ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第11期

Vol.39 No.11

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE) ENVIRONMENTAL SCIENCE
第 39 卷 第 11 期
2018 年 11 月 15 日

目 次

2010～2015 年我国水泥工业 NO_x 排放清单及排放特征 …… 蒋春来, 宋晓晖, 钟悦之, 孙亚梅, 雷宇 (4841)
兰州市煨炕污染物排放清单及其对 $PM_{2.5}$ 浓度贡献 …… 郭文凯, 刘晓, 朱玉凡, 陈强, 杜永刚 (4849)
北京地区气溶胶水溶性组分粒径分布特征 …… 杜翔, 赵普生, 苏捷, 董群 (4858)
郑州市夏、秋季大气颗粒物中水溶性无机离子质量浓度及粒径分布特征 …… 赵庆炎, 姜楠, 燕启社, 王申博, 韩世杰, 杨留明, 张瑞芹 (4866)
菏泽市冬季 $PM_{2.5}$ 中二元羧酸类 SOA 的昼夜变化特征 …… 孟静静, 刘晓迪, 侯战方, 李静, 魏本杰, 邢继钊 (4876)
我国典型钢铁行业主要工艺环节排放颗粒物源成分谱特征 …… 温杰,杨佳美,李蒲,郁佳,吴建会,田瑛泽,张进生,史国良,冯银厂 (4885)
嘉兴市 2015 年人为源 VOCs 排放清单 …… 郝欢, 万梅, 戎宇, 兰亚琼, 熊传芳, 晁娜 (4892)
上海某石化园区周边区域 VOCs 污染特征及健康风险 …… 盛涛, 陈筱佳, 高松, 刘启贞, 李学峰, 伏晴艳 (4901)
SBR 工艺城市污水处理厂微生物气溶胶逸散特征 …… 杨凯雄, 侯红勋, 王颖哲, 史昊然, 许光素, 韩云平, 刘俊新, 李琳 (4909)
太湖有色可溶性有机物组成结构对不同水文情景的响应 …… 石玉, 周永强, 张运林, 姚晓龙, 黄昌春 (4915)
巢湖 2016 年蓝藻水华时空分布及环境驱动力分析 …… 胡旻琪, 张玉超, 马荣华, 张壹萱 (4925)
蓝藻水华形成过程对氮磷转化功能细菌群的影响 …… 彭宇科, 路俊玲, 陈慧萍, 肖琳 (4938)
三峡水库低水位运行时干流回水对支流水环境的影响 …… 陈紫娟, 宋献方, 张应华, 魏潇, 唐瑜, 秦文婧 (4946)
纳米银对胶州湾西北部海区及河口区沉积物反硝化能力和功能基因丰度的影响 …… 白洁, 田延昭, 孙鹏飞, 白晓岩, 李岿然, 赵阳国 (4956)
澜沧江流域水体悬浮颗粒物 $\delta^{15}N$ 空间差异及成因分析 …… 唐咏春, 徐飘, 杨正健, 张思思, 刘德富, 纪道斌 (4964)
潮白河冲洪积扇典型包气带剖面反硝化强度垂向空间分布规律 …… 耿宏志, 邬环, 李鸣晓, 张莹, 从辉, 席北斗 (4972)
蛤蟆通河流域地下水化学特征及控制因素 …… 张涛, 何锦, 李敬杰, 曹月婷, 龚磊, 刘金巍, 边超, 蔡月梅 (4981)
典型岩溶地区岩溶泉溶解性碳浓度变化及其通量估算 …… 熊佰炼, 张进忠, 彭韬, 郝卓, 高扬 (4991)
农村多水塘系统景观结构对非点源污染中氮截留效应的影响 …… 李玉凤,刘红玉,刘军志,娄彩荣,王娟 (4999)
城市典型不透水下垫面径流中邻苯二甲酸酯的污染特征 …… 刘雨童, 李田, 彭航宇 (5007)
不同降雨条件下植被对绿色屋顶径流调控效益影响 …… 葛德, 张守红 (5015)
四氧化三铁改性沸石改良底泥对水中磷酸盐的吸附作用 …… 王丹赫, 张宏华,林建伟, 詹艳慧, 何思琪, 梁舒静, 汲雨, 奚秀清 (5024)
厌氧条件下可溶性有机质对汞的还原与氧化作用 …… 卞永荣, 顾宝华, 朱波, 程虎, 谷成刚, 杨兴伦, 宋洋, 王芳, 叶茂, 蒋新 (5036)
光助-二茂铁/H_2O_2 非均相体系降解磺胺二甲基嘧啶 …… 张彪军, 赵姚云川, 房岐, 石凤丽, 张月超, 赵群, 田森林, 李英杰 (5043)
基于同位素技术的短程硝化过程 N_2O 产生途径 …… 杨玉兵, 杨庆, 李洋, 周薛扬, 李健敏, 刘秀红 (5051)
基质比对厌氧氨氧化耦合反硝化脱氮除碳的影响 …… 安芳娇, 黄剑明, 黄利, 乔瑞, 王瑾, 陈永志 (5058)
厌氧/好氧 SPNDPR 系统实现低 C/N 城市污水同步脱氮除磷的优化运行 …… 于德爽, 袁梦飞, 王晓霞, 陈光辉, 甄建园, 杜世明, 张帆 (5065)
污水处理厂 SNAD 工艺小试 …… 李冬, 崔雅倩, 赵世勋, 刘志诚, 张杰 (5074)
盐度对中试厌氧氨氧化脱氮特性的影响及其恢复动力学 … 唐佳佳, 于德爽, 王晓霞, 陈光辉, 张军, 赵红, 韩长民 (5081)
中试 ANAMMOX-ASBR 处理火电厂脱硫脱硝尾液的抑制及恢复特性 …… 张军, 于德爽, 王晓霞, 唐佳佳, 赵红, 韩长民, 应凌俏 (5090)
碳氮比对颗粒污泥 CANON 反应器脱氮性能和 N_2O 释放的冲击影响 …… 付昆明, 姜姗, 苏雪莹, 廖敏辉, 仇付国, 曹秀芹 (5101)
污泥性质对微波预处理-厌氧消化的影响及古菌群落结构分析 … 房平, 唐安平, 付兴民, 李伟, 文洋, 佟娟, 魏源送 (5108)
重庆市农地重金属基线值的厘定及其积累特征分析 …… 伍福琳, 陈丽, 易廷辉, 杨志敏, 陈玉成 (5116)
韩江流域土壤中有机氯农药的特征分布 …… 刘佳, 丁洋, 祁士华, 瞿程凯 (5127)
有机磷酸酯在重庆不同城市功能区土壤的分布特征及来源 …… 杨志豪, 何明靖, 杨婷, 卢俊峰, 魏世强 (5135)
纳米零价铁和过氧化钙联合降解土壤淋洗废液的 α-HCH …… 姚静波,周杰,王明新,荀志祥,薛金娟 (5142)
株洲清水塘工业区周边土壤微生物群落特征 …… 申丽, 李振桦, 曾伟民, 余润兰, 吴学玲, 李交昆, 王烁琨 (5151)
生物炭对施粪肥土壤中根际真菌群落多样性及相互作用的影响 …… 王丹丹, 杨泽平, 赵远, 梁玉婷 (5163)
生物炭负载氮还田对水稻生长、根系形态及氮素利用的影响 …… 俞映倞, 王悦满, 侯朋福, 杨林章, Alfred Oduor Odindo, 薛利红 (5170)
颗粒有机质对水稻镉吸收及转运的影响 …… 郭毅轩, 赵秀兰 (5180)
施肥对向日葵吸收积累 Cd 的影响 …… 曹柳, 杨俊兴, 郭劲君, 郭俊姆,郑国砥,卢一富 (5189)
不同水稻品种对重金属的积累特性 …… 林小兵, 周利军, 王惠明, 刘晖, 武琳, 俞莹, 胡敏, 何波, 周青辉, 黄欠如 (5198)
芦竹和木本植物间种修复重金属污染土壤 …… 曾鹏, 郭朝晖, 肖细元, 彭驰, 黄博 (5207)
三峡库区典型河流水-气界面 CO_2 通量日变化观测及其影响因素分析 …… 罗佳宸, 李思悦 (5217)
富营养化湖区 CH_4 排放特征及其影响因素 …… 商东耀, 肖启涛, 胡正华, 谢燕红, 黄文晶, 张弥 (5227)
短期放牧对半干旱草地生态系统 CO_2 和 N_2O 排放的影响 …… 申颜, 孙建平, 罗玉坤, 刁华杰, 闫卫东, 王常慧, 董宽虎 (5237)
覆膜方式和灌溉对夏玉米产量及农田碳排放强度的影响 …… 罗晓琦, 张阿凤, 陈海心, 冯浩 (5246)
臭氧浓度升高对植物源挥发性有机化合物(BVOCs)影响的研究进展 …… 冯兆忠, 袁相洋 (5257)
地下水“三氮”污染来源及其识别方法研究进展 …… 杜新强,方敏,冶雪艳 (5266)
污水生物处理中抗生素的去除机制及影响因素 …… 张翔宇, 李茹莹, 季民 (5276)
《环境科学》征订启事(4848) 《环境科学》征稿简则(4990) 信息(5188, 5216, 5236)

