

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究	郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)
北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征	于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)
奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析	张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)
华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素	苏彬彬 (2519)
北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究	方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)
民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究	海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)
醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究	张凡, 王建海, 王小臣, 王建昕 (2539)
微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究	曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)
生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析	李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)
炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究	周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)
春季东、黄海溶解甲烷的分布和海气交换通量	曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)
千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究	董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)
新安江流域土地利用结构对水质的影响	曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)
长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析	孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)
河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性	杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)
水藻暴发的影响因素定量化研究初步	张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)
深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响	卢金锁, 胡亚潘 (2611)
结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度	周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)
Subwet 模型在人工湿地设计中的应用	李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)
白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应	何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)
苦草 (<i>Vallisneria spiralis</i>) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响	许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周峰 (2642)
铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究	汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)
铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究	杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)
不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响	赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)
邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H ₂ O ₂ 降解机制研究	刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)
二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd ²⁺ 离子的吸附研究	张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)
酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附	蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)
基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni ²⁺ 的吸附性能	张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)
树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐	王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)
Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究	朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)
化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究	王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)
镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究	陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)
HRT 对 A ² O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响	刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)
发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟	张超, 陈银广 (2741)
强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究	熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)
污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响	周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)
不同粒径铁铝泥对砷(Ⅲ)的吸附效果	林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)
我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析	仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)
浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离	徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)
三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响	张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)
吉林前郭水田土壤有机碳垂直分布规律和储量研究	汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)
关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例	张晓伟, 许明祥 (2793)
三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究	黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)
土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C 连续标记法	史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)
西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析	张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)
丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价	李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)
农药企业场地苯系物污染风险及调控对策	庞博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)
水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响	张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)
硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响	刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)
零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用	周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)
2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果	全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)
反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别	刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)
1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究	张倩, 王弘宇, 桑穗姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)
1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究	陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)
微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解	张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)
扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究	周际海, 孙向武, 胡锋, 李辉信 (2894)
固定化 <i>Lysinibacillus cresolovorans</i> 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解	李婷, 任源, 韦朝海 (2899)
生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析	黄翔峰, 张树聪, 彭开彰, 陆丽君, 刘佳 (2906)
A ² O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性	高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞薇, 白志辉 (2912)
生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究	李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)
专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)	

醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究

张凡^{1,2}, 王建海¹, 王小臣¹, 王建昕²

(1. 中国汽车技术研究中心, 天津 300162; 2. 清华大学汽车工程系, 北京 100084)

摘要: 在两辆试验车上分别燃用纯汽油、M15、M30 燃料以及纯汽油、E10、E20 燃料, 进行了常温 25℃ I 型、低温 -7℃ VI 型和 IV 型蒸发排放试验。通过 FTIR、HPLC、GC-MS 等多种方法联合测量了醇类汽油车的醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放。结果表明, 不论是在常温还是在低温下, 随着燃料中醇类比例的增加, 未燃甲醇、甲醛、乙醛排放成比例地增加, 苯、甲苯、乙烯、丙烯、1,3-丁二烯和异丁烯排放略有降低。在低温环境温度下, 各种非常规污染物的排放明显高于在常温环境温度下。E10、汽油、M15 这 3 种燃料在整个蒸发排放试验过程中的 HC 排放量相差不大。3 种燃料在昼间呼吸试验中的各种非常规污染物蒸发排放差异值较小。

关键词: 汽车; 非常规污染物排放; 甲醇燃料; 乙醇燃料; 醛类; 酮类; 芳香烃类

中图分类号: X512 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2539-07

Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles

ZHANG Fan^{1,2}, WANG Jian-hai¹, WANG Xiao-cheng¹, WANG Jian-xin²

(1. China Automotive Technology & Research Center, Tianjin 300162, China; 2. Department of Automotive Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Using two vehicles fuelled with pure gasoline, M15, M30 and pure gasoline, E10, E20 separately, 25℃ normal temperature type I emission test, -7℃ low temperature type VI emission test and type IV evaporation emission test were carried out. FTIR, HPLC and GC-MS methods were utilized to measure alcohols, aldehydes, aromatic hydrocarbons and olefins emissions. The test results indicate that at the low as well as normal ambient temperature, as the alcohols proportion increasing in the fuel, unburned methanol, formaldehyde, acetaldehyde increase proportionally, benzene, toluene, ethylene, propylene, 1,3-butadiene and isobutene decrease slightly. The unregulated emissions at the low ambient temperature are significantly higher than those at the normal ambient temperature. The difference of HC emissions in the entire process of evaporative emission tests of E10, gasoline and M15 fuels is slight. There is a small difference of unregulated emissions in the diurnal test of three fuels.

