

# 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<sub>2.5</sub>时空分布特征及其与PM<sub>10</sub>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CH<sub>4</sub>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,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 ..... 迟荪琳,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)

# 秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征

虎啸宇<sup>1</sup>, 刘航<sup>1</sup>, 王乃玉<sup>1</sup>, 王灿<sup>1\*</sup>, 揣莹<sup>2</sup>

(1. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300372; 2. 秦皇岛市环境保护局宣传教育中心, 秦皇岛 066000)

**摘要:** 根据 2016 年收集的秦皇岛全市 609 家工业企业的产品产量、原料使用量、挥发性有机物(VOCs)排放浓度、排放流量、排放方式等活动水平数据, 采用直接测量法和排放因子法建立秦皇岛市工业源 VOCs 排放清单, 结果表明, 秦皇岛市全年的工业源 VOCs 排放总量为 8 420.07 t, 其中, 经济技术开发区为秦皇岛市 VOCs 排放的主要区域, VOCs 排放量为 4 120.51 t, 占总排放量的 48.9%; 石油加工、炼焦和核燃料加工业, 化学原料和化学制品制造业是秦皇岛重点 VOCs 排放的主要行业, 分别占总排放量的 30.35% 和 14.42%; 从 VOCs 种类分析, 不同行业中苯类, 脂类与烷烃, 酮类相对较多, 其他几种成分均含量较少; 溶剂使用是 VOCs 排放环节中的主要环节, 排放贡献率达到 37%; 在调研 609 家企业中共有 109 家企业有 VOCs 控制设施, 其中吸附法占比最大, 占 69%。

**关键词:** VOCs 排放清单; 工业行业; 排放因子; 秦皇岛; 溶剂使用; 控制设施

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)02-0543-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201706163

## Industrial VOCs Emission in Qinhuangdao

HU Xiao-yu<sup>1</sup>, LIU Hang<sup>1</sup>, WANG Nai-yu<sup>1</sup>, WANG Can<sup>1\*</sup>, CHUAI Ying<sup>2</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300372, China; 2. Qinhuangdao Environmental Protection Agency Publicity and Education Center, Qinhuangdao 066000, China)

**Abstract:** This study established a VOC emissions inventory for Qinhuangdao City using the data on the product yield, raw material use, the concentration of VOCs, the discharge flow, and activities of 609 enterprises. The amount of annual VOC emissions obtained from direct measurements and emission factor methods was 8 420.07 t; 48.9% of which was from the economechnological development district, which is the major industrial source of VOCs in the region. Benzene, lipids, alkanes, and ketones were the main industrial VOC components. For important VOC-emitting industries, processing of petroleum, coking, processing of nuclear fuel contributed 30.35% of total VOCs emissions in Qinhuangdao, and manufacture of chemical raw materials, chemical products contributed 14.42%. Solvent use was the most important emission link, which accounted for 37% of total industrial VOCs emissions. About 109 of 609 investigated plants have VOC treatment facilities, 69% of which are based on adsorption technology.

**Key words:** VOCs emissions inventory; industries; emission factor; Qinhuangdao; solvent use; treatment facilities

挥发性有机物(VOCs)是生成臭氧和二次气溶胶的重要前体物<sup>[1-3]</sup>, 对人体健康也有着严重危害<sup>[4,5]</sup>。近几年由于经济的发展, 汽车尾气和工业源所排放的 VOCs 对环境质量的影响越来越严重<sup>[6]</sup>。国内外学者针对于我国 VOCs 排放清单展开了一系列有价值的研究<sup>[7-13]</sup>, 并建立起了长江三角洲、珠江三角洲、天津、宁波、西安、华北地区等区域及城市的排放清单<sup>[14-20]</sup>。但这些研究中的活动水平数据多来源于国家或行业的宏观统计年鉴<sup>[16]</sup>, 而缺乏基于对某一地区或行业的实际调查数据而建立的 VOCs 排放清单的报道。本文在通过对实际污染源排查走访的基础上得出秦皇岛市 VOCs 工业排放清单, 对当地的工业 VOCs 排放特征进行研究。

秦皇岛位于全国大气污染最严重地区之一的河北省东北部, 是环渤海地区的重要港口城市, 又是京津冀地区的重要旅游城市之一, 近几年的霾现象严重影响了当地旅游业的发展以及人体健康, 其

中, 工业排放的 VOCs 是导致霾产生的潜在原因之一。因此全面调查秦皇岛工业 VOCs 的排放特征, 对秦皇岛市未来展开大气污染防治工作具有重要的指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究范围

本研究调查涉及秦皇岛市的工业企业, 共包括 8 个区县, 609 家企业。根据国民经济行业分类, 并结合秦皇岛市企业分布, 将上述企业分为 15 个行业类型。各企业的区县和行业分布情况如表 1 所示。

收稿日期: 2017-06-16; 修订日期: 2017-09-27

基金项目: 秦皇岛市环保科研计划项目(20160026)

作者简介: 虎啸宇(1993~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染防治与控制, E-mail: hxy958958@163.com

