

文章编号:1671-6833(2007)02-0019-04

水泥混凝土路面寿命周期费用分析养护决策研究

侯航舰¹, 周文献²

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 上海市公路管理处, 上海 200063)

摘要: 介绍了基于寿命周期费用分析方法的路面养护维修决策概念, 系统阐述了该方法的考虑因素和分析过程, 着重探讨了养护维修决策中的分析方法、费用组成以及维修效果等问题, 并讨论了不同投资主体下的分析方法的差异, 介绍了养护费用、用户费用(包括轮耗、油耗及保修材料消耗)和残值费用模型, 最后给出了寿命周期费用分析方法简单算例。

关键词: 寿命周期费用; 水泥混凝土路面; 养护决策; 分析方法

中图分类号: U 418.6

文献标识码: A

0 引言

我国从80年代开始进行水泥混凝土路面的发展。而若干年来国内对水泥混凝土路面养护和维修的研究重点集中在路面维修工艺和维修材料上, 对路面养护、维修对策的系统研究则较少。国内也有学者建立了一些路面养护维修决策树方法, 对路面管理起到了一定的作用, 但是决策树毕竟是基于经验方法得到的, 因此不具有广泛的应用性, 另外, 无法定量的证明对策树提供的方法是最为经济合理的^[1]。

寿命周期费用分析是以经济分析原理为基础来评价可选投资方案的长期经济效率的一种技术, 其目的是获得满足所要求性能目标下的长期费用最低的方案^[2]。在国内, 寿命周期费用分析方法在水泥混凝土路面养护和维修研究和应用还较少。

就水泥混凝土路面而言, 预防性养护比矫正性养护具有更为重要的意义, 因此经常面临这样一个选择: 是在路面性能较好时花较少的钱使路面性能维持在较高的水平上, 还是在路面性能达到较差时再进行养护使路面性能维持在较低的水平。究竟采用哪种维修对策组合才是最优的, 纯粹的性能分析或经验判断难以给出明确的答案, 只有借助寿命周期费用分析方法, 才能从全局的角度获得养护维修满足性能要求, 经济合理的最佳对策^[3-4]。

水泥混凝土路面寿命周期费用分析决策方法, 就是指在选择水泥混凝土路面养护维修对策时, 不仅考虑初始维修时的性能和费用, 而且还应考虑路面在养护维修后的性能和费用, 即在分析期内寻找满足经济优化目标的最佳路面养护维修措施。

1 分析方法^[5]

1.1 现值法

现值法指的是把分析期内发生在不同时间的费用和效益按某一预定的贴现率转换为现在的费用和效益, 以便于共同的基础上进行比较。现值法包括费用现值法和净现值法两种, 考虑到与道路相关的某些效益难以计量, 这里仅计及费用而不考虑效益, 即采用费用现值法。根据不同决策目的需要, 将决策方法分为两类。

(1) 财务分析。对于公司制收费公路, 所追求的是分析期内效益最大化, 即效益净现值最大化。这种公路主要费用是管理费用、路面养护维修费用等, 具体为: 措施费单价和前期清理费(挖除或打碎); 效益主要是公路收费。

(2) 国民经济分析。对于公用事业公路, 要进行国民经济分析, 这时考虑的费用包括: 管理部门费用、用户费用、外部费用。其中管理部门费用包括养护维修费用等; 用户费用包括车辆运营费用、车辆延误费; 外部费用包括噪声、交通事故、环境污染等。

收稿日期: 2007-01-10; 修订日期: 2007-03-28

作者简介: 侯航舰(1972-), 男, 河南周口人, 同济大学博士研究生, 主要从事公路路基及路面工程方面的研究。

需要指出的是,采用这两种方法得出的决策可能不同,这主要是因为决策主体不同造成的。

1.2 年费用法

上述方法都是基于相同分析期考虑的。当每个备选对策的性能期不同时,也可以采用年费用方法来比较。为了使不同对策之间具有可比性,可将各个结构对策性能期内的现金流按基准贴现率贴现成等额年值进行比较,并认为费用年值最小的对策最优。其中等额资金恢复系数用下式计算:

$$crf_{i,y} = \frac{i(1+i)^y}{[(1+i)^y - 1]} \quad (1)$$

式中: i 为贴现率; y 为性能期长度。

2 费用组成

路面养护维修寿命周期费用分析考虑的费用主要包括:养护费用、用户费用和残值等。对于不同对策相接近的费用如管理费用等,分析时可以不予考虑。

2.1 养护费用模型^[6-7]

