

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第12期

Vol.37 No.12

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次(卷终)

基于数值计算的细颗粒物采样管路传输损失评估	罗李娜,程真,朱雯斐,张强,楼晟荣,乔利平,晏乃强(4457)
南京北郊重金属气溶胶粒子来源分析	秦鑫,张泽锋,李艳伟,沈艳,赵姝慧(4467)
南京青奥会期间不同天气条件下大气气溶胶中水溶性离子的分布特征	师远哲,安俊琳,王红磊,邹嘉南,王俊秀(4475)
苏州市 PM _{2.5} 中水溶性离子的季节变化及来源分析	王念飞,陈阳,郝庆菊,王欢博,杨复沐,赵晴,薄宇,贺克斌,姚玉刚(4482)
成都西南郊区春季 PM _{2.5} 中元素特征及重金属潜在生态风险评价	杨怀金,杨德容,叶芝祥,张恒德,马学款,汤志亚,毛冬艳(4490)
泉州市大气降尘中稀土元素地球化学特征及来源解析	张棕巍,于瑞莲,胡恭任,胡起超,王晓明(4504)
青奥会期间基于 $\delta^{13}\text{C}$ 观测的大气 CO ₂ 来源解析	徐家平,李旭辉,肖薇,次仁旺姆,温学发,刘寿东,杜雪婷,曹畅(4514)
民航飞机起飞过程气态污染物排放特征分析	韩博,黄佳敏,魏志强(4524)
畜禽养殖场空气中可培养抗生素耐药菌污染特点研究	张兰河,贺雨伟,陈默,高敏,仇天雷,王旭明(4531)
有序介孔材料过滤脱除纳米颗粒物	邢奕,王骥,路培,李子宜,刘应书,于晗(4538)
基于 DOC + CDPF 技术的公交车燃用生物柴油气态物道路排放特性	楼狄明,张允华,谭丕强,胡志远(4545)
亚热带浅水池塘水-气界面甲烷通量特征	龙丽,肖尚斌,张成,张文丽,谢恒,李迎春,雷丹,穆晓辉,张军伟(4552)
浙江汤浦水库浮游植物季节演替及其影响因子分析	马沛明,施练东,张俊芳,胡菊香,赵先富(4560)
太湖典型沉水植物生理指标对水质的响应	高敏,胡维平,邓建才,胡春华(4570)
利用 UV-vis 及 EEMs 对比冬季完全混合下两个不同特征水库溶解性有机物的光学特性	黄廷林,方开凯,张春华,周石磊,曾明正,龙圣海,李扬,夏超,从海兵(4577)
三峡前置库汉丰湖试运行年水体水质现状及控制效果评估	杨兵,何丙辉,王德宝(4586)
太湖贡湖湾水域抗生素污染特征分析与生态风险评价	武旭跃,邹华,朱荣,王靖国(4596)
滇池不同湖区沉积物正构烷烃的分布特征及其环境意义	余丽燕,韩秀秀,黄晓虎,吴亚林,杨浩,黄涛,余艳红,黄昌春(4605)
洱海入湖河口湿地干湿季沉积物氮、磷、有机质垂向分布特征及污染风险差异性	王书锦,刘云根,王妍,侯磊,张超(4615)
蠡湖表层沉积物氮矿化过程及其赋存形态变化	赵丽,王书航,姜霞,黄晓峰,陈俊伊(4626)
三峡库区表层沉积物重金属含量时空变化特征及潜在生态风险变化趋势研究	卓海华,孙志伟,谭凌智,吴云丽,兰静(4633)
模拟巢湖流域氯菊酯的迁移转化和生态风险	刘亚莉,王继忠,彭书传,陈天虎(4644)
有机质胶体对卡马西平在多孔介质中迁移影响模拟实验	张思,何江涛,朱晓婧(4651)
无机型城市景观水体表面污染的悬浮颗粒物粒度分布特征:以中国运河苏州段为例	李倩倩,潘杨,贡丹燕,黄勇,夏侯刚(4662)
清水江流域岩石风化特征及其碳汇效应	吕婕梅,安艳玲,吴起鑫,吴永贵(4671)
南方典型农田区浅层地下水污染特征	郭卉,虞敏达,何小松,罗岳平(4680)
水化学和环境同位素在示踪枣庄市南部地下水硫酸盐污染源中的应用	马燕华,苏春利,刘伟江,朱亚鹏,李俊霞(4690)
粗放型绿色屋顶对多环芳烃的控制效果	沈庆然,侯娟,李田(4700)
超滤的预处理工艺对比研究:化学混凝与电絮凝	赵凯,杨春风,孙境求,李静,胡承志(4706)
QCM-D 与 AFM 联用解析 EfOM 在 SiO ₂ 改性 PVDF 超滤膜表面的吸附机制	姜家良,王磊,黄丹曦,黄松,朱振亚,徐亚伟,李青青(4712)
群体感应淬灭菌的分离及其膜污染控制性能	赵畅,王文昭,徐期勇(4720)
水力负荷对生物沉淀池污染物净化性能的影响特性	王文东,马翠,刘荟,范银萍,刘国旗,张珂(4727)
外加微量 N ₂ H ₄ 下 SBR 中硝化微生物特性	肖凡颖,张代钧,卢培利(4734)
部分半硝化 AGS-SBR 工艺的启动及其种群结构分析	鲁航,信欣,管蕾,邹长武,余静(4741)
典型油田多环芳烃污染对土壤反硝化微生物群落结构的影响	姚炎红,王明霞,左小虎,李振轮,罗锋,周志峰(4750)
生物强化膜生物反应器(MBR)处理邻苯二甲酸二乙酯(DEP)效果及微生物群落结构分析	张可,关允,罗鸿兵,陈伟,陈佳,陈强(4760)
开闭路条件下沉积物微生物燃料电池阳极细菌群落差异解析	吴义诚,邓全鑫,王泽杰,郑越,李岱霖,赵峰(4768)
全氟辛酸(PFOA)厌氧生物可降解性	李飞,陈轶丹,周真明,廖晓斌,马红芳,苑宝玲(4773)
水肥用量对玉米季土壤 CO ₂ 排放的综合影响	杨硕欢,张保成,王丽,胡田田(4780)
福建西部山地水土流失区土壤呼吸的空间异质性	姚雄,余坤勇,曾琪,杨玉洁,张今朝,刘健(4789)
基于不确定性分析的土壤-水稻系统镉污染综合风险评估	杨阳,陈卫平,李艳玲,王美娥,彭驰(4800)
北京市不同地区土壤中的球囊霉素荧光特征及其与土壤理化性质的关系	柴立伟,刘梦娇,蒋大林,樊灏,曹晓峰,黄艺(4806)
准东煤炭产业区周边土壤重金属污染与健康风险的空间分布特征	刘芳,塔西甫拉提·特依拜,依力亚斯江·努尔麦麦提,王楠,杨春,夏楠,高宇潇(4815)
河北平原潮土中微生物对氮降解特征	张灿灿,庞会从,高太忠,张静,李晓玉,付胜霞(4830)
砷-非对蜈蚣草根不同碳基团的影响	廖晓勇,龚雪刚,阎秀兰,马旭,吴泽赢(4841)
碱性固体对污泥的调质堆肥影响及产品对土壤的改良潜力	蔡函臻,宁西翠,王权,张增强,任秀娜,李荣华,王美净, Mukesh Kumar Awasthi(4848)
不同热解及来源生物炭对西北黄土吸附敌草隆的影响	孙航,蒋煜峰,石磊平,慕仲峰,展惠英(4857)
南丹矿业活动影响区人群头发中重金属含量特征	田美玲,钟雪梅,夏德尚,伏凤艳,陆素芬,李黎,宋波(4867)
Mg-Al-Me (Me = La, Ce, Zr) 复合氧化物制备及其除氟性能	汪爱河,周康根,刘行,陈泉州,刘芳(4874)
铁锰复合氧化物/壳聚糖珠:一种环境友好型除磷吸附剂	付军,范芳,李海宁,张高生(4882)
不同粒径垃圾焚烧飞灰重金属毒性浸出及生物可给性	王春峰,陈冠飞,朱艳臣,姚丹,皇晓晨,王连军(4891)
《环境科学》第37卷(2016年)总目录	(4899)
《环境科学》征稿简则(4466) 《环境科学》征订启事(4699) 信息(4489,4881)	