\* 通信作者, E-mail: wangcan@tju.edu.cn

表 1 秦皇岛市各区县不同工业行业企业数统计

Table 1 Distribution of enterprises in different industries of districts in Qinhuangdao

行业	海港区	开发区	山海关区	北戴河区	抚宁区	卢龙县	昌黎县	青龙县
石油加工、炼焦和核燃料加工业	2	2	1		1		2	
化学原料及化学制品制造业	3	13	11	4	3	12	2	2
电子及通信设备制造业		19	4	14		2	1	
交通运输设备制造业	3	17	5	1		1	2	
金属制品业		7		3		2		
印刷和记录媒介复制业	7	3	4	3	19	3	4	
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	1	5	1	1		3		
环境治理业		3	6		1	2		1
塑料制品业		12	8	3	1	9	5	1
食品制造业及酒类制造业		2		5	1	18	6	
玻璃制造业	1	20	3	5	8	3	2	
机械设备制造业	8	56	13	15	1	11	4	
其他制造业	2	10	10	11	6	10	3	3
机械和设备修理业及农副食品加工业	4	20	9	14	2	12	2	
其他		22	32	7	2	1		
总计	31	211	107	86	45	89	33	7

## 1.2 计算方法

经过现场监测的有组织排放的工业企业采用监测算法对 VOCs 排放量测算, 计算公式:

$$E_i = Q_i \times c_i \times T_i \quad (1)$$

式中,  $E_i$  为污染源  $i$  的 VOCs 排放量, t;  $Q_i$  为第  $i$  个排气筒的排放流量,  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $c_i$  为第  $i$  个排气筒的排放浓度,  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $T_i$  为第  $i$  个排气筒的排放时间, h.

其余企业 VOCs 排放量估算采用排放因子法, 估算公式:

$$E_i = EF_i \times A_i \times (1 - \eta_i) \quad (2)$$

式中,  $E_i$  为污染源  $i$  的 VOCs 排放量, t;  $EF_i$  为污染源的排放因子;  $A_i$  为污染源的  $i$  活动水平;  $\eta_i$  表示污染源  $i$  的末端处理设施的污染物去除率.

## 1.3 数据来源

本研究中所使用的 VOCs 活动水平的数据, 主要通过现场监测和基于现场调研资料估算两种方式获得.

现场监测包括对 35 家典型企业现场 VOCs 的排气情况进行直接检测分析, 根据企业排放的 VOCs 浓度和物质种类, 排放风量和排放时间进行计算.

其他企业的 VOCs 排放数据通过对企业进行现场调研, 收集最新的年产品产量, 原料使用量, 排放方式, 有无 VOCs 去除设施等资料. 并依据所收集的资料, 使用排放因子法计算获得各企业的 VOCs 排放量.

## 1.4 分析方法

企业现场的有组织排放的 VOCs 浓度检测采用美国 RAE PGM-7340 高精度 TVOC 检测仪, 采用光离子化检测器 (PID), 提高了检测精度和响应时间. 对每个排放源检测 10 min, 每分钟读 1 次数, 并取其均值作为排气筒 VOCs 浓度.

对企业排放 VOCs 成分进行定量化分析时, 使用 TW-2110 型微小流量空气采样器对企业无组织挥发的 VOCs 进行采集, 采集气体通过美国的 Agilent 7890B-5977A GC/MSD 气质联用仪进行定量化分析, 使用 VF-624ms 型毛细管柱. 升温程序: 平衡时间 0 min, 初始温度 50°C 保持 0 min, 然后以  $1^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  速率升温至 60°C 保持 0 min, 然后以  $9.2^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  速率升温至 115°C 保持 0 min, 以  $35^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  速率升温至 220°C 保持 15 min. 总运行时间 33.978 min, MSD 传输线温度 310°C. 质谱条件设置为离子源温度 230°C, 四级杆温度为 150°C, 电离方式为电子轰击 (EI) 电离能为 70eV, 采用 SIM 扫描方式.

## 1.5 工业源 VOCs 排放环节划分

根据秦皇岛市 VOCs 的排放特征, 将其划分为 5 个排放环节, 分别为产品生产, 溶剂使用, 废物处理, 存储运输以及燃料燃烧.

产品生产源主要来自工业生产过程中产品的合成或分解, 包括化学原料、石油化工、塑料、橡胶、纤维、皮革等的合成过程产生 VOCs, 以及造纸、食品饮料生产、有色金属加工等过程产生<sup>[21]</sup>. 溶剂使

用源产生的 VOCs 主要源于交通运输设备制造业, 机械设备制造业、电子及通信设备制造业、家具制造业<sup>[22]</sup>, 印刷包装<sup>[23]</sup>, 制鞋业等生产过程中使用的油墨、涂料、胶黏剂、工业清洗剂等。存储运输源主要包括油品在储油库排放及运输过程中泄漏所产生 VOCs<sup>[24]</sup>。废物处理源所产生的 VOCs 主要来自于污水处理, 固体废物填埋和固体废物焚烧过程。燃料燃烧源包括工业燃煤和燃料油的使用。

