

边流效应对固定床吸附容量的影响*

宁平 陈亚雄

谷俊杰 H. J. Bart

(昆明理工大学环境工程系, 昆明 650093 E-mail: jls n @ km st. ed . cn) (Kaisersla tern Univ., Germany 67663)

摘要 以甲苯气体为例, 研究低浓度有机污染物在活性炭固定床吸附器内受边流效应影响的吸附过程. 结果表明, 由于边流效应影响, 吸附床层死层增加, 吸附容量减少, 对直径 0.36m, 高径比为 2.5 的固定床, 固定床甲苯吸附量损失可达 1.78kg, 吸附层高度损失 0.12m.

关键词 甲苯, 边流效应, 活性炭固定床, 吸附容量.

Influence of Maldistribution on Breakthrough of Fixed Bed Adsorber

Ning Ping Chen Yaxi ng

(Dept. f Envir n. Eng., K nming Univ. f Sci. & Techn l., K nming 650093 E-mail: jls n @ km st. ed . cn)

G J njie H. J. Bart

(Kaisersla tern University, Germany 67663)

Abstract The paper deals with the experimental and the retic st dy n the infl ence f the effect f maldistrib ti n n ads rpti n process in an ind strial scale fixed bed, the res lt sh ws that as the res lt f the effect f maldistrib ti n the ads rpti n capacitate f the fixed bed is decreased. F r a fixed bed with diameter f 0.36 m and a height f 1.2m, 1.78kg decrease f the ads rpti n capacity can be reached and the red cing f ads rpti n z ne sh ld be 0.12m.

Keywords t l ene, effect f maldistrib ti n, fixed bed, capacity f ads rpti n.

固定床吸附器的合理结构使其内气流分布保持在均匀分布水平^[1]. 由于固定床吸附器壁面具有比中心大得多的床层孔隙率, 使壁面气流通过量比中心大得多, 壁面的污染物穿透时间也就比中心早得多. 一旦壁面穿透, 活性炭固定床的操作就必须停止, 由此带来的是吸附“死层”的增加, 吸附床层高度损失及固定床吸附容量降低^[2].

本研究在一定条件下着重考察固定床边流效应对固定床吸附容量的影响, 通过实验及理论研究得出边流效应对固定床吸附容量影响的定性定量结论, 并从理论上提出解决问题的一般方法.

1 实验装置及方法

实验装置为德国 Kaisersla tern 大学环境及化学工程系中试装置^[3]. 主要设备固定床吸

附器规格为 $\Phi 60 \times 1400$ mm, 圆柱形固定床, 实验装置及流程如图 1 所示. 空气经过干燥后首先预热, 然后净化, 净化器由活性炭层, 分子筛层及纤维过滤层组成, 经净化后的洁净气体与甲苯混合后配成一定浓度 (200—5000mg/Nm³) 气体, 供固定床吸附使用. 为保证恒温吸附, 在主体固定床外设有填充活性炭的外夹层, 经吸附净化后气体排入大气, 固定床内空塔流速为 0.4m/s.

为测量固定床壁面和中心甲苯浓度, 内固定床设置采样点 (图 2).

各采样点甲苯气体用火焰离子检测器 (FID) 分析, 用不同浓度范围校正气体校正, FID 对甲苯的检测范围为 1—16000mg/Nm³.

