

# 基于视频卡口数据的 外地车辆出行和技术参数时变特征分析\*

王敏亦<sup>1,2</sup>, 丁卉<sup>1,2</sup>, 李丽<sup>1,2</sup>, 徐锐<sup>1,2</sup>, 刘永红<sup>1,2</sup>

1. 中山大学智能工程学院 / 广东省智能交通系统重点实验室, 广东 广州 510006

2. 广东省交通环境智能监测与治理工程技术研究中心, 广东 广州 510275

**摘要:** 通过佛山市视频卡口获得2017年全市逐秒过车车牌记录数据, 分析佛山一环内和一环外外地车小时尺度的分车型结构、道路类型的出行和技术参数时变特征。结果表明: (1) 外地车日均出行量占全市的24.11%, 与大型省会城市外地车占比(23%)相近, 其中重型和轻型车流量在佛山一环内和一环外差异明显(超过50%)。(2) 外地车车籍主要为广东的广州、肇庆, 以及广西和浙江, 且主要分布在广佛连接通道上。省内外地车中, 货车的排放标准主要为国IV(38.9%~44.6%), 燃料类型主要为柴油(78.0%~78.4%)。(3) 从小时流量来看, 外地车在佛山一环内的小时流量高于佛山一环外, 且外地车总流量及各车型分布下的白天车流量均是夜间的3倍左右; 从省内外地车的排放标准来看, 国IV车的小时流量占比最高; 同时外地车主要出现在快速路和国省道上。

**关键词:** 城市交通; 出行和技术参数; 视频卡口; 外地车辆; 时空分布

**中图分类号:** U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2023)01-0106-09

## Analysis of non-local vehicle travel and technical parameters time-varying characteristics based on video bayonet data

WANG Minyi<sup>1,2</sup>, DING Hui<sup>1,2</sup>, LI Li<sup>1,2</sup>, XU Rui<sup>1,2</sup>, LIU Yonghong<sup>1,2</sup>

1. School of Intelligent Systems Engineering / Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China

2. Guangdong Provincial Engineering Research Center for Traffic Environmental Monitoring and Control, Guangzhou 510275, China

**Abstract:** The second-by-second vehicle license plate record data in 2017 was obtained through the Foshan video bayonet. Taking "Foshan First Ring Road" as the boundary, the hourly-scale different vehicle types of non-local vehicles inside and outside the region, the travel and technology parameters time-varying characteristics of road types are studied. The results show that: (1) The average daily travel volume of non-local vehicles in Foshan accounts for 24.11% of the total vehicles in the city, which is similar to the proportion of non-local vehicles (23%) in large provincial capital cities. Among them, the traffic volume of heavy and light vehicles is significantly different inside and outside the "Foshan First Ring Road" (over 50%). (2) Vehicles from other places inside and outside the province are mainly from Guangzhou, Zhaoqing, Guangxi and Zhejiang, and are mainly distributed on the Guangfo connecting channel. The emission standards of non-local trucks and trucks in the province are mainly

\* 收稿日期: 2021-03-21 录用日期: 2021-05-08 网络首发日期: 2022-10-06

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB1601105); 国家自然科学基金(41975165);

重庆市科学技术项目(cstc2019jcsx-fxydX0035); 广东省自然科学基金(2019A1515010812)

作者简介: 王敏亦(1994年生), 女; 研究方向: 智能交通; E-mail: wangmy68@mail2.sysu.edu.cn

通信作者: 刘永红(1977年生), 女; 研究方向: 大气环境及机动车污染控制; E-mail: liuyh3@mail.sysu.edu.cn

China IV (38.9%~44.6%), and the fuel type is mainly diesel (78.0%~78.4%). (3) From the point of view of hourly traffic flow, the hourly traffic volume of non-local vehicles inside the "Foshan First Ring Road" is higher than that outside the "Foshan First Ring Road". In the daytime, the total traffic volume of non-local vehicles, and the traffic volume of non-local vehicles distributed according to different vehicle types are both about 3 times that of the night-time. From the perspective of the emission standards of non-local vehicles in the province, the hourly traffic volume of China IV vehicle is the highest; at the same time, non-local vehicles mainly appear on expressways and national and provincial roads.

**Key words:** city traffic; travel and technical parameters; video bayonet; non-local vehicles; temporal and spatial distribution

汽车尾气排放已成为城市空气污染主要来源之一<sup>[1]</sup>。城市之间交通往来频繁,出行驶辆中除本地车之外,均存在较多外地车,且其出行目的、频次、车辆种类等运行特征多样化。不同城市的外地车不仅占用道路资源、带来交通运行压力,还产生了较高的污染物排放。因此,已有学者利用动态交通流数据进行城市小时尺度的路网机动车排放清单编制、排放特征研究<sup>[2-4]</sup>。严晗<sup>[5]</sup>监测了北京2009年冬夏季和2012年冬季的交通流数据以及4条典型道路(高速路、快速路、主干道)排放对道路边的污染物浓度的贡献,发现夜间时段外地中重型货车对颗粒物排放强度的影响较大。韦清波等<sup>[6]</sup>基于卡口监控数据建立了交通出行评价体系,揭示了外地车在本地道路资源上的日出行次数、月出行频率及出行强度。江迎<sup>[7]</sup>从时空分布、车辆归属以及车辆使用特征等多个角度进行数据挖掘,分析了长沙市区路网的外地车辆分布和构成。龙小强等<sup>[8]</sup>基于卡口车牌识别数据对外地车出行行为进行了分类。

