

方知库  
Eco-Environmental  
Knowledge Web

# 环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV  
HUANJING KEXUE

- 主办 中国科学院生态环境研究中心
- 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.1  
第41卷 第1期

目次

近20年来中国PM<sub>2.5</sub>污染演变的时空过程 ..... 时燕, 刘瑞梅, 罗毅, 杨昆 (1)

2007~2016年上海颗粒物浓度特征与气候背景异同分析 ..... 郑庆锋, 史军, 谈建国, 段玉森, 林燕芬, 徐卫忠 (14)

夏季大气PM<sub>2.5</sub>中元素特征及源解析:以华中地区平顶山-随州-武汉为例 ..... 刘威杰, 石明明, 程敏, 黎荧, 朱戈昊, 邢新丽, 孔少飞, 张家泉, 祁士华 (23)

呼包鄂地区冬季、夏季PM<sub>2.5</sub>污染特征 ..... 李伊明, 刘佳媛, 史国良, 皇甫延琦, 张昕, 杨奕, 冯银厂 (31)

2019年元旦前后石家庄市重污染过程PM<sub>2.5</sub>污染特征及来源解析 ..... 周静博, 段菁春, 王建国, 杨鹏, 刘煥武, 李梅, 靳伟 (39)

基于模型模拟的成都市PM<sub>2.5</sub>污染来源解析 ..... 许艳玲, 易爱华, 薛文博 (50)

北京市PM<sub>2.5</sub>中砷污染特征 ..... 石绍萱, 杨艳蓉, 秦娟娟, 周雪明, 段菁春, 谭吉华, 陈荣志 (57)

夏秋季宁波市气态元素汞(GEM)污染特征及潜在源区贡献分析 ..... 易辉, 林佳梅, 蔡秋亮, 王克强, 陈进生, 佟磊, 李建荣, 肖航 (65)

安阳市大气PM<sub>2.5</sub>中水溶性离子季节特征及来源解析 ..... 孙有昌, 姜楠, 王申博, 段时光, 张瑞芹 (75)

新乡市夏冬季节PM<sub>2.5</sub>稳定碳同位素特征分析 ..... 闫广轩, 宋鑫, 张靖雯, 张朴真, 王力鹏, 张佳羽, 杨争, 曹治国, 樊静, 王跃思, 刘子锐 (82)

基于颗粒物化学组分粒径分布特征的源解析方法构建与评估 ..... 梁永莉, 田瑛泽, 刘童, 冯银厂 (90)

超低排放改造后燃煤电厂细颗粒物排放特征 ..... 王润芳, 马大卫, 姜少毅, 朱仁斌, 何军, 张本耀 (98)

京津冀地区城市臭氧污染趋势及原因探讨 ..... 余益军, 孟晓艳, 王振, 周崑, 于红霞 (106)

安阳市近地面臭氧污染特征及气象影响因素分析 ..... 杨健, 尹沙沙, 于世杰, 王丽娟, 张瑞芹, 郝建尤, 苏方成, 齐艳杰 (115)

长江三角洲2017年机动车IVOCs排放清单构建及其对SOA的生成影响 ..... 王倩, 黄凌, 王杨君, 殷司佳, 张琪, 易鑫, 李莉 (125)

华东典型城市非道路移动机械排气烟度 ..... 鲁君, 胡馨遥, 杨强, 唐伟, 夏阳, 井宝莉, 陈昫, 黄成 (133)

国内外储油库VOCs排放现状与标准分析 ..... 胡玮, 任碧琪, 黄玉虎, 秦建平, 卞吉玮, 吴清柱 (139)

四乙基愈创木酚液相·OH氧化SOA产率及特征分析:初始浓度的影响 ..... 庄雨, 陈彦彤, 李旭东, 马帅帅, 赵竹子, 叶招莲, 盖鑫磊 (146)

乌鞘岭南、北坡降水稳定同位素特征及水汽来源对比 ..... 徐秀婷, 贾文雄, 朱国锋, 马兴刚, 张昱, 袁瑞丰, 张志远, 石阳 (155)

长江源多年冻土区地下水氢氧稳定同位素特征及其影响因素 ..... 汪少勇, 何晓波, 丁永建, 常福宣, 吴锦奎, 胡召富, 王利辉, 杨贵森, 邓明珊 (166)

巴尔喀什湖流域水化学和同位素空间分布及环境特征 ..... 沈贝贝, 吴敬禄, 吉力力·阿不都外力, A. S. Saparov, Gulnura Isanova (173)

城市湖泊水环境整治对改善水质的影响:以蠡湖近30年水质变化为例 ..... 田伟, 杨周生, 邵克强, 潘辉, 胡洋, 白承荣, 姜星宇, 高光, 汤祥明 (183)

典型药物及个人护理品在黄东海海域水体中的检测、分布规律及其风险评估 ..... 陈贤, 张彩杰, 杨桂朋, 张婧, 刘梦 (194)

长江南京段水源水中有机磷酸酯的污染特征与风险评估 ..... 李栋, 张圣虎, 张芹, 王博, 卜元卿, 赵欣, 李辉, 宋宁慧, 郭瑞昕 (205)

雄安新区-白洋淀冬季冰封期水体溶解性有机物的空间分布、光谱特征及来源解析 ..... 周石磊, 孙悦, 张艺冉, 蒋永丰, 尹璐, 黄廷林, 李再兴, 罗晓, 战江, 王函 (213)

白洋淀表层沉积物元素的空间特征、风险评价及来源分析 ..... 汪敬忠, 刘卓, 魏浩, 吴玉会, 占水娥, 朱迟, 张益森 (224)

松花江表层沉积物PAEs分布特征及生态风险评估 ..... 王欢, 杨永哲, 王海燕, 董伟羊, 闫国凯, 常洋, 李泽文, 赵远哲, 凌宇 (232)

鄱阳湖湖口-长江段沉积物中微塑料与重金属污染物的赋存关系 ..... 李文华, 简敏菲, 刘淑丽, 江玉梅, 邓艳彬, 朱琳 (242)

臭氧对生物活性炭中微生物及出水消毒副产物的影响 ..... 刘宝明, 王夕希, 张晓夏, 顾艳芳, 李雨平, 阮文权, 缪恒峰, 潘杨 (253)

兰州市西固区儿童饮用水重金属暴露及健康风险精细化评估 ..... 陈月芳, 孙善伟, 段小丽, 许锦荣, 王娟, 康艺瑾, 梁为纲, 曹素珍 (262)

镁铁层状双金属氢氧化物对磷酸盐的吸附作用及对内源磷释放的控制效果及机制 ..... 吴俊麟, 林建伟, 詹艳慧, 程永前, 柏晓云, 辛慧敏, 常明玥 (273)

一硫代磷酸盐在介质上的吸附特征及机制 ..... 廖丹雪, 单慧媚, 彭三曦, 潘敖然, 黄健, 陈辉, 赵超然 (284)

酸碱复合改性海泡石亚结构特征及其对Cd(II)吸附性能 ..... 谢厦, 徐应明, 闫翠侠, 罗文文, 孙约兵 (293)

脱氮菌剂在低溶解氧黑臭水体中氮代谢特征 ..... 赵志瑞, 刘硕, 李铎, 李海萍, 李方红, 张佳瑶, 白志辉 (304)

