

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,窦颖,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烯废气的研究 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,李奇锋,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)

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

(四川省环境保护科学研究院, 成都 610041)

摘要: 基于四川省环境统计调查数据和相关统计资料, 利用排放因子法计算得到 2011 年四川省典型人为源 VOCs 的排放量及其地区分布情况, 同时还估算了各污染源排放的 VOCs 的臭氧生成潜势与二次有机气溶胶生成潜势. 四川省典型人为污染源 VOCs 排放总量为 482 kt, 其中生物质人为燃烧源、溶剂使用源、工业过程源、化石燃料分配源、固定化石燃料燃烧源排放量分别为 174、153、121、21 和 13 kt; 溶剂使用源中, 建筑墙壁涂料使用、家具、木器装修以及人造板制造为主要排放行业; 工业过程源中, 19.4% 的 VOCs 排放量来自于制酒行业. 四川省各地区排放数据中, 成都市排放量最高为 112 kt. 四川省臭氧生成潜势总量为 1 930 kt. 二次有机气溶胶生成潜势中, 溶剂使用排放源贡献 50.5%, 生物质人为燃烧源与工业过程源的贡献均为 23% 左右, 化石燃料分配和固定化石燃料燃烧源分别贡献 1.0% 和 1.4%.

关键词: 四川省; 挥发性有机物; 排放清单; OFP; FAC

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4535-08

Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from the Typical Anthropogenic Sources in Sichuan Province

HAN Li, WANG Xing-rui, HE Min, GUO Wei-guang

(Sichuan Academy of Environmental Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: Based on Sichuan province environmental statistical survey data and other relevant activity data, volatile organic compounds (VOCs) emissions from typical anthropogenic sources in Sichuan province were calculated for the year of 2011 by applying the emission factor method. Besides, ozone and secondary organic aerosol formation potentials of these typical anthropogenic sources were discussed. The total VOC emission from these sources was about 482 kt in Sichuan province, biomass burning, solvent utilization, industrial processes, storage and distribution of fuel, and fossil fuel combustion contributed 174 kt, 153 kt, 121 kt, 21 kt and 13 kt, respectively; architecture wall painting, furniture coating, wood decoration painting and artificial board were the major emission sectors of the solvent utilization; while for the industrial processes, 19.4% of VOCs emission was from the wine industry. Chengdu was the largest contributor compared to the other cities in Sichuan, whose VOCs emission from these typical anthropogenic sources in 2011 was 112 kt. OFP of these sources was 1 930 kt altogether. Solvent utilization contributed 50.5% of the total SOA formation potentials, biomass burning and industrial processes both contributed about 23%, with storage and distribution of fuel and fossil fuel combustion accounting for 1% and 1.4%, respectively.

Key words: Sichuan province; volatile organic compounds (VOCs); emission inventory; OFP; FAC

目前颗粒物与臭氧的污染成为困扰国内大气环境的主要问题, 挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 在其中扮演着非常重要的角色^[1,2]. 在光照条件下, VOCs 与氮氧化物反应生成臭氧等光化学污染产物^[3], 同时 VOCs 也是二次有机气溶胶 (SOA) 的重要前体物^[4], 研究表明 SOA 可占气溶胶颗粒物中有机成分的 20% ~ 80%^[5]. 四川地区作为灰霾高发区, 近年来不仅能见度明显下降^[6,7], 臭氧浓度也常有超标^[8], 迫切需要开展 VOCs 污染控制的研究, 而排放清单又是进行污染控制的基础^[9], 因此对 VOCs 排放清单的研究显得十分重要. 目前四川省 VOCs 的排放情况主要来自于全国尺度“自上而下”的研究结果^[10,11], 针对四川

地区人为源 VOCs 排放清单的研究还鲜有报道. 因此本研究基于四川省环境统计数据和其他相关统计资料, 利用排放因子法, 结合“自上而下”与“自下而上”两种方法, 较为详细地估算了 2011 年四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单; 同时利用最大增量反应活性 (MIR) 和气溶胶生成系数法 (FAC) 计算各污染源的臭氧和 SOA 的生成潜势, 旨在为四川省的大气污染治理提供基础数据支持.

