

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第7期

Vol.36 No.7

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年12月中国中东部地区严重灰霾期间上海市颗粒物的输送途径及潜在源区贡献分析	李莉, 蔡蓓琳, 周敏 (2327)
长三角冬季一次霾过程气溶胶及其水溶性离子的区域分布特征	王曼婷, 朱彬, 王红磊, 薛国强, 何俊, 徐宏辉, 曹锦飞 (2337)
北京城区大气 PM _{2.5} 主要化学组分构成研究	刘保献, 杨懂艳, 张大伟, 陈添, 赵红帅, 陈圆圆, 陆皓昀 (2346)
2014年春季山东省 PM _{2.5} 跨界输送研究	贾海鹰, 程念亮, 何友江, 陈云波, 杜晓惠, 单晓丽 (2353)
燃煤电厂产生和排放的 PM _{2.5} 中水溶性离子特征	马子珍, 李振, 蒋靖坤, 叶芝祥, 邓建国, 段雷 (2361)
南京夏季城市冠层大气 CO ₂ 浓度时空分布规律的观测	高韵秋, 刘寿东, 胡凝, 王淑敏, 邓力琛, 于洲, 张圳, 李旭辉 (2367)
北京市机动车尾气排放因子研究	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 曲松 (2374)
北京不同污染地区园林植物对空气颗粒物的滞纳能力	张维康, 王兵, 牛香 (2381)
长三角地区火电行业主要大气污染物排放估算	丁青青, 魏伟, 沈群, 孙予罕 (2389)
基于区域循环模型 IAP-N 的安徽省农用地 N ₂ O 排放量估算	韩云芳, 韩圣慧, 严平 (2395)
不同源汇信息提取方法对区域 CO ₂ 源汇估算及其季节变化的影响评估	张芳, 周凌晔, 王玉诏 (2405)
实测/预测辽河铬(VI)水生生物基准与风险评估	王晓南, 闫振广, 刘征涛, 张聪, 王伟莉 (2414)
博尔塔拉河河水、表层底泥及河岸土壤重金属的污染和潜在危害评价	张兆永, 吉力力·阿不都外力, 姜逢清 (2422)
岩溶泉水化学性质及 δ ¹³ C _{DIC} 影响因素	赵瑞一, 吕现福, 刘子琦, 吕春艳 (2430)
柳江流域柳州断面水化学特征及无机碳汇通量分析	原雅琼, 何师意, 于爽, 孙平安, 王艳雪, 武招云, 李新桂, 谢明鲜, 刘文, 李瑞, 张华生 (2437)
重庆市主城区次级河流总氮总磷污染特征分析及富营养化评价	庆旭瑶, 任玉芬, 吕志强, 王效科, 庞容, 邓睿, 孟龄, 马慧雅 (2446)
三峡库区消落带土壤邻苯二甲酸二丁酯静态释放特征	王法, 王强, 木志坚, 杨志丹, 宋娇艳 (2453)
干湿循环对三峡支流消落带沉积物中可转化态氮及其形态分布的影响	林俊杰, 张帅, 杨振宇, 何立平, 周依, 张倩茹 (2459)
天山天池夏季叶绿素 a 的分布及富营养化特征研究	王斌, 马健, 王银亚, 尹湘江 (2465)
西大海湖沉积物营养盐垂直分布特征变化分析	段木春, 肖海丰, 臧淑英 (2472)
草街水库蓄水后嘉陵江浮游植物群落特征及水质评价	杨敏, 张晟, 刘朔孺 (2480)
宁波三江口水域原核生物群落结构分析	胡安谊, 李姜维, 杨晓永, 王弘杰, 于昌平 (2487)
全氟化合物对表层沉积物中细菌群落结构的影响	孙雅君, 王铁宇, 彭霞薇, 王佩 (2496)
菹草腐解-金鱼藻生长耦合作用对水质及植物生长的影响	马月, 王国祥, 曹勤, 王小云, 马杰 (2504)
生物滞留设施对城市地表径流低浓度磷吸附基质研究	李立青, 龚燕芳, 颜子钦, 单保庆 (2511)
复合填料生物渗滤系统处理城市雨水径流的研究	王晓璐, 左剑恶, 千里里, 邢薇, 缪恒峰, 阮文权 (2518)
3种典型消毒副产物对细菌抗生素抗性的影响	吕露, 张梦露, 王春明, 林惠荣, 于鑫 (2525)
基于透射光法探讨水流流速对 DNAPL 运移分布的影响	高燕维, 郑菲, 施小清, 孙媛媛, 徐红霞, 吴吉春 (2532)
BDD 和 PbO ₂ 电极电化学氧化苯并三氮唑的对比研究	伍娟丽, 张佳维, 王婷, 倪晋仁 (2540)
开放系统下方解石对邻苯二甲酸的吸附	李振炫, 黄利东, 陈艳芳, 缪晔, 刘大刚, 许正文 (2547)
碳纳米管-羟磷灰石对铅的吸附特性研究	张金利, 李宇 (2554)
刚果红分子印迹聚合物纳米微球的合成及吸附性能	常自强, 陈复彬, 张玉, 时作龙, 杨春艳, 章竹君 (2564)
碱热-酸热法合成二氧化钛-钛酸纳米管复合纳米材料对 Cd(II) 和苯酚的同步去除	雷立, 晋银佳, 王婷, 赵泉, 晏友, 刘文 (2573)
固定化菌剂对污水和牛粪中雌二醇和己烯雌酚的去除作用	李欣, 凌婉婷, 刘静娴, 孙敏霞, 高彦征, 刘娟 (2581)
PN-ANAMMOX 一体化反应器处理电子行业 PCB 废水	袁琬, 李祥, 周呈, 陈宗姮 (2591)
Fenton 氧化深度处理石化废水厂二级出水研究	王翼, 吴昌永, 周岳溪, 张雪, 董波, 陈学民 (2597)
制革废水和印染废水的综合毒性评估及鉴别	黄利, 陈文艳, 万玉山, 郑国娟, 赵远, 蔡强 (2604)
不同溶解氧条件下 A/O 系统的除碳脱氮效果和细菌群落结构变化	陈燕, 刘国华, 范强, 汪俊妍, 齐鲁, 王洪臣 (2610)
利用主要缺氧段 ORP 作为连续流单污泥污水脱氮除磷系统调控参数	王晓玲, 宋铁红, 殷宝勇, 李静文, 李紫棋, 余勇 (2617)
连续流态下以实际低基质生活污水培养好氧颗粒污泥及其脱氮性能	姚力, 信欣, 鲁航, 朱辽东, 谢思建 (2626)
广东清远电子垃圾拆解区农田土壤重金属污染评价	张金莲, 丁疆峰, 卢桂宇, 党志, 易筱筠 (2633)
山东省临沂市土壤有机氯农药滴滴涕残留量与空间分布特征	喻超, 王增辉, 王红晋, 代杰瑞, 庞绪贵, 赵西强, 刘华峰 (2641)
金华市萤石矿区土壤氟污染评价	叶群峰, 周小玲 (2648)
土壤碳收支对秸秆与秸秆生物炭还田的响应及其机制	侯亚红, 王磊, 付小花, 乐毅全 (2655)
黄土区果园和刺槐林生态系统土壤有机碳变化及影响因素	李如剑, 王蕊, 李娜娜, 姜继韶, 张彦军, 王志齐, 刘庆芳, 吴得峰, 郭胜利 (2662)
缙云山土地利用方式对土壤轻组及颗粒态有机碳氮的影响	雷利国, 江长胜, 郝庆菊 (2669)
塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析	朱美玲, 贡璐, 张龙龙 (2678)
不同部位玉米秸秆对两种质地黑土 CO ₂ 排放和微生物量的影响	刘四义, 梁爱珍, 杨学明, 张晓平, 贾淑霞, 陈学文, 张士秀, 孙冰洁, 陈升龙 (2686)
1株对叔丁基邻苯二酚降解菌的筛选鉴定及响应面法优化其降解	贺强礼, 刘文斌, 杨海君, 彭晓霞, 关向杰, 黄水娥 (2695)
耐高浓度沼液产油小球藻的分离鉴定与特征分析	杨圆, 王文国, 马丹炜, 汤晓玉, 胡启春 (2707)
水介质中 C ₆₀ 纳米晶体颗粒与 Cu ²⁺ 对小鼠腹腔巨噬细胞的复合毒性研究	于叶, 卞为林, 张慧敏, 张波, 何义亮 (2713)
地表水体中同时分析 18 种糖皮质激素方法的建立	郭文景, 常红, 孙德智, 吴丰昌, 杨浩 (2719)
《环境科学》征订启事 (2553) 《环境科学》征稿简则 (2640) 信息 (2546, 2609, 2616, 2647)	