### 1.6 排放因子

本文中排放因子主要参考文献<sup>[25]</sup>, 并结合台湾环保署公布的排放系数<sup>[26]</sup>与美国 AP-42 排放因子库<sup>[27]</sup>, 国内外的研究成果等<sup>[15-21, 28-30]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 秦皇岛市 VOCs 的地域分布特征

图 1 为秦皇岛各区县工业源 VOCs 排放情况。结果表明, 秦皇岛市的工业源 VOCs 排放总量为 8 420.07 t。闫东杰等<sup>[19]</sup>研究表明西安市的 VOCs 工艺过程源排放总量为  $1.51 \times 10^4$  t, 有机溶剂使用源 VOCs 排放总量为  $5.93 \times 10^4$  t。余宇帆等<sup>[16]</sup>的研究表明中山市工业 VOCs 排放总量为  $3.03 \times 10^4$  t, 珠海市 VOCs 排放总量为 8 800 t。因秦皇岛属于旅游城市, 化工行业, 制造业相对较少, 因此秦皇岛 VOCs 排放总量低于其他城市。

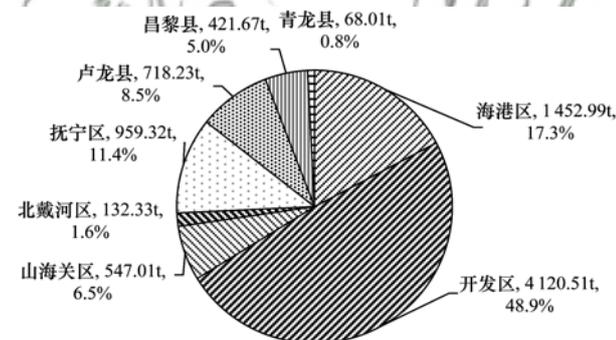


图 1 秦皇岛市各区县工业源 VOCs 排放情况

Fig. 1 Industrial VOCs emissions of different districts of Qinhuangdao

从秦皇岛市各区县的 VOCs 排放量来看, 排放量最大的是经济技术开发区, 其企业数量也占秦皇岛市企业数量 1/3 以上。VOCs 排放占总排放量的 48.9%, 其次是海港区, 占 17.3%, 抚宁区占 11.4%。这与 3 个地区的工业数量以及行业类型有关, 秦皇岛市内许多大型工业企业集中在开发区和海港区, 其中以化学原料及化学制品制造业和交通运输设备制造业占大多数, 因此排放量较大; 抚宁

区企业以印刷和记录媒介复制业和玻璃制造业为主。卢龙县, 山海关区和昌黎县的 VOCs 排放量分别占总量的 8.5%、6.5% 和 5%。其中卢龙县的主要 VOCs 排放企业为化学原料及化学制品制造业, 山海关区主要以机械设备制造业和化学原料及化学制品制造业为主。而北戴河与青龙县 VOCs 排放量最少, 分别只占有总量的 1.6% 和 0.8%。

图 2 为秦皇岛市各区县不同 VOCs 排放环节的 VOCs 排放量分布情况。

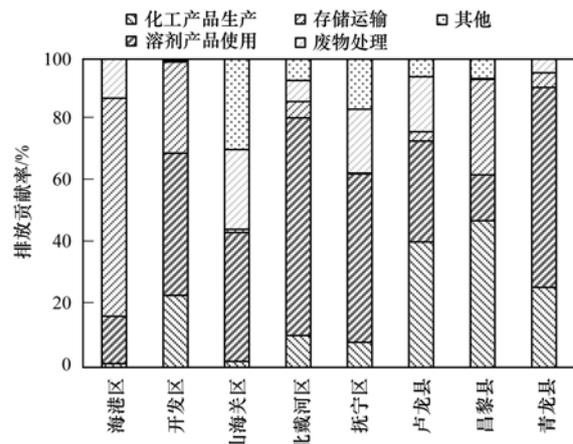


图 2 秦皇岛市各区县工业源 VOCs 排放环节所占比重

Fig. 2 VOCs emissions of different processes in each district of Qinhuangdao

从图 2 中可以看到, 海港区的 VOCs 排放主要来源为存储运输过程中产生, 占海港区 VOCs 排放总量的 70.7%, 这与海港区有着几个秦皇岛市的大型油库和中石油企业有关, 而在开发区, 由于当地工业产业发达, 且多为制造行业, 溶剂使用过程产生的 VOCs 占绝大多数, 为 1 899.22 t, 占开发区排放量的 46%, 存储运输和产品生产所产生 VOCs 也较多, 分别占有 29.6% 和 23.4%; 山海关区, 北戴河区与抚宁区都是溶剂使用占 VOCs 排放来源的绝大多数, 这几个区域工业主要为制造业, 化工行业较少, 其中山海关区和抚宁区的废物处理所占比例也较大, 主要因为山海关区畜牧业发达, 产生农业沼气较多, 抚宁县则多为造纸废水产生的 VOCs。而卢龙县主要排放源是化工产品生产为 292.86 t, 占卢龙县排放量的 40.7%, 溶剂使用其次, 占 32.7%。昌黎县和青龙县则主要是产品生产源。

