

文章编号:1671-8879(2006)06-0034-05

# 沥青路面的预防性养护时机

姚玉玲<sup>1</sup>, 任 勇<sup>1,2</sup>, 陈拴发<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064;

2. 西安中交公路岩土工程有限责任公司, 陕西 西安 710075)

**摘 要:**为了使公路预防性养护措施发挥最大效果,对沥青路面预防性养护时机进行了研究,提出了基于生命周期费用的沥青路面预防性养护时机的确定方法。根据公路预防性养护工程的特点,建立了确定最佳预防性养护时机的效果费用比计算模型,给出了生命周期内的费用组成及计算方法;对效果进行了定量分析,提出了效果量化方法;通过计算效果费用比,确定效果费用比最大的预防性养护时机方案为最佳方案;对某高速公路预防性养护工程进行实际应用研究,给出了决策建议。工程实际表明,该方法是一种选择预防性养护时机的有效工具,对公路养护部门制定合理的实际性养护计划具有参考价值。

**关键词:**道路工程; 沥青路面; 生命周期费用; 预防性养护; 时机; 效果

**中图分类号:**U418.6 **文献标识码:**A

## Preventive maintenance timing of asphalt pavement

YAO Yu-ling<sup>1</sup>, REN Yong<sup>1,2</sup>, CHEN Shuan-fa<sup>1</sup>

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

2. Xi'an China Highway Geotechnical Engineering Co Ltd, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to maximize the effect of preventive maintenance approaches of asphalt pavement, this paper makes a study of the timing of asphalt pavement preventive maintenance and puts forward the method to specify the optimal timing of preventive maintenance based on life cycle cost, establishes a computerized effect-cost-ratio model, proposes a cost mix and calculating method within the life cycle, analyzes and quantifies the effects, and thus presents the approaches to specify the effects, concludes that the timing plan with the biggest ratio shall be the best and optimal timing for pavement preventive maintenance. A case study of a highway is offered. It's shown that the approach, an effective tool in choosing preventive maintenance timing, is of great significance for highway maintenance department in regulating rational preventive maintenance plans. 3 tabs, 1 fig, 8 refs.

**Key words:** road engineering; asphalt pavement; life cycle cost; preventive maintenance; timing; effect

## 0 引 言

公路预防性养护对改善路面使用性能、延长路

面使用寿命、降低路面养护费用具有重要意义,而其经济性和有效性与采取预防性养护措施的时机密切相关。由于预防性养护通常在路况较好的路面上采

用,这样就给预防性养护应用时机的识别带来了一定的困难<sup>[1-3]</sup>。目前路面预防性养护时机的研究主要参考路面维修养护的方法,主要有:基于路面破坏状况指数(PCI)的方法、行驶质量指数和破坏指数法、决策树法、排序法和基于老化的方法等,但沥青路面预防性养护时机问题仍然没有得到满意的解决。在路面管理系统经济分析中,一般认为生命周期费用分析是比较合理的经济分析方式。但已有研究均是采用生命周期费用分析来选择路面设计方案或养护方案的,对何时进行养护并没有进行研究。为此,本文提出基于生命周期费用的沥青路面预防性养护时机的研究方法,以期为公路养护部门制定预防性养护计划提供参考依据。

## 1 生命周期费用分析

### 1.1 路面生命周期费用组成

路面生命周期或分析周期内,从实施开始到寿命期或分析期末,主要费用有:建设费用(设计费、初建费)、养护费用(日常养护费用、预防性养护费用、大中修费用)、路面残值、用户费用(车辆运营费即燃油消耗费、轮胎消耗费和保修费、延误费、行程时间费、事故费)。

### 1.2 费用计算

考虑到在确定预防性养护时机时关注的是路面使用性能的差异带来的费用和效果的差别,所以费用分析时着重考虑受使用性能影响的那些费用组成。而且,费用分析的目的是通过不同预防性养护时机方案的经济比较选出最佳的方案,因而在费用组成中不需要考虑完全相同或差别不大的费用项目<sup>[4]</sup>,对目前尚无条件考虑的费用(如事故费)亦排除在外。因此,本研究的费用分析主要考虑:日常养护费、预防性养护费、路面残值、燃油消耗费、轮胎消耗费和保修费。

