

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第9期

Vol.35 No.9

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长江三角洲地区霾判别方法的对比分析	刘晓慧, 朱彬, 高晋徽, 张恩红, 王红磊, 陈烨鑫, 王姝 (3239)
1980~2012年江苏省城市霾日的时空分布及成因分析	刘端阳, 魏建苏, 严文莲, 吕军, 孙燕 (3247)
瓦里关大气二氧化碳和甲烷时间变化特征	刘鹏, 张国庆, 王剑琼, 吴昊, 李宝鑫, 王宁章 (3256)
上海城区PM _{2.5} 中有机碳和元素碳变化特征及来源分析	张懿华, 王东方, 赵倩彪, 崔虎雄, 李娟, 段玉森, 伏晴艳 (3263)
亚青会期间南京市气溶胶中OC和EC的粒径分布	王红磊, 朱彬, 安俊琳, 段卿, 邹嘉南, 沈利娟 (3271)
无锡市冬季典型天气PM _{2.5} 中碳组分的污染特征	云龙龙, 陆钊, 张天舒, 伍德侠, 盛世杰, 陆亦怀, 刘建国 (3280)
高炉炼铁工艺细颗粒物PM _{2.5} 排放特性分析	范真真, 赵亚丽, 赵浩宁, 梁兴印, 孙静雯, 王保贵, 王亚军 (3287)
重庆市北碚城区大气中VOCs组成特征研究	祁心, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (3293)
双组分VOCs的催化氧化及动力学分析	卜龙利, 杨力, 孙剑宇, 梁欣欣, 虎雪姣, 孟海龙 (3302)
汽车排放超细微粒数浓度及粒径谱特征的研究	陆叶强, 陈秋方, 孙在, 蔡志良, 杨文俊 (3309)
疏勒河上游地表水化学离子特征及其控制因素	周嘉欣, 丁永建, 曾国雄, 吴锦奎, 秦甲 (3315)
河流库区沉积物-水界面营养盐及气态氮的释放过程和通量	陈朱虹, 陈能汪, 吴殷琪, 莫琼利, 周兴鹏, 鲁婷, 田蕴 (3325)
大辽河感潮段及其近海河口重金属空间分布及污染评价	张雷, 秦延文, 马迎群, 赵艳民, 时瑶 (3336)
雅鲁藏布江中段表层沉积物重金属形态分布及风险评价	柏建坤, 李潮流, 康世昌, 陈鹏飞, 王建力 (3346)
北京奥林匹克公园地表颗粒物粒度特征分析	李海燕, 石安邦, 瞿杨晟, 岳靖冰 (3352)
黄河表层沉积物中类二噁英多氯联苯水平分布	李光耀, 金军, 何畅, 王英, 马召辉, 李明园 (3358)
合肥城郊典型源头溪流不同渠道形态的氮磷滞留特征	李如忠, 杨继伟, 钱靖, 董玉红, 唐文坤 (3365)
基于水资源调度的平原河网区城市河道氮迁移转化研究	刘波, 盛明, 朱强, 杨霜, 檀炳超, 范冉, 南旭军, 何茂阳, 王国祥 (3373)
杭州湾潮滩湿地植物不同分解过程及其磷素动态	邵学新, 梁新强, 吴明, 叶小齐, 蒋科毅 (3381)
基于数据同化的太湖叶绿素多模型协同反演	李渊, 李云梅, 吕恒, 朱利, 吴传庆, 杜成功, 王帅 (3389)
天然日光辐照下两江交汇处溶解性有机质(DOM)光漂白过程:以涪江-嘉陵江为例	高洁, 江韬, 闫金龙, 魏世强, 王定勇, 卢松, 李璐璐 (3397)
利用紫外-可见吸收光谱估算三峡库区消落带水体、土壤和沉积物溶解性有机质(DOM)浓度	李璐璐, 江韬, 卢松, 闫金龙, 高洁, 魏世强, 王定勇, 郭念, 赵铮 (3408)
Cu ₂ O-Ag-AgBr/MA可见光催化剂的制备及其降解2-氯苯酚的研究	王冉, 周雪峰, 胡学香, 胡春 (3417)
不同粒径零价铁活化过硫酸钠氧化降解酸性橙7的影响及动力学研究	李欢旋, 万金泉, 马邕文, 黄明智, 王艳, 陈杨梅 (3422)
还原脱氯-生物联合降解2,4-二氯苯氧乙酸	周红艺, 曾思思, 梁思, 韩鉴 (3430)
多介质土壤滤层系统(MSL)与潜流式人工湿地技术处理海水养殖废水的效能比较	宋颖, 黄玉婷, 葛川, 张浩, 陈昕, 张志剑, 罗安程 (3436)
不同碳源在污水处理过程中的变化规律研究	金鹏康, 常晋, 王先宝, 刘柯君, 王晓昌 (3443)
气升装置对厌氧氨氧化反应器脱氮效能的影响	李祥, 张大林, 黄勇, 陈宗炬, 袁怡 (3449)
微波及其组合工艺强化污泥厌氧消化研究	刘吉宝, 倪晓棠, 魏源送, 佟娟, 王亚伟 (3455)
“热水解-高温厌氧消化”工艺处理高含固率剩余污泥的中试研究	吴静, 王广启, 曹知平, 李中华, 胡玉瑛, 王凯军, 左剑恶 (3461)
温度对ABR-MBR复合工艺处理生活污水的影响及其微生物群落分析	吴鹏, 陆爽君, 徐乐中, 刘捷, 沈耀良 (3466)
污水处理厂尾水细菌群落结构分析	徐爱玲, 任杰, 宋志文, 吴等等, 夏岩 (3473)
沼液养殖钝顶螺旋藻的中试研究	国青青, 刘锐, 罗金飞, 王根荣, 陈吕军, 刘笑 (3480)
内源呼吸过程溶解性代谢产物的光谱特性分析	李志华, 张芹, 白旭丽, 刘毅 (3487)
基于呼吸图谱的自养菌与异养菌内源呼吸过程分析	李志华, 白旭丽, 张芹, 刘毅, 贺春博 (3492)
S-异丙甲草胺与镉对斜生栅藻光合作用的影响	陈彩东, 胡晓娜, 章小强, 刘惠君 (3498)
影响浑太河流域鱼类群落结构的不同尺度环境因子分析	李艳利, 李艳粉, 徐宗学 (3504)
河口区新建河道轮虫群落演替及与水环境的关系	马文华, 张玮, 顾琬雯, 张瑞雷, 王丽卿 (3513)
Fontibacter sp. SgZ-2厌氧腐殖质/Fe(III)还原特性及电子传递机制研究	马晨, 杨贵芹, 陆琴, 周顺桂 (3522)
基于UNMIX模型的夹皮沟金矿区土壤重金属源解析	艾建超, 王宁, 杨净 (3530)
石河子市土壤环境磁学特征及空间分布研究	杨涵, 熊黑钢, 陈学刚 (3537)
不同施磷量(KH ₂ PO ₄)作用对Cu、Zn在红壤中的迁移转化	郭亮, 李忠武, 黄斌, 王艳, 张艳 (3546)
硫素对水稻吸收砷的生物有效性及其在土壤中形态影响	杨世杰, 唐冰培, 王代长, 饶伟, 张亚楠, 王丹, 朱云集 (3553)
硫对土壤中硒形态变化及油菜硒吸收的影响	刘新伟, 段碧辉, 夏全杰, 矫威, 郭再华, 胡承孝, 赵竹青 (3564)
再生水灌溉对土壤化学性质及可培养微生物的影响	龚雪, 王继华, 关键飞, 杨雪辰, 陈黛慈 (3572)
西南喀斯特山区寿竹林地土壤微生物量与酶活性在不同坡位和剖面层次的分布特征	秦华军, 何丙辉, 赵旋池, 李源, 毛文韬, 曾清平 (3580)
黔中喀斯特石漠化区不同土壤类型对常见植物叶片δ ¹³ C值的影响	杜雪莲, 王世杰, 罗绪强 (3587)
碳底物含量对厌氧条件下水稻土N ₂ 、N ₂ O、NO、CO ₂ 和CH ₄ 排放的影响	陈诺, 廖婷婷, 王睿, 郑循华, 胡荣桂, Klaus Butterbach-Bahl (3595)
北京市典型绿化灌木阻滞吸附PM _{2.5} 能力研究	梁丹, 王彬, 王云琦, 张会兰, 杨松楠, 李昂 (3605)
污泥焚烧过程中氯化物对Cd迁移行为的影响	刘敬勇, 卓钟旭, 孙水裕, 罗光前, 李晓明, 谢武明, 王玉洁, 杨佐毅, 赵素莹 (3612)
京津冀区域生产和消费CO ₂ 排放的时空特点分析	汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (3619)
水泥工业大气污染物排放控制水平确立研究	任春, 江梅, 邹兰, 李晓倩, 魏玉霞, 赵国华, 张国宁 (3632)
《环境科学》征稿简则(3279) 《环境科学》征订启事(3545) 信息(3364,3486,3552,3563)	

