

文章编号:1671-6833(2003)02-0044-04

# 基于灰色聚类决策的沥青路面使用性能评价

李清富<sup>1</sup>, 胡群芳<sup>1</sup>, 刘文<sup>1</sup>, 冉纲伦<sup>2</sup>

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州市公路管理局, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 灰色系统理论中灰色聚类决策是将收集到的分散信息, 通过白化函数和灰色聚类权值的分析计算, 生成灰色聚类矩阵, 以此对研究对象进行分类. 在应用灰色聚类决策的基础上, 以某段公路沥青路面使用性能评价为例, 讨论了灰色聚类决策在路面性能评价中的应用.

**关键词:** 灰色理论; 聚类; 沥青路面; 评价

**中图分类号:** U 418.6 **文献标识码:** A

## 0 引言

路面是道路工程的重要组成部分, 其性能的好坏将直接影响行车安全和运输效益, 因此, 正确评估和预测路面结构性能对于道路的使用、管理至关重要. 本世纪 60 年代初期, 美国 AASHO 道路试验(日本水泥混凝土协会, 1966)<sup>[1]</sup> 的最重要成果之一就是提出了路面使用性能的评价方法, 建立了路面评价模型. 这个评价模型的建立对世界各国路面管理技术的发展有着深刻的影响. 80 年代初期, 随着各国对路面管理系统的深入研究, 许多国家和国际机构如加拿大、英国、日本和世界银行等先后建立了相应的路面评价模型. 目前, 在这些路面性能评价模型中, 按评价指标体系分有综合指标评价和分项指标评价两大类; 就评估方法来看, 主要有系统分析法(AHP-Fuzzy 方法)<sup>[2]</sup> 和回归模型法<sup>[3]</sup> 等. 这些方法都各有优缺点, 在进行路面性能评价时, 应结合实际情况选用合适的模型. 事实上, 由于作用荷载、使用条件、环境因素以及路面结构本身的复杂性, 在评价路面性能时, 许多因素对其性能的影响程度及作用机理目前还不是完全清楚, 因而路面性能的评价系统具有“灰色”特征. 本文将应用灰色系统理论<sup>[4,5]</sup> 来讨论路面使用性能的评价问题, 即认为路面使用性能的评估结果是影响其性能的各种因素的综合反映, 通过对已知部分信息的采集、处理、定性和定量,

以灰数的白化函数生成为基础, 将收集的聚类对象——路面性能指标观测值的分散信息, 按照灰类进行归纳, 判断聚类对象所属的灰类来实现路面性能的评估. 最后, 以某段公路一级沥青路面使用性能评价为例, 讨论了灰色聚类决策在路面性能评价中的应用, 并简要地介绍了用 VB 程序设计的沥青路面评价程序结构.

## 1 模型的建立

### 1.1 路面性能综合评价指标体系的确定

在进行路面性能评估时, 评价指标的选择应遵循下列原则: ①目的性. 所选的指标从评价的内容来看, 应目的明确, 能反映相关的内容; ②科学性. 选择的指标要尽可能覆盖评价的内容, 尽可能筛选能全面反映路面状况的指标, 尽量避免不可比指标或绝对指标的简单应用; ③操作性. 评价方法和指标应结合国内道路路面管理的具体情况, 使评价指标具有可测性或实用性; ④客观性. 在评价指标值的确定中, 应尽量减少人为因素对评价对象本身的影响, 使所得的结果或数据客观、可验.

根据以上原则, 并结合《公路沥青路面养护技术规范JTJ 073.2-2001》<sup>[6]</sup> 确定的现有路面使用性能评价内容包括: 路面破损状况、行驶质量、强度及抗滑性能四个重要指标. 其中, 路面破损状况体现了路面实际可使用的情况, 行车质量体现了路面的行车舒适度, 强度体现了路面的承载能力,

收稿日期: 2003-01-05; 修订日期: 2003-02-20

基金项目: 河南省教育厅基础 Research 计划项目(20015800001)

作者简介: 李清富(1966-), 男, 河南省林州市人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事工程结构可靠性理论及其应用的研

抗滑性能体现了行驶的安全性. 各项评价指标及关系如图 1 所示.

