

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)	

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

(嘉园环保股份有限公司, 福州 350003)

摘要:蜂窝状活性炭适于处理大风量、低浓度有机废气,通过建立动态吸-脱附实验装置,系统研究了不同吸附质、入口甲苯浓度、空床气速、脱附温度等参数对其吸-脱附性能的影响.结果表明,在规定出口甲苯浓度时,降低入口甲苯浓度,蜂窝状活性炭可持续吸附时间增加,吸附效率提高;在工程应用吸附过程中,空床气速推荐取 $1.2 \sim 1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.在脱附过程中,出口甲苯浓度均出现峰值,随着脱附温度升高,曲线波动越大,工程应用中推荐脱附温度 90°C ;脱附空床气速对出口甲苯浓度峰值有影响,推荐取 $0.2 \sim 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

关键词:挥发性有机化合物(VOCs);蜂窝状活性炭;吸附;脱附;甲苯

中图分类号:X701 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2011)12-3662-05

Adsorption-Desorption Performance of Honeycomb-Shaped Activated Carbon

HAN Zhong-juan, LUO Fu-kun, LI Ze-qing

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

Abstract: Honeycomb-shaped activated carbon is useful to control organic gas pollution of large air-flow and low concentration. Effects of adsorbents, toluene concentration, velocity of empty bed and temperature of desorption on its adsorption-desorption performance were studied by conducting on dynamic experiments. Results shown that adsorption properties of honeycomb-shaped activated carbon were increased with decreasing of the inlet toluene concentration under the condition of certain outlet toluene concentration, and gas velocity of empty bed was recommend as $1.2 \sim 1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. With increasing of the desorption temperature, the outlet toluene concentration appeared peak-value and fluctuated widely, and the recommended desorption temperature was 90°C . Gas velocity of empty bed affected the peak value of concentration of the toluene, and practical value was $0.2 \sim 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Key words: volatile organic compounds (VOCs); honeycomb-shaped activated carbon; adsorption; desorption; toluene

在石油化工、制药、印刷、涂装、电子等行业的生产过程中排放出大量挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs),这些 VOCs 会污染空气,给人体健康带来危害^[1~3].以活性炭吸附为主的吸附工艺或吸附衍生工艺(如吸附-催化燃烧、吸附-蓄热燃烧、吸附-回收)因工艺成熟、运行稳定、适用范围广而成为治理有机废气常用方法^[4,5].活性炭是普遍使用的吸附剂^[6],存在颗粒状、纤维状及蜂窝状,其中蜂窝状活性炭因其独特的蜂窝状结构、床层压降小、吸-脱附速率快等特点,近几年被广泛应用于 VOCs 废气的吸附净化.颗粒状、纤维状活性炭吸附-脱附性能研究的报道较多^[7~15],而目前针对蜂窝状活性炭吸-脱附性能的研究报道比较少^[16].本研究针对蜂窝状活性炭,建立动态吸-脱附实验装置,系统研究了不同吸附质、甲苯浓度、空床气速、脱附温度等参数对蜂窝状活性炭吸-脱附性能的影响,获得较为详实的蜂窝状活性炭吸-脱附性能数据,以期作为吸附设备优化设计提供重要参考数据.

1 材料与方法

1.1 实验材料与设备

本研究采用江西省景德镇特种陶瓷研究所研制的蜂窝状活性炭作为吸附剂,规格为 $50.0 \text{ mm} \times 50.0 \text{ mm} \times 100.0 \text{ mm}$,比表面积不低于 $750 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,孔密度 100 目,灰分 40.1%,将其装填在外形为 $200.0 \text{ mm} \times 200.0 \text{ mm} \times 800.0 \text{ mm}$ 的固定床吸附器中,过风横截面积 0.04 m^2 ,蜂窝状活性炭装填量为 $6\,500.0 \text{ g}$.

吸附质:乙酸乙酯、甲苯和乙醇,均为分析纯.

有机废气制备:废气发生器、风机、蠕动泵及相关管路组成配气系统.吸附时,开启废气发生器加热系统的电加热炉,加热汽化有机溶剂,产生的有机气体与经风机牵引入废气发生器内的空气混合而制成.

