

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第2期

Vol.33 No.2

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

基于人体健康风险的水污染事件污染物安全阈值研究 郑丙辉, 罗锦洪, 付青, 秦延文, 胡林林 (337)

基于人体健康风险的水污染事件遗传性致癌物安全浓度研究 罗锦洪, 郑丙辉, 付青, 黄民生 (342)

湿地水环境健康评价方法及案例分析 李玉凤, 刘红玉, 郝敬锋, 郑因, 曹晓 (346)

北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价 单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 张洪 (352)

漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别 徐华山, 徐宗学, 唐芳芳, 于伟东, 程燕平 (359)

黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用 安乐生, 赵全升, 叶思源, 刘贯群, 丁喜桂 (370)

沉积物扰动持续时间对悬浮物中磷形态数量分布的影响 李大鹏, 黄勇, 李勇, 潘杨 (379)

沉水植物生长期对沉积物和上覆水之间磷迁移的影响 王立志, 王国祥, 俞振飞, 周贝贝, 陈秋敏, 李振国 (385)

长寿湖表层沉积物氮磷和有机质污染特征及评价 卢少勇, 许梦爽, 金相灿, 黄国忠, 胡文 (393)

洪泽湖沉积物中营养盐和重金属的垂向分布特征研究 张文斌, 余辉 (399)

降雨对农家堆肥氮磷流失的影响及其面源污染风险分析 彭莉, 王莉玮, 杨志敏, 陈玉成, 乔俊婧, 赵中金 (407)

浅水湖泊水动力过程对藻型湖区水体生物光学特性的影响 刘笑菡, 冯龙庆, 张运林, 赵林林, 朱梦圆, 时志强, 殷燕, 丁艳青 (412)

基于半分析模型的太湖春季水体漫衰减系数 K_d (490) 估算及其遥感反演 刘忠华, 李云梅, 李瑞云, 吕恒, 檀静, 郭宇龙 (421)

基于 QAA 算法的巢湖悬浮物浓度反演研究 张红, 黄家柱, 李云梅, 徐伟凡, 刘忠华, 徐昕 (429)

好氧/厌氧潜流湿地结构工艺优化 李锋民, 单时, 李媛媛, 李扬, 王震宇 (436)

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻活性氧自由基的影响 别聪聪, 李锋民, 李媛媛, 王震宇 (442)

Rac-及 S-异丙甲草胺对 2 种微藻毒性特征影响研究 蔡卫丹, 刘惠君, 方治国 (448)

羟基自由基致死船舶压载水海洋有害生物研究 白敏冬, 张拿慧, 张芝涛, 陈操, 孟祥盈 (454)

天然菱铁矿改性及强化除砷研究 赵凯, 郭华明, 李媛, 任燕 (459)

零价铁降解 4-氯硝基苯动力学研究 廖娣劫, 杨琦, 李俊铨 (469)

水体中氧氟沙星的光化学降解研究 邵萌, 杨桂朋, 张洪海 (476)

阿替洛尔在硝酸根溶液中的光降解研究 季跃飞, 曾超, 孟翠, 杨曦, 高士祥 (481)

吡啶在紫外光辐射下的生物降解 方苗苗, 阎宁, 张永明 (488)

蜜环菌漆酶对蒽醌类染料的脱色条件优化 朱显峰, 秦仁炳, 余晨晨, 范书军 (495)

ϵ -聚赖氨酸生产废菌体对六价铬吸附影响的研究 曹玉娟, 张扬, 夏军, 徐虹, 冯小海 (499)

丝状菌污泥致密过程的强化条件研究 李志华, 孙玮, 姬晓琴, 王晓昌 (505)

亚硝化颗粒污泥对温度变化的响应特性研究 罗远玲, 杨朝晖, 徐峥勇, 周玲君, 黄毓, 肖勇, 曾光明, 汪理科 (511)

我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究 李东玲, 吴焯, 周昱, 杜让, 傅立新 (518)

北京市 PM_{10} 自动监测网络优化研究 齐玲, 赵越, 谢绍东 (525)

道路绿化带对街道峡谷内污染物扩散的影响研究 徐伟嘉, 幸鸿, 余志 (532)

Fe^{II} (EDTA) 络合协同 RDB 去除 NO 废气效能及过程分析 陈浚, 杨宣, 於建明, 蒋轶锋, 陈建孟 (539)

UV-B 辐射对亚热带森林凋落叶氮、磷元素释放的影响 宋新章, 张慧玲, 江洪, 余树全 (545)

干热河谷林地燥红土固碳特征及“新固定”碳表观稳定性 唐国勇, 李昆, 孙永玉, 张春华 (551)

九龙江河口表层水体及沉积物中甲烷的分布和环境控制因素研究 郭莹莹, 陈坚, 尹希杰, 孙治雷, 邵长伟 (558)

秋季黄河口滨岸潮滩湿地系统 CH_4 通量特征及影响因素研究 姜欢欢, 孙志高, 王玲玲, 牟晓杰, 孙万龙, 宋红丽, 孙文广 (565)

我国典型非木浆造纸二噁英排放研究 王志芳, 丁琼, 王开祥, 吴昌敏, 曲云欢, 赵晓冬 (574)

典型电器工业区河涌沉积物中的多溴联苯醚空间和垂直分布 邱孟德, 邓代永, 余乐洹, 孙国萍, 麦碧娴, 许玫英 (580)

电子废物拆解区农业土壤中多氯联苯的污染特征 王学彤, 李元成, 张媛, 缪绎, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (587)

北京科教园区绿地土壤中多环芳烃的残留特征与潜在风险 彭驰, 王美娥, 欧阳志云, 焦文涛, 陈卫平 (592)

上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价 柳云龙, 章立佳, 韩晓非, 庄腾飞, 施振香, 卢小遮 (599)

海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价 尚林源, 孙然好, 王赵明, 汲玉河, 陈利顶 (606)

三峡库区消落带不同水位高程土壤重金属含量及污染评价 王业春, 雷波, 杨三明, 张晟 (612)