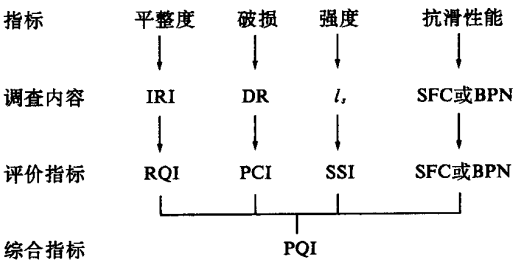


图 1 评价指标关系图

Fig. 1 The diagram of evaluating index relation

1.2 路面性能评价标准的确定<sup>[9]</sup>

行驶质量指标(RQI)采用国际平整度指标(IRI)计算得出. 行驶质量指标的数值范围为 0~10, 如出现负值, 则 RQI 值取 0; 如计算结果大于 10,

RQI 取值 10. 具体关系为

$$RQI = 11.5 - 0.75 \times IRI \tag{1}$$

路面破损状况采用路面状况指标(PCI)进行评价, 由沥青路面破损率(DR)计算得出. 路面状况指标(PCI)的数值范围为 0~100, 其值越大, 路况越好. PCI 的计算公式为

$$PCI = 100 - 15 \times DR^{0.412} \tag{2}$$

沥青路面强度采用强度指标(SSI)作为评价指标. 具体计算如下:

$$SSI = \text{路面设计弯沉值} / \text{路段代表弯沉值} \tag{3}$$

路面抗滑性能采用抗滑系数作为评价指标, 抗滑系数以横向力系数(SFC)或摆式仪的摆值(BPN)表示.

路面的综合评价采用 PQI 作为指标, 指标 PQI 的数值范围为 0~100, 其值越大, 路况越好.

根据《公路沥青路面养护技术规范 JTG 073.2-2001》<sup>[9]</sup>建立的各项指标的评价标准见表 1.

表 1 路面性能各项指标的评价标准

Tab. 1 The evaluation standard of various indexes of pavement functions

评价指标	分级标准(高速、一级公路)				
	优	良	中	次	差
行驶质量指标 RQI	≥8.5	7.0~8.5	5.5~7.0	4.0~4.5	<4.0
路面状况指标 PCI	≥85	70~85	55~70	40~55	<40
路面强度指标 SSI	≥1.0	0.83~1.00	0.66~0.83	0.50~0.66	<0.5
横向力系数 SFC	≥50	40~50	30~40	20~30	<20
摆值 BPN	≥42	37~42	32~37	27~32	<27
路面综合指标 PQI	≥85	70~85	55~70	40~55	<40

1.3 路面性能综合评价的灰色聚类决策分析模型<sup>4.5.7]</sup>

在进行路面性能评价时, 需要考虑影响路面性能的诸多指标, 根据确定的指标进行综合评价, 在这一过程中会发现, 有些信息或指标如平整度、抗滑系数等可以通过实地检测得到数据, 使其成为已知信息, 但也有不少因素或指标如舒适性、破损程度等只能定性描述, 这就给评价带来了很大的困难. 事实上, 路面性能评价问题, 用灰色理论中的灰色聚类决策分析模型可获得较满意的结果.

1.3.1 建立样本矩阵

记  $i = 1, 2, \dots, n$  为聚类对象;  $j = 1, 2, \dots, m$  为聚类指标;  $k = 1, 2, \dots, K$  为灰类;  $d_{ij}$  为第  $i$  个聚类对象对于第  $j$  个聚类指标的样本值;  $D$  是以  $d_{ij}$

为元素的样本矩阵, 即

$$D = (d_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nm} \end{bmatrix} \tag{4}$$

1.3.2 确定白化函数

设  $f_{jk}$  为第  $j$  个聚类指标属于  $k$  灰类的白化函数  $f_{jk} \in [0, 1]$ . 白化函数有三种基本形式, 如图 2 所示.

