

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第2期

Vol.39 No.2

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

特别策划:挥发性有机污染物(VOCs)排放特征、减排控制、环境政策研究专辑(III)

序 郝郑平(477)

我国机动车排放VOCs及其大气环境影响 陈天增,葛艳丽,刘永春,贺泓(478)

基于PMF量化工业排放对大气挥发性有机物(VOCs)的影响:以南京市江北工业区为例 胡崑,王鸣,郑军,王红丽,卢兴东,景盛翱,陈超(493)

南京工业区挥发性有机物来源解析及其对臭氧贡献评估 张玉欣,安俊琳,王俊秀,师远哲,刘静达,梁静舒(502)

某工业园区VOCs臭氧生成潜势及优控物种 武蕾丹,王秀艳,杨文,郭凤艳,刘锦(511)

某石油化工园区秋季VOCs污染特征及来源解析 胡天鹏,李刚,毛瑶,郑煌,秦世斌,闵洋,张家泉,邢新丽,祁士华(517)

某典型石油化工园区冬季大气中VOCs污染特征 毛瑶,李刚,胡天鹏,郑煌,安艺伟,闵洋,邢新丽,祁士华(525)

杭州市工业源VOCs排放清单及排放特征 卢滨,黄成,卢清,杨强,井宝莉,夏阳,唐伟,顾泽平(533)

秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征 虎啸宇,刘航,王乃玉,王灿,揣莹(543)

浙江省汽摩配行业挥发性有机物排放特征及排放系数 杨忠平,王浙明,何志桥,徐志荣,滕富华,张华岳(551)

汽车制造企业恶臭来源及影响分析 石田立,张伟霞,陈小方,张嘉妮,梁小明,范丽雅,叶代启(557)

典型酿造业厂界无组织排放VOCs污染特征与风险评价 高占啟,胡冠九,王荃,朱冰清,陈素兰(567)

成都市大气环境VOCs污染特征及其健康风险评价 李友平,唐娅,范忠雨,蒲敏,章金莲,杨铮铮,吴大磊(576)

上海地区住宅儿童卧室室内甲醛和苯系物浓度的现场检测分析 蒋巧云,刘平平,王雪颖,路荣春,刘炜,周华元,龚莹莹,周亚欣,黄晨(585)

江苏省人为源VOCs排放清单及其对臭氧生成贡献 夏思佳,刘倩,赵秋月(592)

江门市人为源挥发性有机物排放清单 陈小方,张伟霞,陈柄旭,张嘉妮,范丽雅,叶代启(600)

长江三角洲2014年天然源BVOCs排放、组成及时空分布 刘岩,李莉,安静宇,张伟,严茹莎,黄凌,黄成,王红丽,王卿,王敏(608)

北京城市副中心(通州区)加油站VOCs排放清单 黄玉虎,胡玮,李贝贝,纪旋,肖宇,任碧琪,秦建平(618)

公交车使用废食用油制生物柴油的污染物排放及VOCs成分谱 胡志远,林骠骑,黄成,王红丽,景盛翱,楼狄明(626)

生物滴滤塔净化甲基叔丁基醚废气的研究 褚其英,姚露露,吕雄标,叶杰旭,叶虹霓,潘梁柱,陈建孟,陈东之(633)

低温等离子体-生物耦合系统对复合CVOCs的降解 郭海倩,缪晶晶,姜理英,张迪(640)

水质异味期间钱塘江杭州段表层水体中挥发性和半挥发性有机物污染特征及健康风险评价 陈峰,唐访良,徐建芬,王奕奕,阮东德,张伟,周姗(648)

城市自来水管网中挥发性有机物的空间分布特征 许美佳,王海亮,李春梅,徐雄,王东红(655)

不同通勤模式暴露于VOCs的健康风险评价 佟瑞鹏,张磊(663)

家具制造过程中VOCs的来源分析及环境健康风险评价 佟瑞鹏,张磊,杨校毅,朱旭波,任传耕(672)

研究报告

北京市PM_{2.5}时空分布特征及其与PM₁₀关系的时空变异特征 杨文涛,姚诗琪,邓敏,王艳军(684)

小型池塘水-气界面CH₄冒泡通量的观测 张秀芳,肖薇,张弥,王伟,赵佳玉,胡勇博,谢成玉,张圳,谢燕红,黄文晶(691)

中国七大流域全氟烷基酸污染水平与饮水暴露风险 王鑫璇,张鸿,王艳萍,罗骥(703)

铁岭市河流氮素时空分布及源解析 杨丽标,雷坤,乔飞,孟伟(711)

基于三维荧光及平行因子分析的川西高原河流水体CDOM特征 刘堰杨,秦纪洪,刘琛,孙辉,唐翔宇,范诗雨(720)

宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价 徐美娟,鲍波,陈春燕,王永川,高夫燕,虞效益(729)

巢湖水体可溶态重金属时空分布及污染评价 吴蕾,刘桂建,周春财,刘荣琼(738)

广西龙江沉积物重金属污染现状及生物有效性 蓝小龙,宁增平,肖青相,黄正玉,刘意章,肖唐付,赵彦龙,吴世良(748)

内电解人工湿地冬季低温尾水强化脱氮机制 郑晓英,朱星,王菊,周翔,徐亚东,韦诚,高雅洁,周徽(758)

河道型水库支流库湾营养盐动态补给过程 徐雅倩,徐飘,杨正健,刘德富,马骏(765)

降雨对蓝藻水华消退影响及其机制分析 刘心愿,宋林旭,纪道斌,刘德富,崔玉洁,黄佳维,赵冲,唐咏春,平明明(774)

城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系 梁晓东,余杨,张敏,段龙飞,彭文启(783)

三峡库区兰陵溪小流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征 张林,黄志霖,肖文发,曾立雄,宋文梅(792)

基于污染评价的地下水中优控污染物筛选 赵鹏,何江涛,王曼丽,黄德亮,王磊,梁雨(800)

硫和石英砂比对自养填充床反应器去除高浓度高氯酸盐的影响 陶华强,邵冬海,张超,宋圆圆,逯彩彩,郭建博(811)

活性炭/高分子复合水凝胶对水中亚甲基蓝和Cu(II)的去除性能 孔岩,庄媛,石宝友,韩志勇,郝昊天,韩昆,于建伟(819)

三维网状HZO@SGH对水中氟离子的吸附作用和机制 马福臻,周少奇,刘泽璐,支亮亮,周璇(828)

MgO/活性炭催化臭氧氧化降解有机物的作用机制 许珊珊,林存旺,丁亚磊,童少平(838)

污水厂二级出水中难凝聚有机物的臭氧化特性 侯瑞,金鑫,金鹏康,苟邦耀,王晓昌(844)

染料探针技术对二级出水中优势污染物的定量检测 孟晓荣,王隽桢,王磊,王旭东,乔茹凯,任婷婷,唐卫婷(852)

污水处理厂厌氧氨氧化工艺小试 李冬,赵世勋,王俊安,朱金凤,关宏伟,张杰(859)

间歇曝气模式下曝气量对短程硝化恢复的影响 刘宏,南彦斌,李慧,王翔,彭永臻,陈永志(865)

好氧/除磷颗粒对亚硝化颗粒污泥启动的影响 李冬,郭跃洲,曹美忠,张泽文,李帅,张杰(872)

处理垃圾渗滤液的SBR中微生物种群与污泥比阻 蔡丽云,黄泽彬,须子唯,江志斌,林莉莉,黄宇(880)

基于城镇化进程表层土壤多环芳烃来源解析及风险评价 姚宏,张士超,刘明丽,王静,鲁垠涛,于晓华(889)

