

# 基于改进层次模糊法的沥青路面坑槽修补技术评价

张 驰, 周博闻

(长安大学教育部特殊地区公路工程重点实验室, 西安 710064)

**摘要:**目前国内外对于坑槽的修补技术较多,但是在具体的情况下如何进行养护决策尚未有好的解决方法。因此,如何在考虑费用、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显重要。现有的养护技术评价方法存在着主观性较强、指标单一和指标取值不合理等问题,导致评价结果偏差较大。笔者综合了经济、社会、技术等方面的指标,在层次分析法的基础上,结合模糊数学和统计学法,建立了针对坑槽修补技术的改进层次模糊评价体系。运用该体系对坑槽修补技术进行优选,并与其他方法计算结果进行对比,结果表明该方法合理可行。

**关键词:**坑槽; 修补技术; 评价; 层次分析法; 模糊数学

中图分类号: U418.6+2

文献标志码: A

文章编号: 2095-2783(2013)05-0430-05

## Evaluation of potholes maintenance technology for asphalt pavement based on improved hierarchical fuzzy method

Zhang Chi, Zhou Bowen

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

**Abstract:** Nowadays there are many kinds of maintenance technologies at home and abroad, but which treatment is preferable in different conditions is hard to decide. Therefore, it is particularly important to evaluate these repair technologies scientifically and objectively in terms of expense, lifetime, benefit and so on. The existing maintenance technology evaluation methods are subjective, single, and unreasonable to some extent, and the results are prone to be biased. Combining with economic, social, technological and other factors, this paper proposes an improved hierarchical-fuzzy evaluation system for potholes maintenance technology, based on analytic hierarchy process, integrating fuzzy mathematics and statistics. Results show that, compared with other methods, the hierarchical-fuzzy evaluation method is reasonable in selecting the optimized pothole treatment.

**Key words:** potholes; maintenance technology; evaluation; AHP; fuzzy-mathematics

坑槽是对路面结构危害最大的病害之一<sup>[1]</sup>,具有突发性、高发性和蔓延性的特点<sup>[2]</sup>。国内外现有的坑槽修补技术较多,但缺少一种能够充分平衡经济、社会、技术等因素对于养护技术的影响,从而协助一线技术人员在具体的条件下进行快速养护决策的科学客观的评价方法,因此,如何对这么多修补技术进行客观科学的量化评比就尤显重要<sup>[3]</sup>。

目前,国内外针对养护技术评价的研究较少,比较有代表性的有:史焕杰<sup>[4]</sup>在介绍养护方案技术组合的基础上,用净现值和效益费用比这两个经济指标来选择最佳的路面养护方案,但是由于只考虑了经济因素,对于评价结果限制较大;康敬东<sup>[5]</sup>认为修补效果才是评价修补技术的关键因素,综合密实度、黏结性、耐水性、高温稳定性、低温稳定性等因素作为评价修补技术质量好坏的评价指标,并基于此指标建立了修补技术的评价体系,但这种评价方法对养护效果要求过于全面,仅适用于经费较为充裕的大修情况;茅荃<sup>[6]</sup>研究了国内外现有的坑槽养护技术,汇总了各种养护技术的性能指标,总结

了各种修补技术的优点、缺点及使用条件,并基于汇总对修补技术进行了对比分析,但作者仅仅最后进行了总结性的分析,缺少数据分析和综合评价;周文欢等<sup>[7]</sup>在层次分析法的基础上,建立了加速加载选型指标体系,并用实例验证了可行性,但层次分析法为经验法,单纯的使用层次分析法进行综合评价,主观性较强;王朝晖等<sup>[8]</sup>在区间数逼近法的基础上建立了一种区间数多属性决策模型,对路面使用性能进行评价,并进行了实例运算,结果表明该方法合理可行,但是就坑槽修补技术评价而言,此模型过于复杂,算法难度较大,考虑评价指标太多,应用性不强。

综上所述,目前关于坑槽修补技术评价的研究尚处在探索阶段。有的作者考虑了经济效益指标,有的作者考虑了养护效果指标,但是由于指标单一,评价结果存在一定的偏差,无法判断其他因素是否会对评价结果产生影响;有的研究者单纯进行经验评价,主要受主观因素影响,具有不确定性;有些研究者则全面考虑了各方面的指标,但是指标过多,算