Key words: vehicle; unregulated emissions; methanol fuel; ethanol fuel; aldehydes; ketones; aromatic hydrocarbons

随着替代燃料逐步的推广应用, 甲醇汽油和乙醇汽油车的非常规污染物排放问题日益受到人们的重视。在现有的汽油车上掺烧车用甲醇或者乙醇燃料时, 由于燃料中含有氧含量, 尾气排放中的 CO、HC 等常规污染物可能会有一定程度的降低, 对大气污染有一定的改善作用^[1-4], 但是甲醇或者乙醇燃料发生不完全燃烧时却会产生甲醇、甲醛、乙醛、丙酮、苯、甲苯等非常规污染物排放^[5-8]。甲醇汽油和乙醇汽油车的非常规污染物排放问题已成为制约甲醇和乙醇燃料推广的重要因素之一^[9,10]。

这些芳香烃类、醇醛酮类物质一般具有较强的气味, 一定的刺激和致敏作用, 还可能有潜在的遗传毒性和致癌活性, 对人体健康有较大的影响^[11]。甲醛、乙醛能够刺激人的皮肤, 眼睛和嗅觉黏膜, 一般被认为是神经毒物, 甚至是致癌物质, 可能严重危害人体的健康^[12]。当人吸入或皮肤接触大量苯进入体内时, 会引起急性和慢性苯中毒。苯是强烈的致

癌物, 会抑制人体的造血功能, 使红细胞、白细胞和血小板减少^[13]。1,3-丁二烯具有麻醉和刺激作用, 可以引起急性中毒和慢性影响。1,3-丁二烯对职业接触人群具有一定的毒性作用, 并对水体、土壤和大气造成污染^[14]。

本试验在 1 号试验车上分别燃用纯汽油、M15、M30 这 3 种燃料, 在 2 号试验车上分别燃用纯汽油、E10、E20, 在轻型车底盘测功机上进行了 GB 18352.3-2005 标准^[15] 规定的常温 25℃ 环境温度下的 I 型排放试验和低温 -7℃ 环境温度下的 VI 型排放试验, 以及在轻型车用变温密闭室中进行了 IV 型轻型车蒸发排放试验。通过 FTIR (傅立叶变换红外光谱仪)、HPLC (高效液相色谱仪)、GC-MS (气相色谱-质谱联用仪) 等多种方法, 联合测量了燃料

收稿日期: 2012-10-18; 修订日期: 2013-01-14

作者简介: 张凡(1982~), 男, 博士后, 主要研究方向为汽车的非常规污染物排放, E-mail: zhangfan@catarc.ac.cn

中醇类比例和环境温度对汽车尾气和蒸发排放中甲醇、甲醛、乙醛、丙酮、苯、甲苯、二甲苯、乙烯、丙烯、1,3-丁二烯、异丁烯等非常规污染物的影响。

1 材料与方法

试验用车辆为两辆 2011 年生产的同一型号的 1.6L 自动档轻型轿车,行驶里程分别约为 11 000 km(1 号试验车)和 22 000 km(2 号试验车)。1 号试验车分别使用纯汽油、M15、M30 燃料进行试验。2 号试验车分别使用纯汽油、E10、E20 燃料进行试验。其相关车型参数如表 1 所示。尾气后处理装置为车辆原装的常规三效催化器。

试验用汽油是燕山石化公司提供的 93 号国Ⅳ标准油。试验用甲醇是从燕兰石化公司直接购买的

高纯度工业用甲醇。试验用乙醇是从国药集团化学试剂北京有限公司直接购买的无水乙醇(分析纯),乙醇含量 $\geq 99.7\%$ 。试验前分别在汽油中掺混 10%和 20%体积分数的乙醇,经过充分搅拌后得到 E10 和 E20 两种乙醇汽油燃料,分别在汽油中掺混 15%和 30%体积分数的甲醇,得到 M15 和 M30 两种甲醇汽油燃料。试验时首先将汽车中的燃油放空,然后分别加入纯汽油、M15、M30、E10、E20 燃料 20 L 进行试验。为了确保燃料的稳定性,醇类燃料和汽油充分混合后,会尽快加入汽车进行试验。试验结束后,从汽车中放出剩余的燃料,采集 2 L 油样送至上海 SGS 检测中心进行分析。纯汽油、甲醇汽油、乙醇汽油等油样参数的分析结果如表 2 所示。

表 1 试验车辆相关参数

Table 1 Specifications of test vehicles

整备质量 /kg	排量 /L	工作方式	最大功率 /kW	最大扭矩 /N·m	燃油标号	环保标准
1 285	1.6	自然吸气	77	155	93 号	国Ⅳ + OBD

表 2 试验用油样相关参数

Table 2 Specifications of test fuels

油样名称	汽油	M15	M30	E10	E20
密度(20℃)/g·cm ⁻³	0.768 5	0.767 8	0.766 3	0.759 2	0.762 8
研究法辛烷值	94.2	98.5	101.5	97.4	99.0
蒸气压/kPa	55.4	57.4	65.2	53.2	49.3
醇类含量/%	0.1	14.3	30.03	8.73	18.85
10% 馏出温度/℃	65.6	52.9	51.3	56.2	59.7
50% 馏出温度/℃	117.0	106.6	61.6	106.6	74.2
90% 馏出温度/℃	163.6	159.9	153.7	168.8	158.1

试验测试系统主要由底盘测功机系统、环境模拟系统、排放分析系统、控制系统等部分组成,具体的试验装置及仪器型号见表 3 所示。本试验采用德国 MAHA 公司的 ECDM-48L-4WD 轻型车排放底盘测功机。本试验的排气分析系统主要包括日本堀场公司(Horiba Company)的 CVS-7400 系列定容稀释采样系统、MEXA-7400 系列常规排放分析系统和 MEXA-6000FT 多组分排放分析仪。环境模拟系