嘉兴市 2015 年人为源 VOCs 排放清单

郝欢[1], 万梅[1*], 戎宇[2], 兰亚琼[1], 熊传芳[3], 晁娜[4]
(1. 浙江清华长三角研究院, 嘉兴 314006; 2. 浙江双益环保科技发展有限公司, 嘉兴 314006; 3. 嘉兴市环境保护局, 嘉兴 314006; 4. 浙江省环境保护科学设计研究院, 杭州 310007)

摘要: 根据收集的嘉兴市人为源活动水平数据, 采用科学合理的估算方法和排放因子, 建立了该地区 2015 年人为源挥发性有机物(VOCs)排放清单. 结果表明, 嘉兴市 2015 年 VOCs 排放总量为 10.21×10^4 t, 其中工业源、移动源、生活源、储运源、废弃物处理源、农业源的排放量分别占排放总量的 78.15%、12.08%、5.83%、3.24%、0.26% 和 0.44%. 工业源中包装印刷、表面喷涂、纺织印染、化学原料制造、石化是重点排放行业. 海宁市、桐乡市和平湖市 VOCs 排放量位居前三, 约占嘉兴市总排放量的 50%, 经开区、海宁市、南湖区 VOCs 平均排放强度均超过 30 $t \cdot km^{-2}$.

关键词: 挥发性有机物; 排放清单; 排放因子; 人为源; 嘉兴市
中图分类号: X51 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2018)11-4892-09 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.201801109

VOCs Emission Inventory of Anthropogenic Sources in Jiaxing

HAO Huan[1], WAN Mei[1*], RONG Yu[2], LAN Ya-qiong[1], XIONG Chuan-fang[3], CHAO Na[4]
(1. Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University, Jiaxing 314006, China; 2. Zhejiang Shuangyi Environmental Technology Development Co., Ltd., Jiaxing 314006, China; 3. Jiaxing Environmental Protection Agency, Jiaxing 314006, China; 4. Environmental Science Research & Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: The anthropogenic volatile organic compounds (VOCs) emissions inventory in Jiaxing for 2015 was established by collecting comprehensive activity data of anthropogenic sources and adopting scientific and reasonable estimation methods and emissions factors. Results showed that the total VOCs emissions in Jiaxing for 2015 amounted to 10.21×10^4 t, of which 78.15%, 12.08%, 5.83%, 3.24%, 0.26%, and 0.44% was contributed by industrial sources, vehicles, domestic sources, oil storage and transport, waste disposal, and burning of agricultural crop residues, respectively. Packaging and printing industries, the surface coating industry, the dyeing industry, chemical materials manufacturers, and the petrochemical industry are the most important VOCs-emitting industries. Haining, Tongxiang, and Pinghu were the three cities with the highest emissions amounts, which contributed 50% of the total VOCs emissions. The average emissions intensity of VOCs in Jingkai, Haining, and Nanhu exceeded 30 $t \cdot km^{-2}$.

Key words: volatile organic compounds (VOCs); emission inventory; emission factor; anthropogenic source; Jiaxing

近年来, 多个经济发达地区臭氧超标极为频繁, 地处长江三角洲地区的嘉兴市臭氧污染不断加重[1,2]. 挥发性有机物(VOCs)作为形成大气臭氧和二次有机气溶胶污染的关键前体物, 是引起光化学烟雾和霾等环境问题的重要因素[3~5], 对嘉兴市环境质量具有重要影响. 同时, 部分 VOCs 具有致癌性和毒性, 对人体健康具有严重危害[6,7].

为有效改善嘉兴市环境空气质量, 保障市民健康, 针对 VOCs 污染控制的研究急需开展. 排放清单估算作为控制 VOCs 污染的基础工作, 多数省市已对此开展相关研究[8~16], 相关学者也对嘉兴市 VOCs 排放清单进行了研究[17], 但有些研究只针对单一排放源或行业, 无法反映嘉兴市整体排放水平[18,19]; 有些研究活动水平数据仅来源于嘉兴市统计年鉴, 无法准确反映实际排放情况[20].

本研究通过统计年鉴[21]、污染物普查、环境统计数据以及相关部门数据, 结合企业填报与现场调研, 利用排放因子法和物料衡算法, 较为详细地估算了嘉兴市 2015 年典型人为源 VOCs 排放量, 以期为嘉兴市制定相关大气污染防治对策及应急管控措施提供科学依据和数据支撑, 从而有效控制大气污染, 改善空气质量, 同时也为其他相似度高的城市的 VOCs 排放清单研究及防控政策的制定提供参考依据.

1 材料与方法

1.1 研究对象及区域

参照世界卫生组织(WHO)的 VOCs 定义: 在标准大气压下, 熔点低于室温且沸点低于 200~260℃ 的有机化合物的总称, 不包括甲烷. 本研究以 2015 年作为基准年, 以浙江省嘉兴市作为研究对象, 主要

收稿日期: 2018-01-11; **修订日期**: 2018-04-18
基金项目: 嘉兴市大气污染源排放清单(2015 年)编制项目
作者简介: 郝欢(1992~), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 主要研究方向为大气污染控制, E-mail: haohuanhuanzi@126.com
* 通信作者, E-mail: wanmeiaq@qq.com

研究区域囊括南湖区、秀洲区、海宁市、嘉善县等 9 个县(市、区)，如图 1 所示. 参考清华大学编制的《城市大气污染物排放清单编制技术手册》[22](“手册”)和环境保护部组织编制的《大气污染物源排放清单编制技术指南》系列[23~25](“指南”)中关于源的分类方法，以嘉兴市当地产业布局为依托，构建嘉兴市 VOCs 污染源分类体系，根据污染源性质不同，将 VOCs 人为源划分为工业源、移动源、生活源、储运源、废弃物处理源、农业源这 6 大类，同时根据 VOCs 不同排放过程，对各类排放源进行进一步划分.