* 德国 DFG (国家工程研究基金) 和国家教委留学回国人员科研基金资助项目
宁平: 男, 40 岁, 博士, 教授
收稿日期: 1998-01-30

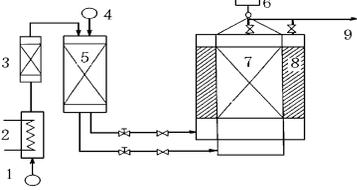


图 1 实验装置及流程

- 1. 干燥空气 2. 温度调节器 3. 空气净化器 4. 甲苯 5. 填料塔
- 6. 电子称 7. 活性炭固定床 8. 活性炭夹层 9. 净化后气体

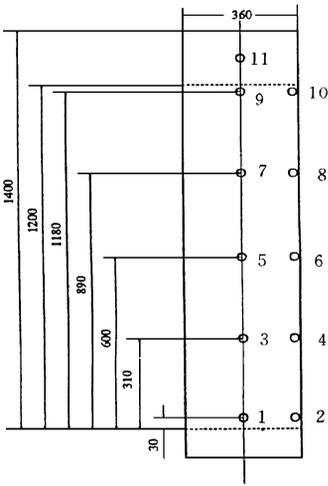


图 2 固定床结构及采样布点

吸附剂采用德国 Degussa 公司生产的活性炭, 直径 $d_p = 4.0\text{mm}$, 堆密度 $\rho_b = 410\text{kg/m}^3$, BET 表面 $1200 - 1300\text{m}^2/\text{g}$. 实验室实测得到的吸附等温线如图 3 所示.

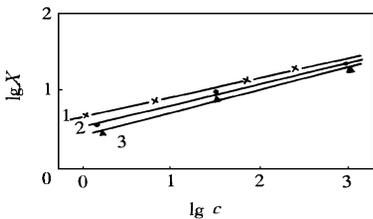


图 3 甲苯活性炭吸附等温线

- 1. 甲苯 25 2. 甲苯 40 3. 甲苯 55

25 时甲苯活性炭吸附的 Freundlich 吸附等温式可写为:

$$X = 5.02c^{0.2387} \quad (1)$$

式中, X 为活性炭平衡吸附量, 即每 100mg 活

性炭吸附的甲苯量(mg/mg); c 为入口混合气中甲苯浓度(mg/Nm^3).

2 实验结果及分析

在 25 常温下对浓度为 $2600\text{mg}/\text{Nm}^3$ 甲苯气体进行吸附实验, 气体由下部引入, 吸附自下而上沿床层进行, 实验结果如图 4 所示.

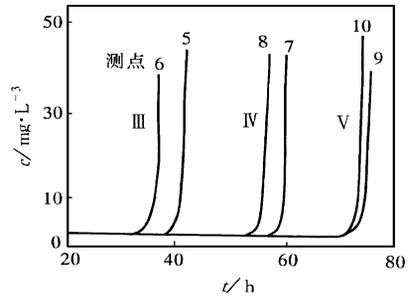


图 4 边流效应对穿透曲线的影响

入口混合气甲苯浓度 $2600\text{mg}/\text{Nm}^3$ 吸附温度 25

由图 4 可见, 在固定床、及平面上, 壁面穿透曲线均比床层中部穿透曲线出现早, 这正是由于壁面床层孔隙率大, 气流通过量大, 活性炭易饱和而引起, 这种床层内不均匀分布导致的固定床穿透时间提前可达 2—5h. 随床层高度增加, 壁面效应影响减少, 但出口处壁面与中心穿透时间相差也在 1.5h 左右.

3 固定床吸附容量损失预测

固定床工作时无论壁面还是中心都是逐渐饱和的, 从开始吸附到出现微量吸附质这一段时间即穿透时间, 由于不均匀穿透, 吸附床出口穿透时间将比均匀穿透提前, 这种提前意味着固定床吸附容量的减少, 由于气流的不均匀分布导致的吸附容量的减少可预测如下.

设气流中吸附质浓度为 $c_0(\text{kg}/\text{Nm}^3)$, 气速为 $u(\text{m}/\text{s})$, 吸附剂的平衡静吸附活度为 $a_m(\text{kg}$ 吸附质/ m^3 吸附剂) (见图 3). 根据希洛夫方程:

$$\tau_B = K(Z - Z_m) \quad (2)$$

式中, 吸附层保护作用系数 $K = a_m / (uc_0)$, 对一定的吸附床层及操作条件, K 为常数; τ_B 为穿透时间(s); Z 为吸附床层高(m); Z_m 为“死层”

