

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第12期

Vol.34 No.12

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

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

转轮吸附法处理有机废气的研究

朱润晔, 郑亮巍, 毛玉波, 王家德*

(浙江工业大学生物与环境工程学院, 杭州 310032)

摘要: 吸附转轮是一项应用于低浓度、高风量有机废气净化的处理技术, 为优化转轮吸附关键工艺参数转速和吸附效率, 以模拟甲苯废气为处理对象, 采用蜂窝状改性 13X 分子筛 (M-13X) 为吸附剂, 对比分析固定床和转轮两种吸附实验。结果表明, 固定床实验信息可用于转轮吸附系统; 依据吸附过程的热质平衡理论, 综合废气特性 (流速、温度、密度、污染物种类和浓度等)、吸附剂特性 (热熔、吸附热、饱和吸附量等) 及吸附床结构 (床层厚度和密度、吸附区比例等) 参数, 推导了吸附转轮最佳转速 (n_{opt}) 及周期去除效率 (η_{cycle}) 的数值计算, 经与 M-13X 吸附转轮净化甲苯废气实验数据作比较, 验证了所推导数值计算的可靠性。研究结果可为转轮吸附处理有机废气工程的设计和运行控制提供依据。

关键词: 转轮; 吸附; 转速; 甲苯; 有机废气

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4689-05

Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor

ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, WANG Jia-de

(College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: The adsorption rotor is applicable to treating organic waste gases with low concentration and high air volume. The performance of adsorption rotor for purifying organic waste gases was investigated in this paper. Toluene was selected as the simulative gaseous pollutant and the adsorption rotor was packed with honeycomb modified 13X molecular sieves (M-13X). Experimental results of the fixed adsorption and the rotor adsorption were analyzed and compared. The results indicated that some information on the fixed adsorption was useful for the rotor adsorption. Integrating the characteristics of the adsorbents, waste gases and the structures of the rotor adsorption, the formulas on optimal rotor speed and cycle removal efficiency of the adsorption rotor were deduced, based on the mass and heat balances of the adsorbing process. The numerical results were in good agreement with the experimental data, which meant that the formulas on optimal rotor speed and cycle removal efficiency could be effectively applied in design and operation of the adsorption rotor.

Key words: rotor; adsorption; rotor speed; toluene; organic waste gas

工业源挥发性有机化合物 (VOCs) 具有排放强度大、浓度高、持续时间长、污染物种类多等特点^[1], 对局部空气质量影响大, 是灰霾、光化学烟雾等大气污染现象主要成因之一^[2~5]。因此, 工业 VOCs 排放需得到严格控制, 常见净化控制技术包括吸附、吸收、冷凝、生物处理、热力燃烧、催化燃烧、等离子体氧化、膜分离、光氧化等^[6,7]。吸附是目前应用较多的一项技术, 具有净化效率高、操作简单等优点; 与冷凝技术联合可实现 VOCs 资源化, 特别适合涂装、包装印刷、电子设备制造、制鞋、化工、医药等溶剂种类单一且用量大的行业 VOCs 回收场合^[8,9]。

吸附工艺包括固定床、移动床、流化床和转轮吸附等^[10]。其中, 转轮吸附源于美国 Bryant 1950 年发明的转轮除湿技术, 1990 年被日本西部技研公司用于 VOCs 净化^[11], 现已在日本、欧美等国及台湾地区得到普遍应用^[12~14]。相比固定床装置, 转轮吸附具有运行稳定、结构紧凑、单位床层阻力小、占

地面积小等优点^[15]。当前, 我国转轮吸附应用工程多引进台湾、日本等技术, 投资成本高, 国内相关文献报道亦不充分。鉴于此, 本研究在剖析转轮吸附工艺关键技术的基础上, 探讨了转轮运行转速和效率的数值计算, 以期对转轮吸附处理有机废气设计和运行控制提供支撑。

1 转轮吸附装置

图 1 为转轮吸附装置及吸附床结构图。转轮主体为一个装满吸附剂的旋转轮, 依据工作状态划分为吸附、脱附和冷却 3 个区域。含 VOCs 的废气经鼓风机引入吸附区, 其中的 VOCs 组分被吸附, 随后吸附了 VOCs 的吸附剂转至再生区, 与高温媒介 (如热空气、蒸气) 接触过程后, VOCs 被脱附并随再生气流流出, 吸附剂获得再生; 再生后的吸附剂进入

