

文章编号:1005-0574-(2019)03-0059-04

DOI:10.19332/j.cnki.1005-0574.2019.03.014

## 沥青路面节能减排量化分析

苗竹青<sup>1</sup>, 赵淑青<sup>2</sup>

(1. 内蒙古自治区交通建设工程质量监督局, 内蒙古 呼和浩特 010051;  
2. 鄂尔多斯市公路管理局准格尔旗公路管理工区, 内蒙古 鄂尔多斯 010000)

**摘要:** 文章通过调查研究目前国内沥青路面建设和运营阶段能源消耗与气体排放现状, 收集路面材料、机械设备、施工流程以及施工工艺参数, 分析影响沥青路面节能减排的关键因素, 论证生命周期理论用于沥青路面节能减排量化分析的可行性, 选择基于流程的生命周期分析方法用于沥青路面节能减排量化分析, 以定额法和排放因子法为基础, 提出沥青路面节能减排量化计算方法, 为沥青路面新型环保材料、新设备的研发和先进的施工技术的应用是否达到节能减排的目的提供科学的指导。

**关键词:** 沥青路面; 节能减排; 生命周期; 能源消耗; 气体排放

**中图分类号:** U418.6      **文献标识码:** A

**Abstract:** This paper investigates the current situation of energy consumption and gas emission during the construction and operation of asphalt pavement in China. And then the parameters of pavement materials, mechanical equipment, construction process and construction process are collected, the key factors affecting energy saving and emission reduction of asphalt pavement are analyzed. The feasibility of life cycle theory for quantitative analysis of energy saving and emission reduction of asphalt pavement has been demonstrated. The process-based life cycle analysis method is selected for the quantitative analysis of energy saving and emission reduction of asphalt pavement. Based on the quota method and emission factor method, a quantitative calculation method for energy saving and emission reduction of asphalt pavement is proposed. This method can be used to evaluate whether the research and development of new environmental protection materials and new equipment and application of advanced construction technology of asphalt pavement can achieve the goal of energy saving and emission reduction.

**Key words:** asphalt pavement, energy saving and emission reduction, life cycle, energy consumption, gas emission

### 1 引言

中国作为《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)(简称“《公约》”)及其《京都议定书》(Kyoto Protocol)(简称“《议定书》”)的缔约国, 高度重视并积极推进节能减排工作, 已将节能减排纳入到《中国国民经济和社会发展“十三五”规划纲要》以及中长期规划中, 并作为硬任务硬举措硬指标严格要求。交通行业是我国节能减排的重点领域之一, 交通运输部“十三五”规划强调落实“五大发展理念”, 明确了“十三五”节能减排工作的主要目标和重点任务。随着沥青路面大规模的建设, 能源消耗大、大气污染严重等环境问题日益突出, 引起了国内外专家学者的广泛关注。

近几年我国在沥青路面建设节能减排领域做出了十足的努力, 胶粉改性沥青技术、泡沫沥青技术和温拌技术等低碳环保筑路技术得到了大力推广, 取得了很好的经济效益和社会效益, 节约了能源和资源, 减少了有害气体的排放。但是暴露了沥青路面建设和使用能源消耗、大气排放以及节能减排效果难以定量分析和评价的问题, 导致节能减排路面材料、新设备的研发和新施工技术的开发与应用针对性不明显。因此寻求和探索沥青路面节能减排量化分析方法迫在眉睫, 该方法可为沥青路面新型环保路面材料、低碳环保沥青路面技术的应用提供科学指导。

### 2 沥青路面节能减排量化分析研究现状

目前, 国外主要借助生命周期理论开展沥青路面

**作者简介:** 苗竹青(1973-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 工程师, 研究方向: 公路建设与运营管理。

节能减排量化分析研究,在国内,只有清华大学和台湾地区的一些专家学者采用生命周期的理论探讨路面生命周期碳排放量的评价。Hakkinen 和 Makela<sup>[1]</sup>基于流程的生命周期分析方法,采用能耗、二氧化碳排放和有害气体排放等不同的环境评价指标,分析设传力杆的水泥混凝土路面和 SMA 两种路面结构在 50a 内的生命周期评价数据,比较两种路面在建设和运营阶段的能耗与排放;Horvath 和 Hendrickson<sup>[2]</sup>基于输入—输出模型的生命周期分析方法,比较评价水泥混凝土路面和热拌沥青混合料水资源消耗、污水排放等指标;Chan<sup>[3]</sup>采用综合性生命周期分析方法,第一次将生命周期分析与寿命周期成本分析相结合,从经济和环境两方面分析路面的环境影响;清华大学尚春静等<sup>[4]</sup>应用综合性生命周期分析方法,研究水泥混凝土路面建设和维修保养各个阶段的能耗和排放;国立台湾大学和台湾中华大学<sup>[5-6]</sup>采用生命周期风险分析方法(LCRA)研究沥青混凝土路面各个阶段对环境的影响。

