

文章编号:1671-8879(2007)06-0019-05

高等级公路复合式路面养护标准

王朝辉¹,王选仓¹,高建立²,陈琳²

(1. 长安大学 公路学院,陕西 西安 710064; 2. 河南中原高速公路股份有限公司,河南 郑州 450007)

摘 要:针对目前复合式路面养护评定存在的问题,以河南省郑新(郑州—新郑)高速公路为依托,引入 Spearman 等级相关系数,综合考虑主、客观影响因素,采用了多属性决策组合赋权方法,根据复合式路面结构特点和相关的养护规范与标准,确定了复合式路面养护质量评定指标权重值,通过主、客观养护质量指数对比,建立了二者回归关系式,从而提出了复合式路面养护质量评定标准。最后对复合式路面单项养护维修技术标准进行了分析,并给出了评价实例。结果表明,该养护标准具有较强的客观性和实用性。

关键词:道路工程;复合式路面;养护标准;多属性决策;组合赋权;回归分析

中图分类号:U418; U416.224 **文献标志码:**A

Maintenance standards of composite pavement on high-level highway

WANG Chao-hui¹, WANG Xuan-cang¹, GAO Jian-li², CHEN Lin²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Henan Zhongyuan Highway Co Ltd, Zhengzhou 450007, Henan, China)

Abstract: Taking the Zhengzhou—Xinzheng highway of Henan Province as an example, the problems of the present composite pavement maintenance evaluation was analyzed, the Spearman rank correlation coefficient were introduced, the multiple attribute decision-making method was developed with the influence of the subjective and objective factors. According to the structure characteristic of the composite pavement and the correlative maintenance standard, the weight values of the maintenance quality evaluation indices were proposed. Through the contrast of the subjective and objective maintenance quality indices, the regression equation was established, thus the composite pavement maintenance quality evaluation standards were proposed, the single item maintenance technical standards were analyzed, and an evaluating example was given. The results show that those maintenance standards have strong objectivity and usability. 6 tabs, 1 fig, 8 refs.

Key words: road engineering; composite pavement; maintenance standard; multiple attribute decision-making; combination weights; regression analysis

0 引 言

纵观国内外公路发展状况,复合式路面有多种

形式,其中有沥青混凝土/碾压式水泥混凝土组合式路面(AC/RCC);上层低塑混凝土/下层碾压式水泥混凝土组合式路面(CCC/RCC);碾压钢丝网水泥混

收稿日期:2006-11-15

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200531881213)

作者简介:王朝辉(1980-),男,河南安阳人,博士研究生,E-mail:chaohuiyanjuan@163.com。

凝土路面(RCFC);素混凝土/钢纤维混凝土组合式路面(CCC/SFRC);钢纤维混凝土与素混凝土三分层复合结构(SFRC /CCC/SFRC)。近年来,随着复合式路面通车里程的快速增长,大型车辆的增加,早期修建的高速公路设施在使用中逐年老化,使用性能开始下降,已不能满足高速行车的要求^[1]。养护技术不仅决定公路的后期使用质量,而且还直接关系到养护费用。因此,加强对复合式路面的养护与维修,延长复合式路面的使用寿命是公路交通部门面临的一项刻不容缓的任务。美国伊利诺斯州大学与伊利诺斯州公路局合作,对复合路面修复进行了综合性研究,主要目的是为复合式路面的使用评价和养护修复提供依据。该项研究是在 1993 年之前进行的,并没有提出复合式路面的养护标准^[2]。目前中国在对复合式路面制定养护决策和养护质量评定时,仅按照沥青路面养护标准是不合理的,需要提出一种科学的养护标准。

一般情况下,养护标准可以概括为两个方面:一是为路段质量评价的养护质量评定标准;二是为养护决策提供依据的养护技术标准。为了更全面地为复合式路面养护提供依据,本文以最常见的普通水泥混凝土/沥青混凝土(CC/AC)复合式路面为例,从这两个方面分别对其养护标准进行研究。

1 CC/AC 路面养护质量评定标准

公路路面养护质量是指公路工程竣工验收交付使用后所保持的路面质量状况和服务水平。针对 CC/AC 出现的早期破坏现象,提出 CC/AC 路面养护质量评定标准的意义就显得尤为重要。