### 2.2 秦皇岛市 VOCs 的行业排放特征

#### (1) 不同行业 VOCs 排放量分析

图 3 为秦皇岛市工业源 VOCs 重点行业排放清单。

图 3 的结果表明, 其中排放量最大的行业是石

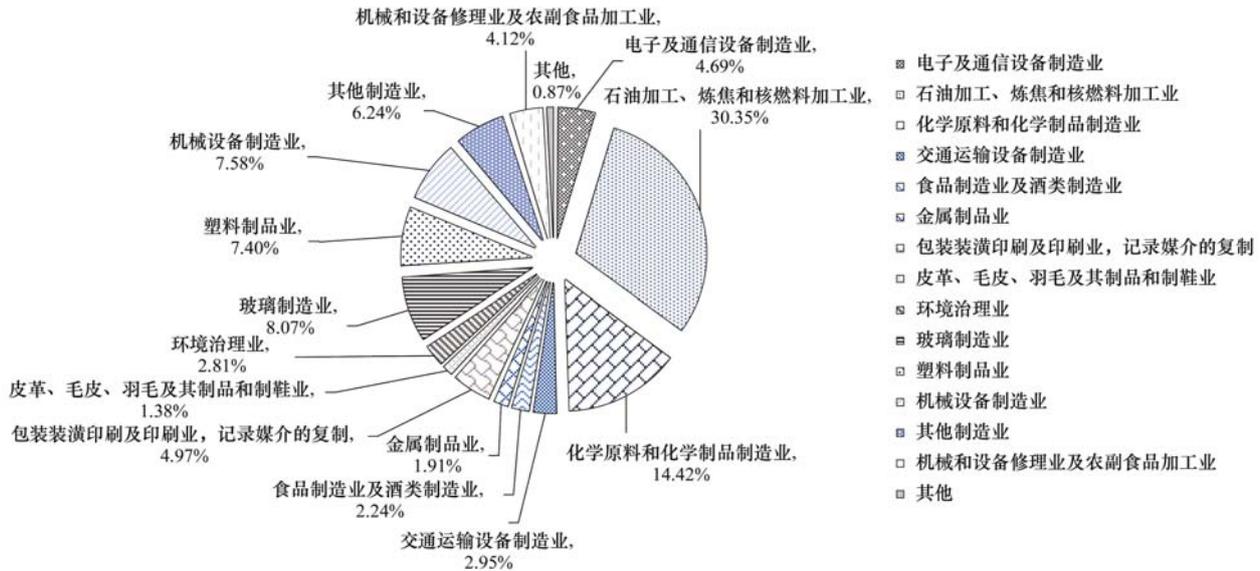


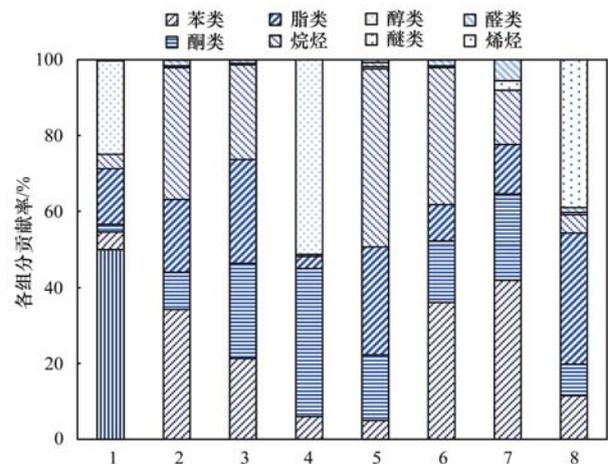
图3 秦皇岛市工业源挥发性有机物行业 VOCs 排放特征

Fig. 3 Contribution to VOCs emission from different industries of Qinhuangdao

油加工、炼焦和核燃料加工业，达到工业 VOCs 总排放量的 30.35%，VOCs 排放量为 2555.46 t，该行业的 VOCs 主要来自装置泄漏，装卸车过程，以及污水处理时所产生。化学原料和化学制品制造业 VOCs 排放量 1214.08 t，所占比例为 14.42%，该行业的 VOCs 主要源于化学产品的制造或者分解过程。其次为玻璃制造业，所占比例为 8.07%，排放量为 676.2 t，玻璃制造业的 VOCs 主要来自于玻璃加工过程中涂料、油墨、胶黏剂的使用。塑料制品业、机械制造业、交通运输设备制造业、电子通信设备制造业与其他制造业，所占比例也较多，分别占 VOCs 排放总量的 7.4%、7.58%、2.95%、4.69%、6.24%。塑料制品业的 VOCs 主要来自于热熔和注塑环节，机械制造业，交通运输设备制造业的 VOCs 产生于涂料在喷涂和烘干环节挥发，电子及通信设备制造业的 VOCs 来源于涂料或油墨的使用环节，其他制造业的 VOCs 来源于喷涂和燃料燃烧环节所产生。印刷和记录媒介复制业排放 VOCs 占总排放量的 4.97%，所排放的 VOCs 量有 396.5 t，主要来自于油墨使用；机械和设备修理业及农副食品加工业占工业总排放量的 4.12%，机械和设备修理业排放的 VOCs 主要源于补漆或机油，防锈油等的使用，而农副食品加工业排放的 VOCs 源于发酵和一些厌氧过程所产生。而食品制造业及酒类制造业，金属制品业，环境治理业，皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业，其他行业所排放的 VOCs 含量均相对较小，分别占有 2.24%、1.91%、2.81%、1.38% 和 0.87%。

