

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

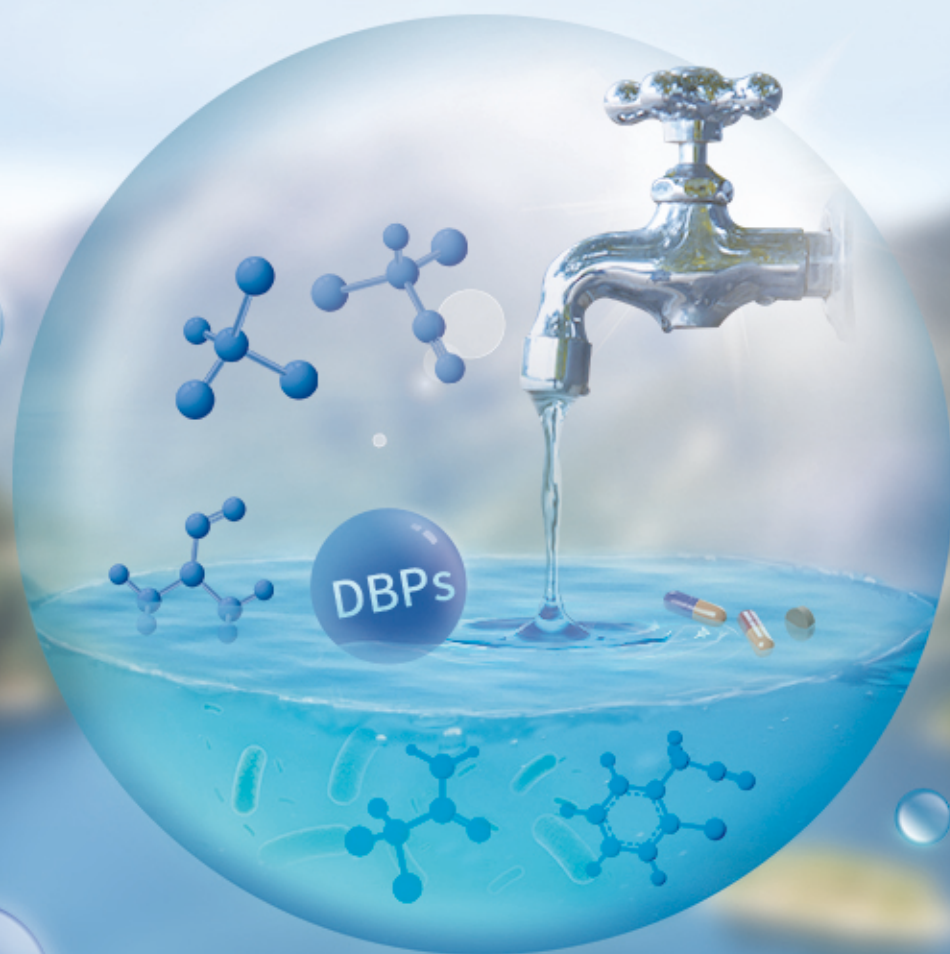
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

饮用水中的消毒副产物及其控制策略

楚文海, 肖融, 丁顺克, 张瑞华



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年11月

第42卷 第11期
Vol.42 No.11

目次

综述与专论

- 饮用水中的消毒副产物及其控制策略 楚文海, 肖融, 丁顺克, 张瑞华 (5059)
生物炭吸附硫化氢机制与影响因素研究进展 徐期勇, 梁铭坤, 许文君, 黄丹丹 (5086)

