

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.8
第41卷 第8期

目次

首都重大活动与空气重污染应急减排措施效果对比分析	钟焱盛, 周颖, 程水源, 王晓琦, 邵玄逸 (3449)
基于天津市在线数据评估 ISORROPIA-II 模式结果及气溶胶 pH 的影响因素	高洁, 史旭荣, 卫昱婷, 宋少洁, 史国良, 冯银厂 (3458)
餐饮源有机颗粒物排放特征	李源遽, 吴爱华, 童梦雪, 栾胜基, 李鹭, 胡敏 (3467)
华中地区黄冈市一次重度污染期间 PM _{2.5} 中 12 种微量元素特征及来源解析	陈展乐, 田倩, 毛瑶, 刘威杰, 石明明, 程钺, 胡天鹏, 邢新丽, 祁士华, 胡金旭 (3475)
艾比湖地区气溶胶光学特性分析	张喆, 丁建丽, 王瑾杰 (3484)
天津市冬季重污染二次有机化学污染特征及 VOCs 对 SOA 生成潜势	徐虹, 唐迦, 肖致美, 高璟赞, 杨宁, 李立伟, 郑乃源, 陈魁, 邓小文 (3492)
郑州市某城区冬季不同污染水平大气 VOCs 特征及源解析	李一丹, 尹沙沙, 张瑞芹, 于世杰, 杨健, 张栋 (3500)
长江三角洲 2010 ~ 2018 年生物质燃烧中等挥发性有机物 (IVOCs) 排放清单	朱永慧, 王倩, 黄凌, 殷司佳, 李莉, 王杨君 (3511)
北方常见绿化树种 BVOCs 排放特征及其与光合作用参数的相关性	许燕, 李双江, 袁相洋, 冯兆忠 (3518)
广州地区秋季不同站点类型地面臭氧变化特征与影响因子	高平, 庄立跃, 王龙, 陈瑜萍, 闫慧, 沈劲, 范丽雅, 叶代启 (3527)
泰安市大气臭氧污染特征及敏感性分析	李凯, 刘敏, 梅如波 (3539)
有色冶炼园区道路扬尘中重金属污染特征及健康风险评价	冯于耀, 史建武, 钟曜谦, 韩新宇, 封银川, 任亮 (3547)
西安市高校校园地表灰尘重金属污染来源解析	樊馨瑶, 卢新卫, 刘慧敏, 秦青 (3556)
超低排放高湿度气总颗粒物监测方法及燃气电厂实际测试	胡月琪, 颜旭, 孔川, 张虎, 郭晓东 (3563)
厦门市船舶控制区大气污染物排放清单与污染特征	王坚, 黄压, 刘艳英, 陈森阳, 吴艳聪, 何月云, 杨心怡 (3572)
基于交通流的成都市高分辨率机动车排放清单建立	潘玉瑾, 李媛, 陈军辉, 石嘉诚, 田红, 张季, 周敬, 陈霞, 刘政, 钱骏 (3581)
基于无人机多光谱影像和 OPT-MPP 算法的水质参数反演	黄昕晰, 应晗婷, 夏凯, 冯海林, 杨垠晖, 杜晓晨 (3591)
不同水体分层对沉积物间隙水氮素垂向分布影响: 以三峡水库和小湾水库为例	刘静思, 朱晓声, 胡子龙, 张思思, 杨正健, 纪道斌, 刘德富 (3601)
城市河道表层水及沉积物中微塑料的污染现状与污染行为	赵昕, 陈浩, 贾其隆, 沈忱思, 朱奔, 李磊, 聂云汉, 叶建锋 (3612)
上海河道浮游植物群落结构时空变化特征及影响因素分析	许志, 陈小华, 沈根祥, 朱英, 钱晓雍, 张心良, 张卫, 胡双庆, 白玉杰 (3621)
过氧化钙 (CaO ₂) 联合生物炭对河道底泥的修复	李雨平, 姜莹莹, 刘宝明, 阮文权, 缪恒锋 (3629)
基于双同位素 ($\delta^{15}\text{N}$ -NO ₃ ⁻ , $\delta^{18}\text{O}$ -NO ₃ ⁻) 和 IsoSource 模型的岩溶槽谷区地下水硝酸盐来源的定量示踪	徐璐, 蒋勇军, 段世辉, 何瑞亮 (3637)
三峡库区规模化顺坡沟壑果园氮、磷输出过程及流失负荷	严坤, 王玉宽, 刘勤, 徐佩, 闫洋洋 (3646)
高度城镇化地区城市小区降雨径流污染特征及负荷估算	高斌, 许有鹏, 陆苗, 林芷欣, 徐兴 (3657)
Fe@GOCS 的制备及其对水中 As(III) 的吸附	赵超然, 单慧媚, 曾春芽, 张进贤, 彭三曦 (3665)
微塑料对水中铜离子和四环素的吸附行为	薛向东, 王星源, 梅雨晨, 庄海峰, 宋亚丽, 方程冉 (3675)
多孔填料特性对生物膜形成影响	江宇勤, 厉炯慧, 方治国 (3684)
硝化生物膜系统对低温的适应特性: MBBR 和 IFAS	李韧, 于莉芳, 张兴秀, 戴子承, 滑思思, 彭党聪 (3691)
单质硫自养短程反硝化耦合厌氧氨氧化强化脱氮	方文烨, 李祥, 黄勇, 郭超然, 胡羽婷, 陶仁杰 (3699)
间歇梯度曝气的生活污水好氧颗粒污泥脱氮除磷	张玉君, 李冬, 李帅, 张杰 (3707)
基于不同废污泥源的短程反硝化快速启动及稳定性	张星星, 王超超, 王焱, 徐乐中, 吴鹏 (3715)
基于 AHP-PROMETHEE II 法的鸟粪石磷回收污泥预处理方案决策	刘晓蕾, 李安婕 (3725)
零价铁对厌氧消化过程中氨氮抑制解除的影响	刘吉宝, 牛雨彤, 郁达伟, 谭颖峰, 左壮, 魏源送 (3731)
基于厌氧膜生物反应器的剩余污泥-餐厨垃圾厌氧共消化性能	戴金金, 牛承鑫, 潘阳, 陆雪琴, 甄广印, 郑朝辉, 张瑞良, 何欣昱 (3740)
亚剂量抗生素诱导抗性基因水平迁移	袁其懿, CHEN Hong-jie, Laurence Haller, 何义亮 (3748)
四环素胁迫对 <i>Shigella flexneri</i> 细菌四环素抗性基因抗性表达的影响过程	高品, 阮晓慧, 邱文婕, 薛罡, 钱雅洁 (3758)
羟胺对氨氧化菌和亚硝酸盐氧化菌的竞争性选择	乔昕, 王博, 郭媛媛, 彭永臻 (3765)
高温冲击对亚硝酸盐氧化过程中微生物菌群结构影响	侯晓薇, 牛永健, 李维维, 王光杰, 孙洪伟 (3773)
微生物种间相互作用产生锰氧化的普适性及其潜在应用	宁雪, 梁金松, 柏耀辉, 廖恺玲俐, 刘会娟, 曲久辉 (3781)
三亚河红树林表层沉积物中好氧氨氧化微生物的分布特征及潜在硝化速率	罗晴, 甄毓, 彭宗波, 贺惠 (3787)
臭氧污染对水稻生长、产量及矿质金属元素含量的影响	方笑堃, 罗小三, 张丹, 吴礼春, 邱丹, 陈志炜, 赵朕 (3797)
改变碳输入对新疆天山雪岭云杉林土壤呼吸的短期影响	邵康, 贡璐, 何学敏, 陈文静, 张雪妮, 朱海强 (3804)
有机无机肥配施对不同程度盐渍土 N ₂ O 排放的影响	周慧, 史海滨, 郭珈玮, 张文聪, 王维刚 (3811)
原位电阻热脱附土壤升温机制及影响因素	葛松, 孟宪荣, 许伟, 施维林 (3822)
羽序灯心草作为酸性矿山废弃地先锋植物潜力	黄建洪, 伏江丽, 严鑫睿, 尹凤, 田森林, 宁平, 李英杰 (3829)
滴灌方式和生物质炭对温室土壤矿质态氮及其微生物调控的影响	蔡九茂, 刘杰云, 邱虎森, 吕谋超, 周新国 (3836)
棉秆炭调控对碱性镉污染水稻根际土壤真菌群落结构和功能的影响	刘师豆, 韩耀光, 朱新萍, 吴相南 (3846)
不同水分管理模式联合叶面喷施硅肥对水稻 Cd 累积的影响	魏宾斌, 周航, 刘佳炜, 张竞颐, 黄芳, 霍洋, 胡雨丹, 辜娇峰, 刘俊, 廖柏寒 (3855)
螯合剂 GLDA 对象草修复镉污染农田的影响	覃建军, 唐盛爽, 蒋凯, 黄敬, 侯红波, 龙坚, 彭佩钦 (3862)
种植业面源污染防控技术发展历程分析及趋势预测	俞映惊, 杨林章, 李红娜, 朱昌雄, 杨祺, 薛利红 (3870)
《环境科学》征订启事 (3636) 《环境科学》征稿简则 (3764) 信息 (3538, 3628, 3724)	

