

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.01.003

城市路网中车辆碳排放量的影响因素研究

张军华

(中国华西工程设计建设有限公司武汉分公司, 湖北 武汉 430074)

摘要: 在城市公路网中, 一些因素可能会影响车辆平均公里碳排放量 (Average Kilometric Vehicle Carbon Emission, 简称 AKVC), 特别是在大城市的公路网中, 这些因素可能更加多样化。研究中的因素包括登记车辆数量中每公里的交叉口数量、道路部分与总面积之间每公里的交叉口数量以及道路部分与车辆数量之间的总面积。研究发现, 每公里交叉口数量是影响地区路网 AKVC 的唯一重要因素, 其他所有因素对 AKVC 的影响均不显著。从研究中可以看出, 由于每公里交叉口数量是道路网络中减少车辆碳排放量的最具影响的因素, 这意味着应该控制或减少城市道路网络中的交叉口数量。

关键词: 城市路网; 车辆碳排放量; 交叉口; 燃料消耗

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)01-0010-03

0 引言

一个城市的碳排放总量可能来自道路交通、非道路交通以及工业、商业、自然和住宅区域。道路运输产生的碳排放量可用车辆平均公里碳排放量 (Average Kilometric Vehicle Carbon Emission, 以下简称 AKVC) 表示, 即车辆以年平均行驶速度行驶 1 km 时的年平均碳排放量。AKVC 可能与社会经济和道路设施因素有关, 如道路长度、人口数量、车辆数量以及车辆特性。此外, 道路设施的特性会影响车速和驾驶员的行为。例如, 交叉路口的存在要求驾驶员小心驾驶、降低车速, 这可能会导致车辆碳排放量发生变化。同时, 城市的车辆数量会影响拥堵程度或平均车速水平, 这可能会导致城市中车辆碳排放总量或单个碳排放量的变化。

一般来说, 车辆的碳排放包括二氧化碳、一氧化碳和碳氢化合物, 其碳排率因车型、车速和车辆状况而异^[1]。由于已知二氧化碳排放量与其他元素的排放量之比高达 100 : 1, 因此车辆的二氧化碳排放量可视为与车辆整体的碳排放量大致相同^[2]。考虑到车辆速度和位置的时间变化, 最准确的估计方法可能是测量车辆的二氧化碳排放量; 或者使用包含车辆碳排放估算模块的商业交通模拟软件进行估算, 只需简单输入交通量和城市路网状况, 即可方便地进行估算。然而, 交通模拟软件不能反映多样化的排放率

和城市条件的特殊性。排放率由不同的排放曲线表示, 取决于不同的车辆类型、年限分布, 以及城市中车辆的行驶速度。另一种比较实用的二氧化碳排放量估算方法是使用车辆速度近似地估算二氧化碳排放量。该方法基于车辆速度与特征碳排放量之间的关系曲线, 反映了主流车型在一定速度条件下的碳排特性。大多数情况下, 碳排放量是根据观察到的车辆速度计算的^[3-4], 通过收集碳排放数据来确定不同速度下的排放率, 结合不同地区路网条件下的行车速度, 对车辆的碳排放进行估算。

本文拟采用上述研究方法, 以武汉市为例, 基于各区域的车辆年平均速度, 估算每个区域的 AKVC [单位: g/(辆·km)], 研究并确定影响各区域 AKVC 的主要因素。依据研究成果, 可采取针对性措施以减少城市中车辆的平均碳排放量。

1 车辆二氧化碳排放特性及计算方法

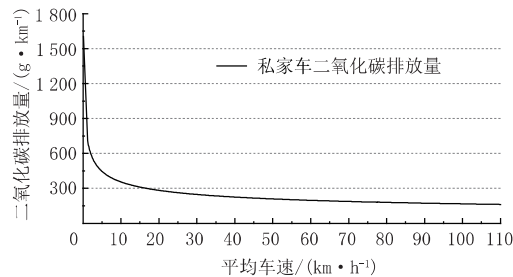
1.1 二氧化碳排放特性

一般来说, 车辆的二氧化碳排放特性是通过排放曲线来表示的, 包含了距离、速度和行驶时间之间的相互关系。图 1 显示了 3 种车辆的二氧化碳排放曲线^[4]。图中车辆类型被简化为私家车、公共汽车和货车这 3 种代表性类型。私家车的排放曲线形状类似于 L 形, 但实际形状是不对称的 U 形, 表明当车速达到 110 km/h 时, 车辆的二氧化碳排放量会进一步略微增加; 公交车的排放曲线形状类似于 L 形, 曲线右侧的排放水平随着速度的增加而降低, 即车速超过 110 km/h 后有利于减少此类车辆二氧化碳的排放量。一般而