收稿日期: 2013-07-02; 修订日期: 2013-08-20

基金项目: 四川省财政厅专项(2012001-2)

作者简介: 韩丽(1987~), 女, 硕士, 主要研究方向为大气环境污染与控制, E-mail: h-an-l-i@163.com

* 通讯联系人, E-mail: 894644145@qq.com

1 研究方法

1.1 研究范围与估算方法

在排放源清单计算中, VOCs 的人为来源可分为固定化石燃料燃烧源、生物质人为燃烧源、工业过程排放源、溶剂使用源、化石燃料分配源和移动源^[11]。其中移动源的估算往往需要较多的活动水平数据和因子本地化工作^[12], 而本研究所有的基础数据尚不能满足移动源清单的估算需求, 因此仅对前 5 种排放源开展了清单研究, 将这 5 类排放源统称为典型人为污染源。除化石燃料分配源估算区域为成渝经济区四川部分的 14 市(未含雅安)之外, 其余排放源的研究区域均为四川省 21 个市州。以 2011 年为研究年份, 估算方法为排放因子法, 用如下公式概括表示:

$$E_i = F_i \times A_i$$

式中, E_i 为某 i 环节的 VOCs 排放量, A_i 为对应环节的活动水平数据, F_i 为排放因子。

1.2 活动水平与排放因子

不同的污染源采用的活动水平与排放因子各有不同, 因此下面分类别进行介绍。

1.2.1 固定化石燃料燃烧源

固定化石燃料燃烧源分为工业固定化石燃料燃烧源和民用化石燃料燃烧源两部分, 其中工业固定化石燃料燃烧源分为火电厂和其他工业固定化石燃料燃烧源。燃料用量信息来源于 2011 年四川省环境统计数据, 其中工业固定化石燃料信息为精确到企业经纬度的点源数据, 民用化石燃料为分市的数据。排放因子借鉴国内相关学者的文献数据^[10,11]。

1.2.2 生物质人为燃烧源

生物质人为燃烧主要包括秸秆室内燃烧、薪柴室内燃烧和秸秆露天焚烧。利用四川省农作物产量^[13,14]以及谷草比^[15,16]计算出秸秆产量, 再根据燃烧比例与燃烧效率^[17,18]得到秸秆室内燃烧量和露天焚烧量, 通过借鉴国内研究结果^[19~21], 并考虑最新的农村能源格局^[22], 最终确定秸秆露天燃烧比例为 20%, 秸秆室内燃烧比例为 18%。薪柴的消费量通过历年中国农村统计年鉴数据^[13]外推获得。以上活动水平数据均为省级数据, 利用耕地面积、人口等参数分配得到各市州的数据。排放因子引用文献成果^[10,19,23]。

1.2.3 工业过程排放源

工业过程排放源是一类在工业生产过程中, 因工艺条件、原料的参与等因素造成 VOCs 排放的污

染源, 涉及到的行业主要包括: 农副食品加工与食品制造、制酒、造纸和纸制品、炼焦、石油炼制、化学原料和化学制品制造、医药制造、化学纤维、钢铁冶炼、铸造(铸铁)、橡胶与塑料制品、水泥制造等。各行业排放量计算所需要的产品产量数据主要来自于环境统计点源数据, 有关排放因子见表 1。

1.2.4 溶剂使用排放源

溶剂使用排放源对应的活动水平数据主要为涂料、胶黏剂等的消耗量或是产品的产量、产值等信息, 各行业的数据来源如下: 汽车制造、印刷电路与半导体制造的活动水平数据来源于环境统计点源数据; 建筑装饰墙壁涂料用量利用统计年鉴中各市州建筑面积推算得到^[10,14]; 印刷、纺织印染、人造板制造、家具等统计的点源数据有限, 因此利用环境统计数据建立了各行业的溶剂使用量(或 VOCs 排放量)与产值、产品产量的关系, 再根据点源或是全省该行业的产值、产品量进行溶剂使用量(或 VOCs 排放量)的推算; 制鞋业^[29]、汽车修补^[30]采用相关行业调查资料; 木器装修涂料用量利用文献[10]中相应涂料用量与建筑竣工面积比例以及四川省 2011 年的建筑竣工面积^[14]得到。有关排放因子见表 2。

1.2.5 化石燃料分配源

化石燃料分配来源根据 VOCs 排放的地点环节不同, 分为加油站排放、油品运输过程排放和储油库排放, 其中油品运输过程本研究未考虑中转。油品周转量等信息主要来自于地方环保局, 其中成都市数据较为完善, 包括各个加油站、油库的周转量、油气回收等调查数据。由于数据获取有限, 本部分仅计算汽油相关的排放。排放因子中, 运输过程损失因子根据文献[35]得到; 存储、装卸和加油等过程排放因子引用相关文献数据^[31,36,37]。

1.3 物种排放量计算

总结选取国内已有的各污染源成分谱研究成果(表 3), 对四川省的 VOCs 进行物种分配, 从而实现对臭氧和 SOA 生成潜势的估算。溶剂使用行业中除涉及到涂料使用的行业外, 其余的行业均认为与印刷行业排放成分谱相同, 工业过程的各行业均采用了相同的源成分谱。

