

甲苯废气的生物膜法净化处理研究*

黄若华 孙成石 杨海燕 陈茂生

(昆明理工大学环境工程及化学工程系, 昆明 650093)

摘要 采用国内现有微生物菌种挂膜接种的生物膜填料塔净化低浓度有机废气是可行的。初步实验研究结果表明, 增加入口气体甲苯浓度和气体流量, 同时减小循环液体喷淋量, 可使甲苯的生化去除量增大, 每L体积的生物膜填料对甲苯的生化去除量最大可达157.13 mg/h。由实验结果推断, 生物膜填料塔对废气中甲苯的净化去除过程属于传质控制过程。对比验证结果表明, 本研究建立的动力学模式对实际过程有很好的适用性。

关键词 生物膜填料塔, 甲苯, 废气, 生化降解, 动力学。

采用好氧微生物净化工业废气中低浓度挥发性有机污染物可以获得良好的净化效果, 而且操作稳定性好、运行费用低、无二次污染^[1]。自80年代末期起, 这一方法已逐渐变成了世界工业废气净化研究的前沿热点课题之一, 但至今尚未见到我国有关这方面的研究报道^[2-4]。本研究以含有有机污染物甲苯的废气为对象, 率先在国内开展生物化学法净化低浓度有机废气的研究工作, 其目的是采用国内的微生物菌种, 研究生物膜填料塔净化低浓度甲苯废气的基本性能。

1 实验条件与方法

实验的主要装置是塔径为40 mm的小型玻璃生物膜填料塔, 其中填料为不锈钢拉西环($\phi 10 \times 10 \times 0.5$), 填料层高度260 mm。实验在常温常压下进行, 入口气体中甲苯浓度范围0.183—1.803 mg/L, 气体流量86.4—190.8 L/h, 气体在生物膜填料层中的停留时间6.2—13.6 s, 塔顶液体喷淋量6.3—47.0 L/h, 液体pH=6—7。实验装置流程如图1所示。

实验时采用逆流操作, 液体由高位槽进入塔内并从塔顶向下喷淋到填料上, 在填料层中自上向下流动, 最后由塔底排出进入循环水槽, 再由循环水泵打回到高位槽。甲苯气体采用动态法配制, 即由一小气泵向纯甲苯瓶中吹入少

量空气, 而后这部分带有甲苯的气体进入主气道, 并在气体混合瓶中混合均匀。混合均匀的甲苯气体由塔底进入生物膜填料塔, 在上升的过程中与润湿的生物膜接触而被净化, 净化后的气体从塔顶排出。

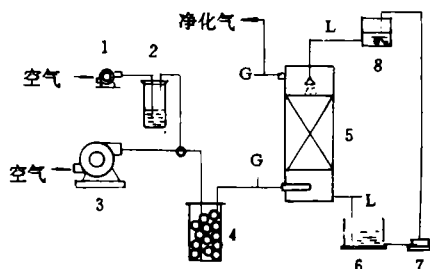


图1 实验装置流程简图

1. 小气泵 2. 纯甲苯瓶 3. 风机 4. 气体混合瓶
5. 生物膜填料塔 6. 循环水槽 7. 循环水泵 8. 高位槽
G. 气体取样点 L. 液体取样点

在先期筛选液相甲苯生化降解的适宜微生物菌种以及研究甲苯生化降解规律的基础上^[5], 采用经由甲苯及氮磷营养液驯化后的焦化废水处理厂微生物菌种(短杆菌类微生物>90%)的溶液, 对填料塔进行挂膜操作并保养生物膜24 d后, 即进行低浓度甲苯气体的净化实验。

实验过程中定时抽取气相与液相甲苯样, 以便考察生物膜填料塔对气体中甲苯的净化性

* 国家自然科学基金、云南省应用基础研究基金等资助项目

收稿日期: 1995-11-22

能. 甲苯样品均用气相色谱仪检测分析.

2 实验结果与分析

2.1 入口气体甲苯浓度对净化性能的影响

入口气体甲苯浓度对生物膜填料塔的甲苯生化去除能力的影响如图 2 所示. 在实验的浓度范围内, 随入口气体甲苯浓度增加, 生物膜填料塔的甲苯生化去除量随之呈线性增加, 每 L 体积的生物膜填料对甲苯的生化去除量最大可达 157.13 mg/(L · h). 这表明生物膜填料塔对气体中的甲苯有很强的去除能力.