#### 1.2.1 日常养护费用

日常养护费用在生命周期费用分析中是一项难以准确估算的费用。本文参考中国典型的日常养护费用模型为

$$C_{mi} = a + b(100 - P_{ci})T_i \quad (1)$$

式中: $C_{mi}$ 为第*i*年年养护费用(元/ $m^2$ ); $P_{ci}$ 为第*i*年路况指数; $T_i$ 为第*i*年平均日交通量; $a$ 、 $b$ 均为参数,可根据实际情况进行标定。

#### 1.2.2 路面残值

路面残值可按多种方法近似计算,这里按剩余寿命占预期使用寿命的比例确定<sup>[5]</sup>为

$$C_S = (1 - L_A/L_E)C_r \quad (2)$$

式中: $C_S$ 为路面残值; $L_A$ 为最后一次养护的施工年份到寿命周期末(或分析期末)的年数; $L_E$ 为该养护措施的预期使用寿命; $C_r$ 为该项措施的修建费用。

#### 1.2.3 用户费用

(1)燃油消耗费用。根据不同路况与油耗的关系<sup>[6]</sup>,油耗费用计算模型为

$$C_f = F_u(a + bI_{RI}) \quad (3)$$

式中: $C_f$ 为汽车百公里油耗费用(元/100km); $F_u$ 为燃油单价(元/L); $a$ 、 $b$ 均为回归系数; $I_{RI}$ 为国际平整度指数(m/km)。

(2)轮胎消耗费用。根据不同路况与轮胎消耗的关系,轮耗费用计算模型为

$$C_t = P_t \sum_{i=1}^n T_i(a_0 + a_1 I_{RI}) \quad (4)$$

式中: $C_t$ 为轮耗费用(元/1 000 km); $P_t$ 为新轮胎价格; $a_0$ 、 $a_1$ 均为回归系数。

(3)保修费用。保修费用模型为

$$C_{PC} = \sum_{i=1}^n T_i P_{vi} e k (1 + f I_{RI}) M K_p \quad (5)$$

式中: $C_{PC}$ 为车辆保修费用; $P_{vi}$ 为第*i*种类型车辆的价格; $e$ 、 $f$ 均为模型的回归系数; $k$ 为维修费系数; $K_p$ 为车龄指数或车辆老化系数; $M$ 为车辆的累计行驶里程。

### 1.3 分析方法

本文采用类似于效益费用比方法的效果费用比方法进行分析,该方法采用某养护措施的使用效果和为达到此效果所需的费用之比来评价某养护措施的有效性。

## 2 预防性养护时机模型的建立

### 2.1 路面性能指标的最低可接受水平

根据预防性养护的概念,应用预防性养护太早或太晚都不能使路面性能达到最好<sup>[7-8]</sup>,采取预防性养护措施时,性能指标的最低可接受水平就是在计算效果面积时表征路况性能的指标在*y*轴的上限或下限,如图1所示。

对于不同的养护部门和不同的养护项目,性能指标的最低可接受值是不一样的,最低可接受水平也是比较难以确定的,通常考虑需要大修时的路况水平。如果不能确定如何选择最低可接受服务水平,建议采用养护规范推荐的评价等级为良的值。

### 2.2 分析周期的选择

不同的预防性养护措施具有不同的生命周期,

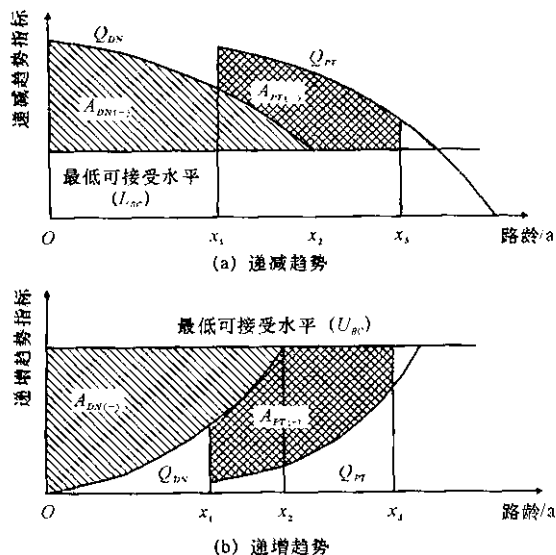


图1 效果面积计算示意图

即是同一养护措施实施的时间不同,其生命周期也是不同的。对同一养护措施的不同实施时间方案比选时,为了消除年限的影响,可以规定在一个相同的期限(即分析期)内进行寿命周期费用分析。其选定的期限长短对寿命周期费用分析的结果有一定的影响。本文通过比较各方案的服务寿命,取服务寿命最短的年限为分析期限。