复合式路面 CC/AC 养护质量标准采用路面养护质量指数来确定。按《高速公路养护质量检评方法》(试行)进行检测。路面破损状况按“沥青路面”进行调查和评价,并测定行车道弯沉(供参考);根据调查和高等级公路复合式路面使用现状,认为复合式路面有足够的结构强度,因此路面结构强度不作为评价指标。路面养护质量指数 I_{PQI} 的公式为

$$I_{PQI} = w_{PCI} I_{PCI} + w_{RQI} I_{RQI} + w_{SRI} I_{SRI} \quad (1)$$

式中: I_{PCI} 为路面状况指数; I_{RQI} 为道路行驶质量指数; I_{SRI} 为路面抗滑性能指数; w_{PCI} 、 w_{RQI} 、 w_{SRI} 分别为 I_{PCI} 、 I_{RQI} 、 I_{SRI} 的权重系数。

对于路面状况指数、道路行驶质量指数和路面抗滑性能指数的计算,可参照《公路养护质量检查评定标准》(JTJ 075-94)和《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ 073.2-2001)的有关规定。

现以河南省郑新(郑州—新郑)高速公路为依托,对式(1)中的各权重系数及路面养护质量指数的评定等级进行研究。

1.1 组合赋权确定权重系数

在养护评价过程中,指标权重的确定是非常关键的。采用不同方法来测定权重,得到的结果也不尽相同,从而直接影响最终结果。因而选择适当方法来确定权重是至关重要的。目前,在多属性决策中,测定权重的方法可以分为两大类,主观赋权法与客观赋权法:主观赋权法是根据各指数的主观重视程度进行赋权的一类方法;客观赋权法是依据决策矩阵提供的信息来确定的。这两类方法各有优缺点,主观赋权法的随意性较大,决策准确性和可靠性稍差一些,但属性的相对重要程度一般不会违反人们的常识;客观赋权法显著的特点是存在赋权的客观标准,通过计算得出评价指标的权重系数,而不是人为给定的,但客观赋权的权重系数有时与指标的实际重要程度相悖。为了使式(1)中的各权重系数客观合理,本文采用综合主、客观赋权结果的第三类方法,即组合赋权法^[3-4]。

本文以河南省郑新高速公路(CC/AC 复合式路面结构)为例,选取有代表性的 6 个路段,对路面状况进行调查,计算结果如表 1 所示。

表 1 郑新高速公路选取路段(上行)路况调查结果

代表路段	路面状况指数	道路行驶质量指数	路面抗滑性能指数
K703+000	92.266	96.581	93.129
K704+000	91.390	96.655	90.839
K705+000	90.372	96.434	88.072
K706+000	88.113	96.520	93.814
K707+000	89.094	96.654	89.593
K708+000	88.161	96.580	89.294

1.1.1 客观赋权

设有 n 个决策方案构成方案集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 每个方案都有必要考虑 m 个目标,记目标集为 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$, 构成决策矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$, 其中 x_{ij} 表示第 i 族的第 j 个目标值。由于原始数据矩阵相互之间可能具有不同量纲与不同的数量级,因此有必要对原始指标值进行无量纲化处理。对于效益型指标,即越大越好的指标

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m$$

对成本型指标,即越小越好的指标

$$y_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$$

式中: y_{ij} 为 i 方案 j 目标对应的指标值; x_j^{\max} 、 x_j^{\min} 分

别为所有方案中 j 指标的最大和最小值。

规范化处理后的原始指标值转化为无量纲值 y_{ij} , $y_{ij} \in [0, 1]$, 于是决策矩阵 X 变为决策矩阵 Y 。

由表 1 可得决策矩阵

$$X = \begin{bmatrix} 92.266 & 96.581 & 93.129 \\ 91.390 & 96.655 & 90.839 \\ 90.372 & 96.434 & 88.072 \\ 88.113 & 96.520 & 93.814 \\ 89.094 & 96.654 & 89.593 \\ 88.161 & 96.580 & 89.294 \end{bmatrix}$$

对其进行规范化处理可得决策矩阵

$$Y = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.665 & 0.881 \\ 0.789 & 1.000 & 0.482 \\ 0.544 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.389 & 1.000 \\ 0.236 & 0.995 & 0.265 \\ 0.012 & 0.661 & 0.213 \end{bmatrix}$$