西江流域土壤砷含量空间变异与污染评价 刘畅,宋波,张云霞,雷梅,田美玲,余元元,庞瑞(899)

开封城市土壤磷素组成特征及流失风险 白秀玲,马建华,孙艳丽,刘德新(909)

电子垃圾拆解区土壤-水稻系统重金属分布特征及健康风险评价 尹伊梦,赵委托,黄庭,程胜高,赵珍丽,余葱葱(916)

上海市稻米中有机氯农药残留水平及健康风险评价 孟媛,刘翠翠,仇雁翎,周轶慧,朱志良(927)

四环素类抗生素对不同蔬菜生长的影响及其富集转运特征 迟菘琳,王卫中,徐卫红,李桃,李彦华,张春来(935)

硅肥耦合水分管理对复合污染稻田土壤As-Cd生物有效性及稻米累积阻控 李园星露,叶长城,刘玉玲,李丹阳,刘寿涛,罗海艳,刘孝利,铁柏清,孙健(944)

电子垃圾拆解工人的肝功能和肾功能健康状况及影响因素分析:以清远市龙塘镇为例 严晓,李淑圆,王美欢,许榕发,郑晶,任明忠(953)

《环境科学》征稿简则(584) 《环境科学》征订启事(683) 信息(799,908,934)

江门市人为源挥发性有机物排放清单

陈小方¹, 张伟霞¹, 陈柄旭¹, 张嘉妮¹, 范丽雅^{1,2,3}, 叶代启^{1,2,3*}

(1. 华南理工大学环境与能源学院, 广州 510006; 2. 挥发性有机物污染治理技术与装备国家工程实验室, 广州 510006; 3. 广东省大气环境与污染控制重点实验室, 广州 510006)

摘要: 将江门市人为源挥发性有机物(VOCs)排放分为工业源、移动源、生活源和农业源四大类,以2014年为基准年,根据江门市的统计数据 and 实地调研结果,采用“自上而下”和“自下而上”结合的排放因子法建立了江门市人为源VOCs排放清单。结果显示江门市2014年人为源VOCs排放总量约为75.09 kt,工业源、移动源、农业源和生活源VOCs排放量为41.37、19.16、11.07和3.50 kt,占比分别为55.09%、25.51%、14.74%和4.65%。工业源中摩托车制造、集装箱制造、涂料、油墨、颜料及类似产品制造、印刷及包装印刷、塑料及橡胶制品、人造革制造、皮革鞣制加工、化石燃料燃烧、基础化学原料制造、电子制造、胶黏剂制造、家具制造等行业的VOCs排放量均超过1000 t,为江门市重点VOCs排放行业。江门市蓬江区、江海区、鹤山市这3地以工业源排放为主,占比均超过50%,而恩平市、台山市等地则以农业源排放为主。各区和县级市在进行VOCs减排政策制定时要针对本土化的VOCs清单特征,进行精细化管控,才能取得较好减排效果。

关键词: VOCs; 排放因子; 排放清单; 重点行业; 江门市

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)02-0600-08 DOI: 10.13227/j.hjx.201708172

Emission Inventory of Anthropogenic VOCs in Jiangmen City

CHEN Xiao-fang¹, ZHANG Wei-xia¹, CHEN Bing-xu¹, ZHANG Jia-ni¹, FAN Li-ya^{1,2,3}, YE Dai-qi^{1,2,3*}

(1. School of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. National Engineering Laboratory for VOCs Pollution Control Technology and Equipment, Guangzhou 510006, China; 3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Atmospheric Environment and Pollution Control, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Anthropogenic VOC emissions are classified into four sources: industrial, mobile, life, and agricultural. An anthropogenic VOC emission inventory in Jiangmen for 2014 was developed using both “top-down” and “bottom-up” emission factor methods, based on statistical survey data. The results showed that the total anthropogenic VOC emissions in Jiangmen were 75.09 kt. VOC emissions from the industrial, mobile, life, and agricultural sources were 41.37, 19.16, 11.07, and 3.50 kt, respectively, which contributed 55.09%, 25.51%, 14.74%, and 4.65% of the total anthropogenic VOC emissions. Motorcycle manufacturing, container manufacturing, coating, printing ink, manufacturing of paint and similar products, printing and packaging printing, plastics and rubber products, artificial leather manufacturing, leather tanning, burning of fossil fuels, manufacturing of basic chemical raw materials, electronics manufacturing, adhesives manufacturing, and furniture manufacturing are key industries in Jiangmen, each of which emit more than 1000 t of VOCs annually. The main emission sources in Pengjiang, Jianghai, and Heshan are industrial, which account for more than 50% of emissions in each of these districts, whereas the main emission sources in Enping and Taishan are agricultural. Districts and county-level cities will be able to achieve better emission reduction by using the local VOC inventory in the formulation of VOC emission reduction policies.

Key words: VOCs; emission factors; emission inventory; key industry; Jiangmen City

挥发性有机物(VOCs)是近地面臭氧(O₃)和二次有机气溶胶(SOA)的重要前体物^[1,2],它在光照条件下和大气中的OH反应,生成O₃^[3],污染环境空气并对人体健康造成危害^[4]。近年国家高度重视VOCs的污染防治^[5~7],VOCs排放清单的建立对于开展区域污染模拟研究以及制定相应的减排策略具有重要意义^[2,8]。国家以及地区尺度的排放清单研究较早,如刘金凤等^[9]以2000年为基准年,运用排放因子法,建立了全国县级水平人为源VOCs排放清单。Zheng等^[10]编制了2006年珠三角的VOCs排放清单,但是由于年代相隔较远,VOCs的排放水平

出现了很大差别,不足以作为当前VOCs防治政策制定的依据,需要进行数据的更新和排放源的细化。我国城市级的排放清单的编制研究开展较晚,排放源识别的完整性尚需加强。李璇等^[11]编制了2010年宁波市的人为源VOCs排放清单,但其涵盖的排放源尚不完善,如非道路移动源中未包含船舶污染

收稿日期: 2017-08-21; 修订日期: 2017-11-05

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201409019); 中央高校基本科研业务费专项(2014ZM0068)

作者简介: 陈小方(1993~),女,硕士研究生,主要研究方向为挥发性有机物排放特征与排放清单,E-mail:744370541@qq.com

* 通信作者,E-mail:cedqye@scut.edu.cn

源的排放. 闫东杰等^[12]以 2014 年为基准年, 使用排放因子法建立了西安市分行业的 VOCs 排放清单, 但缺少汽修、农药使用等排放源. 故需要建立更加详细的源分类方式研究小尺度精细化人为源 VOCs 排放清单.

江门市位于广东省中南部, 是珠三角重要城市. 近年来, 随着工业和现代化的发展, 江门市, 臭氧达标天数比例不断下降^[13,14], 对臭氧污染的防控成为江门市解决大气环境质量问题的重中之重. 为了缓解这种现象, 急需对臭氧的前体物 VOCs 进行管控, 建立人为源 VOCs 排放清单, 掌握江门市的重点排放源情况, 制定精细化管控政策.

本研究以 2014 年为基准年, 结合国内外当前对人为源 VOCs 清单编制的研究成果, 将人为源分为工业源、移动源、生活源和农业源四大类, 根据江门市的统计数据 and 实地调研结果, 采用“自上而下”和“自下而上”结合的排放因子法建立江门市人为源 VOCs 排放清单, 以期为江门市制定相关的 VOCs 污染防治政策提供科学支持, 同时也为其他城市的 VOCs 排放清单研究及防控政策的制定提供参考.