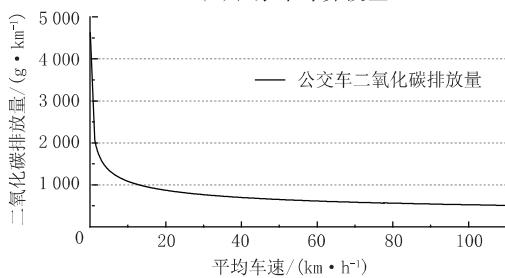
收稿日期: 2022-08-30

作者简介: 张军华(1982—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 从事市政、公路设计工作。

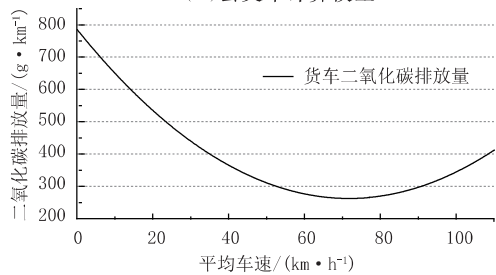
言,压缩天然气(Compressed Natural Gas,简称CNG)公交车在减少碳排放方面更为有利;货车的排放曲线为U形,相对较低的碳排放区间在50~90 km/h。图1中的3条曲线有助于确定每种速度下的二氧化碳排放量,并将平均速度转换为AKVC。



(a) 私家车计算模型



(b) 公交车计算模型



(c) 货车计算模型

图1 计算模型简图

1.2 AKVC 的计算方法

要获得各区域的AKVC,应首先确定每个区域的代表速度。速度是衡量拥堵程度的替代指标之一^[5]。每个地区的代表性平均速度由武汉市交通发展年度报告发布。

车速与车辆碳排放量之间的关系高度相关^[1,3-4],按区域计算AKVC的方法如下:

$$S_{AKVC} = \sum_{j=1}^3 C_{ij} \cdot W_j$$

式中: i 为按区域划分的年平均车速, $i=1\sim 110$ km/h; j 为车辆类型,私家车=1,公交车=2,货车=3; C_{ij} 为*j*型车辆在速度*i*下的平均二氧化碳排放量,g/km; W_j 为*j*型车占有所有车辆的比例, $\sum_{j=1}^3 W_j=1$ 。

本研究假设特定地区的平均碳排放量比车速本身更能代表特定地区的碳排放状况。原因有两方面:首先,AKVC的数量是更详细的变量,由于AKVC的

计算考虑了车辆类型的每个部分,因此假设每种车型都有一个代表性的碳排放率;其次,在车速低于30 km/h时,碳排放变化量比速度变化量更为敏感。

2 影响因素的分析方法

为了确定影响AKVC的主要因素,采用逐步回归分析法,分析流程如图2所示。与其他建模方法相比,逐步回归分析法有较好的优势。首先,计算是自动化的,不需要考虑相关性或残差平方和;其次,可以根据变量因素自主选择一种计算模型;再次,计算不考虑共线性。共线性是指变量之间的相关性非常高的情况,通常发生在对区域、社会或经济数据的分析中,其中工资、价格、国民生产总值和人口趋势等变量是相关的。表1为各影响因素的统计及说明。

