

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第12期

Vol.34 No.12

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

序	郝郑平 (4503)
南京北郊大气 VOCs 体积分数变化特征	安俊琳, 朱彬, 李用宇 (4504)
天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析	翟增秀, 邹克华, 李伟芳, 王亘, 翟友存 (4513)
南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析	杨辉, 朱彬, 高晋徽, 李用宇, 夏丽 (4519)
上海市春季臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算	崔虎雄 (4529)
四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单及其对大气环境的影响	韩丽, 王幸锐, 何敏, 郭卫广 (4535)
武汉市秸秆燃烧 VOCs 排放估算及管理对策	黄碧捷 (4543)
北京市冬季灰霾期 NMHCs 空间分布特征研究	段菁春, 彭艳春, 谭吉华, 郝吉明, 柴发合 (4552)
广州市中心城区环境空气中挥发性有机物的污染特征与健康风险评价	李雷, 李红, 王学中, 张新民, 温冲 (4558)
天津某家具城挥发性有机物健康风险评估	张银, 王秀艳, 高爽 (4565)
废旧有机玻璃再生利用行业挥发性有机物 (VOCs) 排放特征研究	王浙明, 徐志荣, 叶红玉, 许明珠, 王晓星 (4571)
农药企业场地空气中挥发性有机物污染特征及健康风险	谭冰, 王铁宇, 庞博, 朱朝云, 王道涵, 吕永龙 (4577)
电子产品加工制造企业挥发性有机物 (VOCs) 排放特征	崔如, 马永亮 (4585)
汽车涂料生产环节 VOCs 的排放特征及安全评价	曾培源, 李建军, 廖东奇, 涂翔, 许玫英, 孙国萍 (4592)
载人汽车室内空气 VOCs 污染的指标评价	陈小开, 程赫明, 罗会龙 (4599)
基于 GC-MS 的烹调油烟 VOCs 的组分研究	何万清, 聂磊, 田刚, 李靖, 邵霞, 王敏燕 (4605)
VOCs 污染场地挖掘过程的环境健康风险评价	房增强, 甘平, 杨乐, 戴子瑜, 祁世鸿, 贾建丽, 何绪文 (4612)
挥发性有机物污染场地挖掘过程中污染扩散特征	甘平, 杨乐巍, 房增强, 郭淑倩, 于妍, 贾建丽 (4619)
土壤中苯向大气挥发过程的影响因素和通量特征研究	杜平, 王世杰, 赵欢欢, 伍斌, 韩春媚, 房吉敦, 李慧颖, 细见正明, 李发生 (4627)
土壤组分对四氯乙烯吸附解吸行为的影响	胡林, 邱兆富, 何龙, 宴颖, 吕树光, 隋倩, 林匡飞 (4635)
自来水常规和深度处理工艺中挥发性有机物的变化规律	陈锡超, 罗茜, 陈虎, 魏孜, 王子健, 许科文 (4642)
杭州市典型企业废水中挥发性有机物排放特征及其评价	陈峰, 徐建芬, 唐访良, 张明, 阮东德 (4649)
维生素 C 工业废水处理系统 VOCs 污染特性	郭斌, 律国黎, 任爱玲, 杜昭, 邢志贤, 韩鹏, 高博, 刘淑娅 (4654)
新型生物滴滤填料性能评价	梅瑜, 成卓韦, 王家德, 活泼 (4661)
微量臭氧强化生物滴滤降解甲苯性能研究	张超, 赵梦升, 张丽丽, 陈建孟 (4669)
BF 和 BTf 工艺去除 DCM 性能比较	潘维龙, 於建明, 成卓韦, 蔡文吉 (4675)
改性 13X 沸石蜂窝转轮对甲苯的吸附性能研究	王家德, 郑亮巍, 朱润晔, 俞云锋 (4684)
转轮吸附法处理有机废气的研究	朱润晔, 郑亮巍, 毛玉波, 王家德 (4689)
活性炭吸附有机蒸气性能的研究	蔡道飞, 黄维秋, 王丹莉, 张琳, 杨光 (4694)
UV-生物过滤联合降解苯乙炔废气的研究	沙昊雷, 杨国靖, 夏静芬 (4701)
蜂窝状 ZSM-5 型分子筛对丙酮和丁酮吸附性能研究	杜娟, 栾志强, 解强, 叶平伟, 李凯, 王喜芹 (4706)
内浮顶油罐“小呼吸”对环境影响过程的分析	吴宏章, 黄维秋, 杨光, 赵晨露, 王英霞, 蔡道飞 (4712)
基于 Tanks 4.0.9d 模型的石化储罐 VOCs 排放定量方法研究	李靖, 王敏燕, 张健, 何万清, 聂磊, 邵霞 (4718)
铜铈复合氧化物上石化行业典型 VOCs 的氧化行为与动力学	陈长伟, 于艳科, 陈进生, 何焜 (4724)
KrBr ⁺ 准分子灯直接光解一甲胺气体	赵洁, 刘玉海, 韦连梅, 叶招莲, 张善端 (4734)
异味混合物中组分浓度与其强度贡献关系研究	颜鲁春, 刘杰民, 付慧婷, 孙媛, 林文辉 (4743)
挥发性有机污染物排放控制标准制订中的关键技术问题研究	江梅, 张国宁, 任春, 邹兰, 魏玉霞 (4747)
挥发性有机污染物排放控制标准体系的建立与完善	江梅, 张国宁, 邹兰, 魏玉霞, 张明慧 (4751)
我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究	王铁宇, 李奇峰, 吕永龙 (4756)
固定源废气 VOCs 排放在线监测技术现状与需求研究	王强, 周刚, 钟琪, 赵金宝, 杨凯 (4764)
石化行业炼油恶臭污染源治理技术评估	牟桂芹, 隋立华, 郭亚逢, 马传军, 杨文玉, 高阳 (4771)
植物源挥发性有机化合物排放清单的研究进展	谢军飞, 李延明 (4779)
基于动态 CGE 的挥发性有机污染物 VOCs 排放预测和控制研究	刘昌新, 王宇飞, 郝郑平, 王铮 (4787)
《环境科学》第34卷(2013年)总目录	(4792)
《环境科学》征订启事 (4717) 《环境科学》征稿简则 (4742) 信息 (4528, 4626, 4693, 4700)	

我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究

王铁宇¹, 李奇锋^{1,2}, 吕永龙¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)是一类具有刺激性、致畸、致癌、致突变作用、易燃易爆的有机物,对人体和生态系统健康有很大危害. 本文从工业固定源、机动车尾气排放源和日常生活源等角度分析不同排放源的 VOCs 排放特征,绘制并分析了我国重点区域重点行业 VOCs 排放的空间分布格局,甄别出东部沿海地区 VOCs 2010 年总量和单位面积均高于中西部地区,且工业产生源有明显差异. 进一步归类分析了欧美等发达国家针对 VOCs 排放控制的政策法规,对比分析我国目前治理 VOCs 的有关法规和标准,提出了现阶段我国 VOCs 管理存在的问题,并提出了相应的控制对策建议.