超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中细菌群落结构分析 叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝健, 蔡明山, 许燕滨, 占星星 (618)

大庆聚驱后油藏内源微生物群落结构解析与分布特征研究 赵玲侠, 高配科, 曹美娜, 高梦黎, 李国强, 朱旭东, 马挺 (625)

不同碳源刺激对老化污染土壤中 PAHs 降解研究 尹春芹, 蒋新, 王芳, 王聪颖 (633)

应用电致化学发光分子探针技术对微小原甲藻的检测 朱霞, 甄毓, 米铁柱, 于志刚, 池振明, 路兴岚 (640)

软骨藻酸直接竞争 ELISA 方法的建立及优化 王茜, 程金平, 高利利, 董宇, 席磊 (647)

固相萃取-高效液相色谱法同时测定水体中的 10 种磺胺类抗生素 洪蕾洁, 石璐, 张亚雷, 周雪飞, 朱洪光, 林双双 (652)

五氟酚对 HeLa 细胞毒性及 DNA 损伤的研究 金帮明, 王辅明, 熊力, 张晓峰, 刘堰 (658)

建筑陶瓷碳计量与优化模型研究 彭军霞, 赵宇波, 焦丽华, 曾路, 郑为民 (665)

《环境科学》征订启事 (447) 《环境科学》征稿简则 (475) 信息 (524, 586, 605, 624)

我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究

李东玲¹, 吴焯^{1*}, 周昱¹, 杜璇², 傅立新¹

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 环境保护部环境保护对外合作中心, 北京 100035)

摘要: 建立非道路移动机械排放清单是对其污染进行控制的基础。本研究参考美国环保署 NONROAD 模型中非道路移动源排放模拟的基本方法, 建立基于实际燃油消耗率估算我国工程机械燃油消耗量及排放清单的方法。通过调查分析我国典型工程机械的保有量构成、活动水平、实际燃油消耗率和排放因子等相关参数, 估算了 2007 年我国挖掘机和装载机两类典型工程机械的油耗量及排放量。结果表明, 我国 2007 年挖掘机和装载机的柴油总消耗量为 1.21×10^7 t, 占当年全国各行业柴油总消耗量的 9.7%; NO_x 和 PM 的总排放量分别 6.81×10^5 t 和 5.31×10^4 t, 与当年全国道路机动车的 NO_x 和 PM 排放总量相比, 工程机械的排放已经不容忽视。尽快加严并有效实施我国工程机械用发动机排放标准对控制其排放具有重要意义。

关键词: 工程机械; 油耗; 排放清单; 非道路移动源

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)02-0518-07

Fuel Consumption and Emission Inventory of Typical Construction Equipments in China

LI Dong-ling¹, WU Ye¹, ZHOU Yu¹, DU Xuan², FU Li-xin¹

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Foreign Economic Cooperation Office, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100035, China)

Abstract: Developing emission inventory for nonroad mobile equipments is the initiating step of nonroad mobile source emission control. NONROAD model developed by U. S. EPA was studied, and methods based on actual fuel consumption rate were established to calculate fuel consumption and emission inventory of excavators and loaders in China. Surveys were conducted on key emission parameters of typical construction equipments in China, including equipment inventory, annual activity, actual fuel consumption rate, and emission factor. Results show that diesel consumption of excavators and loaders was 1.21×10^7 t, accounting for 9.7% of total consumption of all sectors in China in 2007. Total emissions of NO_x and PM from excavators and loaders were 6.81×10^5 t and 5.31×10^4 t, respectively. The data indicates construction equipments are important emission sources compared with motor vehicles. According to the results, it is necessary to tighten limits of exhaust pollutants for construction equipments in China and to bring them into effect.

Key words: construction equipments; fuel consumption; emission inventory; nonroad mobile sources

以内燃机为动力的机械设备在使用过程中会因燃料燃烧产生空气污染物排放。除道路机动车辆外, 大量非道路移动机械也以内燃机为动力, 主要包括工程机械、农业机械、园林机械、内燃机车、船舶和飞机等。非道路移动机械种类多、保有量大, 其对空气污染的贡献得到了越来越广泛的关注。Samarasa 等^[1]对 1990 年欧盟非道路移动源和道路源污染物排放做了比较, Kean 等^[2]采用基于燃油消耗量的方法估算了美国 1996 年非道路移动机械的 NO_x 和 PM_{10} 排放量, 也有研究者对非道路用柴油机和工程机械的排放特征进行研究^[3, 4]。目前美国、瑞士等国已开发了官方的非道路移动源排放清单^[5, 6], 研究表明, 2007 年美国农业机械和工程机械的 NO_x 排放量约占全部移动源排放量的 14%^[7]。

与道路机动车相比, 我国非道路移动源的排放控制工作起步较晚。1999 年起, 我国开始实施机动

车排放标准, 目前全国范围内对机动车已实施国三排放标准, 对轻型汽油车即将实施国四标准, 而非道路移动机械用柴油机排放限值的国家标准 2007 年才开始发布, 现在实施到第二阶段。

排放清单是进行排放控制的依据和前提, 而目前我国非道路移动源排放清单相关研究尚处于起步阶段。张礼俊等^[8]研究了珠三角地区的非道路移动源排放清单, 结果表明非道路移动源已成为该地区第三大 NO_x 排放源。有研究^[9]报道了 2008 年全国非道路机械柴油消耗量占全社会柴油消耗量的 48.9%, 由此能大致判断非道路机械的排放分担率。尽管对于我国非道路移动源排放已有少量研究, 但

收稿日期: 2011-03-28; 修订日期: 2011-05-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(50908121)

作者简介: 李东玲(1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为非道路移动源排放清单, E-mail: dongling.li04@gmail.com

* 通讯联系人; E-mail: ywu@mail. tsinghua. edu. cn

现有研究方法比较单一,尤其对于工程机械,多是从统计年鉴中直接获得油耗量数据并估算排放情况。由于工程机械的使用分布在众多行业中,通过年鉴等统计渠道不易获得准确油耗量数据。