北京市机动车尾气排放因子研究

樊守彬^{1,2}, 田灵娣^{1,3*}, 张东旭^{1,2}, 曲松^{1,2}

(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; 3. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048)

摘要: 通过调研北京市机动车车型构成、车辆行驶工况、环境温度、油品品质等基础数据, 利用 COPERT IV 模型计算了机动车尾气中 CO、NO_x、HC 和 PM 的排放因子. 应用车载测试系统对典型轻型汽油客车和柴油货车的实际道路排放因子进行测量, 并将测量结果与模型计算结果对比, 结果发现国 IV 标准下, 轻型汽油客车的 CO 排放因子的实测数据是模型数据的 0.96 倍, NO_x 的实测数据是模型数据的 0.64 倍, HC 的实测数据是模型数据的 4.89 倍. 对于国 III 排放标准的柴油货车, 轻型、中型和重型货车的 CO 排放因子, 实测数据分别是模型数据的 1.61、1.07 和 1.76 倍, NO_x 排放因子的实测数据是模型数据的 1.04、1.21 和 1.18 倍, HC 排放因子的实测数据是模型数据的 3.75、1.84 和 1.47 倍, PM 排放因子则为模型数据是实测数据的 1.31、3.42 和 6.42 倍.

关键词: 机动车尾气; 排放因子; COPERT 模型; 车载测试系统; 北京

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)07-2374-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.07.007

Emission Factors of Vehicle Exhaust in Beijing

FAN Shou-bin^{1,2}, TIAN Ling-di^{1,3*}, ZHANG Dong-xu^{1,2}, QU Song^{1,2}

(1. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. National Engineering Research Center of Urban Environmental Pollution Control, Beijing 100037, China; 3. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: Based on the investigation of basic data such as vehicle type composition, driving conditions, ambient temperature and oil quality, etc., emission factors of vehicle exhaust pollutants including carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), hydrocarbons (HC) and particulate matter (PM) were calculated using COPERT IV model. Emission factors of typical gasoline passenger cars and diesel trucks were measured using on-board measurement system on actual road. The measured and modeled emission factors were compared and the results showed that: the measured emission factors of CO, NO_x and HC were 0.96, 0.64 and 4.89 times of the modeled data for passenger cars conforming to the national IV emission standard. For the light, medium and heavy diesel trucks conforming to the national III emission standard, the measured data of CO emission factors were 1.61, 1.07 and 1.76 times of the modeled data, respectively, the measured data of NO_x emission factors were 1.04, 1.21 and 1.18 times of the modeled data, and the measured data of HC emission factors were 3.75, 1.84 and 1.47 times of the modeled data, while the model data of PM emission factors were 1.31, 3.42 and 6.42 times of the measured data, respectively.

Key words: vehicle exhaust; emission factor; COPERT model; on-board measurement system; Beijing

近年来,北京市经济快速发展,居民生活水平不断提高,能源消耗持续增加,机动车保有量急剧增长. 1997 年北京市机动车保有量为 100 万辆,2003 年突破 200 万辆,2012 年已经超过 514 万辆. 机动车排放已成为北京城市地区大气细颗粒物和超细颗粒物的主要排放源^[1], Sun 等^[2]对北京冬季的颗粒物采样和化学成分分析结果表明机动车排放是 PM_{2.5} 的重要来源之一,程水源等^[3]的研究得到类似的结论,发现北京采暖期 PM_{2.5} 中 OC 和 EC 的相关系数较高,且主要来源于机动车尾气和燃煤排放,其中机动车尾气排放的贡献率达 44.70%. Cheng 等^[4]通过监测-模拟-源解析的方法研究发现,机动车尾气排放对北京市大气 PM_{2.5} 的贡献率为 22.5% ± 3.5%,道路交通扬尘的贡献率为 4.9% ± 1.3%.

Liu 等^[5]通过监测和因子分析法对北京夏季细粒子数浓度的来源进行分析,发现机动车排放和燃烧贡献分别达到 47.9% 和 29.7%,是颗粒物数浓度的主要来源.

在机动车尾气排放因子研究方面,谢绍东等^[6]通过比较 COPERT III 模式、MOBILE 模式和台架测试得到的排放因子发现, COPERT III 模型计算获得的排放因子更接近中国机动车实际排放情况,并估算了中国机动车排放清单^[7-9]. COPERT 模式在中

收稿日期: 2014-12-15; 修订日期: 2015-03-02

基金项目: 北京市科技计划项目 (Z131100005613046); 北京市环境保护科学研究院科技基金项目 (2013-B-04); 国家科技支撑计划项目 (2013BAC17B01)

