

基于动态交通流的佛山市机动车网格化排放清单*

李丽¹, 刘永红¹, 邓思欣², 司徒淑聘², 黄建彰¹

(1. 中山大学工学院//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;
2. 佛山市环境监测中心站, 广东 佛山 528000)

摘要: 基于动态交通流信息和排放因子, 以 Arcgis 为构建平台, 运用自下而上的方法编制佛山市机动车网格化排放清单, 分析污染物排放的时空分布特征。研究结果显示: 2013 年佛山市机动车尾气排放污染物 CO、VOCs、NO_x、PM 总量分别为 1.29×10^5 、 2.19×10^4 、 3.61×10^4 、 1.15×10^3 t。机动车污染物高排放区域主要集中在城区中心以及城区中心向外辐射的路网上。机动车污染物日排放高峰期与车流量高峰期相对应, 为每天的 7:00-9:00 和 17:00-19:00。中心城区在进行排放控制时, 应针对高峰时段进行改善, 且主干路是排放控制的重点道路。要控制 CO 和 VOCs 排放, 应该着重对国 0 标准轻型客车和国 0、国 I 标准摩托车进行交通管制, 而控制 NO_x 和 PM 的排放关键是国 0 标准货车、国 III 标准大型客车和公交车。

关键词: 机动车尾气; 网格化清单; 时空特征; 实时交通流

中图分类号: X734.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2017)02-0066-10

Gridding emission inventory of vehicle exhaust in Foshan based on dynamic traffic flow information

LI Li¹, LIU Yonghong¹, DENG Sixin², SI TU Shupin², HUANG Jianzhang¹

(1. School of Engineering//Guangdong Provincial Engineering Research Center for Traffic Environmental Monitoring and Control, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Foshan Environmental Monitoring Central Station, Foshan 52800, China)

Abstract: On the ArcGIS platform, gridding emission inventory of vehicle exhaust in Foshan in 2013 was built using a new method of bottom-up approach based on dynamic traffic flow and emission factors data. The actual road emission characteristics of temporal and spatial distribution of the pollutant emissions were also analyzed. The results showed that the emissions of CO, NO_x, VOCs and PM were 1.29×10^5 , 2.19×10^4 , 3.61×10^4 , 1.15×10^3 t, respectively. Motor vehicle emissions mainly concentrated in the center of the city and outward road network. And the pollution emission peak was corresponded to the traffic peak, namely 7:00-9:00 and 17:00-19:00. The emissions during the morning and evening peak should be concerned in central city, and primary roads were the emphases on exhaust emission control. Light passenger cars with State 0 standard and motorcycles with State 0, State I standard should be regulate to controlled CO and VOCs emissions, while trucks with State 0, heavy passenger cars and buses with State III were the key to reduce NO_x and PM emissions.

Key words: vehicle exhaust; emission inventory; spatial-temporal characteristics; real-time traffic flow

* 收稿日期: 2016-01-01

基金项目: 广东省科技计划项目(2015B010110005); 佛山市环境保护局委托项目(GDJAFS2014021D)

作者简介: 李丽(1989年生), 女; 研究方向: 大气环境与机动车污染控制, E-mail: lylee1990@126.com

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: liu_its@163.com

随着社会经济和城市人口的不断增长，城市大气污染越来越复杂，我国城市大气污染类型已由局地、单一的煤烟型污染向区域、复合型污染转化^[1]。为了分析大气污染来源和分布，在北京、广州、天津等城市或全国^[2-5]，甚至于国外进行了大气污染物排放清单研究^[6-10]，发现机动车尾气排放是城市大气污染物的主要排放源之一。机动车排放的污染物种类繁多，其中 CO、VOCs、NO_x 是机动车排放的主要污染物成分，而 NO_x 和 VOCs 是大气中二次污染物 PM_{2.5} 和 O₃ 形成的主要前体物，从而导致大气中的一些复合型污染如灰霾、细微粒子污染等均与机动车有密切关系^[11-12]。在这些排放清单研究中机动车尾气排放量估算大多数采用年均行驶里程方法，根据机动车保有量并结合车辆的年均行驶里程进行排放量计算^[13-14]。该方法需求数据少，数据容易获取，操作简便，虽然能估算出区域内的排放总量，但无法反映实际道路交通的排放情况。因此，精细化的机动车排放清单的建立越来越受到中国各级政府的重视。

机动车排放清单与活动水平、车辆技术、行驶工况和车队构成等因素密切相关^[15-17]。利用传统的燃油统计法和年均行驶里程法，得到机动车综合排放量，只能用于大尺度的空气质量模拟，已不足以支撑机动车尾气污染控制日益细致的需求。因此，在机动车排放清单编制中，要准确确定机动车污染状况，必须以机动车污染的实际状况作为依据和出发点，对交通流，车辆等相关信息进行详细调查和监测，机动车活动水平的详细调查将有助于实际道路机动车排放的精确计算，而智能交通技术及其系统的发展为这一需求提供了条件^[18-19]。因而越来越多的研究开始采用动态的交通流信息来提高机动车排放清单的时空分辨率^[20-22]。黄成等^[23]以上海市为研究对象，构建了动态化的道路机动车污染物排放清单模拟方法，实时反映实际道路的机动车排放变化。樊守彬等^[24]基于具有时空分布特征的实际道路交通流信息和排放因子，构建了北京市机动车尾气排放清单，并分析实际道路排放特征及污染物排放的空间分布特征。

佛山市，近年来经济高速发展，机动车保有量逐年增长，其机动车结构和污染排放与我国大多数城市相符。根据《佛山市“十二五”主要污染物总量控制规划》指出，机动车污染防治是“十二五”控制的重点^[25]。因此，掌握佛山市机动车尾气排放情况对机动车尾气污染防治工作开展及整个珠三角地区的大气环境保护都具有重大意义。基于

此，本研究利用自下而上的方法，从佛山市各区道路的实际动态交通流方面入手，以 Arcgis 为构建平台，自下而上地计算基于实时道路特征的佛山市网格化机动车尾气排放清单，分析其造成佛山市机动车污染的主要车辆类型、技术水平、道路交通状况和佛山市机动车排放的时空分布特征，以用于道路机动车排污控制的评估和实现环境空气质量的改善，为交通环境管理提供重要的决策依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域和对象

