

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第32卷 第12期

Vol.32 No.12

2011

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 (3461)                                                                            |
| 我国工业 VOCs 减排控制与管理对策研究 .....                                     | 王海林, 张国宁, 聂磊, 王宇飞, 郝郑平 (3462)                                                         |
| 我国 VOC 类有毒空气污染物优先控制对策探讨 .....                                   | 陈颖, 李丽娜, 杨常青, 郝郑平, 孙汉坤, 李瑶 (3469)                                                     |
| 工业固定源 VOCs 治理技术分析评估 .....                                       | 栾志强, 郝郑平, 王喜芹 (3476)                                                                  |
| 工业挥发性有机物排放控制的有效途径研究 .....                                       | 江梅, 张国宁, 魏玉霞, 邹兰, 张明慧 (3487)                                                          |
| 台湾地区 VOCs 污染控制法规、政策和标准 .....                                    | 栾志强, 王喜芹, 郑雅楠, 刘平 (3491)                                                              |
| 国外固定源 VOCs 排放控制法规与标准研究 .....                                    | 张国宁, 郝郑平, 江梅, 王海林 (3501)                                                              |
| 挥发性有机物税收政策对我国经济的影响分析 .....                                      | 刘昌新, 王宇飞, 王海林, 郝郑平, 王铮 (3509)                                                         |
| 民用生物质燃烧挥发性有机化合物排放特征 .....                                       | 李兴华, 王书肖, 郝吉明 (3515)                                                                  |
| 北京及周边地区大气羰基化合物的时空分布特征初探 .....                                   | 王琴, 邵敏, 魏强, 陈文泰, 陆思华, 赵越 (3522)                                                       |
| 北京市 BTEX 的污染现状及变化规律分析 .....                                     | 孙杰, 王跃思, 吴方堃 (3531)                                                                   |
| 上海城区典型污染过程 VOCs 特征及臭氧潜势分析 .....                                 | 崔虎雄, 吴廷名, 高松, 段玉森, 王东方, 张懿华, 伏晴艳 (3537)                                               |
| 长沙大气中 VOCs 研究 .....                                             | 刘全, 王跃思, 吴方堃, 孙杰 (3543)                                                               |
| 佛山灰霾期挥发性有机物的污染特征 .....                                          | 马永亮, 谭吉华, 贺克斌, 程远, 杨复沫, 余永昌, 谭赞华, 王洁文 (3549)                                          |
| 深圳市显著排放 VOCs 的园林植物调查与分析 .....                                   | ..... 黄爱葵, 李楠, Alex Guenther, Jim Greenberg, Brad Baker, Michael Graessli, 白建辉 (3555) |
| 北京地区城乡结合部大气挥发性有机物污染及来源分析 .....                                  | 周裕敏, 郝郑平, 王海林 (3560)                                                                  |
| 北京城乡结合部空气中挥发性有机物健康风险评价 .....                                    | 周裕敏, 郝郑平, 王海林 (3566)                                                                  |
| 城市污水处理厂恶臭挥发性羰基化合物的排放特征 .....                                    | 周咪, 王伯光, 赵德骏, 张春林, 古颖纲 (3571)                                                         |
| 城市污水处理厂挥发性卤代有机物的排放特征及影响因素研究 .....                               | 何洁, 王伯光, 刘舒乐, 赵德骏, 唐小东, 邹宇 (3577)                                                     |
| 城市污水处理厂恶臭挥发性有机物的感官定量评价研究 .....                                  | 刘舒乐, 王伯光, 何洁, 唐小东, 赵德骏, 郭薇 (3582)                                                     |
| 植物释放挥发性有机物 (BVOC) 向二次有机气溶胶 (SOA) 转化机制研究 .....                   | 李莹莹, 李想, 陈建民 (3588)                                                                   |
| NO <sub>3</sub> 自由基与 3 种环醚的大气化学反应动力学研究 .....                    | 盖艳波, 葛茂发, 王炜罡 (3593)                                                                  |
| 3-甲基-3-丁烯基-1-醇与硫酸/过氧化氢混合溶液的吸收反应研究 .....                         | 王天鹤, 刘泽, 葛茂发, 王炜罡 (3599)                                                              |
| 水中挥发性有机物的分析方法综评 .....                                           | 许秀艳, 朱擎, 谭丽, 梁宵, 张颖, 滕思江 (3606)                                                       |
| 新型动态针捕集阱技术分析大气中低浓度的 VOCs .....                                  | 李想, 陈建民 (3613)                                                                        |
| 大气中总挥发性有机硫化物检测方法的研究 .....                                       | 王艳君, 郑晓玲, 何鹰, 张栋, 王保栋 (3617)                                                          |
| 全自动阵列离子迁移谱仪连续监测挥发性有机化合物 .....                                   | ..... 周庆华, 仓怀文, 鞠帮玉, 李林, 杜永斋, 陈创, 侯可勇, 李京华, 王卫国, 李海洋 (3623)                           |
| 膜进样-单光子电离/化学电离-质谱仪在线检测水中 VOCs .....                             | ..... 花磊, 吴庆浩, 侯可勇, 崔华鹏, 陈平, 赵无垠, 谢园园, 李海洋 (3628)                                     |
| 工业园区 TVOC 和恶臭的电子鼻检测技术研究 .....                                   | 田秀英, 蔡强, 叶朝霞, 郭威, 卢岩文, 张永明 (3635)                                                     |
| 电子鼻检测污染土壤中挥发性氯代烃的适用性研究 .....                                    | 卜凡阳, 文晓刚, 万梅, 刘锐, 蔡强, 陈吕军, 张永明 (3641)                                                 |
| 工业管道中丙烯酸酯类物质的监测与分析 .....                                        | 吴彬, 张红燕, 陆林光 (3647)                                                                   |
| 硅改性制备疏水性沸石分子筛蜂窝体 .....                                          | 王喜芹, 李凯, 魏冰, 栾志强 (3653)                                                               |
| 氧化锰八面体分子筛的合成及其对苯催化氧化性能 .....                                    | 李东艳, 刘海弟, 陈运法 (3657)                                                                  |
| 蜂窝状活性炭对 VOCs 的吸-脱附性能研究 .....                                    | 韩忠娟, 罗福坤, 李泽清 (3662)                                                                  |
| 混合气体直接吸附分离回收过程研究 .....                                          | 王红玉, 羌宁, 胡瑕 (3667)                                                                    |
| 生物滴滤降解氯苯废气的实验研究 .....                                           | 周卿伟, 朱润晔, 胡俊, 张丽丽, 陈建孟 (3673)                                                         |
| 复合吸收技术净化复杂工业有机废气 .....                                          | 陈定盛, 岑超平, 唐志雄, 方平, 陈志航 (3680)                                                         |
| 烘房 VOCs 废气治理技术路线探析 .....                                        | 李泽清, 罗福坤 (3685)                                                                       |
| Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 纳米棒的制备及其对气相甲苯的催化氧化 .....         | 闫清云, 李新勇, 肇启东, 曲振平 (3689)                                                             |
| Si 掺杂 TiO <sub>2</sub> 纳米管阵列制备、表征及其光催化氧化降解室内典型 VOCs .....       | 邹学军, 李新勇, 曲振平, 王疆疆 (3694)                                                             |
| 基于现场试验的石油类污染物自然衰减能力研究 .....                                     | 贾慧, 武晓峰, 胡黎明, 刘培斌 (3699)                                                              |
| 膜分离法处理加油站油气研究 .....                                             | 朱玲, 陈家庆, 张宝生, 王建宏 (3704)                                                              |
| 机动车加油过程中气液两相流动特性的 CFD 数值模拟 .....                                | 陈家庆, 张男, 王金惠, 朱玲, 尚超 (3710)                                                           |
| 《环境科学》第 32 卷 (2011 年) 总目录 .....                                 | (3717)                                                                                |
| 《环境科学》征稿简则 (3679) 《环境科学》征订启事 (3684) 信息 (3554, 3616, 3622, 3672) |                                                                                       |