统包括德国 IMTECH 公司的 SFTP 低温排放环境试验仓和日本堀场公司的 DAR-3300 空气净化系统。其中 MEXA-7400LE 的测量精度为 1%。测量范围为 HC 排放 $0 \sim 5\,000 \times 10^{-6}$, CO 排放 $0 \sim 10 \times 10^{-2}$, CO₂ 排放 $0 \sim 25 \times 10^{-2}$, NO_x 排放 $0 \sim 5\,000 \times 10^{-6}$, CH₄ 排放 $0 \sim 5\,000 \times 10^{-6}$ 。

2 排放试验方法

由于低温环境对于汽车运行性能产生较大影响,特别是发动机在冷起动时会产生燃烧恶化的情况,造成尾气中的各种污染物排放大幅度上升。汽车在实际道路上行驶时,环境温度也会有很大的差异,因此在汽车排放标准中,规定了 25℃ 常温试验和 -7℃ 低温试验来检验汽车在不同环境温度下的排放性能。

本研究在常温 25℃ 环境温度下进行的试验为

表 3 试验装置及仪器型号

Table 3 Testing apparatus and instruments

装置名称	仪器型号	生产公司
底盘测功机	ECDM-48L-4WD	德国 MAHA
排放环境试验仓	SFTP	德国 IMTECH
定容稀释系统	CVS-7400	日本 HORIBA
常规排放分析系统	MEXA-7400LE	日本 HORIBA
多组分排放分析仪	MEXA-6000FT	日本 HORIBA
空气净化系统	DAR-3300	日本 HORIBA

GB 18352.3-2005 规定的 I 型排放试验, 循环曲线如图 1 所示. 在低温 -7°C 环境温度下进行的试验为 VI 型排放试验, 测试工况仅为 4 个市区 ECE 工况, 共 780 s (图 1 所示的市区工况部分).

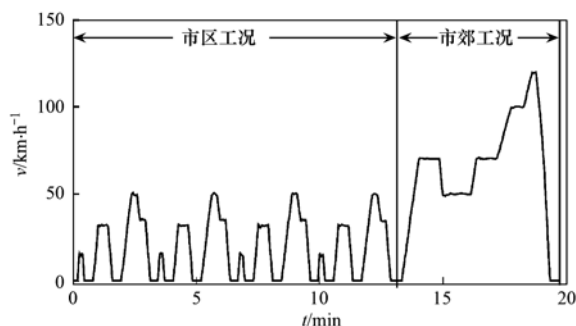


图 1 I 型排放试验循环曲线

Fig. 1 Driving cycles of type I emissions test

IV 型轻型车蒸发排放试验由热浸试验和昼间呼吸试验两部分组成. 热浸试验是试验车在转鼓试验台上行驶完一个特定的循环工况后, 经过试验车在密闭室内的 1 h 静置, 使用测量系统获得热浸试验的排放质量. 昼间呼吸试验将被测车辆静置于密闭室内, 在 24 h 时间内按照规定的程序首先将室内气体升温来加热车辆, 然后再逐步降低到室温, 在最后一时刻使用测量系统获得昼间呼吸试验的排放质量.

在试验循环结束后, 使用美国 SKC 公司的 PCXR8 型气体采样泵从采样气袋中抽出适量的稀释排气, 分别使用 TENAX-TA 吸附管采集稀释排气中的挥发性有机化合物, 使用 2,4-DNPH 吸附柱采集稀释排气中的醛酮类化合物. 对于 TENAX-TA 吸附管, 采样后经过热脱附后使用 GC-MS 进行定性定量分析, 得出样品中苯、甲苯、二甲苯的排放值, 误差范围不超过 5%. 对于 2,4-DNPH 吸附柱, 利用固相萃取装置进行样品洗脱后, 经 HPLC 测量可以得到甲醛、乙醛、丙酮的排放水平, 误差范围不超过 3%. 使用 MEXA-6000FT 测量了乙烯、丙烯、1,3-丁二烯、异丁烯在整个循环工况的瞬时排放值, 然后与稀释排气的瞬时流量进行积分计算, 再除以汽车行驶总距离, 得出烯烃类物质的平均排放水平, 误差范围不超过 2%.

3 结果与分析

3.1 常温试验的非常规污染物排放结果

图 2 给出了汽油、M15、M30 这 3 种燃料在常温下主要非常规污染物的平均排放水平, 分为醇醛酮、芳香烃和烯烃三大类. 从图 2(a) 中可以看出,

随着燃料中甲醇比例的增加, 甲醇和甲醛排放成比例地增加, 乙醛和丙酮排放基本保持不变. 其中 M30 的甲醇排放水平是汽油的 415%, 而 M15 是汽油的 221%. M30 和 M15 的甲醛排放水平分别是汽油的 128% 和 110%. 试验结果说明甲醇在发动机内的燃烧不够充分, 在尾气中生成了大量未燃甲醇排放和甲醇不完全燃烧的中间产物甲醛排放.

