

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第2期

Vol.39 No.2

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

特别策划:挥发性有机污染物(VOCs)排放特征、减排控制、环境政策研究专辑(III)

序 郝郑平(477)

我国机动车排放VOCs及其大气环境影响 陈天增,葛艳丽,刘永春,贺泓(478)

基于PMF量化工业排放对大气挥发性有机物(VOCs)的影响:以南京市江北工业区为例 胡崑,王鸣,郑军,王红丽,卢兴东,景盛翱,陈超(493)

南京工业区挥发性有机物来源解析及其对臭氧贡献评估 张玉欣,安俊琳,王俊秀,师远哲,刘静达,梁静舒(502)

某工业园区VOCs臭氧生成潜势及优控物种 武蕾丹,王秀艳,杨文,郭凤艳,刘锦(511)

某石油化工园区秋季VOCs污染特征及来源解析 胡天鹏,李刚,毛瑶,郑煌,秦世斌,闵洋,张家泉,邢新丽,祁士华(517)

某典型石油化工园区冬季大气中VOCs污染特征 毛瑶,李刚,胡天鹏,郑煌,安艺伟,闵洋,邢新丽,祁士华(525)

杭州市工业源VOCs排放清单及排放特征 卢滨,黄成,卢清,杨强,井宝莉,夏阳,唐伟,顾泽平(533)

秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征 虎啸宇,刘航,王乃玉,王灿,揣莹(543)

浙江省汽摩配行业挥发性有机物排放特征及排放系数 杨忠平,王浙明,何志桥,徐志荣,滕富华,张华岳(551)

汽车制造企业恶臭来源及影响分析 石田立,张伟霞,陈小方,张嘉妮,梁小明,范丽雅,叶代启(557)

典型酿造业厂界无组织排放VOCs污染特征与风险评价 高占啟,胡冠九,王荃,朱冰清,陈素兰(567)

成都市大气环境VOCs污染特征及其健康风险评价 李友平,唐娅,范忠雨,蒲敏,章金莲,杨铮铮,吴大磊(576)

上海地区住宅儿童卧室室内甲醛和苯系物浓度的现场检测分析 蒋巧云,刘平平,王雪颖,路荣春,刘炜,周华元,龚莹莹,周亚欣,黄晨(585)

江苏省人为源VOCs排放清单及其对臭氧生成贡献 夏思佳,刘倩,赵秋月(592)

江门市人为源挥发性有机物排放清单 陈小方,张伟霞,陈柄旭,张嘉妮,范丽雅,叶代启(600)

长江三角洲2014年天然源BVOCs排放、组成及时空分布 刘岩,李莉,安静宇,张伟,严茹莎,黄凌,黄成,王红丽,王卿,王敏(608)

北京城市副中心(通州区)加油站VOCs排放清单 黄玉虎,胡玮,李贝贝,纪旋,肖宇,任碧琪,秦建平(618)

公交车使用废食用油制生物柴油的污染物排放及VOCs成分谱 胡志远,林骠骑,黄成,王红丽,景盛翱,楼狄明(626)

生物滴滤塔净化甲基叔丁基醚废气的研究 褚其英,姚露露,吕雄标,叶杰旭,叶虹霓,潘梁柱,陈建孟,陈东之(633)

低温等离子体-生物耦合系统对复合CVOCs的降解 郭海倩,缪晶晶,姜理英,张迪(640)

水质异味期间钱塘江杭州段表层水体中挥发性和半挥发性有机物污染特征及健康风险评价 陈峰,唐访良,徐建芬,王奕奕,阮东德,张伟,周姗(648)

城市自来水管网中挥发性有机物的空间分布特征 许美佳,王海亮,李春梅,徐雄,王东红(655)

不同通勤模式暴露于VOCs的健康风险评价 佟瑞鹏,张磊(663)

家具制造过程中VOCs的来源分析及环境健康风险评价 佟瑞鹏,张磊,杨校毅,朱旭波,任传耕(672)

研究报告

北京市PM_{2.5}时空分布特征及其与PM₁₀关系的时空变异特征 杨文涛,姚诗琪,邓敏,王艳军(684)

小型池塘水-气界面CH₄冒泡通量的观测 张秀芳,肖薇,张弥,王伟,赵佳玉,胡勇博,谢成玉,张圳,谢燕红,黄文晶(691)

中国七大流域全氟烷基酸污染水平与饮水暴露风险 王鑫璇,张鸿,王艳萍,罗骥(703)

铁岭市河流氮素时空分布及源解析 杨丽标,雷坤,乔飞,孟伟(711)

基于三维荧光及平行因子分析的川西高原河流水体CDOM特征 刘堰杨,秦纪洪,刘琛,孙辉,唐翔宇,范诗雨(720)

宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价 徐美娟,鲍波,陈春燕,王永川,高夫燕,虞效益(729)

巢湖水体可溶态重金属时空分布及污染评价 吴蕾,刘桂建,周春财,刘荣琼(738)

广西龙江沉积物重金属污染现状及生物有效性 蓝小龙,宁增平,肖青相,黄正玉,刘意章,肖唐付,赵彦龙,吴世良(748)

内电解人工湿地冬季低温尾水强化脱氮机制 郑晓英,朱星,王菊,周翔,徐亚东,韦诚,高雅洁,周徽(758)

河道型水库支流库湾营养盐动态补给过程 徐雅倩,徐飘,杨正健,刘德富,马骏(765)

降雨对蓝藻水华消退影响及其机制分析 刘心愿,宋林旭,纪道斌,刘德富,崔玉洁,黄佳维,赵冲,唐咏春,平明明(774)

城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系 梁晓东,余杨,张敏,段龙飞,彭文启(783)

三峡库区兰陵溪小流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征 张林,黄志霖,肖文发,曾立雄,宋文梅(792)

基于污染评价的地下水中优控污染物筛选 赵鹏,何江涛,王曼丽,黄德亮,王磊,梁雨(800)

硫和石英砂比对自养填充床反应器去除高浓度高氯酸盐的影响 陶华强,邵冬海,张超,宋圆圆,逯彩彩,郭建博(811)

活性炭/高分子复合水凝胶对水中亚甲基蓝和Cu(II)的去除性能 孔岩,庄媛,石宝友,韩志勇,郝昊天,韩昆,于建伟(819)

三维网状HZO@SGH对水中氟离子的吸附作用和机制 马福臻,周少奇,刘泽璐,支亮亮,周璇(828)

MgO/活性炭催化臭氧氧化降解有机物的作用机制 许珊珊,林存旺,丁亚磊,童少平(838)

污水厂二级出水中难凝聚有机物的臭氧化特性 侯瑞,金鑫,金鹏康,苟邦耀,王晓昌(844)

染料探针技术对二级出水中优势污染物的定量检测 孟晓荣,王隽,王磊,王旭东,乔茹凯,任婷婷,唐卫婷(852)

污水处理厂厌氧氨氧化工艺小试 李冬,赵世勋,王俊安,朱金凤,关宏伟,张杰(859)

间歇曝气模式下曝气量对短程硝化恢复的影响 刘宏,南彦斌,李慧,王翔,彭永臻,陈永志(865)