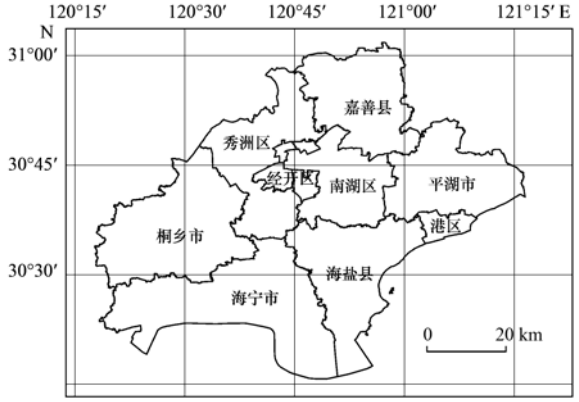

图 1　研究区域示意

Fig. 1　Map of study area

1.2　数据来源

本研究所使用的活动水平数据来源于 3 种途径：调查表填报、相关部门调研、统计年鉴[21]. 工业源、储运源中企业燃料使用量、重要工段产品产量、汽油销售量等活动水平数据主要采用经环保审核企业现场填报的数据，其中工业企业2 372家；移动源中船舶及机动车保有量等活动水平数据采用相关部门统计数据；生活源中建筑涂料使用量采用统计年鉴数据，溶剂使用量采用相关部门的调研数据；废弃物处理源中固废及污水处理量、农业源中秸秆燃烧量均采用相关部门统计数据.

1.3　估算方法

本研究针对嘉兴市各类排放源的 VOCs 排放量估算，主要采用排放因子和物料衡算相结合的方法，排放因子法基本计算公式[22~26]为：

$$E = \sum A_i \times \mathrm{EF}_i \times (1 - \eta_i) \qquad (1)$$

式中，E 为 VOCs 的排放量($t \cdot a^{-1}$)；A 为活动水平(单位根据排放源具体类别确定)，如燃料消耗量、产品产量、原辅料使用量、溶剂使用量等；EF 为 VOCs 的排放系数(单位根据排放源具体类别确定)；i 为排放源类别. 不同排放源的排放特征存在差异，因此，分类别介绍各排放源的活动水平数据和排放系数的来源.

机动车排放计算公式[23]：

$$E = \sum_i \sum_j \sum_k P_{ijk} \times \mathrm{EF}_{ijk} \times M_{ij} \times 10^{-6} \qquad (2)$$

式中，P 为机动车保有量；M 为机动车年均行驶里程；EF 为机动车排放系数；i 为机动车车型；j 为机动车燃料类型；k 为机动车排放标准.

根据欧洲环保署空气污染物排放清单指南[27]和美国环保署空气排放清单[28]的研究方法，采用基于船舶引擎功率的排放因子法进行计算. 船舶 VOC 排放量计算公式：

$$E = \sum N_{bez} \times T_{bez} \times P_{bez} \times \mathrm{LF}_{bez} \times \mathrm{EF}_{bez} \qquad (3)$$

式中，b、e、z 分别代表船舶类型、发动机类型和行驶模式；E 为船舶每年排放的 VOCs 总量(t)；N 为船舶数量(艘)；T 为每艘船舶平均运行时间($h \cdot 艘^{-1}$)；P 为发动机功率(kW)；LF 为发动机负荷率(%)；EF 为污染物排放因子[$g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$].

餐饮排放计算公式[22]：

$$E = n \times V \times H \times (1 - \eta) \times \mathrm{EF} \qquad (4)$$

式中，n 为固定炉头数；V 为烟气排放速率($m^3 \cdot h^{-1}$)；H 为年总经营时间(h)；η 为油烟去除效率(%)；EF 为排放系数($mg \cdot m^{-3}$).

汽修排放量采用物料衡算法[22]，计算公式：

$$E = A \times \mathrm{EF} \times \{1 - [B/(B + C) + 0.5C/(B + C)] \times \eta\} \qquad (5)$$

式中，A 为油漆的用量(稀释用溶剂不列入估算基础)；EF 为排放系数；B 为喷烘两用房的数量；C 为单烘房的数量；η 为污染控制技术对污染物去除效率(%).

1.3.1　工业源

工业源主要包括燃料燃烧过程和工艺过程，其中燃料燃烧过程主要包括电厂、工业锅炉和工业炉窑. 针对工业源，本研究采用“自下而上”的方法开展研究，以点源为主，面源为辅的形式处理.

燃料燃烧过程活动水平数据是从浙江省统一要求的 8 个重污染行业的所有企业、4 个重点行业的规模以上企业中筛选出的2 372家工业企业，按照点源方式逐个获取每家企业单台燃烧设备等信息. 工艺过程(含溶剂使用，以下称“工艺过程”)活动水平数据采用点源和面源相结合形式获取. 其中，点源数据来自上述2 732家企业涉及 VOCs 排放的1 015家企业的产品等信息，对于点源调查不够全面的行业以最小行政单元做面源补充. 排放系数选自文献[16,20,22,23]，对于有污染控制技术的企业，VOCs 去除效率根

据企业填报数据计算，部分企业无污染控制技术则直接排放，去除效率为0，结果如表1、表2所示.

表1 工业源活动水平及排放系数

Table 1 Activity levels and emission factors of the industrial sources

工业源	行业类别	子类	活动水平	排放因子	单位	文献
燃料燃烧过程	电厂(电力)	电力生产	燃煤消耗量	0.04	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		电力供应	燃煤消耗量	2.16	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		电力生产	天然气消耗量	0.02	$g \cdot m^{-3}$	[22]
		电力生产	垃圾消耗量	1.00	$g \cdot kg^{-1}$	[16]
	其它工业(锅炉、炉窑)		燃煤消耗量	0.39	$g \cdot kg^{-1}$	[23]
			燃料油消耗量	2.88	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
			柴油消耗量	0.13	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
			天然气消耗量	0.12	$g \cdot m^{-3}$	[22]
			煤气消耗量	0.05	$g \cdot m^{-3}$	[22]
			柴薪消耗量	3.13	$g \cdot kg^{-1}$	[23]
			生物质成型燃料	1.13	$g \cdot kg^{-1}$	[23]
			垃圾消耗量	1.00	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
工艺过程	包装印刷	传统油墨	油墨用量、控制效率等	750	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		新型油墨	油墨用量、控制效率等	100	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		造纸	纸浆用量	3.10	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
	纺织印染	纺织	产品产量	10	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		印染	染料用量	81.4	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
	表面喷涂	家具家装喷涂	涂料用量、控制效率等	640	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		工业制造喷涂	涂料用量、控制效率等	730	$g \cdot kg^{-1}$	[20]
	化工行业	苯	产品产量	0.10	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		对苯二甲酸	产品产量	19.80	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		乙烯	产品产量	0.10	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		合成氨	产品产量	4.72	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		聚氯乙烯	产品产量	0.74	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		丁二烯	产品产量	139.74	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		胶黏剂	产品产量	20	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		油墨生产	产品产量	50	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		漆涂料生产	产品产量	15	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		化学药品	产品产量	430	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
	石化行业	炼焦	产品产量	2.96	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		原油炼制	产品产量	1.82	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		原油加工	产品产量	0.32	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
	化纤行业	尼纶	产品产量	3.3	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		腈纶	产品产量	37.1	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		涤纶	产品产量	0.70	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		丙纶	产品产量	37.1	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		粘胶纤维	产品产量	14.5	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		合成纤维	产品产量	73.4	$g \cdot kg^{-1}$	[20]
		其它纤维	产品产量	5.1	$g \cdot kg^{-1}$	[23]
	合成革行业	革制造	产品产量	0.18	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		革鞣制	药剂用量	196	$g \cdot kg^{-1}$	[16]
	橡塑制品行业	橡胶	产品产量	15	$g \cdot kg^{-1}$	[20]
		泡沫塑料	产品产量	770	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
	其它	石灰	产品产量	0.18	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		熟料	产品产量	0.33	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		砖瓦	产品产量	0.13	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		玻璃制品	产品产量	4.40	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		玻璃纤维	产品产量	3.15	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		酒精	产品产量	218.25	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		白酒	产品产量	25	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		面包	产品产量	10.62	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		糕点	产品产量	1	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
		糖	产品产量	8	$g \cdot kg^{-1}$	[22]

