

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第9期

Vol.39 No.9

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

长三角区域非道路移动机械排放清单及预测	黄成, 安静宇, 鲁君 (3965)
基于 COPERT 模型的江苏省机动车时空排放特征与分担率	李荔, 张洁, 赵秋月, 李慧鹏, 韩军赞 (3976)
上海典型燃烧源铅和汞大气排放趋势分析	杨静, 陈龙, 刘敏, 孟祥周, 张希 (3987)
广东省秸秆燃烧大气污染物及 VOCs 物种排放清单	孙西勃, 廖程浩, 曾武涛, 张永波, 梁小明, 叶代启 (3995)
重庆市北碚城区气溶胶中水溶性无机离子的质量浓度及其粒径分布	李彦沛, 郝庆菊, 温天雪, 吉东生, 刘子锐, 王跃思, 江长胜 (4002)
济南市夏、冬季 PM _{2.5} 中化学组分的季节变化特征及来源解析	刘晓迪, 孟静静, 侯战方, 李静, 邢继钊, 魏本杰, 张二勋, 刘加珍, 董杰 (4014)
聊城冬季一重污染过程 PM _{2.5} 污染特征及成因分析	张敬巧, 吴亚君, 张萌, 王涵, 陈振兴, 胡君, 李慧, 范晓龙, 柴发合, 王淑兰 (4026)
夏季青岛大气气溶胶中不同形态磷的浓度、来源及沉降通量	王楠, 马森, 石金辉, 高会旺, 姚小红 (4034)
晋城市冬季环境空气中挥发性有机物的污染特征及来源解析	杨帆, 闫雨龙, 戈云飞, 李如梅, 李颖慧, 余化龙, 彭林 (4042)
北京冬季降尘重金属富集程度及综合污染评价	熊秋林, 赵文吉, 李大军, 周涛 (4051)
合肥市典型交通干道大气苯系物的特征分析	孟凡昊, 秦敏, 梁帅西, 谢品华, 夏晖晖, 段俊, 方武, 唐科, 李昂, 魏桢, 王凤 (4060)
填埋场作业面 NMOCs 臭氧生成潜势及高贡献物质	李昊, 刘彦君, 陈坦, 闫秋鹤, 代辉祥, 王洪涛, 陆文静 (4070)
北京市混凝土搅拌站风蚀扬尘排放特征	李贝贝, 韩凯丽, 秦建平, 王鑫, 宋博, 黄玉虎, 张春来 (4078)
基于源解析的傍河水源地污染风险季节性变化特征分析	高翔, 左锐, 郭学茹, 孟利, 刘鑫, 王膜, 滕彦国, 王金生 (4086)
透水路面-生物滞留池组合道路的城市面源污染控制效果评估	官曼莉, 左俊杰, 任心欣, 赵洪涛, 罗茜, 廖云杰, 李叙勇 (4096)
黄河兰州段水体中有色溶解性有机质组成、空间分布特征及来源分析	赵夏婷, 李珊, 王兆炜, 谢晓芸 (4105)
黄河干流宁蒙段溶解性有机物组分特征及其与金属离子的相关性	席玥, 王婷, 倪晋仁, 韩鹏, 仪马兰, 郑彤, 蒋咏, 马若绮, 崔锋 (4114)
伊洛河和浑太河春季水体光学吸收特征的对比	李柳阳, 邵田田, 张鑫, 宋炎炎, 苏东辉, 王涛 (4122)
马莲河流域化学风化的季节变化和影响因素	王雨山, 韩双宝, 邓启军, 祁晓凡 (4132)
柳江盆地浅层地下水硝化型水特征和成因分析	徐进, 何江涛, 彭毅, 曾颖 (4142)
地下水氮污染原位修复缓释碳源材料的研发与物化-生境协同特性	张雯, 尹琳, 周念清 (4150)
三峡水库干流沉积物及消落带土壤磷形态及其分布特征	张志永, 万成炎, 胡红青, 彭建华, 侯娟, 丁庆秋, 袁玉洁 (4161)
蓄水前后三峡库区香溪河沉积物磷形态分布特征及释放通量估算	刘心愿, 宋林旭, 纪道斌, 刘德富, 李欣, 黄佳维, 赵冲, 唐咏春, 平明明 (4169)
锆改性沸石添加对重污染河道底泥磷释放和钝化的影响	何思琪, 张薇, 林建伟, 詹艳慧, 李娟英, 邢云青, 高春梅, 黄宏, 梁舒静 (4179)
洱海流域乡镇尺度上人类活动对净氮输入量的影响	李影, 刘宏斌, 雷秋良, 胡万里, 王洪媛, 翟丽梅, 任天志, 连慧妹 (4189)
我国典型潮间带沉积物-水界面无机氮源汇效应	聂家琴, 王东启, 陈杰, 李杨杰, 陈姝, 陈振楼 (4199)
东太湖水产养殖对沉积物中氨氧化原核生物的影响	储瑜, 何肖微, 曾巾, 赵大勇, 孙强, 曹萍, 吴庆龙 (4206)
处理采矿废水湿地沉积物中厌氧氨氧化过程	汪海波, 马丁, 岳正波, 陶巍, 陈天虎, 王进 (4215)
华东地区某饮用水源地中磺胺类抗性基因的分布特征	胡亚茹, 姜蕾, 张天阳, 雷丹丹, 姜巍巍, 张东, 林匡飞, 崔长征 (4222)
制革废水处理过程中磺胺类抗生素和抗性细菌的分布特征	花莉, 李璐, 杨春燕 (4229)
人工湿地不同基质和粒径对污水净化效果的比较	赵林丽, 邵学新, 吴明, 姜小三, 陆琳莹 (4236)
城市污水管网中不同生化作用的基质流向	姚翔译, 石烜, 桑浪涛, 金鹏康, 王晓昌 (4242)
微絮凝对腐殖酸超滤过程膜污染减缓特性	王旭东, 石彩霞, 廖正伟, 贺毓淑, 王磊 (4249)
UV 强化草酸络合 Fe ³⁺ 活化过硫酸盐氧化降解苯胺	韩东晖, 李瑛, 李开明, 应光国 (4257)
焦化废水 A/O ² 和 A/O/H/O 处理工艺中多环芳烃的削减行为分析	吴海珍, 孙胜利, 刘国新, 韦景悦, 吴超飞, 韦朝海, 钟练文, 彭亚环 (4265)
长期侧流提取对 EBPR 系统除磷及其磷回收性能的影响	俞小军, 李杰, 周猛, 宋璐, 李维维, 王亚娥, 马娟, 吕慧 (4274)
NaCl 盐度对 A ² /O 工艺缺氧区胞外聚合物及生物絮凝性的影响	张兰河, 田蕊, 郭静波, 贾艳萍, 张海丰, 李正, 陈子成 (4281)
温度和 pH 值对铁盐型氨氧化过程氮素转化的影响	陈方敏, 金润, 袁琨, 李祥, 黄勇, 顾澄伟 (4289)
游离氨 (FA) 对氨氧化菌 (AOB) 活性抑制动力学试验	孙洪伟, 于雪, 高宇学, 李维维, 祁国平, 许涓 (4294)
HRT 对厌氧氨氧化协同异养反硝化脱氮的影响	安芳娇, 赵智超, 黄利, 黄剑明, 邵兆伟, 陈永志 (4302)
长期储存亚硝化絮状污泥活性的恢复	李田, 魏凡凯, 汪裕昌, 沈耀良, 吴鹏, 宋吟玲 (4310)
广西西江流域农田土壤重金属含量特征及来源解析	宋波, 张云霞, 庞瑞, 杨子杰, 宾娟, 周子阳, 陈同斌 (4317)
紫色土壤有机碳活性组分对生物炭施用量的响应	罗梅, 田冬, 高明, 黄容 (4327)
秸秆及生物炭还田对油菜/玉米轮作系统碳平衡和生态效益的影响	李娇, 田冬, 黄容, 徐国鑫, 黎嘉成, 高明, 王子芳 (4338)
低积累水稻品种联合腐殖酸、海泡石保障重镉污染稻田安全生产的潜力	谢晓梅, 方至萍, 廖敏, 黄宇, 黄小辉 (4348)
臭氧和干旱交互作用对杨树叶片抗氧化酶活性的影响	周慧敏, 李品, 高峰, 冯兆忠, 张殷波 (4359)
再生水不同灌水水平对土壤酶活性及耐热大肠菌群分布的影响	韩洋, 李平, 齐学斌, 崔丙健, 常迪, 马欢欢 (4366)
黄淮海地区鸡粪有机肥重金属含量特征及环境风险	李发, 徐应明, 王林, 梁学峰, 孙约兵, 纪艺凝, 栾润宇 (4375)
村镇生活垃圾重金属含量及其来源分析	靳琪, 高红, 岳波, 黄启飞, 王瑜堂, 吴小丹, 於俊颖, 杨惠媛 (4385)
《环境科学》征订启事 (3986)	《环境科学》征稿简则 (4050) 信息 (4085, 4104, 4337)