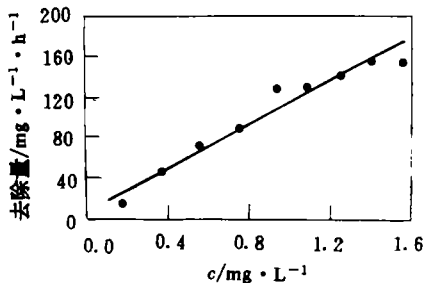


图 2 入口气体甲苯浓度对去除能力的影响

Kirchner 等^[6]在 1987 年进行了采用生物膜填料塔净化去除废气中甲苯的研究, 其研究结果中入口气体甲苯浓度与甲苯去除量之间的关系与本实验研究的结果相同, 但由于其只采用了含单一红球菌种的生物膜填料, 故其每 L 体积的生物膜填料对甲苯的去除量低于本研究结果, 最大仅为 42.32 mg/(L · h).

2.2 气体流量对净化性能的影响

图 3 表明随气体流量增加, 生物膜填料塔的甲苯去除量随之呈线性增加, 在实验范围内, 甲苯去除量约增加了 22%. 说明本研究采用的微生物菌种对甲苯具有很强的降解能力.

根据化学反应工程学原理, 气体流量增加, 则塔内气体流速增大, 有利于甲苯从气相进入液相的传质过程, 在实验结果中表现为甲苯的去除量增加. 然而, 随气体流量增加, 每 L 体积生物膜填料的甲苯负荷量也随之增大. 但是, 图 3 表明甲苯负荷量的增加并没有影响生物膜填料塔对甲苯的去除. 从这一现象可以推断, 生物膜填料塔中甲苯的净化去除过程属于传质控制过程. 这一推断与 Kirchner 等人的研究结

果是一致的^[6].

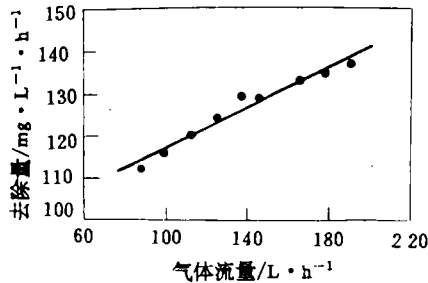


图 3 气体流量对甲苯去除能力的影响

2.3 液体喷淋量对净化性能的影响

塔顶喷淋的液体主要是用于润湿填料表面的微生物膜, 同时也向微生物提供其生长所必需的氮磷营养物. 液体喷淋量对生物膜填料塔的甲苯去除能力的影响如图 4 所示. 随液体喷淋量增加, 生物膜填料塔的甲苯生化去除量随之呈线性降低, 在实验范围内, 甲苯去除量约减小了 50%. 这表明在操作用于净化去除甲苯的生物膜填料塔时, 以小液体喷淋量为宜.

甲苯是挥发性有机物, 很难溶于水中. 从传质角度考虑, 增加液体喷淋量并不会使对气体中甲苯的去除有明显的作用. 在实验中观察到, 随着实验的进行, 填料表面的生物膜生长很快. 随着生物膜厚度不断增加, 生物膜填料层中气体的流通面积也逐渐减小. 当液体喷淋量增大时, 会观察到由此而造成的“气体短路”现象, 经分析认为这是甲苯去除量减小的主要原因. 因此, 在进一步的工作中将对生物膜填料层的结构做重点研究.

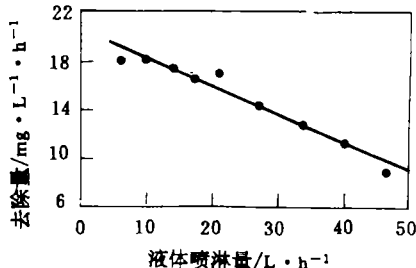


图 4 流体喷淋量对甲苯去除能力的影响

3 动力学研究

对于生化法净化处理有机废气的机理研究虽然已做了许多工作^[2,6,7], 但目前还没有统一

的理论, 不过一般认为这一过程经历以下几个步骤: (1) 有机废气成分首先同水接触并溶解于水中, 即有机污染物由气相转移到液相; (2) 溶解于水中的有机污染物成分被微生物吸收; (3) 进入微生物细胞的有机污染物在微生物体内的代谢过程中作为能源和营养物质被分解, 最终转化成为无害的化合物(如 CO_2 和 H_2O)。

