

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第5期

Vol.39 No.5

**2018**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

餐饮行业细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)排放测算方法:以上海市为例 ..... 王红丽, 景盛翱, 楼晟荣, 陶士康, 乔利平, 李莉, 黄成, 林立, 陈长虹(1971)

上海夏季PM<sub>2.5</sub>中有机物的组分特征、空间分布和来源 ..... 高雅琴, 王红丽, 景盛翱, 乔利平, 李莉, 朱书慧, 楼晟荣, 陶士康, 冯加良, 李想, 陈长虹(1978)

北京南郊区PM<sub>2.5</sub>中水溶性无机盐季节变化及来源分析 ..... 高韩钰, 魏静, 王跃思(1987)

基于样方法的天津市春季道路扬尘PM<sub>2.5</sub>中水溶性离子特征及来源解析 ..... 赵静琦, 姬亚芹, 张蕾, 王士宝, 李越洋(1994)

广州秋季HONO污染特征及夜间来源分析 ..... 田智林, 杨闻达, 虞小芳, 张曼曼, 张贺伟, 程丁, 程鹏, 王伯光(2000)

基于硫氧同位素研究南京北郊夏季大气中硫酸盐来源及氧化途径 ..... 韩珣, 任杰, 陈善莉, 王瑾瑾, 沈潇雨, 魏英, 郭照冰, 朱彬(2010)

区县尺度机动车高分辨率排放清单建立方法及应用 ..... 樊守彬, 郭津津, 李雪峰(2015)

典型工业生物质锅炉多环芳烃排放特征 ..... 林玉君, 白莉, 王焕香, 肖文, 刘军, 向运荣, 张春林(2023)

多时间尺度HSPF模型参数不确定性研究 ..... 庞树江, 王晓燕, 马文静(2030)

氮氧同位素联合稳定同位素模型解析水源地氮源 ..... 金赞芳, 张文辽, 郑奇, 朱晨阳, 李非里(2039)

白洋淀水体挥发性有机物污染特征与风险评价 ..... 高秋生, 赵永辉, 焦立新, 田自强, 杨柳, 杨苏文, 崔志丹, 郝子峰(2048)

太湖颗粒态有机质的荧光特征及环境指示意义 ..... 吕伟伟, 姚昕, 张保华, 刘延龙, 李元鹏(2056)

长江口滩涂表层沉积物中微塑料的分布及沉降特点 ..... 朱晓桐, 衣俊, 强丽媛, 程金平(2067)

桂林五里峡水库丰水期溶解有机碳特征 ..... 卢晓漩, 李强, 靳振江, 彭文杰, 房君佳, 黄炳惠, 宋昂(2075)

青藏高原多年冻土区典型植被下河流溶解性有机碳的生物可利用性 ..... 马小亮, 刘桂民, 吴晓东, 徐海燕, 叶琳琳, 张晓兰, 白炜(2086)

城郊与城镇河流中溶解性有机质与重金属的相关性 ..... 梁梦琦, 邵美玲, 曹昌丽, 纵亚男, 唐剑锋(2095)

溶解性有机质在岩溶水系统中的迁移转化及影响因素分析 ..... 张连凯, 刘朋雨, 覃小群, 单晓静, 刘文, 赵振华, 姚昕, 邵明玉(2104)

三峡库区澎溪河回水区溶解态金属离子来源和时空分布特征分析 ..... 赵晓松, 蔚建军, 付莉, 姜伟, 周川, 李波, Douglas Haffner, Christopher Weisener, 张磊(2117)

澜沧江流域沉积物间隙水-上覆水营养盐特征与交换通量分析 ..... 望雪, 程豹, 杨正健, 刘德富, 徐雅倩(2126)

蓄水期三峡水库香溪河沉积物-水系统营养盐分布特征 ..... 苏青青, 刘德富, 纪道斌, 宋林旭, 崔玉洁, 李欣, 陈秀秀, 刘心愿(2135)

两种沉水植物对上覆水和间隙水中各形态磷的影响 ..... 杨文斌, 高顺峰, 万锐, 孙祥, 王赢(2145)

于桥水库沉积物-水界面氮磷剖面特征及交换通量 ..... 文帅龙, 龚琬晴, 吴涛, 郑小兰, 江雪, 李鑫, 钟继承(2154)

岷江干流表层沉积物中磷形态空间分布特征 ..... 杨耿, 秦延文, 韩超南, 马迎群, 刘志超, 杨晨晨(2165)

农业排水沟渠硝态氮吸收动力学特征及相关性分析 ..... 李如忠, 殷齐贺, 高苏蒂, 陈广州(2174)

不同合成条件对ZnAl-LDHs覆膜改性生物陶粒除磷效果的影响 ..... 向洋, 张翔凌, 雷雨, 方晨佳, 袁野, 姜应和, 徐舟影(2184)

真空紫外/过二硫酸盐去除饮用水中嗅味物质 ..... 孙昕, 史路肖, 张燧, 杨煜, 唐晓(2195)

石墨烯负载铁锰氧化物活化过一硫酸盐降解金橙G ..... 夏文君, 刘锋, 郝尚斌, 黄天寅, 王忠明, 陈家斌(2202)

载钼或铈生物炭吸附水体中As(V)的作用机制 ..... 李锦, 祖艳群, 李刚, 孙国新(2211)

DOM不同相对分子质量组分在无机矿物上的吸附及其对卡马西平吸附的影响实验 ..... 梁雨, 何江涛, 张思(2219)

污水处理厂中有机磷阻燃剂的污染特征 ..... 孙佳薇, 丁炜楠, 张占恩, 王俊霞, 顾海东(2230)

低温污水前置强化混凝 ..... 刘海龙, 任宇霞, 张忠民(2239)

印染废水反渗透脱盐系统运行性能及膜污堵特性 ..... 谭玉琚, 张泽田, 吴乾元, 姚颖, 胡洪营, 丘培文(2249)

生物膜CANON反应器性能的优化:从FBRR到MBBR ..... 付昆明, 李慧, 周厚田, 仇付国(2256)

两次污泥颗粒化过程中微生物群落的动态变化 ..... 高景峰, 张丽芳, 张树军, 高永青, 王时杰, 樊晓燕, 潘凯玲(2265)

铝、铁、钛3种金属盐基混凝剂调理污泥的性能比较 ..... 王晓萌, 王鑫, 杨明辉, 张淑娟(2274)

热、热碱处理对污泥溶胞和溶解性有机物的影响 ..... 代勤, 张文哲, 于潘芬, 易皓, 刘俊新, 肖本益(2283)

曝气时间对比亚硝化颗粒污泥形成的影响 ..... 李冬, 郭跃洲, 曹美忠, 劳会妹, 李帅, 张杰(2289)

中国城市污泥中汞含量的时空分布特征 ..... 王宁, 刘清伟, 职音, 程柳, 麻冰涓, 毛宇翔(2296)

夏季太湖草/藻型湖区N<sub>2</sub>O生成与迁移特征及其影响因素 ..... 郑小兰, 文帅龙, 李鑫, 龚琬晴, 刘德鸿, 钟继承(2306)

太湖藻型湖区CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>排放特征及其影响因素分析 ..... 贾磊, 蒲旖旎, 杨诗俊, 苏荣明珠, 秦志昊, 张弥(2316)

内蒙古典型草原季节性冻土区土壤剖面CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O特征 ..... 李晋波, 姚楠, 李秀, 赵英, 张阿凤, 兰志龙, 范庭(2330)

黄土高原成龄苹果园生态系统CO<sub>2</sub>通量特征 ..... 杨剑锋, 杨小妮, 王俊花, 段宇敏, 祁香宁, 张林森(2339)

生物炭施用对紫色水稻土温室气体排放的影响 ..... 祁乐, 高明, 郭晓敏, 牛海东, 李婷, 孙涛, 曹群玲, 汤稼豪(2351)

不同施肥处理对东北黑土温室气体排放的短期影响 ..... 李平, 郎漫, 李森, 魏玮, 李凯凯(2360)

ITS高通量测序研究黄海微型真核浮游生物多样性及分布特征 ..... 张莉, 林佳宁, 张远, 王书平, 张晓娇(2368)