基于交通流的成都市高分辨率机动车排放清单建立

潘玉瑾^{1,2}, 李媛^{1,2}, 陈军辉^{1,2*}, 石嘉诚^{1,2}, 田红³, 张季³, 周敬³, 陈霞³, 刘政¹, 钱骏¹

(1. 四川省生态环境科学研究院, 成都 610041; 2. 四川省环境保护移动源污染与控制研究实验室, 成都 610041; 3. 成都市机动车排气污染防治技术保障中心, 成都 610041)

摘要: 提出一种基于交通流监测数据的道路机动车高分辨率排放清单建立方法, 对成都市道路交通流特征进行分析并建立了成都市机动车尾气高分辨率排放清单。结果表明, 成都市道路车流量及排放均呈现明显的“双峰”分布, 早晚高峰时段机动车通行量占全天的 39.85%, 车队结构中排放标准以国Ⅳ车为主, 车辆类型以小型车为主, 燃料类型以汽油车为主; 道路机动车 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 BC 、 OC 和 VOCs (不含驻车蒸发) 日排放量分别为 3.89、162.08、324.11、4.79、4.36、1.89、0.78 和 44.37 t, 空间分布整体呈现从城市中心到外围排放强度逐渐降低趋势, 时间分布基本呈现“双峰”分布, 颗粒物相关指标受货车流量影响较大; NO_x 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 BC 和 OC 主要来源为大型柴油车, CO 主要来源为小型汽油车, 其中大型车对 NO_x 的贡献率达 80%; 基于保有量的计算方法对成都市道路机动车污染物排放存在一定高估, 高估比例在 1%~30%。

关键词: 交通流; 车队结构; 交通小区; 高分辨率; 机动车; 排放清单

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)08-3581-10 DOI: 10.13227/j.hj.kx.202002082

Method for High-resolution Emission Inventory for Road Vehicles in Chengdu Based on Traffic Flow Monitoring Data

PAN Yu-jin^{1,2}, LI Yuan^{1,2}, CHEN Jun-hui^{1,2*}, SHI Jia-cheng^{1,2}, TIAN Hong³, ZHANG Ji³, ZHOU Jing³, CHEN Xia³, LIU Zheng¹, QIAN Jun¹

(1. Sichuan Research Institute of Environment Protection, Chengdu 610041, China; 2. Sichuan Environmental Protection Research Laboratory of Moving Source Pollution Control, Chengdu 610041, China; 3. Chengdu Technology Center of Vehicle Exhaust Pollution, Chengdu 610041, China)

Abstract: A method for developing a high-resolution emission inventory for road vehicles based on traffic flow monitoring data is proposed in this study. The characteristics of road traffic flow were analyzed and a high-resolution emission inventory of vehicle in Chengdu was established. The results showed that the traffic flow and emissions in Chengdu exhibited an obvious “double peak” distribution, and that the traffic volume of vehicles during peak hours accounted for 39.85% of the total. China IV vehicles, small vehicles, and gasoline vehicles were the main types of road vehicles classified. The daily emissions of SO_2 , NO_x , CO , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, BC , OC , and VOCs from road vehicles were 3.89, 162.08, 324.11, 4.79, 4.36, 1.89, 0.78, and 44.37 t, respectively. The overall spatial distribution showed a decreasing trend from the city center to the periphery, and the time distribution essentially presented a “double peak” distribution. The related indicators of particulate matter were greatly affected by the number of trucks. The main source of NO_x , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, BC , and OC was large diesel vehicles, and the main source of CO was small gasoline vehicles. NO_x emissions from large vehicles accounted for up to 80% of the total. The method based on registered vehicles led to an overestimation of the emissions from road vehicles in Chengdu, with a proportion between 1% and 30%.

Key words: traffic flow; road vehicle structure; traffic-zone; high resolution; motor vehicle; emission inventory

随着经济社会的快速发展,我国大中城市的机动车保有量迅速增加,其带来的能源消耗、交通拥堵以及空气污染等问题已受到广泛关注。据文献[1],北京和上海等特大型城市以及人口密集区域,移动源对细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)浓度的贡献高达 10%~50%,在极端不利条件下,其贡献率可达到 50%以上,机动车污染已成为当前我国空气污染的重要来源。作为西南地区中心城市,成都市近 6 年来机动车年均增速保持在 48 万辆以上,截至 2018 年,成都市机动车保有量达 530 万辆以上,成为机动车保有量全国第二的城市,机动车尾气排放对大气污染的贡献引起了广泛关注。

建立准确和合理的机动车污染排放清单,研究

机动车污染物排放特征,对于提出区域机动车污染防治对策,改善城市环境空气质量具有重要意义。目前,机动车排放清单的研究仍然主要集中在基于保有量和年均行驶里程的排放因子法^[2~4],包括排放因子研究^[5~13]、时空分布特征研究^[14~19]和模型应用^[20~23]等方面,但是依靠排放因子和机动车保有量等历史统计资料无法及时反映道路实际情况,与实际道路排放相比仍然存在比较大的差异^[24~26]。随着物联网和大数据技术的发展,对实际

收稿日期: 2020-02-14; 修订日期: 2020-03-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0212101)

作者简介: 潘玉瑾(1991~),女,硕士,工程师,主要研究方向为移动源污染, E-mail: pan_yujin@163.com

* 通信作者, E-mail: 9503062@qq.com

道路车辆的信息掌握更加全面和精准,基于道路实时车流信息建立机动车排放清单的研究更加受到重视.但是现有研究主要集中于基于车流量数据建立小范围典型道路机动车排放清单^[27~29]、特定类别车辆排放清单^[30,31]和基于交通仿真模型建立排放清单^[32,33],鲜见有直接基于车流量数据建立城市级别机动车排放清单的研究.

本研究提出了一种以实时车流量信息为基础建立机动车污染物排放清单模拟的方法,并以成都市为例,进行了实际交通状态下的机动车排放清单分析,该成果可用于城市交通污染的准确评估,并可结合空气质量数值模型模拟移动源对环境空气质量的影响,以期交通环境管理提供精细化技术手段和决策依据.

1 材料与方法

在交通规划领域,交通小区是具有一定交通关联度和交通相似度的节点或连线的集合,随时间、关联度和相似度的变化而变化,能够反映城市道路路网交通的时空变化特性.本研究引入“交通小区”概念,基于成都市2019年5月工作日车流量监测数据建立机动车排放清单模型,以道路车队中每一种细分车型(以车型、燃料类型、排放标准作细分)作为基本计算单元,分区对机动车CO、NO_x、SO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、BC和OC污染物排放量进行计算,细分车型如表1.模型采用Python语言编写,计算结果应用ArcGIS地理信息系统进行可视化分析.

机动车行驶里程计算公式如下:

$$VKT_{i,j,k} = W_{i,j,k} \times L_{i,j} \tag{1}$$

式中,VKT_{*i,j,k*}为第*i*个交通小区内,第*j*种道路,*k*类型机动车行驶里程(km·h⁻¹);W_{*i,j,k*}为第*i*个交通小区,第*j*种道路,*k*类型机动车流量(辆·h⁻¹);L_{*i,j*}为第*i*个交通小区内,第*j*种道路长度(km),其中道路类型包括高速、主干道、次干道和支路这4种.

排放量计算公式如下:

$$E_{i,j,k} = EF_k \times VKT_{i,j,k} \times 10^{-6} \tag{2}$$

式中,E_{*i,j,k*}为第*i*个交通小区,第*j*种道路,*k*类型机动车污染物排放量(t·h⁻¹);EF_{*k*}为*k*类型机动车单位距离所排放的污染物的量(g·km⁻¹);

$$E = \sum_i \sum_j \sum_k E_{i,j,k} \tag{3}$$

式中,*E*为成都市机动车污染物排放量(t·h⁻¹).

表1 车辆类型

Table 1 Classification of vehicle type	
分类	类别
燃料	汽油、柴油和其他
车型	大型车和小型车
排放标准	国 I 前、国 I、国 II、国 III、国 IV、国 V 和国 VI

1.1 交通小区划分

以成都市行政区划及主要河流、铁路等为边界,并结合主要交通节点分布,将成都市划分为197个交通小区[图1(a)].交通小区的划分主要考虑以下原则:①一般以行政区划、河流、铁路作为交通小区的边界;②主要交通节点位于交通小区内部;③同一交通小区内交通特征相似.

1.2 交通流量数据

本项目所使用的交通流数据主要来自于成都市机动车中心所提供的2160个交通流监测卡口5月工作日监测数据,数据包含监测点位ID、监测点位位置、时间、车型、燃料、排放标准和车牌号码前两位等信息.