基于 COPERT 模型的江苏省机动车时空排放特征与分担率

李荔, 张洁*, 赵秋月, 李慧鹏, 韩军赞

(江苏省环境科学研究院, 江苏省环境工程重点实验室, 南京 210036)

摘要: 利用 COPERT 模型和 ArcGIS 技术建立了江苏省 2015 年 1 km × 1 km、小时分辨率的机动车网格化排放清单。采用改进的“标准道路长度”方法, 利用路网信息以及拥堵延时指数的月变化、周变化和日变化数据提高清单的时空分辨率。基于 COPERT 模拟结果分析了分车型、排放标准以及道路类型的机动车污染物排放分担率。结果表明, 江苏省 2015 年 NO_x、HC、CO、PM_{2.5}、SO₂、OM 和 BC 的排放量分别为 49.09、16.63、161.48、1.69、0.19、0.36 和 0.67 万 t, 其中苏州和徐州排放量占比之和达 34%~45%; HC 蒸发排放量为 2.02 万 t, 占 HC 排放总量的 12%; 小型客车和摩托车对于 HC 和 CO 排放量的分担率最大, 均超过 30%; 重型柴油货车对 NO_x、PM_{2.5}、SO₂、OM、BC 的分担率在 36%~54% 之间, 远高于其他车型; 苏州和徐州的重型和中型柴油货车是 NO_x、PM_{2.5} 的最主要排放源; 国 III 标准柴油车对 NO_x、PM_{2.5}、SO₂ 和 BC 的分担率均最大, 在 42%~55% 之间; 国 III 标准重型柴油货车和国 0 标准中型柴油货车是全省 NO_x、PM_{2.5}、OM 和 BC 的首要 and 次要贡献车型, 两者分担率之和在 40%~56% 之间。国 0 标准摩托车对全省 HC 和 CO 排放的分担率较高, 约为 16%。

关键词: 机动车排放; 排放清单; 分担率; 排放特征; COPERT

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)09-3976-11 DOI: 10.13227/j.hjxx.201712238

Vehicle Exhaust Emission Characteristics and Their Contributions in Jiangsu Province

LI Li, ZHANG Jie*, ZHAO Qiu-yue, LI Hui-peng, HAN Jun-zan

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Environmental Engineering, Jiangsu Provincial Academy of Environmental Sciences, Nanjing 210036, China)

Abstract: An hourly vehicular emission inventory with 1 km × 1 km resolution was developed for Jiangsu Province in 2015, using the COPERT model and ArcGIS technology. The improved “standard road length” method, as well as road network information and monthly, weekly, and daily variations of the congestion delay index were used to increase temporal-spatial resolution. The contributions of different vehicle types, emission standards, and road types to total vehicular emissions were analyzed. Results showed that vehicular emissions of NO_x, HC, CO, PM_{2.5}, SO₂, OM, and BC were 490.9, 166.3, 1614.8, 1.69, 0.19, 0.36, and 6.7 thousand tons, respectively. On average, Suzhou and Xuzhou contributed 34%-45% of the total. Evaporative emissions of HC were 20.2 thousand tons, accounting for 12% of total HC emissions. Small passenger cars and motorcycles were the major HC and CO contributors, accounting for over 30% of total emissions. Heavy-duty diesel trucks contributed 36%-54% to NO_x, PM_{2.5}, SO₂, OM, and BC emissions, representing much higher emissions than other vehicles. Heavy-duty and medium-duty diesel trucks in Suzhou and Xuzhou are the main sources of NO_x and PM_{2.5} emissions. China III diesel vehicles account for the largest share (42%-55%) of NO_x, PM_{2.5}, SO₂, and BC emissions. China III heavy-duty diesel trucks and China 0 medium-duty diesel trucks are the primary and secondary contributors of NO_x, PM_{2.5}, OM, and BC emissions, with a total share of 40%-56%. China 0 motorcycles contributed about 16% to total HC and CO.

Key words: vehicle exhaust; emission inventory; contribution rates; emission characteristics; COPERT

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型、复合型污染转化。我国连续 7 a 保持世界机动车产销第一大国, 机动车污染已成为我国空气污染的重要来源, 是造成霾、光化学烟雾污染的重要原因, 机动车污染防治的紧迫性日益凸显。机动车排放的污染物种类繁多, 其中主要污染物 HC、NO_x 和一次颗粒物是大气中二次污染物 PM_{2.5} 和 O₃ 的重要前体物^[1]。从颗

粒物毒性来看, 柴油和汽油排放的颗粒物毒性大于煤炭和自然源, 机动车源的颗粒物对人体健康的影响更为显著^[2]。

收稿日期: 2017-12-28; 修订日期: 2018-03-04

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0207607); 江苏省科技支撑计划项目(BE2014725); 江苏省自然科学基金项目(BK20161601); 江苏省环保科研课题项目(2016015)

作者简介: 李荔(1985~), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为大气环境管理决策支持与排放清单, E-mail: fruitily@163.com

* 通信作者, E-mail: marie.jie@gmail.com

准确建立高时空分辨率的排放清单是掌握机动车污染对区域空气质量以及人体健康影响的有效手段^[3]，是评估各种控制方案实施效果的重要基础。当前除省会城市以及特大城市外，绝大多数城市尚未制定单独的机动车控制措施，基本按照省级的要求来执行。但目前城市级别的机动车排放清单及排放特征相关研究较为常见^[4~8]，省级的机动车排放清单相对偏少，仅见于山东、广东等省份^[9, 10]。江苏省机动车保有量大，机动车主要大气排放污染物包括 NMVOC、CO 等的排放量仅次于广东省和山东省^[11]。此外，江苏省机动车保有量增速较快。近 3 年来全省民用汽车拥有量年增长率有所放缓，但仍高达 15%，其中，南京、无锡和苏州的机动车拥有量增长率达到 7%~8%，远高于全国平均水平。江苏省电力行业已经基本完成超低排放改造，钢铁、焦化等行业也部分实施了脱硝改造，工业 NO_x 排放降幅显著，机动车 NO_x 排放在全省 NO_x 排放总量的占比日益突出。西方发达国家的经验显示，机动车源将对空气质量有重要的贡献^[12]。在江苏省建立省级层面的机动车排放清单工作在当前显得尤为重要。

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^[11, 13]。大部分机动车排放清单的建立停留在排放总量等宏观层次上，对道路尺度中观层次的机动车排放清单的研究相对较少。已有研究往往通过架设摄像头、现场测试等方法调查获取不同道路等级的交通流量^[14, 15]。要获得更为较为准确的区域机动车污染时空分布特征，需要将动态交通流数据等实际行驶状况数据和信息应用于排放清单的编制^[5, 16, 17]。

为了满足当前精细化管理的需求，本研究利用 COPERT 模型和 ArcGIS 技术建立了江苏省 2015 年 1 km×1 km、小时分辨率的机动车网格化排放清单，分析了分车型、排放标准以及道路类型的机动车污染物排放分担率，并对排放清单的时空分配方法进行了改进。在空间分布特征研究方面，在文献[18, 19]研究的基础上改进了“标准道路长度”的计算方法，在交通流量与道路长度的基础上增加人口密度，加强了空间分配方法的合理性，并使得该方法可直接应用于 COPERT 模拟结果的空间分配。在时间分布特征研究方面，本研究从公安部门调研获得了江苏省典型城市市区和其他区域不同道路等级的年度车流量数据，用于排放清单的空间分配；从高度地图的交通大数据平台获取实时拥堵延时指

数，以及拥堵情况的月变化、周变化和日变化数据，用于排放清单的时间分配。

1 材料与方法

1.1 排放清单计算

目前应用最广泛的机动车排放模型是 COPERT、IVE、MOBILE、CMEM 和 EMFAC 模型。其中，COPERT 模型由欧洲环境署（European Environment Agency）资助研发，已在全国层面^[20, 21]、区域层面^[22]、省级层面^[23]以及城市层面^[4~8, 24]的机动车污染物排放研究中得到了应用。我国采用的排放标准和车辆控制技术与欧洲接近。北京大学相关研究显示，应用 COPERT 模型计算获得的排放因子较 MOBILE 模式更接近中国机动车实际排放情况，可用于省级层面机动车排放因子的计算^[20, 25]。此外，相对于其他模型而言，COPERT 模型的参数相对易于获取。因此，本研究选用 COPERT 模型计算江苏省各设区市的机动车污染物排放量。