研究对象为佛山全境。根据行政管理边界将研究对象分成禅城、南海、顺德、高明和三水五个片区，共调查道路 96 条，范围覆盖佛山市五个行政区域，涵括国道、省道、高速路、主干路、次干路和支路 7 种道路类型，共设置测量点 96 个，其分布坐标密集程度与城区道路密集程度成正比。调查道路及测量布点如图 1 所示。

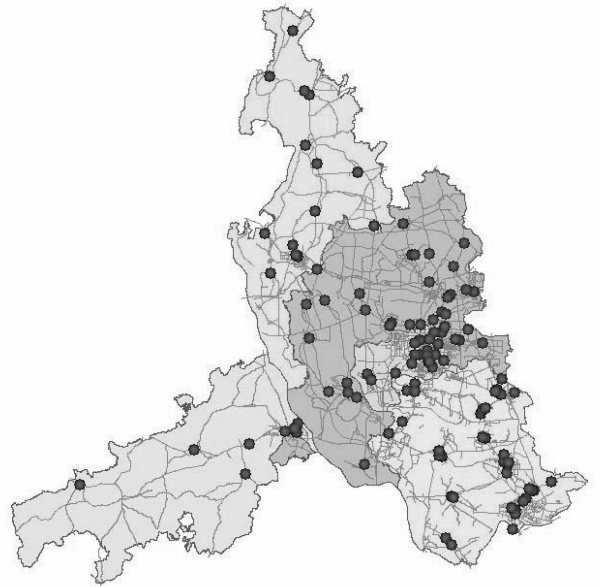


图 1 调查点布点位置及调查路段图

Fig. 1 Location of the cameras and the roads

1.2 方法概述

运用智能交通技术及其系统，设置合理的流量、行驶工况等采集实验，基于排放因子模型，计算排放量。具体方法为：根据交通特征不同将研究对象分为不同片区，进而根据道路类型及其功能对各区域内道路进行分类，挑选各类型中具有代表性的道路进行人工视频采集，利用自动化的视频检测

系统进行分车型的流量统计,并根据浮动车数据的匹配,得到各类型道路的平均车速信息。此次数据调查时间为 2013 年 6 月连续 2 d (工作日与非工作日各 1 d) 时段,共获得全市 47 万条不同点位的连续 24 h 的小时信息数据,具体包括监测时段、道路类型、道路长度、分车型的车流量和平均车速等实时数据。基于监测结果和调研统计得到的车队组成、车速、累计行驶里程、气候参数、燃油品质作为输入参数^[26],采用 COPERT IV 模型计算得到分速度分车型分排放标准的机动车在实际路况下的 CO、VOCs、NO_x 及 PM 排放因子。整合道路信息(道路类型、名称、长度)、交通流信息(具有时间分布特征的车流量、车型构成、车速)和机动车排放因子等基础信息,计算得到全路网道路机动车尾气排放量。

根据利用 ArcGIS 建立全市的 3 km × 3 km 的高时空分辨率的机动车尾气网格化排放清单,进行排放特征分析,并根据分析结果找出佛山市重点区域,获得中心城区实际道路上污染物排放时空差异,寻找出污染控制的重点车型和重点道路。

1.2.1 车型匹配 根据中国车辆管理所的车辆分类方法,本研究将车辆类型分为:微型客车、轻型客车、中型客车、大型客车、微型货车、轻型货车、中型货车、大型货车、摩托车、出租车、公交车。由于中国车辆管理所采用的车辆分类方法与 COPERT IV 模型中的车辆分类方法有所不同,为了使国内机动车车辆类型能够与 COPERT IV 模型中的车辆类型相对应,本研究采用廖瀚博等^[27]的方法进行匹配,以进行 COPERT IV 模型的参数输入。

1.2.2 年排放量计算 根据道路实时特征,采用分片区域的方法,划分不同特征的区域,在不同区域内,按道路等级,以路段为单元,根据测量的交通信息参数计算不同类型道路单位长度污染物的排放量,结合道路长度,求出机动车在该类型道路的排放量,综合各道路类型的排放量,求出该片区域内的排放量,再结合各片区域的排放量计算得出全市的年排放量。

$$Q_a = \frac{365 \sum P_{nij} \times EF_{nij} \times L_{nk}}{1\ 000\ 000} \quad (1)$$

其中, Q_a 为年排放污染物质 (t/a); P 为车流量 (辆/d); EF 为每辆汽车的排放因子 (g/km); L 为道路长度 (km); n 为片区, i 为车型, j 为排放标准, k 为道路类型。

1.2.3 时空分配 以 ArcGIS 软件为构建平台,利用路网信息与交通流量结合的方式来确定空间和时

间分配因子,将机动车尾气排放量进行时空分配,使其分布特征更加的符合实际情况。空间分配的结果是将以排放源为基础的清单排放转变为网格化的排放,即将清单数据变成网格化的矩阵。具体方法为:采用地理信息系统工具 ArcGIS,对研究区域按照网格划分,形成规格的单位网格。分道路类型提取单位网格中的路网信息,对道路长度、道路交通流量、机动车排放因子等信息进行处理,得到单位网格的排放量,进而可确定该网格的排放量在总排放量中所占的比例,该比例即为此网格的空间分配因子。根据污染物网格空间分配因子,利用 GIS 工具,即可得到各种污染物的网格化分配。

对研究区域典型道路典型日每个时段的机动车流量和车型分布进行统计分析,得到不同类型道路的车流量时间变化规律,根据不同车型交通流量的变化,计算出不同车型的机动车污染排放 24 h 变化系数,进而完成对机动车污染日排放的时间分配。