热空气制备:废气发生器、风机、相关管路组成热空气生成系统.脱附时,开启废气发生器加热系统的电加热器,加热经风机牵引入废气发生器内的空气.

设备:废气发生器、风机、蠕动泵、固定床吸附

收稿日期:2011-05-16;修订日期:2011-06-27

作者简介:韩忠娟(1982~),女,硕士,工程师,主要研究方向为挥发性有机气体净化处理工艺, E-mail: hanzj@gardenep.com

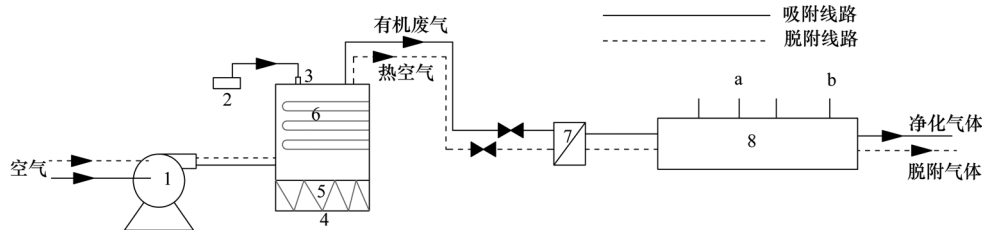
* 通讯联系人, E-mail: luofk@gardenep.com

器、GC-1100 气相色谱分析仪等。

1.2 工艺流程

整套装置由电控制箱、风机、蠕动泵、废气发生器、转子流量计、固定床吸附器、 $\Phi 100.0$ mm 的风管

组成。其中,废气发生器加热系统是有电加热炉和电加热器组成,在固定床吸附器的床体 a 处设有 3 个温度检测口,测量炭层温度,b 为出口气体温度检测口,测量出口气体温度。实验工艺流程示意图 1。



1. 风机; 2. 蠕动泵; 3. 加药口; 4. 废气发生器; 5. 电加热炉; 6. 电加热器; 7. 转子流量计; 8. 固定床吸附器

图 1 实验工艺流程示意

Fig. 1 Technological flow chart of experiment

整过实验过程包括吸附和脱附 2 个阶段。吸附时,有机废气经风管离开废气发生器进入固定床吸附器,经过蜂窝状活性炭吸附处理后排放;脱附时,通过电控制箱调节电加热器的开度,控制热空气的温度,热空气通过原来的吸附管路,即与吸附质吸附相同的方向进入固定床吸附器,对吸附饱和的蜂窝状活性炭解析。

1.3 分析方法

(1) 气相浓度测定方法

采用 GC-1100 气相色谱分析仪测定固定床吸附器进出口有机气体的浓度,进而分析蜂窝状活性炭的吸-脱附性能。

(2) 定量计算方法

实验通过测定不同吸附时间下甲苯的出口浓度,得到吸附过程穿透曲线,求出穿透曲线与横坐标围成的积分面积 S ,然后再按式(1)计算出不同吸附时间下,蜂窝状活性炭对甲苯的平衡吸附量,其中吸附过程穿透曲线和积分面积 S 均由 Origin 7.5 软件获得。

$$Q = (c_0 \times t - S) \times u \times A \times 60 \quad (1)$$

式中, Q 为蜂窝状活性炭对甲苯的平衡吸附量, g ; c_0 为甲苯的进口浓度, $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; t 为吸附时间, min ; S 为穿透曲线与横坐标围成的积分面积, $\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$; u 为床层气速, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; A 为固定床吸附器截面积, m^2 。

蜂窝状活性炭吸附率按公式(2)计算:

$$\eta = \frac{Q}{m_{\text{HAC}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, η 为蜂窝状活性炭吸附率, %; m_{HAC} 为蜂窝状活性炭质量, g 。

