

苯系混合气体生物滴滤器非稳态工况性能

羌宁, 季学李, 都基峻, 何坚

(同济大学环境科学与工程学院 污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 用以纤维附着活性炭(ACOF)和不锈钢丝网为载体材料的气体生物滴滤器(BTF)进行了净化 TEX(甲苯、乙苯和二甲苯)混合气体的负荷冲击和闲置恢复运行。负荷冲击实验表明,在最大消除能力范围以内,污染负荷加倍后,起始阶段净化效率下降 20%左右,但 2d 后就基本恢复原有效率。闲置恢复实验表明,8~12 h 的停运闲置对设备的性能基本无影响;2d 闲置停运后,恢复开机时性能下降 20%左右,但在 4~6h 内便能恢复;29d 的闲置对设备的性能影响较大,恢复开机时性能下降 70%~80%,需 10d 左右的时间才能基本恢复。结果表明,采用 ACOF 和不锈钢丝网的 BTF 具较好的抗负荷变化及缓冲能力。

关键词: 生物滴滤器; 非稳态工况; TEX; VOCs

中图分类号: X701.7 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)01-0016-04

Evaluation of Gaseous Biotrickling Filter Transient Performance for TEX Removal

QIANG Ning, JI Xue-li, DU Ji-jun, HE Jian

(State Key Laboratory of pollution Control and Resources Reuse, School of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The gaseous stream laden with toluene, ethylbenzene and the three xylenes (TEX) compounds is used to evaluate the transient performance of a biotrickling filter (BTF) that packed with the mixture of ACOF (Activated Carbon on Fiber) and stainless steel mesh as biological carrier. The shock loading experiment show that if the loading is varied within the limits of the maximum EC, when the loading was doubled, the removal efficiency decreased 20% in the beginning, and after about 2 days, it regained the original removal efficiency. The non-use experimental results show that short time (8~12 h) non-use had no or very little effect on the BTF removal efficiency. 2 days scale non-use caused a decrease of 20% in the BTF performance, and need 4~6 h to regain the initial performance. 29 days' non-use caused a decrease of 70%~80% in the BTF performance, and needed about 10 days to get recover.

Key words: biotrickling filter; transient condition; TEX; VOCs

生物净化挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)气体已得到越来越多的研究和应用^[1~5],但大多数的研究是针对稳态工况进行的。而许多实际场合排放的 VOCs 气流的浓度和流量是波动的,很多情况下,污染气体排放还是间歇进行的。与物化净化工艺相比,生物净化工艺更适合于连续运行。因此进行气体生物净化工艺研究时,有必要考察生物净化设备的负荷变化适应能力和停运闲置后的恢复运行能力。国外以及我国台湾的少数学者通过实验或模型方式进行了有机质材料为载体的生物过滤器(Biofilter BF)非稳态性能的研究^[6~9],Hub H J C 等采用聚丙烯鲍尔环为载体材料的生物滴滤器(Biotrickling Filter BTF)进行了不同条件下净化甲苯的闲置恢复研究^[10]。本研究对 BTF 进行了甲苯、乙苯和二甲苯(TEX)混合废气的负荷冲击和闲置恢复实验研究,目的在于评定采用纤维附着活性炭(Activated Carbon On Fiber, ACOF)和不锈钢

丝网组合为生物载体的 BTF 的抗负荷变化及缓冲能力,考察探索采用具有一定吸附性能的惰性生物载体材料的 BTF 应用于负荷波动大、间歇性排放场合的 VOCs 气体处理的可能性。

1 实验方法

本实验主要考察浓度负荷冲击后和停运恢复过程中的净化效率在到达稳定状态前随时间变化的情况。

实验流程如图 1 所示。由 TEX 容器中鼓气产生高浓度 TEX 气体,用清洁空气混合稀释成所需浓度气体,经过缓冲调节器及流量计计量后进入 BTF 塔内。实验中的生物滴滤反应器由内径 100 mm、总高为 1.6 m 的不锈钢塔构成。塔内载体介质分 4 层布

收稿日期:2004-02-20;修订日期:2004-06-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(56978022)

作者简介:羌宁(1965~),男,博士,副教授,主要研究方向为空气污染控制与空气质量管理。

置,每层塔段均设有气样取样孔和观察孔。BTF 的挂膜载体采用 ACOF 和不锈钢丝网的组合形式(第 1、4 段用不锈钢丝网,2、3 段用 ACOF,总高度 0.8 m)。实验中所用微生物菌种系城市污水处理厂污泥经以 TEX 为唯一碳源驯化而得。非稳态实验时的环境温度控制在 25 ~ 30 °C,采用并流操作方式。