1.4 臭氧生成潜势估算方法

臭氧生成潜势 OFP 代表 VOCs 物种在最佳条件下对臭氧生成的最大贡献, 该项指标被广泛地用于 VOCs 的环境影响评估^[43,44]。OFP 的计算公式可表示为:

表 1 VOCs 工业过程源排放因子/g·kg⁻¹

Table 1 Emission factors of VOCs from industrial processes/g·kg⁻¹

排放源	排放源子类	对应活动水平	排放因子 ²⁾
农副食品加工与食品制造	制糖/饼干/植物油/面包	食品产量	8/1/3.5/4.5/4.5 ^[10]
	制酒	其他液态发酵类食品制造	0.4 ²⁾
	啤酒/红酒/白酒	食品产量	0.4/0.5/25 ^[10]
	酒精	食品产量	30 ²⁾
造纸和纸制品		制品产量	2.6 ^[10]
炼焦		焦炭产量	1.25 ^[24]
石油炼制	储罐	石油周转量	0.5 ^[25]
	转运	石油周转量	1.5 ^[25]
	泄漏	石油周转量	2.4/0.8 ^[25]
	废水处理	石油周转量	0.12 ^[25]
化学原料和化学制品制造	甲醇/苯/合成氨	制品产量	5.95/0.55/4.725 ^[25]
	涂料/胶黏剂/油墨	制品产量	15/30/60 ^[10]
	塑料及合成树脂	制品产量	2.2 ^[25]
	聚乙烯/聚氯乙烯/橡胶	制品产量	4.5/5.4/12.5 ^[10]
	合成洗涤剂/化学药品原料	制品产量	0.025/114.14 ^[25]
	玻璃/炭黑	制品产量	4.4/64.7 ^[10]
医药制造	化学药品原料	制品产量	114.14 ^[25]
化学纤维	醋酸纤维	制品产量	145.2 ^[26]
	其他纤维	制品产量	5.1 ^[26]
	合成纤维	制品产量	73.4 ^[11]
	粘胶纤维	制品产量	14.5 ^[10]
	涤纶	制品产量	0.7 ^[10]
	橡胶与塑料	轮胎 ¹⁾	制品产量
橡胶		制品产量	12.5 ^[10]
塑料及合成树脂		制品产量	2.2 ^[25]
聚丙烯 pp		制品产量	7.8 ^[10]
泡沫塑料		制品产量	770 ^[10]
丙烯腈 ABS 树脂		制品产量	1.5 ^[26]
钢铁冶炼	炼钢/烧结矿/球团矿	制品产量	0.15/0.138/0.014 ^[27]
铸铁		制品产量	0.2 ^[28]
水泥		制品产量	0.1 ^[27]

1) 因子单位为 kg·(轮胎个数)⁻¹; 2) 排放因子为本研究根据类似产品推测得到

表 2 VOCs 溶剂使用排放源排放因子/g·kg⁻¹

Table 2 Emission factors of VOCs from solvent utilization/g·kg⁻¹

排放源	排放源子类	因子对应活动水平	排放因子
纺织印染		印染料以及助剂用量	98 ^[25]
人造板制造		涂料用量	637 ^[31]
		胶黏剂用量	88 ^[31]
家具		涂料用量	637 ^[31]
木器装修		涂料用量	637 ^[31]
制鞋		制鞋量 ¹⁾	24 ^[32]
印刷	包装印刷	油墨用量	515 ^[31]
		出版印刷	油墨用量
		油墨稀释剂	1 000 ^[26]
		软包装胶黏剂	1 385 ^[26]
		其他胶黏剂	89 ^[26]
印刷电路		电路板面积 ²⁾	1.4 ^[33]
半导体		产值 ³⁾	3.2 ^[34]
建筑墙壁装饰	内墙	涂料用量	120 ^[31]
	外墙	涂料用量	580 ^[31]
汽车修补		修补漆用量	720 ^[10]
汽车制造		涂料用量	470 ^[10]

1) 因子单位 g·双⁻¹; 2) 因子单位 kg·m⁻²; 3) 因子单位 kg·万元⁻¹

表 3 VOCs 源成分谱来源

Table 3 Summary of VOCs source profiles

污染源	源成分谱分类	文献
溶剂使用	涂料使用	[38]
	印刷	[38]
化石燃料分配	油品挥发	[39]
	生物质燃烧-室内燃烧	水稻秸秆燃烧
秸秆露天焚烧	玉米秸秆燃烧	[40]
	小麦秸秆燃烧	[40]
	木柴燃烧	[40]
工业过程	小麦秸秆燃烧	[41]
	玉米秸秆燃烧	[41]
化石燃料燃烧	化工制造	[42]
	燃煤	[42]

$$OFP_i = E_i \times MIR_i$$

式中, OFP_i 为某个 VOC 物种 i 的 OFP 值; E_i 为该 VOCs 物种的排放量或浓度; MIR_i 为 Carter 利用烟雾箱实验得到的经验数值, 本次计算采用其最新更新的 MIR 数据^[45]. 将不同污染源中的各 VOC 物种

的 OFP 值加和,即获得该污染源总臭氧生成潜势.