收稿日期: 2012-12-12

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20120205120013); 陕西省自然科学基金项目(2012JQ7001); 长江学者和创新团队发展计划资助项目(IRT1050)

作者简介: 张驰(1981—),男,高级工程师,主要研究方向:道路与铁道工程, zhangchi@chd.edu.cn

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。对于养护技术的综合评价已经有了一些研究成果,但在指标选取、方法应用上依然存在问

题。  
本研究从经济效益、社会效应和技术效益 3 方面选取了 7 个具有代表性的评价指标,根据各指标的取值或量化评分,在层次分析法的基础上结合模糊数学和统计学方法构建了坑槽修补技术层次模糊评价体系,并对现有的几种坑槽修补技术进行层次模糊评价及结果分析。本文的意义在于为坑槽养护技术提出一种主客观结合的相对简单实用的科学评价方法,为坑槽修补技术的选取提供一定的指导意义。

### 1 沥青路面坑槽修补技术

现阶段国内外对于坑槽的修补技术的应用已经较为成熟,根据维修工艺和维修设备的不同沥青混凝土路面坑槽维修主要分为填料式坑槽修补技术、边缘密封式修补技术、半永久性坑槽修补技术、热烘式坑槽修补技术和喷射式坑槽修补技术 5 类修补技术<sup>[9-10]</sup>。

坑槽的养护决策需要考虑各方面因素的影响。首先需要考虑修补技术的经济因素,如养护费用、设备成本、养护寿命等,这些因素决定了养护工作的成本,是核心的影响因素;其次需要考虑社会因素,如噪声影响、环境影响、对道路通行能力的影响等,这些因素决定了养护工作的外界正常秩序的影响,在不同的环境下其重要性有较大区别;最后需要考虑技术性因素,如机械化程度、施工效率、施工人员等,这些因素主要表现了养护技术的先进程度,受人力资源、时间效益成本的不同而有较大区别。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坑槽修补技术,提高维修质量,控制返修率,实现维修的效益成本比最大化。

笔者针对我国公路沥青路面的特点,从上述 3 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,建立了坑槽修补技术的层次模糊评价模型,结合经验评价法对几种养护措施进行了评价。

### 2 层次模糊评价模型

层次模糊分析法是将层次分析法和模糊数学结合起来,通过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,用层次分析法确定各指标权重,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 层次模糊评价矩阵

1) 指标集  $C$  和单指标特征量矩阵  $X$  的确定<sup>[11]</sup>。  
指标集为  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ ,  $m$  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:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $x_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ ) 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,可计算单指标对于优化的隶属度,但对于不同性质的指标,处理方法也有不同。

若  $B \in B_i$  为效益型指标(越大越好),则相应的规范化结果为

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\}}{\max_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\} - \min_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

若  $B_i \in B$  为成本型指标(越小越好),则相应的规范化结果为

$$r_{ij} = \frac{\max_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\} - x_{ij}}{\max_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\} - \min_{1 \leq k \leq n} \{x_{ik}\}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

指标特征量矩阵转化为隶属度矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

3) 一般对方案的选优需构造判断矩阵,即相对于目标层而言,反映准则层  $B_1, B_2, B_3$  的相对重要性的判断,和准则层  $B_1, B_2, B_3$  的下属指标层相对于其隶属准则的判断矩阵,对于各层中因素权重的计算,本文采用“方根法”。

$$M_r = \prod_{s=1}^n a_{rs}, \quad r = 1, 2, 3, \quad (6)$$

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (7)$$

对向量  $\bar{W}_i = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$  正规化(归一化处理)

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (8)$$

则  $W = W [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ , 即为  $B_1, B_2, \dots, B_n$  相对于目标层的权值。

最大特征值根为

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n (AW)_i / (nW_i) \quad (9)$$

矩阵偏离一致性指标

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (10)$$

为了度量不同阶判断矩阵是否具有满意一致性,引入判断矩阵的平均值随机一致性指标 RI 值。对五阶判断矩阵,RI 为 0.58;对四阶判断矩阵,RI 为 0.90<sup>[12]</sup>。判断矩阵的一致性,根据指标 CI 与同阶平均随机一致性指标 RI 之比称为随机一致性比率 CR。当 CR < 0.1 时,判断矩阵具有满意一致性,否则需调整判断矩阵,使之具有满意一致性。

