

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, 吴迺名, 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 ₃ 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 ₃ O ₄ 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 ₂ 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)	

烘房 VOCs 废气治理技术路线探析

李泽清, 罗福坤*

(嘉园环保股份有限公司, 福州 350003)

摘要:以集装箱涂装生产线烘房 VOCs 废气治理为例, 分别采用蓄热式热力焚烧(RTO)-热能回用工艺与活性炭吸附-蒸汽脱附-冷凝再生工艺, 通过工程应用中采集的各项运行数据, 对 2 种工艺在集装箱烘房 VOCs 废气处理中的特点进行了分析和探讨。结果表明, 2 种工艺均能实现废气回收利用的目的; 相对活性炭吸附-蒸汽脱附-冷凝再生工艺, RTO-热能回用工艺具有更好的经济效益和环境效益。

关键词:挥发性有机化合物(VOCs); 蓄热式热力焚烧(RTO); 活性炭; 吸附; 集装箱; 烘房

中图分类号: X701 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)12-3685-04

Analysis of the Treatment Technology Pathway of VOCs Released from Oven

LI Ze-qing, LUO Fu-kun

(Garden Environmental Protection Co. Ltd., Fuzhou 350003, China)

Abstract: Treatment of VOCs from oven of container production process is taken as an example to discuss the characteristics of regenerative thermo oxidation (RTO)-heat recovery technology and activated carbon adsorption-steam desorption-solvent recovery technology, based on a large number of data gathered in many projects. It is suggested that, both of technologies are able to achieve the purpose of recovery VOCs; Compared with activated carbon adsorption-steam desorption-solvent recovery technology, RTO-heat recovery technology has better economic and environmental benefit.

Key words: volatile organic compounds (VOCs); activated carbon; adsorption; regenerative thermal oxidizers (RTO); container; oven

集装箱生产过程耗用大量有机溶剂, 并产生大量有机废气, 每生产一个标箱(TEU)约需使用 0.1 t 的有机溶剂, 其中绝大部分有机溶剂挥发到空气中, 给生态环境和人体健康带来严重危害^[1~4]。据统计, 2008 年我国集装箱产量超过 400 万 TEU, 耗用溶剂 40 万 t, 废气排放超过 30 万 t, 一个年产 15 万 TEU 的箱厂, 每年有机废气排放量达 1.2 万 t, 集装箱生产是典型的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)重污染行业^[5]。目前大部分生产干货箱的工厂对主要漆房配套了废气净化装置, 如吸附-催化燃烧装置等, 取得较好的净化效果。烘房废气是集装箱生产废气的重要部分, 但大部分烘房废气没有得到有效处置。

烘房废气产生于集装箱喷涂后加热烘干过程中, 废气成分主要为甲苯、二甲苯等。由于加热升温加速了溶剂挥发, 使废气浓度大大提高, 然而为了降低能耗控制成本, 一般采用小风量通风, 致使烘房废气具有浓度高、温度高、风量小的特点。本研究以集装箱涂装生产线烘房 VOCs 废气治理为例, 分别采用蓄热式热力焚烧(regenerative thermal oxidizers, RTO)-热能回用工艺与活性炭吸附-蒸汽脱附-冷凝再生工艺, 通过工程应用中采集的各项运行数据, 分析比较 2 种工艺在集装箱烘房 VOCs 废气处理中的

特点, 以期对烘房 VOCs 废气治理工艺的选择提供参考。

1 烘房 VOCs 废气净化工艺介绍

1.1 吸附-催化燃烧工艺

吸附-催化燃烧工艺主要应用于大风量、低浓度有机废气的治理, 适用于治理集装箱生产过程中喷漆工段产生的有机废气, 具有运行成本低、净化彻底的优点^[6]。但由于烘房废气浓度较高, 且风量相对较低, 在我公司以往的工程案例中一般不对烘房废气进行单独治理, 而是并入喷漆车间的有机废气治理系统中进行集中治理。