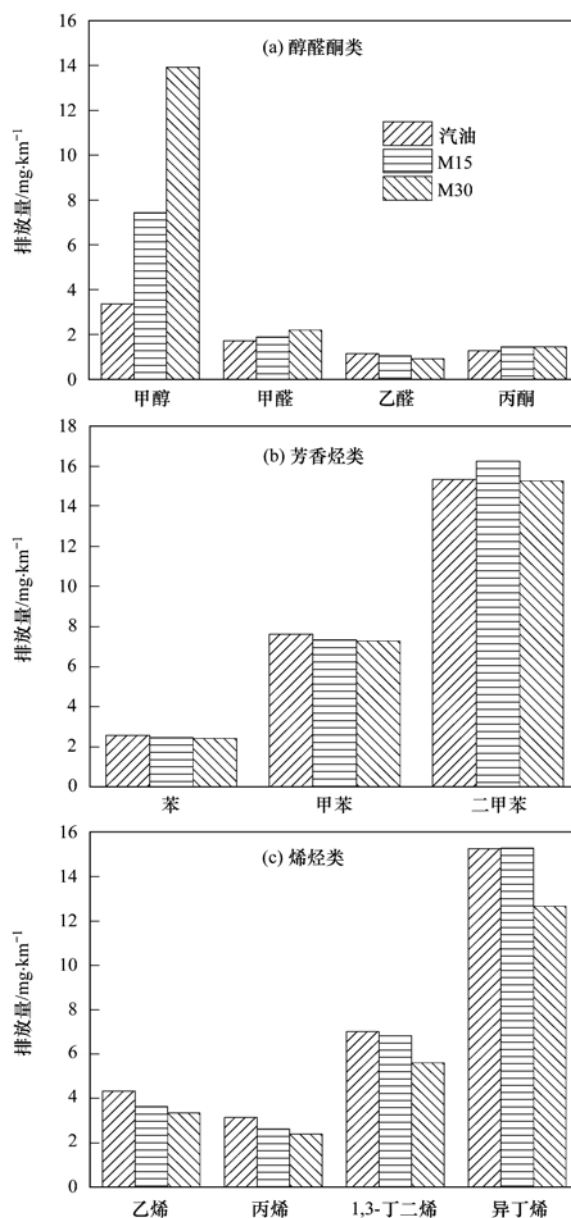


图 2 不同甲醇燃料的非常规污染物平均排放 (常温)

Fig. 2 Cycle average unregulated emissions of different methanol fuels at ambient temperature

图 2(b) 显示苯和甲苯排放随着燃料中甲醇比例的增加而略有降低, 但是幅度不大. 3 种燃料的二甲苯排放基本一致. M30 的苯排放是汽油的 93.6%, 而 M15 是汽油的 95.6%. M30 和 M15 的甲

苯排放约为汽油的 95.6 和 96.3%。图 2(c) 显示烯烃类排放随着燃料中甲醇比例的增加而降低,说明甲醇的氧成分能够促进烯烃的进一步氧化反应,减少尾气中的烯烃排放。

图 3 给出了汽油、E10、E20 这 3 种燃料在常温下主要非常规污染物的平均排放水平。在图 3(a) 所示的醛酮类排放中,乙醛排放随着燃料中乙醇比例的增加而成比例地增加,E20 和 E10 的乙醛排放水平分别是汽油的 171.2% 和 142.2%。测量结果说明燃料中的乙醇经过不完全的氧化反应后会在汽车尾气中产生大量的乙醛排放,而甲醛和丙酮排放

则基本不受燃料中乙醇比例的影响。

图 3(b) 显示苯、甲苯排放随着燃料中乙醇比例的增加而成比例地减少,而汽油、E10、E20 这 3 种燃料的二甲苯排放也有逐步减少的趋势,但是幅度不大。E20 的苯排放是汽油的 81.0%,而 E10 是汽油的 92.1%。E20 和 E10 的甲苯排放约为汽油的 90.4% 和 94.8%。E20 和 E10 的二甲苯排放约为汽油的 93.0% 和 95.0%。测量结果表明,由于乙醇不含有芳香烃成分,汽油燃料中添加乙醇,能够在一定程度上降低汽车尾气中的苯、甲苯、二甲苯等芳香烃污染物的排放。

从图 3(c) 中可以看出,随着燃料中乙醇比例的增加,乙烯、丙烯、1,3-丁二烯、异丁烯等烯烃类排放近似线性地减少。E20 的乙烯排放是汽油的 82.1%,而 E10 是汽油的 92.8%。E20 和 E10 的丙烯排放约为汽油的 80.1% 和 87.3%,而 E20 和 E10 的 1,3-丁二烯排放约为汽油的 76.6% 和 91.4%。E20 和 E10 的异丁烯排放约为汽油的 82.4% 和 94.0%。测量结果说明,燃料中乙醇的氧含量有助于汽油中烯烃的完全氧化,能够有效降低汽车尾气中的烯烃排放。

3.2 低温试验的非常规污染物排放结果

图 4 分别给出了汽油、M15、M30 这 3 种燃料在低温环境温度下主要非常规污染物的平均排放水平。图 5 分别给出了汽油、E10、E20 这 3 种燃料在低温 -7°C 环境温度下主要非常规污染物的平均排放水平。