本研究对象为挖掘机和装载机,二者 2007 年保有量之和约占主要工程机械的 54%^[10]。借鉴 NONROAD 模型估算非道路移动源排放的思路,本研究收集了两类典型工程机械的保有量构成、活动水平、实际燃油消耗率和排放因子等油耗和排放相关参数,首次提出基于实际燃油消耗率估算工程机械油耗量及污染物排放量的方法,并得到挖掘机和装载机 2007 年的柴油消耗量及 NO_x 和 PM 的排放量,以期补充和完善我国非道路移动源排放清单开发工作。

1 材料与方 法

1.1 估算方法

将挖掘机和装载机分别按照机龄和功率分组,统计和估算每个机龄及功率区间的保有量构成、活动水平、燃油消耗率和排放因子,利用获得的参数计算分机龄及功率区间的燃油消耗量和污染物排放量,最后进行加和。挖掘机和装载机燃油消耗量的估算方法为:

$$C = \sum (\text{Pop}_{i,j} \times \text{Power}_{i,j} \times \text{CF}_{i,j} \times A_{i,j}) \quad (1)$$

式中, C 为燃油消耗量, g; Pop 为挖掘机或装载机保有量; Power 为发动机功率, kW; CF 为实际燃油消耗率, $\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$; A 为机械年活动水平, h; $i, j = 1, 2, 3, \dots$, 代表发动机功率水平类型和机龄类型。挖掘机和装载机污染物排放量估算方法为:

$$E = \sum [C_{i,j} \times (\text{EF}_t)_{i,j}] \quad (2)$$

式中, E 为污染物排放量, g; C 为燃油消耗量, kg; EF_t 为基于油耗的排放因子, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; $i, j = 1, 2, 3, \dots$, 代表发动机功率水平类型和机龄类型。

本研究参考了美国环保署开发的 NONROAD 模型,该模型用以计算非道路移动源排放清单,最新版本是 NONROAD 2008a,模型的核心计算公式是^[11]:

$$E = \sum [\text{Pop}_{i,j,k,l} \times \text{Power}_{i,j,k,l} \times \text{LF}_{i,j,k,l} \times A_{i,j,k,l} \times (\text{EF}_{\text{adj}})_{i,j,k,l}] \quad (3)$$

式中, E 为污染物排放量, g; Pop 为非道路移动机械保有量; Power 为发动机功率, kW; LF 为发动机负荷因子,即发动机平均使用功率与额定功率的比值; A 为年活动水平, h; EF_{adj} 为综合排放因子,

$\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$,若计算燃料消耗量,可将综合排放因子替换为综合燃料消耗率; $i, j, k, l = 1, 2, 3, \dots$, 分别代表非道路移动机械类型、燃料类型、发动机功率水平类型和机龄类型。

NONROAD 模型中,对保有量和功率数据的估算考虑了非道路移动发动机销售量、发动机寿命、年活动水平、负荷因子和报废率等因素^[12]。柴油发动机的负荷因子的取值基于 7 类非道路移动发动机典型工况循环实测值^[11]。综合排放因子的计算方法为^[13]:

$$\text{EF}_{\text{adj}(\text{NO}_x)} = \text{EF}_{\text{ss}(\text{NO}_x)} \times \text{TAF} \times \text{DF} \quad (4)$$

$$\text{EF}_{\text{adj}(\text{PM})} = \text{EF}_{\text{ss}(\text{PM})} \times \text{TAF} \times \text{DF} - S_{\text{PMadj}} \quad (5)$$

式中, EF_{ss} 为新发动机稳态工况下排放因子, $\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$; TAF 为瞬态工况修正系数; DF 为排放劣化系数; S_{PMadj} 为燃料硫含量修正因子。模型中,瞬态工况修正系数受机械种类、污染物种类和排放阶段影响,排放劣化系数受污染物种类、排放阶段、发动机机龄及使用使用寿命影响,排放劣化系数的计算方法为^[13]:

$$\text{DF} = 1 + D \times \text{AF} \quad (6)$$

式中, D 为劣化因子, AF 为发动机机龄与使用寿命的比值。

自 1998 年模型草案发布, NONROAD 模型经过多次修正,目前是用以估算非道路移动源排放量的比较成熟的工具。瑞典国家非道路移动源排放清单的计算也采用了与 NONROAD 模型相似的方法^[6]。根据我国实际情况,本研究也借鉴 NONROAD 模型并对其进行修正以计算我国非道路移动源排放,但由于目前我国对非道路移动源排放的研究刚刚起步,模型中部分参数的本地化数据难以获取。对于工程机械,前述公式(3)中的保有量和功率分布可以从年鉴中获得,而本地化的负荷因子、活动水平和排放因子等需要测试或调研的数据国内还鲜有研究。本研究调研了我国典型工程机械的实际燃油消耗率和活动水平数据,先估算出燃油消耗量,结合经修正的排放因子数据,得到我国典型工程机械的污染物排放清单。引入实际燃油消耗率这个参数,一方面它表征了发动机负荷因子(负荷因子可以通过实际燃油消耗率和最大燃油消耗率估算^[11]),可以避免因使用非本土化的负荷因子所引发的误差,另一方面,先估算油耗量,可以通过其验证研究方法的准确性。

1.2 保有量和功率分布

估算中使用的工程机械保有量和功率分布数据主要来自于文献[10, 14~22],年鉴依照施工部门经

验,假定工程机械使用期为 10 a^[10]. 实际使用中,工程机械的存活率应是符合一定概率分布的,但由于缺少相关研究数据,本研究采用了年鉴的假定. 对挖掘机和装载机的年销售量按照不同产品型号和吨位划分进行分类统计,认为进出口机械与境内企业销售机械发动机的功率分布一致,获得 1998~2007 年我国对挖掘机和装载机的分功率年新增需求量,即国内市场对这两类工程机械的年新增购买量,年新增需求量 = 年境内企业销售量 + 年进口量 - 年出口量.