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

* 通讯联系人, E-mail: tianlingdi@163.com

国得到了较为广泛的应用,分别用于估算常规污染物^[11]、有毒有害污染物^[12]和温室气体^[13]的排放因子。张清宇等^[14]利用适应性调整后的 IVE 模型及改进的 LEAP 模型,结合机动车燃油经济性,建立了研究区域 2004 ~ 2030 年机动车 CO、VOCs、NO_x、PM₁₀ 和 CO₂ 的动态排放因子。王芬娟等^[15]在丹麦哥本哈根市高速公路和城区分别设立了交通站点和背景站点,经过长期观测计算得到交通源排放的贡献率,并结合机动车数据估算了颗粒物数浓度排放因子。台架测试是传统的测试排放因子的方法,并且也用于非常规污染物排放因子的测试,高爽等^[16]采用底盘测功机对国内现有不同品牌轻型汽车进行台架实验,测试了轻型汽油车尾气中 VOCs 的排放特征和排放因子。Alves 等^[17]在道路隧道中测试了分粒径颗粒物和气态污染物的排放因子,测试结果在欧盟排放清单导则提供的的数据范围内。Smit 等^[18]通过对比发现实际道路遥感测试数据高于实验室测试数据,认为实验室测试并不能完全捕捉到高排放车辆,并建议根据实测数据校正后的排放因子建立排放清单。近年来,基于车载测试系统进行了较多的研究,相关报道主要是针对特定车型或特定污染物的实际道路排放特征进行测试^[19~22],车载测试系统的应用已成为排放因子测试、实际道路排放特征、替代燃料车排放测试以及验证排放模型的重要手段^[23]。

本研究应用 COPERT 模型计算并结合车载测试系统实测试验验证的方法,基于北京市车辆构成特征、燃料特征和车辆运行的实际参数,分析了北京市机动车尾气排放因子,以期对排放清单建立和控制方案制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 模型介绍

COPERT 模型起源于欧洲委员会(EC)开展的机动车排放因子研究,经多年完善形成了目前的可以由计算机程序实现的 COPERT IV 模型。COPERT 模型采用了大量可靠的实验数据,能够兼容不同国家标准和参数变量,被欧洲许多国家广泛应用^[24]。由于中国机动车排放标准采用欧洲体系,运用该模型计算排放因子会更适合中国机动车的实际情况。应用 COPERT IV 模型进行排放因子计算之前,必须进行模型参数输入,输入的主要参数包括车辆组成、排放标准等级、行驶速度、气候参数(温度)、燃料参数等。

1.2 本地化参数调查统计

1.2.1 车辆构成情况

本研究统计了 2013 年北京市分车型、分排放标准等级、分燃料类型的机动车保有量,从车型构成分析,载客汽车、载货汽车、摩托车和低速载货汽车的比例分别为 91.7%、5.8%、2.1% 和 0.4%。模型中机动车保有量需要考虑车辆的排放标准,本研究根据车辆的登记注册年份和北京市不同车型执行标准的实施日期进行分类,统计出各类车型中符合相应标准的机动车保有量,国 I 及以下、国 II、国 III、国 IV 和国 V 机动车的比例分别为 12%、11%、15%、52% 和 10%。从车辆的燃油类型分析发现,汽油车约占 94.8%,柴油车约占 5.0%,其他约占 0.2%。

1.2.2 路网车速数据分析

通过整理 2013 年北京市交通数据得到北京市路网的平均车速日变化趋势,见图 1。可以看到全天车速变化呈“双谷”变化,在上下班高峰期,由于道路上车流量增加导致车速降低,在 08:00 和 18:00 左右路网车速达到最低,约为 21 ~ 22 km·h⁻¹,夜间 00:00 ~ 06:00 车速最高,约为 45 ~ 55 km·h⁻¹。

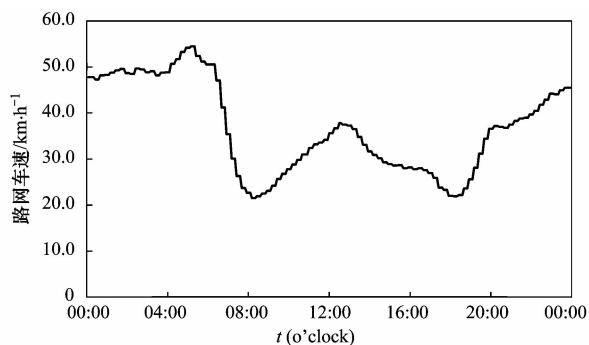


图 1 路网平均车速

Fig. 1 Average speed of the road network

1.2.3 燃油及气象数据

机动车使用的汽油含硫量和蒸气压会对车辆排放的 SO₂ 和 VOCs 产生显著影响。根据北京市目前执行的车用汽油标准和车用柴油标准规定的燃料含硫量和蒸气压水平,汽油和柴油的含硫量限值均为 0.001%,汽油的蒸气压限值 11 月 1 日至 4 月 30 日为 45 ~ 85 kPa,5 月 1 日至 10 月 31 日为 42 ~ 65 kPa^[25,26]。

温度包括月最低气温和月最高气温,本研究使用 2012 年北京市各月的最高气温和最低气温的平均值,数据来源为北京市统计年鉴。此外,气温参数与平均行驶里程会影响到不同车型的冷启动排放因

子以及冷启动行驶比例^[23]. 模型中其他参数平均行程长度、负载和坡度等按模型默认值计算.

1.2.4 车载测试系统

应用 SEMTECH-D 车载排放测试仪对车辆在实际道路上的气态污染物(CO、NO_x 和 HC)排放进行测试,利用低压电子冲击器(ELPI)实时监测 PM 排放浓度,车辆的行驶速度及位置采用 GPS 测量. 测试车辆共 12 辆,包括 3 辆国Ⅳ排放标准的轻型载客汽车,燃油为北京市售汽油,国Ⅲ排放标准的轻型、中型和重型载货汽车各 3 辆,燃油为北京市售柴油. 轻型载客汽车的测试行驶路线涵盖了城区环路(快速路)、主干道、次干道和支路,测试时间涵盖车流量的高峰时段和非高峰时段. 载货汽车的测试线路选择在北京五环路外,测试行驶线路涵盖国道、省道和县道.

2 结果与讨论

2.1 载客汽车主要污染物排放因子

将北京实际参数输入 COPERT IV 模型中,计算北京机动车在城市路况下的污染物排放因子,表 1 为不同排放标准下载客汽车的排放因子. 从中可以看出,对于不同排放类型的载客汽车,国Ⅰ排放标准下 CO、NO_x、HC 等主要污染物的排放因子比国 0 排放标准有明显降低.

对于汽油车而言,CO 和 HC 的排放随着排放标准逐渐提高到国Ⅳ,相对国Ⅰ呈逐渐降低的趋势,但国Ⅴ和国Ⅵ排放标准的车辆与国Ⅳ对比排放因子没有下降; NO_x 的排放随着排放标准从国Ⅰ到国Ⅴ也呈现逐渐降低的趋势,国Ⅵ与国Ⅴ相比排放因子没有降低; PM 的排放因子从国Ⅲ排放标准开始降低到 0.001 g·(km·veh)⁻¹,并一直维持在相同的水平.

对于柴油车而言,CO 排放因子从国Ⅰ到国Ⅲ逐渐下降,国Ⅳ略有升高,国Ⅴ和国Ⅵ排放因子相同; NO_x 排放因子变化相对较复杂,但国 0 到国Ⅴ的变化幅度不大,直到国Ⅵ排放标准才有显著的降低; HC 排放因子从国 0 到国Ⅳ逐渐降低,国Ⅴ和国Ⅵ排放因子相同; PM 的排放因子从国 0 到国Ⅴ逐渐降低,国Ⅵ与国Ⅴ排放因子相同,并且国Ⅴ和国Ⅵ的 PM 排放水平已接近汽油车.