表 2　工业源 VOCs 去除效率[1)]

Table 2　VOCs removal efficiency of industrial sources

工业源 VOCs 治理方式	去除效率/%
静电法	50 ~ 98
等离子法	50 ~ 75
化学吸收法	70
热力焚烧法	85
湿式洗涤法	60 ~ 99.8
吸附法	32.08 ~ 99
其他 VOCs 治理技术	10 ~ 99.4

1)数据来源为企业填报

1.3.2　移动源

移动源是指有发动机牵引、能够移动的各种客运、货运交通设施和机械设备，本研究主要针对机动车、船舶、工程机械和农业机械等非道路移动机械在行驶过程中排放的 VOC 量. 本研究中机动车活动水平、船舶保有量、非道路移动机械保有量均来自有关部门的统计数据，排放系数选自文献[22,23,25,27,28]，结果如表 3 所示.

表 3　移动源活动水平及排放系数

Table 3　Activity levels and emission factors of the vehicles

移动源	子类	活动水平	排放因子	单位
机动车	三轮汽车	保有量、年均行驶里程、燃料类型等	0.18	$g \cdot km^{-1}$
	低速货车	保有量、年均行驶里程、燃料类型等	0.85	$g \cdot km^{-1}$
	摩托车	保有量、年均行驶里程、燃料类型等	1.65	$g \cdot km^{-1}$
	微小型客车	保有量、年均行驶里程、燃料类型等	0.45	$g \cdot km^{-1}$
	大中型客车	保有量、年均行驶里程、燃料类型等	0.87	$g \cdot km^{-1}$
	轻微型货车	保有量、年均行驶里程、燃料类型等	0.61	$g \cdot km^{-1}$
	中重型货车	保有量、年均行驶里程、燃料类型等	1.35	$g \cdot km^{-1}$
船舶	客货船	保有量、发动机负荷及功率等	6.19	$g \cdot kg^{-1}$
非道路移动机械	港作机械	保有量,燃料消耗量	6.50	$g \cdot kg^{-1}$
	公路工程机械	保有量,燃料消耗量	6.60	$g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$
	建筑与市政工程机械	保有量、发动机负荷及功率等	31.3	$g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$
	园林机械	保有量、发动机负荷及功率等	1.30	$g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$
	企业机械	保有量、发动机负荷及功率等	1.30	$g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$
	农用机械	保有量、发动机负荷及功率等	1.30	$g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$

1.3.3　生活源

生活源主要包括餐饮、干洗、汽修、民用燃烧、建筑涂料. 餐饮活动水平分点源和面源收集，对 405 家大型餐饮企业进行调研采用点源处理，中小型餐饮企业根据排放系数采用面源处理. 干洗业活动水平来源于登记在册的 466 家企业调研数据，汽修(一类、二类)活动水平来源于登记在册的 330 家企业调研数据，民用燃烧煤炭消费量和建筑涂料使用量数据来源于嘉兴市统计年鉴和有关部门调研数据. 部分排放系数选自文献[20,22,23,29,30]，油烟去除效率根据企业填报数据计算，结果如表 4、表 5 所示.

表 4　生活源活动水平及排放系数

Table 4　Activity levels and emission factors of the domestic sources

生活源	活动水平	排放因子	单位	文献
餐饮	定炉头数、烟气排放速率、年总经营时间、油烟去除效率	5.6	$mg \cdot m^{-3}$	[22]
干洗	干洗剂使用总量	1 000	$g \cdot kg^{-1}$	[23]
汽修	油漆用量、烘房数量、去除效率	466	$g \cdot kg^{-1}$	[29]
民用燃烧	燃料消费量	0.6	$g \cdot kg^{-1}$	[20]
建筑涂料	内墙	120	$g \cdot kg^{-1}$	[22]
建筑涂料	外墙	470	$g \cdot kg^{-1}$	[30]

表 5　油烟净化效率[1)]

Table 5　Fume purification efficiency

油烟净化技术名称	去除效率/%
静电式油烟净化器	80 ~ 95
空气净化器	70 ~ 98
抽油烟机	50 ~ 60
油烟过滤器	60 ~ 80
自制油水分离器	60
机械式油烟净化器	80

1)数据来源为企业填报

1.3.4　储运源

储运源包括加油站、储油库和油气运输车在储运和运输过程中的逸散排放等. 活动水平来源于中国石油和中石化公司以及有关部门调研数据，排放系数选自文献[22]，结果如表 6 所示.

1.3.5　废弃物处理源

废弃物处理源包括污水处理和垃圾处理. 活动

表 6 储运源活动水平及排放系数

Table 6 Activity levels and emission factors of the oil storage and transport sources

储运源	子类	活动水平	单位	排放因子
加油站	汽油	油品销售量	$g \cdot kg^{-1}$	3.24
	柴油		$g \cdot kg^{-1}$	0.08
储油库	原油	油品存储量	$g \cdot kg^{-1}$	0.12
	汽油		$g \cdot kg^{-1}$	0.16
	柴油		$g \cdot kg^{-1}$	0.05
油气运输车	汽油	保有量、年油气运输量	$g \cdot kg^{-1}$	1.60
	柴油		$g \cdot kg^{-1}$	0.05
	天然气		$g \cdot m^{-3}$	2.60

水平数据来源于有关部门统计数据，排放系数选自文献[23]，结果如表 7 所示.

1.3.6 农业源

农业源包括畜禽养殖、秸秆燃烧、人体排放等，排放量较小. 本研究只对农业源中秸秆燃烧产生的挥发性有机气体进行计算，根据长三角地区的主要农作物产量，结合其谷草比、焚烧比例等参数计算所得[16]. 排放系数来源于指南[24]，活动水平来自市农业部门提供的数据和嘉兴市统计年鉴.

表 7 废弃物处理源活动水平及排放系数

Table 7 Activity levels and emission factors of the waste disposal sources

废弃物处理源	活动水平	单位	排放因子
污水处理	污水处理量	$g \cdot kg^{-1}$	0.001 1
垃圾处理	垃圾处理量	$g \cdot kg^{-1}$	0.234

2 结果与讨论

2.1 嘉兴市人为源 VOCs 排放清单

嘉兴市 2015 年人为源 VOCs 排放总量为 10.21×10^4 t，六大类排放源的排放清单、排放贡献率分别如表 8 和图 2 所示. 工业源对是嘉兴市 VOCs 排放的主要贡献源，排放量为 7.98×10^4 t，占 VOCs 排放总量的 78.15%，其中工艺过程的排放分担率达到了 70.45%，是工业源中 VOCs 排放总量占比最大的子源，工业炉窑、工业锅炉、电厂排放量较小，分别占 VOCs 排放总量的 5.44%、0.97%、1.28%，与嘉兴市近几年实行锅炉改造、炉窑整改和拆除、电厂超低排放存在密切关系. 其次为移动源、生活源、储运源、农业源和废弃物处理源，占 VOCs 排放总量的比例依次为 12.08%、5.83%、3.24%、0.44% 和 0.26%.

