

文章编号:1671-1637(2012)01-0072-07

## 城市区域机动车排放定量评价方法

郭 栋,高 松,邹广德,谭德荣,王晓原,邵金菊

(山东理工大学 交通与车辆工程学院,山东 淄博 255049)

**摘 要:**搭建了机动车车载排放测试平台,获取了实际排放数据。对轻型车比功率进行了分区,得到了3种排放污染物的质量排放率。基于OD数据反推,将速度和加速度作为输入参数,采用排放模型和交通仿真模型,计算了城市区域的机动车排放总量与排放比例。计算结果表明:在晚高峰时段,CO、HC、NO<sub>x</sub>3种排放污染物的小时排放量分别为163.364 7、19.453 9、77.701 8 kg;轻型车、中型车和公交车的CO排放比例分别为65.45%、29.57%、4.98%;轻型车、中型车和公交车的HC排放比例分别为57.68%、26.03%、16.29%;轻型车、中型车和公交车的NO<sub>x</sub>排放比例分别为48.11%、4.63%、47.26%;轻型车和中型车是CO和HC排放控制的重点,而公交车为NO<sub>x</sub>排放控制的重点。

**关键词:**交通环境;城市区域;机动车排放模型;交通仿真;排放定量评价;排放比例;比功率

**中图分类号:**U491.92

**文献标志码:**A

## Quantitative evaluation method of vehicle emission in urban region

GUO Dong, GAO Song, ZOU Guang-de, TAN De-rong, WANG Xiao-yuan, SHAO Jin-ju

(School of Transportation and Vehicle Engineering,

Shandong University of Technology, Zibo 255049, Shandong, China)

**Abstract:** The on-board emission test platform of vehicles was put up, and the actual emission data were obtained. The specific power divisions of light-duty vehicles were carried out, and the quality emission ratios of three emission pollutants were gotten. Based on OD data back-stepping, speed and acceleration were taken as input parameters, and the total emissions and emission ratios of vehicles in urban region were calculated by using emission model and traffic simulation model. Calculation result indicates that during late-peak period, the hour emissions of CO, HC and NO<sub>x</sub> are 163.364 7, 19.453 9 and 77.701 8 kg respectively. CO emission ratios of light-duty vehicles, middle-duty vehicles and busses are 65.45%, 29.57% and 4.98% respectively. HC emission ratios of light-duty vehicles, middle-duty vehicles and busses are 57.68%, 26.03% and 16.29% respectively. NO<sub>x</sub> emission ratios of light-duty vehicles, middle-duty vehicles and busses are 48.11%, 4.63% and 47.26% respectively. Light-duty and medium-duty vehicles are the emission control emphases of CO and HC, and busses are the emission control emphasis of NO<sub>x</sub>. 6 tabs, 7 figs, 23 refs.

**Key words:** traffic environment; urban region; vehicle emission model; traffic simulation; quantitative evaluation of emission; emission ratio; specific power

**Author resume:** GUO Dong(1984-), male, lecturer, PhD, +86-533-2786036, transguo@hotmail.com.

收稿日期:2011-09-27

基金项目:国家自然科学基金项目(50978116);山东省自然科学基金项目(ZR2011EEM034)

作者简介:郭 栋(1984-),男,山东淄博人,山东理工大学讲师,工学博士,从事道路交通环境研究。

## 0 引言

要确定城市区域内的机动车排放总量,首先需要确定污染源的分类、数量与影响因素。在国内外关于机动车排放总量的研究中<sup>[1-2]</sup>,大多数是将单位燃油消耗的排放量(单位行驶里程的排放量或者单位时间的排放量)作为排放因子,结合燃油消耗量(行驶里程或者行驶时间)计算排放总量,如当利用 MOBILE、EMFAC 与 MEASURE 等排放模型在计算城市区域机动车排放总量时,均是采用累加的机动车排放因子,并没有考虑到交通流运行状态对机动车排放的影响,更无法得出交通策略对城市区域排放变化的影响,例如难以准确评价交叉口信号控制策略变化对城市区域机动车排放总量的影响。