2 结果与讨论

2.1 不同有机溶剂在蜂窝状活性炭上的吸附行为

研究了蜂窝状活性炭对甲苯、乙酸乙酯、乙醇的吸附情况,实验结果如图 2 所示。

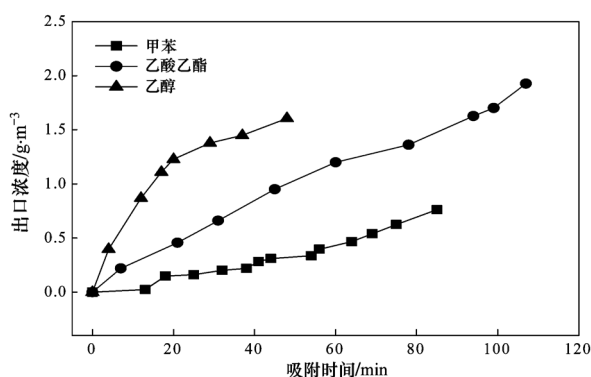


图 2 不同溶剂在 30°C , $1.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $2.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 条件下的吸附过程穿透曲线

Fig. 2 Breakthrough curves of various solvents for the adsorption process at 30°C , $1.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $2.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$

由图 2 可知,蜂窝状活性炭对甲苯、乙酸乙酯及乙醇具有不同的吸附性能。在规定出口浓度为 $1.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,3 种有机溶剂的穿透时间分别为:甲苯 84 min,乙酸乙酯 42 min,乙醇 15 min。因此,蜂窝状活性炭对 3 种有机溶剂的吸附能力为:甲苯 > 乙酸乙酯 > 乙醇。究其原因主要有两方面:一是溶剂的极性,乙醇、乙酸乙酯和甲苯均为弱极性有机物且极性依次降低,而蜂窝状活性炭是一种非极性吸附剂,根据“相似相溶”原理,可知甲苯较易吸附;二是溶剂

的相对分子质量,3种有机溶剂的相对分子质量:甲苯>乙酸乙酯>乙醇,低极性有机物相对分子质量越大,蜂窝状活性炭吸附能力越强^[17].

2.2 不同条件下蜂窝状活性炭对甲苯的吸附行为

2.2.1 入口甲苯浓度的影响

图3为不同入口甲苯浓度下的吸附过程穿透曲线.由图3可知,入口甲苯浓度越高,达到相同出口甲苯浓度时所需要的时间越短,这表明蜂窝状活性炭对甲苯的吸附速率随着入口甲苯浓度的增大而加快.

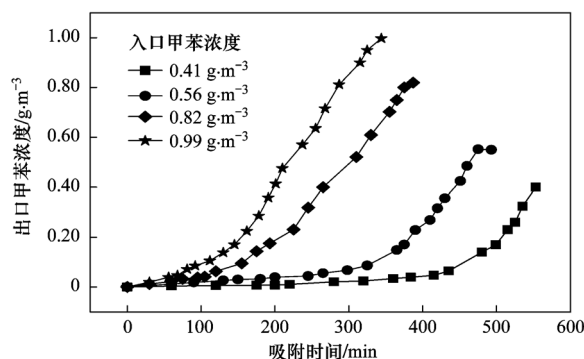


图3 不同入口浓度的甲苯在 $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 30°C 条件下的吸附过程穿透曲线

Fig. 3 Breakthrough curve of various inlet toluene concentration for the adsorption process at $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 30°C

此外,在规定的出口甲苯浓度 $0.04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,入口甲苯浓度越低,可持续吸附时间就越长,蜂窝状活性炭对甲苯的平衡吸附量越大,吸附效率越高.如规定出口浓度为 $0.04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$:当入口甲苯浓度为 $0.41 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,可持续吸附 384 min ,此时,蜂窝状活性炭对甲苯的平衡吸附量为 436.0 g ,吸附率(质量分数)为 6.7% ;而入口甲苯浓度为 $0.99 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,仅可持续吸附 56 min ,蜂窝状活性炭对甲苯的平衡吸附量为 157.0 g ,吸附率(质量分数)为 2.4% .