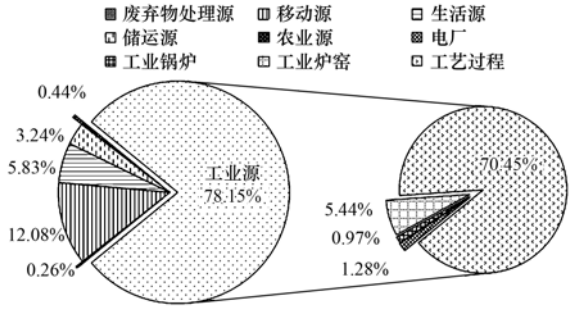

图 2 2015 年嘉兴市各类 VOC 人为源的排放分担率

Fig. 2 VOCs emission contributions of anthropogenic sources for the year 2015 in Jiaxing

表 8 2015 年嘉兴市各类人为源 VOCs 排放清单

Table 8 VOCs Emission inventory of anthropogenic sources for the year 2015 in Jiaxing

排放源	VOCs 排放量/t	贡献率/%
工业源	79 798.05	78.15
移动源	12 333.23	12.08
生活源	5 951.36	5.83
储运源	3 308.61	3.24
废弃物处理源	266.11	0.26
农业源	453.34	0.44
总计	102 110.70	100

2.2 分区域嘉兴市人为源 VOCs 排放特征

2015 年嘉兴市各县(市、区)人为源 VOCs 排放情况如表 9 和图 3 所示. 由于移动源中的船舶流动性大，全市船舶 VOCs 排放作统一处理，总排放量 67.49 t，故本章节暂不考虑这一排放子源.

从表 9 可以看出嘉兴市 VOCs 排放份额最大的县(市、区)是位于南部的海宁市，占总排放量的 22.76%. 位于市中心的南湖区、秀洲区和经开区排放量较海宁市低，但经开区 VOCs 平均排放强度反而高于海宁市，与经开区面积小、工业群密集有关. 其次，南湖区和平湖市 VOCs 平均排放强度也高于全市水平.

图 3 表现为工业源是各县(市、区)的核心排放源，移动源是第二大排放源(除港区外). 就其它排放源而言，南湖区和港区的储运源排放占比均较其它县(市、区)高，海盐县农业源、废弃物处理源排放占比在所有县(市、区)中最高.

表 9　2015 年嘉兴市各县(市、区) VOCs 排放清单

Table 9　VOCs Emission inventory by county for the year 2015 in Jiaxing

县(市、区)	VOCs 排放量/t	分担率/%	平均排放强度/t·km^{-2}
南湖区	11 548. 80	11. 31	32. 41
秀洲区	10 358. 21	10. 15	20. 65
嘉善县	8 157. 79	7. 99	16. 09
平湖市	12 893. 72	12. 63	26. 79
海盐县	8 822. 22	8. 64	17. 37
海宁市	23 241. 48	22. 76	34. 79
桐乡市	14 115. 15	13. 83	19. 42
经开区	5 098. 82	4. 99	46. 35
港区	7 807. 72	7. 65	139. 91
总计	102 043. 21	99. 93	26. 06
全市	102 110. 70	100	26. 08

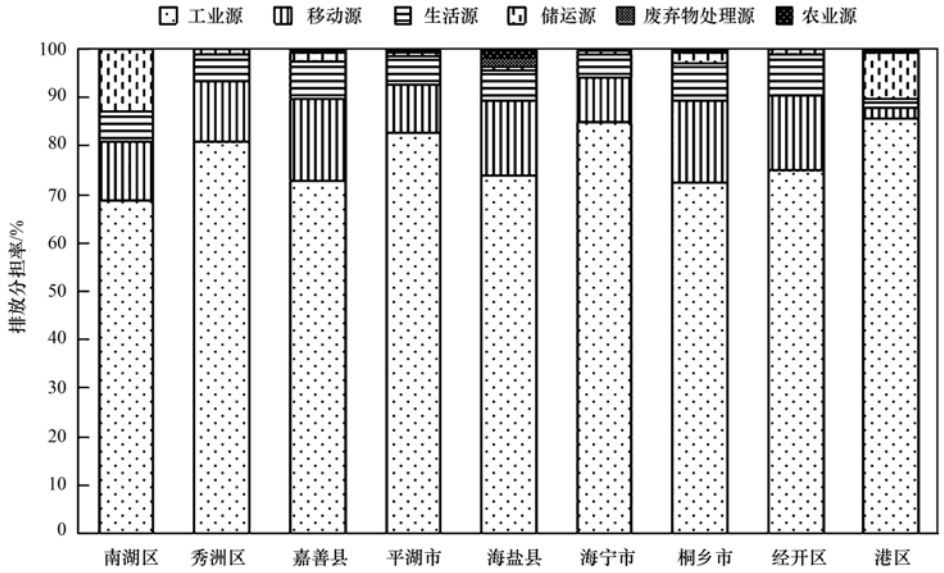

图 3　2015 年嘉兴市各县(市、区) VOCs 排放分担率

Fig. 3　VOCs emission contributions by county for the year 2015 in Jiaxing

2. 3　工业分行业嘉兴市人为点源 VOCs 排放特征

工业源是嘉兴市 VOCs 排放最主要的人为源，工艺过程源又是工业源中贡献最高的子源，以海宁市最为突出，工艺过程的贡献占当地 VOCs 排放的 72%. 如表 10 所示，包装印刷、表面喷涂、纺织印染、化学原料制造、石化、化学纤维、合成革、橡塑是嘉兴市 VOCs 排放量排名前九的工业行业，对嘉兴市 VOCs 总排放的贡献量为 7. 19 × 10^4 t，贡献率为 70. 45%.

从表 10 和图 4 中可以看出，包装印刷行业的贡献最大，排放量 1. 43 × 10^4 t，占总排放量的 14. 05%，相关企业主要分布在海宁市，反映出包装印刷企业对海宁市 VOCs 排放的重要影响. 其次为表面喷涂和纺织印染行业，排放量相差很小，分别为 1. 27 × 10^4 t 和 1. 26 × 10^4 t，分别占总排放量的 12. 39% 和 12. 34%. 表面喷涂与纺织印染行业在各县区占比较均衡，反映出作为嘉兴市传统产业支柱的五金机械、金属制造、纺织印染企业对 VOCs 排

表 10　2015 年嘉兴市工艺过程源重点行业 VOCs 排放清单

Table 10　VOCs Emission inventory of industrial sectors for the year 2015 in Jiaxing

子源	工业行业	VOCs 排放量/t	贡献率/%
工艺过程	包装印刷	14 344. 15	14. 05
	表面喷涂	12 650. 62	12. 39
	纺织印染	12 599. 43	12. 34
	化学原料制造	9 096. 47	8. 91
	石化	8 002. 95	7. 84
	化学纤维	5 862. 41	5. 74
	合成革	5 481. 03	5. 37
	橡塑	2 079. 74	2. 04
	其他	1 823. 17	1. 79
合计		71 939. 97	70. 45

放的影响较大，与该行业企业生产过程中消耗大量的涂料、油漆、染料有关. 其中表面喷涂行业排放源主要分布在经开区、嘉善县和海盐县，涉及相关企业51 家；纺织印染行业重点排放区域为秀洲区，涉及相关企业 21 家，年织造产量达 2.4×10^{10} m. 同时作为嘉兴支柱产业的化学原料制造行业对 VOCs 排放的贡献也不容忽视，贡献率为 8.91%.

石化行业具有明显的区域化特征，主要分布在港区和平湖市，占总排放量的 7.84%，这两个县(市、区)属于沿海地区，港口众多(对外联系便利，利于原油的输入和石化产品的输出)，石化企业分布密集，年产值 288.57 万元，年产量约 4.94×10^6 t. 化学纤维行业 VOCs 排放占总排放量的 5.74%，相关排放源主要分布在以化纤为特色产业之一的桐乡市和南湖区. 合成革和橡塑制品业在生产过程中消耗大量挥发性有机原辅料，排放量约为 7.56×10^3 t，占总排放量的 7.41%. 其它包括木业、电子信息、食品等行业共占总排放量的 1.79%.