清华大学姚志良等以 IVE 排放因子模型为基础,采用基于国内实测数据的排放因子库与适合中国实际情况的车型分类,建立了城市机动车排放模型,实现对机动车排放的定量评价<sup>[3]</sup>,但研究未涉及到微观层面的评价分析;Coelho 等定量评价和比较了 ETC(自动收费站)和 MTC(人工收费站)情况下的交通特征和机动车排放的差异<sup>[4]</sup>,但未能实现包含不同运行状况的排放量化分析;Tung 等以 ECE 测试循环为基础,计算得到了轻型车与摩托车的排放因子和行驶里程,并分析了越南河内轻型车与摩托车的排放情况,但未涉及交通运行状态变化对排放的影响<sup>[5]</sup>。

从国内外的研究现状来看,定量评价机动车排放的研究趋势有:在进行城市区域排放计算时,建立分车型、分污染物对应的数据库;从交通流运行参数角度建立描述机动车排放的微观模型;结合微观排放模型与交通仿真模型计算城市区域的排放总量。本文以由车载排放测试平台获得的机动车排放数据为基础,研究了基于比功率的机动车微观排放模型,并结合交通仿真模型计算了城市区域机动车排放总量,得到了分车型的排放比例;通过输入、输出参数将交通模型和排放模型有效结合,从而可以更好地分析交通和排放之间的关系,为比较不同交通策略对机动车排放的影响奠定基础。

## 1 机动车排放模型

在城市道路上进行车载排放测试试验,获取机动车行驶状态数据和排放数据,研究机动车在行驶过程中瞬态排放的特征,并从微观角度分析机动车

运行状态与负荷对排放的影响。

### 1.1 试验车型

文献[6]规定了机动车的分类方法、城市机动车排放源的调查方法与空气污染的测算方法,同时又规定了城市区域机动车污染物排放量、污染物空气浓度贡献与机动车排放分担率和浓度分担率的测算方法。本文参照此标准进行城市区域机动车排放试验和计算机动车排放总量。

据调查,在长春市的汽车保有量中,捷达车占汽车总量的比例为 48.9%,金杯客车占 4.4%,分别为小轿车和中型客车占有量之最,因此,本文选用捷达、红旗、金杯海狮和长城哈弗 4 种试验车型,试验车辆按时参加年检,排放不超标,均符合试验测试的要求,车辆参数见表 1。

表 1 车辆参数

Tab. 1 Vehicle parameters

车型	出厂年份	行驶里程/km	发动机排量/L
捷达 Gix	2001	42 000	1.6
红旗 CA7201	2004	35 000	2.0
捷达 Gix	2002	23 000	1.6
海狮锐驰	2002	28 000	2.4
海狮锐驰	2006	20 000	2.4
哈弗 H3	2008	18 000	2.4

在分析城市区域的车型比例时,由于试验仪器功能只能测试汽油车的排放数据,所以本试验没有将所有重型车包含在内,只选取柴油公交车,参考国内外相似研究<sup>[7-9]</sup>,结合建立的比功率分区进行排放计算。

### 1.2 试验仪器

本文采用的车载排放测试仪器是美国 CATI 公司生产的 OEM-2100,由五气分析仪、发动机状态检测仪与电脑组成。五气分析仪用于获取尾气中 CO、HC、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 的体积百分比;发动机状态检测仪用于获取发动机转速、温度与进气压力等相关参数。根据测得的发动机相关数据计算尾气气体积流量,并结合测得的尾气体积百分含量计算出瞬时质量流量<sup>[10]</sup>,具体计算原理为

$$R = CU \quad (1)$$

式中: $C$  为尾气浓度( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ); $U$  为尾气体积流速( $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ ); $R$  为尾气质量排放率( $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

仪器 OEM-2100 通过了纽约环境保护部门的测试,精度较高,与底盘测功机测得的数据相比,相关性系数可达 0.90~0.99。以仪器 OEM-2100 为主体,搭建的车载排放测试平台见图 1。