收稿日期: 2013-07-01; 修订日期: 2013-08-18

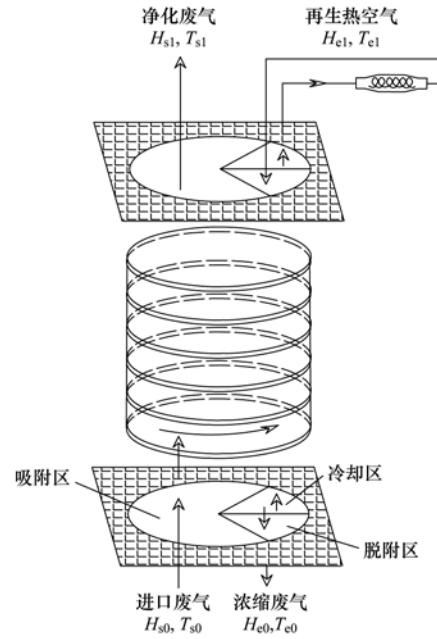
作者简介: 朱润晔 (1977 ~), 男, 博士研究生, 副研究员, 主要研究方向为有机废气污染控制, E-mail: zhurunye@zjut.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: jdwang@zjut.edu.cn



图1 转轮吸附实验装置

Fig. 1 Rotor adsorption process



冷却区降温,为再次吸附 VOCs 作准备,完成一个吸附循环。随着转轮的转动,吸附剂周期性地进行了吸附、脱附和冷却,实现对有机废气的净化。

2 转轮吸附剂

活性炭和沸石分子筛是转轮装置使用的两种主要吸附材料。活性炭孔穴丰富,比表面积大,具有较好的广谱适用性;沸石分子筛晶体结构均一,孔洞直径具有“分子筛分”作用,具有一定的选择吸附性。两者相比,活性炭吸附容量大,但存在易燃等安全隐患;沸石分子筛可燃性差,可耐受高温(1000℃),部分沸石分子筛还具有一定的抗湿性,可用于吸附高沸点物质及相对湿度(RH) > 60% 的废气工况^[16~19]。

吸附剂形状多样,综合气流阻力、相接触面积及几何参数等,蜂窝结构优势明显,适合转轮装置使用。自日本首次报道了蜂窝活性炭以来^[20],相关蜂窝结构吸附剂研制开始受到关注,一些改性吸附剂也被大量报道。蜂窝结构吸附剂制备方法有涂覆式、沉浸式和成型式3种,以吸附剂种类作选择,各有特点。其中成型式制作工艺是将粘合剂、粉状活性炭或沸石分子筛、助剂按比例混合后模压成型,制得吸附剂吸附性能稳定,且可通过添加成分方便进行吸附剂改性,是当前蜂窝结构吸附剂制备主要生产工艺^[21]。课题组对蜂窝状改性 13X 分子筛的

吸附特性进行了详细考察^[22]。

目前,复合吸附剂综合多种吸附材料的优势,吸附性能和稳定性得到改善,成为高性能吸附剂的一个发展方向,如陶瓷纤维基吸附剂。陶瓷纤维质经粘合、温控成型滚轮磨具加工成蜂窝状半成品,卷绕成圆盘状后 400 ~ 500℃ 高温烧结制得陶瓷纤维无机基材,再经浸渍(分子筛粉末溶液)、烘干(70 ~ 250℃)即得成品吸附剂。Yamauchi 等^[23]将陶瓷纤维纸制成厚度为 0.2 mm、波纹尺寸 3.2 mm × 1.7 mm 的蜂窝状半成品,卷成圆盘状后浸含疏水性分子筛,试验表明当 RH < 80% 时,转轮受水分影响小,吸附性能良好。

3 转轮参数计算

3.1 转速

转速是转轮吸附操作过程非常重要的一个参数。转轮吸附床随转轮的周期性转动依次经历吸附-脱附-冷却过程,因此,转轮转速 n (r·h⁻¹) 计算式为:

$$n = \frac{60}{t_{ad} + t_{de} + t_{co}} \quad (1)$$

式中, t_{ad} 、 t_{de} 、 t_{co} 分别为转动一周(轮)经历的吸附、脱附、冷却时间,单位为 min。

本质上,转速大小设置是基于废气吸附、脱附和冷却所需时间的长短。通过固定床实验的周期操作可以获得吸附、脱附、冷却时间信息,而这三者

的比值即表现为转轮的面积比。课题组对比了甲苯废气的固定床和转轮操作实验结果(如表1),发现固定床实验获得的数据信息能很好地用于转轮吸附,这为后者工程设计提供很好的数据依据。