COPERT 模型针对市区、乡村和高速公路分别计算污染物的排放量。模型中污染物的排放量主要来源于发动机热稳定运行排放、冷启动排放以及燃料蒸发排放这 3 个过程。由于我国的车辆分类方法与 COPERT 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 模型中的车辆类型相对应，本研究根据已有研究的分类对照结果进行匹配，以进行 COPERT 5.0 模型的参数输入^[9, 20]，如表 1 所示。

表 1 江苏省机动车所对应的 COPERT 模型的车辆类型

Table 1 Vehicle types in Jiangsu Province compared with COPERT data		
江苏省机动车 车辆类型	COPERT 机动车	车辆类型
微型客车	小客车	汽油,排量 <1.4 L
	小客车	汽油,排量 1.4~2.0 L
小型客车	小客车	汽油,排量 >2.0 L
	小客车	柴油,排量 <2.0 L
	小客车	柴油,排量 >2.0 L
中型客车	大客车	公共汽车
大型客车	大客车	长途客车
微型货车	轻型货车	汽油,总重量 <3.5 t
轻型货车	轻型货车	柴油,总重量 <3.5 t
中型货车	重型货车	柴油,总重量 3.5 t~12 t
重型货车	重型货车	柴油,总重量 >12 t
摩托车	摩托车	二冲程,排量 <50 cm ³
	摩托车	四冲程,排量 <250 cm ³

1.2 清单的空间分配

假设以城市为子研究单元,根据 COPERT 的分类将高速、国道、省道、县道、乡镇村道以及其他道路等不同等级道路分为市区内、市区外和高速这 3 种路段.改进的“标准道路长度”的计算方法假设在这 3 种路段上,各自存在一条虚拟道路,道路的单位长度计为单位标准道路长度.应用 ArcGIS 软件的空间分析和数据统计功能,建立 LMBERT 投影下覆盖江苏省全省范围的 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 网格.按照实际道路长度、年度道路交通流量以及道路所在行政区人口,对每个 1 km 网格内各等级道路进行道路长度的标准化换算.根据 COPERT 模型计算出的各城市不同路段上各种污染物的排放量,以及对应的总标准道路长度,计算出各城市单位标准道路长度的排放量,即单位标准排放强度.利用该排放强度和标准换算体系,计算每个 1 km 网格不同等级道路图层的排放强度,并进行矢量叠加,得到研究区域内的机动车污染网格化排放清单,如式(1)~(3)所示.

$$\begin{aligned} \text{TSUL}_i &= \sum_{k=1} \text{UL}_{ik} \times \text{UW}_{ik}; \\ \text{UW}_{ik} &= \frac{\text{UT}_{ik} P_{ia}}{\sum_{k=1} \text{UT}_{ik} P_{ia}} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{TSRL}_i &= \sum_{k=1} \text{RL}_{ik} \times \text{RW}_{ik}; \\ \text{RW}_{ik} &= \frac{\text{RT}_{ik} P_{ia}}{\sum_{k=1} \text{RT}_{ik} P_{ia}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{TSHL}_i &= \sum_{k=1} \text{HL}_{ik} \times \text{HW}_{ik}; \\ \text{HW}_{ik} &= \frac{\text{HT}_{ik} P_{ia}}{\sum_{k=1} \text{HT}_{ik} P_{ia}} \end{aligned} \quad (3)$$

式中, i 为江苏省内编号为 i 的城市; k 为 i 城市第 k 级道路类型; TSUL_i 、 TSRL_i 和 TSHL_i 分别为 i 城市第 k 级道路类型在市区内路段、市区外路段和高速路段的标准道路长度(km); UL_{ik} 、 RL_{ik} 和 HL_{ik} 分别为 i 城市第 k 级道路类型在市区内路段、市区外路段和高速路段的实际道路长度(km); UW_{ik} 、 RW_{ik} 和 HW_{ik} 为 i 城市第 k 级道路类型在市区内路段、市区外路段和高速路段的道路折算系数($\text{km} \cdot \text{km}^{-1}$); UT_{ik} 、 RT_{ik} 和 HT_{ik} 分别为 i 城市第 k 级道路类型在市区内路段、市区外路段和高速路段的交通流量(辆标准车); P_{ia} 为 i 城市 a 区县的常住人口(万人).

1.3 清单的时间分配

目前主要的清单时间分配仍是基于车流量和车速,数据来源主要为摄像数据或现场的人工计数.虽然越来越多城市级别的清单研究开始采用动态交通流信息来提高机动车排放清单的时空分辨率^[15, 17, 26],但是动态车流量数据由于数据量庞杂,且主要依赖人工统计核算,较难实现动态更新.若具体到全省水平,获取每个城市不同道路等级实时数据的难度就更为突出.高德、百度等从2015年开始基于大数据技术发布了全国100个城市的5 min分辨率的实时拥堵延时指数,并提供拥堵情况的月变化、周变化和日变化数据.假定拥堵与车流量正相关,本研究基于高德地图发布的2015年度中国主要城市交通分析报告以及2017年二季度拥堵数据,分析了13个设区市拥堵延时指数(拥堵延时指数=交通拥堵通过的旅行时间/自由流通过的旅行时间)的月变化、周变化和日变化情况,计算出不同城市2015年每一天的机动车污染排放变化细化以及24 h变化系数,进而完成对不同城市机动车污染日排放的时间分配.

2 结果与分析

2.1 分城市年排放量

利用 COPERT 模型分别计算江苏省13个城市的主要大气污染物排放量,汇总分析得到全省的排放总量. COPERT 模型所需输入参数总计15个,包括气象参数、车辆信息、燃料信息、年均行驶里程、平均累计行驶里程、车速和车辆技术水平信息等.本研究针对江苏省的不同城市设置了不同的参数.其中各城市分月的最低气温、最高气温、相对湿度等气象资料从中国气象科学数据共享服务网获得.分城市机动车车型及燃油分类比例信息从环保部机动车排污监控中心获得.年均行驶里程数据主要参考《道路机动车排放清单编制技术指南(试行)》.

2015年,江苏省各城市机动车主要大气污染物排放量如表2所示.全省 NO_x 、HC、CO、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、OM和BC的排放量分别为49.09、16.63、161.48、1.69、0.19、0.36和0.67万t.13个设区市中,苏州和徐州两市排放量最为突出,两市7项污染物排放量合计占全省排放总量的34%~45%.

全省机动车HC蒸发量为2.02万t,占机动车HC排放总量的12%.南京HC蒸发排放占比达21%,其他12市HC蒸发排放占比在7%~19%之间.从各市HC蒸发排放的车型分担率来看,除淮

安外，各地小型客车分担率均超过 50%，盐城、连云港、泰州、南通和扬州的摩托车分担率均超过 36%，淮安的微、轻型货车分担率较为突出，如图 1 所示。从不同车型 HC 蒸发排放的地区贡献来看，苏州、南京和无锡的小型客车排放贡献突出，占全

省的 51%；苏州、南通和盐城摩托车排放贡献突出，累计达全省总量的 43%；苏州和淮安微、轻型货车排放贡献突出，分别占全省总量的 41% 和 27%；苏州中型货车的排放分担率超过了 50%，徐州的分担率也达到了 13%。

表 2 江苏省 2015 年机动车主要大气污染物排放量/万 t
Table 2 Vehicular emission for Jiangsu Province in 2015/10⁴ t

项目	NO _x	HC	CO	PM _{2.5}	SO ₂	OM	BC
全省	49.09	16.63	161.48	1.69	0.19	0.36	0.67
南京	4.00	1.11	10.42	0.14	0.02	0.02	0.05
无锡	3.64	0.97	9.42	0.12	0.02	0.02	0.05
徐州	9.20	1.99	16.51	0.31	0.03	0.08	0.15
常州	2.89	0.84	8.43	0.10	0.01	0.02	0.04
苏州	9.20	4.76	45.98	0.34	0.03	0.09	0.12
南通	2.58	1.31	12.42	0.10	0.01	0.02	0.03
连云港	2.43	0.62	5.46	0.08	0.01	0.01	0.03
淮安	3.61	1.45	16.77	0.12	0.01	0.03	0.05
盐城	2.81	0.97	9.89	0.09	0.01	0.02	0.04
扬州	2.88	0.88	9.25	0.10	0.01	0.02	0.04
镇江	1.57	0.48	4.52	0.05	0.01	0.01	0.02
泰州	2.17	0.82	8.19	0.08	0.01	0.02	0.03
宿迁	2.11	0.43	4.21	0.07	0.01	0.01	0.03