2 结果与讨论

2.1 全市排放总量概况

佛山市 2013 年机动车污染物排放总量,具体如表 1 所示。2013 年佛山市机动车尾气排放污染物 CO、VOCs、NO_x、PM 总量分别为 1.29×10^5 、 2.19×10^4 、 3.61×10^4 、 1.15×10^3 t。其中 CO 的总量很高,占到 4 种污染物总量的 68.6%。姚欣灿等^[28]对广州市 2010 年机动车尾气排放清单的研究发现,广州市 2010 年机动车尾气排放的 CO 占到四种污染物总量的 72.9%,与该研究结果相近。CO 排放高的原因,主要是因为机动车中摩托车和轻型客车占比较大,占到总车流的 60.4%。根据车汶蔚等^[29]对珠三角机动车污染物排放特征分析中,佛山市 2006 年 NO_x、VOCs、PM₁₀ 排放分别为 5.32、8.79、1.63 万 t,比较发现 2006–2013 年佛山市机动车排放的污染物质都有一定程度的降低,这主要源于佛山市进行的一系列的机动车减排政策,以及国家排放和车用燃油排放标准的提升。相对于其他同类型城市,根据王孝文等^[30]的研究结果,杭州市 2010 年机动车污染物 CO、HC、NO_x、PM 的年排放量分别为 44.06、2.31、4.43、0.65 万 t,与该研究相差不多。

2.2 排放空间分布特征

根据测量和统计的佛山市整个道路网全天的车流量和车速基础数据,结合机动车活动强度、车型构成和排放因子,运用 GIS 技术,建立 3 km × 3 km 机动车排放的 CO、VOCs、NO_x 及 PM 空间分

布图,如图 2 所示。由图可知,4 种污染物高排放区域主要集中在城区中心以及城区中心向外辐射的路网上。具体特征为:CO 和 VOCs 的空间分布特征相似,高浓度排放区都呈片状分布,集中在城中心交通网络密集区域,低浓度排放区都沿着道路均匀分布。而 NO_x 的排放和 PM 排放的空间分布又有着类似的规律,高浓度排放区都呈条状分布,均集中在车流量大,车速小的几条主干道以及城区之外的国道和高速路上。各种污染物的空间分布规律与道路的功能是相关联的,因为道路的功能不同,行驶的主要车辆就有所不同^[30]。由于 VOCs 与 CO 排放的主要贡献者为摩托车和轻型客车,而城中心正是人口最密集也是这两种车型保有量最密集的区域,因此,该区域的 VOCs 及 CO 的排放浓度最高且呈片状分布。而 NO_x 和 PM 排放的主要贡献者是轻、大型货车和大型汽车,这些车辆都是从事货运为主,主要分布于各区域的国道及主要运输干道上。结合佛山市各道路车流量和车速分布来看,不管是 CO 和 VOCs,还是 NO_x 和 PM 的排放区域都与车道的吻合较好,更切合机动车污染物的实际空间排放特征。比较于车汶蔚等^[29-31]开发的区域机动车污染物排放量空间分配方法,该网格化排放清单在现场调研路网特征和交通流特征的基础上,更加保证了空间分配的精确性和合理性。

表 1 2013 年佛山市机动车尾气排放总量

Table 1 The source emission of vehicles of Foshan in 2013 10^4t

道路类型	CO	VOCs	NO_x	PM
禅城区	1.53	0.27	0.52	0.02
南海区	4.39	0.76	1.37	0.04
顺德区	4.27	0.73	1.06	0.03
三水区	1.82	0.29	0.36	0.01
高明区	0.91	0.14	0.30	0.01
总量	12.92	2.19	3.61	0.12

2.3 排放时间分布特征

2013 年佛山市机动车不同车型逐时 CO、VOCs、 NO_x 、PM 排放量与所监测的车流量分布如图 3 所示。佛山市 2013 年车流量具有明显的早高峰、晚高峰和夜间车流量的变化规律,晚高峰最高,早高峰次之,夜间车流量最低。通过分析各污染物随时间的变化规律可以发现,4 种污染物的小时排放量均呈现“M”字型分布,且 CO 和 VOCs 两种污染物变化曲线要比 NO_x 和 PM 的变化曲线明

显。00:00-04:00,各种车型排放的污染物均有小幅度下降的趋势,且排放量很少。05:00-06:00,对于排放 CO 和 VOCs 来说,轻型客车和摩托车排放量大大幅度上升,其余车型有小幅度增长;对于排放 NO_x 和 PM 来说,轻型货车、大型客车和公交车排放量大大幅度上升,其余车型有小幅度增长。07:00-09:00,4 种污染物排放达到一个峰值。10:00-17:00,4 种污染物排放仍然较高,且变化幅度较小,到 18:00,CO 和 VOCs 排放达到一天中的最高值,而 NO_x 和 PM 排在 17:00 达到一天中的最高值,20:00-23:00,各种车型污染物排放逐渐下降。

在交通高峰期,车流量较高,由于受道路的通行能力限制,时常发生拥堵,所以该时间段内的平均车速也较慢。车流量高与车速较慢决定了交通高峰期也是机动车尾气排放污染物的高峰期,交通高峰期污染物 CO、VOCs、 NO_x 、PM 排放量分别占全天排放的 30.0%、29.4%、25.7%、25.3%。通过交通高峰期和非高峰期比较可以发现,CO 和 VOCs 的排放主要贡献者是轻型客车和摩托车,与车流量的变化最为吻合。这主要是因为轻型客车和出租车是车流的构成主体,同时也是 CO 和 VOCs 的主要排放源; NO_x 和 PM 的主要贡献者是轻型货车、中型货车、大型客车和公交车。由于轻型客车在车流中占的比重较大,以至于轻型客车在交通高峰期对 NO_x 的排放具有比较大的影响,而对于 PM 的排放,轻型货车在交通高峰期的贡献最为突出。

通过分析机动车排放时间分布特征,可以得出佛山市道路交通污染物排放量具有明显的日排放特征,小时排放源强高峰期与车流量高峰期吻合较好,为每日的 07:00-09:00 和 17:00-19:00,且晚高峰排放高于早高峰排放。同时,该研究结果还能准确反映同一小时段不同车型的排放量差异,从而得知排放量较高的重点排放车型和时段,为管理者提供重要的技术支撑和决策依据。

为了解精细化手段对清单的改进作用,将该研究与珠三角地区乃至全国的研究进行了比较,Zheng 等^[32]指出珠三角地区城市主干道日排放变化有明显的“双峰双谷”排放变化,且摩托车和汽油小客车是 VOCs 的主要来源,柴油车是 NO_x 和 PM_{10} 的主要来源;宋翔宇等^[33]通过对中国机动车排放特征进行研究发现交通源排放的空间分布与经济活动强度有密切联系,摩托车和客车为 CO、VOCs 和 PM_{10} 的主要排放贡献车型,与本研究结果比较一致,说明该研究方法具有一定的可靠性。