1 材料与方法

1.1 研究范围和估算方法

本研究范围包括江门市下属的蓬江区、江海区和新会区 3 个市辖区以及鹤山市、台山市、开平市、恩平市 4 个县级市. 为了方便基层地市分部门进行精细管理, 本研究将江门市的 VOCs 排放源分为工业源、移动源、生活源和农业源, 估算方式可概括为公式(1):

$$E_{ij} = \sum_j EF_j \times A_{ij} \quad (1)$$

式中, i 为区/县级市, j 为排放源, E 为排放量, EF 为排放因子, A 为排放源的活动水平.

1.2 活动水平

1.2.1 工业源

根据江门市的实际情况, 采用“源头追踪”的思路, 按照 VOCs 物质在整个工业活动中的流动过程, 将所有工业排放源分为 4 个环节, 包括 VOCs 的生产、储存和运输、以 VOCs 为原料的工艺过程以及含 VOCs 产品的使用环节^[15]. VOCs 的生产指的是生产 VOCs 产品过程的排放源, 包含基础化学原料制造业, 其活动水平为基础化学原料的产量, 通过发放工业企业调查表获取; 储存和运输指的是石油类产品在储存、运输和销售过程的 VOCs 排放源, 包含汽油、柴油以及燃料油的储存和运输, 活动水平

为江门市该类型油品的消费量, 通过查询 2015 年江门市统计年鉴^[16]获取; 以 VOCs 为原料的工艺过程包含涂料油墨及类似产品制造业、胶黏剂制造业、合成纤维制造业、医药制造业、专用化学产品制造业、合成树脂制造业、植物油加工业, 其活动水平为产品的产量, 通过发放工业企业调查表获取; 含 VOCs 产品的使用包含工业化石燃料燃烧、摩托车制造业、集装箱制造业、印刷及包装印刷业、塑料及橡胶制品业、人造革/合成革制造业、皮革鞣制加工业、电子制造业、家具制造业、金属制品业、家电制造业、船舶制造业、人造板制造业、汽车制造业、机械设备制造业、城市轨道交通设备制造业、制鞋业及其他办公用品制造业共 18 个行业, 其活动水平为燃料燃烧量、产品产量或涂料、油墨、胶黏剂及其他溶剂的使用量, 通过发放工业企业调查表获取.

1.2.2 移动源

本研究将移动源分为道路移动源和非道路移动源. 道路移动源包括大型载客汽车、小型载客汽车、重型载货汽车、轻型载货汽车以及摩托车, 其活动水平获取方法如公式(2):

$$A_{\text{移动源}} = VMT_{ik} \times E_{ik} \quad (2)$$

式中, i 为区县, k 为汽车类型, A 为汽车年行驶公里数, VMT 为汽车的年均行驶里程, E 为汽车保有量. 其中汽车保有量通过文献^[16]获取, 年均行驶里程参考文献^[17].

非道路移动源包括农用机械、工程机械和船舶, 活动水平选用燃油消耗量. 其中农用机械和工程机械的燃油消耗量由机械总动力^[16]、平均工作时间以及燃油单耗量^[18]计算得到; 船舶的燃油消耗量由客运(每位旅客的体重按 60 kg 计)和货运周转量^[16]以及燃油单耗量^[18]计算得到.

1.2.3 生活源

本研究中生活源包括家庭溶剂使用、机动车维修、干洗、建筑装饰、餐饮油烟和环境管理等, 其中家庭溶剂使用的活动水平为各区人口数通过查询文献^[16]获取, 干洗活动水平为干洗剂的使用量、机动车维修为涂料及稀释剂的使用量, 均通过发放调查表调研获取; 建筑装饰活动水平为建筑涂料的使用量, 通过江门市房屋竣工面积占全国比例以及全国建筑涂料产量计算获取, 其中水性化和溶剂型涂料的比例按照 8:2 计^[19]; 餐饮油烟活动水平为各区人口数, 由文献^[16]获取; 环境管理包含固体废物的处理和废水处理, 固体废物处理活动水平为垃圾

填埋、焚烧和堆肥的量,来源于文献[20],废水处理活动水平为废水处理量,通过全国投运城镇污水处理设施清单^[21]获取。

1.2.4 农业源

本研究中农业源包括生物质(秸秆)露天燃烧、生物质燃料(秸秆和薪柴)燃烧和农药使用3个来源,其中秸秆燃烧的活动水平可用公式(3)计算

$$A_{i,j} = \sum (P_{i,j} \times N_j \times B_i \times \eta) \quad (3)$$

式中, i 为区/县级市, j 为作物类型, P 为作物产量, N 为谷草比, B 为秸秆焚烧的比例, η 为燃烧效率;作物产量由文献[16]获取,江门市作物种类包含稻谷、玉米、薯类、大豆、甘蔗、油料等6类,谷草比参考文献[12],秸秆露天焚烧和燃料燃烧比例分别为

30%和55%,燃烧效率分别为88.9%和100%^[22]。薪柴活动水平通过历年中国农村统计年鉴数据^[23]外推后根据区域森林面积比例分配得到。农药使用的活动水平为农药的年消耗量,由文献[16]获取。

1.3 排放因子

排放因子的准确选取有助于降低清单的不确定性^[24],本研究中的排放因子优先选取实地监测计算得到的排放因子,具体计算方法参考文献[25,26],其次综合文献以及现存各排放因子数据库选取。经过实地调研发现,多数企业尚未建设VOCs控制措施或建设了但并未起到实际作用,故在估算过程中使用的排放因子均未考虑控制措施影响。本文涉及的人为源VOCs排放因子汇总如表1。

表1 人为源VOCs排放因子汇总/kg·t⁻¹

Table 1 VOCs emission factors of different anthropogenic emission sources/kg·t⁻¹

排放源	排放子源	活动水平	排放因子 ¹⁾	
VOCs的生产 储存和运输	基础化学原料制造	苯/甲醇/丙烯酸乙酯/乙酸乙酯/甲醛/其他物质产量	0.55/5.55 ^[27] /14.55 ^[27] /0.55 ^[27] /15.65 ^[27] /10 ^[27]	
		汽油/柴油/燃料油消费量	4.54 ^[27] /2.46 ^[27] /2.46 ^[27]	
	涂料油墨及类似产品制造业	溶剂型涂料/水性涂料/油墨/颜料/其他类似品产量	15/5.379 ^a /50/81.4/15	
		塑料制品业	产品产量	0.539 ^[27]
	橡胶制品业	轮胎条数/其他橡胶产品产量	0.91/8 ^[27]	
		胶黏剂制造业	水基/三醛基胶黏剂产量	0.5 ^[27] /8 ^[27]
	以VOCs为原料的工艺过程	合成纤维制造业	锦纶/涤纶/腈纶/丙纶/氨纶/维纶/其他合成纤维产量	3.39 ^[27] /3.75 ^[28] /125.1 ^[28] /7.7 ^[28] /40 ^[27] /37.1 ^[28] /145.2 ^[28]
		医药制造业	药品产量	114.14 ^[28]
		专用化学产品制造业	化学品产量	10 ²⁾
	工业源	合成树脂制造业	高密度PE/线性PE/低密度PVC/PS/PP/ABS	5.7/10/10/0.7448/5.4/3/1.4 ^[32]
植物油加工业		玉米油/棉花籽油/花生油/大豆油/非食用植物油产量	9.35/8.75/10.35/2.45/9.165	
工业化石燃料燃烧		煤/燃料油消耗量	0.18 ^[27] /0.15 ^[27]	
摩托车制造业		摩托车产量	1.8 kg·辆 ⁻¹	
集装箱制造业		集装箱产量	67 kg·TEU ⁻¹ ^[27]	
印刷及包装印刷业		溶剂型油墨/水性油墨/汽油清洗剂/软包装胶黏剂/其他胶黏剂用量	750/100/1 000/1 385/89	
人造革/合成革制造业		PU浆料用量	245 ^[27]	
皮革鞣制加工业		成品皮/革加工产量	0.07 ^a /0.182 ^[27] kg·m ⁻²	
含VOCs产品的使用		电子制造业	漆包线/覆铜板/集成电路/印制电路板产量	24.75 ^[29] /0.1 kg·m ⁻² /0.070 9 kg·万块 ⁻¹ /0.026 kg·m ⁻²
		家具制造业	家具产量	0.4 kg·件 ⁻¹
	金属制品业	涂料用量	50 ^[27]	
	家电制造业	涂料用量	50 ^[27]	
	船舶制造业	船舶吨位	85 t·(×10 ⁴ 载重 t) ⁻¹ ^[27]	
	人造板制造业	人造板(胶合板/纤维板/刨花板)产量	0.000 5 kg·m ⁻³	
	汽车制造业	轿车/大车产量	2.43/20 kg·辆 ⁻¹	
	机械设备制造业	卷材涂料/防腐涂料/装配用胶黏剂用量	455 ^[27] /440 ^[27] /89 ^[27]	
	城市轨道交通设备制造业	涂料用量	470 ^[27]	
	制鞋业	鞋产量	0.06 kg·件 ⁻¹	