(1) 最小隶属度加权平均偏差法。设理想方案 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$, 其中 $g_j = \max\{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{nj}\}$, $j = 1, 2, \dots, m$ 。

$$\text{权重的计算公式 } w_j = \frac{\sum_{i=1}^n (g_j - y_{ij})}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (g_j - y_{ij})}$$

由此可计算出表 1 各指标所对应的权向量为

$$W_1 = (0.385\ 5, 0.258\ 2, 0.356\ 3)$$

(2) 最大离差法。权重的计算公式为

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |y_{ij} - y_{kj}|}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |y_{ij} - y_{kj}|}$$

由此可计算出表 1 各指标所对应的权向量为

$$W_2 = (0.372\ 0, 0.276\ 4, 0.351\ 6)$$

(3) 均方差法。权重的计算公式为

$$w_j = \frac{\sigma(B_j)}{\sum_{j=1}^m \sigma(B_j)}$$

式中: $\sigma(B_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - E(B_j))^2}$, $E(B_j) =$

$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}$; w_j 为第 j 个指标的权重; B_j 为第 j 个指标。

由此可计算出表 1 各指标所对应的权向量为

$$W_3 = (0.348\ 8, 0.320\ 0, 0.331\ 2)$$

1.1.2 主观赋权

经过调查,专家一致认为,复合式路面养护质量

指数 I_{PQI} 中的各权重系数,可按水泥混凝土路面选取: $\omega_{PCI} = 0.4$; $\omega_{RQI} = 0.4$; $\omega_{SRI} = 0.2$, 其权向量为

$$W_4 = (0.4, 0.4, 0.2)$$

1.1.3 组合赋权

(1) 如果由某客观赋权法得出的权数排序与主观赋权法得出的权数排序不相同,但评价指标按重要等级的排序相同或处于同一重要等级上,说明该客观赋权法得出的权数对于确定各指标权数具有参考价值,因此使其参加组合赋权。

(2) 如果由某客观赋权法得出的权数排序与主观赋权法得出的权数排序不相同,评价指标按重要等级的排序也不相同,由此说明该客观赋权法得出的权数对于确定各指标权数不具有参考价值,因此将其剔除,不参加组合赋权^[5-6]。

由以上赋权方法可以得出 4 种权数,由于各指标重要等级一致,故均参加组合赋权。

本文采用基于 Spearman 等级相关系数的组合赋权法,其方法如下:

第一步,计算 Spearman 等级相关系数。Spearman 等级相关系数主要用来检测各种赋权方法之间的相关程度,其公式为

$$\rho_{ik} = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^m (w_{ij}^0 - w_{kj}^0)^2}{m(m-1)(m+1)}$$

式中: ρ_{ik} 为第 i 种赋权方法和第 k 种方法之间的 Spearman 等级相关系数; w_{ij}^0 为第 i 方法测出的第 j 指标权重; w_{kj}^0 同理。

第二步,寻找相对一致性最高的方法。首先,找出 Spearman 等级相关系数中的最大者 $\rho_{uv} = \max\{\rho_{ik}\}$; 然后,比较方法 u 和方法 v 与其他方法的 Spearman 等级相关系数大小,选出较大者。假设较大者为方法 u , 也就是说 u 在所有赋权方法中是一致性相对最高的一种赋权方法,其他方法与方法 u 的 Spearman 等级相关系数构成向量 $\rho_u = (\rho_{1u}, \rho_{2u}, \dots, \rho_{mu})$ 。

第三步,将 ρ_u 进行归一化处理,得到权向量 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, 其中 $w_i = \frac{\rho_{ij}}{\sum_{i=1}^n \rho_{iu}}$, $(i = 1, 2, \dots, 1)$ 。

第四步,计算出组合权重 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$,

$$\theta = w \cdot w^0 = (w_1, w_2, \dots, w_n) \begin{bmatrix} w_{11}^0 & \cdots & w_{1m}^0 \\ \vdots & & \vdots \\ w_{n1}^0 & \cdots & w_{nm}^0 \end{bmatrix}$$

通过该方法将权重 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 进行组合,可得组合权重 $\theta = (0.333\ 3, 0.333\ 2, 0.333\ 5)$ 。为