佛山作为粤港澳大湾区的主要城市之一,外地车进入佛山区域的频次较高。观测分析数据表明,交通排放对佛山空气污染的影响排在第一位,而外地车排放是其中重要的来源。因此,本文利用全市179个道路卡口的过车记录数据源,分析了外地车在佛山一环内和一环外的出行特征,为揭示中型城市外地车尾气排放状况提供理论支撑。

## 1 研究数据和方法

### 1.1 研究范围

研究收集了2017年7月全市179个视频卡口<sup>[9]</sup>检测数据,即逐秒的过车车牌记录数据。采集点位及主要道路分布如图1所示。卡口检测数据包括

卡口编号、方向编号、车道编号、号牌种类、过车时间、车辆速度、车牌号码、车牌颜色等。

### 1.2 数据采集与处理

卡口检测数据的预处理主要是对检测数据进行无效数据和重复数据去除。广东省内非佛山境内车(简称省内外地车)流量的具体字段包括道路名称、道路类型(4种)、时间(精确到小时)、车辆类型(2类)、排放标准(4种)、燃料类型(6种)、外地车小时流量。广东省外车(简称省外外地车)流量的具体字段包括道路名称、时间(精确到小时)、车辆类型、外地车小时流量。省内外地车道路类型、车型分类、排放标准、燃料类型的分类如图2所示。省外外地车因无法确定以上技术参数,仅按车牌颜色分为重型车和轻型车,如图3所示。

本研究采集的视频卡口检测数据基本完整,过车记录与广东省机动车注册登记信息无法匹配、获取三级分类车型(车辆类型-燃料类型-排放标准)的数据量占总数据量的7.36%,数据总体质量完好。对无法匹配、获取三级分类车型的数据,采用已有数据进行样本扩充。缺失数据按照省内当前小时路段上车型结构的比例进行分摊,具体方法为:黄牌(即重型车)按照中型客车、大型客车、中型货车、重型货车车型的比例分摊;其他颜色车牌(即轻型车)按照微型客车、轻型客车、微型货车、轻型货车4种车型<sup>[10-11]</sup>的比例分摊。

缺省数据补充公式为

$$Q_{i,j,k,m,n} = Q'_{i,j} \frac{q_{i,j,k,m,n}}{\sum q_{i,j,k,m,n}}, \quad (1)$$

$$W_{i,j,k,m,n} = Q_{i,j,k,m,n} + q_{i,j,k,m,n}, \quad (2)$$

式中 $Q_{i,j,k,m,n}$ 为第*i*个路段,第*j*个时间点,*k*类机动车车型,*m*类排放类型,*n*类燃料类型缺失数据补充后的小时流量; $Q'_{i,j}$ 为部分字段缺失数据的第*i*个