针对部分郊区地区车流量监测卡口布设较少,存在数据缺失的情况,一方面对典型路段遥感数据、高速路车流量数据以及人工计数车流量数据进行结构化解析,并结合监测数据对各种来源的数据进行校正、补充和融合;另一方面基于交通小区已有数据分道路类型进行扩样获得扩样车流量,根据数据获取情况将数据缺失小区分为两类:①小区内部分

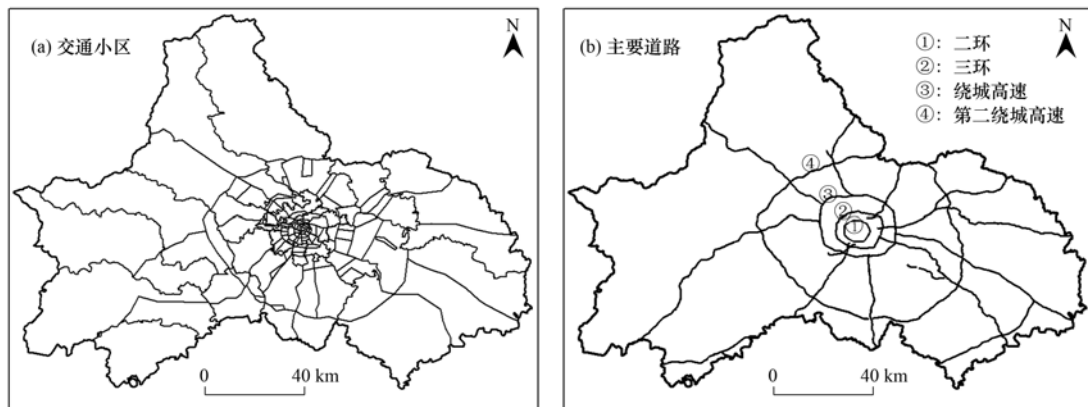


图1 成都市交通小区及主要道路分布示意

Fig. 1 Distribution of the traffic-zone and main road in Chengdu

道路类型无数据;②小区内全部道路类型均无数据, 扩样公式如下:

$$W_{i,j,k} = \overline{W}_{j,k} \times \frac{\overline{W}_{i,k}}{\overline{W}_k} \quad (4)$$

式中,第 i 个交通小区内部分道路类型有车流量数据,第 j 种道路无车流量数据; $W_{i,j,k}$ 为第 i 个交通小区内,第 j 种道路, k 类型机动车车流量 (辆·h⁻¹); $\overline{W}_{j,k}$ 为成都市第 j 种道路, k 类型机动车平均车流量 (辆·h⁻¹); $\overline{W}_{i,k}$ 为第 i 个交通小区内, k 类型机动车平均车流量 (辆·h⁻¹); $\overline{W}_k$ 为成都市 k 类型机动车平均车流量 (辆·h⁻¹).

$$W_{i,j,k} = \overline{W}_{j,k} \times \alpha_{i,j} \quad (5)$$

式中,第 i 个交通小区内全部道路类型均无数据; $W_{i,j,k}$ 为第 i 个交通小区内,第 j 种道路, k 类型机动车车流量 (辆·h⁻¹); $\overline{W}_{j,k}$ 为成都市第 j 种道路, k 类型机动车平均车流量 (辆·h⁻¹); $\alpha_{i,j}$ 为校正系数,无量纲,与交通小区所在位置及道路等级有关.

1.3 排放因子

排放因子采用国家道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南推荐综合基准排放系数进行环境及劣化修正^[34],按照平均行驶速度 80 km·h⁻¹ 对高速公路行驶车辆排放系数进行速度修正,其他类型道路行驶车辆排放系数未进行速度修正.由于交通流监测数据对车型分类与清单指南不完全一致,其中交通流监测的车型分类为大型车和小型车,大型车包含中型客车、大型客车、中型货车、大型货车和

公交车,小型车包含微型、小型客车、微型、轻型货车和出租车,因此基于成都市机动车保有量数据对排放因子进行计算,计算公式如下:

$$EF_{x,y,z} = \sum (EF_{i,y,z} \times \eta_{i,y,z}) \quad (6)$$

式中, $EF_{x,y,z}$ 为车型为 x 、燃料为 y 和排放标准为 z 类机动车的排放因子 (g·km⁻¹); $EF_{i,y,z}$ 为车型为 i 、燃料为 y 和排放标准为 z 类机动车的排放因子 (g·km⁻¹); $\eta_{i,y,z}$ 为车型为 i 、燃料为 y 和排放标准为 z 类机动车在车型为 x 、燃料为 y 和排放标准为 z 类机动车中的占比 (%).

2 结果与讨论

2.1 交通特征分析

2.1.1 交通流变化特征

图2为成都市工作日分道路类型机动车通行量,成都市不同类型道路中,主干道日平均车流量最大,其次是高速路,次干道、支路,平均车流量在 10 000 ~ 14 000 辆·d⁻¹ 左右.高速路及主干道中通行量较大的卡口车流量最高达 60 000 辆·d⁻¹ 以上,次干道及支路通行量较大的卡口最高则可达 40 000 辆·d⁻¹ 左右.分排放标准来看,各类道路通行车辆中均以国IV排放标准占比最多,其中以高速路最为显著,国IV排放标准车辆占比达 88%,国I前及国I车辆占比之和不足 1%.

图3为成都市工作日全部交通流监测卡口每小时车辆通行总量变化情况,小时机动车通行数量最高的为 17:00 ~ 18:00,其次为 08:00 ~ 09:00,小时

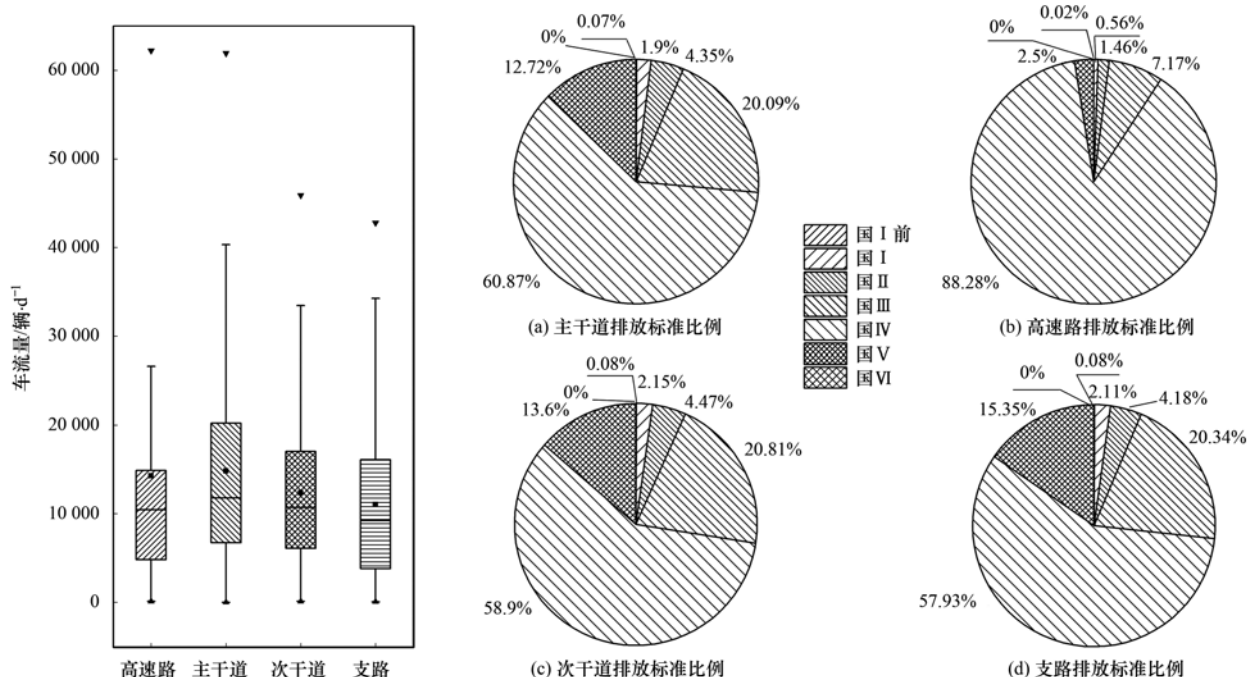


图2 不同道路类型车队构成

Fig. 2 Proportion of fleet compositions of different road types

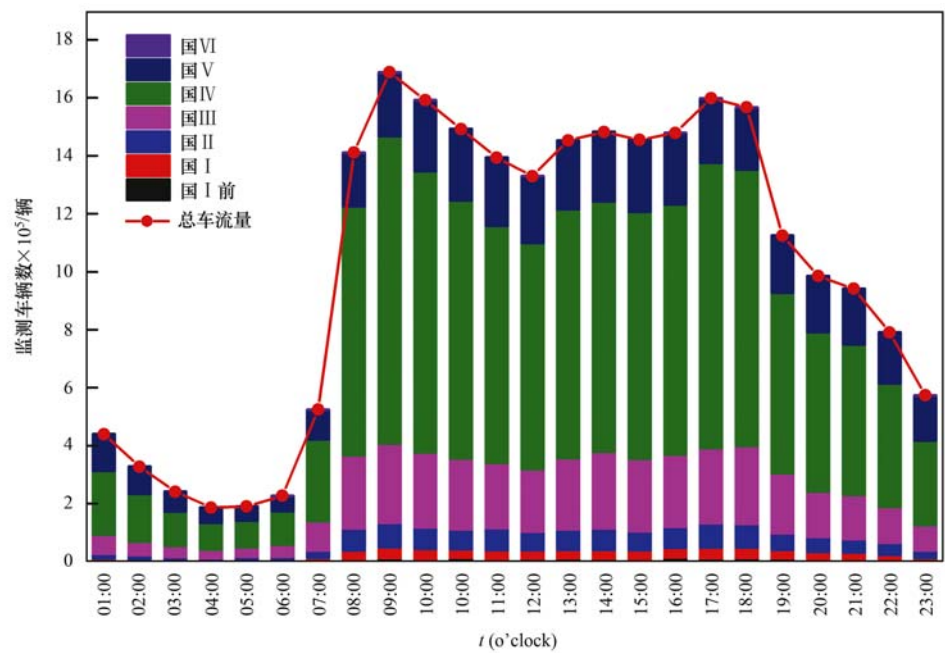


图3 逐小时通行车辆数

Fig. 3 Hourly dates of passing vehicles

机动车通行量最低的时间段为凌晨04:00~05:00。成都市机动车早晚高峰时段为08:00~11:00和16:00~19:00,期间机动车通行量占到全天的39.85%,其中08:00~11:00机动车通行量占全日的19.69%,16:00~19:00机动车通行量占全日的20.16%。分排放标准来看,各类车辆无明显时间变化规律。