从图 4(a) 中可以看出,在低温环境温度下,随着燃料中甲醇比例的增加,甲醇和甲醛排放大幅度地增加,乙醛排放略有增加,其中 M30 的甲醇排放水平是汽油的 41.6 倍,而 M15 是汽油的 15.7 倍。M30 和 M15 的甲醛排放水平分别是汽油的 5.1 倍和 2.4 倍。M30 和 M15 的乙醛排放水平分别是汽油的 132% 和 110%。丙酮排放随燃料中甲醇比例的变化而略有降低,但是幅度不大,M30 和 M15 的丙酮排放分别是汽油的 90% 和 93%。

图 4(b) 显示苯、甲苯、二甲苯排放随着燃料中甲醇比例的增加而降低。M30 的苯排放是汽油的 75%,而 M15 是汽油的 80%。M30 和 M15 的甲苯排放约为汽油的 90% 和 92%。M30 和 M15 的二甲苯排放约为汽油的 59% 和 89%。

图 4(c) 显示在低温环境温度下 1,3-丁二烯排放随着燃料中甲醇比例的增加而降低,而乙烯、丙烯、异丁烯排放基本不变。M30 和 M15 的 1,3-丁二

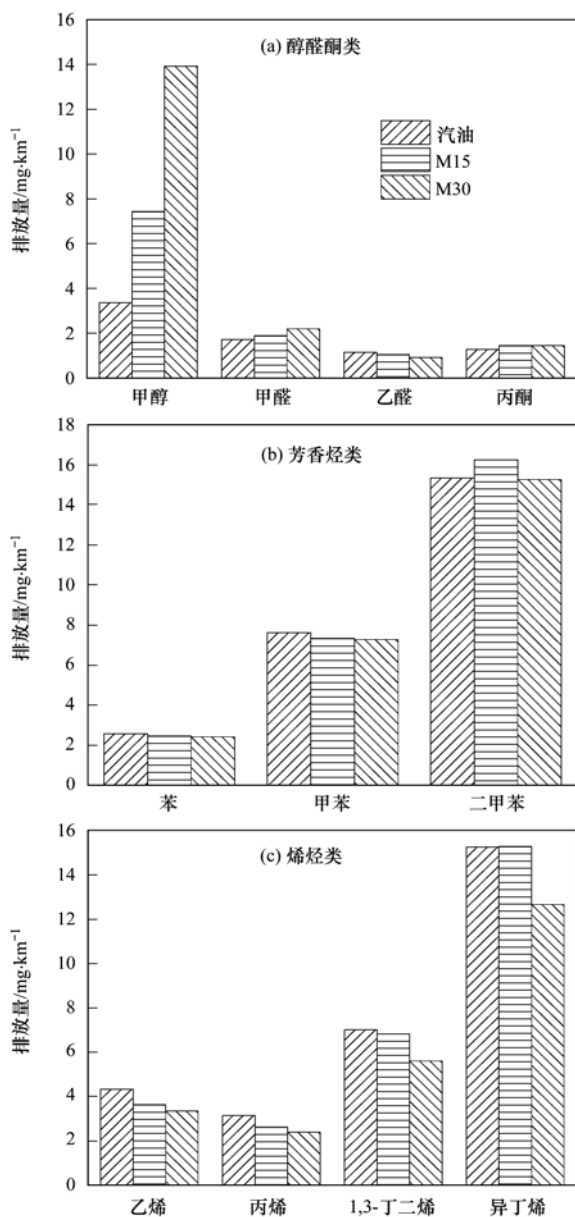


图 3 不同乙醇燃料的非常规污染物平均排放(常温)

Fig. 3 Cycle average unregulated emissions of different ethanol fuels at ambient temperature

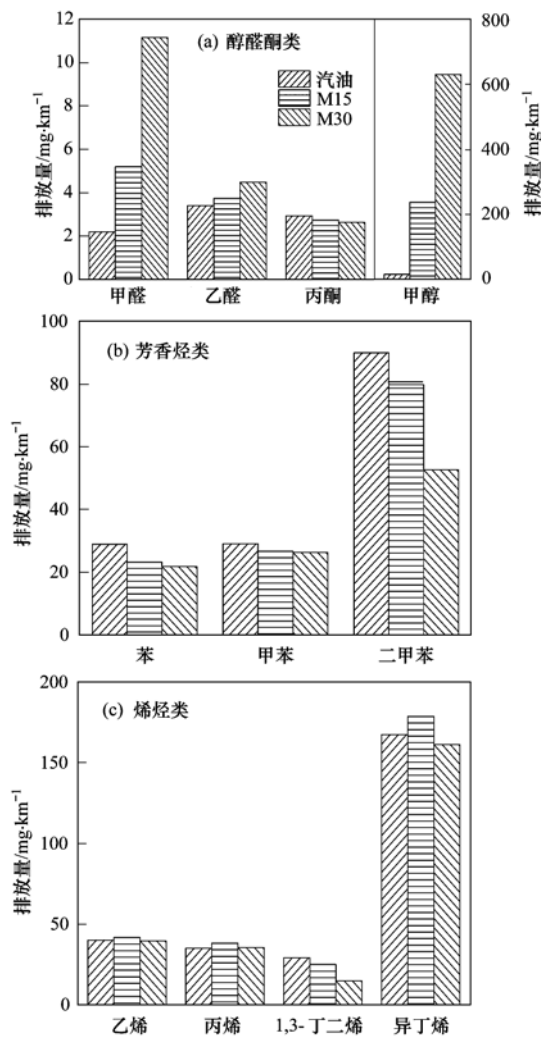


图 4 不同甲醇燃料的非常规污染物平均排放(低温)
Fig. 4 Cycle average unregulated emissions of different methanol fuels at low temperature