2007 年我国挖掘机和装载机的保有量构成如图

1 和图 2 所示,其中纵坐标表示机械的年新增需求量,1998~2007 年的年新增需求量之和为 2007 年保有量. 2007 年,挖掘机保有量约 39 万台,发动机功率主要分布在 75~130 kW 区间;装载机保有量约 65 万台,发动机功率主要集中在 92 kW 和 162 kW 附近. 从图 1 和图 2 可以看出,机械的数量和功率保有量在构成上有所不同,高功率区间机械的功率保有量占总功率保有量的比例要高于其数量保有量占总数量保有量的比例,低功率区间机械与之相反,而污染物排放量受机械功率保有量的影响更为直接.

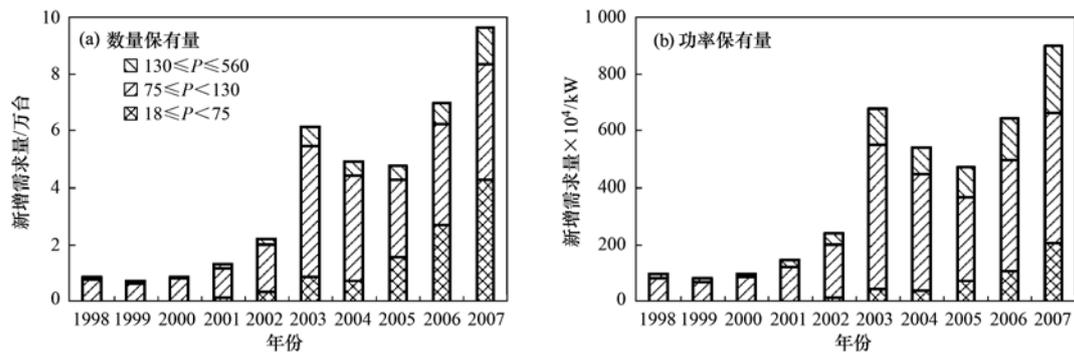


图 1 2007 年我国挖掘机保有量构成

Fig. 1 Excavator inventory of China in 2007

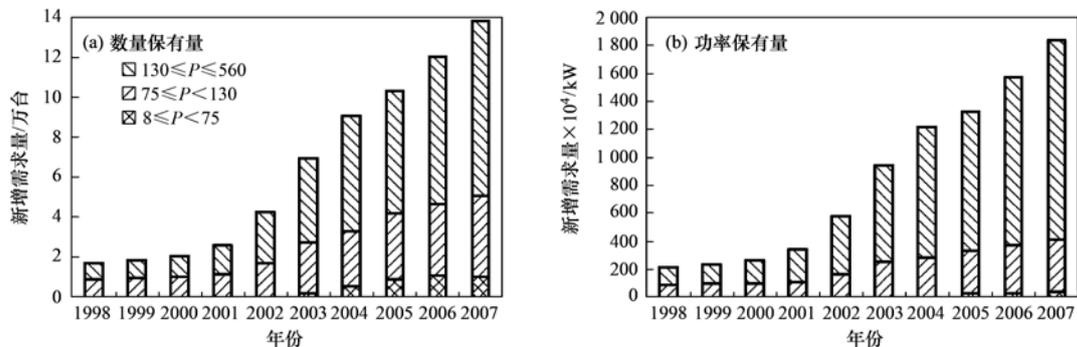


图 2 2007 年我国装载机保有量构成

Fig. 2 Loader inventory of China in 2007

1.3 实际燃油消耗率

挖掘机和装载机的动力设备为柴油发动机,机械工作时发动机实际燃油消耗率能通过以下两种方法得到:NONROAD 模型中实际燃油消耗率的估算值可以认为是指定稳态工况下燃油消耗率、瞬态工况修正系数和负荷因子的乘积,模型中采用的稳态工况为 ISO-C1 工况循环^[13];此外,可以通过调研或测量得到机械实际工作中发动机的燃油消耗量数据,结合工作时间和发动机功率计算得到实际燃油

消耗率. 本研究采用了后一种方法.

通过走访调研和收集网络数据,获得配套不同功率发动机的挖掘机和装载机实际工作中平均小时油耗,经比较、筛选和修正的数据如图 3 所示,从中可以看出,即使使用同一功率发动机的同种机械实际工作中燃油消耗率也会有较大差别,这主要与机械工作时承受的负载有关,工作负载越大,发动机克服阻力做功越多,故燃油消耗率也越大. 实际燃油消耗率计算方法为:

$$CF = (CF_h \times \rho \times 1\,000) / P \quad (7)$$

式中, CF 为实际燃油消耗率, $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$; CF_h 为平均小时油耗, $L \cdot h^{-1}$; ρ 为柴油密度, $kg \cdot L^{-1}$, 取值

0.85; P 为发动机额定功率, kW . 计算得到的 2 种机械平均实际燃油消耗率见表 1, 其中对功率区间的划分参照了 GB 20891-2007^[23].

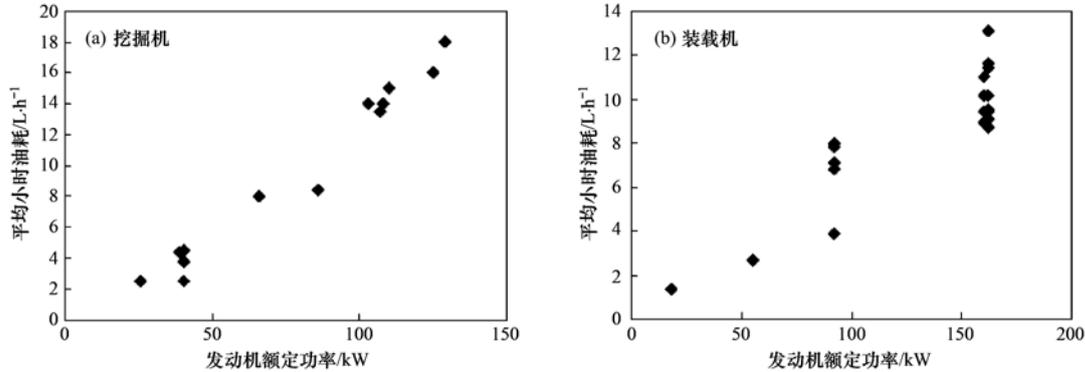


图 3 挖掘机和装载机平均小时油耗

Fig. 3 Average per hour fuel consumption of excavators and loaders

表 1 配套不同功率发动机的工程机械实际燃油消耗率/ $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$

