

工业有机废气的回收及其深度提纯处理

郑育英*, 窦正杰, 杜 涵, 黄文涛

(广东工业大学轻工化工学院, 广东 广州 510006)

摘要:采用新工艺处理工业有机废气,该工艺由以活性炭纤维为吸附剂的吸附装置、以3A分子筛为脱水剂的脱水装置和精馏塔等多单元联合组成。其中,吸附装置采用PLC可编程程序控制,实现吸附过程的自动切换和连续操作,对解吸时产生的分层水进行精馏,并通过3A分子筛脱水,深度提纯有机溶剂。实际运行结果表明,活性炭纤维对废气有很好的吸附作用,在进气浓度为 367 mg/m^3 ,温度为 298 K 、风速为 7.3 m/s 的条件下,活性炭纤维的平衡吸附量为 0.1945 kg/kg ;进气浓度和风速对平衡吸附量都有显著影响。

关键词:活性炭纤维;3A分子筛;工业有机废气;净化处理

中图分类号:X701

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2016)12-0118-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2016.12.030

Recovery and deep purification of industrial organic waste gas

ZHENT Yu-ying*, DOU Zheng-jie, DU Han, HUANG Wen-tao

(Faculty of Chemical Engineering and Light Industry, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: A new technology is adopted to treat industrial organic waste gas. The device of the technology consists of adsorption unit with activated carbon fiber as adsorbent, dehydration unit with 3A molecular sieve as dehydrating agent and a rectifying tower unit. Among them, the adsorption device achieves the automatic switching and continuous adsorption process by using PLC programmable control. By rectifying stratified water of the desorption process and dehydrating of 3A molecular sieve, the organic solvent is deeply purified. Practical operation results show that the activated carbon fiber has good adsorption effect on the exhaust gas. The equilibrium adsorption capacity of activated carbon fiber is 0.1945 kg/kg when the inlet concentration is 367 mg/m^3 , temperature is 298 K and wind speed is 7.3 m/s . The inlet concentration and wind speed both have significant influence on equilibrium adsorption capacity.

Key words: activated carbon fiber; 3A molecular sieve; industrial organic waste gas; purification

随着经济的高速发展,石油化工、印刷印染等行业的工业企业产生的工业有机废气越来越多^[1]。挥发性有机化合物(VOCs)一般是指在标准状态下饱和蒸汽压较高(标准状态下大于 13.33 Pa)、沸点较低、分子质量小、常温状态下易挥发的有机化合物。通常可分为包括烷烃、烯烃、芳香烃、炔烃的 $C_2 \sim C_{12}$ 非甲烷碳氢化合物;包括醛、酮、醇、醚、酯等 $C_1 \sim C_{10}$ 含氧有机物;卤代烃;含氮化合物、含硫化合物等几大类化合物^[2]。大气挥发性有机物(VOCs)具有光化学活性,可产生臭氧污染,形成二次有机气溶胶,是形成大气复合污染的重要前体物之一,并会对人体健康造成一定危害。

目前,国内外VOCs的处理方法主要有2类,一类是破坏法,另一类是回收法。破坏法主要有热氧化^[3]、催化燃烧法^[4]、生物处理法^[5-6]等。回收法主要有冷凝法^[7-9]、吸收法^[10]、膜分离法^[11]和吸附法^[12]。

对于流量大、浓度高的有机废气,吸附法是目前具有广泛应用前景的方法之一,空气得到净化,有机物得到回收再利用,节能减排,资源得到回收再利用,具有其他方法难以比拟的效果。国内外学者Vahdat^[13]、Lavanchy等^[14]、Yasushi等^[15]、Debasis等^[16]、高武龙等^[17]对用活性炭纤维吸附回收有机废气做了大量的研究工作。吸附法的净化效果主要取决于吸附剂,本研究设计了1套由活性炭纤维为吸附剂的吸附装置,配以3A分子筛为脱水剂的脱水器和精馏塔进行深度处理,运行2年,取得了非常好的效果。

1 实验部分

1.1 实验材料

(1) 吸附质

有机废气来自于某塑胶厂印刷车间,该车间在生产过程中使用大量的苯、甲苯、丁酮、环己烷等原

料,在烘干过程中产生了大量的有机废气,成分主要为苯、甲苯和丁酮,摩尔比例为1:1:1,车间有时会根据实际情况进行微调。

(2) 吸附介质

吸附介质采用江苏苏通碳纤维有限公司生产的活性炭纤维,活性炭纤维的比表面积为 $1\ 400\ \text{m}^2/\text{g}$,孔容为 $0.612\ \text{mL}/\text{g}$,平均孔径为 $13.5\ \text{\AA}$ 。