关键词: 挥发性有机物(VOCs); 排放特征; 空间格局; 控制对策

中图分类号: X32 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4756-08

Characteristics and Countermeasures of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China

WANG Tie-yu¹, LI Qi-feng^{1,2}, LÜ Yong-long¹

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Volatile organic compounds (VOCs) are a kind of irritating, carcinogenic, deforming, mutagenic, flammable and explosive organic compounds which are harmful to human and ecosystem health. In terms of industrial stationary sources, vehicle exhaust sources and domestic emission sources, this paper analyzed the major characteristics of VOCs emissions. The spatial distribution of industrial VOCs emission in China's typical areas were figured out based on the statistic data issued in 2010. The results showed that the emission quantity in eastern areas was higher than that in middle and western areas, not only by total amount but also by unit area, while there was a significant difference among these areas in terms of industrial emission sources. Therefore, the current VOCs governance, including regulations, standards, and existing problems were discussed, and then based on the experiences from the developed countries and regions, the suggestions were proposed to enhance the VOCs management in China.

Key words: volatile organic compounds; environmental emission; spatial pattern; environmental management

挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)是一类化合物的总称,通常是指在常温常压下,具有高蒸气压、易挥发的有机化学物质^[1],主要包括脂肪族和芳香族的各种烷烃、烯烃、含氧烃和卤代烃等,如苯、甲苯、二氯甲烷、甲醛和乙酸乙酯等^[2]. VOCs 一般具有较强的刺激性和毒性,部分具有致畸、致癌、致突变作用,相当一部分有恶臭、易燃易爆等特性,在生产和运输过程中存在很大的安全隐患^[3]. VOCs 中有些化学活性很强,是引起光化学烟雾的因子之一^[4]. 卤代烃类 VOCs 可破坏臭氧层,引起温室效应等全球性环境问题^[5]. 总之, VOCs 的排放对人体和生物健康、生态环境都产生了极大的影响.

近年来,国内外对于 VOCs 的测定和治理技术都有新的进展. 在 VOCs 测定方法上,国内外大多学者采用通用的气相色谱-质谱法(GC-MS)^[6,7]. 逐渐成熟的质子转移电离-质谱法(PTR-MS)因实现了 VOCs 的高灵敏度分析而被众多学者采用^[8,9]. 治理

VOCs 方面,在传统的吸附技术、催化燃烧技术和热力焚烧技术的基础上^[10,11],生物过滤技术、等离子体破坏技术等新兴技术也逐渐成熟^[12,13].

最近几年,我国多地在冬季出现了持续的严重雾霾天气,对民众生活、身心健康产生了巨大危害. 雾霾天气产生的主要原因是空气中 PM_{2.5} 的严重超标,而 VOCs 又是 PM_{2.5} 的先导因子之一. 2013 年 1 月始,北京等重点城市的环境保护部门先后启动试点监测 PM_{2.5} 和 O₃ 浓度. 因此,要控制 PM_{2.5} 浓度,就必须对 VOCs 予以关注并加强监测与治理.

本研究通过解析 VOCs 的主要源排放结构,分析我国 VOCs 排放的空间分布特征,对比国内外控制 VOCs 的主要政策法规与标准等,明晰我国控制 VOCs 存在的主要问题,并提出具体的对策建议,以

收稿日期: 2013-03-25; 修订日期: 2013-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171394); 科技基础性工作专项(2013FY111100)

作者简介: 王铁宇(1973~),男,副研究员,主要研究方向为区域生态风险及环境管理, E-mail: wangty@rcees.ac.cn

期为国家和地方采取有效措施,提升 VOCs 的控制与管理水平提供技术支撑。

1 VOCs 的主要排放源特征

VOCs 来源广泛,涉及生产、生活等众多途径。本研究着重从工业固定源、机动车尾气排放源和日常生活源这 3 个层面来讨论 VOCs 的主要排放源特征。

1.1 工业固定排放源

工业固定源是 VOCs 的主要排放源。产生 VOCs 的工业行业众多,包括石油炼制、有机化工、医药、食品、日用品、轮胎制造等 VOCs 生产行业,以及包装印刷、机械制造、电子产品制造、交通设备制造、人造板与家具制造等以 VOCs 产品为原料的工业行业。目前,国内研究者对工业固定源 VOCs 的排放特征总体研究尚不多,而且研究的方法、思路也不相同。表 1 总结了国内学者目前研究的工业固定源 VOCs 排放特征。

表 1 工业固定源 VOCs 排放特征^[1,14~19]
Table 1 Emission characteristics of industrial stationary sources