Table 1 Fuel consumption rates of construction equipments in different engine-power classes/ $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$

额定净功率 (P_{max})/kW	挖掘机	装载机
$8 \leq P_{max} < 18$	—	52.7
$18 \leq P_{max} < 37$	84.4	52.7
$37 \leq P_{max} < 75$	84.4	52.7
$75 \leq P_{max} < 130$	108.5	61.7
$130 \leq P_{max} \leq 560$	108.5	55.4

1.4 年活动水平

本研究中机械的年活动水平数据通过实地调研、网络调研和文献调研^[24,25]得到,挖掘机和装载机年活动水平的平均值分别为1 800 h和1 100 h,考虑到调研装载机普遍相对较新,而机械使用频率随机龄增大有降低趋势^[6],故本研究中对装载机年活动水平取值为950 h.

1.5 排放因子

关于工程机械发动机排放因子的相关研究较为少见,尤其是现场排放测量的数据十分缺乏.本研究收集了部分我国非道路常用发动机型^[26]的台架测试数据,并与NONROAD模型中采用的排放因子及GB 20891-2007中排放限值进行比对分析,选用了排放因子,见表2,台架测试数据基于发动机做功,需换算为基于油耗的排放因子,换算方法为:

$$EF_f = EF_w / BSFC \times 1\,000 \quad (8)$$

式中, EF_f 为基于油耗的排放因子, $g \cdot kg^{-1}$; EF_w 为基于发动机做功的排放因子, $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$; $BSFC$ 为指定稳态工况下燃油消耗率,当发动机功率 $P <$

75 kW 时, $BSFC = 248.4 g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$; $P \geq 75 kW$ 时, $BSFC = 223.4 g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$ ^[13]. 表中所列为新发动机污染物排放因子,根据NONROAD模型中的排放因子计算方法,综合排放因子应考虑劣化及工况修正.分析NONROAD模型的修正因子,发现劣化及不同工况对 NO_x 排放影响较小,所以本研究仅对PM排放因子进行修正,修正方法见公式(5)和公式(6),公式中 D 和TAF参考模型中基础排放阶段取值,分别为0.473和1.23^[13],未考虑燃料含硫量修正.

2 结果与讨论

2.1 挖掘机和装载机油耗量和污染物排放量

由上述参数计算得到挖掘机和装载机这两类工程机械的柴油消耗量及污染物排放量,见表3.2007年,挖掘机和装载机共消耗柴油约 $1.21 \times 10^7 t$,占当年全国各行业柴油总消耗量^[31]的9.7%,由于本研究所得工程机械柴油消耗与文献[31]中分行业油耗统计数据不能直接对应,故未进行比较.2007年,两类工程机械的 NO_x 排放总量为 $6.81 \times 10^5 t$,PM排放总量为 $5.31 \times 10^4 t$,当年全国机动车共排放 NO_x 约 $5.46 \times 10^6 t$,排放PM约 $5.9 \times 10^5 t$ ^[32],相比较可知工程机械已成为不可忽视的排放贡献源.挖掘机和装载机分功率区间的油耗及排放分担情况如图4所示.由图4可知,油耗及排放贡献量最大的挖掘机配套发动机功率区间为75~130 kW,该功率区间的发动机主要配套销量最大的20~22 t挖掘机;装载机的油耗及排放分布在75~130 kW和130

表 2 新发动机稳态工况下 NO_x 和 PM 排放因子/g·(kW·h)⁻¹Table 2 NO_x and PM emission factors for zero-hour steady-state diesel engines/g·(kW·h)⁻¹

额定净功率 (P_{\max})/kW	污染物	台架测试数据		EPA Tier 0 ^[13]	非道路 I 阶段 ^[23]	本研究采用 (括号中单位:g·kg ⁻¹)
$8 \leq P_{\max} < 18$	NO _x			11.4	12.9 ¹⁾	13.0(52.3)
	PM			1.21	—	1.21(4.87)
$18 \leq P_{\max} < 37$	NO _x			9.3	10.8	12.0(48.3)
	PM			1.07	1.0	1.07(4.31)
$37 \leq P_{\max} < 75$	NO _x	9.0 ^[27]		9.3	9.2	12.0(48.3)
	PM			0.97	0.85	0.97(3.90)
$75 \leq P_{\max} < 130$	NO _x	10.06 ^[28]	16.43 ^[28]	11.2	9.2	12.7(56.8)
	PM	0.41 ^[28]	0.75 ^[28]	0.54	0.7	0.75(3.36)
$130 \leq P_{\max} \leq 560$	NO _x	10.54 ^[29]	11.57 ^[29]	11.2	9.2	12.7(56.8)
		15.0 ^[30]				
	PM	0.56 ^[29]	0.43 ^[29]	0.54	0.54	0.56(2.51)
		0.42 ^[30]				

1) 此处为 HC + NO_x 的排放限值

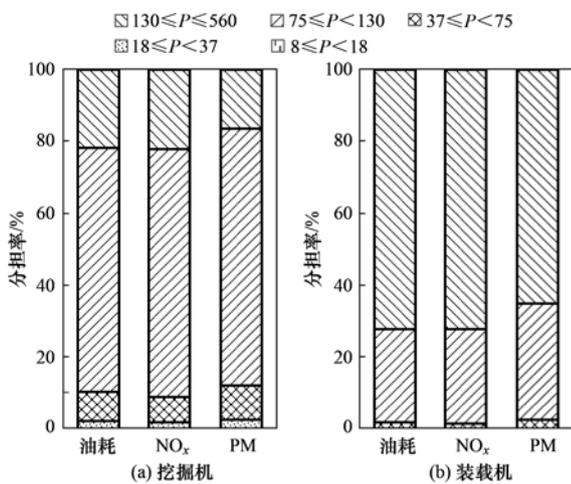


图 4 2007 年典型工程机械分功率油耗和排放分担率

Fig. 4 Fuel consumption and pollutant emission contribution of typical construction equipments by different engine-power classes in 2007