### 2.3 效果权重系数

在效果分析中采用多个路况指标时,就需用权重系数将不同路况指标的效果结合起来综合考虑。在应用效果权重系数计算综合效果时,每个路况指标都分配一个介于0~100%之间的系数,各指标的系数之和为100%。各路况指标的效果乘以其权重系数之和就是此预防性养护措施所带来的全部效果。确定权重系数可采用主客观组合赋权方法。

### 2.4 效果计算

采取预防性养护所带来的效果通过路况指标来评价,如国际平整度指数(IRI)、道路现行服务指数(PS)、路面破损状况指数(PCI)等,根据路况性能指标曲线的变化来计算。不同的预防性养护措施带来的效果不同。对于某一特定指标,其效果就是采用预防性养护后,此指标的性能衰变曲线下的面积与未采取预防性养护措施时此指标性能曲线下的面积之差,如图1所示。

#### 2.4.1 未采取预防性养护措施时的面积计算

(1)呈递减规律的性能曲线的积分面积公式为

$$A_{DN(-)} = \int_0^{x_2} (Q_{DN} - L_{BC}) dx \quad (6)$$

式中: $A_{DN(-)}$ 为未采取预防性养护措施时呈递减规律的性能曲线的积分面积; $Q_{DN}$ 为未采取预防性养

护措施时的性能指标曲线方程; $L_{BC}$ 为性能指标的最低可接受水平(下限); $x_2$ 为未采取预防性养护措施的性能曲线与最低可接受水平曲线的相交点。

(2)呈递增规律的性能曲线的积分面积公式为

$$A_{DN(+)} = \int_0^{x_2} (U_{BC} - Q_{DN}) dx \quad (7)$$

式中: $A_{DN(+)}$ 为呈递增规律的性能曲线的积分面积; $U_{BC}$ 为性能指标的最低可接受水平(上限)。

#### 2.4.2 采取预防性养护措施后的效果面积计算

采取预防性养护措施后的路况性能曲线方程中的 $x$ 值,表示采取养护措施后的计算时间,而不是路龄。

(1)呈递减规律的性能曲线的效果面积公式为

$$A_{PT(-)} = \int_0^{x_3-x_1} (Q_{PT} - L_{BC}) dx - \int_{x_1}^{x_2} (Q_{DN} - L_{BC}) dx \quad (8)$$

式中: $A_{PT(-)}$ 为采取预防性养护措施后呈递减规律的性能曲线的效果面积; $x_3$ 为分析期末; $Q_{PT}$ 为采取预防性养护措施后的性能曲线方程。

(2)呈递增规律的性能曲线的效果面积公式为

$$A_{PT(+)} = \int_0^{x_3-x_1} (U_{BC} - Q_{PT}) dx - \int_{x_1}^{x_2} (U_{BC} - Q_{DN}) dx \quad (9)$$

式中: $A_{PT(+)}$ 为采取预防性养护措施后呈递增规律的性能曲线的效果面积。

#### 2.4.3 各性能指标的效果计算

当采用多路况指标同时进行分析时,由于不同的路况指标的单位不同,在将单项指标效果转化为综合指标时比较困难。为解决此问题,通过单项指标效果面积与其未采取养护措施时的路况指标曲线积分面积之比,将其效果标准化。单项指标效果标准化后以百分率表示为

$$E_{Ri} = \frac{A_{PT(i)}}{A_{DN(i)}} \times 100\% \quad (10)$$

式中: $E_{Ri}$ 为单路况指标效果, $i$ 为1~ $n$ 中的第 $i$ 个指标; $A_{PT(i)}$ 为采取养护措施后性能曲线的效果面积; $A_{DN(i)}$ 为未采取养护措施的性能曲线的积分面积。

### 2.5 确定最佳养护时机

最佳养护时机就是费用最小而效果最大,即 $E/C$ 最大,这是最佳的养护时机。

为了使效果费用比的实际值更有意义,采用效用指标( $E_u$ )来评价。效用指标是用每个方案的效果费用比与最大的效果费用比的比率来表示。效用

指标为

$$E_{ui} = \frac{(E/C)_i}{(E/C)_{\max}} \times 100 \tag{11}$$

式中: $E_{ui}$ 为第*i*个时间方案的效用指标; $(E/C)_i$ 为第*i*个方案的效果费用比; $(E/C)_{\max}$ 为养护时间方案中效果费用比的最大值。

