

基于微观交通仿真的城市路网交通排放评估

胡赛阳¹, 李嘉²

(1. 清远职业技术学院 外语与经贸学院, 广东 清远, 511510; 2. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙, 410082)

摘要:为了给中小城市建立低碳交通体系提供理论依据,利用美国联邦公路局(FHWA)微观仿真软件 TSIS/CORSIM,并结合广东省清远市中心城区的交通调查,建立了清远中心城区路网交通仿真模型,对以现状交通流量为基础设定的5个情景方案进行了仿真研究.结果表明:随交通流量的增大,路网的交通排放增加,当增大到1.5倍时,车辆每公里的HC,CO,NO_x和CO₂排放分别上升8%,12%,12%和29%,当交通流量增加(1.5倍)导致交通拥挤时,额外燃油消耗为225 L,额外CO₂排放为518 kg,占总排放的16.3%.

关键词:微观交通仿真;城市路网;交通排放;交通拥堵;交通污染

中图分类号:U491 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2014)03-0108-05

Evaluation of urban road network traffic emissions based on microscopic traffic simulation

HU Saiyang¹, LI Jia²

(1. School of Foreign Language, Economics and Trade, Qingyuan Polytechnic, Qingyuan 511510, China;

2. School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In order to provide the theory basis for a low carbon transportation system set of small and medium-sized city, traffic simulation network model of the center of Qingyuan city was built with TSIS/CORSIM microscopic simulation software of the America Federal Highway Administration and combined with the central area traffic investigation of Qingyuan city, Guangdong Province, and simulation study was made for five scenarios based on the traffic volume. Results showed that the network traffic emissions increase with the rise of traffic flow; emissions of HC, CO, NO_x and carbon dioxide per kilometer increase by 8%, 12%, 12% and 29%, respectively when traffic flow increase to 1.5 times; Fatherly, when the increase traffic flow(1.5 times) led to traffic congestion, extra fuel consumption(225 L) and extra CO₂ emissions(518 kg) are brought out. The extra CO₂ emission is 16.3% of the total discharge.

Key words: microscopic traffic simulation; urban road network; traffic emissions; traffic congestion; traffic pollution

随着我国经济、社会的不断发展,城市机动车数量的急剧上升与薄弱的城市交通基础设施的矛盾越来越突出.由此带来的交通拥挤和交通污染问题不仅严重阻碍城市交通的可持续性发展,而且机动车排放的有害污染物(主要是HC,CO,NO_x和PM_{2.5})和温室气体(主要是CO₂)一方面严重危害

人体健康,另一方面也是导致城市光化学烟雾、雾霾和温室效应等环境污染的主要原因^[1-3].因此如何解决城市交通问题、减轻或控制其对人体健康和环境的危害成为各国学者研究的热点.

总体而言,解决城市交通问题要从技术、政策法规、城市交通基础设施建设、经济措施等方面着

手^[4-6].但这些措施都要涉及到城市规划和城市规划,特别是城市规划需要大量的数据,依靠实测方法费时费力.而交通仿真是一门在电子计算机上进行交通模拟的技术,是随着计算机技术的进步而发展起来的一门涉及多学科的综合技术.它采用计算机数字模型来反映复杂的交通现象,利用系统模型来复现交通流随时间、空间的变化,从而表征交通行为特征^[7-9].交通仿真成为参数分析和交通控制优化过程中的有力工具,基于交通仿真得出的机动车尾气排放数据、燃料消耗等数据大量应用于交通排放的评估和城市交通规划.但现有的基于交通仿真的交通排放研究大多针对城市路口,对城市交通局部区域或合围区域进行交通仿真研究的较少.

本研究采用美国联邦公路局(FHWA)微观仿真软件 TSIS/CORSIM,通过对参数的标定和校核,对清远市中心城区北江路、清远大道、人民路、光明路合围区域的交通排放进行仿真,并基于该模型研

究了交通流量增长对于能源消耗、二氧化碳排放与其他尾气排放的影响.旨在为中小城市建立低碳交通体系提供理论依据.