高(m)。

设 Z_{m0} 及 Z_{m1} 分别为无壁面效应时死层高度和考虑壁面效应时死层高度, 则固定床因壁面效应引起的死层高度增加 ΔZ_m 为:

$$\Delta Z_m = Z_{m1} - Z_{m0} = \frac{\tau_{B0} - \tau_{B1}}{K} \quad (3)$$

$$= \Delta \tau / K \quad (4)$$

固定床活性炭吸附容量减少, ΔG 可用下式计算:

$$\Delta G = \pi R^2 \Delta Z_m \rho_b X_{c0} \quad (5)$$

式中, R 为固定床半径(m); ΔZ_m 为死层高度增加量(m); X_{c0} 为气体浓度为 c_0 时活性炭平衡吸附量(kg/kg)。

在不同高度上 $\Delta \tau$ 与附容量的关系如表 1 所示。

表 1 边流效应对吸附容量的影响($R=180\text{mm}$)

平面	床高 /mm	高径比	$\Delta \tau$ /h	ΔZ_m /mm	ΔG /kg
	$150d_p$	1.7	4.6	200	2.67
	$222d_p$	2.5	2.8	120	1.78
	$295d_p$	3.3	1.5	70	0.89

表 1 表明, 随床层高度增加 $\Delta \tau$ 减小, 即边流效应影响减小, 固定床吸附容量增加。对常见直径为 360mm, 高为 2500mm 固定床(床高= $222d_p$), 因边流效应影响引起的甲苯吸附容量损失达 1.78kg。

4 减少边流效应影响的措施

(1) 增大塔径与活性炭粒径比例 以往的实验及研究表明^[2,3], 采用较大塔径可以减少边流效应对固定床吸附容量的影响, 通常塔径/粒径应大于 90。本研究塔径与活性炭粒径比为 90, 仍有明显边流效应的影响, 在空气污染净化中, 多数固定床吸附器接近甚至低于此比例^[5], 应用中应引起注意。另外, 实验研究中应考虑壁面影响的放大效应, 一般而言, 设备越小, 壁面效应影响越突出。

(2) 增大固定床长 固定床越长, 轴向及径向混合越充分, 从一定程序上可以减小壁面效应影响。本实验中, 固定床出口处壁面效应远比

中部低(图 4), 说明为减少壁面效应, 固定床吸附器应有一定长度。本研究结果表明, 这种长度与所采用活性炭粒径有关, 一般以 250 倍活性炭直径为宜($250d_p$)。

(3) 固定床内部结构设计 从结构上消除和减小壁面效应影响, 常用的方法有固定床内壁加圆环, 由于气流流过壁面时受阻作曲线运动, 可增强活性炭层内气流的径向混合, 从而消除壁面效应。但对于直径较大的床层, 该方法的应用受到影响。另外在固定床内壁上加焊螺旋线, 与加装圆环有同样效果。对于常温吸附器, 还可采用内壁面粘涂活性炭颗粒的方法。

5 结论

(1) 在固定床吸附器吸附净化低浓度有机污染物过程中, 壁面效应对床层、穿透时间有明显影响。随高径比降低, 壁面效应增大。对常用固定床(高径比= 2.5), 壁面穿透时间早于中心穿透时间约 3h, 由于壁面效应影响导致的死层高度增加可达 0.12m, 吸附容量损失可达 1.78kg。

(2) 消除或减轻边流效应是保证固定床吸附器经济、高效运行的有效手段, 为消除或减轻边流效应, 固定床直径与活性炭粒径比应大于 90, 固定床长度应大于 250 倍活性炭粒径。除此之外, 还可采用对径向扩散有利的固定床内部结构设计方法。

参 考 文 献

- 1 T bis J et al. The wall near chandelling effect in thermal constant-pattern adsorption. Chem. Eng. Sci., 1988, 43(6): 1363—1369
- 2 Germerd nk R et al. Pollutant adsorption and steam regeneration in technical columns. Chem. Eng. and Processing, 1993, 32: 359—377
- 3 Bart H J et al. Two-dimensional non-isothermal multicomponent adsorption in a fixed bed adsorber. Chem. Eng. & Process, 1996, 35: 57—64
- 4 Bart H J et al. Numerical simulation of multicomponent adsorption in a technical column in low concentration range. Chem. Eng. Techn., 1996, 19(4): 347—356
- 5 Kast W. Adsorption an der Gasphase. Weinheim, Germany: VCH Verlags-AG, 1988: 126—128