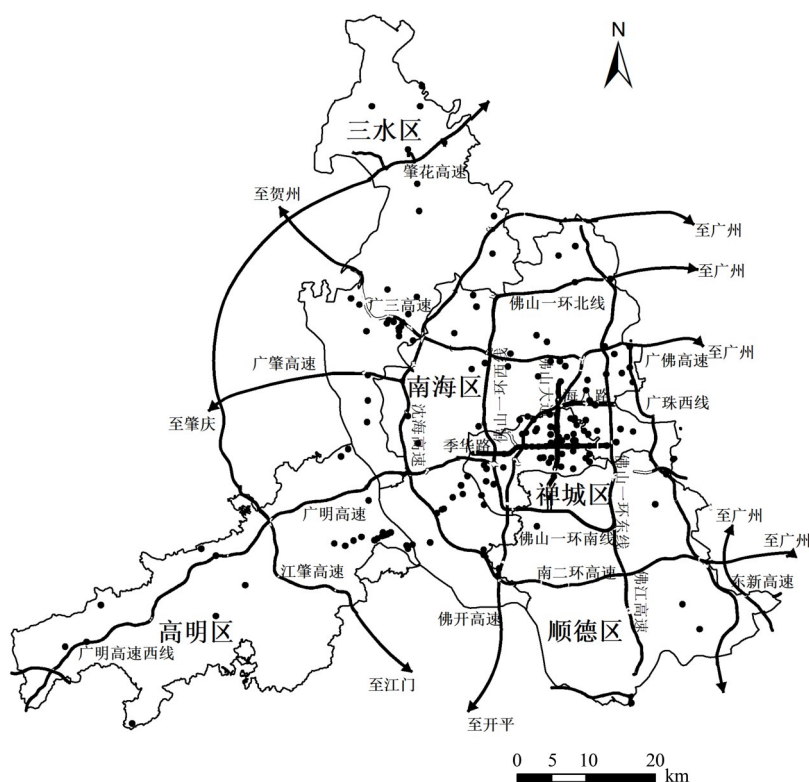


图1 佛山市卡口监测点位及主要道路分布图

Fig. 1 Monitoring points and main road distribution map of Foshan

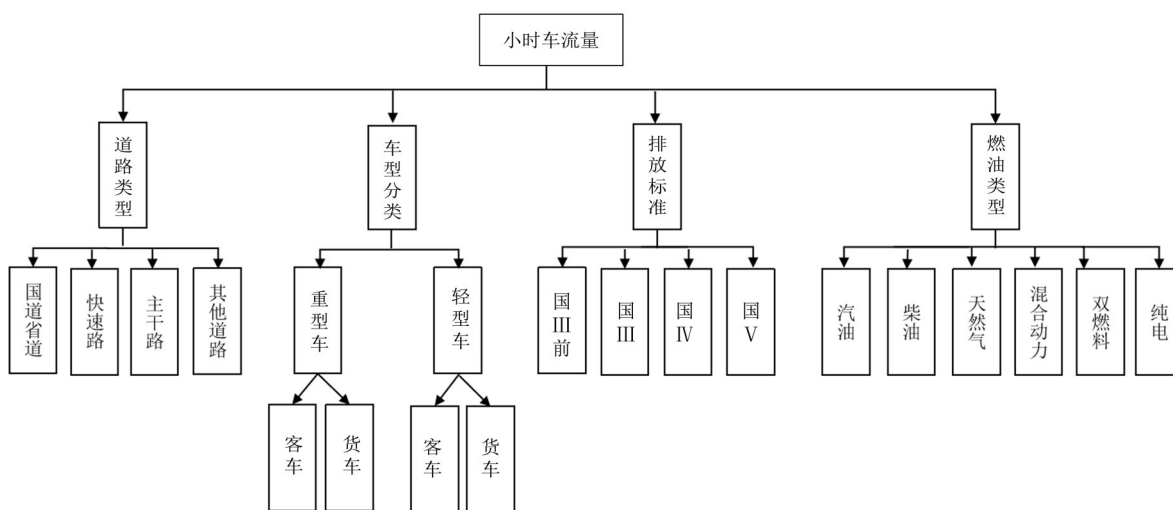


图2 省内外地车小时车流量的不同分类标准

Fig. 2 Different classification standards for the hourly traffic volume of non-local vehicles in the province

路段, 第  $j$  个时间点的小时流量;  $q_{i,j,k,m,n}$  为路段完整车型的小时流量;  $W_{i,j,k,m,n}$  为最终小时流量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 外地车辆日均流量分布

统计分析表明, 外地车的日均出行量为 62 万辆, 占佛山市总出行量的 24.11%。表 1~2 为佛山一

环内和一环外全市及外地车分车型的单路段日均车流量和省内外外地车单路段日均车流量。轻型车的日均车流量分别是重型车的 8.7~16.0 倍(全市)、4.6~8.3 倍(外地车), 外地车的轻型车在一环内的日均流量是一环外的 1.5 倍, 相反重型车在一环外的日均流量是一环内的 1.2 倍。这主要因为一环内为中心城区、路网密集, 包括交通流量较大

的主干路和次干路, 并有货车限行; 一环外路网主要为国道和省道, 聚集较多的物流和客运中心。

佛山一环内和一环外不同归属地的外地车

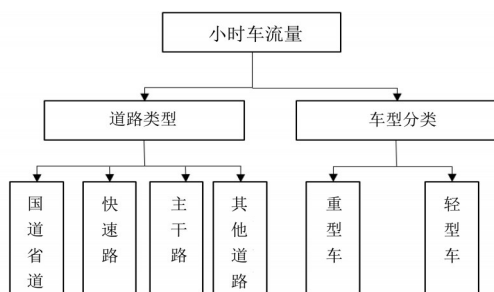


图 3 省外外地车小时车流量的分类标准

Fig. 3 Different classification standards for the hourly traffic volume of non-local vehicles outside the province

的日均流量在总外地车中的比例有明显的差异, 省内外地车为 70.36%~75.68%、省外外地车为 23.52%~41.96%。同时, 省内外地车在佛山一环内和一环外的日均流量明显高于省外外地车, 差异在 50% 以上, 而重型车在佛山一环内和一环外的日均流量变化较小。

图 4 为外地车归属地构成。省内外地车辆主要是由广州、肇庆以及广东省其他城市的车辆构成。省外外地车车籍主要分布在华南地区和中南地区, 数量前 3 的省份为广西、浙江、湖南。

图 5 为佛山一环内和一环外外地车辆在重点路段的日均流量分布。可以发现, 在广佛连接通道上, 省内外地车的日均流量超过了 15 000 辆,

表 1 佛山一环内和一环外佛山市及外地车单路段日均车流量

Table 1 Average daily traffic flow of the city's and non-local vehicles on single-line inside and outside the Foshan First Ring Road

车辆类型	一环内			一环外		
	佛山市/(辆·d <sup>-1</sup> )	外地/(辆·d <sup>-1</sup> )	外地车占比/%	佛山市/(辆·d <sup>-1</sup> )	外地/(辆·d <sup>-1</sup> )	外地车占比/%
重型	2 279	861	37.82	1 890	1 007	53.28
轻型	36 413	7 116	19.54	16 398	4 565	27.84

表 2 佛山一环内和一环外省内外地车单路段日均车流量

Table 2 The average daily traffic flow of non-local vehicles in and out of the province inside and outside of the Foshan First Ring Road

外地车辆	一环内			一环外		
	省内/(辆·d <sup>-1</sup> )	省外/(辆·d <sup>-1</sup> )	流量差异 <sup>1)</sup> /%	省内/(辆·d <sup>-1</sup> )	省外/(辆·d <sup>-1</sup> )	流量差异 <sup>1)</sup> /%
重型	635	227	64.23	682	325	52.31
轻型	4 984	2 131	57.24	3 569	996	72.10