汽车排放超细微粒数浓度及粒径谱特征的实验研究

陆叶强¹, 陈秋方², 孙在², 蔡志良², 杨文俊²

(1. 杭州职业技术学院青年汽车学院, 杭州 310018; 2. 中国计量学院计量测试工程学院, 杭州 310018)

摘要: 采用快速迁移率粒径谱仪(fast mobility particle sizer, FMPS)结合汽车尾气分析仪对3辆不同型号汽车排放超细颗粒物浓度进行测量, 分析了空载情况不同转速下排气管附近超细颗粒物数浓度及粒径谱特征。结果表明, 在怠速 800 r·min⁻¹ 情况下, 汽车排放的颗粒物数浓度最低, 随着空载转速的增加颗粒物数浓度呈增高趋势。尾气颗粒以核模态和爱根核模态为主, 峰值粒径集中在 10 nm 和 50 nm。汽车加速过程排放颗粒物数浓度有明显的急剧升高过程, 在车速稳定后颗粒物浓度趋于稳定。在排气管尾部轴向距离 0.4 m 范围内颗粒稀释后数浓度衰减迅速, 在 0.4 ~ 1 m 范围稀释不明显, 均大于背景浓度。空载情况下随发动机转速增加, 汽车排放尾气 CO、HC 和 NO 浓度呈减少趋势, 与颗粒物数浓度排放趋势相反。

关键词: 汽车; 超细颗粒; 汽油; 数浓度; 粒径分布

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)09-3309-06 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.09.010

Ultrafine Particle Number Concentration and Size Distribution of Vehicle Exhaust Ultrafine Particles

LU Ye-qiang¹, CHEN Qiu-fang², SUN Zai², CAI Zhi-liang², YANG Wen-jun²

(1. Youngman Automotive Institute, Hangzhou Vocational and Technical College, Hangzhou 310018, China; 2. College of Metrology & Measurement Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Ultrafine particle (UFP) number concentrations obtained from three different vehicles were measured using fast mobility particle sizer (FMPS) and automobile exhaust gas analyzer. UFP number concentration and size distribution were studied at different idle driving speeds. The results showed that at a low idle speed of 800 r·min⁻¹, the emission particle number concentration was the lowest and showed a increasing trend with the increase of idle speed. The majority of exhaust particles were in Nuclear mode and Aitken mode. The peak sizes were dominated by 10 nm and 50 nm. Particle number concentration showed a significantly sharp increase during the vehicle acceleration process, and was then kept stable when the speed was stable. In the range of 0.4 m axial distance from the end of the exhaust pipe, the particle number concentration decayed rapidly after dilution, but it was not obvious in the range of 0.4-1 m. The number concentration was larger than the background concentration. Concentration of exhaust emissions such as CO, HC and NO showed a reducing trend with the increase of idle speed, which was in contrast to the emission trend of particle number concentration.

Key words: vehicle; ultrafine particles; gasoline; number concentration; size distribution

随着汽车工业的发展,我国汽车保有量呈上升趋势,2005~2012年,我国汽车保有量增长率均在10%~20%左右,然而汽车排放尾气中的有害气体和颗粒物可对人体呼吸系统、免疫功能、生殖功能产生一定的危害,引发多种疾病^[1,2],对环境也产生很大影响^[3],如酸雨、雾霾等的产生,严重影响空气质量。有统计显示,长期PM_{2.5}污染暴露每立方米增加10 μg心脑血管引起的死亡风险增加76%^[4]。超细微粒通常指空气动力学直径小于0.1 μm的气溶胶颗粒物,是形成PM_{2.5}的前体物质。流行病学研究表明,死亡率与颗粒污染物有很大关系,尤其是超细颗粒^[5,6]。刘希玲等^[7]对我国5个典型城市汽车行驶工况调查研究,汽车在怠速时其排污量比其他工况下要高。城市交通道路在高峰期往往比较拥堵,上海车辆行驶过程中怠速时间比例高达31.61%。