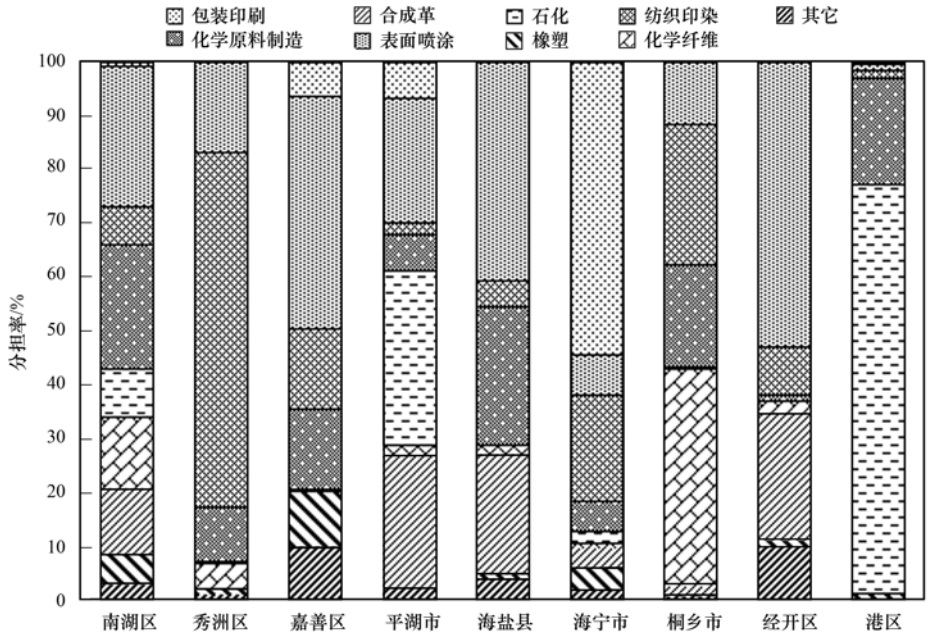

图 4 2015 年嘉兴市各县(市、区)重点行业工艺过程源 VOCs 排放分担率

Fig. 4 VOCs emission contributions of industrial sectors by county for the year 2015 in Jiaxing

根据企业调研结果来看，化学原料制造、医药制造、石油加工等生产行业 VOCs 排放环节多，治理措施不到位，在 VOCs 原料的装卸、贮存、转运、调和、反应等每一生产环节都存在 VOCs 挥发逸散的情况[30]；包装印刷、纺织印染、金属制品、设备及汽车制造、电气机械制造、家具制造等行业的油墨、染料、涂料、油漆的使用率低，并且印刷、染色、喷涂过程中无组织 VOCs 收集率和去除率低，此外部分企业规模小、分布散、工艺设备落后、清洁生产技术水平低，末端治理不到位.

2.4 不确定性分析

在嘉兴市人为源 VOCs 排放清单建立过程中，其不确定性主要来自于排放因子的确定和活动水平数据的收集[31]. 排放因子方面，本研究中主要使用手册和指南中的排放因子，同时借鉴欧洲环保署发布的《空气污染物排放清单指南》、中国台湾环保署发布的《空气污染防治费收费办法》和相关研究，部分子源的排放因子波动范围较大，部分缺乏代表性，与嘉兴市实际排放存在一定的差异.

其次，本研究中的活动水平主要来自于企业调研、部门调研和统计年鉴，部分数据缺乏准确值，在一定程度上存在人为因素的影响. 以上两种原因为清单的建立引入了较大的不确定性. 对于工业源中部分行业的排放因子，今后需加强本地化系数研究，从而进一步减少对工业源排放估算带来的不确定性影响.

3 结论

(1) 嘉兴市 2015 年人为源 VOCs 排放总量为 10.21×10^4 t，其中工业源、移动源、生活源、储运源、农业源和废弃物处理源分别占全市 VOCs 排放总量的 78.15%、12.08%、5.83%、3.24%、0.44% 和 0.26%. 工业源中工艺过程源排放量最大，占全市 VOCs 排放总量的 70.45%.

(2)各县(市、区)中，海宁市、桐乡市和平湖市排放量较高，其分担率分别为 22.76%、13.83%和 12.63%．经开区、海宁市和南湖区的排放强度则较高．各县(市、区)VOCs 首要排放源均为工业源，废弃物处理源排放主要集中在海盐县，农业源排放主要集中在海盐县和平湖市，储运源排放主要集中在港区和南湖区．

(3)包装印刷、表面喷涂、纺织印染是嘉兴市 VOCs 排放重点工业行业，其排放贡献率分别为 14.05%、12.39%、12.34%．各县(市、区)VOCs 排放重点工业行业均有差异，包装印刷行业排放主要集中在海宁市，纺织印染行业排放主要集中在海宁市、秀洲区、桐乡市，化学纤维行业排放主要集中在桐乡市，石化行业排放主要集中在港区和平湖市．

(4)源清单的不确定性主要来自于缺乏嘉兴市本地化排放因子，以及活动水平收集过程中的人为因素和估算过程中污染子源划分不细所致．因此，需加强本地化系数研究，从而进一步减少对工业源排放估算带来的不确定性影响．

参考文献：

[1] 王大春，陈璞珑，黄图南，等．宜兴市臭氧和挥发性有机物的浓度特征研究[J]．环境监控与预警，2017，**9**(3)：56-61.
Wang D C，Chen P L，Huang T N，*et al*．Study on concentration characteristics of O^3 and VOCs in Yixing[J]．Environmental Monitoring and Forewarning，2017，**9**(3)：56-61.

[2] 何斌，盛文斌，梁亮，等．2015 年 12 月下旬嘉兴地区持续性雾-霾污染过程分析[J]．环境科学学报，2018，**38**(4)：1334-1344.
He B，Sheng W B，Liang L，*et al*．Analysis on the persistent haze-fog event in Jiaxing area in late December 2015[J]．Acta Scientiae Circumstantiae，2018，**38**(4)：1334-1344.

[3] Zheng J Y，Shao M，Che W W，*et al*．Speciated VOC emission inventory and spatial patterns of ozone formation potential in the Pearl River Delta，China[J]．Environmental Science & Technology，2009，**43**(22)：8580-8586.

[4] Yuan B，Hu W W，Shao M，*et al*．VOC emissions，evolutions and contributions to SOA formation at a receptor site in eastern China[J]．Atmospheric Chemistry and Physics，2013，**13**(17)：8815-8832.

[5] 潘齐，谷树茂，李恒庆，等．VOCs 的危害、控制技术及防治对策[A]．见：2016 中国环境科学学会学术年会论文集(第四卷)[C]．海口：中国环境科学学会，2016.

[6] Sekizawa J，Ohtawa H，Yamamoto H，*et al*．Evaluation of human health risks from exposures to four air pollutants in the indoor and the outdoor environments in Tokushima，and communication of the outcomes to the local people[J]．Journal of Risk Research，2007，**10**(6)：841-851.

[7] Ahmad Khan H．Benzene's toxicity：a consolidated short review of human and animal studies[J]．Human & Experimental Toxicology，2007，**26**(9)：677-685.

[8] Mo Z W，Shao M，Lu S H．Compilation of a source profile database for hydrocarbon and OVOC emissions in China[J]．Atmospheric Environment，2016，**143**：209-217.

[9] 梁小明，张嘉妮，陈小方，等．我国人为源挥发性有机物反应性排放清单[J]．环境科学，2017，**38**(3)：845-854.
Liang X M，Zhang J N，Chen X F，*et al*．Reactivity-based anthropogenic VOCs emission inventory in China[J]．Environmental Science，2017，**38**(3)：845-854.