2.2.2 空床气速的影响

由图4可知,蜂窝状活性炭的吸附性能随空床气速的增大而下降.随着空床气速的增大,达到出口甲苯浓度 $0.04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 的时间就越短.如在空床气速 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,可吸附持续时间为 491 min ,而空床气速提高1倍时,吸附持续时间降低了 59.3% .这主要由于高的空床气速极大的降低了甲苯气体分子与蜂窝状活性炭层的接触时间,使气体中的甲苯未能被充分吸附,就通过了吸附层;因而适当降低空床气速,能够使蜂窝状活性炭得到充分利用,达到标准排放浓度($0.04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$)的持续时间长.

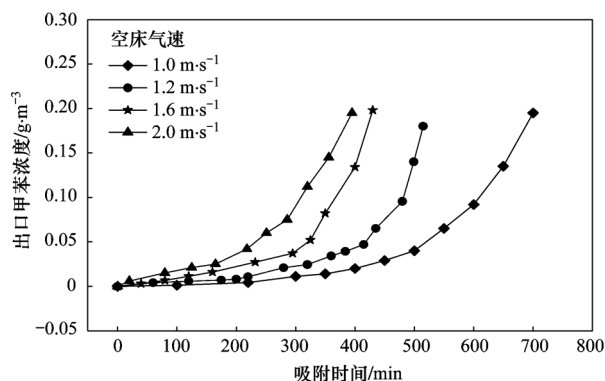


图4 甲苯在 $0.41 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 30°C 条件下的吸附过程穿透曲线
Fig. 4 Breakthrough curve of the adsorption process at $0.41 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 30°C

图5为在规定出口甲苯浓度下,不同空床气速对蜂窝状活性炭平衡吸附量的影响.由图5知,在2种规定出口甲苯浓度下,空床气速从 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 至 $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,平衡吸附量幅动较小.通过计算空床气速为 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 与 $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的平衡吸附量,在出口甲苯浓度为 $0.04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,平衡吸附量分别为 475.3 g 和 395.9 g ;出口浓度为 $0.14 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,平衡吸附量为 595.1 g 和 610.3 g .尽管空床气速对蜂窝状活性炭平衡吸附量有影响,但总体影响不大,工程应用上吸附空床气速推荐取 $1.2 \sim 1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

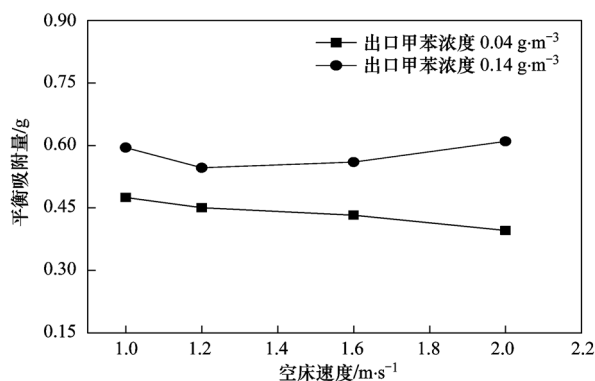


图5 空床气速在在 $0.41 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 30°C 条件下对蜂窝状活性炭平衡吸附量的影响

Fig. 5 Effect of velocity of empty bed on the equilibrium adsorption amount at $0.41 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 30°C

2.3 不同条件下蜂窝状活性炭的脱附行为

2.3.1 不同脱附温度下的脱附过程曲线

研究了脱附温度对蜂窝状活性炭脱附行为的影响,实验结果见图6.

由图6可知,在脱附过程中固定床吸附器出口甲苯浓度均会达到一个峰值,且峰值出现时间基本

相同,都在 60 min 左右,但随着脱附温度升高,出口甲苯浓度峰值逐渐升高,且脱附曲线波动较大,尤其是在 120℃ 时,甲苯峰值浓度高达 $16 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,整个脱附时间内曲线波动更大.较大的出口甲苯浓度波动不利于后端净化设施的稳定运行.由图 6 脱附过程曲线可知,90℃ 时的脱附曲线比较平缓,即固定床吸附器出口甲苯浓度波动越小,对后端净化设施的稳定运行更为有利,建议工程应用中脱附温度选在 90℃.