对于 LPG 和 CNG 车辆而言,其各项污染物的排放因子与汽油车差别不大,混合动力汽油载客汽车的 CO、NO_x、HC 和 PM 排放因子明显低于国Ⅵ排放标准的汽油车和柴油车.

表 1 轻型载客汽车尾气排放因子/g·(km·veh) ⁻¹					
Table 1 Exhaust emission factors of passenger cars/g·(km·veh) ⁻¹					
燃油类型及排量	技术标准	CO	NO _x	HC	PM
汽油 0.8~1.4 L	国 0	11.472	0.924	1.441	0.003
	国Ⅰ	2.940	0.362	0.300	0.003
	国Ⅱ	1.043	0.219	0.131	0.003
	国Ⅲ	0.493	0.085	0.023	0.001
	国Ⅳ	0.160	0.078	0.011	0.001
	国Ⅴ	0.160	0.058	0.011	0.001
汽油 1.4~2.0 L	国Ⅵ	0.160	0.058	0.011	0.001
	国 0	5.655	0.782	0.528	0.003
	国Ⅰ	2.940	0.362	0.300	0.003
	国Ⅱ	1.043	0.219	0.131	0.003
	国Ⅲ	0.493	0.085	0.023	0.001
	国Ⅳ	0.160	0.078	0.011	0.001
汽油 >2.0 L	国Ⅴ	0.160	0.058	0.011	0.001
	国Ⅵ	0.160	0.058	0.011	0.001
	国Ⅰ	2.940	0.362	0.300	0.003
	国Ⅱ	1.043	0.219	0.131	0.003
	国Ⅲ	0.493	0.085	0.023	0.001
	国Ⅳ	0.160	0.078	0.011	0.001
柴油 <1.4 L	国Ⅴ	0.160	0.058	0.011	0.001
	国Ⅵ	0.160	0.058	0.011	0.001
	国Ⅳ	0.182	0.764	0.024	0.036
柴油 1.4~2.0 L	国Ⅴ	0.182	0.940	0.024	0.002
	国Ⅵ	0.182	0.329	0.024	0.002
	国 0	0.969	0.678	0.278	0.301
	国Ⅰ	0.663	0.867	0.084	0.076
	国Ⅱ	0.587	0.949	0.059	0.062
	国Ⅲ	0.170	0.904	0.031	0.037
柴油 >2.0 L	国Ⅳ	0.182	0.764	0.024	0.036
	国Ⅴ	0.182	0.940	0.024	0.002
	国Ⅵ	0.182	0.329	0.024	0.002
	国 0	0.969	1.024	0.278	0.301
	国Ⅰ	0.663	0.867	0.115	0.076
	国Ⅱ	0.587	0.949	0.164	0.062
LPG	国Ⅲ	0.170	0.904	0.061	0.037
	国Ⅳ	0.182	0.764	0.024	0.036
	国Ⅴ	0.182	0.940	0.024	0.002
	国Ⅵ	0.182	0.329	0.024	0.002
	国 0	5.723	1.808	1.970	0.003
	国Ⅰ	2.320	0.418	0.451	0.003
CNG	国Ⅱ	1.577	0.150	0.108	0.003
	国Ⅲ	0.493	0.085	0.023	0.001
	国Ⅳ	0.160	0.078	0.011	0.001
	国Ⅴ	0.160	0.058	0.011	0.001
	国Ⅵ	0.160	0.058	0.011	0.001
	国Ⅳ	0.160	0.078	0.047	0.001
混合动力汽油车	国Ⅴ	0.160	0.058	0.047	0.001
	国Ⅵ	0.160	0.058	0.047	0.001
	国Ⅳ	0.100	0.002	0.001	0
混合动力汽油车 <1.4 L	国Ⅳ	0.100	0.002	0.001	0
混合动力汽油车 1.4~2.0 L	国Ⅳ	0.100	0.002	0.001	0
混合动力汽油车 >2.0 L	国Ⅳ	0.100	0.002	0.001	0

2.2 载货汽车及公交车主要污染物排放因子

载货汽车主要以柴油车为主,轻型载货汽车也包括一小部分的汽油车,不同排放标准不同类型车辆的排放因子见表 2,可以看出随着排放标准的提

表 2 载货汽车尾气排放因子/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{veh})^{-1}$					
Table 2 Exhaust emission factors of trucks/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{veh})^{-1}$					
燃油及车重	排放标准	CO	NO _x	HC	PM
汽油 <3.5 t	国 0	31.941	2.313	3.404	0.003
	国 I	10.177	0.516	0.360	0.003
	国 II	6.208	0.176	0.806	0.003
	国 III	5.292	0.108	0.050	0.001
	国 IV	2.850	0.052	0.022	0.001
	国 V	2.850	0.036	0.022	0.001
柴油 <3.5 t	国 VI	2.850	0.036	0.022	0.001
	国 0	1.396	3.072	0.166	0.281
	国 I	0.645	1.485	0.166	0.114
	国 II	0.645	1.485	0.166	0.114
	国 III	0.529	1.247	0.103	0.076
	国 IV	0.419	1.010	0.038	0.040
铰链 14 ~ 20 t	国 V	0.419	0.728	0.038	0.002
	国 VI	0.419	0.327	0.038	0.002
	国 0	5.041	14.634	2.154	0.700
	国 I	2.339	8.959	0.858	0.445
	国 II	1.835	9.822	0.580	0.185
	国 III	2.458	8.309	0.549	0.220
铰链 20 ~ 28 t	国 IV	1.158	5.251	0.067	0.043
	国 V	1.911	7.213	0.041	0.050
	国 VI	1.219	1.272	0.034	0.004
	国 0	3.868	16.314	1.224	0.716
	国 I	3.072	11.920	1.060	0.563
	国 II	2.442	12.759	0.715	0.249
铰链 28 ~ 34 t	国 III	3.234	10.589	0.680	0.289
	国 IV	1.458	6.851	0.087	0.057
	国 V	2.463	8.973	0.052	0.067
	国 VI	1.525	1.374	0.043	0.006
	国 0	4.071	17.34	1.203	0.768
	国 I	3.302	12.591	1.060	0.616
铰链 34 ~ 40 t	国 II	2.580	13.408	0.714	0.266
	国 III	3.365	11.113	0.672	0.292
	国 IV	1.497	7.249	0.090	0.060
	国 V	2.664	9.040	0.054	0.071
	国 VI	1.555	1.239	0.043	0.006
	国 0	4.769	20.15	1.461	0.887
铰链 40 ~ 50 t	国 I	3.869	14.454	1.289	0.741
	国 II	2.999	15.679	0.861	0.323
	国 III	3.997	12.834	0.806	0.346
	国 IV	1.711	8.336	0.111	0.070
	国 V	3.015	10.420	0.066	0.085
	国 VI	1.804	1.389	0.054	0.007
铰链 50 ~ 60 t	国 0	5.136	22.481	1.501	0.982
	国 I	4.372	15.940	1.340	0.825
	国 II	3.665	17.253	0.891	0.362
	国 III	4.388	14.103	0.829	0.364
	国 IV	1.821	9.489	0.118	0.077
	国 V	3.284	10.809	0.071	0.093
	国 VI	1.904	1.256	0.057	0.008
	国 0	6.091	27.454	1.665	1.147
	国 I	5.407	19.291	1.515	0.967
	国 II	4.447	20.657	0.998	0.440
	国 III	5.279	16.860	0.922	0.451
	国 IV	2.113	11.398	0.137	0.090
	国 V	3.874	11.941	0.083	0.110
	国 VI	2.202	1.230	0.067	0.009

高,排放因子总体上呈下降趋势.