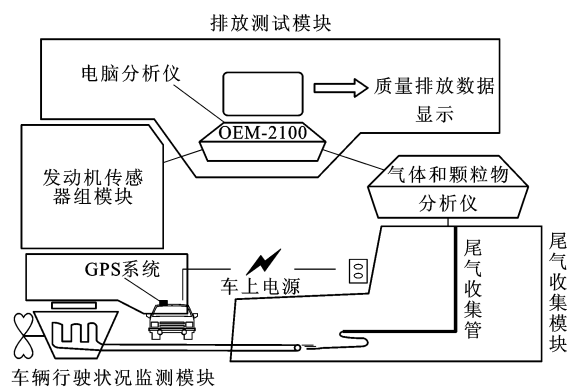


图 1 试验平台

Fig. 1 Test platform

### 1.3 排放模型

在机动车行驶过程中,由于受到道路环境和交通流的影响,机动车自身行驶状态会有变化,从而导致发动机油耗和排放的变化。机动车的比功率  $V$  为单位质量机动车的瞬时功率,表示发动机克服车轮滚动阻力  $F_1$ 、空气阻力  $F_2$  做功以及增加机动车的动能  $E$  和势能  $P$  所需要输出的功率和因内摩擦阻力  $F_3$  造成的传动系的机械损失功率<sup>[11]</sup>。车辆上坡加速受力分析见图 2,  $F_4$  和  $F_5$  分别为加速阻力和坡道阻力。车辆比功率为

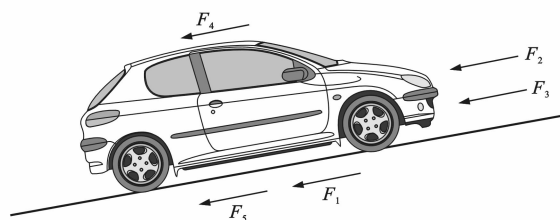


图 2 受力分析

Fig. 2 Force analysis

$$V = \frac{d(E+P)/dt + F_1 v + F_2 v + F_3 v}{m} = \left\{ \frac{d}{dt} [0.5m(1+\epsilon)v^2 + mgh] + f_1 mgv + 0.5\rho f_2 A(v+v_w)^2 v + f_3 mgv \right\} / m = v[a(1+\epsilon) + g\sin(\theta) + gf_1] + 0.5\rho \frac{f_2 A}{m} (v+v_w)^2 v + f_3 gv \quad (2)$$

式中:  $t$  为时间(s);  $m$  为车辆质量(kg);  $\epsilon$  为旋转质量换算系数;  $v$  为车辆行驶速度( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $g$  为重力加速度,本文取  $9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ;  $h$  为车辆行驶时所处的海拔高度(m);  $f_1$  为滚动阻力系数,与路面材料与轮胎类型有关,本文取 0.013 5;  $\rho$  为环境空气密度,在  $20^\circ\text{C}$  时为  $1.207 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $f_2$  为风阻系数;

$A$  为车辆迎风面积( $\text{m}^2$ );  $v_w$  为风速( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $f_3$  为内摩擦阻力系数;  $a$  为车辆瞬时加速度( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );  $\theta$  为道路坡度。

进一步整理简化,忽略相关参数影响,最终得到

$$V = v [1.1a + 9.8\sin(\theta) + 0.132] + 0.000302v^3 \quad (3)$$

本文以车载排放测试数据为基础,为了便于预测计算以及和仿真模型相互融合,将比功率分为 10 个区,考虑了 2 个分区原则,为了便于区分和计算,相邻 2 个分区之间的排放污染物差值较大,当比功率分区数量较多时,可以减小每个比功率分区区的标准差值。由此,最终得到 10 个比功率分区与 3 种车型(轻型车、中型车及重型车)的质量排放率,轻型车的比功率分区与质量排放率见表 2。