宏基因组方法分析医药化工废水厂中抗生素耐药菌及抗性基因 ..... 陈红玲, 张兴桃, 王晴, 姚沛琳 (313)

淀粉废水处理系统中活性污泥的微生物群落结构及多样性分析 ..... 赵婷婷, 乔凯, 王蕾, 张伟, 竺建荣, 唐一, 胡滨, 王香莲, 杨静, 景在涛 (321)

基于SBR-ABR实现PN-SAD耦合工艺的运行与优化调控 ..... 陈重军, 张敏, 姜滢, 郭萌蕾, 谢嘉玮, 谢军祥, 沈耀良 (330)

基于间歇饥饿的SNAD工艺运行 ..... 李冬, 刘志诚, 徐贵达, 王玉颖, 张杰 (337)

反硝化-高效部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺处理老龄垃圾渗滤液 ..... 陈小珍, 汪晓军, Karasuta Chayangkun, 周松伟, 钟中, 陈振国, 陈晓坤 (345)

硝化微颗粒污泥快速培养及其亚硝化功能快速实现 ..... 刘文如, 宋家俊, 王建芳, 沈耀良 (353)

高频曝停下曝时间对亚硝化颗粒污泥性能的影响 ..... 张杰, 劳会妹, 李冬, 魏子清 (360)

中国东北沈抚地区土壤中PBDEs的残留、来源及风险评估 ..... 向鑫鑫, 鲁垠涛, 阮起扬, 赖德, 孙绍斌, 姚宏, 张战胜 (368)

某焦化场地非均质包气带中多环芳烃(PAHs)来源及垂向分布特征 ..... 孟祥帅, 吴萌萌, 陈鸿汉, 岳希, 陶抒远 (377)

北京蔬菜地土壤中抗生素抗性基因与可移动元件的分布特征 ..... 张汝凤, 宋渊, 高浩泽, 程首涛, 孙艳梅, 王旭明 (385)

长期施肥和耕作下紫色土坡耕地土壤C、N、P和K化学计量特征 ..... 杜映妮, 李天阳, 何丙辉, 贺小容, 付适 (394)

亚热带稻田土壤碳氮磷生态化学计量学特征 ..... 宋佳龄, 盛浩, 周萍, 段良霞, 周清, 张杨珠 (403)

宛山荡农田土壤氮迁移过程反硝化与厌氧氨氧化 ..... 陈志浩, 覃云斌, 丁帮璟, 胡伏优, 陈湜, 李正魁 (412)

秸秆炭化还田对滴灌棉田土壤微生物代谢功能及细菌群落组成的影响 ..... 王晶, 马丽娟, 刘泽华, 闵伟, 侯振安 (420)

基于PMF模型的九龙江流域农田土壤重金属来源解析 ..... 黄华斌, 林承奇, 胡恭任, 于瑞莲, 郝春莉, 陈枫桦 (430)

塔里木盆地东南缘绿洲区土壤砷空间分布及农作物砷富集特征 ..... 陈云飞, 周金龙, 曾妍妍, 王松涛, 杜江岩, 孙英, 顾思博 (438)

广西典型碳酸盐岩区农田土壤-作物系统重金属生物有效性及迁移富集特征 ..... 马宏宏, 彭敏, 刘飞, 郭飞, 唐世琪, 刘秀金, 周亚龙, 杨柯, 李括, 杨峥, 成杭新 (449)

不同钝化剂对微碱性土壤镉、镍形态及小麦吸收的影响 ..... 张静静, 朱爽阁, 朱利楠, 柳海涛, 杨金康, 化党领 (460)

不同钝化剂对鸡粪堆肥重金属钝化效果及其腐熟度指标的影响 ..... 栾润宇, 高珊, 徐应明, 纪文凝, 闫翠侠, 孙约兵 (469)

黄土丘陵区退耕草地土壤呼吸及其组分对氮磷添加的响应 ..... 周俊杰, 陈志飞, 杨全, 赖帅彬, 王智, 徐炳成 (479)

炉渣与生物炭施加对福州平原水稻田温室气体排放的后续影响 ..... 蓝兴福, 王晓彤, 周雅心, 金强, 许旭萍, 王维奇 (489)

《环境科学》征订启事(89) 《环境科学》征稿简则(97) 信息(303, 329, 344)

## 华东典型城市非道路移动机械排气烟度

鲁君<sup>1</sup>, 胡馨遥<sup>1</sup>, 杨强<sup>2</sup>, 唐伟<sup>2</sup>, 夏阳<sup>2</sup>, 井宝莉<sup>2</sup>, 陈昀<sup>3</sup>, 黄成<sup>1\*</sup>

(1. 上海市环境科学研究院, 国家环境保护城市大气复合污染成因与防治重点实验室, 上海 200233; 2. 杭州市环境保护科学研究院, 杭州 310014; 3. 杭州市机动车污染排放管理处, 杭州 310014)

**摘要:** 在华东地区典型城市开展了超过 900 台非道路移动机械的排气烟度实测工作, 结合测试机械的属性调查, 分析汇总了现阶段各类机械的排气烟度范围(包括光吸收系数和林格曼黑度), 并定量研究了机械出厂年限、机械功率、测试工况及油品差异对机械排气烟度的影响。结果表明, 在自由加速工况下, 实测非道路移动机械的排气烟度为  $(1.02 \pm 0.57) \text{ m}^{-1}$ , 林格曼黑度等级为  $2.10 \pm 0.19$  (无量纲), 各类机械超过国家标准 GB 36886-2018 中关于烟度 I 限值比例为 12%~25%; 80% 的机械启动烟度大于自由加速烟度, 且各类机械启动烟度约为自由加速排气烟度的 2 倍; 与普通柴油相比, 使用车用柴油可少量削减机械排气烟度均值, 可显著削减或抑制排气烟度高值。启动时喷油量瞬间增加过快与油品质量较差可直接影响非道路用柴油机的排气烟度。

**关键词:** 华东地区; 非道路移动机械; 大气污染; 排气烟度; 林格曼烟度

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)01-0133-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201906212

## Exhaust Smoke of Non-Road Vehicles in Typical Cities of Eastern China

LU Jun<sup>1</sup>, HU Qing-yao<sup>1</sup>, YANG Qiang<sup>2</sup>, TANG Wei<sup>2</sup>, XIA Yang<sup>2</sup>, JING Bao-li<sup>2</sup>, CHEN Yun<sup>3</sup>, HUANG Cheng<sup>1\*</sup>

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of the Cause and Protection of Urban Air Pollution Complex, Shanghai Academy of Environmental Science, Shanghai 200233, China; 2. Hangzhou Academy of Environmental Science, Hangzhou 310014, China; 3. Hangzhou Motor Vehicle Exhaust Pollution Management Office, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** In typical cities of East China, more than 900 non-road vehicles were tested for exhaust smoke. Based on the investigation of the properties of these non-road vehicles, exhaust smoke intensities for different kinds of non-road vehicles are recommended. We also quantitatively study the differences in smoke intensity among vehicle age, vehicle power, test conditions, and fuels. The results showed that smoke intensity of non-road vehicles was  $(1.02 \pm 0.57) \text{ m}^{-1}$  and that Ringelmann smoke was  $2.10 \pm 0.19$ . In comparison to Chinese national standard (GB 36886), approximately 12%-25% of tested non-road vehicles' smoke intensity exceeded the standard limit. The smoke intensity of 80% of tested non-road vehicles was higher during start-up than under free acceleration. In comparison to ordinary diesel, the smoke intensities of tested non-road vehicles that used automotive diesel were lower. The instantaneous increase in fuel injection during start-up, as well as poor fuel quality, can directly affect the exhaust smoke of non-road vehicles.