续表 1

排放源	排放子源	活动水平	排放因子 ¹⁾	
移动源	大型载客汽车	国 1 前/国 1/国 2/国 3/国 4 及以上行驶里程数	1.128/0.988/0.698/0.697/0.091 g·km ⁻¹	
	小型载客汽车		3.243/0.591/0.342/0.148/0.095 g·km ⁻¹	
	重型载货汽车		1.356/0.293/0.239/0.264/0.037 g·km ⁻¹	
	轻型载货汽车		4.064/0.554/0.228/0.133/0.079 g·km ⁻¹	
	摩托车		2.013/1.578/0.739/0.568/0.568 g·km ⁻¹	
非道路移动源	农业机械	燃油消耗量	18.3	
	工程机械		18.3	
	船舶		6.2	
生活源	生活化石燃料燃烧	煤	消费量	0.6
		燃料油		0.35
		煤气		0.000 44
		液化石油气		0.36
		天然气		0.13
	环境管理	固体废物焚烧	焚烧量	0.74
		固体废物堆肥	堆肥量	0.74
		固体废物填埋	填埋量	0.23
	居民生活消费	废水处理	废水处理量	0.001 1
		日常溶剂使用	城市/农村人口数	0.5/0.1 kg·(人·a) ⁻¹
		干洗	干洗剂用量	1 000
	建筑装饰	汽车维修	涂料用量	470 ^[27]
			水性涂料/溶剂型涂料用量	120/450
	餐饮油烟		人口数	0.003 5 kg·(人·a) ⁻¹
	农业源	生物质露天燃烧	秸秆燃烧	秸秆燃烧量	9.74^{[29]}
生物质燃料燃烧		秸秆燃烧	稻谷/玉米/薯类/大豆/甘蔗/油料燃烧量	8.4 ^[30] /7.34 ^[30] /7.97 ^[30] /7.97 ^[30] /7.97 ^[30] /
		薪柴燃烧	薪柴燃烧量	7.97 ^[30]
农药使用		农药使用	农药施用量	5.3
			415 ^[31]	

1) 未标注因子来源于文献[32]; 2) 为实测排放因子

2 结果与讨论

2.1 分行业人为源 VOCs 排放分析

江门市 2014 年人为源 VOCs 排放总量约为 75.09 kt, 各个排放源占比如图 1 所示, 四大源的排放量及占比从大到小分别为, 工业源 41.37 kt, 占比 55.09%, 移动源 19.16 kt, 占比 25.51%, 农业源 11.07 kt, 占比 14.74%, 生活源 3.50 kt, 占比 4.65%.

2.1.1 工业源

工业源 VOCs 排放量大, 排放细分行业最多, 排放特征最为复杂. 按照“源头追踪”思路, 工业源四大环节 VOCs 的生产、储存和运输、以 VOCs 为原料的工艺过程以及含 VOCs 产品的使用环节 VOCs 排放占比分别为 4.78%、1.59%、31.92% 和 61.71%. 第一环节 VOCs 排放集中在基础化学原料制造业, 第二环节集中在油品储存运输和销售中, 此处不另行分析, 第三、四环节 VOCs 排放行业较为复杂, 详情如图 2.

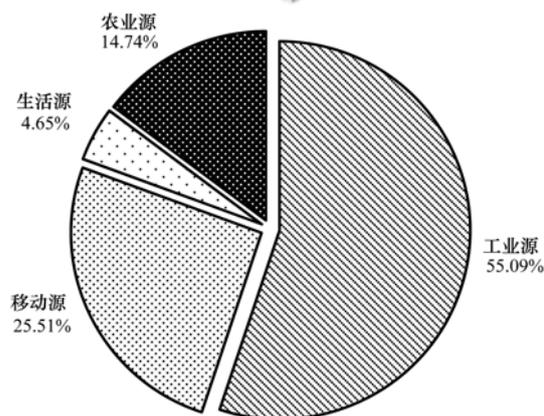


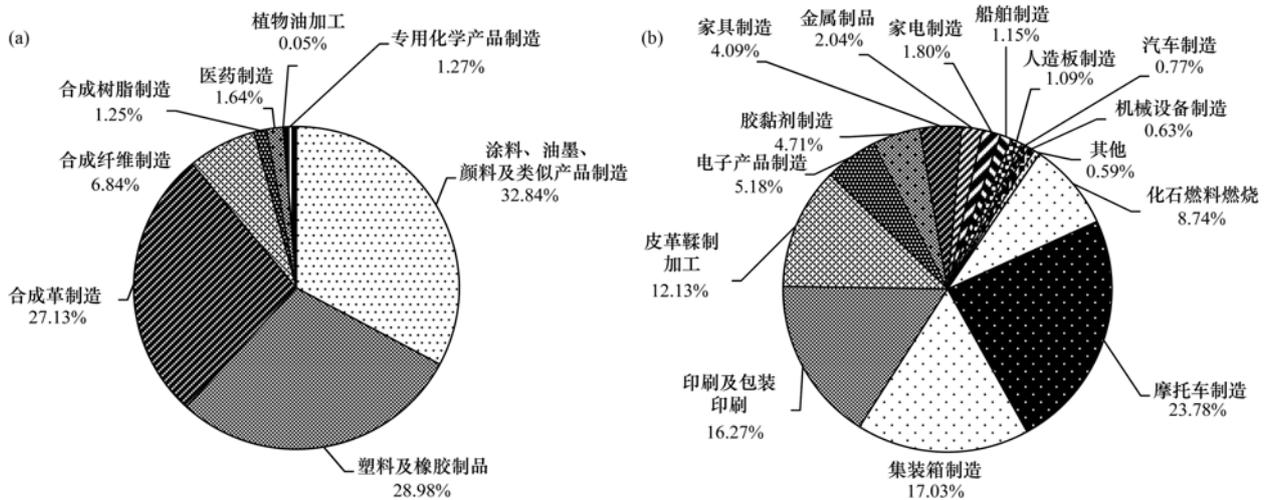
图 1 江门市各类人为源 VOCs 排放占比
Fig. 1 Contributions to anthropogenic VOCs emission by source category in Jiangmen City

“以 VOCs 为原料的工艺过程”环节中, 涂料、油墨、颜料及类似产品制造、塑料及橡胶制品、合成革制造行业的 VOCs 排放量均超过 1000t, 且这 3 个行业的 VOCs 排放总量超过本环节 VOCs 排放总量 85%, 为本环节中的重点排放行业. 江门市下属

有大型制漆厂、国内最大民营涂料制造集团公司,涂料及类似品年产量超过 25 万 t,占广东省涂料产量的 1/3.