养护费用是指路面使用性能保持在预定水平上而进行的日常预防性养护和修补工作所需要的费用。北京地区的养护费用模型如式(2)所示,考虑到地区差异、养护材料价格和工价等的不同,各地可以根据实际情况对下式进行修正。

$$MC_i = 0.34 + 3.44 \times 10^{-6} \times (100 - PCI_i) AADT_i \quad (2)$$

式中: $AADT_i$ 为第*i*年平均日交通量; PCI_i 为第*i*年路面状况指数; MC_i 为第*i*年养护费用,元/ m^2 。

2.2 用户费用模型^[6-7]

用户费用是用户在使用道路时所支出的费用,主要包括燃料消耗、轮胎消耗以及保修材料等资源消耗的费用。

2.2.1 油耗模型

参照世界银行在巴西的油耗试验方法和成果,同济大学在广东汕头和浙江杭州进行了油耗试验。试验考虑了车型、路面平整度和速度3个变量,通过分析与标定最终确定了油耗-平整度关系模型为

$$FL = a + bIRI \quad (3)$$

式中: FL 为百公里油耗($L/100\text{ km}$); a 、 b 为回归系数; IRI 为国际平整度指数, m/km 。

2.2.2 轮耗模型

轮耗是车辆运营费的主要组成部分之一,较为典型的是HDM-Ⅲ中的轮耗模型,它是采用力学-集成法建立的。同济大学根据我国的调查数

据对该轮耗模型进行了标定,后又按此思路和步骤,补充了新的调查资料,重新标定了HDM-Ⅲ轮耗模型,使之适合我国的实际情况,见式(4):

$$TC = NT \left[\frac{(1 + RREC \cdot NR) TWT \cdot k_1}{(1 + k_2 \cdot NR) VOL} + 0.002 \right] \quad (4)$$

式中: TC 为每千车公里当量新轮胎消耗数; NT 为每辆车的轮胎数,条; $RREC$ 为轮胎翻新一次的费用与一条新轮胎价格的比值; NR 为翻新次数; TWT 为轮胎磨损, $dm^3/(胎 \cdot km)$; VOL 为胎面可磨损体积, dm^3 ; k_1 为回归系数; k_2 为轮胎系数, $k_2 = 0.77$ 。

而对于小型客车,由于数据无法调查,所以,仍采用KDM-Ⅲ中的模型,即

$$TC = NT(0.01165 + 0.001781IRI) \quad (5)$$

2.2.3 保修材料消耗模型

车辆保修费用包括车辆维修的料耗费、人工费等,保修材料消耗模型是车辆运营成本的重要组成部分。我国采纳了世界银行的HDM-Ⅲ模型。同济大学采用我国车辆用户运营成本的实际调查数据,标定了HDM-Ⅲ中的料耗费模型参数,并由此建立了料耗费用模型,见式(6):

$$PC = e \cdot k \cdot \exp(f \cdot IRI) \cdot CKM^{K_p} \quad (6)$$

式中: e 、 f 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; PC 为每千车公里的维修费用与该种车型当时的新车价格的比值; CKM 为车辆的累计行驶里程; IRI 为道路平整度指数。