基于 DOC + CDPF 技术的公交车燃用生物柴油气态物道路排放特性

楼狄明, 张允华*, 谭丕强, 胡志远

(同济大学汽车学院, 上海 201804)

摘要: 基于 OBS-2200 车载排放检测系统, 试验研究并分析了催化型连续再生颗粒捕集器(DOC + CDPF)及生物柴油混合燃料 B20(生物柴油体积占比 20%)对国Ⅲ柴油公交车瞬态工况和稳态工况下气态物道路排放特性的影响。结果表明相较于 B0(纯柴油), B20 的一氧化碳(CO)、总碳氢化合物(THC)平均排放率偏低, 其中, 稳态工况下降幅分别为 26.43%、10.44%, 瞬态工况下降幅分别为 22.78%、4.95%; 二氧化碳(CO₂)和氮氧化物(NO_x)平均排放率偏高, 其中, 稳态工况下分别上升 8.41% 和 8.26%, 瞬态工况下分别上升 7.15%、9.13%。相较于 B0, DOC + CDPF 对 B20 的 CO 和 THC 净化效果更为显著, 其中, 稳态工况下降幅分别达 60.58% 和 79.92%, 瞬态工况下, 降幅分别达 63.67% 和 82.57%。DOC + CDPF 使用后, CO₂ 和 NO_x 的排放率略微下降。

关键词: 柴油公交车; 催化型连续再生颗粒捕集器; 生物柴油; 道路排放; 气态排放物

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)12-4545-07 DOI: 10.13227/j.hjks.201606014

Emission Characteristics of Gaseous Pollutants from City Bus Fueled with Biodiesel Based on DOC + CDPF Technology in Real Road Conditions

LOU Di-ming, ZHANG Yun-hua*, TAN Pi-qiang, HU Zhi-yuan

(School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The gaseous emissions of stage III standard City bus with and without DOC + CDPF after-treatment fueled with biodiesel blends on real road in steady-state and transient conditions were studied using OBS-2200 gaseous portable emission measurement. The results showed that B20 led to a decrease of CO and THC emission rates compared with those of B0. In steady-state condition, CO and THC average mass emission rates of B20 decreased by 26.43% and 10.44% respectively and in transient condition the decrease rates were 22.78% and 4.95%. Meanwhile, B20 eventuated in higher CO₂ and NO_x emission rates. In steady-state condition, CO₂ and NO_x average mass emission rates of B20 increased by 8.41% and 8.26% respectively and in transient condition the increase rates were 7.15% and 9.13%. DOC + CDPF caused a more obvious reduction of CO and THC emission rates of B20 compared with B0. In steady-state condition, CO and THC average emission rates decreased by 60.58% and 79.92%, while in transient condition they decreased by 63.67% and 82.57%. The influence of DOC + CDPF on emission reduction of CO₂ and NO_x was not obvious.

Key words: diesel bus; DOC + CDPF; biodiesel; on-road emission; gaseous emissions

随着城市化进程的不断加深, 公共交通的发展势必会越来越快, 公交车作为城市公共交通的典型代表将会得到更广泛的应用。然而公交车具有排量大、油耗高、污染重的特点, 因此在全球能源紧缺和环境保护的背景下, 开发公交车清洁替代燃料及尾气后处理技术势在必行^[1~3]。

近年来氧化型催化转化器(diesel oxidation catalytic converter, DOC)和催化型颗粒捕集器(catalyzed diesel particulate filter, CDPF)技术的日趋成熟正在为公交车的尾气净化带来新的途径, 而以油料作物、动物油脂以及餐饮垃圾为原料通过酯交换或热化学工艺制成的生物柴油具有十六烷值和闪点高、抗爆性好等优点, 并且无需对柴油机改动便可直接使用, 能够在一定程度上缓解石化燃料枯竭的危机, 具有十分广阔的应用前景^[4~8]。针对生物

柴油国内外学者开展了许多研究, Randazzo 等^[9]研究了乘用车燃用不同比例大豆制生物柴油气态物的排放特性, 结果表明随生物柴油比例的升高, HC 和 CO 排放小幅下降, NO_x 和 CO₂ 排放有所上升; Chauhan 等^[10]基于发动机台架试验研究了生物柴油对排放的影响, 结果表明 CO、CO₂ 及 HC 较纯柴油均有不同程度的下降, NO_x 有所升高; Jaichandar 等^[11]研究了环形凹角燃烧室燃用 B20 生物柴油的排放特性, 结果表明 HC 排放减少 20.7%, CO 排放减少 44.5%, NO_x 排放增加约 9.2%; 楼狄明等^[12]

收稿日期: 2016-06-03; 修订日期: 2016-07-13

基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划项目(16DZ1203001)

作者简介: 楼狄明(1963~), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为发动机替代燃料与排放控制技术, E-mail: loudiming@tongji.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: zhangyunhua313@163.com

研究了共轨柴油机燃用生物柴油的排放性能,结果表明与纯柴油相比,燃用生物柴油混合燃料后,CO 和 HC 排放下降,且下降幅度随生物柴油混合比例的增大而增大,NO_x 排放上升,升高幅度随生物柴油混合比例的增大而增大;谭丕强等^[13]对公交车燃用生物柴油的排放性能进行了研究,结果表明生物柴油的 CO 和 HC 排放较纯柴油有所下降,NO_x 高于纯柴油;袁银南等^[14]对柴油机燃用生物柴油的排放特性进行了研究,结果表明柴油机使用生物柴油比使用纯柴油在 CO 和 HC 方面分别降低了 29.8% 和 24.98%,NO_x 排放变化不大.而柴油机尾气后处理技术方面,楼狄明等^[15]基于台架试验平台研究了 DOC + CDPF + SCR 技术对国 V 排放重型柴油机气态物排放特性的影响,研究结果表明 DOC + CDPF + SCR 能够有效降低柴油机的 NO_x、THC、CO 及 SO₂ 的排放,转化效率分别达到 91.8%、96.9%、99.9% 和 90.5%;葛蕴珊等^[16]基于台架试验平台研究了 DOC 对柴油机排放特性的影响,结果表明 DOC 能大幅降低 HC 和 CO 的排放,NO_x 总量变化不大.以上研究主要是关于生物柴油对气态物排放特性的影响,以及后处理装置对燃用纯柴油气态物排放特性的影响,而关于后处理装置和生物柴油耦合使用对气态物排放特性影响的研究却鲜见报道.鉴于公交车实际运行工况与台架试验工况存在较大差异,很有必要对采用 DOC + CDPF 技术的公交车燃用生物柴油的气态物道路排放特性展开研究.基于以上分析,本文以上海市国 III 柴油公交车为试验车辆,对比研究其加装 DOC + CDPF 前后燃用生物柴油的气态物道路排放特性,以期对公交车替代燃料的开发及尾气后处理技术的推广应用提供重要借鉴.