**Key words:** East China; non-road vehicle; air pollution; exhaust smoke; ringelmann smoke

移动源是国内外目前及中长期最重要的大气污染源之一<sup>[1-6]</sup>, 随着经济和社会发展, 移动源对环境大气的影响日益凸显, 其对臭氧和  $\text{PM}_{2.5}$  的影响仍将持续, 从而进一步影响公众健康, 带来环境风险<sup>[7-10]</sup>. 近年来, 我国在机动车污染防控方面取得了长足的进展, 但是我国针对非道路移动机械的排放控制推进行步整体缓慢, 目前非道路机械用柴油机的排放标准仅为国三水平, 相比车用柴油机(国六)存在近两代的差距。欧美发达国家已于 2014 年左右实施了第四阶段排放标准要求,  $\text{NO}_x$  和  $\text{PM}$  排放限值分别比第三阶段标准严化了 85% 和 90%, 我国现行的非道路柴油机械标准与欧美国家相比落后近 8 年, 排放限值也比欧美国家宽松近 7~12 倍<sup>[11-14]</sup>. 为控制在用机械污染排放, 北京<sup>[15]</sup>、上海<sup>[16]</sup>、深圳<sup>[17]</sup>、天津<sup>[18]</sup> 和河北省<sup>[19]</sup> 等省市层面建立了在用机械的地方排放标准, 国家自 2018 年底也

颁布实施了非道路移动机械排气烟度标准<sup>[20]</sup>. 同时, 由于非道路移动机械普遍存在老旧程度较高(国一及以前机械)、维护保养差、排放较差、无后处理措施和流动性大等现状<sup>[21-24]</sup>, 且各类机械的主管部门差异较大, 尚未进行集中监管, 导致国内目前仍没有大量的实际测试样本来分析本地非道路移动机械的排气烟度水平<sup>[25]</sup>. 长三角地区是我国经济和社会建设较为活跃地区之一, 根据已有研究显示长三角地区典型城市的非道路移动机械一次  $\text{PM}_{2.5}$  排放占据移动源重要贡献<sup>[26]</sup>, 随着机动车减排的进一步深化, 经预测未来 5 年内非道路移动机械排放贡献呈上升趋势<sup>[27]</sup>. 2018 年 6 月, 国务院下发了《打

收稿日期: 2019-06-28; 修订日期: 2019-07-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(21777101); 国家重点研发计划项目(2018YFC0213800)

作者简介: 鲁君(1984~), 女, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向为大气污染源排放与控制, E-mail: lujun@saes.sh.cn

\* 通信作者, E-mail: huangc@saes.sh.cn

赢蓝天保卫战三年行动计划》<sup>[28]</sup>的通知, 大力鼓励淘汰高排放工程机械, 由此摸清在用非道路移动机械的排气现状对排放监管尤为重要<sup>[29-31]</sup>. 但是, 目前关于非道路移动机械排气烟度及关键影响因素的相关研究报道较少.

因此, 本研究基于对华东地区典型城市(上海市和杭州市)的 5 类典型非道路移动机械(市政机械、施工机械、企业内部机械、港作机械和农用机械)开展了排气烟度实测, 结合对测试机械的属性(包括油品、排放阶段和机龄等), 分析了各类机械的排气烟度现状及相关的影响参数, 旨在为区域非道路移动机械排放管控提供科学支撑.

## 1 材料与方法

### 1.1 测试对象

本研究涉及被测试的非道路移动机械分布于华东地区典型城市, 包括市政机械、施工机械、企业内部机械、港作机械和农用机械等 5 类机械, 共计

测试 916 台, 测试时间为 2017 年和 2018 年, 所有机械均处于正常作业工况. 测试机械的属性如图 1 所示, 各类测试机械类型的数量占比分别为: 农用机械(44%)、企业内部机械(39%)、施工机械(11%)、市政机械(3%)和港作机械(3%); 测试机械所使用油品为车用柴油和普通柴油, 其中约 81% 的机械使用普通柴油; 从排放阶段分布来看, 机械主要为国二机械, 占比 46%, 国三占比 27%, 国一及以下机械占比 27%.

### 1.2 测试设备与方法

本研究采用光吸收系数和林格曼黑度两种方法表征机械作业的排气烟度, 测试设备和方法参照 GB 36886-2018 和 DB 11/185-2013 中的相关要求, 其中选用 HORIBA 的 MEXA-600S 不透光烟度计作为试验设备测试机械排气的光吸收系数. 林格曼黑度测试采用林格曼黑度图、计时器(精准为 1 s)、烟气黑度图支架和风向风速测定仪等. 测试工况包括启动烟度和自由加速两种工况.

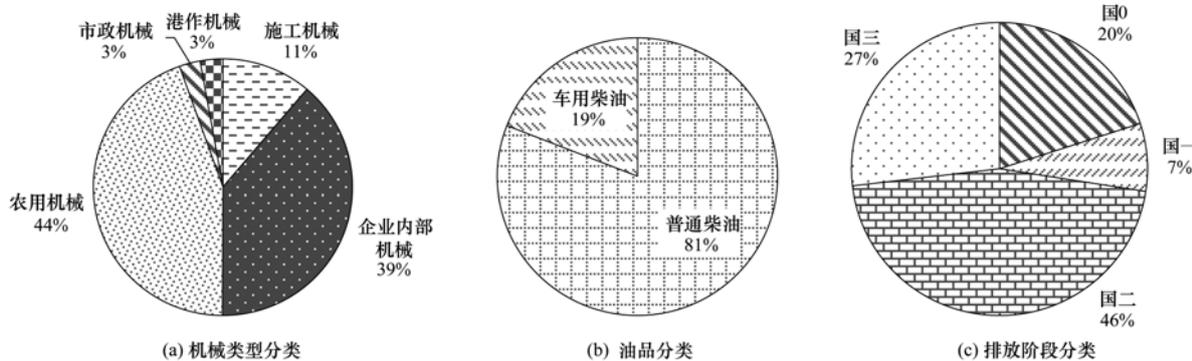


图 1 测试机械属性分布

Fig. 1 Properties of tested non-road vehicles

## 2 结果与讨论

### 2.1 分机械类型的排气烟度分布

分析实测机械的在自由加速工况下的排气烟度, 如表 1 所示, 测试机械的烟度为  $(1.02 \pm 0.57) \text{ m}^{-1}$ , 林格曼黑度等级为  $2.10 \pm 0.19$  (无量纲, 下同), 由图 2 可见, 自由加速工况下各类机械的光吸收系数和林格曼黑度的排放趋势基本一致. 分析各类机械的烟度, 农用机械的平均的烟度稍高于