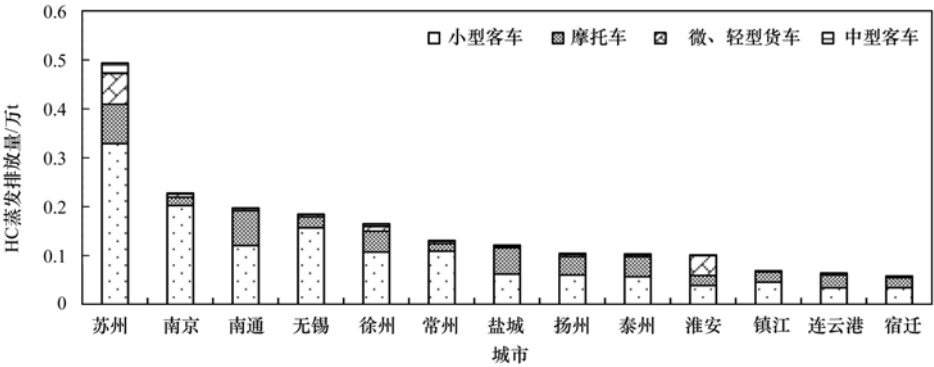


图 1 各设区市机动车 HC 蒸发排放
Fig. 1 Evaporative HC emissions of each city

2.2 机动车排放空间分布

基于排放清单结果，利用改进的道路标准道路长度方法，运用 GIS 技术，建立机动车 NO_x、HC、CO、PM_{2.5}、SO₂、OM、BC 排放的 1 km × 1 km 网格化清单，如图 2 所示。从全省的污染物空间分布情况来看，污染物排放高值区主要分布于市区交通网络密集区域，以及市区附近向外辐射的道路上。各种污染物的空间分布规律略有差异。市区 HC 及 CO 的排放浓度明显高且呈片状分布。这主要是由于市中心是人口密集区，也是摩托车和轻型客车的主要行驶区域，而摩托车和轻型客车对 HC 和 CO 的排放贡献较大。NO_x、PM_{2.5}、SO₂ 和 OM 在郊区的

排放明显高于 HC 和 CO。这可能是由于轻型、大型货车和大型汽车等货运车辆对 NO_x、PM_{2.5}、SO₂ 和 OM 排放贡献较高，这些车辆的活动区域不局限于市区，广泛分布于全省的省道、国道、县道等主要运输干道上。总体来看，污染物的空间分布特征与已有研究结论较为一致^[18, 27]。

2.3 机动车排放时间分布

根据高德地图发布的 2015 年度中国主要城市交通分析报告，在检测的 45 城市中，由于年末商场促销增多、节日密集、集体外出活动频繁等原因，11、12 月为全年拥堵最严重的月份；由于春节期间人口返乡拥堵下降明显，2 月为全年最畅通的月

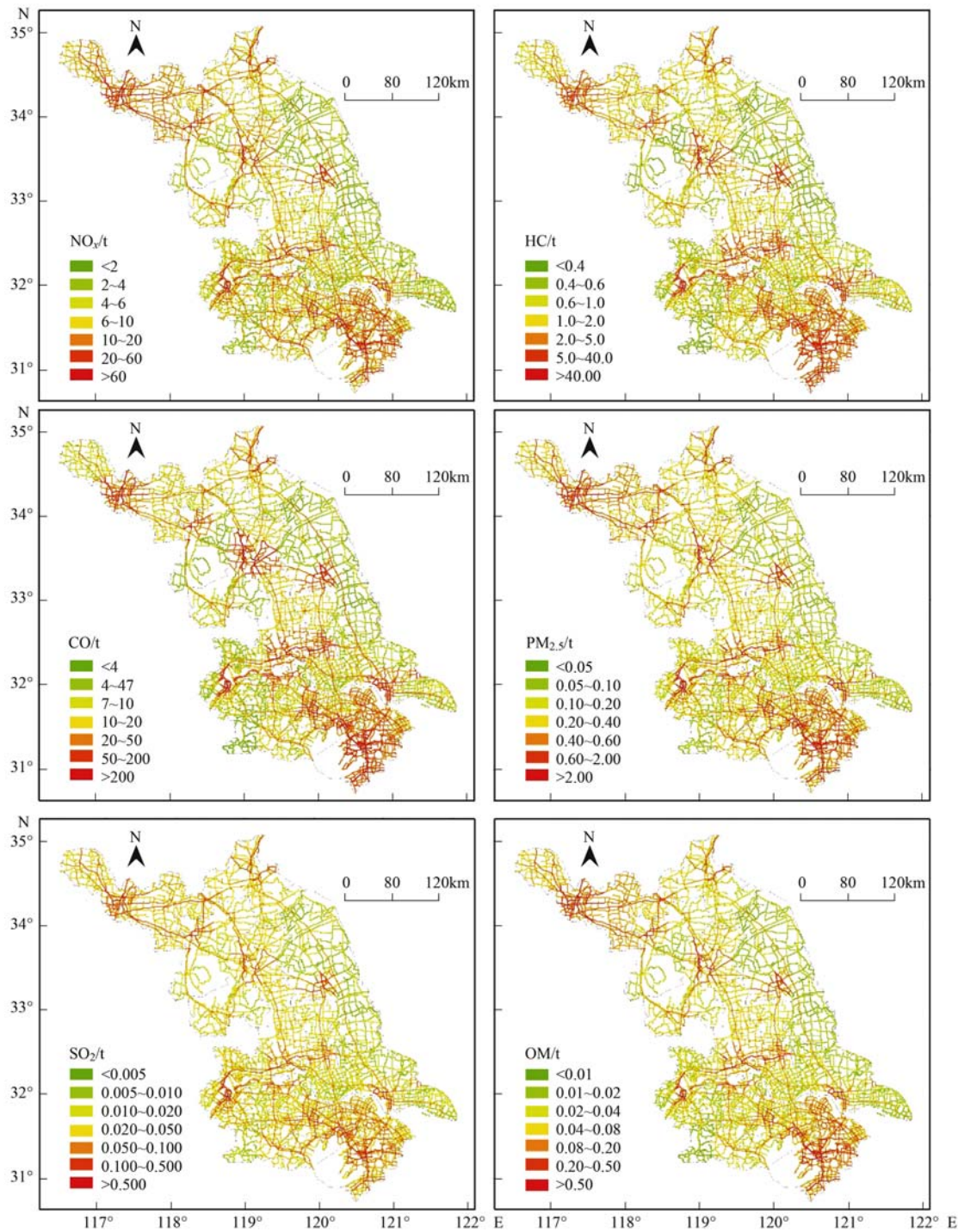


图 2 江苏省机动车主要大气污染物排放 1 km 网格化清单

Fig. 2 The 1 km resolution vehicular emission inventory for Jiangsu Province

份,如图 3 所示。

基于高德地图发布的 2017 年二季度拥堵数据,在剔除法定节假日前后数据的前提下,分析了 13 个设区市拥堵延时指数的周变化和日变化情况,如图 4 和图 5 所示。工作日车流量远大于周末,周五拥堵情况最为严重,其次为周一。13 个城市早高峰基本都在 08:00。无锡、常州、苏州、连云港和淮安

的晚高峰在 17:00,其他城市的晚高峰在 17:00 ~ 18:00。

假定拥堵与车流量正相关,基于上述 13 个设区市拥堵情况的月变化、周变化和日变化,计算出不同城市 2015 年每一天的机动车污染排放变化细化以及 24 h 变化系数,进而完成对不同城市机动车污染日排放的时间分配。选择 12 月不临近节假日

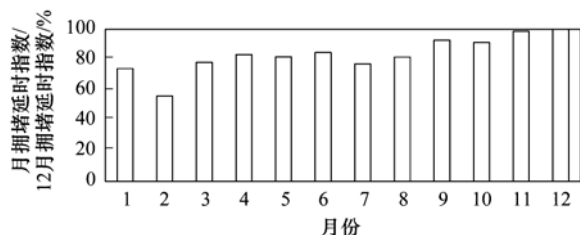
图3 2015年主要城市月拥堵趋势分布^[28]

Fig. 3 Monthly variations in congestion delay index for cities of Jiangsu in 2015

的周一代表最大排放日,选择2月不临近节假日的周日代表最小排放日。以HC为例,2015年最大和最小排放日凌晨和早、中、晚这4个时间段的排放量空间分布如图6和图7所示。最大、最小排放日HC排放量的差异主要集中在排放量高的各市市区主干道。从排放量时间差异的地区分布来看,最大排放日上午08:00全省13个市的排放量为最小排放日同一时间段的1.9~2.4倍,其中差异最大的城市为苏州,差异最小的城市为盐城和宿迁。