研究报告

- 1998~2016 中国八大经济区植被覆盖对 $PM_{2.5}$ 浓度时空分布的影响 杨玉莲, 杨昆, 罗毅, 喻臻钰, 孟超, 李岑 (5100)
COVID-19 疫情期间北京市两次重霾污染过程大气污染物演变特征及潜在源区分析 赵德龙, 田平, 周崑, 肖伟, 盛久江, 王飞, 杜远谋, 黄梦宇, 何晖, 丁德平 (5109)
汾渭平原临汾市 2019 年春节期间大气污染特征与来源解析 刘威杰, 胡天鹏, 毛瑶, 许安, 苏业旺, 李星谕, 程铖, 石明明, 梁莉莉, 邢新丽, 张家泉, 祁士华 (5122)
石家庄市大气污染物的季节性时空特征及潜在源区 聂赛赛, 王帅, 崔建升, 刘大喜, 陈静, 田亮, 贺博文, 沈梦宇 (5131)
天津市冬季空气湿度对 $PM_{2.5}$ 和能见度的影响 丁净, 唐颖潇, 郝天依, 姚青, 蔡子颖, 张裕芬, 韩素芹 (5143)
承德市 $PM_{2.5}$ 中碳质组分的季节分布特征及来源解析 贺博文, 聂赛赛, 王帅, 冯亚平, 姚波, 崔建升 (5152)
中国生活源挥发性有机物排放清单 梁小明, 陈来国, 沈国锋, 卢清, 刘明, 陆海涛, 任璐, 孙西勃, 林奎, 梁明易, 叶代启, 陶澍 (5162)
2011~2019 年中国工业源挥发性有机物排放特征 刘锐源, 钟美芳, 赵晓雅, 卢诗文, 田俊泰, 李银松, 侯墨, 梁小明, 黄皓旻, 范丽雅, 叶代启 (5169)
基于 LHS-MC 青岛市工业源 VOCs 排放清单及不确定性 徐琬莹, 付飞, 吕建华, 李瑞凡, 邵蕊, 和慧, 李淑芬, 左华 (5180)
典型橡胶制品业 VOCs 排放特征及对周边环境的影响 王海林, 辛国兴, 朱立敏, 薛松, 聂磊, 郝润 (5193)
沈阳市不同功能区挥发性有机物分布特征及臭氧生成潜势 库盈盈, 任万辉, 苏枫棋, 于兴娜 (5201)
天津城区夏冬季典型污染过程中 BTEX 变化特征及其健康风险评估 韩婷婷, 李颖若, 蒲维维, 姚青, 刘敬乐, 吴进, 张楠楠, 李梓铭, 马志强 (5210)
郑州市大气氨排放清单及驱动力分析 计尧, 王琛, 卢轩, 张欢, 尹沙沙 (5220)
基于 GAMs 模型分析成都市气象因子交互作用对 O_3 浓度变化的影响 张莹, 倪长健, 冯鑫媛, 王式功, 张小玲, 张家熙, 李运超 (5228)
长江干流表层水体悬浮物的空间变化特征及遥感反演 李建鸿, 黄昌春, 查勇, 王川, 尚娜娜, 郝维月 (5239)
河北省夏季降雨溶解性有机物光谱特征的空间分布、来源解析及氮素响应 张紫薇, 周石磊, 陈召莹, 张甜娜, 董宛佳, 甄瑞吟, 张馨童, 姚波, 崔建升 (5250)
城镇与城郊污染河道中 DOM 成分分布与影响因素 朱奔, 陈浩, 丁国平, 孙晓楠, 刘辉, 叶建锋 (5264)
北京城市河流河水和沉积物中微塑料的组成与分布 胡嘉敏, 左剑恶, 李颀, 谢珍雯, 陈磊 (5275)
太湖西岸地表水中极性有机污染物非靶向筛查与生态风险评估 卢昕妍, 王菲, 张丽敏, 任晓鸣, 于南洋, 韦斯 (5284)
河水-地下水交互带沉积物中抗生素和代谢产物提取方法优化及其分布特征 李玉琼, 童蕾, 严涵, 尤悦, 卢钰茜, 刘慧 (5294)
白洋淀清淤示范区沉积物中抗生素和多环芳烃的分布特征与风险评估 王同飞, 张伟军, 李立青, 张美一, 廖桂英, 王东升 (5303)
雄安新区唐河污水库残留污染物对地下水水化学动态的作用机制 张志雄, 王仕琴, 张依章, 冯文钊 (5312)
基于时间序列模型的饮用水源地重金属健康风险分析与预测 姬超, 侯大伟, 谢丽, 孙华, 李发志, 周宇, 邓爱萍, 沈红军, 包广静, 王逸南 (5322)
千河下游水体-沉积物重金属空间分布、风险及影响因素 高煜, 王国兰, 金梓函, 张军, 耿雅妮 (5333)
巢湖流域丰水期可溶态重金属空间分布及污染评价 何苗, 刘桂建, 吴蕾, 齐翠翠 (5346)
洪泽湖围栏养殖对表层沉积物重金属含量影响与生态风险评估 瞿鑫源, 张鸣, 谷孝鸿, 阚可聪, 毛志刚, 陈辉辉, 曾庆飞 (5355)
成都市地表水天然水化学变化特征及影响因素 许秋瑾, 赖承钺, 丁瑶, 王照丽, 程中华, 于涛 (5364)
雷州半岛地下水化学特征及控制因素分析 彭红霞, 侯清芹, 曾敏, 黄长生, 师环环, 皮鹏程, 潘羽杰 (5375)
粤港澳大湾区陆源氮污染来源结构与空间分布 董斯齐, 黄翀 (5384)
红壤丘陵区小流域典型土地利用的面源氮磷输出特征 房志达, 苏静君, 赵洪涛, 胡炼, 李叙勇 (5394)
减氮条件下不同施肥模式对稻田氮素淋溶流失的影响 姜海斌, 张克强, 邹洪涛, 马璇骏, 渠清博, 谷艳茹, 沈仕洲 (5405)
互花米草入侵对胶州湾湿地土壤磷赋存形态的影响 沙梦乔, 柴娜, 赵洪涛, 刘春井, 丁文超, 谢文霞 (5414)
基于 16S rRNA 高通量测序的北运河水体及沉积物微生物群落组成对比分析 彭柯, 董志, 邱琰茗, 郭道宇 (5424)
硅改性花生壳生物炭对水中磷的吸附特性 赵敏, 张小平, 王梁嵘 (5433)
高锰酸钾改性松木生物炭对 Pb(II) 的吸附特性 莫贞林, 曾鸿鹄, 林华, Asfandiyar Shahab, 石清亮, 张华 (5440)
混合金属氧化物/碳复合材料的制备及其对 Pb(II) 的吸附性能 卢予沈, 宗莉, 于惠, 牟斌, 王爱勤 (5450)
负载型钛凝胶的制备及其吸附去除三价砷的性能 孙晔洋, 周畅, 甘永海, 吴兵党, 张淑娟 (5460)
一体式短程硝化-厌氧氨氧化工艺启动过程的亚硝酸盐调控 左富民, 郑蕊, 隋倩雯, 钟慧, 陈彦霖, 魏源送 (5472)
生物炭和秸秆还田对紫色土旱坡地土壤团聚体与有机碳的影响 邓华, 高明, 龙翼, 赖佳鑫, 王莹燕, 王子芳 (5481)
紫色土旱坡地不同坡位土壤有机碳组分含量对施肥管理的响应 徐曼, 余添, 王富华, 王丹, 王莹燕, 杨文娜, 高明, 王子芳 (5491)
南阳盆地东部山区土壤重金属分布特征及生态风险评估 赖书雅, 董秋瑶, 宋超, 杨振京 (5500)
城郊农田土壤多环芳烃污染特征及风险评估 张秀秀, 卢晓丽, 魏宇宸, 朱昌达, 潘剑君 (5510)
我国东部沿海地区蔬菜中重金属累积分布特征及居民膳食暴露评估 孙帅, 耿柠波, 郭崔崔, 张保琴, 卢宪波, 张海军, 陈吉平 (5519)
典型矿区周边农业用地农产品安全风险及影响因素 霍彦慧, 王美娥, 谢天, 姜蓉, 陈卫平 (5526)
稻田土壤 Cd 污染与安全种植分区: 以重庆市某区为例 曹淑珍, 母悦, 崔敬鑫, 刘安迪, 程先, 符远航, 魏世强, 张进忠 (5535)
镉污染大田条件下不同品种水稻镉积累的特征及影响因素 王宇豪, 杨力, 康愉晨, 陈小红, 彭杰, 李佳欣, 陈文清 (5545)
纳米膜覆盖对畜禽粪便好氧堆肥进程及恶臭气体排放的影响 李永双, 孙波, 陈菊红, 彭霞薇, 白志辉, 庄绪亮 (5554)
《环境科学》征订启事 (5108) 《环境科学》征稿简则 (5151) 信息 (5249, 5263, 5283)

中国生活源挥发性有机物排放清单

梁小明^{1,2}, 陈来国^{1*}, 沈国锋³, 卢清¹, 刘明¹, 陆海涛¹, 任璐¹, 孙西勃⁴, 林奎¹, 梁明易¹, 叶代启², 陶澍³

(1. 生态环境部华南环境科学研究所, 国家环境保护城市生态环境模拟与保护重点实验室, 广州 510655; 2. 华南理工大学环境与能源学院, 广州 510006; 3. 北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871; 4. 广东省环境科学研究院, 广州 510045)

摘要: 生活源已成为重要的挥发性有机物 (VOCs) 人为排放源之一. 构建了系统的中国生活源 VOCs 排放源分类方法和核算体系, 在此基础上建立了 2010~2018 年中国生活源 VOCs 排放清单, 并对生活源 VOCs 排放重要源类和省份等进行识别, 最后对生活源 VOCs 控制提出了对策建议. 结果表明, 2018 年中国生活源 VOCs 排放量为 2 518 kt. 建筑装饰、沥青道路铺装、餐饮油烟和农村家用生物质使用是贡献最大的 4 类源, 合计占比 69.22%. 家庭日化用品使用和居民生活和商业煤炭使用贡献相当, 占比分别为 10.43% 和 9.98%. 此外, 汽车修补也有一定的贡献, 占比为 7.75%. 山东、四川、河南、广东、江苏和河北是 VOCs 排放贡献最大的 6 个省份, 合计占生活源 VOCs 排放总量的 36.01%. 2010~2018 年期间, 中国生活源 VOCs 排放先以 0.43% 的速度增加, 2013 年达到峰值排放后开始下降, 下降速度为 2.23%. 下降原因一方面与居民生活用能的清洁化, 以及北方地区大力推进清洁取暖使生活煤炭、生物质消耗逐步减少等有关, 另一方面与该阶段部分地区房屋建设逐步趋于饱和导致全国年房屋竣工面积减少有一定贡献. 建议全面深入推进建筑装饰、餐饮油烟和汽车修补综合治理, 同时关注沥青道路铺装 VOCs 排放和控制; 持续优化生活源能源使用结构, 因地制宜、多措并举地推进民用燃煤和家用生物质燃烧污染治理.