1 仿真模型的建立

1.1 交通仿真软件简介

仿真软件包 TSIS (Traffic Software Integrated System)是由美国联邦公路局(FHWA)资助开发的商品化软件,源于上世纪七十年代,经过 40 多年的修订和完善,已发展成为典型的、成熟的、完整的微观交通仿真系统.它不仅具有友好的用户界面和强大的技术支持,其建模技术也日益成熟,而且向用户开放几乎所有的参数,用户通过对参数的标定和校核,能准确地复现所研究的交通环境和状况.

1.2 建立仿真模型的流程

仿真模型的建立包括资料搜集与交通调查、模型建立、模型标定与验证、应用研究 4 个阶段^[10],具体如图 1 所示.

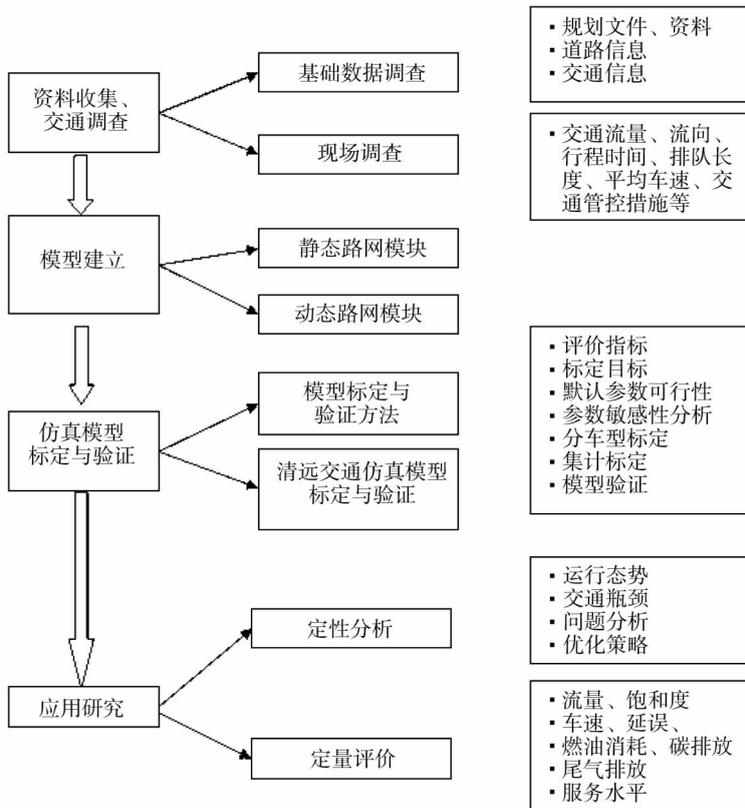


图 1 仿真模型建立的流程

1.3 资料搜集与交通调查

建立仿真模型需要使用的资料包括道路几何信息、交通需求信息、交通管理及控制信息、驾驶员及车辆性能信息.为获得这些信息,分 2 次对图 2 所示的范围(包含 14 个交叉路口)进行了调查,调

查项目包括信号交叉口排队长度、信号配时调查、路段车速调查,浮动车法行程时间调查、公交站点和线路勘察、交通流量的交警视频数据收集与处理、出租车 GPS 数据收集与处理、道路流量视频拍摄与数据处理、道路流量微波检测器调查与数据处

理等。



图例：— 交通调查与仿真的范围
(14) 进行仿真的主要交叉口

图2 交通调查和交通仿真范围

1.4 建立仿真模型

1) 仿真路网范围确定及精度定位

仿真的范围为清远市中心城区北江路、清远大道、人民路、光明路合围的区域。

仿真的精度以吻合度来评价,其计算公式如下:

$$F = \frac{|MOE_{field} - MOE_{sim}|}{MOE_{field}} \times 100. \quad (1)$$

式中, F 为吻合度,或称为相对平均指标,%; MOE_{field} 为现场调查的交通流状况评价指标; MOE_{sim} 为仿真模型输出的交通流状况评价指标。

在进行仿真模型标定时,采用仿真精度判断是否已经达到要求。根据国内、外相关研究成果,本文的吻合度取值为 10% 以内。

2) 静态路网建模

静态路网建模是指根据道路几何信息等,建立路网拓扑结构的过程。

3) 动态交通模块

在静态路网模块建立完成后,即可建立动态交通模块。其构建步骤如下:

① 交通量输入,将现场调查的交通流量输入 TSIS 中。

② 交通管理和控制措施。在交叉口输入交通控制方式和相应参数,信号灯交叉口输入配时方案等。

4) 仿真模型的标定

仿真模型的参数最终标定值如表 1 所示。

仿真标定采用定量与定性相结合、以定量指标为主的方式^[11]。定量指标为行程时间。为进行仿真标定,项目组进行了浮动车法行程时间调查,调查了沿清远市人民路→光明路→北江路→广清大道→人民路逆时针行驶一圈回到位置 1(路线为 1→2→3→4→5→6→7→8→9→10→1)所需的时间,以

及反方向顺时针行驶一圈的时间(表 2)。

表 1 标定参数最终取值

标定参数	默认值	标定值
PITT 常数/feet	10.00	9.00
车辆跟驰敏感系数	0.30 ^①	0.24 ^①
换一次车道时间/s	2.00	1.00
判断性车道变换临界值	0.40	0.30
判断性换车道期望值因子	0.50	0.90
自由流车速乘数	0.08 ^②	0.20 ^②

注:① 数值表示 10 种驾驶员跟驰敏感系数值分布的标准差,1~10 种驾驶员对应的默认分布范围为 1.25~0.35,标定分布范围为 0.44~1.16;

② 数值表示 10 种驾驶员的自由流车速乘数分布的标准差,1~10 种驾驶员对应的默认分布范围为 0.88~1.22,标定分布范围为 1.37~0.62。

表 2 仿真模型标定结果

路线方向	仿真平均值/s	实测平均值/s	吻合度/%
逆时针方向	882	819	7.69
顺时针方向	618	600	4.67

将标定参数设置于 TSIS 中,仿真运行 10 次。行程时间输出结果见表 2。各项吻合度均 < 10%,满足精度要求。

仿真的定性标定采用模型输出的交叉口运行状况与实际运行状况相比较的方式进行。经比对,仿真模型基本可以反映实际的交通运行状况。图 3 为建立的仿真路网模型。

2 仿真模型在城市路网交通排放评估中的应用

所建立的交通仿真模型除了能输出延误、速度、停车次数、排队长度等交通运行参数外,还可输出燃油消耗和尾气排放等数据,以其为基础可以进行不同方案的节能减排研究和评估研究^[12]。

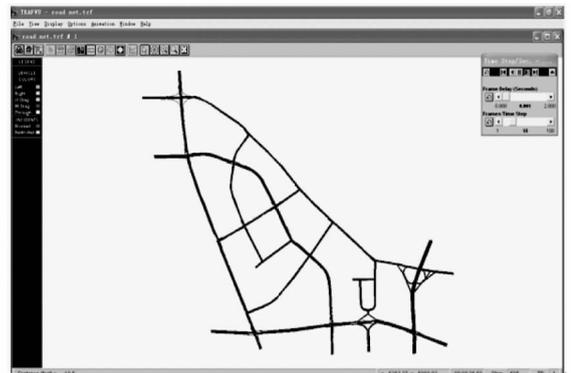


图3 仿真路网模型

2.1 仿真模型可输出的能源消耗与排放指标

TSIS 仿真模型可以定量分析输出不同道路、交通条件下车辆的燃油消耗情况,并可以根据燃油消耗进行换算二氧化碳排放.除此之外,TSIS 仿真软件中内嵌有机动车尾气排放模型,可以快速、直观地动态观测路网中燃油消耗与尾气排放较为突出的位置,并进行相应分析.

图4显示了路网中CO排放的分区情况,以白色(1)、黄色(2)、蓝色(3)与红色(4)种颜色显示了CO排放的等级,白色(1)、黄色(2)、蓝色(3)与红色(4)分别对应CO排放率为0~0.5,0.5~1.0,1.0~1.5,2~200 kg/(m·h)的水平.由图中可以看出,CO排放的主要位置是人民路、广清大道、连江路、光明路等道路的主要交叉口处.