目前对汽车排放颗粒特性的实验研究方法主要

有采用车载排放测量系统实时测量法^[8,9]、底盘测功机法^[10]和路侧测量法^[11]等。Franco等^[12]对采用不同测试方法如底盘测功机排放测试设备和便携式排放测量系统研究汽车排放因子进行了综述,且对研究设计超细微粒数浓度排放较少。目前对汽油机排放污染的研究很多集中在NO、CO和HC的排放情况^[13],而在交通道路上研究汽车综合污染排放情况不能排除其他污染源的干扰,底盘测功机法大多采用排气稀释系统对排放气体进行研究^[14],对汽车排放污染物的扩散特征过去主要采用数值模拟方法^[15,16]、随机统计模型^[17]等模拟方法进行研究,但不能反映真实道路气体排放情况。本文采用实验方

收稿日期: 2014-01-23; 修订日期: 2014-04-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(10972209,11132008); 浙江省自然科学基金项目(Y6090607)

作者简介: 陆叶强(1963~),男,副教授,主要研究方向为汽车排放检测技术, E-mail: 13858112568@163.com

法分析了汽车尾气在排气管附近的超细颗粒排放规律和浓度分布特性,以期为研究城市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 形成及控制提供依据.

1 材料与方法

1.1 测试条件与仪器

测试车辆选用上海大众帕萨特、一汽奥迪和桑

塔纳进行实验,燃料采用 93 号汽油,测试车辆均在发动机排气系统中加装催化转化器,采用三效催化剂减小有害气体的排放,相关参数如表 1 所示. 对于 GDI 汽车(一汽奥迪 A6L)采用了 TFSI 技术. 3 种车辆行驶里程均为几十公里,测试场地在杭州职业技术学院汽车综合检测实训室,空间较宽阔为 $1\,032\text{ m}^2$.

表 1 测试车辆相关参数

Table 1 Parameters for the tested vehicles

车型	发动机型号	工作方式	供油方式	发动机排量/L	发动机额定功率/kW	制造时间(年-月)	燃料
上海大众帕萨特	CED	涡轮增压	多点电喷	1.8	120	2010-01	93 号汽油
一汽奥迪 A6L	BPJ	涡轮增压	缸内直喷	2.0	125	2009-12	93 号汽油
桑塔纳	AFE	自然吸气	多点电喷	1.8	70	2004-02	93 号汽油

采样分析仪器采用美国 TSI 公司生产的快速迁移率粒径谱仪(fast mobility particle sizer Spectrometer, FMPS)和空气品质检测仪(indoor air quality meter, TSI7545-IAQ-CALC), FMPS 是基于 EAA(Electrical Aerosol Analyzer)和静电分离器原理的细微颗粒物粒径谱仪,粒径大于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒经过旋风分离器去除,被测颗粒进入扩散电荷区由单极充电器使颗粒带上正电荷,电荷量由颗粒粒径所决定,使用多组、低噪值的静电计来执行微粒侦测,颗粒物将所带电荷传递给敏感电极环,由此产生的电流由与电极环相连接的微控器收集、读取,经仪器自带软件实时、自动处理生成粒径谱. 并可在 1 s 内达成微粒尺寸分布的分析,即 1 s 获得一个测量数据,而不是利用 CPC(condensation particle counter)进行计数. FMPS 分 32 个粒径测量通道涵盖了超细颗粒粒径范围,粒径计数范围为 $5.6\sim 560\text{ nm}$,数浓度范围为 $1\sim 10^7\text{ cm}^{-3}$,采样流量为 $10\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. 每次测量前采用 HEAP 进行清零标定. TSI7545-IAQ 可测 CO 浓度,测量范围 $(0\sim 500)\times 10^{-6}$,测量精度 $\pm 3\%$. 汽车尾气分析仪是由鸣泉科技生产的可分析在怠速工况法下汽车的尾气如 HC、NO 等排放浓度的分析仪器. HC 测量范围为 $(0\sim 5\,000)\times 10^{-6}$,测量精度为 $\pm 5\%$,NO 测量范围为 $(0\sim 4\,000)\times 10^{-6}$,测量精度为 $\pm 4\%$.

1.2 测试方法

实验根据不同的发动机空载怠速转速进行测量,这有两方面意义:第一,怠速是我国车辆常见的行驶工况;第二,在空载情况下,怠速转速与耗油量呈正比关系. 测试是在距离汽车尾气排气管 $0.2\sim 1\text{ m}$,与排气管同等高度的位置采用 FMPS 实时测量

颗粒数浓度,TSI7545-IAQ 测量尾气 CO 浓度. 将汽车尾气分析仪探头直接伸入尾气管测量 HC、NO 等浓度. 在环境温度下首次启动发动机,预热待其温度达到 90°C 后控制车速在 4 种恒定空载转速下进行测量: 800 、 $1\,500$ 、 $2\,000$ 、 $2\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,其中 $800\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 即为怠速工况. 加速实验在距离排气管轴向距离 0.2 m 处采用 FMPS 实时记录颗粒数浓度变化,在上一恒定转速下,通过油门加速至下一恒定转速,加速过程时间较短,变化非常迅速. 恒速实验采用油门控制发动机转速稳定在一定数值,每辆车测试 $2\sim 3$ 次,每个工况实验测量 6 min ,舍去由于加速过程数浓度升高段的数据,恒速阶段数浓度变化趋于稳定,选取数据趋势稳定段数据进行统计,平均每 20 s 数据为 1 组,数据样本取 9 组. 测试场地较宽阔,每组实验结束后开启卷闸门和窗加速自然对流,同时采用风扇吹半小时,加速颗粒扩散,由于汽车发动机排放的超细颗粒变化极不稳定,经过稀释扩散凝并等效应,迅速生长为较大颗粒,本实验研究的为超细颗粒,经过长时间后减小了上一组实验结果对下一组实验的影响.

2 结果与讨论

2.1 超细颗粒数浓度分布特性

表 2 给出了空载不同转速工况下帕萨特、一汽奥迪和桑塔纳 3 种车型在距离其排气管 0.2 m 处不同转速时的总数浓度分布情况,从中可以看出,在怠速 $800\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时颗粒数浓度最低,随着转速的增加颗粒数浓度呈增高趋势,这与文献[18,19]的研究结果一致. 在高转速 $2\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时颗粒数浓度急剧升高,最高达 $3.75\times 10^6\text{ cm}^{-3}$. 空气燃料比是影

响颗粒排放的重要因素^[20],在高转速时,喷油量增加,可燃气体混合物增加,在燃烧室内混合不均匀,不充分燃烧会导致某些挥发性有机物和烟雾的排放^[21].