序号	行业	主要排放环节	主要排放组分	排放特点	现有处理技术
1	石油化工	生产过程、燃料油和有机溶剂输配及储存过程	苯系物、有机氯化物、氟里昂系列、有机酮、胺、醇、醚、酯、酸和石油烃化合物等	浓度高,排放量大	燃烧方式或吸收、吸附、冷凝
2	炼油行业	炼油工艺	氯乙烷、三氯甲烷、硫化物等	浓度高,排放量大	催化燃烧
3	化学原料生产	各种有机物的生产工艺	苯系物、有机氯化物、硫化物等	脱硫环节排放量大浓度高	吸附浓缩,催化燃烧等
4	制药	化学反应、生物发酵、分离精制、溶剂回收、制剂加工等有机溶剂使用工艺	甲醇、丙酮、苯、甲苯、二甲苯、二氯甲烷、乙酸乙酯、三乙胺、二甲基甲酰胺、醋酸丁酯、正丙醇、乙醇、异丙醇、乙腈、环氧乙烷、甲醛等	浓度高,成分复杂。常含有酸性气体、普通有机物和恶臭气体	热力焚烧、催化燃烧
5	炼焦行业	机械化焦炉的装煤、推焦、熄焦、脱硫等工序	苯、酚类、非甲烷总烃和苯并芘等	排放量适中,污染浓度高	脱硫塔,洗氨塔和洗苯塔净化后回收利用
6	合成纤维	溶剂纺丝和熔融纺丝过程中使用大量的有机溶剂	二甲基甲酰胺、二甲基乙酰胺、乙醛、乙二醇、三甘醇和纺丝油剂等	浓度高,排放量大	活性炭吸附
7	电子制造	集成电路:光刻、显影;平板显示器:阵列、彩膜工序;印制电路板:贴膜、烘干、印刷等	丙酮、丁酮、甲苯、乙苯、二甲苯等	排放浓度低,零部件喷涂环节排放量较大	吸附浓缩-催化燃烧
8	汽车制造	中涂、面涂和烘干等工序	甲苯、乙苯、二甲苯等苯系物等	喷漆环节排放量,浓度高,风量大;烘干环节浓度低,污染物少	蓄热燃烧
9	家具制造	面漆喷涂和干燥工序	甲苯、二甲苯、漆雾等	排放浓度高,湿度高,风量大,非稳态排放	水幕+活性炭吸收/等离子体处理
10	木材工业	制材、干燥、制胶、人造板的热压、喷漆	甲醛、甲苯、二甲苯、漆雾等	排放浓度高,无组织排放	活性炭吸附
11	包装印刷	润版液、油墨、稀释剂使用、烘干	丙酮、丁酮、异丁酮、乙酸丁酯、甲苯、乙苯、二甲苯等	风量适中,复合工艺排放量较大,浓度适中	活性炭吸收
12	装备制造业	喷涂、烘干	二氯甲烷、甲苯、乙苯、二甲苯等	风量适中,浓度适中	活性炭吸附
13	漆包线行业	放线、退火、涂漆、烘培、冷却、收线	乙苯、甲酚、二甲酚、苯酚、二甲苯、N-甲基吡咯烷酮、二甲基甲酰胺	涂漆阶段排放量大,浓度高	催化燃烧
14	再生橡胶制造	粉碎、脱硫、成型	甲硫醇、二甲基硫、二硫化碳、二甲二硫等	浓度高,硫化物污染严重	物理吸附法、化学吸收燃烧法和生物处理法
15	自行车制造	喷漆烤漆	甲苯、二甲苯等	污染物较为单一,沸点低、易挥发	物理吸附法
16	涂料、油墨工业	主要来自搅拌等工序	苯、甲苯、二甲苯、乙苯、溶剂汽油、丙酮、苯乙烯、乙酸乙酯、乙酸丁酯、二氯甲烷等	排放多为低和中高风量,中高浓度	吸附或燃烧
17	农药工业	主要来自混合、涂覆和分离等工序	成分复杂,主要有甲醇、甲苯、二甲苯、苯、乙苯等	排放多为中高风量、低浓度	溶剂回收利用

从表 1 可以看出,不同行业 VOCs 排放的环节、排放的物质、排放特征以及治理技术都不尽相同. 因此,一定要结合行业排放特征,制定适宜的行业标准.

1.2 机动车尾气排放源的排放特征

随着我国社会经济的快速发展,机动车保有量持续快速增长,汽油、柴油的使用量也越来越大. 近年来,发达省市特别是东部城市机动车尾气排放 VOCs 已成为空气污染的首要因素,机动车尾气 VOCs 排放治理不容忽视. 研究发现,汽油机动车尾气 VOCs 中富含苯、甲苯、间、对-二甲苯等苯系物,柴油机动车尾气富含丙酮、丙烯、丙烷等短链碳氢化合物,摩托车和 LPG 助动车尾气 VOCs 以排放 2-甲基己烷、乙烯、乙烷、乙炔等低碳原子数的短链碳氢化合物为主^[20~23]. 排放特征主要表现为:机动车尾气排放的 VOCs 的组分基本为苯系物、烷烃和氯代烃;小轿车排放非甲烷烃类化合物的组分含量为:烷烃>芳香烃>炔烃;柴油车排放的 VOCs 低于其他燃料(汽油、LPG)车型;摩托车和 LPG 助动车尾气 VOCs 的浓度高于汽油车和柴油车. 因此,对于机动车尾气排放源的治理应重点关注淘汰落后排放设施、提高发动机燃烧效率和燃油标准.

1.3 日常生活源排放特征

在居民日常生活中,能产生 VOCs 的环节主要为新居涂料装潢、生物质燃烧和炒菜做饭产生的油烟等. 研究表明,室内空气中 VOCs 的含量明显高于室外^[24,25]. 新居涂料装潢产生的 VOCs 含量与组分主要是由所使用涂漆的成分所决定. 从整体上看,装潢过程产生的 VOCs 在短时间内浓度高,成分复杂,无组织排放,不易扩散,对人体健康危害较大. 对其治理主要是通过家庭盆栽绿色植物吸收、长时

间通风扩散来实现.

在中国农村特别是中西部地区,因经济条件的原因,植物秸秆和木柴等生物质作为取暖、做饭的燃料情况非常普遍. 在春季播种时节,为修整土地,农民将上一年度种植的未被利用的秸秆就地燃烧,向空气中排放了大量烟尘和 VOCs. 这些秸秆和木柴等生物质燃烧排放的 VOCs 主要是芳香烃和醛类化合物^[26]. 为减少这部分生物质燃烧向空气中排放有毒物质,相关部门应当积极引导农民采取现代农业技术,实现生物质燃料的无害化利用.

作为面源污染的厨房油烟带来的 VOCs 不容忽视. 厨房油烟 VOCs 排放的主要特征为:排放的无组织性,涉及社会的每一位成员;厨房油烟 VOCs 中主要污染物为乙醇和丙烷;餐馆油烟去除效率不足 30%,对环境影响显著;醛类是影响油烟排放源臭气指数的主要污染物,油烟平均嗅阈值与丁醛嗅阈值相当;厨房排放油烟中含氧有机物和烯烃是其光化学活性的主要贡献者^[27].