综合以上国内外研究文献,发现沥青路面节能减排量化分析研究呈现如下特点:①主要采用基于流程、基于输入—输出模型和综合性的生命周期分析方法,研究对象主要以沥青路面和水泥路面能耗及排放的对比分析为主;②对沥青路面生命周期的阶段划分还没有形成统一的标准,绝大多数沥青路面生命周期划分为原材料生产、施工阶段、运营使用阶段以及生命周期末五个主要阶段。

### 3 沥青路面能源消耗与环境排放影响因素研究

本文从生命周期的视角出发,调查沥青路面建设和使用阶段的主要路面材料、机械设备、施工流程以及施工工艺参数、能源消耗和气体排放的类别及数量,分析沥青路面建设和使用阶段的关键环节和影响因素,为沥青路面节能减排量化分析研究奠定基础。

日本<sup>[7]</sup>曾经做过调查,沥青路面生命周期内能耗与排放比较集中的阶段是沥青混合料生产阶段,能耗约占沥青路面建设工程总能耗的 44.1%。对于沥青混合料的生产,拌合设备是非常关键的,目前欧美等发达国家多以连续滚筒式拌合设备为主,我国现行的沥青路面施工技术规范推荐高速公路和一级公路采用间歇式拌合,但是随着我国再生混合料的普遍使用,连续滚筒式拌合设备逐渐发展。沥青混合料拌合生产阶段的能耗一方面加热烘干系统的燃料消耗,另一方面是电气设备的电力消耗,前者约占拌合站燃料总能耗的

60%,后者约占其总能耗的 12%。环境排放的关键环节集中于材料输送和沥青混合料拌合两个阶段,拌合过程的环境排放包括燃烧排放( $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 以及 $\text{CO}_2$ 和水蒸气等)和非燃烧排放( $\text{CO}$ 、 $\text{VOC}$ 以及其他有机颗粒性物质)。材料输送阶段可吸入颗粒物  $\text{PM}_{10}$  是主要排放物约占生产过程  $\text{PM}_{10}$  排放量的 19%。

沥青路面的施工工艺流程主要是沥青混合料的运输、摊铺以及碾压,能源消耗主要表现为施工机械的燃料消耗,运输主要与运输车辆的载重量、运输距离和运送沥青混合料的总量有关,摊铺和碾压能源消耗主要与施工机械设备的类型及施工工艺有关。可是通过欧美国家的调查数据发现,沥青路面施工过程和沥青混合料运输过程的能源消耗并不是十分显著,只占到能源消耗的 1%~3%,但是由于沥青路面施工阶段是其生命周期最为重要的一个阶段,能源消耗问题仍然需要给予足够的重视。沥青路面建设阶段的环境排放最直观的印象是路面铺筑现场的“烟雾缭绕”,可以分为燃烧排放和逸散排放。燃烧排放源于柴油燃烧造成的大气污染物和烟尘;逸散排放源于热态沥青混合料挥发,主要以“沥青烟”为主,是属于潜在的人体致癌物之一,能够引起呼吸系统疾病。

在沥青路面使用阶段,车辆行驶过程中的能耗主要来源为车辆的燃油消耗,环境排放主要来源于车辆的燃油消耗产生的燃烧排放。燃油燃烧产生的主要环境排放物为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{THC}$ 、 $\text{PM}$  以及非可燃物质氧化产物  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 。

### 4 沥青路面节能减排量化分析

目前常用的生命周期分析方法主要有以下三种类型:基于流程的生命周期分析法、输入—输出生命周期分析法以及综合性生命周期分析方法<sup>[8]</sup>。其中,基于流程的生命周期分析主要用于具有详尽的、对环境影响比较显著的流程,而输入—输出生命周期分析主要用于间接的流程以及敏感性分析,综合性生命周期分析是结合前两者的优势,以基于流程为主,输入—输出作为补充。根据沥青路面建设和使用的实际情形,采用综合性生命周期分析方法就能够充分发挥基于流程和输入—输出生命周期分析法的详细、专一广泛和综合的特点。沥青路面建设过程的能耗和排放问题的综合性生命周期分析如图 1 所示,充分考虑沥青路面生命周期各阶段能源消耗和气体排放产生的环境影响,保证量化分析方法和分析结果的可靠