表 2 不同转速下颗粒总数浓度分布

Table 2 Particle number concentration at different speeds												
转速 /r·min ⁻¹	帕萨特数浓度 × 10 ⁴ /cm ⁻³				一汽奥迪数浓度 × 10 ⁴ /cm ⁻³				桑塔纳数浓度 × 10 ⁴ /cm ⁻³			
	平均值	最大值	最小值	偏差	平均值	最大值	最小值	偏差	平均值	最大值	最小值	偏差
800	9.6	10.3	8.7	5.7	8.1	20.5	3.8	5.9	6.3	8.0	5.7	0.7
1 500	11.9	27.3	6.8	6.1	3.6	7.5	2.0	2.1	10.8	16.9	6.5	4.1
2 000	14.8	23.1	6.6	4.7	134.5	197.0	54.0	48.5	58.5	116.1	305.1	32.7
2 500	41.8	108.0	12.5	35.5	187.0	290.5	98.95	69.0	204.1	284.2	157.7	45.0

根据颗粒物粒径可将其分为不同模式:核模式(粒径 < 20 nm),爱根核模式(20 nm < 粒径 < 100 nm),积聚模式(0.1 μm < 粒径 < 1 μm). 图 1 为汽车排放颗粒不同模式数浓度分布情况,汽车发动机产生颗粒大部分粒径 D_p 小于 50 nm^[22],核模式颗粒主要由排气稀释和冷却时低挥发性成分成核作用,以及与挥发性 HC 反应增长形成. 颗粒由于扩散稀释等效应,主要以核模式和爱根核模式为主. 在怠速 800 r·min⁻¹时,核模式颗粒数浓度占总浓度 19% ~ 25%,爱根核模式占 57% ~ 67%. 随着转速的提高,核模式和爱根核模式颗粒增加趋势显著.

在高转速情况下发动机温度较高,燃料消耗较大,燃烧不充分,产生的细颗粒比较多. 在高转速 2 500 r·min⁻¹时,核模式颗粒数浓度占总浓度 33% ~ 75%,爱根核模式占 23% ~ 62%. 3 种车型中一汽奥迪和桑塔纳排放颗粒较多,一汽奥迪采用缸内直喷方式供油,其油滴破碎得更快,更有利于更细密的混合气的形成^[9],比多点电喷方式燃烧更充分,因此其生成核模式颗粒最多. 缸内直喷方式虽然燃油消耗降低,但其产生颗粒数浓度较高^[23],需要进一步改进技术减少颗粒的排放.

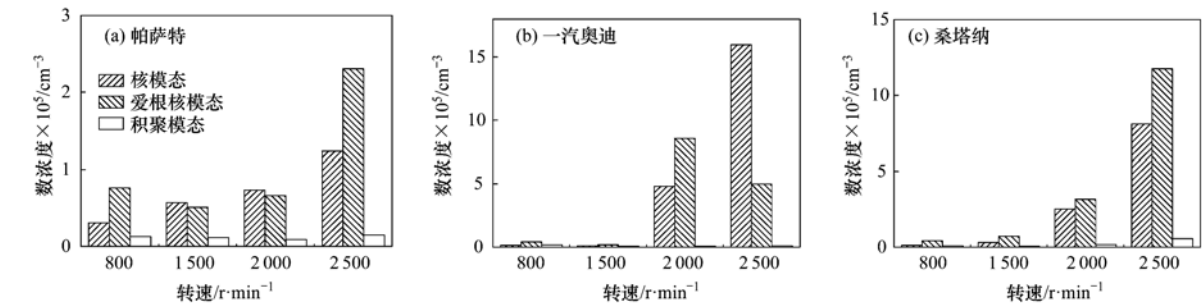


图 1 不同转速各模式颗粒数浓度分布

Fig. 1 Particle number concentration at different speeds and modes

2.2 不同转速下排放颗粒粒径谱分布特征

图 2 给出了距离排气管轴向距离 0.2 m 不同怠速工况下帕萨特、一汽奥迪和桑塔纳车型的数

浓度粒径谱分布,在怠速工况下发动机产生粒子直径分布在 20 nm 以下,颗粒粒径谱主要呈单峰分布,峰值粒径略小于 10 nm^[24],从中可以看出,

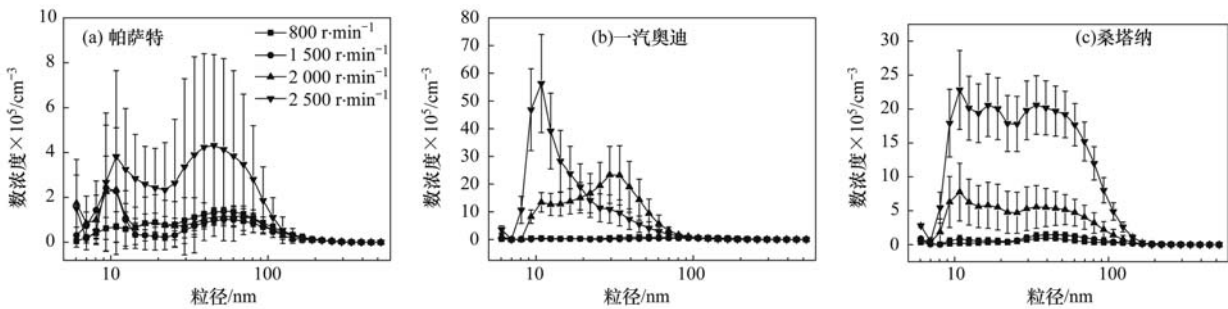


图 2 不同转速排放颗粒粒径谱分布

Fig. 2 Emission particle size distribution at different speeds

发动机排放颗粒经大气扩散稀释后颗粒物粒径谱主要呈现双峰分布,峰值粒径集中在 10 nm 和 50 nm 附近,与陈许东等采用车载测试系统研究的结果相近^[25]. 颗粒粒径谱演变中稀释和冷凝/蒸发为主导机制,而凝固和沉积的影响是次要的^[26]. 汽车排放颗粒物在 10 ~ 100 nm 粒径段颗粒数浓度较高,对人体暴露风险较大,需要引起人们的广泛重视.