2 我国重点区域代表性行业 VOCs 排放的空间分布特征

2012 年 10 月环境保护部向社会公布了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》^[28]. 在该规划中,环境保护部首次发布了我国包括京津冀、长三角和珠三角地区在内涉及 19 个省、直辖市、自治区的 13 个重点发展区域的 VOCs 数据. 规划中提到的重点行业包括石化、有机化工、合成材料、化学药品原药制造、塑料产品制造、装备制造涂装、通信设备计算机及其他电子设备制造、包装印刷等. 如图 1 所示,本研究依托 ArcGIS 10 技术平台,绘制了

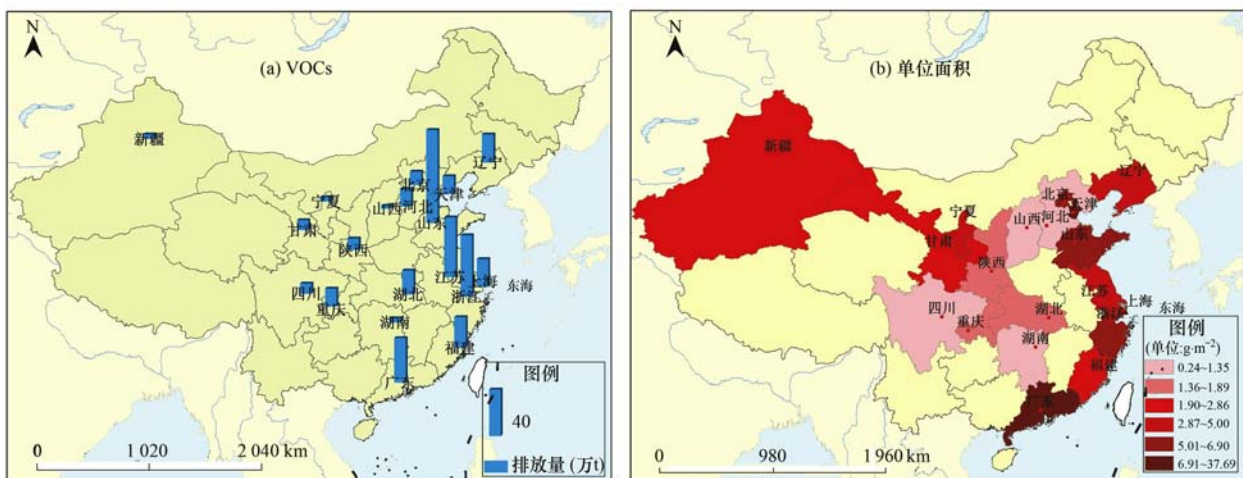


图 1 我国重点区域代表性行业 2010 年 VOCs 总量及单位面积空间格局

Fig. 1 VOCs industrial emissions in 2010 in China; total and per unit area amount

我国重点区域代表性行业 2010 年 VOCs 总量及单位面积的空间分布。

从排放总量上看,2010 年重点区域代表性行业 VOCs 排放最大的 3 个区域为山东省(79.6 万 t)、浙江省(52.7 万 t)和江苏省(51.3 万 t),最小的 3 个区域为山西(2.6 万 t)、湖南省(3.8 万 t)和宁夏(3.95 万 t)。从单位面积排放量看,2010 年重点区域代表性行业 VOCs 排放浓度最大的 3 个区域为上海市($37.69 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)、天津市($13.81 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)和广东省($7.06 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)。从地理区域看,排放总量、单位面积排放量均呈现东部地区>中部地区>西部地区的空间分布特点。

结合社会经济发展状况及发展阶段分析,各区域排放的行业是不同的。东部沿海地区 VOCs 主要是由电子高新产业排放产生的,中西部则主要是由传统行业产生的。因此,不同地区在制定 VOCs 排放控制政策时,不能一概而论,应根据当地产业发展阶段、产业结构类型采取适合本地区 VOCs 管理的排放标准和削减治理对策。

3 VOCs 控制对策分析与建议

3.1 发达国家 VOCs 控制的成功经验

发达国家 VOCs 治理始于 20 世纪 90 年代。经过 20 多年的发展,已经形成了各自较为完备的控制体系。表 2 总结分析了欧美等发达国家的相关政策法规。

在 20 多年的 VOCs 控制管理过程中,发达国家对于 VOCs 的认识和治理技术的研发逐渐成熟。从刚开始的单一污染物控制逐步过渡到复合污染物整体控制。发达国家对于自身 VOCs 的减排目标明确,具有可操作性。比如,在 2005 年,欧盟、美国、日本都分别实施了新车排放新标准,排放限值比此前标准降低一半左右,并将改善燃油品质、发展公共交通、经济杠杆鼓励清洁能源汽车发展等作为配套措施^[33]。

3.2 我国 VOCs 的环境管理现状

(1) 我国港台地区 VOCs 环境管理现状

香港地区面积小,人口多,控制 VOCs 对于人体健康意义重大。2007 年生效的香港《空气污染管制(挥发性有机化合物)规例》管制 51 种建筑漆料/涂料、7 种油墨、6 大类消费品(喷发胶、空气清新剂、地蜡清洗剂、多用途润滑剂、除虫剂、喷雾驱虫剂)等排放的 VOCs^[19,34]。2009 年又对其进行了修订,控制范围扩大到 14 种车辆修补漆和涂料、36 种船

舶和工艺品油漆和涂料以及 47 种黏合剂和密封胶。至此,香港地区 VOCs 控制跨入国际领先行列^[35]。

台湾地区是从 20 世纪 90 年代开始将 VOCs 的控制作为大气污染控制的重要目标。自 20 世纪 90 年代开始,台湾地区逐渐制定了《半导体制造业空气污染管制及排放标准》等多项行业空气污染物排放标准,其中大部分行业涉及到 VOCs 的排放。1997 年颁布了《挥发性有机物空气污染管制及排放标准》以及相关的监督检查、奖励处罚等配套管理制度,对石化行业的 VOCs 排放控制进行了严格的限定,1997 年后陆续颁布了多项行业排放的标准。此外,台湾地区还实行了许可证制度和稽查与年排放申报制度、收费制度和交易权制度等^[36]。

(2) 我国大陆地区 VOCs 环境管理现状

我国对于 VOCs 的减排与控制相对滞后。《中华人民共和国大气污染防治法》是大气环境管理的根本依据,但是没有对 VOCs 管理和控制提出明确要求。2010 年 5 月国务院办公厅发布了《环境保护部门关于推进污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知》(国办发[2010]33 号)^[37],首次将 VOCs 和颗粒物、SO₂ 和 NO_x 一起列为重点控制的大气污染防治重点污染物。在 2012 年 10 月国家环境保护部公布的《重点区域大气污染防治“十二五”规划》中首次提出了减少 VOCs 排放目标,对 VOCs 的治理提出了开展重点行业治理,完善挥发性有机物污染防治体系的相关措施^[26]。表 3 和表 4 是我国现行的涉及 VOCs 的排放标准和清洁生产标准的主要内容。