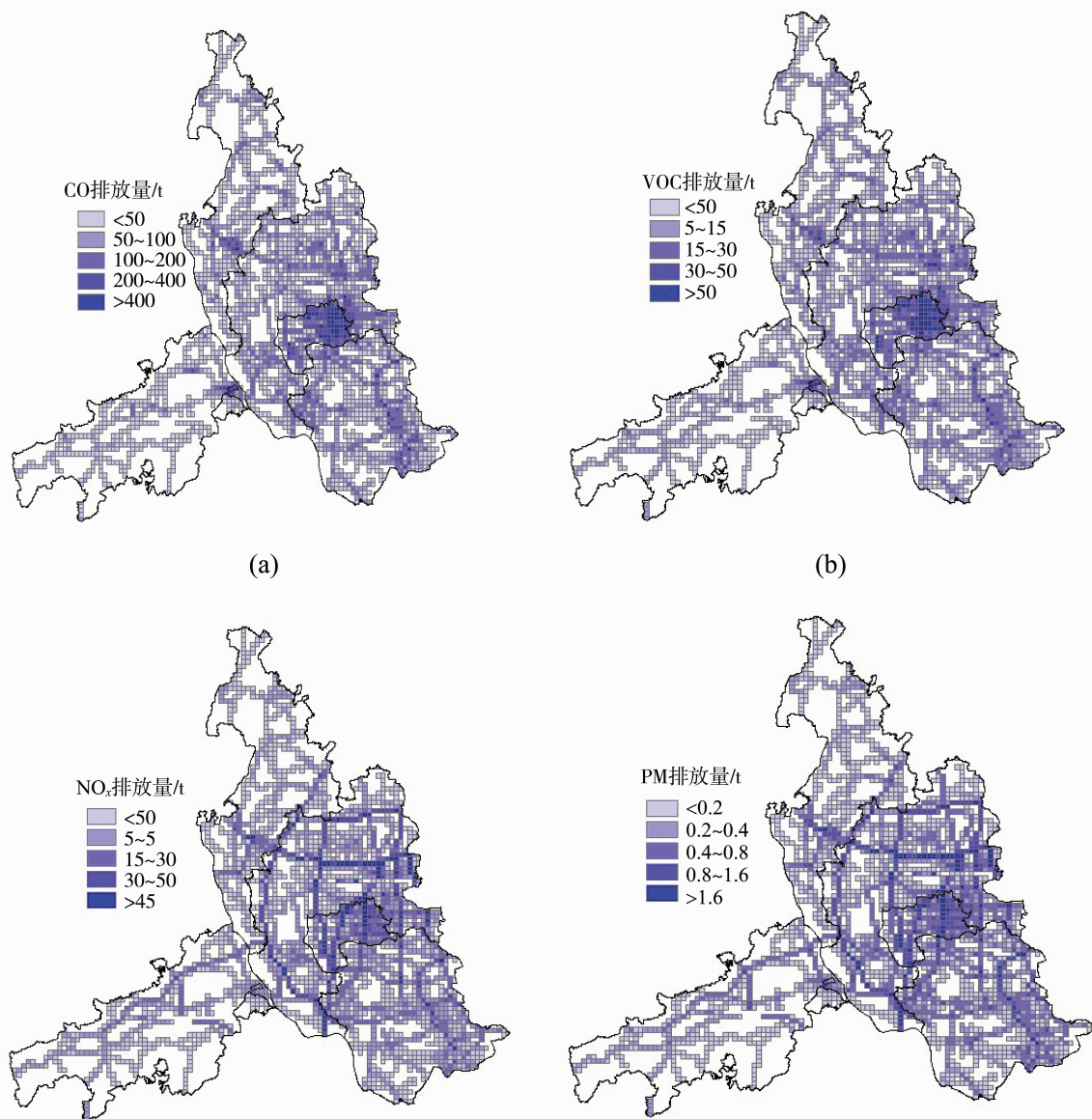


图 2 2013 年佛山机动车 CO、VOCs、NO_x 及 PM 网格化排放清单

Fig. 2 Maps of grid emission of CO、VOCs、NO_x and PM in Foshan in 2013

2.4 重点区域特征分析

基于分析 2.2 佛山市机动车排放空间分布特征, 可以得出佛山市道路交通污染物排放密度最大的集中在中心城区, 即禅桂新区域。佛山市中心城区, 是佛山市现代服务业、高端产业和文化产业的核心区域, 为佛山市人民政府驻地。因此选取中心城区作为本次研究的重点区域。

为了获得实际道路上污染物排放差异, 根据车流量、车辆类型、车速和不同污染物的排放因子, 计算佛山市中心城区 2013 年不同道路类型逐时 CO、NO_x、VOCs、PM 排放强度, 见图 4。从图中可以看出, 4 种污染物排放强度随时间的变化呈现相似的规律, 均为国道最高。且 6 种类型道路的污

染物排放强度总体上呈现白天高夜间低的趋势, 与道路车流量呈现相同的变化规律, 在进行排放控制时, 应首先针对高峰时段进行控制。对于不同道路类型四种污染物的排放, 总体上按照国道、省道、县道; 主干路、次干路、支路的顺序递减, 而这也与樊守彬等^[17]的研究结果一致。

机动车污染物排放不仅与道路排放强度有关, 还与路网密集程度及道路长度密切相关。经研究发现, 中心城区市政道路发达, 道路长度占比高, 以致于市政道路的高车流量和高排放。同时, 市政道路骨架主干路贡献尤为明显, 对中心城区的机动车排放贡献大约为 60%, 主干路的交通状况对于机动车排放有较为恶劣的影响。