1.2 活性炭吸附-蒸汽脱附-冷凝再生工艺

活性炭吸附-蒸汽脱附-冷凝再生工艺(简称“吸附-溶剂回收工艺”)可以实现废气的再生循环利用。在挥发性有机废气的治理中, 对于组分少、浓度高的 VOCs, 吸附-溶剂回收工艺具有较高的实用价值, 能回收其中有用成分, 产生经济效益, 针对集装箱烘房有机废气单独处理, 目前部分厂家采用了该工艺。

收稿日期: 2011-05-16; 修订日期: 2011-06-27

作者简介: 李泽清(1971~), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为有机废气净化设计和净化研究工作, E-mail: lizq@gardenep.com

* 通讯联系人, E-mail: luofk@gardenep.com

吸附-溶剂回收工艺主要以颗粒状或纤维状活性炭为吸附材料,工艺流程一般包含预处理、吸附、蒸汽脱附、冷凝等处理单元,典型的工艺流程示意图如图 1 所示。

从烘房收集的有机废气先经过表冷、降温等预处理过程后进入活性炭床吸附处理,吸附后净化气体直接外排。活性炭床吸附饱和后,由 PLC 程序控制转入脱附再生过程,导入饱和蒸汽对活性炭脱附,脱附后的蒸汽和有机气体的混合气体在冷凝器中冷却液化成水和有机溶剂的混合液,之后水和有机溶剂的混合物流入自动油水分离器中,实现自动分离,分离后的有机溶剂进入溶剂储槽,工艺废水进入废水处理系统净化处理后达标排放。

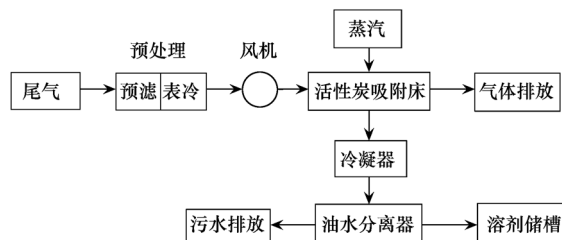


图 1 活性炭吸附-蒸汽脱附-冷凝再生工艺流程示意

Fig. 1 Activated carbon adsorption-steam desorption-solvent recovery technology

1.3 RTO-热能回用工艺

通过废气燃烧产生热能,实现能量循环利用。RTO 技术是一种治理中高浓度有机废气比较理想的治理技术,该技术是在传统燃烧技术上发展起来的一种新型有机废气治理技术,它以规整陶瓷材料作为蓄热体,通过流向变换操作回用有机废气氧化过程中产生的热量,热回用效率一般高达 95% 以上,远远高于传统的列管式换热器^[7]。该法对有机物的氧化温度高,一般在 800℃ 左右,净化效率高,对大部分有机物的净化效率可达 98% 以上。

一般来说,烘房工艺段排放的有机废气浓度较高(浓度 4 000 mg·m⁻³ 左右),且正常运行时风量和浓度都较为稳定,RTO 设备在这种条件下运行不需外加能耗,并可产生高于进风温度的热风,通过管道回用于烘房,达到资源的循环利用。工艺流程示意图见图 2。

烘房排放的废气经集气管路收集,通过过滤阻火器,进入 RTO 设备内高温焚烧降解。降解后的净化气体经过蓄热体后,会产生高于废气进口温度约 100℃ 的气体,通过管道将该热风直接回用于烘房供

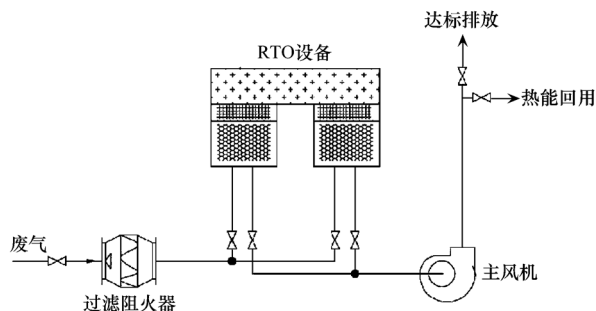


图 2 烘房 RTO-热能回用工艺流程示意

Fig. 2 Technological flow chart of RTO-heat recovery technology

热,可以将热风回用管道接至烘房燃油/燃气热风炉的进口风道处,因此从某种意义上说,RTO 设备可以看成一种特殊的燃烧机,在降解有机废气的同时通过蓄热体的切换换热原理,在高换热效率下使烘房出来的较高浓度有机废气降解并转换成热量,并通过管道回用于烘房。

