

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第12期

Vol.33 No.12

2012

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:再生水灌溉利用生态风险研究专题

序 陈卫平(4069)
再生水灌溉利用的生态风险研究进展 陈卫平,张炜铃,潘能,焦文涛(4070)
绿地再生水灌溉土壤微生物量碳及酶活性效应研究 潘能,侯振安,陈卫平,焦文涛,彭驰,刘文(4081)
绿地再生水灌溉土壤盐度累积及风险分析 潘能,陈卫平,焦文涛,赵忠明,侯振安(4088)
再生水灌溉对土壤性质及重金属垂直分布的影响 赵忠明,陈卫平,焦文涛,王美娥(4094)
模型模拟再生水灌溉对土壤水盐运动的影响 吕斯丹,陈卫平,王美娥(4100)
模型模拟土壤性质和植被种类对再生水灌溉水盐运移的影响 吕斯丹,陈卫平,王美娥(4108)
再生水灌溉农田土壤镉累积规律模拟研究 赵忠明,陈卫平,焦文涛,王美娥(4115)
再生水灌溉土壤人工合成麝香累积模型模拟 王美娥,陈卫平,焦文涛(4121)
城市绿化草坪再生水灌溉对地下水水质影响研究 王巧环,陈卫平,王效科,任玉芬,张烨(4127)
北京市再生水的公众认知度评估 张炜铃,陈卫平,焦文涛(4133)

研究报告

北京地区臭氧时空分布特征的飞机探测研究 陈鹏飞,张蕾,权建农,高扬,黄梦宇(4141)
世博会期间上海市大气挥发性有机物排放强度及污染来源研究 王红丽,陈长虹,黄海英,王倩,陈宜然,黄成,李莉,张钢锋,陈明华,楼晟荣,乔利平(4151)
贡嘎山本底站大气中 VOCs 的研究 张军科,王跃思,吴方堃,孙杰(4159)
区域大气环境风险源识别与危险性评估 张晓春,陈卫平,马春,詹水芬,焦文涛(4167)
稻草烟尘中正构烷烃和正构脂肪酸的碳同位素 刘刚,孙丽娜,李久海,徐慧(4173)
汽油轿车 NEDC 循环超细颗粒物排放特性 胡志远,李金,谭丕强,楼狄明(4181)
城市道路绿化带不同植物叶片附尘对大气污染的磁学响应 隆茜,周菊珍,孟颖,达良俊(4188)
闽江口养殖塘水-大气界面温室气体通量日进程特征 杨平,仝川,何清华,黄佳芳(4194)
模拟增温对冬小麦-大豆轮作农田土壤呼吸的影响 刘艳,陈书涛,胡正华,任景全,沈小帅(4205)
广西大石围天坑中多环芳烃的大气传输与分异 孔祥胜,祁士华,孙寿,黄保健(4212)
松花江流域冰封期水体中多环芳烃的污染特征研究 马万里,刘丽艳,齐虹,白杨,刘吉敏,陈忠林,李一凡(4220)
温州城市河流中多环芳烃的污染特征及其来源 周婕成,陈振楼,毕春娟,吕金刚,许世远,潘琪(4226)
温州城市河流河岸带土壤中 PAHs 的污染特征与来源 周婕成,毕春娟,陈振楼,王璐,许世远,潘琪(4237)
辽河水系沉积物中 PAHs 的分布特征及风险评估 武江越,刘征涛,周俊丽,高富(4244)
某炼油厂退役场地土壤与浅层地下水酚类污染特征研究 裴芳,罗泽娇,彭进进,祁士华(4251)
某大型焦化企业污染场地中多环芳烃空间分布的分异性特征 刘庚,郭观林,南锋,魏文侠,李发生,毕如田(4256)
太原市市灌区有机氯农药垂直分布特征及源解析 廖小平,张彩香,赵旭,向青清,李佳乐(4263)
上海市崇明岛农田土壤中多环芳烃分布和生态风险评价 吕金刚,毕春娟,陈振楼,周婕成,韩景超(4270)
近 50 年来深圳湾红树林湿地 Hg、Cu 累积及其生态危害评价 李瑞利,柴民伟,邱国玉,贺蓓(4276)
北运河源头区沙河水库沉积物重金属污染特征研究 张伟,张洪,单保庆(4284)
太湖表层沉积物重金属赋存形态分析及污染特征 秦延文,张雷,郑丙辉,曹伟(4291)
典型季风型温冰川消融期融水化学日变化特征 朱国锋,蒲焘,何元庆,王培震,孔建龙,张宁宁,辛惠娟(4300)
螺-草水质净化系统氮素环境归趋的实验研究 周露洪,谷孝鸿,曾庆飞,毛志刚,高华梅,孙明波(4307)
固定化果胶酶抑制铜绿微囊藻生长研究 沈清清,彭谦,赖泳红,纪开燕,韩秀林(4316)
采用膜污染指数评估天然有机物在低压超滤膜中的污染行为 肖萍,肖峰,赵锦辉,秦潼,王东升,冯金荣,许光(4322)
水体中甲基汞光化学降解特征研究 孙荣国,毛雯,马明,张成,王定勇(4329)
土霉素在乙酸水溶液中的臭氧氧化降解研究 李时银,李小荣,朱怡苹,朱江鹏,王国祥(4335)
酰胺咪唑光降解效能与机制及其影响因素研究 陈超,赵倩,封莉,张立秋(4340)
利用 FeS 去除水中硝基苯的试验研究 王夏琳,李睿华(4346)
地下污水管线泄漏原位自动监测模拟实验研究 郭磊,贾永刚,付腾飞,刘晓磊,赵战坤(4352)
表面活性剂改性沸石对水中酚类化合物吸附性能研究 谢杰,王哲,吴德意,李春杰(4361)
抗生素类制药废水厌氧消化产物急性毒性的检测 季军远,邢雅娟,郑平(4367)
废砖块作为人工湿地填料的除磷能力研究 王振,刘超翔,李鹏宇,董健,刘琳,朱葛夫(4373)
基于生物沸石复合滤料的间歇式脱氨水处理 庆承松,鲍韬,陈天虎,陈冬,谢晶晶(4380)
硝酸盐对厌氧生物膜和颗粒污泥的同时产甲烷反硝化性能影响研究 钟晨宇,叶杰旭,李若愚,陈胜,孙德智(4387)
水平电场作用下活性污泥的脱水研究 季雪元,王毅力,冯晶(4393)
多重环境因子对氟胺磺隆在土壤中的降解的影响 宋宁慧,单正军,石利利,郭敏,许静,孔德洋(4400)
碱后处理对互花米草沼渣理化特性的影响研究 陈广银,郑正,常志州,王海芹,叶小梅(4406)
含砷废渣高温烧结过程砷的矿物相结构变化与环境释放行为 王兴润,农泽喜,王琪(4412)
国家大气污染物排放标准体系研究 江梅,张国宁,张明慧,邹兰,魏玉霞,任春(4417)
环境基准向环境标准转化的机制探讨 毕岑岑,王铁宇,吕永龙(4422)
对“有毒重金属”实施 2 种总量控制监管方式的利害分析 傅国伟(4428)
《环境科学》第 33 卷(2012 年)总目录 (4434)
《环境科学》征订启事(4099) 《环境科学》征稿简则(4166) 信息(4180, 4219, 4225, 4275) 专辑征稿通知(4172)