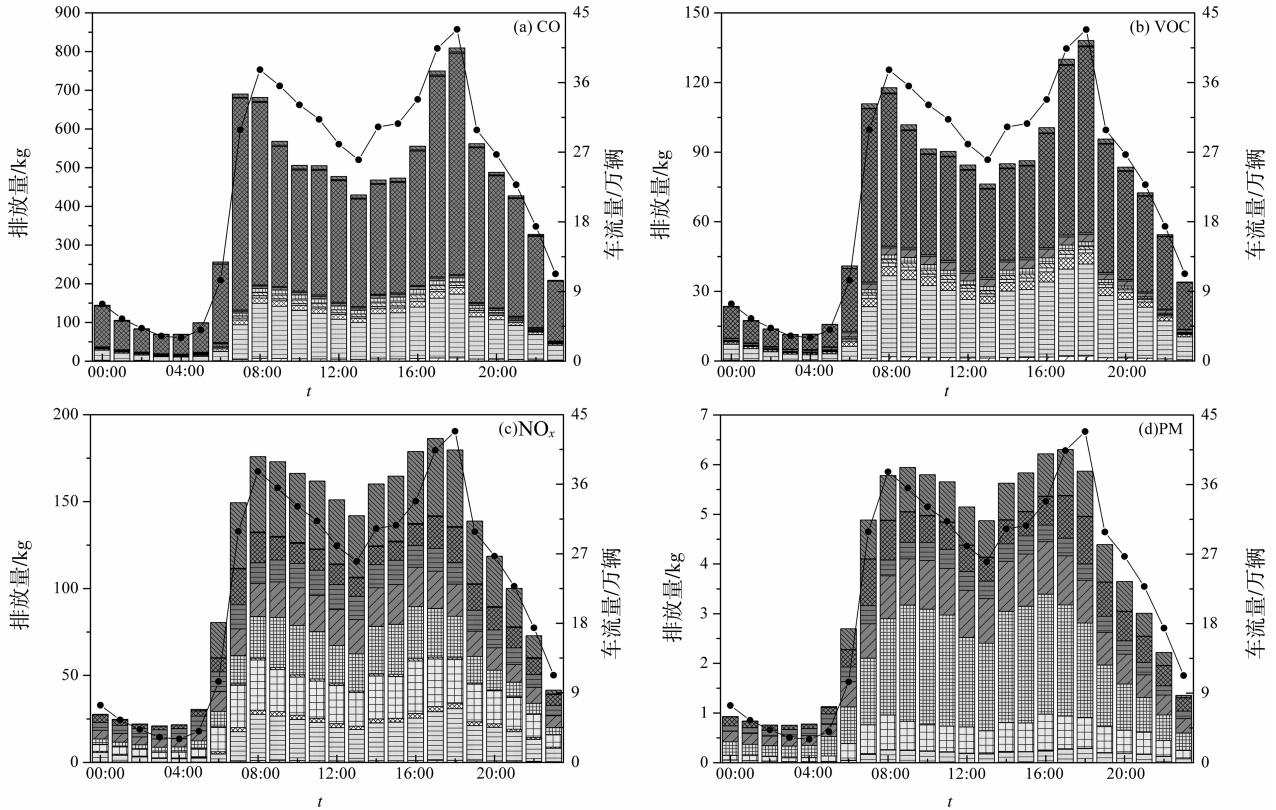
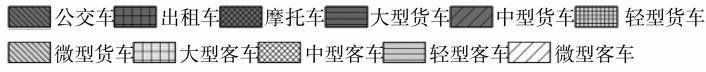


图 3 2013 年佛山市机动车各车型污染物排放量与车流量小时分布图

Fig. 3 Distribution of vehicle emission intensity and traffic volume per hour in Foshan in 2013

为了进一步弄清中心城区的机动车尾气排放特征，寻找出污染控制的重点车型，本研究进行了分车型、分排放标准的污染物排放量分担率分析。

2.4.1 不同车型污染物排放量分担率特征 2013 年佛山市中心城区各车型排放贡献率如图 5 所示。佛山市中心城区摩托车排放的 CO 和 VOCs 贡献率最高，分别为 64.5% 和 51.7%，其次为轻型客车，其排放贡献率为 24.6% 和 33.1%，这两类车型占中心城区机动车 CO 和 VOCs 总排放量的 89.1% 和 84.8%，是机动车 CO 和 VOCs 污染的主要来源；NO_x 的主要贡献车型为大型客车和公交车，其合计排放贡献率达到 49.8%；PM 主要来源于柴油机运行过程中不完全燃烧形成的颗粒物，因此 PM 的主要贡献车型为大型客车、轻型货车、中型货车和公交车，其合计排放贡献率达到 74.8%。通过分析，这一结果与佛山市不同车型逐时 CO、VOCs、NO_x、PM 的排放量结果是吻合的。

因此，要控制 CO 和 VOCs 排放，应该着重对

摩托车和轻型客车的交通管制，根据《佛山市人民政府关于加强摩托车管理的实施意见》^[34]，自 2014 年 9 月起，摩托车限行禁行政策进入第四阶段，中心城区全天 24 h 禁止摩托车出行，未来对 CO 和 VOCs 的排放控制主要在于对高排放轻型客车的淘汰或升级改造。而控制 NO_x 和 PM 的排放关键是大型车，大型车的燃料主要是柴油，加快柴油车尾气催化技术的改造和升级，是减少大型车 NO_x 和 PM 排放的有效途径。

2.4.2 不同排放标准污染物排放量分担率特征 根据 2.4.1 分析结果，对高排放车型中不同排放标准的分担率进行进一步分析，如图 6 所示。CO 和 VOCs 的排放主要来源于轻型客车和摩托车，从图中可以看出，轻型客车中不同排放标准机动车对于 CO 和 VOCs 的排放均有一定的分担率，其中国 0 标准轻型客车对于 CO 和 VOCs 的排放分别为 30.9% 和 32.3%，而摩托车国 0 和国 I 标准机动车是 CO 和 VOCs 排放的主要排污贡献车型，其贡