不同排海方式城市尾水微生物扩散规律 ..... 郎秀璐, 宋志文, 徐爱玲, 牛成洁, 郭明月(2380)

旅游活动对岩溶洞穴地下水中细菌群落的影响:以重庆丰都两个洞穴为例 ..... 吕现福, 贺秋芳, 王凤康, 赵瑞一, 张弘(2389)

不同沼灌年限稻田土壤微生物群落分析 ..... 朱金山, 张慧, 马连杰, 廖敦秀, 杨星勇, 王龙昌, 王定勇(2400)

生物炭对褐土理化特性及真菌群落结构的影响 ..... 阎海涛, 殷金玉, 丁松爽, 任天宝, 许家来, 宗浩, 高强, 刘国顺(2412)

铅锌尾矿砂污染下的岩溶土壤微生物群落碳源代谢特征 ..... 房君佳, 李强, 刘畅, 靳振江, 梁月明, 黄炳惠, 卢晓漩, 彭文杰(2420)

湖库沉积物好氧反硝化菌群脱氮特性及种群结构 ..... 康鹏亮, 张海涵, 黄廷林, 陈胜男, 商潘路, 冯稷, 贾克宇(2431)

反硝化菌群的氮代谢与反硝化偶联机制 ..... 张泽宇, 王明霞, 程永毅, 周志峰(2438)

广西西江流域土壤铅空间分布与污染评价 ..... 张云霞, 宋波, 陈同斌, 伏凤艳, 黄飞, 庞瑞, 潘惠妹(2446)

三峡库区消落带农业活动对土壤汞变化的影响 ..... 陈秋禹, 孙松, 尹德良, 王永敏, 张成, 王定勇(2456)

水稻不同生长时期不同组织中抗肿内生菌的筛选与鉴定 ..... 王伯勋, 王学东, 段桂兰(2464)

汞在酸性紫色水稻土的转化与水稻汞富集特征 ..... 李雨琴, 孙涛, 邓晗, 张成, 王永敏, 王定勇(2472)

华北平原不同生产模式设施蔬菜生命周期环境影响评价 ..... 徐强, 胡克林, 李季, 韩卉, 杨合法(2480)

基于细菌毒性测试与小鼠肺基因转录分析的PM<sub>2.5</sub>健康效应 ..... 宋鹏程, 陆书玉, 魏永杰, 陈德倩, 罗丽娟(2489)

中国PM<sub>2.5</sub>污染空间分布的社会经济影响因素分析 ..... 段杰雄, 翟卫欣, 程承旗, 陈波(2498)

《环境科学》征订启事(2094) 《环境科学》征稿简则(2164) 信息(2183, 2411, 2445)

# 区县尺度机动车高分辨率排放清单建立方法及应用

樊守彬<sup>1,2</sup>, 郭津津<sup>1</sup>, 李雪峰<sup>1,2\*</sup>

(1. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037; 2. 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037)

**摘要:** 提出了一种基于现场调查和卫片解译建立区县尺度机动车行驶里程(VKT)数据库和尾气排放高分辨率排放清单的方法, 以北京市通州区为例进行了应用和排放特征分析. 分别使用登记注册车辆信息(保有量方法)和实际车流量信息(车流量方法)计算出 VKT 和对应的各污染物排放量. 结果表明, 基于保有量方法计算得到的行驶里程比基于车流量方法的结果低约 37%, 应用实际车流量的计算方法与实际状况更接近. 基于保有量的方法低估了小型载客汽车、大型载客汽车和中型载货汽车的行驶里程, 高估了轻型载货汽车、重型载货汽车、低速载货汽车和摩托车的行驶里程. 基于保有量的计算方法低估了小客车的尾气污染物排放量, 低估比例约为 51%. 对于大客车、轻型载货汽车和中型载货汽车, 2 种方法计算的排放量差别较小. 基于保有量的计算方法高估了重型载货汽车、低速载货汽车和摩托车的排放量的尾气排放量, 高估比例分别约为 41%、30%、30%.

**关键词:** 区县尺度; 机动车尾气; 排放清单; 车流量; 高分辨率

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)05-2015-08 DOI: 10.13227/j.hjkk.201709083

## Methods for Determining and Applications of High-Resolution Vehicle Emission Inventory at County Scale

FAN Shou-bin<sup>1,2</sup>, GUO Jin-jin<sup>1</sup>, LI Xue-feng<sup>1,2\*</sup>

(1. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. National Engineering Research Center of Urban Environmental Pollution Control, Beijing 100037, China)

**Abstract:** This study proposes a method for high-resolution vehicle emission inventories at county scale based on field investigations and Google Earth satellite images, using the Tongzhou district of Beijing as an example for data analysis. VKT and the corresponding emissions of each pollutant were calculated using the number of registered vehicles and the real-time traffic volumes, respectively. The results showed that the mileage calculated based on the method using registered vehicles is about 37% less than that based on real-time traffic volumes, with the latter method providing data closer to the actual situation. The mileage for small passenger cars, large passenger vehicles, and medium-duty trucks were underestimated, and that for light trucks, heavy trucks, low-speed trucks were overestimated based on the registered vehicle method. Emissions from small passenger cars were also underestimated by about 51%, using the registered vehicle method. For emissions of large passenger vehicles, light trucks, and medium-duty trucks, there was less difference between the two methods. Based on the registered vehicle method, emissions of heavy trucks, low-speed trucks, and motorcycles were overestimated by about 41%, 30%, and 30%, respectively.

**Key words:** county scale; motor vehicle exhaust; emission inventory; traffic flow; high resolution

北京市 2015 年机动车保有量突破 560 万辆<sup>[1]</sup>. 机动车尾气中排放的 NO<sub>x</sub> 和 VOCs 是细颗粒物和臭氧形成的重要前体物. 伴随机动车保有量的不断增加, 国内外研究人员目前对机动车污染现状的研究, 多为机动车尾气排放变化趋势研究及预测<sup>[2,3]</sup>、尾气排放因子的研究<sup>[4-8]</sup>、排放清单建立及其时空分布特征研究<sup>[9-13]</sup>、模型应用<sup>[14-17]</sup>、新能源汽车污染预测<sup>[18]</sup>等方面. 近几年, 一些研究人员结合国内重大活动, 对采取临时管理措施下的机动车减排进行了模拟、分析和评估<sup>[19-23]</sup>.

鉴于机动车排放作为重要的污染物排放源, 为应对污染物排放模拟、预测等清单应用工作和环境管理工作精细化的要求, 建立高分辨率的机动车排

放清单显得日趋重要<sup>[24, 25]</sup>.

基于实际道路车流信息建立机动车排放清单, 便于分析污染物排放的时间和空间分布特征, 更有针对性的提出机动车减排的管理对策. 李笑语等<sup>[26]</sup>基于实时交通数据分析了南京市主次干道机动车排放特征, 文献<sup>[27]</sup>应用基于实时道路信息下的机动车行驶英里数(VMT)建立了美国辛辛那提市区重型载货汽车的排放清单, 刘登国等<sup>[28]</sup>以上海内环线高架道路和地面主干道路的交通信息为

收稿日期: 2017-09-10; 修订日期: 2017-10-24

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC23B02); 北京市优秀人才培养项目(2015000021733G173)

作者简介: 樊守彬(1981~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为大气污染控制, E-mail: fanshoubin@163.com

\* 通信作者, E-mail: lixuefeng@cee.cn

基础开展了上海市机动车  $\text{NO}_x$  排放研究, 樊守彬等<sup>[29]</sup> 基于实际道路交通流信息研究北京市机动车排放特征, 郑君瑜等<sup>[30]</sup> 基于交通流量和路网建立了珠三角地区的机动车污染物空间分配清单。

目前建立高分辨率机动车尾气排放清单多基于城区道路<sup>[31]</sup>。区县的省道、县道等道路承担的运输任务的不同, 其机动车类型及污染排放特征与城区道路存在差异<sup>[32]</sup>, 有建立高分辨率清单的现实需求。由于缺少区县尺度实时交通信息数据, 按照传统的基于实际道路车流量的方法难以建立高分辨率排放清单。