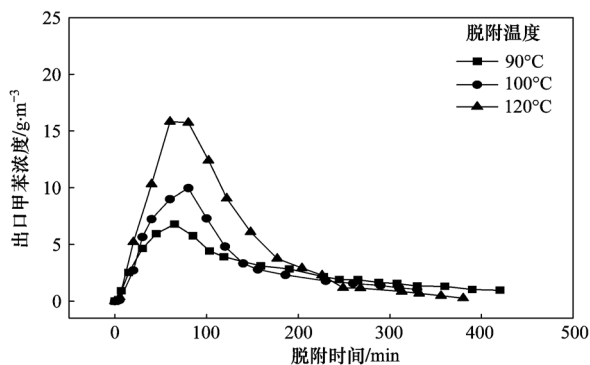


图 6 在空床气速为 $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 平衡吸附量相等条件下脱附过程曲线

Fig. 6 Curves of the desorption process at $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and the same equilibrium adsorption amount

2.3.2 不同脱附空床气速下的脱附过程曲线

图 7 是不同脱附空床气速下的脱附过程曲线.

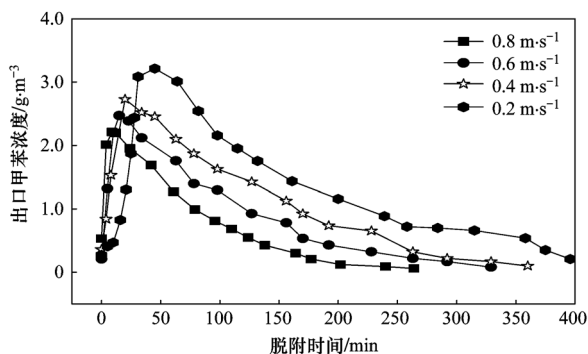


图 7 在 90℃, 平衡吸附量相等条件下的脱附过程曲线

Fig. 7 Curves of the desorption process at 90℃ and the same equilibrium adsorption amount

如图 7 所示,随着脱附空床气速的增大,出口甲苯浓度的峰值出现普遍比较靠前,即较短的时间内就达到峰值.在空床气速 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,45 min 时达到峰值; $0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,20 min 时达到峰值;而在空床气速 $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,9 min 时就已经出现峰值.另外,出口甲苯浓度峰值随空床气速的增大而降低,峰值出现时间快.根据实际的工业应用情况,建议 90℃

时,脱附空床气速选为 $0.2 \sim 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 较为合适.

2.4 蜂窝状活性炭空气动力学性能

实验室研究了分别装填蜂窝状活性炭、颗粒状活性炭的固定床吸附器的床层阻力随空床气速的变化情况,结果见图 8.

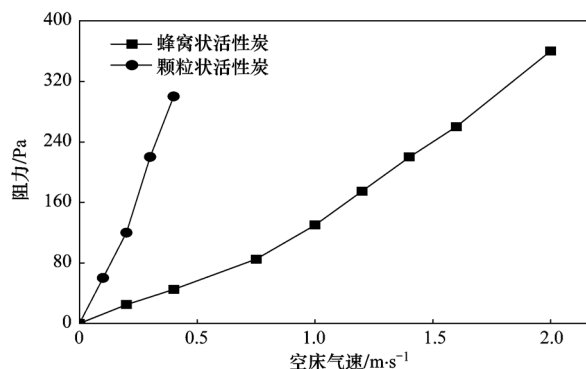


图 8 不同空床气速下的炭床阻力

Fig. 8 Relationship between pressure loss of carbon bed and velocity of empty bed

由图 8 可知,在测定的空床气速下,床层阻力随空床气速的增大而增大.相同空床气速下,蜂窝状活性炭床床层压降损失远小于颗粒状活性炭床,在空床气速 $0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,颗粒状活性炭床层压降为 300 Pa,而蜂窝状活性炭床层压降仅为 60 Pa,结果表明蜂窝状活性炭空气动力学性能很好.