性、公正性,能够满足沥青路面节能减排量化分析的需要。

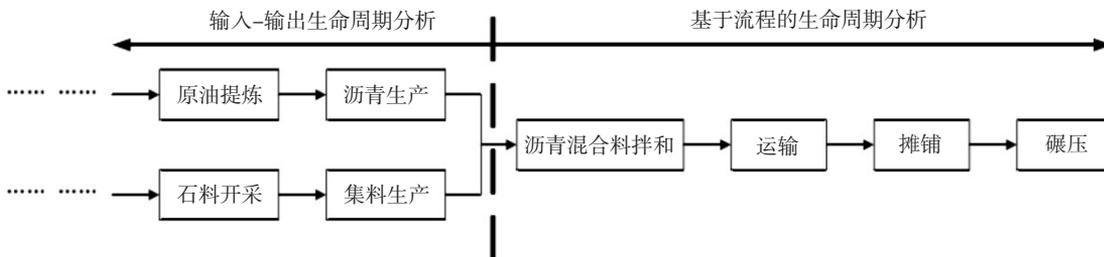


图1 沥青路面建设过程综合性生命周期分析示例

### 4.1 确定分析研究目的和研究范围

开展沥青路面生命周期分析研究,旨在从节能减排的角度,提出沥青路面节能减排量化计算分析方法,建立沥青路面节能减排量化分析基本框架,量化沥青路面生命周期各个阶段的能源消耗与气体排放,为沥青路面节能减排量化评价奠定基础,为节能减排技术的研发和应用提供科学的依据。结合沥青路面生命周期分析研究的实际情况,得出建设时期材料生产和施工、使用阶段的养护是能源消耗和废气排放最多的阶段,沥青路面生命周期阶段划分如图2所示。

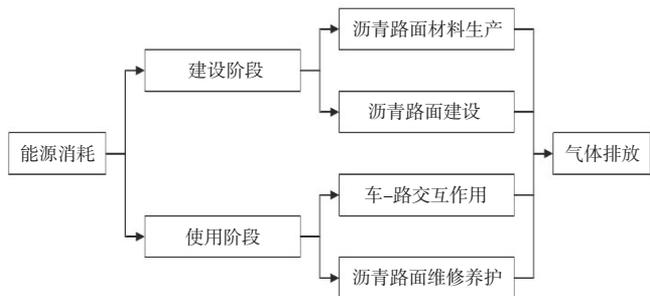


图2 沥青路面生命周期阶段划分

### 4.2 清单分析

数据质量的好坏直接关系到分析结果的准确性,清单分析是沥青路面生命周期能源消耗与输出的气体排放进行量化分析最为关键的一步。实测数据能够保证能耗与排放量化结果的准确性,但是周期较长、需要投入大量的人员和设备。因此,从权威性、公开性以及数据量等角度一般选取国家级的数据比较可靠,且能够反映当地沥青路面材料、施工、机械设备及运行车辆的实际情况,当缺乏国家级数据时,宜选择与本国情况类似的地区级数据。沥青路面生命周期节能减排量化分析、数据收集的范围主要是和耗能相关的材料和结

构设计参数、各种材料的用量、车用汽柴油等不同形式燃料以及电力的动消耗量有关。根据沥青路面建设过程中的实际排放调查结果,同时考虑到人类健康和环境影响,排放主要为沥青路面各个生命周期阶段污染气体、温室气体和粉尘的排放量,包括:CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO、硫化物、氮氧化物和颗粒性物质 PM<sub>10</sub>和 PM<sub>2.5</sub>。

确定数据收集范围和数据来源,需要明确沥青路面建设和使用阶段哪些流程产生的能耗和排放范围之内。因此还需将沥青路面建设和使用阶段各个流程和环节细化为更小的单元,明确该单元的具体能源消耗与产生的气体排放类别。以沥青混合料生产为例,单元过程划分法示意图如图3。

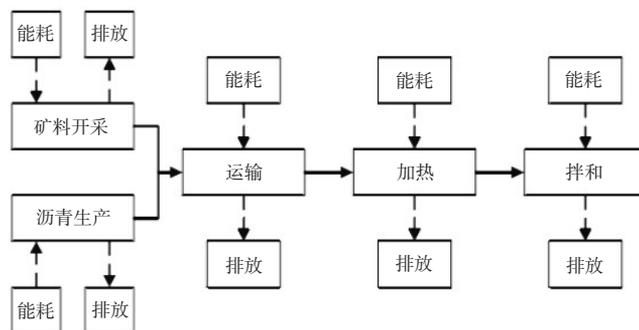


图3 沥青路面单元划分示意图

合理划分单元过程后,就需要根据单元过程,建立与单元过程相关的数据清单,数据清单是进行节能减排量化分析的基础数据,通常包括路面参数、工艺流程参数和设备车辆参数。路面参数是与路面相关的数据,包括路线长度、沥青混合料配合比、面层厚度等,主要用于确定路面材料用量;工艺流程(单元过程)参数是单元过程与节能减排相关的车辆、机械设备的燃料用量及类型,主要用于确定机械设备、运输车辆组合;设备车辆参数包括设备以及车辆的代表类型、参数、油