好氧/除磷颗粒对亚硝化颗粒污泥启动的影响 李冬,郭跃洲,曹美忠,张泽文,李帅,张杰(872)

处理垃圾渗滤液的SBR中微生物种群与污泥比阻 蔡丽云,黄泽彬,须子唯,江志斌,林莉莉,黄宇(880)

基于城镇化进程表层土壤多环芳烃来源解析及风险评价 姚宏,张士超,刘明丽,王静,鲁垠涛,于晓华(889)

西江流域土壤砷含量空间变异与污染评价 刘畅,宋波,张云霞,雷梅,田美玲,余元元,庞瑞(899)

开封城市土壤磷素组成特征及流失风险 白秀玲,马建华,孙艳丽,刘德新(909)

电子垃圾拆解区土壤-水稻系统重金属分布特征及健康风险评价 尹伊梦,赵委托,黄庭,程胜高,赵珍丽,余葱葱(916)

上海市稻米中有机氯农药残留水平及健康风险评价 孟媛,刘翠翠,仇雁翎,周轶慧,朱志良(927)

四环素类抗生素对不同蔬菜生长的影响及其富集转运特征 迟菽琳,王卫中,徐卫红,李桃,李彦华,张春来(935)

硅肥耦合水分管理对复合污染稻田土壤As-Cd生物有效性及稻米累积阻控 李园星露,叶长城,刘玉玲,李丹阳,刘寿涛,罗海艳,刘孝利,铁柏清,孙健(944)

电子垃圾拆解工人的肝功能和肾功能健康状况及影响因素分析:以清远市龙塘镇为例 严晓,李淑圆,王美欢,许榕发,郑晶,任明忠(953)

《环境科学》征稿简则(584) 《环境科学》征订启事(683) 信息(799,908,934)

公交车使用废食用油制生物柴油的污染物排放及 VOCs 成分谱

胡志远¹, 林骝骑¹, 黄成^{2,3}, 王红丽^{2,3}, 景盛翱^{2,3}, 楼狄明¹

(1. 同济大学汽车学院, 上海 201804; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 3. 国家环境保护城市大气复合污染成因与防治重点实验室, 上海 200233)

摘要:以国三、国五柴油公交车为研究对象,在重型底盘测功机上运行中国典型城市公交循环,分析了国三、国五柴油公交车使用柴油、废食用油制生物柴油-柴油混合燃料(B10)的污染物排放及 VOCs 成分谱。结果表明:国五公交车的 THC、CO、PM 和固态 PM_{2.5} 数量排放比国三公交车分别降低 39.3%、19.9%、77.4% 和 28.4%, NO_x 升高 31.7%; 国三、国五公交车排放的 VOCs 主要为烷烃、烯烃和含氧化合物,国五公交车的烷烃、烯烃、芳香烃、含氧化合物等 VOCs 排放较低,其 VOCs 大气反应活性降低,二次有机气溶胶的生成潜势较弱。与使用柴油比较,国三(国五)公交车使用 B10 的 THC、CO、PM 和固态 PM_{2.5} 数量排放降低;国三公交车的 NO_x 排放增加,国五公交车的 NO_x 排放降低;国三(国五)公交车使用 B10 的 VOCs 成分谱中含氧化合物降低,烯烃增加,VOCs 大气反应活性增强。

关键词:柴油公交车;废食用油制生物柴油;污染物;VOCs;大气反应活性

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)02-0626-07 DOI: 10.13227/j.hjx.201707262

Pollutant Emissions from Diesel Buses Fueled with Waste Cooking Oil Based Biodiesel

HU Zhi-yuan¹, LIN Biao-qi¹, HUANG Cheng^{2,3}, WANG Hong-li^{2,3}, JING Sheng-ao^{2,3}, LOU Di-ming¹

(1. School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Shanghai Academy of Environmental Science, Shanghai 200233, China; 3. Key Laboratory for Prevention and Control of Urban Air Pollution in China, Shanghai 200233, China)

Abstract: Two diesel buses respectively certified to meet China III and China V emission standards were used as prototype vehicles, fixed on a heavy-duty chassis dynamometer and driven according to a typical city bus driving cycle to analyze the pollutant emissions and volatile organic compounds (VOCs). The buses were fueled with diesel and waste cooking oil based biodiesel with 10 vol% blend ratio (B10). The emissions of total hydrocarbon (THC), CO, particulate matter (PM), and the number of solid particles with a diameter of 23 nm to 2.5 μm (referred to as "solid particulate number of PM_{2.5}") from the bus certified to meet China V (referred to as "China V bus") were 39.3%, 19.9%, 77.4%, and 28.4% lower than those from the other bus certified to meet China III (referred to as "China III bus"), while NO_x emissions were 31.7% higher. Moreover, alkanes, alkenes, aromatic hydrocarbons, and oxygenated compounds in VOCs emitted from the China V bus were lower than those emitted from the China III bus, suggesting lower atmospheric reactivity and smaller potential of secondary organic aerosol formation. Compared with the emission results of two diesel-fueled buses, the B10-fueled buses emitted smaller amounts of THC, CO, PM, and solid particulate number of PM_{2.5}, lower oxygenated compounds but higher alkenes; slightly higher NO_x emissions than China III but slightly lower NO_x emissions than China V. Consequently, the atmospheric reactivity of VOCs in exhaust gas from the bus fueled with B10 was higher than that from the diesel-powered bus.

Key words: diesel bus; waste cooking oil based biodiesel; pollutant emission; volatile organic compounds; atmospheric reactivity

挥发性有机污染物(volatile organic compounds, VOCs)是大气中普遍存在的一类化合物,VOCs 化学活性强,是光化学污染物生成的主要前体物^[1],也是二次有机气溶胶重要前体物^[2],对环境空气质量和人体健康存在重要危害^[3],各类人为源对区域 VOCs 的贡献引起研究者的广泛关注^[4-7]. 国内外源解析结果表明,机动车排放的 VOCs 占美国墨西哥城^[8]、洛杉矶阿苏萨地区^[9]、泰国曼谷^[10]、伊朗德黑兰^[11]城市大气 VOCs 的 58.7%、22%、26% 和 61%,国内上海^[12]、天津^[13]、南京北郊^[14]夏季空

气 VOCs 的 34%、25.1% 和 33.1%^[14],并对北京市大气环境影响显著^[3].

机动车排放的 VOCs 中含有大量烷烃、烯烃、芳香烃等有毒有害物质,低碳数烷烃、烯烃具有大气化学反应活性^[15],是形成光化学烟雾的重要前体物,芳香烃对二次有机气溶胶贡献最大^[16],不

收稿日期: 2017-07-31; 修订日期: 2017-11-01

基金项目: 上海市科委科技攻关计划项目(16DZ1203001); 上海市科委青年基金项目(15ZR1434700)

作者简介: 胡志远(1970~),男,博士,副教授,主要研究方向为汽车能源及低排放设计技术, E-mail: huzhiyuan@tongji.edu.cn

同车型机动车 VOCs 排放成分谱不同, 汽油车以及摩托车尾气组成中芳香烃比例较高, 柴油车的尾气组成中烷烃比例较高^[17], 柴油卡车实际道路尾气 VOCs 排放中羰基化合物占 40%^[18], 农用车排放的甲苯、乙醛、二甲苯、对二甲苯等之和是其 VOCs 排放量的 68.6%^[19]. 排放控制技术有利于降低车辆的 VOCs 排放, 车辆行驶里程增加则 VOCs 排放增大^[20], 汽油车起动机况排放的 VOCs 数量较高^[21], 随着排放标准的加严, 汽油车 VOCs 排放降低^[22].