3.3 我国 VOCs 管理存在的问题

与美国、欧盟、日本以及中国港台地区相比,中国大陆管理和控制 VOCs 主要存在以下问题。

(1) 针对 VOCs 的政策法规的制定相对滞后

到目前为止,我国的《大气污染防治法》中依然没有针对 VOCs 的排放与治理做出明确的法律规定。而美国《清洁生产法》,欧盟有关国家颁布的相关指令,日本的《大气污染防治法》和中国台湾的污染控制要求等均已提出多年,最迟的日本也在 2006 年实施了修订后的《大气污染防治法》。可以看出,我国有关 VOCs 的法律法规制定滞后了许多年,亟待补充和完善。

(2) 国家层面上的标准尚不完善

到目前为止,国家层面上仅对有限的几十种 VOCs 做出限定,而 VOCs 的种类超过 300 种,参比其他国家和地区,我国 VOCs 相关标准不仅少,而且

表 2 发达国家 VOCs 主要控制对策^[1,19,29~33]

Table 2 Main VOCs control regulations in developed countries

序号	国家	发布时间	法规、标准名称	主要内容
1	美国	1990	《清洁空气修正法》	VOCs 控制分两步,首先控制汽车排放的 VOCs,然后控制工业挥发性有机污染物,同时根据大气中的 O ₃ 浓度采取地区臭氧分级控制措施,要求 O ₃ 浓度不合格的地区递交 15% VOCs 削减计划
2	美国	1990	《国家环境空气质量标准》(NAAQs)	常规污染物排放标准:汽车和轻卡车表面喷涂作业排放标准(40CFR60 Subpart MM),图形艺术行业凹版印刷出版排放标准(40CFR60 Subpart QQ),橡胶轮胎制造行业排放标准(40CFR60 Subpart BBB)和饮料罐表面喷涂排放标准(40CFR60 Subpart WW)等 危险空气污染的国家排放标准:汽车轻型卡车表面喷涂 HAPs 排放标准(40CFR63 Subpart IIII),半导体 HAPs 排放标准,干洗设备四氯乙烯 HAPs 排放标准(40CFR63 Subpart M),木器家具制造业 HAPs 排放标准(40CFR63 Subpart JJ),钢铁铸造业 HAPs 排放标准(40CFR63 Subpart EEEE)和金属罐表面涂层 HAPs 排放标准(40CFR63 Subpart KKKK)等
3	美国	1999	区域霾害规定	要求所有 50 个州制定相应的治理实施方案
4	美国	2005	清洁空气州际法规	通过减少跨州传输的污染物的排放,保证美国在未来 10 年内最大程度降低空气污染
5	欧盟	1996	1996/61/EC 指令	对包括石油炼制、有机化学品、精细化工、储存、涂装、皮革加工等 6 大类的 33 个行业制定了 VOCs 的排放标准
6	欧盟	1999	1999/13/EC 指令	限制一定的活动和设备安装中使用的有机溶剂挥发性有机物逸散
7	欧盟	2001	欧洲清洁空气计划	要求各成员减少大气污染物的排放,减少森林和其他生态系统受大气污染的影响
8	欧盟	2002	2002/231/EC 生态设计标签——鞋类(1999/179/EC 修正版)	在油漆包装上加强强制性标签标明挥发性有机物的逸散量
9	欧盟	2004	2004/42/EC 指令	对建筑和汽车等特定用途的涂料设定了 VOCs 逸散限值,规定室内 TVOCs 需低于 0.3 mg·m ⁻³
10	欧盟		ECMA-328 VOC 法规	对与静电相关的电子产品 VOCs 的释放限值
11	德国	2001	《联邦排放防治法》	指令的第 31 条中指出,2010 年 VOCs 在 1990 年基准上减排 70%
12	英国	1990	《环境保护法案》	2010 年在 1990 年基准上减排 30% 的目标
13	加拿大	2008	建筑涂料挥发性有机化合物(VOC)浓度限量法规	法规目录第 1(2)分项的表中规定了 49 种建筑涂料挥发性有机化合物限量
14	日本	1972	《恶臭防止法》	开始规定了 10 余种 VOCs 排放标准,1996 年增加到 53 种,2002 年增加到 149 种
15	日本	2006	《大气污染防治法》	除对汽车排放 VOCs 限制外,主要针对工厂 VOCs 进行限制,鼓励企业自愿减排,明确提出 2010 年 VOCs 的排放量要比 2000 年减少 30%
16	日本	—	日本汽车制造业协会(JAMA)关于汽车车厢内空气要求	在汽车车厢内挥发性有机物量 VOC 的要求
17	日本	—	日本电子和信息技术协会(JEITA)关于电子产品挥发性有机物要求	规定电脑的 VOC 测试标准

中 PM_{2.5}超标还很不完善. 在生产的源头,清洁生产标准对于 VOCs 的限定要求较少,而且目前涉及的行业不多,应尽快制定出电子制造业、漆包线以及各类涂装行业的 VOCs 清洁生产标准. 在企业排放 VOCs 方面,《饮食业油烟排放标准》、《储油库大气污染物排放标准》等标准只是要求了各种油烟气体的总限值,并没有给出单项控制值. 综合排放标准

《大气污染物排放综合标准》是 1996 年制定实施的,已经远远不能满足现阶段大气治理的要求.