目前实际工程应用中,若以颗粒状活性炭作为吸附材料,固定床吸附器的空床气速一般取 $0.2 \sim 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,如果采用蜂窝状活性炭作为吸附材料时,可取 $1.2 \sim 1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,这种条件下蜂窝状活性炭床阻力仍远小于颗粒状活性炭床,使净化设备的动力消耗大大减小.因此蜂窝状活性炭适宜处理大风量、低浓度有机废气.

3 结论

(1) 不同溶剂在蜂窝状活性炭上的吸附率各不相同,本实验中 3 种有机溶剂的吸附能力按由强到弱的顺序为:甲苯 > 乙酸乙酯 > 乙醇.

(2) 入口甲苯浓度、空床气速对吸附性能、平衡吸附量均有影响.随着入口浓度的增大,床层越易被穿透,达到相同出口浓度的时间越来越短.在吸附温度 30℃,甲苯出口浓度 $0.04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,空床气速 $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,入口甲苯浓度 $0.41 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,吸附可持续 384 min,平衡吸附量为 436.0 g,吸附率(质量分数)为 6.7%.随着空床气速的增大,吸附饱和时间缩

短. 在实际工程应用设计吸附设备时,空床气速建议取 $1.2 \sim 1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

(3) 脱附温度、脱附空床气速对蜂窝状活性炭脱附性能均有影响. 升高脱附温度,出口甲苯浓度峰值增大,出口甲苯浓度随脱附时间的变化幅度大;增大脱附空床气速,峰值降低,峰值出现时间快. 工程应用中,建议脱附温度 90°C 、脱附空床气速 $0.2 \sim 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 较为合适.

(4) 蜂窝状活性炭空气动力学性能好、床层阻力小、吸-脱附速率快,适宜处理各种风量的 VOCs 废气,尤其适用于大风量、低浓度的有机废气净化.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Khan F J, Ghoshal A K. Removal of volatile organic compounds from polluted air [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2000, **13**(6): 527-545.
- [5] Das D, Gaur V, Verma N. Removal of volatile organic compound by activated carbon fiber[J]. Carbon, 2004, **42**(14): 2949-2962.
- [6] 程秀锦. 有机废气净化工艺的选择及效果[J]. 矿冶, 2007, **16**(2): 78-81.
- [7] 刘建新, 朱伟, 李丹. 活性炭吸附对二甲苯氧化尾气研究[J]. 化工时刊, 2009, **23**(7): 39-42.
- [8] 金一中, 徐灏, 谢裕坛. 活性炭吸附苯、甲苯废气的研究[J]. 高等化学工程学报, 2004, **18**(2): 258-263.
- [9] 李立清, 张宝杰, 曾光明, 等. 活性炭吸附甲苯的实验研究及数值模拟[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, **37**(4): 491-494.
- [10] 赵浩, 董文龙, 刘志英, 等. 活性炭吸附苯酚及其微波辐照再生效果[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2010, **32**(1): 28-32.
- [11] 李海龙, 李立清, 郜豫川, 等. 用微孔填充理论研究活性炭对有机气体的吸附性能[J]. 化工环保, 2007, **27**(2): 113-116.
- [12] 孙辉, 薛文平, 姜莉莉, 等. 活性炭纤维吸附苯系物影响因素的研究[J]. 环境科学与技术, 2007, **30**(7): 18-28.
- [13] 邓兵杰, 张丽, 李晨曦, 等. 活性炭纤维预处理方法对甲苯吸附性能的影响[J]. 安全与环境工程, 2007, **14**(3): 29-32.
- [14] 李松卿, 王欣, 许绿丝, 等. ACF 床动态吸附及脱附性能试验研究[J]. 电力环境保护, 2007, **23**(3): 28-31.
- [15] 张文智, 董艺, 刘彦波, 等. 用活性炭纤维毡回收废气中的氯乙烯[J]. 化工环保, 2006, **26**(3): 255-256.
- [16] 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.
- [17] 赵振业, 孙伟, 章诗芳, 等. 活性炭对不同有机物吸附性能的影响[J]. 水处理技术, 2005, **31**(1): 23-25.

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