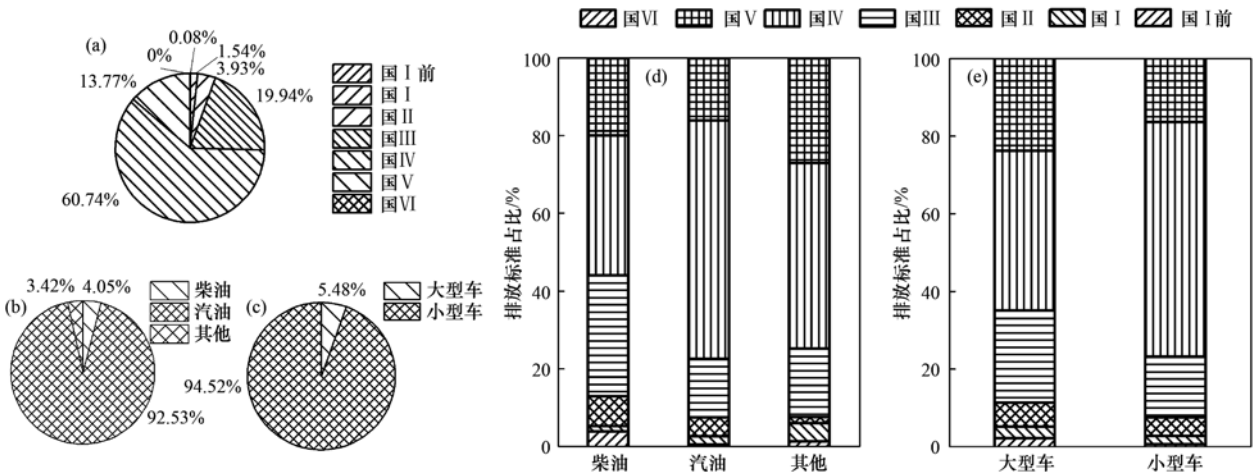
2.1.2 车队结构特征

从图4可以看出,成都市车队结构中道路车辆排放标准国IV占比最多,达到60.74%,仍然有少量的国I前、国I和国II车存在,国VI车的占比不足0.01%;按燃料类型来看,成都市道路行驶车辆中绝大多数为汽油车,汽油车占比92.53%,柴油车占比

4.05%,其他燃料占比3.42%,而且可以明显地看出,柴油车中国IV和国V车辆的占比明显较低,而国III车辆的占比则明显高于其他两类燃料;按车型来看,小型车占比94.52%,大型车占比5.48%,而在小型车中以国IV车型占比远高于大型车,大型车中国V车型占比相对较高。

2.2 道路机动车排放特征分析

基于成都市实际道路交通流数据通过交通小区扩样,耦合分类型机动车排放因子建立了成都市道路机动车高分辨率排放清单,结果显示成都市工作日道路机动车SO₂、NO_x、CO、PM₁₀、PM_{2.5}、BC、OC和VOCs(不含驻车蒸发)日排放量分别为3.89、162.08、324.11、4.79、4.36、1.89、0.78和44.37 t。



(a)排放标准占比;(b)燃料类型占比;(c)车型占比;(d)分燃料类型排放标准占比;(e)分车型排放标准占比

图4 成都市道路车队结构

Fig. 4 Proportion of fleet compositions in Chengdu

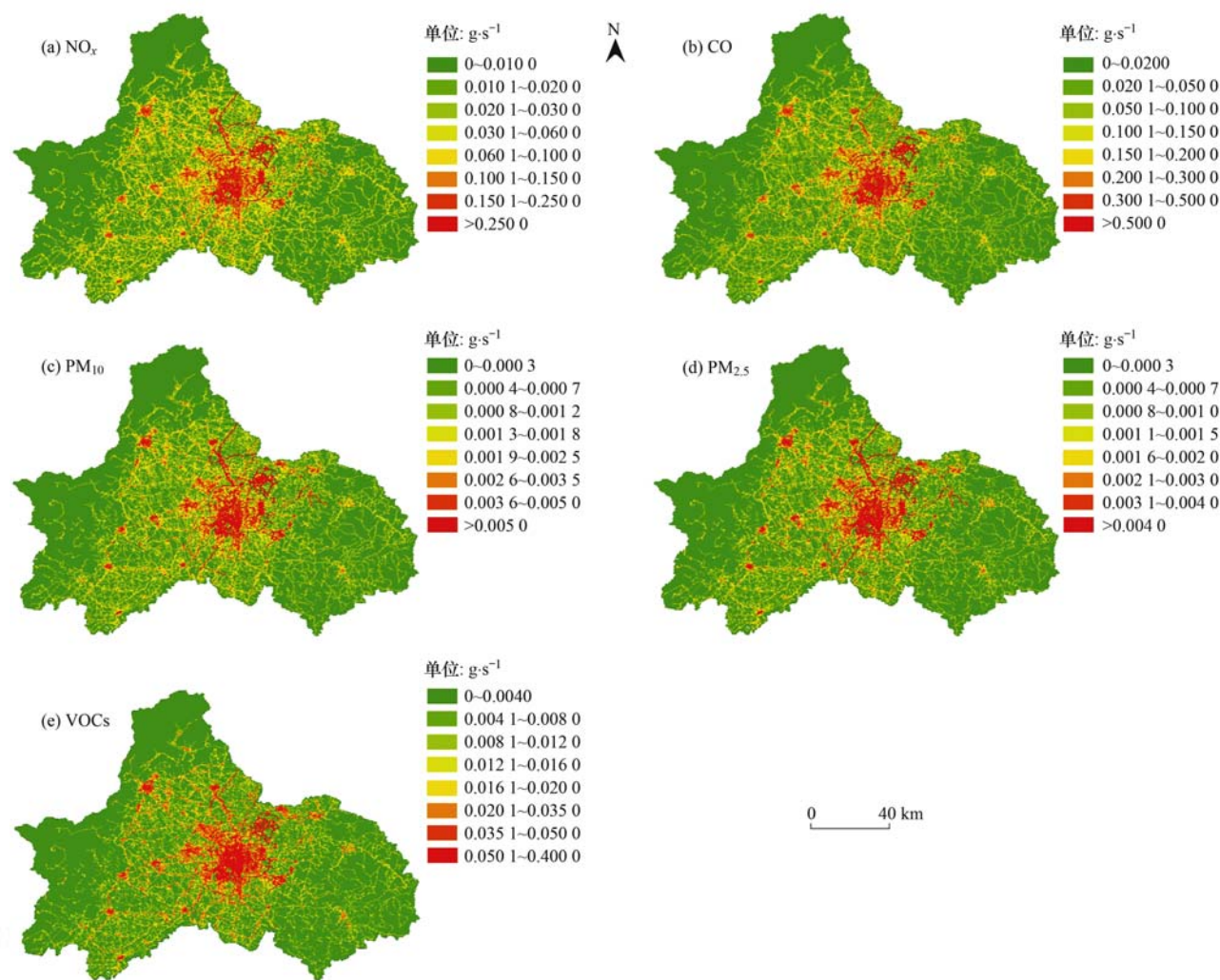


图5 成都市机动车污染物排放空间分布(500 m×500 m)

Fig. 5 Distribution of emissions from road vehicles (500 m×500 m)

2.2.1 污染物空间分布特征

应用 ArcGIS 软件,将成都市划分为 197 个交通小区,54 860个 500 m×500 m 网格,统计网格内道路机动车污染物排放量,图 5 为污染物 NO_x、CO、PM₁₀、PM_{2.5} 和 VOCs 排放的空间分布. 明显可以看出,成都市道路机动车排放强度基本呈现从市中心到城市外圈排放强度逐渐降低的趋势,绕城以内区域污染物排放强度高于成都市平均排放强度,绕城以外区域污染物排放强度低于成都市平均排放强度,绕城(绕城高速)、二绕(第二绕城高速)、北向各主干道如成绵高速和京昆高速,新都、青白江物流园区周边以及郊区县城等排放强度也相对较高.

以成都市主要环线道路为界,将成都市划分为 5 个圈层,对 5 个圈层的排放情况进行统计,从图 1 (b)可以看出,成都市主城区(三环以内)面积较小,仅占全市总面积的 2%,因此仅从图 6 不同区域污染物排放量来看,三环及以内道路机动车排放量占比较少,大部分排放量在三环以外区域.