### (2) 不同行业 VOCs 组成分析

对秦皇岛市重点 VOCs 排放行业选取典型企业收集有组织排放的 VOCs，对 VOCs 排放源采样并进行定量化分析，秦皇岛市重点 VOCs 排放行业包括印刷和记录媒介复制业，玻璃制造业，皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业，交通运输设备制造业，化学原料及化学制品制造业，塑料制品业，机械制造业，食品制造业及酒类制造业 8 个行业类型。对所采集样品分析结果如图 4 和表 2 所示。



1. 印刷和记录媒介复制业；2. 玻璃制造业；3. 皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业；4. 交通运输设备制造业；5. 机械制造业；6. 化学原料及化学制品制造业；7. 塑料制品业；8. 食品制造业及酒类制造业

图4 秦皇岛市工业源挥发性有机物行业 VOCs 排放化学组分

Fig. 4 Chemical composition of VOCs emitted from different industries of Qinhuangdao

表 2 秦皇岛市主要工业行业排放 VOCs 物质种类<sup>1)</sup>

Table 2 Components of VOCs emitted from different industries of Qinhuangdao

化合物名称	印刷和记录媒介复制业	玻璃制造业	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	交通运输设备制造业	化学原料及化学制品制造业	塑料制品业	机械设备制造业	食品制造业及酒类制造业
丙酮	●	●	●	○	●	○	●	●
异丙醇	●	○	○	●	○	○	○	○
正己烷	●	●	●	○	●	○	○	○
1-癸烯	○	○	○	○	○	●	○	●
乙酸乙酯	●	●	●	○	●	●	●	●
六甲基二硅氧烷	○	○	○	○	○	○	●	○
苯	●	●	●	●	●	○	○	○
正庚烷	●	●	●	○	●	●	○	●
3-戊酮	○	○	●	○	●	○	○	○
甲苯	●	●	●	○	●	●	○	●
乙酸丁酯	○	○	○	○	○	●	○	○
环戊酮	●	○	○	○	●	○	○	○
乳酸乙酯	●	●	●	●	●	●	●	○
丙二醇单甲醚乙酸酯	○	○	○	○	○	○	○	○
乙苯	●	●	●	○	●	○	○	○
间/对-二甲苯	●	●	●	○	●	○	○	○
邻二甲苯 + 苯乙烯	●	●	●	○	●	○	○	○
苯甲醚	○	○	○	○	○	○	○	○
苯甲醛	○	●	●	○	●	○	○	○
2-庚酮	●	●	●	●	●	●	●	●
2-壬酮	○	○	○	●	○	○	○	○
1-十二烯	○	○	○	○	○	○	○	○

1) ○表示未检出, ●表示有检出

由表 2 可见, 不同行业排放的 VOCs 种类差别较大, 且种类均相对复杂, VOCs 种类的不同与原料的使用和生产工艺的差别有关. 但这些行业之间有一些共同的特征, 例如乙酸乙酯、乳酸乙酯和 2-庚酮在多数行业排放废气中均有检出, 而苯甲醚、1-十二烯在几种行业中均未检出.

图 4 的结果表明, 在印刷和记录媒介复制业中脂类和醇类在所排放 VOCs 中成分相对较多, 而在玻璃制造业与其他制造业 VOCs 排放来源使用胶黏剂, 排放 VOCs 成分主要为烷烃, 脂类和苯类. 交通运输设备制造业和机械设备制造业主要排放源都是油漆挥发所产生, VOCs 排放比重最多的是烷烃, 脂类和酮类, 苯类等, 除此之外, 在化学原料及化学制品制造业, 塑料制品业中都是苯类和烷烃、酮类、醛类等比重相对较高. 从 VOCs 种类所分析, 不同行业中苯类, 脂类与烷烃, 酮类相对较多, 醇类在印刷和记录媒介复制业中含量较高, 其他几种成分均含量较少.

### 2.3 不同环节的 VOCs 排放特征

图 5 为秦皇岛市工业源中不同 VOCs 排放环节

所产生 VOCs 的分担率的比较.

从图 5 可知, 溶剂使用过程中排放的 VOCs 所占比例最高, 占 36.54%, 存储运输过程中占 31.1%, 产品生产过程排放 VOCs 占 20.28%, 在当地多为树脂合成, 塑料生产以及医药制造等行业生产排放. 废物处理所占比例较小, 只有 6.55%, 而燃料燃烧只占总排放量的 5.33%.

产品生产源, 合成材料是产品生产过程中最主要的 VOCs 排放源, 约占 44.3%, 在当地主要为合成皮革, 卷材等过程中有机原料的挥发, 合成树脂则占产品生产的 20.54%, 合成塑料占产品生产的 20.37%, 化学药品原料, 发酵生产等及医药生产等 VOCs 贡献率均较少, 这与当地工业企业分布有关.