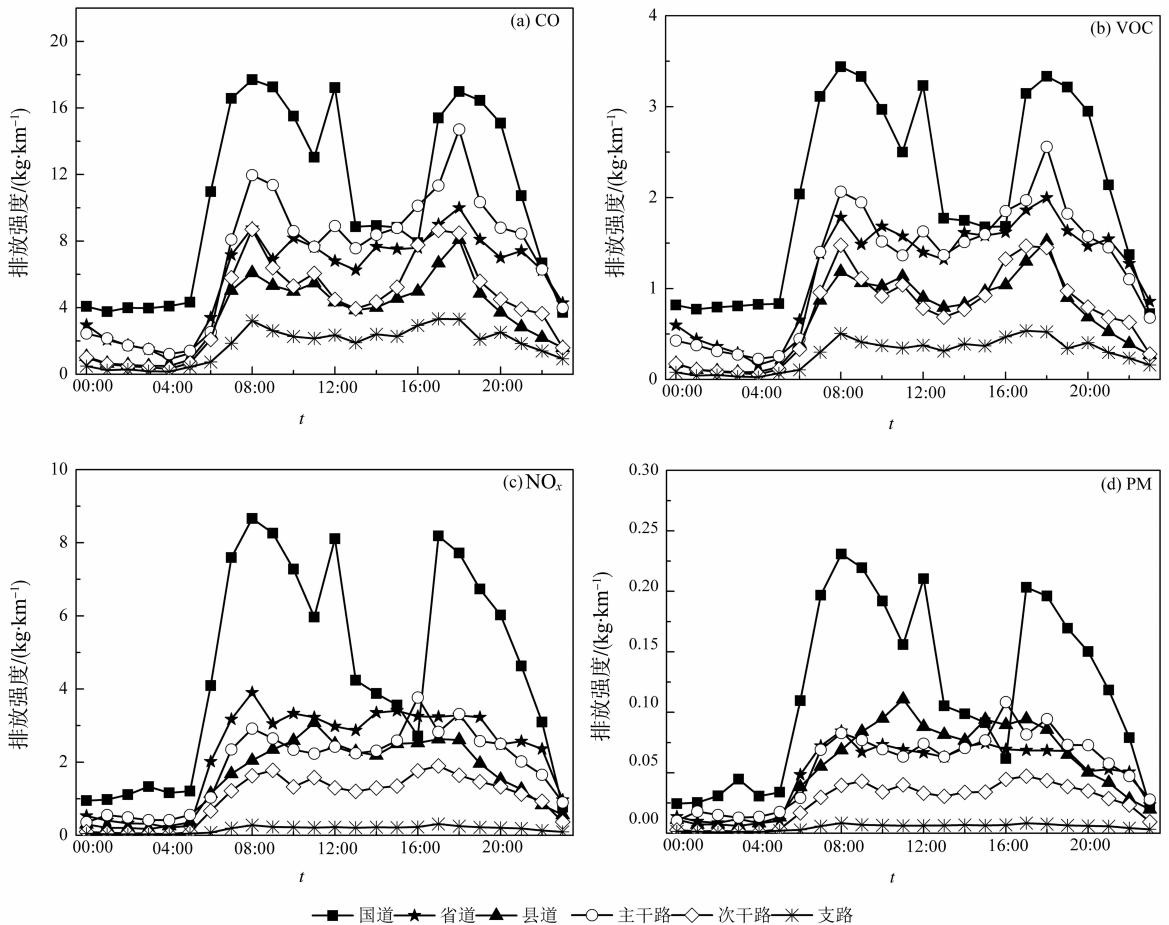


图 4 2013 年佛山市中心城区机动车不同道路类型排放时间分布

Fig. 4 Temporal distribution of vehicle emission on different roads in central city of Foshan in 2013

(中心城区由于没有高速路的存在, 故将道路类型分为国道、省道、县道、主干路、次干路和支路 6 种类型)

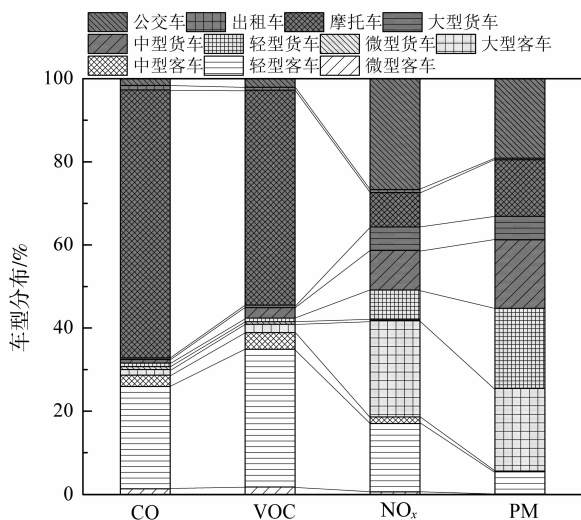


图 5 2013 年佛山市中心城区不同车型污染物排放量分担率

Fig. 5 Vehicle emission distribution of different vehicle types in central city of Foshan in 2013

献率合计分别达到 76.6% 和 72.3%。大型客车、轻型货车、中型货车和公交车是 NO_x 和 PM 的主要贡献车型。对于 NO_x 和 PM 的排放, 大型客车国 II 和国 III 标准机动车是主要的排污贡献车型, 其贡献率合计分别达到 62.9% 和 53.5%, 而轻型货车和中型货车中对于 NO_x 和 PM 的排放贡献突出的是国 0 标准机动车。对于公交车而言, 国 III 标准机动车对 NO_x 和 PM 的排放贡献突出, 贡献率分别为 54.1% 和 64.5%。

仅占机动车总量 7.4% 的国 0 标准机动车, 由于累计行驶里程长、车龄大、劣化情况严重, 其对 CO、VOCs、 NO_x 、PM 的排污分担率均要远远高于机动车比例, 其中, CO、VOCs、PM 的排放贡献率接近于车辆比例的 5 倍, 是机动车污染物的重要排放源。对国 0 标准机动车进行限行控制, 或者更新淘汰, 能够有效改善佛山市中心城区机动车污染情况。