“含 VOCs 产品的使用”环节包含行业更多,本环节排放量超过 1 000 t 的行业有 8 个,分别为摩托车制造、集装箱制造、印刷及包装印刷、皮革鞣制加工、化石燃料燃烧、电子产品制造、胶黏剂制造、家具制造行业,分别占本环节 VOCs 排放总量的 23.78%、17.03%、16.27%、12.13%、8.74%、5.18%、4.71% 和 4.09%。摩托车制造业是江门市

的支柱产业之一,作为全国摩托车产量最大的地级市,2014 年江门市摩托车产量超过 200 万辆,在生产摩托车时的机壳及零部件喷涂环节会产生大量 VOCs,且现场调研发现部分企业的废气收集效率不高,治理设施运行效果差,导致大量 VOCs 直接排放.集装箱制造、电子产品制造、家具过程中大部分仍使用溶剂型涂料和胶黏剂,VOCs 含量高、排放量大,污染明显;印刷及包装印刷过程无溶剂印刷工艺和无溶剂油墨普及率低,大部分企业 VOCs 台账记录不清,管理粗放.



(a) 第三环节“以 VOCs 为原料的工艺过程”各行业 VOCs 排放占比; (b) 第四环节“含 VOCs 产品的使用”各行业 VOCs 排放占比

图 2 工业源第三、四环节中各行业 VOCs 排放占比

Fig. 2 Subsector contributions of the third and the fourth sources in the industrial sources

2.1.2 移动源

如图 3,移动源中各子行业的 VOCs 排放量分别为摩托车 13.85 kt,小型载客汽车 2.92 kt,农业机械 0.66 kt,轻型载货汽车 0.61 kt,工程机械 0.43 kt,大型载客汽车 0.30 kt,船舶 0.24 kt 和重型载货汽车 0.13 kt.排放量最大的为摩托车,占移动源总排放的 72.43%,这和江门市摩托车行业的蓬勃发展密不可分,2014 年全市摩托车保有量超过 200 万辆,同时由于全市 77% 以上摩托车排放仍执行国三或以前标准,排放因子较大,故排放总量最高,应加以重点管理.另外江门市农业机械、工业机械和船舶等非道路移动源的排放占移动源总排放的 6.84%,我国各地对非移动源 VOCs 排放的管理基础普遍薄弱,排放清单的建立有助于对其进行有效管理进而减排.

2.1.3 生活源和农业源

尽管生活源和农业源的总排放量占比不超过人为源总排放量的 20%,但是仍然有许多减排的空

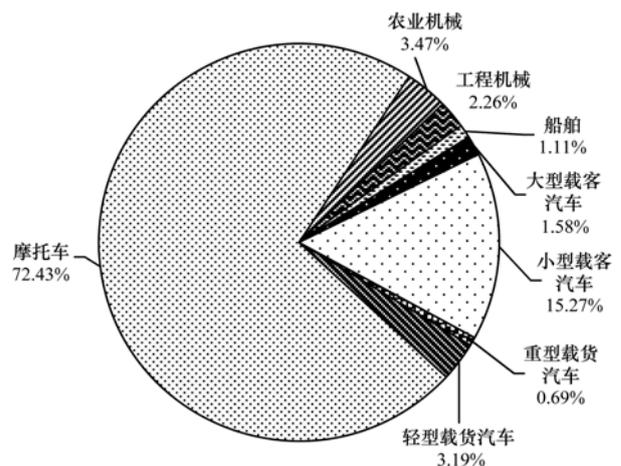


图 3 移动源各行业 VOCs 排放占比

Fig. 3 Subsector contributions of the mobile sources

间,如图 4,生活源中建筑装饰排放 VOCs 量最大,为 1.71 kt,占生活源总排放量的近一半,在辖区内加大推广使用水性建筑涂料可有效减少生活源 VOCs 的排放.农业源 VOCs 的排放主要来自于生物质的

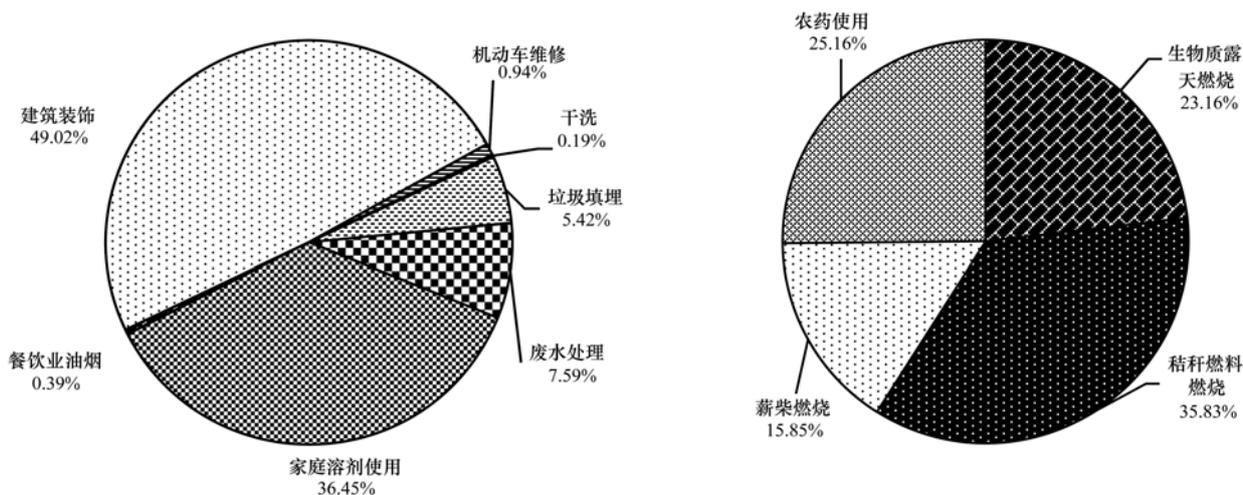


图 4 生活源和农业源各行业 VOCs 排放占比

Fig. 4 Subsector contributions of the life and agricultural sources

燃烧,其中露天燃烧占比 23.16%,严重污染大气,对公共交通运输安全构成威胁,埋下火灾隐患,应全面禁止露天燃烧。

2.2 分地区人为源 VOCs 排放分析

2014 年江门市各区和县级市的人为源 VOCs 排放量分别为:蓬江区 20.00 kt、江海区 9.70 kt、新会区 13.83 kt、台山市 8.57 kt、开平市 8.52 kt、鹤山市 11.63 kt、恩平市 2.84 kt,各地区占比如图 5 所示,蓬江区对江门市的人为源 VOCs 排放贡献最大,占比 26.64%,其后为新会区、鹤山市、江海区、开平市、台山市和恩平市,占比分别为 18.41%、15.49%、12.91%、11.42%、11.34%和 3.78%。这与各区县的人口密度与经济发展程度密切相关,排放量大的多为人口密度大,经济发展较快的地区。各区和县级市内人为源 VOCs 的排放特征如图 6,蓬江