# 我国工业 VOCs 减排控制与管理对策研究

王海林<sup>1</sup>, 张国宁<sup>2</sup>, 聂磊<sup>3</sup>, 王宇飞<sup>1</sup>, 郝郑平<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国环境科学研究院环境标准研究所, 北京 100012; 3. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

**摘要:**对我国工业挥发性有机物(VOCs)排放进行了研究,其中包括工业 VOCs 的排放特征、控制现状与管理政策.我国工业 VOCs 具有排放强度大、波动范围宽、地域分布不平衡等特点,集中分布在京津地区、山东半岛、长三角和珠三角地区.现有的主流控制技术包括吸附回收、催化燃烧、蓄热燃烧、生物净化以及吸附浓缩/催化燃烧联用技术,污染控制的重点领域在石油化工、油气回收、造船与集装箱以及印刷、制药、皮革加工等行业.VOCs 管理比较薄弱,相关的法律/法规/标准较少,监管尚不到位.研究认为 VOCs 治理应以重点区域、典型行业为对象,逐步推进,以实际削减量为目标,通过技术筛选、示范工程等途径,建立健全相关行业 VOCs 排放法规/标准,并辅助于相关的排放登记制度与分级收费制度,可有效减少 VOCs 的整体排放量.

**关键词:** VOCs; 排放特征; 消减量; 技术减排; 分级收费制度

中图分类号: X32; X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)12-3462-07

## Study on Control and Management for Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) in China

WANG Hai-lin<sup>1</sup>, ZHANG Guo-ning<sup>2</sup>, NEI Lei<sup>3</sup>, WANG Yu-fei<sup>1</sup>, HAO Zheng-ping<sup>1</sup>

(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Institute of Environmental Standard, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Volatile organic compounds (VOCs) emitted from industrial sources account for a large percent of total anthropogenic VOCs. In this paper, VOCs emission characterization, control technologies and management were discussed. VOCs from industrial emissions were characterized by high intensity, wide range and uneven distribution, which focused on Beijing-Tianjin Joint Belt, Shangdong Peninsula, Yangtze River Delta and the Pearl River Delta. The current technologies for VOCs treatment include adsorption, catalytic combustion, bio-degradation and others, which were applied in petrochemical, oil vapor recovery, shipbuilding, printing, pharmaceutical, feather manufacturing and so on. The scarcity of related regulations/standards plus ineffective supervision make the VOCs management difficult. Therefore, it is suggested that VOCs treatment be firstly performed from key areas and industries, and then carried out step by step. By establishing of actual reducing amount control system and more detailed VOCs emission standards and regulations, applying practical technologies together with demonstration projects, and setting up VOCs emission registration and classification-related-charge system, VOCs could be reduced effectively.

**Key words:** volatile organic compounds (VOCs); emission characteristics; reducing amount control; technology reduction; classification-related-charge system

挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)是一类化合物的统称,虽然目前 WHO、EU、USA EPA、ISO 等国际组织、机构/国家有关 VOCs 的定义不完全相同,但 VOCs 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,主要包括烷烃、烯烃和芳香烃以及各种含氧烃、卤代烃、氮烃、硫烃、低沸点多环芳烃等,是空气中普遍存在且组成复杂的一类有机污染物.由于 VOCs 涉及种类较多,其物化性质表现出多样性,具有一定的潜在危害.一些活性强的 VOCs 可以在一定条件下与氮氧化物发生光化学反应,引起地表臭氧浓度的增加,形成光化学烟雾污染<sup>[1]</sup>,也可以与大气中的一些自由基反应,

形成二次有机气溶胶.部分 VOCs 如氯代烃类则消耗平流层的臭氧,形成臭氧空洞.此外,最近的一些研究结果表明 VOCs 可对人体健康造成一定的危害<sup>[2~5]</sup>.

基于 VOCs 对人体健康和生态环境的重要影响,越来越多的研究者、机构关注其排放清单、减排技术和排放控制管理<sup>[6~16]</sup>.欧美等发达国家在 20

收稿日期: 2011-05-12; 修订日期: 2011-08-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06A310); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-JS402)

作者简介: 王海林(1981~),男,博士,助理研究员,主要研究方向为环境监测与污染控制, E-mail: wanghailin@rcees.ac.cn

\* 通讯联系人, E-mail: zpinghao@rcees.ac.cn

世纪 90 年代初就建立了相关的 VOCs 人为源排放清单数据库,并保持逐年更新<sup>[6~9]</sup>. 在 VOCs 控制管理方面,欧美等发达国家也走在前面,在 90 年代便出台了相关法律法规,如美国的《大气清洁法》<sup>[17]</sup>,欧盟的《欧洲清洁空气计划》<sup>[18]</sup>指令 1999/13/EC 和 2004/42/EC 以及 1994/63/EC、1996/61/EC 等行业指令,对 VOCs 的排放标准和排放源进行限制,并且多次修改和补充,日趋严格,有效地控制了其 VOCs 的排放.