耗、排放效率等主要用于确定燃油消耗量。

#### 4.3 沥青路面生命周期能耗与排放通用计算方法

计算沥青路面生命周期的能耗与排放量是进行沥青路面生命周期节能减排清单分析的最终目标。沥青路面生命周期的计算可通过运行车辆、机械设备的参数和使用频率得到,主要有实测法、理论法、定额法三种计算方法,各有优缺点。长安大学的杨博博士和张争奇教授通过相关研究验证,提出了“定额法为主,理论法为辅,实测法为补”的计算方法,提高了计算结果的准确性,并具有代表性。由于在计算过程中固液气生产量和消耗量的单位不一样,意味着无法将不同能源消耗量进行加和,也无法进行能源消耗量的对比分析和评价。因此,生命周期分析方法中多采用净发热值法计算能源消耗量,其计算公式如式(1):

$$E = \sum_{i=1}^n (F_i \times NCV_i) \quad (1)$$

排放量的计算则相对复杂,目前排放因子法是生命周期分析中通用的排放量计算方法:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (2)$$

式中,E为排放量,A为活动数据,ER为减排效率,EF为排放因子。

#### 5 结语

本文通过调查国内沥青路面建设和使用阶段能源消耗与气体排放现状,收集路面材料、机械设备、施工流程以及施工工艺参数,分析影响沥青路面节能减排的关键因素。结合沥青路面建设与养护实际,选择合理的使用寿命分析方法用于沥青路面节能减排量化分析,建立了基于生命周期分析的沥青路面节能减排量

化分析体系的基本框架,依据“定额法为主,理论法为辅,实测法为补”和排放因子法的沥青路面节能减排量化计算方法。根据ISO14040标准定义的技术框架<sup>[10]</sup>,沥青路面节能减排量化分析最终目的是为了量化评价,有待进一步对沥青路面节能减排量化评价进行研究,选择合理的评价指标,建立沥青路面节能减排综合量化评价方法,确定沥青路面节能减排效果达到的等级。

#### 参考文献

- [1] Tarja Hakkinen, Kari Makela. Environmental Adaptation of Concrete Environmental Impact of Concrete and Asphalt Pavements[R]. Espoo: T R C o Finland, 1996.
- [2] A. Horvath, C. Hendrickson. Comparison of environmental implications of asphalt and steel-reinforced concrete pavements [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1998, 1626 (-1): 105 - 113.
- [3] A.W.C. Chan. Economic and Environmental Evaluations of Life Cycle Cost Analysis Practice: A Case Study of Michigan DOT Pavement Projects[D]. Ann Arbor: University of Michigan, 2007.
- [4] 尚春静,张智慧,李小冬. 高速公路生命周期能耗和大气排放研究[J]. 公路交通科技, 2010, 27(08): 149 - 154.
- [5] Chui-Te Chiu, Tseng-Hsing Hsu, Wan-Fa Yang. Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2008, 52(3): 545 - 556.
- [6] Hsiu-Ching Shih, Hwong-Wen Ma. Life cycle risk assessment of bottom ash reuse[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 190(1-3): 308 - 316.
- [7] 建设工事における省エネ。省資源について考える[J]. 建設の機械化, 1981, 1: 50.
- [8] 杨博. 沥青路面节能减排量化分析方法及评价体系研究[D]. 西安:长安大学, 2012.
- [9] 柴丽. 内蒙古地区绿色交通的可持续发展探讨[J]. 内蒙古公路与运输, 2017, (04): 56 - 58.
- [10] ISO 14044, Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines[S]. Geneva: International Standard Organization, 2006.

收稿日期: 2019 - 04 - 10

(上接第52页)

- [3] Fu L, Liu Q, Calamai P. Real-Time Optimization Model for Dynamic Scheduling of Transit Operations[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2003, 1857(1): 48 - 55.
- [4] Duc K N, Descotes-Genon B. The real-time stop-skipping in the urban transportation networks[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2007, 40(18): 637 - 642.
- [5] Hui minNiu. Determination of the Skip-Stop Scheduling for a Congested Transit Line by Bilevel Genetic Algorithm[J]. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2011, 4(6): 1158 - 1167.
- [6] Liu Z, Yan Y, Qu X, et al. Bus stop-skipping scheme with random travel time[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2013, 35

(9): 46 - 56.

- [7] Wang C, Ye Z, Wang Y, et al. Modeling Bus Dwell Time and Time Lost Serving Stop in China[J]. Journal of Public Transportation, 2016, 19(3): 55 - 77.
- [8] 郑思瑶. 车车通信条件下的公交实时调度方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [9] 美国交通运输研究委员会. 公共交通通行能力和服务质量手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

收稿日期: 2018 - 12 - 12