1.5 SOA 生成潜势估算方法

采用气溶胶生成系数法 (FAC) 来估算 SOA 的生成潜势^[46]. SOA 生成潜势计算公式如下:

$$SOA_p = VOC_0 \times F_{VOCr} \times FAC$$

式中, VOC_0 为某种 VOC 的排放量或排放浓度; FAC 和 F_{VOCr} 分别是该种 VOC 的气溶胶生成系数和参与反应的系数. 将不同污染源中的各 VOC 物种的 SOA_p 值加和,即得到总 SOA 生成潜势.

Grosjean^[46]利用烟雾箱实验得到了 90 多种 VOCs 的 FAC 和 F_{VOCr} 值,在 SOA 生成潜势估算方面有着较为广泛的应用^[47~49]. 本研究的 FAC 和 F_{VOCr} 数值主要来源于 Grosjean^[46] 和 吕子峰等^[48] 的研究

结果.

2 结果与讨论

2.1 四川省典型人为污染源 VOCs 排放量及其行业分布

通过上述的研究方法和有关数据,得到四川省各市州典型人为污染源 VOCs 的总排放量约为 482 kt,其中生物质人为燃烧源贡献量最大为 174 kt,占总量的 36%,其次为溶剂使用和工业过程排放,分别为 153 kt 和 121 kt,各占 32% 和 25%. 而化石燃料分配源、化石燃料固定燃烧源共占总排放量的 7%,分别为 21 kt、13 kt. 表 4 列出了较为详细的行业排放量.

表 4 四川省典型人为排放源 VOCs 排放量/kt

Table 4 VOCs emissions of different sectors in Sichuan province/kt

排放源	排放量	排放源	排放量
生物质燃烧	174	工业过程源	121
秸秆室内燃烧	85.9	制酒行业	23.5
秸秆露天焚烧	71.8	化学原料和化学制品制造	22.0
薪柴燃烧	16.7	水泥行业	19.4
溶剂使用	153	炼焦	15.9
建筑墙壁装饰	51.9	造纸和纸制品	10.9
家具行业	23.0	原油加工及石油制品	8.2
木器装修行业	21.3	橡胶与塑料行业	7.6
人造板制造行业	20.8	化学纤维	4.5
印刷行业	12.0	钢铁冶炼	4.0
纺织印染行业	6.0	农副食品加工与食品制造	3.6
印刷电路与半导体	5.9	医药制造	1.0
制鞋行业	4.8	铸造(铸铁)	0.4
汽车修补	4.3	化石燃料分配-汽油	21
汽车制造	3.1	加油站	12.5
化石燃料燃烧	13	油库	4.5
工业化石燃料燃烧源	9.3	油品运输	3.7
民用化石燃烧源	3.8		

生物质人为燃烧源中,秸秆室内燃烧和露天焚烧为主要来源,排放量分别为 85.9 和 71.8 kt,薪柴燃烧排放量为 16.7 kt. 溶剂使用排放源涉及的 10 个行业中,建筑墙壁装饰排放量占有最大比重,其次是家具行业、人造板制造行业以及木器装修涂料行业. 工业过程源涉及的行业有 12 类,其中四川省制酒行业贡献 19.4%,为最大的排放源,此外化学原料和化学制品制造、水泥、炼焦、造纸和纸制品行业 VOCs 排放量也占有较大比重,均超过 10 kt. 化石燃料分配源中,由于数据信息量有限,仅重点计算了四川省 14 市的汽油存储运输分配过程的排放,柴油、原油等未考虑在内,在加油站环节造成的 VOCs 排放量约为 12.5 kt,油库环节排放量为 4.5 kt,油品运输排放量为 3.7 kt.

2.2 四川省各地区典型人为污染源 VOCs 排放量分布

四川省 VOCs 各污染源的排放量地区分布情况汇总见表 5,其中成都市各污染源 VOCs 排放总量为 112 214 t,显著高于四川省的其他市州,占四川全省排放量的 23.3%,其余城市中绵阳、南充排放量最高,均在 30 kt 以上,达州、德阳、泸州、宜宾、内江、资阳以及凉山州排放量在 20 kt 以上,其余城市均在 20 kt 以下.