1) 流量差异=(省内流量-省外流量)/省内流量。

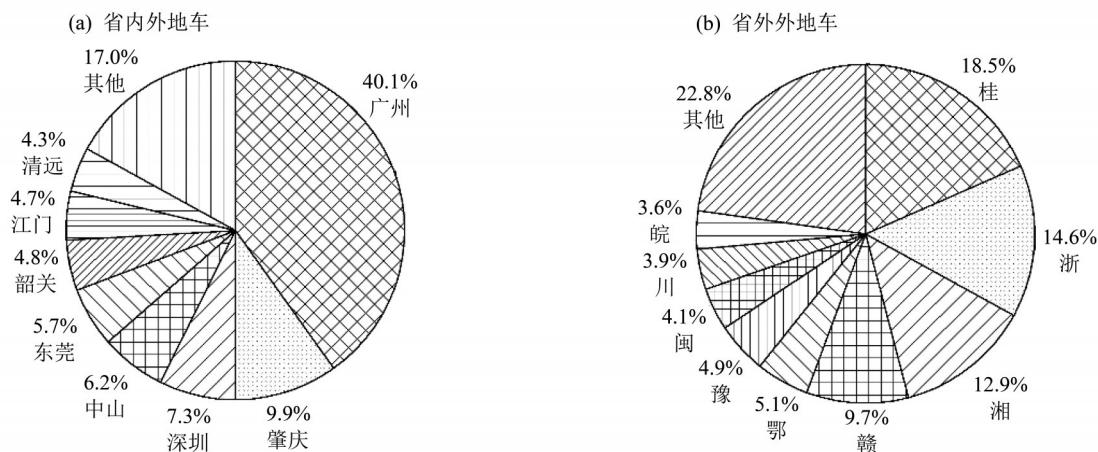


图 4 外地车归属地分类

Fig. 4 Classification of the ownership of non-local vehicles

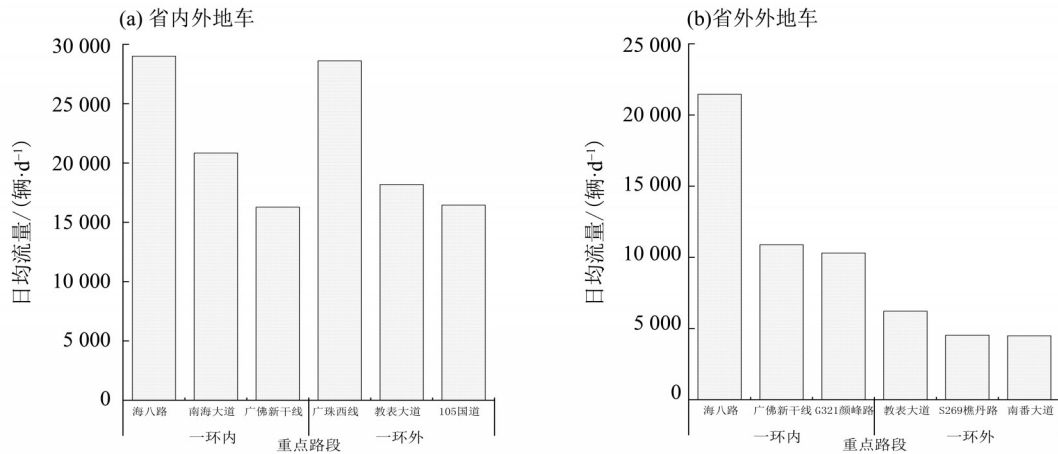


图5 佛山一环内和一环外外地车的重点路段日均流量

Fig. 5 Average daily flow of key sections of non-local vehicles inside and outside the Foshan First Ring Road

而省外外地车的日均流量在 5 000 辆以上。这也表明佛山一环以内区域是佛山的主城区，内部交通出行需求大且集中在主干路和快速路(交通性道路)，对内承担连接城市主要分区的职责，对外衔接周边交通节点，为城市机动车长距离出行提供快速通行服务。佛山一环以外集中了客流中心和物流区，重点路段在高速公路、省道和国道上，承载着出入境的交通流，起连接佛山与省内

外的交通集散作用。

### 2.2 省内外地车结构分布

从图 6 可知，佛山一环内和一环外省内外地车的车型分布相近，轻型车占主导地位。其中客车的占比最大(72.9%~76.4%)，货车的占比次之(23.6%~27.1%)。这与赵静琦等<sup>[12]</sup>关于天津全市的外地车运行特征基本相近。

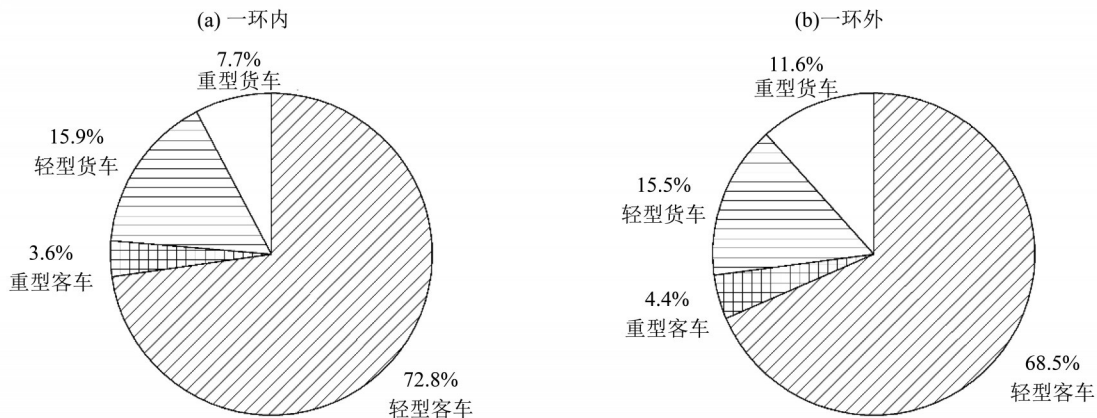


图6 佛山一环内和一环外省内外地车不同车型的分布

Fig. 6 Distribution of different models of non-local vehicles inside and outside the Foshan First Ring Road in the Province