表 2 轻型车的比功率分区与质量排放率

Tab. 2 Specific power divisions and quality emission ratios

of light-duty vehicles <span style="float:right">mg · s<sup>-1</sup></span>				
分区	比功率/ (kW · t <sup>-1</sup> )	污染物		
		CO	HC	NO <sub>x</sub>
1	$V < -10$	1.902 5	0.067 3	0.343 7
2	$-10 \leq V < -2$	2.091 8	0.103 0	0.504 6
3	$-2 \leq V < 0$	2.541 9	0.159 3	0.556 2
4	$0 \leq V < 2$	1.823 7	0.232 3	0.585 5
5	$2 \leq V < 5$	2.353 3	0.189 6	0.691 6
6	$5 \leq V < 9$	2.245 1	0.259 2	0.821 6
7	$9 \leq V < 13$	2.696 4	0.318 0	1.090 6
8	$13 \leq V < 17$	4.072 5	0.438 3	1.176 4
9	$17 \leq V < 20$	3.997 9	0.547 2	1.358 8
10	$20 \leq V$	4.513 5	0.517 4	1.451 4

## 2 交通仿真模型

交通仿真是研究复杂交通问题的重要手段,当出现的交通问题无法用简单的数学模型描述时,其作用就显得尤为突出,本文选用 Q-paramics 方法对所选城市区域进行交通仿真。

### 2.1 仿真区域

从空间上看,长春市易发生周期性交通拥堵的地点,主要集中在工农广场、人民广场、新民广场、站前广场、人民大街、西安大路、青年路、南湖大路、自由大路、延安大路、同志街、西安桥、芙蓉桥、西解放立交桥、宽平大桥等路口路段,其中红旗街与延安大街区域同时包含红旗街和延安大街 2 条商业街与拥堵严重的新民广场。新民广场平时车流量较大,在交通高峰时段经常会发生拥堵,很容易造成周边交

通不畅,影响了交通参与者的出行。本文选择红旗街与延安大街环形区域作为仿真区域,见图 3。



图 3 交通仿真区域

Fig. 3 Traffic simulation zone

## 2.2 仿真模型

要建立能准确描述城市区域道路结构与交通流运行状况的路网仿真模型,首先需要进行道路基础数据、信号交叉口配时情况、交通量等基础数据的调研,进而建立准确描述道路状况的拓扑结构。建立城市区域路网拓扑结构主要包括 3 个步骤。

(1)节点和路段的建立。节点和路段是结构的基本组成部分,道路结构发生改变处均应设置为节点。在本文路网中,工农大路、宽平大路由于道路拓宽增加了转向车道,从 4 车道拓宽为 6 车道,从而保证交叉口的畅通。

(2)道路交叉口的设定。道路交叉口主要包括 3 种类型,即无信号交叉口、信号控制交叉口和环形交叉口。当车道范围设定之后,便可对交叉口进行信号控制,在本文仿真区域内,共有 5 个信号交叉口,由于交通量较大,信号交叉口往往是机动车延误产生的主要地区。

(3)公共交通的设置。公共交通的设置会影响路段和交叉口的通行能力,经过调查,沿延安大街和红旗街行驶的公交线路共有 17 条。

通过以上 3 步建立的路网拓扑结构见图 4,包含区域道路的车道数量、渠化情况、车道宽度、信号交叉口的设置与配时情况、道路拓扑情况等物理特征,为借助于 Modeller 模块进行交通仿真奠定了基础。

## 2.3 路网 OD 数据反推

一般来说,路网 OD 数据可作为动态交通仿真的基础输入数据。如何根据道路交通流量准确预测各个交通区域之间的 OD 数据越来越受到广大交通工作者的重视,通过分析 OD 数据与交叉口转向交

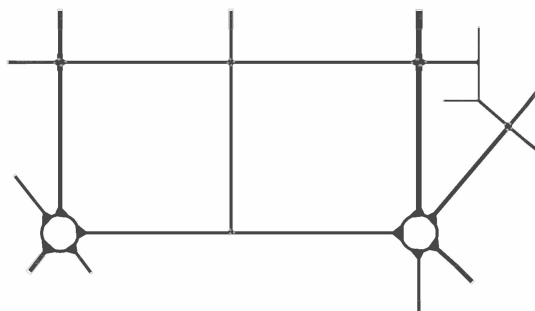


图 4 拓扑结构

Fig. 4 Topological structure

通量以及路段断面交通量的关系,建立了动态的估计模型,能得到较为准确的 OD 数据<sup>[12-17]</sup>。

根据路网中各个道路节点之间线路的车流量、转向车辆与道路限制等,可以推导出不同交通小区域间的 OD 数据。通过实地测量,得到交通晚高峰时段各个交通区域之间的 OD 数据,见表 3。