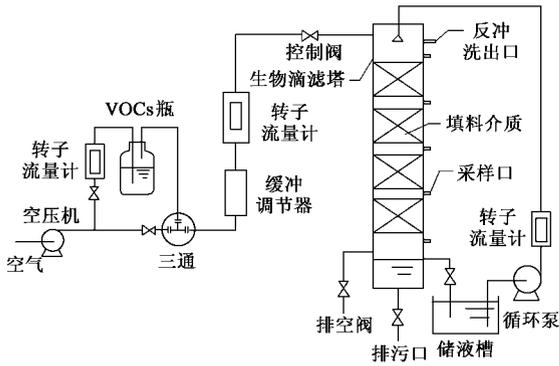


图 1 实验流程示意图

Fig. 1 Schematic of biotrickling filter experimental system

气态 TEX 的分析测试通过 HP4890 气相色谱仪进行,采用适合于芳烃分离的 hp5 毛细柱为分离柱。以高纯氮为载气,空气助燃,氢火焰离子化检测器(FID)检测。采用 1 mL 气密型进样针采集 1 mL 气体直接进样。分析数据由 HP3394 积分仪处理输出。气体中 CO₂ 采用芬兰 Vaisala 公司的 GMD20D CO₂ 测定仪测定。

2 结果与讨论

2.1 负荷冲击对 BTF 净化性能的影响过程

本研究中的负荷冲击主要是指由于入口 TEX 浓度的波动而造成的污染负荷冲击。在表观风速基本恒定时,入口浓度增加后的 BTF 降解性能随时间的变化情况如图 2、图 3 所示。

从图 2 和图 3 中可看出,受污染物基质负荷近乎加倍的冲击负荷的影响,在起始阶段,BTF 的净化效率约下降 20% 左右,但经过 2d 左右便可基本恢复高效状态。从图 2、图 3 还可看出,在负荷提高后,BTF 的消除能力(Elimination Capacity EC)并未下降,而是随时间增加而逐渐上升;作为生物降解结果指示的 CO₂ 产量也随时间的增加而增加,说明 BTF 对于最大消除能力范围内的负荷波动,具有自适应、自调节能力,具有较好的抗冲击负荷的能力。但与物化吸收对负荷变化的拟瞬态响应相比,生物反应器需较长的适应调节期。

Mohseni^[6]等在堆肥为滤材的生物过滤器净化低浓度 α 萘烯的研究结果也表明,在负荷加倍的第 1 d 后效率可恢复 90%,3 d 后可基本恢复。以上结果表明采用较高负荷条件运行的 BTF 也与较低负荷下运行的生物过滤器具有基本相同的抗负荷冲击能力。

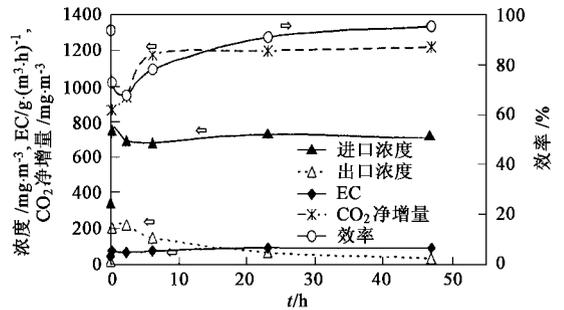


图 2 114.3 m/h 下冲击负荷对 BTF 性能的影响

Fig. 2 The effect of shock loading on the BTF performance under the superficial velocity of 114.3 m/h

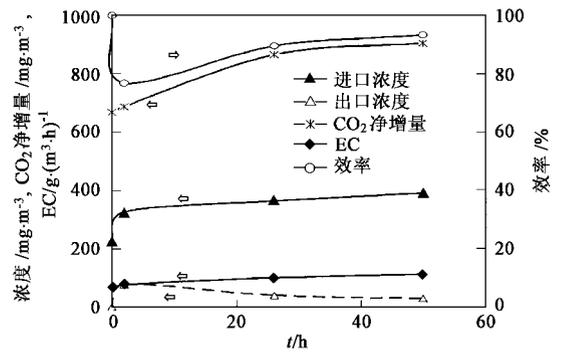


图 3 242 m/h 下冲击负荷对 BTF 性能的影响

Fig. 3 The effect of shock loading on the BTF performance under the superficial velocity of 242 m/h