2.2 各指标总权重确定

同一层所有因素对于目标层相对重要性的排序权值称为层次总排序。这一过程是由最高层到最低层逐层进行,设 WB<sub>i</sub> 为准则层相对于目标层的重要性权值,WC<sub>ij</sub> 为指标层相对于准则层的单排序权值,则指标 C<sub>j</sub> 对目标层的排序权值为

$$W_i = \sum_{j=1}^m (WB_i \times WC_{ij}), i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

得到权重总排序  $W = [W_1, W_2, W_3, W_4, W_5]$ 。

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:

$$d_j = \frac{\sum_{i=1}^m W_i (r_{ij} - r_j)^2}{\sum_{i=1}^m W_i (r_{ij} - r_j)^2},$$

$$d'_j = \frac{\sum_{i=1}^m W_i (r_{ij} - r'_j)^2}{\sum_{i=1}^m W_i (r_{ij} - r'_j)^2}, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$r_j = \max_{1 \leq k \leq n} \{r_{kj}\}; r'_j = 1 - r_j \quad (12)$$

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

$$C_j = d'_j / (d_j + d'_j) \quad (13)$$

3 坑槽修补技术评价

3.1 指标体系

为进行方案对比,按照系统工程学及系统层次性原理,在分析影响沥青路面与养护对策选择的各种因素后,将不同因素划分为不同的层次,用框图形式说明层次的递阶结构与因素的从属关系。其中,准则层选择经济效益(B<sub>1</sub>)、社会影响(B<sub>2</sub>)和技术性能(B<sub>3</sub>)等。而指标层中,对应技术性能考虑费用(C<sub>1</sub>)、寿命(C<sub>2</sub>)和交通管制(C<sub>3</sub>);安全性(C<sub>4</sub>)、噪声影响(C<sub>5</sub>)、维修效率(C<sub>6</sub>);施工质量(C<sub>7</sub>)。该评价指标体系如图 1 所示。

为了方便模型计算,在此进行模型条件假设,见表 1。

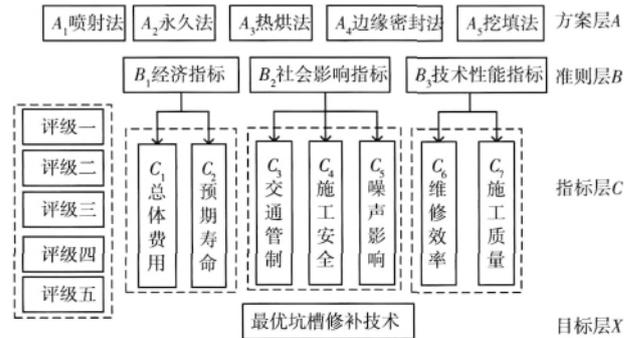


图 1 评价体系建立示意图

Fig. 1 Schematic diagram of establishing evaluation system

表 1 模型条件假设

Table 1 Assume model conditions

变量	描述
工资	假定所有工人的工资为 120 元/天,每天工作时间为 8 h
材料费	假定所有的养护材料费用都是一致的 1 000 元/t <sup>[13]</sup>
坑槽状况	假设施工对象均为面积为 10 cm × 10 cm, 深度为 25 mm, 处于初期的坑槽 <sup>[9]</sup>
交通控制设备	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/天
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

3.2.1 定量指标

对于指标层中 7 个指标进行分析,最终选取单位费用 C<sub>1</sub>、使用寿命 C<sub>2</sub>、维修时间 C<sub>5</sub> 和工作人员 C<sub>6</sub> 四个指标作为定量指标。首先通过文献回顾确定这四个指标的取值,如表 2 所示<sup>[14-15]</sup>。其中费用的计算公式如下。

费用计算(根据表 1):

$$1) \text{材料费用} = \left(\frac{y_1}{t}\right) \times (t/m^3);$$

$$2) \text{设备费用} = [\text{设备 } 1(y_2/d) + \text{设备 } 2(y_3/d)] \times t/480(\text{min});$$

$$3) \text{人工费用} = (N \times y_4/d) \times t/480(\text{min}).$$

其中  $y_1, y_2, y_3, y_4$  为各项目的总费用; $d$  为天数; $t$  为时间; $N$  为人数。

表 2 定量指标取值

Table 2 Values of quantitative indicators

定量指标	单位费用 C <sub>1</sub> /元	平均使用寿命 C <sub>2</sub> /月	平均维修效率 C <sub>6</sub> /min
A <sub>1</sub>	34.35	22	8
A <sub>2</sub>	55	16	20
A <sub>3</sub>	148.5	40	42
A <sub>4</sub>	34.18	8	7
A <sub>5</sub>	21.3	4	6