## 2.4 交通运行仿真

本文借助于 Q-Paramics 软件中的交叉口模型,能够详细地描述车辆行为,较为准确地反映机动车在实际道路与交叉口区域的运行状况;能够实时了解单车的运行状况<sup>[18-23]</sup>,并可以得到整个区域的交通运行状况。综合使用 Processor 工具和 Analyser 分析器,得到城市区域交通状况,见表 4。

## 3 仿真结果分析

通过将软件输出的单车实时运行状况(包括速度、加速度)与微观排放模型结合,计算出仿真区域内的机动车排放总量。根据机动车车型的对应关系,按照车长将仿真软件中的 1~11 类车(车长小于 6 m)定义为轻型车,12~14 类车定义为中型车(车长在 8~11 m),15 类车定义为公交车。

### 3.1 排放总量计算

在周期为 1 h 的时间内,排放总量为

$$T_j = 10^{-6} \sum_{i=1}^{10} t_{ij} R_{ij} \quad (4)$$

式中: $T_j$  为第  $j$  种车型的小时排放总量(kg); $t_{ij}$  为第  $j$  种车型在比功率分区  $i$  的累计时间(s); $R_{ij}$  为第  $j$  种车型在比功率分区  $i$  的质量排放率( $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

借助于 Modeller 模块进行交通仿真,追踪记录不同的车型,获得共计 10 000 多个时间点的数据,结合 3 种车型 3 种排放污染物的质量排放率,获得了分车型的机动车区域瞬时质量排放率,见表 5。

通过计算 3 种机动车排放污染物的瞬时质量排

表 3 OD 数据

Tab. 3 OD data

veh

区域	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	行和
1		390	50	150	30	20	90	20	20	20	20	20	20	850
2	150		20	100	10	10	80	60	40	40	200	335	200	1 245
3	88	120		110	10	10	46	40	80	40	20	40	20	624
4	50	140	50		110	80	188	120	200	100	230	324	180	1 772
5	10	10	10	30		108	60	200	68	40	20	20	20	596
6	10	10	10	10	10		10	10	10	10	10	10	10	120
7	35	70	30	200	10	10		0	80	60	60	80	60	695
8	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
9	114	160	180	350	20	10	80	60		180	244	330	160	1 888
10	54	120	80	160	10	10	10	10	160		204	260	180	1 258
11	35	120	80	210	20	15	140	60	120	20		120	100	1 040
12	120	380	180	410	60	20	80	60	170	90	218		210	1 998
13	95	140	40	180	10	10	150	40	230	190	110	150		1 345
列和	761	1 660	730	1 910	300	303	934	680	1 178	790	1 336	1 689	1 160	

表 4 交通状况

Tab. 4 Traffic conditions

参数	取值
轻型车及中型车平均速度/(km·h <sup>-1</sup> )	11.82
公交车平均速度/(km·h <sup>-1</sup> )	8.81
所有车辆平均速度/(km·h <sup>-1</sup> )	11.69
轻型车及中型车平均延误/s	438.00
公交车平均延误/s	769.21
所有车辆平均延误/s	451.94

表 5 质量排放率

Tab. 5 Quality emission ratios

mg·s<sup>-1</sup>

车型	污染物		
	CO	HC	NO <sub>x</sub>
轻型车	2.224 0	0.223 3	0.665 5
中型车	3.192 4	0.320 2	0.203 4
公交车	4.843 5	1.805 3	18.708 5

放率与累计行驶时间,可以得到交通晚高峰时段 3 种污染物的小时排放总量,见表 6。

表 6 排放总量

Tab. 6 Total emissions

kg·h<sup>-1</sup>

污染物	CO	HC	NO <sub>x</sub>
排放总量	163.364 7	19.453 9	77.701 8

从表 5、6 可以看出,在晚高峰时段,公交车 HC 和 NO<sub>x</sub> 的排放要远高于轻型车和中型车;3 种排放污染物的小时排放总量差别明显,其中 CO 的排放最高,其次是 NO<sub>x</sub> 和 HC。