~560 kW 功率区间,主要集中在 92 kW 和 162 kW 附近,与销量最大的额定载重量 3.0 t 和 5.0 t 装载机配套。

随着工程机械需求量的持续增长(图 1 和图 2)和机动车排放控制措施的不断加严,工程机械对污染物排放总量的贡献将会日益突出。目前,相对于欧美发达国家,我国对非道路用发动机控制水平比较滞后。美国于 2001~2005 年逐步实施了陆用非道路柴油机第二阶段排放标准,2008 年开始实施第四阶段标准。我国分别于 2007 年和 2009 年开始执行非道路移动机械用柴油机第一和第二阶段排放限值,排放标准还有很大的加严空间。我国在制定更严格的排放标准时,可以借鉴欧美标准的灵活形式,结合技术成熟度和发动机制造商经济承受能力,对不同

污染物和不同功率区间的发动机进行分时间梯度的优先控制。

表 3 2007 年挖掘机和装载机柴油消耗量及污染物排放量 $\times 10^4/t$

Table 3 Diesel consumption and pollutant emissions of excavators and loaders in 2007 $\times 10^4/t$

类别	油耗量	NO _x 排放量	PM 排放量
挖掘机	745	41.9	3.48
装载机	463	26.2	1.83
共计	1 208	68.1	5.31

2.2 不确定性分析

本研究基于文献[10]统计的年需求量数据进行工程机械保有量估算,由于缺乏存活率相关数据,研究假定工程机械使用期为 10 a,文献[10]指出,考虑使用年限超过 10 a 及统计数据不完整等因素,应在需求量之和基础上增加 20%~30% 作为保有量。此外,工程机械实际使用年限应是符合一定概率分布的,若不考虑统计数据存在的不完整性,假定工程机械的期望寿命(存活率为 50% 时的机龄)为 10 a,参照 NONROAD 模型的机械存活率曲线^[33]估算保有量,所得两类工程机械保有量比本研究结果低 6%~7%。

燃油消耗率和年活动水平数据来源于走访、文献和网络数据调研。尽管对燃油消耗率的调研数据进行了分析和筛选,但由于数据量有限,可能因数据代表性不足引起不确定性。工程机械年活动水平相差较大,挖掘机年活动水平为 1 000~4 000 h,装载机年活动水平为 700~1 700 h,本研究对两类工程机械年活动水平的取值略低于调研数据均值。由于调研数据量有限,一方面年活动水平的均值存在不确定性,另一方面未深入考虑发动机功率和机龄对

活动水平的影响。

在选取排放因子时,由于在用工程机械现场排放测试数据十分匮乏,本研究主要使用了非道路常用柴油机机型的台架测试数据。此外,进口工程机械尤其是进口挖掘机中二手设备占有较大比例,本研究未对这部分设备的排放因子做单独考虑。

3 结论

(1)2007年,我国挖掘机和装载机等两类典型工程机械共消耗柴油 1.21×10^7 t, NO_x 排放量为 6.81×10^5 t, PM 排放量为 5.31×10^4 t。与当年机动车 NO_x 和 PM 排放量(分别约为 5.46×10^6 t 和 5.9×10^5 t)相比,工程机械已成为不容忽视的污染物排放源,加严工程机械用发动机排放标准并使其有效实施对减少污染物排放有重要意义。

(2)从功率分布上看,75~130 kW 和 130~560 kW 的中等功率发动机配套的挖掘机和装载机是油耗及排放的主要贡献源。

(3)受数据可得性的限制,本研究中工程机械的保有量构成、活动水平、燃油消耗率及排放因子存在一定的不确定性。排放清单是进行污染物排放管理的依据和基础,目前我国非道路移动源排放清单的开发尚处在起步阶段,对工程机械保有情况、活动水平及本地化燃油消耗率和排放因子等因素的研究探讨亟待进行。

参考文献:

- [1] Samarasa Z, Zierock K H. Off-road vehicles: a comparison of emissions with those from road transport [J]. *Science of the Total Environment*, 1995, **169**(1-3): 249-255.
- [2] Kean A J, Sawyer R F, Harley R A. A fuel-based assessment of off-road diesel engine emissions [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2000, **50**(11): 1929-1939.
- [3] Lindgren M, Hansson P A. Effects of transient conditions on exhaust emissions from two non-road diesel engines [J]. *Biosystems Engineering*, 2004, **87**(1): 57-66.
- [4] 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.
- [5] U. S. Environmental Protection Agency. NONROAD Model (nonroad engines, equipment, and vehicles) [EB/OL]. <http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm>, 2010-08-04.
- [6] Federal Office for the Environment. Non-road fuel consumption and pollutant emissions, study for the period from 1980 to 2020 [R]. Bern: Federal Office for the Environment, 2008.
- [7] U. S. Environmental Protection Agency. 2007 Progress report, vehicle and engine compliance activities, EPA-420-R-08-011 [R]. NW Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2008.
- [8] 张礼俊, 郑君瑜, 尹沙沙, 等. 珠江三角洲非道路移动源排放清单开发 [J]. *环境科学*, 2010, **31**(4): 886-891.
- [9] 中国环境科学研究院. 《环境污染物排放关键技术标准研制》课题总研究报告 [R]. 北京: 中国环境科学研究院, 2010. 236-237.
- [10] 李卫玲. 中国工程机械工业年鉴 2008 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008. 17-20, 76, 81-82.
- [11] U. S. Environmental Protection Agency. Median life, annual activity, and load factor values for nonroad engine emissions modeling, EPA-420-R-10-016 [R]. NW Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2010.
- [12] U. S. Environmental Protection Agency. Nonroad engine population estimates, EPA-420-R-10-017 [R]. NW Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2010.
- [13] U. S. Environmental Protection Agency. Exhaust and crankcase emission factors for nonroad engine modeling-compression ignition, EPA-420-R-10-018 [R]. NW Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2010.
- [14] 李卫玲. 中国工程机械工业年鉴 2007 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007. 58, 65.
- [15] 中国机械工业年鉴编辑委员会, 中国工程机械工业协会. 中国工程机械工业年鉴 2006 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006. 62-64.
- [16] 中国机械工业年鉴编辑委员会, 中国工程机械工业协会. 中国工程机械工业年鉴 2005 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005. 48-50.
- [17] 郭锐. 中国工程机械工业年鉴 2004 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004. 44-46.
- [18] 中国机械工业年鉴编辑委员会, 中国工程机械工业协会. 中国工程机械工业年鉴 2003 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003. 57-58.
- [19] 中国机械工业年鉴编辑委员会, 中国工程机械工业协会. 中国工程机械工业年鉴 2002 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 43-45.
- [20] 中国机械工业年鉴编辑委员会, 机械工业信息研究院产业与市场研究所. 中国工程机械年鉴 2000 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001. 62, 64.
- [21] 邸鹏远, 张晓春. 我国目前挖掘机市场分析 [J]. *今日工程机械*, 2007, (11): 60-61.
- [22] 吕超, 杨裕丰, 吴香君. 挖掘机市场分析与发展趋势 [J]. *建筑机械化*, 2008, **29**(11): 37-40.
- [23] 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].
- [24] 2004 年前几个月 5 省挖掘机工作时间统计 [J]. *工程机械与维修*, 2004, (7): 58.
- [25] 侯威, 林雪松. 建筑工程机械设备租金定价探析 [J]. *建筑机械*, 2007, (5): 52-54.