表 1 实测非道路移动机械排气烟度

Table 1 Smoke intensities of tested non-road vehicles

序号	机械类型	光吸收系数 $/\text{m}^{-1}$	林格曼黑度
1	施工机械	$0.97 \pm 1.33$	$2.26 \pm 1.28$
2	企业内部机械	$1.06 \pm 1.17$	$1.83 \pm 1.11$
3	农用机械	$1.54 \pm 2.40$	$2.66 \pm 1.28$
4	市政机械	$0.78 \pm 0.88$	$2.04 \pm 1.12$
5	港作机械	$0.75 \pm 0.83$	$1.50 \pm 0.76$

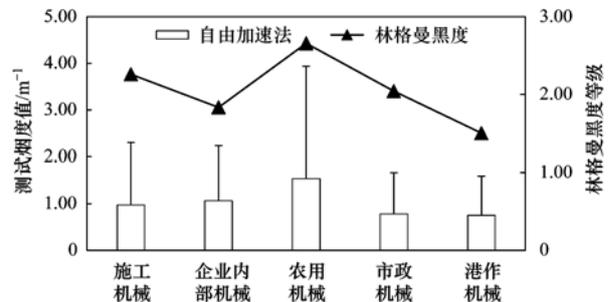


图 2 测试非道路移动机械排气烟度分布

Fig. 2 Smoke intensity ranges of tested non-road vehicles

企业内部机械和施工机械, 市政机械和港作机械的平均烟度相对最低, 农用机械的平均烟度约为港作机械的 2 倍.

根据国家 GB 36886-2018 标准中对排气烟度限值的划分类型, 将实测机械的烟度范围分为 3 个类型: 烟度  $\leq 0.5 \text{ m}^{-1}$ 、 $0.5 \text{ m}^{-1} < \text{烟度} \leq 1.61 \text{ m}^{-1}$  和

烟度  $> 1.61 \text{ m}^{-1}$ , 将各类实测机械的烟度按此分类 (如图 3), 结果显示, 约 21% 的实测机械超过 I 类限值 ( $\leq 1.61 \text{ m}^{-1}$ ), 各类机械的比例为 12% ~ 25%, 农用机械的比例最高, 其次为企业内部机械和施工机械, 其中施工机械的比例为 9%, 显著低于河北省实测结果<sup>[32]</sup>. 根据 GB 36886-2018 标准, 划定非道路移动机械低排放控制区 (低排区) 的区域可参考使用 III 类限值 ( $\leq 0.5 \text{ m}^{-1}$ ), 本研究显示满足 III 类限值的机械占比约为 38%, 且市区较为集中的施工机械和市政工程机械占比最高, 分别为 55% 和 54%, 可见华东地区典型城市对划定低排区已具有一定的条件, 但是仍有超过 40% 的建筑和市政机械

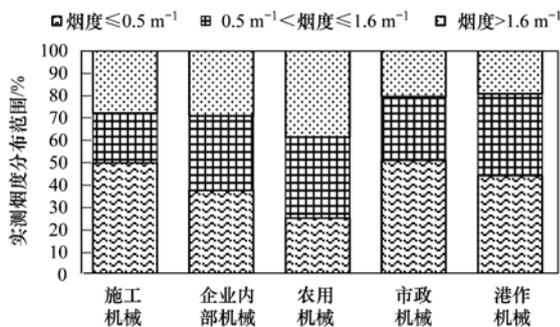


图 3 各类机械实测烟度区间占比

Fig. 3 Contribution of smoke intensity among types of tested non-road vehicles

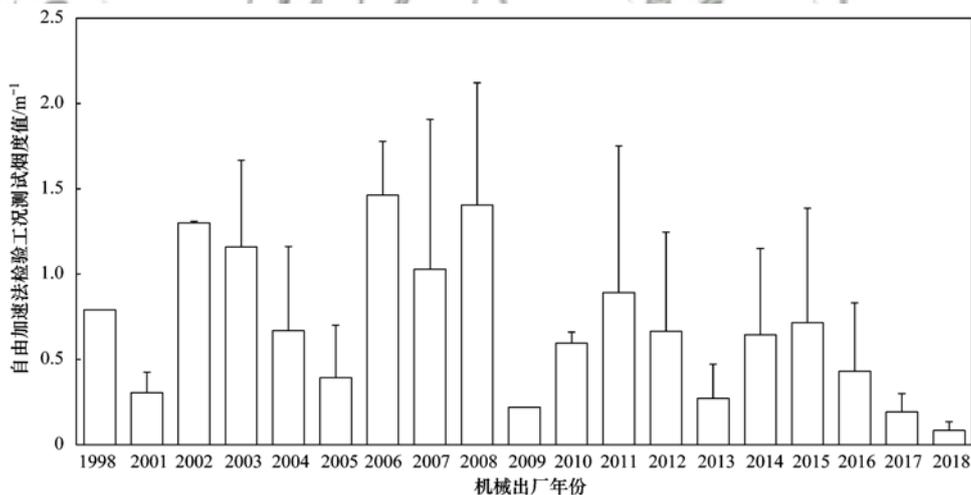


图 4 机械出厂年限对排气烟度影响

Fig. 4 Relationship between smoke intensity and the ages of non-road vehicles

### 2.3 测试工况对排气烟度的影响

为了研究不同测试工况对非道路移动机械排气烟度的影响, 本研究分别对测试机械采取启动烟度和自由加速两种工况下测试其排气烟度,  $R$  表示启动烟度和自由加速的烟度比值, 当  $R = 1$  时, 即工况为启动与自由加速时的排气烟度相同, 大于 1 时为启动烟度较大, 反之自有加速烟度较大, 其中 80% 的机械启动烟度大于自由加速烟度, 其中差距最大

需通过改造或升级满足低排区的 III 类烟度限值要求。

### 2.2 机械属性对排气烟度影响

结合对实测机械的机龄调查和我国非道路移动机械国一、国二和国三标准的实施时间, 分析不同机龄的排气烟度特征 (如图 4), 国二及以后机械 (出厂日期在 2009 年及以后) 的排气烟度为国一及以前机械 (出厂日期在 2009 年以前) 的  $(2.0 \pm 1.1)$  倍, 可见非道路移动机械标准从国一提升至国二及以上, 排气烟度可削减  $50\% \pm 93\%$ , 出厂日期在 2016 年及以后机械较 2009 ~ 2015 年机械的排气烟度值的  $(2.4 \pm 2.2)$  倍, 可见非道路移动机械标准从国二提升至国三, 排气烟度可削减  $41\% \pm 45\%$ . 由此可见, 收紧非道路移动机械的标准要求, 可有力削减其排气烟度。

选择两类功率段 (大于 130 kW 的大功率起重机械, 小于 56 kW 的小功率叉车) 的工程机械分析排气烟度与机械功率的相关性, 如图 5 所示. 从启动烟度看, 机械的功率差异与排气烟度未呈现规律性, 从自由加速烟度看, 大功率机械的排气烟度稍高于小功率机械, 前者约为后者的 2.8 倍, 测试机械的单位功率排气烟度为  $(8.1 \text{ E} - 03 \pm 3.8 \text{ E} - 03) \text{ m}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$ .