根据路面使用性能各项指标的分级标准, 将路面使用性能分五级, 即五个灰类( $k = 1, 2, \dots, 5$ ), 利用表 1 中不同指标的分级标准值, 确定各灰类白化函数的阈值  $\lambda_k$ , 并构造第  $j$  指标的白化函数如图 3 所示.

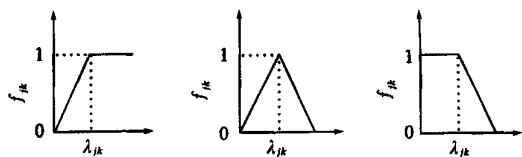


图 2 白化函数 $f_{jk}$

Fig. 2 The ablations function  $f_{jk}$

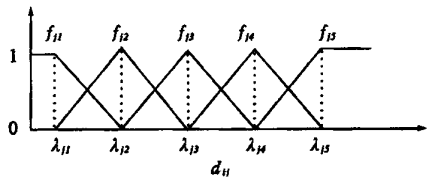


图 3 各灰类的白化函数

Fig. 3 The ablations function of each grey class

根据图 3 写出第  $j$  类指标的各灰类的白化函数  $f_{jk}$  :

$$f_{j1}(d_{ij}) = \begin{cases} 1, d_{ij} \in [0, \lambda_{j1}) \\ (d_{ij} - \lambda_{j1}) / (\lambda_{j2} - \lambda_{j1}), d_{ij} \in [\lambda_{j1}, \lambda_{j2}) \\ 0, d_{ij} \in [\lambda_{j2}, \infty) \end{cases} \quad (5)$$
$$f_{jk}(d_{ij}) = \begin{cases} (d_{ij} - \lambda_{j,k-1}) / (\lambda_{j,k} - \lambda_{j,k-1}), d_{ij} \in [\lambda_{j,k-1}, \lambda_{j,k}) \\ (\lambda_{j,k+1} - d_{ij}) / (\lambda_{j,k+1} - \lambda_{j,k}), d_{ij} \in [\lambda_{j,k}, \lambda_{j,k+1}) \\ 0, d_{ij} \notin [\lambda_{j,k-1}, \lambda_{j,k+1}) \end{cases} \quad (6)$$
$$f_{jK}(d_{ij}) = \begin{cases} 0, d_{ij} \in [0, \lambda_{j,K-1}) \\ (d_{ij} - \lambda_{j,K-1}) / (\lambda_{j,K} - \lambda_{j,K-1}), d_{ij} \in [\lambda_{j,K-1}, \lambda_{j,K}) \\ 1, d_{ij} \in [\lambda_{j,K}, \infty) \end{cases} \quad (7)$$

1.3.3 计算各灰类的权值

记  $\eta_k$  为灰类聚类权,表示第  $j$  种指标属于第  $k$  灰类的权重,当聚类指标的量纲相同时,则

$$\eta_k = \lambda_k / \sum_{j=1}^m \lambda_k \quad (8)$$

若聚类指标量纲不同,且不同指标的样本值在数量上相差很大时,可先进行无量纲处理:

$$\gamma_{jk} = S_{jk} / S_j \quad (9)$$

式中: $S_{jk}$  为第  $j$  种指标的第  $k$  个灰数(标准值,或取白化函数的阈值  $\lambda_k$ ); $S_j$  为第  $j$  种指标的参照标准,在路面使用性能评价中,可视评价路面的等级目标确定,然后计算灰色聚类权值,即

$$\eta_k = \gamma_k / \sum_{j=1}^m \gamma_k \quad (10)$$

1.3.4 求灰色聚类系数及灰色聚类矩阵  $\sigma$

记  $q_k$  为灰色聚类系数,表示第  $i$  个聚类对象隶属于第  $k$  灰类的程度,即

$$q_k = \sum_{j=1}^m f_{jk}(d_{ij}) \cdot \eta_k \quad (11)$$

式中: $f_{jk}(d_{ij})$  为由样本值  $d_{ij}$  求得的白化函数; $\eta_k$  为灰色聚类权值,建立的灰色聚类决策矩阵为

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1K} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdots & \sigma_{nK} \end{bmatrix} \quad (12)$$