1 材料与方法

1.1 试验装置和燃料

试验样车为上海市日常运营的国 III 柴油公交车,基本参数见表 1,试验过程中采用日本 HORIBA 公司的 OBS-2200 车载排放测试仪对尾气中的 CO、CO₂、THC 和 NO_x 进行检测和记录,该设备采用加热型不分光红外检测法 NDIR 测量 CO 和 CO₂ 排放,采用加热型的氢火焰离子检测法 FID 测量 HC 排放,采用加热型的化学发光法 CLD 测量 NO_x 排放,该设备还装有 GPS,能够获得车辆的实时位置信息,从而得到实时车速^[17,18].

本试验过程中公交车安装的后处理设备为催化

型连续再生颗粒捕集器,即 DOC 和 CDPF 耦合的封装设备,其具体参数如表 2 所示.试验燃料分别为国 V 纯柴油、体积掺混比为 20% 的生物柴油混合燃料,其中,生物柴油为餐厨废弃油脂制备而得.两种燃料分别记为 B0、B20,其理化参数见表 3.

表 1 试验公交车主要参数

Table 1 Specifications of the test bus	
参数名称	参数值
车型	申沃 SWB6100V5
整备质量/kg	10100
发动机型号	道依茨 D7E240-EC01
发动机排量/L	7.146
最高车速/km·h ⁻¹	85
额定功率(kW)/转速(r·min ⁻¹)	177/2 300
最大扭矩(N·m)/转速(r·min ⁻¹)	920/1 200 ~ 1 700

表 2 DOC 和 CDPF 的具体参数

Table 2 Specifications of the DOC and CDPF		
项目	参数	
技术方案	DOC	CDPF
载体直径/mm	295	285.8
载体长度/mm	80	304.8
孔密度/cpsi	300	200
壁厚/μm	0.05	0.45
孔隙率/%	—	55
平均孔径/μm	—	8 ~ 13
载体材料	FeCrAl	堇青石
催化剂组分	γ-Al ₂ O ₃	γ-Al ₂ O ₃
贵金属剂量/g·ft ⁻³	60	35
贵金属配比	10(Pt):1(Rh)	10(Pt):2(Pd):1(Rh)
助剂成分	Fe ₂ O ₃ + ZrO ₂	Fe ₂ O ₃ + CrO ₂
涂层	Al ₂ O ₃ ·H ₂ O	Al ₂ O ₃ ·H ₂ O

表 3 B0 和 B20 燃料的理化特性

Table 3 Physical and chemical properties of B0 and B20		
项目	B0	B20
密度(20℃)/kg·m ⁻³	813.6	836.9
十六烷值	50.8	53.1
硫含量/mg·kg ⁻¹	1.4	9.9
氧化安定性/mg·(100 mL) ⁻¹	0.2	210
运动粘度(20℃)/mm ² ·s ⁻¹	3.591	4.610
凝点/℃	-22	—
冷滤点/℃	-7	—
闪点(闭口)/℃	62.5	—
酸度(以 KOH 计算)/mg·(100 mL) ⁻¹	2.0	0.13
灰分含量/%	<0.000 5	—
O 含量/%	—	2.62
C 含量/%	85.5	85.36

1.2 试验方案

试验基于未装 DOC + CDPF 国 III 原车及加装 DOC + CDPF 的国 III 公交车(同一辆公交车),在预先设计好的试验线路上用车载排放测试仪 OBS-

2200 采集分别燃用国 V 纯柴油 B0 及 B20 生物柴油混合燃料的气态排放物数据, 在分析 DOC + CDPF 以及 B20 对气态物排放特性的影响的同时研究其耦合使用性能。测试过程中车辆在实际道路上运行工况分为稳态工况和瞬态工况, 其中, 稳态工况即公交车保持 0、10、20、30、40、50 和 60 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 恒定车速行驶, 每种车速下对尾气排放进行采样, 采样周期为 60 s; 瞬态工况即公交车自由行驶工况 (限速 60 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), 对公交车尾气排放进行实时采样^[19,20]。采样系统如图 1 所示。

2 结果与讨论

2.1 稳态工况下气态物排放特性

稳态工况下将公交车速划分为 6 个区间, 0 ~ 0.5 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 区间记为 0 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 0.5 ~ 15 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 区间记为 10 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 15 ~ 25 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 区间记为 20 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 依次类推, 55 ~ 65 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 区间记为 60 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 根据实际道路气态物测试结果, 将公交车在不同车速区间内稳态工况 (加速度 $|a| \leq 0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) 的单位时间质量排放率进行平均计算, 得到公交车在不同速度下的气态物单位时间质量排放率, 以此分析稳态工况下 CO、THC、CO₂ 及 NO_x 的排放特性。

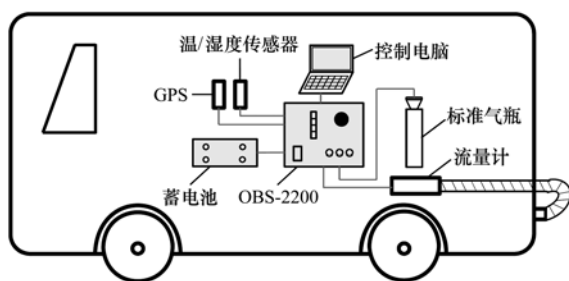


图 1 公交车气态排放物道路采样系统

Fig. 1 Test system of gaseous pollutants from bus

图 2 所示为稳态工况下 CO 质量排放率随速度的变化规律。可以看出, 在中低速阶段 ($v \leq 30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), CO 排放率相对较低, 随着车速的增大, CO 排放率快速升高后趋于平稳, 整个稳态工况, B20 的 CO 平均排放率较 B0 低 26.43%。中低速阶段, DOC + CDPF 对 B20 及 B0 的 CO 减排效果一般, 速度进一步增大时, 对 CO 减排效果较为显著。整个速度区间, B0 平均下降 55.36%, B20 平均下降 60.58%。