2.3 汽车加速过程颗粒粒径演变特性

选取一汽奥迪车型研究其加速过程排放颗粒粒径演变特征,如图 3 所示为在距离排气管 0.2 m 处测得的颗粒数浓度,从中可以看出,在加速过程有明显的数浓度急剧升高过程,这是由于在加速过程所需

喷油量迅速增加,节气门快速开启对进气管中的混合气流动产生影响,气缸内混合气浓度不均匀,来不及完全燃烧产生很多细小颗粒,粒径集中在 10 ~ 70 nm 附近. 在车速稳定后,所需燃料减少,颗粒物浓度趋于稳定. 在低怠速情况,浓度峰值粒径集中在 40 ~ 50 nm 附近. 在高转速情况,颗粒浓度迅速升高,峰值粒径集中在 10 ~ 20 nm 附近,核模态颗粒在总数浓度中所占比例最大,达到高转速后,排放的大颗粒减少,10 nm 左右的超细颗粒持续产生,高怠速引起排气系统持续高温,在排气稀释冷却过程中会促进挥发性颗粒的释放和超细颗粒的成核作用^[27],总体浓度相对较高. 这种特征表明有新生粒子和成核事件的发生^[28].

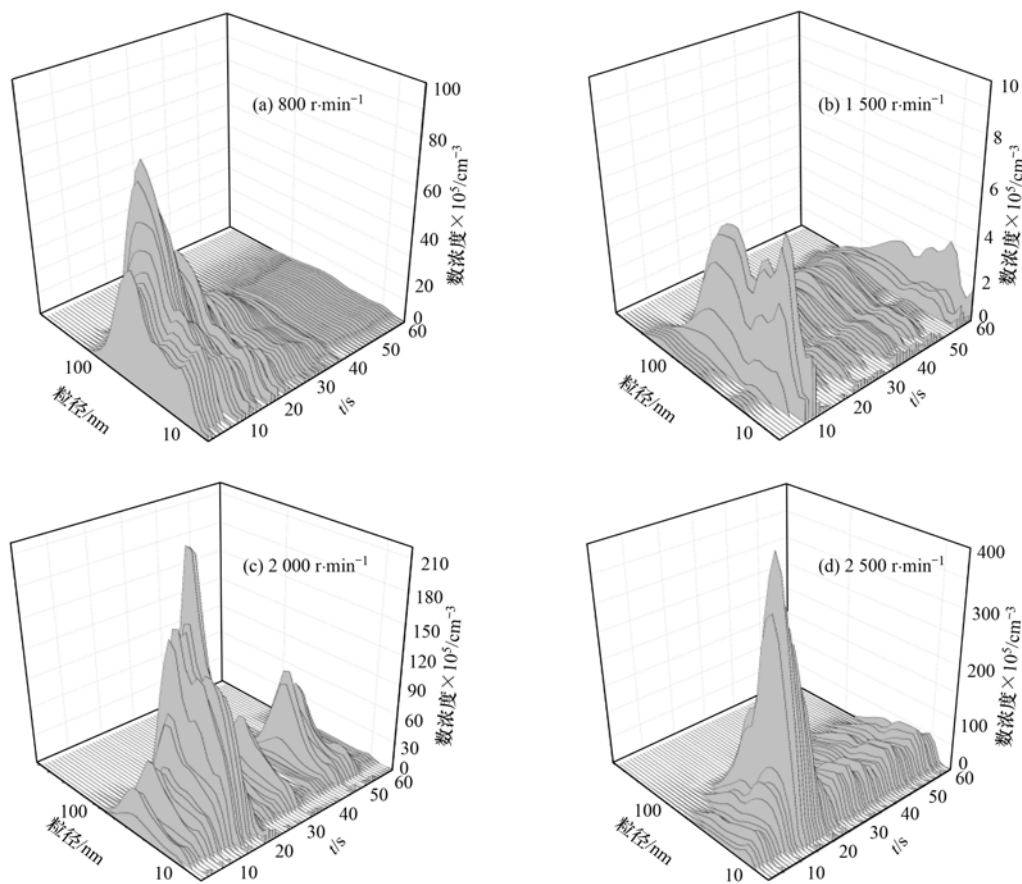


图 3 一汽奥迪汽车加速过程排放颗粒粒径演变

Fig. 3 Audi vehicle emission particle size evolution during the acceleration process

2.4 不同距离数浓度变化情况

图 4 为距离汽车尾气排气管不同水平距离 0.2 ~ 1 m 时排放的颗粒数浓度,由于汽车尾气排放由油门控制车速,车速波动在一定范围内,且由于测量天气如温湿度不同,导致汽车尾气排放到大气中的稀释扩散效应也有所不同,从中明显可以看出尾气

数浓度变化范围很大. 距离排气管较近的数浓度分布更接近排放尾气的原始特征,增加了不同距离则体现尾气在大气中的空间扩散情况. 由于汽车加速过程中会出现急剧升高的过程,可能会对背景环境造成一定影响,选取变化趋势稳定段数据进行统计. 在排气管尾部轴向距离 0.4 m 范围内颗粒稀释后数

浓度衰减迅速,尾气管排放高温高浓度颗粒物经环境的冷却作用稀释凝并作用较明显,受大气对流、温度梯度和物质运输等综合因素的影响^[29],在 0.4 ~ 1 m 范围稀释不明显,均大于背景浓度 $2.4 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$. 明显可以看出,汽车尾气的排放是大气颗粒物的一个重要来源.

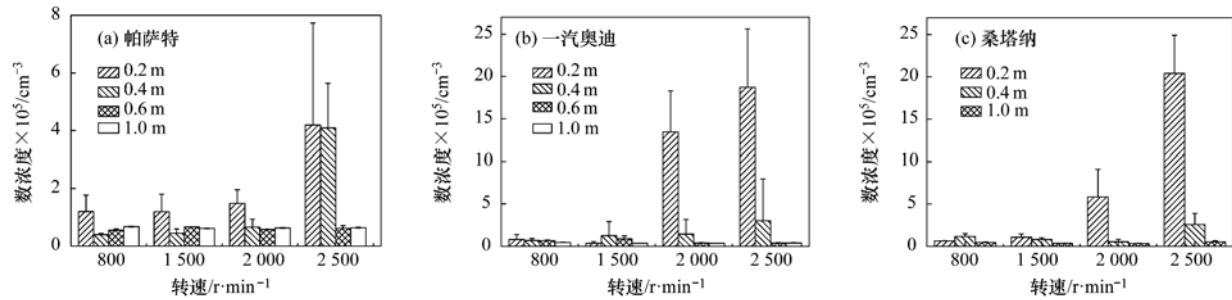


图4 离排气管不同水平距离排放颗粒数浓度

Fig. 4 Particle number concentration at different horizontal distance from the exhaust pipe