关键词: 生活源; 挥发性有机物 (VOCs); 排放清单; 控制建议; 中国

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)11-5162-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.202102007

Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Inventory from Domestic Sources in China

LIANG Xiao-ming^{1,2}, CHEN Lai-guo^{1*}, SHEN Guo-feng³, LU Qing¹, LIU Ming¹, LU Hai-tao¹, REN Lu¹, SUN Xi-bo⁴, LIN Kui¹, LIANG Ming-yi¹, YE Dai-qi², TAO Shu³

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of Urban Ecological Environment Simulation and Protection, South China Institute of Environmental Science, Ministry of Ecology and Environment, Guangzhou 510655, China; 2. School of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 3. Key Laboratory for Earth Surface Processes of Ministry of Education, College of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China; 4. Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China)

Abstract: A volatile organic compounds (VOCs) emission source classification and accounting system from domestic sources in China was established for the period between 2010 and 2018. Suggestions for the prevention and treatment of VOCs from domestic sources were developed and proposed. The results showed that the total VOCs emission inventory from domestic sources in China in 2018 was 2 518 kt. Architectural decoration, asphalt road paving, cooking, and rural household biomass use source were the four largest contributors, accounting for 69.22% of the total emissions. Chemical household products and urban and rural coal use contributed equally, accounting for 10.43% and 9.98%, respectively, whilst car repair accounted for 7.75%. Shandong, Sichuan, Henan, Guangdong, Jiangsu, and Hebei were the six provinces that contributed the most (36.01%). During the 2010-2018 period, China's domestic VOCs emissions increased at a rate of 0.43%, and after reaching a peak in 2013, the emissions began to decline at a rate of 2.23%. The reason for the decline was that, on the one hand, the cleaner energy consumption of residents made a contribution to the gradual reduction of domestic coal and biomass consumption. On the other hand, the gradual saturation of housing construction in some areas, which led to a decrease in the annual construction of the country. It is recommended to promote the comprehensive management of architectural decoration, cooking methods, and car repair, while paying attention to the VOCs emissions from asphalt road paving. Meanwhile, continue to optimize the energy use structure of domestic sources, and promote the pollution control of civil coal and household biomass combustion in accordance with local regulations and multiple measures.

Key words: domestic sources; volatile organic compounds (VOCs); emission inventory; control recommendations; China

自 2013 年大气污染防治行动计划实施以来, 我国大气污染治理取得明显成效, 2015~2019 年, 全国 337 个地级及以上城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度下降 22%^[1,2], 但臭氧污染却呈现逐年加重趋势, 2019 年以上所述城市 O_3 日最大 8 h 浓度第 90 分位数的平均值为 $148 \mu g \cdot m^{-3}$, 比 2015 年上升 21%, 臭氧污染防治形势严峻^[1,2]. 挥发性有机物 (volatile organic

compounds, VOCs) 是形成近地面 O_3 和 $PM_{2.5}$ 形成的

收稿日期: 2021-02-01; 修订日期: 2021-04-20

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC0212606); 国家环保专项 (第二次全国污染源普查); 国家自然科学基金项目 (41773130); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (PM-zx703-202002-018)

作者简介: 梁小明 (1992~), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为大气挥发性有机物的排放与控制对策, E-mail: liangxiaoming@scies.org

* 通信作者, E-mail: chenlaigu@scies.org

重要前体物^[3-5],我国主要发达地区(如京津冀、长三角和珠江角)和 O₃ 不达标地区主要属 VOCs 敏感区^[6-10]. 因此,VOCs 污染防治是现阶段中国大气污染防治的重点任务之一.

根据文献[11],国家“十三五”期间以工业源和交通源 VOCs 排放作为控制和减排重点,并相应出台一系列配套政策文件、标准和指南等^[12-21],生活源 VOCs 防治主要在重点地区有序开展. 生活源是中国人为源 VOCs 排放的重要组成之一,随着工业和交通源减排潜力的不断下降,生活源 VOCs 全面减排是必然趋势. 然而,目前中国生活源排放源分类系统、核算体系和源清单建立尚不完善. 以往个别相关排放源核算主要采用国外排放系数进行估算,不仅不成体系,而且估算结果也与我国实际情况有一定差距,无法有效为我国生活源 VOCs 减排政策的制定提供参考.

本研究基于第二次全国污染源普查(“二污普”)生活源相关研究工作,初步构建了相对系统的中国生活源 VOCs 排放源分类方法和核算体系,在此基础上建立了 2010~2018 年中国生活源 VOCs 排放清单,并对生活源 VOCs 排放重要源类和省份等进行识别,最后对生活源 VOCs 控制提出了方向性的对策建议.

1 研究方法

1.1 生活源排放源分类系统

本研究将生活源 VOCs 排放源分类系统分为 4 级(表 1). 第一级为生活源包括第二级的生活能源使用源和其他生活和第三产业源两大类. 其中,生活能源使用源包括第三级的居民生活和商业煤炭使用、城市燃气使用和农村家用生物质使用. 其他生活和第三产业源包括第三级的建筑装饰、沥青道路铺装、餐饮油烟、干洗、汽车修补和家庭日化用品使用等. 各类源进一步分为第四级排放源.

生活能源使用 VOCs 排放指居民家庭生活(炊事、取暖等)、住宿和餐饮等商业活动燃煤、燃气和生物质燃烧排放的 VOCs. 其他生活和第三产业 VOCs 排放是指各类子源在对应活动过程中的 VOCs 排放. 其中,建筑装饰指在房屋新建过程中,各类建筑涂料与胶粘剂使用带来的 VOCs 排放,建筑涂料包括内墙涂料、外墙涂料、防水涂料、防火涂料、地坪涂料和防腐涂料;沥青道路铺装指道路铺装时沥青使用带来的 VOCs 排放. 铺装过程涵盖了沥青混合料搅拌、运输、摊铺、压实和成型等工序;餐饮油烟指家庭、食堂和社会餐饮行业食物烹饪过程带来的 VOCs 排放;干洗指衣物等在干洗活

表 1 生活源 VOCs 排放源分类系统

Table 1 Classification of sources of volatile organic compounds from domestic sources

第一级	第二级	第三级	第四级
生活源	生活能源使用	居民生活和商业煤炭使用	无烟原煤、无烟型煤、烟煤原煤和烟煤型煤
		城市燃气使用	液化石油气、天然气和人工煤气
		农村家用生物质使用	薪柴和秸秆
	其他生活和第三产业源	建筑装饰	建筑涂料和建筑胶粘剂
		沥青道路铺装	道路沥青
		餐饮油烟	家庭餐饮、食堂餐饮和社会餐饮
		干洗	四氯乙烯和石油系干洗剂
		汽车修补	汽车修补涂料
		家庭日化用品使用	家用驱虫剂、合成洗涤剂、洗发水、沐浴露、润肤护肤品、香水和空气清新剂

动中,四氯乙烯和石油系干洗剂使用带来的 VOCs 排放;汽车修补指汽车修理过程中涂料及对应稀释剂等使用带来的 VOCs 排放;家庭日化用品使用指各类家用驱虫剂、合成洗涤剂、洗发水、沐浴露、润肤护肤品、香水和空气清新剂使用过程带来的 VOCs 排放.