中低速阶段 CO 排放水平较低是因为此阶段发动机转速低, 单位时间内循环次数少, CO 燃烧较为

充分, 但此阶段发动机缸内温度相对较低, 从而造成排气温度低, 而排气温度又是影响 DOC + CDPF 性能的重要因素, 因此, 在中低速阶段 DOC + CDPF 对 CO 的转化效率一般。随着速度增大, 单位时间内发动机的循环次数增加, 单个循环的燃空混合与燃烧时间变短, 导致 CO 不能充分燃烧, 因此 CO 的排放率升高。速度进一步增大时, 发动机缸内温度较高, 有助于 CO 的燃烧, 所以在高速阶段 CO 排放又趋于平稳。而由于中高速阶段发动机缸内温度高, 从而造成排气温度升高, 因此 DOC + CDPF 对 CO 的氧化效果较好, 造成 CO 排放降幅明显^[21~23]。B20 的 CO 排放较 B0 偏低且使用 DOC + CDPF 后气态物减排效果更为显著, 主要是因为生物柴油含有分子内氧, 一方面更有利于 CO 的充分燃烧, 另一方面更容易带来较高的排气温度。

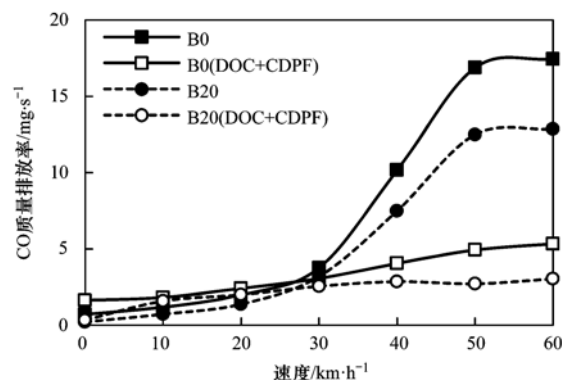


图 2 CO 稳态排放特性

Fig. 2 CO emission rate in steady operating condition

图 3 所示为稳态工况下公交车 THC 质量排放率随车速的变化。可以看出, 随车速的增大, B20 的 THC 排放率逐渐升高, 但始终低于 B0, 平均低 10.44%。加装 DOC + CDPF 后, THC 排放率显著下降, 并且车速越高, 降幅越大, 整个速度区间, B0 的 THC 平均排放率下降 71.95%, B20 的 THC 平均排放率下降 79.92%。究其原因, DOC + CDPF 对 THC 的起燃温度低, 虽然发动机在低速条件下的排气温度相对较低, 但其对 THC 的转化效果也仍十分显著。而随着车速增大, 发动机单个循环的燃空混合和燃烧时间变短, 导致 THC 燃烧不充分, 因此其排放率有所上升。但同时缸内温度升高, 排气温度增加, DOC + CDPF 催化剂性能激活加深, THC 转化效率增高, 因此 THC 的降幅更为显著^[24~26]。而由于生物柴油十六烷值高, 可以改善着火延迟, 提高缸内燃烧稳定性, 加之生物柴油氧含量高, 有利于缸内未燃 THC 的裂解, 所以 B20 的 THC 排放率始终低于

B0 并且 DOC + CDPF 对 B20 的 THC 转化效率更高。

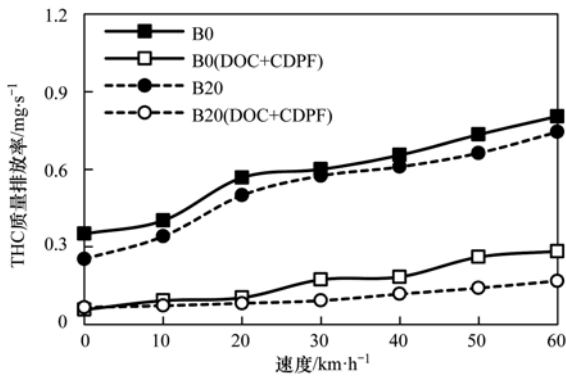


图3 THC 稳态排放特性

Fig. 3 THC emission rate in steady operating condition

图4所示为稳态工况下 CO_2 质量排放率随速度的变化,可以看出B20与B0的 CO_2 排放率均随速度的增大逐渐升高,这是因为速度增大,发动机负荷增加,喷油量相应增多,油耗逐渐增多,因此, CO_2 排放逐渐增多.与B0相比,B20的 CO_2 排放率略高,平均高8.41%,这主要是因为生物柴油含碳量低,其能量密度低,因此发动机达到同样的输出功率则需要喷射更多的燃油,从而造成 CO_2 排放率升高.整个速度区间,DOC + CDPF的使用可略微降低 CO_2 排放率,这可能是因为原有的消声系统经过长时间的使用积碳严重,造成排气背压大,而加装的DOC + CDPF会替换掉原有的消声系统,从而带来排气背压的降低,相应地, CO_2 排放率小幅下降。

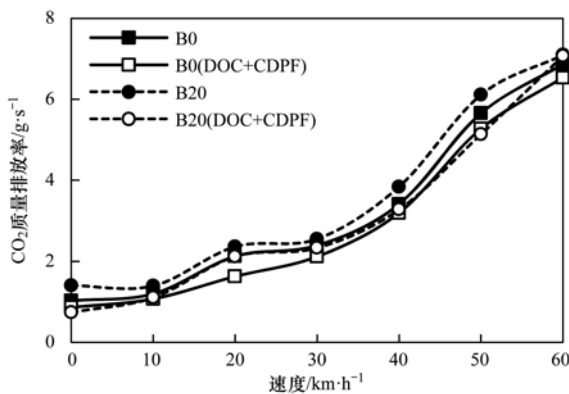


图4 CO_2 稳态排放特性

Fig. 4 CO_2 emission rate in steady operating condition

图5所示为稳态工况下 NO_x 单位时间质量排放率随速度的变化规律,可以看出,随速度的增大,B20的 NO_x 排放率逐渐升高并且平均较B0高8.26%,主要是因为速度升高,柴油机负荷增大,缸内温度升高,造成 NO_x 排放升高,而生物柴油的富氧特性更有利于 NO_x 的生成,因此B20的 NO_x 排放

高于B0. 加装DOC + CDPF后, NO_x 排放率会有小幅度的下降,主要是因为 NO_x 经过DOC时,其中的NO会被氧化成 NO_2 , NO_2 在贵金属的催化作用下会与DPF捕集的碳烟发生氧化还原反应^[27~29],自身会被消耗;另一方面,催化剂涂层会吸附部分 NO_x ,造成 NO_x 排放率的略微下降。

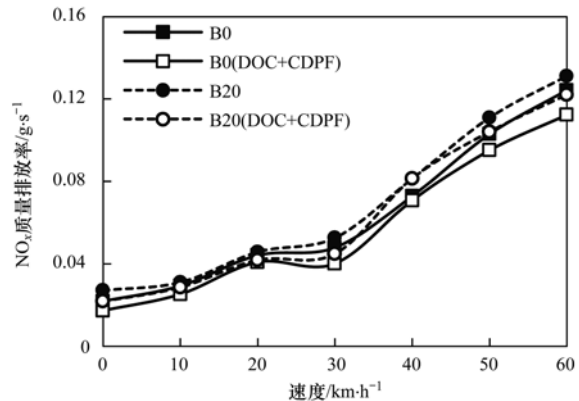


图5 NO_x 稳态排放特性

Fig. 5 NO_x emission rate in steady operating condition

2.2 瞬态工况下气态物排放特性

由于城市道路车流量较多,公交车运行多集中在中低速阶段,这里选取 $0 \sim 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 车速区间,研究公交车瞬态工况下的气态物道路排放特性,将加速度分为6个区间,其中 $[-1.75, -1.25]$ (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,下同)记为 $-1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $[-1.25, -0.75]$ 记为 $-1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,依次类推, $[1.25, 1.75]$ 记为 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,再根据实际道路气态物测量结果将公交车在中低速时不同加速区间内的单位时间质量排放率进行平均计算,得到公交车在不同加速度下的气态物单位时间质量排放率,以此分析瞬态工况下公交车各气态物的排放特性。