使其具有代表性,取组合权重 $\theta = (0.33, 0.33, 0.34)$ 。因此, $\omega_{\text{PCI}} = 0.33; \omega_{\text{RQI}} = 0.33; \omega_{\text{SRI}} = 0.34$ 。

1.2 回归确定路面养护质量的评定等级

根据式(1)和表1,分别计算主观权重和组合权重下的各路段的路面养护质量指数,结果如表2所示。

表2 郑新高速公路选取路段(上行)不同权重下的路面养护质量指数

代表路段	主观权重下的路面 养护质量指数 I_{PQI}^1	组合权重下的路面 养护质量指数 I_{PQI}^2
K703+000	94.165	93.983
K704+000	93.386	92.940
K705+000	92.337	91.590
K706+000	92.616	92.826
K707+000	92.218	91.758
K708+000	91.755	91.324

根据表2数据,对主观权重下和组合权重下的路面养护质量指数进行线性回归(其他回归可能会出现与实际相悖的情况),如图1所示。

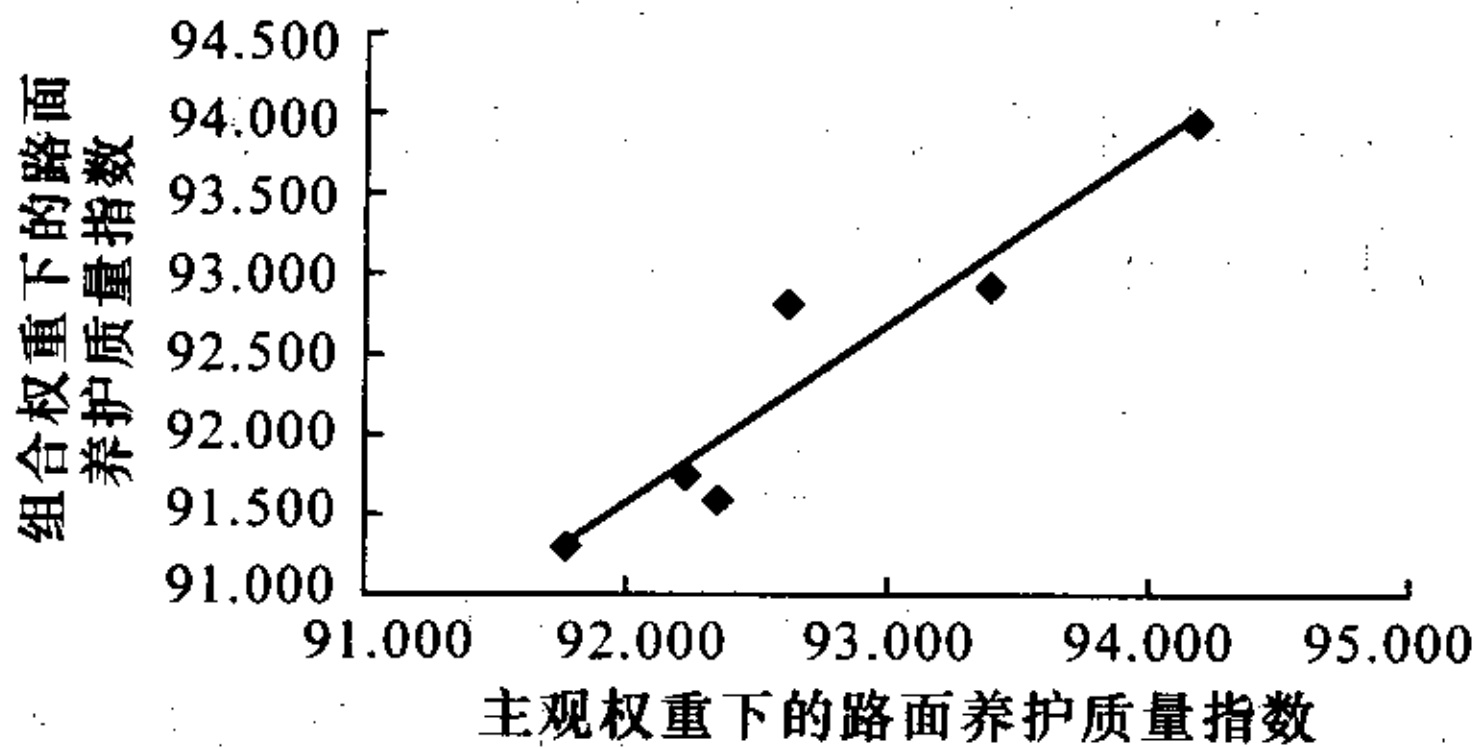


图1 不同权重下的路面养护质量指数关系曲线

由此,可得二者之间的回归关系式为

$$I_{\text{PQI}}^2 = 1.105 I_{\text{PQI}}^1 - 10.065 \quad (2)$$

相关系数 $R^2 = 0.9071$ 。其中, I_{PQI}^1 、 I_{PQI}^2 分别为主观权重下和组合权重下的路面养护质量指数。

专家认为,在主观权重下,养护质量评定等级可参照《公路养护质量检查评定标准》(JTJ 075-94),见表3。

表3 主观权重下的养护质量标准

评价等级	优	良	中	次	差
路面养护质量指数	[85,100]	[70,85)	[55,70)	[40,55)	[1,40)

注:路面养护质量指数应经常保持不低于75。

根据式(2)和表3,可计算出组合权重所对应的养护质量标准,即CC/AC复合式路面养护质量标准,见表4。

表4 CC/AC复合式路面的养护质量标准

评价等级	优	良	中	次	差