汽油轿车 NEDC 循环超细颗粒物排放特性

胡志远, 李金, 谭丕强, 楼狄明

(同济大学汽车学院, 上海 201804)

摘要: 以一辆采用电控燃油进气道多点喷射系统的桑塔纳汽油轿车为试验样车, 采用排气颗粒数量及粒径分析仪 EEPS, 对该车 NEDC 循环的超细颗粒排放数量及颗粒粒径分布特性进行了试验研究。结果表明, NEDC 循环中, 车辆加速时排放的核模态颗粒、聚集态颗粒数量浓度均增加; 车辆启动后 40 s 及 EUDC 循环高速工况 ($\geq 90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) 排放的超细颗粒数量浓度较高; NEDC 循环的颗粒数量排放呈单峰对数分布, 颗粒数量排放峰值的颗粒粒径集中于 10 ~ 30 nm, 几何平均粒径为 24 nm; ECE I、ECE II ~ IV 和 EUDC 循环, 加速、减速、怠速及匀速驾驶工况的颗粒数量排放基本上呈单峰对数分布, 颗粒数量排放峰值的颗粒粒径主要集中于 10 ~ 30 nm, 几何平均粒径集中于 14 ~ 42 nm。该汽油车 NEDC 循环排放的超细颗粒主要以粒径小于 50 nm 的核模态颗粒为主。

关键词: 汽油轿车; NEDC 循环; 超细颗粒; 颗粒数量排放; 颗粒粒径分布

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)12-4181-07

Research on NEDC Ultrafine Particle Emission Characters of a Port Fuel Injection Gasoline Car

HU Zhi-yuan, LI Jin, TAN Pi-qiang, LOU Di-ming

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

Abstract: A Santana gasoline car with multi-port fuel injection (PFI) system was used as the research prototype and an engine exhaust particle sizer (EEPS) was employed to investigate the exhaust ultrafine particle number and size distribution characters of the tested vehicle in new European driving cycle (NEDC). The tested results showed that the vehicle's nuclear particle number, accumulation particle number, as well as the total particle number emission increased when the car drove in accelerated passage, and the vehicle's particle number emission was high during the first 40 seconds after test started and when the speed was over $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ in extra urban driving cycle (EUDC) in NEDC. The ultrafine particle distribution of the whole NEDC showed a single peak logarithmic distribution, with diameters of the peak particle number emission ranging from 10 nm to 30 nm, and the geometric mean diameter was 24 nm. The ultrafine particle distribution of the urban driving cycle named by the economic commission for Europe (ECE) e. g. ECE I, ECE II - IV, the extra urban driving cycle e. g. EUDC, and the idling, constant speed, acceleration, deceleration operation conditions of NEDC all showed a single peak logarithmic distribution, also with particle diameters of the peak particle number emission ranging from 10 nm to 30 nm, and the geometric mean diameters of different driving cycle and different driving mode were from 14 nm to 42 nm. Therefore, the ultrafine particle emissions of the tested PFI gasoline car were mainly consisted of nuclear mode particles with a diameter of less than 50 nm.

Key words: gasoline car; NEDC; ultrafine particle; particle number emission; particle size distribution

随着工业化、城市化进程的高速发展,我国颗粒物等大气污染物排放量已居全球前列,长三角、珠三角、京津冀等主要城市群区域大气细颗粒($D \leq 2.5 \mu\text{m}$)污染普遍呈多污染物驱动、多城市趋同的复合污染特征。由于空气中细颗粒物较多的数量及较大的表面积,它可以影响大气的能见度,产生光化学烟雾,加剧温室效应^[1,2],而且还可以深入人体肺部组织并沉积在组织内部,甚至可以进入血液和免疫细胞之中,引起人体免疫反应和心肺系统疾病,诱发癌变等^[3-8]。因此,细颗粒物排放已严重威胁到人民群众的身体健康和生态安全,细颗粒物的综合治理已成为国家政策和民生关注的焦点,是当前社会各界高度关注和亟待解决的重大环境问题。