本研究以北京市通州区为例, 分别基于注册登记机动车保有量和基于实际道路车流量 2 种方法建立了排放清单数据, 分析了 2 种方法的优缺点, 提出了区县尺度道路机动车车流量数据获取方法, 以期为区县尺度高分辨率机动车尾气排放清单建立提供了一种参考方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 基于保有量的 VKT 计算

统计获得研究区域内车辆管理部门统计登记注册的分车型机动车保有量, 通过调研获得不同车型机动车的年(日)均行驶里程, 应用公式(1)计算机动车行驶里程(VKT)。

$$\text{VKT(R)} = \text{VKT(D)} \times \text{VN} \times 365 \quad (1)$$

式中, VKT(R) 为登记注册机动车年总行驶里程, km; VKT(D) 为单辆机动车日均行驶里程, km; VN 为机动车保有量。公式也可用于计算分车型的机动车行驶里程。

### 1.2 基于车流量的 VKT 计算

根据实际道路车流量, 计算了研究区域内机动车行驶里程数据, 计算方法为公式(2)。

$$\text{VKT(V)} = 365 \times \sum_{i=1}^n \text{Vt}_i \times \text{lus}_i \quad (2)$$

式中, VKT(V) 为基于实际道路车流量的区域内机动车年总行驶里程, km;  $\text{Vt}_i$  为日车流量, 辆·d<sup>-1</sup>; lus 为道路长度, km;  $i$  为路段编号,  $n$  为区域内总路段数。公式同样也可用于计算分车型的机动车行驶里程。

通过收集公路的交通流量调查数据和现场调研数据, 获得共计 46 条城市主干道和次干道以及公路中的国道、省道和县道的实际车流量。但对于一些支路、胡同、乡道等无法获得观测数据的道路, 本研究应用基于 Google Earth 卫星影片资料估算车流量, 估算方法见公式(3):

$$\frac{V_i}{v_i} = \frac{V_j}{v_j} \quad (3)$$

式中,  $V_i$  为第  $i$  条目标道路上的实际车流量, 辆·d<sup>-1</sup>;  $v_i$  为第  $i$  条目标道路在卫星图片单位长度的车辆数, 辆·km<sup>-1</sup>;  $V_j$  为与目标道路同类型的参考道路的实际车流量, 辆·d<sup>-1</sup>;  $v_j$  为与目标道路同类型的参考道路在卫星图片上单位长度的车辆数, 辆·km<sup>-1</sup>。

### 1.3 排放量计算方法

道路机动车排放量( $E$ ) 主要包括尾气排放( $E_1$ ) 和 HC 蒸发排放( $E_2$ ) 两部分。其计算公式如下:

$$E = E_1 + E_2 \quad (4)$$

道路机动车尾气排放量计算公式如下:

$$E_1 = \sum_i P_i \times \text{EF}_i \times \text{VKT}_i \times 10^{-6} \quad (5)$$

式中,  $E_1$  为第三级机动车排放源  $i$  对应的 CO、HC、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  的年排放量, t;  $\text{EF}_i$  为  $i$  类型机动车行驶单位距离尾气所排放的污染物的量, g·km<sup>-1</sup>;  $P_i$  为所在地区  $i$  类型机动车的保有量, 辆;  $\text{VKT}_i$  为  $i$  类型机动车的年均行驶里程, km·辆<sup>-1</sup>。

机动车行驶及驻车期间蒸发排放的碳氢化合物(HC)按照下式进行计算:

$$E_2 = \left( \text{EF}_1 \times \frac{\text{VKT}}{V} + \text{EF}_2 \times 365 \right) \times P \times 10^{-6} \quad (6)$$

式中,  $E_2$  为每年行驶及驻车期间的 HC 蒸发排放量, t;  $\text{EF}_1$  为机动车行驶过程中的蒸发排放系数, g·h<sup>-1</sup>; VKT 为当地车辆的单车年均行驶里程, km;  $V$  为机动车运行的平均行驶速度, km·h<sup>-1</sup>;  $\text{EF}_2$  为驻车期间的综合排放系数, 主要包括热浸、昼间和渗透过程中排放系数, 单位为 g·d<sup>-1</sup>;  $P$  为当地以汽油为燃料的机动车保有量, 辆。

本研究中排放因子数据来源于文献[33]。研究区域内国道上小型客车、大中型客车、轻型货车和大中型货车的平均速度分别为 70、30、60 和 35 km·h<sup>-1</sup>; 省道上小型客车、大中型客车、轻型货车和大中型货车的平均速度分别为 50、30、40 和 30 km·h<sup>-1</sup>; 县道上小型客车、大中型客车、轻型货车和大中型货车的平均速度分别为 50、30、30 和 25 km·h<sup>-1</sup>[34]。

## 2 结果与讨论

### 2.1 基于保有量的排放量计算

根据车辆登记注册数据, 统计了研究区域内

机动车保有量为 28.7 万辆，按使用用途分，载客汽车占 78.8%，载货汽车占 12.9%，低速载货汽车占 0.4%，摩托车占 7.9%。按排放标准分国 I 前、国 I、国 II、国 III、国 IV 和国 V 机动车分别占 0.2%、2.6%、8.9%、17.1%、42.8% 和 28.4%。

对于单车的年均行驶里程数据，本研究采用的数据为微型和小型载客汽车为 12 584 km·a<sup>-1</sup><sup>[35]</sup>，

出租车、中型载客汽车、大型载客汽车、公交车、轻型载货汽车、中型载货汽车、重型载货汽车、低速载货汽车和摩托车分别为 130 000、31 300、58 000、60 000、30 000、35 000、75 000、30 000 和 6 000 km·a<sup>-1</sup><sup>[33]</sup>。

根据研究区域内机动车保有量、单车车辆行驶里程和排放因子等基础数据，计算了不同车型机动车的行驶里程和污染物排放量，结果见表 1。

表 1 基于注册车辆的机动车行驶里程及排放量/t·a<sup>-1</sup>

Table 1 VKT and emissions based on registered vehicles/t·a<sup>-1</sup>

车辆类型	保有量	行驶里程 /km·a <sup>-1</sup>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	NH <sub>3</sub>	HC 行驶蒸发量	HC 驻车蒸发量
微型载客汽车	1 572	19 782 048	51.5	6.1	3.3	0.2	0.2	0.5	7.9	3.7
小型载客汽车	217 064	2 731 533 376	3179.5	408.3	181.9	14.1	15.1	70.7	1 083.1	511.6
出租车	2 175	261 000 000	814.1	100.6	33.9	1.0	1.0	6.4	98.3	4.9
中型载客汽车	4 242	132 774 600	1 639.6	186.6	230.7	8.7	9.6	2.9	42.5	8.1
大型载客汽车	1 115	64 670 000	784.5	55.3	696.7	31.1	34.6	1.2	4.5	0.5
公交车	309	18 540 000	72.4	12.2	140.4	2.4	2.7	0.2	0.0	0.0
轻型载货汽车	24 191	725 730 000	2 030.2	218.1	1 105.7	30.4	33.8	11.6	157.5	31.3
中型载货汽车	5 447	190 645 000	238.5	24.5	988.0	26.3	29.2	0.8	0.5	0.1
重型载货汽车	7 368	552 600 000	1 347.0	112.5	4 452.9	129.8	144.2	9.4	0.0	0.0
低速载货汽车	1 143	34 290 000	107.0	35.8	148.8	4.8	5.1	0.1	0.0	0.0
摩托车	22 781	136 686 000	470.5	94.7	19.1	1.2	1.3	1.0	54.5	54.0
合计	287 407	4 868 251 024	10 734.7	1 254.6	8 001.4	250.2	276.8	104.7	1 448.8	614.1