- [26] 工程机械与维修编辑部. 洞悉中国工程机械配套发动机产业之五大关键词 [J]. 工程机械与维修, 2006, (10): 52-53.
- [27] 谭丕强, 胡志远, 楼狄明, 等. 非道路用直喷式柴油机排放性能改进 [J]. 农业机械学报, 2007, 38(5): 190-194.
- [28] 沈捷, 卓松芳, 邱瑞兴, 等. YC6108Q 型柴油机的开发 [J]. 内燃机工程, 1999, (1): 27-32.
- [29] 佟德辉. WD615 系列柴油机排放控制技术的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [30] 邬静川, 尹琪, 卓斌, 等. 利用高压喷射等技术解决 D 系列柴油机有害排放 [J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(8): 945-948.
- [31] 中华人民共和国国家统计局编. 中国统计年鉴 2008 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2008. 249.
- [32] 中华人民共和国环境保护部. 中国机动车污染防治年报(2010 年度) [R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2010.
- [33] U. S. Environmental Protection Agency. Calculation of age distributions in the nonroad model; growth and scrappage, EPA-420-R-05-018 [R]. NW Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2005.

关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明。

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为. 自即日起, 我们各刊在接受作者投稿时, 要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果, 文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊。

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前, 所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊。

我们将认真对待作者所作的上述承诺, 并建立信息共享机制, 对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动。

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任. 我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法, 并积极宣传和配合。