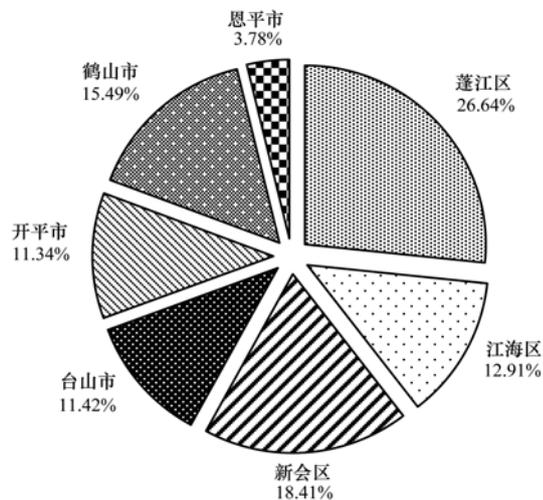


图 5 江门市人为源 VOCs 排放量地区分布

Fig. 5 Contributions to anthropogenic VOCs emission by district category in Jiangmen City

区、江海区 and 鹤山市的工业源排放占比均超过 50%,是这 3 个地区内的首要污染源,和当地发达的工业发展程度符合。恩平市和台山市等则以农业源排放为主,占比分别为当地人为源排放的 66.20%和 45.17%,这两地 2014 年总作物产量均超过 40 万 t,农业发展形势良好,大量农药的使用以及农作物的秸秆燃烧也会带来相当量的 VOCs 排放。

2.3 清单不确定性分析

在进行排放清单估算时,不确定性因素主要有两个:①活动水平数据获取,本研究中工业源活动水平数据通过企业填报调查表获取,部分小企业或未登记企业未进行填报,此外部分企业管理粗放,填报时的活动水平数据为估算结果,也存在一定误差。移动源中部分活动水平数据通过客运量、货运周转量等间接计算得到,计算过程需要进行必要的估算,如乘客体重全部以每人 60 kg 计算。生活源中由于活动水平数据缺乏,未考虑市政工程(修桥、道路标示)涂料的使用,另外部分活动水平数据仅存在于国家统计层面,需要进行相关分配才能得到江门市的数据,以上都会导致活动水平不确定性进而造成排放清单的不确定性;②排放因子的选取,尽管本研究已优选最新文献或国内研究的排放因子,但由于不同地方,甚至不同企业的排放因子都会根据生产工艺控制水平的不同而实际存在,所以也会造成排放清单的不确定性。利用蒙特卡洛法对主要 VOCs 排放源进一步定量分析^[24,33,34],结果如表 2。在主要的 VOCs 排放源中,工业源的不确定性整体较小,这是由于其活动水平直接来源于实地调研统计数据且排放因子得到广泛认可,移动源的不确定性较大是由于其活动水平经过转化系数估算得到,不确定度

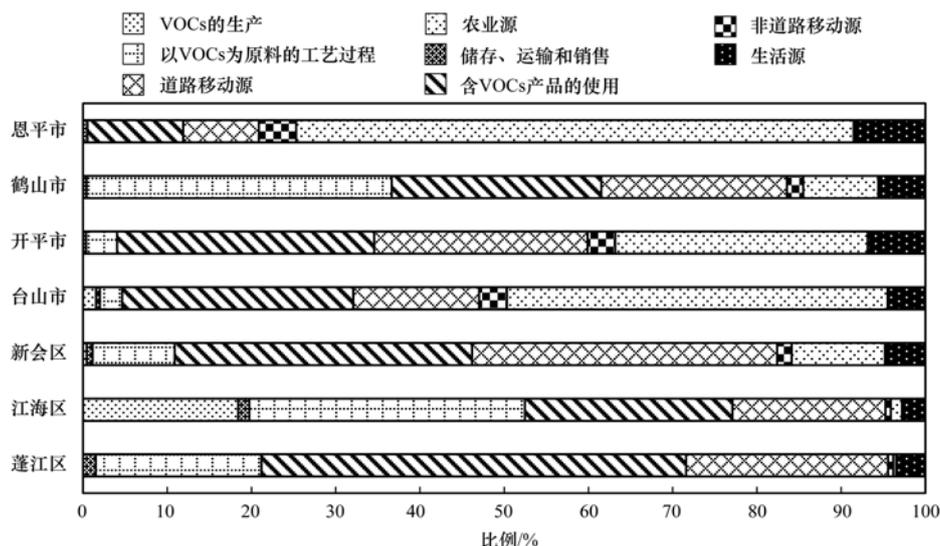


图6 江门市各区市内人为源 VOCs 排放特征

Fig. 6 Characteristics of anthropogenic VOCs emission by source category for each district of Jiangmen City

较大,另外生活源和农业源不确定性也较大原因是生活源和农业源中许多必要的活动水平数据如建筑装饰用涂料、生物质燃烧量等都要经过全国数据分配得到,大大增加了清单的不确定性.为了减少清单的不确定性,建议加强本土化排放因子的研究和本地 VOCs 排放源数据的收集统计工作.

表2 江门市人为源 VOCs 排放清单不确定性

Table 2 Uncertainties of anthropogenic VOCs emission inventory in Jiangmen City

排放源	子源	不确定度范围/%
工业源	VOCs 的生产	-71 ~ 94
	储存、运输和销售	-98 ~ 103
	以 VOCs 为原料的工艺过程	-50 ~ 124
	含 VOCs 产品的使用	-92 ~ 98
移动源	道路移动源	-96 ~ 181
	非道路移动源	-84 ~ 184
生活源	/	-110 ~ 125
农业源	/	-101 ~ 310

3 结论

(1)江门市 2014 年人为源 VOCs 排放总量约为 75.09kt,工业源、移动源、农业源和生活源 VOCs 排放量为 41.37、19.16、11.07 和 3.50kt,占比分别为 55.09%、25.51%、14.74% 和 4.65%.

(2)工业源四大环节中,“含 VOCs 产品的使用”环节排放量最大,占工业源排放量的 61.71%.摩托车制造、集装箱制造、涂料、油墨、颜料及类似产品制造、印刷及包装印刷、塑料及橡胶制品、人造革制造、皮革鞣制加工、化石燃料燃烧、基础化学原料制造、电子制造、胶黏剂制造、家具制造等行业的 VOCs 排放量均超过 1000t,为江门市重点

VOCs 排放行业.移动源中排放量最大的为摩托车排放,约为 13.85kt,占移动源总排放的 72.43%.

(3)2014 年江门市各区域人为源 VOCs 排放量由大到小分别为:蓬江区(20.00 kt, 26.64%)、新会区(13.83 kt, 18.41%)、鹤山市(11.63 kt, 15.49%)、江海区(9.70 kt, 12.91%)、开平市(8.52 kt, 11.42%)、台山市(8.57 kt, 11.34%)和恩平市(2.84 kt, 3.78%),蓬江区、江海区、鹤山市等工业源排放占比超过 50%,而恩平市、台山市等地农业源排放为 50%左右,VOCs 排放各源的贡献率大不相同,各区和县级市在进行 VOCs 减排政策制定时要针对本土化的 VOCs 清单特征,进行精细化管控,才能取得较好减排效果.

