

文章编号:1671-8879(2014)03-0128-05

# 考虑环境影响的全寿命公路成本分析

张 杰<sup>1</sup>,王京京<sup>2</sup>,刘 凯<sup>1</sup>

(1. 北京交通大学 交通运输学院,北京 100044; 2. 北京交通大学 土木建筑工程学院,北京 100044)

**摘 要:**根据中国公路现状,运用公路全寿命周期成本(life cycle cost, LCC)分析方法,建立了公路全寿命周期成本计算模型。将公路的全寿命周期成本划分为建设期成本、运营期成本和弃置成本,并采用生命周期环境影响的清单分析,结合社会支付意愿法,着重分析了运营期内的环境成本;以内蒙古某高速公路为例,计算出公路运营期间的环境成本在全寿命周期成本中占有相当的比重。研究表明:适当增加公路初始建设成本,可以极大降低公路后期维护成本,环境成本在公路全寿命周期成本内所占的比重不容忽视,环境成本货币化有利于明确道路建设的环境影响,应纳入成本核算中。

**关键词:**交通工程;公路;全寿命;环境成本;支付意愿法

**中图分类号:**U491;F540

**文献标志码:**A

## Highway life-cycle cost analysis with environment impact considered

ZHANG Jie<sup>1</sup>, WANG Jing-jing<sup>2</sup>, LIU Kai<sup>1</sup>

(1. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Highway whole life cycle cost model was established by using life-cycle cost(LCC) analysis based on the status of highway in China. According to the model, the whole life cycle cost related to highway transportation could be divided into construction cost, operation cost and disposal cost. Besides, the calculation of the environmental cost during operation period using LCA inventory calculation model and the willingness-to-pay(WTP) method was focused on. Furthermore, taking a highway in Inner Mongolia as an example, the calculated environmental cost of during operation period accounted for a high proportion of total life cycle cost. The results show that an appropriate increase in the highway initial construction cost can greatly reduce the cost of its later maintenance and environmental costs in the whole life cycle cost of the highway can not be ignored. It is demonstrated that monetization of environmental cost is propitious to ascertain the environmental impact on highway construction, which should be brought into cost accounting. 3 tabs, 1 fig, 11 refs.

**Key words:** traffic engineering; highway; life cycle; environmental cost; willingness to pay (WTP)

## 0 引 言

传统的公路建设项目经济评价,是根据相关技

术经济政策和国民经济发展规划的要求,结合工程技术和交通量预测情况,计算项目的投入费用和产出效益。在公路全寿命期,因公路在使用过程中功

能退化、质量下降而引起后期维修、加固成本和用户费用过高的现象,给管理工作带来经济负担,也给公路设施的运营带来极大的风险。

公路全寿命周期成本分析,是计算公路从设计方案、施工建造到运营维护,直至拆除的完整生命周期内的成本总和,是用一种整体性和长远性相结合的角度来核算公路工程涉及的各项费用的方法。对设计人员或是管理养护人员,运用全寿命周期成本(Life Cycle Cost, LCC)分析均可长远统筹公路的性能与成本。不论是在寿命前期采取提高公路建造初始的性能,还是加强生命周期中期运营阶段的各项维护措施,使用生命周期成本分析,都可以更合理地考虑经济效益,避免公路生命周期管理中的“短视”和“错觉”<sup>[1]</sup>。近年来,考虑到中国在材料加工、生态产品等领域开展了生命周期环境影响成本分析研究,并参考国际标准化组织环境管理体系(ISO14000)方法,有学者将环境影响转化为实际货币量,从而推动了考虑环境影响的公路全寿命周期成本分析<sup>[2-4]</sup>。

以往研究中关于环境成本,多集中于在理论上探讨交通运输外部性构成及其内部化方法,很少有关于道路交通环境成本核算方法的研究。根据Neuenschnder等估算,在交通外部成本构成中,空气污染、噪声以及其他的环境效应所产生的环境成本占国内生产总值的比例分别为0.4%~0.7%、0.1%~0.6%、0.1%~0.5%。中国公路的环境成本估算与公路工程的环境影响评价进展密切相关。晏晓林应用层次分析法筛选了公路工程的环境经济评价指标,探讨了高等级公路建设的环境损益<sup>[5]</sup>;张新宇等在OECD有关研究结果的基础上,对中国交通运输外部成本评估及内部化策略进行了理论探讨<sup>[6]</sup>;吕正显等从环境承载力的角度进行分析,认为公路交通的外部成本远大于铁路、水运和航空<sup>[7]</sup>;邓欣等以北京为例,采用支付意愿法评估了区域上的道路运输外部成本<sup>[8]</sup>。

