,最后得出各评估指标对机场道面使用性能的总权重,见表 6。

表 6 采用层次分析法计算各评价指标的权重

评估指标	结构性	功能性	权重
	0.333 3	0.666 7	W''_i
N	0.543 6		0.181 2
K_j	0.178 6		0.059 5
I_{PCI}	0.206 9	0.515 8	0.412 8
I_{DBL}	0.070 9	0.105 4	0.093 9
I_{SFC}		0.189 4	0.126 3
I_{IRI}		0.189 4	0.126 3

由熵方法得到各评估指标的权重和由层次分析法得到各评估指标的权重,按式(5) 计算可以得到各评估指标的综合权重 $W_i = (0.160\ 9, 0.094\ 7, 0.333\ 8, 0.067\ 0, 0.224\ 8, 0.118\ 8)$,则机场道面性能各评估指标权重复合物元为

$$\begin{bmatrix} I_{\text{DBL}} & I_{\text{SFC}} & I_{\text{IRI}} \\ 0.067\ 0 & 0.224\ 8 & 0.118\ 8 \end{bmatrix} \quad (8)$$

理论,建立了机场道面使用性能的等级评定模型,克服了传统评估方法易于遗漏信息的缺点。

(2)基于熵方法和层次分析法相结合的评估指标权重的确定方法,能科学全面地考虑专家的知识、经验等主观因素的影响,还能考虑实际测量数据精确度等客观因素的影响,是一种有效的方法。

(3)通过机场道面性能评估实例分析表明,基于复合模糊物元分析理论建立的机场道面性能评估模型,能够使决策依据可靠,具有较好的应用价值。

参考文献:

References:

[1] 寇雅楠,翁兴中.用神经网络理论预测机场水泥混凝土路面的使用寿命[J].中国公路学报,1997,10(1):16-20.

KOU Ya-nan, WENG Xing-zhong. Prediction of airport cement concrete pavement service life using neural network theory[J]. China Journal of Highway and Transport, 1997, 10(1): 16-20.

- [2] 凌建明,郑悦锋. 机场水泥混凝土道面剩余寿命的预估方法[J]. 同济大学学报:自然科学版,2001,29(4):484-487.
LING Jian-ming, ZHENG Yue-feng. On prediction method of remaining life for cement concrete pavement of airport[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2001, 29(4): 484-487.
- [3] 凌建明,郑悦锋,金维明. 机场道面评价体系研究[J]. 交通运输工程学报,2001,1(1):29-33.
LING Jian-ming, ZHENG Yue-feng, JIN Wei-ming. On airport pavement evaluation system[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2001, 1(1): 29-33.
- [4] 凌建明,袁捷,西邵波. 上海机场道面管理系统研究与开发[J]. 同济大学学报:自然科学版,2005,33(8):1041-1046.
LING Jian-ming, YUAN Jian, XI Shao-bo. On development of Shanghai airport pavement management system[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2005, 33(8): 1041-1046.
- [5] 翁兴中. 机场水泥混凝土道面评价指标[J]. 空军工程学院学报,1996,16(1):14-18.
WENG Xing-zhong. Cement concrete pavement of airport evaluation index[J]. Journal of Air Force Engineering Institute, 1996, 16(1): 14-18.
- [6] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,1994.
- [7] 蒋红妍,戴经梁. 道路路况评价的物元模型[J]. 长安

大学学报:自然科学版,2005,25(1):29-32.

JIANG Hong-yan, DAI Jing-liang. Matter element model for evaluating pavement condition[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(1): 29-32.

- [8] 马荣国,刘艳妮. 公路建设项目综合评价权重确定方法[J]. 交通运输工程学报,2005,5(2):110-112.

MA Rong-guo, LIU Yan-ni. Weight value determination method of highway construction comprehensive evaluation[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(2): 110-112.

- [9] 王升,吴群琪. 公路建设项目效用评价体系与方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(1):76-79.

WANG Sheng, WU Qun-qi. Evaluation system and method of utility on highway construction projects[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(1): 76-79.

- [10] 王广月,刘健. 围岩稳定性的模糊物元评价方法[J]. 水利学报,2004,5(5):20-24.

WANG Guang-yue, LIU Jian. Fuzzy matter-element evaluation method for analysis of surrounding rock stability[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 5(5): 20-24.

- [11] GJB 2264—1995,军用机场水泥混凝土道面使用质量评定标准[S].

- [12] 王伟力. 机场道面性状评价指标与预测模型研究[D]. 天津:中国民航大学,2008.

(上接第 11 页)

还具有良好的抗冻性、浸水稳定性和抗冲刷性能,能够满足用于沥青路面基层和底基层的使用性能要求。

参考文献:

References:

- [1] Chiu C T, Hsu T H, Yang W F. Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements[J]. Resources Conservation and Recycling, 2008, 52(3): 545-556.
- [2] Sebaaly P E, Bazi G, Hitti G, et al. Performance of cold in-place recycling in Nevada[J]. Transportation Research Record, 2004(1896): 162-169.
- [3] 水中和,潘智生,朱文琪,等. 再生集料混凝土的微观结构特征[J]. 武汉理工大学学报,2003,25(12):99-102.
SHUI Zhong-he, PAN Zhi-sheng, ZHU Wen-qi, et al. Microscopic structural features of the recycled aggregate concrete[J]. Journal of Wuhan University of

Technology, 2003, 25(12): 99-102.

- [4] Hansen T C, Narud H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate[J]. Concrete International, 1983, 5(1): 79-83.

- [5] JTJ 034—2000,公路路面基层施工技术规范[S].

- [6] JTG F41—2008,公路沥青路面再生技术规范[S].

- [7] 武建民,马君毅,戴经梁. 温度对水泥稳定旧沥青路面材料强度的影响[J]. 武汉理工大学学报,2009,31(17):54-56,61.

WU Jian-min, MA Jun-yi, DAI Jing-liang. Research of temperature influences the strength of the old asphalt pavement material stabilized by cement[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 31(17): 54-56, 61.

- [8] 沙爱民. 半刚性基层的材料特性[J]. 中国公路学报,2008,21(1):1-5.

SHA Ai-min. Material characteristics of semi-rigid base[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(1): 1-5.