对于汽油燃料的轻型载货汽车而言,其排放因子随排放标准的变化规律与汽油燃料的轻型载客汽车类似,但是 CO 的排放因子大于载客汽车,NO_x 排放因子除国 0 和国 I 外小于载客汽车,HC 排放因子大于载客汽车,PM 排放因子与载客汽车相同.

对于柴油燃料的轻型载货汽车而言,其排放因子随排放标准的变化规律与汽油燃料的轻型载客汽车类似,但是载货车的排放因子普遍大于或等于载客车.

对于中型和重型载货汽车,主要以柴油车为主,随着排放标准的提高排放因子总体上呈下降趋势.对于重型柴油货车,国 III 车辆的 CO 和 PM 的排放因子比国 II 有小幅度的升高,国 V 车辆的 CO、NO_x 和 PM 排放因子比国 IV 有小幅度的升高,国 VI 车 NO_x 排放因子比国 V 有显著下降,其它污染物的下降幅度不明显.

北京市公交车主要以柴油车为主,另外还包括一部分 CNG 车辆和纯电动公交车,不同排放标准不同类型车辆的排放因子见表 3,可以看出不同排放标准的标准型公交车排放因子变化趋势与重型柴油货车一致.对于 CNG 公交车,与国三柴油公交车相比,国三 CNG 公交车的 PM、CO 和 NO_x 的排放因子分别削减了 96%、67% 和 11%,EEV 天然气公交车的 PM、CO 和 NO_x 的排放因子分别比国四柴油公交车削减了 80%、33% 和 40%,CNG 公交车的 HC 要明显高于同类控制水平的柴油公交车.

表 3 公交车尾气排放因子/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{veh})^{-1}$					
Table 3 Exhaust emission factors of buses/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{veh})^{-1}$					
燃油及车重	排放标准	CO	NO _x	HC	PM
标准型公交车 15 ~ 18 t	国 0	6.519	18.403	2.404	0.934
	国 I	2.903	11.369	0.940	0.485
	国 II	2.702	12.452	0.650	0.225
	国 III	3.019	11.284	0.606	0.225
	国 IV	1.434	6.773	0.079	0.055
	国 V	2.847	8.149	0.046	0.060
CNG 公交车	国 VI	1.491	0.800	0.037	0.006
	国 I	8.400	16.500	7.000	0.020
	国 II	2.700	15.000	4.700	0.010
	国 III	1.000	10.000	1.300	0.010
	EEV	0.996	4.088	1.012	0.011

2.3 摩托车主要污染物排放因子

摩托车在北京机动车中的比例较低,不同排放标准时不同排气量摩托车的污染物排放因子见表 4.从中可以看出,国 0 标准下四冲程摩托车 CO 排放因子比二冲程摩托车明显高,但是国 II 和国 III 排

放标准下,四冲程摩托车的 CO 排放因子低于二冲程摩托车,HC 和 PM 排放因子也低于二冲程摩托车,NO_x 排放因子则高于二冲程摩托车.

表 4 摩托车尾气排放因子/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{veh})^{-1}$					
Table 4 Exhaust emission factors of motorcycles/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{veh})^{-1}$					
冲程及排量	排放标准	CO	NO _x	HC	PM
二冲程 >50 cm ³	国 0	18.750	0.022	14.510	0.200
	国 I	12.370	0.039	4.625	0.080
	国 II	9.786	0.042	2.457	0.040
	国 III	5.400	0.018	1.531	0.012
四冲程 <250 cm ³	国 0	20.592	0.236	2.298	0.020
	国 I	12.740	0.248	1.671	0.020
	国 II	4.894	0.230	0.636	0.005
	国 III	2.700	0.218	0.398	0.005
四冲程 250 ~ 750 cm ³	国 0	30.353	0.246	3.898	0.020
	国 I	13.647	0.226	2.074	0.020
	国 II	4.294	0.096	0.899	0.005
	国 III	2.342	0.048	0.560	0.005
四冲程 >750 cm ³	国 0	30.353	0.135	4.055	0.020
	国 I	13.647	0.165	2.055	0.020
	国 II	4.249	0.146	0.755	0.005
	国 III	2.342	0.077	0.467	0.005

3 车载测试系统排放因子实测

车载尾气检测技术的出现和发展为机动车尾气的相关研究提供了一种较为准确、便捷、能实时反映城市路网排放的测试方法,在尾气排放特性和规律研究、机动车尾气排放数据库和城市路网排放清单建立等领域得到了广泛的应用. 本研究对国Ⅳ排放标准的轻型载客汽车的排放因子进行车载法尾气排放测试,将实测数据与模型所得的数据进行对比,结果如图 2 所示,从中可以看出国Ⅳ标准下两种方法得到的 CO、NO_x 和 HC 排放因子非常接近,尤其是 CO 的排放实测数据是模型数据的 0.96 倍,NO_x 的实测数据是模型数据的 0.64 倍,HC 的实测数据是模型数据的 4.89 倍.

本研究对国Ⅲ排放标准下的轻型、中型和重型柴油载货汽车进行测试,测试的载货汽车按承载吨位分为轻型、中型和重型这 3 种,轻型卡车总质量为 1.8 ~ 6 t,中型卡车总质量是 6 ~ 14 t,重型卡车总质量为 14 ~ 100 t,超重型卡车总质量 100 t 以上. 车载法实测获得相应的 CO、NO_x、HC 和 PM 的排放因子,测试车辆的 CO、NO_x 和 HC 的排放因子实测数据普遍都比模型所测的数据要高,而 PM 的数据是模型数据高于实测数据,见图 3. 轻型、中型和重型载货汽车的 CO 排放因子实测数据分别是模型数据的 1.61、1.07 和 1.76 倍,NO_x 实测数据是模型数

