

基于清单分析的高速公路运营期碳排放评价

张晓航, 向一鸣

(贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550000)

摘要: 高速公路运营期 CO₂ 排放显著, 目前中国尚无全面的高速公路运营过程温室气体排放评价体系。基于生命周期理论中的清单分析, 根据高速公路运营过程中的能源活动工作分类及植被的碳汇功能划分了评价体系边界, 提出了公路资产、养护维修、交通通行 3 大板块碳排放评价指标, 研究了碳排放指标及碳清除量的测算方法, 以此为基础建立了中国高速公路运营期碳排放指标的综合评价体系, 为高速公路运营期节能减排绩效评价提供理论基础。

关键词: 运营期; 评价体系; 碳排放; 碳清除

中图分类号: U492

文献标识码: B

在国内外, 人们对公路工程影响环境的问题的关注和重视程度与日俱增。Cross 和 Hakkinen 基于生命周期评价的理论, 分别分析了沥青道面、水泥混凝土道面在施工过程中的能耗和温室气体排放; Zapata P 等对沥青路面和连续配筋混凝土路面建设过程的能耗情况进行探究; Hwang 分析了韩国路面生命周期材料包含原材料生产、施工、维护和回收阶段的生产阶段各自的能耗, 同时还对这些阶段使用的能源对环境造成的影响进行分析; Pontarollo 对贯穿混凝土路面和沥青路面整个生命周期中加拿大选择最低成本所使用的生产材料对环境构成的潜在影响作出了评估。卢海涛在对高速公路全生命周期能耗影响影响进行深入研究后, 建立了高速公路全生命周期能耗统计模型, 尚春静等进行的公路环境分析是基于将公路生命周期过程分为 4 个阶段(原材料生产和加工、公路施工、公路运营维护 and 拆除回收); 潘美萍在构建高速公路 CO₂ 排放量和能源消耗的计算模型后, 对高速公路相关产品的碳排放和能源消耗进行归纳整合。

本文采用生命周期理论中的清单分析, 建立一个全新的评价体系来评价高速公路运营期的碳排放, 通过分析投入使用多年的高速公路在运营过程中各工作板块的能源活动情况, 在运营期评价边界内选择各板块的 CO₂ 排放测定指标, 研究排放指标的测算方法, 以此为基础建立高速公路运营期碳排放评价体系。

1 高速公路运营期碳排放评价的边界层次及指标体系构建

1.1 高速公路运营期碳排放评价指标体系层次

完整的高速公路运营期碳排放评价指标体系包括

5 个层次, 一是高速公路运营期碳排放总量, 或是作为计量模型的目标, 即目标层; 依照不同的分项研究板块, 将目标对应地分解到不同的分项控制的要求, 即准则层; 三是在不同的研究板块中按照具体的运营期内的资产分类、工作分类及车型分类, 测算各板块的碳排放, 即一级指标层; 四是在各一级指标中按照不同的能耗方式和碳排放源的研究调查结果, 将各个指标进行细化, 即二级指标层; 五是基于道路绿地空间中植被的碳汇功能, 当植被排放的碳量小于植被固定的碳量时, 公路运营期内的碳排放量被抵消的部分, 会在一定程度上影响碳排放总量, 所以绿色空间植物碳清除量为减排层, 如图 1 所示。

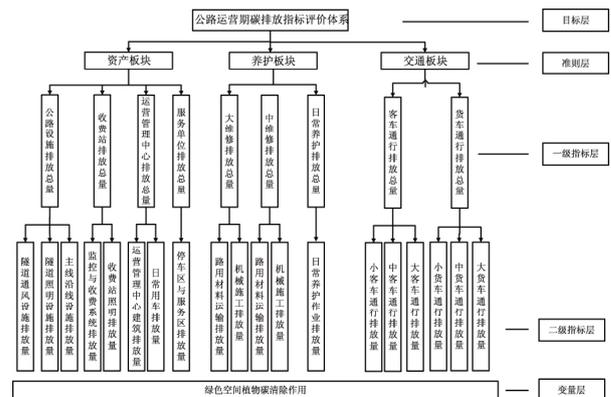


图 1 高速公路运营期碳排放评价体系

高速公路运营期内各个工作板块的碳排放总量和产生的能耗总量数据的获取, 基于高速公路运营期碳排放评价体系的构建。影响评价主要考虑运营工作分类和绿色空间植物的分布, 进行各板块 CO₂ 排放总量和 CO₂ 清除量的平行对比研究分析, 进而找到节能减排的可控点, 最终为相应技术措施的采取提供参