2.5 汽车排放尾气浓度

表 3 给出汽车排放尾气浓度,CO 采用 IAQ 仪器进行测量,HC 和 NO 采用尾气分析仪进行测量,结果显示,上海大众和一汽奥迪排放 CO 浓度较低,由于其发动机采用涡轮增压器后,进氧量增加,燃料燃烧更完全,汽缸压力增大,温度升高,即使有 CO 产生也会被氧化成 CO₂,进而降低了 CO 的排放^[30]. 桑塔纳车型采用自然吸气燃烧不充分,同时尾气排放量跟车型的使用年限有关,桑塔纳使用年限最长,因此排放 CO 浓度较高. 在低转速下排放 CO 浓度较高,随着转速的升高,CO 浓度降低,这与颗粒物数

浓度排放趋势相反.

由表 3 中得出空载情况下随着转速的增加,帕萨特和桑塔纳车型排放 HC 和 NO 浓度总体呈减少趋势,这与颗粒物浓度变化趋势相反,这是由于引起发动机微粒排放变化的主要原因是气态 HC 在微粒表面上的凝结或形成液态微粒,从而增加了微粒排放^[31]. 汽油机燃烧排放 NO 的主要来源是高温氮氧化物,跟温度、氧气浓度和反应时间有关. 一汽奥迪采用缸内直喷技术在高转速情况下会使局部温度过高,使气缸内的氮气被氧化,产生过量氮氧化物,造成一定污染.

表 3 汽车排放尾气浓度 $\times 10^{-6}$

Table 3 Concentration of automobile exhaust fumes $\times 10^{-6}$

转速/ $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	帕萨特			一汽奥迪			桑塔纳		
	CO	HC	NO	CO	HC	NO	CO	HC	NO
800	25.3	2.4	4.3	31.7	5.5	0.4	271.2	7.3	2.3
1 500	9.8	1.6	1.3	18.3	6.5	1.3	194.7	14.4	0.8
2 000	1.0	0	1.0	2.3	8.0	2	150.6	0	1.0
2 500	1.7	0.8	0.2	0.1	8.8	56	30.3	4.0	1.0

3 结论

- (1)3 种车型在怠速 $800 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时排放颗粒数浓度最低,随着空载转速的增加油耗增加,颗粒总数浓度呈增高趋势. 排放颗粒以核模态和爱根核模态为主,粒径谱主要呈双峰分布,峰值粒径集中在 10 nm 和 50 nm 附近.
- (2)在排气管尾部轴向距离 0.4 m 范围内颗粒数浓度衰减迅速,颗粒物稀释作用较显著,在 0.4 ~ 1 m 范围浓度变化不明显,均大于背景浓度.
- (3)汽车加速过程排放颗粒数浓度有明显的急剧升高过程,高转速汽车排放颗粒粒径较小. 在车

- 速稳定后颗粒物浓度趋于稳定.
- (4)空载情况随发动机转速增加,汽车排放尾气 CO、HC 和 NO 浓度呈减少趋势,与颗粒物数浓度排放趋势相反. 上海大众和一汽奥迪采用涡轮增压方式明显改善 CO 排放污染.

参考文献:

[1] 程义斌, 金银龙, 刘迎春. 汽车尾气对人体健康的危害[J]. 卫生研究, 2003, **32**(5): 504-507.

[2] Wichmann H E, Peters A. Epidemiological evidence of the effects of ultrafine particle exposure [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A, 2000, **358** (1775): 2751-2769.