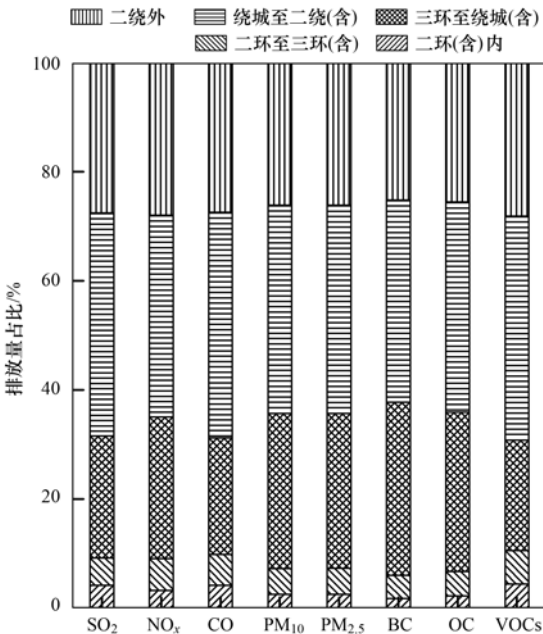


图6 成都市不同区域道路机动车排放量

Fig. 6 Emissions from road vehicles in different regions

从单位面积排放强度来看,从图 7 可以看出,二环以内是 CO 排放强度最高的区域,主要原因是主

城区小汽车流量较大,另外 SO₂ 和 VOCs 的排放量也是在二环以内最高,NO_x、PM₁₀和 PM_{2.5}排放强度

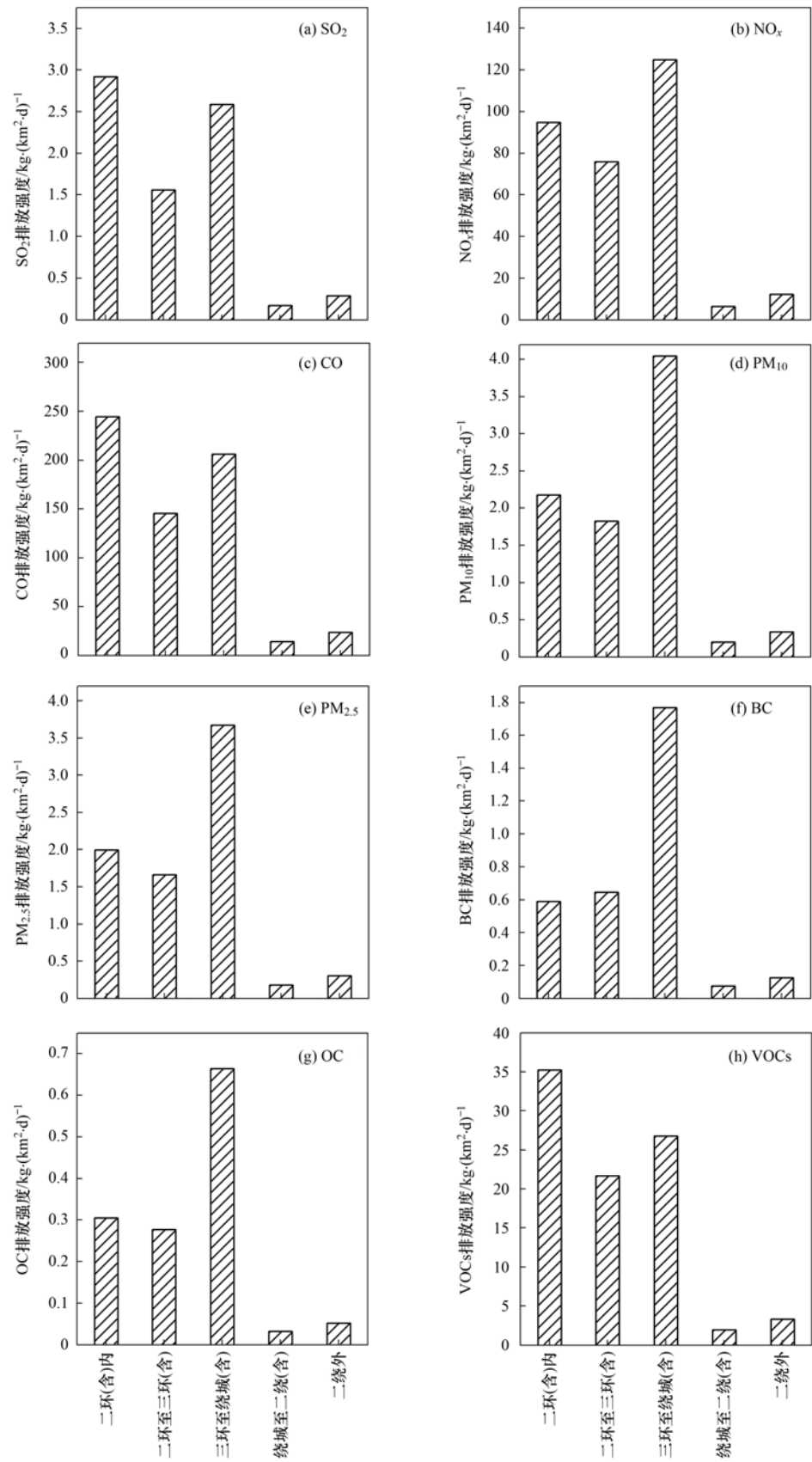


图 7 成都市不同区域道路机动车排放强度

Fig. 7 Emission intensity for road vehicles in different regions

最高的区域是三环至绕城之间,主要原因是绕城高速作为成都市重要的客货运通道,承担各类出入城道路的分流及车辆道路转换功能,且三环以内是成都市货车限行重点区域,因此三环至绕城区域不仅小汽车活动水平较高,中重型货运车辆的活动水平也远高于中心城区。

2.2.2 污染物时间分布特征

采用5月工作日数据对逐小时道路机动车污

染物进行计算,如图8所示 SO_2 、 NO_x 、CO 和 VOCs 排放均符合早晚高峰出行量大排放强度大的特征, PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、BC 和 OC 排放量除早晚高峰外,在16:00出现明显峰值,与柴油车流量变化趋势存在一致性(图9),可能与成都市部分区域工作日早、晚高峰时段(07:00~09:00、17:00~20:00)限行有关,导致16:00货车流量出现短暂峰值。

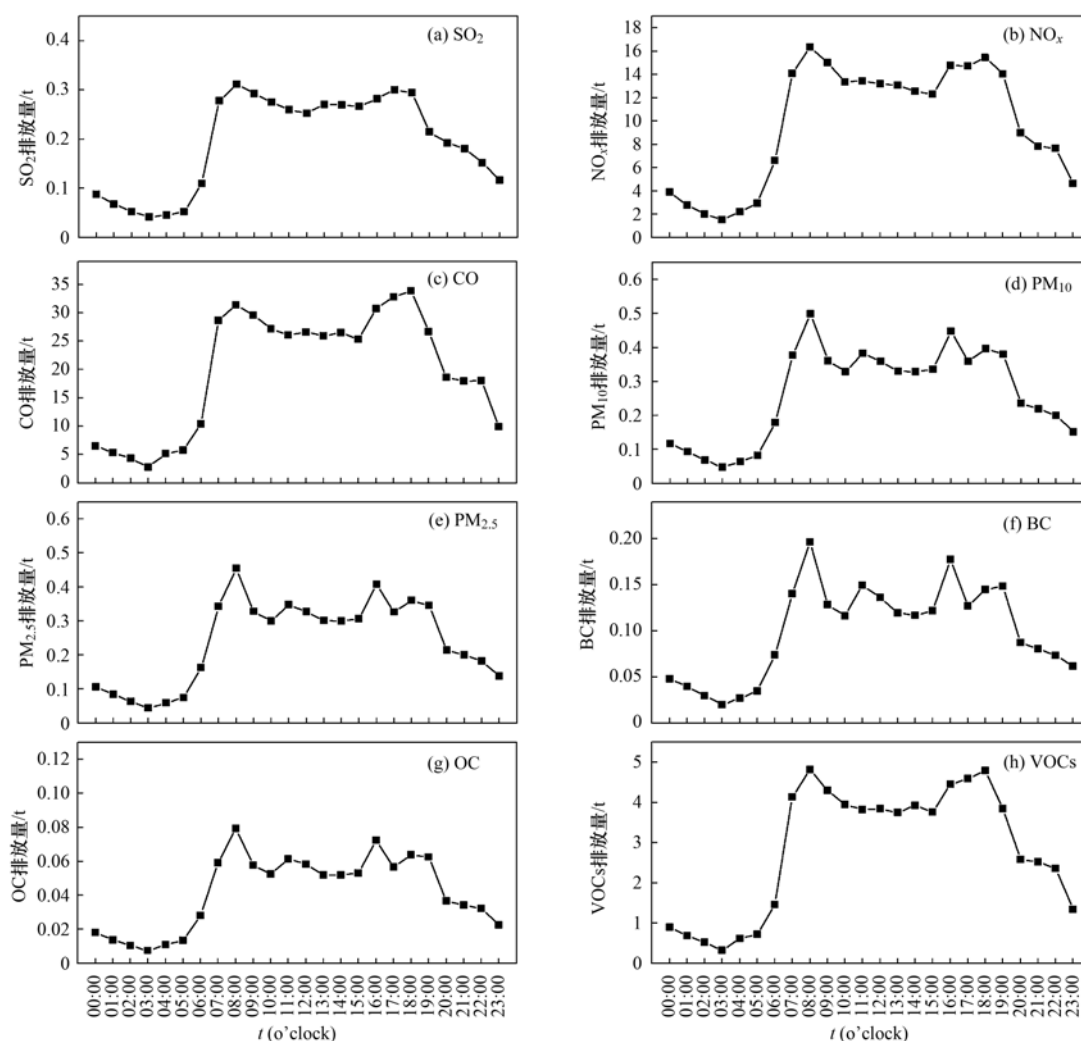


图8 道路机动车污染物排放量逐小时变化

Fig. 8 Hourly emissions from road vehicles

2.2.3 不同车辆类型的排放特征

从排放标准来看[图10(a)],成都市机动车排放主要来自于国IV车,在大多数大气污染物的排放总量中,国IV车的贡献均为第一,其次是国III车,在颗粒物污染排放上,国III车和国IV车排放贡献相当。