图 5 所示的甲苯在生物膜表面的生化降解反应速率与液相甲苯浓度之间的关系表明, 在本研究的实验范围内, 甲苯在生物膜内的降解为一级生化反应过程, 其反应速率方程式可表示为:

$$r_a = K_{1a} \times S_1$$

式中, r_a 为表面反应速率, K_{1a} 为一级表面反应

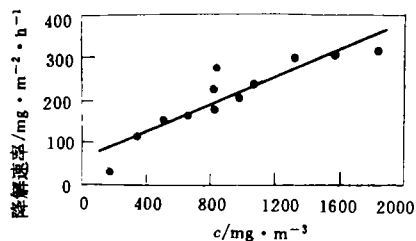


图 5 甲苯表面生化降解反应速率与液相甲苯浓度之间的关系

速度常数, S_1 为液相甲苯浓度。由本实验结果数据求得一级表面反应速度常数 $K_{1a} = 0.1593 \text{ m/h}$, 这一数值与丹麦学者 J. P. Arcangeli 和 E. Arvin 于 1992 年从事的甲苯在好氧生物膜反应器中的生化降解与生物膜生长的研究所得的结果 $K_{1a} = 0.1583 \text{ m/h}$ 十分接近^[8]。

根据化学反应工程学原理和生化反应动力学原理, 针对塔内生物膜填料的微单元, 可建立关于甲苯生化降解反应速率的微分方程式, 通过求解, 便可获得由生物膜填料塔入口甲苯浓度求算出口甲苯浓度的动力学计算模式:

$$S_{\text{gout}} = S_{\text{gin}} - K_{1a} \times S_1 \times a \times T_n \quad (2)$$

其中, $S_1 = \frac{S_{\text{gin}} \times (1 - A)}{K_{1a} \times a \times T_n + H_c \times (1 - A)}$
 $A = \exp(-K_L \times a \times T_n / H_c)$

式中, S_{gout} 为出口气体浓度, S_{gin} 为入口气体浓度, K_{1a} 为一级表面反应速度常数, S_1 为液相甲苯浓度, a 为填料比表面积, T_n 为气体在填料层中的停留时间, H_c 为亨利常数, K_L 为液相总

传质系数, A 为中间计算量。

对于不同的入口气体甲苯浓度, 运用上述模式计算, 并将计算值与实验值进行对比, 其结果如图 6 所示。由图 6 中的对比结果可知, 计算值与实验值之间有很好的相关性(相关系数 $R = 0.98$), 由此也证实了本研究建立的动力学模式的正确性。

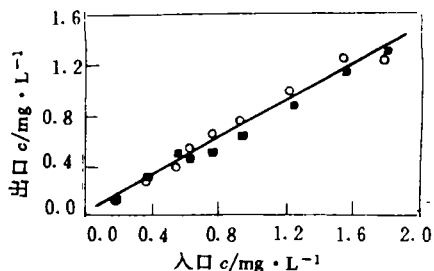


图 6 出口气体甲苯浓度计算值与实验值的相关对比

■ 实验值 ○ 计算值

4 结论

(1) 本研究结果表明, 采用国内现有微生物菌种挂膜接种的生物膜填料塔净化低浓度有机废气是可行的。

(2) 生物膜填料塔对废气中甲苯的净化性能的初步实验研究结果表明, 增加入口甲苯浓度和气体流量, 同时减小循环液体喷淋量, 可使甲苯的去除量增大, 每 L 体积的生物膜填料对甲苯的去除量最大可达 157.13 mg/h 。

(3) 由本研究的实验结果可以推断, 生物膜填料塔对废气中甲苯的净化去除过程属于传质控制过程。经计算值与实验值的对比验证表明, 本研究建立的动力学模式对实际过程有很好的适用性。