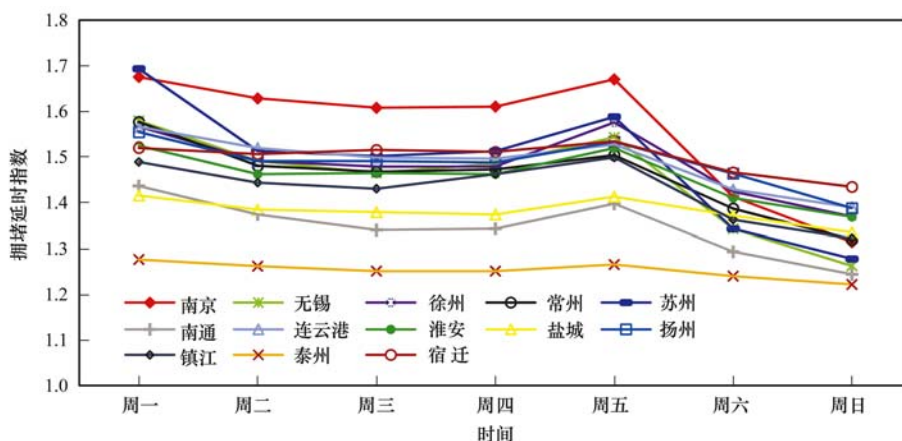


图4 2015年江苏省各城市拥堵情况周变化

Fig. 4 Weekly variations in congestion delay index for cities of Jiangsu in 2015

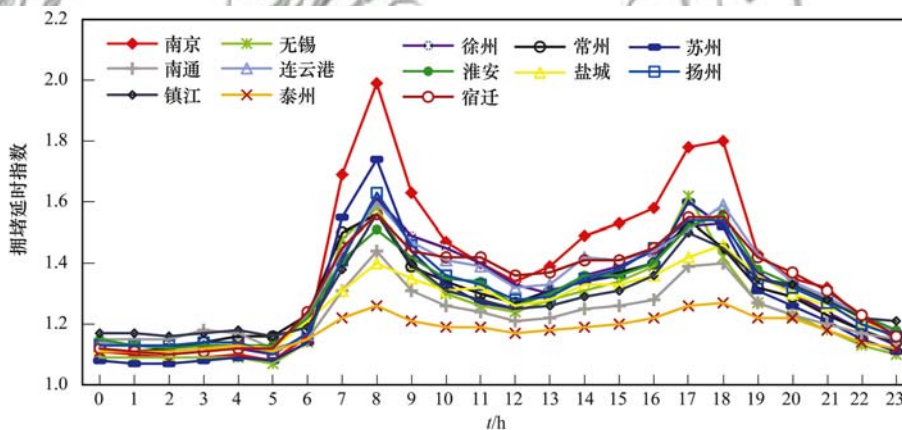


图5 2015年江苏省各城市拥堵情况日变化

Fig. 5 Daily variations in congestion delay index for cities of Jiangsu in 2015

3 讨论

3.1 排放分担率分析

江苏省大部分的 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、OM和BC排放来自于柴油车排放,其中柴油车对于 NO_x 和BC排放量的分担率达到84%和96%,对于 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、OM排放量的分担率在70%~75%之间。汽油车排放对于HC和CO排放量的分担率分别达到了87%和94%。其中重型和中型柴油货车

是 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、OM和BC排放的首要 and 次要贡献者,燃油汽油的小型客车、摩托车和微、轻型货车是HC和CO排放的首要 and 次要贡献者。重型、中型柴油货车和小型汽油客车对 SO_2 排放分担率较为突出。

不同车型的车辆由于排放因子、运营比例、行驶里程、启动次数等特征参数的不同,在机动车污染物排放量中所占的比例会有显著差异。图8给出了江苏省2015年机动车排放不同车型下的

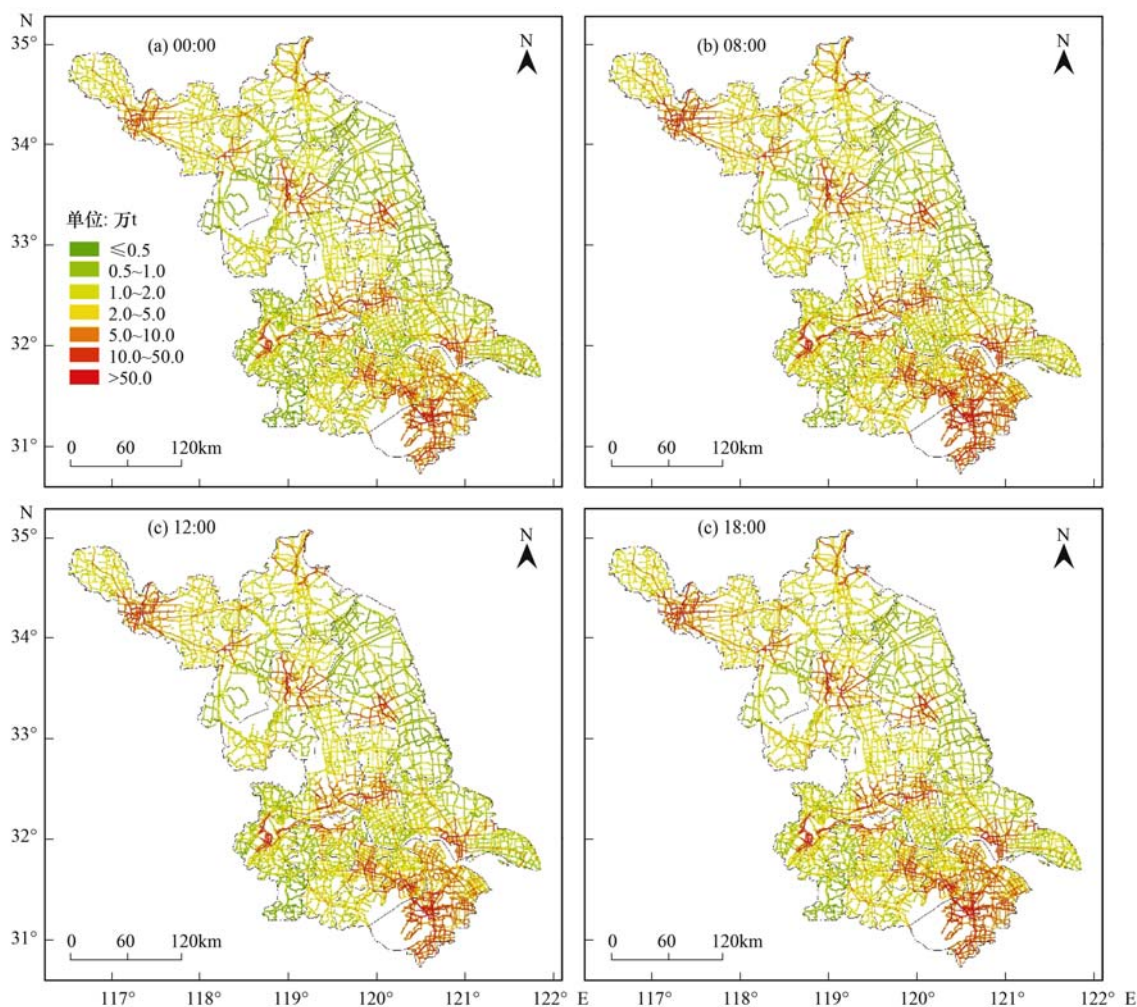


图6 最大排放日(2015-12-07)主要时段机动车HC排放空间分布

Fig. 6 Distribution of vehicular HC emissions on max-emission day(2015-12-07)

分担率. 从全省情况来看, 小型汽油客车和摩托车对于HC和CO排放量的分担率最大, 均超过30%. 重型柴油货车对 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、OM、BC的分担率在36%~57%之间, 远高于其他车型, 其中对 NO_x 和BC的分担率超过了50%. 小型汽油客车对 $\text{PM}_{2.5}$ 和 SO_2 的分担率分别为18%和19%. 公交车分别贡献了 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、OM、BC排放量的7%~10%.

从各地不同车型的排放量占全省机动车排放总量的比例来看, 苏州和徐州的重型和中型柴油货车是全省 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的最主要排放源. 苏州的小型汽油客车、摩托车和微、轻型汽油货车对全省HC和CO的分担率均偏高. 淮安的微、轻型货车、南京的小型汽油客车和南通的摩托车也是HC的主要排放源. 淮安的微、轻型货车对CO的贡献也较为突出.