烯排放约为汽油的 51% 和 86%。

在图 5(a)所示的醛酮类排放中,在低温环境温度下,乙醛排放随着燃料中乙醇比例的增加而大幅度地增加,E20 和 E10 的乙醛排放水平分别是汽油的 3.2 倍和 2.4 倍,这与常温环境温度的乙醛排放变化规律是一致的。而甲醛排放基本不受燃料中乙醇比例的影响,丙酮排放则随燃料中乙醇比例的增加而小幅度地减小。

图 5(b)显示苯、二甲苯排放随着燃料中乙醇比例的增加而成比例地减少,而汽油、E10、E20 三种燃料的甲苯排放基本不变。E20 的苯排放是汽油的 69%,而 E10 是汽油的 77%。E20 和 E10 的二甲苯排放约为汽油的 94% 和 90%。

从图 5(c)中可以看出,随着燃料中乙醇比例的增加,乙烯、丙烯、1,3-丁二烯排放大幅度地减少,

而异丁烯排放基本相同。其中,E20 的乙烯排放是汽油的 66%,而 E10 是汽油的 82%。E20 和 E10 的丙烯排放约为汽油的 70% 和 68%,而 E20 和 E10 的 1,3-丁二烯排放约为汽油的 38% 和 43%。

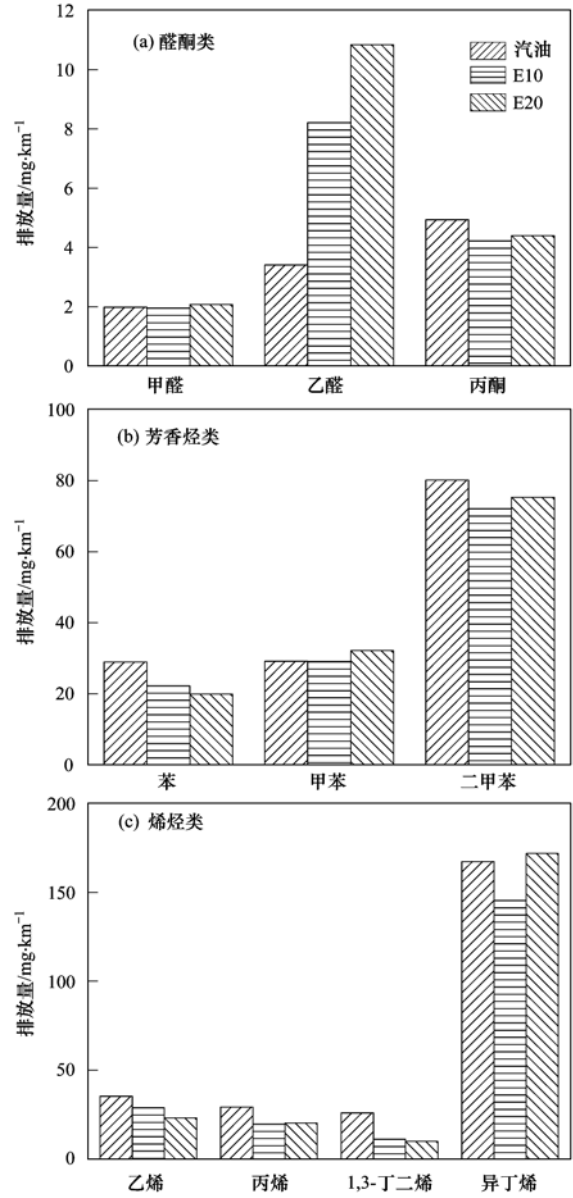


图 5 不同乙醇燃料的非常规污染物平均排放(低温)
Fig. 5 Cycle average unregulated emissions of different ethanol fuels at low temperature

综合来说,在低温环境温度下,各种非常规污染物随燃料中醇类比例改变而变化的趋势与在常温下基本相同,但是相对于常温环境温度,低温环境温度各种污染物排放的变化量有放大的趋势,特别是甲醇汽油燃料的甲醇、甲醛、1,3-丁二烯排放和乙醇燃料的乙醛、1,3-丁二烯排放。

表 4 中给出了各种非常规污染物低温排放与常

温排放的对比结果. 结果表明,与常规污染物相同,在低温环境温度下各种非常规污染物排放明显增加. 在低温试验中,由于发动机的进气温度和燃油温度低,燃油的蒸发雾化较差,在冷启动时容易发生

燃烧恶化的情况,造成了污染物排放的大幅度上升,再加上催化剂在低温环境下的起燃时间会增加,转化效率提升的速率变慢,因此低温试验的排放值要明显高于常温排放试验.