生物柴油具有可再生性好等优点, 可直接在柴油机上使用^[23]. 目前, 生物柴油 VOCs 排放特性研究较少, 且集中在发动机上. 例如: Peng 等^[24]的研究表明, 发动机使用混合比例为 20% 的生物柴油混合燃料后, 其 VOCs 排放降低 61.2%; Hu 等^[25]在一台单缸柴油上分析了乙醇-生物柴油-柴油混合燃料对发动机 VOCs 排放的影响. 有关柴油车使用生物柴油后的 VOCs 成分谱研究未见报道.

本文以国三、国五柴油公交车为研究对象, 在重型底盘测功机上运行中国典型城市公交循环, 分析其使用柴油、体积混合比例为 10% 的废食用油制生物柴油-柴油混合燃料的污染物排放及 VOCs 成分谱特征.

1 材料与方法

1.1 试验样车及燃料

试验样车为分别满足国三、国五排放的柴油公交车, 安装高压共轨六缸增压中冷柴油机, 主要技

术参数如表 1 所示. 试验燃料为国五柴油、国五柴油与废食用油制生物柴油按 10% 体积比混合的柴油-生物柴油混合燃料(B10), 柴油及 B10 的主要理化指标如表 2 所示.

表 1 试验样车主要技术参数

技术参数	国三公交车	国五公交车
整车质量/kg	10 100	11 900
长×宽×高/mm	10 499×2 500×3 150	11 995×2 530×3 150
发动机排量/L	7.146	8.820
累计行驶里程/km	235 412	98 875
后处理装置	无	选择性催化还原 SCR

1.2 试验装置及循环

试验装置包括 MAHA-AIP 重型底盘测功机, 日本 Horiba 公司的全流稀释采样系统 (Constant volume dilution sampling system, CVS)、气体排放分析系统、颗粒物质量、固态 PM_{2.5} 数量测量系统, 芬兰 DEKATI 公司的射流稀释器 (Fine Particle Sampler-4000, FPS-4000), 苏玛采样罐等. 测试系统所用的仪器设备如表 3 所示, 试验装置如图 1 所示.

表 2 柴油与 B10 主要理化指标

项目	柴油	B10
20℃ 密度/kg·m ⁻³	834.2	838.9
S 含量/mg·kg ⁻¹	8.4	8.8
多环芳烃含量/%	4.1	—
十六烷值	50.8	51.4
低热值/MJ·kg ⁻¹	42.92	42.15

表 3 重型底盘测功机排放测试系统组成

设备名称	型号	制造商	主要参数
重型底盘测功机	ECD 72H-2MOT	德国 MAHA	惯量模拟范围 3 500 ~ 50 000 kg, 精度 ±0.5%
排气采样系统	CVS7400T	日本 HORIBA	采样流量 30、50、70 ~ 150 m ³ ·min ⁻¹
射流稀释器	FPS-4000	芬兰 DEKATI	采样流量 1.4 ~ 40 L·min ⁻¹
气体分析仪	MEXA-7200D	日本 HORIBA	CO(L): 0 ~ 50 × 10 ⁻⁶ ~ 5 000 × 10 ⁻⁶ , THC: 0 ~ 50 × 10 ⁻⁶ ~ 50 000 × 10 ⁻⁶ , NO/NO _x : 0 ~ 10 × 10 ⁻⁶ ~ 10 000 × 10 ⁻⁶ 重复性: ±0.5%, 线性度: ±1%
颗粒物采集系统	DLS-7200E/MSA2.7S-000-DF	日本 HORIBA	采样流量 35 ~ 75 L·min ⁻¹ , 称量范围 2.1 g, 精度 0.1 μg
固态 PM _{2.5} 数量分析系统	MEXA-2100 SPCS	日本 HORIBA	测量范围 23 ~ 2 500 nm, 分辨率 1 Hz

试验时将公交车固定在底盘测功机上, 根据车辆最大总质量的 70% 加载, 通过滑行确定阻力系数, 试验车辆为冷车状态. 试验循环采用 GB/T 19754-2005《重型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法》推荐的中国典型城市公交循环. 该循环由怠速、低速、匀速、中速和中高速等工况构成, 运

行时间 1 314 s, 平均车速 16.16 km·h⁻¹, 最高车速 60 km·h⁻¹. 该循环与公交车实际行驶时低平均车速、高比例怠速, 发动机低转矩、低转速等工况特点吻合较好^[26]. 试验时驾驶员根据司机助屏幕显示的车速-时间曲线驾驶车辆, 车辆速度误差区间为该时目标车速的 ±3 km·h⁻¹. 通过实际驾驶循环

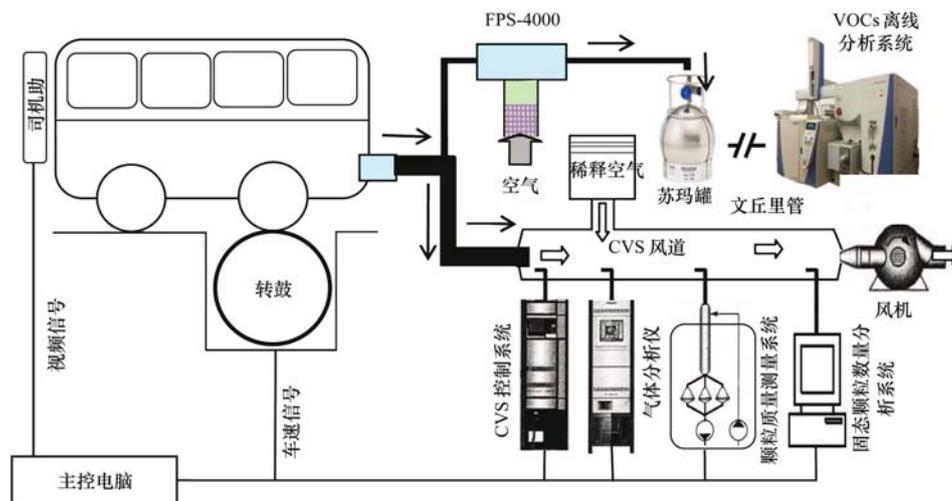


图1 试验装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

与理论循环的相关性系数 (>0.95) 来判断试验的有效性. 试验时利用 CVS 系统测量车辆气体及颗粒物排放, 同时利用射流稀释器抽取部分尾气, 稀释比 8.21, 稀释温度 120°C , 利用苏玛罐采集稀释后的尾气, 再进行离线 VOCs 组分分析.