2.2 基于车流量的排放量计算

2.2.1 实际道路车流量特征

本研究通过路政管理部门和现场录像共统计 46 条参考道路的车流量，通过卫星影片及公式(3)共估算 113 条目标道路的车流量。对 24 条道路的实际车流量与估算的车流量进行相关分析，结果见图 1。从中可以看出，相关系数 R<sup>2</sup> 为 0.89，说明实际车流量与估算车流量相关性很高，应用 Google Earth 卫星影片估算道路车流量比较接近实际道路车流量。应用平均绝对百分误差(MAPE)分析实际车流量和估算车流量之间差异的程度。通过计算，平均绝对百分误差为 19.18，这表明估算车流量相对于实际车流量具有平均 19.18% 的误差，因此基于 Google Earth 卫星影片估算道路车流量精度较高，方法简单可行。

以 ArcGIS 软件为平台，建立了通州区路网信息和车流数据，统计了分辨率为 1 km × 1 km 的道路交通车辆的网格行驶里程(行驶里程 = 车流量 × 道路长度)，见图 2。行驶里程高的地区集中在县城内和马驹桥镇西部，北部相对南部行驶里程高。此外，高速路、京塘线和潮马路上车辆行驶里程高，尤其是在与其它道路交叉的路网稠密、车流量大的

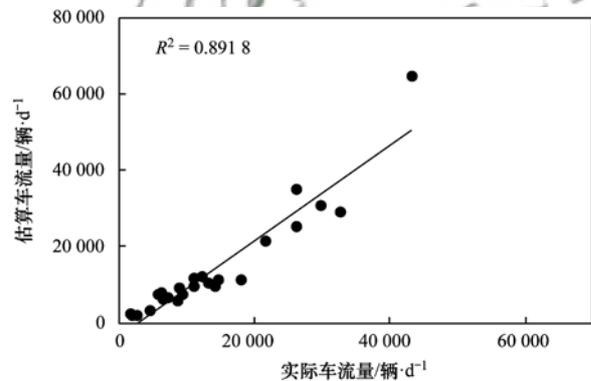


图 1 实际车流数据与估算车流数据的比较

Fig. 1 Comparison of traffic volume between real-time and estimated time

路段。表 2 为不同车型行驶里程的比较。

表 2 不同车型车辆行驶里程比较/km·a<sup>-1</sup>

Table 2 Comparison of mileage for different vehicle types/km·a<sup>-1</sup>

车辆类型	实际道路车流量方法(A)	基于注册车辆方法(B)	A/B
小型客车	6 114 521 245	3 012 315 424	2.03
大中型客车	259 321 550	215 984 600	1.20
小型货车	641 527 285	725 730 000	0.88
中型货车	230 542 030	190 645 000	1.21
重型货车	324 785 030	552 600 000	0.59
摩托车	95 385 085	136 686 000	0.70
低速载货汽车	23 823 560	34 290 000	0.69
合计	7 690 005 785	4 868 251 024	1.58

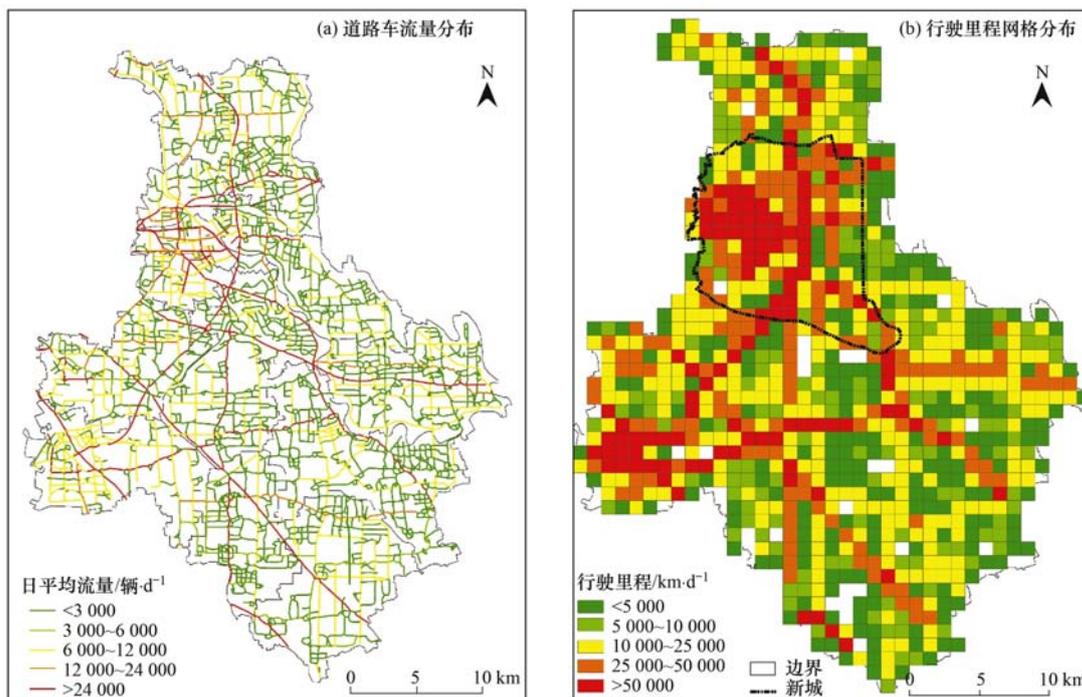


图 2 研究区域的道路车流量及行驶里程分布

Fig. 2 Distribution of traffic volume and mileage in the survey region

图 3 为通州区典型道路车型的构成比例. 从中可以看出, 小客车在各类型道路上所占的比重最高, 但货车在高速路、国道、省道和县道上比重较

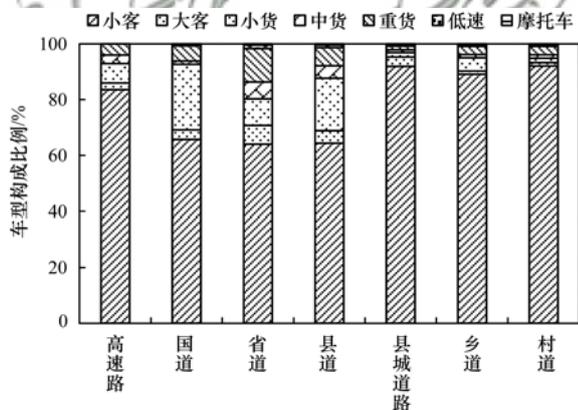


图 3 通州区不同类型道路上的车型构成

Fig. 3 Vehicle composition on different types of roads in the Tongzhou district

大, 在县城道路和乡村道上比重小, 县城道路和乡村道路上客车所占比重较大.

### 2.2.2 不同车型的排放特征

根据通州区路网数据、实际交通流信息和机动车排放因子等基础数据, 应用 ArcGIS 软件, 计算通州区全路网道路上机动车尾气排放量, 然后分车型统计污染物排放的分担率, 结果见表 3. 从中可以看出, 不同车型对污染物的贡献水平具有很大差异. 对于 CO 和 HC, 小客车贡献率最大, 分别为 56.7% 和 81.9%, 货车贡献率很小. 对于 NO<sub>x</sub> 和 PM, 小客车贡献率小, 大客车、中大货车及特大货车贡献率大, 这主要是因为这些车型对 NO<sub>x</sub> 和 PM 的排放因子较高.

### 2.2.3 不同道路类型的排放特征

对通州区不同道路类型的机动车排放量进行统

表 3 通州区各车型污染物排放的分担率/%

Table 3 Proportion of each vehicle type on pollutant emission in Tongzhou District/%

车辆类型	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	NH <sub>3</sub>
小客车	56.7	81.9	6.7	14.3	13.5	87.5
大客车	20.7	6.7	19.3	22.9	23.1	2.8
轻型载货汽车	12.4	6.5	14.7	12.1	12.3	5.7
中型载货汽车	2.0	0.6	18.0	14.4	14.5	0.5
重型载货汽车	5.5	1.2	39.5	34.5	34.8	3.1
低速载货汽车	0.5	0.5	1.6	1.5	1.5	0.1
摩托车	2.3	2.6	0.2	0.4	0.4	0.4

计和分析,见表 4. 对于各种污染物,由于高速公路和国道车流量大,各车型均占一定比例,各种污染物排放量均较高. 村道车流量小,所以各种污染物排放量最低;由于通州区乡道最多,且乡道上小客车比重较大,所以 CO 和 HC 排放量仅次于国道. 县城道路和省道上 CO 和 HC 的排放量相差不大. 由于县道和省道上货车所占比重较大,所以 NO<sub>x</sub> 和

PM 排放量仅低于国道. 乡道上货车比重高于县城道路,且乡道总长度大,所以乡道上 NO<sub>x</sub> 和 PM 排放量高于县城道路.