### 3.2 分车型排放比例

根据城市机动车排放空气污染测算方法,机动车污染物排放比例是指机动车排放的某种污染物占该污染物排放总量的比率,即

$$P_{jk} = \frac{T_{jk}}{\sum_{j=1}^3 T_{jk}} \quad (5)$$

式中: $P_{jk}$ 、 $T_{jk}$  分别为第  $j$  种车型的第  $k$  种排放污染物的排放比例与累计排放量。

通过交通仿真输出的机动车实时运行状况,结合微观排放模型,可计算得到分车型的各种排放比例,分别见图 5~7。

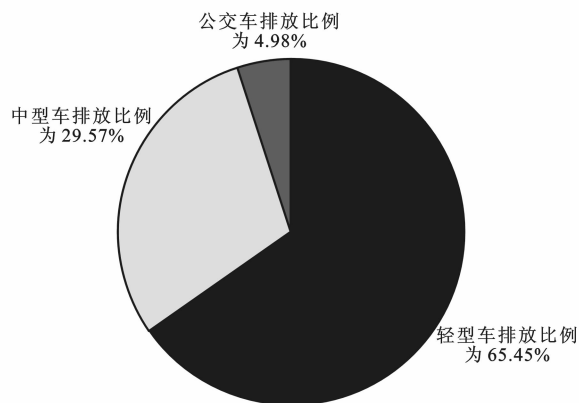


图 5 CO 排放比例

Fig. 5 Emission ratios of CO

由表 4、5 及图 5~7 可以看出,对于 CO 来说,轻型车和中型车贡献了绝大部分,分别达到了 65.45% 和 29.57%,公交车只有 4.98%,说明轻型

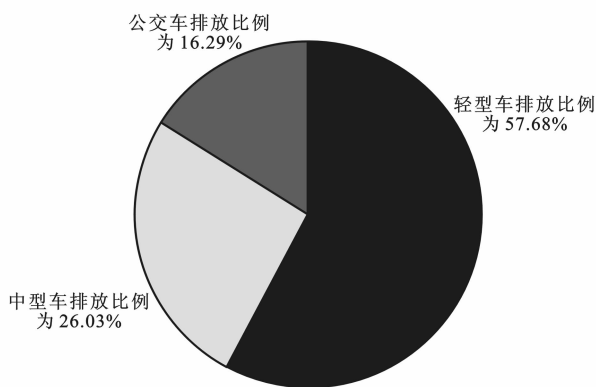
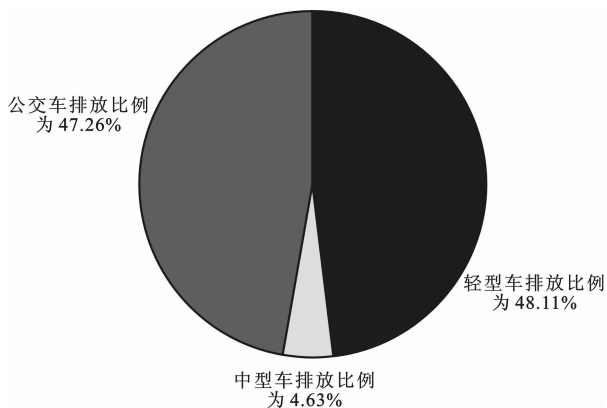


图 6 HC 排放比例

Fig. 6 Emission ratios of HC

图 7 NO<sub>x</sub> 排放比例Fig. 7 Emission ratios of NO<sub>x</sub>

车和中型车是 CO 排放控制的重点;HC 的排放规律和 CO 相似,轻型车和中型车分别贡献了 57.68%和 26.03%,占据了 83.71%的份额,公交车只有 16.29%,说明轻型车和中型车也是 HC 排放控制的重点;公交车与轻型车的 NO<sub>x</sub> 排放比例相当,分别为 47.26%与 48.11%,这与公交车的 NO<sub>x</sub> 质量排放率大约是轻型车的 30 倍有直接关系,中型车的 NO<sub>x</sub> 排放比例为 4.63%,因此,如何控制公交车的 NO<sub>x</sub> 排放是治理的重点之一。