2.2 停运闲置、恢复对 BTF 性能的影响

本研究中的停运恢复实验是在 3 个时间尺度上进行的:夜间型停运(8 ~ 12h),周末型(48h 左右),长期型(30d 左右)。由于总体实验安排的缘故,几次停运恢复实验的起始状态不尽相同。停运是指气体和循环水同时停止供给。

从表 1 的夜间型停运恢复实验结果可见,8 ~ 12h 的停运使得处理效果下降 2% ~ 3%,影响不大。停运对生物降解性能的影响主要表现在营养条件、生长环境等因素的变化,这些变化又会导致生物膜中微生物活性的减弱。本实验所采用的组合挂膜介质均为网状结构,且 ACOF 持水性较好,具有较强

的保持生物生长环境的能力^[11],BTF 内的微生物的负载量平均达 $23\text{kg}/\text{m}^3$,因此 10h 以内的短时间闲

置对降解性能的影响不大.

图 4所示为周末型实验情况 .TEX塔的运行工

表 1 夜间型停运闲置后的降解性能恢复情况

Table 1 The BTF performance after short period of non-use

处理对象	停运时间 / h	入口浓度 / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	入口气量 / $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	起始效率 / %	恢复效率 ¹⁾ / %	效率下降比率 / %
TEX	8	437	1.5	92.8	90.3	2.69
TEX	12	375	1.8	94.5	91.8	2.86
TEX	11	562	1.76	90.5	88.4	2.32

1) 恢复效率系指恢复运行 1h 后测定的效率.

况为表观气速 $140\text{ m}/\text{h}$,入口浓度约 $920\text{ mg}/\text{m}^3$,停运前的净化效率为 90.6% .结果表明近两天的停运对塔的净化效率产生了一定的影响,刚恢复运行时的净化性能为原先的 50% 左右,在恢复运行 8 个多小时后得到恢复.

长期型停运恢复实验结果如图 5 所示,TEX 塔的运行工况为表观气速 $241\text{ m}/\text{h}$,入口浓度约 $220\text{ mg}/\text{m}^3$,停运前得净化效率为 96.2% .

从图 5 中可以看出,长时间的停运对全塔的净化性能造成了很大的影响.恢复运行时的效率仅为原效率的 20% 不到,恢复 90% 的净化性能需 3d 左右的时间,完全恢复效率需 10d 的时间.而 BTF 从空白挂膜开始到达到较好的净化性能所需的启动时间约 14d 左右.

察到在停运 10d 后,只需 1d 的时间便可恢复原有的性能.但以上所述的生物过滤器运行时的表观气

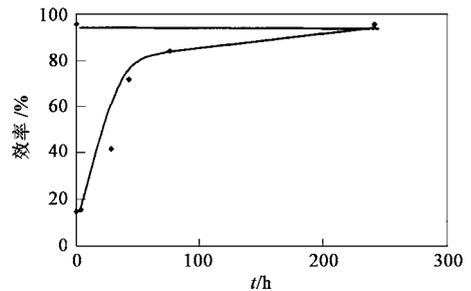


图 5 BTF 长期停运 (29d) 恢复运行后性能变化

Fig. 5 The changes of BTF performance after long time (29 d) non-use

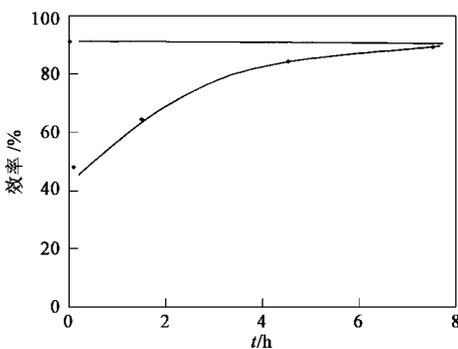


图 4 BTF 停运 46h 恢复运行后性能变化

Fig. 4 The changes of BTF performance after 46 h non-use

一些研究者进行过的采用有机质(如堆肥)为滤材的生物过滤器闲置实验^[8,9]表明,对于生物过滤器,2~3d 的闲置通常需 2~8h 的恢复时间. Martin F. J 等^[8]的生物过滤器在停运 2 周后所需的恢复净化性能的时间对于含甲苯气体为 43h,对于含苯气体为 66h. Zilli^[12]等在生物过滤含酚废气实验时观