表 4 非常规污染物低温排放与常温排放的对比

Table 4 Comparisons of unregulated emissions at low and ambient temperatures

污染物	甲醇汽油比值			乙醇汽油比值		
	汽油	M15	M30	汽油	E10	E20
甲醇	4.5	32.0	45.3	—	—	—
甲醛	1.3	2.8	5.1	1.1	1.1	1.1
乙醛	3.0	3.6	4.9	3.1	5.3	5.8
丙酮	2.3	1.9	1.8	4.0	3.5	3.9
苯	11.2	9.4	9.1	13.9	11.6	11.8
甲苯	3.8	3.6	3.6	6.6	6.9	8.0
二甲苯	5.9	4.9	3.4	14.3	13.6	14.5
乙烯	9.2	11.5	11.8	8.9	7.8	7.1
丙烯	11.2	14.6	14.9	8.5	6.6	7.4
1,3-丁二烯	4.1	3.6	2.6	4.4	2.1	2.2
异丁烯	11.0	11.7	12.7	18.5	17.1	23.0

对于低比例甲醇汽油燃料,甲醇排放的增加值最大. 汽油、M15、M30 这 3 种燃料的甲醇低温排放与常温排放的比值分别为 4.5、32.0 和 45.3,而甲醛排放的增加值明显降低,3 种燃料低温排放与常温排放的比值分别为 1.3、2.8、5.1. 低温的苯、乙烯、丙烯、异丁烯排放约为常温的 10~15 倍,而低温的乙醛、丙酮、甲苯、二甲苯、1,3-丁二烯排放约为常温的 2~6 倍.

对于低比例乙醇汽油燃料,汽油、E10、E20 这 3 种燃料的乙醛低温排放与常温排放的比值分别为 3.1、5.3 和 5.8,而 3 种燃料甲醛低温排放与常温排放的比值均为 1.1. 低温的苯、二甲苯、异丁烯排放约为常温的 10 倍以上. 低温的丙酮、1,3-丁二烯排放约为常温的 2~5 倍. 低温的甲苯、乙烯、丙烯排放约为常温的 6~9 倍.

综合来说,随着燃料中醇类比例的增加,甲醇、甲醛、乙醛污染物的低温排放与常温排放比值有增加的趋势,而苯、1,3-丁二烯则略有下降.

3.3 蒸发试验的 HC 和非常规污染物排放结果

图 6 给出了同一车辆分别使用 E10、汽油、M15 三种燃料时在热浸试验、昼间呼吸试验、蒸发全过程中的 HC 排放量. 从图中可以,在热浸试验阶段,E10 和 M15 燃料的 HC 排放分别为汽油燃料的 130% 和 125%,说明燃料中的醇类含量属于低碳成分,在汽车处于热态状况时更加容易从燃料系统中排出. E10 和汽油燃料的昼间呼吸试验 HC 排放量基本相同,而 M15 燃料的 HC 排放约为汽油燃

料的 108%. 综合来说,E10、汽油、M15 这 3 种燃料在整个蒸发排放试验过程中的 HC 排放量相差不大,E10 和 M15 燃料的 HC 总排放量分别为汽油燃料的 102% 和 110%,说明汽油中添加低比例的醇类燃料(甲醇比例不超过 15%,乙醇比例不超过 10%)不会对轻型车的 HC 蒸发排放产生恶化作用.

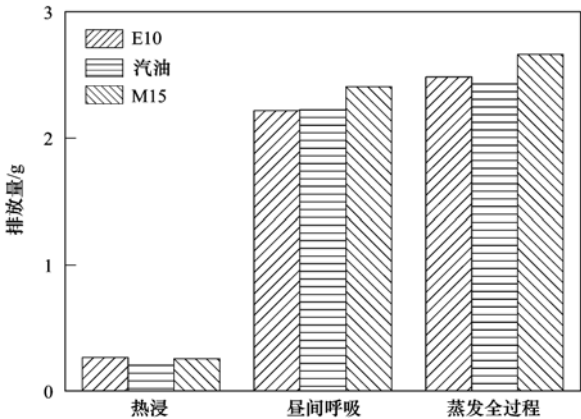


图 6 不同燃料的 HC 蒸发排放

Fig. 6 Evaporative HC emissions of different fuels

图 7 给出了不同燃料在昼间呼吸试验中的非常规污染物蒸发排放水平. 从中可以看出,3 种燃料在昼间呼吸试验中的各种非常规污染物蒸发排放虽然有所差别,但是差异值较小. 甲醛和乙醛的蒸发排放量约为 4 mg,丙酮约为 8 mg. 芳香烃类物质的蒸发排放量更大,苯、甲苯、二甲苯排放量分别约为 40、190、130 mg. 结果说明,汽油燃料中添加醇