1.2 生活源核算方法体系

1.2.1 排放量核算方法

本研究采用排放系数法对中国生活源 VOCs 排放清单进行自上而下的估算. 其中,生活能源使用根据各类燃料消耗量结合排放系数核算各类燃料燃烧 VOCs 排放量;其他生活和第三产业源根据房屋竣工面积、道路沥青消费量、汽车保有量和常住人口

等,结合排放系数核算建筑装饰、沥青道路铺装、汽车修补、餐饮油烟、干洗和家庭日化用品使用源 VOCs 排放量.

各类源 VOCs 排放量可通过下式进行估算:

$$E = \sum_i A_i \times EF_i$$

式中, i 为特定污染源; E 为 VOCs 排放量; A_i 为污染源 i 的活动水平数据,如能源消耗量; EF_i 为污染源 i 的排放系数.

1.2.2 排放系数

排放系数是代表生活源单位消费水平 VOCs 排放强度的重要指标,其准确性和代表性程度对于采用排系数法估算清单结果的准确性具有重要意义.

本研究团队建立的“二污普”生活源 VOCs 排放系数体系——第二次全国污染源普查产排污系数手册(生活源)第三篇和第四篇^[22],是当前相对系统和全面的生活源系数研究成果,已应用于“二污普”生活源 VOCs 排放量核算. 本研究在“二污普”生活源 VOCs 排放系数研究的基础上,结合各类源活动水平公开可获取性情况,对部分细分源排放系数进行了优化,主要包括:①“二污普”建筑装饰建立的 VOCs 排放系数不包括农村农户建筑涂料和胶粘剂使用 VOCs 排放,研究采用笔者最新的建筑装饰研究成果^[23],该成果涵盖了农村农户范围的建筑装饰 VOCs 排放;②“二污普”沥青道路铺装建立了基于道路长度的 VOCs 排放系数,即来自单位道路沥青消耗 VOCs 排放量与单位道路长度道路沥青使用量之积. 由于道路长度公开活动水平数据获取的难度和时间滞后性,本研究在“二污普”研究的基础上,直接取用“二污普”基于道路沥青消费量的 VOCs 排放系数. 基于道路沥青消费量的 VOCs 排放系数是通过 4 类主要道路沥青 VOCs 含量实测获取,共实测石油沥青(17 个)、改性沥青(12 个)、乳化沥青

(11 个)和改性乳化沥青(8 个)合计 48 个道路沥青样本,根据各类道路沥青 VOCs 含量数据结合其市场占比权重综合估算单位道路沥青消费 VOCs 排放系数;③对“二污普”未涉及的汽车修补源,研究根据中国涂料工业协会提供的汽车修补涂料表观消费量(25 万 t)及目前汽车修补涂料施工状态下市场平均 VOCs 含量水平($700\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),施工状态:在施工方式和条件满足相应产品技术说明书中的要求时,产品所有组分混合后,可以进行施工的状态. 同时结合该源对应活动水平表征量的可获取性,选取对应年份载客汽车保有量(18 469.53 万辆)作为表征指标,估算了基于载客汽车保有量的 VOCs 排放系数($0.95\text{ kg}\cdot\text{辆}^{-1}$). 生活源 VOCs 排放系数汇总如表 2 和表 3 所示. 其中,餐饮油烟根据各地烹饪特点与人均食用油消费情况,并结合地理区域、生活习惯、气候特点和经济发展水平,将全国(不包含中国香港、澳门和台湾)划分为 3 个区域. 此外,居民生活和商业煤炭使用中由于获取的能源年鉴消耗量信息以原煤类型为主,因此研究主要选取原煤系数作为煤炭使用的综合排放系数.

表 2 生活源 VOCs 活动水平和排放系数

Table 2 Activity level and emission factor of volatile organic compounds from domestic sources

污染源类别	子类型	活动水平	排放系数	单位	文献	
生活能源使用	居民生活和商业煤炭使用	无烟原煤	消耗量	1.5	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	[22]
		无烟型煤	消耗量	1.1	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	
		烟煤原煤	消耗量	3.9	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	
		烟煤型煤	消耗量	1.7	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	
	城市燃气使用	液化石油气	消耗量	3.8	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	
		天然气	消耗量	0.92	$\text{kg}\cdot(\text{万 m})^{-3}$	
		人工煤气	消耗量	4.6×10^{-3}	$\text{kg}\cdot(\text{万 m})^{-3}$	
	农村家用生物质使用	薪柴	消耗量	1.9	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	
秸秆		消耗量	2.5	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$		
其他生活和第三产业源	建筑装饰	建筑涂料	房屋竣工面积	1380	$\text{kg}\cdot(\text{万 m})^{-2}$	[23]
		建筑胶粘剂	房屋竣工面积	765	$\text{kg}\cdot(\text{万 m})^{-2}$	
	沥青道路铺装	道路沥青	消耗量	18.7	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	本研究
	餐饮油烟	一区/二区/三区	常住人口	165/232/301	$\text{g}\cdot(\text{人}\cdot\text{a})^{-1}$	[22]
	干洗	/	城镇人口	16.9	$\text{g}\cdot(\text{人}\cdot\text{a})^{-1}$	
	家庭日化用品使用	/	常住人口	188	$\text{g}\cdot(\text{人}\cdot\text{a})^{-1}$	
	汽车修补	/	载客汽车保有量	0.95	$\text{kg}\cdot\text{辆}^{-1}$	

1.2.3 活动水平

生活源各类源活动水平信息如表 2 所示. 生活源中各类煤炭和燃气等能源消耗量、房屋竣工面积、常住人口、城镇人口和载客汽车保有量省级数据可直接来自于国家统计局数据库或各类统计年鉴(如“中国统计年鉴”和“中国能源统计年鉴”);农村家用生物质使用量活动水平获取具有一定的难度;与居民生活方式、生活水平等相关;需要开展大量的入户调查;因此目前尚缺乏官方统计调查数据,无法从相关统计年鉴或公报等资料获取. 针对该

类排放源研究,采用 Tao 等^[24,25]的研究团队基于全国范围的居民生活能源抽样调查结果(1992 ~ 2012 年和 2017 年),获取对应年份的农村家用生物质薪柴和秸秆的消耗量,研究假定各年份活动水平变化率相同,其他年份活动水平通过年均各类家用生物质变化趋势进行估算获取;本研究中沥青道路铺装全国道路沥青消耗量采用表观消费量(表观消费量 = 产量 + 进口量 - 出口量)进行表征,由于省级层面道路沥青消费情况无法获取,省级活动水平数据采用各省不同等级公路新增里程(来源于国家统计

局数据库)及对应不同等级公路单位里程沥青消耗量综合权重占比情况进行分配.

表 3 餐饮油烟排放系数区域的划分

Table 3 Geographical division of emission factor for cooking

序号	区域分类	包括的省、自治区和直辖市
1	一区	广东、广西、海南和福建
2	二区	河北、山西、内蒙古、安徽、山东、河南、贵州、云南、甘肃、青海和宁夏
3	三区	北京、天津、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、江西、湖北、湖南、重庆、四川、西藏、陕西和新疆

2 结果与讨论

2.1 污染源分布特征

2018 年中国生活源 VOCs 排放量为2 518 kt. 从两大排放源来看,生活能源使用源和其他生活和第三产业源 VOCs 排放贡献分别为 24.67% 和 75.33%. 从第三级排放源来看(图 1),建筑装饰(23.23%)、沥青道路铺装(18.66%)、餐饮油烟(14.70%)和农村家用生物质使用(12.63%)是贡献最大的 4 类源,合计占生活源 VOCs 排放总量的 69.22%. 家庭日化用品使用和居民生活和商业煤炭使用贡献相当,占比分别为 10.43% 和 9.98%. 此外,汽车修补也有一定的贡献,占比为 7.75%. 城市燃气使用和干洗 VOCs 贡献最小,占比均小于 3%.