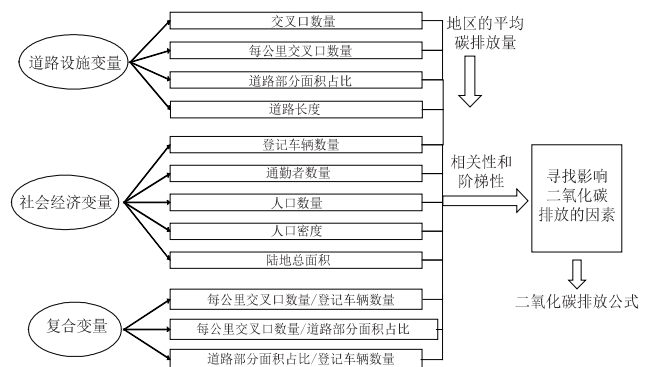


图2 分析流程示意图

表1 影响因素统计

影响因素(X_i)	描述
X_1	交叉口数量
X_2	每公里的交叉口数量
X_3	道路部分面积占比
X_4	登记车辆数量
X_5	每公里交叉口数量/登记车辆数量
X_6	每公里交叉口数量/道路部分面积占比
X_7	道路部分面积占比/登记车辆数量
X_8	通勤者数量
X_9	人口数量
X_{10}	人口密度
X_{11}	土地总面积
X_{12}	道路长度

从图2和表1可以看出,变量是多样化的,共有12种主要影响因素。然而,变量间可能会相互影响,新的道路设施会影响社会经济环境,同时社会经济环境也会影响道路设施的规模。一般来说,人口增加会促进道路建设,道路的建设也会带来人口的增加。这种循环关系表示为运输生成周期,在多变量分析中经常出现高相关性或共线性。

3 案例分析

3.1 武汉地区特点

武汉是湖北省省会、中国中部地区的中心城市,长江及其最大支流汉江在城中交汇,形成武昌、汉口、汉阳隔江鼎立的格局,通称“武汉三镇”,全市下辖13个区。图3显示了武汉市各区的地理位置和形状。就各地区的特点而言:江岸区、江汉区、硚口区、汉阳区、青山区、武昌区、洪山区等老城区路网密度高且相对复杂;东西湖区、黄陂区、新洲区、江夏区、蔡甸区、汉南区等新城路网密度较低,且分布形式相对简单。

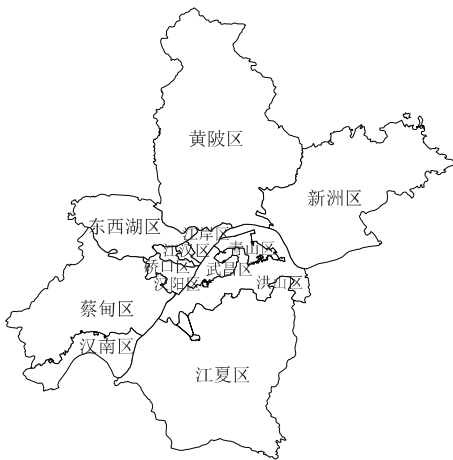


图3 武汉市行政区划图

3.2 计算结果及分析

基于各影响因素统计信息,采用逐步回归分析法对影响因素(自变量)进行简单回归分析:每公里的交叉口数(X_2)的回归系数(R^2)最高,为0.430;使用 X_2 和其他自变量进行多变量回归,结果显示其他11个自变量的 R^2 大于0.430;通过对 X_2 检验发现,所有 F 值大于 $F_{0.05}$,表明回归模型令人满意。最终的回归模型如下:

$$Y_{AKVC} = 242.276 + 81.271X_2$$

(1) 自变量与车辆平均碳排放量的相关性

交叉口数量(X_1)、每公里交叉口数量(X_2)、每公里交叉口数量/登记车辆数量(X_5)以及每公里交叉口数量/道路部分面积占比(X_6)与AKVC相关。在这些类型的比较中,每公里交叉口数量(X_2)与AKVC的相关性最强。变量 X_5 和 X_6 的相关性较弱,这可能是因为 X_5 和 X_6 是复合变量,并且具有每公里交叉口数量的组成部分。

(2) 交叉口的影响

对于城市交叉口,主要关注的两个指标是有信号交叉口的数量和区域内交叉口的总量。表2显示

了这两种交叉口指标的不同对AKVC的影响。结果显示:交叉口总量对AKVC的影响大于有信号交叉口的数量对AKVC的影响。上述结果同时表明,包括无信号交叉口在内的所有交叉口的总量在城市道路通行管理中非常重要,科学的管理可以提高车辆的行驶速度,减少速度变化,减少AKVC。