表1 固定床与转轮运行的性能对比

Table 1 Comparison of efficiency between fix-bed cycle

operation and rotary operation		
项目	固定床	转轮
VOC	甲苯	甲苯
进气浓度/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	100	100
进气流速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	2	2
浓缩比(进气风量/脱附风量)	14	14
瞬时去除率/%	96~97	95.3~96.1
吸附时间/min	13.53	13.33
脱附时间/min	1.35	1.33
冷却时间/min	1.35	1.33
操作周期 $n/r\cdot\text{h}^{-1}$	3.6	3.7

转速大小影响去除效率,因此工程上存在最佳值概念,定义为最佳转速 n_{opt} 。Kodama 等^[24]通过温度探测器研究转轮内部的温度分布,以此阐明转速等对水分去除效率的影响规律,提出最佳转速 n_{opt} 的计算公式。课题组以此为基础,结合吸附过程热平衡理论,推导了转轮吸附去除污染物的最佳转速公式:

$$n_{\text{opt}} = \frac{\gamma\beta\rho_g c_g u_g}{\rho_b c_b L} \left[1 - \frac{h_p \rho_p}{c_g (T_e - T_0)} \right] \quad (2)$$

式中, L 、 ρ_b 和 c_b 表示吸附床的厚度(m)、密度($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)及热容 [$\text{kJ}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$], u_g 、 ρ_g 、 c_g 表示废气的流速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、密度($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)、热容 [$\text{kJ}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$], h_p 和 ρ_p 表示污染物的吸附热($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)、密度($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$); β 为吸附区面积比例(%), T_0 和 T_e 表示废气进口和出口的温度($^{\circ}\text{C}$), γ 为实验测定的某一常数值。

课题组采用改性 13X 分子筛为吸附剂的转轮,开展了对甲苯废气的吸附实验研究。转轮装置中, $\beta = 10/12$, $L = 0.4 \text{ m}$, $\rho_b = 500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $c_b = 0.96 \text{ kJ}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$, $c_g = 1.004 \text{ kJ}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$, 将各种进气参数下获得的最佳转速代入公式(2),反向求得 $\gamma = 2.86$ 。因此,实验装置最佳转速 n_{opt} 公式具体简化为:

$$n_{\text{opt}} = 0.97 \left[1 - \frac{h_p \rho_p}{(T_e - T_0)} \right] u_g \quad (3)$$

对于浓度 $\rho_p = 0.0001 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、初始温度 $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ 的甲苯废气,吸附反应热 $h_p = 412 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,流速 $u_g = 2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,出口温度 $T_e = 20.5^{\circ}\text{C}$,代入公式

(3) 计算得 $n_{\text{opt}} = 3.43$,与实际运行测定的最佳转速 3.5 结果十分接近。因此,对一已知进气条件及给定的操作参数情况下,采用公式(3)可以进行转轮吸附最佳转速的计算。

3.2 去除效率

去除效率是工程设计最为关心的一个参数。吸附操作中瞬时去除效率不是一个常量,随吸附时间而变。因此吸附去除效率定义为一个吸附周期内污染物被吸附总量与进入吸附床总量之比,又称周期效率。Mitsuma 等^[25]通过分析蜂窝陶瓷关于醋酸丁酯的吸附和脱附曲线,给出了转轮吸附周期效率计算式:

$$\eta_{\text{cycle}} = 1 - \frac{\int_0^{t_{\text{ad}}} \rho_p(t) \cdot Q dt}{\rho_{p0} \cdot Q \left(t_{\text{ad}} - \frac{Lr}{u_{\text{mtz}}} \right)} = 1 - \frac{\int_0^{t_{\text{ad}}} \rho_p(t) dt}{\rho_{p0} \left(t_{\text{ad}} - \frac{Lr}{u_{\text{mtz}}} \right)} \quad (4)$$

该效率计算式考虑了工程中存在的脱附残存率 r 。式中, ρ_{p0} 为进气浓度, t_{ad} 为吸附时间(与转轮转速相关), $\rho_p(t)$ 为全新(或完全再生)吸附剂吸附过程某一时刻的出口浓度, u_{mtz} 为吸附带移动速度($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)。 r 及 u_{mtz} 均可通过固定床吸附实验求得, $\int_0^{t_{\text{ad}}} \rho_p(t)$ 为全新吸附剂吸附时间 t_{ad} 内的穿透总量(mg)。