进一步对生活能细分子源 VOCs 排放情况进行探讨,居民生活和商业煤炭使用中,居民家庭生活和商业 VOCs 排放占比分别为 46.04% 和 53.96%; 城市燃气使用中,VOCs 排放主要来自液化石油气消耗,占比为 74.39%,其次为天然气燃烧源,占比为 25.60%,人工煤气贡献最小,不足 1%; 农村家用生物质使用中,薪柴和秸秆使用 VOCs 贡献占比分别为 68.31% 和 31.69%; 建筑装饰中,建筑涂料与建筑胶粘剂使用 VOCs 排放贡献分别为 64.34% 和 35.66%.

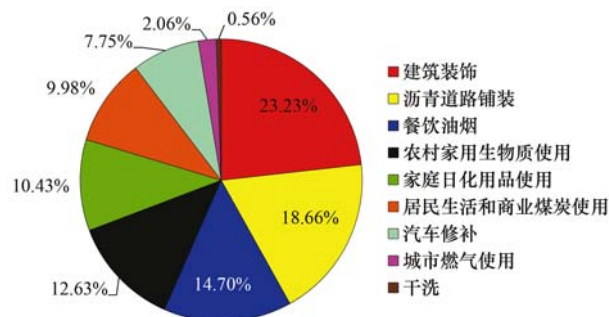


图 1 2018 年中国生活源挥发性有机物排放污染源贡献情况
Fig. 1 Contribution of VOCs emissions from domestic sources in China in 2018

2.2 省级分布特征

生活源 VOCs 分省排放贡献如图 2 所示. 从总排放情况来看,山东、四川、河南、广东、江苏和河

北是 VOCs 排放贡献最大的 6 个省份,占比均超过 5%, 6 个省合计占生活源 VOCs 排放总量的 36.01%. 其中,山东生活源 VOCs 排放居于首位,主要来自建筑装饰、餐饮油烟和沥青道路铺装,合计占该省生活源 VOCs 约 60%. 海南、天津和宁夏排放量贡献最小,占比均不足 1%,合计占全国生活源 VOCs 排放量的 2.66%. 其余安徽、浙江和云南等 22 个省份,VOCs 占比均在 1%~5% 范围,合计占全国生活源 VOCs 排放量的 61.33%.

各省生活源 VOCs 排放结构与人口数量、居民生活需求及方式等密切相关,如生活源 VOCs 排放贡献前 4 个的省份,集中在人口前 4 的大省,分别是山东、四川、河南和广东; 2018 年山东、江苏和浙江房屋建设需求量大,依次为全国房屋竣工面积贡献前 3 个省份,上述 3 个省是建筑装饰源 VOCs 贡献最大的省份,合计占该源 VOCs 排放的 26.75%; 公路建设作为国民经济建设的重要基础设施,近几年全国公路总里程呈现快速增长态势,2018 年四川、重庆和贵州的四级及以上等级公路建设综合情况最为乐观,依次为全国等级公路建设沥青表观消费量贡献前 3 个省份,上述 3 个省是沥青道路铺装源 VOCs 贡献最大的省份,合计占该源 VOCs 排放的 20.46%; 餐饮油烟源 VOCs 排放贡献不仅与人口数量相关,还与各地不同餐饮类型(家庭餐饮、社会餐饮和食堂餐饮)年人均食用油消耗量及单位食用油消耗 VOCs 排放情况等综合有关,山东、河南和四川是该源贡献最大的省份,合计占该源 VOCs 排放的 22.77%; 生活煤炭及农村家用生物质使用主要与各地做饭和取暖方式及当地农作物结构等相关. 总体上,从各省生活源 VOCs 排放贡献前 4 来看,与全国生活源贡献前 4 个污染源类似,主要集中在建筑装饰、沥青道路铺装、餐饮油烟和农村家用生物质使用源. 31 个省份中,约 26% 的省份生活源 VOCs 前 4 贡献源来源于这 4 类源,如山东、四川和河南等,其余省份前 4 个贡献源中,至少有 2 类源属于这 4 类源,如广东、江苏和河北等.

2.3 时间分布特征

2010~2018 年生活源 VOCs 排放情况如图 3 所示,生活源 VOCs 年排放量从 2010 年 2 784 kt 下降到

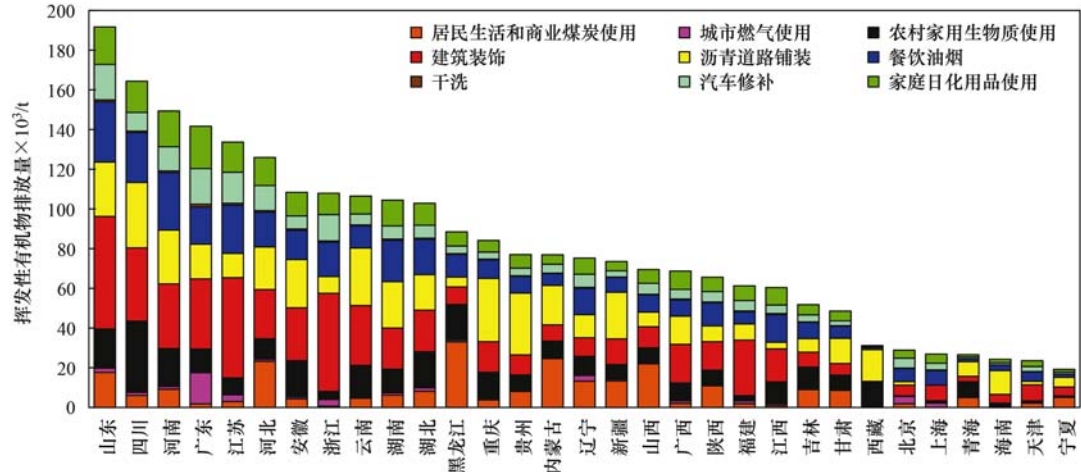


图 2 2018 年中国生活源挥发性有机物分省排放情况

Fig. 2 Emissions of VOCs from domestic sources by provinces in China in 2018

2018 年 2 518 kt, 平均年下降率为 1.23%。2010 ~ 2018 年期间, 中国生活源 VOCs 排放经历了两个阶段: 2010 ~ 2013 年, 生活源 VOCs 年排放量逐年持续增长, 2015 年排放量达到最大 (2 821 kt), 该阶段 VOCs 排放量年均增长率为 0.43%, 对 VOCs 增长贡献较大的为建筑装饰、沥青道路铺装和汽车修补源, 主要与该阶段房屋建设和公路建设需求逐步扩大以及汽车保有量持续增长有关; 2013 ~ 2018 年, 生活源 VOCs 年排放量逐年持续递减, 2018 年排放量达到最低为 2 518 kt。该阶段 VOCs 排放量年均下降率为 2.23%, 对 VOCs 下降贡献较大的为农村家用生物质使用、居民生活和商业煤炭使用和建筑装饰源, 一方面与居民生活用能的清洁化, 以及北方地区大力推进清洁取暖使生活煤炭、生物质消耗逐步减少等有关, 另一方面与该阶段部分地区房屋建设逐步趋于饱和导致全国年房屋竣工面积减少有一定