[3] Ramanathan V, Crutzen P J, Kiehl J T, *et al.* Aerosol, climate,

- and the hydrological cycle [J]. *Science*, 2001, **294** (5549): 2119-2124.
- [4] Miller K A, Siscovick D S, Sheppard L, *et al.* Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2007, **356** (5): 447-458.
- [5] Dockery D W, Pope C A, Xu X, *et al.* An association between air pollution and mortality in six U. S. cities [J]. *The New England Journal of Medicine*, 1993, **329** (24): 1753-1759.
- [6] Stieb D M, Judek S, Burnett R T. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: Effects of gases and particles and the influence of cause of death, age and season. [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2002, **52** (4): 470-484.
- [7] 刘希玲, 丁焰. 我国城市汽车行驶工况调查研究 [J]. *环境科学学报*, 2000, **20** (1): 23-27.
- [8] Vogt R, Scheer V, Casati R, *et al.* On-road measurement of particle emission in the exhaust plume of a diesel passenger car [J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, **37** (18): 4070-4076.
- [9] Huang C, Lou D M, Hu Z Y, *et al.* A PEMS study of the emissions of gaseous pollutants and ultrafine particles from gasoline-and diesel-fueled vehicles [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **77**: 703-710.
- [10] 楼狄明, 徐宁, 范文佳, 等. 国 V 柴油机燃用丁醇柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究 [J]. *环境科学*, 2014, **35** (2): 526-532.
- [11] McAdam K, Steer P, Perrotta K. Using continuous sampling to examine the distribution of traffic related air pollution in proximity to a major road [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45** (12): 2080-2086.
- [12] Franco V, Kousoulidou M, Muntean M, *et al.* Road vehicle emission factors development: A review [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **70**: 84-97.
- [13] 姚志良, 马永亮, 贺克斌, 等. 宁波市实际道路下汽车排放特征的研究 [J]. *环境科学学报*, 2006, **26** (8): 1229-1234.
- [14] Wong C P, Chan T L, Leung C W. Characterisation of diesel exhaust particle number and size distributions using mini-dilution tunnel and ejector-diluter measurement techniques [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37** (31): 4435-4446.
- [15] 王嘉松, 黄震. 城市街区大气流动与汽车尾气扩散的三维数值模拟 [J]. *上海环境科学*, 2003, **22** (4): 227-229, 233.
- [16] Kim D H, Gautam M, Gera D. On the prediction of concentration variations in a dispersing heavy-duty truck exhaust plume using $k-\varepsilon$ turbulent closure [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35** (31): 5267-5275.
- [17] Durbin P A. A statistical model of two particle dispersion and concentration fluctuations in homogeneous turbulence [J]. *Journal of Fluid Mechanics*, 1980, **100** (2): 279-302.
- [18] 王嘉松, 陈达良, 宁治, 等. 不同燃料汽车排放超细微粒特性的实验研究 [J]. *环境科学*, 2006, **27** (12): 2382-2385.
- [19] 王军方, 葛蕴珊, 何超, 等. 汽油车和天然气汽车颗粒物排放特性研究 [J]. *汽车工程*, 2009, **31** (2): 137-140.
- [20] Kayes D, Hochgreb S. Mechanisms of particulate matter formation in spark-ignition engines. 1. effect of engine operating conditions [J]. *Environmental Science & Technology*, 1999, **33** (22): 3957-3967.
- [21] Li T Z, Chen X D, Yan Z X. Comparison of fine particles emissions of light-duty gasoline vehicles from chassis dynamometer tests and on-road measurements [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **68**: 82-91.
- [22] Kittelson D B. Engines and nanoparticles: a review [J]. *Journal of Aerosol Science*, 1998, **29** (5-6): 575-588.
- [23] 高俊华, 高章, 刘双喜, 等. 国 IV 汽油车颗粒物数目排放特性研究 [J]. *武汉理工大学学报 (交通科学与工程版)*, 2013, **37** (2): 311-315, 320.
- [24] 李峰. 汽油机缸内直喷 (GDI) 颗粒物排放特性研究 [D]. 天津: 天津大学, 2011. 29-30.
- [25] 陈许冬, 李铁柱, 严振兴. 城市道路轻型汽油车细颗粒物的排放特性 [J]. *江苏大学学报*, 2013, **34** (3): 254-260.
- [26] Zhang K M, Wexler A S, Zhu Y F, *et al.* Evolution of particle number distribution near roadways. Part II: the 'Road-to-Ambient' process [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38** (38): 6655-6665.
- [27] Kittelson D B, Watts W F, Johnson J P, *et al.* On-road and laboratory evaluation of combustion aerosols-Part 2: Summary of spark ignition engine results [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2006, **37** (8): 931-949.
- [28] Zhu Y F, Pudota J, Collins D, *et al.* Air pollutant concentrations near three Texas roadways, Part I: Ultrafine particles [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43** (30): 4513-4522.
- [29] 王嘉松, 陈达良, 黄震, 等. 实际大气条件下汽车尾气扩散的模拟与观测 [J]. *上海交通大学学报*, 2005, **39** (11): 1891-1894.
- [30] 李强, 余继文, 赵玉清, 等. 汽车尾气排放数据检测与分析 [J]. *长春工业大学学报*, 2012, **33** (2): 218-222.
- [31] 宁智, 刘双喜, 资新运. 柴油机排气微粒特性的试验研究 [J]. *环境科学学报*, 2003, **23** (6): 765-769.