路面养护质量指数	[84,100]	[67,84)	[51,67)	[34,51)	[1,34)

注:路面养护质量指数应经常保持不低于73。

2 CC/AC 复合式路面单项养护维修技术标准的确定

根据调查和高等级公路复合式路面使用现状,建立指标体系:①路面行驶质量指标——平整度,采用国际平整度指数(IRI)评价;②路面安全性指标——抗滑性,采用摆值(BPN)或横向力系数(SFC)评价;③路面损坏评价指标——裂缝率(CR)和车辙(RD)。高等级公路由于采用了较高的路面结构设计标准,所以损坏类型较少,较多见的为裂缝类损坏和车辙,占80%以上。鉴于这种情况,将裂缝类损坏和车辙各自单列,分别评价路面损坏状况。

目前,路面是否维修一般由管理部门或养护工程师凭目测或经验来确定,究竟路面的使用性能下降到什么程度需要维修,以及维修要求达到何种水平,即养护的技术标准问题,在中国各地还较难确定。文献[7]仅对养护后需达到的标准进行了规定,并未规定到什么程度需维修;文献[8]在理论分析和数值计算的基础上,提出了高等级公路沥青路面的平整度、抗滑、弯沉、裂缝和车辙养护标准方案;沈阳建筑工程学院以沈大(沈阳—大连)高速公路作为依托工程,对养护标准做了进一步的研究和完善。

结合CC/AC复合式路面使用性能,在此建议CC/AC复合式路面的平整度、抗滑和车辙养护标准采用文献[8]所述;对于裂缝养护标准,一般要求高等级公路沥青路面的裂缝率应低于15%,否则就需进行罩面或铣刨后罩面。由于复合式路面面层的裂缝基本由水泥混凝土板引起,因此根据专家建议,其裂缝率应低于10%,否则就需进行罩面或铣刨后罩面,如表5所示。

表5 单项评价指标

技术指标	国际平整度指数/ ($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)	裂缝率/ %	车辙/ mm	摆值	横向力 系数
需要维修标准	≥ 10.0	≥ 10	≥ 15.0	≤ 37	≤ 40
要求达到标准	≤ 2.5	≤ 1	≤ 1.5	≥ 45	≥ 54

3 评价实例

为了考察分析单项养护维修技术指标与养护质量评价指标对同一路段的评价结果,在河南省新郑—许昌高速公路复合式路面上选择了具有代表性的10个路段(每段1000 m)进行比较分析。比较结果如表6所示。