VOCs 样品采用 TH_PKU-300 (武汉天虹) 挥发性有机物监测系统分析. 样品分两路抽入仪器中, 其中的 VOCs 分别被超低温预浓缩系统冷冻富集, 经热解析后进入色谱柱, 其中一路 (C2 ~ C5 的碳氢化合物) 由 FID 检测器检出, 另一路 (C5 ~ C10 的碳氢化合物、卤代烃和含氧挥发性有机物) 由 MS 检测器检出. 本研究采用 PAMS 和其他 50 余种含氧 VOCs 和卤代烃标准气体 (美国 Spectra Gases 公司)

进行 VOCs 的定性和定量, 共计定量分析 106 种 VOCs, 分别为 30 种烷烃、11 种烯烃、17 种芳香烃、29 种卤代烃、18 种含氧 VOC 以及乙炔. 仪器对不同 VOC 物种的检测体积分数限值为几十到几百万亿分之一. 仪器每分析 5 个样品加插 1 个氮气样和 1 个 1×10^{-9} 体积分数的 PAMS 标准气体样品的分析, 用来跟踪评估仪器响应的稳定性和准确性.

2 结果与讨论

2.1 污染物排放

国三、国五柴油公交车使用柴油、B10 的 THC、CO、NO_x、PM 和固态 PM_{2.5} 数量排放如表 4 所示.

表 4 试验国三、国五公交车污染物排放

Table 4 Emission factors of diesel buses certified to meet China III and China V and fueled with diesel and B10

车辆类型	THC/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$		CO/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$		NO _x / $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$		PM/ $\text{mg}\cdot\text{km}^{-1}$		固态 PM _{2.5} 数量/ $\text{个}\cdot\text{km}^{-1}$	
	柴油	B10	柴油	B10	柴油	B10	柴油	B10	柴油	B10
国三	0.14	0.13	1.41	1.28	14.75	15.92	63.77	40.31	3.87×10^{15}	3.69×10^{15}
国五	0.09	0.08	1.13	1.04	19.42	17.25	14.42	13.21	2.77×10^{15}	2.12×10^{15}

由表 4 可见, 与国三柴油公交车比较, 国五柴油公交车的 THC、CO、PM 和固态 PM_{2.5} 数量排放分别降低 39.3%、19.9%、77.4% 和 28.4%, NO_x 排放升高 31.7%. 这是因为, 国五柴油公交车采用了缸内清洁燃烧降低颗粒物 + 选择性催化还原 SCR 尾气后处理装置降低 NO_x 的技术路线, 缸内清洁燃烧技术导致国五公交车 THC、CO、PM 和固态 PM_{2.5} 数量排放降低; 另一方面, 由于公交车试验循环的负荷相对较低, 排气温度较低, 致使 SCR 系统效率偏低, 国五公交车的 NO_x 排放高于国三公交车. 北京市国四、国五公交车实际道路试验结果表

明^[27-29]; 国四公交车可有效降低其 CO、THC、PM 排放, 但由于公交车实际运行工况的排气温度较低, 致使 SCR 系统效率较低, 国四公交车的 NO_x 排放高于国三公交车, 当公交车车速 $>30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, SCR 才能逐渐呈现出其对 NO_x 的降低效果.

同时由表 4 可见, 与使用柴油比较, 国三、国五柴油公交车使用 B10 的 THC、CO、PM 和固态 PM_{2.5} 数量排放降低, 国三柴油车的 NO_x 排放增加, 国五柴油车的 NO_x 排放降低. 这是因为, 生物柴油含氧, 促进燃烧, THC、CO、PM 和固态 PM_{2.5} 数量排放降低, NO_x 排放增加^[23,30]; 另一方面, 发动机

使用生物柴油后导致其排温升高^[31], 提高了 SCR 系统工作效率, 这可能是国五公交车使用 B10 后其 NO_x 排放降低的主要原因。

2.2 VOCs 成分谱

试验国三、国五柴油公交车使用柴油、B10 的 VOCs 排放如图 2 所示。从中可见, 与国三柴油公交车比较, 国五柴油公交车的 VOCs 排放降低 37.8%; 与使用柴油比较, 国三、国五公交车使用 B10 后的 VOCs 排放分别降低 10.3% 和 7.3%。这是因为, 缸内清洁燃烧技术导致国五公交车 VOCs 排放降低; 同时, B10 的含氧特性改善了燃料在缸内的燃烧, VOCs 降低。尤可为等^[32]的研究结果表明: B20 发动机欧洲稳定循环的 VOCs 排放降低了 42.98%。由于中国典型城市公交循环发动机工况

不同, 且生物柴油混合比例不同, 本研究得到的 VOCs 降低比例相对较低。

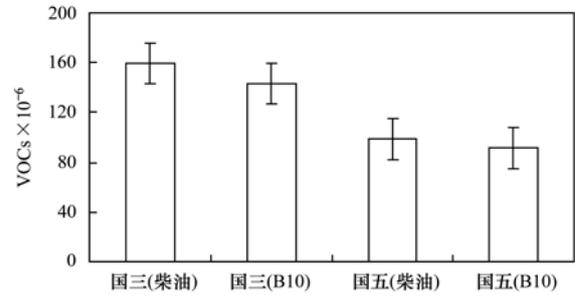


图 2 试验国三、国五公交车 VOCs 排放

Fig. 2 VOCs emissions from diesel buses certified to meet China III and China V fueled with diesel and B10

试验国三、国五柴油公交车使用柴油、B10 的 VOCs 成分谱如表 5 所示。由表 5 可见, 试验柴油公

表 5 国三、国五公交车使用柴油、B10 的 VOCs 体积分数成分谱 × 10⁻⁹

Table 5 VOCs source profiles from diesel buses certified to meet China III and China V fueled with diesel and B10 × 10⁻⁹