参考文献:

- [1] Ran L, Zhao C S, Xu W Y, *et al.* VOC reactivity and its effect on ozone production during the HaChi summer campaign [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11** (10): 4657-4667.
- [2] Wu R R, Xie S D. Spatial distribution of ozone formation in China derived from emissions of speciated volatile organic compounds [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, **51** (5): 2574-2583.
- [3] Hofzumahaus A, Rohrer F, Lu K D, *et al.* Amplified trace gas removal in the troposphere [J]. *Science*, 2009, **324** (5935): 1702-1704.
- [4] Kota S H, Park C, Hale M C, *et al.* Estimation of VOC emission factors from flux measurements using a receptor model and footprint analysis [J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **82**: 24-35.
- [5] 国务院. 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知 [EB/OL]. http://www.gov.cn/zwjk/2013-09/12/content_2486773.htm, 2013-09-12.
- [6] 工业和信息化部, 财政部. 两部委关于印发重点行业挥发性

- 有机物削减行动计划的通知[EB/OL]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5137974/content.html>, 2016-07-13.
- [7] 国务院. 国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/05/content_5143290.htm, 2016-12-05.
- [8] Liang X M, Chen X F, Zhang J N, *et al.* Reactivity-based industrial volatile organic compounds emission inventory and its implications for ozone control strategies in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2017, **162**: 115-126.
- [9] 刘金凤, 赵静, 李焱焱, 等. 我国人为源挥发性有机物排放清单的建立[J]. *中国环境科学*, 2008, **28**(6): 496-500.
Liu J F, Zhao J, Li T T, *et al.* Establishment of Chinese anthropogenic source volatile organic compounds emission inventory [J]. *China Environmental Science*, 2008, **28**(6): 496-500.
- [10] Zheng J Y, Zhang L J, Che W W, *et al.* A highly resolved temporal and spatial air pollutant emission inventory for the Pearl River Delta region, China and its uncertainty assessment [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(32): 5112-5122.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 广东省环境保护厅. 2015 年广东省环境状况公报[EB/OL]. http://www.gdep.gov.cn/hjce/gb/2015ngdjhjgb/201606/t20160608_211863.html, 2016-06-08.
- [14] 广东省环境保护厅. 广东省城市环境空气质量状况(2016 年)[EB/OL]. http://zwgk.gd.gov.cn/006940060/201701/t20170122_691042.html, 2017-01-20.
- [15] Qiu K Q, Yang L X, Lin J M, *et al.* Historical industrial emissions of non-methane volatile organic compounds in China for the period of 1980-2010 [J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **86**: 102-112.
- [16] 江门市统计局. 2015 年江门市统计年鉴[EB/OL]. http://tj.jiangmen.gov.cn/tjsj/tjnj/201606/t20160613_329279.html, 2015-12-16.
- [17] 刘永红, 姚达文, 黄建彰. 珠三角地区机动车排放清单建立与来源分析[J]. *环境科学与技术*, 2015, **38**(6P): 458-463.
Liu Y H, Yao D W, Huang J Z. Vehicle exhaust emissions inventory and characteristics in the Pearl River Delta Region [J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, **38**(6P): 458-463.
- [18] 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)[EB/OL]. <http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201501/W020150107594587960717.pdf>, 2014-12-31.
- [19] 我国建筑水性涂料应用现状及发展趋势[J]. *乙醛醋酸化工*, 2016, (7): 42.
- [20] 江门市环保局. 《2014 年江门市固体废物污染防治信息》[EB/OL]. http://hbj.jiangmen.gov.cn/thirdData/wrygk/wrfz/ndgfwrfzgb/201708/t20170826_37957.html, 2015-06-16.
- [21] 环境保护部. 关于公布 2014 年全国城镇污水处理设施名单的公告[EB/OL]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201506/t20150609_303209.htm, 2015-05-26.
- [22] 田贺忠, 赵丹, 王艳. 中国生物质燃烧大气污染物排放清单[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(2): 349-357.
Tian H Z, Zhao D, Wang Y. Emission inventories of atmospheric pollutants discharged from biomass burning in China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, **31**(2): 349-357.
- [23] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴 2012 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [24] 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.
- [25] 肖景方, 叶代启, 刘巧, 等. 消费电子产品生产过程中挥发性有机物(VOCs)排放特征的研究[J]. *环境科学学报*, 2015, **35**(6): 1612-1619.
Xiao J F, Ye D Q, Liu Q, *et al.* Emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from the manufacturing process of consumer electronic products [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(6): 1612-1619.
- [26] 何梦林, 王旒, 陈扬达, 等. 广东省典型电子工业企业挥发性有机物排放特征研究[J]. *环境科学学报*, 2016, **36**(5): 1581-1588.
He M L, Wang N, Chen Y D, *et al.* Emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from electronic manufacturing factory of Guangdong Province [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, **36**(5): 1581-1588.
- [27] 邱凯琼. 工业源挥发性有机物减排潜力及其对空气质量的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [28] 公私场所固定源申报空气污染防治费之挥发性有机物排放量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[S]. 环署空字第 0960014388A 号, 2007.
- [29] 王宇楠, 叶代启, 林俊敏, 等. 漆包线行业挥发性有机物(VOCs)排放特征研究[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(6): 980-987.
Wang Y N, Ye D Q, Lin J M, *et al.* A study on emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from enameled wire industry [J]. *China Environmental Science*, 2012, **32**(6): 980-987.
- [30] Wang S X, Wei W, Du L, *et al.* Characteristics of gaseous pollutants from biofuel-stoves in rural China [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(27): 4148-4154.
- [31] 杨益军. 我国农药需求状况和趋势分析[J]. *中国农药*, 2015, **11**(4): 47-50.
- [32] 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)[EB/OL]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288364.htm, 2014-08-19.
- [33] Abdel-Aziz A, Frey H C. Quantification of hourly variability in NO_x emissions for baseload coal-fired power plants [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2003, **53**(11): 1401-1411.
- [34] El-Fadel M, Zeinati M, Ghaddar N, *et al.* Uncertainty in estimating and mitigating industrial related GHG emissions [J]. *Energy Policy*, 2001, **29**(12): 1031-1043.