2.2.4 污染物空间分布特征

充分应用建立的路网、交通流量数据,结合不同车型的排放因子,在 ArcGIS 中建立 1 km × 1 km 网格,统计每个网格内的污染物排放量,建立通州区自下而上的机动车尾气网格排放清单. 图 4 为污染物 CO、NO<sub>x</sub>、HC、NH<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 排放的空间分布. 从中可以看出,高排放量主要分布在县城内和马驹桥镇西部,主要原因是路网密集,车流量较大. 北部地区相对南部地区排放量高,原因是北部地区车流较南部地区大. 此外,高速路、京塘线和潮马路上排放量高,在这些道路与其它道路交叉的路网密集路段,排放量明显较高.

表 4 不同类型道路污染物排放量比例/%

道路类型	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	NH <sub>3</sub>
高速路	22.4	24.0	22.2	23.2	23.2	24.3
国道	7.0	7.2	5.3	5.0	5.0	6.8
省道	15.2	12.2	23.6	22.7	22.7	12.0
县道	22.1	19.7	26.8	26.8	26.8	18.5
乡道	17.3	20.5	12.0	13.0	13.0	21.2
村道	5.1	4.9	2.9	3.1	3.1	5.4
县城道路	10.9	11.5	7.2	6.2	6.2	11.8

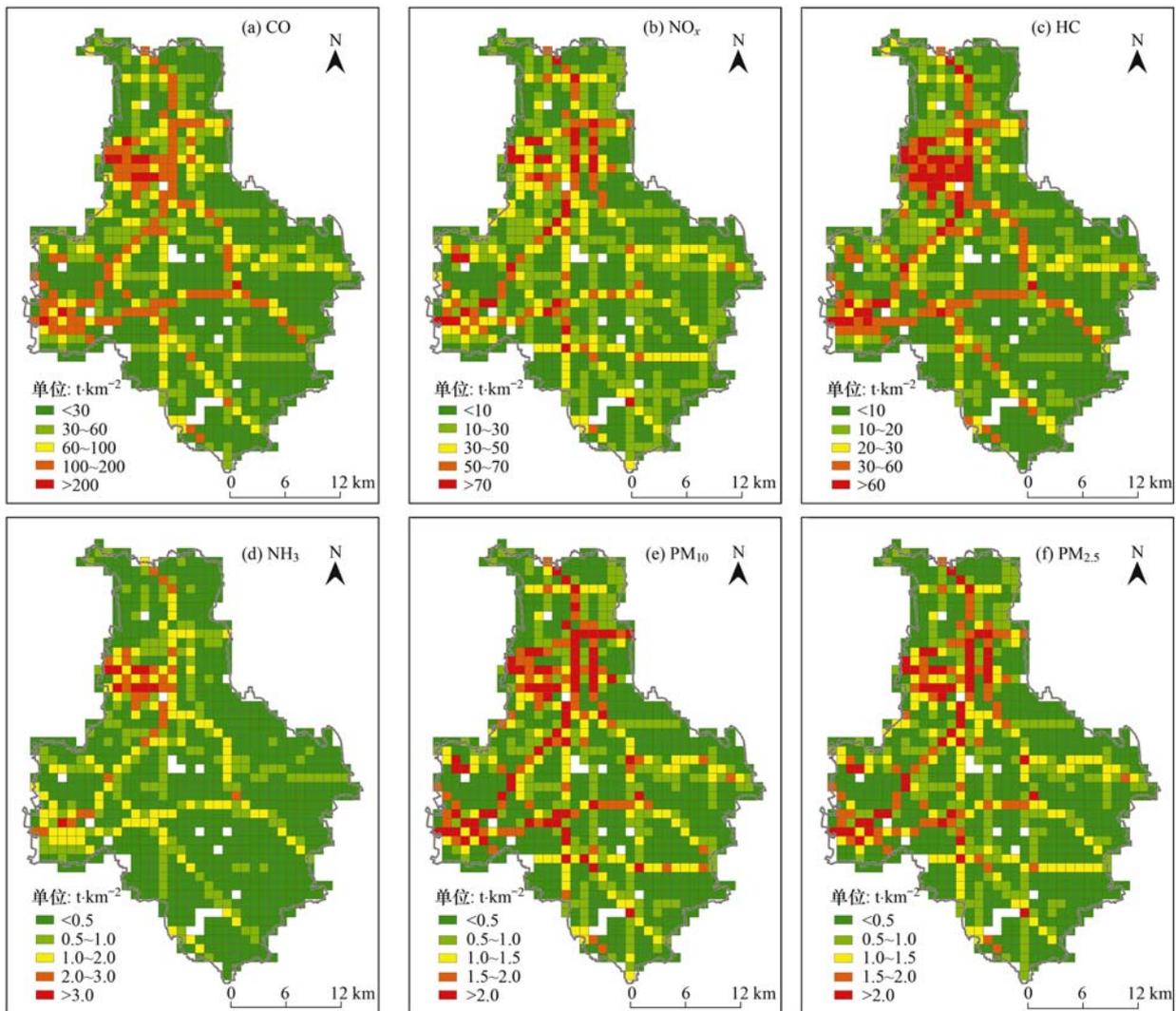


图 4 污染物排放空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of pollutant emissions

### 2.3 2种方法比较

本研究应用基于登记注册机动车保有量和基于实际道路车流量这2种方法计算了通州区机动车行驶里程和尾气排放量。提出了根据现场观测数据和基于卫片数据估算的车流量数据,计算研究区域内机动车行驶里程的方法。

基于登记注册机动车保有量的方法计算得到行驶里程数为 $4\ 868\ 251\ 024\ \text{km}\cdot\text{a}^{-1}$ ,基于实际道路车流量的方法计算的行驶里程数据为 $7\ 690\ 005\ 785\ \text{km}\cdot\text{a}^{-1}$ ,是前者的1.58倍。可以看出,基于登记注册机动车保有量的方法低估了行驶里程,这主要是因为未登记注册在研究区域内的机动车也会在区域内行驶,登记注册在研究区域的机动车也会在区域外行驶。例如等级注册在北京市其他区县的机动车会在通州区行驶,登记注册在其他省市的机动车也可以在通州区行驶。

通过现场调查无法识别注册于北京市其他区县的车辆在通州区的行驶情况,本研究调查了注册于其他省市的机动车的行驶情况。对不同类型的典型道路进行现场调研,调查时间为连续24 h,将不同车型的车流分为本地车流和外地车流,分别计算不同道路外地车的构成比例,结果见表5。通过调查发现,实际道路上外地车主要是小客车和大货车(包括中型货车),其他车型外地车较少。此外,不同类型道路上外地车构成比例也不相同。国道、省道和县道上外地车构成比例高于城区道路。对于城区道路,外地小客车比例比外地大货车比例高。对

于国道、省道和县道,外地大货车比例较高,个别道路外地大货车占50%左右。对于乡镇村道,外地车构成情况差别较大。

表5 通州区外地车构成比例统计/%

Table 5 Composition of outgoing vehicles in Tongzhou District/%

道路名称	道路类型	外地车构成比例	外地小客车比例	外地大货车比例
新华东街	城区道路	13.0	14.8	0.0
新华北街	城区道路	23.6	25.6	0.0
吉祥路	城区道路	14.3	14.3	0.0
京塘路	国道	33.4	36.1	36.4
通顺路	省道	21.2	22.3	18.2
宋梁路	省道	44.6	41.9	60.0
张采路	省道	28.2	28.6	50.0
通马路	省道	33.2	37.9	33.3
京榆旧线	县道	34.2	35.9	0.0
徐宋路	县道	26.2	25.8	50.0
张台路	县道	29.0	34.9	32.1
陈列馆路	乡镇村道	20.7	23.4	16.7
四支路	乡镇村道	27.3	30.4	0.0