[10] 闫东杰，苏航，黄学敏，等．西安市人为源挥发性有机物排放清单及研究[J]．环境科学学报，2017，**37**(2)：446-452.
Yan D J，Su H，Huang X M，*et al*．VOCs emission inventory of anthropogenic sources in Xi'an[J]．Acta Scientiae Circumstantiae，2017，**37**(2)：446-452.

[11] 虎啸宇，刘航，王乃玉，等．秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征[J]．环境科学，2018，**39**(2)：543-550.
Hu X Y，Liu H，Wang N Y，*et al*．Industrial VOCs emission in Qinhuangdao[J]．Environmental Science，2018，**39**(2)：543-550.

[12] 陈小方，张伟霞，陈柄旭，等．江门市人为源挥发性有机物排放清单[J]．环境科学，2018，**39**(2)：600-607.
Chen X F，Zhang W X，Chen B X，*et al*．Emission inventory of anthropogenic VOCs in Jiangmen City[J]．Environmental Science，2018，**39**(2)：600-607.

[13] 姚轶，王浙明，何志桥，等．浙江省木制品行业挥发性有机物排放特征及排放系数[J]．环境科学，2016，**37**(11)：4080-4085.
Yao Y，Wang Z M，He Z Q，*et al*．Pollution characteristics and emission coefficient of volatile organic compounds from woodwork-making industry in Zhejiang Province[J]．Environmental Science，2016，**37**(11)：4080-4085.

[14] 闫雨龙，彭林．山西省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献[J]．环境科学，2016，**37**(11)：4086-4093.
Yan Y L，Peng L．Emission inventory of anthropogenic VOCs and its contribution to ozone formation in Shanxi Province[J]．Environmental Science，2016，**37**(11)：4086-4093.

[15] 毛攀．江苏省人为源挥发性有机物排放清单及源谱研究[D]．南京：南京大学，2016.

[16] 李璇，王雪松，刘中，等．宁波人为源 VOC 清单及重点工业行业贡献分析[J]．环境科学，2014，**35**(7)：2497-2502.
Li X，Wang X S，Liu Z，*et al*．Anthropogenic VOC emission inventory and contribution from industrial sources in Ningbo[J]．Environmental Science，2014，**35**(7)：2497-2502.

[17] 吴建，程文，晁娜．浙江省人为源 VOCs 排放清单[J]．上海环境科学，2015，**34**(2)：60-66.
Wu J，Cheng W，Chao N．An inventory for VOCs emissions from anthropogenic sources in Zhejiang Province[J]．Shanghai Environmental Sciences，2015，**34**(2)：60-66.

[18] 吴建，程文，王卫军．浙江省部分地区大气工业污染源排放清单的建立[J]．上海环境科学，2015，**34**(4)：150-153.
Wu J，Cheng W，Wang W J．The establishment of inventories for air pollutant emissions from industrial sources in part of Zhejiang Province[J]．Shanghai Environmental Sciences，2015，**34**(4)：150-153.

[19] 陈文聪，侯艺文，吴建，等．化纤行业 $PM_{2.5}$ 和 VOCs 排放特性研究[J]．浙江大学学报(工学版)，2017，**51**(1)：145-152，176.
Chen W C，Hou Y W，Wu J，*et al*．Characteristics of $PM_{2.5}$ and

VOCs emission from chemical fiber industry[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2017, **51**(1): 145-152, 176.

[20] 黄成, 陈长虹, 李莉, 等. 长江三角洲地区人为源大气污染物排放特征研究[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(9): 1858-1871.
Huang C, Chen C H, Li L, *et al*. Anthropogenic air pollutant emission characteristics in the Yangtze River Delta region, China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, **31**(9): 1858-1871.

[21] 嘉兴市统计局. 嘉兴统计年鉴2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.

[22] 贺克斌, 王书肖, 张强. 城市大气污染物排放清单编制技术手册[M]. 北京: 清华大学, 2015.

[23] 环境保护部. 大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.

[24] 环境保护部. 生物质燃烧源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.

[25] 环境保护部. 非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.

[26] 郑君瑜, 王水胜, 黄志炯, 等. 区域高分辨率大气排放源清单建立的技术方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

[27] European Environment Agency. EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2013[EB/OL]. http://www.eea.europa.eu//publications/emep-eea-guidebook-2013, 2013-08-22.

[28] U.S. Environmental Protection Agency. AP-42: compilation of air pollutant emission factors[EB/OL]. http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42, 2013.

[29] 台湾环境保护署. 公私场所固定污染源申报空气污染防制费之挥发性有机物之行业制程排放系数、操作单元(含设备元件)排放系数、控制效率及其他计量规定[R]. 台北: 台湾环境保护署, 2009.

[30] 魏巍. 中国人为源挥发性有机化合物的排放现状及未来趋势[D]. 北京: 清华大学, 2009.

[31] 魏巍, 王书肖, 郝吉明. 中国人为源VOC排放清单不确定性研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(2): 305-312.
Wei W, Wang S X, Hao J M. Uncertainty analysis of emission inventory for volatile organic compounds from anthropogenic sources in China[J]. Environmental Science, 2011, **32**(2): 305-312.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 39 No. 11

Nov. 15, 2018

CONTENTS

Emissions Inventory and Characteristics of NO_x from Cement Industry ····· JIANG Chun-lai, SONG Xiao-hui, ZHONG Yue-zhi, *et al.* (4841)

Emissions Inventory of Smoldering Chinese Kangs and Their Contribution to $PM_{2.5}$ Pollution in Lanzhou City ····· GUO Wen-kai, LIU Xiao, ZHU Yu-fan, *et al.* (4849)

Size Distributions of Water-soluble Components in Ambient Aerosol of Beijing ····· DU Xiang, ZHAO Pu-sheng, SU Jie, *et al.* (4858)

Size Distribution Characteristics of Water-Soluble Inorganic Ions During Summer and Autumn in Zhengzhou ····· ZHAO Qing-yan, JIANG Nan, YAN Qi-she, *et al.* (4866)

Diurnal Variation of Dicarboxylic Acids and Related SOA in $PM_{2.5}$ from Heze City in Winter ····· MENG Jing-jing, LIU Xiao-di, HOU Zhan-fang, *et al.* (4876)

Chemical Source Profiles of PM Emitted from the Main Processes of the Iron and Steel Industry in China ····· WEN Jie, YANG Jia-mei, LI Pu, *et al.* (4885)

VOCs Emission Inventory of Anthropogenic Sources in Jiaxing ····· HAO Huan, WAN Mei, RONG Yu, *et al.* (4892)

Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs in Areas Surrounding a Petrochemical Park in Shanghai ····· SHENG Tao, CHEN Xiao-jia, GAO Song, *et al.* (4901)

Characteristics of Bioaerosols Emitted from WWTP with SBR Treatment Process ····· YANG Kai-xiong, HOU Hong-xun, WANG Ying-zhe, *et al.* (4909)

Response of Chromophoric Dissolved Organic Matter Composition to Different Hydrological Scenarios in Large Eutrophic Lake Taihu ··· SHI Yu, ZHOU Yong-qiang, ZHANG Yun-lin, *et al.* (4915)

Spatial and Temporal Dynamics of Floating Algal Blooms in Lake Chaohu in 2016 and Their Environmental Drivers ····· HU Min-qi, ZHANG Yu-chao, MA Rong-hua, *et al.* (4925)

Dynamic Changes of Nitrogen-Transforming and Phosphorus-Accumulating Bacteria Along with the Formation of Cyanobacterial Blooms ····· PENG Yu-ke, LU Jun-ling, CHEN Hui-ping, *et al.* (4938)