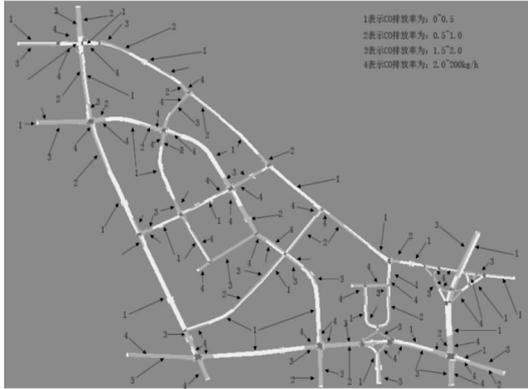


图4 清远市路网中CO排放的分布情况

这样的分析同样可以用于燃油消耗与HC和NO_x排放的相关研究.

2.2 交通增长情景方案的综合分析

随着交通量增长,城市交通拥堵加剧,单位出行里程产生的燃油消耗、CO₂排放与其他尾气排放都会随之上升.但上升的幅度会有多大,和交通量增长之间存在什么样的关系,这种定量研究目前还很少见,而现场调查或理论计算的方法,研究的难度很大,因此,可以借助交通仿真技术对此进行深入研究.

假定清远市路网结构保持不变,而交通量以现状交通量为基准,分别上升10%,20%,30%,40%和50%,这样就可以得到5个情景方案.通过仿真分别输出其燃油消耗、CO₂排放、尾气排放等数据,就可以进行相应的定量分析.为便于比较,表3给出了不同方案下的交通运行数据与现状方案(基准方案)的比值.

经过比较得出,随着交通量的增大,平均出行速度的下降先比较缓慢,随后逐步加快,当交通量增大为现状方案的1.5倍时,平均速度由27.9 km/h下降到了19.2 km/h,下降幅度为31%.

随着交通量的增大,车辆百公里油耗呈现上升趋势,上升速度先比较缓慢,随后逐步加快.当交通量增大为现状方案的1.5倍时,车辆平均百公里油耗由14.3 L上升到了18.5 L,上升幅度为29%.

表3 不同情景方案下15 min交通运行数据与现状方案的比值

方案	交通量与现状比值	出行总里程/(车·km)	平均出行速度/(km/h)	总燃油消耗/L	燃油消耗/(L/100 km)	CO ₂ 总排放/kg	CO ₂ 排放/(g/车·km)	HC/(g/km)	CO排放/(g/km)	NO _x /(g/km)
现状	1	5 379	27.9	771	14.3	1 773	330	0.21	16.03	0.93
方案1	1.1	5 848	27.2	859	14.7	1 976	338	0.22	16.30	0.95
方案2	1.2	6 287	25.8	958	15.2	2 204	351	0.23	16.54	0.97
方案3	1.3	6 671	23.8	1 070	16.0	2 461	369	0.23	16.87	1.00
方案4	1.4	7 043	21.8	1 202	17.1	2 764	393	0.23	17.21	1.02
方案5	1.5	7 452	19.2	1 382	18.5	3 178	426	0.23	17.37	1.04

CO₂排放与车辆油耗具有较好的相关关系,所以随着交通量的增大,单位车公里的CO₂排放也呈现类似的上升趋势,上升速度先比较缓慢,随后逐步加快.当交通量增大为现状方案的1.5倍时,CO₂排放由330 g/(车·km)上升到了426 g/(车·km),上升幅度为29%.

随着交通量的增大,HC,CO与NO_x的排放均呈现出较为稳定的线性上升趋势,且三者趋势大致相仿.当交通量增大为现状方案的1.5倍时,车辆/km的HC,CO与NO_x排放分别由0.21,16.03和

0.93 g上升为0.23,17.37和1.04 g,上升幅度分别为8%,12%和12%.

为进一步分析交通增长和拥堵带来的额外能源消耗与CO₂排放,并进行相应计算(表4).其中“排除拥堵影响的燃油消耗”假定交通量增长不造成交通拥堵加剧,因此100 km油耗也不会变化,这时的燃油消耗可以简单地以现状总燃油消耗乘以特定情景方案下交通量与现状比值确定.拥堵产生的燃油消耗则由总燃油消耗减去排除拥堵影响燃油消耗得到.CO₂排放的计算亦遵循类似的算法.