空气中的细颗粒物人为一次排放源主要来自机动车尾气、燃煤烟尘、建筑扬尘以及冶金水泥等,其中机动车尾气是目前各大城市大气细颗粒污染的最主要来源。汽车排放的颗粒物按照其粒径大小,基本属于亚微米级的超细颗粒($D \leq 0.1 \mu\text{m}$),随着排放法规的不断加严,汽车的颗粒物排放越来越得到人们的重视。关于汽车排气颗粒物的研究,研究重心多为柴油机实验室台架颗粒物排放研究^[9-11]、柴油车实际道路颗粒物排放研究^[12-16]、柴油机燃用不同替代燃料的颗粒物排放研究^[17-19]等。近年

收稿日期: 2012-02-17; 修订日期: 2012-07-09

作者简介: 胡志远(1970~),男,博士,副教授,主要研究方向为汽车清洁代用燃料, E-mail: huzhiyuan@tongji.edu.cn

来,汽油车的颗粒物排放也得到人们的极大关注.研究表明:汽油车排放的颗粒物大多集中在粒径较小的核模态颗粒($D \leq 50 \text{ nm}$)范围^[20,21],虽然其颗粒物质量排放比柴油车要少一个数量级,但其颗粒数量排放并不能忽视^[22].汽油车急加速时产生的颗粒排放是主干道细颗粒的主要来源^[23].因此,汽油车的颗粒物排放对环境的影响不容忽视.

本研究以一辆满足欧IV排放的桑塔纳 Vista 汽油轿车为试验样车,依据《轻型汽车污染排放限值及测量方法(中国 III, IV 阶段)》(GB 18352.3-2005) I 型试验循环,系统研究该车 I 型试验循环(New European Driving Cycle, NEDC)中不同行驶工况的颗粒物数量排放及粒径分布特性.

1 试验样车及试验方案

1.1 试验样车及燃料

试验样车为一辆满足欧IV排放的桑塔纳 Vista 汽油轿车,发动机为水冷直列四缸、单顶置凸轮轴两气门、进气道多点喷射汽油机.其主要技术参数如表 1 所示.试验燃料为沪 IV 93 号汽油.

表 1 试验样车主要技术参数

Table 1 Technical parameters of test car

项目	参数
发动机额定功率(kW)/转速($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	74/5200
发动机最大扭矩($\text{N} \cdot \text{m}$)/转速($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	155/3 800
发动机排量/L	1.781
压缩比	9.5
最高车速/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	187
供油方式	多点电喷
长/宽/高(mm)	4 687 × 1 700 × 1 450
排放	欧IV

1.2 试验设备及方案

试验设备主要包括 $-20 \sim 50^\circ\text{C}$ 环境模拟舱、SCHENCK 汽车底盘测功机和发动机排气颗粒数量和粒径分析仪(engine exhaust particle sizer, EEPS).美国 TSI 公司的 EEPS 可快速测取排气颗粒数浓度及粒径分布,测量粒径范围为 $5.6 \sim 560 \text{ nm}$,在 0.1 s 内可测取一个完整的颗粒粒径分布图谱,并同步输出 32 个粒径通道的颗粒数量和粒径分布数据,完全满足 NEDC 循环的瞬态测试要求.

在 SCHENCK 汽车底盘测功机上模拟车辆在道路上的行驶阻力,运行工况依据《轻型汽车污染排放限值及测量方法(中国 III, IV 阶段)》(GB 18352.3-2005) I 型试验循环进行.整个测试共持续 $1\ 180 \text{ s}$,由试验 1 部(市区行驶循环,urban driving

cycle, UDC) 和 2 部(市郊行驶循环,extra urban driving cycle, EUDC)组成.其中 1 部行驶循环包含 4 个相同的 ECE-15 循环单元[欧洲经济委员会(Economic Commission for Europe, ECE)制定的驾驶循环],每个市区循环单元有效行驶时间为 195 s ,分别称为 ECE I、ECE II、ECE III 和 ECE IV 循环.试验 2 部由一个市郊循环(EUDC 循环)组成,包含怠速、加速、匀速、减速等 13 个工况,平均车速为 $62.6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,理论行驶距离为 6.955 km ,最高车速为 $120.0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

采用 HORIBA 公司的皮托管流量计对车辆排出的尾气进行计量和采样,采样方法为部分流稀释,采样尾气流量为 $1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$.为模拟排气在实际环境中的稀释过程,采用了两级稀释,总稀释比为 $500:1$.第一级稀释系统采用 TSI 公司的专用旋转盘稀释器对排气进行稀释,控制初级稀释系统的加热温度为 120°C ,稀释比为 $200:1$;第二级稀释采用一个流量计对进气流量进行补偿,并同时稀释,稀释比为 $2.5:1$.

2 结果与分析

试验中,由于颗粒测试仪器 EEPS 无法自动集成车辆的速度数据,车辆的速度来自底盘测功机.为保证运行工况与颗粒数量浓度的一一对应,需要将颗粒数量浓度与车速在时间上进行对齐.本研究依据颗粒数量浓度随车速的变化而变化原理,将颗粒数量浓度与车速进行平移对齐.图 1 是经过平移对齐后的 ECE I 排气颗粒数量浓度与车速之间的响应特性.

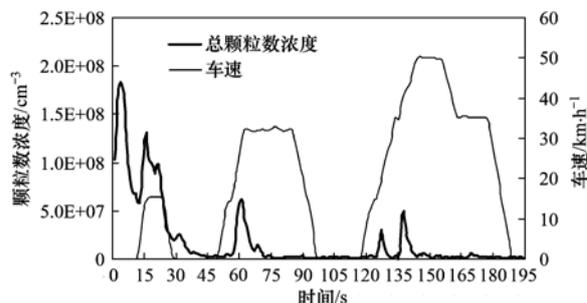


图 1 对齐后的 ECE I 循环排气颗粒数量浓度变化特性

Fig. 1 Characteristics of particle number concentration and speed of ECE I, after translation and alignment

2.1 颗粒数量浓度排放特性

汽车排放的颗粒物基本属于粒径小于 $0.1 \mu\text{m}$ 的亚微米级超细颗粒排放,包括颗粒粒径小于 50 nm 的核模态颗粒和颗粒粒径大于 50 nm 的聚集态

颗粒排放.