速较低,污染物的负荷也较低,且堆肥等材料本身就具有养分,能为微生物提供良好的生存环境.相对而言,本研究中 BTF 运行的表观气速及污染物负荷都较高,采用的惰性载体材料本身又不能为微生物提供营养,其对外界营养供给的依赖性要较土壤、堆肥、泥炭类介质的生物过滤器大.但由于立体网状材料的较大的挂膜量和 ACOF 的较好的持水与吸附缓冲特性等因素使得 BTF 内的微生物活性得到了较好的保持,从实验的研究可见,在一定的条件下, BTF 可以达到与生物过滤器相同或更好的性能恢复结果.而 Huub H J C^[10]的实验结果表明,在采用聚丙烯类惰性材料的 BTF 进行停运恢复实验时,停运 2d 后启动时的效率为原先的 40% 不到,在恢复运行 10 h 后,升到原先的 80% ;停运 9d 后启动时的效率为原先的 25% 不到,在恢复运行 30h 后,升到原先的 60% .相对而言,本研究采用的具有一定吸附缓冲性能的载体表现出较好的生物活性保持能力.

3 结论

(1) 负荷冲击实验表明,在最大消除能力范围以内,污染负荷加倍后,起始阶段净化效率下降 20% 左右,但两天后就基本恢复,表明实验中的生物滴滤器具较好的抗负荷冲击能力。

(2) 停运闲置恢复性能实验表明短时间闲置(8~12h) 对以 ACOF 和不锈钢丝网为载体材料的 BTf 的对 TEX 降解性能的影响不大;两天时间尺度的停运闲置对净化效果产生了一定的影响,需要 6~8h 的恢复时间;长期的停运闲置会对净化系统的效果造成严重的影响,基本恢复原有净化性能需 3d 左右的时间,完全恢复需 10d。

总之,以 ACOF 和不锈钢丝网为挂膜介质的 BTf 在净化 TEX 混合气体时表现出较好的抗负荷冲击和缓冲性能。

参考文献:

- [1] Devinsky J S, Deshusses M A, Webster T A. Biofiltration for Air pollution control[M]. Boca Raton: FL, Lewis, 1999.
- [2] Joanna E B, Simon A P, Richard M S. Developments in Odour Control and Waste Gas Treatment Biotechnology: a Review[J]. Biotechnology Advance, 2001, **19**: 35~63.
- [3] Warren J Swanson, Raymond C Loehr. Biofiltration: fundamental, design and operations principles, and applications of biological APC technology[J]. J. Environ. Eng., 1997, **123**(6): 538~546.
- [4] Kennes C, Veiga M C (Editors). Bioreactors for Waste Gas Treatment[M]. Kluwer Academic Publisher, 2001.
- [5] Edward D Schroeder. Trends in Application of Gas-Phase Bioreactors[J]. Environmental Science & Bio/Technology, 2002, **1**: 65~74.
- [6] Madjid Mohseni, Allen D G. Transient performance of biofilters treating mixtures of hydrophilic and hydrophobic volatile organic compounds[J]. J. Air & Waste Manage. Assoc., 1999, **49**(12): 1434~1441.
- [7] Hsiu Mu Tang, Shylrjye Hwang. Transient behavior of the biofilters for toluene removal[J]. J. Air & Waste Manage. Assoc., 1997, **47**(12): 1142~1151.
- [8] Martin F J. Effect of periods of non-use on biofilter performance[J]. J. Air & waste Manage. Assoc., 1996, **46**(6): 539~546.
- [9] Zarook S M, Shaikh A A, Ansar Z, *et al.* Biofiltration of volatile organic compound (VOC) mixtures under transient conditions[J]. Chemical Engineering Science, 1997, **52**(21/22): 4135~4142.
- [10] Huub H J C, Marc A D. Effect of starvation on the performance and re-acclimation of biotricking filters for air pollution control[J]. Environ. Sci. Technol., 2002, **36**: 3069~3073.
- [11] 羌宁,等. 气体生物滴滤池载体性能比较实验研究[J]. 环境科学, 2000, **21**(1): 45~48.
- [12] Zilli M, Converti A, Lodi A, *et al.* Phenol removal from waste gases with a biological filter by pseudomonas putida[J]. Biotechnol. Bioeng., 1993, **41**: 693~702.