对于我国部分大城市来说,随着一系列大气污染控制措施的实施,城市环境空气质量在逐年改善. 从污染物的污染水平来看, $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  呈逐年下降趋势,但可吸入颗粒物浓度基本维持稳定,整体状况没有得到明显的改善,仍然是我国城市大气的首要污染物,可吸入颗粒物已经成为城市环境空气质量继续提高的主要障碍. 究其原因,与 VOCs 的污染是分不开的:VOCs 除了产生臭氧污染外,也可经过复杂的光化学反应,形成二次有机气溶胶<sup>[19,20]</sup>,二次有机气溶胶正是可吸入颗粒物的重要组成部分(占可吸入颗粒物的 25%~35%),是环境大气气溶胶的重要贡献者<sup>[21]</sup>. 新的研究表明,VOCs 已经成为我国各大城市光化学烟雾决定性前体物<sup>[22,23]</sup>. 因此,要降低颗粒物污染,去除光化学烟雾,提高城市空气质量,VOCs 的控制就势在必行.

根据相关研究,我国 VOCs 主要来源于机动车排放、固定源燃烧和工业活动等. 其中,涉及到众多行业在内的工业活动是我国第二大 VOCs 人为源<sup>[15,16]</sup>,仅次于固定燃烧源. 就机动车排放源的控制情况来看,我国目前机动车保有量为 1.92 亿辆,虽然国Ⅳ标准已于今年起执行,但由于目前市场的成品油品质只能满足国Ⅲ发动机的要求,国Ⅳ车用燃油标准尚未出台,还无法确保在全国范围内供应相应车用燃油,给全面实施机动车国Ⅳ标准带来一定困难,因此机动车源 VOCs 减排在短期内无法获得明显改善;对于固定燃烧源来说,其中接近 80% 的 VOC 来自农村炉灶生物质燃烧,由于我国政府在全国范围内实施了农村炉灶改进计划,大力推广节能灶,该计划已经使当前中国节能砖灶的应用率达到 80% 以上<sup>[24]</sup>,加上 VOC 排放受生物质原料本身和燃烧情况等条件制约,生物质燃料燃烧生成 VOC 排放减排的潜在空间已经不是很大. 对于工业源 VOCs 来说,由于其本身具有排放浓度大,排放集中等特点,并且已经有相应的治理技术,减排潜力巨大. 因此,在机动车和固定燃烧源 VOCs 减排受限的

情况下,欲降低大气中 VOCs 污染水平,对工业排放源进行切实有效的控制是必然的选择.

2010 年 5 月国务院办公厅发布的《环境保护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)首次正式地从国家的层次上提出了开展 VOCs 防治工作,并将一些重点行业 VOCs 作为防控重点<sup>[25]</sup>. 但目前有关工业 VOCs 的相关研究并不多见,对其来源、组成、排放量等认识尚不清楚,针对工业 VOCs 排放的相关法律法规、标准比较缺乏,大部分工业源排放的 VOCs 未得到治理. 鉴于此,笔者在已有的研究基础上,结合实地调研和相关文献资料,针对我国工业 VOCs 的污染特征、现有的控制技术和标准法规等方面进行分析,并提出相关建议,以期为国家层面上 VOCs 的控制与管理提供技术支撑.

## 1 工业 VOCs 污染现状分析

就工业源 VOCs 而言,其排放量多为利用排放因子法计算而得. 根据文献调研,2000 年排放量约为  $3.8 \times 10^9 \text{ kg}$ <sup>[15]</sup>,2005 年的排放量约为  $6.4 \times 10^9 \text{ kg}$ <sup>[16]</sup>,其中溶剂使用所导致的 VOCs 排放则由 2000 年的  $2.2 \times 10^9 \text{ kg}$  增为 2005 年的  $5.8 \times 10^9 \text{ kg}$ ,增幅高达 167%. 虽然不同的研究单位估算的 VOCs 排放量上有一定的差距,但是总体上来看,近年来我国工业源 VOCs 污染排放呈逐年增加趋势. VOCs 高排放量的地区主要集中在京津地区、山东半岛、长三角和珠三角等发达地区,典型行业如包装印刷、石油化工、家具制造、电子制造、汽车制造、机械加工、涂装等行业 VOCs 污染突出,部分典型行业 VOC 排放特征如表 1 所示.

从表 1 中可以看出,不同行业的 VOCs 排放特征不尽相同,其中工业 VOCs 以苯系物的检出频率为最高,其次为涉及清洗等工艺所用到的酮类,由于受到企业生产规模、生产对象以及末端治理设备等因素,VOCs 的排放规模也不一样. 表 1 所列行业中,以汽车制造所排 VOCs 为最大,这是因为虽然其烘干工艺虽然经过治理,但其喷漆环节没有治理,而喷漆环节所排放的 VOCs 一般占到总 VOCs 排量的 70% 左右;加上汽车制造为大型企业,生产规模也不断在扩大,因此其 VOCs 无论从排放浓度还是从排放量来看都比较大. 电子制造行业所排 VOCs 较少,这与其采取的末端治理措施有关.