(3) 缺乏监测数据,管理成效不明显

时至今日,我国尚未对 VOCs 排放数据进行系统监测,国家整体 VOCs 排放量尚未准确获得,基本处于科学研究阶段. 近年来,各地冬季频繁发生长时间的雾霾天气,其产生主要是由于大气

表 3 我国公布的涉及 VOCs 的排放标准^[32]

Table 3 VOCs Emission standards in the mainland of China

序号	标准名称	公布机构	主要内容
1	恶臭污染物排放标准 GB 14554-93	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	分年限规定了 8 种恶臭污染物的一次最大排放限值、复合恶臭物质的臭气浓度限值及无组织排放源的厂界浓度限值
2	大气污染物综合排放标准 GB 16297-1996	环境保护部	对 14 类 VOCs 规定了最高允许排放浓度、最高允许排放速率和无组织排放限值
3	饮食业油烟排放标准 GB 18483-2001	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了饮食业单位油烟的最高允许排放度和油烟净化设备的最低去除效率
4	加油站大气污染物排放标准 GB 20952-2007	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了加油站汽油油气排放限值、控制技术要求和检测方法
5	储油库大气污染物排放标准 GB20950-2007	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了储油库在储存、收发汽油过程中油气排放限值、控制技术要求和检测方法
6	汽油运输大气污染物排放标准 GB 20951-2007	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了油罐车在汽油运输过程中的油气排放限值、控制技术要求和检测方法
7	合成革与人造革工业污染物排放标准 GB 21902-2008	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了合成革与人造革工业企业特征生产工艺和装置水和大气污染物排放限值
8	火电厂大气污染物排放标准 GB 13223-2011	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了火电厂烟气黑度的的排放等级为 1 级
9	橡胶制品工业污染物排放标准 GB 27632-2011	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了橡胶制品企业甲苯及二甲苯合计、非甲烷总烃的排放限值
10	炼焦化学工业污染物排放标准 GB 16171-2012	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了炼焦化学工业企业苯并芘、氰化氢、苯、酚、非甲烷总烃等物质的排放限值、监测和监控要求
11	轧钢工业大气污染物排放标准 GB 28665-2012	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	规定了轧钢工业苯、甲苯、二甲苯及非甲烷总烃的排放限值

表 4 我国公布的涉及 VOCs 的清洁生产标准

Table 4 VOCs in cleaner production standards in the mainland of China

序号	标准名称	公布机构	主要内容
1	炼焦行业 HJ/T 126-2003	环境保护部	规定了炼焦行业中装煤、推煤与无组织泄漏中苯并芘的 3 个等级排放指标
2	石油炼制业 HJ/T 125-2003	环境保护部	规定了石油炼制业中挥发酚和石油类的污染物产生的 3 个等级指标
3	汽车制造业(涂装) HJ/T 293-2006	环境保护部	规定了汽车制造业涂装清洁生产中 VOCs 的 3 个等级指标,它是工业涂装 VOCs 排放量的第一个标准
4	人造板行业(中密度纤维板) HJ/T 315-2006	环境保护部	规定了产品和作业环境空气质量中甲醛的 3 个等级指标
5	化纤行业(氨纶) HJ/T 359-2007	环境保护部	规定了 DMF 和 DMAc 两种在氨纶生产过程中主要排放的 3 个等级指标
6	化纤行业(涤纶) HJ/T 429-2008	环境保护部	首次发布了化纤行业(涤纶)清洁生产的标准,规定了聚酯、长丝和短涤纶的 VOCs 产生量的 3 个等级指标
7	石油炼制业(沥青) HJ/T 443-2008	环境保护部	规定了沥青炼制尾气氧化中的苯并芘含量的 3 个等级指标

造成的. VOCs 作为 $PM_{2.5}$ 的先导因子,如果没有得到有效控制, $PM_{2.5}$ 指数下降难度很大,雾霾天气还将持续. 现有不完善的监测数据支撑,政策法规和标准的缺失,使得企业在规避 VOCs 排放污染问题仍然有机可乘.

3.4 我国 VOCs 环境管理能力提升的对策建议

VOCs 的减排与治理对于建设“生态文明”和“美丽中国”具有重要意义,需要全社会共同努力. 大气雾霾治理已成为当今环保工作的重要内容之

一,因此,加强 VOCs 监测体系建设和环境管理,刻不容缓. 在《重点区域大气污染防治“十二五”规划》中,国家环境保护部已经提出了相关政策措施. 基于研究分析,本文提出如下对策建议,以期有助于我国 VOCs 的综合治理.

(1) 加快修订《大气污染防治法》

我国虽然已经制定了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》,但其仅是一个计划. 《规划》中各项目标的实现,要靠法律法规和标准加以保障和惩

戒。而目前实施的《大气污染防治法》仍是 2000 年修订的,对于 VOCs 的控制并没有提出具体要求,这就使得环保部门在执法过程中无法可依,容易出现滥用行政手段来干涉经济活动,不利于社会主义市场经济的有序发展,以及环境保护与治理的有序开展。因此,法律制定部门应该加快修订《大气污染防治法》,或涵盖 VOCs 具体内容的单行条例,从法律上保证 VOCs 治理的有法可依。

(2) 借鉴发达国家经验,尽快制定排放清单及行业标准,严格限制 VOCs 排放量

环境保护部门应尽快制定 VOCs 排放清单和行业标准,以明确企业的 VOCs 排放类型及排放量。在生产源头,要制定行业的清洁生产标准,亟需制定《电子制造业生产标准》、《涂装行业生产标准》等。在排放标准方面,应该修订《大气污染物综合排放标准》、《恶臭污染物排放标准》等,制定更多的 VOCs 物质的排放浓度及监测标准。对于已有的标准,应根据实际情况,适时修订,已使其符合现阶段大气空气质量特别是 $PM_{2.5}$ 的治理要求。

(3) 引进先进技术,淘汰落后的生产设备

技术的革新,对于从源头上减少 VOCs 的排放至关重要。在制定企业的环境影响评价书时,应全面要求 VOCs 的工艺生产、使用及治理的相关措施。按照清洁生产的要求,不断淘汰落后产能的技术,采用符合现行国际通用的技术指标及工艺流程,从源头上尽最大可能削减 VOCs 物质的使用与排放。对于生产中不得不排放的 VOCs,应采取适合本企业的治理措施,使生产效益与环境效益、社会效益尽可能的统一。另外,在政府层面上,应该鼓励本地区企业不断的采取环境友好的技术手段,适当减免税收,增加财政支持,降低清洁生产企业的额外负担。

(4) 加快构建政府、企业及公众三方共同监督管理机制

对于 VOCs 的治理,需要全社会的共同努力。国家应积极构建政府、企业及公众三方相互监督管理的机制。首先,政府应该监督监测企业排放污染物的数量、种类,对于超标排放的企业,应采取经济、行政手段予以惩处。政府还应向公众发布对于排放 VOCs 企业的相关数据及其采取的有关措施,以便公众更好地参与 VOCs 的管理与治理。其次,企业应主动向政府和公众公布其排污情况及减排进程,自觉接受政府和公众的监督。最后,由于公众是良好环境的受益者,也是恶劣环境的受害者,因此,