图6所示为瞬态工况下CO的排放率随加速度的变化规律,不难看出,减速阶段(加速度 $a < 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),B20的CO排放率稍低于B0,DOC + CDPF对CO的减排不明显.加速阶段(加速度 $a > 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),B20的CO排放率明显低于B0,并且在加速阶段,DOC + CDPF能够有效降低CO的排放.整个加速度区间,B20的CO平均排放率较B0低22.78%,DOC + CDPF使用后,B0的CO平均排放率下降52.24%,B20的CO平均排放率下降更为显著,达63.61%.这主要是因为,在减速阶段,发动机停止了供油,所以CO排放很低,而此时相对较低的排气温度导致了DOC + CDPF的催化活性较低;加速阶段,喷油量加大,空燃比减小,单位时间内循环

次数增多,燃烧状况恶化,从而导致了 CO 排放增加,而由于此阶段排气温度较高,DOC + CDPF 中催化剂活性增强,提高了其对 CO 的转化能力^[30]. 而 B20 的含氧特性不仅有助于降低 CO 排放率,而且更有利于发挥 DOC + CDPF 的催化氧化作用.

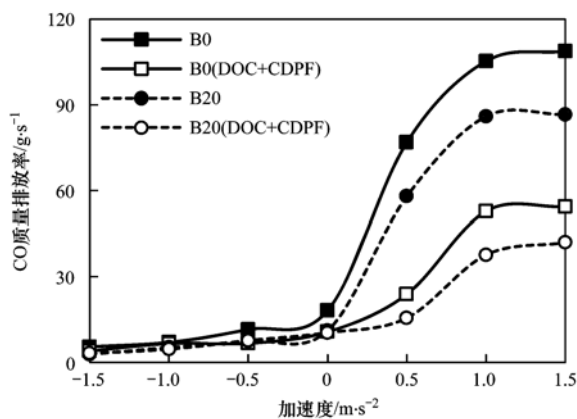


图 6 CO 瞬态排放特性

Fig. 6 CO emission rate in transient operating condition

图 7 所示为瞬态工况下 THC 的排放率随加速度的变化规律,可以看出,整个阶段,B20 的 THC 排放随加速度的增大而升高,但始终低于 B0,平均降幅为 4.95%. 加装 DOC + CDPF 后,B0 的 THC 平均排放率下降 74.86%,B20 的 THC 平均排放率下降 82.57%. 主要原因是加速度增大,发动机供油量增多,空燃比减少,造成燃料燃烧不完全,所以 THC 排放率增大,而喷油量的增大使发动机缸内温度逐渐升高,排气温度也会相应逐渐升高,从而提高了 DOC + CDPF 对 THC 的转化能力,所以随加速度的增大,DOC + CDPF 对 THC 减排作用增强^[31,32],而 B20 使用 DOC + CDPF 后其 THC 排放下降更为显著同样与生物柴油的含氧特性有关.

图 8 所示为瞬态工况下公交车的 CO₂ 排放率

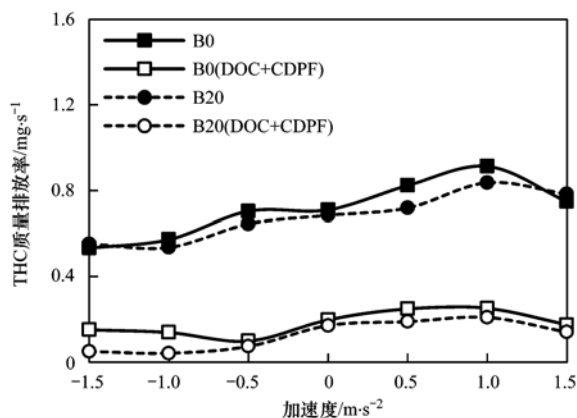


图 7 THC 瞬态排放特性

Fig. 7 THC emission rate in transient operating condition

随加速度的变化,可以看出,减速阶段,B20 的 CO₂ 排放率很低,随着加速度的增大,CO₂ 排放率逐渐升高后略微下降. 整个阶段 B20 的 CO₂ 平均排放率较 B0 高 7.15%,而 DOC + CDPF 并未对 B20 的 CO₂ 排放带来明显的减排效果. 究其原因,减速阶段的大部分时间发动机停止供油,因此 CO₂ 排放较低,随着加速度增大,发动机供油量加大,油耗增加,导致了 CO₂ 排放增加. 加速度继续增大时 ($a > 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),CO₂ 排放略微下降是因为此时车速较低,车辆行驶需求的功率稍有下降,相应的油耗也略微下降. 而 B20 的 CO₂ 排放率略高于 B0 主要是因为生物柴油的含碳量较纯柴油低,导致其热值低于纯柴油,因此相同的输出功率下需要喷射更多的生物柴油,造成其 CO₂ 排放率高于纯柴油. DOC + CDPF 使用后 CO₂ 排放率略微下降可能是因为原有的消声系统被替换掉,从而带来排气背压的下降,造成 CO₂ 排放率略微下降.

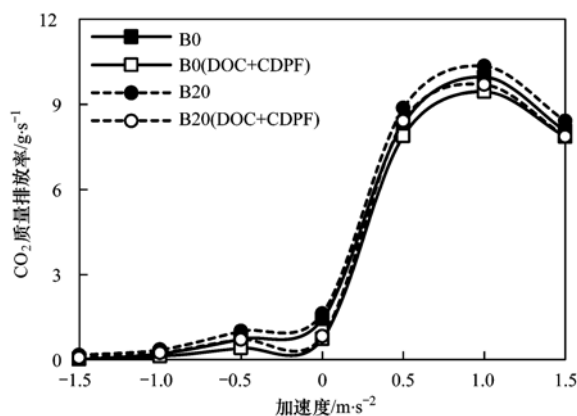
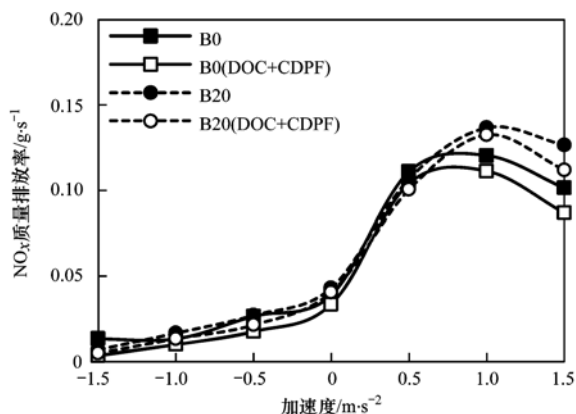
图 8 CO₂ 瞬态排放特性Fig. 8 CO₂ emission rate in transient operating condition

图 9 所示为瞬态工况下 NO_x 的排放率随加速度的变化规律,可以看出,减速阶段,B20 的 NO_x 排放率相对较低,加速阶段,B20 的 NO_x 排放率升高后小幅下降. 主要原因是减速阶段大部分时间发动机停止供油,缸内温度低,所以 NO_x 排放较低;加速阶段,发动机供油量增大,燃烧温度升高,有利于 NO_x 的生成,而较大加速度时 NO_x 排放有所下降是因为较大的加速度往往是发生在低速阶段,此时发动机负荷并不大,燃烧温度不高,因此,NO_x 排放略有下降. 整个瞬态过程,B20 的 NO_x 平均排放较 B0 高出 9.13%,这是因为生物柴油的含氧特性在燃烧过程中更容易形成高温富氧环境,有利于 NO_x 的生成. DOC + CDPF 的使用可小幅降低 B0 及 B20 的 NO_x 排放率,原因与稳态过程中相同^[33,34].