3 实例分析

某高速公路于 1997 年建成通车,2000 年年初进行了罩面。为了使路况保持在较好的水平,决定对其实施稀浆封层进行预防性养护。现以 2000 年作为分析周期的开始,拟定养护方案,通过经济分析和评价,选择养护时机。

3.1 预防性养护方案的制定

依据路况、交通量及经验,选择 1cm 厚国产改性稀浆封层为预防性养护方案,根据路况衰减规律制定其养护时机,路面寿命为 4、5、6、7 a 时(从 2000 年算起),分别对应于方案 1、方案 2、方案 3、方案 4。图 1 中的  $x_1$  分别为 4、5、6、7。

3.2 效果计算

3.2.1 选择路况指标

由于预防性养护不能提高路面结构能力,只能提高道路的行驶质量,因此本文对采用稀浆封层的效果用[PCI]和[IRI]来衡量。

根据《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ073.2-2001),[PCI]的最低可接受水平为[PCI]≥70;[IRI]的最低可接受水平为[IRI]≤6。

3.2.2 不采取预防性养护措施时指标的衰变曲线

在中国,一般路面初、早期的使用性能下降较快,而后期变化较慢,使得路面性能曲线呈凹型曲线。由于指数曲线与凹型曲线具有很好的拟合性,故本文采用负指数曲线对[PCI]进行回归拟合,采用指数曲线对[IRI]进行回归拟合,建立预测模型,其表达式为

$$[PCI] = 100e^{-ax} \tag{12}$$

$$[IRI] = ce^{bx} \tag{13}$$

式中: $a$ 、 $b$ 、 $c$ 均为回归系数。根据调查的该路段路况资料(表 1),用 Excel 对调查的数据进行回归标定,得到未采取预防性养护措施[PCI]的性能衰变方程  $y = 100e^{-0.0473x}$ ;[IRI]的性能衰变方程  $y = 1.73e^{0.06x}$ 。

表 1 路况调查数据

路况指标	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年
[PCI]	98.35	88.63	84.98	82.57
[IRI]	1.883	1.916	2.021	2.201

3.2.3 采取预防性养护措施后各指标的衰变曲线

根据附近路段采取稀浆封层作为预防性养护措施时收集的路况指标数据,采用经验回归法预测采取稀浆封层后[PCI]和[IRI]的衰变情况(表 2)。

表 2 采取预防性养护措施后的性能曲线方程

采用养护措施时的路龄/a	[PCI]	[IRI]
4(方案 1)	$y = 100e^{-0.0583x}$	$y = 1.71e^{0.063x}$
5(方案 2)	$y = 100e^{-0.0456x}$	$y = 1.75e^{0.058x}$
6(方案 3)	$y = 100e^{-0.0483x}$	$y = 1.81e^{0.058x}$
7(方案 4)	$y = 100e^{-0.0556x}$	$y = 1.83e^{0.063x}$

3.2.4 达到最低可接受水平时的时间计算

应用各方案的路面性能曲线方程作图(图形略),得出[IRI]达到最低可接受水平时的时间比[PCI]晚。所以[PCI]达到最低可接受水平的时间就是此方案达到最低可接受水平的时间。

根据各方案的路面性能指标衰变曲线方程,取[PCI]=70,经计算,不采取预防性养护措施时达到最低可接受水平时的路龄为 7.5 a;采取预防性养护措施后各方案[PCI]达到最低可接受水平时  $x$  值分别为 6.1、7.8、7.4、6.4,相应的路龄分别为 10.1 a、12.8 a、13.4 a、13.4 a。

3.2.5 未采取养护措施时的性能曲线面积计算

根据式(6)有

$$A_{DN(-)} = \int_0^{7.5} (100e^{-0.0473x} - 70)dx = 106.40$$

3.2.6 采取养护措施后的效果面积计算

从上面的计算结果可知,方案 1 在道路使用寿命为 10.1 a 时,最早达到最低可接受水平,故采用 10 a 作为分析周期,即图 1 和式(8)中的  $x_3 = 10$ 。