从燃料类型来看[图10(b)],CO、 SO_2 和 VOCs 排放主要来自于汽油车,贡献占比均超过了50%。 NO_x 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、BC 和 OC 主要来自于柴油车,其中BC和OC的排放贡献特别突出,均超过70%。其他燃料车辆贡献较大的污染物是 NO_x ,贡献比接近

40%,主要来自于天然气公交车,但是由于成都市三环以外道路车流量缺乏卡口监测数据,部分区域车流量以现有数据为基础按比例扩样得到,因此对于天然气公交车在成都市三环以外地区的排放贡献可能存在高估。

从车型来看[图10(c)],小型车贡献了较多的CO、 SO_2 和 VOCs,其中小型车对 SO_2 的贡献占比超过85%。而大型车则排放了较多的 NO_x 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、OC和BC,其中大型车对 NO_x 贡献占比较高,约占机动车 NO_x 排放总量的80%,主要来自于中重

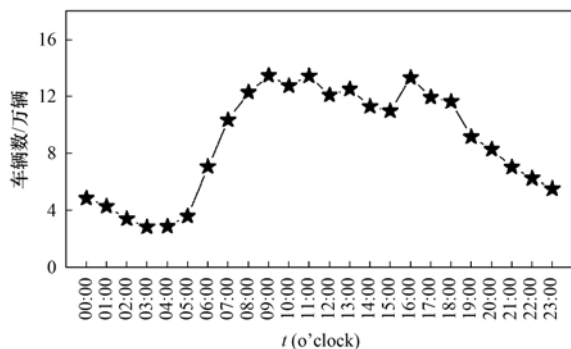


图9 柴油车流量逐小时变化情况

Fig. 9 Hourly dates of truck flow

型柴油货车。

2.3 与基于保有量的宏观排放清单的对比

采用基于保有量及活动水平的方法^[16]对成都

市道路移动源(不含三轮车、低速货车和摩托车)污染物排放量进行计算,2018年成都市道路移动源(不含三轮车、低速货车和摩托车)SO₂、NO_x、CO、PM₁₀、PM_{2.5}、BC和OC日均排放量分别为6.02、189.15、353.81、6.25、5.69、2.59和0.78 t。

前文基于道路车流量计算的道路机动车排放量略低于基于保有量计算结果,SO₂、NO_x、CO、PM₁₀、PM_{2.5}、BC和OC排放量分别为基于保有量计算结果的64.58%、85.69%、91.61%、76.60%、81.42%、73.04%和99.70%,基于保有量的计算方法可能对成都市道路机动车污染物排放存在一定程度的高估。

2.4 不确定性分析

污染源排放清单编制过程中,由于排放因子和

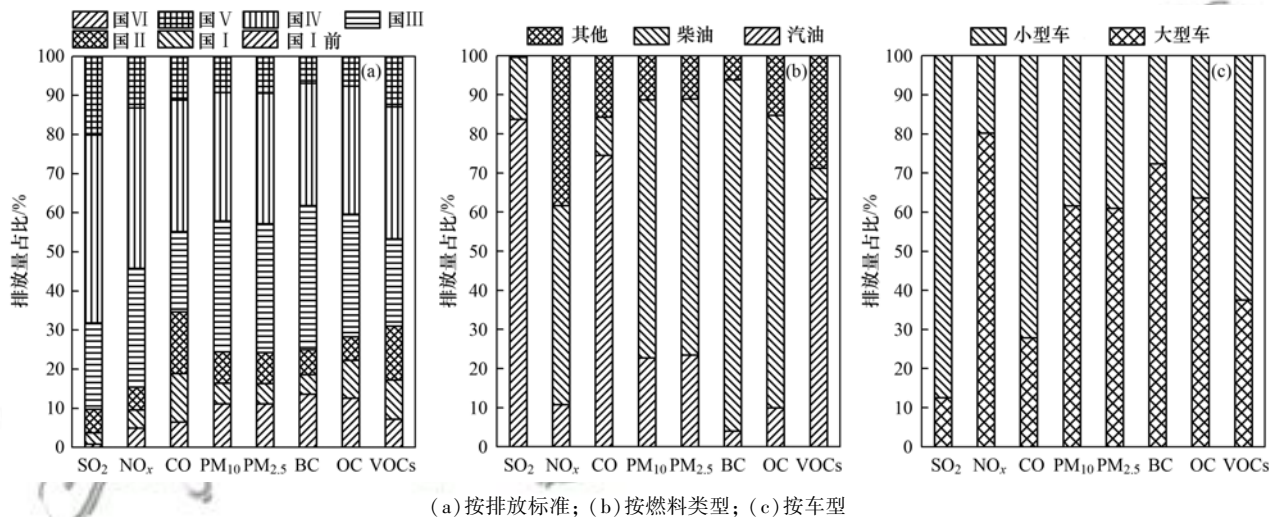


图10 不同车辆类型排放贡献率

Fig. 10 Emission contribution rates for different types of vehicle

活动数据等关键数据缺失及数据代表性不足或估算方法局限性等原因,不可避免地存在不确定性^[35]。

本清单不确定主要来源于两部分:①车流量数据.车流量数据一部分来自实际监测,相对比较可靠,一部分根据监测车流量进行分类扩样得到,存在一定的不确定性;同一交通小区内同类道路采用同一车流量进行计算,交通小区的划分由人为根据经验划分,存在一定不确定性。②排放因子.由于排放因子本地化工作开展不充分,本研究清单估算时以国家机动车排放清单指南推荐综合基准排放系数为基础进行修正,基于成都市机动车保有量数据按照各车型占比计算得到排放因子,成为重要的不确定性来源.指南推荐综合基准排放系数及其修正过程不确定性相对较少;由于交通流监测数据对车型分类不够细致,与清单指南中不一致,因此基于成都市机动车保有量数据按照各车型占比计算得到与监测数据车型分类一致的排放因子,保有量数据比较可靠,但与道

路车队结构可能存在一定差异,存在一定的不确定性。

3 结论

(1)成都市道路车流量呈现明显的“双峰”分布,与排放贡献率基本一致,主干道及高速路平均车流量大于其他类型道路,约为次干道及支路车流量的1.5倍,从车队结构来看,排放标准以国IV车为主,车辆类型以小型车为主,燃料类型以汽油车为主。

(2)基于道路卡口交通流监测数据建立了机动车尾气高分辨率排放清单,成都市道路机动车SO₂、NO_x、CO、PM₁₀、PM_{2.5}、BC、OC和VOCs(不含驻车蒸发)日排放量分别为3.89、162.08、324.11、4.79、4.36、1.89、0.78和44.37 t,空间分布整体呈现从市中心到城市外围排放强度逐渐降低的趋势,时间分布基本呈现“双峰”分布,颗粒物相关指

标受货车活动水平影响下午出现短暂峰值。

(3)分车辆类型来看,成都市机动车排放主要来自于国Ⅳ车,其次是国Ⅲ车,另外, NO_x 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、BC 和 OC 的主要来源为大型柴油车,CO 的主要来源为小型汽油车,以天然气公交车为主的其他燃料车对 NO_x 的贡献率也相对较高,大型车对 NO_x 贡献占比达 80%,主要来自于中重型柴油货车。