## 2 VOCs 控制技术现状、存在的问题及发展趋势

就 VOCs 的控制技术而言,主流的技术包括吸

表 1 部分代表性行业 VOCs 污染排放特征<sup>1)</sup>

Table 1 Characteristics of VOCs from some typical industries

| 行业类别   | 涉及 VOC 污染的主要环节                                             | 主要 VOCs 污染物              | 排放特点                          |
|--------|------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 家具制造   | 面漆喷涂和干燥环节                                                  | 甲苯、二甲苯、漆雾                | 排放浓度高,湿度高、风量大、非稳态排放           |
| 汽车制造   | 中涂、面涂和烘干                                                   | 甲苯、乙苯、二甲苯等苯系物            | 喷漆环节排放量大,浓度高,风量大,烘干环节浓度低,污染物少 |
| 电子制造   | LCD;清洗、化学气相沉积、光刻、剥离等;<br>集成电路:光刻、显影、刻蚀、扩散、清洗;<br>零部件:喷涂和干燥 | 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            |
| 机械元件加工 | 喷漆和烘干                                                      | 二氯甲烷、甲苯、乙苯、二甲苯等          | 非稳态排放、排放浓度适中,风量小,湿度较大         |
| 印刷     | 复合和烘干                                                      | 丙酮、丁酮、异丁酮、乙酸丁酯、甲苯、乙苯、二甲苯 | 风量适中、复合工艺排放量较大,浓度适中           |

1) 表中内容来自典型企业实地调研与监测,其中监测方式为在线监测,所用仪器为 HYP SITE 便携式-质连用分析仪(美国 Inficon)

附回收、催化氧化、蓄热燃烧以及生物降解等方法。吸附回收是利用固体吸附剂对 VOCs 中各组分吸附选择性的不同而进行分离的方法,目前在工业 VOCs 治理中常用的吸附剂主要包括活性炭、活性炭纤维、分子筛等。主要的治理工艺包括固定床、移动床、以及流化床吸附器。吸附技术应用于 VOCs 污染的控制具有明显的优点,设备简单,操作灵活,去除效率高,是有效和经济的回收技术之一,但存在投资后运行费用较高且有产生二次污染的缺陷。

催化氧化法普遍应用于工业废气和工艺尾气的处理,可以高效、彻底地处理含有复杂组分的 VOCs 气体,在治理石化、化工、喷涂行业 VOCs 等方面已经有比较好的应用。但催化氧化法也有缺点:对催化剂要求比较高,在催化氧化过程中还会产生一些二次 VOCs,含硫和含氯 VOCs 使催化剂容易失活。

生物法主要利用微生物的代谢作用,将 VOCs 转化为 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 等无机物。具有工艺设备简单、运行费用低、二次污染小等优点。但其对场地、操作条件较为苛刻,设备体积大,净化速度较慢,停留时间长,仅适用于低浓度 VOCs 净化,当废气中 VOCs 浓度较高时往往难以达到净化要求。

VOCs 的种类繁多、性质各异,所涉及到的污染行业、工艺过程众多,污染气体的排放情况差异很大,以上性质决定了单一的治理技术不可能满足所有排放废气的治理要求。本研究目前存在的主要 VOCs 控制技术的使用范围进行了总结,见表 2。

近年来在 VOCs 治理新技术和工艺的研究开发方面得到了不断地发展:①对上述主流技术进行改进提高,主要体现在新材料的开发与应用;②过程优化和集成技术的研究开发,如吸附浓缩-催化(蓄热催化)氧化集成技术、吸附浓缩-冷凝回收集成技术、吸附浓缩-吸收集成技术等;③新技术的开发应

表 2 主流 VOCs 治理技术应用范围

Table 2 Application of major technologies for VOCs removal

| 治理技术      | 应用范围                                                   |
|-----------|--------------------------------------------------------|
| 吸附回收      | 浓度较高、组分简单、并且具有回收价值的 VOCs 治理,如涉及有机溶剂生产和使用的相关行业以及加油站油气回收 |
| 催化燃烧      | 风量较小、浓度适中、排放稳定的 VOCs 治理,如漆包线、汽车、家电、设备制造的喷涂与烘烤漆工艺       |
| 吸附浓缩-催化燃烧 | 大风量、低浓度或 VOCs 排放浓度波动大的 VOCs 治理,如喷涂或印刷等行业               |
| 蓄热燃烧      | 高浓度、排放稳定、成分复杂或组分可使催化剂中毒的 VOCs 治理,如橡胶生产行业               |
| 生物净化      | 小风量、低浓度或有异味的 VOCs 治理,如污水、堆肥等处理                         |

用,如等离子体-催化净化技术等。

就 VOCs 的治理市场而言,现在已经初具规模<sup>[26]</sup>,工业 VOCs 的治理厂家已经发展到 100 多家,大体上可以分为 4 类:①综合性 VOCs 治理企业。这些企业拥有综合性治理技术,年产值在 3 × 10<sup>7</sup> 元以上,目前有 10 家左右,是我国 VOCs 治理的骨干企业;②小型企业。此类企业预计有 50 家左右,规模较小、技术单一,缺乏新技术与新设备的开发能力;③大型、综合性环保企业。其中包含了部分 VOCs 治理业务,但在总的经营比例中 VOCs 治理业务所占比例较小;④国外独资或合资企业。国外的一些大型环保企业看好我国有机废气治理市场,纷纷开始进入或考察国内市场,目前已经超过 15 家。技术水平较高,在提升我国 VOCs 治理技术的同时对国内企业形成强力的竞争。总体来讲,工业 VOCs 的治理对象主要集中在国有大型企业、外资和合资企业,中小型污染企业大部分没有治理,已治理的 VOCs 企业所占的比例不到 10%。

3 国内外 VOCs 控制体系/标准

美国早在 20 多年前就制定了大气清洁法 (CAA), 1990 年又进行了修改, 在原来限制 VOCs 上强化增加了对有害大气污染物质的限制, 在该法中, 为适应各区的环境基准又规定了相应的基准值 RACT(合理可行控制技术)、BACT(最佳可行控制技术)、LAER(最低可达排放速率), 并对污染源(包括原有和新增源)排放 VOCs 提出了明确限制. 欧盟在 1996 年公布了关于完整的防治和控制污染的指令 1996/61/EC, 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 33 个行业制

定了 VOCs 的排放标准, 对有机溶剂行业则详细制定了关于 VOCs 排出限制的指令 1999/13/EC, 随后的 2004/42/EC 指令对建筑和汽车等特定用途的涂料设定了 VOCs 排放的限制. 此外, 欧盟还根据 VOCs 毒害作用大小, 提出了分级控制要求, 其中高毒害 VOCs 排放不得超过  $5\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 中等毒害不超过  $20\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 低毒害不超过  $100\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . 日本为控制 VOCs 排放, 于 2006 年 4 月正式实施了《大气污染防治法》, 2007 年 3 月实施了《生活环境保护条例》, 明确提出 2010 年 VOCs 的排放量要比 2000 年减少 30%. 有关国外的 VOCs 法规标准的总结见表 3.