### 2.4 2种方法排放量比较

统计了2种方法计算的不同车型尾气排放量见表6,从中可以看出,基于保有量的计算方法低估了小客车的尾气排放量,低估比例为51%,对于大客车、轻型载货汽车和中型载货汽车,2种方法计算的排放量差别较小,基于保有量的计算方法高估了重型载货汽车的尾气排放量,高估比例为41%,保有量的计算方法高估了低速载货汽车和摩托车的排放量,高估比例约为30%。

表6 2种方法计算的排放量比较/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

Table 6 Comparison of different emissions between the two methods/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

车辆类型	计算方法	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	NH <sub>3</sub>
小客车	保有量	4 045.1	2 224.4	219.1	15.6	16.3	77.6
	车流量	8 210.9	4 515.1	444.8	31.6	33.0	157.5
大客车	保有量	2 496.5	309.7	1 067.8	42.2	46.9	4.3
	车流量	2 997.4	371.9	1 282.1	50.7	56.3	5.1
轻型载货汽车	保有量	2 030.2	406.8	1 105.7	30.4	33.8	11.6
	车流量	1 794.7	359.6	977.4	26.8	29.9	10.3
中型载货汽车	保有量	238.5	25.2	988.0	26.3	29.2	0.8
	车流量	288.4	30.5	1 194.7	31.8	35.3	1.0
重型载货汽车	保有量	1 347.0	112.5	4 452.9	129.8	144.2	9.4
	车流量	791.7	66.1	2 617.2	76.3	84.7	5.5
低速载货汽车	保有量	107.0	35.8	148.8	4.8	5.1	0.1
	车流量	74.3	24.9	103.4	3.3	3.6	0.1
摩托车	保有量	470.5	203.2	19.1	1.2	1.3	1.0
	车流量	328.3	141.8	13.3	0.8	0.9	0.7

### 3 结论

(1) 本研究应用现场调查和卫片解译相结合的方法建立了区县尺度机动车行驶里程和尾气排放高分辨率排放清单, 以北京市通州区为例进行了数据分析. 研究区域内基于实际道路车流量的机动车年行驶里程为  $7.69 \times 10^9 \text{ km} \cdot \text{a}^{-1}$ , 基于保有量计算年行驶里程为  $4.87 \times 10^9 \text{ km} \cdot \text{a}^{-1}$ , 基于保有量的方法低约 37%.

(2) 基于保有量的方法低估了小型载客汽车、大型载客汽车和中型载货汽车的行驶里程, 高估了轻型载货汽车、重型载货汽车、低速载货汽车和摩托车的行驶里程. 这主要与机动车的移动属性有关, 反映了注册地与实际使用地不一致的情况, 注册于其他区域的小型载客汽车在在研究区域内使用, 注册于研究区域内的重型载货汽车在其他区域使用较多.

(3) 基于保有量的计算方法低估了小客车的尾气排放量, 低估比例为 51%, 对于大客车、轻型载货汽车和中型载货汽车, 2 种方法计算的排放量差别较小, 基于保有量的计算方法高估了重型载货汽车的尾气排放量, 高估比例为 41%, 保有量的计算方法高估了低速载货汽车和摩托车的排放量, 高估比例约为 30%.

(4) 提出了一种估算道路车流量并建立机动车尾气排放清单的方法, 应用实际车流量的计算方法与实际状况更接近, 为缺乏车流量数据的地区高分辨率机动车尾气排放清单建立提供了一种技术方法.

#### 参考文献:

- [1] 北京市统计局. 北京统计年鉴 2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [2] Wu X M, Wu Y, Zhang S J, *et al.* Assessment of vehicle emission programs in China during 1998-2013: achievement, challenges and implications[J]. *Environmental Pollution*, 2016, **214**: 556-567.
- [3] 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.
- [4] Cai T Q, Zhang Y, Fang D Q, *et al.* Chinese vehicle emissions characteristic testing with small sample size: results and comparison[J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2017, **8**(1): 154-163.
- [5] Li T Z, Chen X D, Yan Z X. Comparison of fine particles emissions of light-duty gasoline vehicles from chassis dynamometer tests and on-road measurements[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **68**: 82-91.
- [6] 樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 等. 北京市机动车尾气排放因子研究[J]. *环境科学*, 2015, **36**(7): 2374-2380.
- Fan S B, Tian L D, Zhang D X, *et al.* Emission factors of vehicle exhaust in Beijing[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(7): 2374-2380.
- [7] 樊守彬, 李雪峰, 张东旭, 等. 道路交通扬尘排放因子测量系统研发及应用[J]. *环境科学学报*, 2016, **36**(10): 3569-3575.
- Fan S B, Li X F, Zhang D X, *et al.* Development and application of an emission factor measurement system for road fugitive dust [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, **36**(10): 3569-3575.
- [8] 田灵娣, 樊守彬, 郭津津, 等. 道路环境黑碳变化特征及影响因素[J]. *环境工程学报*, 2017, **11**(5): 2858-2864.
- Tian L D, Fan S B, Guo J J, *et al.* Concentration variations and influencing factors of black carbon in road environment [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2017, **11**(5): 2858-2864.
- [9] 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.
- [10] 樊守彬. 北京机动车尾气排放特征研究[J]. *环境科学与管理*, 2011, **36**(4): 28-31.
- Fan S B. Tail-pipe emission characteristics from on-road vehicles in Beijing[J]. *Environmental Science and Management*, 2011, **36**(4): 28-31.
- [11] Gong M M, Yin S S, Gu X K, *et al.* Refined 2013-based vehicle emission inventory and its spatial and temporal characteristics in Zhengzhou, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **599-600**: 1149-1159.
- [12] 张意, 吴琳, 毛洪钧, 等. 天津市机动车污染物排放清单及控制对策研究[J]. *南开大学学报(自然科学版)*, 2017, **50**(1): 90-96.
- Zhang Y, Wu L, Mao H J, *et al.* Research on vehicle emission inventory and its management strategies in Tianjin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis*, 2017, **50**(1): 90-96.
- [13] 郭津津, 樊守彬, 王军玲, 等. 北京市机动车排放的空间聚类特征研究[J]. *环境科学与技术*, 2017, **40**(1): 141-146.
- Guo J J, Fan S B, Wang J L, *et al.* Spatial distribution cluster characteristics of vehicle emissions in Beijing[J]. *Environmental Science and Technology*, 2017, **40**(1): 141-146.
- [14] 樊守彬, 张东旭, 田灵娣. AP-42 道路交通扬尘排放模型评估及其在北京市的应用[J]. *环境工程学报*, 2016, **10**(5): 2501-2506.
- Fan S B, Zhang D X, Tian L D. Assessment for AP-42 model of road dust emissions and its application in Beijing, China [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, **10**(5): 2501-2506.
- [15] 樊守彬, 田灵娣, 张东旭. 基于 COPERT 模式的北京市汽油车蒸发 VOCs 排放清单[J]. *环境工程学报*, 2016, **10**(6): 3091-3096.
- Fan S B, Tian L D, Zhang D X. Emission inventory of gasoline evaporation from vehicles in Beijing based on COPERT model [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, **10**(6): 3091-3096.