图 1 列出了各污染源的 VOCs 排放分担率. 工业过程源排放量靠前的地区依次为成都、内江、宜宾、攀枝花和德阳,均超过 10 kt,除成都之外,工业过程源排放的 VOCs 均为以上各城市最主要的污染源,炼焦、制酒、化学原料和化学制品制造、造纸等

行业贡献了这些地区主要的工业过程源排放量. 化石燃料固定燃烧源排放量对各地区的总 VOCs 排放量贡献均较小, 排放量最大的为成都. 溶剂使用排放源中, 排放量最大的城市为成都, 其排放量近 70 kt, 远高于其他地区, 占成都总 VOCs 排放量的 60% 以上, 主要来源于家具、建筑墙壁装饰、印刷等行业, 其次为泸州、南充, 两地区的溶剂使用源的排放

量高于 10 kt, 主要来自于建筑墙壁装饰和人造板制造行业. 生物质人为燃烧源 VOCs 排放量占各市州总排放量的相对贡献比例中, 甘孜、凉山和阿坝最高, 在 80% 以上, 绝对排放量中, 凉山、南充、达州、绵阳、成都以及资阳均超过 10 kt, 凉山州最高为 17 284 t. 在化石燃料分配中, 仅计算了四川 14 个市州, 其中成都市排放量最高为 10 085 t.

表 5 四川省各市州不同污染源挥发性有机物排放量统计/t

Table 5 VOCs emissions of different cities in Sichuan province/t

地区	工业过程排放	化石燃料固定燃烧	溶剂使用	生物质人为燃烧	化石燃料分配	总量
成都市	18 589	1 738	69 056	12 747	10 085	112 214
绵阳市	7 724	934	8 206	13 047	1 539	31 449
南充市	4 401	278	11 036	14 207	1 130	31 052
达州市	5 463	1 106	6 311	13 400	559	28 882
德阳市	10 060	454	4 752	7 676	1 746	27 550
泸州市	7 023	1 045	11 166	7 706	610	26 839
宜宾市	12 724	1 034	4 696	9 569	859	24 689
内江市	12 826	858	2 984	7 099	641	24 408
资阳市	3 680	219	5 493	12 440	515	22 346
凉山州	1 697	295	866	17 284	—	20 143
乐山市	5 590	844	4 562	6 128	920	18 044
眉山市	6 164	614	3 749	6 645	337	17 508
遂宁市	3 183	204	4 521	7 730	436	16 346
攀枝花市	12 275	1 123	1 067	1 881	—	16 074
广安市	3 578	1 144	2 565	6 785	406	14 478
广元市	2 554	287	3 159	7 905	—	13 905
自贡市	2 248	550	3 349	5 296	847	12 290
巴中市	574	129	2 938	6 510	—	10 151
阿坝州	11	66	544	3 104	—	5 162
雅安市	634	139	1 762	2 551	—	5 086
甘孜州	72	43	342	4 706	—	3 725
全省	121 070	13 105	153 123	174 415	20 627	482 341