CONTENTS

Comparative Analysis Methods of Haze Distinction over Yangtze River Delta Region	LIU Xiao-hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (3239)
Trends of Urban Haze in Jiangsu Province China over the Past 33 Years	LIU Duan-yang, WEI Jian-su, YAN Wen-lian, <i>et al.</i> (3247)
Temporal Variation of Background Atmospheric CO ₂ and CH ₄ at Mount Waliguan, China	LIU Peng, ZHANG Guo-qing, WANG Jian-qiong, <i>et al.</i> (3256)
Characteristics and Sources of Organic Carbon and Elemental Carbon in PM _{2.5} in Shanghai Urban Area	ZHANG Yi-hua, WANG Dong-fang, ZHAO Qian-biao, <i>et al.</i> (3263)
Size Distribution and Characterization of OC and EC in Atmospheric Aerosols During the Asian Youth Games of Nanjing, China	WANG Hong-lei, ZHU Bin, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (3271)
Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} During Typical Winter Days in Wuxi City	YUN Long-long, LU Fan, ZHANG Tian-shu, <i>et al.</i> (3280)
Emission Characteristics of PM _{2.5} from Blast Furnace Iron Making	FAN Zhen-zhen, ZHAO Ya-li, ZHAO Hao-ning, <i>et al.</i> (3287)
Composition Characteristics of Atmospheric Volatile Organic Compounds in the Urban Area of Beibei District, Chongqing	QI Xin, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (3293)
Catalytic Oxidation of Two-component VOCs and Kinetic Analysis	BO Long-li, YANG Li, SUN Jian-yu, <i>et al.</i> (3302)
Ultrafine Particle Number Concentration and Size Distribution of Vehicle Exhaust Ultrafine Particles	LU Ye-qiang, CHEN Qiu-fang, SUN Zai, <i>et al.</i> (3309)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Upper Reach of Shule River Basin and the Possible Controls	ZHOU Jia-xin, DING Yong-jian, ZENG Guo-xiong, <i>et al.</i> (3315)
Sediment-water Flux and Processes of Nutrients and Gaseous Nitrogen Release in a China River Reservoir	CHEN Zhu-hong, CHEN Neng-wang, WU Yin-qi, <i>et al.</i> (3325)
Spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Tidal Reach and Its Adjacent Sea Estuary of Daliaohe Area, China	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, MA Ying-qun, <i>et al.</i> (3336)
Chemical Speciation and Risk Assessment of Heavy Metals in the Middle Part of Yarlung Zangbo Surface Sediments	BAI Jian-kun, LI Chao-liu, KANG Shi-chang, <i>et al.</i> (3346)
Analysis of Particle Size Characteristics of Road Sediments in Beijing Olympic Park	LI Hai-yan, SHI An-bang, QU Yang-sheng, <i>et al.</i> (3352)
Levels and Distribution of the Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Surface Sediment of the Yellow River	LI Guang-yao, JIN Jun, HE Chang, <i>et al.</i> (3358)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Retention in Two Different Channel Forms in a Typical Headwater Stream in the Suburb of Hefei City, China	LI Ru-zhong, YANG Ji-wei, QIAN Jing, <i>et al.</i> (3365)
Migration and Transformation of Nitrogen in Urban Stream Located in Plain River-net Area Based on Water Resources Regulation	LIU Bo, SHENG Ming, ZHU Qiang, <i>et al.</i> (3373)
Decomposition and Phosphorus Dynamics of the Litters in Standing and Litterbag of the Hangzhou Bay Coastal Wetland	SHAO Xue-xin, LIANG Xin-qiang, WU Ming, <i>et al.</i> (3381)
Muti-model Collaborative Retrieval of Chlorophyll a in Taihu Lake Based on Data Assimilation	LI Yuan, LI Yun-mei, LÜ Heng, <i>et al.</i> (3389)
Photobleaching of Dissolved Organic Matter (DOM) from Confluence of Two Rivers Under Natural Solar Radiation; A Case Study of Fujiang River-Jialingjiang River	GAO Jie, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> (3397)
Using Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Spectrum to Estimate the Dissolved Organic Matter (DOM) Concentration in Water, Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas	LI Lu-lu, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (3408)
Synthesis of Cu ₂ O-Ag-AgBr/MA Visible Photocatalyst and Its Performance in Degradation of 2-Chlorophenol	WANG Ran, ZHOU Xue-feng, HU Xue-xiang, <i>et al.</i> (3417)
Effects of Particle Size of Zero-Valent Iron on the Reactivity of Activating Persulfate and Kinetics for the Degradation of Acid Orange 7	LI Huan-xuan, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (3422)
Degradation of 2,4-D by Combined Catalytic Dechlorination and Biological Oxidation	ZHOU Hong-yi, ZENG Si-si, LIANG Si, <i>et al.</i> (3430)
Treatment of Marine-Aquaculture Effluent by the Multi-Soil-Layer (MSL) System and Subsurface Flow Constructed Wetland	SONG Ying, HUANG Yu-ting, GE Chuan, <i>et al.</i> (3436)
Variation of Different Carbon Sources in the Sewage Treatment Process	JIN Peng-kang, CHANG Jin, WANG Xian-bao, <i>et al.</i> (3443)
Effect of Gas-lift Device on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Reactor	LI Xiang, ZHANG Da-lin, HUANG Yong, <i>et al.</i> (3449)
Enhancement for Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Pretreated by Microwave and Its Combined Processes	LIU Ji-bao, NI Xiao-tang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3455)
Pilot Study of Thermal Treatment/Thermophilic Anaerobic Digestion Process Treating Waste Activated Sludge of High Solid Content	WU Jing, WANG Guang-qi, CAO Zhi-ping, <i>et al.</i> (3461)
Effects of Temperature on Combined Process of ABR and MBR for Domestic Sewage Treatment and Analysis of Microbial Community	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (3466)
Microbial Community of Municipal Discharges in A Sewage Treatment Plant	XU Ai-ling, REN Jie, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i> (3473)
Pilot-Scale Cultivation of <i>Spirulina plantensis</i> with Digested Piggery Wastewater	GUO Qing-qing, LIU Rui, LUO Jin-fei, <i>et al.</i> (3480)
Spectral Characteristics of Soluble Metabolites During Endogenous Respiration	LI Zhi-hua, ZHANG Qin, BAI Xu-li, <i>et al.</i> (3487)
Endogenous Respiration Process Analysis of Heterotrophic Biomass and Autotrophic Biomass Based on Respiration Map	LI Zhi-hua, BAI Xu-li, ZHANG Qin, <i>et al.</i> (3492)
Influence of S-Metolachlor and Cd ²⁺ on Photosynthesis of <i>Scenedesmus obliquus</i>	CHEN Cai-dong, HU Xiao-na, ZHANG Xiao-qiang, <i>et al.</i> (3498)
Effect of Environmental Factors on Fish Community Structure in the Huntai River Basin at Multiple Scales	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue (3504)
Succession of Rotifer Community and Its Relationship with Environmental Factors in a New Estuarial Landscape River, Shanghai	MA Wen-hua, ZHANG Wei, GU Wan-wen, <i>et al.</i> (3513)
Anaerobic Reduction of Humus/Fe(Ⅲ) and Electron Transport Mechanism of <i>Fontibacter</i> sp. SgZ-2	MA Chen, YANG Gui-qin, LU Qin, <i>et al.</i> (3522)
Source Apportionment of Soil Heavy Metals in Jiapigou Goldmine Based on the UNMIX Model	AI Jian-chao, WANG Ning, YANG Jing (3530)
Environmental Magnetic Properties and Their Spatial Variability of Topsoil in Shihezi City	YANG Han, XIONG Hei-gang, CHEN Xue-gang (3537)
Effects of Different Amounts of Phosphate Fertilizers on Copper, Zinc Transfer in Red Soil Under the Application of KH ₂ PO ₄	GUO Liang, LI Zhong-wu, HUANG Bin, <i>et al.</i> (3546)
Influence of Sulfur on the Bioavailability of Arsenic Uptake by Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) and Its Speciation in Soil	YANG Shi-jie, TANG Bing-pei, WANG Dai-chang, <i>et al.</i> (3553)
Effects of Sulfur on Transformation of Selenium in Soil and Uptake of Selenium in Rape	LIU Xin-wei, DUAN Bi-hui, XIA Quan-jie, <i>et al.</i> (3564)
Impact of Reclaimed Water Irrigation on Soil Chemical Properties and Culturable Microorganisms	GONG Xue, WANG Ji-hua, GUAN Jian-fei, <i>et al.</i> (3572)
Influence of Different Slope Position and Profile in <i>Disporopsis pernyi</i> Forest Land on Soil Microbial Biomass and Enzyme Activity in Southwest Karst Mountain of China	QIN Hua-Jun, HE Bing-Hui, ZHAO Xuan-chi, <i>et al.</i> (3580)
Effects of Different Soil Types on the Foliar δ ¹³ C Values of Common Local Plant Species in Karst Rocky Desertification Area in Central Guizhou Province	DU Xue-lian, WANG Shi-jie, LUO Xu-qiang (3587)
Effect of Carbon Substrate Concentration on N ₂ , N ₂ O, NO, CO ₂ and CH ₄ Emissions from a Paddy Soil in Anaerobic Condition	CHEN Nuo, LIAO Ting-ting, WANG Rui, <i>et al.</i> (3595)
Ability of Typical Greenery Shrubs of Beijing to Adsorb and Arrest PM _{2.5}	LIANG Dan, WANG Bin, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> (3605)
Effects of Chlorides on Cd Transformation in a Simulated Grate Incinerator During Sludge Incineration Process	LIU Jing-yong, ZHUO Zhong-xu, SUN Shui-yu, <i>et al.</i> (3612)
Spatial Temporal Differentiation of Product-based and Consumption-based CO ₂ Emissions and Balance in the Beijing-Tianjin-Hebei Region: an Economic Input-Output Analysis	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (3619)
Study on Feasible Emission Control Level of Air Pollutions for Cement Industry	REN Chun, JIANG Mei, ZOU Lan, <i>et al.</i> (3632)

《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)

2014年9月15日 第35卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 9 Sep. 15, 2014

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

国内外公开发行人