- [16] Kholod N, Evans M, Gusev E, *et al.* A methodology for calculating transport emissions in cities with limited traffic data: case study of diesel particulates and black carbon emissions in Murmansk[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **547**: 305-313.
- [17] Kota S H, Zhang H L, Chen G, *et al.* Evaluation of on-road vehicle CO and NO<sub>x</sub> National Emission Inventories using an urban-scale source-oriented air quality model[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **85**: 99-108.
- [18] 施晓清, 李笑诺, 杨建新. 低碳交通电动汽车碳减排潜力及其影响因素分析[J]. *环境科学*, 2013, **34**(1): 385-394.  
Shi X Q, Li X N, Yang J X. Research on carbon reduction potential of electric vehicles for low-carbon transportation and its influencing factors[J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(1): 385-394.
- [19] 贾佳, 郭秀锐, 程水源. APEC 期间北京市 PM<sub>2.5</sub> 特征模拟分析及污染控制措施评估[J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(8): 2337-2346.  
Jia J, Guo X R, Cheng S Y. Numerical study on the characteristics of PM<sub>2.5</sub> in Beijing and the assessment of pollution control measures during APEC [J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(8): 2337-2346.
- [20] 张东旭, 樊守彬, 林雅妮, 等. APEC 会议期间北京市交通扬尘控制效果研究[J]. *环境科学学报*, 2016, **36**(2): 684-689.  
Zhang D X, Fan S B, Lin Y N, *et al.* Evaluation of the effectiveness of road fugitive dust control measures during the APEC conference in Beijing[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, **36**(2): 684-689.
- [21] 孙改红, 樊守彬, 郭津津, 等. 基于卫星的限行对车辆密度及排放的影响研究[J]. *环境科学与技术*, 2017, **40**(6): 179-183.  
Sun G H, Fan S B, Guo J J, *et al.* The influence of traffic restriction on vehicle density and exhaust emission based on satellite images [J]. *Environmental Science and Technology*, 2017, **40**(6): 179-183.
- [22] Xue Y F, Wang Y, Li X F *et al.* Multi-dimension apportionment of clean air "parade blue" phenomenon in Beijing[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2018, **65**: 29-42.
- [23] 樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 等. APEC 会议期间北京机动车排放控制效果评估[J]. *环境科学*, 2016, **37**(1): 74-81.  
Fan S B, Tian L D, Zhang D X, *et al.* Evaluation on the effectiveness of vehicle exhaust emission control measures during the APEC conference in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(1): 74-81.
- [24] Zhou Y, Cheng S Y, Chen D S, *et al.* A new statistical approach for establishing high-resolution emission inventory of primary gaseous air pollutants[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **94**: 392-401.
- [25] 车汶蔚. 珠江三角洲高分辨率机动车污染排放清单开发及控制对策研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 刘登国, 刘娟, 黄伟民, 等. 基于交通信息的道路机动车排放 NO<sub>x</sub> 模拟研究[J]. *环境监测管理与技术*, 2016, **28**(3): 15-19.  
Liu D G, Liu J, Huang W M, *et al.* Simulation study on NO<sub>x</sub> emission from vehicles based on traffic information [J]. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2016, **28**(3): 15-19.
- [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] 郑君瑜, 车汶蔚, 王兆礼. 基于交通流量和路网的区域机动车污染物排放量空间分配方法[J]. *环境科学学报*, 2009, **29**(4): 815-821.  
Zheng J Y, Che W W, Wang Z L. Traffic flow and road network-based spatial allocation of regional mobile source emission inventories[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, **29**(4): 815-821.
- [31] 王人洁, 王莹, 张帆, 等. 中国国道和省道机动车尾气排放特征[J]. *环境科学*, 2017, **38**(9): 3553-3560.  
Wang R J, Wang K, Zhang F, *et al.* Emission characteristics of vehicles from national roads and provincial roads in China [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(9): 3553-3560.
- [32] 樊守彬, 张东旭, 田灵娣, 等. 北京市交通扬尘 PM<sub>2.5</sub> 排放清单及空间分布特征[J]. *环境科学研究*, 2016, **29**(1): 20-28.  
Fan S B, Zhang D X, Tian L D, *et al.* Emission inventory and spatial distribution of road fugitive dust PM<sub>2.5</sub> in Beijing [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, **29**(1): 20-28.
- [33] 环境保护部. 道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行) [EB/OL]. <http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201501/W020150107594587831090.pdf>.
- [34] 樊守彬, 田灵娣, 郭津津, 等. 单双号限行对郊区道路机动车尾气排放的控制效果研究[J]. *环境工程技术学报*, 2017, **7**(5): 539-545.  
Fan S B, Tian L D, Guo J J, *et al.* Effect of odd-even traffic restriction on exhaust emission of suburban highway [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2017, **7**(5): 539-545.
- [35] 北京交通发展研究院. 2016 北京市交通发展年度报告 [R]. 北京: 北京交通发展研究院, 2016. 8.