表2 有信号交叉口数量与交叉口总量的AKVC比较

Y	X_i	有信号交叉口		交叉口总量	
		R	R^2	R	R^2
Y_1	X_1	0.019	0.000	0.237	0.056
	X_2	0.338	0.114	0.655	0.430
	X_3	-0.270	0.073	-0.270	0.075
	X_4	0.072	0.005	0.072	0.005
	X_5	0.291	0.084	0.460	0.212
	X_6	0.252	0.063	0.583	0.340
	X_7	-0.162	0.026	-0.162	0.026
	X_8	0.073	0.005	0.073	0.005
	X_9	0.067	0.004	0.067	0.004
	X_{10}	0.014	0.000	0.014	0.000
	X_{11}	0.038	0.001	0.038	0.001
	X_{12}	-0.234	0.055	-0.234	0.055

4 结语

在城市道路中,AKVC会因每个区域的路网效率或社会经济特征而出现一定的波动。因此,为了研究特定地区的AKVC,首先需要确定每个特征如何影响该地区的AKVC。本文主要研究结论如下:

(1)影响AKVC的因素包括交叉口数量、每公里交叉口数量、道路面积的比例、登记车辆数量、通勤人数、人口数量、人口密度、土地总面积和道路长度。研究表明,每公里的交叉口数量是影响AKVC的唯一因素。

(2)控制车辆平均速度,可以作为二氧化碳减排策略之一;控制交叉口的数量,可以减少城市的车辆碳排放。

(3)本文主要研究道路类型及其相关变量对单个车辆碳排放的影响,未考虑道路坡度、宽度等几何特征,后续研究需要反映更详细的道路特征对车辆碳排放的影响。

参考文献:

[1] CAPPIELLO A. Modeling Traffic Flow Emissions[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2002.
 [2] EL-SHAWARBY I, AHN K H, RAKHA H. Comparative Field Evaluation of Vehicle Cruise Speed and Acceleration Level Impacts on Hot Stabilized Emission[J]. Transport Research Part D: Transport

(下转第21页)

时效性。对于有限的道路空间资源,引导系统的升级有助于实现效用最大化。

2.4 加强车辆排放监管

目前我国已建立机动车环保定期检验、监督抽测、黄标车和老旧车加速淘汰等管理制度。天津市应结合政策要求和实际情况,加强对车辆排放的管理,加强机动车生产环节检验、在用机动车定期检测及监督抽测工作。

3 结 论

本文通过对天津市交通出行现状的梳理,提出了机动车保有量及车型结构、城市交通结构、交通运行状态等机动车污染物排放影响因素,并针对各个影响因素,从控制机动车总量、优化交通结构、提高

道路交通运行效率以及加强车辆排放管理等角度,制定相应的政策及技术手段,给出了天津市道路交通系统节能减排建议措施,能够有效地缓解天津市道路交通污染物排放。

参考文献:

[1] 马因韬,刘启汉,雷国强,等.机动车排放模型的应用及其适用性比较[J].北京大学学报(自然科学版),2008(2):306-316.

[2] 靖苏铜,王伟,白韶波.城市机动车排放因子的测算与研究[J].交通标准化,2009(2):136-139.

[3] 霍红,贺克斌,王歧东.机动车污染排放模型研究综述[J].环境污染防治,2006,28(7):526-530.

[4] 贺克斌,霍红,王歧东,等.道路机动车排放模型技术方法与应用[M].北京:科学出版社,2014.

[5] 车汶蔚.珠江三角洲高时空分辨率机动车污染排放清单开发及控制对策研究[D].广州:华南理工大学,2010.

.....
(上接第 12 页)

and Environment, 2005,10(1):13 - 30.

[3] BARTH M, BORIBOONSOMSIN K. Traffic Congestion and Greenhouse Gases[J]. TR News, 2010(268): 26.

[4] NIER (National Institute of Environmental Research). Emission Factor

Equations Based on Vehicle Speeds[R]. Seoul: National Institute of Environmental Research in Korea,2011.

[5] 赵志学,李夏苗,周鲜成.考虑拥堵区域的多车型绿色车辆路径问题优化[J].计算机应用,2020,40(3):883-890.