表 3 欧美日的主要 VOCs 法规标准  
Table 3 Regulations of VOCs in Europe, American and Japan

| 国家/组织 | 法律法规                 | 主要内容                                                                                     |
|-------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 欧盟    | 1994/63/EC           | 汽油储存和运输中 TVOCs 释放限值                                                                      |
|       | 1996/61/EC           | 石油冶炼、有机化学品、精细化工等 6 大 VOCs 限值                                                             |
|       | 1999/13/EC           | 特定活动和设备安装中使用的有机溶剂 VOCs 排放限制(20 个行业)                                                      |
|       | 2004/42/EC           | 油漆、室内和车内装饰中使用的有机溶剂 VOCs 逸散限值, 室内 TVOCs 需低于 $0.3\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$             |
|       | 2009/563/EC          | 鞋类 VOCs 释放限值                                                                             |
|       | ECMA-328 VOC 法规      | 与静电程序相关的电子产品 VOCs 释放限值                                                                   |
| 美国    | 大气清洁法                | 对 189 种 VOC 的排放进行了规定, 为适应各区的环境基准又规定了相应的基准 RACT, BACT, LAER, 对污染源(包括原有和新增源)排放 VOCs 提出明确限制 |
|       | 40 CFR 63 Subpart II | 限制油漆、粘合剂、溶剂、木业胶水中 VOCs 逸散                                                                |
|       | 加州 65 提案             | 对 VOC 的限制为室内空气中总 VOCs 含量低 $0.5\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$                              |
|       | 284 号 TBT 提案         | 针对喷雾涂料气雾涂料类产品制定反应性 VOC 国家排放法规                                                            |
| 日本    | 恶臭防止法                | 规定 10 余种 VOCs 的排放标准, 1996 年增加到 53 种, 2002 年增加到 149 种                                     |
|       | 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%        |
|       | 其它                   | 日本汽车制造业协会和日本电子和信息技术协会分别对汽车车厢和电脑挥发性有机物 VOCs 提出要求                                          |

与欧美相比, 我国 VOCs 法规的颁布要滞后. 《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, 但没有明确的 VOCs 控制要求, 只有诸如有机烃类尾气、恶臭气体、有毒有害气体、油烟等一些类似概念, 这需要在修订法律时重点考虑. 原有的“大气污染物综合排放标准”(GB 16297-1996)<sup>[27]</sup>, 仅对苯、甲苯、二甲苯以及酚类和甲醛的排放浓度进行限制, 后又颁布的“炼焦炉大气污染物排放标准”(GB 16171-1996)<sup>[28]</sup>, “饮食业油烟排放标准”(GB 18483-2001)<sup>[29]</sup>, “储油库大气污染物排放标准”(GB 20950-2007)<sup>[30]</sup>, “汽油运输大气污染物排放标准”(GB 20951-2007)<sup>[31]</sup>, “加油站大气污染物排放标准”(GB 20952-2007)<sup>[32]</sup>以

及“合成革与人造革工业污染物排放标准”(GB 21902-2008)<sup>[33]</sup>, 增加了对苯并芘、油烟 VOCs、油气 VOCs、合成革与人造革工业 VOCs 排放的限值. 由于 VOCs 控制问题近年来才得到重视, VOCs 控制标准也存在较多欠缺, 主要表现为系统性不强、行业针对性差、控制不够全面、有些标准的排放控制不能适应当前的环境管理需要, 水平需要提高. 目前我国涉及 VOCs 的排放控制标准计有 8 项(大气综合、恶臭、炼焦炉、饮食业油烟、储油库、油罐车、加油站、合成革与人造革), 还有相当一部分标准在制订中. 地方标准(如北京、上海等)走在前列. 有关国内 VOCs 排放的相关标准的对比总结见表 4.

表 4 国内部分 VOCs 相关标准对比

Table 4 Comparison of VOCs emission standards in China

| 标准名称                         | 特定项目                                          | 综合项目             | 其他有机物项目                     | 有组织排放             | 无组织排放                     | 其他控制            |
|------------------------------|-----------------------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------|
| 1. 大气污染物综合排放标准               | 氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、氯苯类、硝基苯类、苯胺类、酚类、甲醛、乙醛、丙烯醛、丙烯腈、甲醇 | 非甲烷总烃            | 苯并(a)芘、沥青烟                  | 排放浓度、排放速率         | 厂界监控点浓度                   |                 |
| 2. 恶臭污染物排放标准                 | 苯乙烯、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫醚、三甲胺                         | 臭气浓度             |                             | 排放速率              | 厂界监控点浓度                   |                 |
| 3. 炼焦炉大气污染物排放标准              |                                               |                  | 苯可溶物、苯并(a)芘                 | 非机焦(排放浓度、单位产品排放量) | 机焦(焦炉炉顶特定位置处的监测浓度)        |                 |
| 4. 饮食业油烟排放标准                 |                                               |                  | 油烟                          | 排放浓度、去除效率         |                           |                 |
| 5-7. 储油库/汽油运输/加油站大气污染物排放标准   |                                               | 油气(NMHC)         |                             | 排放浓度、油气处理效率       | 泄漏检测                      | 工艺设计、设备、运行参数    |
| 8. 合成革与人造革工业污染物排放标准          | 苯、甲苯、二甲苯、二甲基甲酰胺                               | TVOCs (二甲基甲酰胺除外) |                             | 排放浓度              | 厂界监控点浓度                   |                 |
| 9. 大气污染物综合排放标准(北京地标)         | 除标准 1 规定的项目外,增加了环氧乙烷、1, 3-丁二烯、1, 3-二氯乙烷、氯甲烷   | 非甲烷总烃            | 二恶英、呋喃、多氯联苯、苯并(a)芘          | 排放浓度、排放速率、净化效率    | 厂界监控点浓度                   | 排放总量控制(汽车涂装和干洗) |
| 10. 炼油与石油化学工业大气污染物排放标准(北京地标) | 苯、氯乙烯、氯甲烷、甲苯、二甲苯                              |                  | 丙烯腈、环氧乙烷、1, 3-丁二烯、1, 3-二氯乙烷 | 排放浓度、排放速率         | 设备泄漏、储罐损失、废水液面挥发检测厂界监控点浓度 | 工艺设计、设备         |

#### 4 VOCs 控制管理建议

目前我国 VOCs 减排控制的组织管理上存在着一定的问题,重点城市/城市群和重点工业行业 VOCs 的污染问题日趋严峻,但监测控制管理不到位,尚未纳入常规监测体系,对污染物种类和排放量缺乏准确的排查和统计数据.我国的 VOCs 排放控制法规及标准制订工作较为滞后,目前的排放控制要求及管理水平总体较低,尚未从人体健康和环境空气质量改善的战略高度来考虑.我国的 VOCs 相关法规、标准要求不甚明确,污染治理工作起步比较晚,虽然典型行业 VOCs 削减潜力大,但控制技术研发不够,技术基础薄弱,污染治理困难,减排压力较大.