## 4 结 语

选择城市机动车作为研究对象,通过搭建车载排放测试试验平台,进行实际道路排放试验,建立了机动车的比功率排放模型,并计算得到了 3 种车型的 10 个比功率分区 3 种排放污染物的质量排放率。在确定交通仿真区域的基础上,构建了红旗街与延安大街区域的网络拓扑图,并通过路段交通量和转弯量进行 OD 数据反推获得了各交通小区域之间的 OD 数据;结合微观排放模型定量评价了城市区域的排放总量与各种车型的排放比例,结论如下。

(1)通过将速度和加速度作为输入输出参数,借助于基于比功率的排放模型和交通仿真模型,可以定量评价城市区域机动车排放总量。

(2)轻型车和中型车是城市区域 CO 和 HC 排放控制的重点,而公交车是 NO<sub>x</sub> 排放控制的重点。

(3)不同的交通控制策略会带来不同的交通运行状况,通过排放模型和交通仿真模型结合可以准确反映交通控制策略对机动车排放的影响。

本文的研究为通过优化交通控制策略从而减少城市道路的机动车排放奠定了基础,但尚未实现机动车实时运行状况仿真与排放模型的结合,相关问题有待进一步研究。

## 参 考 文 献 :

### References :

- [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(3):1-10.  
MA Yin-tao, LAU A K H, LOUIE P K K, et al. Application of vehicular emission models and comparison of their adaptability[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2008, 2(3): 1-10. (in Chinese)
- [2] 熊 伟,严新平. 基于路径的算法求解考虑排放的交通分配模型[J]. 交通运输工程学报,2009,9(3):71-75.  
XIONG Wei, YAN Xin-ping. Path-based solution algorithms of traffic assignment model considering emission[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009, 9(3): 71-75. (in Chinese)
- [3] 姚志良,贺克斌,王岐东,等. IVE 机动车排放模型应用研究[J]. 环境科学,2006,27(10):1928-1933.  
YAO Zhi-liang, HE Ke-bin, WANG Qi-dong, et al. Application study of IVE vehicle emission model[J]. Environmental Science, 2006, 27(10): 1928-1933. (in Chinese)
- [4] COELHO M C, FREY H C, ROUPHAIL N M, et al. Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles based on microscale measurements[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2009, 14(2): 91-99.
- [5] TUNG H D, TONG H Y, HUNG W T, et al. Development of emission factors and emission inventories for motorcycles and light duty vehicles in the urban region in Vietnam[J]. Science of the Total Environment, 2011, 409(14): 2761-2767.
- [6] HJ/T180—2005,城市机动车排放空气污染测算方法[S].  
HJ/T180—2005, method for estimation of air pollution from vehicular emission in urban area[S]. (in Chinese)
- [7] 王云鹏,郭 栋,李世武,等. 基于 OEM-2100 的城市道路交叉口排放测试试验研究[J]. 公路交通科技,2009,26(10): 153-158.  
WANG Yun-peng, GUO Dong, LI Shi-wu, et al. Experimental research on vehicle emission at urban road intersection based on OEM-2100[J]. Journal of Highway and Transport-