图9 NO_x 瞬态排放特性Fig. 9 NO_x emission rate in transient operating condition

3 结论

(1) 公交车燃用生物柴油混合燃料 B20 的 CO、THC 排放率较纯柴油 B0 偏低. 稳态工况下其平均降幅分别为 26.43%、10.44%; 瞬态工况下其平均降幅分别为 22.78%、4.95%. CO₂ 和 NO_x 排放率较纯柴油 B0 略有升高, 稳态工况其平均升幅分别为 8.41% 和 8.26%; 瞬态工况下其平均升幅分别为 7.15% 和 9.13%.

(2) DOC + CDPF 后处理技术能有效降低公交车的 CO 和 THC 排放, 相较于纯柴油, DOC + CDPF 对生物柴油混合燃料 B20 的减排效果更为显著. 其中, 加装 DOC + CDPF 后, 稳态工况下 B20 的 CO 和 THC 平均排放率降幅分别达 60.58% 和 79.92%; 瞬态工况下 B20 的 CO 和 THC 平均排放率降幅分别达 63.61% 和 82.57%. 稳态工况以及瞬态工况下, DOC + CDPF 对 CO₂ 和 NO_x 的减排效果均不显著.

参考文献:

- [1] 郭佳栋, 葛蕴珊, 谭建伟, 等. 国IV 公交车实际道路排放特征[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.
- [2] Tan P Q, Hu Z Y, Lou D M, *et al.* Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with Jatropha biodiesel fuel[J]. Energy, 2012, 39(1): 356-362.
- [3] Macor A, Avella F, Faedo D. Effects of 30% v/v biodiesel/diesel fuel blend on regulated and unregulated pollutant emissions from diesel engines[J]. Applied Energy, 2011, 88(12): 4989-5001.
- [4] 谭吉华, 石晓燕, 张洁, 等. 生物柴油对柴油机排放细颗粒物及其中多环芳烃的影响[J]. 环境科学, 2009, 30(10): 2839-2844.
Tan J H, Shi X Y, Zhang J, *et al.* Effects of biodiesel on fine

particles (PM_{2.5}) and polycyclic aromatic hydrocarbons from diesel engine [J]. Environmental Science, 2009, 30(10): 2839-2844.

- [5] 贺泓, 翁端, 资新运. 柴油车尾气排放污染控制技术综述[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1169-1177.
He H, Weng D, Zi X Y. Diesel emission control technologies: a review[J]. Environmental Science, 2007, 28(6): 1169-1177.
- [6] Singh D, Subramanian K A, Singal S K. Emissions and fuel consumption characteristics of a heavy duty diesel engine fueled with hydroprocessed renewable diesel and biodiesel[J]. Applied Energy, 2015, 155: 440-446.
- [7] Gowdagiri S, Cesari X M, Huang M D, *et al.* A diesel engine study of conventional and alternative diesel and jet fuels: ignition and emissions characteristics[J]. Fuel, 2014, 136: 253-260.
- [8] 谭丕强, 张晓峰, 胡志远, 等. DOC + CDPF 对生物柴油燃烧颗粒排放特性的影响[J]. 中国环境科学, 2015, 35(10): 2978-2984.
Tan P Q, Zhang X F, Hu Z Y, *et al.* Effects of DOC + CDPF on particulate emission from a diesel engine with biodiesel fuel[J]. China Environmental Science, 2015, 35(10): 2978-2984.
- [9] Randazzo M L, Sodr  J R. Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3-B20) with ethanol as an additive (B20E2-B20E5) [J]. Fuel, 2011, 90(1): 98-103.
- [10] Chauhan B S, Kumar N, Cho H M, *et al.* A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Karanja biodiesel and its blends[J]. Energy, 2013, 56: 1-7.
- [11] Jaichandar S, Kumar P S, Annamalai K. Combined effect of injection timing and combustion chamber geometry on the performance of a biodiesel fueled diesel engine [J]. Energy, 2012, 47(1): 388-394.
- [12] 楼狄明, 石健, 赵杰, 等. 共轨柴油机燃用不同配比生物柴油的性能与排放特性[J]. 内燃机工程, 2009, 30(6): 21-25, 30.
Lou D M, Shi J, Zhao J, *et al.* Performance and emission characteristics of a common rail diesel engine fuelled with different proportion bio-diesel blends [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2009, 30(6): 21-25, 30.
- [13] 谭丕强, 李洁, 胡志远, 等. 柴油公交车燃用不同替代燃料的排放特性[J]. 交通运输工程学报, 2013, 13(4): 63-69.
Tan P Q, Li J, Hu Z Y, *et al.* Emission characteristics of diesel bus burning different alternative fuels[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(4): 63-69.
- [14] 袁银南, 江清阳, 孙平, 等. 柴油机燃用生物柴油的排放特性研究[J]. 内燃机学报, 2003, 21(6): 423-427.
Yuan Y N, Jiang Q Y, Sun P, *et al.* Study of emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel [J]. Transactions of CSICE, 2003, 21(6): 423-427.
- [15] 楼狄明, 严嵘, 胡志远, 等. 基于 DOC + CDPF + SCR 技术的国V 排放重型柴油机气态物排放特性研究[J]. 环境工程, 2014, 32(10): 79-84.
Lou D M, Yan R, Hu Z Y, *et al.* Investigation on characteristics of the gas emissions of china stage V diesel engine with DOC + CDPF + SCR technologies [J]. Environmental Engineering, 2014, 32(10): 79-84.
- [16] 葛蕴珊, 赵伟, 王军方, 等. DOC 对柴油机排放特性影响的研究[J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(5): 460-464.