根据式(8)计算,采取预防性养护措施后各方案的效果面积分别为:170.74,192.37,186.10,172.22。

3.2.7 效果计算

4 种养护方案分别在路龄为 4 a、5 a、6 a、7 a 的时候采取稀浆封层,其各方案的效果面积按式(10)计算,结果见表 3。

3.3 不同预防性养护时机的生命周期费用的计算

3.3.1 预防性养护措施费用

根据当地经验及定额计算,中国产改性稀浆封层厚度为 1 cm 时,其成本为 27.531 万元/km。

3.3.2 日常养护费用

在 2001、2002、2003 年,当地养护部门对此路段投入的年日常养护费用分别为:1.1(元/m<sup>2</sup>),1.27

(元/m<sup>2</sup>),1.41(元/m<sup>2</sup>)。则各养护时机方案的日常养护费用,根据交通量和[PCI](表1)数据,采用最小二乘法对其系数进行标定,按照式(1)进行估算。

3.3.3 路面残值

根据路面残值计算式(2),各方案的  $L_A$  分别为 6、5、4、3;  $L_E$  分别为 6.1、7.8、7.4、6.4;  $C_r$  为 27.531;则路面残值分别为 0.451 3、9.883 0、12.649 4、14.625 8。

3.3.4 用户费用

用户费用即燃油消耗费、轮胎消耗费和保修材料消耗费 3 项。分别按式(3)、式(4)、式(5)计算。

3.4 选择最佳养护时机

4 种方案在分析期内不同时间支出的费用,按贴现系数换算为现值(以 2000 年为基准年),贴现率取 8%。效果费用比的计算结果见表 3。

表 3 效果费用比

采取养护措施时的路龄/a	效果/%	费用/(万元·km <sup>-1</sup> )	效果费用比/%	效用指标 $E_{ui}$
4(方案 1)	60.47	2 511.849 8	0.024 1	75
5(方案 2)	80.80	2 503.503 4	0.032 3	100
6(方案 3)	74.91	2 506.809 9	0.029 9	93
7(方案 4)	61.86	2 511.889 5	0.024 6	76

注:表中的费用=预防性养护费+日常养护费+用户费用—路面残值

由表 3 可看出,该路段从分析周期开始时算起,路面寿命为 5 a 时采取稀浆封层作为预防性养护措施的效果费用比最大,此时即为采取稀浆封层作为预防性养护措施的最佳养护时机。

4 结 语

(1)生命周期费用分析是一种选择预防性养护时机的有效工具,对所选择的预防性养护时机方案进行寿命周期费用与效果分析,并以效果费用比最大作为经济控制指标是一个较好的考虑路面使用性能和费用的方法。

(2)根据公路预防性养护工程的特点,建立的确 定最佳预防性养护时机的效果费用比计算模型、生命周期费用计算方法、效果量化方法和确定预防性

养护时机最佳方案的方法等,对公路养护部门制定合理的预防性养护计划具有指导意义。

(3)在路面使用性能预测和生命周期费用分析中含有许多不确定因素,因此运用中应结合工程实际论证选取,以使分析结果更加科学合理。

参考文献:

References:

[1] Federation of Canadian Municipalities. Timely preventive maintenance for municipal road primer [R]. Ottawa: Federation of Canadian Municipalities,2003.

[2] Robert M D, Jim S. Insights into pavement preservation[R]. Washington: Federal Highway Administration, 2003.

[3] 董瑞琨,孙立军,彭 勇. 路面预防性养护时机确定方法探讨[J]. 中国安全科学学报,2004,14 (3):31-35. DONG Rui-kun, SUN Li-jun, PENG Yong. Probe into determination of the appropriate time of pavement preventive maintenance [J]. China Safety Science Journal, 2004, 14 (3):31-35.

[4] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 上海:同济大学出版社,2003. SUN Li-jun. Theory of asphalt pavement structure [M]. Shanghai:Tongji University Press, 2003.

[5] 姚祖康. 路面管理系统[M]. 北京:人民交通出版社, 2001. YAO Zu-kang. Pavement management system [M]. Beijing: China Communications Press,2001.

[6] Peshkin D G, Hoerner T E, Zimmerman K A. Optimal timing of pavement preventive maintenance treatment applications [R]. Washington: NCHRP Report 523,2005.

[7] Andrew V B, Rick D, Andrew S, et al. Public benefits of highway system preservation and maintenance [R]. Washington: NCHRP SYNTHESIS 330,2004.

[8] 张永清,贾双盈. 高等级公路沥青路面性能评价方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(2):11-15. ZHANG Yong-qing, JIA Shuang-ying. Evaluation method for asphalt pavement performance of freeway [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005,25(2):11-15.