课题组测定了全新改性 13X 分子筛的吸附性能,得到穿透曲线如图 2 所示。由穿透曲线可求得吸附带移动速度 $u_{\text{mtz}} = 0.031 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 及各吸附时间下的总穿透量 $\int_0^{t_{\text{ad}}} \rho_p(t)$ 。

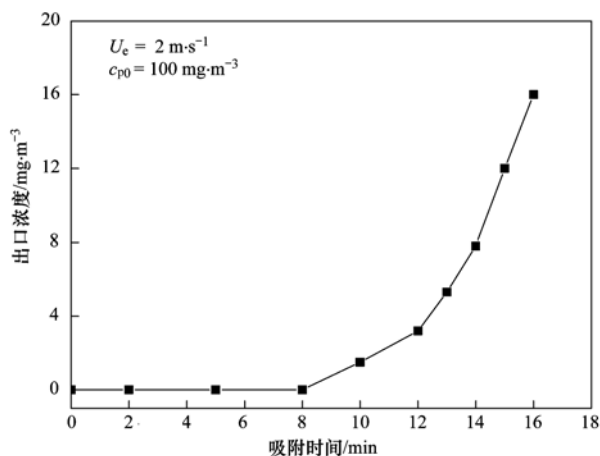


图2 穿透曲线

Fig. 2 Breakthrough curve

图3是饱和吸附改性 13X 分子筛在脱附温度

180℃下测得的甲苯残存率曲线。从中可知,自脱附开始至80 s期间,残存率下降明显,当脱附时间为80 s时,脱附率已达95%;之后,脱附率随脱附时间延长无明显变化。转轮装置的吸附/脱附面积比为10:1,则对应脱附时间80 s的吸附时间为800 s (13.33 min)。结合图2数据,计算得对应吸附时间13.33 min的总穿透量 $\int_0^{t_{ad}} \rho_p(t) = 10.2 \text{ mg}$ 。

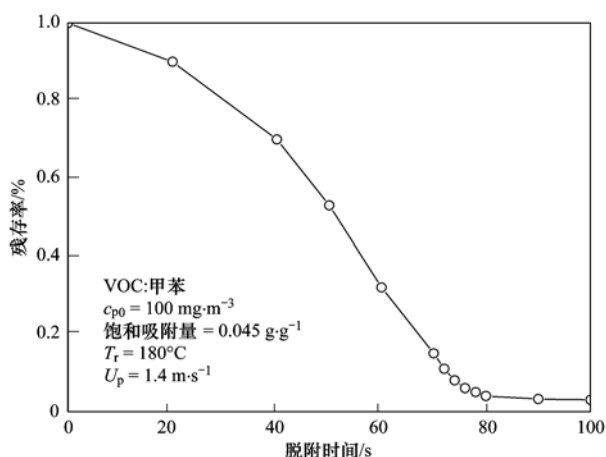


图3 残存率与脱附时间的关系

Fig. 3 Relationship between desorption time and subsistence

将 $\rho_{p0} = 100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $L = 0.4 \text{ m}$ 、 $r = 0.05$ 、 $u_{mtz} = 0.031 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $\int_0^{t_{ad}} \rho_p(t) = 10.2 \text{ mg}$ 代入公式(4)得蜂窝状活性分子筛转轮吸附甲苯的周期效率 $\eta_{\text{cycle}} = 0.99$,这个值高于表1吸附时间13.33 min时的瞬时效率值。

4 结论

转轮吸附是处理低浓度废气的一项有效技术。基于吸附过程热质平衡理论,推导的转轮吸附技术的最佳转速和周期去除效率的数值计算,经与转轮吸附实验数据验证,可有效应用于转轮吸附参数设计和运行控制过程,保证转轮吸附的高效运行。

参考文献:

- [1] 栾志强, 郝郑平, 王喜芹. 工业固定源 VOCs 治理技术分析评估[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3476-3486.
- [2] Shao M, Zhang Y H, Zeng L M, *et al.* Ground-level ozone in the Pearl River Delta and the roles of VOC and NO_x in its production [J]. Journal of Environmental Management, 2009, **90**(1): 512-518.
- [3] 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-PRD 2004 campaign [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(25): 6203-6218.
- [4] Cocker D R III, 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.
- [5] 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**(5309): 96-99.
- [6] Parmar G R, Rao N N. Emerging control technologies for volatile organic compounds [J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2008, **39**(1): 41-78.
- [7] 席劲瑛, 武俊良, 胡洪营, 等. 工业 VOCs 气体处理技术应用状况调查分析[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(11): 1955-1960.
- [8] Li Y X, Chen J Y, Sun Y H. Adsorption of multicomponent volatile organic compounds on semi-coke[J]. Carbon, 2008, **46**(6): 858-863.
- [9] Kolade M A, Kogelbauer A, Alpay E. Adsorptive reactor technology for VOC abatement [J]. Chemical Engineering Science, 2009, **64**(6): 1167-1177.
- [10] 蒋文举, 宁平. 大气污染控制工程[M]. (第二版). 成都: 四川大学出版社, 2005. 171-174.
- [11] Mituma Y, Hirose T, Kuma T, *et al.* Practice of the VOC abatement by thermal swing ceramic monolith adsorbers[A]. In: Proc. 4th Japan-Korea Symposium on Separation Technology [C]. Tokyo, 1996.
- [12] Yamauchi H, Kodama A, Hirose T. Design and operation of adsorptive honeycomb rotor VOC concentrators and improvement of performance by high temperature regeneration [J]. Kagaku Kogaku Ronbunshu, 2008, **34**(2): 217-223.
- [13] Yoo Y J, Kim H S, Han M H. Toluene and MEK adsorption behavior of the adsorption system using honeycomb adsorption rotor[J]. Separation Science and Technology, 2005, **40**(8): 1635-1651.
- [14] Mitsuma Y, Ota Y, Hirose T. Performance of thermal swing honeycomb VOC concentrators [J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1998, **31**(3): 482-484.
- [15] Meininghaus C K W, Prins R. Sorption of volatile organic compounds on hydrophobic zeolites [J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2000, **35-36**: 349-365.
- [16] Lin Y C, Chang F T. Optimizing operating parameters of a honeycomb zeolite rotor concentrator for processing TFT-LCD volatile organic compounds with competitive adsorption characteristics[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **164**(2-3): 517-526.
- [17] Guillenmot M, Mijoin J, Mignard S, *et al.* Adsorption of tetrachloroethylene (PCE) in gas phase on zeolites of faujasite type: influence of water vapour and of Si/Al ratio [J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2008, **111**(1-3): 334-342.
- [18] Serrano D P, Calleja G, Botas J A, *et al.* Characterization of adsorptive and hydrophobic properties of silicalite1, ZSM-5, TS-1 and beta zeolites by TPD techniques [J]. Separation and Purification Technology, 2007, **54**(1): 1-9.

- [19] 周春何, 卢晗锋, 曾立沸. 沸石分子筛和活性炭吸附/脱附甲苯性能对比[J]. 环境污染与防治, 2009, **31**(4): 38-41, 44.
- [20] 钱慧娟. 日本活性炭品种及其发展动向[J]. 世界林业研究, 1994, **7**(5): 61-66.
- [21] 王喜芹, 李凯, 魏冰, 等. 硅改性制备疏水性沸石分子筛蜂窝体[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3653-3656.
- [22] Yu Y F, Zheng L W, Wang J D. Adsorption behavior of toluene on modified 1X molecular sieves[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2012, **62**(10): 1227-1232.
- [23] Yamauchi H, Kodama A, Hirose T, *et al.* Performance of VOC abatement by thermal swing honeycomb rotor adsorbers [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2007, **46**(12): 4316-4322.
- [24] Kodama A, Goto M, Hirose T, *et al.* Temperature profile and optimal rotation speed of a honeycomb rotor adsorber operated with thermal swing [J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1994, **27**(5): 644-649.
- [25] Mitsuma Y, Yamauchi H, Hirose T. Analysis of VOC reversing adsorption and desorption characteristics for actual efficiency prediction for ceramic honeycomb adsorbent [J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1998, **31**(2): 253-257.
-

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2013年9月27日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2012年度中国科技论文统计结果.统计结果显示2012年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.

《环境科学》综合评价总分77.8,排名第一,总被引频次6489,影响因子1.156.

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系,计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等),采用层次分析法确定重要指标的权重,分学科对每种期刊进行综合评定,计算出每个期刊的综合评价总分.这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异,使科技期刊可以进行跨学科比较.根据发布的统计结果,2012年度《环境科学》综合评价总分77.8,在被统计的30种环境科学技术及资源科学技术类期刊中名列第一.

CONTENTS

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

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年12月15日 34卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 12 Dec. 15, 2013

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行