表4 不同情景方案下交通拥堵的效应分析

方案	交通量与现状比值	总燃油消耗/L	排除拥堵影响的燃油消耗/L	拥堵产生燃油消耗/L	CO ₂ 总排放/kg	排除拥堵影响的CO ₂ 排放/kg	拥堵产生的CO ₂ 排放/kg	拥堵产生的CO ₂ 排放百分比/%
现状	1	771	771	0	1 773	1 773	0	0.0
方案1	1.1	859	848	11	1 976	1 950	26	1.3
方案2	1.2	958	925	33	2 204	2 128	76	3.5
方案3	1.3	1 070	1 002	68	2 461	2 305	157	6.4
方案4	1.4	1 202	1 079	123	2 764	2 482	282	10.2
方案5	1.5	1 382	1 156	225	3 178	2 659	518	16.3

由表4可以看出,对于方案5,由于拥堵加剧产生的额外燃油消耗为225 L,由于拥堵加剧产生的额外CO₂排放为518 kg,占总排放的16.3%。需要注意的是,表4列出的仅为15 min交通运行的数据。高峰小时由于拥堵产生的额外燃油消耗与CO₂排放可以简单地按15 min交通运行数据的4倍计算,分别为900 L和2 072 kg。每日由于拥堵产生的额外燃油消耗与CO₂排放按照高峰小时的5倍计算,分别为4 500 L和10 360 kg。每年由于拥堵产生的额外燃油消耗与CO₂排放按照每日数据的365倍计算,分别为 164×10^4 L和3 781 t。

相对于现状,方案5由于拥堵加剧每年将向空气中增加CO₂排放3 781 t,按碳排放权交易价格70元/t(参考欧盟碳排放权交易价格)计算,方案5的年度排放将造成26.5万元的额外排放成本。另外,方案5由于拥堵加剧每年将多耗汽油 1.64×10^6 L,按93#汽油7.4元/L计算,多耗汽油的直接经济成本为1 214万元。

由上可知,交通拥堵将造成一定量的燃油消耗上升和尾气排放增加。交通拥堵的缓解因而也可以在一定程度上促进城市交通系统的节能减排。

3 结论

1)利用TSIS仿真包,建立了清远市中心城区北江路、清远大道、人民路、光明路合围区域的交通仿真模型,仿真标定参数满足精度要求。

2)建立的仿真模型能应用于中小城市路网的交通排放评估,随交通流量的增大,路网的交通排放增加,当增大到1.5倍时,车辆/km的HC,CO,NO_x和CO₂排放分别上升8%,12%,12%和29%,

当交通流量增加(1.5倍)导致交通拥挤时,额外燃油消耗为225 L,额外CO₂排放为518 kg,占总排放的16.3%。

参考文献:

- [1] 蔡博峰,曹东,刘兰翠,等.中国道路交通二氧化碳排放研究[J].能源与环境,2011,33(4):26-30.
- [2] 刘燕,薄志胜.汽车污染物排放的危害及措施[J].内蒙古科技与经济,2011(8):58-59.
- [3] 王文林.试论中国灰霾天气的成因、危害及控制治理[J].绿色科技,2013(4):153-154.
- [4] Newell G F. The rolling horizon scheme of traffic signal control[J]. Transportation Research, 1998, 30(1):39-44.
- [5] 宋朝丽.中国城市交通治理政策研究[J].湖北行政学院学报,2013(1):80-83.
- [6] 黄程成.破解城市交通“最后一公里”问题[J].交通与运输(学术版),2013,(1):106-109.
- [7] 邹智军.新一代交通仿真技术综述[J].系统仿真学报,2010,22(9):2037-2042.
- [8] 刘运通,石建军,熊辉.交通系统仿真技术[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [9] 高艺,于雷,宋国华,等.交通排放量化模型的建立与仿真实现[J].系统仿真学报,2012,24(4):887-891.
- [10] 路静.基于TSIS的城市道路交通流仿真研究[D].武汉:武汉理工大学,2004.
- [11] 张东明.路网可靠性动态交通仿真及评价技术研究[D].昆明:昆明理工大学,2012.
- [12] 陈秋香.城市道路中仿真软件的应用[J].甘肃科学学报,2012,24(3):140-142.