由于工业 VOCs 来源众多,涉及的具体组分也较多,不同行业排放 VOCs 不尽相同,同一行业不同工艺 VOCs 排放也不相同,因此与 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 相比,其治理难度较大,现有的排放量估算大多为借鉴国外的排放因子所得,由于国外的生产工艺、治理程度与我国不同,所得到的排放量并不能反映我国的真

实排放水平.因此,虽然国办发[2010]33 号文件中将 VOCs 与 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物并列为重点污染控制物,但由于其排放量估算的差异性,现阶段不适宜进行总量控制.

针对工业排放的挥发性有机污染物 VOCs 减排与控制,应该走“针对典型行业、重点污染物,分阶段、有步骤地针对关键控制技术进行研发,并逐个行业进行应用,从行业到城市区域”之路.在现阶段,通过调研和实地监测,筛选出 VOCs 排放量大、污染严重、并且有较为成熟治理技术的行业,在典型企业建立相关的 VOCs 治理示范工程,对治理后的 VOCs 进行监测分析,对运行的设备进行费效分析,建立本土化的行业 VOCs 排放因子并估算该行业的减排潜力,并进行逐步推广;在上述工作基础上,建立相关行业排放标准,制定行业最终减排目标.从长远来看,我国的 VOCs 控制需要从政策层面、技术层面和管理层面上开展工作,在政策上有要求、有引导,在技术上有支撑、有保障,管理上有突破、有提高,才能有效解决 VOCs 污染问题.

政策层次上:确定 VOCs 环境政策的总体目标

和思路,健全 VOCs 排放标准体系,确定有毒挥发性有机污染物、重点污染物和重点污染行业,提高控制效率、实现减排效果。针对石油、有机化工、涂料与涂装、印刷包装、制药、半导体等重点 VOCs 排放行业,制订有针对性的行业性大气污染物排放标准和行业通用设备的 VOCs 排放标准。除此之外,还应针对行业的 VOCs 排放特性,制定符合行业监管需要的排放标准,尤其是对人体健康有危害的 VOCs,要进行 VOCs 的分类分级控制,对毒性比较大的 VOCs 排放按照危险化学品实行登记制度。以环境质量为目标,以控制重点行业和实施区域管理为手段,根据设定目标与局部区域实际排放情况来量化污染物总体减排量;再次根据区域内污染来源(亦即污染排放清单)来确定总体目标在具体地区、具体行业的减排任务。最后,由于 VOCs 与其它污染物如颗粒物和氮氧化物关系较为密切。因此,将 VOCs 防治与颗粒物、氮氧化物等其它污染物的防治工作相结合,从整体上考虑,可达到更好的效果。

技术层次上:展开有关工业 VOCs 排放检测技术、源解析技术和控制技术的研究开发和工程应用。按 VOCs 的健康毒性或其他环境危害大小,实施分级检测与控制,兼顾 VOCs 物质复杂多样的特点,保证标准监控体系的严密。针对重要行业,如涂装行业、包装印刷行业、合成革、漆包线、制药行业等展开污染调查与综合控制工作,进行关键技术的研发与示范,源头(包括登记管理、物料衡算、绿色工艺)和末端治理相结合。加大研发力度,大力支持与发展有关 VOCs 的控制的新材料、新设备、进行技术集成与工程推广,加强对相关 VOCs 的回收利用,借鉴国外发达国家的经验,形成 VOCs 的二次回收、环境的保护、再生资源的产业化为一体的封闭环,形成良性的生态循环。

管理层次上:建立比较完善的 VOCs 污染防治体系与长效监管制度,加强标准体系的建设、制定动态的污染源清单、重点污染源监测体系和危险易挥发有机化学物质管理体系。编制 VOCs 中有毒有害物质优先控制目录以及重点行业与重点区域 VOCs 污染防治规划。在国家层次重点区域和重点行业进行污染减排与控制的基础上,加大对 VOCs 治理的扶持力度,充分发挥治理企业、污染企业和地方政府管理部门的积极性。组成产学研用联合攻关、一体化的研究队伍。政府主管部门设立国家专项基金支持进行针对重点行业关键技术的研发和在行业内应用推广,建立 VOCs 减排控制产业联盟,并对采用新技