- Ge Y S, Zhao W, Wang J F, *et al.* Effects of diesel oxidation catalyst on emission from diesel [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2012, **32**(5): 460-464.
- [17] Giakoumis E G, Rakopoulos C D, Dimaratos A M, *et al.* Exhaust emissions of diesel engines operating under transient conditions with biodiesel fuel blends[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2012, **38**(5): 691-715.
- [18] Tan P Q, Ruan S S, Hu Z Y, *et al.* Particle number emissions from a light-duty diesel engine with biodiesel fuels under transient-state operating conditions[J]. Applied Energy, 2014, **113**: 22-31.
- [19] Yoon S, Quiros D C, Dwyer H A, *et al.* Characteristics of particle number and mass emissions during heavy-duty diesel truck parked active DPF regeneration in an ambient air dilution tunnel[J]. Atmospheric Environment, 2015, **122**: 58-64.
- [20] 冯谦, 楼狄明, 计维斌, 等. DOC/DOC + CDPF 对重型柴油机气态物排放特性的影响研究[J]. 内燃机工程, 2014, **35**(4): 1-6.
Feng Q, Lou D M, Ji W B, *et al.* Effects of DOC and DOC + CDPF on gaseous emissions from a heavy-duty diesel engine[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2014, **35**(4): 1-6.
- [21] Villa J A, Mitsch W J, Song K, *et al.* Contribution of different wetland plant species to the DOC exported from a mesocosm experiment in the Florida Everglades [J]. Ecological Engineering, 2014, **71**: 118-125.
- [22] Kim M Y, Kyriakidou E A, Choi J S, *et al.* Enhancing low-temperature activity and durability of Pd-based diesel oxidation catalysts using ZrO₂ supports [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2016, **187**: 181-194.
- [23] 张潇文, 王凤滨. DOC + POC 发动机燃用不同基准燃油尾气排放研究[J]. 车用发动机, 2014, (4): 89-92.
Zhang X W, Wang F B. Emission of DOC + POC engine fueled with different standard diesel[J]. Vehicle Engine, 2014, (4): 89-92.
- [24] Huang H F, Jiang B, Gu L, *et al.* Promoting effect of vanadium on catalytic activity of Pt/Ce-Zr-O diesel oxidation catalysts[J]. Journal of Environmental Sciences, 2015, **33**: 135-142.
- [25] Silitonga A S, Masjuki H H, Mahlia T M I, *et al.* Experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with *Ceiba pentandra* biodiesel blends [J]. Energy Conversion and Management, 2013, **76**: 828-836.
- [26] Katare S R, Patterson J E, Laing P M. Diesel aftertreatment modeling: a systems approach to NO_x control[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2007, **46**(8): 2445-2454.
- [27] Štěpánek J, Kočí P, Plát F, *et al.* Investigation of combined DOC and NSRC diesel car exhaust catalysts[J]. Computers & Chemical Engineering, 2010, **34**(5): 744-752.
- [28] Harada K, Yamada H, Okamoto K, *et al.* Development of high performance catalyzed DPF with new soot burning mechanism [J]. Catalysis Surveys from Asia, 2010, **14**(3): 176-184.
- [29] Kolli T, Kanerva T, Huuhtanen M, *et al.* The activity of Pt/Al₂O₃ diesel oxidation catalyst after sulphur and calcium treatments[J]. Catalysis Today, 2010, **154**(3-4): 303-307.
- [30] Katare S R, Patterson J E, Laing P M, *et al.* Aged DOC is a net consumer of NO₂: analyses of vehicle, engine-dynamometer and reactor data[R]. SAE Technical Paper, 2007.
- [31] Herreros J M, Gill S S, Lefort I, *et al.* Enhancing the low temperature oxidation performance over a Pt and a Pt-Pd diesel oxidation catalyst [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2014, **147**: 835-841.
- [32] Bueno-López A, Lozano-Castelló D, McCue A J, *et al.* NO_x storage and reduction over copper-based catalysts. part 3: simultaneous NO_x and soot removal [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2016, **198**: 266-275.
- [33] Chiesa M, Perrone M G, Cusumano N, *et al.* An environmental, economical and socio-political analysis of a variety of urban air-pollution reduction policies for primary PM10 and NO_x: the case study of the Province of Milan (Northern Italy) [J]. Environmental Science & Policy, 2014, **44**: 39-50.
- [34] Lee T, Park J, Kwon S, *et al.* Variability in operation-based NO_x emission factors with different test routes, and its effects on the real-driving emissions of light diesel vehicles[J]. Science of the Total Environment, 2013, **461-462**: 377-385.