1.2 工艺流程及装置

图1为有机废气深度净化处理工艺流程图,集吸附-脱吸-干燥-深度提纯于一体。整套实验装置主要由吸附系统、脱附系统、干燥系统、检测系统和后处理系统4部分组成。

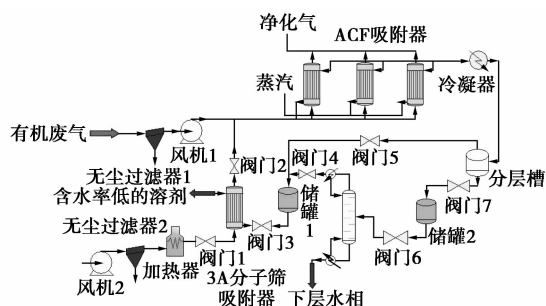


图1 吸附装置工艺流程图

为了保证整个系统可以连续运转,吸附装置为3个吸附器交换使用,当其中一个吸附器吸附时,另一个吸附器处于脱附状态,第三个吸附器则处于干燥再生状态。有机废气通过一层无尘纱布过滤后由底部进入吸附装置,有机成分被活性炭纤维吸附,净化后的气体从吸附器顶部直接排放到大气中。当活性炭纤维吸附饱和时,可通过PLC可编程序控制自动切换至脱吸状态,脱吸时以水蒸汽为介质,从吸附器底部进入,将活性炭纤维微孔结构中的有机成分带出吸附器,进入冷凝器中冷凝;冷凝液进入分层器中进行分层,上层有机物溢出自动进入储槽,下层废水进入精馏塔,进行精馏,塔底产物为水,可直接排放,塔顶产物为含水分的有机溶剂;含水分的有机溶剂通过3A分子筛脱水器进行脱水,得到高浓度的有机溶剂。

1.3 实验流程

(1)实验开始前,先记录日期、当天车间的室温、蒸汽压力等。

(2)开启牵引风机,在取样口测定废气浓度,当废气浓度稳定后,开启吸附系统,使用手动调节吸附。

(3)每隔一段时间通过尾气采样口采样,测定

出口有机废气的浓度,记录采样时间。

(4)当进口和出口浓度达到一致,一段时间后,停止吸附试验。

(5)关闭有机废气进口和出口,关闭牵引风机和吸附系统,实验结束。

2 结果与讨论

2.1 穿刺曲线

当进气质量浓度为 $367\ \text{mg}/\text{m}^3$,在温度为 $298\ \text{K}$ 、牵引风机频率为 $30\ \text{Hz}$ ($7.3\ \text{m}/\text{s}$)的条件下通过吸附箱,每隔一段时间测定出口浓度,得到如图2所示的穿刺曲线。由图2可见,在前 $25\ \text{min}$ 内,出口气体中含有少量废气,可以忽略不计,在 $25\ \text{min}$ 后废气开始穿刺,到 $40\ \text{min}$ 左右达到平衡,在吸附初期,出口净化气基本上不含废气,随着活性炭纤维的使用增加量,达到吸附平衡的时间延长,证明活性炭纤维是一种良好的有机废气吸附介质。

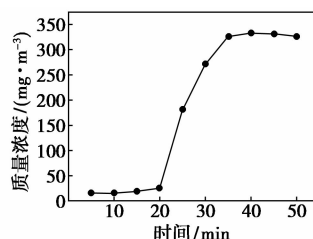


图2 $367\ \text{mg}/\text{m}^3$, 风速为 $7.3\ \text{m}/\text{s}$, $298\ \text{K}$ 条件下的穿刺曲线

由下式可求出该条件下活性炭纤维对乙酸乙酯废气的单位质量平衡吸附量 q :

$$q = (C \times t - S) \times V/m$$

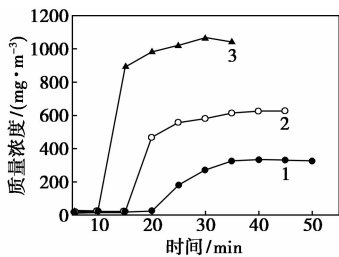
式中, q 为单位质量活性炭纤维对废气的吸附率, kg/kg ; C 为进气浓度, mg/m^3 ; T 为吸附达到平衡的时间, min ; S 为穿刺曲线与横纵坐标围成的面积, $\text{min} \cdot \text{mg}/\text{m}^3$; V 为进气风量, m^3/min ; M 为活性炭纤维填充质量, kg 。

根据上式可求出该条件下活性炭纤维的平衡吸附量为 $0.1945\ \text{kg}/\text{kg}$ 。

2.2 进气浓度对吸附的影响

改变进气浓度,保持其他条件不变,可以得到不同进气浓度下的穿刺曲线,如图3所示,由图3可见,随着浓度增加,穿刺曲线向左移,并且曲线变陡,达到吸附饱和的时间缩短。进气质量浓度为 367×10^{-6} 、 598×10^{-6} 、 $1\ 081\ \text{mg}/\text{m}^3$ 时的吸附饱和时间分别为 35 、 30 、 $20\ \text{min}$,这是因为随着进气浓度的升高,单位时间内穿刺活性炭纤维的有机