2.3 残值

残值指的是到分析期末对策性能还没有下降到最低可接受水平,即路面还具有剩余使用寿命,这部分剩余寿命所具有的价值就是残值。路面残值通常可以采用剩余使用寿命占预期使用寿命的比例确定,见式(7):

$$SV = \left(1 - \frac{L_A}{L_E} \right) C_r \quad (7)$$

式中: L_A 为对策施工年份到分析期末的年份; L_E 为对策的性能期长度; C_r 为对策施工时费用; SV 为残值。

2.4 其它费用

在进行财务分析时,不同方式的维修对交通的影响有些时候也会影响养护维修决策。长期的交通中断会造成收费公路收入的急剧减少,因此公路管理部门是难以接受的。因此在进行寿命周期费用分析时,这方面的影响也应该考虑。

3 算例

某水泥混凝土路面,双向四车道,板块尺寸 5 m×3.75 m,41 km 长,使用了 8 年,路面使用性能较差,交通量 AADT=11 000。具体状况如下:①路面 PCI=70,平整度 8.1;②接缝料大部分损坏,错台较多;③唧泥现象,边缘排水系统需要维修。

对策 A:水泥混凝土换板。预期寿命为 5 年,年值为 4 365 356 元。

对策 B:隔离式水泥混凝土加铺(PCC)。预期寿命为 15 年,年值为 7 302 266 元;

对策 C:打碎后加铺沥青层(AC)。预期寿命为 8 年,年值为 14 460 737 元。

各对策主要工程量及费用见表 1。算例材料和结构单价见表 2^[8-9]。

现在有 3 个备选对策:一是通过换板维持路面的性能;二是进行加铺;三是加铺沥青层^[9-11]。设定分析期为 20 年,折现率为 6%,预期使用寿命参照经验确定。

解:首先采用国民经济分析的方法将对策的现金流量折算成净现值,然后由式(1)用等额资金恢复系数乘之,就可以得到年度等值。3 种对策的比较结果见图 1。

因为对策比选不需要知道每个对策的精确现值,因此在此仅把费用组成中明显不同的部分进行了比较,对于诸如边缘排水维修、路肩维修等费用差别不大的部分未计及。

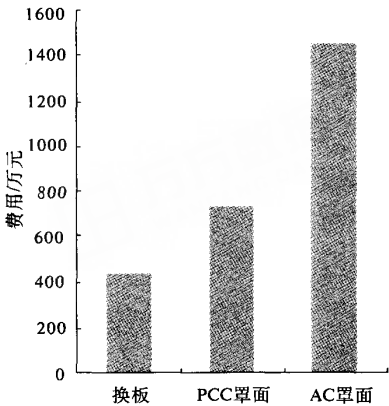


图 1 3 种维修措施寿命周期费用分析结果
Fig.1 The analysis of the life-cycle expenditure of three maintenance measures

在本算例中,并未考虑用户费用,但在实际的决策过程中,这方面的费用影响不可忽视。一般而言,对策 B 和对策 C 对路面平整度改善较对策 A 明显,因此它们的用户费用也比对策 A 小。如果考虑用户费用,决策结果可能会有所不同。

表 1 对策 A、B 及 C 工程量及费用表
Tab.1 Project amount and cost in method A, B & C

对策	主要工作	工作量	工程量	各项费用/元	费用现值/元	等额恢复系数
A	换板	15%	92 250 m ²	11 992 500	11 992 500	0.237 396
	接裂缝填封	80%	123 000 m	246 000	246 000	0.237 396
	板底压浆	40%	246 000 m ²	6 150 000	6 150 000	0.237 396
	边缘排水维修	沿边缘车道	—	—	—	—
	路肩维修	沿边缘车道	—	—	—	—
B	换板	15%	92 250 m ²	11 992 500	11 992 500	0.102 963
	压浆	40%	246 000 m ²	6 150 000	6 150 000	0.102 963
	下封层	1 cm	615 000 m ²	2 878 200	2 878 200	0.102 963
	加铺层	22 cm	615 000 m ²	45 436 200	45 436 200	0.102 963
	换板(10 年)	10%	61 500 m ²	7 995 000	4 464 366	0.102 963
	边缘排水维修	沿边缘车道	—	—	—	—
C	路肩维修	沿边缘车道	—	—	—	—
	破碎	全部路面	615 000 m ²	4 920 000	4 920 000	0.161 036
	下封层	1 cm	615 000 m ²	2 878 200	2 878 200	0.161 036
	基层	18 cm	615 000 m ²	14 311 050	14 311 050	0.161 036
	面层	8 cm	615 000 m ²	50 639 100	50 639 100	0.161 036
	薄层罩面(4 年)	4 cm	615 000 m ²	21 525 000	17 049 816	0.161 036
	边缘排水维修	沿边缘车道	—	—	—	—
	路肩维修	沿边缘车道	—	—	—	—