图 2 为该车燃用沪 IV 93 号汽油 NEDC 循环试验中 ECE I、ECE II ~ IV 及 EUDC 循环的核模态颗粒数量浓度、聚集态颗粒数量浓度、总颗粒数量浓度随试验时间的变化曲线.

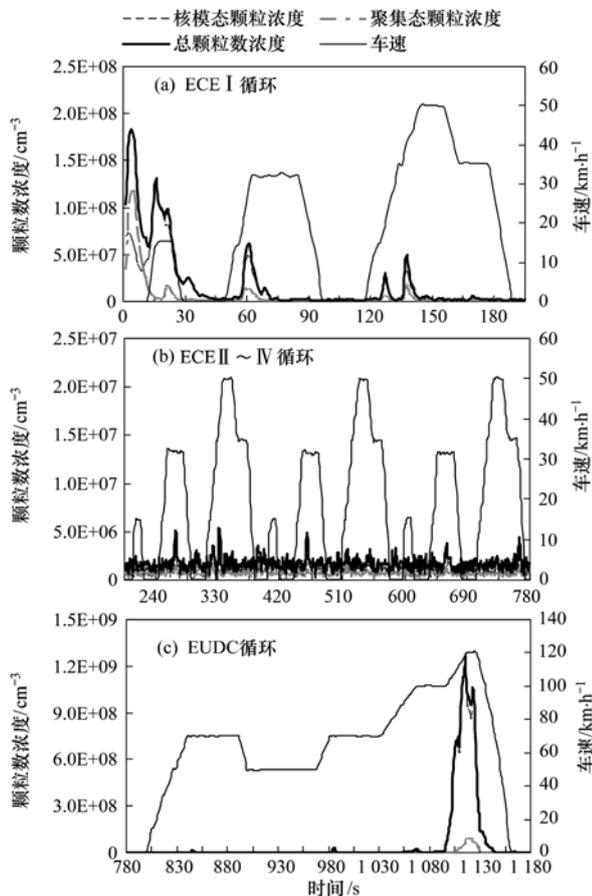


图 2 NEDC 循环颗粒数量浓度排放特性

Fig. 2 Characteristics of particulate emissions of NEDC

由图 2 可见,在 NEDC 试验循环的加速阶段,该车燃用沪 IV 93 号汽油核模态颗粒数量浓度、聚集态颗粒数量浓度及总颗粒数量浓度增加.这是因为,加速工况下,发动机负荷升高,喷入的燃油显著增加,供给较浓的混合气,空燃比波动及燃烧不充分导致颗粒排放增加^[24].

由图 2(a)可见,ECE I 循环中车辆启动时产生的颗粒排放较高,ECE I 循环排放的核模态颗粒、聚集态颗粒及总颗粒数量排放主要产生于前 40 s.这是因为,车辆冷启动时,发动机转速较低,进气流速低、气缸内温度低,燃油蒸发较慢,且冷启动过程的混合气较浓,燃烧不完全,导致碳烟增加,颗粒物排放较高^[25].

由图 2(b)可见,ECE II ~ IV 循环车辆产生的颗

粒排放较低,与 ECE I 循环车辆冷启动时比较,颗粒物排放降低约一个数量级.由图 2(c)可见,EUDC 循环中,当车辆速度超过 $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,车辆产生的颗粒排放急剧增加.这是因为,当车速超过 $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,发动机负荷较大,循环喷油量增大,气缸内温度和压力升高;同时发动机转速增加,油气混合时间缩短,不完全燃烧产生的碳烟增加,且生成的碳烟来不及氧化而排出机外,颗粒物排放较高^[26].

对 NEDC、ECE I、ECE II ~ IV 及 EUDC 循环的颗粒排放数量浓度按照循环持续时间平均,得到 ECE I、ECE II ~ IV、EUDC 及 NEDC 循环的核模态颗粒数量浓度、聚集态颗粒数量浓度及总颗粒数量浓度平均值如图 3 所示.

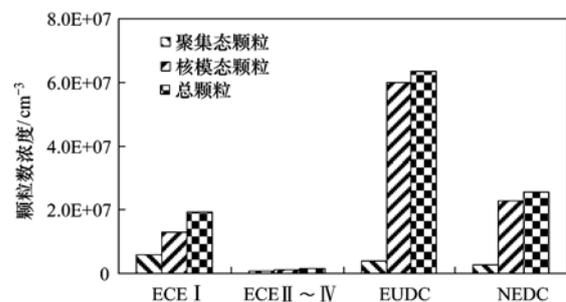


图 3 NEDC 循环排放的颗粒数量浓度

Fig. 3 Particle number emissions of NEDC

由图 3 可见,该车 NEDC 循环排放的颗粒主要是粒径小于 50 nm 的核模态颗粒,占总颗粒数量的 90%.这是因为,积聚态颗粒主要由不完全燃烧产生的碳粒发生团聚作用并凝结部分 HC 等形成,该汽油轿车采用电控燃油进气道多点喷射系统,可燃混合气预先在进气道混合,其低碳烟排放特性决定了尾气中聚集态颗粒数量排放较低^[26].

根据 NEDC 循环中车辆处于怠速、匀速、加速、减速工况的时间分别对车辆怠速、匀速、加速、减速时排放的颗粒数量浓度进行平均,得到 NEDC 循环中怠速、匀速、加速、减速工况的颗粒数量浓度排放特性如图 4 所示.