溶剂使用源, 涂料使用是溶剂使用过程中最主要的 VOCs 排放来源, 共占有该环节的 48.2%, 涂料产生的 VOCs 主要在喷涂和烘干过程中. 而涂料使用又可具体分为机械设备制造, 交通运输设备制造业, 电气设备制造业和家具制造业几种, 分别占其中的 22.29%、6.05%、8.12% 和 11.75%. 而胶

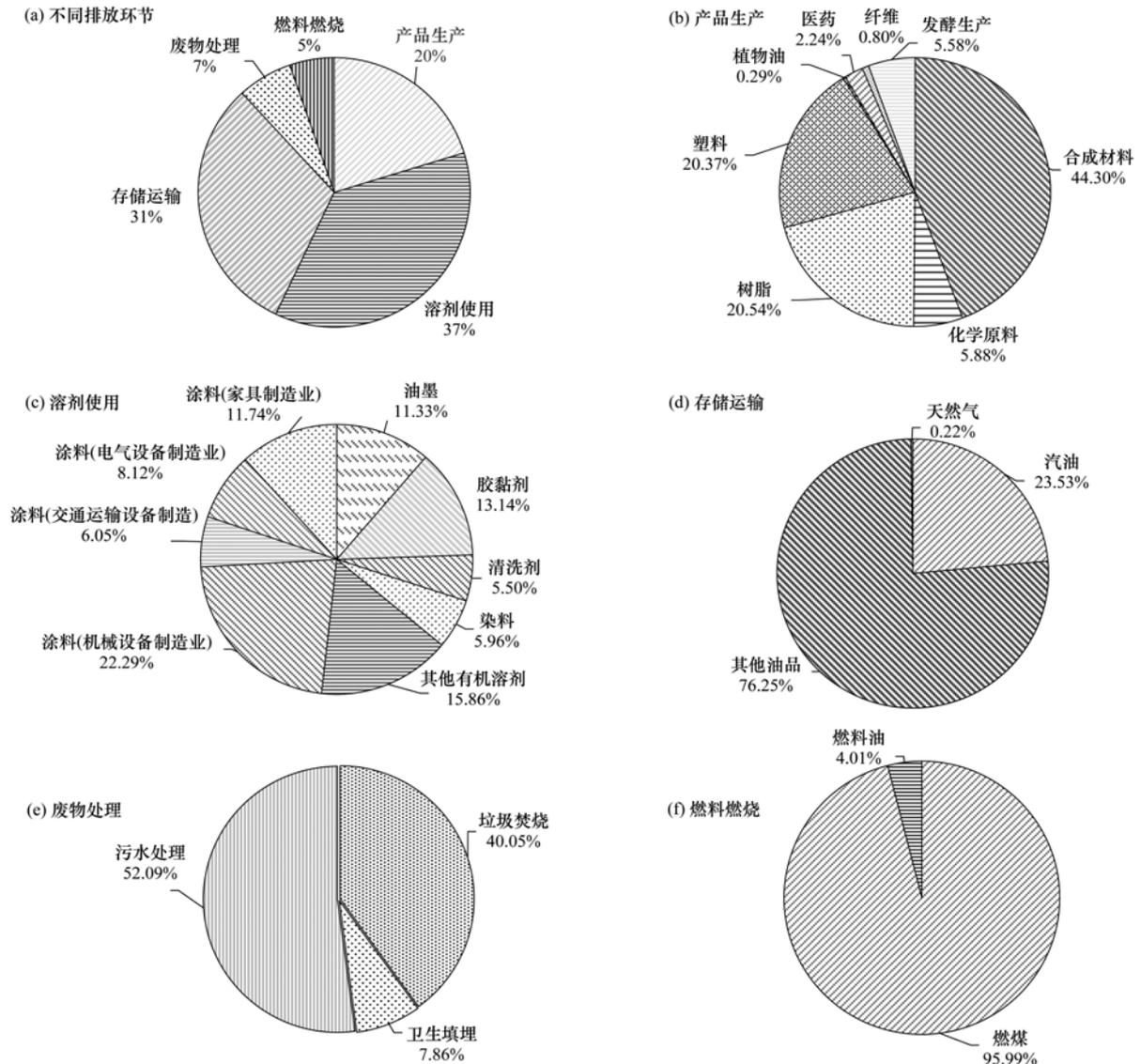


图 5 秦皇岛市工业源不同环节 VOCs 排放来源分担率

Fig. 5 Contribution to VOCs emission from different emission links in Qinhuangdao

黏剂使用与油墨使用在该环节排放量也较多, 分别占 13.14% 和 11.33%。清洗剂与染料相对较少, 只有 5.5% 和 5.96%。除此之外, 其他的有机溶剂挥发占 15.86%。

存储运输源, 该环节中汽油排放占 23.53%, 其他油品占存储运输的 76.25%, 这与秦皇岛有着船舶燃料油库密不可分, 而天然气仅占 0.22%, 因为天然气属于清洁能源, 产生 VOCs 很少。