若有  $q_j$  满足:  $q_j^* = \max \{ q_k \} = \max \{ q_1, q_2, \dots, q_K \}$ ,式中  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $k = 1, 2, \dots, K$ ,则称聚类对象  $i$  属于  $k^*$ .即在聚类行向量  $\sigma = (q_1, q_2, \dots, q_K)$  中,找出最大聚类系数  $q_k^*$ ,该最大聚类系数所对应的灰类  $k^*$  即是该聚类对象  $i$  所属的灰类.

2 应用举例

本文利用某段公路沥青路面的调查数据进行路况评价,路况实测的原始资料如表 2 所示.

表 2 路段各指标原始计算数据

Tab. 2 The pri nitive computed data of each index for each road segment

编号	起点桩号	终点桩号	RQ	PCI	SSI	BPN
1	K 1 504+760	K 1 504+860	2.25	23.7	0.5	33.7
2	K 1 505+470	K 1 506+000	6.75	62.7	0.72	28.9
3	K 1 510+515	K 1 512+000	5.25	76.6	0.36	37.9
4	K 1 512+000	K 1 513+000	8.15	72.8	0.87	32.6
5	K 1 527+000	K 1 528+200	9.6	92.0	1.3	38.3

利用实测数据,根据建立的白化函数公式(5)、(6)和(7),确定各个路段的白化函数  $f_{jk}(d_{ij})$ .在沥青路面使用性能评价中,各聚类指标的量纲不同且数值差别较大,因此,需按照式(9)作无量纲处理,然后按照式(10)计算灰色聚类权值  $\eta_k$ ,计算结果如表 3 所示.

表 3 灰色聚类权值  $\eta_k$

Tab. 3 Grey clustering weight  $\eta_k$

指标	优级	良级	中级	次级	差级
RQ	0.256 995	0.255 037	0.247 481	0.240 95	0.231 366
PCI	0.256 995	0.255 037	0.247 481	0.240 95	0.231 366
SSI	0.256 064	0.250 678	0.249 477	0.242 623	0.241 006
BPN	0.229 946	0.239 247	0.255 562	0.275 476	0.296 261

将计算所得的数据代入公式(11)中计算灰色聚类系数  $q_k$ ,并得到灰色聚类矩阵:

$$\sigma = [ \text{差级, 次级, 中级, 良级, 优级} ]$$

$$\sigma_{\text{路段1}} = [ 0.284\ 831, 0.308\ 782, 0.189\ 116, 0, 0 ] ; \max \{ \sigma_{\text{路段1}} \} = 0.308\ 782, \text{次级.}$$

$$\sigma_{\text{路段2}} = [ 0.020\ 442, 0.299\ 17, 0.604\ 508, 0.098\ 954\ 5, 0 ] ; \max \{ \sigma_{\text{路段2}} \} = 0.604\ 508, \text{中级.}$$

$$\sigma_{\text{路段3}} = [ 0, 0.244\ 399, 0.208\ 556, 0.371\ 613, 0 ] ;$$

$\max \{ \sigma_{\text{路段}3} \} = 0.371\ 613$ , 良级.

$\sigma_{\text{路段}4} = [0, 0.132\ 229, 0.286\ 669, 0.540\ 407, 0.064\ 287]$ ;  $\max \{ \sigma_{\text{路段}4} \} = 0.540\ 407$ , 良级.