VOC 种类	国三公交车		国五公交车		VOC 种类	国三公交车		国五公交车	
	柴油	B10	柴油	B10		柴油	B10	柴油	B10
乙烷	3.8	1.1	3.0	1.6	苯	2.4	1.1	1.7	0.8
丙烷	4.2	0.3	4.5	0.4	甲苯	4.1	2.0	5.9	2.3
异丁烷	0.6	5.0	1.2	1.3	乙基苯	3.2	1.6	3.1	1.6
正丁烷	0.9	0.1	1.7	1.5	对二甲苯/间二甲苯	2.3	1.4	2.1	1.4
环戊烷	0.1	0.4	0.2	0.1	1,2-二甲苯	1.3	0.9	1.1	0.9
异戊烷	0.9	0.5	2.9	1.1	苯乙烯	0.2	0.0	0.3	0.0
2,3-二甲基丁烷	0.2	0.2	0.8	0.5	正丙苯	0.3	0.7	0.1	0.7
正戊烷	0.5	0.2	1.3	0.7	间乙基甲苯	0.5	1.3	0.2	1.0
2-甲基戊烷	1.8	0.0	0.1	0.0	4-乙基甲苯	0.5	0.9	0.2	0.5
3-甲基戊烷	1.5	0.1	0.6	0.3	1,3,5-三甲苯	0.3	0.5	0.2	0.5
正己烷	16.3	2.7	2.4	2.6	邻乙基甲苯	0.3	0.6	0.3	0.6
2,4-二甲基戊烷	0.1	0.3	0.1	0.1	1,2,4-三甲基苯	0.1	1.4	0.5	0.4
甲基环戊烷	1.2	0.3	0.6	0.2	1,2,3-三甲苯	0.3	0.5	0.2	0.5
异庚烷	0.3	0.1	0.3	0.2	1,3-二乙基苯	0.2	0.2	0.1	0.2
环己烷	0.4	0.2	0.5	0.2	对二乙苯	0.2	0.7	0.2	0.7
2,3-二甲基戊烷	0.2	0.2	0.3	0.6	1,3-二氯苯	0.0	0.2	0.2	0.2
3-甲基己烷	0.3	0.2	0.4	0.2	1,4-二氯苯	1.3	0.7	0.8	0.7
庚烷	0.5	0.3	0.6	0.0	邻二氯苯	0.0	0.2	0.3	0.2
甲基环己烷	0.6	1.3	1.4	0.5	枯烯	0.5	0.1	0.1	0.1
辛烷	0.8	0.7	0.7	0.3	乙醛	0.0	0.6	0.0	0.0
3-甲基庚烷	0.1	0.5	0.4	0.0	丙烯醛	4.5	2.4	0.0	0.0
正辛烷	1.0	1.2	1.3	0.4	丙醛	4.5	0.0	0.0	0.1
癸烷	0.1	6.3	1.1	0.9	乙酸乙酯	0.0	0.9	2.7	6.8
十一烷	0.5	5.6	1.7	1.8	异丙醇	0.1	0.1	0.3	0.6
十二烷	0.0	8.6	2.4	2.9	丙酮	46.0	15.3	28.3	13.4
壬烷	1.3	3.2	1.6	1.0	甲基叔丁基醚	0.4	0.0	0.4	0.2
乙烯	9.8	49.0	3.0	14.9	2-甲基丙烯醛	1.4	0.1	0.1	0.1
丙烯	2.9	0.4	0.8	3.2	丁醛	0.9	0.3	0.1	0.2
反-2-丁烯	8.1	3.4	1.6	4.4	丁烯酮	3.4	1.0	0.8	0.5
顺-2-丁烯	0.3	0.4	0.2	0.3	2-丁酮	5.4	1.3	0.5	0.9
1-丁烯	1.6	0.0	0.4	1.0	2-戊酮	0.5	0.5	0.2	0.1
反-2-戊烯	0.1	0.1	0.1	0.0	戊醛	0.8	0.2	0.1	0.1
1-戊烯	0.3	0.9	0.6	0.4	3-戊酮	0.2	0.0	0.0	0.0
1-己烯	0.3	0.4	2.5	2.8	己醛	2.6	1.3	1.2	3.3
卤代烃 二氯甲烷	8.5	9.3	5.0	5.4	VOCs	159.0	142.7	98.9	91.7

公交车的 VOCs 成分谱中包括 26 类烷烃、8 类烯烃、1 类卤代烃、19 类芳香烃和 15 类含氧化合物。

对试验国三、国五公交车使用柴油、B10 的 VOCs 成分谱中烷烃、烯烃、卤代烃、芳香烃和含氧化合物进行统计, 各类 VOCs 排放量及其占 VOCs 总排放的百分比如图 3 所示。由图 3(a) 可见, 国三柴油公交车排放的 VOCs 成分谱中醛酮类含氧化合物比例最高, 其次为烷烃和烯烃, 卤代烃和芳香烃

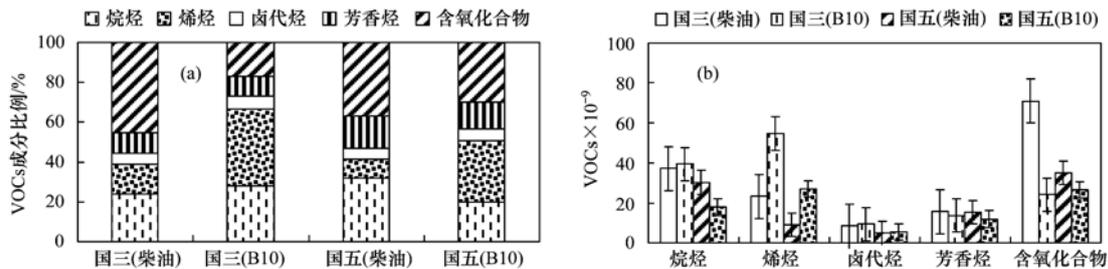


图 3 国三、国五公交车使用柴油、B10 的 VOCs 分类排放

Fig. 3 VOCs from diesel buses certified to meet China III and China V fueled with diesel and B10

2.3 VOCs 的大气反应活性

VOCs 的大气反应活性指 VOCs 中的各类成分参与大气化学反应的能力, 本研究采用 VOCs 物种臭氧生成潜势 (ozone formation potential, OFP) 来评价 VOCs 的大气反应活性。具体而言, VOC 物种的 OFP 等于该物种环境浓度与其在臭氧最大增量反应 (maximum incremental reactivity, MIR) 中的臭氧生成系数的乘积。国三、国五柴油公交车 VOCs 排放的大气反应活性如图 4 所示, 其中, 使用的 VOC 最大反应生成系数来自文献[33]。由图 4 可见, 与国三柴油公交比较, 由于国五柴油公交车 VOC 成分谱中烷烃、烯烃、卤代烃、芳香烃、含氧化合物均有所降低, 其 VOCs 排放的大气反应活性降低了 56%, VOCs 的臭氧生成潜势 (OFP) 降低, 对二次有机气溶胶的生成潜势减弱。与使用柴油比较, 国三、国五公交车使用 B10 后, 虽然其 VOCs 排放总

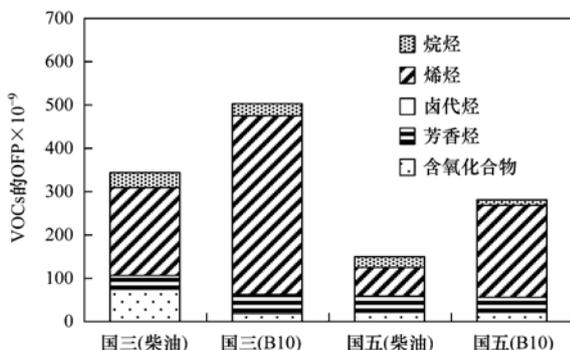


图 4 试验国三、国五公交车 VOCs 大气反应活性

Fig. 4 OFP of VOCs from diesel buses certified to meet China III and China V fueled with diesel and B10

排放较少。国五柴油公交车排放的 VOCs 成分谱中酮类含氧化合物比例较高, 其次为烷烃, 芳香烃、烯烃和卤代烃。由图 3(b) 可见, 与国三柴油公交比较, 国五柴油公交车排放的 VOCs 成分谱中烷烃、烯烃、卤代烃、芳香烃、含氧化合物均有所降低。与使用柴油比较, 国三、国五柴油公交车使用 B10 后烷烃、芳香烃略有降低, 烯烃排放增加, 醛酮类含氧化合物明显降低。