废物处理源, 该环节中污水处理排放 VOCs 占比 52.09%, 占比最多, 污水处理中 VOCs 主要产生于格栅, 二沉池, 厌氧环节和污泥处理车间。其次为垃圾焚烧, 占比 40.05%, 卫生填埋相对较少。

燃料燃烧源, 燃煤在本环节中占主要, 占燃料燃烧的 95.99%, 当地工业使用基本均为燃煤, 其

余为燃料油燃烧。

#### 2.4 VOCs 控制技术应用现状

根据对秦皇岛市工业企业信息整理统计, 秦皇岛市共有企业 609 家, 其中有 109 家企业有 VOCs 治理措施, 其他企业都未采取治理措施。治理技术主要分为吸附法, 吸收法, 催化燃烧, 热力燃烧, 低温等离子技术和生物净化法这 6 类。图 6 描述了秦皇岛市工业企业 VOCs 控制技术的应用现状。

由图 6 可知, 在秦皇岛市工业企业 VOCs 控制技术中, 所采用最多的技术为吸附法, 占 69%, 且所用吸附剂均为活性炭, 这与吸附技术的设备简单方便, 成本较低有关。但是经调查, 企业使用活性炭过程中存在一些问题: ①没有定期对活性炭进行更换, 使活性炭在吸附饱和之后处理效果不好;

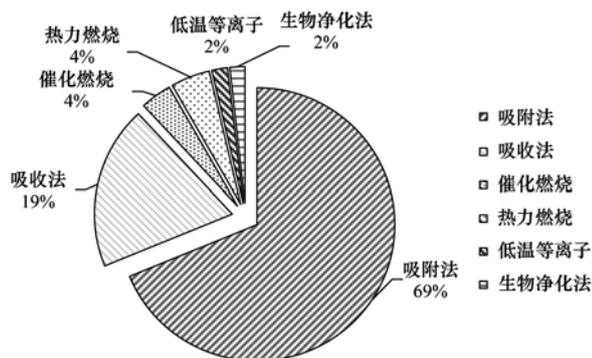


图6 秦皇岛市 VOCs 控制技术现状

Fig. 6 Contribution of VOCs treatment technologies of Qinhuangdao

②对于喷漆房产生的 VOCs 常伴随漆雾直接进入活性炭吸附装置, 容易造成活性炭的堵塞, 影响处理; ③活性炭在吸附之后部分企业并未对吸附 VOCs 后的活性炭采取相应处理措施, 直接扔弃, 造成环境污染。

其次是吸收法, 在控制技术中所占比例为 19%。在该研究中, 企业中所用吸收剂一般为水, 酸或者碱, 虽然成本较低, 但是有时去除效果并不理想。吸收法对水溶性的 VOCs 处理效果较好, 而对溶解度较低的 VOCs 去除效果不佳。而催化燃烧和热力燃烧都占控制技术的 4%, 低温等离子和生物净化法则只占 2%。上述的调研结果表明, 目前企业在 VOCs 控制技术选择上存在一定的盲目性, 多采用简单的活性炭技术, 但存在较多的运营管理问题, 有必要对企业进行相关的知识普及, 帮助企业选择合适的 VOCs 控制技术。

### 3 结论

(1) 秦皇岛市工业源 VOCs 排放总量为 8 420 t, 排放量最大的县区为经济技术开发区, 占总量的 48.9%。排放量较大的区为海港区 and 抚宁区。

(2) 石油加工、炼焦和核燃料加工业, 化学原料及化学制品制造业是秦皇岛市 VOCs 排放的主要行业, 分别占总排放量的 30.35% 和 14.42%。从 VOCs 种类所分析, 不同行业中苯类, 脂类与烷烃, 酮类相对较多, 其他几种成分均含量较少。

(3) 溶剂产品使用为秦皇岛市工业源 VOCs 的主要排放环节, 排放贡献率达 37%, 存储运输, 产品生产, 废物处理, 燃料燃烧所占比例依次降低, 分别占 31%、20%、7%、5%。