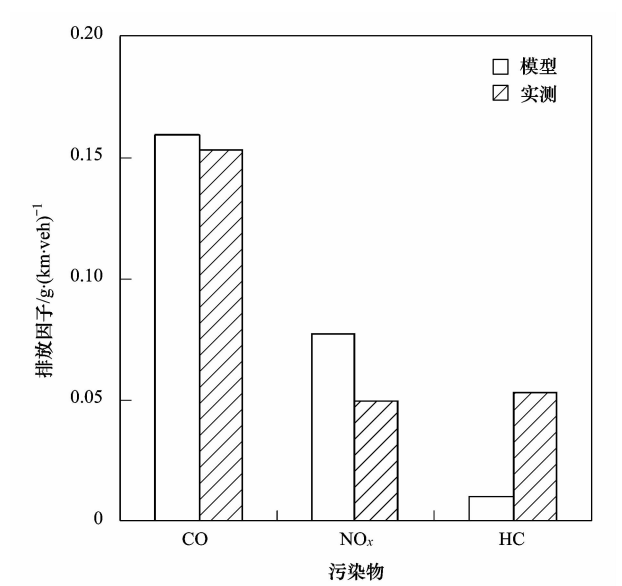


图 2 轻型汽油客车实测和模型排放因子对比
Fig. 2 Comparison of measured and simulated emission factor from passenger cars

据的 1.04、1.21 和 1.18 倍,HC 实测数据是模型数据的 3.75、1.84 和 1.47 倍,PM 则为模型数据是实测数据的 1.31、3.42 和 6.42 倍.

4 结论

(1) 本研究利用 COPERT IV 模型计算得到包括轻型载客汽车、载货汽车、公交车和摩托车等不同车型,在实施国 0、国 I、国 II、国 III、国 IV、国 V 和国 VI 等不同阶段机动车排放标准情况下,在北京实际参数下的 CO、NO_x、HC 和 PM 的排放因子. 结果表明,随着排放标准的提高,各车型的污染物排放因子出现明显下降,但从国 V 提升到国 VI 排放标准,汽油车排放因子没有下降,柴油车的 NO_x 排放因子下降明显,其他污染物下降幅度较小.

(2) 车载测试方法对国Ⅳ排放标准的轻型载客汽车和国Ⅲ排放标准的轻型、中型和重型载货汽车的排放因子进行了实际道路测试,轻型汽油载客汽车的 CO 排放因子的实测数据是模型数据的 0.96 倍,NO_x 的实测数据是模型数据的 0.64 倍,HC 的实测数据是模型数据的 4.89 倍. 轻型、中型和重型货车的 CO 排放因子,实测数据分别是模型数据的 1.61、1.07 和 1.76 倍,NO_x 排放因子的实测数据是模型数据的 1.04、1.21 和 1.18 倍,HC 排放因子的实测数据是模型数据的 3.75、1.84 和 1.47 倍,PM 排放因子则为模型数据是实测数据的 1.31、3.42 和 6.42 倍.

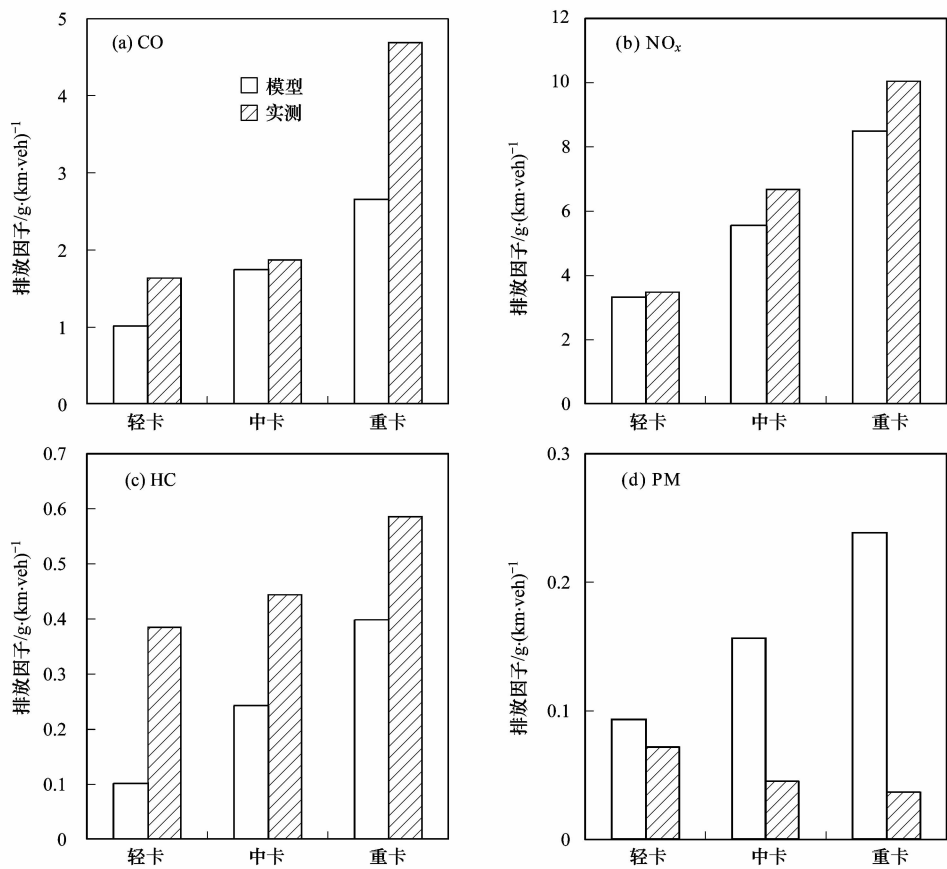


图3 柴油卡车实测和模型排放因子对比

Fig. 3 Comparison of measured and simulated emission factor from diesel trucks

(3)实测排放因子与模拟结果相近,但是不同车型和不同污染物的排放因子实测值和模拟值没有明确的大小关系,模拟结果可以自上而下宏观估算机动车尾气排放量,在通过自下而上的方法建立实际道路机动车尾气排放清单时,建议采用实测数据对主要车型的排放因子进行实测并对模拟结果进行修正.

参考文献:

[1] Tan J H, Duan J C, Chai F H, *et al.* Source apportionment of size segregated fine/ultrafine particle by PMF in Beijing [J]. Atmospheric Research, 2014, **139**: 90-100.

[2] Sun K, Qu Y, Wu Q, *et al.* Chemical characteristics of size-resolved aerosols in winter in Beijing [J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, **26**(8): 1641-1650.

[3] 程水源,刘超,韩力慧,等.北京市采暖期PM_{2.5}中有机碳和元素碳的污染特征与来源解析[J].北京工业大学学报,2014, **40**(4): 586-591.

[4] Cheng S, Lang J, Zhou Y, *et al.* A new monitoring-simulation-source apportionment approach for investigating the vehicular emission contribution to the PM_{2.5} pollution in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2013, **79**(7): 308-316.

[5] Liu Z R, Hu B, Liu Q, *et al.* Source apportionment of urban

fine particle number concentration during summertime in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2014, **96**: 359-369.

[6] 谢绍东,宋翔宇,申新华.应用COPERTⅢ模型计算中国机动车排放因子[J].环境科学,2006, **27**(3): 415-419.

[7] 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.