对于指标 C<sub>2</sub> 采用式(3)的方法求隶属度,而指标 C<sub>1</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub> 则按照式(4)的方法来求隶属度。各种技术定量指标规范化的结果如表 3 所示。

表 3 定量指标分值规范化结果

Table 3 Values of standardized quantitative indicators

定量指标	单位费用 $C_1$	使用寿命 $C_2$	维修效率 $C_6$
$A_1$	0.897	0.5	0.944
$A_2$	0.735	0.33	0.611
$A_3$	0	1	0
$A_4$	0.899	0.11	0.972
$A_5$	1	0	1

3.2.2 定性指标

对于其他的定性指标的取值,按照表 4 的评分标准,聘请 10 位一线人员根据图 1 中的 5 个等级对评价指标  $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 、 $C_7$  给出评分区间,根据专家给出的评分区间,由式(2)计算指标的特征量  $x_{ij}$ 。在由专家给出定性指标的评分区间时,对于  $C_3$ ,根据具体的保护措施进行分级,越复杂分数越高;对于  $C_4$ ,交通管制的方式越简单分数越低;对于  $C_5$ ,噪声越大(本文一定程度上根据机械的使用来判定),分数越低;对于  $C_7$ ,施工质量越高,分值越高。

表 4 指标量化评级

Table 4 Quantitative rating of indicators

定性指标	评级一 (8,10)	评级二 (6,8)	评级三 (4,6)	评级四 (2,4)	评级五 (0,2)
$C_3$	全封闭	单车道封	简单处理	机械防护	无防护
$C_4$	不进行管制	短时间	长时间	单车道	单向全封闭
$C_5$	没有噪声	噪声较小	有噪声	噪声较大	噪声很大
$C_7$	优	良	中	次	差

表 5 定量指标量化结果

Table 5 Quantitative results of the quantitative indicators

定性指标	交通管制 $C_3$	施工安全 $C_4$	噪声影响 $C_5$	施工质量 $C_7$
$A_1$	6.0	3.0	4.5	8.5
$A_2$	1.5	9.0	1.5	7.5
$A_3$	3.0	9.0	2.0	6.5
$A_4$	8.5	1.0	7.5	2.5
$A_5$	9.0	1.5	7.5	1.5

将专家的评分区间通过式(1)来进行量化得到  $x_{ij}$ ,见表 5。由于量化后的指标分值都是越高越好,所以使用式(3)进行规范化,得到了表 6 结果。

表 6 定量指标规范化结果

Table 6 Results of the standardized quantitative indicators

定性指标	交通管制 $C_3$	施工安全 $C_4$	噪声影响 $C_5$	环境影响 $C_7$
$A_1$	0.6	0.25	0.5	1
$A_2$	0.0	1	0	0.86
$A_3$	0.2	1	0.83	0.71
$A_4$	0.93	0	1	0.14
$A_5$	1	0.06	1	0

所有修补技术对应指标的隶属度矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0.897 & 0.735 & 0 & 0.899 & 1 \\ 0.5 & 0.33 & 1 & 0.11 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0.2 & 0.93 & 1 \\ 0.25 & 1 & 1 & 0 & 0.06 \\ 0.5 & 0 & 0.83 & 1 & 1 \\ 0.944 & 0.611 & 0 & 0.972 & 1 \\ 1 & 0.86 & 0.71 & 0.14 & 0 \end{bmatrix}。$$

3.3 准则层和指标层影响因素权重赋值

准则层的判断矩阵见表 7,指标层的判断矩阵见表 8~表 10。表 6~表 9 的数据是通过大量文献资料的分析、理论计算后确定的,但是在应用中可以根据实际情况进行调整。

表 7 准则层判断矩阵

Table 7 Judgment matrix of criteria layer

A	$B_1$	$B_2$	$B_3$
$B_1$	1	3	5
$B_2$	1/3	1	2
$B_3$	1/5	1/2	1

表 8 指标层判断矩阵 1

Table 8 Judgments matrix 1 of indicator layer

$B_1$	$C_1$	$C_2$
$C_1$	1	3
$C_2$	1/3	1

表 9 指标层判断矩阵 2

Table 9 Judgments matrix 2 of indicator layer

$B_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$C_3$	1	1/2	2
$C_4$	2	1	4
$C_5$	1/2	1/4	1