(4) 吸附法为秦皇岛市工业源 VOCs 控制技术的主要方法, 占当地控制技术的 69%, 其次为吸收法, 占 19%。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 翟增秀, 邹克华, 李伟芳, 等. 天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析[J]. *环境科学*, 2013, **34**(12): 4513-4518.  
Zhai Z X, Zou K H, Li W F, *et al.* Pollution characterization of volatile organic compounds in ambient air of Tianjin downtown [J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(12): 4513-4518.
- [3] Zheng J Y, Shao M, Che W W, *et al.* Speciated VOC emission inventory and spatial patterns of ozone formation potential in the Pearl River Delta, China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, **43**(22): 8580-8586.
- [4] Sekizawa J, Ohtawa H, Yamamoto H, *et al.* Evaluation of human health risks from exposures to four air pollutants in the indoor and the outdoor environments in Tokushima, and communication of the outcomes to the local people[J]. *Journal of Risk Research*, 2007, **10**(6): 841-851.
- [5] EPA. Integrated risk information system [EB/OL]. <http://www.epa.gov/iris/>, 2016-04-15.
- [6] Xue L K, Wang T, Gao J, *et al.* Ground-level ozone in four Chinese cities: precursors, regional transport and heterogeneous processes[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, **14**(23): 13175-13188.
- [7] 梁小明, 张嘉妮, 陈小方, 等. 我国人为源挥发性有机物反应性排放清单[J]. *环境科学*, 2017, **38**(3): 845-854.  
Liang X M, Zhang J N, Chen X F, *et al.* Reactivity-based anthropogenic VOCs emission inventory in China [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(3): 845-854.
- [8] Mo Z W, Shao M, Lu S H. Compilation of a source profile database for hydrocarbon and OVOC emissions in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, **143**: 209-217.
- [9] Zhao B, Wang S X, Dong X Y, *et al.* Environmental effects of the recent emission changes in China; implications for particulate matter pollution and soil acidification [J]. *Environmental Research Letters*, 2013, **8**(2): 024031.
- [10] 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): 4976-4988.
- [11] Ou J M, Zheng J Y, Li R R, *et al.* Speciated OVOC and VOC emission inventories and their implications for reactivity-based ozone control strategy in the Pearl River Delta region, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **530-531**: 393-402.
- [12] Zheng J Y, Yu Y F, Mo Z W, *et al.* Industrial sector-based volatile organic compound (VOC) source profiles measured in manufacturing facilities in the Pearl River Delta, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, **456-457**: 127-136.
- [13] Mo Z W, Shao M, Lu S H, *et al.* Process-specific emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from petrochemical facilities in the Yangtze River Delta, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **533**: 422-431.
- [14] 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.
- [15] 潘月云, 李楠, 郑君瑜, 等. 广东省人为源大气污染物排放清单及特征研究[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(9): 2655-2669.  
Pan Y Y, Li N, Zheng J Y, *et al.* Emission inventory and characteristics of anthropogenic air pollutant sources in Guangdong Province[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(9): 2655-2669.
- [16] 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.  
Yu Y F, Lu Q, Zheng J Y, *et al.* VOC emission inventory and its uncertainty from the key VOC-related industries in the Pearl River Delta Region[J]. *China Environmental Science*, 2011, **31**(2): 195-201.
- [17] 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.
- [18] 闫雨龙, 彭林. 山西省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献[J]. 环境科学, 2016, **37**(11): 4086-4093.  
Yan Y L, Peng L. Emission inventory of anthropogenic VOCs and its contribution to ozone formation in Shanxi Province[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(11): 4086-4093.
- [19] 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.
- [20] Zhao B, Wang P, Ma J Z, *et al.* A high-resolution emission inventory of primary pollutants for the Huabei region, China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(1): 481-501.
- [21] 韩丽, 王幸锐, 何敏, 等. 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[J]. 环境科学, 2013, **34**(12): 4535-4542.  
Han L, Wang X R, He M, *et al.* Inventory and environmental impact of VOCs emission from the typical anthropogenic sources in Sichuan Province [J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(12): 4535-4542.
- [22] 姚轶, 王浙明, 何志桥, 等. 浙江省木制品行业挥发性有机物排放特征及排放系数[J]. 环境科学, 2016, **37**(11): 4080-4085.  
Yao Y, Wang Z M, He Z Q, *et al.* Pollution characteristics and emission coefficient of volatile organic compounds from woodwork-making industry in Zhejiang Province [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(11): 4080-4085.
- [23] 杨杨, 杨静, 尹沙沙, 等. 珠江三角洲印刷行业 VOCs 组分排放清单及关键活性组分[J]. 环境科学研究, 2013, **26**(3): 326-333.  
Yang Y, Yang J, Yin S S, *et al.* Speciated VOCs emission inventory and key species from printing industry in the Pearl River Delta region [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2013, **26**(3): 326-333.
- [24] 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.  
Chen Y, Ye D Q, Liu X Z, *et al.* Source tracing and characteristics of industrial VOCs emissions in China[J]. *China Environmental Science*, 2012, **32**(1): 48-55.
- [25] 环境保护部. 大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [26] 台湾环境保护署. 公私场所固定污染源申报空气污染防制费之挥发性有机物之行业制程排放系数、操作单元(含设备元件)排放系数、控制效率及其他计量规定[R]. 台北: 台湾环境保护署, 2009.
- [27] U. S. Environmental Protection Agency. Emissions factors and AP42, compilation of air pollutant emission factors [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42>, 2013-05-10.
- [28] Chen Y J, Zhi G R, Feng Y L, *et al.* 2009. Measurements of black and organic carbon emission factors for household coal combustion in China; implication for emission reduction [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, **43**(24): 9495-9500.
- [29] 夏思佳, 赵秋月, 李冰, 等. 江苏省人为源挥发性有机物排放清单[J]. 环境科学研究, 2014, **27**(2): 120-126.  
Xia S J, Zhao Q Y, Li B, *et al.* Anthropogenic source VOCs emission inventory of Jiangsu Province [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, **27**(2): 120-126.
- [30] 黄薇薇. 我国工业源挥发性有机化合物排放特征及其控制技术评估研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.

## 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 <sub>2.5</sub> and Spatio-temporal Variation Characteristics of the Relationship Between PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> 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 )