由图 4 可见,NEDC 循环中,聚集态颗粒主要产生于怠速、匀速和加速工况,核模态颗粒主要产生于匀速和加速工况.怠速工况排放的聚集态颗粒和核模态颗粒数量浓度基本相当,匀速、加速、减速工况产生的核模态颗粒较高,分别为该工况总颗粒数量排放的 89%、95% 和 91%.

把 NEDC 循环的匀速、加速、减速工况根据其所处的速度区间进行细分,进一步划分为低速、中

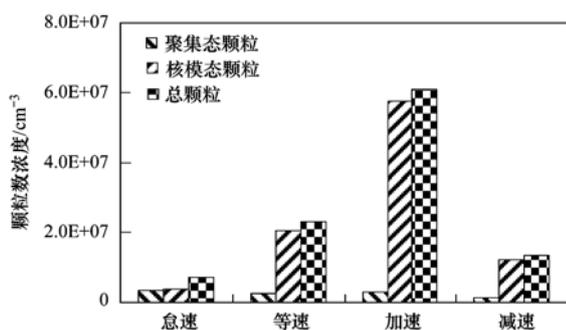


图4 怠速、匀速、加速、减速颗粒数量浓度排放特性

Fig. 4 Particle number emissions of idling, constant speed, acceleration, deceleration operation conditions of NEDC

表2 NEDC 循环工况划分

Table 2 Divided operation cases by driving speed and acceleration of NEDC

项目	速度区间	持续时间/s
怠速	$V = 0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	280
加速	低速加速 $a \geq 0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	79
	中低速加速 $a \geq 0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	57
	中速加速 $a \geq 0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	42
	中高速加速 $a \geq 0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	37
	高速加速 $a \geq 0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	33
减速	低速减速 $a \leq -0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	72
	中低速减速 $a \leq -0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	60
	中速减速 $a \leq -0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	29
	中高速减速 $a \leq -0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	13
	高速减速 $a \leq -0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}, 90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	12
匀速	低速匀速 $0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	50
	中低速匀速 $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	158
	中速匀速 $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	119
	中高速匀速 $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	100
	高速匀速 $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} < V \leq 120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	39

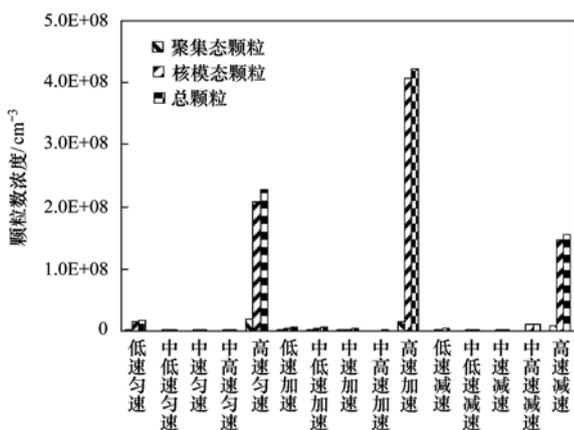


图5 NEDC 循环匀速、加速、减速颗粒物数量浓度排放特性

Fig. 5 Characteristic of particulate matter emissions of constant speed, acceleration and deceleration conditions of NEDC

结作用,核模态颗粒排放增加^[27]. 高速匀速时,发动机转速较高,负荷较大,油气混合时间缩短,颗粒

低速、中速、中高速和高速加速/匀速/减速工况,如表2所示.

图5是该车NEDC循环低速、中低速、中速、中高速和高速加速/匀速/减速时排放的颗粒数量浓度根据工况持续时间平均后的颗粒数量浓度排放特性.可见,在加速、匀速、减速工况中,高速工况下的加速/匀速/减速排放的聚集态、核模态及总颗粒数量浓度较高.这主要是因为,高速加速时,发动机的负荷较高,喷油量增加,混合气浓度增大,且混合气浓度的均匀性变差,聚集态颗粒排放增加.同时由于发动机的转速较高,油气混合时间缩短,HC排放增加,且生成的HC来不及氧化而发生成核或凝

物排放较高.高速减速时,节气门突然关闭,但驾驶员并未置变速器于空档,此时由于车辆的惯性作用,传动系倒拖着发动机,使发动机仍保持很高的转速,进气管真空度急剧升高,附着在进气管壁上的燃油在空气量不足的情况下进入气缸,造成混合气过浓,颗粒物排放较高.

2.2 颗粒粒径分布特性

图6为ECE I、ECE II~IV、EUDC及NEDC循环排气颗粒的粒径分布特性.

由图6可见,该车ECE I、ECE II~IV、EUDC及NEDC循环排气颗粒数量粒径分布大都呈单峰对数分布,ECE II~IV循环的颗粒数量排放较低,EUDC循环的颗粒数量排放较高. ECE I、ECE II~IV循环颗粒数量排放峰值的颗粒粒径主要集中在8~70 nm;同时包含8~50 nm的核模态颗粒和50~70 nm的聚集态颗粒;EUDC循环颗粒数量排放峰值

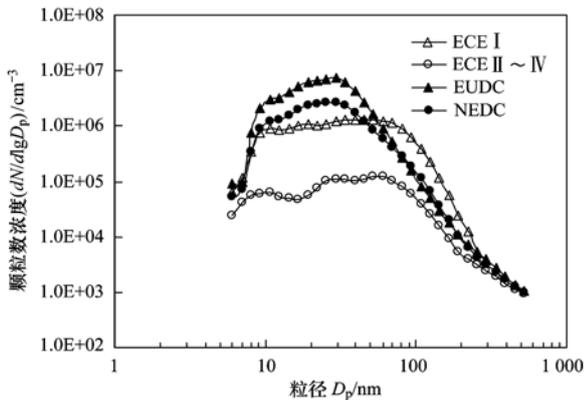


图 6 NEDC 循环的颗粒粒径分布特性

Fig. 6 Characteristics of particle size distribution of NEDC

的颗粒粒径主要集中于 10 ~ 30 nm 之间的核模态颗粒; NEDC 循环的颗粒数量排放介于 ECE I 和 EUDC 循环之间, 颗粒数量粒径分布形态受 EUDC 循环的影响较大, 颗粒数量排放峰值的颗粒粒径主要集中于 10 ~ 30 nm 之间的核模态颗粒.