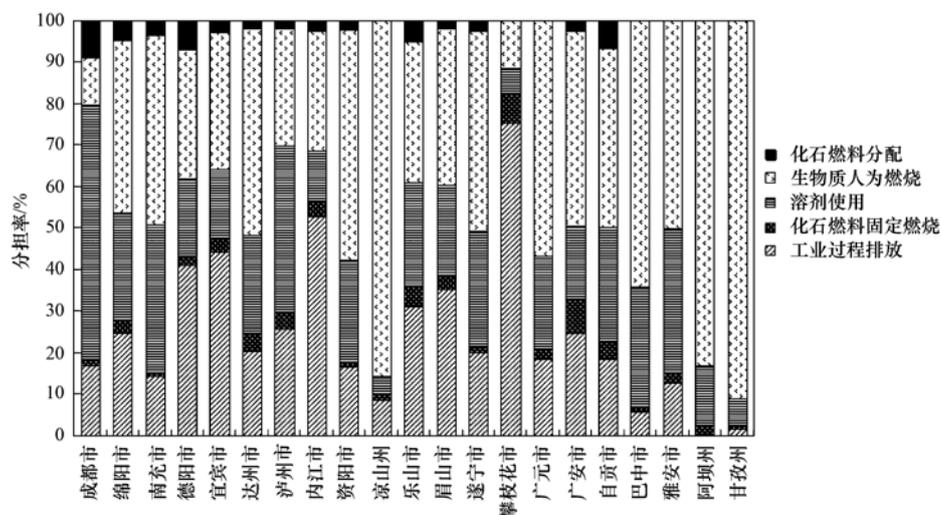


图 1 各市州污染源排放分担率

Fig. 1 Source contributions of VOCs for the five typical sources

2.3 四川省典型污染源挥发性有机物环境影响

2.3.1 臭氧生成潜势

通过 MIR 计算,将各污染源的 OFP 情况列于图 2,其中横坐标由左到右各污染源的 VOCs 排放量依次降低.四川省典型人为污染源排放的挥发性有机物 OFP 总量为1 930 kt.各污染源的 OFP 与其 VOCs 排放量大小顺序一致.其中,生物质燃烧排放源 OFP 占总量的 38.7%,溶剂使用源的 OFP 占总量的 36.0%,工业过程排放源的 17.7%,化石燃料存储排放源和化石燃料固定燃烧源的 OFP 共占 7.6%.各污染源排放单位质量 VOCs 造成的 OFP 可以用来判断该污染源的臭氧生成能力大小^[44],其中工业过程排放源的臭氧生成能力相对较弱,为 $3 \text{ t} \cdot \text{t}^{-1}$ 左右,其余 4 个污染源均在 $4 \sim 4.5 \text{ t} \cdot \text{t}^{-1}$ 之间.综上 OFP 值与单位质量 VOCs 的 OFP 值比较可以发现,生物质燃烧源、溶剂使用源和工业过程排放源对四川地区臭氧的生成有着非常重要的作用,而尽管化石燃料分配和化石燃料固定燃烧源的 OFP 贡献量小,但是其臭氧生成能力较强,在进行污染控制的时候也是不容忽视的.

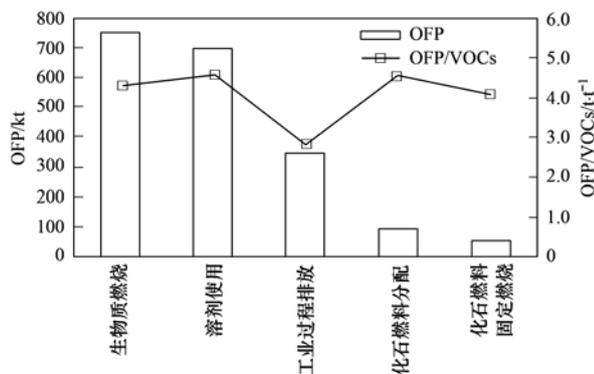


图 2 各污染源臭氧总生成潜势与单位质量 VOCs 排放造成的臭氧生成潜势

Fig. 2 Total ozone formation potentials and OFP caused by unit mass VOCs from the five sources

2.3.2 SOA 生成潜势

与图 2 类似,图 3 显示了各污染源 SOA 的生成潜势情况.然而由于 SOA 生成潜势估算方法的局限性,其估算的 SOA 结果往往偏低^[48-50],因此本研究主要利用 SOA 生成潜势的相对高低来评价各污染源对 SOA 的影响^[51].四川省典型人为污染源排放的 VOCs 对 SOA 的生成潜势贡献总量为 1 626t.各污染源对应的 SOA 生成潜势排序不同于 OFP 的排序,其中溶剂使用排放源贡献的 SOA 生成潜势比例最大,为 50.5%,生物质燃烧排放源与工业过程源基本相当,均为 23.0%左右,化石燃料分配以及

化石固定燃烧源由于 VOCs 的排放量低,其 SOA 生成潜势贡献量比例相应的仅为 1.0% 和 1.4%.与 OFP 类似的,各污染源排放单位质量 VOCs 造成的 SOA 生成潜势大小可以用来判断该污染源的 SOA 生成能力大小,其中溶剂使用排放源的 SOA 生成能力最强,其次为化石燃料分配和工业过程排放.通过以上分析可以得出四川省溶剂使用排放源、工业过程源和生物质燃烧排放源对 SOA 的生成十分重要,尤其是溶剂使用排放源,其 VOCs 总排放量大,并且对 SOA 的贡献量和 SOA 的生成能力均是各典型污染源中最强的,因此对溶剂使用排放源的控制尤为重要;此外化石燃料分配源由于其 SOA 生成能力较高也应受到足够的重视.

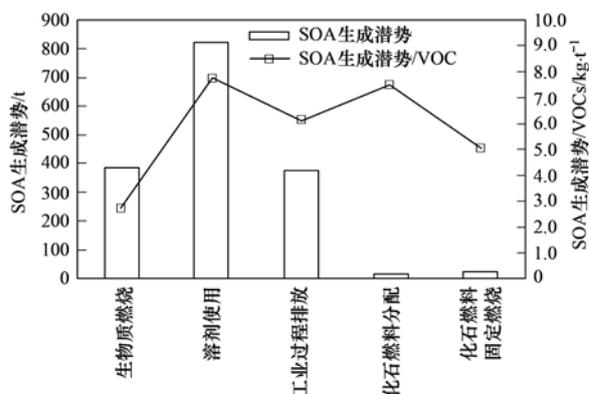


图 3 各污染源 SOA 总生成潜势与单位质量 VOCs 排放造成的 SOA 生成潜势

Fig. 3 Total SOA formation potentials and SOA caused by unit mass VOCs from the five sources

3 结论

(1) 2011 年四川省典型人为污染源 VOCs 的总排放量为 482 kt,其中生物质人为燃烧源、溶剂使用源、工业过程源、化石燃料分配源、化石燃料固定燃烧源排放量分别为 174、153、121、21、13 kt.