Impact of Mainstream Backwater on the Water Environment of the Tributaries of the Three Gorges Reservoir at Low Water Level ····· CHEN Zi-juan, SONG Xian-fang, ZHANG Ying-hua, *et al.* (4946)

Effect of Silver Nanoparticles on Denitrification and Functional Gene Abundances of Sediment in Dagu River Estuary and Northwest of Jiaozhou Bay ····· BAI Jie, TIAN Yan-zhao, SUN Peng-fei, *et al.* (4956)

Spatial Difference and Causes Analysis of the $\delta^{15}N$ of Suspended Particulate Matter in the Lancang River Basin ····· TANG Yong-chun, XU Piao, YANG Zheng-jian, *et al.* (4964)

Vertical Spatial Distribution of Denitrification Intensity in the Vadose Zone of Typical Sections of Chaobai River Alluvial Fan ····· GENG Hong-zhi, HUAN Huan, LI Ming-xiao, *et al.* (4972)

Major Ionic Features and Possible Controls in the Groundwater in the Hamatong River Basin ····· ZHANG Tao, HE Jin, LI Jing-jie, *et al.* (4981)

Concentration Variations and Flux Estimation of Dissolved Carbon in Karst Spring of a Typical Karst Area ····· XIONG Bai-lian, ZHANG Jin-zhong, PENG Tao, *et al.* (4991)

Effect of Different Multi-pond Network Landscape Structures on Nitrogen Retention Over Agricultural Watersheds ····· LI Yu-feng, LIU Hong-yu, LIU Jun-zhi, *et al.* (4999)

Characteristics of Phthalic Acid Esters Pollution in Urban Surface Runoff in Shanghai, China ····· LIU Yu-tong, LI Tian, PENG Hang-yu (5007)

Impacts of Vegetation on Hydrological Performances of Green Roofs Under Different Rainfall Conditions ····· GE De, ZHANG Shou-hong (5015)

Adsorption of Phosphate from Aqueous Solutions on Sediments Amended with Magnetite-Modified Zeolite ····· WANG Dan-he, ZHANG Hong-hua, LIN Jian-wei, *et al.* (5024)

Reduction and Oxidation of Mercury by Dissolved Organic Matter Under Anaerobic Conditions ····· BIAN Yong-rong, GU Bao-hua, ZHU Bo, *et al.* (5036)

Photo-assisted Degradation of Sulfamethazine by Ferrocene-catalyzed Heterogeneous Fenton-like System ····· ZHANG Biao-jun, ZHAO Yao-yun-chuan, FANG Qi, *et al.* (5043)

N_2O Production Pathways in Partial Nitrification Based on Isotope Technology ····· YANG Yu-bing, YANG Qing, LI Yang, *et al.* (5051)

Effect of Substrate Ratio on Removal of Nitrogen and Carbon Using Anaerobic Ammonium Oxidation and Denitrification ····· AN Fang-jiao, HUANG Jian-ming, HUANG Li, *et al.* (5058)

Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal Characteristics of An Anaerobic/Aerobic Operated SPNDPR System Treating Low C/N Urban Sewage ····· YU De-shuang, YUAN Meng-fei, WANG Xiao-xia, *et al.* (5065)

Lab-scale SNAD Process in Wastewater Treatment Plant ····· LI Dong, CUI Ya-qian, ZHAO Shi-xun, *et al.* (5074)

Effect of Salinity on Nitrogen Removal Performance of a Pilot-scale Anaerobic Ammonia Oxidation Process and Its Recovery Kinetics ····· TANG Jia-jia, YU De-shuang, WANG Xiao-xia, *et al.* (5081)

Suppression and Recovery Characteristics of Pilot-scale ANAMMOX-ASBR System Treating Desulfurization and Denitrification Tailings from Thermal Power Plant ····· ZHANG Jun, YU De-shuang, WANG Xiao-xia, *et al.* (5090)

Impact of C/N Ratio on Nitrogen Removal Performance and N_2O Release of Granular Sludge CANON Reactor ····· FU Kun-ming, JIANG Shan, SU Xue-ying, *et al.* (5101)

Impacts of Sludge Characteristics on Anaerobic Digestion with Microwave Pretreatment and Archaeal Community Structure Analysis ····· FANG Ping, TANG An-ping, FU Xing-min, *et al.* (5108)

Determination of Heavy Metal Baseline Values and Analysis of Its Accumulation Characteristics in Agricultural Land in Chongqing ····· WU Fu-lin, CHEN Li, YI Ting-hui, *et al.* (5116)

Characteristics of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Soil Samples of Hanjiang River Basin, Southeast China ····· LIU Jia, DING Yang, QI Shi-hua, *et al.* (5127)

Occurrence and Distribution of the Organophosphate Esters in Soils of Mixed-land Use Area in Chongqing City ····· YANG Zhi-hao, HE Ming-jing, YANG Ting, *et al.* (5135)

Degradation of α-HCH in Soil Washing Solutions with nZVI and CaO_2 ····· YAO Jing-bo, ZHOU Jie, WANG Ming-xin, *et al.* (5142)

Microbial Communities in Soils of Qingshuitang Industrial District in Zhuzhou ····· SHEN Li, LI Zhen-hua, ZENG Wei-min, *et al.* (5151)

Effect of Biochar Addition on the Diversity and Interaction of Rhizosphere Fungi in Manure-fertilized Soil ····· WANG Dan-dan, YANG Ze-ping, ZHAO Yuan, *et al.* (5163)

Effects of Returning Nitrogen by Biochar Loading on Paddy Growth, Root Morphology, and Nitrogen Use Efficiency ····· YU Ying-liang, WANG Yue-man, HOU Peng-fu, *et al.* (5170)

Effect of Particulate Organic Matter on Cadmium Uptake and Transport in Rice ····· GUO Yi-xuan, ZHAO Xiu-lan (5180)

Effect of Fertilizers on Cadmium Uptake and Accumulation by Sunflowers ····· CAO Liu, YANG Jun-xing, GUO Jin-jun, *et al.* (5189)

Accumulation of Heavy Metals in Different Rice Varieties ····· LIN Xiao-bing, ZHOU Li-jun, WANG Hui-ming, *et al.* (5198)

Intercropping *Arundo donax* with Woody Plants to Remediate Heavy Metal-Contaminated Soil ····· ZENG Peng, GUO Zhao-hui, XIAO Xi-yuan, *et al.* (5207)

Daily Variation of CO_2 Flux at Water-Air Interface and Analysis of Its Affecting Factors in a Typical River of the Three Gorges Reservoir ····· LUO Jia-chen, LI Si-yue (5217)

CH_4 Emissions Characteristics and Its Influencing Factors in an Eutrophic Lake ····· SHANG Dong-yao, XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, *et al.* (5227)

Short-term Effects of Different Grazing Intensities on Greenhouse Gas Fluxes in Semi-arid Grassland ····· SHEN Yan, SUN Jian-ping, LUO Yu-kun, *et al.* (5237)

Effects of Plastic Film Mulching Patterns and Irrigation on Yield of Summer Maize and Greenhouse Gas Emissions Intensity of Field ··· LUO Xiao-qi, ZHANG A-feng, CHEN Hai-xin, *et al.* (5246)

Effects of Elevated Ozone on Biogenic Volatile Organic Compounds (BVOCs) Emission: A Review ····· FENG Zhao-zhong, YUAN Xiang-yang (5257)

Research Progress on the Sources of Inorganic Nitrogen Pollution in Groundwater and Identification Methods ····· DU Xin-qiang, FANG Min, YE Xue-yan (5266)

Mechanisms and Influencing Factors of Antibiotic Removal in Sewage Biological Treatment ····· ZHANG Xiang-yu, LI Ru-ying, JI Min (5276)