术进行的污染控制工程,核对 VOCs 的减排量,给以经济补贴或者在税收上给以优惠政策。按照“污染者付费”的原则,根据其 VOCs 排放量,考虑进行适当的收费。

#### 参考文献:

- [1] Shao M, Zhang Y H, Zeng L M, *et al.* Ground-level ozone in the Pearl River Delta and the roles of VOC and  $\text{NO}_x$  in its production [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, **290**(1): 512-518.
- [2] Kimata H. Exposure to road traffic enhances allergic skin wheal responses and increases plasma neuropeptides and neurotrophins in patients with atopic eczema/dermatitis syndrome [J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2004, **207**(1): 45-49.
- [3] Sekizawa I, 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.
- [4] Jensen L K, Larsen A, Molhave L, *et al.* Health evaluation of volatile organic compound (VOC) emissions from wood and wood-based materials [J]. *Archives of Environmental Health*, 2001, **56**(5): 419-432.
- [5] Huss M J, Eberlein K B, Darsow U, *et al.* Short term exposure to volatile organic compounds enhances atopy patch test reaction [J]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2004, **113**(2): S56-S57.
- [6] National pollutant inventory summary report 2006-07. [EB/OL]. <http://www.npi.gov.au/publications/year9summaryreport.html>.
- [7] EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook-2007. [EB/OL]. <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR5>.
- [8] National emission inventory database (NEI). [EB/OL]. <http://www.epa.gov/air/data/neidb.html>.
- [9] National atmospheric emissions inventory (NAEI). [EB/OL]. <http://www.naei.org.uk/>.
- [10] 邵敏, 付琳琳, 刘莹, 等. 北京市大气挥发性有机物的关键活性组分及其来源[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2005, **35**(Z1): 123-130.
- [11] 郑君瑜, 郑卓云, 王兆礼, 等. 珠江三角洲天然源 VOCs 排放量估算及时空分布特征[J]. *中国环境科学*, 2009, **29**(4): 345-350.
- [12] 胡泳涛, 张远航, 谢绍东, 等. 区域高时空分辨率 VOC 天然源排放清单的建立[J]. *环境科学*, 2001, **22**(6): 1-6.
- [13] 赵静, 白郁华, 王志辉, 等. 我国植物 VOCs 排放速率的研究[J]. *中国环境科学*, 2004, **24**(6): 654-657.
- [14] 王雪松, 李金龙. 人为源排放 VOC 对北京地区臭氧生成的贡献[J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(6): 501-505.
- [15] 刘金凤, 赵静, 李湉湉, 等. 我国人为源挥发性有机物排放清单的建立[J]. *中国环境科学*, 2008, **28**(6): 496-500.
- [16] 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.
- [17] Clean Air Act Amendments. [EB/OL]. 2007-12-20. <http://www.epa.gov/air/caa/>.
- [18] Clean air for Europe (CAFé) programme. [EB/OL]. <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28026.htm>.
- [19] Odum J R, Jungkamp T P W, Griffin R J, *et al.* The atmospheric aerosol forming potential of whole gasoline vapor[J]. *Science*, 1997, **276**: 96-99.
- [20] Dechapanya W, Eusebi A, Kimura M, *et al.* Secondary organic aerosol formation from aromatic precursors [J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, **37**(16): 3662-3670.
- [21] Cocker D R, Mader B T, Kalberer M, *et al.* The effect of water on gas-particle partitioning of secondary organic aerosol: II *m*-xylene and 1, 3, 5-trimethylbenzene photooxidation systems [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(35): 6073-6085.
- [22] Zhang Y H, Su H, Zhong L J, *et al.* Regional ozone pollution and observation-based approach for analyzing ozone-precursor relationship during the PRIDE-PRD2004 campaign [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(25): 6203-6218.
- [23] Geng F, Tie X X, Xu J M, *et al.* Characterizations of ozone, NO<sub>x</sub> and VOCs measured in Shanghai, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(29): 6873-6883.
- [24] 中国农村炉灶的发展与对策[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-851522.html>.
- [25] 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[EB/OL]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2010/content\\_1612364.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2010/content_1612364.htm).
- [26] 郝郑平,栾志强. 环境保护技术发展报告[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2009. 58-63.
- [27] 大气污染物综合排放标准[EB/OL]. <http://gb.jdzj.com/info/226.html>.
- [28] 炼焦炉大气污染物排放标准[EB/OL]. <http://www.bzxzw.com/standards/bzxzw-GB/20101123/42372.html>.
- [29] 饮食业油烟排放标准[EB/OL]. <http://www.bzxzw.com/standards/bzxzw-GB/20110809/55414.html>.
- [30] 储油库大气污染物排放标准[EB/OL]. [www.sepb.gov.cn/platform/UserFiles/File/W020070626452513018989.pdf](http://www.sepb.gov.cn/platform/UserFiles/File/W020070626452513018989.pdf).
- [31] 汽油运输大气污染物排放标准[EB/OL]. [www.docin.com/p-51973559.html](http://www.docin.com/p-51973559.html).
- [32] 加油站大气污染物排放标准[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-90829039.html>.
- [33] 合成革与人造革工业污染物排放标准[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-26519633.html>.