废气增加,因此活性炭纤维更快饱和,达到吸附平衡时间缩短。

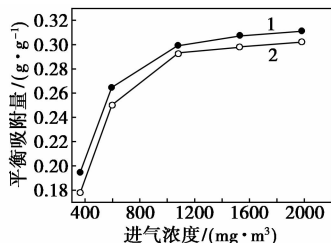


进气质量浓度:1—367 mg/m³;2—598 mg/m³;3—1 081 mg/m³

图3 风速7.3 m/s,温度298 K时,不同进气浓度下的穿刺曲线

2.3 进气流速对吸附的影响

图4为气体流速分别为7.3、8.6 m/s时的穿刺曲线。可以看到,2个流速下活性炭纤维的平衡吸附量趋势保持一致,但是当流速增大时,各个浓度下的平衡吸附量会下降。这可能是由于流速的增大使本来已经被活性炭纤维吸附在浅层的有机气体被带出;同时随着流速的增加,废气在活性炭纤维上滞留的时间缩短,导致平衡吸附量下降。

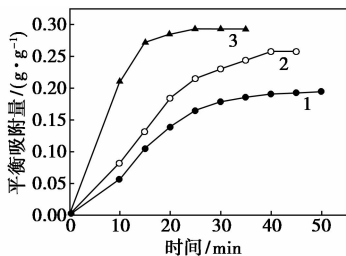


风速:1—7.3 m/s;2—8.6 m/s

图4 不同风速下的平衡吸附量的关系曲线

2.4 累计吸附量

不同浓度下,活性炭纤维随着时间的推移,其吸附量会逐渐增加,对不同时间的浓度进行积分可以得到各个浓度下吸附量和时间的关系,如图5所示。当进气浓度增大时,吸附过程能够在较短的时间内完成,并且累积吸附量比较大。



进气浓度:1—367 mg/m³;2—598 mg/m³;3—1 081 mg/m³

图5 不同进气浓度条件下的累积吸附量

3 结论

(1)活性炭纤维对有机废气吸附作用很强,并且能够在一定的时间内保持净化气内的有机成分达到排放标准。在进气浓度为367 mg/m³,温度为298 K、风速为7.3 m/s的条件下,活性炭纤维的平衡吸附量为0.194 5 kg/kg。

(2)随着进气浓度的升高,活性炭纤维达到吸附平衡的时间缩短,且平衡吸附量增加。

(3)随着流速的增大,活性炭纤维的平衡吸附量会减小。

参考文献

- [1] 王燕锋,王培良.工业有机废气处理技术分析及其前景展望[J].湖州职业技术学院学报,2015,(3):1-4.
- [2] 罗斌,蒋燕,王斌.国内外VOCs排放标准体系研究[J].广州化工,2014,42(23):33-35.
- [3] 简力,孙昆蓄.热式氧化炉在处理SBS生产废气中的应用[J].节能技术,2014,32(2):181-189.
- [4] 牛茜,李兵,徐校良,等.催化燃烧法处理挥发性有机化合物研究进展[J].现代化工,2013,33(11):19-23.
- [5] 周学霞,姚伟国,杨冰雪,等.生物滴滤塔处理邻二甲苯废气研究[J].浙江大学学报,2013,40(1):71-75.
- [6] 王小军,徐校良,李兵,等.生物法净化处理工业废气的研究进展[J].化工进展,2014,33(1):213-218.
- [7] 郑新,李红旗,张伟,等.冷凝法甲苯回收系统性能研究与优化[J].低温与超导,2015,43(2):67-73.
- [8] 单晓雯.石化企业吸附冷凝法尾气处理装置研究与应用[J].安全、健康和环境,2015,15(7):30-33.
- [9] 李红霞.冷凝法治理化工厂有机废气工艺研究[J].广东化工,2015,7(42):23-24.
- [10] 黄卫清,刘伟煌,苏奎.MEA吸收电厂烟气CO₂流程模拟与优化[J].现代化工,2015,35(7):139-142.
- [11] 李彦春.针对有机废气进行膜分离处理的方法探究[J].科技创新与应用,2015,144(32):42-43.
- [12] 闫柯乐,张红星,邹兵,等.吸附法处理含苯系物废气研究进展[J].广州化工,2015,43(18):28-30.
- [13] Vahdat N. Theoretical study of the performance of activated carbon in the presence of binary vapor mixtures[J]. Carbon,1997,35(10/11):1545-1557.
- [14] Lavanchy A,Stoeckli F. Dynamic adsorption of vapour mixtures in active carbon beds described by the myers-prausnitz and dubinin theories[J]. Carbon,1997,35(10/11):1573-1579.
- [15] Yasushi T,Hayato I,Norio M. Adsorption of 1-butanol and P-xylene vapor and their mixtures with high silica zeolites[J]. Separations Technology,1999,5(1):23-34.
- [16] Debasish D,Vivekanand G,Nishith V. Removal of volatile organic compound by activated carbon fiber[J]. Carbon,2004,42(14):2949-2962.
- [17] 高武龙,董坤伦.活性炭纤维技术-冷凝技术在有机废气回收净化中的应用[J].广东化工,2010,37(8):242-243. ■