图9给出了江苏省2015年机动车排放量不同

排放标准下的分担率. 从全省情况来看, 由于保有量较大, 国Ⅲ标准车辆特别是柴油车对 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 和BC的分担率最大. 国Ⅲ标准柴油车对上述污染物的相应分担率在36%~54%之间. 国0排放标准车辆特别是汽油车对于HC和CO的分担率最大, 国0排放标准汽油车对于HC和CO的平均分担率约为39%.

对高排放车型中不同排放标准的分担率进行进一步分析. 小型客车中不同排放标准机动车对于CO和HC的排放均有一定的分担率. 国Ⅳ标准小型汽油客车对HC, 以及国0标准小型汽油客车对于CO的分担率较为突出. 国Ⅲ标准重型柴油货车和国0标准中型柴油货车是全省 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、OM和BC的首要 and 次要贡献车型, 分担率之和在40%~56%之间. 国0标准摩托车对全省HC和CO排放的分担率约为16%. 国Ⅲ和国Ⅳ标准重型柴油货车是全省 SO_2 的首要 and 次要贡献车型, 分担率之和

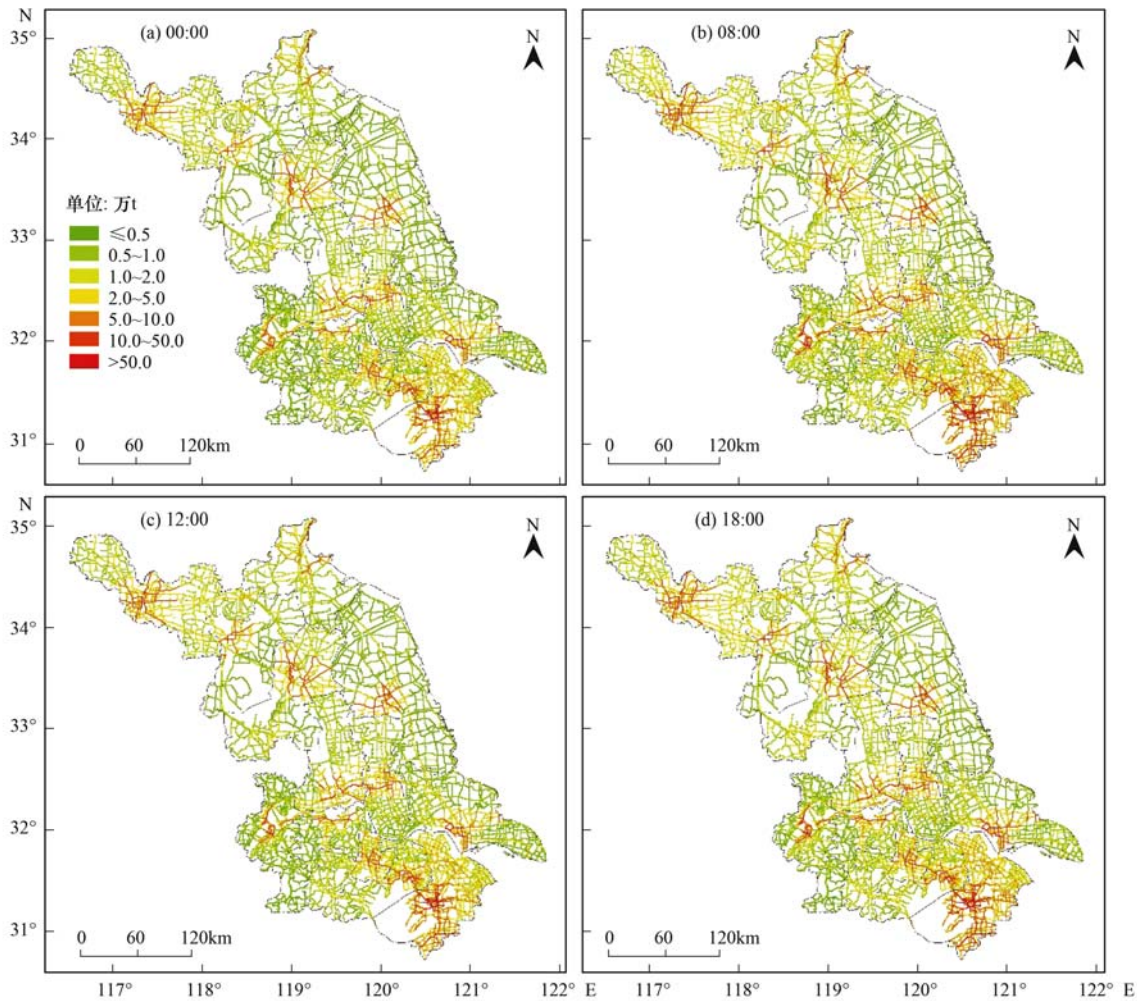


图7 最小排放日(2015-02-01)主要时段机动车 HC 排放空间分布

Fig. 7 Distribution of vehicular HC emissions on min-emission day(2015-02-01)

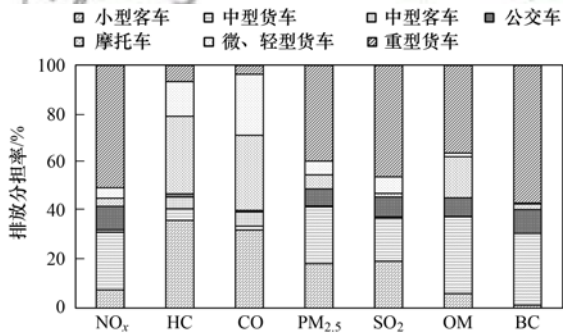


图8 不同车型机动车排放分担率

Fig. 8 Contribution of different vehicle types to total vehicular emissions

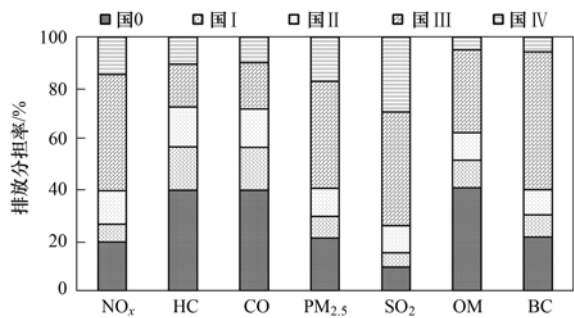


图9 不同排放标准机动车排放分担率

Fig. 9 Contribution of different emission standards to total vehicular emissions

为40%。

3.2 不确定性分析

与其他研究结果比较, 总体来看本研究 2015 年江苏省机动车主要大气污染物排放总量在合理范围内, 如表 3 所示. 其中, SO₂ 排放量低于其他已有研究的结果. 江苏省沿江 8 市从 2012 ~ 2013 年

开始执行国 V 汽油标准, 其他地区于 2014 年起执行国 IV 汽油标准; 南京从 2013 年起, 其他城市从 2015 年起对重型柴油车开始执行国 IV 标准. 油品提升后, 汽油和柴油的硫含量降幅分别达 80% 和 86%, 这可能是本研究 2015 年 SO₂ 排放量低于其他研究中 2012 年结果的原因. 此外, COPERT 模型

本身对 SO₂ 排放量的估算也有一定不确定性. 国Ⅱ、国Ⅲ、国Ⅳ重型柴油车的平均 NO_x 排放因子分别为 9.6 ± 2.1、8.5 ± 2.5 和 5.9 ± 1.3, 改善幅度不明显, 且国Ⅲ、国Ⅳ柴油车的实际道路 NO_x 排放远高于模型结果^[29]. 综合考虑全省载货汽车 4% 的年增长率, 认为 NO_x 排放量不应有大幅降低, 本研

究的 NO_x 排放量可能较环境保护部 2015 年机动车年报排放量更接近实际情况. 在 HC 的蒸发排放方面, 控制措施的有效性会对排放量结果产生较为显著的影响, 但本研究未针对控制措施的有效性或故障率开展实测, 因此可能对 HC 蒸发排放量有一定的低估.

表 3 本研究机动车排放量结果与其他研究结果比较/万 t

Table 3 Vehicular emission results compared with results of other studies/10⁴ t

研究区域	年份	NO _x	HC	CO	PM _{2.5}	SO ₂	OM	BC	文献
江苏省	2015	30		178					[30]
江苏省	2012	50.26	14.71		3.72	1.82			[31]
江苏省	2012	65.04	23.51	128.52	2.98	0.83		1.57	[32]
长三角	2007	306	332		40				[33]
长三角	2006	302	654	2557	31			22	[34]
江苏省	2015	49.09	16.63	161.48	1.69	0.19	0.36	0.67	本研究

4 结论

(1) 本研究利用 COPERT5.0 计算了江苏省及 13 个市的机动车排放量. 2015 年江苏省 NO_x、HC、CO、PM_{2.5}、SO₂、OM 和 BC 的排放量分别为 49.09、16.63、161.48、1.69、0.19、0.36 和 0.67 万 t. HC 蒸发排放量为 2.02 万 t, 占 HC 排放总量的 12%. 13 个设区市中, 苏州和徐州 7 项污染物排放量占全省排放总量的 34% ~ 45%.