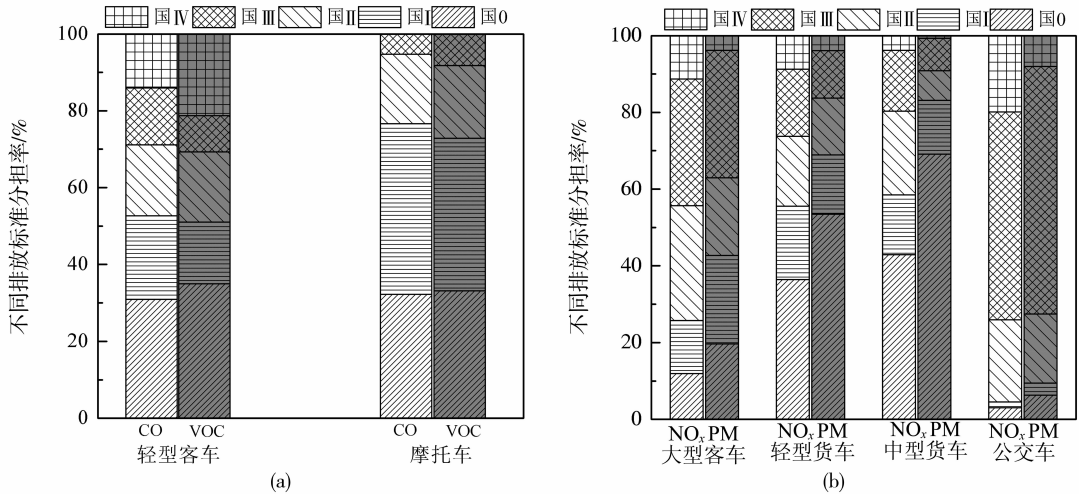


图 6 2013 年佛山市中心城区不同排放标准污染物排放量分担率

Fig. 6 Vehicle emission distribution of different vehicles legislation in central city of Foshan in 2013

综合 2.4.1 和 2.4.2 来说, 要控制机动车污染物 CO 和 VOCs 排放, 应该注重对国 0 标准轻型客车和国 0、国 I 标准摩托车的管制, 而对于 NO_x 和 PM 的排放, 国 0 标准货车和国 III 标准大型客车和公交车是控制关键。

2.5 不确定性分析

本研究基于动态的交通流信息和排放因子编制佛山市机动车网格化排放清单。动态的交通流信息包括具有时间分布特征的车流量、车型构成、车速, 其中车流量通过典型道路现场调查获得, 由于车流量是一个动态值, 同一等级道路在不同区域的车流量有所差异, 故其具有一定的不确定性。分速度分车型分排放标准的机动车在实际路况下 CO、VOCs、NO_x 及 PM 的排放因子经 COPERT IV 模型计算得到。所需输入参数车队组成、车速、累计行驶里程、气候参数、燃油品质等, 这些参数基于监测结果和调研统计得到, 在获取过程中, 不可避免的存在误差。

基于以上分析可知, 本研究开发的排放清单不确定性主要来源于车流量和排放因子。在调查车流量之前, 我们首先将调查区域分为不同片区, 然后根据道路类型及其功能对各区域内道路进行分类, 再挑选各类型中具有代表性的道路进行人工视频采集, 此方法保障了调查点位设置的合理性, 数据的可靠性, 可反映不同区域不同道路的交通流量特征, 从而减小了区域差异而引起的不确定性。车队组成、车速、累计行驶里程、气候参数、燃油品质等输入参数基于监测结果和调研统计得到, 统计误差和试验系统误差不可避免的存在, 但相比其他研

究中计算的分车型的平均排放因子, 我们采用 COPERT IV 模型计算不同速度下分车型分排放标准各污染物的排放因子^[15], 更能反映复杂交通路况下机动车污染物排放的真实情况。因此, 本研究基于动态的交通流信息和排放因子编制佛山市机动车网格化排放清单的方法合理、可靠。

3 结 论

1) 2013 年佛山市机动车尾气排放污染物 CO、VOCs、NO_x、PM 总量分别为 1.29×10^5 、 2.19×10^4 、 3.61×10^4 、 1.15×10^3 t, 与同类型城市排放相差不大。

2) 机动车污染物高排放区域主要集中在城区中心以及城区中心向外辐射的路网上。CO 和 VOCs 的空间分布特征相似, 高浓度排放区呈片状分布, 集中在城区中心交通网络密集区域。而 NO_x 和 PM 高浓度排放区呈现明显条状分布, 集中在车流量大, 车速小的几条主干道以及城区之外的国道和高速路上。用该方法制作的网格化清单与车道的吻合较好, 更切合机动车污染物的实际空间排放特征。

3) 机动车污染物的小时排放量呈现“M”字型分布, 与车流量高峰期相对应, 为每日的 7:00-9:00 和 17:00-19:00, 且晚高峰排放高于早高峰排放。交通高峰期污染物 CO、VOCs、NO_x、PM 排放量分别占全天排放的 30.0%、29.4%、25.7%、25.3%。

4) 对重点区域——中心城区特征分析可知, 中心城区机动车实际道路污染物排放强度与道路车

流量总体上呈现相同的变化规律, 国道排放强度最大。在进行排放控制时, 应首先针对高峰时段进行改善, 主干路是排放控制的重点道路。就车型来说, 要控制 CO 和 VOCs 排放, 应该着重对国 0 标准轻型客车和国 0、国 I 标准摩托车的交通管制, 而控制 NO_x 和 PM 的排放关键是国 0 标准货车、国 III 标准大型客车和公交车。

参考文献:

- [1] 柴发合, 陈义珍, 文毅, 等. 区域大气污染物总量控制技术示范研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(4): 163-171.
CHAI F H, CHEN Y Z, WEN Y, et al. Study for regional air pollutants total amount control technologies and demonstration[J]. Research of Environmental Sciences, 2006, 19(4): 163-171.
- [2] 王锦, 吉奕康. 北京市主要大气污染源清单及火电厂排放污染物对雾霾天气的影响[J]. 北京交通大学学报(自然科学版), 2015, 39(1): 78-82.
WANG J, JI Y K. Development of the major air pollutant emission inventory and the influence of the thermal power station on the haze weather for Beijing[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2015, 39(1): 78-82.
- [3] 邱立勋, 陈愚, 赵黛青, 等. 广州市至 2020 年城市客运交通发展情景分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(7): 114-118.
QIU L X, CHEN Y, ZHAO D Q, et al. Scenario analysis of passenger traffic development in Guangzhou until 2020[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2008, 47(7): 114-118.
- [4] 赵斌, 马建中. 天津市大气污染源排放清单的建立[J]. 环境科学学报, 2008, 28(2): 368-375.
ZHAO B, MA J Z. Development of an air pollutant emission inventory for Tianjin[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(2): 368-375.
- [5] CAO G, ZHANG X, GONG S, et al. Emission inventories of primary particles and pollutant gases for China[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(08): 781-788.
- [6] SINDHWANI R, GOYAL P, KUMAR S, et al. Anthropogenic Emission Inventory of criteria air pollutants of an urban agglomeration-national capital region (NCR), delhi[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2015, 15(4): 1681-1697.
- [7] SAHU S K, BEIG G, PARKHI N. High resolution emission inventory of NO_x and CO for Mega City Delhi, India[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2015, 15(3): 1137-1144.
- [8] FERREIRA J, GUEVARA M, BALDASANO J M, et al. A comparative analysis of two highly spatially resolved European atmospheric emission inventories[J]. Atmospheric Environment, 2013, 75: 43-57.
- [9] MILLER C A, HIDY G, HALES J, et al. Air emission inventories in North America: A critical assessment[J]. Journal of The Air & Waste Management Association, 2006, 56(8): 1115-1129.
- [10] COOK R, TOUMA J S, BEIDLER A, et al. Preparing highway emissions inventories for urban scale modeling: A case study in Philadelphia[J]. Transportation Research Part D-transport and Environment, 2006, 11(6): 396-407.
- [11] TIE X, CAO J. Aerosol pollution in China: Present and future impact on environment[J]. Particuology, 2009, 7(6): 426-431.
- [12] RICHTER A, BURROWS J P, NUSS H, et al. Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space[J]. Nature, 2005, 437(7055): 129-132.
- [13] REQUIA W J, KOUTRAKIS P, ROIG H L. Spatial distribution of vehicle emission inventories in the Federal District, Brazil[J]. Atmospheric Environment, 2015, 112: 32-39.
- [14] LANG J L, CHENG S Y, ZHOU Y, et al. Air pollutant emissions from on-road vehicles in China, 1999-2011[J]. Science of the Total Environment, 2014, 496: 1-10.
- [15] CAI H, XIE S D. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(39): 8963-8979.
- [16] GOEL R, GUTTIKUNDA S K. Evolution of on-road vehicle exhaust emissions in Delhi[J]. Atmospheric Environment, 2015, 105: 78-90.
- [17] YAO Z, CAO X, SHEN X, et al. On-road emission characteristics of CNG-fueled bi-fuel taxis[J]. Atmospheric Environment, 2014, 94: 198-204.
- [18] 刘永红, 毕索阳, 周兵, 等. 佛山市中心城区机动车限行对污染物削减效果的分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(11): 1563-1567.
LIU Y H, BI S Y, ZHOU B, et al. Study on vehicular emission reduction effect of traffic control in Foshan central district[J]. China Environmental Science, 2010, 30(11): 1563-1567.
- [19] PALLAVIDINO L, PRANDI R, BERTELLO A, et al. Compilation of a road transport emission inventory for the Province of Turin: Advantages and key factors of a bottom-up approach[J]. Atmospheric Pollution Research, 2014, 5(4): 648-655.
- [20] SHEN X, YAO Z, ZHANG Q, et al. Development of

- database of real-world diesel vehicle emission factors for China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2015, 31: 209–220.
- [21] 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.
- [22] ZHANG Q, XU J, WANG G, et al. Vehicle emission inventories projection based on dynamic emission factors: A case study of Hangzhou, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(20): 4989–5002.
- [23] 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.
- HUANG C, LIU J, CHEN C H, et al. Dynamic road vehicle emission inventory simulation study based on real time traffic information [J]. *Environmental Science*, 2012, 33(11): 3725–3732.
- [24] 樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 等. 基于实际道路交通流信息的北京市机动车排放特征 [J]. *环境科学*, 2015, 36(8): 2750–2757.
- FAN S B, TIAN L D, ZHANG D X, et al. Emission characteristics of vehicle exhaust in Beijing based on actual traffic flow information [J]. *Environmental Science*, 2015, 36(8): 2750–2757.
- [25] 佛山市人民政府. 佛山市“十二五”主要污染物总量控制规划 [R]. 佛山: 佛山市人民政府, 2013.
- [26] Copert III Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport Methodology and Emission Factors (Version 211) [M]. Copenhagen: EEA, 2000.
- [27] 廖瀚博, 余志, 周兵, 等. 广州市机动车尾气排放特征研究 [J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(1): 134–138.
- LIAO H B, YU Z, ZHOU B. Characteristics of motor vehicle exhaust emission in Guangzhou [J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 35(1): 134–138.
- [28] 姚欣灿, 黄如娜, 农加进, 等. 广州市 2010 年道路机动车排放清单研究 [J]. *广州环境科学*, 2012(2): 20–24.
- YAO X, NONG J, HUANG R, et al. Vehicle emission inventory of Guangzhou in 2010 [J]. *Guangzhou Environmental Sciences*, 2012(2): 20–24.
- [29] 车汶蔚, 郑君瑜, 钟流举. 珠江三角洲机动车污染物排放特征及分担率 [J]. *环境科学研究*, 2009, 22(4): 456–461.
- CHE W W, ZHEN J Y, ZHONG L J. Vehicle exhaust emission characteristics and contributions in the Pearl River Delta region [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(4): 456–461.
- [30] 王孝文, 田伟利, 张清宇. 杭州市机动车污染物排放清单的建立 [J]. *中国环境科学*, 2012, 32(8): 1368–1374.
- WANG X W, TIAN W L, ZHANG Q Y. Development of motor vehicles emission inventory in Hangzhou [J]. *China Environmental Science*, 2012, 32(8): 1368–1374.
- [31] 刘永红, 廖瀚博, 余志, 等. 基于环境影响的交叉口控制方式综合评估研究 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2013, 52(1): 12–16.
- LIU Y H, LIAO H B, YU Z, et al. Study of intersection control mode evaluation based on environmental effect [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2013, 52(1): 12–16.
- [32] ZHENG J, ZHANG L, CHE W, et al. Emission inventories of primary particles and pollutant the Pearl River Delta region, China and its uncertainty assessment [J]. *Atmospheric Environment*, 2009(43): 5112–5122.
- [33] 宋翔宇, 谢绍东. 中国机动车排放清单的建立 [J]. *环境科学*, 2006, 27(6): 1041–1045.
- SONG X Y, XIE S D. Development of vehicular emission inventory in China [J]. *Environmental Science*, 2006, 27(6): 1041–1045.
- [34] 佛山市人民政府. 佛山市人民政府关于加强摩托车管理的实施意见 [R]. 佛山: 佛山市人民政府, 2010.