的一台机械, 启动烟度约为自由加速烟度的 87 倍。

进一步分析不同机龄、机械类型及排放阶段在不同测试工况下的排气烟度, 如图 6 所示, 除出厂年份在 2001 年、2004 年及 2010 年的测试机械的  $R$  值较高外, 其余机械虽机龄具有差异性, 但其  $R$  值均在 2 上下浮动, 即启动烟度为自由加速排气烟度的 2 倍左右; 分析不同测试工况对不同机械类型的差异影响,  $R$  值分布为 1.6 ~ 3.7, 市政工程的  $R$  值最

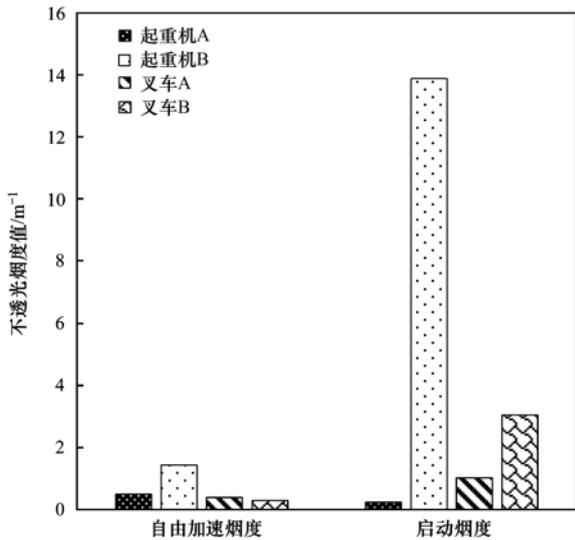


图 5 机械功率对排气烟度影响

Fig. 5 Relationship between smoke intensity and power of non-road vehicles

高,港作机械的  $R$  值最低,即机械启动对市政工程机械排气烟度影响相对较大,对港作机械影响较小;分析不同测试工况对不同排放阶段机械的差异影响, $R$  值分布为 1.1 ~ 2.2,国一机械最低, $R = 1.1$ ,即启动烟度稍高于自由加速的排气烟度,国0、国二和国三的  $R$  值为 1.8 ~ 2.0,即此 3 个排放阶段机械的启动烟度约为自由加速排气烟度的 2 倍左右。

### 2.4 油品对排气烟度的影响

分析车用柴油和普通柴油使用对非道路移动机械排气烟度的影响,以排气烟度达标 I 类限值  $1.61 \text{ m}^{-1}$  的 2 倍和 5 倍作为评价指标,使用车用柴油和普通柴油的机械超标 2 倍的机械占比分别为 6.5% 和 6.9%,可见车用柴油和普通柴油对排气烟度的影响差异不大,使用普通柴油的排气烟度超标比例稍高于车用柴油。由图 7 可见,使用普通柴油的机械存在较多超高排气烟度样本,以超标 5 倍作为评价

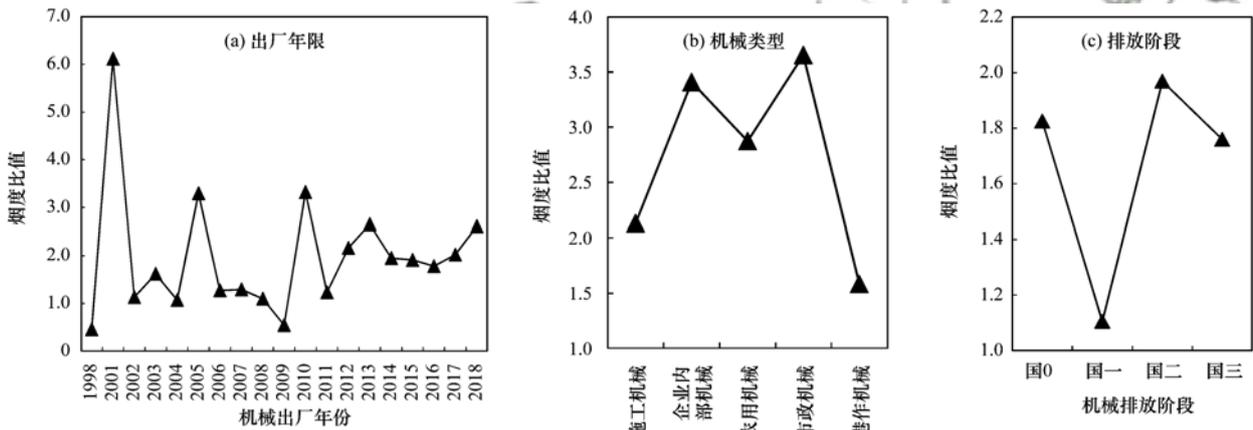


图 6 测试工况对机械的排气烟度(启动烟度/自由加速烟度)影响

Fig. 6 Relationship between smoke intensity and working conditions

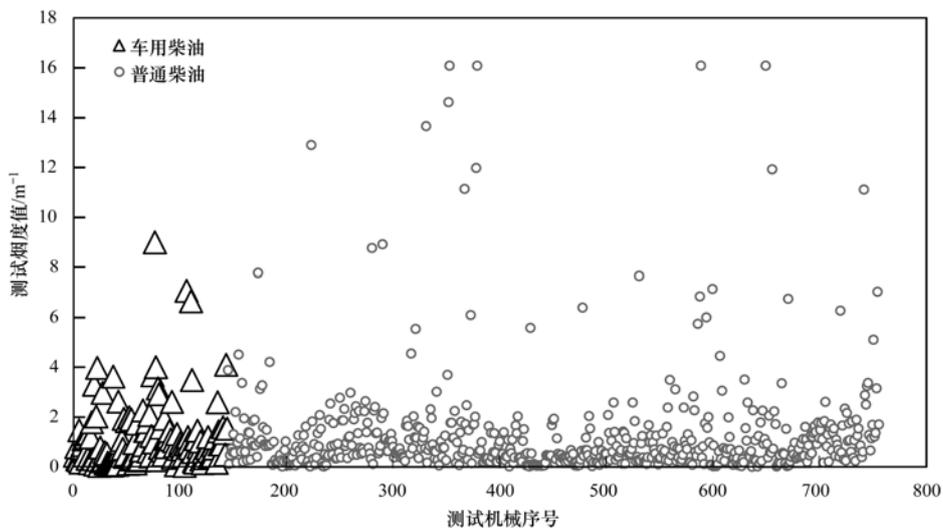


图 7 油品对机械的排气烟度影响

Fig. 7 Relationship between smoke intensity and fuel used in tested non-road vehicles

指标,使用普通柴油的超标 5 倍的机械占总数的 1.8%,但使用车用柴油的机械无超标 5 倍样本。由

此可见,使用车用柴油可一定程度减少排气烟度的均值,但可显著削减或抑制排气烟度高值。

## 2.5 排气烟度关键影响因素分析

非道路移动机械的主要动力是柴油机,柴油机排气烟度的形成过程非常复杂,柴油机工作时喷油器将高压的液态柴油快速喷入燃烧室,柴油液滴与进气系统吸入的空气剧烈摩擦,受热气化,与空气充分混合,燃油小液滴与气缸内的空气混合很难做到十分均匀,容易造成局部空燃比小于理论空燃比,未能充分混合的燃油由于缺乏足够的空气不能充分燃烧,在高温下迅速裂解为碳氢小分子,进一步脱氢碳化成为小粒径的碳颗粒,其聚集一起形成碳烟,随排气排出<sup>[33,34]</sup>,从柴油机的工作机制可见,喷油量、燃烧效率及油品是造成非道路用柴油机烟度排放的关键因素.结合本研究,显示柴油机启动时需要多喷油,造成瞬间空燃比较低,易形成黑烟;与车用柴油相比,油品质量较差的普通柴油可能影响柴油机燃烧室的燃烧效率,增加未充分燃烧柴油的比例,进而造成碳烟.