(2) 建筑墙壁装饰、家具、木器装修和人造板制造为四川省主要的溶剂使用源排放行业,排放量均在 20 kt 以上.制酒、化学原料和化学制品制造、水泥、炼焦以及造纸和纸制品为主要的工业过程源排放行业,其 VOCs 排放量均超过 10 kt.

(3) 成都市各污染源 VOCs 排放总量为 11 2214 t,绵阳、南充排放量在 30 kt 以上,宜宾、达州、泸州、德阳、内江、资阳以及凉山州排放量在 20 kt 以上,其余城市均在 20 kt 以下.

(4) 四川省典型人为污染源 VOCs 的 OFP 总量为 1 930 kt.生物质人为燃烧源、溶剂使用源和工业过程源的 OFP 分别占总量的 38.7%、36.0% 和

17.7%, 化石燃料分配源和化石燃料固定燃烧源共同占 7.6%。SOA 生成潜势中, 溶剂使用排放源贡献 50.5%, 生物质燃烧排放源与工业过程源的贡献均为 23% 左右, 化石燃料分配和化石燃料固定燃烧源分别为 1.0% 和 1.4%。

参考文献:

- [1] Chan C K, Yao X H. Air pollution in mega cities in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(1): 1-42.
- [2] Shao M, Tang X Y, Zhang Y H, *et al.* City clusters in China: air and surface water pollution[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2006, **4**(7): 353-361.
- [3] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. 221-238.
- [4] Hallquist M, Wenger J C, Baltensperger U, *et al.* The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: current and emerging issues [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(14): 5155-5236.
- [5] Carlton A G, Wiedinmyer C, Kroll J H. A review of Secondary Organic Aerosol (SOA) formation from isoprene [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(14): 4987-5005.
- [6] Lou Y F, Daren L, Zhou X J, *et al.* Characteristics of the spatial distribution and yearly variation of aerosol optical depth over China in last 30 years [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, **106**(D13): 14501-14513.
- [7] Chen Y, Xie S D. Temporal and spatial visibility trends in the Sichuan Basin, China, 1973 to 2010 [J]. *Atmospheric Research*, 2012, **112**: 25-34.
- [8] 钱骏, 廖瑞雪, 邓利群, 等. 成都市大气中 O₃ 污染水平及来源分析[J]. *四川环境*, 2011, **30**(3): 20-23.
- [9] 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.
- [10] 魏巍. 中国人为源挥发性有机化合物的排放现状及未来趋势 [D]. 北京: 清华大学, 2009.
- [11] Bo Y, Cai H, Xie S D. Spatial and temporal variation of historical anthropogenic NMVOCs emission inventories in China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(23): 7297-7316.
- [12] Cai H, Xie S D. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005 [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(39): 8963-8979.
- [13] 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.
- [14] 四川省统计局, 国家统计局四川调查总队. 四川统计年鉴 2012 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [15] 刘刚, 沈镛. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布 [J]. *自然资源学报*, 2007, **22**(1): 9-19.
- [16] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算 [J]. *农业工程学报*, 2009, **25**(12): 211-217.
- [17] Streets D G, Yarber K F, Woo J H, *et al.* Biomass burning in Asia: annual and seasonal estimates and atmospheric Emissions [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, **17**(4): 1099-1119.
- [18] 张鹤峰. 中国农作物秸秆燃烧排放气态、颗粒态污染物排放特征的实验室模拟 [D]. 上海: 复旦大学, 2009.
- [19] 王书肖, 张楚莹. 中国秸秆露天焚烧大气污染物排放时空分布 [J]. *中国科技论文在线*, 2008, **3**(5): 329-333.
- [20] 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.
- [21] 关于印发“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案的通知 [J]. *农村财政与财务*, 2012, (2): 39-42.
- [22] 刘丽华, 蒋静艳, 宗良纲. 秸秆燃烧比例时空变化与影响因素——以江苏省为例 [J]. *自然资源学报*, 2011, **26**(9): 1535-1545.
- [23] 陆炳, 孔少飞, 韩斌, 等. 2007 年中国大陆地区生物质燃烧排放污染物清单 [J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(2): 186-194.
- [24] Environmental Protection Agency, USA. Emissions factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/index.html#toc>.
- [25] 陈颖, 叶代启, 刘秀珍, 等. 我国工业源 VOCs 排放的源头追踪和行业特征研究 [J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(1): 48-55.
- [26] 杨利娟. 我国工业源 VOCs 排放时空分布特征与控制策略研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [27] European Environment Agency (EEA). EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook [EB/OL]. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>.
- [28] 王玉珏, 黄天佑, 金亮君. 铸造业挥发性有机物与危险性空气污染物控制技术研究 [J]. *铸造*, 2010, **59**(2): 128-133.
- [29] 中国行业咨询网. 2012~2013 年成都市制鞋产业集群现状及存在的问题 [EB/OL]. <http://www.china-consulting.cn/news/20130203/s83712.html>.
- [30] 赵金榜. 我国汽车修补漆市场概况及其发展趋势 [J]. *上海涂料*, 2011, **49**(11): 31-35.
- [31] Fu X, Wang S X, Zhao B, *et al.* Emission inventory of primary pollutants and chemical speciation in 2010 for the Yangtze River Delta region, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **70**: 39-50.
- [32] 余宇帆, 卢清, 郑君瑜, 等. 珠江三角洲地区重点 VOC 排放行业的排放清单 [J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(2): 195-201.
- [33] 台湾环境保护署. 空气污染物排放量推估手册 [EB/OL]. 2007. <http://ivy2.epa.gov.tw/air-ei/%E6%8E%A8%E4%BC%B0%E6%89%8B%E5%86%8A7.0/%E6%9C%AC%E6%96%87/TEDS7.0%E6%8E%92%E6%94%BE%E6%8E%A8%E4%BC%B0-1.doc>.
- [34] 徐捷, 魏海萍, 修光利, 等. 半导体行业挥发性有机物 (VOCs) 排放特征研究 [J]. *环境科学与管理*, 2007, **32**(10): 37-41, 44.
- [35] 中华人民共和国国家标准. 散装液态石油产品损耗 (GB 11085-89) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [36] Wei W, Wang S X, Chatani S, *et al.* Emission and speciation of non-methane volatile organic compounds from anthropogenic sources in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**