图 7 为 NEDC 循环中加速、减速、怠速、匀速这 4 种工况颗粒排放的粒径分布特性.

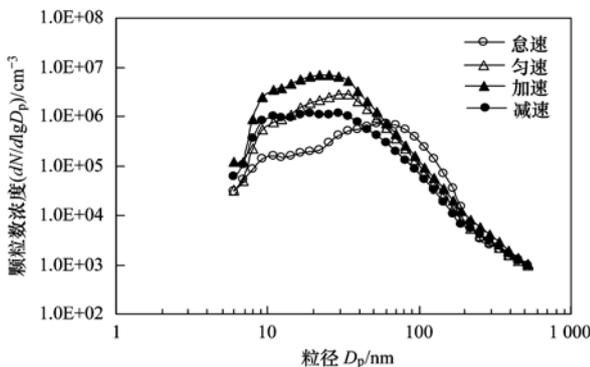


图 7 怠速、匀速、加速、减速工况颗粒粒径分布特性

Fig. 7 Particle size distribution of Idling, constant speed, acceleration and deceleration of NEDC

由图 7 可见, NEDC 循环中, 该车加速、减速、怠速、匀速这 4 种驾驶工况排气颗粒数量粒径分布大都呈单峰对数分布, 怠速工况的颗粒数量排放较低, 加速工况的颗粒数量排放较高. 怠速工况的颗粒数量排放峰值的颗粒粒径主要集中在 10 ~ 70 nm; 匀速、加速、减速工况的颗粒数量排放峰值的颗粒粒径基本上集中在 10 ~ 30 nm 之间的核模态颗粒.

图 8 是该车 NEDC 循环中低速、中低速、中速、中高速和高速加速/匀速/减速工况颗粒排放的粒径分布特性. 可见, 该车低速、中低速、中速、中高速和高速加速/匀速/减速工况排气颗粒数量的粒径分布大都呈单峰对数分布, 颗粒数量排放峰值的颗粒

粒径基本上集中集中在 10 ~ 30 nm 之间的核模态颗粒. 加速、匀速、减速工况下, 车速对颗粒物排放的影响较大, 高速加速、高速减速、高速匀速工况的颗粒数量排放较高.

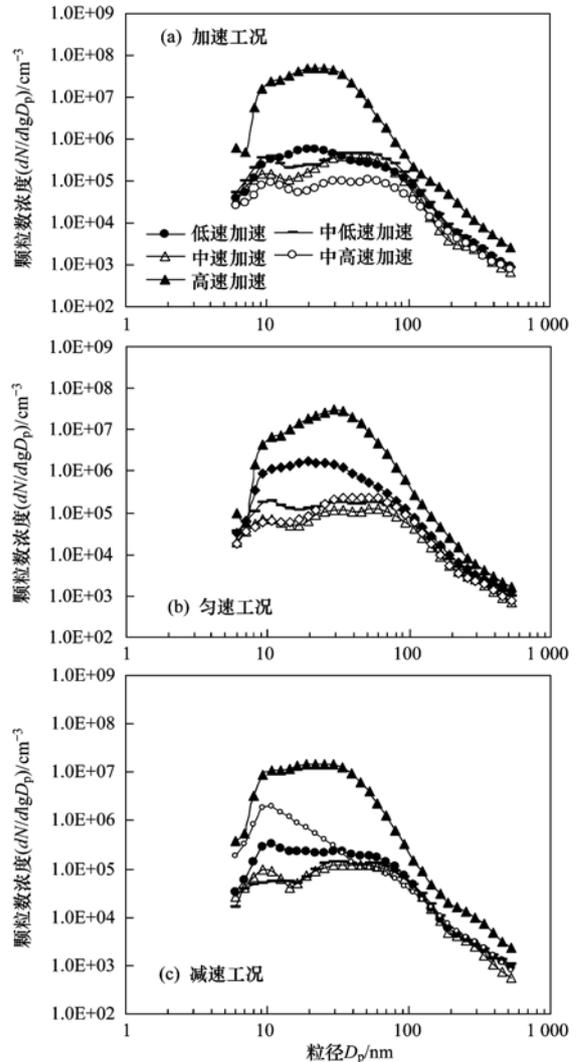


图 8 低速、中低速、中速、中高速和高速加速/匀速/减速工况的颗粒粒径分布特性

Fig. 8 Particle size distribution of low/low-middle/middle/high-middle/high constant speed, acceleration, and deceleration operation conditions of NEDC

2.3 颗粒平均粒径

几何平均粒径既反映了颗粒数浓度极大值的位置, 又综合了粒径分布的形态, 其计算公式如下:

$$D_g = \text{EXP} \left[\left(\sum n_i \cdot \ln(d_i) \right) / N \right] \quad (1)$$

式中, D_g 为几何平均粒径, nm; n_i 为第 i 个粒径区间的颗粒数; d_i 为第 i 个粒径区间的特征粒径, nm; N 为总颗粒数, 即 $\sum n_i$.