## CONTENTS

Estimation of Fine Particle (PM <sub>2.5</sub> ) Emission Inventory from Cooking: Case Study for Shanghai	WANG Hong-li, JING Sheng-ao, LOU Sheng-rong, <i>et al.</i> (1971)
Chemical Characterization, Spatial Distribution, and Source Identification of Organic Matter in PM <sub>2.5</sub> in summertime Shanghai, China	GAO Ya-qin, WANG Hong-li, JING Sheng-ao, <i>et al.</i> (1978)
Seasonal Variation and Source Analysis of Water-soluble Inorganic Salts in PM <sub>2.5</sub> in the Southern Suburbs of Beijing	GAO Han-yu, WEI Jing, WANG Yue-si (1987)
Characteristics and Source Apportionment of Water-soluble Inorganic Ions in Road Dust PM <sub>2.5</sub> During Spring in Tianjin Using the Quadrat Sampling Method	ZHAO Jing-qi, JI Ya-qin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (1994)
HONO Pollution Characteristics and Nighttime Sources During Autumn in Guangzhou, China	TIAN Zhi-lin, YANG Wen-da, YU Xiao-fang, <i>et al.</i> (2000)
Sulfur Sources and Oxidation Pathways in Summer Aerosols from Nanjing Northern Suburbs Using S and O Isotopes	HAN Xun, REN Jie, CHEN Shan-li, <i>et al.</i> (2010)
Methods for Determining and Applications of High-Resolution Vehicle Emission Inventory at County Scale	FAN Shou-bin, GUO Jin-jin, LI Xue-feng (2015)
Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Emitted from Typical Industrial Biomass Boilers	LIN Yu-jun, BAI Li, WANG Huan-xiang, <i>et al.</i> (2023)
Research of Parameter Uncertainty for the HSPF Model Under Different Temporal Scales	PANG Shu-jiang, WANG Xiao-yan, MA Wen-jing (2030)
Contribution of Nitrogen Sources in Water Sources by Combining Nitrogen and Oxygen Isotopes and SIAR	JIN Zan-fang, ZHANG Wen-liao, ZHENG Qi, <i>et al.</i> (2039)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds in Baiyangdian Lake	GAO Qiu-sheng, ZHAO Yong-hui, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2048)
Fluorescent Characteristics and Environmental Significance of Particulate Organic Matter in Lake Taihu, China	LÜ Wei-wei, YAO Xin, ZHANG Bao-hua, <i>et al.</i> (2056)
Distribution and Settlement of Microplastics in the Surface Sediment of Yangtze Estuary	ZHU Xiao-tong, YI Jun, QIANG Li-yuan, <i>et al.</i> (2067)
Water Chemistry and Characteristics of Dissolved Organic Carbon During the Wet Season in Wulixia Reservoir, SW China	LU Xiao-xuan, LI Qiang, JIN Zhen-jiang, <i>et al.</i> (2075)
Bioavailability of Dissolved Organic Carbon in Rivers for Typical Vegetation Types in the Permafrost Regions on the Qinghai-Tibet Plateau	MA Xiao-liang, LIU Gui-min, WU Xiao-dong, <i>et al.</i> (2086)
Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) and Relationship with Dissolved Heavy Metals in a Peri-urban and an Urban River	LIANG Meng-qi, SHAO Mei-ling, CAO Chang-li, <i>et al.</i> (2095)
Migration and Transformation of Dissolved Organic Matter in Karst Water Systems and an Analysis of Their Influencing Factors	ZHANG Lian-kai, LIU Peng-yu, QIN Xiao-qun, <i>et al.</i> (2104)
Source and Distribution of Dissolved Metal Ions in the Backwater Area of Pengxi River in Three Gorges Reservoir	ZHAO Xiao-song, YU Jian-jun, FU Li, <i>et al.</i> (2117)
Differences in Diffusive Fluxes of Nutrients from Sediment Between the Natural River Areas and Reservoirs in the Lancang River Basin	WANG Xue, CHENG Bao, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (2126)
Nutrient Distribution Characteristics of the Sediment-water System in the Xiangxi River During the Impoundment of TGR	SU Qing-qing, LIU De-fu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2135)
Effects of Submerged Macrophytes on Different Phosphorus Fractions in Overlying Water and Interstitial Water	YANG Wen-bin, GAO Shun-feng, WAN Rui, <i>et al.</i> (2145)
Distribution Characteristics and Fluxes of Nitrogen and Phosphorus at the Sediment-water Interface of Yuqiao Reservoir	WEN Shuai-long, GONG Wan-qing, WU Tao, <i>et al.</i> (2154)
Distribution of Phosphorus Fractions in Surface Sediments of Minjiang Mainstreams	YANG Geng, QIN Yan-wen, HAN Chao-nan, <i>et al.</i> (2165)
Nitrate Uptake Kinetics and Correlation Analysis in an Agricultural Drainage Ditch	LI Ru-zhong, YIN Qi-he, GAO Su-di, <i>et al.</i> (2174)
Influencing Factors for Phosphorus Removal by Modified Bio-ceramic Substrates Coated with ZnAl-LDHs Synthesized by Different Modification Conditions	XIANG Yang, ZHANG Xiang-ling, LEI Yu, <i>et al.</i> (2184)
Removal of Odorants in Drinking Water Using VUV/Persulfate	SUN Xin, SHI Lu-xiao, ZHANG Yi, <i>et al.</i> (2195)
Degradation of OG with Peroxymonosulfate Activated by a MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -graphene Hybrid	XIA Wen-jun, LIU Feng, HAO Shang-bin, <i>et al.</i> (2202)
Mechanism of As(V) Removal from Water by Lanthanum and Cerium Modified Biochars	LI Jin, ZU Yan-qun, LI Gang, <i>et al.</i> (2211)
Adsorption of Dissolved Organic Matter with Different Relative Molecular Masses on Inorganic Minerals and Its Influence on Carbamazepine Adsorption Behavior	LIANG Yu, HE Jiang-tao, ZHANG Si (2219)
Pollution Characteristics of Organophosphorus Flame Retardants in a Wastewater Treatment Plant	SUN Jia-wei, DING Wei-nan, ZHANG Zhan-en, <i>et al.</i> (2230)
Enhanced Coagulation as a Pretreatment for Low Temperature Wastewater	LIU Hai-long, REN Yu-xia, ZHANG Zhong-min (2239)
Operating Characteristics and Fouling Characteristics of a RO Membrane System for Desalination of Dyeing Wastewater	TAN Yu-jun, ZHANG Ze-tian, WU Qian-yuan, <i>et al.</i> (2249)
Optimization of the Nitrogen Removal Performance on the CANON Process in a Biofilm Reactor: From FBBR to MBBR	FU Kun-ming, LI Hui, ZHOU Hou-tian, <i>et al.</i> (2256)
Microbial Community Dynamics During Two Sludge Granulation Processes	GAO Jing-feng, ZHANG Li-fang, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (2265)
Sludge Conditioning Performance of Polyaluminum, Polyferric, and Titanium Xerogel Coagulants	WANG Xiao-meng, WANG Xin, YANG Ming-hui, <i>et al.</i> (2274)
Effects of Heat and Heat-alkaline Treatments on Disintegration and Dissolved Organic Matter in Sludge	DAI Qin, ZHANG Wen-zhe, YU Pan-fen, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Different Ratios of Anaerobic Time and Aeration Time on the Formation of Partial Nitrification Granules	LI Dong, GUO Yue-zhou, CAO Mei-zhong, <i>et al.</i> (2289)
Spatial and Temporal Variation of Mercury in Municipal Sewage Sludge in China	WANG Ning, LIU Qing-wei, ZHI Yin, <i>et al.</i> (2296)
Characteristics of N <sub>2</sub> O Release and Influencing Factors in Grass-type and Algae-type Zones of Taihu Lake During Summer	ZHENG Xiao-lan, WEN Shuai-long, LI Xin, <i>et al.</i> (2306)
Analysis of Greenhouse Gas Emission Characteristics and Their Influencing Factors in the Algae Zone of Lake Taihu	JIA Lei, PU Yi-ni, YANG Shi-jun, <i>et al.</i> (2316)
Dynamics of CO <sub>2</sub> and N <sub>2</sub> O in Seasonal Frozen Soil Profiles for a Typical Steppe in Inner Mongolia	LI Jin-bo, YAO Nan, LI Xiu, <i>et al.</i> (2330)
Characteristics of CO <sub>2</sub> Flux in a Mature Apple ( <i>Malus domestica</i> ) Orchard Ecosystem on the Loess Plateau	YANG Jian-feng, YANG Xiao-ni, WANG Jun-hua, <i>et al.</i> (2339)
Effects of Biochar Application Rates on Greenhouse Gas Emissions in the Purple Paddy Soil	QI Le, GAO Ming, GUO Xiao-min, <i>et al.</i> (2351)
Short-Term Effects of Different Fertilization Treatments on Greenhouse Gas Emissions from Northeast Black Soil	LI Ping, LANG Man, LI Miao, <i>et al.</i> (2360)
Eukaryotic Micro-plankton Community Diversity and Characteristics of Regional Distribution in the Yellow Sea by ITS High-throughput Sequencing	ZHANG Li, LIN Jia-ning, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2368)
Influence of Different Patterns of Discharge on Microbial Diffusion in Municipal Treated Wastewater	LANG Xiu-lu, SONG Zhi-wen, XU Ai-ling, <i>et al.</i> (2380)
Impact of Tourism on Bacterial Communities of Karst Underground River: A Case Study from Two Caves in Fengdu, Chongqing	LÜ Xian-fu, HE Qiu-fang, WANG Feng-kang, <i>et al.</i> (2389)
Diversity of the Microbial Community in Rice Paddy Soil with Biogas Slurry Irrigation Analyzed by Illumina Sequencing Technology	ZHU Jin-shan, ZHANG Hui, MA Lian-jie, <i>et al.</i> (2400)
Effect of Biochar Amendment on Physicochemical Properties and Fungal Community Structures of Cinnamon Soil	YAN Hai-tao, YIN Quan-yu, DING Song-shuang, <i>et al.</i> (2412)
Carbon Metabolism Characteristics of the Karst Soil Microbial Community for Pb-Zn Mine Tailings	FANG Jun-jia, LI Qiang, LIU Chang, <i>et al.</i> (2420)
Denitrification Characteristics and Community Structure of Aerobic Denitrifiers from Lake and Reservoir Sediments	KANG Peng-liang, ZHANG Hai-han, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (2431)
Investigation of the Coupling Mechanism Between Naphthalene Degradation and Denitrification of a Naphthalene Degraded Bacterial Consortium Under Denitrification	ZHANG Ze-yu, WANG Ming-xia, CHENG Yong-yi, <i>et al.</i> (2438)
Spatial Distribution Study and Pollution Assessment of Pb in Soils in the Xijiang River Drainage of Guangxi	ZHANG Yun-xia, SONG Bo, CHEN Tong-bin, <i>et al.</i> (2446)
Effects of Agricultural Activities on Soil Mercury Changes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	CHEN Qiu-yu, SUN Song, YIN De-liang, <i>et al.</i> (2456)
Screening and Identification of Arsenic-resistant Endophytic Bacteria from Different Rice Tissues ( <i>Oryza sativa</i> L.) in Different Growth Stages	WANG Bo-xun, WANG Xue-dong, DUAN Gui-lan (2464)
Characteristics of Mercury Transformation in Soil and Accumulation in Rice Plants in an Acidic Purple Paddy Soil Area	LI Yu-qin, SUN Tao, DENG Han, <i>et al.</i> (2472)
Life Cycle Environmental Impact Assessment on Different Modes of Greenhouse Vegetable Production in the North China Plain	XU Qiang, HU Ke-lin, LI Ji, <i>et al.</i> (2480)
Health Effects of PM <sub>2.5</sub> Based on Bacterial Toxicity Test and Transcriptional Analysis in Lungs of Mice	SONG Peng-cheng, LU Shu-yu, WEI Yong-jie, <i>et al.</i> (2489)
Socio-economic Factors Influencing the Spatial Distribution of PM <sub>2.5</sub> Concentrations in China: An Exploratory Analysis	DUAN Jie-xiong, ZHAI Wei-xin, CHENG Cheng-qi, <i>et al.</i> (2498)