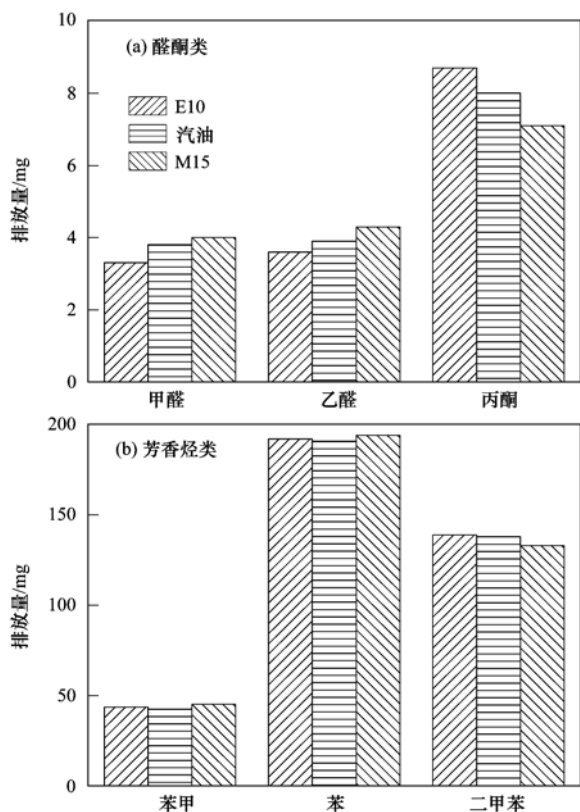


图7 不同燃料的非常规污染物蒸发排放

Fig. 7 Evaporative unregulated emissions of different fuels

类燃料,并不会产生更多的醛酮类和芳香烃类非常规污染物蒸发排放。

4 结论

(1)随着燃料中醇类比例的增加,未燃甲醇、甲醛、乙醛排放成比例地增加,苯、甲苯、乙烯、丙烯、1,3-丁二烯和异丁烯排放略有降低。

(2)在低温环境温度下,各种非常规污染物随燃料中醇类比例改变而变化的趋势与在常温环境温度下基本相同,但是变化量有放大的趋势,特别是甲醇汽油燃料的甲醇、甲醛、1,3-丁二烯排放和乙醇燃料的乙醛、1,3-丁二烯排放。

(3)在低温下各种非常规污染物的排放明显高于在常温下。随着燃料中醇类比例的增加,甲醇、甲醛、乙醛污染物的低温排放与常温排放比值有增加的趋势,而苯、1,3-丁二烯则略有下降。

(4)E10、汽油、M15这3种燃料在整个蒸发排

放试验过程中的HC排放量相差不大,在昼间呼吸试验中的各种非常规污染物蒸发排放差异值较小。

参考文献:

- [1] 张辉. 甲醇汽油燃烧过程及排放特性的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [2] Arapatsakos C, Karkanis A, Sparis P. Behavior of a Small Four-Stroke Engine Using as Fuel Methanol-Gasoline Mixtures[J]. SAE Paper, 2003, 2003-32-0024.
- [3] 何邦全, 闫小光, 王建昕, 等. 电喷汽油机燃用乙醇-汽油燃料的排放性能研究[J]. 内燃机学报, 2002, 20(5): 399-402.
- [4] Hasan M A. Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission[J]. Energy Conversion and Management, 2003, 44(9): 1547-1561.
- [5] Burns V, Koehl W, Benson J, et al. Emissions with Reformulated Gasoline and Methanol Blends in 1992 and 1993 Model Year Vehicles[J]. SAE Paper, 1994: 941969.
- [6] 谭建伟, 葛蕴珊, 王军方, 等. 甲醇燃料车醛酮类污染物排放特性研究[J]. 环境科学, 2009, 30(8): 2199-2203.
- [7] Knapp K T, Stump F D, Tejada S B. The Effect of ethanol fuel on the emissions of vehicles over a wide range of temperatures [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 1998, 48(7): 646-653.
- [8] Pouloupoulos S G, Samaras D P, Philoppopoulos C J. Regulated and unregulated emissions from an internal combustion engine operating on ethanol containing fuels [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(26): 4399-4406.
- [9] Sandstroem-Dahl C, Erlandsson L, Gasste J, et al. Measurement Methodologies for Hydrocarbons, Ethanol and Aldehyde Emissions from Ethanol Fuelled Vehicles[J]. SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 2010, 3(2): 453-466.
- [10] Kar K, Cheng W K. Speciated Engine-Out Organic Gas Emissions from a PFI-SI Engine Operating on Ethanol/Gasoline Mixtures[J]. SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 2009, 2(2): 91-101.
- [11] 王林, 黄海波, 闫秀峰, 等. 甲醇与汽油的联合毒性研究[J]. 职业卫生与病伤, 2003, 18(3): 201-202.
- [12] 周芹. 室内空气中甲醛的危害及测定方法[J]. 湖北化工, 2002, 19(5): 47-48.
- [13] 孙维生. 苯的危害及防治[J]. 现代职业安全, 2002, (8): 42-43.
- [14] 刘胜学, 周燕虹, 付婷婷, 等. 1, 3-丁二烯生产车间工人职业接触监测及健康影响调查[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2007, 25(5): 286-288.
- [15] GB 18352.3-2005, 轻型汽车污染物排放限制及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)[S].

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophtic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qianguo, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《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 汤鸿霄 陈吉宁 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)

2013年7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 15, 2013

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. 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
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行