[8] Cai H, Xie S D. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005 [J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(39): 8963-8979.

[9] Lang J L, Cheng S Y, Zhou Y, *et al.* Air pollutant emissions from on-road vehicles in China, 1999-2011 [J]. Science of the Total Environment, 2014, **496**: 1-10.

[10] Lang J L, Cheng S Y, Wei W, *et al.* A study on the trends of vehicular emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region, China [J]. Atmospheric Environment, 2012, **62**: 605-614.

[11] 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.

[12] 黄志辉,汤大钢.中国机动车有毒有害空气污染物排放估算[J].环境科学研究,2008, **21**(6): 166-170.

[13] 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.

[14] 张清宇,魏玉梅,田伟利.机动车排放控制标准对污染物排放因子的影响[J].环境科学研究,2010, **23**(5): 606-612.

[15] 王芬娟,方栋,Matthias K.机动车颗粒物数排放因子和特征

[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012, **48**(6): 1023-1029.

[16] 高爽, 金亮茂, 史建武, 等. 轻型汽油车 VOCs 排放特征和排放因子台架测试研究[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(3): 397-405.

[17] Alves C A, Gomes J, Nunes T, *et al.* Size-segregated particulate matter and gaseous emissions from motor vehicles in a road tunnel [J]. Atmospheric Research, 2015, **153**: 134-144.

[18] Smit R, Bluett J. A new method to compare vehicle emissions measured by remote sensing and laboratory testing: High-emitters and potential implications for emission inventories[J]. Science of the Total Environment, 2011, **409**(13): 2626-2634.

[19] Yao Z L, Wu B B, Shen X B, *et al.* On-road emission characteristics of VOCs from rural vehicles and their ozone formation potential in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2015, **105**: 91-96.

[20] Shen X B, Yao Z L, Huo H, *et al.* PM_{2.5} emissions from light-duty gasoline vehicles in Beijing, China[J]. Science of the Total Environment, 2014, **487**: 521-527.

[21] Huo H, Yao Z L, Zhang Y Z, *et al.* On-board measurements of emissions from light-duty gasoline vehicles in three mega-cities of China[J]. Atmospheric Environment, 2012, **49**: 371-377.

[22] 樊守彬, 李钢, 田刚, 等. 国 IV 柴油公交车在实际道路上的排放特征[J]. 北京工业大学学报, 2012, **38**(10): 1565-1569.

[23] Franco V, Kousoulidou M, Muntean M, *et al.* Road vehicle emission factors development: A review [J]. Atmospheric Environment, 2013, **70**: 84-97.

[24] Gkatzoflias D, Kouridis C, Ntziachristos L, *et al.* COPERT 4, computer programme to calculate emissions from road transport-methodology and emission factors[R]. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency, 2007. 5-20.

[25] DB 11/238-2012, 北京市地方车用汽油标准[S].

[26] DB 11/239-2012, 北京市地方车用柴油标准[S].