- tation Research and Development, 2009, 26(10): 153-158. (in Chinese)
- [8] UNAL A. On-board measurement and analysis of on-road vehicle emissions[D]. Charlotte: North Carolina State University, 2002.
- [9] 王云鹏,沙学峰,李世武,等. 机动车道路排放的实时测试系统开发及试验研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(8): 149-151. WANG Yun-peng, SHA Xue-feng, LI Shi-wu, et al. Real time vehicle emission testing system research and development[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(8): 149-151. (in Chinese)
- [10] 潘汉生,陈长虹,景启国,等. 轻型柴油车排放特性与机动车比功率分布的实例研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(10): 1306-1313. PAN Han-sheng, CHEN Chang-hong, JING Qi-guo, et al. A case study of the emission characteristics of light-duty diesel vehicle and the distribution of vehicle specific power[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(10): 1306-1313. (in Chinese)
- [11] 王云鹏,沙学峰,李世武,等. 城市道路车辆排放测试与模拟[J]. 中国公路学报, 2006, 19(5): 88-92. WANG Yun-peng, SHA Xue-feng, LI Shi-wu, et al. Testing and simulation of vehicle emission on urban road[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(5): 88-92. (in Chinese)
- [12] 焦朋朋,陆化普,刘颖,等. 基于交叉路口的动态 OD 反推模型与算法研究[J]. 土木工程学报, 2004, 37(9): 100-103. JIAO Peng-peng, LU Hua-pu, LIU Ying, et al. Study on estimation of dynamic origin-destination flows for intersections[J]. China Civil Engineering Journal, 2004, 37(9): 100-103. (in Chinese)
- [13] WANG Qi-dong, HUO Hong, HE Ke-bin, et al. Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2008, 13(5): 289-297.
- [14] ZHANG Ying-ying, CHEN Xu-mei, ZHANG Xiao, et al. Assessing effect of traffic signal control strategies on vehicle emissions[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(1): 150-155.
- [15] 郭栋. 城市交通网络机动车排放优化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010. GUO Dong. Study on vehicle emissions reduction in urban traffic network[D]. Changchun: Jilin University, 2010. (in Chinese)
- [16] PANDIAN S, GOKHALE S, GHOSH A K. Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2009, 14(3): 180-196.
- [17] LI Xiu-gang, LI Guo-qiang, PANG Su-seng, et al. Signal timing of intersections using integrated optimization of traffic quality, emissions and fuel consumption; a note[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2004, 9(5): 401-407.
- [18] 何兆成,杨文臣,梁诗,等. 城市单交叉路口交通信号实时优化控制与仿真[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(33): 239-243. HE Zhao-cheng, YANG Wen-chen, LIANG Shi, et al. Study of real-time traffic signal optimized control and simulation for urban isolated intersection[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(33): 239-243. (in Chinese)
- [19] 张东明,成卫,潘云伟,等. 基于 PARAMICS 的信号交叉口可变进口道诱导方法研究[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(8): 1868-1871. ZHANG Dong-ming, CHENG Wei, PAN Yun-wei, et al. Study on the method of reversible approach guidance at the signalized intersection base on PARAMICS[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(8): 1868-1871. (in Chinese)
- [20] 何兆成,卢瑞琪,聂佩林. 基于浮动车定位数据的高速公路区间平均速度估计[J]. 公路交通科技, 2011, 28(6): 128-135. HE Zhao-cheng, LU Rui-qi, NIE Pei-lin. Estimation on free-way segment average speed based on probe vehicle data[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28(6): 128-135. (in Chinese)
- [21] 李磊磊,陈阳舟,张利国,等. 基于 Paramics 仿真验证的北京市快速路入口匝道最优控制[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(3): 1-4, 9. LI Lei-lei, CHEN Yang-zhou, ZHANG Li-guo, et al. The optimal on-ramp metering control in Beijing ring-road based on Paramics simulation[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2011, 29(3): 1-4, 9. (in Chinese)
- [22] 范立权,陈阳舟,李振龙. 城市快速路入口匝道控制算法的 PARAMICS 仿真研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(6): 45-50. FAN Li-quan, CHEN Yang-zhou, LI Zhen-long. Simulation study of urban freeway on-ramp metering algorithms on PARAMICS[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(6): 45-50. (in Chinese)
- [23] 黄永刚,温惠英,何兆成,等. 基于 Paramics 的多相位感应信号控制仿真研究[J]. 交通与计算机, 2007, 25(6): 45-48. HUANG Yong-gang, WEN Hui-ying, HE Zhao-cheng, et al. Simulation of multi-phase actuated signal control based on Paramics[J]. Computer and Communications, 2007, 25(6): 45-48. (in Chinese)