基于此,本文根据中国公路现状和公路全寿命周期成本(LCC)分析方法,建立了公路全寿命周期成本分析模型;对公路全寿命周期成本分析的内容构成进行分析,并按不同阶段成本及其特点,给出了构成划分和相应部分的计算。在运营期成本中,对环境成本的计算,采用了社会支付意愿的算法,对环境成本重新进行了考量。

## 1 公路全寿命周期成本的计算方法

### 1.1 公路全寿命周期成本计算步骤

完整的公路全寿命周期成本,应考虑从公路的

规划设计开始到弃置使用、寿命终止时,整个全寿命周期内所发生的建设、管理、维修和养护单位支付的成本,以及公路设施在建设、运营、管养中给用户和社会带来的额外支付的成本。公路生命周期成本计算共分为以下3个步骤:

(1)依照公路寿命期,对各阶段成本进行划分;

(2)对整个寿命期的资金流入和成本支付进行梳理和统计;

(3)分项计算不同类型的成本,最终得到总的生命周期成本。

### 1.2 公路全寿命周期成本计算模型

根据公路生命周期成本分析,可将中国公路设施全寿命周期成本划分为三大类成本:建设期成本、运营期成本、弃置成本。其中运营期成本包括管理成本、养护成本、专项检测成本、维修成本、用户成本、环境影响成本和保险成本。

#### 1.2.1 建设期成本计算模型

公路建设期成本指该工程从开始规划到施工阶段涉及到的管理、规划、设计、施工等发生的费用。根据《公路基本建设工程概算预算编制办法(JTG B06—2007)》,中国公路建设期成本包括:建筑安装工程费(直接费用、间接费用、利润以及税金)<sup>[9-10]</sup>,设备、工具、器具及家具购置费,工程建设其他费用,预备费4个部分<sup>[11]</sup>。

根据建设期成本的构成分析,建设期成本按式(1)进行计算

$$C_j = \sum_{i=1}^4 C_{ij} \quad (1)$$

式中: $C_j$  为建设期成本(万元); $C_{ij}$  中  $i=1, 2, 3, 4$  时,分别表示建筑安装工程费、设备工具器具及家具购置费、工程建设其他费用、预备费(万元)。

#### 1.2.2 运营期成本计算模型

运营期成本由管养成本、用户成本和环境影响成本构成。其中管养成本可细分为管理成本、专项检测成本、保险成本、养护成本和维修成本;用户成本则包括交通绕行、交通事故等造成的用户延误、货物损失的成本。

运营期成本模型构成如式(2)所示

$$C_Y = \sum_{j=1}^3 C_{Yj} \quad (2)$$

式中: $C_Y$  为运营期成本(万元); $C_{Yj}$  中  $j=1, 2, 3$  时分别表示运营期管养成本、运营期用户成本、运营期环境影响成本(万元)。

运营期管养成本计算模型如式(3)所示

$$C_{Y1} = \sum_{i=1}^5 C_{Y1i} \quad (3)$$

式中: $C_{Y1i}$  中  $i=1, 2, 3, 4, 5$  时,分别表示运营期

管理成本、运营期养护成本、运营期专项检测成本、运营期维修成本、运营期保险成本(万元)。

运营期用户成本计算模型如式(4)所示

$$C_{Y2} = \sum_{i=1}^3 C_{Y2i} \tag{4}$$

式中: $C_{Y2i}$ 中*i*=1,2,3时,分别表示运营期绕行造成的用户延误成本、运营期交通事故造成的用户延误成本和货损成本(万元)。

环境影响成本用  $C_{Y3}$  表示。环境影响成本的计算首先采用全寿命周期环境影响评价((life cycle assessment, LCA)清单分析得到环境影响指标,进而采用社会支付意愿法,对不同环境影响指标进行环境成本的计算。

1.3 公路环境影响成本的计算

公路环境影响成本计算使用的 LCA 方法中,计算过程复杂且涉及大量数据。鉴于可得数据和目前技术水平,做如下假定:

(1)钢筋、沥青与混凝土是目前建造公路所需的最主要的建筑材料,本文只考虑钢筋、沥青与混凝土 3 种建材,而忽略其他建材产生的环境影响;