NEDC 循环中各循环以及各工况颗粒排放的几

- measurement programme [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(29): 3469-3476.
- [10] 刘炜, 张武高, 李新令, 等. 低硫柴油直喷燃烧超细颗粒排放特性研究[J]. *科学通报*, 2009, **34**(12): 1773-1778.
- [11] 刘志华, 葛蕴珊, 丁焰, 等. 柴油机和 LNG 发动机排放颗粒物粒径分布特性研究[J]. *内燃机学报*, 2009, **27**(6): 518-542.
- [12] Giechaskiel B, Ntziachristos L, Samaras Z, *et al.* Formation potential of vehicle exhaust nucleation mode particles on-road and in the laboratory [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(18): 3191-3198.
- [13] Casati R, Scheer V, Vogt R, *et al.* Measurement of nucleation and soot mode particle emission from a diesel passenger car in real world and laboratory in situ dilution [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(10): 2125-2135.
- [14] Bergmann M, Kirchner U, Vogt R, *et al.* On-road and laboratory investigation of low-level PM emissions of a modern diesel particulate filter equipped diesel passenger car [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(11): 1908-1916.
- [15] 秦孔建, 高继东, 李孟良, 等. 实际道路运行条件下公交车颗粒物排放测量与分析[J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2010, **34**(6): 1112-1116.
- [16] 高继东, 秦孔建, 荣亮, 等. 北京道路工况下公交车 PM 和 NO_x 排放特性试验研究[J]. *汽车工程*, 2011, **33**(9): 757-760.
- [17] 谭丕强, 胡志远, 楼狄明. 车用发动机燃用生物柴油的颗粒数量排放[J]. *汽车安全与节能学报*, 2010, **1**(1): 83-88.
- [18] 谭丕强, 鲍锡君, 胡志远, 等. 发动机燃用 GTL 柴油的颗粒数量排放[J]. *铁道机车车辆*, 2011, **31**(S1): 87-91.
- [19] 楼狄明, 胡炜, 谭丕强, 等. 发动机燃用生物柴油稳态工况颗粒粒径分布[J]. *内燃机工程*, 2011, **32**(5): 16-22.
- [20] 高继东, 宋崇林, 张铁臣, 等. 汽油车排气中颗粒物粒径的分布特性[J]. *燃烧科学与技术*, 2007, **13**(3): 248-252.
- [21] 王振锁, 肖宗成, 王惠萍, 等. LPG 与汽油燃料微粒排放的时效特性研究[J]. *内燃机学报*, 2004, **22**(1): 56-61.
- [22] 刘双喜, 高俊华, 张雅洁, 等. 轻型汽油车排气颗粒粒子排放特性试验研究[J]. *小型内燃机与摩托车*, 2009, **38**(6): 22-25.
- [23] Fruin S, Westerdahl D, Sax T, *et al.* Measurements and predictors of on-road ultrafine particle concentrations and associated pollutants in Los Angeles [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(2): 207-219.
- [24] 吴威龙, 郑朝蕾, 裴毅强, 等. PFI 汽油机排气微粒数浓度及粒径分布研究[J]. *车用发动机*, 2011, (4): 58-62.
- [25] 王凤滨, 包俊江, 乔维高, 等. 循环测量工况下汽油车颗粒物排放试验研究[J]. *汽车工程*, 2009, **31**(8): 737-740.
- [26] 李新令, 黄震, 王嘉松, 等. 汽油机排气颗粒粒径分布特征试验研究[J]. *环境化学*, 2009, **27**(1): 64-68.
- [27] Schneider J, Hock N, Weimer S, *et al.* Nucleation particles in diesel exhaust: composition inferred from in situ mass spectrometric analysis [J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, **39**(16): 6153-6161.