需要担负起监督的责任。不仅要监督企业的行为,更要监督政府的执法行为。在三方共同管理机制中,应充分发挥非政府组织、环境保护公益组织等第三方监督功能,保障政府、企业及公众三方监督管理机制的有效实施。

(5) 利用经济手段控制 VOCs 的排放量,实行 VOCs 污染物总量控制

经济手段例如税收和排污收费制度在治理 VOCs 等环境污染物时具有不可替代的作用。税收和排污收费制度的关键在于税和费的多少。应通过科学测算,首先获取企业排放 VOCs 的治理成本,然后针对其排放量收取高于排放量治理成本的费用,这样才能刺激企业进行自我治理。如果收取的税和费低于企业污染治理成本,即违法成本过低,将会导致企业敢于违法,起不到经济手段的应有作用。在我国,如果开始实行税收和收费等经济奖惩,一方面将会产生巨大的经济效益,另一方面也可保障实现各重点区域“十二五”减排目标。

(6) 引导公众走绿色生活、低碳生活,减少日常生活中 VOCs 的排放

当前,我国各类机动车保有量已经超过 1 亿,污染危害严重,由汽车尾气排放产生的 VOCs 不可忽视。应在全社会大力倡导绿色出行,多乘坐公共交通,从而减少环境污染。其次,随着经济社会的不断发展,人们越来越重视自身生活环境的改善,由此产生了房屋过度装修装潢等奢侈浪费现象。这种现象不但浪费了大量资源,而且增大了室内空气 VOCs 的排放,造成室内污染和健康危害。因此,应倡导低碳装潢,绿色装修等理念,使家庭的装修尽可能简单大方、美观。最后,在农村地区,应鼓励日常生活燃料结构的转变和推动绿色农业的建设,构建美丽乡村。

参考文献:

- [1] 王海林,张国宁,聂磊,等. 我国工业 VOCs 减排控制与管理对策[J]. 环境科学, 2011, 32(12): 3462-3468.
- [2] Hunter P, Oyama S T. Control of volatile organic compound emissions: conventional and emerging[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [3] 张云,李彦锋. 环境中 VOCs 的污染现状及处理技术研究进展[J]. 化工环保, 2009, 29(5): 411-415.
- [4] Shao M, Zhang Y H, Zeng L M, et al. Ground-level ozone in the Pearl River Delta and the roles of VOC and NO_x in its production[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(1): 512-518.
- [5] 吴祖良,谢德援,陆豪,等. 挥发性有机物处理新技术的研究[J]. 环境工程, 2012, 30(3): 76-80.

- [6] Do D, Van Langenhove H, Walgraeve C, *et al.* Volatile organic compounds in an urban environment: a comparison among Belgium, Vietnam and Ethiopia [J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2013, **93**(3): 298-314.
- [7] Suchet C, Claire V, Simon C, *et al.* Reproducibility of flower scent emissions in two wild subspecies of snapdragon, *Antirrhinum Majus* [J]. *Environmental Engineering and Management Journal*, 2012, **11**(6): 1201-1211.
- [8] De Gouw J, Warneke C. Measurements of volatile organic compounds in the earth's atmosphere using proton-transfer-reaction mass spectrometry [J]. *Mass Spectrometry Reviews*, 2007, **26**(2): 223-257.
- [9] Ni J Q, Robarge W P, Xiao C H, *et al.* Volatile organic compounds at swine facilities: a critical review [J]. *Chemosphere*, 2012, **89**(7): 769-788.
- [10] 栾志强, 郝郑平, 王喜芹, 等. 工业固定源 VOCs 治理技术分析评估[J]. *环境科学*, 2011, **32**(12): 3476-3486.
- [11] Kolade M A, Kogelbauer A, Alpay E. Adsorptive reactor technology for VOC abatement [J]. *Chemical Engineering Science*, 2009, **64**(6): 1167-1177.
- [12] Detchanamurthy S, Gostomski P A. Biofiltration for treating VOCs: an overview[J]. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2012, **11**(3): 231-241.
- [13] Francke K P, Miessner H, Rudolph R. Cleaning of air streams from organic pollutants by plasma-catalytic oxidation[J]. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2000, **20**(3): 393-403.
- [14] 王海林, 聂磊, 李靖, 等. 重点行业挥发性有机物排放特征与评估分析[J]. *科学通报*, 2012, **57**(19): 1739-1746.
- [15] 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.
- [16] 何华飞, 王浙明, 许明珠, 等. 制药行业 VOCs 排放特征及控制对策研究——以浙江为例[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(12): 2271-2277.
- [17] 席劲瑛, 武俊良, 胡洪营, 等. 工业 VOCs 排放源废气排放特征调查与分析[J]. *中国环境科学*, 2010, **30**(11): 1558-1562.
- [18] 陈颖. 我国工业源 VOCs 行业排放特征及未来趋势研究[D]. 武汉: 华中理工大学, 2011.
- [19] 江梅, 张国宁, 邹兰, 等. 有机溶剂使用行业 VOCs 排放控制标准体系的构建[J]. *环境工程技术学报*, 2011, **1**(3): 221-225.
- [20] 乔月珍, 王红丽, 黄成, 等. 机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性[J]. *环境科学*, 2012, **33**(4): 1071-1079.
- [21] 游秋雯, 葛蕴珊, 尤可为, 等. 汽油车非常规污染物排放特性研究[J]. *环境科学*, 2009, **30**(2): 335-341.
- [22] 王伯光, 邵敏, 张远航, 等. 机动车排放中挥发性有机污染物的组成及其特征研究[J]. *环境科学研究*, 2006, **19**(6): 75-80.
- [23] Chen C H, Huang C, Jing Q G, *et al.* On-road emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles in Shanghai [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(26): 5334-5344.
- [24] Sarkhosh M, Mahvi A H, Zare M R, *et al.* Indoor contaminants from Hardcopy Devices: characteristics of VOCs in photocopy centers[J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **63**: 307-312.
- [25] Bruno P, Caselli M, De Gennaro G, *et al.* Monitoring of volatile organic compounds in non-residential indoor environments[J]. *Indoor Air*, 2008, **18**(3): 250-256.
- [26] 李兴华, 王书肖, 郝吉明. 民用生物质燃烧挥发性有机化合物排放特征[J]. *环境科学*, 2011, **32**(12): 3515-3521.
- [27] 王秀艳, 高爽, 周家岐, 等. 餐饮油烟中挥发性有机物风险评估[J]. *环境科学研究*, 2012, **25**(12): 1359-1363.
- [28] 环境保护部. 重点区域大气污染防治“十二五”规划[R]. 北京: 2012.
- [29] 林立, 鲁君, 王英歌, 等. 国内外 VOCs 排放管理控制历程[J]. *环境监测管理与技术*, 2011, **23**(5): 12-16.
- [30] 张国宁, 郝郑平, 江梅, 等. 国外固定源 VOCs 排放控制法规与标准研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(12): 3501-3508.
- [31] 郭逸飞, 宋云, 孙晓峰, 等. 国外 VOCs 污染防治政策体系借鉴[J]. *环境保护*, 2012, (13): 75-77.
- [32] 李玉桂. VOC 与涂料配方[J]. *企业科技与发展*, 2010, (22): 50-51, 56.
- [33] 清洁空气 绿色发展[EB/OL]. http://news.xinhuanet.com/world/2009-04/13/content_11175959.html. 2009.
- [34] 空气污染管制(挥发性有机化合物)规例[R]. 香港: 香港法律, 2007.
- [35] 香港扩大 VOC 条例的管控范围[EB/OL], <http://www.rf.hk/business/cpzlbz/10348.html>.
- [36] 栾志强, 王喜芹, 郑雅楠, 等. 台湾地区 VOCs 污染控制法规、政策和标准[J]. *环境科学*, 2011, **32**(12): 3491-3500.
- [37] 国务院办公厅转发环境保护部等部门关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知(国办发[2010]33号)[Z].