(2)在公路设计阶段,并未产生实质性的能源消耗、资源消耗及其他环境影响,不考虑此阶段的环境影响;

(3)在运营维护阶段,因车辆正常行驶所产生的环境影响,将不包含在公路 LCA 的范围边界内。

公路全寿命周期的环境成本的计算步骤如下。

(1)进行清单分析:公路的清单分析主要依赖于建筑材料的能源输入、污染物输出清单及公路工程量清单。通过对材料、能源消耗量进行数据整理和分析,进而求得某公路在生命周期内材料和能源消耗清单,以及污染物排放清单。

(2)分类:分类是把清单分析结果划分到评价目的所涉及的全球变暖、酸化、水体富营养化、光化学烟雾、固体废弃物、化石能源消耗、矿产资源消耗、淡水资源消耗。

(3)特征化:环境影响潜值计算的特征化计算应包括对清单结果进行统一单位换算,并在一种影响类型内对换算结果进行合并。这一转换采用特征化因子,特征化的结果是 1 个量化指标,即影响潜力值。可依据式(5)计算

$$E_1(i) = \sum (M_j c_{ij}) \tag{5}$$

式中:*i* 为影响类型,如全球变暖、臭氧耗竭、酸化、富营养化、光化学烟雾等; $E_1(i)$  为环境影响特征值(kg·eq); $M_j$  为干扰物质 *j* 的 LCA 清单分析值(kg); $c_{ij}$  为干扰物质 *j* 对影响类型 *i* 的特征化因子(kg·eq/kg)。

采用社会支付意愿法计算环境成本

$$E_z = EE_{ZF}$$

式中: $E_z$  为总环境影响值; $E$  为环境影响值; $E_{ZF}$  为环境影响社会支付意愿值<sup>[12]</sup>。

1.4 弃置成本

弃置成本是指当公路设施寿命周期终了时,根据其剩余价值,需要弃置(部分或全部)、回收利用而产生的成本。主要由弃置时的人、机、料成本、废弃物处理成本及回收利用成本组成。

2 公路全寿命周期成本分析

以内蒙古某一级公路为案例,公路全线长 15.979 km,采用高速公路标准,设计速度 100 km/h,路基宽度 29 m,其路面组成为:中央分隔带宽 3 m,行车道宽 2×(3.5+2×3.75) m,路缘带宽 2×(0.75+0.5) m,土路肩宽 2×0.75 m,桥涵设计车辆荷载采用公路-I 级。其余技术指标均按《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)执行。

2.1 建设期成本分析

根据《某公路施工图预算—总预算表》可知,某公路第 1 部分建筑安装工程费 78 180.038 2 万元;第 2 部分工程设备及工具器具购置费 299.684 9 万元;第 3 部分工程建设其他费用 13 626.443 2 万元;根据《公路基本建设工程概算预算编制办法(JTG B06—2007)》中预留费计算方法,以第 1、2、3 部分费用之和为基数按照施工图预算费率 3% 计算,依此计算工程预备费用 2 602.936 5 万元。各项费用如表 1 所示。

在计算全寿命周期成本现值时,取建设期即为计算现值的基年,因此建设期成本不用进行折现。

表 1 某公路建设期成本

Tab.1 Cost of highway construction 万元	
建筑安装工程费	78 180.038 2
设备及工具、器具购置费	299.684 9
工程建设其他费用	13 626.443 2
基本预备费	2 602.936 5
建设期成本	94 709.102 8

2.2 运营期成本分析

管理成本主要包括 2 个部分:管理人员费用和管理服务费用。

根据内蒙古地区调查及评估结果分析,管理人员工资及管理服务费用单价约为 0.000 42 万元/(m<sup>2</sup>·年);公路总宽 29 m,长 15.979 km;公路达到正常使用年限,费用年折现率采取 7%,则管理成本可计算出为 1 896.7 万元。

养护成本主要包括 2 个部分,即养护人员费用

和其他养护费用,包括养护材料和检测工具的损耗费用。根据调查分析并参考地区统计数据,养护材料和检测工具的损耗费用单价约为 0.000 74 万元/(m<sup>2</sup>·年),养护成本可计算出是 3 341.81 万元;专项检测成本可计算出是 496.76 万元。