(2) 利用 ArcGIS 技术, 采用改进的“标准道路长度”方法, 基于路网信息以及拥堵延时指数的月变化、周变化和日变化特征, 建立了江苏省 1 km × 1 km 空间分辨率、小时分辨率的江苏省机动车网格化排放清单. 清单主要污染物的排放高值区和低值区与车道的吻合情况较好, 在路网特征和交通流特征较为切合机动车污染物的实际空间排放特征. 清单的时间分布结果与南开大学基于南京市无线射频技术 (RFID) 的实时数据月变化和日变化特征基本吻合.

(3) 从不同车型的分担率上来看, 小型汽油客车和摩托车对于 HC 和 CO 排放量的分担率均超过 30%. 重型柴油货车对 NO_x、PM_{2.5}、SO₂、OM、BC 的分担率远高于其他车型, 其中对 NO_x 和 BC 的分担率超过了 50%. 小型汽油客车对 PM_{2.5} 和 SO₂ 的分担率较高. 苏州和徐州的重型和中型柴油货车是全省 NO_x、PM_{2.5} 的最主要排放源.

(4) 从不同排放标准的分担率上看, 国Ⅲ标准柴油车对 NO_x、PM_{2.5}、SO₂ 和 BC 的分担率最大, 在 36% ~ 54% 之间. 国 0 排放标准汽油车对于 HC 和 CO 的分担率最大, 约为 39%.

(5) 总体来看, 国Ⅲ标准重型柴油货车和国 0 标准中型柴油货车是全省 NO_x、PM_{2.5}、OM 和 BC 的首要 and 次要贡献车型, 分担率之和在 40% ~ 56% 之间. 国 0 标准摩托车对全省 HC 和 CO 排放的分担率较高, 约为 16%.

参考文献:

[1] 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.

[2] Laden F, Neas L M, Dockery D W, et al. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2000, **108**(10): 941-947.

[3] Zhang S J, Wu Y, Huang R K, et al. High-resolution simulation of link-level vehicle emissions and concentrations for air pollutants in a traffic-populated eastern Asian city [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, **16**(15): 9965-9981.

[4] 徐伟嘉, 黄建彰, 刘永红, 等. 基于 PEMS 与 COPERT 的机动车尾气排放特征分析 [J]. *环境科学与技术*, 2014, **37**(S1): 77-81.

Xu W J, Huang J Z, Liu Y H, et al. Study on the characteristics of traffic emission with PEMS and COPERT [J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **37**(S1): 77-81.

[5] 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.

Li L, Liu Y H, Deng S X, et al. Gridding emission inventory of vehicle exhaust in Foshan based on dynamic traffic flow information [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2017, **56**(2): 66-75.

[6] 黄建彰, 刘永红, 程晓梅, 等. 基于 COPERT IV 模型的机动车 PM_{2.5} 排放来源特征分析 [J]. *环境科学与技术*, 2014, **37**(1): 43-47.

Huang J Z, Liu Y H, Cheng X M, et al. Vehicle emission characteristics of PM_{2.5} with COPERT IV Model [J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **37**(1): 43-47.

- [7] 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 L, 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.
- [8] 何丽, 朱建雯, 钱翌. 乌鲁木齐市市区机动车污染物排放特征研究[J]. 环境工程, 2015, 33(5): 90-94.
He L, Zhu J W, Qian Y. Study on pollutants emission characteristics of vehicles in Urumqi[J]. Environmental Engineering, 2015, 33(5): 90-94.
- [9] 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.
Wang C. Characteristics and prediction research of automobile emissions in Shandong province based on COPERT4 model[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [10] 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, Zheng 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.
- [11] Cai H, Xie S D. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(39): 8963-8979.
- [12] Brown S G, Frankel A, Hafner H R. Source apportionment of VOCs in the Los Angeles area using positive matrix factorization[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(2): 227-237.
- [13] Franco V, Kousoulidou M, Muntean M, et al. Road vehicle emission factors development: a review[J]. Atmospheric Environment, 2013, 70: 84-97.
- [14] 杨浩明, 王惠中, 吴云波. 南京市城区车流量的观测与特征分析[J]. 环境科技, 2011, 24(S2): 98-101.
Yang H M, Wang H Z, Wu Y B. Observation and characteristics analysis of traffic flow in Nanjing[J]. Environmental Science and Technology, 2011, 24(S2): 98-101.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Liu Y H, Liao W Y, Li L, et al. Vehicle emission trends in China's Guangdong province from 1994 to 2014[J]. Science of the Total Environment, 2017, 586: 512-521.
- [23] Sun S D, Jiang W, Gao W D. Vehicle emission trends and spatial distribution in Shandong province, China, from 2000 to 2014[J]. Atmospheric Environment, 2016, 147: 190-199.
- [24] D'Angiola A, Dawidowski L E, Gómez D R, et al. On-road traffic emissions in a megacity[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(4): 483-493.
- [25] 蔡皓, 谢绍东. 中国不同排放标准机动车排放因子的确定[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 319-326.
Cai H, Xie S D. Determination of emission factors from motor vehicles under different emission standards in China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, 46(3): 319-326.
- [26] 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.
- [27] 王人洁, 王堃, 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.
- [28] 高德地图. 2015 年度中国主要城市交通分析报告[R]. 北京: 高德软件有限公司, 2015.
- [29] Yao Z L, Wu B B, Wu Y N, et al. Comparison of NO_x emissions from China III and China IV in-use diesel trucks based on on-road measurements[J]. Atmospheric Environment, 2015, 123: 1-8.
- [30] 环境保护部. 2016 年中国机动车环境管理年报[R]. 北京:

- 环境保护部, 2016.
- [31] Zhang Q, Streets D G, Carmichael G R, *et al.* Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **9**(14): 5131-5153.
- [32] 黄奕玮, 赵瑜, 杨杨, 等. 基于不同方法的省级机动车大气污染物排放清单研究——以江苏省为例[J]. *中国科技论文*, 2017, **12**(3): 346-353.
- Huang Y W, Zhao Y, Yang Y, *et al.* Study on the emission inventory of provincial vehicles based on different methods: a case of Jiangsu province[J]. *China Sciencepaper*, 2017, **12**(3): 346-353.
- [33] Huang C, Chen C H, Li L, *et al.* Emission inventory of anthropogenic air pollutants and VOC species in the Yangtze River Delta region, China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(9): 4105-4120.
- [34] Tang G Q, Chao N, Wang Y S, *et al.* Vehicular emissions in China in 2006 and 2010[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2016, **48**: 179-192.

欢迎订阅 2018 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2018 年为大 16 开本,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjks@rcees.ac.cn;网址:www.hjks.ac.cn