基金项目: 贵州省交通运输厅科技项目《贵州省高速公路运营期碳排放评价系统研究》(2016-121-028)。

作者简介: 张晓航(1974-), 男, 安徽休林人, 高级工程师, 从事公路勘察设计与科研。

考数据。

1.2 基于清单的运营期碳排放评价指标的确定

(1) 资产板块碳排放评价指标。公路资产板块主要根据公路运营管理工作职能将公路资产分为公路设施、收费站管理单位、运营中心管理单位、服务区服务单位 4 个部分,每个部分都有不同的排放源。根据对公路资产的能耗方式及碳排放项目的研究结果(见表 1),提出资产板块碳排放评价指标。

表 1 资产板块能耗方式及碳排放项目

评价板块	资产分类	能耗方式	碳排放项目	能耗类型
资产板块	公路设施	通信设施、照明设施	隧道通风设施排放	二次能源电力、热力能耗交通燃料
		机电设施	隧道照明设施排放	
			主线沿线设施排放	
	收费站管理单位	收费系统、监控系统	收费站排放	运营中心管理单位排放
		运营管理中心管理单位	运营管理中心排放	
	运营管理中心管理单位	运营管理中心办公设备、日常用车、供电供暖系统	运营管理中心排放	运营中心管理单位排放
服务区服务单位	停车、服务区办公设备、供电供暖系统	服务区排放		

(2) 养护维修板块碳排放评价指标。根据我国《公路养护技术规范》(JTG H10 - 2009)^[11]的相关规定,可将养护按其工程性质、规模大小和技术复杂程度,划分为日常养护、小修保养、中修、大修和改建工程等。每一类的碳排放源均与公路建设期的能耗基本一致,均是从路用材料的加工、运输、拌和、摊铺、碾压等过程产生碳排放。本板块基于沥青公路建设期的能耗分析方法,类比分析公路运营期养护维修工作的能耗及排放,建立适用于公路运营期的养护板块碳排放简易评价体系。

基于蔺瑞玉的沥青路面温室气体排放评价方法的研究成果,在沥青高速公路建设过程中的碳排放能耗方式均是源于各种施工机械排放量和路用材料运输排放量。本项目借鉴公路建设过程中的碳排放研究经验,分析公路运营期内养护维修板块的能耗类型及碳排放项目(如表 2),建立易于评价考核的指标。

表 2 养护维修板块能耗类型及碳排放项目

评价板块	工作分类	工作内容	碳排放项目	能耗类型
养护维修板块	日常养护	修补公路及其沿线设施的轻微损坏并进行日常维护	日常养护作用排放量	二次能源电力、热力能耗交通燃料
	小修保养			
	中修工程	定期修理并加固公路及其沿线设施的一般性损坏部分	施工机械排放量 路用材料运输排放量	
	大修工程	周期性地综合修理公路及其沿线设施的较大损坏	施工机械排放量 路用材料运输排放量	
	改建工程	对不适应现有交通量增长和荷载需要的公路及其沿线设施进行全线或逐段的建设	(由于较大的改建工程而造成交通封闭,其碳排放项目不属于本次运营期内的研究范畴)	

(3) 交通工具碳排放评价指标。结合国内外公路运营期通行碳排放^[13-14]的研究,为保证评价体系整体的简易性和可操作性,本板块评价指标的确定,将仅考虑考虑车辆因素的影响,依据我国《公路工程技