另外,在热风回用控制系统中可以通过采集烘房内的温度信号并与烘房供热的燃油/燃气热风炉进行联动控制,根据回用热量的大小调节热风炉的燃料耗量,降低原有燃油/燃气热风炉的燃料耗量,达到节能降耗的目的。理论上,在烘房排放的废气流量和有机废气浓度足够的情况下,可通过 RTO 的回热替代烘房热风炉的供热。

目前在汽车涂装线烘干工艺中,大多应用了 RTO 技术,获得了良好的净化效果^[8,9]。

2 RTO-热能回用工艺与吸附-溶剂回收工艺对比分析

2 个集装箱厂分别采用 RTO-热能回收工艺和吸附-溶剂回收工艺治理烘房废气,根据设计参数及运行数据,综合分析比较 RTO-热能回用工艺与吸附-溶剂回收工艺的设备配置、公用工程及经济效益等参数。

有机废气参数取值:流量 10 000 m³·h⁻¹,温度 60℃,VOCs 浓度 4 000 mg·m⁻³。

2.1 设备配置及公用工程

根据上述排气参数,2 种治理工艺参数如表 1 所示。

由表 1 可知,由于吸附-溶剂回收工艺一般采用颗粒状或纤维状活性炭作为吸附材料,设备阻力大,因此在风机选型上需要选用压头较大的风机;而 RTO 设备采用阻力小的蜂窝状陶瓷蓄热体,系统阻力小,选用功率较小的风机,大大降低了主风机的能耗。

表 1 工艺参数
Table 1 Process parameters

序号	内容	RTO-热能回用工艺参数	吸附-溶剂回收工艺参数
1	主风机	流量:10 000 m ³ ·h ⁻¹ ,全压:2 000 Pa,风机功率:11.0 kW	流量:10 000 m ³ ·h ⁻¹ ,全压:4 500 Pa,风机功率:22.0 kW
2	预处理	预滤器	预滤+表冷降温(废气需要降温至 40℃ 以下进入吸附)
3	主体设备	RTO 设备 1 套	吸附床 2 台,1 用 1 备
4	水蒸气	不需要	需要,用量:约 500 kg·h ⁻¹
5	冷却水	不需要	表冷及蒸汽冷凝均需配备冷却循环水系统
6	压缩空气	需要,用于气动阀门	需要,用于气动阀门
7	加热系统	电加热或者燃气、燃油加热	不需要
8	二次污染	无	产生工艺废水
9	净化率	≥98%	≥90%

活性炭一般在温度低于 40℃ 下具有较好的吸附性能,由于烘房废气出口温度 > 60℃,因此对于吸附-溶剂回收系统的前处理需要配置表冷器对进口废气降温.目前的溶剂回收系统多采用水蒸气脱附解析,因此溶剂回收分离后会产生工艺废水,该废水 COD 很高,需要进一步处理后方可达标排放.

RTO 设备内部焚烧炉炉温 > 800℃,气体停留

时间 > 0.5 s,对有机废气净化率高于 98%,处理后的气体可稳定达标.采用活性炭吸附的溶剂回收工艺由于受活性炭饱和吸附量的影响,吸附效率不稳定,工艺控制不当时易出现排气超标.

2.2 经济效益分析

以集装箱高温烘房废气参数为例,对吸附-溶剂回收工艺及 RTO-热能回用工艺的经济效益进行分析,结果见表 2.