## 3 结论

(1)自由加速工况下,实测非道路移动机械的排气烟度值为 $(1.02 \pm 0.57) \text{ m}^{-1}$ ,林格曼黑度等级为 $2.10 \pm 0.19$ ,农用机械的排气烟度最高,约为港作机械的2倍,各类机械超过国家标准 GB36886-2018 中 I 类限值比例为 12%~25%.

(2)非道路移动机械标准收严,可有力削减机械排气烟度,进而减少机械的大气污染影响;本研究实测发现功率不同对工程机械排气烟度有一定影响,大功率的机械排气烟度高于小功率机械,其他类型的非道路移动机械的排气烟度与功率关系需进一步开展研究工作.

(3)大部分机械启动烟度大于自由加速烟度,启动烟度为自由加速排气烟度 2 倍左右,机械启动对市政工程机械的排气烟度影响较大;使用车用柴油可一定程度减少排气烟度的均值,但是影响差异不大,但可显著削减或抑制排气烟度高值.结合柴油内燃机的原理,上述现象与机械启动瞬时喷油量增加过快、普通柴油油品质量较差密切相关,造成局部柴油燃烧不完全,形成碳烟.

### 参考文献:

[1] Zawacki M, Baker K R, Phillips S, *et al.* Mobile source contributions to ambient ozone and particulate matter in 2025 [J]. *Atmospheric Environment*, 2018, **188**: 129-141.

[2] Blanchard C L, Tanenbaum S, Hidy G M. Source contributions to atmospheric gases and particulate matter in the Southeastern United States[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, **46**(10): 5479-5488.

[3] Huang C, Wang H L, Li L, *et al.* VOC species and emission inventory from vehicles and their SOA formation potentials

estimation in Shanghai, China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, **15**(19): 11081-11096.

- [4] Collet S, Kidokoro T, Karamchandani P, *et al.* Future-year ozone prediction for the United States using updated models and inputs[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2017, **67**(8): 938-948.
- [5] Karamchandani P, Long Y, Pirovano G, *et al.* Source-sector contributions to European ozone and fine PM in 2010 using AQMEII modeling data[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, **17**(9): 5643-5664.
- [6] 李楠, 卞雅慧, 钟庄敏, 等. 广东省人为源 BC、OC 排放清单建立与校验[J]. *环境科学学报*, 2017, **37**(2): 419-428.
- Li N, Bian Y H, Zhong Z M, *et al.* Development and verification of black carbon and organic carbon anthropogenic emission inventory in Guangdong Province [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, **37**(2): 419-428.
- [7] Fann N, Lamson A D, Anenberg S C, *et al.* Estimating the national public health burden associated with exposure to ambient PM<sub>2.5</sub> and Ozone[J]. *Risk Analysis*, 2012, **32**(1): 81-95.
- [8] 李惠娟, 周德群, 魏永杰. 我国城市 PM<sub>2.5</sub> 污染的健康风险及经济损失评价 [J]. *环境科学*, 2018, **39**(8): 3467-3475.
- Li H J, Zhou D Q, Wei Y J. An assessment of PM<sub>2.5</sub>-related health risks and associated economic losses in Chinese cities[J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(8): 3467-3475.
- [9] Wang J D, Wang S X, Voorhees A S, *et al.* Assessment of short-term PM<sub>2.5</sub>-related mortality due to different emission sources in the Yangtze River Delta, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2015, **123**: 440-448.
- [10] Wang Y J, Li L, Chen C H, *et al.* Source apportionment of fine particulate matter during autumn haze episodes in Shanghai, China [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2014, **119**(4): 1903-1914.
- [11] GB 20891-2014, 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国第三、四阶段)[S].
- [12] GB 20891-2007, 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国 I、II 阶段)[S].
- [13] European Environment Agency. Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of 14 September 2016 on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery. [EB/OL]. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R1628>. 2016-09-16.
- [14] USEPA. Control of emissions of air pollution from nonroad diesel engines and fuel[EB/OL]. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2004-06-29/pdf/04-11293.pdf>, 2003-06-29.
- [15] DB11/185-2013, 非道路机械用柴油机排气污染物限值及测量方法[S].
- [16] DB 31/981-2016. 在用非道路移动机械用柴油机 排气烟度排放限值及测量方法[S].
- [17] SZJG 49-2015, 在用非道路移动机械用柴油机排气烟度排放限值及测量方法[S].
- [18] DB12/588-2015, 在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法[S].
- [19] DB13/2543-2017, 在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法[S].
- [20] GB 36886-2018, 非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法[S].
- [21] 马帅, 张凯山, 王帆, 等. 现实工况下挖掘机械尾气排放特征分析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(4): 1670-1679.

- Ma S, Zhang G S, Wang F, *et al.* Characterization of tailpipe emissions from in-use excavators [J]. *Environmental Science*, 2019, **40** (4): 1670-1679.
- [22] 解淑霞, 唐祎骝, 陈秋宇, 等. 成都市非道路施工机械排放清单研究[J]. *环境科学学报*, 2019, **39** (9): 2889-2895.
- Xie S X, Tang Y S, Chen Q Y, *et al.* Emission inventory of non-road construction machinery in Chengdu [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39** (9): 2889-2895.
- [23] 李东玲, 吴焯, 周昱, 等. 我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究[J]. *环境科学*, 2012, **33** (2): 518-524.
- Li D L, Wu Y, Zhou Y, *et al.* Fuel consumption and emission inventory of typical construction equipments in China [J]. *Environmental Science*, 2012, **33** (2): 518-524.
- [24] 马冬, 尹航, 黄志辉, 等. 我国非道路移动源排放管理现状及展望[J]. *环境与可持续发展*, 2017, **42** (2): 36-40.
- Ma D, Yin H, Huang Z H, *et al.* The outlook and status of non-road mobile source emission management in China [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2017, **42** (2): 36-40.
- [25] Lewis P, Rasdorf W, Frey H C, *et al.* Requirements and incentives for reducing construction vehicle emissions and comparison of nonroad diesel engine emissions data sources [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2009, **135** (5): 341-351.
- [26] 鲁君, 黄成, 胡馨遥, 等. 长三角地区典型城市非道路移动机械大气污染物排放清单[J]. *环境科学*, 2017, **38** (7): 2738-2746.
- Lu J, Huang C, Hu Q Y, *et al.* Air pollutant emission inventory of non-road machineries in typical cities in eastern China [J]. *Environmental Science*, 2017, **38** (7): 2738-2746.
- [27] 黄成, 安静宇, 鲁君. 长三角区域非道路移动机械排放清单及预测[J]. *环境科学*, 2018, **39** (9): 3965-3975.
- Huang C, An J Y, Lu J. Emission inventory and prediction of non-road machineries in the Yangtze river delta region, China [J]. *Environmental Science*, 2018, **39** (9): 3965-3975.
- [28] 国务院. 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知[R]. 北京: 国务院, 2018.
- [29] 鲍晓峰, 刘泽民, 朱仁成. 移动源污染减排现状及控制对策[J]. *环境保护*, 2015, **43** (21): 25-27.
- Bao X F, Liu Z M, Zhu R C. Current situation and countermeasures of mobile emission reduction in China [J]. *Environmental Protection*, 2015, **43** (21): 25-27.
- [30] 张意, 吴琳, 毛洪钧, 等. 天津市机动车污染物排放清单及控制对策研究[J]. *南开大学学报(自然科学版)*, 2017, **50** (1): 90-96.
- Zhang Y, Wu L, Mao H J, *et al.* Research on vehicle emission inventory and its management strategies in Tianjin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis (Natural Science Edition)*, 2017, **50** (1): 90-96.
- [31] 肖翠翠, 杨姝影. 美国移动源污染排放管理及对我国的启示[J]. *环境与可持续发展*, 2015, **40** (1): 33-38.
- Xiao C C, Yang S Y. The vehicle emission management experiment of the United States and its implication to China [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2015, **40** (1): 33-38.
- [32] 杨军, 韩会杰, 邢正. 河北省在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法的编制与实例测试[J]. *环境与发展*, 2017, **29** (8): 251, 253.
- Yang J, Han H J, Xing Z. Development and case test of limits and measurement methods for smoke emission of non-road diesel machinery in Hebei Province [J]. *Environment and Development*, 2017, **29** (8): 251, 253.
- [33] Dec J E. Advanced compression-ignition engines—understanding the in-cylinder processes [J]. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2009, **32** (2): 2727-2742.
- [34] 于恩中, 刘进军. 柴油机颗粒排放机理及控制措施的研究[J]. *内燃机*, 2009, (4): 41-43.
- Yu E Z, Liu J J. Technical research of reducing the particle from the diesel engine discharges [J]. *Internal Combustion Engines*, 2009, (4): 41-43.