CONTENTS

Preface	CHEN Wei-ping (4069)
Ecological Risks of Reclaimed Water Irrigation: A Review	CHEN Wei-ping, ZHANG Wei-ling, PAN Neng, <i>et al.</i> (4070)
Study on Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Carbon in Greenland Irrigated with Reclaimed Water	PAN Neng, HOU Zhen-an, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (4081)
Soil Salinity in Greenland Irrigated with Reclaimed Water and Risk Assessment	PAN Neng, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4088)
Effect of Reclaimed Water Irrigation on Soil Properties and Vertical Distribution of Heavy Metal	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4094)
Simulation of Effect of Irrigation with Reclaimed Water on Soil Water-Salt Movement by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4100)
Simulation of Effects of Soil Properties and Plants on Soil Water-salt Movement with Reclaimed Water Irrigation by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4108)
Modeling the Cd Accumulation in Agricultural Soil Irrigated with Reclaimed Water	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4115)
Model Simulation of the Transportation, Transformation and Accumulation of Synthetic Musk in Soils Input Through Recycle Water Irrigation	WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4121)
Impacts of Reclaimed Water Irrigation of Urban Lawn on Groundwater Quality	WANG Qiao-huan, CHEN Wei-ping, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (4127)
Public Awareness Assessment of Water Reuse in Beijing	ZHANG Wei-ling, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4133)
Temporal and Spatial Distribution of Ozone Concentration by Aircraft Sounding over Beijing	CHEN Peng-fei, ZHANG Qiang, QUAN Jian-nong, <i>et al.</i> (4141)
Emission Strength and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Shanghai During 2010 EXPO	WANG Hong-li, CHEN Chang-hong, HUANG Hai-ying, <i>et al.</i> (4151)
Study on Atmospheric VOCs in Gongga Mountain Base Station	ZHANG Jun-ke, WANG Yue-si, WU Fang-kun, <i>et al.</i> (4159)
Regional Atmospheric Environment Risk Source Identification and Assessment	ZHANG Xiao-chun, CHEN Wei-ping, MA Chun, <i>et al.</i> (4167)
Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanes and <i>n</i> -Alkanoic Acids in the Smoke from Combustion of Rice Straw	LIU Gang, SUN Li-na, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (4173)
Research on NEDC Ultrafine Particle Emission Characters of a Port Fuel Injection Gasoline Car	HU Zhi-yuan, LI Jin, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (4181)
Magnetic Response of Street Tree Leaves to Particulate Pollution in Shanghai	LONG Qian, ZHOU Ju-zhen, MENG Jie, <i>et al.</i> (4188)
Diurnal Variations of Greenhouse Gas Fluxes at the Water-Air Interface of Aquaculture Ponds in the Min River Estuary	YANG Ping, TONG Chuan, HE Qing-hua, <i>et al.</i> (4194)
Effects of Simulated Warming on Soil Respiration in a Cropland Under Winter Wheat-Soybean Rotation	LIU Yan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (4205)
Transport and Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air from Dashiwei Karst Sinkholes in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, SUN Qian, <i>et al.</i> (4212)
Pollution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water of Songhua River Basin During the Icebound Season	MA Wan-li, LIU Li-yan, QI Hong, <i>et al.</i> (4220)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (4226)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Riparian Soils Along Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4237)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Partial Surface Sediments of Liaohe River	WU Jiang-yue, LIU Zheng-tao, ZHOU Jun-li, <i>et al.</i> (4244)
Phenols Pollutants in Soil and Shallow Groundwater of a Retired Refinery Site	PEI Fang, LUO Ze-jiao, PENG Jin-jin, <i>et al.</i> (4251)
Heterogeneous Characteristic of PAHs' Spatial Distribution in a Large Coking Site of China	LIU Geng, GUO Guan-lin, NAN Feng, <i>et al.</i> (4256)
Vertical Distribution and Source Analysis of Organochlorine Pesticides in Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LIAO Xiao-ping, ZHANG Cai-xiang, ZHAO Xu, <i>et al.</i> (4263)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soil of the Chongming Island in Shanghai	LÜ Jin-gang, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4270)
Mercury and Copper Accumulation During Last Fifty Years and Their Potential Ecological Risk Assessment in Sediment of Mangrove Wetland of Shenzhen, China	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (4276)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in the Sediments from Shahe Reservoir, the Upper Reach of the North Canal River	ZHANG Wei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (4284)
Speciation and Pollution Characteristics of Heavy Metals in the Sediment of Taihu Lake	QIN Yan-wen, ZHANG Lei, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (4291)
Chemical Composition and Daily Variation of Melt Water During Ablation Season in Monsoonal Temperate Glacier Region; A Case Study of Baishui Glacier No. 1	ZHU Guo-feng, PU Tao, HE Yuan-qing, <i>et al.</i> (4300)
Experimental Study on the Environmental Fate of Nitrogen in Snail-Macrophyte Ecosystem for Water Purification	ZHOU Lu-hong, GU Xiao-hong, ZENG Qing-fei, <i>et al.</i> (4307)
Growth Inhibition Effect of Immobilized Pectinase on <i>Microcystis aeruginosa</i>	SHEN Qing-qing, PENG Qian, LAI Yong-hong, <i>et al.</i> (4316)
A Novel Approach of Using Fouling Index to Evaluate NOM Fouling Behavior During Low Pressure Ultrafiltration Process	XIAO Ping, XIAO Feng, ZHAO Jing-hui, <i>et al.</i> (4322)
Characteristics of Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	SUN Rong-guo, MAO Wen, MA Ming, <i>et al.</i> (4329)
Degradation of Oxytetracycline with Ozonation in Acetic Acid Solvent	LI Shi-yin, LI Xiao-rong, ZHU Yi-ping, <i>et al.</i> (4335)
Photodegradation Performance and Mechanisms of Carbamazepine and Its Impact Factors	CHEN Chao, ZHAO Qian, FENG Li, <i>et al.</i> (4340)
Investigation of Nitrobenzene Removal by Iron Sulfide (FeS)	WANG Xia-lin, LI Rui-hua (4346)
Experimental Research on <i>In-Situ</i> Auto-Monitoring for Underground Sewage Pipeline Leakage	GUO Lei, JIA Yong-gang, FU Teng-fei, <i>et al.</i> (4352)
Adsorption of Phenol Chemicals by Surfactant-Modified Zeolites	XIE Jie, WANG Zhe, WU De-yi, <i>et al.</i> (4361)
Acute Toxicity of Antibiotics and Anaerobic Digestion Intermediates in Pharmaceutical Wastewaters	Ji Jun-yuan, XING Ya-juan, ZHENG Ping (4367)
Study on Phosphorus Removal Capability of Constructed Wetlands Filled with Broken Bricks	WANG Zhen, LIU Chao-xiang, LI Peng-yu, <i>et al.</i> (4373)
Denitrification Water Treatment with Zeolite Composite Filter by Intermittent Operation	QING Cheng-song, BAO Tao, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (4380)
Influence of Nitrate on the Simultaneous Methanogenesis and Denitrification Reaction of Anaerobic Biofilm and Granular Sludge	ZHONG Chen-yu, YE Jie-xu, LI Ruo-yu, <i>et al.</i> (4387)
Study on Dewatering of Activated Sludge Under Applied Electric Field	Ji Xue-yuan, WANG Yi-li, FENG Jing (4393)
Effects of Multiple Environmental Factors on Trifluorsulfuron-methyl Degradation in Soils	SONG Ning-hui, SHAN Zheng-jun, SHI Li-li, <i>et al.</i> (4400)
Effect of Alkaline Post-Treatment on Physicochemical Property of Digested <i>Spartina alterniflora</i>	CHEN Guang-yin, ZHENG Zheng, CHANG Zhi-zhou, <i>et al.</i> (4406)
Structural Changes in Mineral Phases and Environmental Release Behavior of Arsenic During Sintering of Arsenic-containing Waste	WANG Xing-run, NONG Ze-xi, WANG Qi (4412)
Study on Emission Standard System of Air Pollutants	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZHANG Ming-hui, <i>et al.</i> (4417)
Mechanism for Transformation of Environmental Criteria into Environmental Standards in China	BI Cen-cen, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long (4422)
Effect Analysis on the Two Total Load Control Methods for Poisonous Heavy Metals	FU Guo-wei (4428)

《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)

2012年12月15日 33卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 12 Dec. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行