$\sigma_{\text{路段}5} = [0, 0, 0.086\ 909, 0.157\ 903, 0.770\ 054]$ ;  $\max \{ \sigma_{\text{路段}5} \} = 0.770\ 054$ , 优级.

按照  $q_j^* = \max \{ q_k \} = \max \{ q_1, q_2, \dots, q_K \}$ , 式中  $i = 1, 2, \dots, 5; k = 1, 2, \dots, 5$ , 划分沥青路面使用性能综合评价类别, 即在各聚类行向量  $\sigma = (q_1, q_2, \dots, q_K)$  中, 找出最大聚类系数  $q_k^*$  所属的灰类(沥青路面使用性能等级). 表 4 为利用灰色聚类决策对该路段使用性能的评价结果, 同时表 4 也列出了利用《公路沥青路面养护技术规范 JTJ 073.2—2001》<sup>[9]</sup> 推荐评价方法计算的评价结果.

表 4 各个路段使用性能的评价结果

Tab.4 Evaluation result of performance for each road segment

路段	1	2	3	4	5
灰色聚类法	次级	中级	良级	良级	优级
规范方法	次级	中级	良级	良级	优级

比较结果会发现: 灰色聚类方法能全面地反映各评价因素的影响, 评价结果比较客观地划分了路段的分类, 且提供了各路段归属于各级别标准的程度的信息. 同时, 基于 Windows 2000 操作系统, 采用 Visual Basic 6.0 编写了沥青路面使用性能评价软件, 该软件界面友好, 可查看原始数据, 并将结果存储为数据文件. 使用时需预先建立各路段实测数据库(Excel 文件) 和沥青路面使用性能评价标准数据库(Excel 文件), 且两表相互对

应, 执行编写的程序, 即可得到评价结果.

3 结束语

本文重点论述了沥青路面使用性能的灰色聚类决策评价方法, 并简要介绍了用 VB 6.0 编写的程序. 灰色聚类决策评价方法克服了单因素评价中受个别因素影响大的缺陷, 比较全面地反映了各评价因素的影响, 评价结果比较客观地反映被评价路段的性能情况. 同时, 使用该方法能通过灰色聚类矩阵  $\sigma$  全面地了解被评价路段对于各分级标准的隶属情况, 这对科学地制定养护策略、预测路面的未来状况提供了丰富的信息.

参考文献:

[1] 潘玉利. 路面管理系统[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.

[2] 陆亚兴. 柔性路面损坏状况综合评价的 AHP—Fuzzy 方法[J]. 重庆交通学院学报, 1992,(2): 13~15.

[3] MICHAEL I D. Concrete Pavement Evaluation System——National Prediction Model Demonstration [A]. JOHN W.Proceeding of 3d International Conference on Concrete Pavement Design[C].Purdue ,Purdue University , 1985.

[4] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.

[5] 邓聚龙. 灰色决策与预测[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1986.

[6] JTJ 073.2—2001, 公路沥青路面养护技术规范[S].

[7] 何桂平, 李宇峙, 黄永根. 水泥混凝土道路综合路况的灰色评价方法研究[J]. 长沙交通学院学报, 1999, 15(3): 42~47.

Asphalt Pavement Performance Evaluation Based on Gray-clustering Decision

LI Qing-fu<sup>1</sup>, HU Qun-fang<sup>1</sup>, LIU Wen<sup>1</sup>, RAN Gang-lun<sup>2</sup>

(1.College of Environmental & Hydraulic Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China ;2. Zhengzhou Hghway Administration Bureau, Zhengzhou 450052, China)

Abstract : The theory of gray-clustering decision is to deal with the dispersion information and turn it into gray-clustering matrix used to study the classifying object by analyzing calculation for ablations function and gray-clustering weight . Based on the principle of gray-clustering decision ,this paper applies it to the asphalt pavement performance evaluation . The evaluation of some sections is carried out at the end of the paper .

Key words : gray theory ; gray-clustering decision ; asphalt pavement ; evaluation