参 考 文 献

- 1 Simon P P Ottengrarr. Trends in Biotechnology, 1987, 5(5): 32—40
- 2 Jager J. Biotechnol. Bioeng., 1983, 25(12): 3089—3102
- 3 Gero Leson et al. J. Air Waste Manage. Assoc., 1991, 41(8): 1045—1053
- 4 吴玉祥. 环境污染与防治, 1992, 14(4): 20—22
- 5 孙珮石, 黄若华, 廖 雷, 吴晓明. 云南化工, 1995, (2): 10—12
- 6 Kirchner K, Hauk G, Rehm H J. Appl. Microbiol. & Biotechnol., 1987, 26(6): 579—587
- 7 Piller A. Chem. Eng., 18, 95(6): 93—96
- 8 Arcangeli J P, Arvin E. Applied Microbiology and Biotechnology, 1992, 37(2): 510—517

Study on Electrokinetic Detection Characteristics of Inorganic Cationoid Coagulants in Water. Qu Jiuhui (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 1-4

A new essential factor of electrokinetic characters, streaming current (SC) was introduced into the study of coagulation processes, and the relative law and isoelectronic point between electrokinetic parameters and concentration or efficiency of inorganic cation coagulants were studied. Furtherly, in the paper the characteristics and functions to express coagulants affecting on colloid particles by SC have been investigated and an effective method was presented for studying on the relationship between the coagulation, detecting colloid potential in line and optimum dosage of coagulants.

Key words: ζ potential, streaming current, inorganic cationoid coagulants, electrokinetic detection characteristics.

Function Determination for Biodegradation of Monosodium Glutamate (MSG) Wastewater with Fusants between Photosynthetic Bacteria and Yeast. Cheng Shupeil et al. (Dept. of Environ. Sci. and Eng., Nanjing University, Nanjing 210093); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 5-7

The protoplasts of *Rhodospseudomonas sphaeroides* (eukaryote, Nt⁺Sm⁺) and *Saccharomyces cerevisiae* (prokaryote, Nt⁺Sm⁺) were induced with PEG (MW=6000) to fuse for the construction of the fusant cell (Nt⁺Sm⁺). The fusants F13, F15 and F20 screened from the fusion production with high flocculation were used to test the kinetics parameters for degradation of MSG wastewater in the shaking reaction for 7-8 h, while the initial BOD₅ concentration of the wastewater were from 191 to 690 mg/L. The values of maximum specific growth rate μ_{max} and its half velocity constant K_{sp} , the maximum specific degradation rate q_{max} and its half velocity constant K_{sq} , the true growth yield coefficient Y and the endogenous decay rate coefficient K_d were measured in the reaction. The results of this research suggest that the fusants F13, F15 and F20 have better ability for degra-

dation of the organic waste in MSG wastewater.
Key words: *Rh. sphaeroides*, *S. cerevisiae*, fusant, monosodium glutamate wastewater, biodegradation kinetic.

Study on Purification of Waste Gases Containing Toluene by Using a Biofilter. Huang Ruohua et al. (Dept. of Environ. and Chem. Eng., Kunming Univ. of Sci. and Tech., Kunming 650093); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 8-10

From this study, a fact can be affirmed that in China, it is feasible to purify the waste gas containing organic compounds in low concentration by using the biological trickling filter with biofilm packing-material, inoculated with a mixed culture from a biostation of treating wastewater in a coke-oven plant. The results of preliminary experiment showed that with the increasing of the concentration of toluene in influent gas and gas flow, and decreasing of the flow of circulating liquid simultaneously, the biochemical elimination of toluene in waste gas can be increased, which can reach 157.13 mg per hour per litre packing-material with biofilm in the tower. From the experimental results, it can be inferred that the process of purifying the waste gas containing toluene in low concentration by using the biofilter belongs to mass transfer. By contrast, a good suitability of the kinetic model established in this study for practical process is verified.

Key words: biofilter, toluene, waste gas, biological degradation, kinetics.

A Study on the Determination of Biodegradability of Polluted Organic Substances Using Production of Carbon Dioxide Test. Jiang Zhanpeng et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 11-14

In this paper, a rational PCD test for determining biodegradability of organic substance under aerobic conditions was established. The volume of bioreactor is 2 L, the concentration of organic substance is 100 mg/L (as DOC), the amount of the inoculum is 500 mg/L (as MLSS), the temperature is 25°C, the duration of test time is 14 days. Index of biodegradation (IB) was elaborated through analysis of biodegradability of