CONTENTS

Potential Source Contribution Analysis of the Particulate Matters in Shanghai During the Heavy Haze Episode in Eastern and Middle China in December, 2013	LI Li, CAI Jun-lin, ZHOU Min (2327)
Composition and Regional Characteristics of Atmosphere Aerosol and Its Water Soluble Ions over the Yangtze River Delta Region in a Winter Haze Period	WANG Man-ting, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (2337)
Chemical Species of PM _{2.5} in the Urban Area of Beijing	LIU Bao-xian, YANG Dong-yan, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2346)
Numerical Study on the Characteristics of Regional Transport of PM _{2.5} in Shandong Province During Spring in 2014	JIA Hai-ying, CHENG Nian-liang, HE You-jiang, <i>et al.</i> (2353)
Characteristics of Water-Soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} Emitted from Coal-Fired Power Plants	MA Zi-zhen, LI Zhen, JIANG Jing-kun, <i>et al.</i> (2361)
Direct Observation on the Temporal and Spatial Patterns of the CO ₂ Concentration in the Atmospheric of Nanjing Urban Canyon in Summer	GAO Yun-qiu, LIU Shou-dong, HU Ning, <i>et al.</i> (2367)
Emission Factors of Vehicle Exhaust in Beijing	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2374)
Adsorption Capacity of the Air Particulate Matter in Urban Landscape Plants in Different Polluted Regions of Beijing	ZHANG Wei-kang, WANG Bing, NIU Xiang (2381)
Major Air Pollutant Emissions of Coal-Fired Power Plant in Yangtze River Delta	DING Qing-qing, WEI Wei, SHEN Qun, <i>et al.</i> (2389)
Estimation of N ₂ O Emission from Anhui Croplands by Using a Regional Nitrogen Cycling Model IAP-N	HAN Yun-fang, HAN Sheng-hui, YAN Ping (2395)
Evaluation on the Impacts of Different Background Determination Methods on CO ₂ Sources and Sinks Estimation and Seasonal Variations	ZHANG Fang, ZHOU Ling-xi, WANG Yu-zhao (2405)
Measured and Predicted Aquatic Life Criteria and Risk Assessment of Chromium (VI) in Liaohe River	WANG Xiao-nan, YAN Zhen-guang, LIU Zheng-tao, <i>et al.</i> (2414)
Pollution and Potential Ecology Risk Evaluation of Heavy Metals in River Water, Top Sediments on Bed and Soils Along Banks of Bortala River, Northwest China	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwalili, JIANG Feng-qing (2422)
Influencing Factors for Hydrochemistry and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of Karst Springs	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, LIU Zi-qi, <i>et al.</i> (2430)
Hydrochemical Characteristics and the Dissolved Inorganic Carbon Flux in Liuzhou Section of Liujiang Basin	YUAN Ya-qiong, HE Shi-yi, YU Shi, <i>et al.</i> (2437)
Characteristics of Total Nitrogen and Total Phosphorus Pollution and Eutrophication Assessment of Secondary River in Urban Chongqing	QING Xu-yao, REN Yu-fen, LÜ Zhi-qiang, <i>et al.</i> (2446)
Static Migration and Release of Dibutyl-Phthalate in the Fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir	WANG Fa, WANG Qiang, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (2453)
Effect of Drought and Subsequent Re-wetting Cycles on Transferable Nitrogen and Its Form Distribution in the Sediment of Water Level Fluctuating Zone in the Tributary of Three Gorge Reservoir Areas	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, YANG Zhen-yu, <i>et al.</i> (2459)
Distribution of Chlorophyll-a and Eutrophication State in Tianchi Lake of Tianshan Mountains in Summer	WANG Bin, MA Jian, WANG Yin-ya, <i>et al.</i> (2465)
Vertical Distribution Characteristics and Analysis in Sediments of Xidaihai Lake	DUAN Mu-chun, XIAO Hai-feng, ZANG Shu-ying (2472)
Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Jialing River After the Impoundment of Caojie Reservoir	YANG Min, ZHANG Sheng, LIU Shuo-ru (2480)
Analysis of Prokaryotic Community Structure in River Waters of the Ningbo Sanjiang Mouth	HU An-yi, LI Jiang-wei, YANG Xiao-yong, <i>et al.</i> (2487)
Effects of Perfluoroalkyl Substances on the Microbial Community Structure in Surface Sediments of Typical River, China	SUN Ya-jun, WANG Tie-yu, PENG Xia-wei, <i>et al.</i> (2496)
Coupling Effects of Decomposed <i>Potamogeton crispus</i> and Growing <i>Ceratophyllum demersum</i> on Water Quality and Plant Growth	MA Yue, WANG Guo-xiang, CAO Xun, <i>et al.</i> (2504)
Bioretention Media Screening for the Removal of Phosphorus in Urban Stormwater	LI Li-qing, GONG Yan-fang, YAN Zi-qin, <i>et al.</i> (2511)
Treatment of Urban Runoff Pollutants by a Multilayer Biofiltration System	WANG Xiao-lu, ZUO Jian-e, GAN Li-li, <i>et al.</i> (2518)
Effect of Three Typical Disinfection Byproducts on Bacterial Antibiotic Resistance	LÜ Lu, ZHANG Meng-lu, WANG Chun-ming, <i>et al.</i> (2525)
Laboratory Investigation of DNAPL Migration Behavior and Distribution at Varying Flow Velocities Based on Light Transmission Method	GAO Yan-wei, ZHENG Fei, SHI Xiao-qing, <i>et al.</i> (2532)
Comparative Study of Benzotriazole Electrochemical Oxidation at Boron-doped Diamond and PbO ₂ Anodes	WU Juan-li, ZHANG Jia-wei, WANG Ting, <i>et al.</i> (2540)
Sorption of <i>o</i> -Phthalate onto Calcite in Open-System	LI Zhen-xuan, HUANG Li-dong, CHEN Yan-fang, <i>et al.</i> (2547)
Adsorption Behaviors of Lead on Multi-Walled Carbon Nanotube-Hydroxyapatite Composites	ZHANG Jin-li, LI Yu (2554)
Synthesis and Study on Adsorption Property of Congo Red Molecularly Imprinted Polymer Nanospheres	CHANG Zi-qiang, CHEN Fu-bin, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (2564)
Simultaneous Removal of Cd(II) and Phenol by Titanium Dioxide-Titanate Nanotubes Composite Nanomaterial Synthesized Through Alkaline-Acid Hydrothermal Method	LEI Li, JIN Yin-jia, WANG Ting, <i>et al.</i> (2573)
Immobilization of Estrogen-degrading Bacteria to Remove the 17 β -estradiol and Diethylstilbestrol from Polluted Water and Cow Dung	LI Xin, LING Wan-ting, LIU Jing-xian, <i>et al.</i> (2581)
Optoelectronic PCB Wastewater Treatment by Partial Nitrification-ANAMMOX Integrative Reactor	YUAN Yan, LI Xiang, ZHOU Cheng, <i>et al.</i> (2591)
Treatment of Petrochemical Treatment Plant Secondary Effluent by Fenton Oxidation	WANG Yi, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (2597)
Comprehensive Toxicity Evaluation and Toxicity Identification Used in Tannery and Textile Wastewaters	HUANG Li, CHEN Wen-yan, WAN Yu-shan, <i>et al.</i> (2604)
Carbon/nitrogen Removal and Bacterial Community Structure Change in an A/O Activated Sludge System Under Different Dissolved Oxygen Conditions	CHEN Yan, LIU Guo-hua, FAN Qiang, <i>et al.</i> (2610)
ORP in the Main Anoxic Stage as the Control Parameter for Nitrogen and Phosphorus Removal in the Single Sludge System with a Continuous Flow	WANG Xiao-ling, SONG Tie-hong, YIN Bao-yong, <i>et al.</i> (2617)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Real Low Concentration Domestic Wastewater and Its Denitrification Performances Under the Continuous Flow	YAO Li, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (2626)
Heavy Metal Contamination in Farmland Soils at an E-waste Disassembling Site in Qingyuan, Guangdong, South China	ZHANG Jin-lian, DING Jiang-feng, LU Gui-ning, <i>et al.</i> (2633)
Residues and Spatial Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides DDTs in Soil of Linyi City, Shandong Province	YU Chao, WANG Zeng-hui, WANG Hong-jin, <i>et al.</i> (2641)
Assessment of Soil Fluorine Pollution in Jinhua Fluorite Ore Areas	YE Qun-feng, ZHOU Xiao-ling (2648)
Response of Straw and Straw Biochar Returning to Soil Carbon Budget and Its Mechanism	HOU Ya-hong, WANG Lei, FU Xiao-hua, <i>et al.</i> (2655)
Changes of Soil Organic Carbon and Its Influencing Factors of Apple Orchards and Black Locusts in the Small Watershed of Loess Plateau, China	LI Ru-jian, WANG Rui, LI Na-na, <i>et al.</i> (2662)
Impacts of Land Use Changes on Soil Light Fraction and Particulate Organic Carbon and Nitrogen in Jinyun Mountain	LEI Li-guo, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2669)
Soil Enzyme Activities and Their Relationships to Environmental Factors in a Typical Oasis in the Upper Reaches of the Tarim River	ZHU Mei-ling, GONG Lu, ZHANG Long-long (2678)
Effects of Different Residue Part Inputs of Corn Straws on CO ₂ Efflux and Microbial Biomass in Clay Loam and Sandy Loam Black Soils	LIU Si-yi, LIANG Ai-zhen, YANG Xue-ming, <i>et al.</i> (2686)
Isolation, Identification of a <i>p</i> - <i>tert</i> -Butylcatechol-Degrading Strains and Optimization for Its Degradation by Response Surface Methodology	HE Qiang-li, LIU Wen-bin, YANG Hai-jun, <i>et al.</i> (2695)
Isolation, Identification and Characteristic Analysis of an Oil-producing <i>Chlorella</i> sp. Tolerant to High-strength Anaerobic Digestion Effluent	YANG Chuang, WANG Wen-guo, MA Dan-wei, <i>et al.</i> (2707)
Coupled Cytotoxicity of C ₆₀ Nano-Crystal Particle with Cu ²⁺ to the Mouse Peritoneal Microphage RAW 264. 7	YU Ye, BIAN Wei-lin, ZHANG Hui-min, <i>et al.</i> (2713)
Simultaneous Analysis of 18 Glucocorticoids in Surface Water	GUO Wen-jing, CHANG Hong, SUN De-zhi, <i>et al.</i> (2719)

《环境科学》第 6 届编辑委员会

主 编：欧阳自远
副主编：赵景柱 郝吉明 田 刚
编 委：（按姓氏笔画排序）

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976 年 8 月创刊)

2015 年 7 月 15 日 第 36 卷 第 7 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 7 Jul. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清 华 大 学 环 境 学 院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧 阳 自 远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《 环 境 科 学 》 编 辑 委 员 会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18 号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301 国内邮发代号: 2-821
CN 11-1895/X

国 内 定 价: 120.00 元 国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行