术》(JTG - B01 - 2003)^[15]中的规定,将车型分为六种,其能耗类型及碳排放项目见表 3 所示。

表 3 车型分类及碳排放项目

车型分类	分类标准	碳排放项目	能耗类型
车型一	小轿车(小客车)	客车通行排放量	车辆通行交通燃料
车型二	≤19 座的客车		
车型三	>19 座的客车		
车型四	载重量 ≤7t 的货车	货车通行排放量	
车型五	7t < 载重量 ≤14t 的货车		
车型六	载重量 >14t 的货车		

2 评价指标测算方法

高速公路运营期内的大部分碳排放放在公路维护、公路资产、交通出行等工作项目之中较为集中,而碳清除集中于道路绿地及道路护坡等植被的碳汇功能之中。本文结合分类指标测算法与总体规模测算法进行碳排放的二级指标计算,同时通过道路绿地中的乔木等植被覆盖面积计算反映出公路运营期内的碳清除量。

2.1 碳排放分类指标测算

分类指标测算是基于 IPCC 指南中二氧化碳排放量的基本方程式(见公式 1),用于测算本研究中便于通过能耗活动量清单量化评价的二级指标。在评价体系准则层的资产板块及交通板块中涉及公路运营设备及车辆通行能耗的相关的二级指标,均可通过该方法测算。

$$E = AD \times EF \quad (1)$$

式中 E 为温室气体排放量; AD 为人类活动程度(国家温室气体清单主要包括土地利用变化、农业、能源活动、工业生产过程、林业、城市废弃物处理等); EF 为排放系数(每一个活动量排放的气体量)。

以二级指标中隧道通风设施排放量测算为例,根据世界各国的隧道实例来看短隧道一般采用自然通风,而中长隧道则一般设置 3~5 组(即 6~10 台)风机,对于长隧道来说则一般采用机械通风,即设 2 台一组的射流风机于隧道拱部每间隔一定距离内,在此基础上根据公式 2 计算中长隧道通风设施所需的年碳排放量。

$$E = \sum_{i=1}^n q_i \times w_i \times t_i \times EF \times 365/1000 \quad (2)$$

式中: E 为某隧道一年碳排放量(tCO_2); q_i 为某隧道第 i 类能耗设备(即风机)的数量(个、台); w_i 为某隧道第 i 类能耗设备(即风机)的功率(kW /个、 kW /台); t_i 为某隧道第 i 类能耗设备(即风机)平均一天的运行时间(小时); I : 某隧道能耗设备(即风机)的类型数; EF 为中国区域电网基准线排放因子(tCO_2/MWh)

2.2 碳排放总体规模测算

本文中评价体系的二级指标细分较多,分类指标

测算其工作量大,计算较为繁琐,不能适用于每个指标测算。因此,本文中引用总体规模测算法,针对能耗设备繁琐,难以利用清单统计的指标,完成评价量化测算。

以二级指标中日常养护作业排放量为例,日常养护工作的机械虽然比较明确,但其一年的工作量难以计算,因此按分设备的分类指标测算法来估算运营期内的日常养护与维修较以困难。在这一部分排放量的计算采用总体规模测算法进行计算,先根据运营单位日常养护预算,估算出用于日常养护维修费用,再根据单位投资的能耗指标来计算其排放量,具体计算见公式(3)

$$E = I_i \times q_i \times EF \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: E 为运营期内第 i 年日常养护作业排放量 (tCO_2); I_i 为运营期内第 i 年日常养护作业费用(万元); q_i 为运营期内第 i 年日常养护作业单位投资的能耗(kgce/万元),具体可根据运营期内的混凝土用量进行推算; EF 为标煤 CO_2 排放因子(tCO_2/tce)

2.3 道路绿色空间碳清除测算

道路红线内的绿色空间植物的碳清除作用为评价体系的减排层,但国内道路行业对于绿色空间植物尚无系统的研究,本研究需要林业部门调研、参考现有的研究文献^[17-18],收集各类绿色空间乔木植被的碳汇因子,其他类植物的碳汇因子均以乔木类的7%计算,通过公式4具体测算道路绿地的碳清除作用。

$$C = A \times (L_1 \times CF_1 + L_2 \times CF_2) \quad (4)$$

式中: C 为一年之中道路绿地绿色空间总碳清除量 (tCO_2); A 为某高速公路路域范围内道路绿地的占地面积(hm^2); L_1 、 L_2 为乔木类与其他植物分别的覆盖比例; CF_1 为乔木类碳汇因子($\text{tCO}_2/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); CF_2 为其他类植物碳汇因子($\text{tCO}_2/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)