## CONTENTS

Spatiotemporal Variations of PM <sub>2.5</sub> Pollution Evolution in China in Recent 20 Years .....	SHI Yan, LIU Rui-mei, LUO Yi, <i>et al.</i> ( 1 )
Characteristics of Aerosol Particulate Concentrations and Their Climate Background in Shanghai During 2007-2016 .....	ZHENG Qing-feng, SHI Jun, TAN Jian-guo, <i>et al.</i> ( 14 )
Characteristics and Sources of Elements in PM <sub>2.5</sub> During Summer for Three Typical Cities in Pingdingshan-Suizhou-Wuhan, Central China .....	LIU Wei-jie, SHI Ming-ming, CHENG Cheng, <i>et al.</i> ( 23 )
PM <sub>2.5</sub> Pollution Characteristics During Winter and Summer in the Hohhot-Baotou-Ordos Region, China .....	LI Yi-ming, LIU Jia-yuan, SHI Guo-liang, <i>et al.</i> ( 31 )
Analysis of Pollution Characteristics and Sources of PM <sub>2.5</sub> During Heavy Pollution in Shijiazhuang City Around New Year's Day 2019 .....	ZHOU Jing-bo, DUAN Jing-chun, WANG Jian-guo, <i>et al.</i> ( 39 )
Modeling Studies of Source Contributions to PM <sub>2.5</sub> in Chengdu, China .....	XU Yan-ling, YI Ai-hua, XUE Wen-bo ( 50 )
Chemical Characteristics of Arsenic in PM <sub>2.5</sub> in Beijing .....	SHI Shao-xuan, YANG Yan-rong, QIN Juan-juan, <i>et al.</i> ( 57 )
Pollution Characteristics and Potential Source Contributions of Gaseous Elemental Mercury (GEM) During Summer and Autumn in Ningbo City .....	YI Hui, LIN Jia-mei, CAI Qiu-liang, <i>et al.</i> ( 65 )
Seasonal Characteristics and Source Analysis of Water-Soluble Ions in PM <sub>2.5</sub> of Anyang City .....	SUN You-chang, JIANG Nan, WANG Shen-bo, <i>et al.</i> ( 75 )
Analysis of Stable Carbon Isotope Characteristics of PM <sub>2.5</sub> in Summer and Winter Season in Xinxiang City .....	YAN Guang-xuan, SONG Xin, ZHANG Jing-wen, <i>et al.</i> ( 82 )
Construction and Evaluation on Size Resolved Source Apportionment Methods Based on Particle Size Distribution of Chemical Species .....	LIANG Yong-li, TIAN Ying-ze, LIU Tong, <i>et al.</i> ( 90 )
Fine Particulate Emission Characteristics of an Ultra-Low Emission Coal-Fired Power Plant .....	WANG Run-fang, MA Da-wei, JIANG Shao-yi, <i>et al.</i> ( 98 )
Driving Factors of the Significant Increase in Surface Ozone in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China, During 2013-2018 .....	YU Yi-jun, MENG Xiao-yan, WANG Zhen, <i>et al.</i> ( 106 )
Characteristic of Surface Ozone and Meteorological Parameters Analysis in Anyang City .....	YANG Jian, YIN Sha-sha, YU Shi-jie, <i>et al.</i> ( 115 )
Emission Inventory of Intermediate Volatility Organic Compounds from Vehicles in the Yangtze River Delta in 2017 and the Impact on the Formation Potential of Secondary Organic Aerosols .....	WANG Qian, HUANG Ling, WANG Yang-jun, <i>et al.</i> ( 125 )
Exhaust Smoke of Non-Road Vehicles in Typical Cities of Eastern China .....	LU Jun, HU Qing-yao, YANG Qiang, <i>et al.</i> ( 133 )
Emission Status and Standards of Volatile Organic Compounds from Chinese and Foreign Bulk Petroleum Terminals .....	HU Wei, REN Bi-qi, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i> ( 139 )
Secondary Organic Aerosol Mass Yield and Characteristics from 4-ethylguaiaacol Aqueous ·OH Oxidation: Effects of Initial Concentration .....	ZHUANG Yu, CHEN Yan-tong, LI Xu-dong, <i>et al.</i> ( 146 )
Stable Isotope Characteristics and Vapor Source of Precipitation in the South and North Slopes of Wushaoling Mountain .....	XU Xiu-ting, JIA Wen-xiong, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> ( 155 )
Characteristics and Influencing Factors of Stable Hydrogen and Oxygen Isotopes in Groundwater in the Permafrost Region of the Source Region of the Yangtze River .....	WANG Shao-yong, HE Xiao-bo, DING Yong-jian, <i>et al.</i> ( 166 )
Hydrochemical and Isotopic Characteristics of the Lake Balkhash Catchment, Kazakhstan .....	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, JILILI Abuduwaili, <i>et al.</i> ( 173 )
Effect of a Comprehensive Improvement Project on Water Quality in Urban Lakes: A Case Study of Water Quality Variation in Lihu Lake Over the Past 30 Years .....	TIAN Wei, YANG Zhou-sheng, SHAO Ke-qiang, <i>et al.</i> ( 183 )
Detection Method, Distribution, and Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Yellow Sea and the East China Sea .....	CHEN Xian, ZHANG Cai-jie, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> ( 194 )
Occurrence and Risk Assessment of Organophosphate Esters in Source Water of the Nanjing Section of the Yangtze River .....	LI Dong, ZHANG Sheng-hu, ZHANG Qin, <i>et al.</i> ( 205 )
Spatial Distribution, Spectral Characteristics, and Sources Analysis of Dissolved Organic Matter from Baiyangdian Lake in Xiong'an New District During the Winter Freezing Period .....	ZHOU Shi-lei, SUN Yue, ZHANG Yi-ran, <i>et al.</i> ( 213 )
Spatial Characteristics, Risk Assessment, and Source Analysis of Elements in Surface Sediments from the Baiyangdian Lake .....	WANG Jing-zhong, LIU Zhou, WEI Hao, <i>et al.</i> ( 224 )
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Phthalate Esters in Surface Sediments of the Songhua River .....	WANG Huan, YANG Yong-zhe, WANG Hai-yan, <i>et al.</i> ( 232 )