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (477)
VOCs Emission from Motor Vehicles in China and Its Impact on the Atmospheric Environment	CHEN Tian-zeng, GE Yan-li, LIU Yong-chun, <i>et al.</i> (478)
Quantification of the Influence of Industrial Emissions on Volatile Organic Compounds (VOCs) Using PMF Model; A Case Study of Jiangbei Industrial Zone in Nanjing .....	..... HU Kun, WANG Ming, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (493)
Source Analysis of Volatile Organic Compounds in the Nanjing Industrial Area and Evaluation of Their Contribution to Ozone	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, WANG Jun-xiu, <i>et al.</i> (502)
Ozone Formation Potential and Priority Species of VOCs in an Industrial Park	WU Lei-dan, WANG Xiu-yan, YANG Wen, <i>et al.</i> (511)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of a Petrochemical Industrial Park During Autumn in China	HU Tian-peng, LI Gang, MAO Yao, <i>et al.</i> (517)
Characteristics of VOCs Pollution in the Winter Atmosphere of a Typical Petrochemical Industry Park	MAO Yao, LI Gang, HU Tian-peng, <i>et al.</i> (525)
Emission Inventory and Pollution Characteristics of Industrial VOCs in Hangzhou, China	LU Bin, HUANG Cheng, LU Qing, <i>et al.</i> (533)
Industrial VOCs Emission in Qinhuangdao	HU Xiao-yu, LIU Hang, WANG Nai-yu, <i>et al.</i> (543)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Auto/motorcycle Parts & Accessories Manufacturing in Zhejiang Province .....	..... YANG Zhong-ping, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (551)
Stench Sources and Impact Analysis in Automobile Making	SHI Tian-li, ZHANG Wei-xia, CHEN Xiao-fang, <i>et al.</i> (557)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs Fugitively Emitted from Typical Brewers	GAO Zhan-qi, HU Guan-ju, WANG Hui, <i>et al.</i> (567)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in Chengdu	LI You-ping, TANG Ya, FAN Zhong-yu, <i>et al.</i> (576)
Indoor Formaldehyde and Benzene Series in Shanghai Residences and Their Associations with Building Characteristics and Lifestyle Behaviors .....	..... JIANG Qiao-yun, LIU Ping-ping, WANG Xue-ying, <i>et al.</i> (585)
Emission Inventory of Anthropogenically Sourced VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Jiangsu Province	XIA Si-jia, LIU Qian, ZHAO Qiu-yue (592)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs in Jiangmen City	CHEN Xiao-fang, ZHANG Wei-xia, CHEN Bing-xu, <i>et al.</i> (600)
Emissions, Chemical Composition, and Spatial and Temporal Allocation of the BVOCs in the Yangtze River Delta Region in 2014	LIU Yan, LI Li, AN Jing-yu, <i>et al.</i> (608)
VOCs Emission Inventory of Service Stations in a Subcenter (Tongzhou District) of the City of Beijing	HUANG Yu-hu, HU Wei, LI Bei-bei, <i>et al.</i> (618)
Pollutant Emissions from Diesel Buses Fueled with Waste Cooking Oil Based Biodiesel	HU Zhi-yuan, LIN Biao-qi, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (626)
Treatment of the Waste Gas Containing Methyl <i>tert</i> -Butyl Ether via a Biotrickling Filter	CHU Qi-ying, YAO Lu-lu, LÜ Xiong-biao, <i>et al.</i> (633)
Composite CVOCs Removal in a Combined System of Nonthermal Plasma and a Biotrickling Filter	GUO Hai-qian, MIAO Jing-jing, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> (640)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Semi-volatile Organic Compounds (SVOCs) in Qiantang River's Hangzhou Section During a Water Odor Pollution Event	CHEN Feng, TANG Fang-liang, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (648)
Occurrence and Spatial Distribution of Volatile Organic Compounds in Urban Drinking Water Distribution Systems	XU Mei-jia, WANG Hai-liang, LI Chun-mei, <i>et al.</i> (655)
Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds for Different Commuting Modes .....	..... TONG Rui-peng, ZHANG Lei (663)
Source Analysis and Environmental Health Risk Assessment of VOCs in Furniture Manufacturing	TONG Rui-peng, ZHANG Lei, YANG Xiao-yi, <i>et al.</i> (672)
Spatio-temporal Distribution Characteristics of PM _{2.5} and Spatio-temporal Variation Characteristics of the Relationship Between PM _{2.5} and PM ₁₀ in Beijing .....	..... YANG Wen-tao, YAO Shi-qi, DENG Min, <i>et al.</i> (684)
Quantification of Methane Ebullition Flux from Small Ponds Using the Inverted-Funnel Method	ZHANG Xiu-fang, XIAO Wei, ZHANG Mi, <i>et al.</i> (691)
Contamination Levels and Exposure Risk via Drinking Water from Perfluoroalkyl Acids in Seven Major Drainage Basins of China .....	..... WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, WANG Yan-ping, <i>et al.</i> (703)
Spatio-temporal Distribution and Source Apportionment of Nitrogen in Rivers of Tieling	YANG Li-biao, LEI Kun, QIAO Fei, <i>et al.</i> (711)
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Rivers of Western Sichuan Plateau Based on EEM-PARAFAC Analysis .....	..... LIU Yan-yang, QIN Ji-hong, LIU Chen, <i>et al.</i> (720)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk of Surface Waters in the City of Ningbo, China	XU Mei-juan, BAO Bo, CHEN Chun-yan, <i>et al.</i> (729)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaoju Lake	WU Lei, LIU Gui-jian, ZHOU Chun-cai, <i>et al.</i> (738)
Spatial Distribution, Sources and Bioavailability of Heavy Metals in the Surface Sediments of Longjiang River, Southern China .....	..... LAN Xiao-long, NING Zeng-ping, XIAO Qing-xiang, <i>et al.</i> (748)
Mechanism on Enhanced Nitrogen Removal in Municipal Secondary Effluent via Internal-Electrolysis Constructed Wetlands at Low Temperature in Winter .....	..... ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, WANG Ju, <i>et al.</i> (758)
Dynamic Replenishment Process of Nutrients in Tributary of Channel Reservoir	XU Ya-qian, XU Piao, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (765)
Effect of the Rainfall on Extinction of Cyanobacteria Bloom and Its Mechanism Analysis	LIU Xin-yuan, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (774)
Relationship Between Macrophyte Communities and Macroinvertebrate Communities in an Urban Stream	QU Xiao-dong, YU Yang, ZHANG Min, <i>et al.</i> (783)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output in Runoff and Rainfall Runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir Area .....	..... ZHANG Lin, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (792)
Screening Method of Priority Control Pollutants in Groundwater Based on Contamination Assessment	ZHAO Peng, HE Jiang-tao, WANG Man-li, <i>et al.</i> (800)
Effect of Sulfur to Quartz Sand Ratios on the Removal of High-Concentration Perchlorate in Packed-Bed Reactors	TAO Hua-qiang, SHAO Dong-hai, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (811)
Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) by Activated Carbon/Macromolecule Composite Hydrogel	KONG Yan, ZHUANG Yuan, SHI Bao-you, <i>et al.</i> (819)
Adsorption Performance and Mechanism of HZO@SGH for the Removal of Fluoride from Aqueous Solution	MA Fu-zhen, ZHOU Shao-qi, LIU Ze-jun, <i>et al.</i> (828)
Mechanism of MgO/GAC Catalyzed Ozonation of Organic Compounds	XU Shan-shan, LIN Cun-wang, DING Ya-lei, <i>et al.</i> (838)
Ozonation Characteristics of Low Coagulability Organic Matter from the Secondary Effluent of WWTPs	HOU Rui, JIN Xin, JIN Peng-kang, <i>et al.</i> (844)
Quantitative Analysis of Dominant Pollutants in Secondary Effluent via Dye Probe Technology	MENG Xiao-rong, WANG Cong-hui, WANG Lei, <i>et al.</i> (852)
Lab-scale ANAMMOX Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (859)
Effect of Aeration Rate on Shortcut Nitrification Recovery in Intermittent Aeration Mode	LIU Hong, NAN Yan-bin, LI Hui, <i>et al.</i> (865)
Effect of Aerobic/Phosphorus Granules on Start-up of Partial Nitrification Granular Sludge	LI Dong, GUO Yue-zhou, CAO Mei-zhong, <i>et al.</i> (872)
Microbial Communities and Sludge Specific Resistance in Two SBRs Treating Leachate	CAI Li-yun, HUANG Ze-bin, XU Zi-wei, <i>et al.</i> (880)
Sources and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Urbanization Process of Topsoil	YAO Hong, ZHANG Shi-chao, LIU Ming-li, <i>et al.</i> (889)
Spatial Variability and Contamination of Arsenic in Soils of Xijiang River Basin	LIU Chang, SONG Bo, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (899)
Characterization of Phosphorus in Urban Surface Soils in Kaifeng City and Its Risk of Loss	BAI Xiu-ling, MA Jian-hua, SUN Yan-Li, <i>et al.</i> (909)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in a Soil-Rice System in an E-waste Dismantling Area	YIN Yi-meng, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i> (916)
Residue Levels and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Rice from Shanghai	MENG Yuan, LIU Cui-cui, QIU Yan-ling, <i>et al.</i> (927)
Effects of Tetracycline Antibiotics on Growth and Characteristics of Enrichment and Transformation in Two Vegetables	CHI Sun-lin, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (935)
Bioavailability of Silicon Fertilizer Coupled Water Management on Soil Bioavailability and Cumulative Control of Rice in Compound Contaminated Paddy Soils .....	..... LI Yuan-xing-lu, YE Chang-cheng, LIU Yu-ling, <i>et al.</i> (944)
Liver and Kidney Function of E-waste Dismantling Workers and Potential Influencing Factors	YAN Xiao, LI Shu-yuan, WANG Mei-huan, <i>et al.</i> (953)