贡献。

2.4 不确定性分析

清单编制过程中, 不确定性主要来自活动水平和排放系数两方面^[26-29]。活动水平方面, 本研究活动水平主要来自国家统计局或相关统计年鉴, 不确定性相对较小; 沥青道路铺装源活动水平采用表现消费量表征, 同时省级数据通过其他参数进行分配, 具有一定的不确定性。排放系数方面, 本研究排放系数以“二污普”为基础, 对部分子源排放系数进行了优化。“二污普”排放系数基于当前生活排放水平和大量的样本实测, 并经过专家咨询和系数论证等, 不确定性相对较小。与此同时, 在生活源核算体系优化的基础上, 研究对部分源排放系数进行了优化, 因此, 本研究排放系数在全国层面具有一定的代表性。但是, 由于地域差异、生活习惯和经济发展水平等, 各地区生活源 VOCs 排放水平会存在一定差异, 实

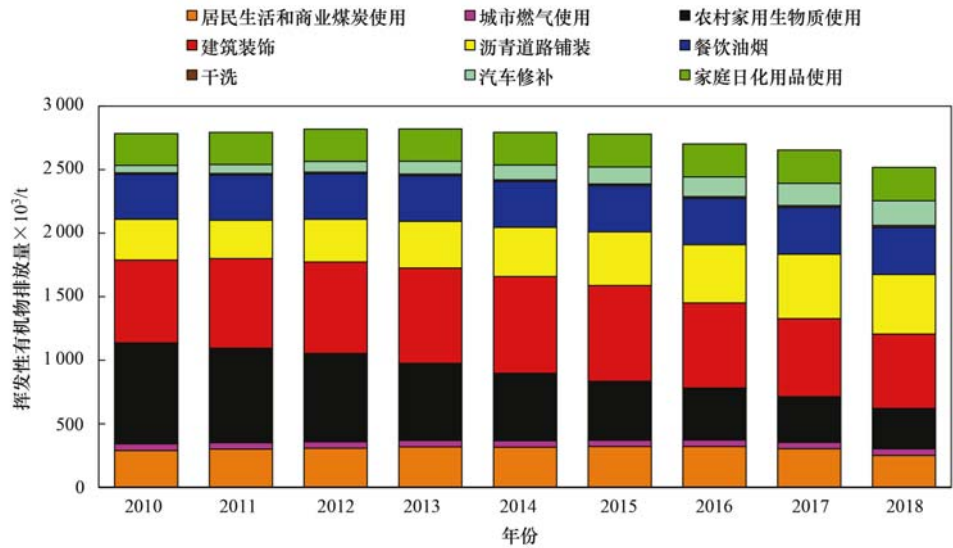


图 3 2010 ~ 2018 年中国生活源挥发性有机物排放情况

Fig. 3 Emissions of VOCs from domestic sources by provinces in China from 2010 to 2018

测样本难以全面兼顾,从而给排放系数带来一定的不确定性。此外,在估算 2010~2018 年生活源 VOCs 排放清单时,研究假设生活源各类源 VOCs 排放系数不变,同样给清单编制带来了一定的不确定性。

2.5 控制建议

从 2018 年中国生活源 VOCs 排放重点源来看,建筑装饰、沥青道路铺装、餐饮油烟和农村家用生物质使用是优先控制的子源,其次是居民生活和商业煤炭使用和汽车修补排放源;城市燃气使用和干洗贡献较小,家庭日化用品使用虽有一定的贡献,但目前减排潜力小且减排难度相对较大。基于重点污染源识别情况,本研究对中国生活源 VOCs 控制提出以下建议。

一是全面深入推进其他生活和第三产业源 VOCs 综合治理。按建筑装饰相关行业最新 VOCs 含量限值标准,严格控制建筑涂料与胶粘剂产品市场准入,加强绿色建筑装饰材料使用市场引导和监督检查,逐步淘汰溶剂型建筑涂料与胶粘剂的使用;加快餐饮油烟大气污染物排放标准的修订,加强餐饮油烟末端治理设施日常维护和稳定有效运行,有序推进规模以上餐饮企业 VOCs 在线监测设备的安装,鼓励重点地区开展餐饮油烟污染创新管理新模式探索与试点;沥青道路铺装作为非传统 VOCs 污染源其 VOCs 排放量大,然而目前国家关注度和重视度都尚欠缺,需关注其 VOCs 排放,逐步开展排放治理及相关政策标准的研究;推进汽车修补水性、高固份等低 VOCs 含量涂料逐步替代溶剂型汽车修补漆,加强喷涂和烘干废气有效收集和处理,鼓励汽车修补喷涂开展集中式、节约化、环保型新模式探索和应用。

二是持续优化生活源城乡居民能源使用结构。生活能源使用中家用生物质和燃煤使用是 VOCs 排放的主要来源。一方面,民用散煤治理仍是重点方向,需进一步控制生活源煤炭消费总量,持续加强清洁能源替代,扩大无煤区范围;另一方面,加强关注和重视农村家用生物质使用 VOCs 排放和减排研究,逐步推进和扩大农村家用生物质管理和替代范围。总之,坚持因地制宜、多措并举地推进生活能源污染治理,持续加快能源清洁化利用。

3 结论

(1) 2018 年中国生活源 VOCs 排放量为 2 518 kt。建筑装饰、沥青道路铺装、餐饮油烟和农村家用生物质使用是贡献最大的 4 类子源,合计占比 69.22%。家庭日化用品使用和居民生活和商业煤炭使用贡献相当,占比分别为 10.43% 和 9.98%。

此外,汽车修补也有一定的贡献,占比为 7.75%。

(2) 山东、四川、河南、广东、江苏和河北是 VOCs 排放贡献最大的 6 个省份,合计占生活源 VOCs 排放总量的 36.01%。各省生活源 VOCs 排放前 4 个贡献源与全国情况类似,主要集中在建筑装饰、沥青道路铺装、餐饮油烟和农村家用生物质使用源。

(3) 2010~2018 年期间,中国生活源 VOCs 排放经历了两个阶段:2010~2013 年,生活源 VOCs 年排放量逐年持续增长,年均增长率为 0.43%;2013~2018 年,生活源 VOCs 年排放量逐年持续递减,年均下降率为 2.23%。

(4) 建议全面深入推进其他生活和第三产业源中建筑装饰、餐饮油烟和汽车修补综合治理,同时关注沥青道路铺装 VOCs 排放和控制;持续优化生活能源使用结构,因地制宜、多措并举地推进民用燃煤和家用生物质燃烧污染治理。

参考文献:

- [1] 生态环境部. 2019 年中国生态环境状况公报[EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202006/P020200602509464172096.pdf>, 2020-06-02.
- [2] 生态环境部. 2015 年中国环境状况公报[EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/201606/P020160602333160471955.pdf>, 2016-06-01.
- [3] Sun G J, Yao L, Jiao L, *et al.* Characterizing PM_{2.5} pollution of a subtropical metropolitan area in China[J]. *Atmospheric and Climate Science*, 2013, **3**(1): 100-110.
- [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] Zhao P S, Dong F, Yang Y D, *et al.* Characteristics of carbonaceous aerosol in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **71**: 389-398.
- [6] Ran L, Zhao C S, Geng F H, *et al.* Ozone photochemical production in urban Shanghai, China: analysis based on ground level observations[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2009, **114** (D15), doi: 10.1029/2008JD010752.
- [7] Tang G, Wang Y, Li X, *et al.* Spatial-temporal variations in surface ozone in Northern China as observed during 2009-2010 and possible implications for future air quality control strategies[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(5): 2757-2776.
- [8] Ding A J, Fu C B, Yang X Q, *et al.* Ozone and fine particle in the western Yangtze River Delta: an overview of 1 yr data at the SORPES station[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(11): 5813-5830.
- [9] Han S Q, Zhang M, Zhao C S, *et al.* Differences in ozone photochemical characteristics between the megacity Tianjin and its rural surroundings[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **79**: 209-216.
- [10] Lam S H M, Saunders S M, Guo H, *et al.* Modelling VOC source impacts on high ozone episode days observed at a mountain

- summit in Hong Kong under the influence of mountain-valley breezes[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **81**: 166-176.
- [11] 生态环境部. 关于印发《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》的通知[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201709/t20170919_421835.htm, 2017-09-14.
- [12] 生态环境部. 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/201807/t20180704_446068.shtml, 2018-06-27.
- [13] 生态环境部. 关于印发《重点行业挥发性有机物综合治理方案》的通知[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/201907/t20190703_708395.html, 2019-06-26.
- [14] 生态环境部. 关于印发《2020 年挥发性有机物治理攻坚方案》的通知[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202006/t20200624_785827.html, 2020-06-24.
- [15] 生态环境部. 生态环境部发布《挥发性有机物治理实用手册》等 3 本书籍[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/dqjhbjh/dqgdylhjgl/202006/t20200630_786614.shtml, 2020-06-30.
- [16] 生态环境部. 生态环境部发布《石化行业挥发性有机物治理实用手册》等 14 行业(领域)手册[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/dqjhbjh/dqgdylhjgl/202007/t20200702_787103.shtml, 2020-07-02.
- [17] GB 37824-2019, 涂料、油墨及胶粘剂工业大气污染物排放标准[S].
GB 37824-2019, Emission standard of air pollutants for paint, ink and adhesive industry[S].
- [18] GB 37823-2019, 制药工业大气污染物排放标准[S].
GB 37823-2019, Emission standard of air pollutants for pharmaceutical industry[S].
- [19] GB 37822-2019, 挥发性有机物无组织排放控制标准[S].
GB 37822-2019, Standard for fugitive emission of volatile organic compounds[S].
- [20] 生态环境部. 关于征求《储油库大气污染物排放标准(征求意见稿)》等三项标准意见的函[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202006/t20200619_785211.html, 2020-06-19.
- [21] 生态环境部. 关于征求国家环境保护标准《工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南(征求意见稿)》意见的函[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202009/t20200916_798658.html, 2020-09-16.
- [22] 生态环境部第二次全国污染源普查工作办公室. 第二次全国污染源普查产排污系数手册(生活源)[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2020. 49-66.
- [23] Liang X M, Sun X B, Lu Q, *et al.* VOC emission inventory of architectural coatings and adhesives for new buildings in China based on investigated and measured data[J]. *Atmospheric Environment*, 2021, **245**, doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.118014.
- [24] Tao S, Ru M Y, Du W, *et al.* Quantifying the rural residential energy transition in China from 1992 to 2012 through a representative national survey[J]. *Nature Energy*, 2018, **3**(7): 567-573.
- [25] 生态环境部第二次全国污染源普查工作办公室. 第二次全国污染源普查数据分析报告[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2021.
- [26] 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.
- [27] 钟流举, 郑君瑜, 雷国强, 等. 大气污染物排放源清单不确定性定量分析方法及案例研究[J]. *环境科学研究*, 2007, **20**(4): 15-20.
Zhong L J, Zheng J Y, Louie P, *et al.* Quantitative uncertainty analysis in air pollutant emission inventories: methodology and case study[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, **20**(4): 15-20.
- [28] 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.
- [29] Wu R R, Bo Y, Li J, *et al.* Method to establish the emission inventory of anthropogenic volatile organic compounds in China and its application in the period 2008-2012[J]. *Atmospheric Environment*, 2016, **127**: 244-254.