3 结语

(1) 本文提出的方法,在资产板块和交通板块量部分进行碳排放计算时,是依据国家高速公路相关规范标准及 IPCC 指南的测算程式,统计得出所需设备及车型的数量,而非用户统计调查得出。因此用户利用此方法计算时,即可保证计算结果的相对准确度,同时也大大节省了工作量

(2) 此方法对于养护维修板块中的日常养护作业排放量的测算,由于养护维修作业次数较多,工作量难以统计,而采用整体规模测算,其量化结果可能存在较大的误差。

(3) 评价体系考虑了道路绿色空间植物的影响,

通过收集各类绿色空间乔木、灌木等植被的碳汇因子,以乔木树冠垂直投影面积的覆盖比例为控制指标,可测算出道路绿色空间植物的碳清除量。

(4) 该评价方法的提出,涉及道路建设和养护的相关国家规范标准,针对于高速公路运营期的各个运营板块进行分类指标的碳排放测算,减少了主观因素对计算方法的影响,但由于评价方法缺少实用效果的检验,其方法的理论基础还有待进一步的论证。

参考文献:

- [1] CROSS S A, CHESNER W H, JUSTUS H G et al. Life - Cycle Environmental Analysis for Evaluation of Pavement Rehabilitation Options. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2011, 2227(1): 43 - 52.
- [2] HÄKKINEN T, MÄKELÄ K. Environmental adaption of concrete. Environmental impact of concrete and asphalt pavements// Pavements. VTT Research Notes 1752, Technical Research Centre of. 1996.
- [3] ZAPATA P, GAMBATESE J A. Energy Consumption of Asphalt and Reinforced Concrete Pavement Materials and Construction. Journal of Infrastructure Systems, 2005, 11(1): 9 - 20.
- [4] PARK K, HWANG Y, SEO S et al. Quantitative Assessment of Environmental Impacts on Life Cycle of Highways. Journal of Construction Engineering & Management, 2003, 129(1): 25 - 31.
- [5] PONTAROLLO J, HOOTON D, BYER P. Environmental lifecycle cost analysis of asphalt and concrete pavements. Annual Conference Abstract Canadian Society for civil Engineer 2007(5): 97 - 100
- [6] 卢海涛. 高速公路全生命周期能耗统计模型研究. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [7] 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. 公路交通科技, 2010, 27(8): 149 - 154.
- [8] 潘美萍. 基于 LCA 的高速公路能耗与碳排放计算方法研究及应用. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [9] 何雄伟. 高速公路运营管理. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [10] 叶青云. 高速公路运营管理研究. 长沙: 中南大学, 2009.
- [11] JTG H10 - 2009, 公路养护技术规范.
- [12] 简瑞玉, 沙爱民, 杨发林, 等. 沥青路面温室气体排放评价方法. 长安大学学报自然科学版, 2014, 34(6): 79 - 89.
- [13] NOCERA S, CAVALLARO F. POLICY. Effectiveness for containing CO_2 Emissions in Transportation. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2011, 20(6): 703 - 713.
- [14] 闫琰, 周嗣恩, 杨新苗. 基于反推方法的交通运输行业碳排放评估研究. 华东交通大学学报, 2012, 30(5): 62 - 67.
- [15] JTG - B01 - 2003, 公路工程技术标准.
- [16] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Green House Gas Inventories: Volume. Japan: Institute of Global Environmental Strategy, 2008.
- [17] 王迪生. 基于生物量计测的北京城区园林绿地净碳储量研究. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [18] 张毅. 高速公路绿化设计要求及实施. 科技信息, 2009(27): 699 + 721.