当公路运营到一定时间后,其耐久性将逐渐下降,为了保证公路工程结构各组成的可靠性,必须进行维修以保证工程的可靠和耐久所发生的成本。维修成本按不同组成部分来分类计算,维修成本估算为 7 677.14 万元。

用户成本共分为交通阻塞延误成本、绕行延误成本和事故货物损失成本 3 个计算部分。

根据交通项目运营期的用户成本计算模型,可以分别计算出交通绕行用户延误成本现值 C<sub>Y21</sub> 为 12 312.59 万元,交通事故用户延误成本现值 C<sub>Y22</sub> 为 14 120.08 万元,交通事故货物损失成本现值 C<sub>Y23</sub> 为 823.89 万元。

2.3 环境影响成本组成分析与计算

2.3.1 环境影响成本组成分析

由于管理不善或因为公路的养护、检测或维修而给周围环境带来噪声、土地破坏、水土流失、污染物或废弃物排入邻近水域或空气等污染,为处理环境污染而支付的环境影响改善成本,这些成本将随着人们对环境资源保护意识的增强而占有越来越高的比例。

2.3.2 环境影响成本计算

对本案例中的各排放清单进行分类特征化后,

计算出其环境影响潜值,并利用社会支付意愿法,计算出其环境影响值,如表 2 所示。

表 2 案例公路各环境影响类型影响值  
Tab. 2 Environmental potential impacts on highway

环境影响类型	影响潜值/kg	社会支付意愿/(元·kg <sup>-1</sup> )	环境影响值/万元
全球变暖	3.20×10 <sup>8</sup>	0.22	7 040.00
酸化	2.16×10 <sup>6</sup>	0.63	136.08
富营养化	1.19×10 <sup>5</sup>	0.90	10.71
固体废物	4.40×10 <sup>5</sup>	2.50×10 <sup>-3</sup>	1.10
光化学烟雾	4.64×10 <sup>4</sup>	10.00	46.40
水资源消耗	7.76×10 <sup>8</sup>	5.60×10 <sup>-4</sup>	43.46
化石资源消耗	2.47×10 <sup>8</sup>	9.80×10 <sup>-4</sup>	24.21
矿物资源消耗	1.77×10 <sup>8</sup>	2.00×10 <sup>-3</sup>	35.40
合计			7 337.36

2.4 弃置成本组成分析与计算

根据采用的弃置方法的不同,其弃置成本及回收再利用成本可能差距较大。由于目前在中国相关案例很少,而弃置成本与建设期成本密切相关,因此本文采用弃置成本占建设总成本的百分比来进行弃置成本的估算,采用占比 3% 来估算。得到环境影响成本 2 841.27 万元。

2.5 全寿命成本计算与分析

根据全寿命成本构成,计算得出案例公路全寿命周期成本,如表 3 所示。

通过计算可知某公路全寿命周期折现成本为 147 690.25 万元,其中环境影响成本占全寿命周期总成本的 6.41%(如下页图 1 所示),不容忽视。

表 3 某公路全寿命周期成本分析  
Tab. 3 LCA analysis results

成本分类		成本构成	成本/万元	成本百分比/%	阶段成本/万元	阶段成本百分比/%
建设期成本		建筑安装工程费	78 180.04	53.71	94 709.102 8	64.13
		设备工具器具购置费	299.68	0.21		
		工程建设其他费用	13 626.44	9.36		
		预备费	2 602.94	1.79		
运营 期成本	管养成本	管理成本	1 896.70	1.30	50 139.880 0	33.95
		养护成本	3 341.81	2.30		
		专项检测成本	496.76	0.34		
		维修成本	7 677.14	5.27		
		保险成本				
	用户成本	交通阻塞延误成本	12 312.59	8.46		
		车辆绕行和绕行延误成本	14 120.08	9.70		
		交通事故和货损成本	823.89	0.57		
	环境影响成本		7 337.36	5.04		
弃置成本		2 841.27	1.95	2 841.270 0	1.95	
全寿命周期成本		145 556.70	100.00	145 556.700 0	100.00	