## CONTENTS

|                                                                                                                                             |                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Preface .....                                                                                                                               | HAO Zheng-ping(3461)                                                 |
| Study on Control and Management for Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) in China .....                                             |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | WANG Hai-lin, ZHANG Guo-ning, NEI Lei, <i>et al.</i> (3462)          |
| Countermeasures for Priority Control of Toxic VOC Pollution .....                                                                           | CHEN Ying, LI Li-na, YANG Chang-qing, <i>et al.</i> (3469)           |
| Evaluation of Treatment Technology of Volatile Organic Compounds for Fixed Industrial Resources .....                                       | LUAN Zhi-qiang, HAO Zheng-ping, WANG Xi-qin(3476)                    |
| Emission Control Way of Volatile Organic Compounds in Industry .....                                                                        | JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, WEI Yu-xia, <i>et al.</i> (3487)          |
| Regulations and Policies for Control of Volatile Organic Compounds and the Emission Standards in Taiwan .....                               |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | LUAN Zhi-qiang, WANG Xi-qin, ZHENG Ya-nan, <i>et al.</i> (3491)      |
| Study on Foreign Regulations and Standards of Stationary Sources VOCs Emission Control .....                                                | ZHANG Guo-ning, HAO Zheng-ping, JIANG Mei, <i>et al.</i> (3501)      |
| VOCs Tax Policy on China's Economy Development .....                                                                                        | LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, WANG Hai-lin, <i>et al.</i> (3509)       |
| Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emitted from Biofuel Combustion in China .....                                         | LI Xing-hua, WANG Shu-xiao, HAO Ji-ming(3515)                        |
| Spatial and Temporal Variations of Ambient Carbonyl Compounds in Beijing and Its Surrounding Areas .....                                    |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | WANG Qin, SHAO Min, WEI Qiang, <i>et al.</i> (3522)                  |
| Analysis on Status Pollution and Variation of BTEX in Beijing .....                                                                         | SUN Jie, WANG Yue-si, WU Fang-kun(3531)                              |
| Characteristics of Ambient VOCs and Their Role in O <sub>3</sub> Formation; A Typical Air Pollution Episode in Shanghai Urban Area .....    |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, GAO Song, <i>et al.</i> (3537)             |
| Observation and Study on Atmospheric VOCs in Changsha City .....                                                                            | LIU Quan, WANG Yue-si, WU Fang-kun, <i>et al.</i> (3543)             |
| Characteristics of Volatile Organic Compounds During Haze Episode in Foshan City .....                                                      |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | MA Yong-liang, TAN Ji-hua, HE Ke-bin, <i>et al.</i> (3549)           |
| Investigation on Emission Properties of Biogenic VOCs of Landscape Plants in Shenzhen .....                                                 |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | HUANG Ai-kui, LI Nan, Alex Guenther, <i>et al.</i> (3555)            |
| Pollution and Source of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Urban-rural Juncture Belt Area in Beijing .....                           |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | ZHOU Yu-min, HAO Zheng-ping, WANG Hai-lin(3560)                      |
| Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Urban-rural Juncture Belt Area .....                                    | ZHOU Yu-min, HAO Zheng-ping, WANG Hai-lin(3566)                      |
| Source Emission Characteristics of Malodorous Volatile Organic Carbonyls from a Municipal Sewage Treatment Plant .....                      |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | ZHOU Mi, WANG Bo-guang, ZHAO De-jun, <i>et al.</i> (3571)            |
| Source Emission Characteristics and Impact Factors of Volatile Halogenated Organic Compounds from Wastewater Treatment Plant .....          |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | HE Jie, WANG Bo-guang, LIU Shu-le, <i>et al.</i> (3577)              |
| Quantification Assessment of the Relationship Between Chemical and Olfactory Concentrations for Malodorous Volatile Organic Compounds ..... |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | LIU Shu-le, WANG Bo-guang, HE Jie, <i>et al.</i> (3582)              |
| Study on Transformation Mechanism of SOA from Biogenic VOC Under UV-B Condition .....                                                       | LI Ying-ying, LI Xiang, CHEN Jian-min(3588)                          |
| Kinetic Studies on the Gas-phase Reactions of NO <sub>3</sub> Radicals with Three Cyclic Ethers .....                                       | GAO Yan-bo, GE Mao-fa, WANG Wei-gang(3593)                           |
| Uptake of 3-methyl-3-buten-1-ol into Aqueous Mixed Solution of Sulfuric Acid and Hydrogen Peroxide .....                                    | WANG Tian-he, LIU Ze, GE Mao-fa, <i>et al.</i> (3599)                |
| An Overview on Analytical Method of Volatile Organic Compounds in Water .....                                                               | XU Xiu-yan, ZHU Qing, TAN Li, <i>et al.</i> (3606)                   |
| Determination of Low Concentration VOCs in Air by a Newly Designed Needle Trap Device .....                                                 | LI Xiang, CHEN Jian-min (3613)                                       |
| Research on Determination of Total Volatile Organic Sulfur Compounds in the Atmosphere .....                                                |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | WANG Yan-jun, ZHENG Xiao-ling, HE Ying, <i>et al.</i> (3617)         |
| Automatic Continuous Monitoring of Volatile Organic Compounds Using Ion Mobility Spectrometer Array .....                                   |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | ZHOU Qing-hua, CANG Huai-wen, JU Bang-yu, <i>et al.</i> (3623)       |
| Development of a Membrane Inlet-Single Photon Ionization/Chemical Ionization-Mass Spectrometer for Online Analysis of VOCs in Water .....   |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | HUA Lei, WU Qing-hao, HOU Ke-yong, <i>et al.</i> (3628)              |
| Detection of TVOC and Odor in Industrial Park Using Electronic Nose .....                                                                   | TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, YE Zhao-xia, <i>et al.</i> (3635)          |
| Applicability of an Electronic Nose for Detection of Volatile Chlorinated Hydrocarbons in Soil .....                                        |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | BU Fan-yang, WEN Xiao-gang, WAN Mei, <i>et al.</i> (3641)            |
| Test and Analysis of Acrylic Acid Ester in Industry Pipelines .....                                                                         | WU Bin, ZHANG Hong-yan, LU Lin-guang(3647)                           |
| Preparation of Honeycombed Monolithic Zeolite and Hydrophobic Modification with SiCl <sub>4</sub> .....                                     | WANG Xi-qin, LI Kai, WEI Bing, <i>et al.</i> (3653)                  |
| Synthesis of Manganese Oxide Octahedral Molecular Sieve and Their Application in Catalytic Oxidation of Benzene .....                       | LI Dong-yan, LIU Hai-di, CHEN Yun-fa(3657)                           |
| Adsorption-Desorption Performance of Honeycomb-Shaped Activated Carbon .....                                                                | HAN Zhong-juan, LUO Fu-kun, LI Ze-qing(3662)                         |
| Process of Adsorption and Separating Recovery Solvents from Vapor Mixture Directly .....                                                    | WANG Hong-yu, QIANG Ning, HU Xia(3667)                               |
| BTF Performance Treating a Chlorobenzene-Contaminated Gas Stream .....                                                                      | ZHOU Qing-wei, ZHU Run-ye, HU Jun, <i>et al.</i> (3673)              |
| Purification of Complicated Industrial Organic Waste Gas by Complex Absorption .....                                                        | CHEN Ding-sheng, CEN Chao-ping, TANG Zhi-xiong, <i>et al.</i> (3680) |
| Analysis of the Treatment Technology Pathway of VOCs Released from Oven .....                                                               | LI Ze-qing, LUO Fu-kun(3685)                                         |
| Fabrication of Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Nanorods and Its Catalytic Oxidation of Gaseous Toluene .....                                 | YAN Qing-yun, LI Xin-yong, ZHAO Qi-dong, <i>et al.</i> (3689)        |
| Preparation, Characterization of Si Doped TiO <sub>2</sub> Nanotubes and Its Application in Photocatalytic Oxidation of VOCs .....          |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | ZOU Xue-jun, LI Xin-yong, QU Zhen-ping, <i>et al.</i> (3694)         |
| Research of the Natural Attenuation Capacity of Oil Pollutants Based on <i>in-situ</i> Experiment .....                                     | JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (3699)              |
| Experimental Research of Oil Vapor Pollution Control for Gas Station with Membrane Separation Technology .....                              |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | ZHU Ling, CHEN Jia-qing, ZHANG Bao-sheng, <i>et al.</i> (3704)       |
| CFD Numerical Simulation onto the Gas-Liquid Two-Phase Flow Behavior During Vehicle Refueling Process .....                                 |                                                                      |
| .....                                                                                                                                       | CHEN Jia-qing, ZHANG Nan, WANG Jin-hui, <i>et al.</i> (3710)         |

# 《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)

2011年12月15日 32卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Founded in 1976)

Vol. 32 No. 12 Dec. 15, 2011

|         |                                                                                                                                                                    |                  |    |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                              | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>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<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                            | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencecp. com                                                                                              | Distributed      | by | Science Press<br>Tel:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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<br>(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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