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部

CONTENTS

Safety Value of Contaminant in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	ZHENG Bing-hui, LUO Jin-hong, FU Qing, <i>et al.</i> (337)
Safety Concentration of Genotoxic Carcinogens in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	LUO Jin-hong, ZHENG Bing-hui, FU Qing, <i>et al.</i> (342)
A Quantitative Method and Case Analysis for Assessing Water Health	LI Yu-feng, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (346)
Temporal and Spatial Variation of Nitrogen and Phosphorus and Eutrophication Assessment in Downstream River Network Areas of North Canal River Watershed	SHAN Bao-qing, JIAN Yu-xiang, TANG Wen-zhong, <i>et al.</i> (352)
Spatiotemporal Variation Analysis and Identification of Water Pollution Sources in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, TANG Fang-fang, <i>et al.</i> (359)
Hydrochemical Characteristics and Formation Mechanism of Shallow Groundwater in the Yellow River Delta	AN Le-sheng, ZHAO Quan-sheng, YE Si-yuan, <i>et al.</i> (370)
Impacts of Sediment Disturbance Time on the Distribution of Phosphorus Forms in Suspended Solids	LI Da-peng, HUANG Yong, LI Yong, <i>et al.</i> (379)
Influence of Submerged Macrophytes on Phosphorus Transference Between Sediment and Overlying Water in the Growth Period	WANG Li-zhi, WANG Guo-xiang, YU Zhen-fei, <i>et al.</i> (385)
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments of Lake Changshouhu in Chongqing, China	LU Shao-yong, XU Meng-shuang, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (393)
Vertical Distribution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Lake Hongze	ZHANG Wen-bin, YU Hui (399)
Effects of Rainfall on Nitrogen and Phosphorus Loss from Courtyard Compost and Its Risk of Nonpoint Source Pollution	PENG Li, WANG Li-wei, YANG Zhi-min, <i>et al.</i> (407)
Effects of Hydrodynamic Process on Bio-optical Properties in Algal-Dominated Lake Region of Shallow Lake	LIU Xiao-han, FENG Long-qing, ZHANG Yun-lin, <i>et al.</i> (412)
Estimation and Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient $K_d(490)$ in Lake Taihu in Spring Based on Semi-analytical Model	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, LI Rui-yun, <i>et al.</i> (421)
Monitoring the Total Suspended Matter of Lake Chaohu Based on Quasi-Analytical Algorithm	ZHANG Hong, HUANG Jia-zhu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (429)
Optimization of Aerobic/Anaerobic Subsurface Flow Constructed Wetlands	LI Feng-min, SHAN Shi, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (436)
Effects of Allelochemical Dibutyl Phthalate on <i>Gymnodinium breve</i> Reactive Oxygen Species	BIE Cong-cong, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (442)
Toxicity Effects of <i>Rac</i> - and <i>S</i> -Metolachlor on Two Algae	CAI Wei-dan, LIU Hui-jun, FANG Zhi-guo (448)
Studies for Killing the Oceanic Harmful Organisms in Ship's Ballast Water Using Hydroxyl Radicals	BAI Min-dong, ZHANG Na-hui, ZHANG Zhi-tao, <i>et al.</i> (454)
Modification of Natural Siderite and Enhanced Adsorption of Arsenic	ZHAO Kai, GUO Hua-ming, LI Yuan, <i>et al.</i> (459)
Kinetic Study of 4-Chloronitrobenzene Degradation by Zero-Valent Iron	LIAO Di-jie, YANG Qi, LEE Chun-chi (469)
Photochemical Degradation of Ofloxacin in Aqueous Solution	SHAO Meng, YANG Gui-peng, ZHANG Hong-hai (476)
Photodegradation of Atenolol in Aqueous Nitrate Solution	JI Yue-fei, ZENG Chao, MENG Cui, <i>et al.</i> (481)
Biodegradation of Pyridine Under UV Irradiation	FANG Miao-miao, YAN Ning, ZHANG Yong-ming (488)
Optimization on Decoloration Conditions of Anthraquinone Dyes by Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	ZHU Xian-feng, QIN Ren-bing, YU Chen-chen, <i>et al.</i> (495)
Biosorption of Chromium (VI) by Waste Biomass of ϵ -Poly-L-lysine Fermentation	CAO Yu-juan, ZHANG Yang, XIA Jun, <i>et al.</i> (499)
Investigation on Enhanced Conditions for the Densification of Filamentous Sludge	LI Zhi-hua, SUN Wei, JI Xiao-qin, <i>et al.</i> (505)
Effect of Temperature on the Response Characteristics of Shortcut Nitrification Granular Sludge	LUO Yuan-ling, YANG Zhao-hui, XU Zheng-yong, <i>et al.</i> (511)
Fuel Consumption and Emission Inventory of Typical Construction Equipments in China	LI Dong-ling, WU Ye, ZHOU Yu, <i>et al.</i> (518)
Optimization of PM ₁₀ Monitoring Network in Beijing	QI Ling, ZHAO Yue, XIE Shao-dong (525)
Effect of Greenbelt on Pollutant Dispersion in Street Canyon	XU Wei-jia, XING Hong, YU Zhi (532)
Investigation of Effect and Process of Nitric Oxide Removal in Rotating Drum Biofilter Coupled with Absorption by Fe ^{II} (EDTA)	CHEN Jun, YANG Xuan, YU Jian-ming, <i>et al.</i> (539)
Effect of UV-B Radiation on Release of Nitrogen and Phosphorus from Leaf Litter in Subtropical Region in China	SONG Xin-zhang, ZHANG Hui-ling, JIANG Hong, <i>et al.</i> (545)
Characteristics of Carbon Sequestration and Apparent Stability of New Sequestered Carbon in Forested Torrid Red Soil at Dry-Hot Valley	TANG Guo-yong, LI Kun, SUN Yong-yu, <i>et al.</i> (551)
Spatial Distribution of Methane in Surface Water and Sediment of Jiulongjiang Estuary and the Effect Environment factors of It	GUO Ying-ying, CHEN Jian, YIN Xi-jie, <i>et al.</i> (558)
Methane Fluxes and Controlling Factors in the Intertidal Zone of the Yellow River Estuary in Autumn	JIANG Huan-huan, SUN Zhi-gao, WANG Ling-ling, <i>et al.</i> (565)
Study on Dioxin Emission for Typical Non-Wood Pulp Making in China	WANG Zhi-fang, DING Qiong, WANG Kai-xiang, <i>et al.</i> (574)
Horizontal and Vertical Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediment from a Typical Electrical Equipment Industrial Area	QIU Meng-de, DENG Dai-yong, YU Le-huan, <i>et al.</i> (580)
Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (587)
Characterization and Potential Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Green Space Soils of Educational Areas in Beijing	PENG Chi, WANG Mei-e, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (592)
Spatial Variability and Evaluation of Soil Heavy Metal Contamination in the Urban-transect of Shanghai	LIU Yun-long, ZHANG Li-jia, HAN Xiao-fei, <i>et al.</i> (599)
Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of Rivers in Northern Area of Haihe River Basin, China	SHANG Lin-yuan, SUN Ran-hao, WANG Zhao-ming, <i>et al.</i> (606)
Concentrations and Pollution Assessment of Soil Heavy Metals at Different Water-level Altitudes in the Draw-down Areas of the Three Gorges Reservoir	WANG Ye-chun, LEI Bo, YANG San-ming, <i>et al.</i> (612)
Analysis of Community Structure on Sludge Aerobic/anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (618)
Research on Population Structure and Distribution Characteristic of Indigenous Microorganism in Post-polymer-Flooding Oil Reservoir	ZHAO Ling-xia, GAO Pei-ke, CAO Mei-na, <i>et al.</i> (625)
Study on Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) with Different Additional Carbon Sources in Aged Contaminated Soil	YIN Chun-qin, JIANG Xin, WANG Fang, <i>et al.</i> (633)
Detection of <i>Proocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller with the Electrochemiluminescence-Molecular Probe	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (640)
Development of Direct Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Determination of Domoic Acid	WANG Qian, CHENG Jin-ping, GAO Li-li, <i>et al.</i> (647)
Simultaneous Determination of 10 Sulfonamide Antibiotics in Water by Solid-phase Extraction and High Performance Liquid Chromatography	HONG Lei-jie, SHI Lu, ZHANG YA-lei, <i>et al.</i> (652)
Effects of Pentachlorophenol on DNA Damage and Cytotoxicity of HeLa Cells	JIN Bang-ming, WANG Fu-ming, XIONG Li, <i>et al.</i> (658)
Modeling of Carbon Dioxide Measurement and Optimization on Building Ceramic Industry	PENG Jun-xia, ZHAO Yu-bo, JIAO Li-hua, <i>et al.</i> (665)

《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2月15日 33卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 2 Feb. 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@reeces. 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@reeces. 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