表 2 经济效益分析¹⁾
Table 2 Analysis on economic benefit of different processes

项目	吸附-溶剂回收工艺(颗粒炭)	RTO-热能回用工艺
主风机	流量:10 000 m ³ ·h ⁻¹ ,全压:4 500 Pa,功率:22.0 kW	流量:10 000 m ³ ·h ⁻¹ ,全压:2 000 Pa,功率:11.0 kW
蒸汽耗量	500 kg·h ⁻¹ ,脱附用	—
冷却水	以 120 t·h ⁻¹ 的循环水冷却塔计,风机功率:2.2 kW,泵功率:7.5 kW	—
冷却塔水损	按 1% 计,水损耗:1.2 t·h ⁻¹	—
预热电功率	—	160.0 kW(预热 4 h,稳定运行无电耗),此部分费用可忽略
总电耗	31.7 kW	11.0 kW
计费取值	电费:0.6 元·kW ⁻¹ ·h ⁻¹ ,蒸汽 220.0 元·t ⁻¹ ,水费:2.5 元·t ⁻¹	
每小时运行费用合计	63.0 元	6.6 元
有机废气排放量	40 kg·h ⁻¹	40 kg·h ⁻¹
溶剂回收量	按 90% 回收率,可回收溶剂 36 kg·h ⁻¹	—
烘房热能含量	—	按甲苯计算,燃烧热为 3 947 kJ·mol ⁻¹ ,总热量为 1 716 087 kJ·h ⁻¹ ,热回用效率按 90% 计,可回用热量 1 544 478 kJ·h ⁻¹
回收价值估算	按回收价值 8 000 元·t ⁻¹ 计,每小时可回收:288.0 元	相当于 429 kW·h 的电能,按每 kW·h 0.6 元计算,相当于每小时回收:257.4 元
每小时净效益	225.0 元	251.0 元

1) 不含设备的折旧费及损坏材料的更换费用

由表 2 的分析结果可知,采用 RTO-热能回用工艺在运行成本 and 经济效益上均优于吸附-溶剂回收工艺.此外,一方面,随着使用时间的延长,活性炭吸附率降低,吸附-溶剂回收工艺中的活性炭一般 1 ~ 2 a 需要更换一次,而 RTO 设备中采用的蜂窝陶瓷

蓄热体寿命一般都在 8 a 以上;另一方面,由于水蒸气的引入,导致吸附-溶剂回收设备的腐蚀,降低了设备的使用寿命.综上所述,相比吸附-溶剂回收工艺,RTO-热能回用工艺具有更好的经济效益和环境效益.

3 结论

(1)集装箱烘房 VOCs 废气污染严重,若采取适当的净化工艺,可变废为宝,实现回收利用目的.

(2)烘房 VOCs 废气治理采用 RTO-热能回用工艺与活性炭吸附-蒸汽脱附-冷凝再生工艺均可实现回收利用的目的.

(3)相比活性炭吸附-蒸汽脱附-冷凝再生工艺,RTO-热能回用工艺具有净化效率高、运行成本低、占地面积少、工艺配置简单、无二次污染等优点.

参考文献:

- [1] 张汉杰,刘定华,刘晓勤. 有机废气吸附净化处理的新型工艺研究[J]. 污染防治技术, 2007, **20**(1): 12-14.
- [2] 沈秋月,羌宁. 有机溶剂回收技术的研究[J]. 四川环境, 2006, **25**(6): 101-105.
- [3] 依成武,刘洋,马丽,等. 有机废气的危害及治理技术[J]. 安徽农业科学, 2009, **37**(1): 351-352.
- [4] 唐运雪. 有机废气处理技术及前景展望[J]. 湖南有色金属, 2005, **21**(5): 31-35.
- [5] 姜明堂. 集装箱行业有机废气污染与治理技术[J]. 集装箱化, 2008, **19**(3): 29-31.
- [6] 尹维东,乔慧贤,陈魁学,等. 蜂窝状活性炭在大风量有机废气治理技术中的应用[J]. 环境科学研究, 2000, **13**(5): 27-30.
- [7] 冯智星,余炳林,胡勇,等. 有机废气(VOC)处理技术[J]. 广东科技, 2008, **17**(14): 3-5.
- [8] 张玉军. 车身涂装线烘干及废气焚烧新技术的应用[J]. 材料保护, 2003, **36**(9): 44-46.
- [9] 陆裕. 英国 Land Rover 车身涂装线考察报告[J]. 轻型汽车技术, 1999, **27**(4): 51-57.

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 ₃ 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 ₃ 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 ₄	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 ₃ O ₄ 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 ₂ 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) 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 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 (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