(4)基于保有量计算的排放清单可能对成都市道路机动车污染物排放存在高估,高估的比例约在 1%~30%。

(5)本研究建立的道路机动车排放清单具有一定的不确定性,后续研究工作中应扩展车流量基础数据的获取途径,开展机动车排放因子本地化工作,加强清单不确定性定量分析,以进一步丰富和完善道路机动车大气污染物排放清单的建立方法。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 2018 年中国机动车环境管理年报 [EB/OL]. <http://www.gov.cn/guoqing/2019-04/09/5380744/files/88ce80585df49c3a7d51c007c0a5112.pdf>, 2019-04-09.
- [2] Lang J L, Zhou Y, Cheng S Y, *et al.* Unregulated pollutant emissions from on-road vehicles in China, 1999-2014 [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **573**: 974-984.
- [3] Kota S H, Zhang H L, Chen G, *et al.* Evaluation of on-road vehicle CO and NO_x national emission inventories using an urban-scale source-oriented air quality model [J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **85**: 99-108.
- [4] 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.
Song X W, Hao Y P, Zhu X D. Vehicular emission inventory establishment and characteristics research in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(1): 90-101.
- [5] 傅立新,郝吉明,何东全,等. 北京市机动车污染物排放特征[J]. *环境科学*, 2000, **21**(3): 68-70.
Fu L X, Hao J M, He D Q, *et al.* The emission characteristics of pollutants from motor vehicles in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2000, **21**(3): 68-70.
- [6] 谢绍东,宋翔宇,申新华. 应用 COPERT III 模型计算中国机动车排放因子[J]. *环境科学*, 2006, **27**(3): 415-419.
Xie S D, Song X Y, Shen X H. Calculating vehicular emission factors with COPERT III mode in China [J]. *Environmental Science*, 2006, **27**(3): 415-419.
- [7] 黄冠涛. 基于 MOVES 的微观层次交通排放评价[D]. 北京: 北京交通大学, 2011. 18-32.
- [8] 王聪. 基于 COPERT4 模型的山东省汽车尾气排放特征及预测研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015. 25-43.
- [9] 赵雪艳,王静,祝胜男,等. 沈阳市国三和国四排放标准不同车型柴油车 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 排放因子及碳组分源谱[J]. *环境科学*, 2019, **40**(10): 4330-4336.
Zhao X Y, Wang J, Zhu S N, *et al.* Emission characteristics of exhaust PM and its carbonaceous components from China III to China IV diesel vehicles in Shenyang [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(10): 4330-4336.
- [10] 姚荣涵,龙梦,张文松,等. 信号交叉口机动车排放因子影响因素分析[J]. *北京交通大学学报*, 2019, **43**(1): 122-131.
- [11] Yao R H, Long M, Zhang W S, *et al.* Influence analysis for vehicle emission factors at signalized intersections[J]. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2019, **43**(1): 122-131.
- [12] 徐成伟,吴超仲,初秀民,等. 基于 CMEM 模型的武汉市轻型机动车平均排放因子研究[J]. *交通与计算机*, 2008, **26**(4): 185-188.
Xu C W, Wu C Z, Chu X M, *et al.* Light-duty vehicle average emission factors of Wuhan city based on CMEM model [J]. *Computer and Communications*, 2008, **26**(4): 185-188.
- [13] 张双红,于雷,宋国华. 基于工况分布的重型环卫货车 NO_x 排放模型[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2019, **19**(3): 222-229.
Zhang S H, Yu L, Song G H. NO_x emission model for heavy-duty refuse trucks based on operating modes [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2019, **19**(3): 222-229.
- [14] 田灵娣,樊守彬,张东旭,等. 行驶速度对机动车尾气排放的影响[J]. *环境工程学报*, 2016, **10**(11): 6541-6548.
Tian L D, Fan S B, Zhang D X, *et al.* Influence of average speed on vehicle exhaust emissions [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, **10**(11): 6541-6548.
- [15] 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.
Tang W, Yang Q, Huang C, *et al.* Study on characteristics of pollutant emission from motor vehicles in Hangzhou based on large data analysis and IVE model [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, **38**(1): 71-78.
- [16] 高成康,许庆江,邢玉红,等. 冬季低温地区道路移动源大气污染物排放清单[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2019, **40**(9): 1343-1349.
Gao C K, Xu Q J, Xing Y H, *et al.* Emission inventory of atmospheric pollutants from on-road vehicles in low-temperature areas in winter [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2019, **40**(9): 1343-1349.
- [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.
Zhou Z H, Deng Y, Wu K Y, *et al.* On-road mobile source emission inventory and spatial distribution characteristics in Chengdu [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, **38**(1): 79-91.
- [18] 肖中新,李兵兵,于尧,等. 城市机动车污染排放的时空预测与分布[J]. *上海海事大学学报*, 2017, **38**(4): 79-83.
Xiao Z X, Li B B, Yu Y, *et al.* Space-time predicting and distribution of vehicle pollution emission in cities [J]. *Journal of Shanghai Maritime University*, 2017, **38**(4): 79-83.
- [19] 王凯,樊守彬,郭津津,等. 北京市机动车尾气中氨气排放特征研究[J]. *环境工程*, 2018, **36**(3): 98-101.
Wang K, Fan S B, Guo J J, *et al.* Characteristics of ammonia emission from motor vehicle exhaust in Beijing [J]. *Environmental Engineering*, 2018, **36**(3): 98-101.
- [20] 陈琨,于雷. 用于交通控制策略评估的微观交通尾气模拟与实例分析[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2007, **7**(1): 93-100.
Chen K, Yu L. Microscopic traffic-emission simulation and case study for evaluation of traffic control strategies [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2007, **7**(1): 93-100.
- [21] 秦奋,刘媛,陈郁. GIS 技术在机动车尾气排放扩散模拟方向的应用[J]. *安全与环境工程*, 2007, **14**(1): 47-51.

- Qin F, Liu Y, Chen Y. Review on the GIS-based simulation of vehicle emission [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2007, **14**(1): 47-51.
- [21] 施益强, 王坚, 曹超, 等. 基于 GIS 的厦门市机动车尾气扩散模拟[J]. *集美大学学报(自然科学版)*, 2010, **15**(6): 466-470.
- Shi Y Q, Wang J, Cao C, *et al.* Diffusion simulation of automobile emission in urban area of Xiamen City based on GIS [J]. *Journal of Jimei University (Natural Science)*, 2010, **15**(6): 466-470.
- [22] 王珮玮, 杨道源, 吴潇萌, 等. 基于 AERMOD 线源模式的都市路网一次 PM_{2.5} 排放扩散特征研究[J]. *环境科学学报*, 2018, **38**(7): 2728-2734.
- Wang P W, Yang D Y, Wu X M, *et al.* Analysis of emission dispersion features of primary PM_{2.5} in urban road network based on AERMOD line-source mode [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, **38**(7): 2728-2734.
- [23] 崔晨, 刘伟, 毛洪钧, 等. 基于高斯模式的天津机动车尾气扩散模拟研究[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2018, **34**(1): 54-60.
- Cui C, Liu W, Mao H J, *et al.* Study on vehicle exhaust gas simulation in Tianjin based on Gauss model [J]. *Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition)*, 2018, **34**(1): 54-60.
- [24] Wang T, Xie S D. Assessment of traffic-related air pollution in the urban streets before and during the 2008 Beijing Olympic Games traffic control period [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(35): 5682-5690.
- [25] Chart-asa C, Gibson J M. Health impact assessment of traffic-related air pollution at the urban project scale: influence of variability and uncertainty [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **506-507**: 409-421.
- [26] Haneen K, de Hoogh K, Nieuwenhuijsen M J. Full-chain health impact assessment of traffic-related air pollution and childhood asthma[J]. *Environment International*, 2018, **114**: 365-375.
- [27] 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.
- [28] 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.
- Li X Y, Wu L, Zou C, *et al.* Emission characteristics of vehicle exhaust in artery and collector roads in Nanjing based on real-time traffic data[J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(4): 1340-1347.
- [29] 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.
- [30] Perugu H, Wei H, Yao Z. Developing high-resolution urban scale heavy-duty truck emission inventory using the data-driven truck activity model output [J]. *Atmospheric Environment*, 2017, **155**: 210-230.
- [31] 李峰, 庄继晖, 李孟良. 海口城市公交车行驶工况构建及排放清单建立[J]. *重庆理工大学学报(自然科学版)*, 2019, **33**(2): 138-144.
- Li F, Zhuang J H, Li M L. Construction of driving cycle for investigation of public transport emission in Haikou City [J]. *Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science)*, 2019, **33**(2): 138-144.
- [32] 程颖, 陈艳艳, 刘莹, 等. 城市交通排放高分辨率分析方法研究——北京实证[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2018, **18**(2): 236-244.
- Cheng Y, Chen Y Y, Liu Y, *et al.* An method of high-resolution of urban traffic emission for pollution control: a case study in Beijing [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2018, **18**(2): 236-244.
- [33] Zhang S J, Niu T L, Wu Y, *et al.* Fine-grained vehicle emission management using intelligent transportation system data [J]. *Environmental Pollution*, 2018, **241**: 1027-1037.
- [34] 生态环境部. 道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行) [EB/OL]. <https://www.3mbang.com/p-294811.html>, 2014-12-31.
- [35] 郑君瑜, 王水胜, 黄志炯, 等. 区域高分辨率大气排放源清单建立的技术方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