CONTENTS

Disinfection By-products in Drinking Water and Their Control Strategies: A Review	CHU Wen-hai, XIAO Rong, DING Shun-ke, <i>et al.</i> (5059)
Advances in Mechanism and Influencing Factors Affecting Hydrogen Sulfide Adsorption by Biochar	XU Qi-yong, LIANG Ming-shen, XU Wen-jun, <i>et al.</i> (5086)
Effect of Vegetation Coverage on the Temporal and Spatial Distribution of PM _{2.5} Concentration in China's Eight Major Economic Regions from 1998 to 2016	YANG Yu-lian, YANG Kun, LUO Yi, <i>et al.</i> (5100)
Evolution and Potential Source Apportionment of Atmospheric Pollutants of Two Heavy Haze Episodes During the COVID-19 Lockdown in Beijing, China	ZHAO De-long, TIAN Ping, ZHOW Wei, <i>et al.</i> (5109)
Characteristics and Origin Analysis of Air Pollution During the Spring Festival in Linfen, Fenwei Plain	LIU Wei-jie, HU Tian-peng, MAO Yao, <i>et al.</i> (5122)
Spatio-Temporal Characteristics and Potential Source Areas of Seasonal Atmospheric Pollution in Shijiazhuang	NIE Sai-sai, WANG Shuai, CUI Jian-sheng, <i>et al.</i> (5131)
Impact of Air Humidity on PM _{2.5} Mass Concentration and Visibility During Winter in Tianjin	DING Jing, TANG Ying-xiao, HAO Tian-yi, <i>et al.</i> (5143)
Seasonal Variation and Source Apportionment of Carbonaceous Species in PM _{2.5} in Chengde	HE Bo-wen, NIE Sai-sai, WANG Shuai, <i>et al.</i> (5152)
Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Inventory from Domestic Sources in China	LIANG Xiao-ming, CHEN Lai-guo, SHEN Guo-feng, <i>et al.</i> (5162)
Characteristics of Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China from 2011 to 2019	LIU Rui-yuan, ZHONG Mei-fang, ZHAO Xiao-ya, <i>et al.</i> (5169)
VOCs Emission Inventory and Uncertainty Analysis of Industry in Qingdao Based on Latin Hypercube Sampling and Monte Carlo Method	XU Wan-ying, FU Fei, LÜ Jian-hua, <i>et al.</i> (5180)
Emission Characteristics and Environment Impacts of VOCs from Typical Rubber Manufacture	WANG Hai-lin, XIN Guo-xing, ZHU Li-min, <i>et al.</i> (5193)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Different Functional Zones of Shenyang, China	KU Ying-ying, REN Wan-hui, SU Cong-cong, <i>et al.</i> (5201)
Characteristics of BTEX and Health Risk Assessment During Typical Pollution Episodes in Summer and Winter in Tianjin Urban Area	HAN Ting-ting, LI Ying-ruo, PU Wei-wei, <i>et al.</i> (5210)
Atmospheric NH ₃ Emission Inventory and Analysis of the Driving Force in Zhengzhou City	JI Yao, WANG Chen, LU Xuan, <i>et al.</i> (5220)
Interactive Effects of the Influencing Factors on the Changes of O ₃ Concentrations Based on GAMs Model in Chengdu	ZHANG Ying, NI Chang-jian, FENG Xin-yuan, <i>et al.</i> (5228)
Spatial Variation Characteristics and Remote Sensing Retrieval of Total Suspended Matter in Surface Water of the Yangtze River	LI Jian-hong, HUANG Chang-chun, ZHA Yong, <i>et al.</i> (5239)
Spatial Distribution Characteristics of the Spectrum, Source Analysis, and Nitrogen Response of Dissolved Organic Matter in Summer Rainfall in the Hebei Province	ZHANG Zi-wei, ZHOU Shi-lei, CHEN Zhao-ying, <i>et al.</i> (5250)
Distribution and Influencing Factors of DOM Components in Urban and Suburban Polluted Rivers	ZHU Yi, CHEN Hao, DING Guo-ping, <i>et al.</i> (5264)
Composition and Distribution of Microplastics in the Water and Sediments of Urban Rivers in Beijing	HU Jia-min, ZUO Jian-e, LI Di, <i>et al.</i> (5275)
Nontarget Screening and Ecological Risk Assessment of Polar Organic Pollutants in Surface Water on the West Bank of Taihu Lake	LU Xin-yan, WANG Fei, ZHANG Li-min, <i>et al.</i> (5284)
Optimization of Extraction Methods and Distribution Characteristics of Antibiotics and Metabolites in Sediments of a River Water-Groundwater Interaction Zone	LI Yu-qiong, TONG Lei, YAN Han, <i>et al.</i> (5294)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of Desilting Demonstration Area in Baiyangdian Lake	WANG Tong-fei, ZHANG Wei-jun, LI Li-qing, <i>et al.</i> (5303)
Dynamic Mechanisms of Groundwater Quality by Residual Contaminants of the Tanghe Wastewater Reservoir in Xiong'an New Area	ZHANG Zhi-xiong, WANG Shi-qin, ZHANG Yi-zhang, <i>et al.</i> (5312)
Analysis and Prediction of Health Risk from Heavy Metals in Drinking Water Sources Based on Time Series Model	JI Chao, HOU Da-wei, XIE Li, <i>et al.</i> (5322)
Spatial Distribution, Risk, and Influencing Factors of River Water-Sediment Heavy Metals in the Lower Reaches of the Qianhe River	GAO Yu, WANG Guo-lan, JIN Zi-han, <i>et al.</i> (5333)
Spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake Basin During the Wet Season	HE Miao, LIU Gui-jian, WU Lei, <i>et al.</i> (5346)
Impact of Enclosure Culture on Heavy Metal Content in Surface Sediments of Hongze Lake and Ecological Risk Assessment	ZI Xin-yuan, ZHANG Ming, GU Xiao-hong, <i>et al.</i> (5355)
Natural Water Chemistry Change in the Surface Water of Chengdu and Impact Factors	XU Qiu-jin, LAI Cheng-yue, DING Yao, <i>et al.</i> (5364)
Hydrochemical Characteristics and Controlling Factors of Groundwater in the Leizhou Peninsula	PENG Hong-xia, HOU Qing-qin, ZENG Min, <i>et al.</i> (5375)
Land-based Nitrogen Pollution Source Structure and Spatial Distribution in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	DONG Si-qi, HUANG Chong (5384)
Output Characteristics of Nitrogen and Phosphorus from Non-Point Source Pollution of Typical Land Use in A Micro-Watershed in Hilly Red Soil Region	FANG Zhi-da, SU Jing-jun, ZHAO Hong-tao, <i>et al.</i> (5394)
Effects of Different Fertilization Patterns on Nitrogen Leaching Loss from Paddy Fields Under Reduced Nitrogen	JIANG Hai-bin, ZHANG Ke-qiang, ZOU Hong-tao, <i>et al.</i> (5405)
Effects of <i>Spartina alterniflora</i> Invasion on Soil Phosphorus Forms in the Jiaozhou Bay Wetland	SHA Meng-qiao, CHAI Na, ZHAO Hong-tao, <i>et al.</i> (5414)
Contrasting Analysis of Microbial Community Composition in the Water and Sediments of the North Canal Based on 16S rRNA High-Throughput Sequencing	PENG Ke, DONG Zhi, DI Yan-ming, <i>et al.</i> (5424)
Characteristics of Phosphorus Adsorption in Aqueous Solution by Si-modified Peanut Shell Biochar	ZHAO Min, ZHANG Xiao-ping, WANG Liang-rong (5433)
Adsorption Characteristics of Pb(II) on Eucalyptus Biochar Modified by Potassium Permanganate	MO Zhen-lin, ZENG Hong-hu, LIN Hua, <i>et al.</i> (5440)
Preparation of Mixed Metal Oxide/Carbon Composites and Its Adsorption Performance for Pb(II)	LU Yu-shen, ZONG Li, YU Hui, <i>et al.</i> (5450)
Fabrication of Supported Titanium Xerogel Adsorbent and Performance Evaluation for Arsenite Removal	SUN Ye-yang, ZHOU Chang, GAN Yong-hai, <i>et al.</i> (5460)
Nitrite Regulation During Start-up of Combined Partial Nitrification and ANAMMOX Process	ZUO Fu-min, ZHENG Rui, SUI Qian-wen, <i>et al.</i> (5472)
Effects of Biochar and Straw Return on Soil Aggregate and Organic Carbon on Purple Soil Dry Slope Land	DENG Hua, GAO Ming, LONG Yi, <i>et al.</i> (5481)
Response of Soil Organic Carbon Content in Different Slope Positions to Fertilization Management in Purple Soil Sloping Fields	XU Man, YU Luo, WANG Fu-hua, <i>et al.</i> (5491)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in the Eastern Mountainous Area of the Nanyang Basin	LAI Shu-ya, DONG Qiu-yao, SONG Chao, <i>et al.</i> (5500)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Suburban Farmland Soil	ZHANG Xiu-xiu, LU Xiao-li, WEI Yu-chen, <i>et al.</i> (5510)
Accumulation Characteristics and Dietary Exposure Estimation of Heavy Metals in Vegetables from the Eastern Coastal Region of China	SUN Shuai, GENG Ning-bo, GUO Cui-cui, <i>et al.</i> (5519)
Security Risk and Influencing Factors of Agro-Products in Farmland Soil Around a Typical Mining Smelter	HUO Yan-hui, WANG Mei-e, XIE Tian, <i>et al.</i> (5526)
Cd Pollution and Safe Planting Zoning in Paddy Soils: A Case Study in a District of Chongqing	CAO Shu-zhen, MU Yue, CUI Jing-xin, <i>et al.</i> (5535)
Characteristics and Influencing Factors of Cadmium Accumulation in Different Rice Varieties Under Cadmium Contaminated Field Conditions	WANG Yu-hao, YANG Li, KANG Yu-chen, <i>et al.</i> (5545)
Effects of Nano-membrane on Aerobic Composting Process and Odor Emission of Livestock Manure	LI Yong-shuang, SUN Bo, CHEN Ju-hong, <i>et al.</i> (5554)