Occurrence Relationship Between Microplastics and Heavy Metals Pollutants in the Estuarine Sediments of Poyang Lake and the Yangtze River .....	LI Wen-hua, JIAN Min-fei, LIU Shu-li, <i>et al.</i> ( 242 )
Effect of Ozonation on Microorganism in the Biological Activated Carbon and Disinfection By-Products in the Effluent .....	LIU Bao-ming, WANG Xi-xi, ZHANG Xiao-xia, <i>et al.</i> ( 253 )
Refined Assessment of Exposure and Health Risks of Heavy Metals in Water for the Children in Xigu District, Lanzhou .....	CHEN Yue-fang, SUN Shan-wei, DUAN Xiao-li, <i>et al.</i> ( 262 )
Adsorption of Phosphate on Mg/Fe Layered Double Hydroxides (Mg/Fe-LDH) and Use of Mg/Fe-LDH as an Amendment for Controlling Phosphorus Release from Sediments .....	WU Jun-lin, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> ( 273 )
Characteristics and Mechanism of Monothioarsenate Adsorption on Sand, Sediment, and Goethite .....	LIAO Dan-xue, SHAN Hui-mei, PENG San-xi, <i>et al.</i> ( 284 )
Substructure Characteristics of Combined Acid-Base Modified Sepiolite and Its Adsorption for Cd(II) .....	XIE Sha, XU Ying-ming, YAN Cui-xia, <i>et al.</i> ( 293 )
Characteristics of Nitrogen Metabolism by Denitrifying Bacterial Agents in Low Dissolved Oxygen Black Odor Water .....	ZHAO Zhi-rui, LIU Shuo, LI Duo, <i>et al.</i> ( 304 )
Metagenomic Analysis of Antibiotic Resistant Bacteria and Resistance Genes in a Pharmaceutical and Chemical Wastewater Treatment Plant .....	CHEN Hong-ling, ZHANG Xing-tao, WANG Qing, <i>et al.</i> ( 313 )
Measurements of Bacterial Community and Biodiversity from Activated Sludge for a Wastewater Treatment Containing Starch .....	ZHAO Ting-ting, QIAO Kai, WANG Lei, <i>et al.</i> ( 321 )
Process Control and Operation Optimization of PN-SAD Coupling Process Based on SBR-ABR .....	CHEN Chong-jun, ZHANG Min, JIANG Ying, <i>et al.</i> ( 330 )
Effects of Intermittent Starvation on the Operation of the SNAD Process .....	LI Dong, LIU Zhi-cheng, XU Gui-da, <i>et al.</i> ( 337 )
Nitrogen Removal from Mature Landfill Leachate via Denitrification-Partial Nitrification-ANAMMOX Based on a Zeolite Biological Aerated Filter .....	CHEN Xiao-zhen, WANG Xiao-jun, Karasuta Chayangkun, <i>et al.</i> ( 345 )
Rapid Achievement of Nitrifying Micro-granular Sludge and Its Nitrification Function .....	LIU Wen-ru, SONG Jia-jun, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> ( 353 )
Effect of On/Off Aeration Time Ratio Under High Frequency On/Off Aeration on Performance of Nitrosated Granular Sludge .....	ZHANG Jie, LAO Hui-mei, LI Dong, <i>et al.</i> ( 360 )
Occurrence, Distribution, Source, and Health Risk Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers in Surface Soil from the Shen-Fu Region, Northeast China .....	XIANG Xin-xin, LU Yin-tao, RUAN Qi-yang, <i>et al.</i> ( 368 )
Vertical Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Heterogeneous Unsaturated Zone Under a Coking Plant .....	MENG Xiang-shuai, WU Meng-meng, CHEN Hong-han, <i>et al.</i> ( 377 )
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes and Mobile Genetic Elements in Beijing Vegetable Base Soils .....	ZHANG Ru-feng, SONG Yuan, GAO Hao-ze, <i>et al.</i> ( 385 )
Stoichiometric Characteristics of Purple Sloping Cropland Under Long-term Fertilization and Cultivation .....	DU Ying-ni, LI Tian-yang, HE Bing-hui, <i>et al.</i> ( 394 )
Ecological Stoichiometry of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Subtropical Paddy Soils .....	SONG Jia-ling, SHENG Hao, ZHOU Ping, <i>et al.</i> ( 403 )
Denitrification and Anaerobic Ammonium Oxidation in Soil Nitrogen Migration Process in a Farmland of Wanshandang Lake .....	CHEN Zhi-hao, QIN Yun-bin, DING Bang-jing, <i>et al.</i> ( 412 )
Effects of Straw Biochar on Soil Microbial Metabolism and Bacterial Community Composition in Drip-irrigated Cotton Field .....	WANG Jing, MA Li-juan, LONG Ze-hua, <i>et al.</i> ( 420 )
Source Appointment of Heavy Metals in Agricultural Soils of the Julong River Basin Based on Positive Matrix Factorization .....	HUANG Hua-bin, LIN Cheng-ni, HU Gong-qi, <i>et al.</i> ( 430 )
Spatial Distribution of Soil Arsenic and Arsenic Enrichment in Crops in the Oasis Region of the Southeastern Tarim Basin .....	CHEN Yun-fei, ZHOU Jin-long, ZENG Yan-yan, <i>et al.</i> ( 438 )
Bioavailability, Translocation, and Accumulation Characteristic of Heavy Metals in a Soil-Crop System from a Typical Carbonate Rock Area in Guangxi, China .....	MA Hong-hong, PENG Min, LIU Fei, <i>et al.</i> ( 449 )
Effects of Different Amendments on Fractions and Uptake by Winter Wheat in Slightly Alkaline Soil Contaminated by Cadmium and Nickel .....	ZHANG Jing-jing, ZHU Shuang-ge, ZHU Li-nan, <i>et al.</i> ( 460 )
Effect of Different Passivating Agents on the Stabilization of Heavy Metals in Chicken Manure Compost and Its Maturity Evaluating Indexes .....	LUAN Run-yu, GAO Shan, XU Ying-ming, <i>et al.</i> ( 469 )
Response of Soil Respiration and Its Components to Nitrogen and Phosphorus Addition in Farming-Withdrawn Grassland in the Semiarid Loess Hilly-Gully Region .....	ZHOU Jun-jie, CHEN Zhi-fei, YANG Quan, <i>et al.</i> ( 479 )
Subsequent Effects of Slag and Biochar Application on Greenhouse Gas Emissions from Paddy Fields in the Fuzhou Plain .....	LAN Xing-fu, WANG Xiao-tong, ZHOU Ya-xin, <i>et al.</i> ( 489 )