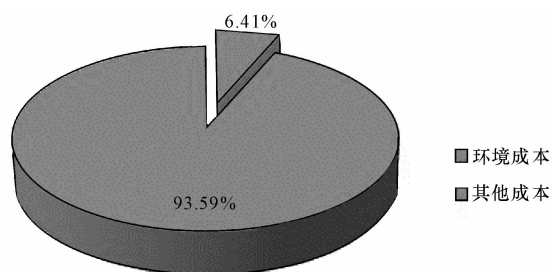


图1 环境成本占全寿命周期成本的比例

Fig.1 Proportion of environmental cost to total life cycle cost

### 3 结 语

(1)适当增加公路初始建设成本,尤其是增加公路耐久性设计成本和可检查、可维修和可更换措施的成本,可以极大地降低公路后期维护成本,从而达到降低公路全寿命成本的目的。

(2)环境成本在公路的全寿命周期成本内所占比例不容忽视,公路运营和维护带来的环境影响应该引起重视。

(3)公路全寿命成本的分析和计算需要对未来的检测、养护、维修、更换的时间及其相关的成本支出进行预测。

(4)在公路实际运营过程中,根据公路管养资料的不断积累,同步进行公路全寿命成本的计算,不断修正公路全寿命成本分析的结果,并探索改进全寿命周期成本分析的方法,为中国公路全寿命周期成本分析及进一步应用提供基础方案和数据分析依据。

(5)建议交通行业主管部门组织各级交通主管单位,注重进行公路运营期成本基本参数的统计收集和整理工作,建立并完善公路运营期基础资料数据库,进一步加强公路管理、养护、维修和拆除等处理导致的用户成本和环境成本方面的研究。

### 参考文献:

### References:

- [1] 武文杰. 基于不确定性的钢筋混凝土桥梁量化可持续性评价[D]. 北京:北京交通大学,2013.  
WU Wen-jie. Based on the sustainability of reinforced concrete bridges quantitative uncertainty evaluation [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013. (in Chinese)
- [2] 孙万佛,庄 宇. 基于 LCA 的材料工业环境成本评价模型[J]. 工业工程,2006,9(4):89-93.  
SUN Wan-fo, ZHUANG Yu. Environmental cost assessment model for material industry based on life-cycle assessment [J]. Industrial Engineering Journal

2006,9(4):89-93. (in Chinese)

- [3] BS ISO 15686-5:2008, Buildings and constructed assets-Service-life planning-Part5:Life-cycle costing[S].
- [4] Chien S I-Jy, Gao S Y, Meegoda J N, Marhaba T F. Fleet size estimation for spreading operation considering road geometry, weather and traffic[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014,1(1):1-12.
- [5] 晏晓林. 试论高等级公路的环境经济分析与实践[J]. 环境工程,1996,14(4):38-41.  
YAN Xiao-lin. Discuss about the environment of economic analysis and the practice of high-grade highway [J]. Journal of Environmental Engineering, 1996, 14 (4):38-41. (in Chinese)
- [6] 张新宇,陈景艳. 交通运输外部成本评估及内部化[J]. 北方交通大学学报,1999,23(3):17-21.  
ZHANG Xin-yu, CHEN Jing-yan. Transport assessment and internalize external costs [J]. Northern Jiaotong University, 1999,23(3):17-21. (in Chinese)
- [7] 吕正昱,季 令. 交通运输外部成本问题研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2005,33(7):931-936.  
LV Zheng-yu, JI Ling. Research on several problems about transport external cost[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2005, 33(7):931-936. (in Chinese)
- [8] 邓 欣,黄有光. 中国道路交通外部成本估计:北京案例研究[J]. 重庆大学学报:社会科学版,2008,14(1):4-10.  
DENG Xin, HUANG You-guang. Estimation of external costs of road transport in China: a case study of Beijing [J]. Journal of Chongqing University: Social Science Edition, 2008, 14(1):4-10. (in Chinese)
- [9] 张玉梅. 高速公路项目施工招标投标中有关投标报价的问题研究[D]. 天津:天津大学,2008.  
ZHANG Yu-mei. Highway construction project bidding in issues related to the tender offer research[D]. Tianjing: Tianjin University, 2008. (in Chinese)
- [10] 杨 玥. 公路工程超概算分析与投资控制[D]. 重庆:重庆交通大学,2009.  
YANG Yue. Highway engineering budget analysis and investment control [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2009. (in Chinese)
- [11] 李小冬,吴 星,张智慧. 基于 LCA 理论的环境影响社会支付意愿研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2005,37(11):1507-1510.  
LI Xiao-dong, WU Xing, ZHANG Zhi-hui. Study on social WTP for environmental impacts based on the LCA theory[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2005, 37(11):1507-1510. (in Chinese)