货车是产生污染物 NO<sub>x</sub> 和 PM<sub>10</sub> 的重要来源<sup>[13-14]</sup>。进一步分析发现，省内外地车中，佛山一环内和一环外国IV车日均流量占比最大(48.49%~49.79%)；其次为国V车，占比达到31.86%(图7a)，这与2015年广东省实行更严格的排放标准国V，淘汰低排放高污染车型的政策有关<sup>[15]</sup>。佛山一环内和一环外的省内外地车中，货车主要的排放标准为国III(27.0%~32.87%)和国IV(38.9%~44.6%)，其中重型货车的排放标准分

布在佛山一环内和一环外的差异相较于轻型货车更明显：一环内国III车占比最高为42.5%，而一环外国IV车占比最高为44.7%。佛山一环内和一环外，省内外地车中，货车的主要燃料类型为柴油(78.0%~78.4%)，其中轻型和重型货车的燃料组成基本一致，主要的燃料类型为柴油(轻型车65.3%~68.3%、重型车95.0%~99.2%)(图7b)。因此，相关部门可重点关注货车中国III、国IV和柴油类型的排放问题<sup>[16]</sup>。

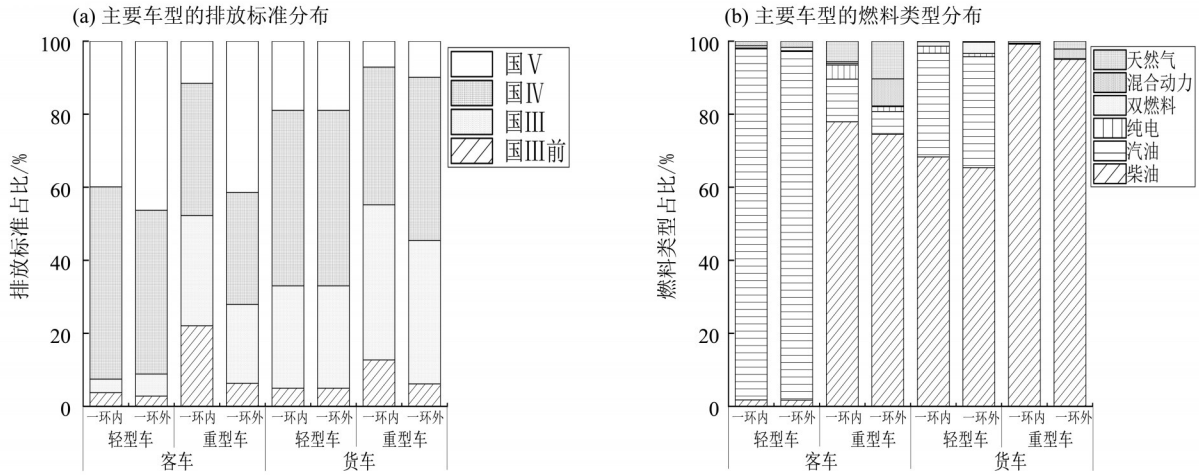


图 7 省内外地车主要车型的技术特征分布

Fig. 7 Distribution of technical features of main non-local vehicle types in the province

2.3 外地车辆日均流量的空间分布

结合 2.1 和表 3 可知, 外地车在不同空间、时间上的主要车型均为轻型车, 各道路类型的日均车流量有明显差异, 车辆主要集中在国省道和快速路。对于轻型车, 国省道、主干路和其他道路

类型在一环内的工作日和非工作日的车流量都远高于一环外, 这与快速路的现象相反; 对于重型车, 国省道和快速路在一环外的工作日和非工作日的车流量都远高于一环内, 与主干路和其他道路类型的现象相反<sup>[17]</sup>。

表 3 佛山一环内和一环外外地车不同道路类型单路段日均流量分布  
Table 3 Distribution of average daily flow of non-local vehicles on single-line of different road types inside and outside the First Ring Road

道路类型	工作日				非工作日			
	一环内		一环外		一环内		一环外	
	重型车	轻型车	重型车	轻型车	重型车	轻型车	重型车	轻型车
国省道	1 681	18 285	4 777	13 196	1 546	17 951	3 974	12 051
快速路(高速公路)	2 499	13 470	3 814	26 524	2 198	13 465	3 113	28 880
主干路	955	10 148	642	5 297	914	9 837	485	4 687
其他	3 000	9 371	949	4 770	2 709	9 099	706	4 169

从图 8 可知, 不同归属地的外地车在各道路类型的主要车型为轻型车(省内 85.71%~90.96%、省外 65.71%~96.04%), 重型车(省内 9.04%~13.48%、省外 6.33%~34.29%)。对于省内外地车, 各道路类型下两种车型占比基本相近, 其中快速路和其他道路类型的重型车在一环内占比明显高于一环外; 对于省外外地车, 佛山一环内和一环外各道路类型下两种车型的占比差异较大, 一环外重型车的车流量高于一环内, 这与佛山市中心城区有货车限行的时间限制有关(每日 6:00~22:00)。

2.4 外地车辆小时流量变化特征

2.4.1 总体分布 图 9 为佛山一环内和一环外全市车辆及外地车的小时流量分布, 总体呈现“M”