表 2 算例中所用材料单价

Tab.2 Unit price of the materials used in sample calculation

项目	单位	价格/元
旧水泥路面破碎	m ²	8.00
防水隔离层	m ²	4.68
接缝填封	m	2.00
板底压浆	m ²	25.00
换板	m ²	130.00
级配碎石基层	15 cm 厚/m ²	16.03
5% 水泥稳定粒料基层	15 cm 厚/m ²	23.27
沥青混凝土基层	4 cm 厚/m ²	34.88
沥青碎石基层	8 cm 厚/m ²	58.99
水泥面层 4.0	22 cm 厚/m ²	70.32
水泥面层 4.0	22 cm 厚/m ²	76.43
水泥面层 4.5	22 cm 厚/m ²	73.88
水泥面层 4.5	22 cm 厚/m ²	79.99
水泥面层 5.0	22 cm 厚/m ²	77.58
水泥面层 5.0	22 cm 厚/m ²	83.70
沥青下封层	1 cm 厚/m ²	5.94
沥青下面层(AC-25I)	6 cm 厚/m ²	47.78
沥青中面层(AC-20I)	4 cm 厚/m ²	35.98
改性上面层(SMA-13)	4 cm 厚/m ²	46.36

表 2 中材料单价为广东某地价格,并不代表各地价格都是如此. 仅就广东省而言,各地价格差异也比较大,这些差异对决策结果会造成不同程度的影响.

A Study on Decision Making of Cement Concrete Pavement Maintenance on the Basis of the Analysis of Life - cycle Expenditure

HOU Hang - jian¹, ZHOU Wen - xian²

(1. Key Laboratory of Road and Transportation Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Highway Administration of Shanghai, Shanghai 200063, China)

Abstract: In this article, the author first introduces concepts about decision making of cement concrete pavement maintenance on the basis of the analysis of life cycle expenditure. While providing a systematic explanation of the factors involved in decision - making as well as the analysis process, the emphasis is placed on some problems occurring in analyzing the maintenance method such as analysis method, expenditure components, and maintenance result. In addition, differences between various analyzing methods in accordance with different types of investors are expounded. After an introduction to the models of maintenance cost, users' cost (including the consumption of tire, petrol and materials used in car maintenance) and scrap value of the road, the article concludes with a sample calculation of the analysis methods of life - cycle expenditure.

Key words: life - cycle expenditure; cement concrete pavement; decision making of maintenance; analysis method

参考文献:

[1] 姚祖康. 路面管理系统[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.

[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.

[3] 交通部公路司. 新理念公路设计指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.

[4] 交通部公路司. 降低造价公路设计指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.

[5] 严作人, 孙立军. 道路工程经济与管理[M]. 上海: 同济大学出版社, 1994.

[6] JAMES P S. 贝叶斯统计学: 原理、模型及应用[M]. 北京: 中国统计出版社, 1992.

[7] 毕艳祥. 道路设施使用性能预估模型研究[D]. 上海: 同济大学, 1999: 15 - 30.

[8] 交通公路工程定额站. JTG H 40 - 2002 公路养护工程预算编制导则[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002.

[9] 江苏省交通厅公路局, 水泥混凝土路面技术委员会. JTJ 073.1 - 2001 公路水泥混凝土路面养护技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

[10] 刘毅, 毛建. 水泥混凝土路面早期病害成因及防治对策评述[J]. 中南公路工程, 2000, (2): 24 - 25.

[11] 郑勇驻. 旧水泥混凝土路面补强设计过程与方法[J]. 公路, 2005, (7): 95 - 98.