量、含氧化合物明显降低, 但由于其烯烃排放增加, 导致生物柴油公交车 VOCs 排放的大气反应活性增强。

3 结论

(1) 与国三柴油公交车比较, 国五柴油公交车的 THC、CO、PM 和固态 $PM_{2.5}$ 数量排放分别降低 39.3%、19.9%、77.4% 和 28.4%, NO_x 排放升高 31.7%。与使用柴油比较, 国三、国五柴油公交车使用 B10 的 THC、CO、PM 和固态 $PM_{2.5}$ 数量排放降低, 国三柴油车的 NO_x 排放增加, 国五柴油车的 NO_x 排放降低。

(2) 柴油公交车的 VOCs 成分谱中包括烷烃、烯烃、卤代烃、芳香烃和含氧化合物。国三柴油公交车排放的 VOCs 成分谱中含氧化合物比例最高, 其次为烷烃和烯烃, 卤代烃和芳香烃排放较少。国五柴油公交车排放的 VOCs 成分谱含氧化合物比例较高, 其次为烷烃, 芳香烃、烯烃和卤代烃。与国三柴油公交车比较, 国五柴油公交车 VOCs 成分谱中的烷烃、烯烃、卤代烃、芳香烃和含氧化合物等均降低; 与使用柴油比较, 国三、国五柴油公交车使用 B10 后的烯烃排放增加, 含氧化合物排放降低。

(3) 与国三柴油公交比较, 国五柴油公交车 VOCs 排放的大气反应活性降低了 56%, VOCs 的臭氧生成潜势降低, 对二次有机气溶胶的生成潜势减弱。与使用柴油比较, 国三、国五公交车使用

B10 后的烯烃排放增加, VOCs 的大气反应活性增强.

参考文献:

- [1] 张远航, 邵可声, 唐孝炎, 等. 中国城市光化学烟雾污染研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998, **34**(2-3): 392-400.
Zhang Y H, Shao K S, Tang X Y, *et al.* The study of urban photochemical smog pollution in China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1998, **34**(2-3): 392-400.
- [2] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学[M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [3] 罗达通, 高健, 王淑兰, 等. 北京秋季大气挥发性有机物及相关污染物特征分析[J]. 中国科学院大学学报, 2014, **31**(3): 329-336.
Luo D T, Gao J, Wang S L, *et al.* Characteristics of volatile organic compounds and relative pollutants observed in autumn in Beijing [J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2014, **31**(3): 329-336.
- [4] 罗达通, 高健, 王淑兰, 等. 上海秋季大气挥发性有机物特征及污染物来源分析[J]. 中国环境科学, 2015, **35**(4): 987-994.
Luo D T, Gao J, Wang S L, *et al.* Characteristics of volatile organic compounds and relative pollutants observed in autumn Shanghai [J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(4): 987-994.
- [5] 刘芮伶, 翟崇治, 李礼, 等. 重庆主城区夏秋季挥发性有机物(VOCs)浓度特征及来源研究[J]. 环境科学学报, 2017, **37**(4): 1260-1267.
Liu R L, Zhai C Z, Li L, *et al.* Concentration characteristics and source analysis of ambient VOCs in summer and autumn in the urban area of Chongqing [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, **37**(4): 1260-1267.
- [6] 张玉欣, 安俊琳, 林旭, 等. 南京北郊冬季挥发性有机物来源解析及苯系物健康评估[J]. 环境科学, 2017, **38**(1): 1-12.
Zhang Y X, An J L, Lin X, *et al.* Source apportionment of volatile organic compounds and health assessment of benzene series in northern suburb of Nanjing in winter [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(1): 1-12.
- [7] 刘刚, 盛国英, 傅家谟, 等. 香港大气中有毒挥发性有机物研究[J]. 环境化学, 2000, **19**(1): 61-66.
Liu G, Sheng G Y, Fu J M, *et al.* Hazardous volatile organic compounds in ambient air in Hong Kong [J]. *Environmental Chemistry*, 2000, **19**(1): 61-66.
- [8] Vega E, Mugica V, Carmona R, *et al.* Hydrocarbon source apportionment in Mexico City using the chemical mass balance receptor model [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(24): 4121-4129.
- [9] 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.
- [10] Suwattiga P, Limpaseni W. Seasonal source apportionment of volatile organic compounds in Bangkok ambient air [J]. *Scienceasia*, 2005, **31**: 395-401.
- [11] Sarkhosh M, Mahvi A H, Yunesian M, *et al.* Source apportionment of volatile organic compounds in Tehran, Iran [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2013, **90**(4): 440-445.
- [12] 蔡长杰, 耿福海, 俞琼, 等. 上海中心城区夏季挥发性有机物(VOCs)的源解析[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(5): 926-934.
Cai C J, Geng F H, Yu Q, *et al.* Source apportionment of VOCs at city centre of Shanghai in Summer [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, **30**(5): 926-934.
- [13] 韩萌, 卢学强, 冉静, 等. 天津市城区夏季 VOCs 来源解析[J]. 环境科学与技术, 2011, **34**(10): 76-80.
Han M, Lu X Q, Ran J, *et al.* Source apportionment of volatile organic compounds in urban Tianjin in the summer [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, **34**(10): 76-80.
- [14] 杨辉, 朱彬, 高晋徽, 等. 南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析[J]. 环境科学, 2013, **34**(12): 4519-4528.
Yang H, Zhu B, Gao J H, *et al.* Source apportionment of VOCs in the northern suburb of Nanjing in Summer [J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(12): 4519-4528.
- [15] 王伯光, 邵敏, 张远航. 机动车排放中挥发性有机污染物的组成及其特征研究[J]. 环境科学研究, 2006, **19**(6): 75-80.
Wang B G, Shao M, Zhang Y H, *et al.* A study of volatile organic compounds and its emission factors from city vehicles [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2006, **19**(6): 75-80.
- [16] 于艳, 王秀艳, 杨文. 天津市机动车二次有机气溶胶生成潜势的估算[J]. 中国环境科学, 2015, **35**(2): 381-386.
Yu Y, Wang X Y, Yang W. Estimate of vehicles generation of secondary organic aerosols of Tianjin [J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(2): 381-386.
- [17] 区家敏, 冯小琼, 刘郁葱, 等. 珠江三角洲机动车挥发性有机物排放化学成分谱研究[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(4): 826-834.
Ou J M, Feng X Q, Liu Y C, *et al.* Source characteristics of VOCs emissions from vehicular exhaust in the Pearl River Delta Region [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, **34**(4): 826-834.
- [18] Yao Z L, Shen X B, Ye Y, *et al.* On-road emission characteristics of VOCs from diesel trucks in Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, **103**: 87-93.
- [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] 傅晓钦, 翁燕波, 钱飞中, 等. 行驶机动车尾气排放 VOCs 成分谱及苯系物排放特征[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(6): 1056-1062.
Fu X Q, Weng Y B, Qian F Z, *et al.* Study of the VOC source profile and benzene compounds emission of various motor vehicles [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, **28**(6): 1056-1062.
- [21] 张铁臣, 宋崇林, 范嘉睿, 等. 汽油车尾气 VOC 排放特性研究[A]. 见: 2007 年燃烧学学术会议论文集[C]. 天津: 中国工程热物理学会, 2007.
- [22] Cao X Y, Yao Z L, Shen X B, *et al.* On-road emission characteristics of VOCs from light-duty gasoline vehicles in Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, **124**: 146-155.