- (20): 4976-498.
- [37] 沈旻嘉, 郝吉明, 王丽涛. 中国加油站 VOC 排放污染现状及控制[J]. 环境科学, 2006, **27**(8): 1473-1478.
- [38] Yuan B, Shao M, Lu S H, *et al.* Source profiles of volatile organic compounds associated with solvent use in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2010, **44**(15): 1919-1926.
- [39] 陆思华, 白郁华, 张广山, 等. 大气中挥发性有机化合物 (VOCs) 的人为来源研究[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(5): 757-763.
- [40] 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.
- [41] Li X H, Wang S X, Duan L, *et al.* Particulate and trace gas emissions from open burning of wheat straw and corn stover in China [J]. Environmental Science & Technology, 2007, **41**(17): 6052-6058.
- [42] 刘莹. 北京和珠江三角洲大气挥发性有机物活性和来源研究 [D]. 北京: 北京大学, 2006.
- [43] Zheng J Y, Shao M, Che W W, *et al.* Speciated VOC emission inventory and spatial patterns of ozone formation potential in the pearl river delta, China [J]. Environmental Science & Technology, 2009, **43**(22): 8580-8586.
- [44] 徐敬, 马建中. 北京地区有机物种人为源排放量及 O₃ 生成潜势估算[J]. 中国科学(B 辑): 化学, 2013, **43**(1): 104-115.
- [45] Carter W P L. Updated maximum incremental reactivity scale and hydrocarbon bin for reactivities regulatory applications [EB/OL]. <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.
- [46] Grosjean D. *In situ* organic aerosol formation during a smog episode: Estimated production and chemical functionality [J]. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 1992, **26**(6): 953-963.
- [47] Kourtidis K, Ziomias I. Estimation of secondary organic aerosol (SOA) production from traffic emissions in the city of Athens [J]. Global Nest: The International Journal, 1999, **1**(1): 33-39.
- [48] 吕子峰, 郝吉明, 段菁春, 等. 北京市夏季二次有机气溶胶生成潜势的估算[J]. 环境科学, 2009, **30**(4): 969-975.
- [49] 王倩, 陈长虹, 王红丽, 等. 上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 424-433.
- [50] 陈文泰, 邵敏, 袁斌, 等. 大气中挥发性有机物 (VOCs) 对二次有机气溶胶 (SOA) 生成贡献的参数化估算[J]. 环境科学学报, 2013, **33**(1): 163-172.
- [51] Dechapanya W, Russell M, Allen D T. Estimates of anthropogenic secondary organic aerosol formation in Houston, Texas special issue of aerosol science and technology on findings from the fine particulate matter supersites program [J]. Aerosol Science and Technology, 2004, **38**(S1): 156-166.

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