从表6可以看到,单项养护维修评价指标裂缝率、车辙、国际平整度指数、摆值与养护质量评定标准的评价结果是一致的。单项养护技术指标是对路

表 6 新郑—许昌高速公路(下行)路段各评价指标评价结果

路段起点号 (长 1 km)	裂缝率/ %	车辙/ mm	国际平整度指数/ ($m \cdot km^{-1}$)	横向力 系数	I_{PCI}	I_{RQI}	I_{SRI}	I_{PQI}	路况实际
K750+000	3.6	2.4	3.78	34.35	88.955	91.206	48.115	75.812	抗滑不足
K751+000	5.3	2.2	3.57	33.10	83.093	91.911	45.420	73.194	裂缝较重、抗滑不足
K752+000	3.2	1.8	3.50	32.33	86.036	92.145	43.881	73.719	抗滑不足
K753+000	3.8	1.6	3.41	31.75	84.267	92.425	42.753	72.844	抗滑不足
K754+000	3.4	1.8	3.51	44.98	86.817	92.110	74.601	84.410	裂缝较轻
K755+000	2.4	1.3	2.04	47.84	88.635	95.687	80.798	88.298	路况较好
K756+000	3.0	1.2	1.93	47.83	86.761	95.886	80.776	87.737	路况较好
K757+000	2.7	1.4	2.88	43.95	87.840	93.896	72.127	84.496	裂缝较轻
K758+000	4.7	1.2	1.94	43.43	83.620	95.865	70.854	83.320	路面平整、裂缝较重
K759+000	4.9	1.3	1.99	43.24	83.555	95.772	70.380	83.107	路面平整、裂缝较重

注: $I_{PQI}=0.33I_{PCI}+0.33I_{RQI}+0.34I_{SRI}$ 。

面的破损状态的具体描述,能够为养护决策提供更准确的依据。建议在制定养护方案时,使用单项养护技术指标;在评价路面使用性能时,使用养护质量评定标准。

4 结 语

(1)利用多属性决策的组合赋权方法和回归分析,提出了CC/AC复合式路面养护质量评定标准,采用路面养护质量指数来确定。计算路面养护质量指数的公式中的各权重系数按 $\omega_{PCI}=0.33$, $\omega_{RQI}=0.33$, $\omega_{SRI}=0.34$ 选取。该结果客观合理,可供养护质量评定和制定养护决策时使用。

(2)根据CC/AC复合式路面结构特点和相关的规范与标准,提出了CC/AC复合式路面单项养护维修技术标准。

(3)结合郑新高速公路使用性能检测数据,对比分析了单项养护技术指标与养护质量评定指标,并建议在制定养护方案时,使用单项养护技术评价指标;在评价路面使用性能时,使用养护质量评定标准。

参考文献:

References:

[1] 王朝辉,王选仓. 复合式路面养护维修关键技术探讨[J]. 公路,2005,(4):178-181.
WANG Chao-hui, WANG Xuan-cang. The study of the key technology to maintain composite pavement [J]. Highway, 2005,(4):178-181.

[2] Hall K T, Darter M I, Carpenter S H. Rehabilitation of asphalt-overlaid concrete pavements[R]. Illinois: Illinois Department of Transportation, 1993.

[3] 陈春花,叶 飞. 基于多目标决策的综合客观赋权方

法研究[J]. 甘肃科学学报,2001,13(2):83-87.

CHENG Chun-hua, YE Fei. Research on the comprehensive objective determining weights in the multiple objective decision making based on the grey relation[J]. Journal of Gansu Sciences, 2001,13(2):83-87.

[4] 邹国平,邹 群,黄 铮. 基于SDSS的高速公路养护管理结构[J]. 交通运输工程学报,2006,6(3):47-50.
ZOU Guo-ping, ZOU Qun, HUANG Zheng. Architecture of expressway maintenance management system based on SDSS[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006,6(3): 47-50.

[5] 胡霞光,王秉纲. 两种基于遗传算法的路面性能综合评价方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2002,22(2):6-9.
HU Xia-guang, WANG Bing-gang. Application of Two genetic algorithm based method in pavement performance evaluation[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2002,22(2):6-9.

[6] 宋光兴,杨德礼. 基于决策者偏好及赋权法一致性的组合赋权法[J]. 系统工程与电子技术,2004,26(9): 1 226-1 230.
SONG Guang-xing, YANG De-li. Combination weighting approach based on the decision-maker's preference and consistency of weighting methods [J]. System Engineering and Electronics,2004,26(9):1 226-1 230.

[7] JTJ 073.2-2001,公路沥青路面养护技术规范[S].

[8] 王艳丽,王秉纲. 高等级公路沥青路面养护标准研究[J]. 重庆交通学院学报,2000,19(4):26-29.
WANG Yan-li, WANG Bing-gang. Research of maintenance criteria of asphalt pavement for high graded roadway[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2000,19(4):26-29.