形分布<sup>[18-21]</sup>。外地车在佛山一环内和一环外的全天小时流量变化占全市的比例分别为 15.71%~34.84% 和 22.77%~54.01%, 且昼夜相差较大, 白天维持相对较高的数值, 白天的车流量是夜间的 3 倍左右。虽然外地车在 00:00~06:00 的车流量较少, 但是在全市总车流量中的占比高于其他时间段, 主要原因是外地车在此时间段以货运为主。此外, 外地车在一环内的小时流量高于一环外, 这也说明佛山一环内包含佛山市的中心城区, 涵盖居民通勤、进出城区的出行需求大, 交通活动较为频繁。

2.4.2 分车型、技术特征小时流量分布 结合 2.4.1, 分析不同区域内不同归属地的外地车小时

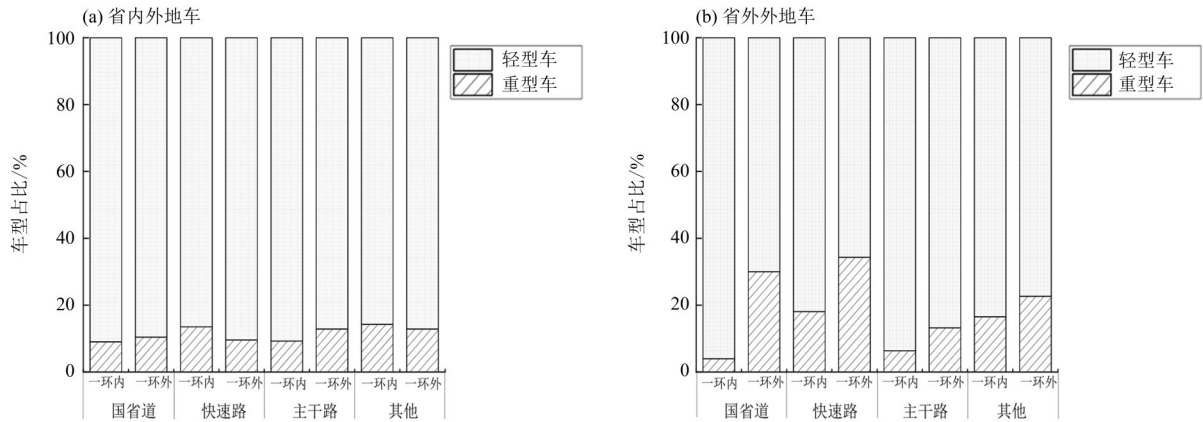


图 8 佛山一环内和一环外外地车不同道路类型的车型占比  
 Fig. 8 Proportion of different road types of non-local vehicles inside and outside the Foshan First Ring Road

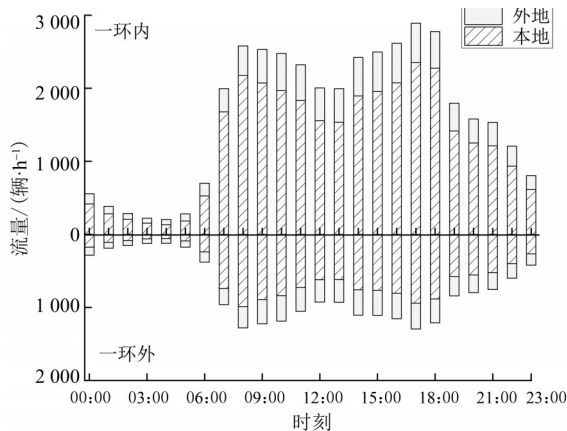


图 9 佛山一环内和一环外全市及外地车单路段小时流量  
 Fig. 9 Hourly traffic flow of the city and non-local vehicles on single-line inside and outside the Foshan First Ring Road

流量变化。由图 10a 可知，一环内的省内外外地车的小时流量均高于一环外，按车型分布的小时流量基本呈现“M”形，各车型的早高峰时段为 09:00~11:00，晚高峰时段为 15:00~18:00，且早晚流量差异较明显。对于省内外地车，轻型和重型车在白天的总流量是夜间的 3 倍、2.5 倍左右，其中轻型车在佛山一环内和一环外的小时流量在总车流量的变化范围为 67.58%~91.51%、63.18%~88.15%；而重型车在佛山一环内和一环外全天的小时流量变化较小。对于省外外地车，轻型和重型车在白天的总流量分别是夜间的 3 倍、2 倍左右，其中轻型车在佛山一环内和一环外的小时流量变化范围为 76.09%~94.33%、51.65%~82.05%，且一环内的高峰车流量是一环外的 2 倍多，而重型车的现象与省内的相同。

图 10b 为省内外地车分排放标准单路段小时流量。可知，一环内各排放标准的车辆小时流量均

高于一环外，且国 IV 车的小时流量在总车流量的占比最高(44.74%~50.82%)。佛山一环内和一环外各排放标准的高峰时间段小时流量差异较小，但昼夜小时流量相差较大(除国 III 前车和国 III 车)，佛山一环内和一环外外地车中国 IV 车和国 V 车的白天总车流量分别是夜间的 3~3.5、2.6~2.9 倍。

2.4.3 在不同道路类型下的小时流量分布 由图 11 可知，外地车按道路类型的单路段小时流量分布特征相近，早高峰时段为 08:00~10:00，晚高峰时段为 15:00~17:00，而省内省外外地车在佛山一环内和一环外的小时流量有明显差异。