CONTENTS

Emission Inventory and Prediction of Non-road Machineries in the Yangtze River Delta Region, China	HUANG Cheng, AN Jing-yu, LU Jun (3965)
Vehicle Exhaust Emission Characteristics and Their Contributions in Jiangsu Province	LI Li, ZHANG Jie, ZHAO Qiu-yue, <i>et al.</i> (3976)
Historical Trends of Atmospheric Pb and Hg Emissions from Fossil Fuel Combustion in Shanghai	YANG Jing, CHEN Long, LIU Min, <i>et al.</i> (3987)
Emission Inventory of Atmospheric Pollutants and VOC Species from Crop Residue Burning in Guangdong Province	SUN Xi-bo, LIAO Cheng-hao, ZENG Wu-tao, <i>et al.</i> (3995)
Mass Concentrations and Size Distributions of Water-soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Beibei District, Chongqing	LI Yan-pei, HAO Qing-ju, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (4002)
Analysis of Seasonal Variations in Chemical Characteristics and Sources of PM _{2.5} During Summer and Winter in Ji'nan City	LIU Xiao-di, MENG Jing-jing, HOU Zhan-fang, <i>et al.</i> (4014)
PM _{2.5} Pollution Characterization and Cause Analysis of a Winter Heavy Pollution Event, Liaocheng City	ZHANG Jing-qiao, WU Ya-jun, ZHANG Meng, <i>et al.</i> (4026)
Concentrations, Sources, and Dry Deposition Fluxes of Different Forms of Phosphorus in Qingdao Aerosols in Summer	WANG Nan, MA Miao, SHI Jin-hui, <i>et al.</i> (4034)
Characteristics and Source Apportionment of Ambient Volatile Organic Compounds in Winter in Jincheng	YANG Fan, YAN Yu-long, GE Yun-fei, <i>et al.</i> (4042)
Enrichment Levels and Comprehensive Pollution Assessment of Dust Heavy Metals in Winter in Beijing	XIONG Qiu-lin, ZHAO Wen-ji, LI Da-jun, <i>et al.</i> (4051)
Characteristics of Atmospheric BTX near a Main Road in Hefei City	MENG Fan-hao, QIN Min, LIANG Shuai-xi, <i>et al.</i> (4060)
Ozone Generation Potential and Highly Contributing Substances of NMOCs from Landfill Working Face	LI Hao, LIU Yan-jun, CHEN Tan, <i>et al.</i> (4070)
Emission Characteristics of Wind-Eroded Dust from Concrete Batching Plants in Beijing	LI Bei-bei, HAN Kai-li, QIN Jian-ping, <i>et al.</i> (4078)
Seasonal Variation Characteristics of Pollution Risk in a Riverside Source Area Based on Source Apportionment	GAO Xiang, ZUO Rui, GUO Xue-ru, <i>et al.</i> (4086)
Evaluation of Effect of Urban Non-point Source Pollution Control on Porous Asphalt-Bio-retention Combined Roads	GONG Man-li, ZUO Jun-jie, REN Xin-xin, <i>et al.</i> (4096)
Composition, Spatial Distribution Characteristics and Source Analysis of Chromophoric Dissolved Organic Matter in the Lanzhou Reach of the Yellow River	 ZHAO Xia-ting, LI Shan, WANG Zhao-wei, <i>et al.</i> (4105)
Characterization of Dissolved Organic Matter Fractions in the Ning-Meng Section of the Yellow River and Relationship with Metal Ions	 XI Yue, WANG Ting, NI Jin-ren, <i>et al.</i> (4114)
Comparative Characteristics of Optical Absorption in Waters from Yiluo River and Huntai River in Spring	 LI Liu-yang, SHAO Tian-tian, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (4122)
Seasonal Variations in River Water Chemical Weathering and Its Influence Factors in the Malian River Basin	 WANG Yu-shan, HAN Shuang-bao, DENG Qi-jun, <i>et al.</i> (4132)
Characteristics and Genesis of NO ₃ Type Water in Shallow Groundwater in Lujiang Basin	 XU Jin, HE Jiang-tao, PENG Cong, <i>et al.</i> (4142)
Development and Evaluation of a Sustainable Long-release Carbon Material Applied for In-Situ Remediation of Groundwater Nitrogen Pollution	 ZHANG Wen, YIN Lin, ZHOU Nian-qing (4150)
Phosphorus Forms and Distribution Characteristics in the Sediment and Soil of the Water-Level-fluctuating Zone in the Main Stream of the Three Gorges Reservoir	 ZHANG Zhi-yong, WAN Cheng-yan, HU Hong-qing, <i>et al.</i> (4161)
Distribution Characteristics and Release Fluxes of Phosphorus Forms in Xiangxi Bay Sediments in the Three Gorges Reservoir Before and After Impoundment	 LIU Xin-yuan, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (4169)
Effect of Zirconium-modified Zeolite Addition on Phosphorus Release and Immobilization in Heavily Polluted River Sediment	 HE Si-qi, ZHANG Wei, LIN Jian-wei, <i>et al.</i> (4179)
Impact of Human Activities on Net Anthropogenic Nitrogen Inputs (NANI) at Township Scale in Erhai Lake Basin	 LI Ying, LIU Hong-bin, LEI Qiu-liang, <i>et al.</i> (4189)
Simulation of Inorganic Nitrogen Fluxes at the Sediment-water Interface in a Typical Intertidal Zone, Eastern China	 NIE Jia-qin, WANG Dong-qi, CHEN Jie, <i>et al.</i> (4199)
Effects of Aquaculture on Ammonia-oxidizing Prokaryotes in Sediments of Eastern Lake Taihu	 CHU Yu, HE Xiao-wei, ZENG Jin, <i>et al.</i> (4206)
Transformation of Ammonia in Wetland Sediments for Treatment of Mining Wastewater	 WANG Hai-bo, MA Ding, YUE Zheng-bo, <i>et al.</i> (4215)
Distribution Characteristics of Sulfonamide Antibiotic Resistance Genes in a Drinking Water Source in East China	 HU Ya-ru, JIANG Lei, ZHANG Tian-yang, <i>et al.</i> (4222)
Distribution Characteristics of Sulfonamides and Sulfamethoxazole-Resistant Bacteria in Tannery Wastewater Treatment Processes	 HUA Li, LI Lu, YANG Chun-yan (4229)
Effects of Different Substrates and Particle Sizes on Wastewater Purification	 ZHAO Lin-li, SHAO Xue-xin, WU Ming, <i>et al.</i> (4236)
Substrate Flow by Different Biochemical Activities in the Urban Sewage Network	 YAO Xiang-yi, SHI Xuan, SANG Lang-tao, <i>et al.</i> (4242)
Reducing Membrane Fouling from Micro-Flocculation in a Humic Acid Ultrafiltration Process	 WANG Xu-dong, SHI Cai-xia, LIAO Zheng-wei, <i>et al.</i> (4249)
Enhanced Degradation of Aniline by PS Oxidation in the Presence of UV and Ferric Oxalate	 HAN Dong-hui, LI Ying, LI Kai-ming, <i>et al.</i> (4257)
Behavior and Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coking Wastewater of A/O ² and A/O/H/O Processes	 WU Hai-zhen, SUN Sheng-li, LIU Guo-xin, <i>et al.</i> (4265)
Effects of Long-term Side Stream Extracton on Phosphorus Removal and Recovery Performance of EBPR System	 YU Xiao-jun, LI Jie, ZHOU Meng, <i>et al.</i> (4274)
Effect of NaCl Salinity on Extracellular Polymeric Substances and Bioflocculation of Anoxic Sludge in A ² /O Process	 ZHANG Lan-he, TIAN Rui, GUO Jing-bo, <i>et al.</i> (4281)
Effect of Temperature and pH on Nitrogen Conversion in Feammox Process	 CHEN Fang-min, JIN Run, YUAN Yan, <i>et al.</i> (4289)
Inhibitory Kinetics of Free Ammonia (FA) on Ammonia-oxidizing Bacteria (AOB)	 SUN Hong-wei, YU Xue, GAO Yu-xue, <i>et al.</i> (4294)
Effect of HRT on Nitrogen Removal Using ANAMMOX and Heterotrophic Denitrification	 AN Fang-jiao, ZHAO Zhi-chao, HUANG Li, <i>et al.</i> (4302)
Reactivation Performance of Nitrosation Flocculent Sludge After Long-term Storage	 LI Tian, WEI Fan-kai, WANG Yu-chang, <i>et al.</i> (4310)
Analysis of Characteristics and Sources of Heavy Metals in Farmland Soils in the Xijiang River Draining of Guangxi	 SONG Bo, ZHANG Yun-xia, PANG Rui, <i>et al.</i> (4317)
Soil Organic Carbon of Purple Soil as Affected by Different Application of Biochar	 LUO Mei, TIAN Dong, GAO Ming, <i>et al.</i> (4327)
Effects of Straw and Biochar Addition on Soil Carbon Balance and Ecological Benefits in a Rape-maize Rotation Planting System	 LI Jiao, TIAN Dong, HUANG Rong, <i>et al.</i> (4338)
Potential to Ensure Safe Production from Rice Fields Polluted with Heavy Cadmium by Combining a Rice Variety with Low Cadmium Accumulation, Humic Acid, and Sepiolite	 XIE Xiao-mei, FANG Zhi-ping, LIAO Min, <i>et al.</i> (4348)
Interactive Effects of Ozone and Drought on Antioxidant Enzyme Activities of Poplar Leaves	 ZHOU Hui-min, LI Pin, GAO Feng, <i>et al.</i> (4359)
Effects of Different Levels of Irrigation with Reclaimed Water on Soil Enzyme Activity and Distribution of Thermotolerant Coliforms	 HAN Yang, LI Ping, QI Xue-bin, <i>et al.</i> (4366)
Characteristics of Heavy Metals in Chicken Manure Organic Fertilizers in the Huang-Huai-Hai Region and related Environmental Risk Assessment	 LI Fa, XU Ying-ming, WANG Lin, <i>et al.</i> (4375)
Heavy Metal Content of Rural Living Solid Waste and Related Source and Distribution Analysis	 JIN Qi, GAO Hong, YUE Bo, <i>et al.</i> (4385)