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (4503)
Variation Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Nanjing Northern Suburb, China	AN Jun-lin, ZHU Bin, LI Yong-yu (4504)
Pollution Characterization of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Tianjin Downtown	ZHAI Zeng-xiu, ZOU Ke-hua, LI Wei-fang, <i>et al.</i> (4513)
Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer	YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (4519)
Estimation of the Formation Potential of Ozone and Secondary Organic Aerosol in Shanghai in Spring	CUI Hu-xiong (4529)
Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from the Typical Anthropogenic Sources in Sichuan Province	HAN Li, WANG Xing-rui, HE Min, <i>et al.</i> (4535)
Study on Volatile Organic Compounds Emission of Straw Combustion and Management Countermeasure in Wuhan City	HUANG Bi-jie (4543)
Spatial Distribution Characteristics of NMHCs During Winter Haze in Beijing	DUAN Jing-chun, PENG Yan-chun, TAN Ji-hua, <i>et al.</i> (4552)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China	LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, <i>et al.</i> (4558)
Health Risk Assessment of VOCs from a Furniture Mall in Tianjin	ZHANG Yin, WANG Xiu-yan, GAO Shuang (4565)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Recycled Waste Polymethyl Methacrylate (PMMA) Industry	WANG Zhe-ming, XU Zhi-rong, YE Hong-yu, <i>et al.</i> (4571)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory	TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, <i>et al.</i> (4577)
Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Electronic Products Processing and Manufacturing Factory	CUI Ru, MA Yong-liang (4585)
Emission Characteristics and Safety Evaluation of Volatile Organic Compounds in Manufacturing Processes of Automotive Coatings	ZENG Pei-yuan, LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, <i>et al.</i> (4592)
Index Assessment of Airborne VOCs Pollution in Automobile for Transporting Passengers	CHEN Xiao-kai, CHENG He-ming, LUO Hui-long (4599)
Study on the Chemical Compositions of VOCs Emitted by Cooking Oils Based on GC-MS	HE Wan-qing, NIE Lei, TIAN Gang, <i>et al.</i> (4605)
Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site	FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site	GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, <i>et al.</i> (4619)
Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics	DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, <i>et al.</i> (4627)
Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil	HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, <i>et al.</i> (4635)
Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes	CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, <i>et al.</i> (4642)
Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City	CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, <i>et al.</i> (4649)
Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production	GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, <i>et al.</i> (4654)
Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings	MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (4661)
Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation	ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, <i>et al.</i> (4669)
Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter	PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, <i>et al.</i> (4675)
Removal of Toluene from Waste Gas by Honeycomb Adsorption Rotor with Modified 13X Molecular Sieves	WANG Jia-de, ZHENG Liang-wei, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (4684)
Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor	ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, <i>et al.</i> (4689)
Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons	CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, <i>et al.</i> (4694)
Degradation of Styrene by Coupling Ultraviolet and Biofiltration	SHA Hao-lei, YANG Guo-jing, XIA Jing-fen (4701)
Adsorption Characteristics of Acetone and Butanone onto Honeycomb ZSM-5 Molecular Sieve	DU Juan, LUAN Zhi-qiang, XIE Qiang, <i>et al.</i> (4706)
Analysis of the Distribution of VOCs Concentration Field with Oil Static Breathing Loss in Internal Floating Roof Tank	WU Hong-zhang, HUANG Wei-qiu, YANG Guang, <i>et al.</i> (4712)
Study on the Quantitative Estimation Method for VOCs Emission from Petrochemical Storage Tanks Based on Tanks 4.0.9d Model	LI Jing, WANG Min-yan, ZHANG Jian, <i>et al.</i> (4718)
Oxidation Behavior and Kinetics of Representative VOCs Emitted from Petrochemical Industry over CuCeO _x Composite Oxides	CHEN Chang-wei, YU Yan-ke, CHEN Jin-sheng, <i>et al.</i> (4724)
Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr * Excilamp	ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, <i>et al.</i> (4734)
Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture	YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, <i>et al.</i> (4743)
Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, <i>et al.</i> (4747)
Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, <i>et al.</i> (4751)
Characteristics and Countermeasures of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China	WANG Tie-yu, LI Qi-feng, LÜ Yong-long (4756)
Status and Needs Research for On-Line Monitoring of VOCs Emissions from Stationary Sources	WANG Qiang, ZHOU Gang, ZHONG Qi, <i>et al.</i> (4764)
Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry	MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, <i>et al.</i> (4771)
Research Advances on Volatile Organic Compounds Emission Inventory of Plants	XIE Jun-fei, LI Yan-ming (4779)
Study of VOCs Emission Prediction and Control Based on Dynamic CGE	LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (4787)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年12月15日 34卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 12 Dec. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行