对于省内外地车，根据佛山一环内和一环外按道路类型的各小时流量中的比例发现，快速路(25.86%~34.31%、29.84%~64.00%)占比最高，其次为国省道(21.75%~32.75%、20.83%~52.22%)，且一环内的快速路和国省道上的小时流量高于一环外，而其他两种道路类型的现象与之相反。各道路类型的昼夜流量值有明显的差异，表现为快速路在佛山一环内和一环外的白天流量分别是夜间的 3.9 倍和 2.6 倍，国省道在佛山一环内和一环外的白天流量分别是夜间的 3 倍和 4.5 倍，其他道路类型在佛山一环内和一环外的白天流量是夜间的 3 倍左右；同时高峰时间段的流量差异在快速路上较为明显，表现为一环外小时流量是一环内的 2.7 倍左右(图 11a)。

对于省外外地车，佛山一环内和一环外按道路类型的各小时流量的比例与省内外地车呈现相反的现象，表现为国省道(42.72%~60.48%、26.44%~44.78%)占比最高，快速路(14.53%~

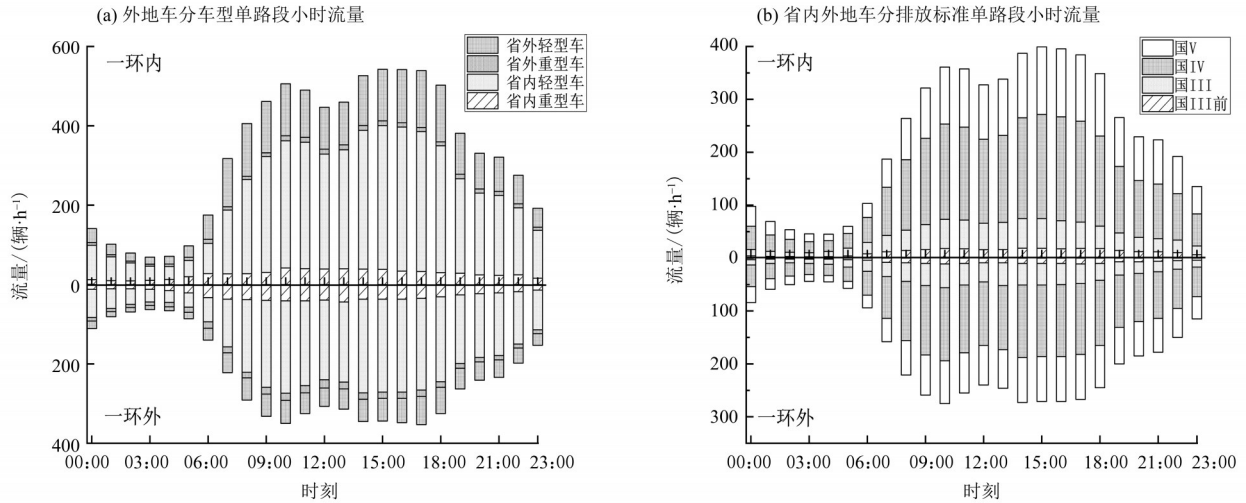


图 10 佛山一环内和一环外外地车分车队结构的单路段小时流量

Fig. 10 Hourly traffic flow of single-line by non-local vehicle fleet structure inside and outside the Foshan First Ring Road

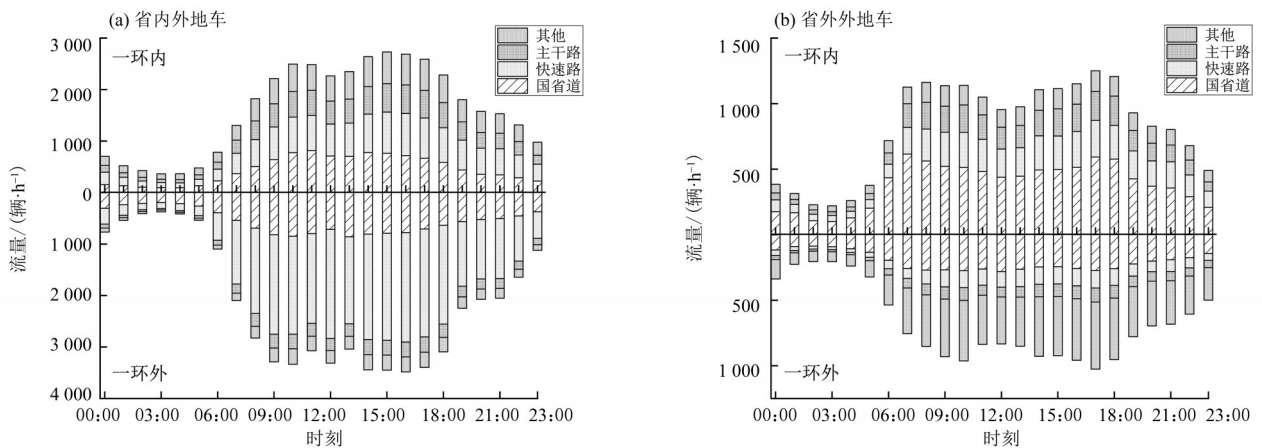


图 11 佛山一环内和一环外外地车分道路类型的单路段小时流量

Fig. 11 Hourly traffic flow of single-line under different road types of non-local vehicles inside and outside the Foshan First Ring Road

23.69%、10.59%~15.60%)次之(图 11b)。从整体看, 一环内各道路类型的小时流量高于一环外(除其他道路类型), 尽管白天小时流量值无明显变化, 但各道路类型的白天总流量均是夜间的 3 倍左右, 同时各道路类型的一环内高峰流量是一环外的 2 倍多。