表 10 指标层判断矩阵 3

Table 10 Judgments matrix 3 of indicator layer

$B_3$	$C_6$	$C_7$
$C_6$	1	2
$C_7$	1/2	1

根据 2.2 中的理论,对以上矩阵进行计算得到各自的最大特征值及其对应的特征向量,并通过式(10)对计算结果进行一致性检验。

对表 7:  $W_A^T = [0.648, 0.229, 0.122]^T$ ,  $\lambda_{\max} = 3.0037$ ,  $CI = 0.00185$ ,  $RI = 0.58$ ,  $CR = 0.0032 < 0.1$ 。

对表 8:  $W_{B_1}^T = [0.675, 0.325]^T$ 。

对表 9:  $W_{B_2}^T = [0.2857, 0.5714, 0.1429]^T$ ,  $\lambda_{\max} = 3.002$ ,  $CI = 0.001$ ,  $RI = 0.58$ ,  $CR = 0.0017 < 0.1$ 。

对表 10:  $W_{B_3}^T = [0.667, 0.333]^T$ 。

以上的解  $W$  即为某一层相应因素对于上一层某因素相对重要性的排序权值。

3.4 坑槽修补技术的综合排序

1) 权重总排序。  $W = [0.4374 \ 0.2106 \ 0.0654 \ 0.1309 \ 0.0327 \ 0.0814 \ 0.0406]^T$ 。

2) 方案差异度。根据权重与式(12)得到方案的差异度值,如表 11 所示。

表 11 各方案差异度

Table 11 Difference of each project

差异度	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$d_j$	0.021 7	0.033 8	0.080 7	0.047 5	0.052 4
$d_j'$	0.077 7	0.064 4	0.055 3	0.074 7	0.088 2

最后,由式(13)得到 5 种坑槽修补技术的优选程度值

$C = [0.7820 \quad 0.6558 \quad 0.4066 \quad 0.6113 \quad 0.6273]$ 。

通过本文构造的层次模糊评价模型,得到的5种修补技术的优序关系为  $A_1 > A_2 > A_5 > A_4 > A_3$ ,与运用文献[8]方法所得结果一致,表明该方法用于坑槽修补技术评价是合理可行的。但在本文构建的评价矩阵中,对费用、寿命、安全等指标赋予了较大的权重,得到了喷补法为最优的修补方法,若对这些指标要求降低,则可能得到不同的结果。因此,各地区可根据专家经验采用符合当地实际情况的评分值,从而获得符合当地实际情况的修补技术评价排序。而且在具体的事件中还需要考虑到诸如天气、环境、项目经费、应急要求和单位设备等不可抗拒的客观因素。如:

1) 使用喷补法进行修补,需要自动坑槽修补车等专用设备,一次性投资较大,而且对坑槽底面和基层的病害不能彻底处理,适合于早期修补;

2) 挖填法虽然评分较低,寿命也较短,却较为适用于经费不足的应急性养护以及阴雨天气;

3) 当坑槽严重程度已经影响到基层时,就需要使用半永久性法进行处理,才能根治病害。

#### 4 结 论

1) 综合考虑坑槽修补技术的经济、社会、技术等因素,采用层次分析、统计学及专家打分的方法量化定性指标,结合模糊数学法获得隶属度值,建立沥青路面坑槽修补技术的层次模糊评价模型,通过科学的方法解决了坑槽修补技术评价的问题。

2) 该模型不仅较为全面地考虑了影响指标,并采用层次分析法及专家打分量化定性指标,结果相对精确、符合实际。为坑槽修补技术的选择提供了一种简单、便于操作且科学合理的评价模型。

3) 运用层次模糊评价法对坑槽修补技术进行评价,得到的结果与通过文献[8]方法得到的结果一致,表明其合理可行,同时该方法具有一定的普适性,因此也可扩展到其他养护方法的选择中。