- [23] 胡志远, 谢亚飞, 谭丕强, 等. 在用国IV公交车燃用B5生物柴油的排放特性[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2016, 44(4): 625-631.
Hu Z Y, Xie Y F, Tan P Q, *et al.* Emission characteristics of an In-use China Four diesel bus fueled with B5 [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2016, 44(4): 625-631.
- [24] Peng C Y, Lan C H, Yang C Y. Effects of biodiesel blend fuel on volatile organic compound (VOC) emissions from diesel engine exhaust[J]. Biomass and Bioenergy, 2012, 36: 96-106.
- [25] Hu N T, Tan J W, Wang X Y, *et al.* Volatile organic compound emissions from an engine fueled with an ethanol-biodiesel-diesel blend[J]. Journal of the Energy Institute, 2017, 90(1): 101-109.
- [26] 胡志远, 磨文浩, 宋博, 等. 在用国III/国IV/国V柴油公交车的颗粒物质量及固态PM_{2.5}数量排放特性[J]. 环境科学研究, 2016, 29(10): 1426-1432.
Hu Z Y, Mo W H, Song B, *et al.* Emission characteristics of particulate matter mass and quantity of solid PM_{2.5} from In-use China III/IV/V diesel buses [J]. Research of Environmental Sciences, 2016, 29(10): 1426-1432.
- [27] 郭佳栋, 葛蕴珊, 谭建伟, 等. 国IV公交车实际道路排放特性[J]. 环境科学研究, 2014, 27(5): 477-483.
Guo J D, Ge Y S, Tan J W, *et al.* Real-world emission characteristics of China IV buses [J]. Research of Environmental Sciences, 2014, 27(5): 477-483.
- [28] 郭佳栋, 葛蕴珊, 谭建伟, 等. 国V公交车实际道路排放特性研究[J]. 汽车工程, 2015, 37(1): 120-124.
Guo J D, Ge Y S, Tan J W, *et al.* A research on the real world emission characteristics of State-V Buses [J]. Automotive Engineering, 2015, 37(1): 120-124.
- [29] 郭佳栋, 葛蕴珊, 郝利君, 等. SCR系统对公交车NO_x排放降低效果的研究[J]. 汽车工程, 2015, 37(11): 1227-1232, 1239.
Guo J D, Ge Y S, Hao L J, *et al.* A research on the NO_x reduction effects of SCR systems in city buses [J]. Automotive Engineering, 2015, 37(11): 1227-1232, 1239.
- [30] 楼狄明, 孔德立, 强蕾, 等. 国V柴油机燃用柴油/生物柴油排放性能试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(9): 25-30.
Lou D M, Kong D L, Qiang Q, *et al.* Emission experiment on a Chinese V diesel engine fueled with diesel/biodiesel [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 25-30.
- [31] 毛功平, 王忠, 吴婧, 等. 高压共轨柴油机燃用生物柴油的排放特性分析[J]. 车用发动机, 2013, (6): 62-67, 74.
Mao G P, Wang Z, Wu J, *et al.* Emission characteristics of high-pressure common rail diesel engine fuelled with Biodiesel [J]. Vehicle Engine, 2013, (6): 62-67, 74.
- [32] 尤可为, 葛蕴珊, 何超, 等. 柴油机燃用生物柴油的非常规污染物排放特性[J]. 内燃机学报, 2010, 28(6): 506-509.
You K W, Ge Y S, He C, *et al.* Unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel [J]. Transactions of CSICE, 2010, 28(6): 506-509.
- [33] Duan J C, Tan J H, Yang L, *et al.* Concentration, sources and ozone formation potential of volatile organic compounds (VOCs) during ozone episode in Beijing [J]. Atmospheric Research, 2008, 88(1): 25-35.