CONTENTS

Transport Loss Estimation of Fine Particulate Matter in Sampling Tube Based on Numerical Computation	LUO Li-na, CHENG Zhen, ZHU Wen-fei, <i>et al.</i> (4457)
Sources Analysis of Heavy Metal Aerosol Particles in North Suburb of Nanjing	QIN Xin, ZHANG Ze-feng, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (4467)
Distribution Characteristics of Water Soluble Ions Under Different Weather Conditions During the Youth Olympic Games in Nanjing	SHI Yuan-zhe, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (4475)
Seasonal Variation and Source Analysis of the Water-soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter in Suzhou	WANG Nian-fei, CHEN Yang, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (4482)
Characteristics of Elements and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} at the Southwest Suburb of Chengdu in Spring	 YANG Huai-jin, YANG De-rong, YE Zhi-xiang, <i>et al.</i> (4490)
Geochemical Characteristics and Source Apportionment of Rare Earth Elements in the Dustfall of Quanzhou City	ZHANG Zong-wei, YU Rui-lian, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (4504)
¹³ C-based Sources Partitioning of Atmospheric CO ₂ During Youth Olympic Games, Nanjing	XU Jia-ping, LI Xu-hui, XIAO Wei, <i>et al.</i> (4514)
Gaseous Emission Characterization of Civil Aviation Aircraft During Takeoff	HAN Bo, HUANG Jia-min, WEI Zhi-qiang (4524)
Pollution Characteristics of Antibiotic Resistant Bacteria from Atmospheric Environment of Animal Feeding Operations	ZHANG Lan-he, HE Yu-wei, CHEN Mo, <i>et al.</i> (4531)
Removing Nano Particles by Filtration Using Materials with Ordered Mesoporous Structure	XING Yi, WANG Cong, LU Pei, <i>et al.</i> (4538)
Emission Characteristics of Gaseous Pollutants from City Bus Fueled with Biodiesel Based on DOC + CDPF Technology in Real Road Conditions	 LOU Di-ming, ZHANG Yun-hua, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (4545)
Characteristics of Methane Flux Across the Water-air Interface in Subtropical Shallow Ponds	LONG Li, XIAO Shang-bin, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (4552)
Succession of Phytoplankton Assemblages and Its Influencing Factors in Tangpu Reservoir, Zhejiang Province	MA Pei-ming, SHI Lian-dong, ZHANG Jun-fang, <i>et al.</i> (4560)
Responses of Physiological Indices of Typical Submerged Macrophytes to Water Quality in Taihu Lake	GAO Min, HU Wei-ping, DENG Jian-cai, <i>et al.</i> (4570)
Optical Characteristics of Dissolved Organic Matter from Two Different Full Mixed Reservoirs in Winter Based on UV-vis and EEMs	 HUANG Ting-lin, FANG Kai-kai, ZHANG Chun-hua, <i>et al.</i> (4577)
Hanfeng Pre-dam Commissioning Eutrophication Status and Control Evaluation in Three Gorges Reservoir	YANG Bing, HE Bing-hui, WANG De-bao (4586)
Occurrence, Distribution and Ecological Risk of Antibiotics in Surface Water of the Gonghu Bay, Taihu Lake	WU Xu-yue, ZOU Hua, ZHU Rong, <i>et al.</i> (4596)
Distribution Characteristics of <i>n</i> -alkanes in Sediment Core and Implication of Environment in Different Lakes of Dianchi	YU Li-yan, HAN Xiu-xiu, HUANG Xiao-hu, <i>et al.</i> (4605)
Vertical Distribution and Pollution Risk Assessment of Nitrogen, Phosphorus, and Organic Matter in Sediment of Inflowing Rivers of Erhai Lake Estuarine Wetland in Wet and Dry Seasons	 WANG Shu-jin, LIU Yun-gen, WANG Yan, <i>et al.</i> (4615)
Variation of Nitrogen Forms in Sediments of Lihu Lake During Mineralization	 ZHAO Li, WANG Shu-hang, JIANG Xia, <i>et al.</i> (4626)
Temporal and Spatial Variation Characteristics of the Heavy Metals Content in the Surface Sediment and the Potential Ecological Risk Trends in the Three Gorges Reservoir Area	 ZHUO Hai-hua, SUN Zhi-wei, TAN Ling-zhi, <i>et al.</i> (4633)
Modeling the Environmental Behaviors and Ecological Risks of Permethrin in Chaohu Lake	LIU Ya-li, WANG Ji-zhong, PENG Shu-chuan, <i>et al.</i> (4644)
Simulation Experiment; Effect of Organic Colloid on Carbamazepine Transport in Porous Media	ZHANG Si, HE Jiang-tao, ZHU Xiao-jing (4651)
Grain Size Distribution Characteristics of Suspended Particulate Matter as Influenced by the Apparent Pollution in the Inorganic Type Urban Landscape Water: Taking the Canal of Suzhou Section as Example	LI Qian-qian, PAN Yang, GONG Dan-yan, <i>et al.</i> (4662)
Rock Weathering Characteristics and the Atmospheric Carbon Sink in the Chemical Weathering Processes of Qingshuijiang River Basin	LÜ Jie-mei, AN Yan-ling, WU Qi-xin, <i>et al.</i> (4671)
Pollution Characteristics Analysis in Shallow Groundwater of Typical Farmland Area, Southern China	GUO Hui, YU Min-da, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (4680)
Identification of Sulfate Sources in the Groundwater System of Zaozhuang; Evidences from Isotopic and Hydrochemical Characteristics	MA Yan-hua, SU Chun-li, LIU Wei-jiang, <i>et al.</i> (4690)
Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Extensive Green Roofs	SHEN Qing-ran, HOU Juan, LI Tian (4700)
Comparative Study on Pretreatment Process of Ultrafiltration; Chemical Coagulation and Electrocoagulation	ZHAO Kai, YANG Chun-feng, SUN Jing-qiu, <i>et al.</i> (4706)
Adsorption Mechanisms Analysis of EOM on PVDF Ultrafiltration Membranes Modified by SiO ₂ Using QCM-D and AFM	JIANG Jia-liang, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (4712)
Isolation of Quorum Quenching Bacteria and Their Function for Controlling Membrane Biofouling	ZHAO Chang, WANG Wen-zhao, XU Qi-yong (4720)
Effects of Hydraulic Loading Rate on the Removal of Pollutants from an Integrated Biological Settling Tank	WANG Wen-dong, MA Cui, LIU Hui, <i>et al.</i> (4727)
Characteristics of Nitrobacteria in SBR with Trace N ₂ H ₄ Addition	XIAO Peng-ying, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li (4734)
Start-up of Partial Nitrification AGS-SBR and Analysis of Its Microbial Community Composition	LU Hang, XIN Xin, GUAN Lei, <i>et al.</i> (4741)
Effects of PAHs Pollution on the Community Structure of Denitrifiers in a Typical Oilfield	YAO Yan-hong, WANG Ming-xia, ZUO Xiao-hu, <i>et al.</i> (4750)
Performance and Microbial Community Analysis of Bioaugmented Treatment of Diethyl Phthalate (DEP) in Membrane Bioreactor	ZHANG Ke, GUAN Yun, LUO Hong-bing, <i>et al.</i> (4760)
Comparative Analysis of the Bacterial Community on Anodic Biofilms in Sediment Microbial Fuel Cell Under Open and Closed Circuits	 WU Yi-cheng, DENG Quan-xin, WANG Ze-jie, <i>et al.</i> (4768)
Anaerobic Biodegradability of Perfluorooctanoic Acid (PFOA)	LI Fei, CHEN Yi-dan, ZHOU Zhen-ming, <i>et al.</i> (4773)
Comprehensive Effects of the Application of Water and Fertilizer Amount on CO ₂ Emission from Soils of Summer-maize Field	YANG Shuo-huan, ZHANG Bao-cheng, WANG Li, <i>et al.</i> (4780)
Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in the Soil Erosion Area of West Mountains in Fujian Province, China	YAO Xiong, YU Kun-yong, ZENG Qi, <i>et al.</i> (4789)
Comprehensive Risk Evaluation of Cadmium in Soil-rice System Based on Uncertainty Analysis	YANG Yang, CHEN Wei-ping, LI Yan-ling, <i>et al.</i> (4800)
Fluorescence Properties of Glomalin and Its Relationship with Soil Physicochemical Characteristics in Different Regions of Beijing City	 CHAI Li-wei, LIU Meng-jiao, JIANG Da-lin, <i>et al.</i> (4806)
Spatial Distribution Characteristics of Heavy Metal Pollution and Health Risk in Soil Around the Coal Industrial Area of East Junggar Basin	 LIU Fang, Tashpolat Tiyp, Ilyas Nurmamat, <i>et al.</i> (4815)
Characteristics of Microbial Nitrogen Degradation in Fluvo-aquic Soil of Hebei Plain	ZHANG Can-can, PANG Hui-cong, GAO Tai-zhong, <i>et al.</i> (4830)
Influence of Arsenate and Phenanthrene on Carbon-groups of <i>Pteris vittata</i> L. Roots	LIAO Xiao-yong, GONG Xue-gang, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (4841)
Effect of Alkali Solids Amendment on Sewage Sludge Aerobic Composting and the Potential of Related Products on Infertile Soil Amelioration	 CAI Han-zhen, NING Xi-cui, WANG Quan, <i>et al.</i> (4848)
Adsorption and Influential Factors of Diuron on the Loess Soil by Adding Different Biochar Prepared at Varying Temperatures	SUN Hang, JIANG Yu-feng, SHI Lei-ping, <i>et al.</i> (4857)
Characteristics of Heavy Metal Contents in Human Hairs of Mine Contaminated Areas in Nandan County	TIAN Mei-ling, ZHONG Xue-mei, XIA De-shang, <i>et al.</i> (4867)
Preparation of Mg-Al-Me (Me = La, Ce, Zr) Composite Oxides for Efficient Fluoride Uptake	WANG Ai-he, ZHOU Kang-gen, LIU Xing, <i>et al.</i> (4874)
Fe-Mn Binary Oxide Impregnated Chitosan Bead (FMCB): An Environmental Friendly Sorbent for Phosphate Removal	FU Jun, FAN Fang, LI Hai-ning, <i>et al.</i> (4882)
Leaching Toxicity and Bioaccessibility of Heavy Metals in MSWI Fly Ash with Various Particle Sizes	WANG Chun-feng, CHEN Guan-fei, ZHU Yan-chen, <i>et al.</i> (4891)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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
赵进才 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)

2016年12月15日 第37卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 12 Dec. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易集团有限公司 (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
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行