#### [参考文献] (References)

- [1] 赵振东,陈惠民.公路养护工程常见病害及防治[M].北京:人民交通出版社,2006.  
Zhao Zhendong, Chen Huimin. Common Diseases and Prevention of Highway Maintenance Engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2006. (in Chinese)
- [2] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 北京:人民交通出版社,2005.  
Sun Lijun. Asphalt Pavement Structural Behavior Theory [M]. Beijing: China Communications Press, 2005. (in Chinese)
- [3] Haydon Allan. Pothole Repair or Pavement Restoration [M]. London: Pavement, 2005.
- [4] 史焕杰. 高速公路路面养护决策[J]. 公路交通科技, 2001, 18(3): 15-17.  
Shi Huanjie. Selection of alternatives for expressway maintenance [J]. J Highway Transport Res Develop, 2001, 18(3): 15-17. (in Chinese)

- [5] 康敬东. 沥青路面裂缝和坑槽养护维修技术的研究[D]. 西安:长安大学,2002.  
Kang Jingdong. Asphalt Pavement Cracks and Pits Maintenance Repair Technology Research [D]. Xi'an: Chang'an University, 2002. (in Chinese)
- [6] 茅荃. 沥青混凝土路面坑槽修补技术研究[J]. 公路, 2004(10): 158-163.  
Mao Quan. Research on technology for pothole patching of asphalt concrete pavements [J]. Highway, 2004(10): 158-163. (in Chinese)
- [7] 周文欢,谢永利,张志萍. 基于层次分析法的加速加载设备选型[J]. 公路交通科技, 2012, 29(7): 38-44.  
Zhou Wenhuan, Xie Yongli, Zhang Zhiping. Optimized selection of an accelerated loading facility based on AHP [J]. J Highway Transport Res Develop, 2012, 29(7): 38-44. (in Chinese)
- [8] 王朝晖,王选仓,马士宾. 基于区间数逼近法的路面使用性能综合评价[J]. 公路交通科技, 2009, 26(1): 21-25.  
Wang Zhaohui, Wang Xuancang, Ma Shibin. An approximation method of interval numbers for comprehensive evaluation of pavement performance [J]. J Highway Transport Res Develop, 2009, 26(1): 21-25. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国交通部. JTJ 075. 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.  
The Ministry of Communications P. R. C. JTJ 075. 2—2001 Technical specifications for maintenance of highway asphalt pavement [S]. Beijing: China Communications Press, 2001. (in Chinese)
- [10] 姜晨光,夏正兴,何跃平. 等. 软基沥青路面公路的超载损伤机理及预防[J]. 中国科技论文在线, 2011, 6(11): 822-828.  
Jiang Chenguang, Xia Zhengxing, He Yueping, et al. Hurt mechanism and preventions for overload of asphalt pavement highway of soft soil roadbed [J]. Sciencepaper Online, 2011, 6(11): 822-828. (in Chinese)
- [11] 褚克坚,华祖林,田红. 一种改进的水环境质量模糊层次综合评价模型[J]. 中国科技论文在线, 2009, 4(5): 379-386.  
Chu Kejian, Hua Zulin, Tian Hong. An improved FAHP comprehensive water quality assessment model [J]. Sciencepaper Online, 2009, 4(5): 379-386. (in Chinese)
- [12] 罗金耀,陈大雕,王富庆. 节水灌溉综合评价理论及模型应用研究[J]. 节水灌溉, 1998, 2(4): 28-32.  
Luo Jinyao, Chen Dadiao, Wang Fuqing. A study of application of the theory and the model of comprehensive evaluation in water saving irrigation [J]. Water Sav Irrigat, 1998, 2(4): 28-32. (in Chinese)
- [13] 张超. 长寿命沥青路面结构寿命周期费用分析[D]. 上海:同济大学,2008.  
Zhang Chao. The Life Cycle Cost Analysis for Long Life Asphalt Pavement [D]. Shanghai: Tongji University, 2008. (in Chinese)
- [14] 江燕春. 沥青路面就地热再生技术的研究[D]. 西安:长安大学,2006.  
Jiang Yanchun. Hot Spot of Asphalt Pavement Recycling Technology Research [D]. Xi'an: Chang'an University, 2006. (in Chinese)
- [15] 包双雁,陈长征,杨体文,等. 海南东线高速公路大修工程就地热再生经济分析[J]. 中外公路, 2010, 30(3): 314-316.  
Bao Shuangyan, Chen Changzheng, Yang Tiwen, et al. Hainan east expressway overhaul engineering of hot in-place recycling economy analysis [J]. J China Foreign Highway, 2010, 30(3): 314-316. (in Chinese)