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (477)
VOCs Emission from Motor Vehicles in China and Its Impact on the Atmospheric Environment	CHEN Tian-zeng, GE Yan-li, LIU Yong-chun, <i>et al.</i> (478)
Quantification of the Influence of Industrial Emissions on Volatile Organic Compounds (VOCs) Using PMF Model; A Case Study of Jiangbei Industrial Zone in Nanjing .....	..... HU Kun, WANG Ming, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (493)
Source Analysis of Volatile Organic Compounds in the Nanjing Industrial Area and Evaluation of Their Contribution to Ozone	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, WANG Jun-xiu, <i>et al.</i> (502)
Ozone Formation Potential and Priority Species of VOCs in an Industrial Park	WU Lei-dan, WANG Xiu-yan, YANG Wen, <i>et al.</i> (511)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of a Petrochemical Industrial Park During Autumn in China	HU Tian-peng, LI Gang, MAO Yao, <i>et al.</i> (517)
Characteristics of VOCs Pollution in the Winter Atmosphere of a Typical Petrochemical Industry Park	MAO Yao, LI Gang, HU Tian-peng, <i>et al.</i> (525)
Emission Inventory and Pollution Characteristics of Industrial VOCs in Hangzhou, China	LU Bin, HUANG Cheng, LU Qing, <i>et al.</i> (533)
Industrial VOCs Emission in Qinhuangdao	HU Xiao-yu, LIU Hang, WANG Nai-yu, <i>et al.</i> (543)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Auto/motorcycle Parts & Accessories Manufacturing in Zhejiang Province .....	..... YANG Zhong-ping, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (551)
Stench Sources and Impact Analysis in Automobile Making	SHI Tian-li, ZHANG Wei-xia, CHEN Xiao-fang, <i>et al.</i> (557)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs Fugitively Emitted from Typical Brewers	GAO Zhan-qi, HU Guan-ju, WANG Hui, <i>et al.</i> (567)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in Chengdu	LI You-ping, TANG Ya, FAN Zhong-yu, <i>et al.</i> (576)
Indoor Formaldehyde and Benzene Series in Shanghai Residences and Their Associations with Building Characteristics and Lifestyle Behaviors .....	..... JIANG Qiao-yun, LIU Ping-ping, WANG Xue-ying, <i>et al.</i> (585)
Emission Inventory of Anthropogenically Sourced VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Jiangsu Province	XIA Si-jia, LIU Qian, ZHAO Qiu-yue (592)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs in Jiangmen City	CHEN Xiao-fang, ZHANG Wei-xia, CHEN Bing-xu, <i>et al.</i> (600)
Emissions, Chemical Composition, and Spatial and Temporal Allocation of the BVOCs in the Yangtze River Delta Region in 2014	LIU Yan, LI Li, AN Jing-yu, <i>et al.</i> (608)
VOCs Emission Inventory of Service Stations in a Subcenter (Tongzhou District) of the City of Beijing	HUANG Yu-hu, HU Wei, LI Bei-bei, <i>et al.</i> (618)
Pollutant Emissions from Diesel Buses Fueled with Waste Cooking Oil Based Biodiesel	HU Zhi-yuan, LIN Biao-qi, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (626)
Treatment of the Waste Gas Containing Methyl <i>tert</i> -Butyl Ether via a Biotrickling Filter	CHU Qi-ying, YAO Lu-lu, LÜ Xiong-biao, <i>et al.</i> (633)
Composite CVOCs Removal in a Combined System of Nonthermal Plasma and a Biotrickling Filter	GUO Hai-qian, MIAO Jing-jing, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> (640)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Semi-volatile Organic Compounds (SVOCs) in Qiantang River's Hangzhou Section During a Water Odor Pollution Event	CHEN Feng, TANG Fang-liang, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (648)
Occurrence and Spatial Distribution of Volatile Organic Compounds in Urban Drinking Water Distribution Systems	XU Mei-jia, WANG Hai-liang, LI Chun-mei, <i>et al.</i> (655)
Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds for Different Commuting Modes .....	..... TONG Rui-peng, ZHANG Lei (663)
Source Analysis and Environmental Health Risk Assessment of VOCs in Furniture Manufacturing	TONG Rui-peng, ZHANG Lei, YANG Xiao-yi, <i>et al.</i> (672)
Spatio-temporal Distribution Characteristics of PM _{2.5} and Spatio-temporal Variation Characteristics of the Relationship Between PM _{2.5} and PM ₁₀ in Beijing .....	..... YANG Wen-tao, YAO Shi-qi, DENG Min, <i>et al.</i> (684)
Quantification of Methane Ebullition Flux from Small Ponds Using the Inverted-Funnel Method	ZHANG Xiu-fang, XIAO Wei, ZHANG Mi, <i>et al.</i> (691)
Contamination Levels and Exposure Risk via Drinking Water from Perfluoroalkyl Acids in Seven Major Drainage Basins of China .....	..... WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, WANG Yan-ping, <i>et al.</i> (703)
Spatio-temporal Distribution and Source Apportionment of Nitrogen in Rivers of Tieling	YANG Li-biao, LEI Kun, QIAO Fei, <i>et al.</i> (711)
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Rivers of Western Sichuan Plateau Based on EEM-PARAFAC Analysis .....	..... LIU Yan-yang, QIN Ji-hong, LIU Chen, <i>et al.</i> (720)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk of Surface Waters in the City of Ningbo, China	XU Mei-juan, BAO Bo, CHEN Chun-yan, <i>et al.</i> (729)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake	WU Lei, LIU Gui-jian, ZHOU Chun-cai, <i>et al.</i> (738)
Spatial Distribution, Sources and Bioavailability of Heavy Metals in the Surface Sediments of Longjiang River, Southern China .....	..... LAN Xiao-long, NING Zeng-ping, XIAO Qing-xiang, <i>et al.</i> (748)
Mechanism on Enhanced Nitrogen Removal in Municipal Secondary Effluent via Internal-Electrolysis Constructed Wetlands at Low Temperature in Winter .....	..... ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, WANG Ju, <i>et al.</i> (758)
Dynamic Replenishment Process of Nutrients in Tributary of Channel Reservoir	XU Ya-qian, XU Piao, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (765)
Effect of the Rainfall on Extinction of Cyanobacteria Bloom and Its Mechanism Analysis	LIU Xin-yuan, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (774)
Relationship Between Macrophyte Communities and Macroinvertebrate Communities in an Urban Stream	QU Xiao-dong, YU Yang, ZHANG Min, <i>et al.</i> (783)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output in Runoff and Rainfall Runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir Area .....	..... ZHANG Lin, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (792)
Screening Method of Priority Control Pollutants in Groundwater Based on Contamination Assessment	ZHAO Peng, HE Jiang-tao, WANG Man-li, <i>et al.</i> (800)
Effect of Sulfur to Quartz Sand Ratios on the Removal of High-Concentration Perchlorate in Packed-Bed Reactors	TAO Hua-qiang, SHAO Dong-hai, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (811)
Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) by Activated Carbon/Macromolecule Composite Hydrogel	KONG Yan, ZHUANG Yuan, SHI Bao-you, <i>et al.</i> (819)
Adsorption Performance and Mechanism of HZO@SGH for the Removal of Fluoride from Aqueous Solution	MA Fu-zhen, ZHOU Shao-qi, LIU Ze-jun, <i>et al.</i> (828)
Mechanism of MgO/GAC Catalyzed Ozonation of Organic Compounds	XU Shan-shan, LIN Cun-wang, DING Ya-lei, <i>et al.</i> (838)
Ozonation Characteristics of Low Coagulability Organic Matter from the Secondary Effluent of WWTPs	HOU Rui, JIN Xin, JIN Peng-kang, <i>et al.</i> (844)
Quantitative Analysis of Dominant Pollutants in Secondary Effluent via Dye Probe Technology	MENG Xiao-rong, WANG Cong-hui, WANG Lei, <i>et al.</i> (852)
Lab-scale ANAMMOX Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (859)
Effect of Aeration Rate on Shortcut Nitrification Recovery in Intermittent Aeration Mode	LIU Hong, NAN Yan-bin, LI Hui, <i>et al.</i> (865)
Effect of Aerobic/Phosphorus Granules on Start-up of Partial Nitrification Granular Sludge	LI Dong, GUO Yue-zhou, CAO Mei-zhong, <i>et al.</i> (872)
Microbial Communities and Sludge Specific Resistance in Two SBRs Treating Leachate	CAI Li-yun, HUANG Ze-bin, XU Zi-wei, <i>et al.</i> (880)
Sources and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Urbanization Process of Topsoil	YAO Hong, ZHANG Shi-chao, LIU Ming-li, <i>et al.</i> (889)
Spatial Variability and Contamination of Arsenic in Soils of Xijiang River Basin	LIU Chang, SONG Bo, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (899)
Characterization of Phosphorus in Urban Surface Soils in Kaifeng City and Its Risk of Loss	BAI Xiu-ling, MA Jian-hua, SUN Yan-Li, <i>et al.</i> (909)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in a Soil-Rice System in an E-waste Dismantling Area	YIN Yi-meng, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i> (916)
Residue Levels and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Rice from Shanghai	MENG Yuan, LIU Cui-cui, QIU Yan-ling, <i>et al.</i> (927)
Effects of Tetracycline Antibiotics on Growth and Characteristics of Enrichment and Transformation in Two Vegetables	CHI Sun-lin, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (935)
Bioavailability of Silicon Fertilizer Coupled Water Management on Soil Bioavailability and Cumulative Control of Rice in Compound Contaminated Paddy Soils .....	..... LI Yuan-xing-lu, YE Chang-cheng, LIU Yu-ling, <i>et al.</i> (944)
Liver and Kidney Function of E-waste Dismantling Workers and Potential Influencing Factors	YAN Xiao, LI Shu-yuan, WANG Mei-huan, <i>et al.</i> (953)