### 3 结 论

1) 佛山市外地车日均出行量占全市的 24.11%, 与大型省会城市中外地车的占比相近。其中佛山一环内和一环外轻型车的比例远高于重型车, 而各车型流量在佛山一环内和一环外存在明显差异。外地车中, 省内外地车占主导地位, 在佛山一环内和一环外的流量明显高于省外车。

外地车在重点路段的交通流主要在广佛连接通道上, 表现为省内外地车超过 15 000 辆/d, 省外外地车超过 5 000 辆/d。

2) 从省内外地车辆特征来看, 货车的占比不容忽视(产生较高污染物  $\text{NO}_x$  和  $\text{PM}_{10}$ ), 排放标准主要为国 IV 和国 III, 燃料类型主要为柴油。按道路类型来看, 外地车主要集中在国省道和快速路, 且不同车型在佛山一环内和一环外不同道路、不同时间上的分布也有明显的差异。

3) 外地车在一环内的小时流量高于一环外, 且全天小时流量变化范围存在明显差异, 分别为 15.71%~34.84% 和 22.77%~54.01%; 且昼夜相差较大, 白天的车流量是夜间的 3 倍左右。

4) 从不同车型来看, 外地的轻型车和重型车

的白天总流量分别约是夜间的3倍、2倍,其中轻型车在佛山一环内和一环外全天的小时流量在总车流量的变化范围都在20%左右;而重型车在佛山一环内和一环外全天的小流量变化较小;从省内外地车的排放标准来看,国IV的小时流量占比

最高,且昼夜小时流量相差较大(3倍左右);从不同道路类型来看,各小时流量都以快速路和国道为主,省内外地车在佛山一环内和一环外快速路和国省道的昼夜流量存在明显差异(3倍以上),而省内外地车在各道路类型的昼夜流量差异为3倍左右。

#### 参考文献:

- [1] CHENG S, LU F, PENG P. A high-resolution emissions inventory and its spatio-temporal pattern variations for heavy-duty diesel trucks in Beijing, China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 250: 119445.
- [2] 潘玉瑾,李媛,陈军辉,等.基于交通流的成都市高分辨率机动车排放清单建立[J].*环境科学*,2020,41(8):3581-3590.
- [3] GHAFFARPASAND O, TALAIE M R, AHMADIKIA H, et al. A high-resolution spatial and temporal on-road vehicle emission inventory in an Iranian metropolitan area, Isfahan, based on detailed hourly traffic data [J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2020, 11(9):1598-1609.
- [4] GÓMEZ C D, GONZÁLEZ C M, OSSES M, et al. Spatial and temporal disaggregation of the on-road vehicle emission inventory in a medium-sized Andean city. Comparison of GIS-based top-down methodologies [J]. *Atmospheric Environment*, 2018, 179: 142-155.
- [5] 严晗.北京典型道路机动车污染物排放与浓度特征研究[D].北京:清华大学,2014.
- [6] 韦清波,王俊,莫俊杰,等.基于卡口检测的城市机动车出行特征[J].*交通与运输*,2019,35(2):33-36.
- [7] 江迎.基于车牌识别技术的长沙市外地车使用特征[C]//中国城市交通规划年会论文集,2017:2566-2573.
- [8] 龙小强,苏跃江,余畅,等.基于卡口车牌识别数据的车辆出行分析[J].*交通运输系统工程与信息*,2019,19(2):66-72.
- [9] ZHANG Z, LI M, LIN X, et al. Network-wide traffic flow estimation with insufficient volume detection and crowdsourcing data[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2020, 121(1):102870.
- [10] GOKHALE S. Impacts of traffic-flows on vehicular-exhaust emissions at traffic junctions [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2012, 17(1): 21-27.
- [11] BREUER J L, SAMSUN R C, PETERS R, et al. The impact of diesel vehicles on NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> emissions from road transport in urban morphological zones: A case study in North Rhine-Westphalia, Germany [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 727: 138583.
- [12] 赵静琦,姬亚芹,李越洋,等.天津市道路车流量特征分析[J].*环境科学研究*,2019,32(3):399-405.
- [13] 张帆,程水源,王人洁,等.京津冀区域国家干线公路机动车大气污染影响研究[J].*公路交通科技*,2017,34(6):144-50.
- [14] SUN S, JIN J, XIA M, et al. Vehicle emissions in a middle-sized city of China: Current status and future trends [J]. *Environment International*, 2020, 137: 105514.
- [15] 宋晓伟,郝永佩,朱晓东.长三角城市群机动车污染物排放清单建立及特征研究[J].*环境科学学报*,2020,40(1):90-101.
- [16] HUANG Y, MOK W C, YAM Y S, et al. Evaluating in-use vehicle emissions using air quality monitoring stations and on-road remote sensing systems [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 740: 139868.
- [17] 周子航,邓也,吴柯颖,等.成都市道路移动源排放清单与空间分布特征[J].*环境科学学报*,2018,38(1):79-91.
- [18] 黄成,刘娟,陈长虹,等.基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究[J].*环境科学*,2012,33(11):3725-3732.
- [19] 李笑语,吴琳,邹超,等.基于实时交通数据的南京市主次干道机动车排放特征分析[J].*环境科学*,2017,38(4):1340-1347.
- [20] 李丽,刘永红,邓思欣,等.基于动态交通流的佛山市机动车网格化排放清单[J].*中山大学学报(自然科学版)*,2017,56(2):66-75.
- [21] 唐伟,杨强,黄成,等.基于大数据分析和IVE模型的杭州市机动车污染物排放变化特征研究[J].*环境科学学报*,2018,38(1):71-78.

(责任编辑 张冰)