CONTENTS

Comparison Analysis of the Effect of Emission Reduction Measures for Major Events and Heavy Air Pollution in the Capital	ZHONG Yi-sheng, ZHOU Ying, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i>	(3449)
Evaluation of Different ISORROPIA-II Modes and the Influencing Factors of Aerosol pH Based on Tianjin Online Data	GAO Jie, SHI Xu-rong, WEI Yu-ting, <i>et al.</i>	(3458)
Emission Characteristics of Particulate Organic Matter from Cooking	LI Yuan-ju, WU Ai-hua, TONG Meng-xue, <i>et al.</i>	(3467)
Characteristics and Sources of 12 Trace Amount Elements in PM _{2.5} During a Period of Heavy Pollution in Huanggang, Central China	CHEN Zhan-le, TIAN Qian, MAO Yao, <i>et al.</i>	(3475)
Aerosol Optical Properties over the Ebirur Region	ZHANG Zhe, DING Jian-li, WANG Jin-jie	(3484)
Characteristics of Secondary Organic Particles and the Potential Formation of SOA from VOCs During Wintertime Heavy Pollution Episodes in Tianjin	XU Hong, TANG Miao, XIAO Zhi-mei, <i>et al.</i>	(3492)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs at Different Pollution Levels During the Winter in an Urban Area in Zhengzhou	LI Yi-dan, YIN Sha-sha, ZHANG Rui-qin, <i>et al.</i>	(3500)
Emission Inventory of Intermediate Volatility Organic Compounds (IVOCs) from Biomass Burning in the Yangtze River Delta During 2010-2018	ZHU Yong-hui, WANG Qian, HUANG Ling, <i>et al.</i>	(3511)
Emission Characteristics of Biogenic Volatile Compounds (BVOCs) from Common Greening Tree Species in Northern China and Their Correlations with Photosynthetic Parameters	XU Yan, LI Shuang-jiang, YUAN Xiang-yang, <i>et al.</i>	(3518)
Characteristics of Surface Ozone and Impact Factors at Different Station Types During the Autumn in Guangzhou	GAO Ping, ZHUANG Li-yue, WANG Long, <i>et al.</i>	(3527)
Pollution Characteristics and Sensitivity Analysis of Atmospheric Ozone in Taian City	LI Kai, LIU Min, MEI Ru-bo	(3539)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Road Dust from Non-ferrous Smelting Parks	FENG Yu-yao, SHI Jian-wu, ZHONG Yao-qian, <i>et al.</i>	(3547)
Pollution and Source Analysis of Heavy Metal in Surface Dust from Xi'an University Campuses	FAN Xin-yao, LU Xin-wei, LIU Hui-min, <i>et al.</i>	(3556)
Monitoring Method of Total Particulate Matter in Ultra-low-emission and High-humidity Exhaust Gas from Stationary Sources and an Actual Test in a Gas Power Plant	HU Yue-qi, YAN Xu, KONG Chuan, <i>et al.</i>	(3563)
Vessels' Air Pollutant Emissions Inventory and Emission Characteristics in the Xiamen Emission Control Area	WANG Jian, HUANG Zhi, LIU Yan-ying, <i>et al.</i>	(3572)
Method for High-resolution Emission Inventory for Road Vehicles in Chengdu Based on Traffic Flow Monitoring Data	PAN Yu-jin, LI Yuan, CHEN Jun-hui, <i>et al.</i>	(3581)
Inversion of Water Quality Parameters Based on UAV Multispectral Images and the OPT-MPP Algorithm	HUANG Xin-xi, YING Han-ting, XIA Kai, <i>et al.</i>	(3591)
Effects of Different Water Stratification on the Vertical Distribution of Nitrogen in Sediment Interstitial Waters: A Case Study of the Three Gorges Reservoir and Xiaowan Reservoir	LIU Jing-si, ZHU Xiao-sheng, HU Zi-long, <i>et al.</i>	(3601)
Pollution Status and Pollution Behavior of Microplastic in Surface Water and Sediment of Urban Rivers	ZHAO Xin, CHEN Hao, JIA Qi-long, <i>et al.</i>	(3612)
Spatial and Temporal Variation of Phytoplankton Community Structure and Its Influencing Factors in Shanghai River Channels	XU Zhi, CHEN Xiao-hua, SHEN Gen-xiang, <i>et al.</i>	(3621)
Restoration of River Sediment by Calcium Peroxide (CaO ₂) Combined with Biochar	LI Yu-ping, JIANG Ying-ying, LIU Bao-ming, <i>et al.</i>	(3629)
Quantification of Nitrate Sources to Groundwater in Karst Trough-valley Areas Based on Dual Stable Isotopes of $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ and $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ and the IsoSource Model	XU Lu, JIANG Yong-jun, DUAN Shi-hui, <i>et al.</i>	(3637)
Dynamic Process of Nitrogen and Phosphorus Export and Loss Load in an Intensive Orchard with Ridge and Furrow Plantation in the Three Gorges Reservoir Area	YAN Kun, WANG Yu-kuan, LIU Qin, <i>et al.</i>	(3646)
Analysis of Rainfall Runoff Pollution and Pollution Load Estimation for Urban Communities in a Highly Urbanized Region	GAO Bin, XU You-peng, LU Miao, <i>et al.</i>	(3657)
Adsorption of As(III) in Water by Iron-loaded Graphene Oxide-Chitosan	ZHAO Chao-ran, SHAN Hui-mei, ZENG Chun-ya, <i>et al.</i>	(3665)
Sorption Behaviors of Copper Ions and Tetracycline on Microplastics in Aqueous Solution	XUE Xiang-dong, WANG Xing-yuan, MEI Yu-chen, <i>et al.</i>	(3675)
Effect of Porous Fillers Properties on Biofilm Growth	JIANG Yu-qin, LI Jiong-hui, FANG Zhi-guo	(3684)
Adaptability of Nitrifying Biofilm Systems to Low Temperature: MBBR and IFAS	LI Ren, YU Li-fang, ZHANG Xing-xiu, <i>et al.</i>	(3691)
Improved on Nitrogen Removal of Anaerobic Ammonia Oxidation by Coupling Element Sulfur-based Autotrophic Short-cut Denitrification	FANG Wen-ye, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(3699)
Nitrogen and Phosphorus Removal from Domestic Sewage Aerobic Granular Sludge Under Intermittent Gradient Aeration	ZHANG Yu-jun, LI Dong, LI Shuai, <i>et al.</i>	(3707)
Rapid Start-up and Stability of Partial Denitrification Based on Different Waste Sludge Sources	ZHANG Xing-xing, WANG Chao-chao, WANG Yao, <i>et al.</i>	(3715)
Decision-making Analysis of Excess Sludge Pretreatment for Struvite Recovery Based on AHP-PROMETHEE II Method	LIU Xiao-lei, LI An-jie	(3725)
Effect on Ammonia Inhibition Mitigation in the Anaerobic Digestion Process with Zero-Valent Iron	LIU Ji-bao, NIU Yu-tong, YU Da-wei, <i>et al.</i>	(3731)
Performance of Anaerobic Membrane Bioreactors for the Co-digestion of Sewage Sludge and Food Waste	DAI Jin-jin, NIU Cheng-xin, PAN Yang, <i>et al.</i>	(3740)
Antibiotics Induce Horizontal Gene Transfer of Resistance at Sublethal Concentrations	YUAN Qi-yi, CHEN Hong-jie, Laurence Haller, <i>et al.</i>	(3748)
Impact of Tetracycline Antibiotic on the Transcriptional Expression of Tetracycline Resistance Genes in <i>Shigella flexneri</i>	GAO Pin, RUAN Xiao-hui, QIU Wen-jie, <i>et al.</i>	(3758)
Competitive Selection of Hydroxylamine on Ammonia Oxidizing Bacteria and Nitrite Oxidizing Bacteria	QIAO Xin, WANG Bo, GUO Yuan-yuan, <i>et al.</i>	(3765)
Analysis of the Effect of Temperature on the Microbial Flora Structure During the Nitrite Oxidation Process Using 16S rRNA High-throughput Sequencing	HOU Xiao-wei, NIU Yong-jian, LI Wei-wei, <i>et al.</i>	(3773)
Universality and Potential Application of Mn(II) Oxidation Triggered by Microbial Interspecies Interactions	NING Xue, LIANG Jin-song, BAI Yao-hui, <i>et al.</i>	(3781)
Distribution and Potential Nitrification Rates of Aerobic Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Surface Sediments of Mangrove in Sanya River	LUO Qing, ZHEN Yu, PENG Zong-bo, <i>et al.</i>	(3787)
Effects of Ozone Pollution on Growth, Yields, and Mineral Metallic Element Contents of Paddy Rice	FANG Xiao-kun, LUO Xiao-san, ZHANG Dan, <i>et al.</i>	(3797)
Short Term Effects of a Changing Carbon Input on the Soil Respiration of <i>Picea schrenkiana</i> Forests in the Tianshan Mountains, Xinjiang	SHAO Kang, GONG Lu, HE Xue-min, <i>et al.</i>	(3804)
Effects of the Combined Application of Organic and Inorganic fertilizers on N ₂ O Emissions from Saline Soil	ZHOU Hui, SHI Hai-bin, GUO Jia-wei, <i>et al.</i>	(3811)
Mechanism and Influencing Factors of Increasing Soil Temperature by <i>in-situ</i> Electrical Resistance Heating	GE Song, MENG Xian-rong, XU Wei, <i>et al.</i>	(3822)
Acid Mine Wasteland Reclamation by <i>Juncus ochraceus</i> Buchen as a Potential Pioneer Plant	HUANG Jian-hong, FU Jiang-li, YAN Xin-rui, <i>et al.</i>	(3829)
Effects of Drip Irrigation Patterns and Biochar Addition on Soil Mineral Nitrogen and Microbial Regulation of Greenhouse	CAI Jiu-mao, LIU Jie-yun, QIU Hu-sen, <i>et al.</i>	(3836)
Effects of Cotton Stalk Biochar on the Structure and Function of Fungi Community in Alkaline Rhizosphere Soil of Rice Under Cadmium Pollution	LIU Shi-dou, HAN Yao-guang, ZHU Xin-ping, <i>et al.</i>	(3846)
Effects of Different Treatments with Water Management Combined with Leaf Spraying Silicon Fertilizer on Cd Accumulation in Rice	WEI Bin-yun, ZHOU Hang, LIU Jia-wei, <i>et al.</i>	(3855)
Effects of Chelate GLDA on the Remediation of Cadmium Contaminated Farmland by <i>Pennisetum purpureum</i> Schum	QIN Jian-jun, TANG Sheng-shuang, JIANG Kai, <i>et al.</i>	(3862)
Situation Analysis and Trend Prediction of the Prevention and Control Technologies for Planting Non-Point Source Pollution	YU Ying-liang, YANG Lin-zhang, LI Hong-na, <i>et al.</i>	(3870)